

آب و توسعه پایدار

دوره یازدهم . شماره ۳ (پیاپی ۳۳) . آذرماه ۱۴۰۳



فراهمی
عرضه
تقاضا

مقصد

شبکه
مسائل
مقصد

قبل از تصمیم‌گیری برای هر پروژه انتقال،
بجز فراهمی و عرضه - تقاضا در مبداء
و مقصد، باید شبکه مسائل حداقل در
۶ بعد مورد کنکاش قرار گیرد:

۱. حقوقی ۲. محیط‌زیستی ۳. اجتماعی
۴. اقتصادی ۵. فنی / طبیعی ۶. امنیتی

فهرست مقالات

- **سنتز پژوهی اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب**
امیرعلی برومند، سعید کریمی
- **بهره‌برداری از سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی**
ندا پوستی زاده، داود حری، رامین رامشی
- **بررسی چالش‌های طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مورد مطالعاتی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد)**
فرشاد علیپور نصیرمحل، رسول میرعباسی نجف آبادی، علی ترابی حقیقی
- **ضرورت ایجاد یک دیدگاه جامع به منظور مدیریت ریسک سیل شهری**
سارا عطاران، ابوالفضل مساعدی
- **طبقه‌بندی انواع و عوامل نقض حریم میراث قنات ایرانی (مطالعه موردی: قنات‌های شهرستان‌های شرقی استان کرمان)**
ناهید کمال الدینی
- **اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی در مناطق خشک از دیدگاه ذی‌نفعان محلی-منطقه تالیاد در شمال شرق ایران**
اصغر طهماسبی، فاطمه نعمتی جوزقانی
- **سناریوهای فراروی کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان با رویکرد آینده‌پژوهی**
افشین متقی دستنایی، محمد یوسفی شاتوری، آرش قربانی سپهر
- **مدل‌سازی پویای مصرف آب شهری و مدیریت عرضه و تقاضا در استان کرمان**
سید حامد موسوی راد، امیررضا ترابی، سید مرتضی موسوی راد
- **ارائه مدل یکپارچه برای توسعه پایدار (آب، انرژی و غذا) در ایران با استفاده از رویکرد داده‌بنیاد**
فاطمه مومنی مهموئی، علی اکبر ناجی میدانی، نرگس صالح نیا، قاسم اسلامی
- **کاربرد روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در برآورد بهره‌وری مصرف آب (مطالعه موردی: شهر ساری)**
رامین فضل‌اولی، شادی صراف، جواد وجاهت، علیرضا عمادی
- **تولید جاذب‌های زیستی از ضایعات مرکبات برای جذب آلاینده‌ها و نمک از فاضلاب‌ها**
هانیه قربانی جعفریگل، علیرضا چکشیان خراسانی
- **ارزیابی مدل‌های MIKE11 و MIKE SHE برای شبیه‌سازی هیدرولوژی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت فومنات**
مریم صدوری، سمیه جنت رستمی، کورش محمدی
- **دانش بوم‌شناختی سنتی: مروری بر مطالعات جهانی**
مسعود رضایی



آب و توسعه پایدار

سال یازدهم- شماره سوم (پیاپی ۳۳)- آذر ۱۴۰۳

این نشریه طبق نامه شماره ۳/۱۸/۱۲۶۶۳۱ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی دریافت نموده است. همچنین در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است. این نشریه حاصل فعالیت علمی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن هیدرولیک ایران است.

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی / دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
حسین انصاری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
علی باقری / دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
محمد جلیلی / دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
حسین علی دادی / استاد گروه مهندسی بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی مشهد
سعید مرید / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
حمیدرضا ناصری / استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست‌گذاری

مجید قنادی (ریاست شورا) / مدیر کل مرکز تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
حسین اسماعیلیان / مدیر عامل و رئیس هیأت مدیره شرکت آب و فاضلاب مشهد
محمد علی نعمت‌نژاد / مدیر عامل شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی
سیدیحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران
ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه
کامران داوری / سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری / اندیشکده تدبیر آب ایران
سید حسین سجادی‌فر / شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
غلامرضا کلائی / شرکت آب و فاضلاب مشهد
فریبا قنبری / شرکت آب و فاضلاب مشهد
سیدحمید میرقاسمی / شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی
رضا براتی / شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

کارشناس اجرایی

ویراستاری

صفحه آرایی / طراحی

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپاچاپی/الکترونیکی

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه‌های نمایه شده

مهری شاهی، فاطمه طالبی حسین‌آباد
مرجان قوچانیان، مهری شاهی، فاطمه طالبی حسین‌آباد (فنی و ادبی) / مائده اسکوهی (لاتین)
فاطمه طالبی حسین‌آباد / محمدرضا شیخی
فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۲۷۱۷-۳۳۲۱ / ۲۴۲۳-۵۴۷۴

<https://jwsd.um.ac.ir/> / Email: jwsd@um.ac.ir

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دفتر نشریه، کد پستی ۹۱۷۷۵۱۱۶۳

شرکت آب و فاضلاب مشهد

پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات

نشریات کشور (Magiran)، google scholar، DOAJ، CABI، Agris



- ۱
ت
۱
۱۷
۲۷
۴۱
۵۹
۷۳
۸۵
۹۹
۱۱۵
۱۳۱
۱۴۳
۱۶۵
۱۷۵
۱۸۹
۱۹۷
- سرمقاله: تحلیلی بر دیدگاه‌های مختلف در موضوع انتقال آب / کاظم اسماعیلی
یادداشت کوتاه: انتقال آب از دریا، چالش‌ها و فرصت‌ها / داودرضا عرب
- سنن پژوهی اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب
امیرعلی برومند؛ سعید کریمی
- بهره‌برداری از سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی
ندا پوستی زاده؛ داود حری؛ رامین رامشی
- بررسی چالش‌های طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مورد مطالعاتی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد)
فرشاد علیپور نصیرمحل؛ رسول میرعباسی نجف‌آبادی؛ علی ترابی حقیقی
- ضرورت ایجاد یک دیدگاه جامع به منظور مدیریت ریسک سیل شهری
سارا عطاران؛ ابوالفضل مساعدی
- طبقه‌بندی انواع و عوامل نقض حریم میراث قنات ایرانی (مطالعه موردی: قنات‌های شهرستان‌های شرقی استان کرمان)
ناهید کمال‌الدینی
- اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی در مناطق خشک از دیدگاه ذی‌نفعان محلی-منطقه تایباد در شمال شرق ایران
اصغر طهماسبی؛ فاطمه نعمتی جوزقانی
- سناریوهای فراروی کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان با رویکرد آینده‌پژوهی
افشین متقی دستنایی؛ محمد یوسفی شاتوری؛ آرش قربانی سپهر
- مدل‌سازی پویای مصرف آب شهری و مدیریت عرضه و تقاضا در استان کرمان
سید حامد موسوی راد؛ امیررضا ترابی؛ سید مرتضی موسوی راد
- ارائه مدل یکپارچه برای توسعه پایدار «آب، انرژی و غذا» در ایران با استفاده از رویکرد داده‌بنیاد
فاطمه مومنی مهموئی؛ علی اکبر ناجی میدانی؛ نرگس صالح‌نیا؛ قاسم اسلامی
- کاربرد روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در برآورد بهره‌وری مصرف آب (مطالعه موردی: شهر ساری)
رامین فضل‌اولی؛ شادی صراف؛ جواد وجاهت؛ علیرضا عمادی
- تولید جاذب‌های زیستی از ضایعات مرکبات برای جذب آلاینده‌ها و نمک از فاضلاب‌ها
هانیه قربانی جعفری‌گلو؛ علیرضا چکشیان خراسانی
- ارزیابی مدل‌های MIKE SHE و MIKE 11 برای شبیه‌سازی هیدرولوژی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت فومنات
مریم صدوری؛ سمیه جنت رستمی؛ کورش محمدی
- دانش بوم‌شناختی سنتی: مروری بر مطالعات جهانی
مسعود رضایی
- یادداشت تحلیلی: بررسی طرح‌های انتقال آب، برای تأمین آب شرب شهر مشهد از منابع داخل کشور
محبوبه فرزندی
- کنکاشی در انتقال آب (از دریا به خشکی)
کاظم اسماعیلی؛ وحیده مرتضوی امیری؛ مانده اسکوهی



تحلیلی بر دیدگاه‌های مختلف در موضوع انتقال آب

مروری گذرا به شرایط اقلیمی ایران از حافظه کهنسالان این مرز و بوم، حاکی از کم آبی و خشکسالی در دوره‌های مختلف زمانی در این سرزمین پهناور بوده است. در سال‌هایی ریزش‌های جوی نشان از بهبود وضعیت آبی داشته و در دوره‌های زمانی بیشتری، کاهش نزولات جوی غالب بوده است. با این وجود رفتار بهره‌برداران منابع آبی به گونه‌ای صورت می‌گرفت که تعادل بین منابع آب تجدیدپذیر و برداشت از منابع آبی در تعادل نسبی قرار داشت. از حدود نیم قرن پیش، با توسعه تکنولوژی و تسهیل در امر بهره‌برداری از منابع آب (به‌خصوص آب زیرزمینی)، روند استفاده از منابع آبی نسبت به میزان آب تجدیدپذیر فزونی گرفت و از سویی دیگر با بروز تغییرات اقلیمی، آب تجدیدپذیر را با کمبود بیشتری مواجه کرد. براساس آمار ثبت‌شده، کاهش منابع آب تجدیدپذیر ناشی از کاهش نزولات جوی، به حدود یک میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد. اما واقعیت این است که ناترازی در منابع آبی، بسیار بیشتر از این مقدار است. این ناترازی متأثر از عوامل متعددی است که بررسی هر یک از آن‌ها در این متن کوتاه نمی‌گنجد. آنچه از مجموعه اقدامات انجام شده در سال‌های متمادی به‌نظر می‌رسد، این است که برنامه‌ریزی شرایط آبی کشور در مناطق مختلف، با یا بدون آگاهی، به گونه‌ای مدیریت شده که کشور از نظر منابع تأمین‌کننده آب، درحالت بن‌بست عملی قرار گیرد. این امر نتیجه برخی سیاست‌های کلان در حوضه خودکفایی و امنیت غذایی بوده است که در راستای آن، کشاورزی به‌عنوان محور توسعه کشور قرارداد شد، اما چنان‌که امروز شاهدیم، از نظر تولید محصولات کشاورزی، کشور به خودکفایی نرسیده و از طرف دیگر منابع آبی به وضعیت اسفباری رسیده است. به‌هرصورت، عدم مدیریت مناسب در تولید و مصرف، شرایط را به گونه‌ای رقم زده است که برای تأمین آب مورد نیاز در بخش شرب، صنعت و حتی کشاورزی، ناچار به تأمین آب به شیوه‌های مختلف می‌باشیم. بازچرخانی آب، استفاده از پساب، انتقال آب، مدیریت مصرف و... شیوه‌های قابل انجام در تأمین کسری آب مورد نیاز می‌باشند. از بین روش‌های مطرح، برخی در کوتاه‌مدت به نتیجه می‌رسند و روش‌هایی نامطمئن و هزینه‌بر هستند و برخی با برنامه‌ریزی مناسب در طولانی‌مدت نتیجه خواهند داد و روش‌هایی پایدار هستند. چنان‌که اگر

روش‌های طولانی‌مدت همچون مصرف بهینه مدیریت در استفاده از منابع آبی به‌عنوان یک روش دست نیافتنی در مقابل روش‌های زودبازده همچون انتقال آب از نقاط دیگر قرار گیرد. نیاز به آب شرب به‌عنوان اصلی‌ترین عامل در توجیه گزینه‌های زودبازده با هزینه‌های هرچند هنگفت، بسیار مورد توجه تصمیم‌گیران و توجیه‌کنندگان این روش‌ها قرار خواهد گرفت. انتقال آب از سال‌های دور در کشور به شیوه‌های مختلف صورت می‌گرفته است. در دهه اخیر، برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز صنعت و شرب از طریق شیرین‌سازی آب دریا (جنوب ایران)، پروژه‌های عظیمی طراحی و اجرا شده است که بخشی از آن‌ها به اتمام رسیده و بخشی هنوز در ابتدا یا میانه راه است. از زمان مطرح‌شدن چنین طرح‌هایی، متخصصین و متولیان نظرات متفاوتی را در این خصوص ارائه نمودند که برای بررسی اجمالی این نظرات می‌توان آنها را در چند قسمت تفکیک نمود.

۱- گروه اول اصولاً با انتقال آب مخالف هستند (این گروه بر به‌کارگیری تمامی امکانات و روش‌ها برای استفاده بهینه از منابع آبی تأکید دارند و بر این موضوع پافشاری می‌نمایند که از نگاه آمایش سرزمین به مسأله پرداخته شود. در واقع همان شاخص‌های مطرح شده از سوی سازمان جهانی یونسکو در پنج بند را سر لوحه نظرات خود قرارداده‌اند).

۲- گروه دوم با محل انتقال آب مخالف هستند (برخی محل مبدأ را برای انتقال با چالش روبرو می‌کنند؛ به‌عنوان مثال در مورد انتقال آب از دریا به خشکی (فلات مرکزی ایران) عده‌ای انتقال آب از دریای خزر را مناسب و برخی انتقال از دریای عمان را ارجح می‌دانند).

۳- گروه سوم با نحوه انتقال آب مخالف هستند (شیوه‌های انتقال به‌صورت پمپاژ و ثقلی، دو گزینه مهم است که در طراحی از نگاه اقتصادی می‌تواند یک طرح را تأیید و یا رد کند. از این دیدگاه برخی انتقال آب از دریای عمان را همراه با صرف انرژی بسیار، با تولید کربن دی اکسید زیاد می‌دانند. اما انتقال از دریای خزر را با صرف انرژی بسیار کمتر و انتقال در بخش وسیعی به‌صورت ثقلی که مصرف انرژی وجود ندارد، توصیه می‌کنند).

۴- گروه چهارم با این مسأله که صرفاً انتقال آب انجام شود، مخالف هستند (بر این عقیده هستند که باید همزمان اقدامات دیگر صورت گیرد).

۵- گروه پنجم با نگاه ایجاد فرصت، با انتقال آب موافقت (تأمین آب را در شرایط کم‌آبی، به‌عنوان فرصتی برای اجرای برنامه‌ریزی در مدیریت مصرف می‌دانند).

۶- گروه ششم از نگاه اجتماعی با انتقال آب موافقت (کمبود آب مشکلات و خطرات و نابسامانی‌های اجتماعی و درگیری‌های

قومی ایجاد می‌کند که با انتقال آب می‌توان آن را محدود کرد).
۷- گروه هفتم از نگاه سیاسی با انتقال موافقت (انتقال آب به مناطق مرزی و تأمین آب در این مناطق، می‌تواند از مهاجرت مرزنشینان جلوگیری نماید و مرزها از امنیت بیشتری برخوردار باشد).

۸- گروه هشتم از نگاه اقتصادی با انتقال موافقت (نقش این گروه شاید در ظاهر امر مشخص نباشد، اما این گروه بیشترین منافع را از انجام پروژه‌های انتقال آب به‌دست می‌آورند).

معیارهای یونسکو چیست؟

۱- لازم است قبل طرح انتقال در کلیه گزینه‌های موجود برای تأمین آب مقصد، شناسایی شود و در صورت عدم تأمین کافی، انتقال آب می‌تواند توجیه پذیر باشد.

۲- توسعه آبی حوضه مبدأ نایستی به سبب کمبود آب، با محدودیت چشمگیر روبرو شود. اگر حوضه مقصد، زیان‌های وارده به حوضه مبدأ را جبران کند، و یا در مسیر مشکلاتی ایجاد نکند، طرح انتقال ممکن است توجیه‌پذیر باشد.

۳- ارزیابی جامع پیامدهای محیط‌زیستی بایستی نشان دهد سطح معقولی از قطعیت وجود دارد که طرح انتقال، به شکل اساسی کیفیت محیط زیست را درمیدان، مسیر و یا مقصد تخریب نمی‌کند. چنانچه هزینه‌های جبران تخریب محیط زیست فراهم شود، طرح انتقال ممکن است توجیه‌پذیر باشد.

۴- ارزیابی جامع پیامدهای اجتماعی-فرهنگی بایستی نشان دهد که سطح معقولی از قطعیت وجود دارد که طرح انتقال، سبب بروز اختلال اساسی اجتماعی-فرهنگی در حوضه مبدأ، مسیر و یا مقصد نخواهد شد. با این حال، چنانچه پرداخت غرامت برای جبران زیان‌های اجتماعی-فرهنگی فراهم شود، طرح انتقال ممکن است توجیه‌پذیر باشد.

۵- منافع خالص ناشی از اجرای طرح بایستی میان حوضه‌های مبدأ، مسیر و مقصد به‌صورت عادلانه تقسیم شود.

با نگاهی به معیارهای انتقال آب از دیدگاه توسعه پایدار مشاهده می‌شود اصولی را که یونسکو در ۵ بند ارائه کرده، مجموعه‌ای جامع بوده که در بندهای زیر تفکیک شده است:

تأثیر پروژه در طرح آمایش سرزمین، زیرساخت بودن پروژه در منطقه، تأثیر پروژه در مهار و کنترل آب‌های جاری و به‌ویژه آب‌های مشترک مرزی، وابستگی صنایع و کشاورزی و شرب به آب انتقالی در دو حوضه مبدأ و مقصد، بررسی پتانسیل‌های موجود در حوضه مبدأ، بهبود اراضی کشاورزی و افزایش تولیدات، کارآفرینی و ایجاد اشتغال و جلوگیری از بیکاری، بررسی کیفیت آب در حوضه مبدأ از سرچشمه تا پایین‌دست و آخرین برداشت‌کننده‌های آب و برآورده‌سازی نیاز محیط‌زیستی محل تخلیه اعم از دریا، تالاب و ...، بررسی تغییرات سطح ایستابی در حوضه مبدأ و نشست اراضی در صورت پایین‌افتادن سطح آب‌های زیرزمینی، اثرات پروژه بر حذف و یا تخریب جاذبه‌های گردشگری، برقراری عدالت اجتماعی در تخصیص آب حوضه‌ای و الزام محرومیت‌زدایی از حوضه‌های مبدأ و مقصد، و نهایتاً رخداد آثار سوء اجتماعی و مهاجرت بی‌رویه از حوضه مبدأ و تمرکز در حوضه مقصد با توجه به وجود آب.

مجموعه توصیه‌های سازمان جهانی یونسکو و توصیف‌های تکمیلی از موضوع انتقال آب، بُعد وسیع‌تری از موضوعات مرتبط با انتقال آب را در چشم‌انداز انجام این طرح‌ها آشکار می‌کند. نگاهی دقیق‌تر به این موارد نشان از آن دارد که همه الزامات و توصیه‌ها براساس اصل توسعه پایدار نهاده شده که ضروری است برای هر موضوع در تصمیم‌گیری‌های یک سرزمین توسط حکمرانان به‌عنوان اصل و مبنا پذیرفته شود. اگر اصل توسعه پایدار به‌عنوان هدایت‌کننده مسیرهای تصمیم‌گیری و اقدامات عملی در تمامی وجوه توسعه کشور در نظر گرفته شود، آنگاه موضوع انتقال آب به‌عنوان یک چالش نخواهد بود و طبعاً طرفداران و منتقدانی هم نخواهد داشت، بلکه تصمیم‌گیری در مورد انجام آن بر مبنای خرد جمعی و اصل توسعه پایدار با در نظرگرفتن تمامی بایدها و نبایدها صورت می‌گیرد. اما از آنجا که اجرای طرح‌هایی همچون انتقال آب، تشکیل بازار آب، سدسازی و هر طرحی که اثرات آن به صورت کوتاه‌مدت قابل ارزیابی نیست، هرگونه نقد در مورد آنها بر پایه تجربیات بدست آمده از سایر کشورها در اجرای اقدامات مشابه می‌باشد که از نگاه حکمرانی چندان قابل قبول نیست.



انتقال آب از دریا، چالش‌ها و فرصت‌ها

کم‌آبی و بحران مدیریت آب در مناطق مختلف کشور، توجه به منابع آب نامتعارف را بیشتر کرده است. مجاورت ایران با دریا و روند روبه رشد استفاده از آب دریا در جهان موجب شده است که بهره‌برداری‌های مستقیم و غیرمستقیم از آب دریا در ایران موردتوجه قرار گیرد؛ اما در ایران به علت فاصله مراکز جمعیتی و عدم استقرار فعالیت‌های صنعتی در کنار دریا، نمک‌زدایی و انتقال آب از دریا هزینه‌بر و زمان‌بر است و نیاز به ارزیابی‌های دقیق دارد. در برخی از مناطق مانند استان‌های سیستان و بلوچستان، یزد و بخش‌هایی از استان کرمان که با کمبود جدی منابع آب درون حوضه‌ای مواجه هستند، انتقال آب از دریا به عنوان یکی از راهکارها قابل طرح است؛ اما در مناطقی که منابع آب جایگزین وجود دارد، مزیت‌های انتقال آب از دریا کاهش می‌یابد. نگاه سیاسی به مسئله آب به پیچیدگی مشکلات افزوده است. استانداران و نمایندگان مجلس بدون توجه به ضرورت‌های توسعه پایدار و متوازن به دنبال کسب منابع و امکان‌های بیشتر برای منطقه خود هستند و نظرات کارشناسی کمتر موردتوجه قرار می‌گیرد. ارزیابی‌های محیط‌زیستی معمولاً ناکافی یا غیر جدی است و حامیان انتقال آب با نگاه جهت‌دار به قوانین بالادستی، راهبردهای آمایش سرزمین و سیاست‌های کلی به‌منظور انتقال آب نمک‌زدایی شده می‌پردازند.

در واقعیت در نظام مدیریت و تصمیم‌گیری کشور، رویکردهای فرابخشی، سیستمی، همه‌جانبه‌نگر، آمایشی و اصول توسعه پایدار معمولاً نادیده گرفته می‌شود و توسعه بین نسلی و توسعه محیط‌زیستی مغفول مانده است. در حال حاضر به آمایش سرزمین -که بهترین شیوه‌های برنامه‌ریزی در ساختارهای نیازمند به برنامه‌ریزی فراگیر، جامع و سیستمی با بهره‌گیری از ظرفیت‌ها و لحاظ محدودیت‌های محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است- کمتر توجه می‌شود و عدم توجه کافی به تحولات و چالش‌های منابع آبی و فقدان نگاه بلندمدت، در برنامه‌ریزی‌ها مشهود است. با توجه به سهم کوچک هزینه‌های تأمین یا خرید آب در قیمت تمام‌شده تولیدات صنایع بزرگ مانند صنایع معدنی (به‌ویژه صنایع فلزی) و صنایع نفت و گاز، این صنایع همیشه متقاضی و سرمایه‌گذار انتقال آب از دریا خواهند بود؛ به‌ویژه آن‌که تولید حمایتی و انرژی ارزان، این هزینه‌ها را به مقدار قابل‌توجهی کاهش خواهد داد. در شرایط فعلی هزینه‌های نمک‌زدایی آب حدود یک

درصد و معمولاً کمتر از ۵ درصد از کل هزینه‌های تولید در صنایع بزرگ است. هزینه‌های نمک‌زدایی با روش اسمز معکوس کمتر از ۱/۵ یورو و روش‌های حرارتی کمتر از ۰/۸ یورو برای هر مترمکعب است. در برآوردهای حداکثری برای انتقال آب به مرکز فلات ایران، هزینه هر مترمکعب آب ۴ یورو تعیین می‌شود و در مسیرهای طولانی (مانند مشهد) هزینه‌ها ممکن است تا ۸ یورو برای هر مترمکعب افزایش یابد.

در حال حاضر مجوز برداشت ۳۲ میلیارد مترمکعب آب از دریا صادر شده و تاکنون بیش از ۶۰۰ میلیون مترمکعب آن محقق شده است. خط اول انتقال آب شیرین‌شده به استان‌های کرمان و یزد اجرایی شده است و اجرایی شدن خط دوم این استان‌ها، به همراه استان‌های فارس و سیستان و بلوچستان، در دستور کار قرار دارد. همچنین، امکان انتقال آب به استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی از طریق ادامه خطوط انتقال به سیستان و بلوچستان یا یزد، در حال بررسی است.

شایان ذکر است که در خطوط انتقال، به‌جز استان سیستان و بلوچستان، تأمین نیازهای شرب و بهداشت لحاظ نشده است و تنها در مناطق ساحلی، علاوه بر تأمین آب موردنیاز صنعت، تأمین آب شرب، بهداشت و کشاورزی مدنظر بوده است.

قوانین فعلی بسیار کلی و فراگیر هستند و به مدیران سیاسی و دولتی آزادی عمل گسترده‌ای می‌دهد. برای جلوگیری از اجرای طرح‌های ناکارآمد و زیان‌بار، ضروری است که حمایت‌های دولتی از طرح‌های مختلف، به‌ویژه در زمینه تخصیص زمین و منابع و انرژی ارزان به حداقل برسد و نقش دولت عمدتاً به تأمین آب شرب و بهداشت محدود شود. در اجرای هر طرحی، ارزیابی‌های دقیق و جامع در زمینه‌های زیر و آگاهی از جنبه‌های مختلف آن الزامی است:

- ابعاد اقتصادی: تأثیر طرح بر رشد اقتصادی، بهره‌وری، تجارت خارجی و سرمایه‌گذاری
- ابعاد مالی و اجرایی: هزینه تمام‌شده طرح، اطمینان از تأمین مالی پایدار، عدم قطعیت در تأمین منابع مالی از طرف بخش خصوصی، احتمال سوءاستفاده از تسهیلات و اعتبارات و تملک اراضی، تأثیر بر درآمدها و هزینه‌های دولت، نیاز به انرژی و زیرساخت‌های جدید، و توجه به نبود تجربه لازم در به‌کارگیری مدل مالی مناسب و مطالعات و تجارب کافی و کمبود داده‌ها و اطلاعات
- ابعاد اجتماعی و امنیتی: تأثیر بر جمعیت و اشتغال و توجه به نبود پیوست امنیتی و اجتماعی
- ابعاد محیط‌زیستی: اثرات بر منابع آب‌و خاک، اکوسیستم‌ها و شیوه‌های بهره‌برداری از منابع آب به‌ویژه در محل برداشت آب
- ابعاد آمایشی و سیستمی: تأثیر بر توازن منطقه‌ای و توزیع عادلانه منافع، بازنگری در تصویرهای سازمان سکونت و فعالیت، و توجه به چشم‌انداز روشن برای طرح

• ابعاد منابع آب: وجود منابع جایگزین آب، احتمال افزایش مصرف آب و انحصار تأمین کنندگان آب

ارزیابی‌های جامع و آینده‌نگر با رویکرد توسعه پایدار، نه تنها از بروز چالش‌های جدی در حوزه آب جلوگیری می‌کنند، بلکه ضرورت انتقال آب از دریا را برجسته‌تر می‌سازند. با توجه به پراکندگی جمعیت در ایران و فاصله زیاد بسیاری از مناطق تا دریا، شناسایی دقیق نیاز آبی هر منطقه امری حیاتی است. اولویت نخست باید بر تأمین آب شرب و بهداشت متمرکز باشد و در بخش صنعت فعالیت‌های کم‌آب‌بر مورد حمایت قرار گیرند.

در توسعه صنایع و سکونتگاه‌ها توجه به آمایش سرزمین و اصول توسعه پایدار اجتناب‌ناپذیر است و بر این اساس به نظر می‌رسد مناطق ساحلی و دارای ظرفیت‌های آبی مناسب، شرایط مناسب‌تری دارند. با این حال، لازم است مجوزهای فعلی و طرح‌های توسعه آبی، با در نظر گرفتن نیاز آبی، به‌طور دقیق مورد بازبینی قرار گیرند. در این ارزیابی، علاوه بر جنبه‌های اقتصادی، باید مزایا و معایب اجتماعی و زیست‌محیطی به‌دقت سنجیده شود.

در اقدامی دیگر ضرورت‌های توسعه‌ای در سناریوهای مختلف (با و بدون در نظر گرفتن محدودیت آب) باید مورد تحلیل قرار گیرد. مطالعات آمایش سرزمین و مدل‌های ارزیابی پایداری و تحلیل‌های منطقه‌ای، ابزارهای مهمی برای شناسایی این ضرورت‌ها هستند. به‌علاوه مقایسه سرمایه‌گذاری اولیه طرح‌های صنعتی و معدنی و توجه به نسبت آن‌ها با سرمایه مورد نیاز برای انتقال آب، می‌تواند در تصمیم نهایی تأثیرگذار باشد. با توجه به روندهای توسعه‌ای آینده و نیازهای بازار، تحلیل زنجیره‌های تولید و مصرف، مکان‌یابی صنایع و بررسی امکان همکاری‌های منطقه‌ای با کشورهای همسایه ضروری است. شناسایی منابع آب موجود و کسری آب مناطق، از دیگر الزامات این ارزیابی است.

شناسایی دقیق ظرفیت‌های نمک‌زدایی آب دریا و امکان انتقال آن به مناطق مختلف، یکی از گام‌های کلیدی در ارزیابی عملی این طرح است. در این ارزیابی، علاوه بر جنبه‌های فنی و مهندسی، باید به عوامل اقتصادی و محیط‌زیستی توجه ویژه شود. عواملی مانند نیاز به انرژی، زیرساخت‌های موجود و تجهیزات مورد نیاز، بر ظرفیت انتقال آب تأثیرگذار خواهند بود.

عوامل دیگری بر هزینه‌های نمک‌زدایی آب دریا و انتقال آن به مناطق مختلف تأثیر می‌گذارند و به‌طور مستقیم در انتخاب مکان احداث تأسیسات نمک‌زدایی و تعیین ظرفیت آن‌ها نقش دارند. می‌توان از جمله عواملی که بر هزینه تمام‌شده تولید آب شیرین تأثیر می‌گذارند، به کیفیت آب دریا، کیفیت آب تولیدی، ظرفیت نمک‌زدایی واحد، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، موقعیت جغرافیایی، نوع و میزان مصرف انرژی، دسترسی به انرژی، فناوری مورد استفاده و... اشاره نمود.

مهم‌ترین عامل مؤثر در فرآیند نمک‌زدایی، میزان مصرف انرژی و

دسترسی به آن است. این عامل نه تنها بر هزینه نهایی تأثیرگذار است، بلکه در انتخاب نوع فناوری و روش نمک‌زدایی، نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. دسترسی به منابع انرژی ارزان، استفاده گسترده از واحدهای نمک‌زدایی را امکان‌پذیر می‌سازد. با توجه به بحران انرژی در کشور، توجه به این موضوع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

باید توجه داشت که میزان شوری آب به‌شدت بر هزینه نمک‌زدایی آب تأثیر می‌گذارد. هزینه نمک‌زدایی آب دریا ۳ تا ۵ برابر بیشتر از هزینه نمک‌زدایی آب لب‌شور است. به غیر از اثر شوری آب، ظرفیت واحد تصفیه نیز بر هزینه نمک‌زدایی مؤثر است و واحدهای با ظرفیت بالا در مقایسه با واحدهای با ظرفیت پایین، اقتصادی‌تر هستند.

هزینه انتقال آب شیرین از محل نمک‌زدایی، به‌ویژه در مسافت‌های طولانی‌تر از ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر، به‌قدری افزایش می‌یابد که گاه از هزینه خود فرآیند نمک‌زدایی بیشتر می‌شود و در برخی موارد، این هزینه حتی به دو برابر هزینه نمک‌زدایی می‌رسد. این تفاوت هزینه نه تنها در هزینه اولیه احداث، بلکه در طول دوره بهره‌برداری و نگهداری نیز افزایش می‌یابد و توجیه اقتصادی طرح را زیر سؤال می‌برد.

علاوه بر موارد ذکر شده، نقش دولت در تأمین عادلانه آب و تضمین دسترسی همه مناطق به آب شرب سالم و بهداشت مناسب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ایجاد توازن منطقه‌ای در توسعه کشور، نیازمند تثبیت جمعیت، ارتقای سطح توسعه مناطق محروم و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای توسعه پایدار است. برای دستیابی به این اهداف، همکاری دولت، نهادهای عمومی و حتی جذب سرمایه‌گذاری‌های بین‌المللی ضروری است. همچنین، بررسی کشش قیمتی تقاضای آب در هر منطقه، می‌تواند در جذب سرمایه‌گذاران مناسب بسیار مؤثر باشد.

حجم آب شیرین قابل انتقال از تأسیسات نمک‌زدایی به مناطق داخلی کشور، کمتر از یک میلیارد مترمکعب برآورد شده است که نسبت به کل منابع آب تجدیدپذیر ایران، کمتر از یک درصد است. پیش از تصمیم‌گیری در مورد اجرای پروژه‌های انتقال آب از دریا، ضروری است منابع جایگزین آب در مناطق هدف به‌طور کامل بررسی و ارزیابی شوند. عوامل مؤثر در این تصمیم‌گیری شامل حجم هر منبع، پایداری آن در درازمدت و هزینه تمام‌شده آب تولیدی از هر منبع هستند. مقایسه این عوامل با هزینه‌ها و مزایای انتقال آب شیرین از دریا، می‌تواند بهترین گزینه را مشخص کند. به‌عنوان مثال، بهبود بهره‌وری مصرف آب می‌تواند راهکاری مؤثر برای آزادسازی منابع آبی موجود باشد. برای انتقال آب از دریا به حوضه مقصد، می‌بایست کلیه راهکارهای مدیریت مصرف و تقاضا و روش‌های بهبود الگوی مصرف در حوضه مقصد انجام شده باشد؛ به نحوی که امکان صرفه‌جویی بیشتر آب در آن منطقه وجود

نداشته باشد. انتقال آب به منطقه‌ای که با معضل بهره‌وری پایین در مصرف آب مواجه است، موجب ایجاد تقاضای بیشتر و اتلاف سرمایه‌های ملی می‌شود.

برای مدیریت بهینه منابع آب در کشور، لازم است رویکردهای متفاوتی در مناطق مختلف اتخاذ شود؛ به‌عنوان مثال در استان یزد بهره‌برداری از منابع آب لب‌شور می‌تواند گزینه مناسبی باشد و بازنگری در مدیریت کلی منابع آب در استان خراسان رضوی ضروری به نظر می‌رسد. از سوی دیگر نیاز است پتانسیل جابجایی مصرف آب (ایجاد بازار آب) و تغییر کاربری آب از یک بخش (مانند کشاورزی) به بخش دیگر (مانند صنعت) با رعایت ملاحظات محیط‌زیستی مورد بررسی قرار گیرد.

قبل از هرگونه تصمیم‌گیری در مورد انتقال آب، لازم است به‌طور دقیق هزینه‌ها و فواید این طرح برای هر منطقه ارزیابی شود و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی آن تعیین شود. لازم است ارزش اقتصادی آب در هر منطقه، با در نظر گرفتن عوامل بازار و نیز نیازهای توسعه‌ای، به‌عنوان معیاری برای سنجش توجیه‌پذیری اقتصادی این طرح در نظر گرفته شود. متأسفانه تاکنون در ایران، تصمیم‌گیری در مورد طرح‌های انتقال آب عمدتاً بر اساس حمایت‌های دولتی یا فشارهای سیاسی صورت گرفته است و ارزیابی جامع اقتصادی و اجتماعی این طرح‌ها به‌اندازه کافی مورد توجه قرار نگرفته است.

طرح‌های انتقال آب به‌عنوان یک عامل کلیدی، می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و حقوقی کشور تأثیرگذار باشد و نیاز است اثرات محیط‌زیستی، اجتماعی، سیاسی و امنیتی این انتقال، در دریا و در حوضه مقصد دیده شود. از این‌رو، ارزیابی دقیق و جامع پیامدهای این طرح‌ها قبل از اجرا، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تأثیرات شامل موارد زیر است:

- پیامدهای اقتصادی: اجرای این طرح‌ها می‌تواند بر درآمدها و هزینه‌های دولت، تجارت خارجی، توان رقابت‌پذیری صنایع، سرمایه‌گذاری‌ها و وضعیت انرژی، تأثیرگذار باشد. از طرف دیگر با اجرای این طرح‌ها در ارزش اقتصادی آب در مناطق مختلف و هزینه‌های انتقال تغییر رخ می‌دهد.
- پیامدهای توسعه منطقه‌ای: ایجاد تغییرات در زیرساخت‌ها و توازن توسعه مناطق مختلف از اثرات اجرای این طرح‌ها خواهد بود.
- پیامدهای اجتماعی: این طرح‌ها می‌توانند تغییرات قابل‌توجهی در جمعیت، الگوی اشتغال و ساختار اجتماعی مناطق مبدأ و مقصد ایجاد کنند؛ به‌ویژه نگرانی‌های جدی درباره تأثیر بر فعالیت‌های صیادی و آبی‌پروری وجود دارد.
- پیامدهای حقوقی و ساختاری: تغییرات در حقوق آب و نیاز به قوانین و مقررات جدید برای مدیریت منابع آب، ازجمله چالش‌های حقوقی این طرح‌ها هستند. یکی دیگر از مسائل مهم در این

طرح‌ها، موضوع امنیت و آسیب‌پذیری خطوط انتقال و تأسیسات وابسته در برابر تهدیدات مختلف است. وابستگی شدید مناطق مقصد به آب منتقل شده، آن‌ها را در برابر بحران‌های احتمالی آسیب‌پذیرتر می‌کند و مسائل پدافندی و بحران آلودگی‌های مقطعی دریا نیز نیازمند توجه است.

• پیامدهای محیط‌زیستی: تأثیرات بر محیط‌زیست دریا در فرآیند نمک‌زدایی، تغییرات در مسیر انتقال و همچنین تأثیرات بر محیط‌زیست مناطق مقصد به دلیل توسعه‌های جدید، ازجمله نگرانی‌های جدی در این زمینه هستند. تخلیه پساب با شوری بالا به دریا، اکوسیستم‌های دریایی را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و تنوع زیستی را کاهش می‌دهد. ساخت تأسیسات نمک‌زدایی و لوله‌های انتقال آب، به‌طور مستقیم به زیستگاه‌های دریایی آسیب رسانده و بر زندگی موجودات دریایی تأثیر می‌گذارد. فرآیند نمک‌زدایی انرژی زیادی مصرف کرده و به تولید گازهای گلخانه‌ای منجر می‌شود. این فرآیند می‌تواند باعث افزایش دمای آب دریا و کاهش اکسیژن محلول در آب شود. پمپ‌های ورودی آب در تأسیسات نمک‌زدایی، موجودات دریایی کوچک مانند پلانکتون‌ها را به داخل کشیده و باعث مرگ آن‌ها می‌شوند. پدیده‌هایی مانند کشند قرمز می‌توانند تهدیدی برای تأمین آب شیرین باشند.

برای کاهش اثرات مخرب نمک‌زدایی، می‌توان اقداماتی مانند انتقال تأسیسات به مناطق با ظرفیت محیط‌زیستی بالاتر، مدیریت بهینه پساب و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را در نظر گرفت. همچنین، مطالعه و بررسی دقیق پیامدهای زیست‌محیطی هر طرح نمک‌زدایی قبل از اجرا، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران با انتقال واحدهای نمک‌زدایی به دریای عمان (به‌جای خلیج فارس) و مدیریت آب بازگشتی می‌توان چالش‌ها را تا حد زیادی کاهش داد.

منابع

- موسسه پژوهشی- مهندسی راهبرد دانش پویا. (۱۳۹۸). برآورد نیاز آبی بخش صنعت در طرح انتقال آب از خلیج فارس و دریای عمان به مرکز فلات ایران. وزارت نیرو.
- موسسه پژوهشی- مهندسی راهبرد دانش پویا. (۱۴۰۱). تهیه و تدوین مدل‌ها و راهکارهای تأمین آب پایدار فعالیت‌های صنعتی و معدنی. سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران.
- موسسه پژوهشی- مهندسی راهبرد دانش پویا. (۱۴۰۲). مطالعات تطبیقی الزامات اقتصادی و مالی طرح‌های انتقال آب از دریا. شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- موسسه پژوهشی- مهندسی راهبرد دانش پویا. (۱۳۹۹). مطالعات برآورد نیاز آبی معادن و زنجیره صنایع معدنی مرتبط در افق ۱۴۱۵ و ۱۴۲۵. اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران.

Synthesis of Ecological, Economic, and Social Effects of Water Transfer Projects

A. Boroumand^{1*}, S. Karimi²

1, 2- Ph.D. Student in Environmental Planning and Assistant Professor, Department of Environmental Planning, Management and Education, Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: Amiraliboroumand@ut.ac.ir)

Received: 23-08-2024

Revised: 22-10-2024

Accepted: 02-11-2024

Available Online: 19-12-2024

سنتز پژوهی اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب

امیرعلی برومند^{۱*}، سعید کریمی^۲

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست و استادیار، گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: Amiraliboroumand@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Reviewing lessons learned from studies of "soft" and "hard" water resources management strategies is one of the most important tasks of environmental researchers. The current research, with a qualitative approach based on the paradigm of social interpretation, using the "synthesis research" method, investigated the ecological, economic, and social effects of implementing water transfer projects. The studied population was all the studies in the last two decades evaluating the effects of water transfer projects in Iran and the world in Persian and English languages and the sample population considering the two key criteria of "maximum diversity" and "reaching the theoretical saturation point" in addition to applying restrictions such as the year of publication. Accurate to the topic in the title, abstract or keywords, research quality, and relevance of the reviewed papers, the sample of the current research was determined 59 articles. Then the text of these articles was carefully examined and in three stages of coding. The findings of the research showed that the most important ecological effects of these projects are the "drying up of springs and lakes", "drop in underground water level and intensification of land subsidence" and "decrease in land potential for agricultural activities". The most important social effects of these plans are "increasing social anxiety", "decreasing social security", "weakening social networks", "increasing migration to metropolises" and "losing trust towards officials". Also, the most important economic effects of these plans are "increasing economic losses due to the destruction of natural resources and the environment", "reducing the economic well-being of villagers" and "reducing animal husbandry capacity". To validate the findings, direct quotations from the text of the selected articles were used. In the last stage, the axial, and selective codes led to the presentation of the conceptual schema of the current research, and the final conceptual model was reviewed by 4 experts and finalized after modification.

Keywords: Evaluation of Development Impacts, Inter-Basin Water Transfer, Sustainable Management of Water Resources, Sustainable Regional Development.

چکیده

مرور درس‌آموخته‌های حاصل از مطالعات راهبردهای «نرم» و «سخت» مدیریت منابع آبی از مهمترین کارویژه‌های محیط‌پژوهان به‌شمار می‌رود. پژوهش حاضر با رویکرد کیفی مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایی اجتماعی، با استفاده از روش «سنتز پژوهی»، اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی اجرای طرح‌های انتقال آب را بررسی نمود. جامعه مورد مطالعه، پژوهش‌های ارزیابی اثرات طرح‌های انتقال آب در ایران و جهان به زبان‌های فارسی و انگلیسی در دو دهه قبل بود که نمونه‌گیری از آن با در نظر گرفتن دو معیار کلیدی «حداکثر تنوع» و «رسیدن به نقطه اشباع نظری» در کنار اعمال محدودیت‌هایی نظیر سال انتشار، اشاره دقیق به موضوع در عنوان، چکیده و یا واژگان کلیدی، کیفیت تحقیق و مرتبط بودن، ۵۹ مقاله تعیین شد. سپس متن مقالات به دقت بررسی و در سه مرحله کدگذاری شد. یافته‌های پژوهش نشان داد مهمترین تأثیرات بوم‌شناختی این طرح‌ها عبارتند از «خشک شدن چشمه‌ها و نابودی دریاچه‌ها»، «افت تراز آب زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین» و «کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی». مهمترین تأثیرات اجتماعی این طرح‌ها «افزایش اضطراب اجتماعی»، «کاهش امنیت اجتماعی»، «تضعیف شبکه‌های اجتماعی»، «افزایش مهاجرت به کلانشهرها» و «اعتمادزدایی نسبت به مسئولان» است. همچنین مهمترین تأثیرات اقتصادی این طرح‌ها عبارتند از «افزایش خسارت‌های اقتصادی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست»، «کاهش رفاه اقتصادی روستاییان» و «کاهش ظرفیت دامپروری». برای اعتبارسنجی یافته‌ها، از نقل قول‌های مستقیم متن مقالات برگزیده استفاده شد. در مرحله آخر، کدهای محوری و گزینشی منجر به ارائه طرح‌واره مفهومی پژوهش حاضر شد و مدل مفهومی نهایی از سوی ۴ خبره بازبینی و پس از اصلاح، نهایی‌سازی شد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی اثرات توسعه، انتقال آب بین‌حوزه‌ای، مدیریت پایدار منابع آب، توسعه پایدار منطقه‌ای.

که به طور مثبت یا منفی تحت تأثیر قرار می گیرند، شناسایی شوند (کلاهی، ۱۴۰۰). داده ها با در نظر گرفتن ساختار جوامع بومی، فرهنگ، روش های امرار معاش اصلی و معیارهای تخصصی، جمع آوری و سپس تحلیل شوند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۶). معیارهای تخصصی پنج گانه ارزیابی تطبیقی طرح های انتقال بین حوضه های در زمینه مدیریت یکپارچه منابع آب Gupta و van der Zaag (۲۰۰۸) عبارتند از:

۱. مازاد و کسری واقعی: مازاد واقعی در حوضه اهداکننده و کسری واقعی در حوضه گیرنده وجود داشته باشد که در آن مصرف آب به طور کارآمد با بهترین فناوری های موجود مدیریت و برنامه ریزی شود.
 ۲. پایداری: طرح انتقال به گونه ای طراحی شده است که از نظر جنبه های اجتماعی، بوم شناختی و اقتصادی پایدار و با مولفه های طبیعی و اجتماعی مناطق مبدأ و مقصد سازگار باشد.
 ۳. حکمرانی خوب: این طرح مبتنی بر حکمرانی خوب، تصمیم گیری مشارکتی، شفافیت و پاسخگویی به مردم است.
 ۴. تعادل حقوق موجود با نیازها: طرح انتقال به حقوق و مسئولیت های موجود در سطوح محلی، ملی و بین المللی احترام می گذارد و بدون اثرات منفی فراسرزمینی در طولانی مدت قابل اجرا است. باین وجود، اگر چنین تأثیری در فاز پایش اثرات شناسایی شود، اقدامات جبرانی کافی و احیاکننده پیش بینی شده باشد.
 ۵. بررسی همه جانبه تخصصی: برنامه طرح براساس تحلیل های هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و بوم شناختی، اقتصادی و اجتماعی به نحوی که همه اثرات، ریسک ها و شکاف های دانشی احتمالی را در خصوص گزینه های موجود و مطلوب شناسایی کرده باشد، باید پیش از تصمیم سازی در خصوص این قبیل پروژه ها انجام شود.
- محدودیت منابع آب و ثابت بودن مقدار کل آن، افزایش جمعیت و رشد اقتصاد، روند صنعتی شدن شهرها و متعاقب آن روند روزافزون رشد تقاضا در زمینه های مختلف، مجموعه ای از عوامل مرتبط به هم در حوزه مدیریت و برنامه ریزی منابع آبی کشور است (Zakeri و همکاران، ۲۰۲۲؛ Khaneiki و Al-Ghafri، ۲۰۲۲). به ویژه آن که ایران، با واقعیت خشکسالی، تغییرات اقلیمی و عدم توزیع متوازن زمانی و مکانی منابع آبی مواجه است (تیموری یگانه، ۱۴۰۱؛ بهرامی و سپری، ۱۴۰۰؛ مرتضایی فریزه نندی و همکاران، ۱۳۹۹؛ سجادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مهری و همکاران، ۱۳۹۶). باتوجه به افت سطح آب های زیرزمینی در سفره های کشور، در صورت انجام مطالعات ارزیابی کمی و کیفی اثرات در فاز صفر، احداث سد و اجرای طرح های انتقال آب برای مهار آب های سطحی می تواند نقش سازنده ای در تأمین و توسعه منابع آبی جهت مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب منطقه ایفا کند (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵). در این راستا و باتوجه به سیاست های کلان کشور در خصوص لزوم مطالعات پایه ارزیابی اثرات توسعه، هدف این پژوهش سنتز پژوهی یافته های طرح های مطالعات ارزیابی اثرات بوم شناختی، اقتصادی و اجتماعی

بحران آب، تبعات و راهبردهای مقابله با آن، سال ها به عنوان یک مسئله پیچیده، چندبعدی و کلیدی در سطح جهانی پژوهش و بررسی شد (Ling، ۲۰۲۲؛ Gulati و Banerjee، ۲۰۱۶). در ایران نیز دست کم در دو دهه اخیر، بحران آب در کانون توجه پژوهشگران قرار داشته است (بهرامی و سپری، ۱۴۰۰؛ پوراقبالی و همکاران، ۱۳۹۹؛ کریمی، ۱۳۹۷؛ کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج این پژوهش ها حاکی از آن است که این بحران همواره تأثیرات شدید و فاجعه باری بر فعالیت های حیاتی انسانی، معیشت جوامع بومی و توسعه پایدار محلی خاصه در مناطق آسیب پذیر و شکننده کشور داشته و ناکارآمدی روش های برنامه ریزی و مدیریتی کنونی بر دامنه بحران آب در ایران افزوده است (Zhuang، ۲۰۱۶).

جوامع مختلف به میزان متفاوتی تحت تأثیر بحران های آب و محیط زیست قرار می گیرند (Hrabok و همکاران، ۲۰۲۰؛ Barnwell و همکاران، ۲۰۲۰؛ Doherty، ۲۰۱۸؛ Berry و همکاران، ۲۰۱۸). با این حال، روستاها معمولاً جز آسیب پذیرترین جوامع به شمار می روند (غنیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ قنبری و بیاد، ۱۳۹۵؛ قنبری، ۱۳۹۲) چرا که زندگی و معیشت بسیاری از مردم روستا نشین کاملاً به وضعیت آب و محیط زیست بستگی دارد و نگرانی و حساسیت آن ها نسبت به وضعیت منابع و نحوه مدیریت و برنامه ریزی آن کاملاً منطقی است (Barnwell و همکاران، ۲۰۲۰؛ Clayton و همکاران، ۲۰۱۷).

آسیب های وارد شده به کشور بر اثر پیامدهای ناشی از وقوع تنش های آبی گذشته، خود بیان کننده نداشتن آمادگی کافی در برابر این چالش است (غنیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۵). از این رو باتوجه به تشدید پیچیدگی و دشواری مسئله تنش های آبی در کشور، تغییرات اقلیمی و استفاده نادرست از منابع آبی، متخصصان مجموعه ای از راهبردهای سازه ای (سخت)^۱ و غیرسازه ای (نرم)^۲ ترمیمی را در راستای مدیریت مقابله با تنش های آبی ارائه کردند (Faúndez و همکاران، ۲۰۲۲؛ وصال و تجربی، ۱۳۹۸). از جمله مهمترین رویکردهای سازه ای مدیریت منابع آبی و برنامه ریزی برای مواجه با تنش های آبی، سدسازی و انتقال آب بین حوزه های^۳ است (داودی و نبیونی، ۱۳۹۹). باین وجود، نحوه مکانیابی این پروژه ها، کیفیت اجرا و اثرات پیش، حین و پس از اجرای آن ها بر محیط زیست طبیعی و انسانی همواره با ابهامات و انتقادات فراوانی مواجه بوده است (تیموری یگانه، ۱۴۰۱).

یکی از الزامات کارشناسی و روش های تخصصی کاهش اثرات منفی ناشی از اجرای پروژه های سدسازی و طرح های انتقال آب، انجام مطالعات ارزیابی اثرات اقتصادی-اجتماعی^۴ در فاز صفر (پیش از انجام پروژه) برای کمک به شناخت همه جانبه پیامدهای پروژه، سیاست گذاری اصولی، برنامه ریزی پایدار و تصمیم سازی منطقی است (Peng و همکاران، ۲۰۲۰). در این فرآیند باید ابتدا گرودارانی^۵

پروژه‌های انتقال آب است. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به ترسیم تصویری واقعی و چند بعدی از تأثیرات اقتصادی-اجتماعی پروژه‌های انتقال آب و تصمیم‌گیری بهتر در این زمینه کمک کند.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر مبتنی بر استفاده از روش سنتزپژوهی است که این روش شامل ترکیب ویژگی‌ها و عوامل خاص ادبیات تحقیق است و در برخی موارد از آن به عنوان فراتحلیل کیفی یاد می‌شود. این روش سعی دارد تحقیقاتی را که پوشش می‌دهد، تحلیل کرده و تناقضات موجود در ادبیات آن را حل کند و ضمن یکپارچه کردن نتایج، موضوعات اصلی را نیز برای تحقیقات آینده مشخص نماید. در این روش، یافته‌های مطالعات مختلف و متنوع که با سوالات اصلی مطالعه سنتزپژوهی همسو هستند گردآوری و در قالب یک کل منسجم ادغام می‌شوند و کل دانش حاصل در قالبی متناسب با نیازهای کنونی، مورد ارزیابی، سازماندهی مجدد و تفسیر قرار می‌گیرد. در این روش، کنار هم قرار دادن دانش‌های قبلی مد نظر محقق نیست؛ بلکه بر ترکیب موثر یافته‌های گوناگون در چارچوبی مشخص که مولد روابطی جدید است، تأکید می‌شود (کاوایی و نصر، ۱۳۹۷).

یکی از مهمترین ویژگی‌های روش سنتزپژوهی تمرکز آن بر منابع دست اول^۶ است. منابع دست اول، منابع نزدیک به یک واقعه هستند که رعایت آن‌ها در گزارش، تحلیل، پژوهش و مقاله و کتاب باعث افزایش اعتبار و ارزش اثر می‌شود. منابع دست اول، مطالعات، نوشته‌های نخستین یک نظریه‌پرداز، پژوهشگر یا شاهد زنده در یک واقعه است. این منابع دربرگیرنده تمام گزارش پژوهش، یک نظریه یا بیانیه‌های یک ناظر است. به همین دلیل مفصل و در برخی موارد بسیار فنی است. در بررسی پدیده مورد مطالعه یک شاهد عینی نمودی از یک منبع دست اول است. یا گزارش‌های نهادهای متولی امر به عنوان منابع دست اول شناخته می‌شوند. در این روش، در گام نخست باید منابع و مقاله‌های مرتبط با موضوع شناسایی شود. برای این منظور می‌توان از پایگاه‌های داده معتبر مانند ساینس دایرکت^۷، امرالد^۸، اشپرنگر^۹ یا وب‌آوساینس^{۱۰} استفاده کرد. داده‌های اصلی و نتایج مطالعات به دقت مورد بررسی قرار می‌گیرد. این گام کمک می‌کند تا پژوهشگر به صورتی فراگیر و نظام‌مند یک بازنگری دقیق و ژرف انجام دهد. یافته‌های پژوهشی به نوعی یکپارچه می‌شود تا پدیده مورد بررسی، نتایجی بیش از مجموع اجزایش حاصل کند (خنیفرو و مسلمی، ۱۴۰۲).

گام بعدی دسته‌بندی کدهای شناسایی شده است. این گام مشابه با کدگذاری باز، بسته و محوری^{۱۱} در نظریه Strauss و Corbin است. در این گام کدها، مقوله‌ها و مفاهیم چنان ترکیب، یکپارچه و تلخیص می‌شوند که به صورتی روشن به فهم بهتر پدیده مورد مطالعه منجر شوند.

در پژوهش حاضر گام‌های زیر پیموده شد: گام ۱) تعیین معیارهای ورود^{۱۲}: در گام نخست معیارها و ویژگی‌هایی تعریف شد که براساس آن یک مطالعه شایسته بررسی باشد. به این ترتیب در میان انبوهی از مقاله‌ها، مقاله‌های هدف براساس سال انتشار، اشاره دقیق به موضوع در عنوان، چکیده و یا واژگان کلیدی مشخص شدند.

گام ۲) جستجو^{۱۳}: در این گام مقاله‌هایی که به صورت بالقوه واجد شرایط بررسی و تحلیل بودند شناسایی شدند تا هدف اصلی مطالعه حاضر یعنی دستیابی به یک منبع بزرگ برای شناخت اثرات اقتصادی-اجتماعی طرح‌های انتقال آب به دست آید.

گام ۳) غربالگری^{۱۴}: مقاله‌های منتخب براساس معیارهای ورودی ارزیابی و مقاله‌های واجد شرایط انتخاب شدند.

گام ۴) کدگذاری^{۱۵}: کدگذاری متن مقاله‌ها در سه مرحله کدگذاری باز، بسته و محوری صورت گرفت. تمرکز اصلی کدگذاری با یافته‌ها و منابع دست اول بود بنابراین بخش یافته‌ها و نتایج و پیشنهادها مقاله‌های برگزیده به دقت بررسی شد.

گام ۵) ارزیابی^{۱۶}: در این گام کدهای شناسایی شده بر اساس دو معیار کلی کیفیت و مرتبط بودن (متناسب با هدف بودن) مورد تحلیل و واکاوی انتقادی قرار گرفتند. به این ترتیب مجموعه کدهایی انتخاب شدند که با هدف پژوهش سازگار بودند.

گام ۶) سنتز^{۱۷}: سنتز همان هدف نهایی این شیوه از تحلیل است. در این گام همه کوشش‌های پژوهشگر به ایجاد و ساخت یک مفهوم گسترده و فراگیر منجر شد تا با نگاهی مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایانه و استقرایی با تفسیر مباحث خرد، شناختی بزرگتر و گسترده‌تر حاصل شود.

باتوجه به این که این مطالعه ناظر بر وجوه پیچیده و پنهان تبعات اجتماعی-اقتصادی طرح‌های انتقال آب است، استفاده از روش سنتزپژوهی و ابزار چک لیست‌های گزینش، غربالگری و تحلیل محتوایی مقالات برگزیده، پژوهشگران را به فهم عمیق‌تر این پدیده رهنمون می‌کند. این روش بدون تحمیل مفاهیم یکنواخت و پیش‌دانسته‌های یکسان، امکان توصیف واقعیت اجتماعی به کمک یک کل فراگیر و جامع را فراهم می‌کند (کاوایی و نصر، ۱۳۹۷)؛ بنابراین، پژوهش حاضر در پی آن است تا آن چه را در فضای پرتنش طرح‌های انتقال آب می‌گذرد، از منظر یافته‌های دقیق علمی شناسایی و توصیف کند. ازسوی دیگر، به دلیل این که مطالع میدان یاد شده به فهم فرایندهای رخ داده در قالب الگوهای منظم نیازمند است، از «سنتز ترکیبی» به منزله فن اجرای کار استفاده شده است؛ زیرا تحلیل داده‌ها به قصد شناسایی فرایند، بسته‌ها، تعاملات و پیامدها را شناسایی می‌کند. این روش امکان درک عمیق و همه‌جانبه از واقعیت‌های علمی مرتبط را برای پژوهشگر فراهم می‌کند تا بتواند دلالت‌های معنایی پدیده مورد بررسی را آن گونه که هست، توضیح دهد.

نمونه‌گیری مطالعه حاضر به سمت دستیابی به «اشباع نظری»^{۱۸} و «حداکثر تنوع»^{۱۹} در یافته‌ها پیش رفته و نهایتاً منجر به گزینش مقاله‌های نهایی جهت مرور و سنتز شده است. در این پژوهش نیز پس از مطالعه ۲۳ مقاله مقدماتی، کار کدگذاری آغاز و برحسب کدهای اولیه و مقولات ابتدایی، نقاط خالی معمای نظری شناسایی شد. این تحقیق، در نمونه‌های دیگر به دنبال مقالاتی بود تا مفاهیم را غنی کند و این فرایند برای اعتبار بیشتر به سمتی رفت که معیارهای متعددی در انتخاب نمونه‌ها لحاظ شوند. پژوهشگر با جست‌وجوی عبارات مرتبط به ۵۶۹ سند مطالعاتی دست پیدا کرد. سپس در غربالگری بر پایه

مرتبط بودن عنوان مقاله با اهداف پژوهش به ۳۴۰ و بر پایه غربالگری میزان مرتبط بودن محتوای چکیده به ۲۵۴ مقاله مرتبط دستیافت. در پایان، با غربالگری بر پایه مطالعه سریع متن مقالات بر پایه میزان مرتبط بودن محتوا با هدف پژوهش، ۱۰۲ مقاله انتخاب و بازبینی شد.

یافته‌ها

یافته‌های حاصل از سنتز پژوهی اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب

کد محور ^{۲۳}	کد بسته ^{۲۱}	کد باز ^{۲۰}
تبعات محیط‌زیستی	خشک شدن چشمه‌ها و دریاچه‌ها	خشک شدن دریاچه‌های آب شیرین و آب شور
	افت تراز آب زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین	تشدید مخاطره نشست زمین کاهش تراز آب سفره‌های زیرزمینی
	کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی	شورشدن خاک زمین‌های کشاورزی منطقه کاهش سطح زیر کشت کاهش بازده محصولات کشاورزی منطقه
	افزایش اضطراب اجتماعی	محرومیت زایی و کاهش رفاه اجتماعی افزایش خشونت‌ورزی و تمایل به نزاع و درگیری افزایش اضطراب، ترس و تنش‌های روحی-روانی کاهش شادی و سرزندگی
تبعات اجتماعی	کاهش امنیت اجتماعی	تضعیف امنیت اجتماعی ایجاد بستر توسعه جرم و جنایت افزایش مهاجرت و حاشیه‌نشینی روستاییان افزایش فقر و تقویت انگیزه‌های بزهکاری اجتماعی ناشی از آن
	تضعیف شبکه‌های اجتماعی	کاهش تعهد مردم محلی به قوانین و مقررات رواج فرهنگ غیربومی بر اثر حضور پیمانکاران غیربومی در منطقه کاهش سرمایه‌ها و تضعیف شبکه‌های اجتماعی افزایش منازعات و تعارضات میان پیروان ادیان و مذاهب کاهش انگیزه مشارکت در مدیریت منابع آبی
	افزایش مهاجرت به شهر	تضعیف حس تعلق مکان روستاییان افزایش شیب مهاجرت روستا به شهر تضعیف عدالت محیط‌زیستی
	اعتمادزدایی نسبت به مسئولان	نابودی میراث فرهنگی، چشم‌اندازها و مناظر تفرجگاهی محلی بر اثر لوله‌گذاری طرح انتقال آب کاهش حس هویت محلی و ملی کاهش اعتماد عمومی به مسئولان استان و حاکمیت کلان کاهش اعتماد بین مردم و مسئولان محلی (شهرستان) کاهش تمایل به مشارکت سیاسی کاهش کنش‌های محیط‌زیست و تضعیف تشکلهای مدنی

کد باز	کد بسته	کد محوری
افزایش بهره‌کشی از منابع طبیعی و محیط‌زیست		
افزایش خسارت‌های مالی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست		
افزایش خسارت‌های ناشی از آلودگی‌های محیط‌زیستی (خاک، هوا، آب و منظر)	افزایش خسارت‌های اقتصادی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست	
افزایش رسوب‌گذاری		
افزایش فرسایش خاک		
شور شدن اراضی دو طرف کانال‌های انتقال		
کاهش حضور گردشگران و افت درآمدهای ناشی از آن در فضای روستا	کاهش رفاه اقتصادی روستاییان	تبعات اقتصادی
کاهش درآمدهای جاری و تضعیف وضعیت اقتصادی ساکنان روستا		
اشتغال‌آفرینی پایدار و افزایش درآمد اقتصادی		
کاهش ظرفیت تولید علوفه		
کاهش امکان تامین پایدار علوفه در اراضی	کاهش ظرفیت دامپروری	
افت کیفی و کاهش توان مراتع		
تلف شدن دام‌ها بر اثر سقوط در کانال انتقالی		

این مناطق متزلزل می‌شود و حقوق نسل حاضر و نسل آینده در معرض تعرض و تجاوز قرار می‌گیرد. همچنین باتوجه به بنیادی بودن مقوله آب، در عوض کاهش منابع آبی می‌بایست رویکرد توسعه‌ای مدنظر ارائه‌دهندگان چنین طرح‌هایی قرار گیرد و به دنبال پاسخ‌گویی نیازهای فعلی بدون به خطر انداختن حقوق و توانایی محیط‌زیست نسل آینده باشند.»

در این زمینه در ادبیات تخصصی «افت پتانسیل سرزمین، خشک شدن چشمه‌ها و نابودی دریاچه‌ها»، «افت تراز آب زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین» و «کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی» از سایر خسارات محیط‌زیستی طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای برجسته‌تر شده است.

- **افت پتانسیل سرزمین، خشک شدن چشمه‌ها و نابودی دریاچه‌ها**
یکی از چالش‌های جدی در طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای وجود پیامدهای گوناگون است که به علت نقش و اثربخشی متفاوت هر یک از آن‌ها در اجرا، مشکلات زیادی را در زمینه محیط‌زیستی خصوصاً افت پتانسیل سرزمین به وجود می‌آورد. امیرنژاد و همکاران (۱۳۹۹) بیان کردند «از دیدگاه محیط‌زیستی، طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای می‌تواند موجب کاهش آب‌های سطحی و افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی در مبدأ، نابودی حیات باتلاق‌ها و تالاب در پایین‌دست آبخیزهای مبدأ، ناپایداری اکوسیستم رودخانه و تغییر رژیم رودخانه‌ها در مبدأ، تخریب زیستگاه‌های حیات وحش و کاهش تنوع زیستی گیاهی و جانوری در مسیر انتقال، کاهش حق آبه‌های محیط‌زیست در مبدأ، تغییر نوع الگوی کاربری اراضی در مقصد، تخریب چشم‌انداز طبیعی در مبدأ و مسیر انتقال شود.»
انتقال آب بین حوزه‌ای می‌تواند موجب خشک شدن چشمه‌ها و

در ادامه گویه‌های پشتیبان کدهای محوری و گزینشی پژوهش حاضر ارائه شده است.

- اثرات محیط‌زیستی

انتقال میان‌حوضه‌ای آب، یکپارچگی اکولوژیکی حوضه‌های آبی یعنی توانایی این بوم‌سیستم‌ها در حفظ و پایداری کارکردهای حیاتی و کلیت یکپارچه خود را تهدید می‌کند. چراکه هرگونه کاهش یا افزایش مصنوعی آب یک حوضه آبی باعث اختلال فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در اکوسیستم آن می‌شود. انتقال آب به دلیل پیچیدگی اکوسیستمی و تأثیر متقابل عوامل مختلف محیطی می‌تواند یکپارچگی اکولوژیکی حوضه آبی را مختل کرده و آثار پیش‌بینی نشده‌ای در برداشته باشد و در نهایت باعث می‌شود تا این اکوسیستم توانایی بازچرخانی آب را از دست بدهد. انتقال آب از یک حوضه حقایبه تالاب‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی وابسته به آن حوضه را کاهش می‌دهد و بحران اکولوژیک تالاب را رقم می‌زند. در جریان انتقال آب از طریق احداث کانال‌ها و لوله‌های انتقال، همواره حجم قابل توجهی از آب به دلیل تبخیر، رسوب و نفوذ در خاک و یا انتقال نامناسب آب به هدر می‌رود (فریادی، ۱۳۹۷).

مالکی شهرکی و ربیعان (۱۴۰۲) در ارزیابی آثار طرح انتقال آب بهشت آباد بیان کردند: «مطالعات طرح انتقال آب میان حوضه‌ای بهشت آباد حاکی از کاهش سطح ایستابی آبخوان‌های حوضه مبدأ در طول زمان است، به‌طوری‌که کاهش ظرفیت آبخوان‌ها و به خطر افتادن منابع آب، خسارات غیرقابل جبرانی را بر منطقه می‌گذارد و می‌تواند منتهی به خشکسالی‌های متمادی و به هم خوردن تعادل کمی و کیفی منابع آب آبخوان‌ها شود. باتوجه به این اثرات منفی و زیان‌بار حاصل از برداشت غیر اصولی آب برای آبرسانی از طریق تونل بهشت‌آباد، حق حیات، که از نسل اول حقوق بشر است، در

دریاچه‌ها شود. امامی (۱۳۹۱) در خصوص چالش‌های زمین‌شناختی اجرای پروژه ملی انتقال آب بهشت آباد به فلات مرکزی ایران بیان کرد: «عبور مسیر تونل از مرز پهنه‌های زمین ساختی زاگرس مرتفع و سهند- سیرجان که در بر دارنده ۱۰ سیستم گسلی با بیش از ۲۵ شاخه اصلی و بیش از همین تعداد گسل فرعی می‌باشد همراه با کارستیفیکاسیون گسترده سازند سروک (دوران دوم زمین‌شناسی)، موجب برهم خوردن تعادل هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستیک و حتی آبرفتی شرق استان شده و خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌های کارستیک مهمی مانند چشمه سلم، پل تلفریک و چشمه آب شرب روستای سلم، چشمه وقت و ساعت ولری، چاه آب شرب فرخ شهر و منابع آب دشت شهرکرد و خراجی را موجب خواهد شد.» همچنین خلیلی و همکاران (۱۳۹۱) بیان کردند «انتقال بی‌رویه آب از حوضه زاب به دریاچه ارومیه نتایج مخربی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه زاب و محیط‌زیست منطقه خواهد گذاشت.»

- افت تراز آب زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین

برای غلبه بر کمبود آب، انتقال بین حوضه‌ای آب از طریق مرزهای بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و محلی، برای تأمین افزایش تقاضا در بخش کشاورزی، صنعت، برق آبی، خانگی و محیط‌زیست، به‌منظور توسعه اقتصادی و اجتماعی انجام می‌شود (میرسدادات و همکاران، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر تشدید پدیده خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچه ارومیه در شمال‌غرب ایران و بروز بحران در این منطقه شده است. لذا به‌منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانه زاب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرار گرفته است که باوجود رفع برخی کمبودها می‌تواند منشأ تغییرات زیادی در حوضه‌های مبدأ و مقصد خصوصاً در بعد اجتماعی باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵).

قتواتی و همکاران (۱۳۹۴) با تأکید بر تأثیر معنی‌دار انتقال آب بین‌حوزه بر تخریب محیط‌زیست با تشدید افت سطح آب‌های زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین، بیان کردند: «نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روند افت تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در پایین‌دست سد سیلوه، در دوره پس از انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه تشدید خواهد شد. به‌طوری‌که بعد از اجرای پروژه تراز آب زیرزمینی تا ۲/۹۲ متر کاهش خواهد یافت در که آب‌های زیرزمینی منطقه از یک روند کاهشی ۴۳/۳ سانتیمتر در سال برخوردار است و این می‌تواند بحران را تشدید نماید. از آنجایی‌که یکی از واکنش‌های طبیعی در برابر کاهش تراز آب زیرزمینی، نشست زمین است، از طرف دیگر دشت پیرانشهر بر رسوبات جوان آبرفتی مربوط به دوره کواترنز منطبق است، پیش‌بینی می‌شود حاشیه شمالی و غربی دشت که منطبق بر رأس مخروط افکنه‌ها و رسوبات دانه درشت است، نشست زمین به‌صورت ناگهانی و پایین‌دست دشت که منطبق بر قاعده مخروط افکنه‌ها و رسوبات مارن و رس است

نشست زمین به‌صورت تدریجی خواهد بود. همچنین با استناد به گسل‌های فراوان ازجمله گسل سرتاسری زاگرس که از جنوب آبخوان پیرانشهر می‌گذرد، پیش‌بینی می‌شود نشست زمین و ایجاد شکاف در این بخش از حوضه افزایش یابد.»

یکی از پیامدهای انتقال آب بین حوضه‌ای کاهش حجم جریان‌ات سطحی در حوضه مبدأ است. Christian و Lansheng (۱۹۹۹) و Shao و همکاران (۲۰۰۳) هرکدام در پژوهش‌های جداگانه‌ای به بیان مشکلات محیط‌زیستی پروژه انتقال آب از جنوب به شمال شامل رودخانه یانگ تسه و حوضه رودخانه زرد در کشور چین پرداخته و به این نتیجه رسیدند که پروژه انتقال آب از جنوب به شمال چین موسوم به مسیر میانه، باعث بروز مشکلات متعدد محیط‌زیستی خصوصاً در ابعاد زمین‌شناختی شده است. این پروژه باعث شور شدن و باتلاقی شدن خاک ناشی از بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در اثر نشت کانال در حوضه مقصد و فرونشست سطحی، سقوط و شکاف زمین در حوضه مبدأ شده است.

Knapp و همکاران (۲۰۰۳) با ارزیابی تجربی اثرات انتقال آب بر سیستم مخازن آب زیرزمینی و تولیدات کشاورزی در منطقه کرن واقع در ایالت کالیفرنیا دریافتند، از آن‌جایی‌که بسیاری از مناطق کشاورزی به شدت به سفره‌های آب زیرزمینی متکی هستند، انتقال آب‌های سطحی از این مناطق به خارج از حوضه به‌منظور استفاده شهری و محیط‌زیستی موجب افزایش برداشت از آبخوان و به تبع تشدید افت تراز آب زیرزمینی خواهد شد. درحالی‌که اجرای طرح، تغذیه مجدد آن را کاهش خواهد داد. آن‌ها دریافتند مدیریت اقتصادی کارآمد تنها در شرایطی خاص می‌تواند برخی از عواقب نامطلوب انتقال آب را کاهش دهد.

آتشخوار و همکاران (۱۳۹۱) وضعیت آبخوان‌هایی پرداختند که تحت تأثیر پروژه انتقال آب از سرشاخه‌های رود کارون به مناطق مرکزی ایران از طریق تونل بهشت آباد قرار می‌گیرند را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد دشت‌های شهرکرد، کیار شلمزار و جونقان که در محل برخورد تونل می‌باشند، شرایط بحرانی دارند به گونه‌ای که حفر تونل بهشت‌آباد ۶۶ میلیون مترمکعب در سال از آبدهی چشمه‌ها و قنوات موجود در محدوده مسیر تونل خواهد کاست و این امر موجب کاهش آبدهی چاه‌های آب دشت‌های مذکور به میزان ۵۰ میلیون مترمکعب در سال شده و احتمال نشست زمین را افزایش می‌دهد. تیموری یگانه (۱۴۰۱) نیز در این خصوص افزود: «ارزیابی‌های صورت گرفته در ارتباط با اثرات انتقال آب بر منابع آب زیرزمینی و تولیدات کشاورزی در منطقه کرن واقع در ایالت کالیفرنیا نشان داد، بسیاری از مناطق کشاورزی به شدت به سفره آب زیرزمینی متکی بوده و انتقال آب سطحی از این مناطق به خارج از حوضه به‌منظور تأمین آب شهری و محیط‌زیستی موجب افزایش برداشت از آبخوان و پیرو آن تشدید افت تراز آب زیرزمینی خواهد شد.»

- کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی

قنواتی و همکاران (۱۳۹۴) با تأکید بر تأثیر معنی‌دار انتقال آب بین حوزه بر تخریب محیط‌زیست با کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی، بیان کردند: «علاوه بر مخاطره نشست زمین، کاهش تراز آب زیرزمینی دشت‌های مبدأ انتقال آب بین حوزه‌ای می‌تواند اثرات منفی بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی بسیار دیگری در قالب خشک شدن چشمه‌ها، شور شدن خاک زمین‌های کشاورزی منطقه، کاهش سطح زیر کشت و به تبع آن کاهش بازده محصولات کشاورزی منطقه و در نهایت مهاجرت مردم به علت کاهش منبع درآمد، در حوضه مبدأ را به همراه داشته باشد. شغل اکثر ساکنان این منطقه کشاورزی است و حیات آن‌ها وابسته به جریان رود زاب و آب‌های زیرزمینی منطقه است.»

- اثرات اجتماعی

انتقال آب به لحاظ اقتصادی هنگامی توجیه‌پذیر است که منافع اقتصادی بهره‌برداری از آب در حوضه پذیرنده بیشتر از حوضه فرستنده باشد. با این حال هزینه‌های اجتماعی نیز در انتقال آب نیز باید ارزیابی شوند. هزینه‌های اجتماعی انتقال آب هزینه‌هایی هستند که مصرف آب توسط یک بازیگر یا گروهی از گروه‌داران برای دیگران به بار می‌آورد. مانند هزینه‌های مصرف آب کشاورزی برای استفاده‌کنندگان شهری یا هزینه‌هایی که بر نسل‌های آینده تحمیل می‌شود. یکی از مهمترین این هزینه‌ها اجبار ساکنان یک منطقه به جابجایی و تغییر در محل سکونتگاه‌ها به دلیل انتقال آب است. اجبار ساکنان به جابجایی، فشارهای اجتماعی سنگینی بر این افراد و تغییر سبک زندگی آنان تحمیل می‌کند. در این خصوص فریادی (۱۳۹۷) تأکید می‌کند: «کاهش درآمد و فرصت‌های شغلی مرتبط با آب در حوضه فرستنده به دلیل کاهش آب لازم برای فعالیت‌های کشاورزی مشاغل تجاری وابسته به آب از مشکلات اجتماعی دیگر انتقال آب است. بدون ارزیابی آثار اجتماعی طرح‌های انتقال آب و مشورت با مردم متأثر از این طرح‌ها، مشکلات اجتماعی ناشی از این طرح‌ها شدت فزاینده‌ای خواهند یافت چراکه به دلیل اطلاع‌رسانی ناکافی، بی‌توجهی به دیدگاه‌های مردم متأثر از انتقال آب و مشورت نکردن با آنان در خصوص اجرای طرح‌ها و توزیع نادرست منافع حاصل، نوعی نارضایتی و بی‌اعتمادی در میان مردم زیان‌دیده از انتقال آب رواج می‌یابد.»

در این زمینه در ادبیات تخصصی «افزایش اضطراب اجتماعی»، «کاهش امنیت اجتماعی»، «تضعیف شبکه‌های اجتماعی»، «افزایش مهاجرت به کلانشهرها» و «اعتمادزدایی نسبت به مسئولان» از سایر خسارات اجتماعی طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای برجسته‌تر شده است.

- افزایش اضطراب اجتماعی

در گزارش‌های پژوهشی مورد بررسی از پیامدهای طرح‌های انتقال

آب در پژوهش حاضر، سدها عمدتاً به‌عنوان یک مخزن در نظر گرفته شده و وزارت نیرو تاکنون در جهت تخصیص حقایق‌های جدید به روستایی‌هایی که خط لوله قرار است از اراضی آن‌ها عبور کند، کمتر اقدامات ملموس انجام داده است. آگاهی مردم از این مسئله در کنار تنش‌های همیشگی و منازعات دائمی که بر سر منابع آبی در این منطقه وجود داشته، موجب کاهش شادی و سرزندگی، بروز نگرانی، اضطراب و دلهره در مردم محلی شده است. به‌عنوان مثال تیموری یگانه (۱۴۰۱) در واکاوی تجربه پروژه‌های انتقال بین‌حوزه‌ای آب در چین بیان کرد: «تغییر در اکوسیستم در اثر اجرای پروژه‌های انتقال آب باعث آلودگی‌های آب، گسترش بیماری، افزایش بیکاری، افزایش فقر، منازعات اجتماعی و افزایش مهاجرت شد.» که برون‌داد همه این موارد کاهش شادی و سرزندگی و افزایش تنش و اضطراب اجتماعی خواهد بود.

- کاهش امنیت اجتماعی

خشک‌سالی‌های سال‌های اخیر، افت سفره‌های آب زیرزمینی، خشک شدن رودخانه‌های دائمی و فصلی محلی و سدسازی‌های گسترده در سطوح محلی تا جهانی موجب تهدید کشاورزی و دامداری به‌عنوان اصلی‌ترین روش‌های امرار معاش جوامع محلی شده و از این‌رو امنیت و ثبات محلی را با تشدید فقر، بیکاری و زمینه‌سازی توسعه بزهکاری، تهدید کرده است. جعفری آزاد و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه پیامدهای اجتماعی طرح‌های توسعه و انتقال آب با تأکید بر مفهوم عدالت در استان چهارمحال و بختیاری بیان می‌کند: «آب در سرزمینی همچون ایران یک کالای رقابتی محسوب می‌شود، هر چند که ماهیتی ملی داشته باشد. از گذشته تاکنون بین بهره‌برداران در بالادست یک منبع آب و پایین‌دست آن رقابتی برای استفاده بیشتر از آن وجود داشته است، اما هم‌اکنون یک رقیب تازه و قدرتمند پا به عرصه رقابت برای بهره‌مندی از آب پا به میدان گذاشته که دولت نیز از آن حمایت می‌کند و آب را از سرچشمه‌ها به کیلومترها آن طرف‌تر منتقل می‌کند. این امر به نحوی اتفاق افتاده که هیچ‌گونه مطالعه اجتماعی عمیق و دقیقی در این زمینه انجام نشده است. بنابراین زمانی که آب به‌عنوان یک منبع مشترک ملی، محور رقابت بین بهره‌برداران محلی و کلانشهرهای بزرگ قرار می‌گیرد، نتیجه‌ای غیر از تنش و نزاع‌های گروهی بر سر مالکیت و انتفاع از آن نخواهد داشت. این یعنی به خطر افتادن پایداری اجتماعی و مورد تهدید قرار گرفتن انسجام و وحدت ملی.»

- تضعیف شبکه‌های اجتماعی

طرح‌های مدیریت سازه‌ای منابع آبی تغییرات زیادی در میزان برخورداری مردم از منابع آب در دسترس و با کیفیت ایجاد کرده و موجب بروز اختلافاتی در سطوح محلی شده است. این طرح‌ها باعث کاهش سرمایه‌های اجتماعی، تقلیل همبستگی اجتماعی و در نهایت تضعیف شبکه‌های اجتماعی محلی شده است. جعفری

آزاد و همکاران (۱۴۰۲) در این زمینه بیان کردند: «هم‌اکنون به وضوح در کشور قابل تشخیص است که برنامه‌ریزی‌های اقتصادی-اجتماعی که ابزار توسعه در کشور محسوب می‌شود، به هم‌گرایی اجتماعی، فرهنگی گروه‌های قومی جامعه منجر نشده، هرچند هدف برنامه‌های توسعه، واگرایی گروه‌های قومی نباشد؛ اما فقدان توسعه پایدار انسان محور در سیاستگذاری‌های اقتصادی-اجتماعی برنامه‌های توسعه، موجب واگرایی اجتماعی، فرهنگی گروه‌های قومی جامعه شده است. براین اساس، مسئله اعتراض‌های مبتنی بر قومیت در مخالفت‌ها و تنش‌های ناشی از طرح‌های انتقال آب قابل شناسایی و بررسی است. این اعتراض‌ها و تنش‌ها زمانی رنگ قومی به خود می‌گیرد که از نمادها و نشانه‌های مربوط به یک قم خاص برای اتحاد و جلب مشارکت در سازماندهی و اعتراض استفاده می‌شود. برای نمونه استفاده از اشعار حماسی قومی و آهنگ‌های ویژه برای جلب حمایت، حضور در تجمع‌های اعتراضی با لباس محلی، تهییج مشارکت‌کنندگان با اشاره و ارجاع به تاریخ دلاوری و شجاعت در قوم خاص همگی نمونه‌هایی است که در موضوع انتقال آب و اعتراض‌های پیرامون موضوع قابل بحث است.»

همچنین برخی از پژوهشگران تضعیف شبکه‌های اجتماعی بر اثر اجرای پروژه‌های انتقال بین حوزه‌ای آب را ناشی از درک نادرست و ناقص مدیران و تصمیم‌گیران از منافع و خواسته‌های گروه‌داران دانستند. تیموری یگانه (۱۴۰۱) در این خصوص بیان کردند: «درک نادرست یا محدود از گروه‌داران منابع طبیعی، به همراه عدم به‌کارگیری صحیح نقش‌ها، می‌تواند به شکست طرح‌ها و نابودی منابع طبیعی بی‌انجامد. همچنین بحث تحلیل گروه‌داران و مشارکت گروه‌داران از این جهت مهم است که امروزه ایجاد موازنه بین نیازها، خواسته‌ها و انتظارات متفاوت گروه‌داران مختلف، بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته و پیچیدگی‌های زیادی دارد. در نتیجه شناسایی، تحلیل و مشارکت گروه‌داران، اساس مدیریت مشارکتی-تطبیقی و حفاظت پایدار است.»

- افزایش مهاجرت به کلانشهرها

مردم محلی در اظهارات خود بارها به تاثیر عدم تخصیص حقا به تشدید تنش‌های آبی در منطقه و تاثیر آن بر کاهش حس تعلق مکان روستاییان و شتاب بخشی به شیب مهاجرت به کلانشهرها اشاره کردند. به عنوان مثال تیموری یگانه (۱۴۰۱) در واکاوی تجربه پروژه‌های انتقال بین حوزه‌ای آب در ایران تصریح کرد مهاجرت از روستا از به شهرها از مهمترین اثرات اجتماعی به‌شمار می‌رود. جعفری آزاد و همکاران (۱۴۰۲) بیان کردند: «وقتی صحبت از برداشت از سد زاینده‌رود و حقا به نامساوی سه استان از این سد می‌شود، آن‌ها بلافاصله مصرف برنج‌کاری‌های مسیر زاینده‌رود در لنجان، باغات پهناور غرب اصفهان و زمین‌های کشاورزی وسیع شرق اصفهان و یا برداشت دو مجموعه بزرگ فولاد مبارکه و ذوب آهن اصفهان را به میان می‌کشد و در مقابل آن‌ها خواهان حقا به

بیشتر برای توسعه باغ‌های بادام در شهر سامان و شهرکرد و توسعه صنعت در بروجن می‌شود. این احساس بی‌عدالتی چنان در ذهن او تشدید می‌شود که او سرزمین خود را تحت ظلم و ستم استان همسایه می‌پندارد و حتی از گفتن نام آن استان هم پرهیز می‌کند و آن را استان مجاور می‌نامد. درحالی‌که شمار زیادی از مردم چهارمحال [به شهر اصفهان مهاجرت کرده] در شهر اصفهان یا در شهرهای اطراف آن خانه یا آپارتمان دارند و عملاً محل دوم زندگی آن‌ها استان اصفهان است.» همچنین رجا و پارسی نژاد (۱۳۹۹) در این بیان کردند: «طرح‌های انتقال آب در حوضه مبدا می‌تواند زمینه مهاجرت مردم را فراهم آورد.»

مالکی شهرکی و ربیعان (۱۴۰۲) در ارزیابی آثار طرح انتقال آب بهشت آباد بیان کردند: «با به‌کارگیری این طرح، به‌جای کاهش جمعیت شهرهای صنعتی نسبت به سایر شهرها، در جهت افزایش جمعیت و تطور متغیرهای طبیعی شهرهای صنعتی گام برداشته‌ایم. با آبرسانی و توزیع ناهمگون آب، زمینه اشتغال و توسعه در حوضه‌های مقصد فراهم می‌شود و استان‌های مقصد در صنعت و کشاورزی و کسب درآمد پیشگام می‌شوند؛ درحالی‌که منطقه مبدا از نظر امکانات و درآمدزایی دچار کمبودهای قابل ملاحظه‌ای است و حقوق اولیه آن‌ها از جمله حق اشتغال، که در دسته نسل دوم حقوق بشر قرار دارد، تضعیف شده است. همچنین توجه به اشتغال و فقرزدایی، اهمیتی انکار نشدنی در پایداری و آینده این منطقه دارد و تحقق این مهم در مسائل اقتصادی و اجتماعی نمایان است.»

- اعتمادزدایی نسبت به مسئولان

یکی از مهمترین عوامل اثرگذار بر اعتماد مردم به مسئولین، نحوه تخصیص منابع آبی است. به‌طوری‌که در صورت عدم تخصیص حقا به کافی از منابع انتقالی، کاهش محسوسی در سطح اعتماد عمومی به مسئولان استان و حاکمیت کلان و محلی (شهرستان) رخ خواهد داد. رجا و پارسی نژاد (۱۳۹۹) در این زمینه بیان کردند: «طرح‌های انتقال آب در حوضه مبدا می‌تواند زمینه کاهش وفاق ملی را فراهم آورد.» همچنین آن‌ها بیان کردند: «در بسیاری از پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای پیامدها و عامل‌های اجتماعی اجرای طرح به‌طور جامع از آغاز قابل تشخیص و برآورد شدن نیستند و در بسیاری از حالت‌ها به طور شفاف به اطلاع عموم رسانده نمی‌شوند. این قضیه دلیل اصلی اعتراض‌های مردم به این گونه طرح‌ها است. ایجاد شفافیت در بیان هدف‌های اصلی پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای و توجیه کردن منطقی مردم برای ایجاد جو اعتماد عمومی می‌تواند نقش مؤثری در پذیرش اجتماعی این گونه طرح‌ها داشته باشد و متضمن مقبولیت و حکمرانی پایدار طرح‌های ملی است. بررسی پیامدها و دیدگاه‌های اجتماعی انتقال آب بین حوضه‌ای نشان می‌دهد اعتراض‌ها و مناقشه‌های حاصل از این گونه پروژه‌ها

بیشتر در منطقه‌های صادرکننده آب یعنی حوضه مبدأ است. لازم به ذکر است اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی برای جلب اعتماد عمومی در اجرای طرح که رویکردی منفی در حوضه مبدأ تلقی می‌شود، می‌تواند با توجیه‌پذیری طرح نتیجه‌ای جز این را به دنبال داشته باشد.»

همچنین تیموری یگانه (۱۴۰۱) در این زمینه بیان کرد: «یکی از جنبه‌های نگران‌کننده این تحولات، پنهان‌کاری در برنامه‌ریزی‌ها بوده است. به این معنی که در ابتدا، با جوامعی که مستقیماً تحت تأثیر قرار می‌گرفتند، مشورت نشد و آن‌ها از تغییرات برنامه‌ریزی شده در محیط خود نیز مطلع نشدند. همچنین جوامع بومی کوچک، آن‌هایی که در برابر تغییرات در رژیم آبی خود آسیب‌پذیرتر بودند، قادر به تأثیرگذاری بر تصمیمات یا ماهیت اساسی طرح‌های توسعه نبودند.»

- اثرات اقتصادی

طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای در عملی‌تواند منافع ساکنان پیرامون حوضه آبی فرستنده را محدود کرده و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی زیادی برای آنان دربر داشته باشد. هزینه‌های انتقال آب معمولاً در فرایند انتقال محاسبه نمی‌شوند؛ به‌ویژه هزینه‌های ناشی از تخریب محیط‌زیست و خشکسالی که اغلب در ابتدا پنهان بوده و در آینده بروز می‌کنند. در نتیجه صرفاً ساکنان پیرامون حوضه فرستنده آب و نسل‌های آینده آنان مجبور به تحمل این هزینه‌ها خواهند شد. در این زمینه فریادی (۱۳۹۷) بیان کرد: «نبود همگرایی میان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی توسعه در اجرای این طرح‌ها روند توسعه را ناپایدار ساخته و چالش‌های اقتصادی زیادی را ایجاد و تشدید می‌کند. با وجود آنکه انتقال آب می‌تواند باعث شکوفایی اقتصادی در منطقه گیرنده آب شود، اما برآورد دقیق منافع و آسیب‌های اقتصادی آن دشوار است. همچنین این طرح‌ها هزینه‌های اقتصادی زیادی تحمیل می‌کند که معمولاً محاسبه نمی‌شوند و توجیه آن‌ها و تضمین سود و برگشت سرمایه به سادگی ممکن نیست. چراکه ممکن است برخی اهداف پیش‌بینی شده در طرح به دلایلی مانند اشتباه در ارزیابی‌های فنی-اقتصادی، افزایش هزینه‌های ناشی از تأخیر در اجرای طرح، هدررفت آب در اثر تبخیر، برداشت غیر مجاز و آلودگی محقق نشوند. همچنین هزینه‌های منافع قابل دستیابی از دست رفته محاسبه نمی‌شوند. درحالی که احتمال دارد بهره‌برداری از آب در همان حوضه فرستنده مزایای اقتصادی بیشتری فراهم کند.»

در این زمینه در ادبیات تخصصی «افزایش خسارت‌های اقتصادی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست»، «کاهش رفاه اقتصادی روستاییان» و «کاهش ظرفیت دامپروری» از سایر خسارت‌های اقتصادی طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای برجسته‌تر شده است.

- افزایش خسارت‌های اقتصادی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست

اجرای طرح‌های سدسازی پیاپی، ضمن افزایش بهره‌کشی از منابع طبیعی، افزایش خسارت‌های مالی ناشی از تخریب و تکه تکه شدن زیستگاه‌های طبیعی، کاهش تنوع زیستی منطقه، تشدید خسارت‌های مالی ناشی از آلودگی‌های محیط‌زیستی، افزایش رسوب‌گذاری، شور شدن اراضی دو طرف کانال‌های انتقال آب و افزایش فرسایش خاک، باعث حفر ده‌ها حلقه چاه غیرمجاز می‌شود. علاوه بر آن به طور خاص در بعد اقتصادی هزینه‌های سنگین ساخت و ساز، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و عدم برآورد دقیق سود و هزینه از جمله پیامدهای اقتصادی این پروژه‌ها به شمار می‌رود (تیموری یگانه، ۱۴۰۱).

رجا و پارسی نژاد (۱۳۹۹) در این زمینه بیان کردند: «تمامی اثرهای ناشی از اجرای طرح‌های انتقال آب همیشه تنها با شاخص‌ها و معیارهای کمی اقتصادی قابل سنجش نیست و در نتیجه به راحتی قابل سنجش و مقایسه نیست. پیامدهای منفی اقتصادی حاصل از اجرای طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای می‌تواند شامل محدود شدن زمینه توسعه کشاورزی و در نتیجه پایین آمدن سطح اشتغال در حوضه مبدأ باشد. لازم به ذکر است ساماندهی اشتغال آب محور، یکی از موضوع‌های کلان مدیریت پایدار اقتصاد ملی است که باید توسط مدیران ارشد کشور منظور شود. پیامدهای اقتصادی یا توسعه کشاورزی در پیش و پس از اجرای طرح‌های انتقال آب می‌تواند در حوضه مبدأ منفی و در حوضه مقصد مثبت باشد. یادآوری این نکته لازم است که در باره منفی یا مثبت بودن اثرها یا پیامدهای اجرای طرح همچون وضعیت اقتصادی منطقه‌های صادر کننده و وارد کننده آب باید مبتنی بر ارزیابی دقیق و جامع پیامدهای طرح باشد و باتوجه به این که نتایج آن در هر یک از بررسی‌ها می‌تواند به طور کامل متفاوت باشد، بنابراین نمی‌توان آن‌ها را به موارد دیگر تعمیم داد. پروژه‌های انتقال آب بین حوزه‌ای در مقیاس ملی هزینه‌بر هستند و به‌عنوان یک بار اقتصادی مضاعف در مقیاس ملی محسوب می‌شوند.»

- کاهش رفاه اقتصادی روستاییان

از آن‌جاکه اقتصاد بیشتر روستاهای منطقه وابسته به منابع طبیعی هستند، دستیابی به توسعه پایدار و پایداری توسعه در این مناطق اغلب چالش‌برانگیز است. چرا که علت اتکای شدید به کشاورزی و مراتع و درآمدهای حاصل از آن و نداشتن منابع اشتغالی و درآمدی جایگزین، باعث تضعیف بنیان اقتصاد منطقه و تشدید آسیب‌پذیری آن شده است. علاوه بر آن همگی این منابع درآمدی به شدت تحت تأثیر تنش‌های آبی قرار دارند و باعث شده امنیت و رضایت شغلی و درآمدی و زمینه سرمایه‌گذاری تحت الشعاع میزان آب در دسترس باشد. همچنین ممکن است پروژه‌های انتقال آب اراضی کشاورزی و زندگی مردم را زیر آب ببرد و به آن‌ها خسارت جبران‌ناپذیری

وارد کند. تیموری یگانه (۱۴۰۱) با مرور تجربه کانادا بیان کردند: «در نتیجه پروژه انحراف چرچیل و نلسون، حدود ۲۱۳۶۸۰ هکتار زمین زیر آب رفت و هزاران نفر از مردم بومی و غیر بومی تحت تأثیر قرار گرفتند. همچنین رژیم‌های آبی هر دو سیستم رودخانه چرچیل و نلسون به‌طور چشمگیری تغییر کردند.»

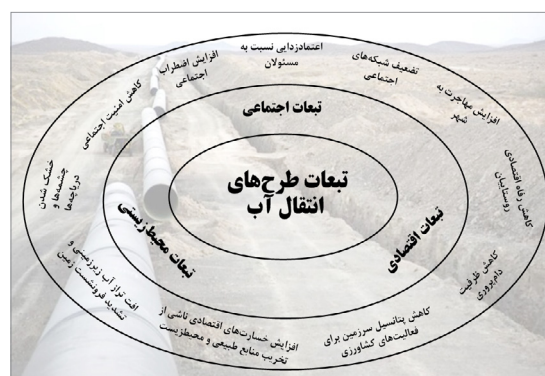
- کاهش ظرفیت دامپروری

دامداری از کلیدی‌ترین فعالیت‌های روستاییان است، اما خشکسالی‌های اخیر، حفر چاه‌های عمیق غیرمجاز و خشک شدن چشمه‌ها و رودخانه‌های محلی تأثیرات منفی گسترده‌ای بر این فعالیت برجای گذاشته است. در شرایط کنونی، مردم محلی معتقدند در صورت عدم تخصیص حقایق کافی به رودخانه‌های منطقه و دامداران، ظرفیت دامپروری منطقه بیش از پیش آسیب خواهد دید. در این زمینه نادری و کرمی دهکردی (۱۳۹۷) بیان کردند: «از دید جوامع محلی احداث سد موجب افزایش مهاجرت که منجر به حاشیه‌نشینی در اطراف شهرها شده، تضعیف مشارکت بین خانوارهای محلی و افزایش آسیب‌پذیری معیشت‌ها، به‌ویژه در فعالیت‌هایی همچون زراعت، باغداری، دامپروری و خدمات مرتبط و افزایش قیمت زمین در مناطق تحت تأثیر احداث سد خواهد شد. هرچند به اعتقاد برخی از افراد، احداث سد سبب ایجاد مشاغل گوناگونی خواهد شد. این دیدگاه‌ها به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سن پاسخگو، میزان تحصیلات، تعداد فرزندان و تعداد دام خانوارها بود. این نشان می‌دهد که پاسخگویی که سن بالاتر، تعداد دام سبک بیشتر و تعداد فرزند بیشتری دارند، تأثیر احداث سد را منفی‌تر ارزیابی کردند.»

یک نگرانی دیگر در طرح‌های انتقال آب مربوط به کانال‌های روباز پیش‌بینی شده از سوی وزارت نیرو است. چرا که حیات وحش برای نوشیدن آب، گذر کردن و یا چرا در کنار یا اطراف این کانال‌ها ممکن است به داخل این مسیرها سقوط کنند و تلف شوند.

• مدل مفهومی

مدل مفهومی پژوهش حاضر در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی سنتزپژوهی اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی طرح‌های انتقال آب

پژوهش حاضر با رویکرد کیفی مبتنی بر پارادایم تفسیرگرایی اجتماعی، با استفاده از روش «سنتزپژوهی» اثرات بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی اجرای طرح‌های انتقال آب را بررسی و مهمترین آن را برجسته نمود. یافته‌های پژوهش حاضر حاکی از آن است که مهمترین تأثیرات بوم‌شناختی این طرح‌ها عبارتند از «افت پتانسیل سرزمین، خشک شدن چشمه‌ها و نابودی دریاچه‌ها»، «افت تراز آب زیرزمینی و تشدید فرونشست زمین» و «کاهش پتانسیل سرزمین برای فعالیت‌های کشاورزی». مهمترین تأثیرات اجتماعی این طرح‌ها «افزایش اضطراب اجتماعی»، «کاهش امنیت اجتماعی»، «تضعیف شبکه‌های اجتماعی»، «افزایش مهاجرت به کلانشهرها» و «اعتمادزدایی نسبت به مسئولان» است. همچنین مهمترین تأثیرات اقتصادی این طرح‌ها عبارتند از «افزایش خسارت‌های اقتصادی ناشی از تخریب منابع طبیعی و محیط زیست»، «کاهش رفاه اقتصادی روستاییان» و «کاهش ظرفیت دامپروری». برای اعتبارسنجی یافته‌ها، از ارائه نقل قول‌های مستقیم از متن مقالات برگزیده استفاده شد. در مرحله آخر، کدهای محوری و گزینشی منجر به ارائه طرح‌واره مفهومی پژوهش حاضر شد و مدل مفهومی نهایی از سوی ۴ خبره^{۳۳} بازبینی و پس از اصلاح، نهایی‌سازی شد.

سنتزپژوهی حاضر همسو با نتایج بسیاری از مطالعات روانی-اجتماعی در حوزه روانشناسی محیط‌زیست ازجمله پژوهش‌های Adams (۲۰۲۰)، Hrabok و همکاران (۲۰۲۰)، Haltinner و Sarathchandra (۲۰۱۸) و Jylhä (۲۰۱۸) نشان داد اضطراب اجتماعی در رابطه با بحران اکولوژیکی و بحران اقلیمی در جوامع روستایی که با تنش آبی مواجه‌اند در سطوح خفیف تا شدید و به اشکال مختلف بروز می‌کند و ممکن است با اجرای طرح‌های انتقال آب این بحران‌ها تشدید شوند.

در سنتزپژوهی حاضر همسو با یافته‌های پژوهش‌های گل‌وردی (۱۳۹۶)، Szoenyi و همکاران (۲۰۱۶)، Bahadur و همکاران (۲۰۱۵)، Canetti و همکاران (۲۰۱۴)، Cabell و Oelofse (۲۰۱۲)، Lloret و همکاران (۲۰۱۱) و Hart و همکاران (۲۰۰۷) مشخص شد برآثر نبود تاب‌آوری و توان مواجهه با بحران‌های اکولوژیکی که می‌تواند محصول طرح‌های انتقال آب بین حوزه‌ای باشد، سرزندگی و نشاط در مناطق روستایی کاهش پیدا کرده است. چرا که درواقع سرزندگی، مفاهیمی چون عدالت، کارآمدی، سازگاری، انعطاف‌پذیری و کیفیت محیطی را دربرمی‌گیرد که در نهایت ره‌آورد پایداری است (Baruch و همکاران، ۲۰۱۴؛ Kark و Carmeil، ۲۰۰۹).

سنتزپژوهی حاضر همسو با نتایج مطالعات Liu و همکاران (۲۰۱۳) و Zhao و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد مشکلات هدررفت و تبخیر آب در سیستم توزیع آب بخش جدانشدنی پروژه‌های

انتقال آب است. همچنین فقدان سیستم‌های زهکشی پشتیبان یا طراحی غیر منطقی سیستم‌های زهکشی باعث تجمع و توزیع مجدد نمک در سطح اراضی می‌شود. بر این اساس، غلظت نمک در خاک اراضی حاشیه مسیر انتقال بالا می‌رود، ساختار خاک آسیب می‌بیند، عناصر غذایی از بین می‌رود و تعادل آب و خاک و آب و نمک به هم می‌خورد.

سنتز پژوهی حاضر همسو با نتایج مطالعات Zhuang (۲۰۱۶) و Davies و همکاران (۱۹۹۲) حکایت از نگرانی ناشی از ماهیت باز کانال انتقال آب به عنوان یک تله برای دام‌ها و حیات وحش داشت. برآورد Davies و همکاران (۱۹۹۲) نشان داد بین ژوئن ۱۹۸۵ تا آگوست ۱۹۸۶ مجموعاً ۷۲۳۴ مهره‌دار قربانی کانال ۶۵ کیلومتری انتقال آب شرقی (نامیبیا) شده‌اند که نزدیک به ۳۰ گونه پستاندار از جمله گرگ، پانگولین، خرس مورچه و روباه از جمله آن‌ها بودند. حتی برخی از گونه‌های در خطر انقراض مانند کرکس کپ Gyps coprotheres نیز در هنگام تغذیه از شکارهای غرق شده، طعمه این کانال شده بودند.

سنتز پژوهی حاضر همسو با نتایج پژوهش Chen (۲۰۰۴) نشان داد طرح‌های انتقال آب پتانسیل رغبت‌زدایی از اصلاح الگوی کشت و آبیاری دارند و می‌توانند مصرف آب را در حوضه‌های گیرنده به طور چشم‌گیری افزایش دهند. علاوه بر این، روش‌های آبیاری غیراستاندارد، استفاده بی‌رویه از کودها و سموم شیمیایی و عملیات کشاورزی در اراضی نامساعد منجر به افزایش چشمگیر هدررفت و تبخیر آب، شور شدن زمین و افت پتانسیل سرزمین می‌شود.

طرح‌های انتقال آب در مقیاس بزرگ و مسافت طولانی نه تنها ممکن است باعث کاهش حجم رواناب رودخانه‌های اهداکننده آب شوند، بلکه ممکن است منجر به شور شدن خاک، نفوذ آب نمک در اراضی و در نهایت خشک شدن رودخانه‌ها و تالاب‌های واقع در مسیر شوند. سنتز یافته‌های پژوهش حاضر همسو با نتایج پژوهش Zhuang و همکاران (۲۰۱۶) و Pozdnyakov و همکاران (۲۰۱۳) در اتحاد جماهیر شوروی سابق نشان داد انتقال آب از رودخانه‌ها، باعث کاهش حجم آب دریاچه‌های مقصد می‌شود و پیرو آن نمک معدنی و بقایای معدنی در آب این دریاچه‌ها افزایش یافته و در نهایت سیستم اکولوژیکی منطقه آسیب جدی می‌بیند. اگرچه در سال‌های اخیر روش‌هایی برای کاهش محتوای نمک معدنی جریان یافته به دریاچه‌ها انجام شده، اما این اقدامات هنوز در مقیاس آزمایشگاهی مطرح‌اند و در عرصه میدانی اثربخشی آن‌ها اثبات نشده است.

• راهبردهای مکمل پیشنهادی براساس تجربیات جهانی

باتوجه به اینکه نمی‌توان از راهبردهای مشابهی برای مدیریت اثربخش منابع آبی در سراسر جهان بهره برد، در ادامه برخی روش‌ها، برنامه‌ها و ابتکارات سایر کشورها ارائه شده است تا

بتوان با به‌گزینی و تلفیق آن‌ها، به یک نسخه مطلوب بومی‌سازی شده دست یافت:

۱. **ارزیابی خطرات و ریسک‌های بهداشتی و ایمنی:** پروژه‌های انتقال آب، طرح‌های هزینه‌بری هستند که موجب تغییرات گسترده و بازگشت‌ناپذیری در محیط اقتصادی-اجتماعی و طبیعت حوزه‌های آبریز مقصد و مبدا و مسیر انتقالی می‌شوند. علاوه بر آن در مقایسه با سایر اقدامات صرفه‌جویی در مصرف آب مانند ساخت مخازن زیرزمینی، اصلاح الگوهای کشت و آبیاری، بازچرخانی آب‌های خاکستری، تصفیه و بازیافت فاضلاب‌ها، این پروژه‌ها اثرات و چالش‌های بیشتری در پی دارند. بنابراین، یک پروژه انتقال آب بین حوزه‌ای تنها پس از انجام مطالعات امکان‌سنجی جامع و ارزیابی عقلانیت و مشروعیت باتوجه به مقیاس، مزایا، بررسی وضعیت کنونی و توان تاب‌آوری محیط‌زیست طبیعی، جامعه و سایر جنبه‌ها و همچنین برنامه‌ریزی و طراحی دقیق می‌تواند اجرا شوند (Zhao و همکاران، ۲۰۱۷؛ Locatelli و همکاران، ۲۰۱۴).

پژوهش حاضر همسو با Davies و همکاران (۱۹۹۲) و Sible و همکاران (۲۰۱۵) پیشنهاد می‌دهد علاوه بر بررسی همه جانبه اثرات محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی پروژه‌های انتقال آب باید خطرات مرتبط با EHS^{۳۴} با این پروژه‌ها نیز مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین توسعه برنامه‌های نظارت و پایش ریسک‌های بهداشتی، سلامتی و ایمنی که امکان ایجاد بهبود عملیات‌های توسعه را در حین و پس از فازهای ساختمانی و بهره‌برداری فراهم می‌سازد ضروری است.

۲. **بازسازی بوم‌سازگانی و حفاظت از منابع آبی:** پاکستان در سال‌های اخیر، به موازات پروژه‌های انتقال آب، پروژه‌های حفاظت از آب را توسعه داده و به یکی از کشورهایی تبدیل شده که در زمینه افزایش بازدهی آبیاری و زهکشی سرمایه‌گذاری‌های فراوانی انجام داده است (Van Steenberg و Oliemans، ۲۰۰۲). همچنین به موازات پروژه تامین آب دونگشن^{۳۵} چین که در شنژن^{۳۶} و دونگوان^{۳۷} در استان گوانگدونگ^{۳۸} واقع شده است و هدف آن تامین آب برای هنگ‌کنگ^{۳۹}، کولون^{۴۰} و منطقه ویژه اقتصادی شنژن^{۴۱} است، به‌منظور حفاظت از منابع آبی، در دو سمت مسیر انتقال جنگل‌کاری حفاظتی شده است (Ministry of Water Resources of China، ۲۰۲۲). لذا پیشنهاد می‌شود در کنار پروژه‌های حفاظت از آب، پروژه‌های تثبیت کربن و جنگل‌کاری نیز برای تقویت اثرات غیرمستقیم مثبت آن بر منابع آبی کشور در دستورکار قرار گیرند.

۳. **پیشگیری و کنترل آلودگی آب:** کیفیت آب ممکن است به طور مداوم تحت تأثیرات تجمعی ناشی از طرح‌های انتقال آب، توسعه زمین‌های کشاورزی و افزایش آلودگی‌های انسانی در حوضه آبریز قرار گیرد و به طور پیوسته باتوجه به افزایش تقاضا، به سدها و

طرح‌های انتقال آب بیشتری نیاز باشد، بنابراین دولت‌ها باید اقدامات موثری را برای حفاظت از منابع استراتژیک آبی اتخاذ کنند. به‌عنوان مثال دولت استرالیا، پس از تکمیل طرح کوهستان‌های برفی استرالیا^۳، یک سری اقدامات موثر برای حفاظت از محیط‌های آبی اتخاذ کرد که عبارت بودند از (Zhuang, ۲۰۱۶):

- **افزایش مصرف آب کشاورزی را کنترل کرد.** دولت ایالتی مجوز تازه‌ای برای تخصیص آب به مصارف کشاورزی صادر نکرد و قیمت آب را به میزان قابل توجهی افزایش داد. دولت افزایش مصرف آب کشاورزی را محدود کرد و به سرمایه‌گذاری در به‌روزرسانی فناوری‌های آبیاری روی آورد و برداشت آب از رودخانه را برای اطمینان از وجود جریان کافی برای تعادل اکولوژیکی محدود کرد.

- **حفاظت از آب و خاک را تقویت کرد و به‌منظور اطمینان از اینکه پروژه‌های ذخیره‌سازی آب در معرض تهدید گل‌آلودگی نیستند، نظارت را تشدید نمود.** همچنین دولت فدرال منطقه کوهستان‌های برفی استرالیا را به‌عنوان یک پارک ملی جهت حفاظت و توسعه گردشگری پایدار، تحت تدابیر ویژه مدیریت کرد. که تنها در یکی از تدابیر ویژه مدیریتی آن تصریح شده: «گردشگران در این پارک فقط می‌توانند در یک گذرگاه خاص که در واقع یک پل چوبی کوچک بالای سطح زمین است به‌منظور حفاظت از پوشش گیاهی راه بروند».

- **آموزش گسترده عمومی و ترویج حفاظت از کمیت و کیفیت آب را در دستور کار قرار داد.** دولت استرالیا، نکات کلیدی حفاظت از کیفیت آب، جلوگیری از شیوع جلبک‌های سبز آبی و جریان فاضلاب کشاورزی به رودخانه را به‌صورت عمومی آموزش داد و روش‌های موثر برای جلوگیری از رشد جلبک‌های سبز آبی و کاهش ورود مواد آلی به آب را به اطلاع جوامع محلی رساند.

در آلمان، بر اساس قانون ملی مدیریت آب، حفاظت از آب با الزامات و ممنوعیت‌های خاصی خصوصاً در مناطق تحت حفاظت دنبال و از ساخت‌وسازها و توسعه مسکونی، کشاورزی و صنعتی جلوگیری به عمل آمد. به‌عنوان مثال، به‌منظور حفاظت از بودنس^۳، دولت آلمان مناطق حفاظتی را در اطراف این دریاچه ایجاد کرد تا از آلودگی و آسیب به کیفیت آب منطقه جلوگیری کند و مقرراتی را برای مناطق حفاظتی تنظیم کرد تا لیست فعالیت‌های مجاز و ممنوع در منطقه حفاظتی را مشخص نماید.

۴. **بهبود بهره‌وری مصرف آب:** برای بهبود بهره‌وری مصرف آب، فناوری‌های پیشرفته کاربردی باید با اقداماتی مانند استفاده ایمن از آب، تصفیه و بازیافت فاضلاب، برداشت و بازیافت آب باران، انتقال و زهکشی در مقیاس بزرگ، بازسازی اکولوژیکی، رقیق‌سازی آلودگی‌ها و بازیابی عملکرد خودتصفیه‌کنندگی تالاب‌های محلی ادغام شوند. در این زمینه بهره‌گیری از تجربیات جهانی و بومی‌سازی یافته‌های آن‌ها می‌تواند بسیار راهگشا باشد.

نیویورک در دهه ۱۹۶۰ با کمبود شدید منابع آب مواجه بود که راه‌حل اولیه در نظر گرفته شده برای مواجهه با آن انتقال آب از

نیوجرسی با تخصیص بودجه پروژه بیش از ۱۰ میلیارد دلاری بود. باتوجه‌به حجم بالای سرمایه‌گذاری، تبعات اقتصادی-اکولوژیکی و اختلاف نظر ساکنین نیوجرسی بر سر راه‌حل انتقال آب به نیویورک، این پروژه اجرایی نشد. از آنجایی که مشکل تامین آب نیویورک باید حتماً حل می‌شد، پس از بحث‌های تخصصی و ارزیابی راه‌حل‌های ممکن، کارشناسان جایگزینی تمام توال‌های فلاش قدیمی در نیویورک با توال‌های فلاش کم مصرف را در زمینه زهکشی شهری توصیه کردند. این پیشنهاد توسط شهرداری نیویورک پذیرفته و انجام شد. پس از تعویض تمام توال‌ها در ۱۱ سال با سرمایه‌گذاری کمتر از ۳۰۰ میلیون دلار، مصرف سرانه آب روزانه ۱۴ درصد کاهش یافت. سرانجام، بحران آب با نتایجی حل شد که با پروژه انتقال آب ۱۰ میلیارد دلاری نمی‌توانست محقق شود.

در راستای مقابله با توزیع نامتعادل فضایی-زمانی منابع آب، که بر اثر تغییرات اقلیمی نیز تشدید می‌شود، توسعه فناوری‌های استحصال روان‌آب‌های ناشی از باران است که در بسیاری از مناطق به دلیل نبود امکانات ذخیره‌سازی کافی، مقدار زیادی آب شیرین به هزراب تبدیل و حتی زمینه‌ساز سیلاب‌های محلی می‌شود. بنابراین، با بهره‌گیری از تأسیسات ذخیره‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی برای ذخیره‌سازی منابع آب باران، علاوه‌بر ذخیره‌سازی توسط رودخانه‌ها و مخازن، مسیر توسعه‌ای برای بررسی مسائل آب در سکونتگاه‌های شهری و روستایی نیز قابل ترسیم خواهد بود. به‌عنوان مثال، ژاپن در بسیاری از کلان شهرها، رودخانه‌ها و مخازن مصنوعی زیرزمینی را به‌منظور تنظیم جریان خروجی آب باران و ذخیره بارندگی طبیعی اضافی در فصول مرطوب برای استفاده در فصول خشک و بهبود وضعیت کمبود آب تعبیه کرده است.

به‌طورکلی، اجرای پروژه‌های انتقال آب یادآور ضرب‌المثل ایرانی «از ریش کندن و به سیل چسباندن» است و اگر چه هر روش مدیریت سازه‌ای آب مانند انتقال آب بین‌حوزه‌ای ممکن است به سرعت وضعیت کمبود آب محلی در مقصد را تغییر دهد و توسعه اجتماعی و اقتصادی در حوضه آبگیر مقصد را تسهیل نماید، اما احتمالاً با اثرات ویرانگری در میان‌مدت و درازمدت همراه خواهد بود. اگرچه طرح‌های انتقال آب دوربرد در مقیاس بزرگ کل آب‌کره و تبادل مواد و جریان انرژی آن با جو، زیست‌کره و سنگ‌کره را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند، اما در مقیاس‌های منطقه‌ای، بر سیما و کیفیت سرزمین تأثیر منفی می‌گذارد. علاوه‌براین، هر چه مسافت انتقال طولانی‌تر و مقیاس پروژه‌های انتقال آب بیشتر باشد، تأثیرگذاری سنگین‌تر خواهد بود و عوامل تأثیر پیچیده‌تر، جامع‌تر و غیرقابل پیش‌بینی‌تر هستند. باوجوداینکه هنوز تأثیرات اکثر پروژه‌های انتقال آب بر محیط‌زیست طبیعی و انسانی و جریان‌های حاکم بر این فضاها کاملاً مشخص نیست، نباید سهل‌انگارانه آن‌ها را کم‌تأثیر تلقی کرد. در این زمینه گفت‌وگوهای بیشتر ضروری و بخشی از مسئولیت حرفه‌ای متخصصان محیط‌زیست در ایران و جهان است.

30-Kowloon

31-Shenzhen

32-Snowy Mountain Scheme

33-Bodensee

منابع

امامی، سید نعیم. (۱۳۹۱). چالش‌های زمین‌شناختی پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی)، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

امیرنژاد، حمید، حسینی، ساره، و صابری، مصطفی. (۱۳۹۹). بررسی پیامدهای مثبت و منفی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۱(۲۲)، ۲۶۳-۲۷۲.

[doi:10.52547/jwmr.11.22.263](https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.263)

آتشخوار، فاطمه، زمانی، عفت، و پورعبدالله، ناهید. (۱۳۹۱). وضعیت ناپایدار آبخوان‌های مسیر انتقال آب و متأثر از عواقب تونل بهشت‌آباد. همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

بهرامی، رحمت‌الله، سپری، و محمدفرید. (۱۴۰۰). بررسی اثرات اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی خشکسالی بر مناطق روستایی استان کردستان. روستا و توسعه، ۲۴(۱)، ۱۷۳-۱۹۴. [doi:10.30490/rvt.2021.341691.1194](https://doi.org/10.30490/rvt.2021.341691.1194)

پوراقبالی، میلاد، شمس، علی، و قیدی، احمد. (۱۳۹۹). سنجش پیامدهای خشکسالی و تأثیر آنها بر نیت مهاجرت جوانان روستایی شهرستان همدان. روستا و توسعه، ۲۳(۳)، ۷۷-۵۱. [doi:10.30490/rvt.2020.253815.0](https://doi.org/10.30490/rvt.2020.253815.0)

تیموری یگانه، مریم. (۱۴۰۱). مروری بر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان و تأثیر آن بر عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی. آب و توسعه پایدار، ۹(۲)، ۵۷-۶۸. [doi:10.22067/jwsd.v9i2.2202.1121](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2202.1121)

جعفری آزاد، امیر، میرزایی، خلیل، و سیف‌اللهی، سیف‌اله. (۱۴۰۲). پیامدهای اجتماعی طرح‌های توسعه و انتقال آب با تأکید بر مفهوم عدالت (مطالعه موردی استان چهارمحال و بختیاری). مطالعات سیاسی-اجتماعی تاریخ معاصر ایران، ۲(۴)، ۲۰۲-۲۲۵. [doi:10.61838/kman.jpsich.2.4.10](https://doi.org/10.61838/kman.jpsich.2.4.10)

خلیلی، کیوان، احمدی، فرشاد، فروزنده، ایمان و بهمنش، جواد. (۱۳۹۱). نقش تغییر اقلیم بر انتقال آب بین حوضه‌ای (مطالعه موردی حوضه زاب و دریاچه ارومیه). همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

1-Structural (hard)

2-Non-structural (soft)

3-Inter-basin water transfers (IBTs)

4-Socio-economical Impact assesment

5-Stakeholders

6-Primary source

7-Science Direct

8-Emerald

9-Springer

10-Web of Science

11-Open, axial, and selective coding

12-Determining entry criteria

13-Search

14-Screening

15-Coding

16-Evaluation

17-synthesis

18-Theoretical Saturation

19-Maximum Diversity

۲۰- کدهای باز واحدهای معنادار مجزایی هستند که در شروع مطالعات کیفی می‌توان آن‌ها را از متون اصلی/گویه‌ها استخراج کرد. هدف اصلی دستیابی به کدهای باز، مفهوم‌سازی و برچسب‌زدن به داده‌ها در گام‌های بعدی است.

۲۱- کدهای بسته، جامع‌تر از کدهای باز در مطالعات کیفی هستند، معمولاً پس از چندین مرحله فشرده‌سازی مفاهیم حاصل می‌شوند و تکیه بر تبیین و تدقیق یک پدیده با در نظر گرفتن شرایطی که به ایجاد آن می‌انجامد، دارند.

۲۲- کدهای محوری جامع‌ترین کدها در یک مطالعه کیفی هستند که محصول تداوم نهایت فشرده‌سازی مفاهیم مورد بررسی می‌باشند.

۲۳- خبرگان اعضای هیئت علمی دانشگاه‌های فردوسی مشهد و دانشگاه تهران (۲ نفر با درجه استادیاری و ۲ نفر با درجه دانشیاری) بودند که انتخاب آن‌ها براساس «داشتن تخصص و علاقه‌ی پژوهشی در حوزه آب، محیط‌زیست و توسعه پایدار» و «تمایل به ارائه مشاوره علمی» صورت گرفت.

24-Environment, health and safety (EHS)

25-Dongshen

26-Shenzhen

27-Dongguan

28-Guangdong

29-Hong Kong

خنیفر، حسین، و مسلمی، ناهید. (۱۴۰۲). کتاب اصول و مبانی روش‌های پژوهش کیفی، حمیدرضا یزدانی (ویراستار)، جلد ۱. انتشارات نگاه دانش. تهران، ایران.

داودی، محمود، و نبیونی، سیروس. (۱۳۹۹). تاثیر سدسازی بر تداوم و بزرگی خشکسالی (مونه موردی: رود کرخه. مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی، ۱(۳)، ۹۹-۱۱۸. doi: [10.22124/gsc-caj.2021.17642.1057](https://doi.org/10.22124/gsc-caj.2021.17642.1057)

رجا، امید، و پارسی نژاد، مسعود. (۱۳۹۹). نگرش همه جانبه بر انتقال آب بین‌حوضه‌ای. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۵(۲)، ۱۵۲-۱۶۵. doi: [10.22047/sr-jasnr.2020.113096](https://doi.org/10.22047/sr-jasnr.2020.113096)

سجادی، سیدفرزاد، بادسار، محمد، و مجردی، غلامرضا. (۱۳۹۷). نقش اقدامات پدافندی در مدیریت بحران منابع طبیعی (مورد مطالعه: غرب استان کردستان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳(۲۵)، ۴۸۹-۴۹۹. doi: [10.22092/ijrdr.2018.117792](https://doi.org/10.22092/ijrdr.2018.117792)

سلطانی، ناصر، موسوی، میرنجف، و احمد اقبال، گلاویژ. (۱۳۹۵). ارزیابی پیامدهای احتمالی انتقال آب حوضه زاب به دریاچه ارومیه. جغرافیا و پایداری محیط، ۶(۲)، ۳۵-۵۱. https://ges.razi.ac.ir/article_586.html?lang=fa

صادقی، سیدحمیدرضا، کاظمی کیا، سمیه، خیرقام، حسین، و حزباوی، زینب. (۱۳۹۵). تجارب و پیامدهای انتقال آب بین‌حوضه‌ای در جهان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۲)، ۱۲۰-۱۴۰. https://www.iwrr.ir/article_14563.html

غنیان، منصور، هاشمی نژاد، آذر، مهرباب قوچانی، امید، بخشی، آزاده، و یوسفی حاجیوند، رقیه. (۱۳۹۶). تبیین رفتارسازی بهره‌برداران حوضه‌ی تالاب شادگان در برابر اثرات خشکسالی: کاربست نظریه آسیب‌پذیری. فصلنامه علوم محیطی، ۱۵(۲)، ۱-۲۰. https://envs.sbu.ac.ir/article_97824.html

فریادی، مسعود. (۱۳۹۷). انتقال میان حوضه‌ای آب: مبانی و چالش‌های حقوقی. پژوهش حقوق عمومی، ۲۰(۶۱)، ۱۲۱-۱۵۰. doi: [10.22054/qjpl.2019.20557.1483](https://doi.org/10.22054/qjpl.2019.20557.1483)

قنبری، یوسف. (۱۳۹۲). بررسی و شناسایی اثرات خشکسالی بر خانوارهای روستایی شهرستان سمیرم: مطالعه موردی روستای سیور. روستا و توسعه، ۱۶(۴)، ۷۶-۵۵. doi: [10.30490/rvt.2018.59379](https://doi.org/10.30490/rvt.2018.59379)

قنبری، سیروس، و بیاد، حبیب‌الله. (۱۳۹۵). تحلیل پیامدهای اقتصادی و اجتماعی خشکسالی‌های اخیر بر کشاورزی مناطق روستایی (مطالعه موردی: روستاهای دهستان اسماعیلی سفلی شهرستان جیرفت). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۶(۲۳)، ۶۴-۸۱. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161410.html

قنواتی، عزت‌الله، خضری، سعید، و طالب‌پور، داوود. (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات انتقال آب بین حوضه‌ای بر مخازن آب زیرزمینی

و نشست زمین (مطالعه موردی: انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴(۲)، ۲۹-۴۴. doi: [10.1001.1.22519424.1394.4.2.3.8](https://doi.org/10.1001.1.22519424.1394.4.2.3.8)

کارآموز، محمد، مجاهدی، سیدعلی، و احمدی، آزاده. (۱۳۸۶). ارزیابی اقتصادی و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری انتقال آب بین حوضه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۲)، ۱۰-۲۵. https://www.iwrr.ir/article_15526.html

کاوایی، حسن، و نصر، نسرین. (۱۳۹۷). عوامل مؤثر بر اثربخشی آموزش محیط زیست در ایران: سنتزپژوهی یافته‌ها. فصلنامه مطالعات میان‌رشته‌ای در علوم انسانی، ۱۰(۴)، ۱۰۹-۱۴۱. doi: [10.22035/isih.2018.289](https://doi.org/10.22035/isih.2018.289)

کریمی، صفورا. (۱۳۹۷). تحلیل اثرات اقتصادی و اجتماعی خشکسالی بر جوامع روستایی شهرستان سمنان. روستا و توسعه، ۲۱(۳)، ۷۵-۹۵. doi: [10.30490/rvt.2018.81728](https://doi.org/10.30490/rvt.2018.81728)

کشاورز، مرضیه، کرمی، عزت‌الله، و لهسایی زاده، عبدالعلی. (۱۳۹۲). عوامل اثرگذار بر مهاجرت روستایی ناشی از خشکسالی: یک مطالعه موردی در استان فارس. روستا و توسعه، ۱۶(۱)، ۱۱۳-۱۲۷. doi: [10.30490/rvt.2018.59100](https://doi.org/10.30490/rvt.2018.59100)

کلاهی، مهدی. (۱۴۰۰). گروداران منابع طبیعی. آب و توسعه پایدار، ۸(۱)، ۱۹-۳۰. doi: [10.22067/jwsd.v8i1.88313](https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i1.88313)

گل‌وردی، مهدی. (۱۳۹۶). تاب‌آوری ملی مروری بر ادبیات تحقیق. فصلنامه مطالعات راهبردی و سیاست‌گذاری عمومی، ۲۵(۷)، ۲۹۳-۳۱۰. https://sspp.iranjournals.ir/article_29737.html

مالکی شهرکی، نگار، و ربیعیان، سیده آذر. (۱۴۰۲). رویکرد حقوق محیط‌زیست در طرح انتقال آب بهشت‌آباد. فصلنامه علمی آراء، ۶(۱۳)، ۷۴-۵۵. https://ara.adlesfahan.ir/article_711453.html

مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم، لطفی مغانجوقی، جعفر، خلیقی سیگارودی، شهرام، محسنی ساروی، محسن، و نظری سامانی، علی اکبر. (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیکی استان کردستان. مهندسی و مدیریت آب، ۱۲(۲)، ۴۴۱-۴۵۳. doi: [10.22092/ijwmse.2019.123305.1566](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2019.123305.1566)

مرید سادات، محمد، صمدی بروجنی، حسین، طاهری سودجانی، هاجر، و پولادگر، محسن. (۱۳۹۰). الزامات توسعه پایدار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مطالعه موردی: انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

مهری، سونیا، حاجی، خدیجه، علیزاده، وریا، و مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۳۹۶). ارزیابی تغییرات مکانی شدت دوره‌های خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در استان کردستان. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۶(۱۰۲)، ۱۵۱-۱۶۲. doi: [10.22131/sepehr.2017.27464](https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27464)

- assessment of the ecological impacts of inter-basin water transfers, and their threats to river basin integrity and conservation. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 2(4), 325-349. doi: [10.1002/aqc.3270020404](https://doi.org/10.1002/aqc.3270020404)
- Doherty, T. J. (2018). Individual impacts and resilience. In *Psychology and Climate Change* (245-266). Academic Press. doi: [10.1016/B978-0-12-813130-5.00010-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813130-5.00010-2)
- Gulati, A., & Banerjee, P. (2016). Emerging water crisis in India: key issues and way forward. *Indian Journal of Economics*, 96, 681-704.
- Gupta, J., & van der Zaag, P. (2008). Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(1-2), 28-40. doi: [10.1016/j.pce.2007.04.003](https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.04.003)
- Haltinner, K., & Sarathchandra, D. (2018). Climate change skepticism as a psychological coping strategy. *Sociology Compass*, 12(6), e12586. doi: [10.1111/soc4.12586](https://doi.org/10.1111/soc4.12586)
- Hart, A., Blincow, D., & Thomas, H. (2007). *Resilient therapy: working with children and families*. Hove, East Sussex: Rutledge, 4, London, England. doi: [10.4324/9780203946893](https://doi.org/10.4324/9780203946893)
- Hrabok, M., Delorme, A., & Agyapong, V. I. (2020). Threats to mental health and well-being associated with climate change. *Journal of Anxiety Disorders*, 76, 102295. doi: [10.1016/j.janxdis.2020.102295](https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102295)
- Jylhä, K. M. (2018). Denial versus reality of climate change. *Encyclopedia of the Anthropocene*; Della-Sala, DA, Goldstein, MI, Eds, Elsevier, 487-492. doi: [10.1016/B978-0-12-809665-9.09762-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09762-7)
- Kark, R., & Carmeli, A. (2009). Alive and creating: The mediating role of vitality and aliveness in the relationship between psychological safety and creative work involvement. *Journal of Organizational Behavior*, 30 (6), Wiley Online Library, 785-804. doi: [10.1002/job.571](https://doi.org/10.1002/job.571)
- Khaneiki, M. L., & Al-Ghafri, A. S. (2022). The circle of water justice in the history of Iran. *Water Security*, 16, 100122. doi: [10.1016/j.wasec.2022.100122](https://doi.org/10.1016/j.wasec.2022.100122)
- Knapp, K.C., Weinberg, M., Howitt, R. & Posnikoff, J. F. (2003). Water transfers, agriculture, and groundwater نادری، لادن، و کرمی دهکردی، اسماعیل. (۱۳۹۷). دیدگاه خانوارهای محلی پیرامون پیامدهای اجتماعی احداث سد بهشت‌آباد در حوزه مبدأ. پژوهش‌های روستائی، ۹(۴)، ۶۲۸-۶۴۵. doi: [10.22059/jrur.2018.233979.1113](https://doi.org/10.22059/jrur.2018.233979.1113)
- وصال، محمد، و تجریشی، محمدسعید. ۱۳۹۸. اثرات اقتصادی سدسازی در ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۱)، ۲۴۷-۲۵۶. doi: [20.1001.1.17352347.1398.15.1.18.5](https://doi.org/20.1001.1.17352347.1398.15.1.18.5)
- Adams, M. (2020). *Anthropocene psychology: Being human in a more-than-human world*. Routledge. New York, USA. doi: [10.4324/9780203703694](https://doi.org/10.4324/9780203703694)
- Bahadur, A., Lovell, E., Wilkinson, E., & Tanner, T. (2015). Resilience in the Sdgs: Developing an Indicator for Target 1.5 that is fit for Purpose, Overseas Development Institute, IDA IRLAND, 1(1), 1-7. <https://odi.org/en/publications/resilience-in-the-sdgs-developing-an-indicator-for-target-15-that-is-fit-for-purpose/> Last access: 10 December 2024.
- Barnwell, G., Stroud, L., & Watson, M. (2020). Critical reflections from South Africa: Using the Power Threat Meaning Framework to place climate-related distress in its socio-political context. *Clinical Psychology Forum*. 1(332), 7-15. doi: [10.53841/bpscpf.2020.1.332.7](https://doi.org/10.53841/bpscpf.2020.1.332.7)
- Baruch, Y., Grimland, S., & Vigoda-Gadot, E. (2014). Professional vitality and career success: Mediation, age and outcomes, *European Management Journal*, 32(3), 518-527. doi: [10.1016/j.emj.2013.06.004](https://doi.org/10.1016/j.emj.2013.06.004)
- Berry, H. L., Waite, T. D., Dear, K. B., Capon, A. G., & Murray, V. (2018). The case for systems thinking about climate change and mental health. *Nature Climate Change*, 8(4), 282-290. doi: [10.1038/s41558-018-0102-4](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0102-4)
- Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience, *Ecology and Society*, 17(1), 18. doi: [10.5751/ES-04666-170118](https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118)
- Canetti, D., Waismel-Manor, I., Cohen, N., & Rapaport, C. (2014). What Does National Resilience Mean in a democracy?, Evidence from the United States and Israel. *Armed Forces & Society*, 40(3), 504-520.
- Chen, Y. H. (2004). Analysis on advantages and disadvantages of large scale, long distance and transbasin diversion. *Water Resour Prot*, 59(2), 48-50. doi: [10.1007/s00704-024-05126-y](https://doi.org/10.1007/s00704-024-05126-y)
- y-Davies, B. R., Thoms, M., & Meador, M. (1992). An

- Shao, X., Wang, H., & Wang, Z. (2003). Interbasin transfer projects and their implications: A China case study. *International Journal of River Basin Management*, 1(1), 5–14. doi: [10.1080/15715124.2003.9635187](https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635187)
- Sible, E., Cooper, A., Malki, K., Bruder, K., Watkins, S. C., Fofanov, Y., & Putonti, C. (2015). Survey of viral populations within Lake Michigan nearshore waters at four Chicago area beaches. *Data in brief*, 5, 9-12. doi: [10.1016/j.dib.2015.08.001](https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.08.001)
- Szoenyi, M., Nash, D., Burer, M., Keating, A., McQuistan, C., & Campbell, K. (2016). Risk Nexus: Measuring flood resilience our approach, Zurich, Switzerland: Zurich Insurance Group, 1-12. https://previous.iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/RISK/Zurich_Flood_Resilience_Measurement_Paper_Feb_2016.pdf Last access: 10 December 2024.
- Van Steenberg, F., & Oliemans, W. (2002). A review of policies in groundwater management in Pakistan 1950–2000. *Water policy*, 4(4), 323-344. doi: [10.1016/S1366-7017\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00006-5)
- Zakeri, M. A., Mirnia, S. K., & Moradi, H. (2022). Assessment of water security in the large watersheds of Iran. *Environmental Science & Policy*, 127(1), 31-37. doi: [10.1016/j.envsci.2021.10.009](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.009)
- Zhao, X., Barlow, J., Taylor, B. L., Pitman, R. L., Wang, K., Wei, Z., T. B. S., T. S. T., Akamatsu, T. R. R., R. & Wang, D. (2008). Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China. Biological Conservation, Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce. 141(12), 3006-3018. <http://digitalcommons.unl.edu/usdept-commercepub/505>
- Zhao, Z. Y., Zuo, J., & Zillante, G. (2017). Transformation of water resource management: a case study of the South-to-North Water Diversion project. *Journal of Cleaner Production*, 163, 136-145. doi: [10.1016/j.jclepro.2015.08.066](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.066)
- Zhuang, W. (2016). Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(13), 12867-12879. doi: [10.1007/s11356-016-6854-3](https://doi.org/10.1007/s11356-016-6854-3)
- management: a dynamic economic analysis. *Journal of Environmental Management*, 67, 291–301. doi: [10.1016/S0301-4797\(02\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00162-7)
- Lansheng, W., & Christian, M. (1999). a study on the environmental geology of the Middle Route Project of the South–North water transfer, *Journal of Engineering Geology*. 51, 153–165. doi: [10.1016/S0013-7952\(98\)00043-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(98)00043-X)
- Ling, T. (2022). A Global Study About Water Crisis. In 2021 International Conference on Social Development and Media Communication (SDMC 2021). Atlantis Press. doi: [10.2991/assehr.k.220105.148](https://doi.org/10.2991/assehr.k.220105.148)
- Liu, J., Zang, C., Tian, S., Liu, J., Yang, H., Jia, S., Liangzhi, f., Bo Liu, a., & Zhang, M. (2013). Water conservancy projects in China: Achievements, challenges and way forward. *Global Environmental Change*, 23(3), 633–643. doi: [10.1016/j.gloenvcha.2013.02.002](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.02.002)
- Lloret, F., Keeling, E.G., & Sala, A. (2011). Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests, *Oikos*, 120, Wiley Online Library, 1909–1920. doi: [10.1111/j.1600-0706.2011.19372](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2011.19372)
- xLocatelli, G., Mancini, M., & Romano, E. (2014). Systems engineering to improve the governance in complex project environments. *International Journal of Project Management*, 32(8), 1395-1410. doi: [10.1016/j.ijproman.2013.10.007](https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.10.007)
- Ministry of Water Resources of China. (2022). Inter-basin Water Transfer. Report on Yangtze River Rehabilitation and Protection 2019, Springer, Singapore, 101-117. doi: [10.1007/978-981-16-4927-1_9](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4927-1_9)
- Peng, Z., Yin, J., Zhang, L., Zhao, J., Liang, Y., & Wang, H. (2020). Assessment of the socio-economic impact of a water diversion project for a water-receiving area. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2), 1771-1784. doi: [10.15244/pjoes/109026](https://doi.org/10.15244/pjoes/109026)
- Pozdnyakov, D. V., Korosov, A. A., Petrova, N. A., & Grassl, H. (2013). Multi-year satellite observations of Lake Ladoga's biogeochemical dynamics in relation to the lake's trophic status. *Journal of Great Lakes Research*, 39, 34-45. doi: [10.1016/j.jglr.2013.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.05.002)

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Operation of the Ghadir Khuzestan Water Transmission System under Defensive Conditions Using Hydraulic Modeling

N. Pousti Zadeh^{1*}, D. Horri², R. Rameshi³

1- Ph.D. in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Head of Hydraulics Group in Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran. 2- Ph.D. Student in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Chief Executive Officer of Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran. 3- Bachelor in Mechanical Engineering, Islamic Azad University of Khomeini Shahr, Management of the Technical Office and Studies of the Ghadir Khuzestan Water Operation, Production and Transmission Company, Ahvaz, Iran.

*(Corresponding Author Email: nedapzh@gmail.com)

Received: 10-09-2024

Revised: 21-10-2024

Accepted: 08-11-2024

Available Online: 19-12-2024

بهره‌برداری از سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط پدافندی با استفاده از مدل‌سازی هیدرولیکی

ندا پوستی‌زاده^{۱*}، داود حری^۲، رامین رامشی^۳

۱- دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، رئیس گروه هیدرولیک شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران. ۲- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، مدیرعامل شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران. ۳- کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، مدیریت دفتر فنی و مطالعات شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان، اهواز، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: nedapzh@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Access to drinking water is one of the most important human needs and citizenship rights. For this reason, the supply, transmission, treatment, and distribution of sanitary drinking water in order to meet the water needs of urban and rural subscribers is one of the primary tasks and priorities of every government. The Ghadir Water Project in Khuzestan, aimed at supplying water to the central, western, and southwestern cities of Khuzestan Province, is of great significance as the largest water transfer project in Iran. Accordingly, the current study focuses on the operation of the Ghadir Khuzestan water transmission system under defensive conditions using WaterGEMS software modeling. First, the hydraulic model of the studied transportation system is prepared and calibrated using hydraulic software. In the second stage, the quality of delivered water, as well as the strategy to ensure the sustainability of water transfer in emergency and defense conditions, were examined. A comparison of the quality results indicates that the establishment of the Northern Ghadir pump station and the replacement of the Dez Dam with the Karkheh Dam as the new water supply source for the Ghadir water transmission system will have a significant effect on improving the quality of the water being transferred in compliance with the water quality standards of Iran, as it reduces the EC amount of the water being sent by about 68%. According to the proposed solution in this research, in the emergency and temporary shutdown conditions of the main pumping station, which is responsible for pumping 90% of the total water volume required for the target cities, 60% of this water volume can be supplied through the Northern Ghadir pump station to ensure the continuity of water supply.

Keywords: Operation, Water Transmission System, Hydraulic Model, Defensive Conditions and Water Quality.

چکیده

دسترسی به آب شرب یکی از مهمترین نیازهای بشری و حقوق شهروندی است. به همین دلیل تأمین، انتقال، تصفیه و توزیع آب شرب به‌منظور رفع نیازهای آب مشترکین شهری و روستایی یکی از وظایف اولیه و اولویت‌های هر دولتی است. طرح انتقال آب غدیر خوزستان با هدف آبرسانی به شهرهای مرکزی، غرب و جنوب‌غرب استان خوزستان به‌عنوان بزرگترین طرح انتقال آب در ایران اهمیت زیادی دارد. براین‌اساس، مطالعه حاضر به مسأله بهره‌برداری از طرح انتقال آب غدیر خوزستان برای استمرار آبرسانی در شرایط پدافندی با استفاده از شبیه‌سازی هیدرولیکی در محیط نرم‌افزار WaterGEMS می‌پردازد. برای این‌منظور ابتدا مدل هیدرولیکی سامانه انتقال آب مورد بررسی، در نرم‌افزار هیدرولیکی تهیه و واسنجی شد. در مرحله دوم، کیفیت آب ارسالی و سپس راهکاری جهت حفظ پایداری انتقال آب در شرایط اضطراری و پدافندی بررسی شد. مقایسه نتایج کیفی نشان داد استقرار تلمبه‌خانه غدیر شمالی و جایگزین کردن سد دز به جای سد کرخه به‌عنوان منبع جدید تأمین آب سامانه انتقال آب غدیر، تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت آب انتقالی و مطابق با استاندارد کیفیت آب‌های ایران خواهد داشت به‌طوری‌که میزان EC آب ارسالی حدود ۶۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس راهکار پیشنهادی در این پژوهش، در شرایط اضطراری و خاموش شدن موقت ایستگاه اصلی که وظیفه پمپاژ ۹۰ درصد از کل حجم آب مورد نیاز شهرهای مورد نظر را بر عهده دارد، می‌توان ۶۰ درصد از حجم این آب را از طریق تلمبه‌خانه غدیر شمالی برای استمرار آبرسانی تأمین کرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری، سامانه انتقال آب، مدل هیدرولیکی، شرایط پدافندی و کیفیت آب.

اجرای مرحله به مرحله یک طرح بزرگ آبرسانی و در مدار قرار گرفتن تدریجی آن به موازات ادامه اجرای بخش‌های دیگر، بهره‌برداری این طرح را به موضوعی پیچیده تبدیل می‌کند. همچنین تغییراتی که حسب ضرورت در طراحی‌های اولیه داده می‌شود یا اجرای بخش‌های جدیدی که به مرور به این طرح اضافه می‌شود بر پیچیدگی‌های این موضوع می‌افزاید. در چنین شرایطی، بهره‌برداری از قسمت‌های ساخته شده با دشواری روبه‌رو است. بخش دیگری از مشکل نیز مربوط به تصمیم‌گیری برای مشخصات قسمت‌هایی است که در آینده اجرا می‌شود. از طرفی بررسی سامانه انتقال آب در حال بهره‌برداری از دیدگاه پدافند غیرعامل نیز اقدامی ضروری است و تأخیر در آن باعث ناپایداری شهر و آسیب‌پذیری آن در برابر بحران‌های طبیعی و انسانی می‌شود (Goulter و Kettler، ۱۹۸۵). باید سامانه انتقال و شبکه توزیع آب شهری به گونه‌ای مورد توجه قرار گیرد که قبل از وقوع حوادث، برنامه‌های اضطراری برای مقابله با آن تدارک دیده شود و در این شرایط، پایداری و امنیت امر آبرسانی تأمین شود و عملیات بهره‌برداری آن به حالت اولیه باز گردد. بنابراین ساخت مدل هیدرولیکی بهره‌برداری از طرح مورد نظر و تحلیل هیدرولیکی برای کمک به حل این مشکلات بسیار موثر خواهد بود. چنین مدلی گسترده‌تر از مدل‌هایی است که در مراحل طراحی سامانه‌های انتقال آب به کار می‌رود و جزئیات به مراتب بیشتری را در مقایسه با آنها شامل می‌شود. تحلیل هیدرولیکی، شامل یافتن تمامی پارامترهای مجهول مربوط به خط لوله و گره‌ها با استفاده از اطلاعات اولیه مربوط به گره‌ها و لوله‌ها می‌شود. از جمله نرم‌افزارهایی که برای مدل‌سازی هیدرولیکی در بازار موجود می‌باشد می‌توان به نرم‌افزار WaterGEMS اشاره نمود. برتری نرم‌افزار مذکور در این است که بر خلاف تمامی نرم‌افزارهایی که تاکنون وجود داشته است که برای ورود اطلاعات اولیه نیاز به محاسبات دستی و مقدماتی روی نقشه‌ها دارند، قابلیت ترکیب شدن با نرم‌افزارهای AutoCAD، ArcGIS و Excel و همچنین حذف محاسبات اضافی را دارد. این نرم‌افزار دارای سه برنامه اساسی است (Darwin، Darwin Designer، Darwin Scheduler و Calibrator)، که دو مورد آن مربوط به بهره‌برداری و یکی از آنها مربوط به طراحی است و بر این اساس نرم‌افزار، برای حل مشکلات طراحان و بهره‌برداران موثر می‌باشد. در پژوهش حاضر، به دلیل اهمیت بهره‌برداری سامانه انتقال آب غدیر برای تأمین آب و آبرسانی به شهرهای مرکزی، جنوب غرب و غرب استان خوزستان (۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا)، شبیه‌سازی هیدرولیکی این سامانه در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده و به منظور مدیریت بهره‌برداری از این خطوط انتقال

و در نظر گرفتن تمهیدات لازم در شرایط وقوع بحران و پدافندی که منجر به خاموشی موقت ایستگاه پمپاژ اصلی می‌شود، راهکار مناسب برای حفظ تداوم آبرسانی بررسی شده است. مهندسی پدافند غیرعامل یک نیاز معماری، مهندسی و استراتژیک برای تأمین امنیت پایدار سامانه‌های تأمین آب مانند سدها، چاه‌های آب، خطوط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ، تصفیه‌خانه، مخازن ذخیره و شبکه‌های توزیع آب است. پدافند غیرعامل موضوعی است که باتوجه به تحولات و تهدیدات محیط‌زیستی، اهمیت آن در سال‌های اخیر بیشتر روشن شده است (توکلی امینیان، ۱۳۹۲). بنابراین در این پژوهش به دلیل اهمیت بهره‌برداری از سامانه‌های انتقال و توزیع آب و همچنین حفظ امنیت پایداری آن‌ها در شرایط وقوع بحران، پژوهش‌های انجام شده به دو بخش که بخش اول پیرامون پدافند غیرعامل سامانه‌های انتقال و توزیع آب و بخش دوم مدل‌سازی سامانه‌ها و تأسیسات در دست بهره‌برداری برای مدیریت و رفع چالش‌های آنها می‌باشد، پرداخته شده است.

در طی سالیان اخیر، مطالعات زیادی در زمینه اهمیت پدافند غیرعامل در زنجیره سامانه انتقال آب شهرها صورت گرفته است که از جمله آن می‌توان به مطالعات جعفری و نوربخش (۱۳۹۷) در ارزیابی اجرای پدافند غیرعامل در مجتمع‌های بزرگ آبرسانی، مطالعه موردی تأسیسات آبرسانی شهید خوش سیرت آستانه اشرفیه، پورطبری و پورطبری (۱۳۹۶) در بررسی موضوع حفاظت سامانه‌های آبرسانی با رویکرد پدافند غیرعامل و مودی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی پدافند غیرعامل تأسیسات آبی در شرایط بحران و تأثیر بر کیفیت منابع آب اشاره کرد.

Mohammadi (۲۰۲۳) در پژوهش خود یک رویکرد مدیریت استراتژی بهبود یافته برای پدافند غیرعامل سامانه توزیع آب نودشه واقع در کرمانشاه ارائه داده است که به آن روش اولویت‌بندی یکپارچه SWOT QSPM یا روش IPSQ می‌گویند. خوشه‌بندی وزن عوامل موثر با استفاده از مدل ELECTRE TRI بر اساس معیارهای خاص تعیین شده است. این وزن‌ها باتوجه به ترجیحات شخصی کاربر، قبلاً تخصیص داده می‌شوند. سپس عملکرد روش پیشنهادی بررسی شده و اطلاعات لازم جمع‌آوری و آنالیز هیدرولیکی با استفاده از WaterGEMS انجام شده است. در مرحله بعد، ماتریس SWOT انجام و استراتژی‌های برتر شکل گرفته است. در نهایت، اولویت‌ها با استفاده از تحلیل QSPM نشان داده شده‌اند. نتایج تحقیق نشان داد روش IPSQ کاربر را با موفقیت به سمت برنامه‌ریزی اولویت‌ها با کمترین تداخل و جلوگیری از اشتباهات احتمالی هدایت کرده است. پردازشگرهای خوشه‌بندی و اولویت‌بندی را می‌توان به سادگی و مفید به تکنیک‌های مدیریت استراتژی مرتبط کرد و خروجی‌های تجزیه و تحلیل هیدرولیک برای اتخاذ بهترین تصمیمات برای شبکه توزیع

آب بسیار مفید هستند. حمایت مالی دولت برای اجرای امنیت آنلاین و امکانات نظارتی (WO1 با STAS = 4.61) به عنوان اولویت اول استراتژی پدافند غیرعامل سامانه توزیع آب مورد مطالعه شناخته شده است.

ریاحی پور و همکاران (۱۳۹۹) با یک نگاه تحلیلی مبتنی بر پژوهش‌های کتابخانه‌ای و اسنادی تأسیسات آب شرب یاسوج را از دیدگاه پدافند غیرعامل بررسی کردند و راهکارهایی برای شناسایی عوامل داخلی و خارجی و راهبردهای چهارگانه در تأسیسات آب شرب این شهر با رویکرد چگونگی شناسایی اعمال ضوابط و ملاحظات پدافند غیرعامل در حال و آینده ارائه دادند که با استفاده از روش QSPM، راهبردهای انتخاب شده اولویت‌بندی می‌شوند. در مورد چگونگی پراکنش به وسیله GIS و بررسی و تحلیل‌های لازم، از مدل ارزیابی SWOT استفاده شده است. باتوجه به نتایج به دست آمده، لازم است تهیه راهبرد طرح بهسازی و نوسازی سامانه تأسیسات آب شرب این شهر با تأکید بر پدافند غیرعامل در اولویت اول قرار گیرد. تهیه راهبردهای احداث کانال مشترک برای تمام تأسیسات به دلیل چیدمان نامناسب آنها در اولویت بعدی قرار دارند.

احسانی‌فر و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهش خود به منظور مدیریت بحران آب شهر اراک، با به کارگیری مدل‌سازی پویا و روش تحلیل پویایی‌های سامانه و با استفاده از شبیه‌سازی رفتاری در محیط نرم‌افزاری ون‌سیم (Vensim)، مدیریت یکپارچه منابع آب در متغیر اصلی و رفتار مرجع سامانه را بررسی کردند. سامانه آب شهری اراک با استفاده از روش سامانه دینامیک مدل شده است. سناریوهای مختلفی برای مدل شبیه‌سازی شده بررسی شد، در نهایت دو سناریو از جمله نصب لوازم کاهنده مصرف در منازل و اصلاح شبکه تأمین، به دلیل تأثیر آنها بر کاهش کمبود آب و مدیریت پدافندی این سامانه آب شهری توصیه شد. مدل برای شهر اراک مناسب ارزیابی شده و می‌تواند برای بقیه شهرها به ویژه شهرهایی که در مناطق خشک یا نیمه خشک قرار گرفته‌اند، کاربردی باشد.

Awe و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌سازی سامانه توزیع آب نیجریه را با استفاده از طرح‌بندی سامانه توزیع آب برای تخمین تقاضای آب، جریان، سرعت و افت هد در نرم‌افزار EPANET انجام و در نهایت توسط نرم‌افزار LINGO آن را بهینه‌سازی کردند. این سامانه شامل یک مخزن، ۱۷۶۳ لوله و یک پمپ است و الگوریتم بهینه‌سازی توسعه یافته در این پژوهش پارامترهای بهینه سامانه را با کمترین هزینه جستجو می‌کند که به سامانه‌ها اجازه می‌دهد با قوانین و محدودیت‌های هیدرولیکی و ابتکاری که معمولاً برای طراحی خط لوله استفاده می‌شوند، به طور کارآمد هدف خود را برآورده کنند و در مدل برای دستیابی به راه حل بهینه استفاده شوند. نمایش مدل سامانه توزیع آب موجود با استفاده از قطره‌های

اولیه لوله ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر، مشخصه‌های ارتفاع تولید فشار ۲۵، ۳۰ و ۳۵ متر حل شد. مسئله به طور یکپارچه ارزیابی شد و نتایج نشان داد که ارتفاع بهینه مخزن ۲۵ متر و قطر بهینه لوله ۳۰۰ میلی‌متر تعیین شده است و در نتیجه ۳۸٪ کاهش در هزینه کل نصب، بهره‌برداری و نگهداری سامانه توزیع آب حاصل شده است.

جویلی و حیدرنژاد (۱۴۰۲) مدل‌سازی الگوی جریان در خط انتقال آب دارخوین را با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS انجام دادند و به تغییر قطر لوله‌ها و پمپاژ و تأثیر آن بر فشار، سرعت و تلفات پرداخته‌اند. نتایج نشان داد با کاهش ۳۳/۳ درصدی قطر لوله‌ها تلفات فشار در تمامی مسیر زیر ۳ متر می‌باشد. تلفات فشار پایین به دلیل سرعت نرمال می‌باشد. همچنین کاهش ۳۳/۳ درصدی قطر لوله‌ها و کاهش قطر پروانه پمپ‌ها از ۵۰۰ به ۴۶۰ میلی‌متر باعث کاهش چشمگیر فشار شده است.

Desta و همکاران (۲۰۲۲) روش پیشنهادی خود مبنی بر یک فرآیند ترکیبی تعاملی بین یک الگوریتم بهینه‌سازی و WaterGEMS را برای ارزیابی عملکرد سامانه توزیع آب موجود در شهر بررسی کردند. آنها مشاهده کردند در دوره‌های کم تقاضا، ۴۵/۵۸ درصد از لوله‌ها عمر آب کمتر از ۴/۸ ساعت داشتند، درحالی‌که ۵۴/۴۲ درصد دیگر از لوله‌ها دارای سن آبی ۴/۸-۲۰ ساعت بودند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد پس از بهینه‌سازی، ۴/۴ درصد از گره‌های دارای فشار بهینه به ۷۵/۱۸ درصد افزایش یافته و ۹۵/۶ درصد از گره‌ها به ۲۴/۸۲ درصد کاهش یافته‌اند. تغییر اندازه لوله بر اساس نتیجه بهینه‌سازی و تقسیم یک منطقه به مناطق فشار مختلف (افزودن مخازن بیشتر در انتهای سامانه توزیع) همه راه‌هایی برای بهبود بهره‌برداری یا ارتقاء سامانه توزیع هستند.

روان قلاتی و احمدی (۱۳۹۷) مدل‌سازی شبکه توزیع آب با اعمال ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه در محیط نرم‌افزار WaterGEMS را انجام دادند. با اندازه‌گیری میدانی فشار ۹ گره (محل تحویل آب در شبکه)، مدل با مقدار شاخص خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۶ صحت‌سنجی شد. پس از اجرای مدل و بررسی پارامترهای هیدرولیکی، مشخص شد مقادیر سرعت در بیش از ۹۵ درصد لوله‌ها، در ماه حداکثر مصرف مشترکین (مرداد)، کمتر از ۰/۳ متر در ثانیه است. در این شبکه، مقادیر فشار در بیش از ۵۰ درصد گره‌ها، از مقدار ۵ اتمسفر، بیشتر است که باعث تشدید نشت و افزایش احتمال ترکیدگی در ساعت‌های اوج فشار می‌شود. با بررسی پارامترهای هیدرولیکی شبکه، می‌توان استنباط کرد مهمترین علتی که منجر به عدم ایجاد وضعیت هیدرولیکی بهینه در این شبکه توزیع شده است، استفاده از لوله‌هایی با قطر زیاد از جمله ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۵۰ و ۸۰ میلی‌متر در شبکه است. نتایج این پژوهش لزوم تعیین دقیق مقادیر نیاز مشترکین بر حسب

ضرایب مصرف ساعتی و ماهانه برای طراحی بهینه یک شبکه توزیع آب و تحلیل این شبکه‌ها به روش شبیه‌سازی دوره گسترش یافته، برای ارزیابی و اصلاح مشکلات موجود شبکه‌های توزیع آب فعلی را بیان می‌کند.

Dini و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه خود یک روش جدید برای بهینه‌سازی تعداد پمپ‌های فعال (NAPs) و تنظیم متغیر آن‌ها جهت بهبود قابلیت اطمینان فشار، نشتی و مصرف برق در شبکه‌های توزیع آب ارائه داده‌اند. برای این منظور، یک شاخص پمپ‌های فعال (API) برای یافتن تعداد پمپ‌های فعال بهینه در هر گام زمانی پیشنهاد داده‌اند و یک شاخص قابلیت اطمینان فشار شبکه تک هدفه (NPRI) برای بهینه‌سازی تنظیم پمپ‌های سرعت متغیر استفاده شده است. الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) در MATLAB توسعه یافته و با EPANET به عنوان شبیه‌ساز هیدرولیکی مرتبط است. روش پیشنهادی بر روی یک نمونه و یک سامانه توزیع آب واقعی اعمال می‌شود. نتایج در هر دو مورد نشان‌دهنده کاهش قابل توجه در NAPs و همچنین هزینه‌های انرژی بوده درحالی‌که قابلیت اطمینان نشتی و فشار را به طور قابل توجهی به ویژه در ایستگاه‌های پمپاژ بزرگ با چندین پمپ بهبود می‌بخشد.

Dini و Asadi (۲۰۱۹) یک روش جدید برای بهینه‌سازی مکان و تنظیم شیرهای کاهش فشار (PRV) برای تنظیم فشار گره در ساعات مختلف روز با حداکثر کردن قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب ارائه دادند. این روش مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) است که با پیوند به یک مدل هیدرولیکی شبکه توزیع که در EPANET اجرا شده و در نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است. برای تأیید روش پیشنهادی، یک شبکه نمونه و یک شبکه بزرگ مقیاس واقعی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد تعیین مکان و تنظیم بهینه PRV در شبکه در تنظیم فشار گره‌ها و کاهش نرخ نشتی موثر است. مقایسه نتایج برای موارد با PRV بهینه و بدون PRV در یک شبکه واقعی نشان داد نرخ متوسط نشتی حدود ۱۵٪ کاهش و شاخص قابلیت اطمینان متوسط حدود ۲۴/۸٪ افزایش یافته است.

نصیریان و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود یک روش بهینه‌یابی جدید به نام روش تحلیل حساسیت را به منظور واسنجی زبری لوله‌ها معرفی کردند. در این روش ابتدا لوله‌ها بر اساس جنس و قطر گروه‌بندی شده سپس با تحلیل حساسیت، تأثیر تغییر زبری گروه‌های مختلف بر روی فشارهای گره‌ای بررسی شده است. در ادامه، واسنجی زبری به ترتیب اهمیت گروه‌ها انجام و این روش بر روی یک شبکه واقعی با مقدار زبری فرضی بررسی شد. ایشان نتایج به دست آمده را با نتایج به دست آمده از واسنجی نرم‌افزار WaterGEMS مقایسه کردند. نتایج نشان

دادند در واسنجی زبری، این نرم‌افزار توانست با ۲۰۰۰ تکرار فشارها را به مقدار مشاهداتی نزدیک کند و زبری لوله را با دقت خوبی تعیین کند. روش پیشنهادی در ۱۱۰ تکرار توانست مقدار دقیق زبری را در تمامی گروه‌ها شناسایی کند.

در این پژوهش مطالعات و تحقیقات انجام شده پیرامون مدل‌سازی هیدرولیکی سامانه‌های انتقال و توزیع آب جهت بهره‌برداری از آنها به منظور رفع چالش‌های بهره‌برداری و همچنین پژوهش‌های ارائه شده با رویکرد پدافند غیرعامل جهت ارائه راهکارهای مناسب برای تأسیسات در دست بهره‌برداری پرداخته شد که نتایج آنها بر اهمیت مدل‌سازی هیدرولیکی سامانه‌های انتقال و توزیع آب جهت بهره‌برداری و به خصوص توانایی و دقت نرم‌افزار WaterGEMS در این راستا و همچنین اجرای راهکارهای پدافند غیرعامل در راستای ساماندهی مناسب برای پایداری بیشتر تأکید می‌کند. بر این اساس، در این پژوهش بهره‌برداری از سامانه آبرسانی غدیر خوزستان که آب مورد نیاز ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا را تأمین می‌کند و اثر بسزایی در تداوم زندگی مردم شهرهای مرکزی، غرب و جنوب غرب این استان به وجود می‌آورد مورد توجه قرار گرفته است، به خصوص در شرایط بروز حوادثی مانند خرابی، تعمیرات، سرویس و نگهداری برنامه‌ریزی شده تجهیزات و شکستگی در لوله‌های درون ایستگاه اصلی به عنوان عمده‌ترین منبع تأمین آب این سامانه که منجر به خاموشی این ایستگاه و توقف در امر آبرسانی می‌شود. به این منظور، مدل‌سازی هیدرولیکی بهره‌برداری این سامانه انتقال مشتمل بر ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال و مخازن متعادل‌کننده در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شد که این نرم‌افزار بر برنامه‌های بهره‌برداری استوار می‌باشد تا بتوان با ارائه و بررسی یک راهکار عملی و قابل اجرا از بروز بحران یا اختلال در پایداری انتقال آب جلوگیری نموده و یا آن را به حداقل رساند.

مواد و روش‌ها

- سامانه آبرسانی مورد مطالعه

طرح آبرسانی غدیر از سال ۱۳۸۷ با هدف آبرسانی جهت رفع نیاز شهرهای مرکزی، جنوب غرب و غرب استان خوزستان (شامل ۲۵ شهر و ۱۶۰۸ روستا) و هدف نهایی تأمین حداکثر ۲۴ متر مکعب در ثانیه و سالانه ۷۵۷ میلیون مترمکعب آغاز شد. شرکت بهره‌برداری، تولید و انتقال آب غدیر خوزستان در سال ۱۳۹۴ تأسیس و پس از تکمیل فاز اول و دوم طرح، عهده‌دار بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات خطوط و تأسیسات طرح شد و در حال حاضر به طور متوسط ۱۲ متر مکعب در ثانیه و سالانه ۳۷۸ میلیون متر مکعب آب شرب ۱۶ شهر و ۴۹۵ روستا تأمین

می‌شود. تأسیسات در حال بهره‌برداری شرکت آب غدیر شامل غدیر شمالی، فتح‌المبین (ام‌الدبس)، ایستگاه شهدای هویزه (قیصریه)، تصفیه‌خانه دارخوین و ایستگاه چمران می‌باشند که وظیفه تأمین و انتقال آب خام به شهرهای اهواز، آبادان، خرمشهر، دشت آزادگان (شامل: سوسنگرد، هویزه، بستان، رفیع، حمیدیه و چذابه) دارخوین، شادگان و روستاهای حومه شهرهای مذکور و برخی مراکز صنعتی را به عهده دارند. در سامانه انتقال آب غدیر، تا قبل از نیمه دوم سال ۱۴۰۱، ۸۰ درصد از حجم کل آب مورد نیاز شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی توسط تأسیسات فتح‌المبین و از کانال پای‌پل کرخه تأمین می‌شد و به طور هم‌زمان ۱۵ درصد از حجم کل آب مورد نیاز نیز از کانال MC1 کرخه برداشت و به شهرهای آبادان، خرمشهر و تصفیه‌خانه دارخوین ارسال می‌شد. باقیمانده حجم آب مورد نیاز (به میزان ۵ درصد) توسط تصفیه‌خانه دارخوین پس از برداشت از رودخانه کارون و انجام عملیات تصفیه به همراه آب دریافتی از فتح‌المبین به دارخوین و شادگان و روستاهای آنها ارسال می‌شد. از نیمه دوم سال ۱۴۰۱، تلمبه‌خانه غدیر شمالی به منظور بهبود کیفیت آب تحویلی به شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی با هدف ارسال آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) به تأسیسات فتح‌المبین تأسیس شد و ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه از مدار آبرسانی خارج شد. بنابراین در حال حاضر ۹۰ درصد از حجم کل آب مورد نیاز شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی توسط تأسیسات فتح‌المبین و از کانال W2 (سد انحرافی دز)، ۵ درصد از حجم باقیمانده مانند قبل توسط تصفیه‌خانه دارخوین و باقیمانده حجم مورد نیاز نیز از کانال چمران توسط تلمبه‌خانه چمران به تصفیه‌خانه اهواز ارسال می‌شود. بنابراین ابتدا لازم است به شرح مشخصات ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط انتقال و عملیات آبرسانی در سامانه انتقال آب غدیر خوزستان پرداخته شود.

- در این سامانه آبرسانی، آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) توسط ۱۲ دستگاه الکتروپمپ (پمپ ایران مدل ۸۳۵-۵۰۰) با توان ۱۲۵۰ کیلووات مستقر در تأسیسات غدیر شمالی و از طریق خط انتقال فولادی با سایز ۲۴۰۰ میلی‌متر و به طول ۷۳ کیلومتر به سمت لاگون‌های تأسیسات فتح‌المبین ارسال می‌شود.

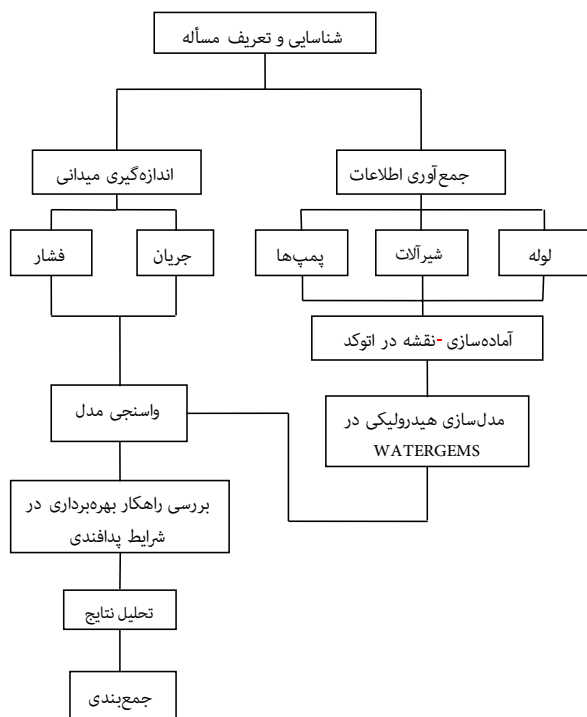
- تأسیسات فتح‌المبین در دشت آزادگان، و در نزدیکی روستای ام‌الدبس واقع شده که در آن آب دریافتی از ایستگاه بالادست (غدیرشمالی) توسط ۸ دستگاه الکتروپمپ (۵ عدد پمپ پتکو و ۳ عدد پمپ صنعتی) با توان ۲۵۰۰ کیلووات از طریق دو خط انتقال فولادی با سایز ۲۰۰۰ میلی‌متر و به طول ۵ کیلومتر به سمت دو مخزن متعادل‌کننده به حجم هر کدام ۴۲۰۰۰ متر مکعب پمپاژ می‌شود. سپس از این مخازن به صورت ثقلی به تصفیه‌خانه‌های شماره ۱ و ۲ اهواز (ملی راه و کیان آباد)، دشت آزادگان، آبادان، خرمشهر و دارخوین و روستاها انتقال می‌یابد.

- آب ورودی به تصفیه‌خانه دارخوین علاوه بر خط آبرسانی غدیر، به طور مستقیم از رودخانه کارون توسط ۲ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران) با توان ۱۳۲ کیلووات و ۳ دستگاه الکتروپمپ فشار ضعیف (لولیفیت) با توان ۱۳۲ تا ۱۶۰ کیلووات مستقر در اسکله آبگیر تأمین و بعد از عبور آب از حوضچه اختلاط و اضافه شدن مواد شیمیایی جهت ته‌نشین شدن ذرات معلق، آب خروجی از حوضچه، بین چهار دستگاه کلاریفایر با ظرفیت ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت (در مجموع ۴۴۰۰ مترمکعب) تقسیم شده و سپس با یک لوله ۱۴۰۰ میلی‌متر به حوضچه مقسم تصفیه‌خانه منتقل می‌شود. سپس از طریق دو کانال بتنی به ۱۲ عدد فیلتر شنی با ظرفیت تصفیه هر فیلتر برابر ۱۱۲۵۰ متر مکعب در شبانه روز ارسال می‌شود که هر فیلتر مجهز به دریچه کشویی پنوماتیک و لاین هوادهی و عملگر برقی جهت فرمان دادن برای ورود و خروج هوا و همچنین میز کنترل جهت ارسال فرمان و انجام فرآیند انتقال آب به مخزن پاک و عملیات بک واش می‌باشند. جریان به صورت ثقلی از شن‌های موجود در فیلترها با ضخامت ۱ متر به یک باکس بتنی مربوط به آن فیلتر هدایت می‌شود و در نهایت جریان تمامی اسلب‌ها وارد یک کانال بتنی تعبیه شده در زیر تصفیه‌خانه و از آنجا به مخزن آب پاک با حداکثر ظرفیت ۵۰۰۰ متر مکعب، منتقل می‌شود. آب هدایت شده به مخزن پاک توسط ۷ دستگاه پمپ مستغرق نوید سهند با توان ۲۰۰ کیلووات و حداکثر ظرفیت ۱۱۰۰ متر مکعب در ساعت توسط یک لوله با سایز ۱۲۰۰ میلی‌متر هدایت می‌شود. مجموع دبی ارسالی از تأسیسات دارخوین به شادگان و روستاهای منطقه ارسال می‌شود. - از طرفی در ایستگاه پمپاژ چمران آب از کانال چمران برداشت و توسط ۷ دستگاه الکتروپمپ (مدل پمپ ایران ۳۵۰-۳۰۰) با توان ۱۳۲ کیلووات به تصفیه‌خانه کیان آباد اهواز ارسال می‌شود.

- از دیگر تأسیسات این سامانه آبرسانی غدیر، می‌توان به ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه اشاره نمود که از نیمه دوم سال ۱۴۰۱ با در مدار قرار گرفتن تلمبه‌خانه غدیرشمالی با هدف ارسال آب با کیفیت از سد انحرافی دز، این ایستگاه از مدار آبرسانی خارج و به عنوان ایستگاه پدافندی سامانه انتقال آب غدیر در نظر گرفته شده است. این تلمبه‌خانه قابلیت انتقال آب از کانال MC1 کرخه توسط ۸ دستگاه الکتروپمپ (پمپ ایران ۵۰۰-۳۰۰) با توان ۳۵۵ کیلووات از طریق خطوط انتقال GRP با سایزهای ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ به تصفیه‌خانه‌های آبادان، خرمشهر و دارخوین را خواهد داشت.

- به‌طور کلی مجموع طول خطوط انتقال در حال بهره‌برداری ۷۰۲ کیلومتر دارای قطرهای مختلف در سایزهای ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در دو جنس فولادی (۴۴۶ کیلومتر) و GRP (۲۵۶ کیلومتر) می‌باشد. در شکل (۱) مناطق تحت پوشش سامانه آبرسانی آب غدیر در استان خوزستان نشان داده شده است.

پروانه‌ای موجود بر روی خطوط (از قطر ۳۰۰ تا ۲۴۰۰ میلی‌متر) ترسیم شده و پس از انجام اصلاحات نهایی، وارد نرم‌افزار WaterGEMS شده است. مشخصات لوله‌های سامانه شامل طول، قطر و جنس در جدول (۱) ذکر شده است.

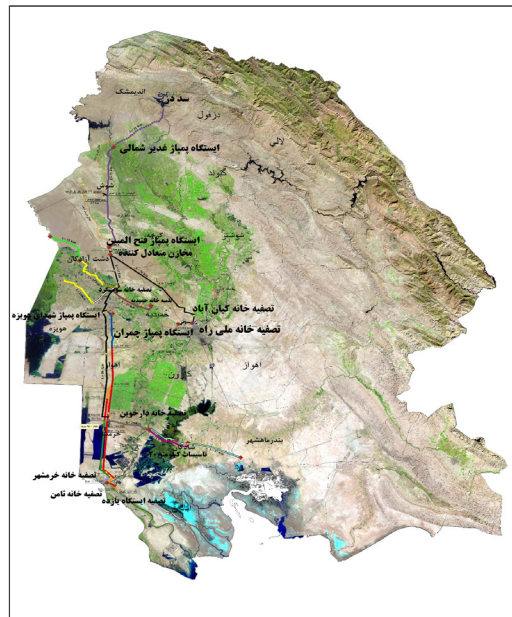


شکل ۲- فرآیند پژوهش و نحوه بررسی راهکار پیشنهادی

جدول ۱- مشخصات لوله‌ها در سامانه انتقال آب غدیر

ردیف	قطر (mm)	طول (Km)	جنس
۱	۳۰۰-۲۴۰۰	۴۴۶	STEEL
۲	۴۰۰-۱۸۰۰	۲۵۶	GRP

پس از وارد کردن خطوط انتقال و شیرها و مشخصات آنها، به ترسیم ایستگاه‌های پمپاژ و مخازن متعادل‌کننده و وارد کردن اطلاعات ارتفاعی نقاط و شیرها توسط ابزارهای نرم‌افزار پرداخته شده است. در ابتدا اطلاعات طرح اولیه اجرا شده را وارد کرده و پس از واسنجی که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد، راهکار موثر برای بهره‌برداری از این سامانه در شرایط بحرانی و خاموشی موقت ایستگاه اصلی بررسی قرار شده است. برای ورود اطلاعات پمپ‌ها به نرم‌افزار، برای هر مدل پمپ، نمودار دبی-ارتفاع و برای شیرهای پروانه‌ای بسته به سایز، جنس شیر و PN آنها نمودار دبی-افت اعمال شده است. در شکل (۳) تصویری از شبیه‌سازی سامانه انتقال آب غدیر در محیط نرم‌افزار WaterGEMS آمده است.



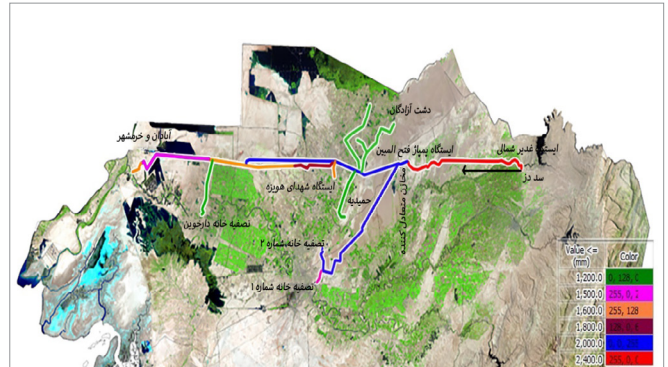
شکل ۱- مناطق تحت پوشش سامانه آبرسانی آب غدیر در استان خوزستان اخذ شده از واحد GIS شرکت آب غدیر خوزستان

تحلیل هیدرولیکی

در این پژوهش برای مدل‌سازی از نرم‌افزار WaterGEMS استفاده شده است. این محصول با قابلیت ArcGIS توانایی انجام و انتقال نتایج حاصل از محاسبات جغرافیایی را دارد. تمام کارایی برنامه WaterCad در برنامه WaterGEMS موجود می‌باشد و علاوه بر آن فناوری، محاسبه و گزارش مقدار هزینه‌های اجرایی و هزینه مصرف انرژی در آن موجود می‌باشد. همچنین در فضای این نرم‌افزار، کاربر قادر به شبیه‌سازی کیفیت آب است. به‌طوری‌که می‌تواند آلاینده و غلظت آن را در شبکه توزیع‌کننده مدل‌سازی کند. امکان مدل‌سازی و مدیریت خطوط انتقال آب، ایستگاه پمپاژ و سامانه آبیاری تحت فشار در محیط این نرم‌افزار وجود دارد. محاسبه پارامترهای هیدرولیکی، طراحی بهینه شبکه توزیع و تشخیص نشت آب در شبکه ازجمله قابلیت‌های WaterGEMS است. از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌توان به تحلیل سامانه لوله‌کشی، ساخت مدل‌های هیدرولیکی و مدل‌سازی دقیق پمپ‌های آب اشاره کرد. نرم‌افزار مذکور را می‌توان پیش از اجرای شبکه آبرسانی، برای طراحی و پس از اجرای آن نیز برای رفع نواقص و بهینه کردن عملکرد هیدرولیکی آن به کار برد (نظری، ۱۳۹۰).

به‌طورکلی مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است که در ادامه پژوهش به شرح هر یک از مرحله‌ها پرداخته خواهد شد.

برای انجام مدل‌سازی خطوط انتقال، ابتدا در محیط نرم‌افزار AutoCAD، گره‌ها، لوله‌های مسیر انتقال آب و شیرآلات هوا و



شکل ۳- تصویر شبیه سازی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در

نرم افزار WaterGEMS

- اندازه گیری های میدانی و واسنجی

در مرحله اول، مدل هیدرولیکی بهره برداری سامانه موجود آبرسانی غدیر در نرم افزار تحلیل هیدرولیکی تهیه شده است. پس از وارد کردن مشخصات کامل و مورد نیاز سامانه آبرسانی و ساخت مدل، می بایست با استفاده از اطلاعات میدانی، مدل بازبینی شود. این فرایند واسنجی است و اولین گام، جمع آوری اطلاعات میدانی می باشد. مهمترین اطلاعات جمع آوری شده میدانی معمولاً اندازه گیری های فشار و جریان می باشند. به این منظور جهت واسنجی نقاطی که در مسیر انتقال، اندازه گیری فشار در آنها امکان پذیر می باشد با بررسی نقشه های موجود و بازدیدهای محلی شناسایی شده و اندازه گیری فشار قبل و بعد از آنها انجام و همچنین بروز نشستی های احتمالی در مسیر انتقال مورد بررسی و ثبت شده است. همچنین فشار در خروجی ایستگاه های پمپاژ غدیر شمالی، فتح المبین، چمران و دارخوین نیز توسط اپراتورها به صورت ساعتی قرائت و ثبت شده است. بدیهی است هرچه تعداد نقاط (گره های) آزمون در یک سامانه بیشتر باشد، مطالعات صورت گرفته در این سامانه دقت عمل و قابلیت اطمینان بیشتری خواهند داشت. به طور هم زمان دبی سنج های نصب شده در ایستگاه های پمپاژ مذکور و کنتورهای مشترکین و تصفیه خانه ها به طور ساعتی توسط اپراتورها قرائت و ثبت شده است. کالیبراسیون، فرایند مقایسه نتایج مدل با نتایج میدانی برداشت شده و در صورت نیاز تنظیم پارامترهای سامانه انتقال تا رسیدگی به هماهنگی مناسب بین نتایج مدل با نتایج میدانی در بازه گسترده ای از شرایط مختلف عملکردی سامانه می باشد (Ormsbee, 1989).

پس از واسنجی مدل، در مرحله دوم عملکرد این سامانه انتقال از نظر کیفی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

- بررسی کیفیت آب سامانه انتقال آب غدیر

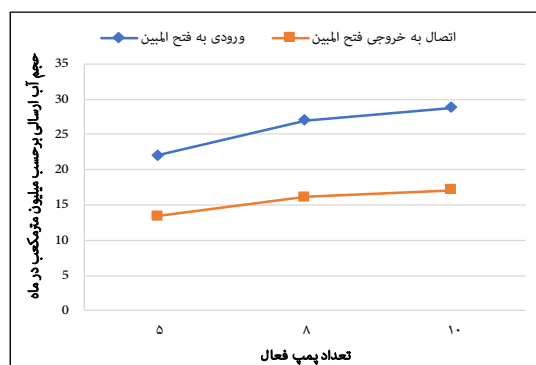
به دلیل انتقال و تحویل آب خام از طرح غدیر به

تصفیه خانه های شهرهای مورد نظر، پارامتر EC یا شوری آب اهمیت ویژه ای دارد زیرا سایر پارامترهای کیفی آب پس از تحویل آب خام غدیر، در تصفیه خانه ها کنترل و اقدامات لازم جهت بهبود کیفیت آن انجام می شود. تا سال ۱۴۰۱ برداشت آب و انتقال آن از کانال پای پل کرخه با مقادیر EC حدود ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر انجام می شد که مطابق استاندارد کیفیت آب های ایران نبود (استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری شرب کمتر از ۱۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتی متر می باشد). بنابراین از نیمه دوم سال ۱۴۰۱ به منظور بهبود کیفیت آب تحویلی به تصفیه خانه شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی، تلمبه خانه غدیر شمالی با هدف ارسال آب از کانال W2 (سد انحرافی دز) به تأسیسات فتح المبین تأسیس شد و ایستگاه پمپاژ شهدای هویزه که با برداشت ۱۵ درصد از حجم کل آب مورد نیاز از کانال MC1 کرخه عملیات آبرسانی به آبادان، خرمشهر و تصفیه خانه دارخوین را انجام می داد از مدار آبرسانی خارج شد و در نتیجه ۹۰ درصد آب ارسالی از کانال W2 سد انحرافی دز انجام می شود. در ادامه به بررسی روند تغییرات کیفیت آب ارسالی تحت تأثیر این امر پرداخته شده است.

- حفظ پایداری عملیات آبرسانی در شرایط خاموشی ایستگاه اصلی سامانه انتقال آب غدیر

باتوجه به اهمیت سامانه انتقال آب غدیر خوزستان، یکی از موثرترین تأمین کنندگان آب مورد نیاز شهرهای مرکزی، غرب و جنوب غرب این استان، و بروز حوادثی مانند خرابی، تعمیرات، سرویس و نگهداری برنامه ریزی شده تجهیزات و شکستگی در لوله های درون ایستگاه اصلی به عنوان تأمین کننده ۹۰ درصد از کل حجم آب ارسالی این سامانه، موجب اختلال و توقف در امر آبرسانی می شود بنابراین بررسی راه حل مناسب برای تداوم بهره برداری و پایداری آبرسانی امری ضروری است. به این منظور یک راهکار جهت انتقال موقت آب از تلمبه خانه غدیر شمالی (به عنوان ایستگاه پمپاژ بالادست) به صورت مستقیم به مخازن متعادل کننده فتح المبین بررسی شده است. در مدل هیدرولیکی ساخته شده توسط نرم افزار WaterGEMS، از خط لوله انتقال خروجی این ایستگاه که با سایز ۲۴۰۰ میلی متر و به طول ۷۳ کیلومتر تا لاگون های فتح المبین امتداد دارد، قبل از ورودی به لاگون ها یک خط لوله با سایز ۲۰۰۰ میلی متر و به طول ۷۰۰ متر برای دور زدن مسیر خط انتقال اصلی در نظر گرفته و به صورت مستقیم به خط انتقال خروجی از تأسیسات فتح المبین متصل و تلمبه خانه فتح المبین را خاموش کرده و میزان حجم آب انتقالی از ایستگاه بالادست به مخازن متعادل کننده در شرایط هیدرولیکی مختلف، بررسی شده است.

غدير شمالی و قبل از ورودی به تأسیسات فتح‌المبین به صورت مستقیم به خروجی فتح‌المبین برای دور زدن مسیر انتقال در نظر گرفته شده است تا در این شرایط آب از ایستگاه بالادست به مخازن فتح‌المبین انتقال یابد. در شکل (۵) میزان حجم آب پمپاژ شده بر اساس تعداد پمپ‌های فعال در مدار آبرسانی ایستگاه بالادست در شرایط ارسال مستقیم از این ایستگاه به الف) ورودی تلمبه‌خانه فتح‌المبین، ب) خروجی فتح‌المبین توسط خط لوله پیشنهادی و ارسال آن به مخازن متعادل‌کننده مقایسه شده است.



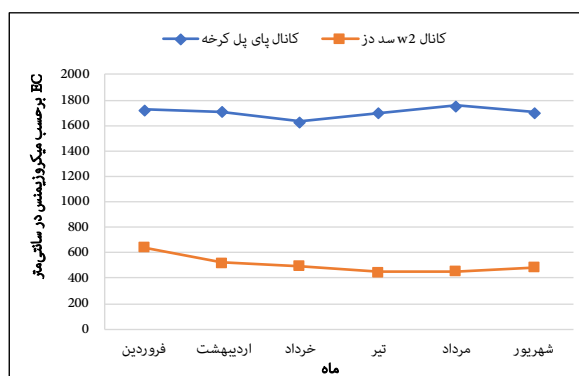
شکل ۵- مقایسه مقادیر حجم آب ارسالی از تلمبه‌خانه غدير شمالی در شرایط ارسال به الف) فتح‌المبین و ب) مخازن متعادل‌کننده

بر اساس نتایج شکل (۵)، میزان حجم آب ارسالی از تلمبه‌خانه غدير شمالی به لاگون‌های فتح‌المبین در شرایط بهره‌برداری فعلی، بر اساس تعداد ۵، ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی به ترتیب ۲۲/۱، ۲۷ و ۲۸/۸ میلیون متر مکعب در ماه می‌باشد که در شرایط اضطراری و خاموشی موقت ایستگاه اصلی (فتح‌المبین)، می‌توان از طریق یک خط لوله و اتصال مستقیم آن از خط خروجی ایستگاه غدير شمالی به خروجی این ایستگاه برای دور زدن مسیر انتقال بر اساس تعداد ۵، ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی، به ترتیب ۱۳/۴، ۱۶/۱ و ۱۷/۱ میلیون مترمکعب در ماه یعنی ۶۰ درصد از حجم آب مورد نیاز را به صورت مستقیم به مخازن متعادل‌کننده فتح‌المبین جهت حفظ پایداری عملیات آبرسانی انتقال داد.

در ادامه به بررسی روند تغییرات فشار در طول مسیر خط انتقال از تلمبه‌خانه غدير شمالی تا مخازن متعادل‌کننده نیز تحت راهکار پیشنهادی، پرداخته شده است. بر روی خط انتقال مذکور که ۷۳ کیلومتر می‌باشد تعداد ۷۰ عدد شیرها با سایز ۲۰۰ میلی‌متر جهت تخلیه هوای درون خط در هنگام پر کردن از آب و تخلیه لوله‌ها در هنگام بهره‌برداری و تخلیه هوای محبوس شده در نقاط مرتفع خط انتقال که موجب مشکلات زیادی از نقطه نظر هیدرولیکی خواهد شد (مانند کاهش

در این پژوهش، به منظور بررسی و ارائه راهکاری مناسب برای تداوم بهره‌برداری و آبرسانی سامانه انتقال آب غدير خوزستان در شرایط پدافندی، شبیه‌سازی این سامانه در محیط نرم افزار WaterGEMS انجام شد و عملکرد این سامانه از نظر کیفی نیز بررسی شد.

برای بررسی تغییرات کیفی آب ارسالی در سامانه انتقال تحت تأثیر تغییر منبع تأمین آب آن از کانال پای‌پل کرخه به کانال W2 سد انحرافی دز، متوسط مقادیر ماهیانه EC این دو منبع تأمین آب برای یک دوره شش ماهه (فروردین تا شهریور) بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی، در شکل (۴) مقایسه شده است.



شکل ۴- مقایسه مقادیر ماهیانه EC منابع تأمین آب سامانه آبرسانی غدير (شرایط قبل و فعلی)

مقایسه نتایج شکل (۴) نشان می‌دهد در صورت برداشت آب از کانال W2 سد انحرافی دز میزان EC حدود ۶۸ درصد کاهش می‌یابد به گونه‌ای که برای کانال پای‌پل کرخه میزان این پارامتر در بازه ۱۶۳۳ تا ۱۷۲۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر مشاهده شده است اما برای کانال W2، بازه تغییرات آن ۴۴۸ تا ۶۴۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده است. مطابق استاندارد کیفیت آب‌های ایران میزان EC منابع آب برای کاربری شرب می‌بایست کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد و نتایج ارائه شده دلالت بر کیفیت مطلوب آب کانال W2 به عنوان منبع تأمین آب دارد. بنابراین با جایگزین کردن کانال W2 (سد انحرافی دز) به عنوان منبع برداشت آب به جای کانال پای‌پل کرخه، آب خام تحویلی به شهرها، روستاها و مشترکین صنعتی از کیفیت بسیار مطلوبتری برخوردار خواهد بود که این امر تأثیر مهمی در رسالت آبرسانی شهری خواهد داشت. در راهکار ارائه شده به منظور حفظ پایداری امر آبرسانی در شرایط اضطراری و خاموشی موقت ایستگاه پمپاژ فتح‌المبین، در نرم‌افزار یک خط لوله از خط انتقال خروجی ایستگاه

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با استفاده از روش شبیه‌سازی در نرم‌افزار WaterGEMS، به مطالعه و بررسی راهکار مناسب برای استمرار آبرسانی در سامانه انتقال آب غدیر در خوزستان پرداخته، همچنین میزان تغییرات آب‌رسانی از نظر کیفی با جایگزین کردن منبع تأمین آب دیگری در این سامانه بررسی شده است. بر اساس نتایج، تأسیس تلمبه‌خانه غدیر شمالی در بالادست ایستگاه اصلی سامانه انتقال آب غدیر (تأسیسات فتح‌المبین) به منظور برداشت آب از کانال w۲ (سد انحرافی دز) به‌عنوان منبع تأمین آب جدید بجای برداشت آب از کانال پای‌پل کرخه و ارسال ۹۰ درصد از کل آب موردنیاز شهرهای مورد نظر از این منبع جدید توسط تلمبه‌خانه فتح‌المبین، این امر تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت آب انتقالی داشته است به‌طوری‌که برداشت آب از کانال w۲ دز در مقایسه با کانال پای‌پل کرخه میزان EC را حدود ۶۸ درصد کاهش داده و به حدود ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌رساند که مطابق استاندارد کیفیت آب‌های ایران، کیفیت این منبع آب برای کاربری شرب که می‌بایست کمتر از ۱۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر باشد، مورد تأیید می‌باشد. از طرفی، از دیگر مزیت‌های تلمبه‌خانه غدیر شمالی، حفظ پایداری امر آبرسانی در شرایط اضطراری و خاموش شدن موقت ایستگاه فتح‌المبین می‌باشد به‌طوری‌که می‌توان از خط انتقال خروجی از آن و قبل از ورودی به تأسیسات فتح‌المبین یک خط لوله برای دور زدن مسیر انتقال، به خروجی فتح‌المبین متصل و ارسال آب به‌طور موقت از این ایستگاه به مخازن متعادل‌کننده فتح‌المبین انجام شود که در این حالت بر اساس نتایج شبیه‌سازی، ۶۰ درصد از کل حجم آبی که توسط فتح‌المبین ارسال می‌شد را می‌تواند تأمین و پمپاژ نماید که این امر از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. بر اساس نتایج پژوهش‌ها مبنی بر لزوم مدل‌سازی سیستم‌های آبرسانی برای رفع چالش‌های بهره‌برداری و اهمیت پدافند غیرعامل این سامانه‌ها، این پژوهش نیز با ساخت مدل هیدرولیکی بهره‌برداری توانست راهکاری مناسب برای تداوم آبرسانی سامانه انتقال آب غدیر خوزستان در شرایط بحرانی را بیان کند که می‌توان در راستای هرچه بهتر مدیریت کردن بهره‌برداری در این شرایط آن را پیشنهاد کرد و با توجه به مدل هیدرولیکی موجود توصیه می‌گردد که با توجه به افزایش تقاضای آب در دراز مدت، راهکارهای موثر برای بهینه‌سازی و بهینه‌کردن بهره‌برداری و رفع چالش‌هایی که این سامانه انتقال در آینده ممکن است مواجه شود مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

جریان سیال عبوری از مقطع نصب شده و همچنین ۴۵ عدد شیر پروانه‌ای در راستای ایزوله کردن و تخلیه مقطعی آب در زمان بروز خرابی و انجام عملیات تعمیرات تعبیه شده است. بنابراین برای بررسی روند تغییرات فشار در طول این مسیر، به دلیل کثرت تعداد شیرهای تعبیه شده بر روی خط، در شکل (۶) به‌عنوان نمونه، مقادیر فشار در خروجی تلمبه‌خانه (ابتدای مسیر)، مخازن متعادل‌کننده (انتهای مسیر) و همچنین حداقل و حداکثر فشار در طول این مسیر جهت تمهیدات لازم برای بهره‌برداری آورده شده و بر اساس تعداد پمپ فعال در مدار آبرسانی مقایسه شده است.

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservoir (bars)
7.38	5.76	10.27	1.01

الف) در شرایط ۵ پمپ فعال

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservoir (bars)
8.61	6.67	10.55	1.02

ب) در شرایط ۸ پمپ فعال

Base - Pressure - Pumpstation (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km22 (bars)	Base - Pressure - Airvalve-Km70 (bars)	Base - Pressure - Reservoir (bars)
9.07	7.01	10.66	1.02

ج) در شرایط ۱۰ پمپ فعال

شکل ۶- روند تغییرات فشار از تلمبه‌خانه غدیر شمالی تا مخازن متعادل‌کننده بر اساس تعداد پمپ فعال با وجود خط لوله پیشنهادی در شرایط ارسال مستقیم به مخازن متعادل‌کننده

بر اساس نتایج شکل (۶)، حداقل فشار در کیلومتر ۲۲ که بالاترین نقطه ارتفاعی مسیر و حداکثر فشار در کیلومتر ۷۰ که در پایین‌ترین نقطه ارتفاعی مسیر واقع شده، مشاهده شده است. به‌طوری‌که در شکل (۶-الف)، برای تعداد ۵ پمپ فعال در مدار آبرسانی، جریان تحت فشار ۷/۳۸ بار از تلمبه‌خانه غدیرشمالی از طریق خط لوله پیشنهادی برای دور زدن مسیر انتقال به سمت مخازن متعادل‌کننده انتقال می‌یابد و در محل مخازن فشار به ۱ بار تقلیل یافته است و بازه تغییرات فشار در طول مسیر از ۵/۷۶ تا ۱۰/۲۷ بار مشاهده شده است. تغییرات فشار برای تعداد ۸ و ۱۰ پمپ فعال در مدار آبرسانی نیز در شکل (۶-ب و ج) قابل مشاهده است که در صورت اجرای خط لوله پیشنهادی برای دور زدن مسیر انتقال می‌بایست تمهیدات لازم جهت بهره‌برداری در نظر گرفته شود.

- Awe, O.M., Okolie, S.T.A., & Fayomi, O.S.I. (2020). Analysis and optimization of water distribution systems: a case study of Kurudu post service housing estate. Abuja, Nigeria. Results in Engineering, 5, 100100, 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.rinen.2020.100100>
- Desta, W.M., Feyessa, F.F., & Debela, S.K. (2022). Modeling and optimization of pressure and water age for evaluation of urban water distribution systems performance. Heliyon, 8(11), e11257, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11257>
- Dini, M., & Asadi, A. (2019). Pressure Management of Large-Scale Water Distribution Network Using Optimal Location and Valve Setting. Water Resources Management, 33(1), 1-13. doi: [10.1007/s11269-019-02381-x](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02381-x)
- Dini, M., Hemmati, M., & Hashemi, S. (2022). Optimal operational scheduling of pumps to improve the performance of water distribution networks. European Water Resources Association (EWRA), 36(1), 417-432. doi: [10.1007/s11269-021-03034-8](https://doi.org/10.1007/s11269-021-03034-8)
- Kettler, A.J., & Goulter, I.C. (1985). An analysis of pipe breakage in urban water distribution networks. Canadian Journal of Civil Engineering, 12, 286-293. <https://doi.org/10.1139/l85-030>
- Mohammadi, K. (2023). Improved strategy management for WDNs: Integrated prioritization SWOT QSPM (IPSQ) method-Application to passive defense. Socio-Economic Planning Sciences, 88, 15-28. doi.org/10.1016/j.seps.2023.101663
- Ormsbee, L.E. (1989). Implicit Network Calibration. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 115(2), 243-257. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1989\)115:2\(243\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1989)115:2(243))
- احسانی‌فر، محمد، همتا، نیما، و عبدالهیان، مهرانگیز. (۱۳۹۷). مدیریت بحران آب شهر اراک با استفاده از رویکرد پویایی‌های سامانه. فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، ۷(۱)، ۵-۱۲. doi: [20.1001.1.23453915.1397.7.1.1.0](https://doi.org/10.23453915.1397.7.1.1.0)
- پورطبری، محمود، و پورطبری، محسن. (۱۳۹۶). حفاظت سامانه‌های آبرسانی با رویکرد پدافند غیرعامل. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. انجمن هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- توکلی امینیان، ثمانه. (۱۳۹۲). توانمندسازی پدافند غیرعامل در افزایش امنیت آبرسانی به ساکنین منطقه ۹ شهر مشهد. اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار. دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
- جعفری دهکاء، علی، و نوربخش، نوید. (۱۳۹۷). ارزیابی اجرای پدافند غیرعامل در مجتمع‌های بزرگ آبرسانی مطالعه موردی تأسیسات شهید خوشسیرت آستانه اشرفیه. دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. انجمن آب و فاضلاب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- جولبی، پرهام، و حیدرنژاد، محمد. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر کاهش قطر لوله بر سرعت جریان و بر افت فشار در خط انتقال آب دارخوین با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۲(۲)، ۲۳-۳۲. doi: <https://doi.org/10.22034/nawee.2023.394572.1040>
- روان قلاتی، اکبر، و احمدی، سید حمید. (۱۳۹۷). مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شرب شهرک بزمین شهر شیراز. مجله پژوهش آب ایران، ۱۲(۳)، ۹۹-۱۰۸.
- ریاحی پور، مجید، کلانتری، محسن، و پیری، عیسی. (۱۳۹۹). مدیریت و برنامه‌ریزی بحران در تأسیسات آب شهری با رویکرد پدافند غیرعامل (مطالعه موردی شهر یاسوج). آب و فاضلاب، ۳۱(۲)، ۱۳۰-۱۳۶. doi: [10.22093/wwj.2019.91349.2445](https://doi.org/10.22093/wwj.2019.91349.2445)
- مودی، صادقی، محتشمی، علی، و قادری، عباسعلی. (۱۳۹۴). پدافند غیرعامل تأسیسات آبی در شرایط بحران و تأثیر بر کیفیت منابع آب. اولین همایش ملی کیفیت منابع آب و توسعه پایدار. شرکت سهامی آب منطقه‌ای مرکزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
- نصیریان، علی، ملازاده، مهدی، و ولوی، علی. (۱۴۰۰). معرفی روشی جدید برای کالیبراسیون زبری لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب. مجله آب و فاضلاب، ۳۲(۲)، ۸۰-۹۰. doi: [10.22093/wwj.2020.233434.3029](https://doi.org/10.22093/wwj.2020.233434.3029)
- نظری، علی. (۱۳۹۰). طراحی شبکه‌های آبرسانی با WaterGEMS، انتشارات الیاس. چاپ اول. تهران، ایران.

Investigating the Challenges of Inter-Basin Water Transfer Projects (Case Study: Beheshtabad Water Transfer Plan)

F. Alipour NasirMahaleh^{1*}, R. Mirabbasi Najafabadi^{2*}, A. Torabi Haghighi³

1, 2- Ph.D. Candidate in Water Resources Engineering and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. 3- Associate Professor, Water, Energy and Environmental Engineering Research Unit, Faculty of Technology, University of Oulu, Finland.

*(Corresponding Author Email: mirabbasi@sku.ac.ir)

Received: 25-10-2024

Revised: 21-11-2024

Accepted: 07-12-2024

Available Online: 19-12-2024

بررسی چالش‌های طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مورد مطالعاتی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد)

فرشاد علی‌پور نصیرمجله^۱، رسول میرعباسی نجف‌آبادی^۲،
علی‌ترابی حقیقی^۳

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، انرژی و محیط زیست، دانشکده فنی، دانشگاه اولو، فنلاند.

*(رایانامه نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: mirabbasi@sku.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷

Abstract

The management of water resources in arid and semi-arid regions of the world faces many challenges due to the spatial and temporal mismatch between water supply and demand. One of the solutions to overcome these challenges is the implementation of inter-basin water transfer projects. However, these projects have themselves created new challenges as they manipulate the natural conditions of the basins. The impacts of implementing these projects can overshadow a variety of issues, including not only technical issues but also environmental, economic, social, political, and even security issues. Investigating all of these aspects requires an interdisciplinary approach to the problem and its challenges to understand the mutual effects of the individual aspects on the overall conditions of the project and thus increase the chance of project success. In this study, library resources and a descriptive-analytical method were used to investigate the challenges associated with the Beheshtabad Water Transfer Project. The results of the investigation have shown that although most of the studies and the focus of managers and even researchers have been on the technical aspect of this project attempts have been made to create the basis for the implementation of the project by making changes in this area, the challenges related to the Beheshtabad project are not only technical and this project may affect various aspects of the lives of the residents of the source and destination basins. If no solution is found to deal with the possible consequences, the project may bring further challenges, especially in the social and security areas. Therefore, dealing with the conditions of the Beheshtabad project may be one of the most important challenges for the country's governance in the last decade.

Keywords: Inter-Basin Water Transfer, Economic Impacts, Environmental Impacts, Beheshtabad.

چکیده

مدیریت منابع آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به علت عدم تطابق مکانی و زمانی میان عرضه و تقاضای آب با چالش‌های فراوانی روبه‌رو است. از جمله راهکارهای غلبه بر این چالش‌ها، اجرای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای بوده است. اما این طرح‌ها با دستکاری در شرایط طبیعی حوضه‌ها، باعث بروز چالش‌هایی جدید شده‌اند. تأثیرات اجرای این طرح‌ها می‌تواند گستره وسیعی از مسائل را تحت الشعاع قرار دهد که تنها شامل مسائل فنی نبوده و مسائل محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی امنیتی را در بر می‌گیرد. بررسی تمامی این جوانب نیازمند رویکردی بین‌شته‌ای به مساله و چالش‌های آن می‌باشد تا بتوان تأثیرات متقابل هر یک را بر شرایط کلی پروژه درک و برای افزایش احتمال موفقیت پروژه برنامه‌ریزی کرد. در این پژوهش با بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای و به شیوه تحلیلی-توصیفی، چالش‌های پیرامون طرح انتقال آب بهشت‌آباد از جوانب مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد اگرچه اغلب پژوهش‌های قبلی و تمرکز مدیران و حتی پژوهشگران بر جنبه فنی این طرح بوده است و سعی شده با تغییرات در این بخش، زمینه برای اجرایی شدن طرح فراهم شود، اما چالش‌های پیرامون طرح بهشت‌آباد تنها مسائل فنی نبوده و این طرح می‌تواند بخش‌های مختلفی از زندگی ساکنان حوضه‌های مبدا و مقصد را تحت تأثیر قرار دهد و در صورتی که نسبت به نحوه مواجهه با پیامدهای احتمالی آن راهکاری اندیشیده نشود، ممکن است طرح با چالش‌هایی بیشتر به‌ویژه در زمینه اجتماعی و سیاسی-امنیتی روبه‌رو شود. از این‌رو نحوه برخورد با شرایط طرح مذکور می‌تواند از مهم‌ترین چالش‌های حکمرانی کشور در دهه اخیر باشد.

واژه‌های کلیدی: انتقال آب بین حوضه‌ای، اثرات اقتصادی، اثرات محیط‌زیستی، بهشت‌آباد.

عدم تطابق زمانی و مکانی بارش‌ها و ذخایر موجود آب با مصارف آن از یک سو و بهره‌وری پایین در مصارف مختلف آب به‌ویژه بخش کشاورزی از سوی دیگر، از عوامل اصلی تشدید کمبود آب در نقاط مختلف جهان هستند که در بروز مناقشات و چالش‌های مدیریت منابع آب نقش به‌سزایی دارند. تاکنون مدیران و برنامه‌ریزان کارهای زیادی برای حل این معضل انجام داده‌اند. از جمله این کارها می‌توان به طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای اشاره کرد. طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای راهکاری برای مقابله با مشکلات آبی از جمله عدم وجود بارش‌های منظم و به‌هنگام در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشند (تیموری یگانه، ۱۴۰۱). انتقال آب بین حوضه‌ای، انتقال فیزیکی آب از یک حوضه به حوضه دیگر است که در آن، یک حوضه آب از دست داده و دیگری آب دریافت می‌کند و اجرای این پروژه‌ها اغلب باعث ایجاد تعارضاتی بین ذی‌نفعان و افراد تحت تاثیر اجرای طرح می‌شود (Manshadi و همکاران، ۲۰۱۵). لذا اجرای این پروژه‌ها عموماً پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی گسترده‌ای خواهند داشت، به گونه‌ای که اجرای این طرح‌ها می‌تواند امکان تشدید مناقشات در ابعاد منطقه‌ای و بین‌المللی را افزایش دهد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵). با این حال پژوهشگران معتقدند در صورتی که این طرح‌ها سازگار با محیط‌زیست باشند و شرایط بهینه اقتصادی در آنها لحاظ شده باشد، می‌توانند موجب توازن و توزیع همگن‌تر منابع شده و به تامین نیازها به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک نمایند (AhmadiNajl و همکاران، ۲۰۱۶). انتظار می‌رود با انتقال آب از یک حوضه به حوضه دیگر، به شرط تخصیص بهینه آب انتقالی میان متقاضیان، کارایی سیستم از لحاظ اقتصادی افزایش یابد. از طرف دیگر، باید این نکته را مدنظر داشت که با انتقال آب از حوضه مبدأ می‌بایست حقوق بخش‌های مصرفی و محیط‌زیستی آن در نظر گرفته شود و عدم رعایت این امر، می‌تواند عامل به‌وجود آمدن مناقشات اجتماعی و ایجاد مانع برای اجرا و بهره‌برداری از طرح شود (افضلی، ۱۳۹۴).

قدمت طرح‌های انتقال آب به ۲۴۰۰ سال قبل از میلاد در مصر باستان می‌رسد که به دستور پادشاه منل، اولین پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان، با انحراف آب از رودخانه نیل جهت تامین نیاز آبیاری و کشتیرانی اجرا شد که موجب توسعه و شکوفایی تمدن مصر در آن زمان شد (Zhuang، ۲۰۱۶). با این حال، طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مدرن از قرن نوزدهم اجرا شدند و دوره اوج طراحی و اجرای پروژه‌های بزرگ انتقال آب در کشورهای صنعتی و پیشرفته به دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی باز می‌گردد (حلبیان و شبانکاری، ۱۳۸۹). بر اساس آمار، طرح‌های انتقال آب تکمیل شده یا در حال ساخت در سراسر جهان تا سال ۲۰۱۵ بیش از ۱۶۰ پروژه بودند که در ۲۰ کشور و منطقه قرار داشتند. بیشتر این طرح‌ها در کشورهای ابلات

متحدہ آمریکا، کانادا، اتحاد جماہیر شوروی سابق، ہند، پاکستان و چین اجرا شدہ اند. این طرح‌ها در مجموع بیش از ۸۰ درصد از کل مقدار انتقال آب جهان را تشکیل می‌دهند (Zhuang، ۲۰۱۶).

در ایران نیز طرح‌های انتقال آب تاریخیچہ‌ای طولانی دارد کہ در این میان انتقال آب از حوضہ پرآب کارون بہ فلات مرکزی ایران ہموارہ مورد توجہ بودہ است. نخستین بار در دوران حکومت شاہ عباس صفوی و در سال ۹۹۸ ہجری شمسی، بحث انتقال آب کارون بہ زاینده‌رود مطرح شد و میرجہانگیرخان بہرامسری آسترکی مأمور بررسی این موضوع گردید، اما با مرگ شاہ عباس این طرح ناقم ماند (رحیمی‌زادہ و بزرگ حداد، ۱۳۹۷). در دوران معاصر نیز پیش از سال ۱۳۲۰، مطالعات برای طراحی سہ تونل بہ‌منظور انتقال آب از سرشاخہ‌های کارون (حوضہ کوہرنگ) بہ حوضہ زاینده‌رود انجام پذیرفتہ بود. تونل اول کوہرنگ برای انتقال حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب آب در سال با مشارکت کشاورزان شرق اصفہان، در ۲۴ مہر ۱۳۳۲ بہ پایان رسید. تونل دوم کوہرنگ بہ‌منظور انتقال ۲۷۰ میلیون مترمکعب آب در ۱۳۵۲ آغاز و در ۱۳۶۴ بہ بهره‌برداری رسید و تونل سوم نیز در ۱۳۹۳ مورد بهره‌برداری قرار گرفت (اسماعیلی، ۱۳۹۹).

از دیگر طرح‌های مہم انتقال آب بین حوضہ‌ای در کشور می‌توان بہ طرح انتقال آب قم‌رود، تونل خدنگستان و چغیورت، انتقال آب زاب بہ دریاچہ ارومیہ (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵)، انتقال آب از سد تالوار، انتقال آب از سد مخزنی ششپیر، انتقال آب از سد دوستی بہ مشہد، انتقال آب از زاینده‌رود بہ کاشان، تیران و کرون، انتقال آب از سد طالقان، انتقال آب از زاینده‌رود بہ یزد، انتقال آب از زاینده‌رود بہ بروجن (خط لولہ بن-بروجن)، انتقال آب از سد لار و انتقال آب از سد ژاوہ بہ دشت قزوہ دہگلان اشارہ کرد (صمدی بروجنی، ۱۳۸۹).

مطالعات مختلفی بہ‌منظور بررسی مسائل پیرامون طرح‌های انتقال آب صورت گرفتہ و نتایج متفاوت و گاہا متناقضی ارائه شدہ است. برخی از پژوهشگران معتقد ہستند طرح‌های انتقال آب از دیدگاہ سیاسی، اجتماعی و امنیتی می‌توانند پیامدہای مثبتی در پی داشتہ باشند و باعث افزایش سرمایہ اجتماعی شوند (فریادی، ۱۳۹۷). Karakaya و همکاران (۲۰۱۴) از جملہ پیامدہای مثبت این طرح‌ها را، احیای آبخوان‌ها، تالاب‌ها و رودخانہ‌ها در حوضہ مقصد نام بردہ اند. اما در مقابل برخی دیگر از پژوهشگران با ارزیابی اثرات طرح‌های انتقال آب بین حوضہ‌ای، نتیجہ‌گیری کردند در غالب مواقع این طرح‌ها موفق نبودہ و آثار منفی زیادی در پی داشتہ‌اند. با تکیہ بر این باور و با افزایش آگاہی نسبت بہ شرایط حوضہ‌های آبریز و درک این موضوع کہ ذخایر و منابع آبی حوضہ‌های آبریز محدود است، در سال‌های اخیر مخالفت‌های عمومی نسبت بہ این طرح‌ها بہ‌ویژہ از سوی ساکنین حوضہ مبدأ افزایش یافتہ است (Snaddon، ۱۹۹۸). این موضوع باعث شدہ تا اجرای طرح‌های انتقال آب بین حوضہ‌ای ہموارہ با مناقشات اجتماعی و سیاسی ہمراہ بودہ و ارزیابی اثرات پیچیدہ آنها ناکافی

و یا از نظارت عمومی پنهان باشند (تیموری یگانه، ۱۴۰۱).

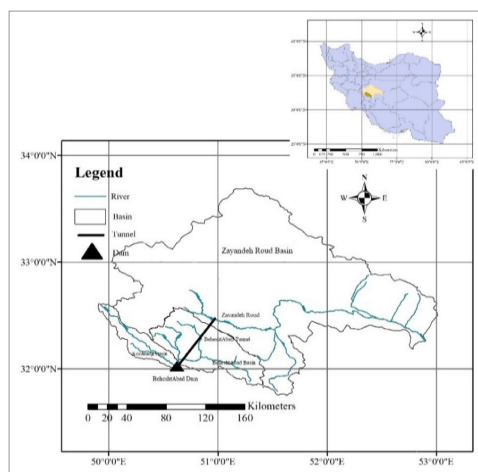
با در نظر گرفتن مسائل سیاسی، اجتماعی و امنیتی پیرامون آب و طرح‌های انتقال آب، پژوهشگران دیپلماسی آب در جهان معتقدند که در آینده نزدیک نزاع‌های داخلی با محوریت مسائل آب، چالش‌های بیشتری نسبت به جنگ‌های بین‌المللی در پی خواهند داشت. تاکنون ۱۸۳۱ حادثه سیاسی برای دستیابی به آب در جهان روی داده است که ۳۷ مورد از آن‌ها منجر به تنش نظامی و درگیری شده که ۳۰ مورد مربوط به منطقه خاورمیانه است. از این روی باید موضوع را بسیار جدی گرفت و اگر از هم اکنون فکری به حال منابع آبی و طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای بدون بررسی‌های کارشناسی نشود، باید منتظر مسائل بزرگتری چون بحران‌های امنیتی و ملی بود (داوودی دهاقانی و عامری، ۱۳۹۸). از این رو توجه ویژه به اصول مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب در طرح‌های انتقال آب، در هر دو حوضه مبدا و مقصد ضروری است. به بیان بهتر، در بررسی‌های کارشناسی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، صرف در دسترس بودن منابع آب بیشتر در یک حوضه و نبود یا کمبود آب در حوضه مجاور دلیل و مجوزی برای اجرای طرح انتقال آب نیست و نیاز است پیامدها و تأثیرات انتقال آب بر حوضه مبدا به طور جامع بررسی شود. از طرف دیگر، می‌بایست چشم‌انداز آینده حوضه مبدا بعد از اجرای طرح انتقال آب از منظر توسعه پایدار اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و نیز تعادل محیط زیستی حوضه مورد توجه قرار گیرد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

با در نظر گرفتن تمامی مسائل و موانع پیش روی، گزینه انتقال آب بین حوضه‌ای در بسیاری موارد آخرین راه‌حل در نظر گرفته شده برای حل بحران آب می‌باشد. دلایل این امر را می‌توان، نیاز به سازه‌های سنگین به علت طولانی بودن مسیر، پیچیدگی زیاد ابعاد مختلف طرح‌های انتقال، زمان طولانی مطالعه و اجرای این طرح‌ها، هزینه‌های سنگین طرح، تعدد ذی‌نفعان، پیچیدگی‌های قانونی مسئله انتقال آب، گستردگی نواحی متأثر و نیاز به نگرش جامع و بلندمدت، درگیری چندین سازمان دولتی و غیردولتی (سازمان‌های مردم نهاد)، لزوم حفاظت از منافع اشخاص ثالث، مسائل حقابه‌بران و سهم‌بران، مسائل محیط زیستی، پویایی حوضه‌های آبریز و منازعات سیاسی-اجتماعی قابل وقوع در پی طرح‌های انتقال آب دانست (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۷). لذا با در نظر گرفتن تمامی این مسائل، نیاز به بررسی این طرح‌ها، با بهره‌گیری از رویکردی جامع در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای بسیار ضروری است. مرور منابع متعدد نشان می‌دهد با وجود مطالعات فراوان بر روی جنبه‌های مختلف طرح‌های انتقال آب در کشور، مطالعه‌ای جامع که چالش‌های پیرامون طرح‌های انتقال آب را از جنبه‌های مختلف بررسی کرده باشد و اثرات آن را بر بخش‌های مختلف در حوضه‌های مبدا و مقصد ارزیابی کند، صورت نگرفته است. از این رو در این پژوهش با بهره‌گیری از رویکردهای مختلف و با تمرکز بر طرح انتقال آب بهشت‌آباد به بررسی چالش‌های

طرح‌های انتقال آب از منظر اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، سیاسی-امنیتی و حقوقی پرداخته می‌شود.

محدوده مطالعاتی

طرح بهشت‌آباد عنوان پروژه انتقال آب از زیرحوضه‌های کوه‌رنگ و بهشت‌آباد از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کارون به داخل فلات مرکزی ایران و به‌طور مشخص استان‌های اصفهان و یزد است (شکل ۱). مطالعات اولیه این طرح از نیمه دوم دهه ۱۳۷۰ آغاز شد و در نهایت با وجود اشکالات و ایرادات سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شرکت مدیریت منابع آب ایران و نیز مخالفت‌های شدید نمایندگان استان‌های خوزستان و چهارمحال و بختیاری، سازمان‌های مردم نهاد و افکار عمومی این استان‌ها (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸)، با فشار مسئولان و نمایندگان استان‌های مرکز کشور، به‌ویژه اصفهان در شورای عالی آب تصویب شد و وزارت نیرو اعلام کرد در سال ۱۳۹۰ طرح بهشت‌آباد کلنگ‌زنی می‌شود (اسماعیلی، ۱۳۹۹).



شکل ۱- محل قرارگیری سد و تونل بهشت‌آباد و حوضه‌های مبدا و مقصد در این طرح

با مخالفت‌ها و اعتراضات صورت گرفته، وزارت نیرو شیوه اجرای طرح را تغییر داد و براساس سیزدهمین صورتجلسه شورای عالی آب به تاریخ ۱۳۹۳/۱/۱۸ گزینه انتقال آب به صورت تونل به‌طور کامل حذف شد و در بند ۸ این صورتجلسه پیش‌بینی شد تا آب انتقالی به یزد و اصفهان در نقطه مبدا از یکدیگر جدا شده و انتقال با خط لوله و ایستگاه‌های پمپاژ انجام گیرد، همچنین در چهلمین جلسه شورای عالی آب در تاریخ ۱۳۹۷/۸/۱۳ مصوب شد که آب استان‌های یزد، کرمان، جنوب اصفهان و شمال فارس از رودخانه خراسان تامین و فقط آب شرب استان اصفهان از طرح بهشت‌آباد تامین شود و وزارت نیرو بر اساس شاخص‌های اقتصادی، فنی و محیط‌زیستی مناسب‌ترین

گزینه را برای انتقال آب انتخاب نماید. اما در جلسه مورخه ۱۳۹۸/۱۱/۲۹ با موضوع طرح تامین کمبود آب شرب استان اصفهان از حوضه بهشت آباد، مصوب شد که گزینه تونل مناسب ترین گزینه انتقال آب از حوضه بهشت آباد به اصفهان از لحاظ فنی و اقتصادی می باشد. با وجود انتقادات و هشدارهای کارشناسان و متخصصان، طرح بهشت آباد با هدف گذاری تامین آب شرب استان اصفهان و یزد همچنان در دستور کار قرار دارد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع توصیفی-تحلیلی است و به شیوه کتابخانه ای انجام گرفته است. منابع مورد استفاده این تحقیق متون اسنادی و کتابخانه ای، گزارشات طرح های مطالعاتی و پروژه های اجرایی و نیز پژوهش های تخصصی و پایگاه های اینترنتی را شامل می شود. روند انجام کار این پژوهش و نیز نتایج این پژوهش از جنبه های کاربردی می تواند راهنمای مفیدی در حوزه تصمیم گیری مسئولان و متصدیان امر و نیز پژوهشگران برای بررسی های عمیق و چند بعدی در زمینه طرح های انتقال آب باشد. باتوجه به حاد بودن مسئله آب در ایران، به عقیده نویسندگان، بیش از اینکه مشکلات کمبود آب در ایران به خشکسالی ها و شرایط اقلیمی مربوط باشد، تحت الشعاع حکمرانی نامطلوب و مدیریت ضعیف قرار دارد.

در این مطالعه سعی شد تا با بررسی شمار فراوانی از پژوهش ها و گزارش های پیرامون چالش های مرتبط با طرح انتقال آب بهشت آباد، ابتدا مفاهیم کلی این چالش ها معرفی شود و در گام بعد به شرح و بسط هر یک از این چالش ها در طرح انتقال آب بهشت آباد پرداخته شود. بررسی صورت گرفته پیرامون کلید واژه های انتقال آب بهشت آباد، طرح بهشت آباد و پروژه بهشت آباد در پایگاه های اینترنتی مختلف (SID, Magiran, Civilica و Google Scholar) نشان داد بیشتر مطالعات صورت گرفته پیرامون این طرح بر مباحث

فنی و مباحث محیط زیستی متمرکز می باشند و از طرف دیگر در کمتر مطالعه ای مباحث حقوقی و سیاسی-امنیتی بحث و بررسی شده است. همچنین مطالعه ای که به طور جامع تمامی جوانب مطرح شده در مطالعه حاضر را مورد کنکاش قرار دهد، موجود نیست. باتوجه به موارد بیان شده، هدف از این پژوهش ارائه جمع بندی از مطالب عنوان شده در مطالعات گذشته و نیز ارائه پیشنهاداتی در زمینه روش های برون رفت از تنگناهای ایجاد شده در طرح مذکور و انجام مطالعات آینده در مسائل مشابه می باشد.

بررسی موضوع

در دهه های اخیر افزایش جمعیت و بهره برداری روز افزون از منابع طبیعی به منظور تأمین نیازهای این جمعیت درحال افزایش، تأثیر فراوانی بر منابع آب و محیط زیست برجای گذاشته است، به نحوی که مسائل مربوط به بحران آب و مدیریت منابع آب از دیدگاه سازمان ملل متحد پس از مشکل جمعیت، از اصلی ترین بحران های جهانی شناخته شده می باشد (بران، ۱۳۸۷). در کشور ما و در سال های اخیر، گزینه انتقال آب بین حوضه ای از مرزهای ملی، منطقه ای و محلی برای تأمین نیاز روز افزون بخش های مختلف با هدف رسیدن به اهداف چشم انداز ۲۰ ساله توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور بیش از پیش مطرح شده است (داوودی دهقانی و عامری، ۱۳۹۸)، اما باید به این نکته توجه داشت که پروژه های انتقال آب باوجود توانایی در رفع نیازها، ممکن است منشأ تغییرات و مسائل بسیاری در حوضه های مبدأ و مقصد باشد و باید از دیدگاه های مختلف ارزیابی شود که این امر می تواند با تلفیق رویکردهای فنی-اقتصادی و یا اجتماعی-سیاسی و با تأکید بر ملاحظات محیط زیستی و حقوقی محقق شود (حلبیان و شبانکاری، ۱۳۸۹). برخی از مطالعات صورت گرفته بر روی جنبه های مختلف طرح انتقال آب بهشت آباد در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از مطالعات صورت گرفته پیرامون مباحث مختلف طرح انتقال آب بهشت آباد

مبحث	بخش مورد بررسی	نتایج کلی پژوهش	منبع
		در این مطالعه سعی شد تا با بررسی شمار فراوانی از پژوهش ها و ونل چند گسل بزرگ و مهم منطقه شامل گسل های اردل، زاگرس و جهانبین را قطع می نماید و می تواند شرایط هیدروژئولوژیک منطقه به خصوص سازندهای آهکی کارستی را تحت تاثیر قرار دهد.	علی بابایی شهرکی و همکاران (۱۳۹۲)
		حداکثر میزان نشت آب در حدود ۱۰ لیتر بر ثانیه در هر ۱۰ متر تونل و هجوم ناگهانی آب با دبی ۵۰۰ لیتر بر ثانیه برآورد گردید و حدود ۱۵ درصد از مسیر تونل را زون های بحرانی تشکیل می دهد.	ریاحی پور و خلیلی (۱۴۰۳)
		باتوجه به روباره ای که در برخی مناطق به ۱۲۰۰ متر نیز می رسد، پتانسیل ضعیف تا متوسط برای مچاله شوندگی و پتانسیل متوسط تا شدید انفجار سنگ در تونل وجود دارد.	رحیم دل و همکاران (۱۳۹۰)
		جناح راست مخزن عمدتاً به طور مستقیم با سازندی کارستی در تماس است. وجود کارست موجب می شود تا در زمان آبیگری، نشت از مخزن به یال شمالی و از آنجا به یال جنوبی انتقال و از چشمه های پایین دست محور در یال جنوبی تاق دیس تخلیه شود.	عابدیان و همکاران (۱۳۹۹)

مبحث	بخش مورد بررسی	نتایج کلی پژوهش	منبع
سازمان و جرم انتقال	سد مخزن و جرم انتقال	سن نهشته‌های کواترنر در محل ساختگاه سد در حدود ۱۹۰ هزار سال برآورد می‌گردد و باتوجه به عدم وجود شواهد تکتونیکی در روی این نهشته‌ها عدم فعالیت گسل‌های محل ساختگاه و پوشیده شده با این نهشته‌ها تأیید گردید.	صداقت و همکاران (۱۳۹۵)
		با در نظر گرفتن سطح مقطع تماس سازندهای آهکی با مخزن، و در حالتی که پرده تزریق ایجاد نگردد، مقدار نشت حدود ۳/۶ تا ۱/۸ متر مکعب بر ثانیه پیش‌بینی می‌شود.	عابدیان و همکاران (۱۳۹۷)
		آب مازاد حوضه برای انتقال به فلات مرکزی با درجه اعتماد مناسب برای تأمین آب شرب و صنعت، ۲۲۰ میلیون مترمکعب در سال و حجم مفید مورد نیاز برای ذخیره آب و تنظیم آن برابر ۶۰۰ میلیون مترمکعب برآورد گردید. همکاران (۱۳۸۷) ب)	سعیدی‌نیاو همکاران (۱۳۸۷) ب)
اقتصادی-اجتماعی	اقتصادی	هزینه اجرای طرح جایگزین پیشنهادی به صورت خط لوله (شامل ۵ خط لوله به طول ۶۸٫۱ کیلومتر) و ایستگاه‌های پمپاژ ۵۹۰ میلیارد تومان بدست آمد که در مقایسه با هزینه طرح پیشنهادی به مراتب کمتر می‌باشد.*	مریدسادات و همکاران (۱۳۹۰)
		از دید جوامع محلی احداث سد موجب افزایش مهاجرت و حاشیه‌نشینی در اطراف شهرها، تضعیف مشارکت بین خانوارهای محلی و افزایش آسیب‌پذیری معیشت‌ها (به‌ویژه در فعالیت‌هایی همچون زراعت، باغداری، دامپروری) و افزایش قیمت زمین در مناطق تحت تأثیر احداث سد خواهد شد، از سوی دیگر برخی از افراد معتقدند، احداث سد سبب ایجاد مشاغل گوناگونی می‌شود.	نادری و کرمی دهکردی (۱۳۹۷)
		انتقال آب بین حوضه‌ای زمینه‌ساز انتقال جمعیت بین حوضه‌ای نیز می‌باشد. چنان که با افزایش انتقال آب به حوضه زاینده رود، جمعیت انتقال یافته (مهاجرت کرده) نیز افزایش یافته و به تبع آن جمعیتی که متقاضی آب در حوزه مبدا بود اکنون تبدیل به متقاضی آب در حوزه مقصد شده‌اند.	باقری (۱۳۹۶)
سیاسی-اجتماعی	سیاسی	اجرای طرح‌های انتقال آب از مبدأ چهارمحال و بختیاری به مقصد اصفهان نه تنها زمینه‌ساز کاهش تأمین آب برای دامداری، کشاورزی و شرب گردیده بلکه باعث جابجایی کلی زندگی عشایری به دلیل کاهش شدید آب گردیده و به تبع آن مهاجرت‌های گسترده شهروندان این منطقه را به دنبال داشته است.	نصرآزادانی و همکاران (آماده انتشار)
		پیامدهای هیدروپلیتیکی ناشی از طرح را شامل اختلافات بالقوه و بالفعل تقسیم آب در استان‌های گیرنده، اثرات متعدد و ناگوار اجتماعی ایجاد شده از طرح، انتقال آب محلی برای جغرافیای انتخابات، حساسیت‌های جغرافیای سیاسی اقوام و بروز شکاف‌های هویتی و قومی و در نهایت کنشگری‌های سیاسی متأثر از طرح بهشت‌آباد توسط مردم و مسئولین هستند.	ذکی و کیانی (۱۳۹۳)
		مسائل هیدروپلیتیکی طرح انتقال آب بهشت‌آباد زمینه ساز مشاجرات محلی، ناحیه‌ای و حتی ملی مابین مردم و مسئولین در حوضه‌های مبدا و مقصد شده است. این امر سبب بروز اختلافات اجتماعی و در نتیجه اختلافات سیاسی میان ساکنین و ذی‌نفعان حوضه‌های مذکور شده و با توجه به تفاوت قومی ساکنین حوضه‌های آبریز، این مسئله به بحرانی در زمینه هیدروپلیتیک داخلی مبدل شده که شکاف‌های قومیتی را ایجاد و تشدید کرده است.	تیموری و همکاران (۱۴۰۲)
محیط‌زیستی	محیط‌زیستی	بروز درگیری محلی مانند تخریب لوله‌های و تاسیسات انتقال، ایجاد مزاحمت و درگیری با نیروهای محافظ سد و تاسیسات و نیز ایجاد اجتماعات غیرقانونی در مناطق به دلیل بروز کم‌آبی، مسائل امنیتی مورد انتظار در منطقه را تشکیل می‌دهند.	داوودی دهقانی و عامری (۱۳۹۸)
		کنشگری‌های سیاسی، چالش‌های امنیتی (درگیری‌های قومی)، تنش‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی حاصل از مطالعه نکردن و امکان‌سنجی نادرست طرح، از جمله مسائلی هستند که توجیه‌پذیری اجرای آن را ناموجه جلوه می‌دهند.	نصرآزادانی و همکاران (۱۴۰۳)
		حفر تونل می‌تواند با آسیب به چشمه‌ها و منابع آب زیرزمینی و دیوی نخاله حاصل از حفاری بر شرایط پارک ملی تنگ صیاد آسیب وارد کند.	شریف‌نیا و اشکانی (۱۳۹۳)
محیط‌زیستی	محیط‌زیستی	در مواردی متعدد به خصوص در سال‌های خشکسالی با شدت متوسط یا حتی خفیف در حوضه بهشت‌آباد، جریان مشاهداتی رودخانه قادر به تأمین حداقل نیاز محیط زیستی نبوده است. لذا به نظر می‌رسد منابع آبی منطقه نمی‌تواند منبعی پایدار برای تأمین آب انتقالی باشد.	حیات‌غیبی و همکاران (۱۴۰۰)
		برای جبران افت آب زیرزمینی تحت تأثیر طرح بهشت‌آباد در آبخوان فارسان، نیاز به ۱۰ میلیون متر مکعب تغذیه مصنوعی می‌باشد.	سلیم‌پور و همکاران (۱۳۹۴)

* محاسبات ریالی مربوط به زمان انتشار مقاله است.

• رویکرد فنی

بسیاری از پژوهشگران بر این عقیده هستند که رویکرد فنی، رویکرد غالب در مواجهه با طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای طی دهه‌های اخیر بوده است. با این حال از همین منظر نیز در بسیاری از طرح‌ها، از جمله طرح انتقال آب بهشت‌آباد چالش‌های فراوانی به چشم می‌خورد. به‌طور کلی در طراحی خطوط انتقال و توزیع آب (که طرح‌های انتقال آب نیز از این دست می‌باشند) رعایت ضوابط و ملاحظات فنی از جمله اصلی‌ترین مولفه‌های طراحی است و همواره تخطی و چشم پوشی از این ضوابط منجر به شکست طرح و یا عدم تحقق اهداف طرح‌های توسعه و تامین منابع آب می‌شود. مبانی کلی این طراحی‌ها شامل تعیین ظرفیت انتقال در دوره طرح (بر مبنای حداکثر نیاز آبی روزانه و یا میزان تخصیص)، شیوه انتقال (ثقلی یا با استفاده از پمپاژ)، مناسب‌ترین نحوه انتقال (باتوجه به مطالعات مختلف از قبیل توپوگرافی مسیر، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مسیر انتقال، زمین شناسی، زلزله خیز بودن منطقه، شرایط رانش و زمین لغزش) و مسائل از این دست می‌باشد (رحیمی علی‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۲). در بررسی فنی طرح بهشت‌آباد محمدیان و رنجبر باروق (۱۳۹۴) بیان کردند محل دریاچه سد عمدتاً از رخنمون‌های رسوبات آبرفتی کواترنر که به شدت فرسایش پذیرند، تشکیل شده است. همچنین مسیر تونل گسل‌های متعدد و متواتر دارد و وجود ذخایر قابل توجه منابع آبی کارستیک در پیکره سازندهای زمین‌شناسی مسیر را از چالش‌های مهم پروژه برشمردند. امامی (۱۳۹۱) نیز وجود گسل‌ها و کارستیفیکاسیون سازندهای محدوده مسیر را از جمله خطرات حفر تونل بیان کردند و درباره خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌های کارستیک منطقه هشدار دادند. آتشخوار و همکاران (۱۳۹۱) در محاسبات خود میزان کاهش احتمالی آبدهی چاه‌ها و چشمه‌های منطقه را بیش از ۱۱۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد کردند.

آقائباتی (۱۳۸۳) در بررسی زمین‌شناسی منطقه وجود گنبد نمکی در امتداد گسل بین روستاهای دشتک و علی‌کوه را تأیید می‌کند و اشاره می‌نماید که در مکان‌های دارای گنبد نمکی حرکات دیپیری و قابلیت انحلال این گنبدها در آب مخزن امکان تغییر کیفیت آب را در پی دارد. علاوه بر این، محمدیان و رنجبر باروق (۱۳۹۴) در بررسی‌های خود، عامل اصلی زمین لغزش در منطقه اردل را فشار آب از طریق افزایش سطح آب زیرزمینی و تماس با آب سطحی عنوان کردند که با احداث سد در این منطقه احتمال این امر بالاتر خواهد رفت که اولین نتیجه این موضوع می‌تواند رسوب‌زایی فراتر از حد تصور و پرشدگی مخزن باشد. مظلوم شهرکی و همکاران (۱۳۹۲) و صداقت و همکاران (۱۳۹۵) خطر زلزله القایی را از جمله مشکلات ایجاد مخزن در منطقه سد بهشت‌آباد که دارای گسل‌های فراوان است، برشمردند و احتمال دادند از چالش‌های بزرگ فنی طرح بهشت‌آباد باشند. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای

اسلامی (۱۳۹۱) با بیان اینکه مساحت حوضه آبریز سد بهشت‌آباد حدود ۱۷ درصد از سطح مولد حوضه کارون را تشکیل می‌دهد و جریان طبیعی بلند مدت آن با احتساب تونل‌های کوهرنگ و مصارف درون حوضه‌ای ۱/۹ میلیارد مترمکعب است، نتیجه‌گیری کردند که با اجرای این طرح، بخش عمده‌ای از این جریان از حوضه کارون حذف می‌شود که این امر حتی می‌تواند بر عملکرد مجموعه سدها و نیروگاه‌های کارون تأثیر منفی بگذارد. از سوی دیگر حجم ۱/۱ میلیارد مترمکعبی آب انتقالی که در ابتدا برای طرح در نظر گرفته شده بود، برابر با متوسط بلند مدت آبدهی حوضه پس از کسر آب انتقالی توسط تونل‌های کوهرنگ بوده (سعیدی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷) که نشان می‌دهد در طراحی اولیه صورت گرفته توسط مشاور طرح فقط شرایط حوضه مقصد مدنظر قرار گرفته و برداشت‌های آینده در بالادست و نیز سهم محیط زیستی در پایین دست سد لحاظ نشده است. سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند با در نظر گرفتن حداقل نیاز محیط زیستی پایین دست سد، مقدار آب قابل انتقال در پروژه بهشت‌آباد با درجه اعتماد مناسب، چیزی در حدود ۲۲۰ میلیون متر مکعب می‌باشد (حجمی که در آخرین بازبینی‌های صورت گرفته، مجریان طرح به طور تقریبی به آن رسیده‌اند) و نیز حجم مفید ذخیره آب برابر با ۶۰۰ میلیون متر مکعب خواهد بود که با ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب برآورد شده توسط مشاور در طرح اولیه اختلاف فاحشی دارد.

بررسی مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه ابعاد فنی طرح نشان دهنده ایرادات متعدد در طرح اولیه می‌باشد که به مرور و طی بازبینی‌ها سعی شده تا از میزان آنها کاسته شود که در این راستا مطالعات دانشگاهی صورت گرفته نیز بی‌تأثیر نبوده‌اند. اما با این حال باز هم مواردی همچون وجود سازندهای کارستی در منطقه مخزن سد، تأثیر منفی احداث تونل بر آبخوان‌های منطقه، احتمال وقوع زمین لغزش و عدم برآوردهای مناسب از شرایط مصارف حوضه مبدأ در افق بلندمدت که می‌تواند عدم اطمینان در برآورده کردن میزان آب انتقالی را در پی داشته باشد، از جمله نکات مورد بحث در زمینه فنی این پروژه می‌باشند.

• رویکرد اقتصادی- اجتماعی

آب از اصلی‌ترین عناصر زیستی و مهم‌ترین عنصر در دستیابی به اهداف برنامه‌های جامع توسعه می‌باشد، به‌نحوی که برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، وجود منابع آبی مناسب و کافی ضروری است که در صورت نبود آن توسعه با محدودیت مواجه می‌شود. ارزش اقتصادی آب به قدری بالا است که موافقان طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، مسائل اقتصادی از جمله افزایش تولیدات و درآمد بخش کشاورزی، ایجاد و توسعه صنایع کوچک و بزرگ آب‌بر، کاهش قیمت آب مصرفی و بالا رفتن ارزش اراضی را به‌عنوان نقاط قوت این روش تأمین آب نام می‌برند (Knapp و همکاران، ۲۰۰۳: Fenga و همکاران، ۲۰۰۷). اما باید به این نکته توجه داشت که توجیه

اقتصادی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای مساله‌ای اساسی است که می‌بایست از دو وجه اقتصاد ملی و اقتصاد منطقه‌ای ارزیابی شود و در بهترین حالت، می‌بایست تلاش شود تا منافع و مضرات اقتصادی اجرای این پروژه‌ها در هر دو حوضه مبدأ و مقصد و همچنین در طول مسیر انتقال به طور کاملاً منصفانه و واقع‌بینانه شناسایی و سنجیده شده و در تحلیل میزان سود به هزینه، به کار گرفته شود (قهرمانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۷).

اهداف اقتصادی و غیراقتصادی در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای اغلب به هم پیوسته بوده و هیچ‌کدام از آنها را نمی‌توان به تنهایی و جدای از سایر اهداف و پیامدها، مبنای ارزیابی پروژه قرار داد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). به‌طور کل اجرای طرح‌های بزرگ انتقال آب بین حوضه‌ای که توان تحمل هزینه‌های آن برای اقتصاد محلی و ملی دشوار است، پیامدهای اقتصادی- اجتماعی فراوانی به دنبال دارند (داوودی دهقانی و عامری، ۱۳۹۸) که گاهی هزینه مسائل اجتماعی آن کمتر از مسائل اقتصادی نیست. به‌عنوان مثال، از جمله آثار منفی اقتصادی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌توان به محدود شدن زمینه توسعه کشاورزی و در نتیجه پایین آمدن سطح اشتغال در حوضه مبدأ اشاره کرد که مساله‌ای اقتصادی- اجتماعی است و ممکن است موج مهاجرت ساکنین حوضه مبدأ را در پی داشته باشد. پژوهشگران پیامدهای اجتماعی انتقال بین حوضه‌ای را امری بسیار واضح و آشکار می‌دانند و اغلب موافقان و مخالفان این طرح‌ها روی این بخش از پیامدها تاکید فراوانی دارند (امیرنژاد و همکاران، ۱۳۹۹). از جمله پیامدهای اجتماعی مهم پروژه‌های بزرگ آبی، تغییر در راهبرد معیشت جوامع محلی است. معیشت باید توانایی عملکرد انعطاف‌پذیر در برابر فشارهای بیرونی را داشته باشد و جایگزین‌هایی را ایجاد کند، اما طرح‌های بزرگی مانند پروژه‌های انتقال آب قادر است راهبردهای معیشت پایدار جوامع، به‌ویژه جوامع روستایی را دچار اخلاص نماید. از این منظر پروژه بهشت آباد و احداث سد در این منطقه، با تخریب دارایی‌های فیزیکی ساکنان حوضه می‌تواند باعث افزایش آسیب‌پذیری معیشت آنها شده و زمینه‌های افزایش مهاجرت، روی آوردن به مشاغل کاذب و بزه اجتماعی را در بلند مدت فراهم کند (نادری و کرمی دهکردی، ۱۳۹۸).

مشکلات اجتماعی و افزایش مهاجرت به واسطه اجرای طرح بهشت آباد در مطالعات دیگر نیز مورد توجه قرار گرفته است. مظلوم شهرکی و همکاران (۱۳۹۲) یکی از عوامل افزایش مهاجرت را به زیر آب رفتن روستاهای منطقه (با بیش از ۵۰۰۰ نفر سکنه) عنوان کرده است. داوودی دهقانی و عامری (۱۳۹۸) با اشاره به بی‌توجهی به وضعیت معیشت، سکونت و سرنوشت ساکنین کنونی منطقه سد در گزارشات، عنوان داشتند که بروز درگیری‌های محلی رایج‌ترین و محتمل‌ترین پیامد اجتماعی این طرح خواهد بود. به‌طور کلی افزایش درگیری‌های ذی‌نفعان، بالا رفتن میزان فقر، افزایش مهاجرت و ایجاد نارضایتی عمومی از تصمیمات دولت با بروز ظن بی‌عدالتی و یاس و

ناامیدی در اقشار مردم، به‌ویژه در حوضه مبدأ از مهمترین تأثیرات اجتماعی طرح انتقال آب بهشت آباد است (ذکی و رشیدی، ۱۳۹۵). همچنین علاوه بر موضوع از دست رفتن سکونتگاه‌های ساکنین و بی‌توجهی به معیشت و شرایط روستائینان منطقه، خسارت‌های اقتصادی ناشی از احداث مخزن سد از جمله به زیر آب رفتن ۲ هزار هکتار از باغات و اراضی زراعی و ۴۶ واحد پرورش ماهی می‌تواند از جمله عوامل ایجاد پیامدهای اجتماعی پروژه بهشت آباد باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). از طرف دیگر، تغییر در برآوردهای اقتصادی و هزینه‌های طرح در میان کش و قوس‌ها برای اجرایی شدن و جلوگیری از اجرای آن، چالش دیگری است که مجریان پروژه با آن روبه‌رو هستند، به گونه‌ای که در برآوردهای اولیه هزینه کل طرح در حدود ۳ هزار میلیارد ریال عنوان شده بود که از آن میان ۱۸۵۰ میلیارد ریال مربوط به تونل، ۹۰۰ میلیارد ریال مربوط به احداث سد و مابقی هزینه‌های ساماندهی رودخانه زاینده‌رود و خسارت مخزن را شامل می‌شد^۱ (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۷). اما بررسی‌های مجدد نشان داد تملک اراضی و جایگزینی سکونتگاه افرادی که با احداث مخزن خانه‌هایشان به زیر آب می‌رود، نیازمند هزینه ۳۰۳۳ میلیارد ریالی است و از طرف دیگر سالانه ۱۴۰ میلیارد ریال نیز خسارت حذف محصولات و تولیدات اراضی مدفون در مخزن سد خواهد بود^۲ (خواستار بروجنی و همکاران، ۱۳۹۳). از سوی دیگر، باتوجه به نرخ بالای تورم در یک دهه اخیر، هزینه‌های این پروژه چند برابر مقدار برآورد شده قبلی خواهد بود. باتوجه به اینکه منابع انتقالی طرح بهشت آباد برای بخش شرب تخصیص یافته است و با در نظر گرفتن قیمت ۲۰۰۰ ریالی آب شرب خانگی در لایحه بودجه ۱۴۰۴، درآمد حاصل از آب انتقالی در هر سال تنها ۵۰۰ میلیارد ریال خواهد بود که در مقایسه با هزینه‌های طرح ناچیز می‌باشد. هرچند باتوجه به اهمیت تامین آب شرب مورد نیاز، نباید صرفاً جنبه اقتصادی طرح ملاک ارزیابی آن قرار گیرد و در نظر گرفتن جوانب اجتماعی و امنیتی در این زمینه ضروری است.

• رویکرد سیاسی- امنیتی

تنش‌های سیاسی به‌وجود آمده پیرامون سامانه‌های آبی و نیز معضلات و مشکلات تامین آب در کشورها موجب شده است تا آب به مقوله‌ای سیاسی و امنیتی تبدیل شود که می‌تواند بر ارتباطات و نحوه حکمرانی و دیپلماسی کشورها چه در داخل و چه در خارج از مرزها تأثیرگذار باشد. به گونه‌ای که در سال‌های اخیر تشدید بحران‌های آبی موجب بروز تنش‌های حاد سیاسی و اجتماعی به‌ویژه در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک جهان شده است. به‌طور کلی بحران آب را در دسته بحران‌های امنیتی در سطح ملی و بین‌المللی تلقی می‌کنند و باتوجه به نظریات امنیتی، در صورتی که بحران موجود متأثر از شرایط حوضه‌های داخلی باشد، زیرمجموعه‌ای از نظریات امنیت خرد بوده که باتوجه به جایگاه و نقش دولت می‌بایست بررسی شود. در این میان و در

کشور ما مدیریت ضعیف، حکمرانی نامطلوب و اشتیاق به توسعه یافتگی و عدم دسترسی به منابع آبی جایگزین، موجب بروز رقابت و به تبع آن ایجاد تنش های سیاسی به منظور تسلط و بهره برداری بیشتر از این منابع شده است (قریشی و همکاران، ۱۳۹۸).

نگرش جامع به مسائل آبی در کشور نشان می دهد که فقر منابع آبی و توزیع ناهمگون مکانی- زمانی بارش ها را تنها می توان عامل ایجاد بخشی از روند کنونی تشدید بحران در حوزه منابع آبی و تنش های سیاسی- اجتماعی ناشی از آن دانست و تقلیل تمامی مشکلات به مسائل اقلیمی و خشکسالی ها منطبق بر واقعیت نیست. شاید بتوان این طور عنوان کرد که کم آبی در ایران طبیعی، ولی مساله بحران آب در ایران از سنخ حکمرانی است که عواملی چون مدیریت غیرآمایشی و عدم انطباق آن بر توان سرزمینی کشور (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸)، عدم اعمال مدیریت تقاضا و تاکید بر مدیریت عرضه و بی توجهی به اصول توسعه پایدار از عوامل آن می باشند. در صورت عدم اصلاح این مسائل که بیانگر درک نادرست مدیران، تصمیم گیران و برنامه ریزان کشور از تنگناهای سرزمینی در حوزه آب است، تنش ها، رقابت ها و بحران ها در کشور افزایش یافته و می تواند موجب بروز مخاطرات مختلف سیاسی و امنیتی در ابعاد محلی، منطقه ای و ملی شود (ذکی و رشیدی، ۱۳۹۵).

در این میان پروژه های انتقال آب بین حوضه ای که از پر هزینه ترین و پرحالش ترین طرح های آبی است، همواره عامل بروز بحران های نوظهور در مناطق متأثر از خود می باشند. تاریخچه طرح های انتقال آب در غالب موارد بیانگر اثرات منفی این طرح ها بر محیط زیست است، که این امر از رویکرد ژئوپلیتیک به صورت بندی هیدروپلیتیک منفی در ابعاد ملی و ناحیه ای منجر شده و اثرات منفی امنیتی به بار خواهد آورد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

اهمیت امنیتی طرح های انتقال آب زمانی بیشتر مشخص می شود که با این پروژه ها مرزهای قومیتی و استانی، بدون توجه به مسائل اجتماعی موجود در منطقه برهم زده می شود (دانش مهر و همکاران، ۱۳۹۸) زیرا هر چه تنوع اقوام، مذاهب و بخش های استانی در منطقه طرح بیشتر باشد و نیز نسبت جمعیت آنها به هم نزدیک باشد، رقابت ها و تنگناها بیشتر می شود (عبدی، ۱۳۹۶).

از جمله این درگیری ها در طرح های انتقال آب کشور می توان به مشکلات تامین آب منطقه ماکو در آذربایجان غربی، درگیری های کشاورزان شرق اصفهان و تخریب خط لوله انتقال آب به یزد و درگیری های پروژه بن- بروجن اشاره کرد که بر اثر چالش های ناشی از بحران آب به وجود آمده و موجب گسترش بحران امنیتی در این مناطق شده است (افضلی و همکاران، ۱۳۹۹).

در این میان طرح های انتقال آب از حوضه کارون طی سالیان طولانی چالش های سیاسی و امنیتی بسیاری را به وجود آورده است که این چالش ها در طرح بهشت آباد به اوج خود رسیده است.

از جمله چالش های سیاسی- امنیتی ایجاد شده در حوضه

مذکور، می توان به تشدید مناقشات و واگرایی های محلی و قومی، کنشگری های مردم و مسئولان محلی، بهره برداری سیاسی و تبلیغاتی از طرح های بیان شده و حتی ورود موضوع به گفتمان های انتخاباتی و از طرف دیگر بروز درگیری ها و اختلافات در بین استان های دریافت کننده آب به ویژه در سال های خشک اشاره کرد (ذکی و رشیدی، ۱۳۹۵).

مخالفت ها و اعتراضات صورت گرفته توسط مردم استان های چهارمحال و بختیاری و خوزستان، موضع گیری های تند و علنی نمایندگان استان چهارمحال و بختیاری در مجلس و استعفای جمعی نمایندگان خوزستان در مجلس شورای اسلامی و تشکیل زنجیره انسانی در حمایت از کارون نمونه هایی بارز از کنشگری سیاسی مردم و مسئولان در زمینه انتقال آب بین حوضه ای است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

همچنین مخاطره امنیتی پیش رو در تداوم بحران و تنش پیرامون پروژه انتقال آب بهشت آباد، به خطر افتادن موجودیت کشاورزی، اقتصادی و صنعتی شهر اصفهان است. اصفهان با در اختیار داشتن حدود ۱۰ هزار واحد صنعتی و میزبانی از صنایع مهم و راهبردی کشور (ذوب آهن، فولاد و صنایع نظامی) از اصلی ترین مراکز صنعتی کشور می باشد، همچنین پالایشگاه اصفهان با تولید روزانه نزدیک به ۱۰ میلیون لیتر بنزین در کنار نیروگاه شهید منتظری که تأمین کننده ۱۶ درصد از برق کشور است، از اصلی ترین تامین کنندگان انرژی کشور هستند (اسماعیلی، ۱۳۹۹) که اخلاص در عملکرد آنها پیامدهای امنیتی در گستره ملی و برای کل کشور به همراه خواهد داشت.

• رویکرد محیط زیستی

در گذشته پیامدهای محیط زیستی طرح ها به ندرت زندگی روزمره انسان را دچار چالش می ساخت، اما امروزه و به ویژه در پروژه های بزرگ مقیاس، بحران های محیط زیستی به قدری گسترده هستند که مشکلات بزرگ و عمیقی را در شرایط زیست انسانی ایجاد می نمایند، به نحوی که دیگر نمی توان از آنها چشم پوشی کرد. بحران های محیط زیستی امری جهانی است و تمامی کشورهای جهان کم و بیش با آنها درگیر هستند که از این میان سهم کشورهای در حال توسعه، مانند ایران به دلیل عدم تطابق برنامه های توسعه با مبانی حفاظت محیط زیست بیشتر از سایر کشورها است. اما از آنجایی که پیامدهای فاجعه بار آسیب های محیط زیستی و نابودی منابع آبی به یکباره رخ نمی دهد و طی گذر زمان بروز می کنند، لذا رویکردها و نگرش های مسئولین امر به امنیت محیط زیست به گونه ای است که نشان می دهد هنوز عمق فاجعه و شدت و فوریت بحران آن را درک نکرده و نگاهی تجملاتی به مسائل محیط زیستی در کشور دارند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

بحران های محیط زیستی در ایران را می توان شامل بحران آب، فرونشست زمین، آلودگی در شهرهای بزرگ و صنعتی، آتش سوزی جنگل ها، پدیده ریزگرد، سیلاب های مخرب، افزایش تولید و دیوی زباله ها و نفوذ شیرابه به رودخانه ها و آب های زیرزمینی، پساب های صنعتی و... دانست (ضابطیان و

موسوی، ۱۴۰۰). به این لیست از مسائل محیط‌زیستی موجود در کشور، پیامدهای ناشی از طرح‌های بزرگ مقیاس عمرانی را نیز باید اضافه کرد که از این میان طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای به علت دست‌کاری در شرایط طبیعی محیط از مهمترین و پرمیامدترین طرح‌ها در زمینه محیط‌زیستی می‌باشند. در این طرح‌ها چالش‌های محیط‌زیستی مانند ورود موجودات غیربومی، تغییرات کیفی آب، تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه، تغییرات در زیستگاه موجودات زنده به‌ویژه آبزیان و دوزیستان، فرونشست زمین بر اثر کاهش آب‌های زیرزمینی، خشک شدن یا کم آب شدن چشمه‌ها، شور شدن اراضی (Meador, ۱۹۹۲)، تغییرات آب و هوا، تخریب تالاب‌ها و پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیست‌بوم‌ها، انتقال گونه‌های مهاجم، مشکلات در تولید مثل ماهیان و ایجاد مراکز ریزگرد (قهرمانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۷) قابل انتظار است که باتوجه به شرایط حوضه‌ها به وقوع می‌پیوندند.

تاکنون ارزیابی‌های محیط‌زیستی فراوانی در زمینه طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای انجام پذیرفته است. بررسی‌ها در کانادا نشان دهنده تغییرات نامطلوب بر فرسایش و ترسیب در رودخانه‌ها، تخریب در محیط‌زیست ماهی‌ها و جنگل‌ها و نیز کاهش در کیفیت آب بر اثر اجرای طرح‌های انتقال آب است (تیموری یگانه، ۱۴۰۱). همچنین ارزیابی محیط‌زیستی طرح‌های انتقال آب در ایالات متحده آمریکا و چین بیانگر تغییرات در فرسایش‌پذیری رودخانه‌ها و رژیم جریان آنها، شور شدن اراضی، تخریب زیستگاه آبزیان (Ghassemi و White, ۲۰۰۷)، بالارفتن سطح آب‌های زیرزمینی، تغییر در شرایط اقلیمی و تاثیر بر کیفیت آب می‌باشند (Gu و همکاران، ۲۰۱۲؛ Chen و همکاران، ۲۰۱۳). Roozbahani و همکاران (۲۰۲۰) نیز تخریب محیط‌زیست در حین احداث خط لوله و تونل، آلودگی آب و خشکیدن چاه‌ها و چشمه‌ها را از مهمترین پیامدهای طرح‌های انتقال آب در ایران برشمردند.

ارزیابی‌های صورت گرفته بر روی طرح بهشت‌آباد نیز در بیشتر موارد نشان دهنده تاثیرات عمیق و فراوان این پروژه بر روی محیط‌زیست منطقه به‌ویژه حوضه مبداء می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). حلییان و شبانکاری (۱۳۸۹) پیامدهای محیط‌زیستی انتقال آب بهشت‌آباد را کاهش دبی جریان در پایین دست سد، کاهش کیفیت آب شرب در شهرهای پایین دست و نفوذ آب شور دریا به سفره‌های زیرزمینی، رسوب‌گذاری بیشتر در بستر رودخانه، کاهش قابلیت تولید انرژی برق آبی در سیستم چند سدی کارون، کاهش درآمدهای گردشگری و اکوتوریسم در حوضه مبداء و افزایش حجم پساب و منابع آلاینده به‌ویژه در حوضه مقصد عنوان داشتند. ناپایداری اکوسیستم، کاهش حجم سفره‌های زیرزمینی، خشک شدن برکه‌ها و تالاب‌ها و کاهش سطح آب در دریاچه سدهای پایین دست می‌توانند از دیگر عواقب احتمالی این طرح باشند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). بی‌توجهی به این پیامدهای و

تداوم وضعیت پروژه در صورت اجرایی شدن طرح، می‌تواند چاه‌ها و چشمه‌های کارستیک منطقه مانند چشمه سلیم، چشمه وقت و ساعت، چاه آب فرخ‌شهر و نیز منابع آبی دشت شهرکرد را با تهدید خشک شدن و نابودی مواجه کند (امامی، ۱۳۹۱).

• رویکرد حقوقی

قواعد حقوقی در زمینه طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای می‌بایست سازوکارهایی در راستای الزام به پیشگیری از ایجاد خسارت و نیز جبران خسارت‌های حادث شده در فرآیند اجرای این طرح‌ها را در خود داشته باشد. نظام‌های حقوقی کشورهای مختلف به فراخور شرایط و کثرت طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای اقدام به وضع قوانین و مقررات در این زمینه کرده‌اند. از این دست قوانین می‌توان بخش ۳۴۰۵ قانون تجویز و تنظیم طرح‌های احیای اراضی آمریکا و دستورالعمل آن، قانون انتقال آب ایالت ماساچوست و قانون انتقال آب ایالت تنسی که انتقال آب بین‌حوضه‌ای در ایالات متحده را قانونمند می‌سازند، اشاره کرد (فریادی، ۱۳۹۷). بالاین حال در ایران با وجود اجرای طرح‌های متعدد انتقال آب بین‌حوضه‌ای، قانون جامعی که در بردارنده مسائل و موضوعات این طرح‌ها، شاخص‌ها، ملاحظات، تبیین آثار و ضمانت اجرای آنها باشد، وضع نشده است و قوانین موجود یا به‌طورکلی به مباحث تامین آب اشاره کرده و انتقال آب را می‌بایست زیرمجموعه‌ای از آن استنباط کرد و یا در ذیل مبحث مدیریت منابع آب و با اشاره به اصول توسعه پایدار، حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از بروز خسارات به آن پرداخته شده است.

باتوجه به این که مباحث مرتبط با حقوق آب زمینه‌ای در حال توسعه و نوپا به‌ویژه در ایران می‌باشد و قواعد و اصول آن در ابتدای راه شکل‌گیری و تثبیت هستند، سخن از وجود نظام حقوقی منسجم در زمینه طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای زود و دور از واقعیات موجود است، اما با در نظر گرفتن آثار فراوان این پروژه‌ها بر ابعاد مختلف جامعه انسانی و محیط‌زیست بررسی ابعاد، اصول و قواعد حقوقی طرح‌ها در ابتدای راه لازم و ضروری است. باوجود نبود قوانین در زمینه طرح‌های انتقال آب، اما در برخی آیین‌نامه‌ها و قوانین به مباحث مالکیت آب اشاره شده که می‌توان سازوکار اجرایی طرح‌های انتقال آب را متاثر از این موضوعات نیز دانست. به‌طورکلی با بررسی قوانین کشور مشخص می‌شود که بیشترین مساعدت و توجه به طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای در برنامه‌های توسعه صورت گرفته است (بیونقی، ۱۳۹۹).

بند (ه) ماده ۱۷ قانون چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تصریح می‌کند که از ملزومات طرح‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای، بهره‌گیری از رویکرد توسعه پایدار و لحاظ کردن منافع و حقوق ذی‌نفعان می‌باشد و نیز می‌بایست برای تامین نیازهای مختلف مصرف، توجهات فنی، اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و منافع ملی مدنظر قرار گیرد (ضرغامی، ۱۳۸۴). همچنین در بند ح از ماده ۴۰ لایحه برنامه هفتم توسعه (که اکنون کشور در بازه اجرایی آن

قرار دارد) آمده است که «تخصیص آب و اجرای طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای صرفاً برای تامین نیاز شرب، در صورتی امکانپذیر است که پس از طی مراحل فنی و تصویب در شورای عالی آب نیازهای محیط‌زیستی مطابق با استانداردها و حدود مجاز مندرج در اسناد و قوانین برای حقابه‌های مبدأ لحاظ گردد.» با در نظر گرفتن این مفاد از قوانین برنامه‌های توسعه و باتوجه به تخصیص آب انتقالی به بخش شرب در استان اصفهان، لذا مغایرتی در طرح با قوانین مشاهده نمی‌شود. اما از طرف دیگر، عدم موافقت سازمان حفاظت محیط‌زیست با نحوه اجرای این طرح، ایراد حقوقی وارد بر طرح می‌باشد که در صورت برطرف شدن این مغایرت حقوقی هیچگونه مغایرت قانونی دیگری در طرح مذکور با قوانین موجود برای جلوگیری از اجرایی شدن آن وجود ندارد، زیرا در راهبردهای توسعه بلندمدت منابع آب ایران (مصوب هیئت وزیران به تاریخ ۸۲/۷/۲۷) آمده است، نظر به اینکه در قانون اساسی جمهوری اسلامی آب به عنوان انفال و سرمایه ملی تلقی شده، اختیار ورود به موضوع انتقال آب بین حوضه‌ای به دولت و وزارت نیرو داده شده است و سیاست این وزارتخانه اینگونه است که منابع آبی یک استان و منطقه صرفاً متعلق به ساکنین آن نبوده، بلکه ایشان اولویت بهره‌برداری از منابع را دارند و در مرحله بعد پروژه‌هایی مانند طرح‌های انتقال آب می‌تواند مطرح شود (داوودی دهقان و عامری، ۱۳۹۸).

جمع‌بندی

اصل اساسی در مدیریت منابع آب تعادل بین عرضه و تقاضای آب می‌باشد، اما باید توجه داشت که این تعادل می‌بایست متناسب با شرایط و منابع موجود در منطقه باشد. در طی سال‌های اخیر و تحت تأثیر پیشران‌های توسعه و محرک‌های اجتماعی و سیاسی، تقاضا برای آب فزونی یافته و به تبع آن برای ایجاد تعادل، عرضه آب نیز افزایش پیدا کرده، به نحوی که منجر به برداشت بیش از حد از منابع موجود و حتی استفاده از منابع تجدیدناپذیر شده که به علت محدود بودن این منابع، پیامدهایی همچون مناقشات آبی و معضلات محیط‌زیستی را در پی داشته است. از طرف دیگر، وابستگی فزاینده به منابع آب تجدیدناپذیر عامل بروز آسیب هرچه بیشتر به کل سیستم اقتصادی- اجتماعی تلقی می‌شود که حتی می‌تواند امنیت محلی و ملی را مورد تهدید قرار دهد. آنچه که مشهود است، روند عمومی مدیریت بخش آب کشور در طی چند دهه اخیر، متمرکز بر مدیریت عرضه بوده و توجهی به ایجاد سازگاری متناسب مابین نظام اقتصادی- اجتماعی با ظرفیت‌های منابع آب کشور نداشته است. شکاف عمیق به وجود آمده بین منابع آب تجدیدپذیر و مصارف آب کشور، گویاترین نمود ناکامی نظام مدیریت منابع آب در ایران، با وجود صرف هزینه‌های بسیار اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در شش دهه گذشته می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۳). از اصلی‌ترین علل

ناکامی این نظام مدیریتی، بی‌توجهی به پیچیدگی‌های مسئله آب در ایران با رویکردی بین‌رشته‌ای است که موجب شده ارزیابی‌ها غالباً به ابعاد اقتصادی و فنی محدود شوند و به علت نادیده گرفتن سایر ابعاد، در برخی موارد حتی اهداف اقتصادی طرح‌ها نیز در کوتاه مدت و بلندمدت برآورده نشوند.

طرح‌های بزرگ آبی می‌بایست از جنبه‌های مختلف بررسی و ارزیابی شوند و با رویکردی جامع پیامدهای مختلف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی آنها بررسی شود. طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای نیز از این اصل مستثنا نیستند. به‌طور کلی یک طرح انتقال آب بین حوضه‌ای زمانی قابل اجراء است که امکان‌پذیری فنی آن مورد تایید بوده و ارزیابی‌های محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی آن توجیه کافی داشته باشد (تیموری یگانه، ۱۴۰۱). با اینکه انتقال آب همچون هر ابزار و فناوری دیگری در ذات خود ارزش یا ضدارزش محسوب نمی‌شود، اما در پس زمینه اجرای این طرح‌ها شکاف اجتماعی ایجاد می‌شود، از جمله احساس بی‌قدرتی و کاهش اعتماد به نفس و ارزشمندی در توده مردم منطقه مبدأ در مقابل تمامیت‌خواهی‌های مناطق صاحب نفوذ مقصد تشدید و تعمیق می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸). حوضه‌های مبدأ معمولاً روند رشد اقتصادی کندتری دارند، از این رو قدرت سیاسی و توان لازم برای جلوگیری از اجرای طرح یا ایجاد تغییر در برنامه‌های انتقال آب را ندارند، ولی با این حال ساکنان حوضه مبدأ، همواره به شکل‌های مختلف در مقابل اجرای چنین طرح‌هایی مقاومت می‌کنند. زیرا تأثیرهای اقتصادی و محیط‌زیستی طرح‌های انتقال آب در حوضه مبدأ اجتناب‌ناپذیر است. با خارج کردن آب از حوضه مبدأ، امکان توسعه فعالیت‌های جدید اقتصادی و تولیدی بر پایه آب کاهش یافته و فعالیت‌های قبلی نیز تهدید خواهند شد. در نتیجه این امر روند رشد اقتصادی منطقه کندتر شده و تنش‌های اجتماعی افزایش می‌یابد (رحیمی‌زاده و حداد، ۱۳۹۷).

گستره پیچیدگی‌ها در بررسی و توجیه‌پذیری طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای به نوع، شرایط، به هم پیوستگی و اثر بخشی رویدادهای ناشی از اجرایی شدن این طرح‌ها بستگی دارد. در این زمینه می‌بایست چالش‌ها و پیامدهای منفی و مثبت و نیز تأثیرات اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی، هیدرولوژیکی، فنی و سیاسی ناشی از اجرای طرح در تمامی مناطق متأثر از آن مورد توجه قرار گیرد. به‌طور کلی بررسی‌های انجام شده امکان غیر همسو بودن آثار طرح در حوضه‌های مبدأ و مقصد را نشان می‌دهد، به نحوی که تأثیر منفی طرح برای یک حوضه می‌تواند دربرگیرنده تأثیری مثبت برای حوضه دیگر باشد (رجا و پارسی‌نژاد، ۱۳۹۹). با انجام ارزیابی‌های جامع علاوه بر کاستن از هزینه‌های اقتصادی و افزایش احتمال موفقیت طرح، می‌توان از اجرای طرح‌هایی که آثار منفی بر سرمایه اجتماعی دارند، جلوگیری کرد و یا ندابیری برای کاهش آثار نامطلوب اندیشید.

از این رو، مدیریت و برنامه‌ریزی انتقال آب از سرشاخه‌های کارون (بهشت‌آباد) به حوضه زاینده‌رود و فلات مرکزی نیازمند ارزیابی

بر مبنای معیارهای ملی و منطقه‌ای و با رویکردی چندوجهی برای بررسی همگام اهداف اقتصادی و غیراقتصادی است و در این راستا می‌بایست مسائلی همچون قیمت واقعی آب، برگشت‌پذیری سرمایه‌ها، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، پیش‌بینی‌های اقلیمی و ریسک‌های هیدرولوژیکی در کنار مسائل اجتماعی و امنیتی با درنظر گرفتن اهداف توسعه پایدار نیز بررسی شود. مناطق مبدأ در این طرح باتوجه به وابستگی فراوان معیشت و زیست غالب مردم به کشاورزی و دامپروری و نیاز آبی بالا برای این فعالیت‌ها، انتقال آب را مغایر با منافع خود می‌دانند و این امر در کنار حس بی‌عدالتی، طردشدگی و محرومیت ناشی از توسعه نیافتگی باعث انباشت و برون‌ریزی خشم جمعی شده و زمینه اعتراضات خیابانی را فراهم کرده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

در طرح انتقال آب بهشت‌آباد عدم بررسی دقیق منابع و مصارف حوضه‌های مبدأ و مقصد، بی‌توجهی به شرایط تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌ها، محدودیت‌های محیط‌زیستی طرح و نیز راهکارهای احتمالی دیگر تامین آب مشهود است که این موارد با اصول و چارچوب مدیریت پایدار منابع آب، جامع‌نگری در برنامه‌ها و مبنای توسعه پایدار در تعارض قرار دارند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۱). ازسوی دیگر، با وجود احداث تونل‌های متعدد برای انتقال آب از حوضه کارون به زاینده‌رود در طی دهه‌های اخیر، بهبودی چندانی در شرایط کم‌آبی این حوضه اتفاق نیفتاده است و این طرح‌ها بیشتر موجب بارگذاری فراتر از حد توان اکولوژیک رودخانه، توسعه نامتوازن حوضه و ناپایداری محیط‌زیستی حوضه زاینده‌رود و تالاب گاوخونی شده‌اند. همچنین در تمامی طرح‌های انتقال آب بین این دو حوضه درباره نوع مصرف، میزان مصرف و تشریح دقیق مصرف کنندگان آب و شرایط آنها در حوضه مقصد اسناد و مدارک مستند و گزارشات نیازسنجی مصوبی ارائه نشده و تنها به کلی‌گویی‌هایی بسنده شده است. مجموعه این عوامل موجب شده تا برنامه‌های اصلی توسعه پایدار در هر دو حوضه مبدأ و مقصد به علت افزایش آلودگی، رشد بیش از حد جمعیت به‌ویژه در حوضه مقصد، افت کیفیت آب و مواردی از این دست نا تمام باقی بمانند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

با اینکه طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌توانند موجهات پیشرفت و بهبود شرایط برای حوضه مقصد را فراهم کند و در بسیاری موارد اگر با مطالعات کافی و استفاده از پتانسیل‌های گروه‌های محلی، دیپلماسی داخلی مناسب، همگرایی اجتماعی و ایجاد حس ملی‌گرایی در منطقه انجام گیرند، می‌توانند پیامدهای منفی کمتری به‌ویژه در زمینه اجتماعی و سیاسی- امنیتی در پی داشته باشند. اما باتوجه به مرور منابع صورت گرفته و مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران و حتی نهادهایی همچون مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، عدم توجه به این موارد در طرح اولیه و حتی در بازبینی‌های صورت گرفته مشهود است. در بازبینی‌های صورت گرفته در طرح بدون

توجه به مسائل به‌وجود آمده پیرامون طرح انتقال آب بهشت‌آباد، در زمینه‌های اجتماعی و سیاسی- امنیتی تنها به تغییر در برآوردهای طرح بسنده شده و هیچ‌گونه اقدامی از سوی نهادهای متولی در راستای رفع موانع اجتماعی برداشته نشده است و گاهی حتی با برخوردهای امنیتی دامنه بحران را گسترده‌تر کرده‌اند. با در نظر گرفتن شرایط منطقه انجام طرح انتقال آب بهشت‌آباد و به خصوص محرومیت‌های موجود در حوضه مبدأ و دوگانگی اجتماعی ایجاد شده میان ساکنان حوضه‌های مبدأ و مقصد، ورود مساله به گفتمان‌های سیاسی و تحریکات امنیتی ایجاد شده به واسطه اجرایی شدن چندین طرح انتقال آب در منطقه و با در کنار هم قرار دادن تمامی این موضوعات و در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، امنیتی و چالش‌های حقوقی و پیامدهای اجتناب ناپذیر طرح، تصمیم‌گیری در زمینه اجرا یا عدم اجرای این طرح و نیز چگونگی اجرا شدن آن از مهمترین چالش‌های پیش روی حکمرانی در کشور است. از سوی دیگر، نظر به اینکه در مطالعات صورت گرفته بر روی طرح بهشت‌آباد جنبه‌های سیاسی- امنیتی و حقوقی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و چالش‌های پیرامون این طرح بیشتر به این زمینه‌ها کشیده شده است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده پژوهشگران بیشتر بر جنبه‌های مذکور پرداخته و راهکارهای برون رفت از چالش‌های این طرح را در آینده این رویکردها بررسی شوند.

سیاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته شده از طرح شماره "۴۰۳۷۹۴۱" انجام شده است.

پی‌نوشت‌ها

- ۱- محاسبات ریالی مربوط به زمان ارائه گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۸۷) می‌باشد.
- ۲- محاسبات ریالی مربوط به زمان انتشار مقاله (خواستار بروجنی و همکاران، ۱۳۹۳) می‌باشد.

منابع

آتشخوار، فاطمه، زمانی، عفت، و پورعبدالله، ناهید. (۱۳۹۱). وضعیت ناپایدار آبخوان‌های مسیر انتقال آب و متاثر از عواقب تونل بهشت‌آباد. همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران. اسماعیلی، محمد مهدی. (۱۳۹۹). بحران تأمین آب در حوضه آبریز زاینده‌رود؛ مسائل سیاسی و اجتماعی و راهکارهایی برای مدیریت آن (مطالعه موردی: اعتراضات سال‌های ۱۳۸۹ تا

۱۳۹۲). مطالعات و تحقیقات اجتماعی در ایران، ۹(۳)، ۵۶۷-۵۸۵. <https://doi.org/10.22059/jisr.2020.295075.990>

افضلی، علی اکبر. (۱۳۹۴). تخصیص منابع آب در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از تئوری بازی‌ها، مطالعه موردی: طرح بهشت‌آباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

افضلی، رسول، ذکی، یاشار، کاویانی راد، مراد، و محمدخانی، عماد. (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی تغییر اقلیم و چالش‌های امنیتی بحران آب در شهرهای دو حوضه آبریز مرکزی و دریاچه ارومیه. <https://dori.net/> ۱۸۹-۱۶۷، ۷(۱-۱۶)، <https://doi.org/10.22059/jisr.2020.295075.990>

آقائباتی، سیدعلی. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور. چاپ ۱. تهران، ایران.

امامی، سیدنعیم. (۱۳۹۱). چالش‌های زمین‌شناختی پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی). همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای (چالش‌ها و فرصت‌ها). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

امیرنژاد، حمید، حسینی، ساره، و صابری مصطفی. (۱۳۹۹). بررسی پیامدهای مثبت و منفی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۱(۲۲)، ۲۶۳-۲۷۲. <https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.263>

باقری، علی، نیشابوری، شهناز، جمشیدی، مهدی، و شریعتی، محمد حسن. (۱۳۹۳). سرمقاله و یادداشت‌های کوتاه. آب و توسعه پایدار، ۱(۳)، الف-پ. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v1i3.48667>

باقری، روح‌الله. (۱۳۹۶). ارزیابی انتقال بین حوضه‌ای آب و انتقال بین حوضه‌ای جمعیت در طرح بهشت‌آباد. دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

بهران، صدیقه. (۱۳۸۷). بحران وضعیت آب در جهان و ایران. فصلنامه علمی راهبرد، ۱۶(۲)، ۱۴۶-۱۲۹. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v1i2.2202.1121>

بیونقی، کیمیا. (۱۳۹۹). قواعد حاکم بر انتقال بین حوضه‌ای آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تیموری یگانه، مریم. (۱۴۰۱). مروری بر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان و تأثیر آن بر عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی. آب و توسعه پایدار، ۹(۲)، ۵۷-۶۸. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2202.1121>

تیموری، حمیدرضا، حافظ‌نیا، محمدرضا، پاپلی یزدی، محمدحسین، و احمدی نوح‌دانی، سیروس. (۱۴۰۲). تبیین پیامدهای هیدروپلیتیکی تغییرات اقلیمی در ایران (مطالعه موردی حوضه آبریز زاینده رود). آمایش سیاسی فضا، ۵(۳)، ۲۴۶-۲۶۹.

حلبیان، امیرحسین، و شبانکاری، مهران. (۱۳۸۹). مدیریت منابع آب در ایران (مطالعه موردی: چالش‌های انتقال آب از بهشت‌آباد به

زاینده‌رود). چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام. دانشگاه زاهدان، زاهدان، ایران.

حیات‌غیبی، فاطمه، شاهنوشی، ناصر، قهرمان، بیژن، صمدی، حسین، قربانی، محمد، و صبوحی، محمود. (۱۴۰۰). برآورد حداقل جریان آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه کارون در بالادست و پایین‌دست سد بهشت‌آباد. آب و خاک، ۳۵(۳)، ۳۱۹-۳۳۳.

خواستار بروجنی، میلاد، شریف‌نیا، رضوان السادات، و افضلی، هاشم. (۱۳۹۳). برآورد اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از احداث سد بهشت‌آباد و تونل انتقال در طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد به فلات مرکزی. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست). دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

دانش‌مهر، حسین، احمد رش، رشید، و کریمی، علیرضا. (۱۳۹۸). درک معنایی نخبگان و ذی‌مدخلان محلی از طرح انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه؛ ارائه مدل داده بنیاد. مطالعات و تحقیقات اجتماعی در ایران، ۸(۱)، ۱-۳۲. <https://doi.org/10.22059/jisr.2019.260880.707>

داوودی دهقانانی، ابراهیم، و عامری، محمدعلی. (۱۳۹۸). پیامدهای اجتماعی و امنیتی انتقال آب بین حوضه‌ای (مورد مطالعه: بهشت‌آباد چهار محال و بختیاری به زاینده‌رود اصفهان). پژوهشنامه جغرافیای انتظامی، ۷(۲۵)، ۵۱-۷۶. <https://doi.org/10.22059/jisr.2019.260880.707>

ذکی، یاشار، و کیانی، محمدعلی. (۱۳۹۳). مسائل هیدروپلیتیکی ناشی از انتقال بین حوضه‌ای آب (با تأکید بر طرح بهشت‌آباد). دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.

ذکی، یاشار، و رشیدی، مصطفی. (۱۳۹۵). سیاست آب در حوضه آبریز کارون بزرگ و چالش‌های هیدروپلیتیکی ناشی از آن. فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۸(۴)، ۴۳-۵۹. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v1i3.48667>

رجا، امید، و پارسی‌نژاد، مسعود. (۱۳۹۹). نگرش همه‌جانبه بر انتقال آب بین حوضه‌ای. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۵(۲)، ۱۵۲-۱۶۵. <https://doi.org/10.22047/sr-jasnr.2020.113096>

رحیم‌دل، محمدجواد، باقرپور، راحب، و مهدوی، سعید. (۱۳۹۰). بررسی مخاطرات زمین‌شناسی محتمل در جریان حفاری تونل انتقال آب بهشت‌آباد. اولین کنفرانس ملی عمران توسعه. دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

رحیمی‌زاده، محمدرضا، و بزرگ حداد، امید. (۱۳۹۷). بررسی اثرهای انتقال آب بین حوضه‌ای بر منابع آب ایران. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۳(۱)، ۲۷-۴۲. <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2018.110635>

رحیمی علی‌آبادی، محمد، اسماعیلی، سیدعلیرضا، گوهری، سعید، و حیدری، مجید. (۱۴۰۲). ارزیابی و بررسی طرح انتقال آب

سد آزادی به دشت حر ثلاث باباجانی استان کرمانشاه. بیست و دومین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. ریاحی‌پور، مهدی، و خلیلی، خدیجه. (۱۴۰۳). پیش بینی میزان نشت آب زیرزمینی به درون تونل انتقال آب بهشت آباد با استفاده از روش‌های تجربی و هیدروژئولوژی. دوازدهمین همایش ملی محیط‌زیست، انرژی و منابع طبیعی. جهاد دانشگاهی، تهران، ایران. سعیدی‌نیا، مهری، صمدی بروجنی، حسین، عرب، داود رضا، و زارعی، علیرضا. (۱۳۸۷). بررسی میزان آب قابل انتقال از سرشاخه‌های کارون به حوضه‌های مجاور با استفاده از مدل WEAP. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. سعیدی‌نیا، مهری، صمدی بروجنی، حسین، و فتاحی، روح‌الله. (۱۳۸۷). بررسی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: تونل بهشت آباد). پژوهش آب ایران، ۲(۲)، ۳۳-۴۴. سلطانی، ناصر، موسوی، میرنجف، و احمد اقبال، گلاویژ. (۱۳۹۵). ارزیابی پیامدهای احتمالی انتقال آب حوضه زاب به دریاچه ارومیه. جغرافیا و پایداری محیط، ۲(۲)، ۳۵-۵۱. سلیم‌پور، شاهین، اژدری مقدم، مهدی، و هاشمی‌منفرد، سید آرمان. (۱۳۹۴). برآورد میزان حجم تغذیه مصنوعی آبخوان فارسان جهت کاهش اثر منفی تونل انتقال آب بهشت‌آباد بر سطح آب زیرزمینی. چهاردهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران. دانشگاه زاهدان. زاهدان، ایران. شریف‌نیا، رضوان السادات، و اشکانی، نسترن. (۱۳۹۳). پیامدهای منفی حفر تونل انتقال آب بهشت‌آباد بر محیط‌زیست منطقه حفاظت شده و پارک ملی تنگ صیاد - چهارمحال و بختیاری. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط‌زیست). دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران. صادقی، سیدحمیدرضا، کاظمی‌کیا، سمیه، خیرفام، حسین، و جزایوی، زینب. (۱۳۹۵). تجارب و پیامدهای انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۲)، ۱۲۰-۱۴۰. صداقت، مرتضی، شیرانی، کوروش، و قاضی‌فرد، اکبر. (۱۳۹۵). بررسی فعالیت گسل‌ها در محل ساختگاه سد بهشت‌آباد به کمک نهشته‌های کواترنر. دو فصلنامه کواترنری ایران، ۲(۲)، ۱۳۵-۱۴۲. <https://doi.org/10.22034/irqua.2016.701933> صمدی بروجنی، حسین. (۱۳۸۹). انتقال آب بین حوضه‌ای (فرصت‌ها و چالش‌ها)، انتشارات دانشگاه شهرکرد. شهرکرد، ایران. ضابطیان، بهرنگ، و موسوی، مرضیه. (۱۴۰۰). بررسی سازوکارهای بر ساخت مسائل محیط‌زیستی (مورد مطالعه: کارزار مردمی توقف تونل بهشت آباد). برنامه‌ریزی رفاه و توسعه اجتماعی، ۱۲(۴۹)، ۲۱۷-۲۷۴. <https://doi.org/10.22054/qjsd.2021.57194.2077> ضرغامی، مهدی. (۱۳۸۴). مدل اولویت بندی طرح‌های انتقال آب از حوضه‌های آبریز مشترک در ایران. دومین همایش تبادل تجربه‌های پژوهشی، فنی و مهندسی. دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

عابدیان، حسین، کرمی، غلامحسین، و کریمی، حاجی. (۱۳۹۷). بررسی اثر مقیاس در برآورد مقدار نشت آب از مخزن و تکیه‌گاه سد بهشت‌آباد. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۸(۳)، ۲۰-۲۸. عابدیان، حسین، کرمی، غلامحسین، و کریمی، حاجی. (۱۳۹۹). ارزیابی پتانسیل نشت از جناح راست سد بهشت‌آباد با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژی. مجله پژوهش آب ایران، ۱۴(۱)، ۲۹-۴۰. عبدی، عطاالله. (۱۳۹۶). تحلیل نظری واگرایی قومی در جغرافیای سیاسی. فصلنامه بین‌المللی ژئوپلیتیک، ۱۳(۴۸)، ۹۲-۱۲۰. <https://doi.org/10.17354/331.1396.13.48.5.2> علی‌بابایی شهرکی، نرگس، داوودیان دهکردی، علیرضا، صمدی بروجنی، حسین، و علی‌بابایی شهرکی، اسماعیل. (۱۳۹۲). بررسی مخاطرات زمین‌شناسی احداث سد و تونل انتقال آب بهشت‌آباد در استان چهارمحال و بختیاری. اولین همایش ملی مجازی علوم زمین. ارومیه، ایران. فربادی، مسعود. (۱۳۹۷). انتقال میان حوضه‌ای آب: مبانی و چالش‌های حقوقی. پژوهش حقوق عمومی، ۲۰(۶۱)، ۱۲۱-۱۵۰. <https://doi.org/10.22054/qjpl.2019.20557.1483> قریشی، سیده زهرا، میان‌آبادی، حجت، و موسوی شفائی، سید مسعود. (۱۳۹۸). نقش قدرت در دیپلماسی آب. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۲)، ۲۴۲-۲۶۴. <https://doi.org/10.17354/331.1396.15.2.19.8> قهرمانی‌فر، ستار، یزدانی‌مونکی، احسان، و اکبری‌فرد، سعید. (۱۳۹۷). بررسی اثرات و پیامدهای انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران و جهان. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران. تهران، ایران. کارآموز، محمد، مجاهدی، سیدعلی، و احمدی، آزاده. (۱۳۸۶). ارزیابی اقتصادی و تعیین سیاست‌های بهره‌برداری انتقال آب بین حوضه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران، ۳(۲)، ۱۰-۲۵. گل‌کرمی، عابد، و کاویانی‌راد، مراد. (۱۳۹۶). تاثیر محدودیت منابع آب بر تنش‌های هیدروپلیتیک (نمونه موردی: حوضه آبریز مرکزی ایران با تاکید بر حوضه آبریز زاینده رود). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۸(۱)، ۱۱۳-۱۳۴. doi: [10.22108/gep.2017.97903.0](https://doi.org/10.22108/gep.2017.97903.0) محمدی، حمیدرضا، حکیمی‌خرم، علی، و احمدی، ابراهیم. (۱۳۹۸). امکان سنجی اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران (مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد-فلات مرکزی). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۵۱(۴)، ۱۰۷۳-۱۰۹۲. <https://doi.org/10.1001.1.20086296.1398.51.4.13.9> محمدیان، عبرت، و رنجبر باروق، زهرا. (۱۳۹۴). بررسی چالش‌های طرح انتقال آب بین حوضه‌ای مطالعه موردی بهشت‌آباد. سومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی (ژئومورفولوژی و بحران آب). دانشگاه تهران، تهران، ایران. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۸۷). انتقال آب بین

- project with decision support systems. *Decision Support Systems*, 42(4), 1989-2003. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2004.11.004>
- Ghassemi, F., & White, I. (2007). *Inter-basin water transfer: case studies from Australia, United States, Canada, China and India*, Cambridge University Press. London, United Kingdom.
- Gu, W., Shao, D., & Jiang, Y. (2012). Risk evaluation of water shortage in source area of middle route project for South-to-North Water Transfer in China. *Water resources management*, 26, 3479-3493. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0086-1>
- Karakaya, N., Evrendilek, F., & Gonenc, E. (2014). Inter-basin water transfer practices in Turkey. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 4(2), 1000149. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000149>
- Knapp, K.C., Weinberg, M., Howitt, R., & Posnikoff, J.F. (2003). Water transfers, agriculture, and groundwater management: a dynamic economic analysis. *Journal of environmental management*, 67(4), 291-301. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(02\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00162-7)
- Manshadi, H.D., Niksokhan, M.H., & Ardestani, M. (2015). A quantity-quality model for inter-basin water transfer system using game theoretic and virtual water approaches. *Water Resources Management*, 29, 4573-4588. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1076-x>
- Meador, M.R. (1992). Inter-basin water transfer: Ecological concerns. *Fisheries*, 17(2), 17-22. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1992\)017%3C0017:IWTEC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1992)017%3C0017:IWTEC%3E2.0.CO;2)
- Roozbahani, A., Ghased, H., & Shahedany, M.H. (2020). Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian central plateau. *Science of the Total Environment*, 726, 138499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138499>
- Snaddon, C. D. (1998). Some of the ecological effects of a small inter-basin water transfer on the receiving reaches of the upper Berg river. Master's thesis, Faculty of science, University of Cape Town, Cape Town. South Africa.
- Zhuang, W. (2016). Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 12867-12879. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6854-3>
- حوزه‌ای بهشت آباد به فلات مرکزی. شماره مسلسل: ۸۹۳۵، کد موضوعی ۲۵۰. تاریخ انتشار ۱۳۸۷/۱/۲۴. تهران، ایران.
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۱). درباره انتقال آب بهشت‌آباد. شماره مسلسل: ۱۲۴۹۲، کد موضوعی ۲۵۰. تاریخ انتشار: ۱۳۹۱/۵/۱۱. تهران، ایران.
- مریدسادات، محمد، صمدی بروجنی، حسین، طاهری سودجانی، هاجر، و پولادگر، محسن. (۱۳۹۰). الزامات توسعه پایدار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای (مطالعه موردی: انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید کرمان، کرمان، ایران.
- مظلوم شهرکی، رسول، خاشعی سیوکی، عباس، نجفی مود، محمدحسین، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۳۹۲). بررسی طرح انتقال آب بین حوضه‌ای بهشت‌آباد و تاثیر آن بر روی مناطق مبدا و مقصد. اولین همایش ملی آبیاری و بهره‌وری آب. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- نادری، لادن، و کرمی دهکردی، اسماعیل. (۱۳۹۷). دیدگاه خانوارهای محلی پیرامون پیامدهای اجتماعی احداث سد بهشت‌آباد در حوزه مبدأ. پژوهش‌های روستائی، ۹(۴)، ۶۴۵-۶۲۸.
- نادری، لادن، و کرمی دهکردی، اسماعیل. (۱۳۹۸). تأثیر احداث سد بهشت‌آباد بر راهبردهای معیشت خانوارهای جوامع محلی. <http://dorl.net/dor/20.1.51-25.1>. ۵۱-۲۵. <https://doi.org/10.16059689.1398.23.1.2.3>
- نصرآزادانی، حامد، مهکویی، حجت، گندمکار، امیر، و عباسی، علیرضا. (۱۴۰۳). تحلیلی بر انتقال آب میان حوضه‌ای در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری. جغرافیا و مطالعات محیطی، ۴۹ (۱۳)، ۴۱-۲۲.
- نصرآزادانی، حامد، مهکویی، حجت، گندمکار، امیر، و عباسی، علیرضا. (آماده انتشار). واکاوی چالش‌های انتقال آب بین حوضه‌ای بر امنیت اجتماعی و اقتصادی در استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری. پژوهش‌های جغرافیای سیاسی، آماده انتشار. <https://doi.org/10.22067/PG.2024.88694.1293>
- AhmadiNajl, A., Haghighi, A., & Samani, H.V. (2016). Driving optimum trade-off between the benefits and costs of interbasin water transfer projects. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 6(2), 173-185.
- Chen, Z., Wang, H., & Qi, X. (2013). Pricing and water resource allocation scheme for the South-to-North Water Diversion Project in China. *Water Resources Management*, 27(5), 1457-1472. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0248-1>
- Feng, S., Li, L.X., Duan, Z.G., & Zhang, J.L. (2007). Assessing the impacts of south-to-north water transfer

The Necessity of Creating a Comprehensive Perspective for Urban Flood Risk Management

S. Attaran^{1*}, A. Mosaedi^{2*}

1, 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)

Received: 07-02-2024

Revised: 19-06-2024

Accepted: 09-07-2024

Available Online: 19-12-2024

ضرورت ایجاد یک دیدگاه جامع به منظور مدیریت ریسک سیل شهری

سارا عطاران^{۱*}، ابوالفضل ماسعدی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب-آبیاری و زهکشی و استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: mosaedi@um.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

Abstract

Floods have been the third most destructive disaster after earthquakes and tropical storms in the past few years. Since many cities are located in floodplains or on the coasts due to economic interests, flood risk management has become a significant issue. The potential for flood damage in cities is very high because, in addition to river flooding causing flooding in cities, the concentration of population and valuable assets causes flood damage to be very widespread in urban areas. Therefore, it is necessary to understand the components of the flood risk function properly and to make effective plans for each one according to the conditions of each region. In this study, flood risk is defined as a function of hazard, vulnerability, and exposure. Considerable focus has been placed on the role of poverty in exacerbating flood risk because, in big cities, management strategies in different urban areas should be different, depending on the cultural situation and level of economic development of those areas. Also, this article emphasizes the necessity of participatory management and planning in flood-prone areas and highlights the consequences of excluding affected communities and stakeholders. Finally, various sections are presented to create a comprehensive framework for flood risk management.

Keywords: Flood Risk Management, Vulnerability, Exposure, Urban Flood.

چکیده

سیل‌ها، بعد از زلزله و طوفان‌های استوایی سومین بلای خسارت‌ساز در چند سال گذشته بوده‌اند. از آنجایی که بسیاری از شهرها به دلیل منافع اقتصادی در دشت‌های سیلابی و یا در سواحل واقع شده‌اند، مدیریت ریسک سیل به یک موضوع مهم و قابل توجه تبدیل شده‌است. پتانسیل خسارت سیل در شهرها بسیار زیاد است، زیرا علاوه بر این که طغیان رودخانه موجب وقوع سیل در شهرها می‌شود، تمرکز جمعیت و دارایی‌های باارزش سبب می‌شود که خسارات سیل در مناطق شهری بسیار گسترده باشد. بنابراین لازم است تا اجزای تابع ریسک سیل به درستی درک شوند و برای هر یک، برنامه‌ریزی‌های موثری با توجه به شرایط هر منطقه انجام گیرد. در این پژوهش ریسک سیل به عنوان تابعی از مخاطره، آسیب‌پذیری و در معرض بودن تعریف شده‌است. تمرکز قابل توجهی به نقش فقر در تشدید خطر سیل معطوف شده‌است؛ زیرا در شهرهای بزرگ راهبردهای مدیریتی در مناطق مختلف شهری با توجه به وضعیت فرهنگی و سطح توسعه اقتصادی آن مناطق باید متفاوت باشد. همچنین این مقاله بر ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی مشارکتی در مناطق سیل‌خیز تأکید می‌کند و پیامدهای حذف جوامع آسیب‌دیده و ذی‌نفعان را برجسته می‌کند. در نهایت، بخش‌های مختلف ایجاد یک چارچوب جامع در مدیریت ریسک سیل ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت ریسک سیل، آسیب‌پذیری، در معرض بودن، سیل شهری.

برخی از ویران‌گرترین سیلاب‌های چند دهه گذشته در ایران در جدول (۱) آورده شده‌است.

در مطالعاتی که بر روی سیلاب‌های گلابدره (با تأکید بر سیلاب سال ۱۳۶۶) انجام شده‌است، روش‌های غیرسازه‌ای مانند گسترش سیستم‌های هشدار سیل را به عنوان راه‌حل عملی برای کاهش خسارات پیشنهاد کرده‌اند (امامی و همکاران، ۱۳۸۹). اما باید به این نکته توجه داشت که «هشدار» تنها بخشی از فرایند مدیریت ریسک سیل است که در زمان وقوع حادثه انجام می‌شود و رویکرد جامع مدیریت سیلاب باید شامل اقدامات پیش، حین و پس از وقوع سیل باشد. مطالعاتی که بر روی سیلاب سال ۱۳۸۰ گرگانرود انجام شده، نشان می‌دهد که پس از وقوع سیل، ضریب پیچان‌رود رودخانه تغییرات قابل توجهی داشته‌است، ضریب خمیدگی کاهش و عرض رودخانه تقریباً ۷ برابر افزایش یافته‌است (محمدی استاد کلایه و همکاران، ۱۳۸۶). این نتایج نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی برای مدیریت ریسک سیل باید پویا باشد و در طول زمان متناسب با تغییرات اقلیم، مرفولوژی و با توجه به تغییرات بافت اجتماعی، تغییر کند. بنابراین لازم است تا مدیریت یکپارچه سیلاب شامل ارزیابی ریسک، برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات و ارزیابی مجدد ریسک باشد (در بخش مدیریت یکپارچه سیلاب‌های شهری به طور کامل به این موضوع پرداخته شده‌است).

مطالعاتی که بر روی سیل دروازه قرآن شیراز انجام شد نشان می‌دهد که برای باران ۱ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله در شرایط رطوبتی متوسط و زیاد، سیلاب متوسط شهری در این منطقه به ترتیب ۲۴ و ۶۹ متر مکعب بر ثانیه است. همچنین عنوان شده‌است که در شرایط رطوبتی بالا، سیلاب ناشی از بارش یک ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال، پتانسیل ایجاد سیلاب خطرناک را دارد (امینا و حکمت‌زاده، ۱۴۰۰). همچنین در مطالعه دیگری که توسط محمدزاده هابیلی و همکاران (۱۳۹۸) انجام گرفت بیان شد که وجود یک مخزن با حجم کم بر روی مسیل دروازه قرآن، می‌تواند حجم سیلاب سال ۱۳۹۸ را قبل از رسیدن به تنگه دروازه قرآن ذخیره نماید و از خسارات شدید جلوگیری کند. این نتایج حاکی از آن است که برنامه‌های مدیریتی ریسک سیل باید ابعاد مختلف سازه‌ای و غیرسازه‌ای را به طور همزمان مورد نظر قرار دهند و از همه مهم‌تر همراه با مشارکت‌های مردم محلی باشد (همانطور که در بخش «چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری» اشاره شده‌است).

از بین تمام بلایای مربوط به آب و هوا در دو دهه گذشته، سیل با اختلاف، شایع‌ترین (۴۷٪) آن‌هاست که ۲/۳ میلیارد نفر را در جهان تحت تأثیر قرار داده‌است. سیل‌ها در ۲۰ سال گذشته در رتبه سوم ایجاد خسارت اقتصادی (۶۶۲ میلیارد دلار) قرار گرفته‌اند (UNISDR، ۲۰۱۵). سیل به پوشیده شدن موقتی بخشی از زمین با آب که به طور معمول آب در آن نیست، یا شرایطی که سطح آب بالاتر از ماکزیمم حد مورد انتظار برای یک رودخانه باشد، گفته شده‌است (Blöschl و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش وقایع سیل می‌تواند منجر به تخریب زمین‌های کشاورزی، زیرساخت‌های حیاتی و جابجایی جوامع شود (Smith، ۲۰۱۳).

سیل در دهه‌های اخیر به طور چشم‌گیری افزایش یافته‌است و این پدیده، منجر به تغییرات قابل توجهی در وضعیت طبیعی زمین شده‌است (Samu and Kentel، ۲۰۱۸). در این میان، مناطق شهری، پیامدهای قابل توجه‌تر را از سیل تجربه کرده‌اند (Jha و همکاران، ۲۰۱۲). به نظر می‌رسد ریسک سیل شهری در کشورهای در حال توسعه بسیار بیشتر است. در این کشورها سیل شهری به خوبی درک نشده و مورد مطالعه قرار نگرفته‌است (Jiang و همکاران ۲۰۱۸؛ Nkwunonwo و همکاران، ۲۰۱۶). عدم وجود سیستم زهکشی مناسب در کشورهای در حال توسعه و افزایش سطوح نفوذناپذیر باعث تولید رواناب سطحی بیشتری می‌شود (Bruwier و همکاران، ۲۰۱۸). عموماً در کشورهای در حال توسعه، جمعیت رو به افزایش در مناطق سیل‌خیز در بستر یا حریم رودخانه‌ها ساکن می‌شوند (Aßheue و Braun، ۲۰۱۱). همچنین در این کشورها اغلب روابط قابل اعتماد شدت-مدت-فراوانی^۱ (IDF) برای تخمین میزان بارندگی (Nkwunonwo و همکاران، ۲۰۱۶) و برنامه‌های مناسب برای مدیریت ریسک سیل^۲ در موقعیت‌های مختلف وجود ندارد.

سیل‌های شهری، به دلیل بارش شدید و یا سیستم‌های زهکشی ناکارآمد و ناکافی، باعث ایجاد خسارات زیادی می‌شوند. از طرفی تمرکز جمعیت و دارایی‌های با ارزش در شهرها باعث می‌شود که حتی سیل‌های جزئی آسیب‌های قابل توجهی را به همراه داشته‌باشند. در این شرایط مدیریتی پایدار ریسک سیل شهری به یک وظیفه چالش برانگیز برای جوامع شهری و مقامات مسئول تبدیل می‌شود (APFM، ۲۰۰۸). نمونه‌های این نوع سیلاب‌های شهری در ایران در طول دهه‌های اخیر بسیار مشاهده شده‌است.

جدول ۱- برخی از خسارت‌بارترین سیلاب‌های دهه‌های اخیر در ایران

محل وقوع	تاریخ وقوع	خسارات	توضیحات
سیل تجریش (گلابدره)	۴ مرداد ۱۳۶۶	۳۰۰ نفر کشته شدند و ۷۵۷ میلیارد ریال خسارت مالی	در این تاریخ با وجود گرمای هوا، رگبار و تگرگ شدیدی آغاز شد. شدت رگبار به گونه‌ای بود که در مدت ۱۰۷ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارش ثبت شد. دبی این سیلاب معادل ۳۵۶ متر مکعب در ثانیه برآورد شده‌است (پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، ۱۴۰۱)
دره‌های دربند و گلاب‌دره، در شمال تهران			

محل وقوع	تاریخ وقوع	خسارات	توضیحات
سیل امامزاده داوود رودخانه کن	اردیبهشت ۱۳۷۴	۵ نفر کشته و خسارت مالی قابل توجه	از چند شب قبل از سیل، طوفان موحشی توأم با رگبار شدید، بسیاری از قصبات شمال و جنوب و اطراف تهران را ویران کرد و تلفات جانی و مالی فراوانی وارد کرد (پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، ۱۴۰۱، درگاه الکترونیکی خبر آنلاین، ۱۴۰۱)
سیل رودخانه مادرسو گرگانرود	۲۰ مرداد ۱۳۸۰	تلفات این سیل به بیش از ۵۰۰ کشته رسید و میلیاردها تومان خسارت وارد کرد.	از این سیل به عنوان ویرانگرترین سیل تاریخ ایران یاد شده است. دبی عبوری بالغ بر ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه در این رودخانه گزارش شده است (محمدی استادکلایه و همکاران، ۱۳۸۶).
سیل چهارچشمه مشهد	۱۶ خرداد ۱۳۷۱	۲۵ نفر جان خود را از دست دادند و خسارات مالی فراوانی وارد گردید.	بیشترین شدت بارش مزبور در یک فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در ایستگاه دانشکده کشاورزی ۱۱۲ میلی‌متر در ساعت در این تاریخ ثبت شده است. و دوره بازگشت این سیل برابر ۳۸۰ سال برآورد شده است (قهرمان، ۱۳۸۲)
سیل دروازه قرآن شیراز	۵ فروردین ۱۳۹۸	جان ۲۱ نفر از هم وطنان از زن و مرد، کودک و خردسال را گرفت.	بارش ناگهانی با شدت ۷/۶ میلی‌متر در ساعت، منجر به وقوع سیل در حوضه دروازه قرآن شیراز (ورودی شمالی شیراز) شد (خبرگزاری ایسنا، ۱۳۹۸؛ خبرگزاری مهر، ۱۳۹۸)
سیل محدوده ارتفاعات جنوبی مشهد	۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ (ساعت ۳ بعد از ظهر)	حداقل ۵ نفر جان باختند و منازل و بخشی از زیرساختهای شهری دچار خسارات جدی شدند.	در طول ۲۴ ساعت حدود ۳۸ میلی‌متر بارندگی رخ داد و در مدت حدود ۴۰ دقیقه، ۲۸ میلی‌متر بارندگی همراه با تگرگ اتفاق افتاد. شدت، مدت و مقدار بارندگی در نقاط مختلف شهر متفاوت بود. تغییر کاربری اراضی طبیعی و از بین بردن و یا تغییر مسیر دادن برخی از آبراهه‌ها و همچنین خراب شدن برخی از موانعی که در مسیر جریان ایجاد نموده بودند، از عوامل اصلی خسارات این سیل بوده‌اند (مشاهدات، تحقیقات و بازدیدهای میدانی نویسندگان).

بنابراین برای تقویت مدیریت ریسک سیل و کاهش خطر، یک رویکرد جامع‌تر و بین رشته‌ای که همه اجزای ریسک را یکپارچه می‌کند، ضروری است. این رویکرد باید تعامل بین انسان و زیرسیستم‌های فیزیکی را در نظر بگیرد (Aerts و همکاران، ۲۰۱۸). اغلب اوقات مدیریت سیل شهری با یک دید محدود در مورد سیل، با تمرکز بر جنبه‌های هیدرولیکی و مهندسی مدیریت سیل، انجام می‌شود. در حالی که جنبه‌ها و خطرات فضایی، اکولوژیکی، سیاسی و اجتماعی-اقتصادی نادیده گرفته می‌شوند. هدف چنین دیدگاه‌های محدودی معمولاً جلوگیری از وقوع سیل یا کنترل مطلق آن است. افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و تغییر کاربری اراضی باعث می‌شود تا مقدار نفوذ باران و رواناب در سطح حوضه کاهش یافته و در نتیجه حجم رواناب و دبی اوج افزایش یابد. از طرفی ایجاد سیستم‌های زهکشی که تمام رواناب را به پایین دست شهر منتقل می‌کنند، باعث افزایش غیرمنتظره حجم سیل و افزایش دبی اوج سیل در پایین دست می‌شوند. با توجه به مواردی که ذکر شد، برنامه‌های مدیریت ریسک سیل شهری در کشورهای در حال توسعه به دلیل منابع زیادی که تحت تأثیر ریسک قرار می‌گیرند چالش برانگیزتر است (Sampson و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، هدف کلی،

ایجاد شهری تاب‌آور برای به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی است (Tingsanchali، ۲۰۱۲). هدف از نگارش این مقاله ارائه یک درک جامع از مدیریت ریسک سیل شهری است که جنبه‌های مختلفی از علل و پیامدهای سیل شهری تا رویکردهای مدیریت سیل تاریخی و راهبردهای یکپارچه مدرن را در بر می‌گیرد. سیل شهری به دلیل عواملی مانند تغییرات آب و هوایی، شهرنشینی سریع و زیرساخت‌های نامناسب به یک نگرانی بزرگ برای مدیران و برنامه‌ریزان تبدیل شده است. در این مطالعه، یک چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری با یک رویکرد جامع ارائه خواهد شد تا بتواند سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان شهری و ذی‌نفعان را در تصمیم‌گیری آگاهانه و اتخاذ اقدامات پیشگیرانه برای کاهش پیامدهای سیل شهری راهنمایی کند. در حالی که ارزیابی‌های سنتی ریسک سیل شهری، بر توصیف مخاطره متمرکز است، این مطالعه با پیشنهاد یک چارچوب برنامه‌ریزی جامع که به کل عملکرد خطر سیل می‌پردازد، زمینه جدیدی را ایجاد می‌کند. در این پژوهش سعی شده است تا فراتر از «مخاطره» حرکت شود تا از این طریق راهبردهای برنامه‌ریزی نوآورانه نه تنها برای کاهش آسیب‌پذیری، بلکه برای در معرض خطر قرار گرفتن هم بررسی شود.

بنابراین برای تقویت مدیریت ریسک سیل و کاهش خطر، یک رویکرد جامع‌تر و بین رشته‌ای که همه اجزای ریسک را یکپارچه می‌کند، ضروری است. این رویکرد باید تعامل بین انسان و زیرسیستم‌های فیزیکی را در نظر بگیرد (Aerts و همکاران، ۲۰۱۸). اغلب اوقات مدیریت سیل شهری با یک دید محدود در مورد سیل، با تمرکز بر جنبه‌های هیدرولیکی و مهندسی مدیریت سیل، انجام می‌شود. در حالی که جنبه‌ها و خطرات فضایی، اکولوژیکی، سیاسی و اجتماعی-اقتصادی نادیده گرفته می‌شوند. هدف چنین دیدگاه‌های محدودی معمولاً جلوگیری از وقوع سیل یا کنترل مطلق آن است. افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و تغییر کاربری اراضی باعث می‌شود تا مقدار نفوذ باران و رواناب در سطح حوضه کاهش یافته و در نتیجه حجم رواناب و دبی اوج افزایش یابد. از طرفی ایجاد سیستم‌های زهکشی که تمام رواناب را به پایین دست شهر منتقل می‌کنند، باعث افزایش غیرمنتظره حجم سیل و افزایش دبی اوج سیل در پایین دست می‌شوند. با توجه به مواردی که ذکر شد، برنامه‌های مدیریت ریسک سیل شهری در کشورهای در حال توسعه به دلیل منابع زیادی که تحت تأثیر ریسک قرار می‌گیرند چالش برانگیزتر است (Sampson و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، هدف کلی،

از دست دادن جان، جراحت یا سایر پیامدهای بهداشتی، آسیب به اموال، اختلالات اجتماعی و اقتصادی یا تخریب محیط زیست شود. خطرات ممکن است منشأ طبیعی، انسانی یا انسانی-طبیعی داشته باشند.

قرارگرفتن در معرض (Exposure): وضعیت افراد، زیرساخت‌ها، مسکن، ظرفیت‌های تولید و سایر دارایی‌های انسانی ملموس که در مناطق پرخطر (Hazard-prone) واقع شده‌اند.

آسیب‌پذیری (Vulnerability): شرایطی که توسط عوامل یا فرآیندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تعیین می‌شود که حساسیت یک فرد، یک جامعه، دارایی‌ها یا سیستم‌ها را نسبت به پیامدهای مخاطرات نشان می‌دهد.

- درک مخاطره (Hazard) سیل شهری

عوامل متعددی در زمینه‌های مختلف بر وقوع سیل تأثیر می‌گذارد. شکل (۱) این عوامل را نشان می‌دهد. علاوه بر این در بیشتر موارد، سیل تحت تأثیر عوامل انسانی است. بنابراین مخاطرات سیل در محیط‌های ساخته شده توسط انسان (مانند شهرها) باید به عنوان پیامد عوامل طبیعی-انسانی شناخته شود.

سیل‌ها را اساساً می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: سیلاب‌های محلی، سیلاب‌های رودخانه‌ای، سیلاب‌های ساحلی، سیلاب‌های ناگهانی. سیل در مناطق شهری را می‌توان به یک یا ترکیبی از انواع فوق نسبت داد. برای مدیریت سیلاب‌های شهری، شناخت علل و پیامدهای هر یک از آن‌ها ضروری است.

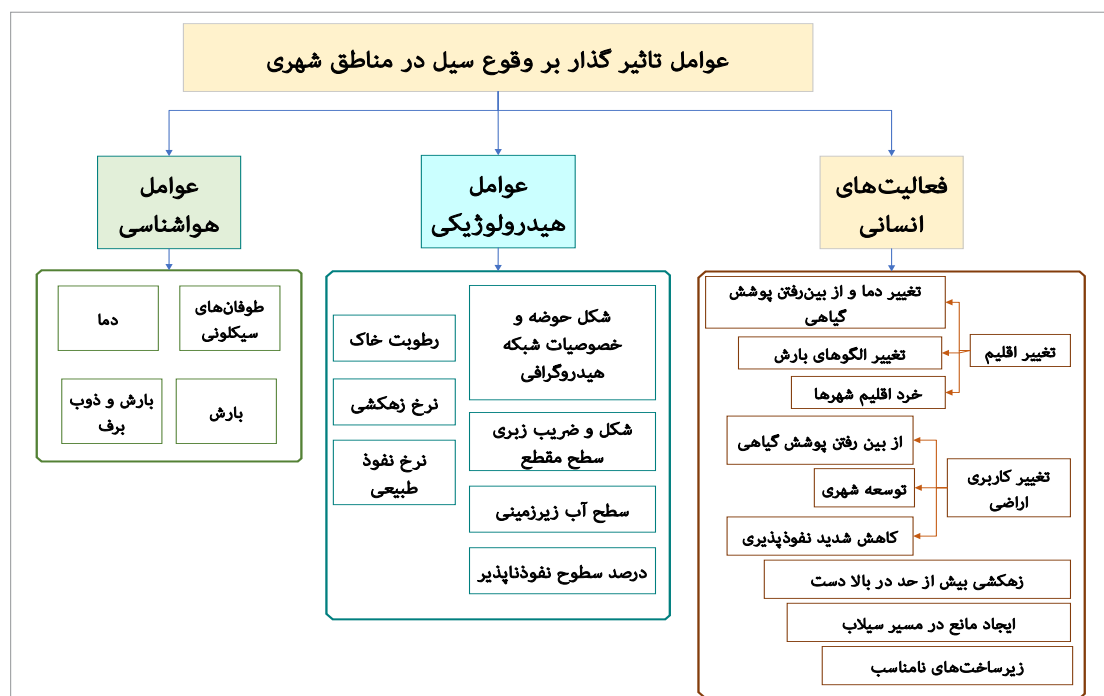
برای به دست آوردن درک جامعی از خطرات سیل شهری، درک عناصر مختلف تشکیل دهنده آن ضروری است. اغلب، ریسک (Risk) به طور ساده به عنوان وقوع رویدادهای طبیعی شدید (مانند سیل، خشکسالی، زلزله، طوفان یا رانش زمین) که توسط نیروهای طبیعی به تنهایی یا در ترکیب با عوامل انسانی ایجاد می‌شود، گفته می‌شود. در حالی که خود رویداد، که به عنوان مخاطره (Hazard) شناخته می‌شود، تنها بخشی از معادله ریسک است. دومین مؤلفه حیاتی، وجود چیزی یا شخصی است که در معرض این خطرات قرار گرفته و در برابر آن‌ها آسیب‌پذیر است (Gain و همکاران، ۲۰۱۵، Santos و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین معادله ریسک سیل به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$Risk = function(Hazard \times Exposure \times Vulnerability)$$

برای درک بهتر ریسک سیل ابتدا نیاز است تا تعریف واحدی از پارامترهای موجود در این تابع ارائه شود:

ریسک فاجعه (Disaster Risk): پتانسیل از دست دادن جان، جراحت، تخریب یا آسیب دارایی‌ها، که می‌تواند برای یک سیستم، گروه یا جامعه در یک دوره زمانی خاص رخ دهد که به عنوان تابعی از مخاطره (Hazard)، قرارگرفتن در معرض (Exposure) و آسیب‌پذیری (Vulnerability) تعیین می‌شود.

مخاطره (Hazard): پدیده یا فعالیت انسانی که ممکن است باعث



شکل ۱- عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل شهری

شدت و مدت بارندگی بسیار زیاد در طول فصل بارانی گاهی به دلیل رگبارهای فصلی ایجاد می‌شود و به دلیل خاک‌های اشباع یا نفوذ ناپذیر تشدید می‌شود. محیط‌های انسان ساخت (مانند شهرها) رواناب سطحی بیشتری تولید می‌کنند که بیش از ظرفیت زهکشی محلی است و در نتیجه باعث ایجاد سیلاب‌های محلی می‌شود (Yang و Zhang، ۲۰۱۱). سیل‌های رودخانه‌ای در اثر بارش شدید باران یا ذوب برف در نواحی بالادست ایجاد می‌شوند. طغیان رودخانه زمانی اتفاق می‌افتد که دبی رواناب رودخانه از ظرفیت عبور جریان بیشتر شود (Rahman و همکاران، ۲۰۲۱). سیلاب‌های ناگهانی در نتیجه رهاسازی سریع آب‌های روان از نواحی کوهستانی بالادست اتفاق می‌افتد (Yang و همکاران، ۲۰۱۹). در این نوع سیلاب، رواناب به سرعت به مقدار حداکثر می‌رسد و تقریباً به همان سرعت کاهش می‌یابد. (Ballesteros-Cánovas و همکاران، ۲۰۱۵). این سیل‌ها، به خصوص در مناطق پرجمعیت، به دلیل ماهیت غیرقابل پیش‌بینی و جریان‌های غیرمعمول که حجم زیادی از رسوبات و زباله‌ها را با خود حمل می‌کنند، نسبت به سایر انواع سیل مخرب‌تر هستند (Alexander و همکاران، ۲۰۱۰). سیلاب‌های ساحلی عمدتاً بر شهرهای نزدیک مصب، مناطق جزر و مدی و مناطق کم ارتفاع ساحلی تأثیر می‌گذارند (Ferrarin و همکاران، ۲۰۱۵).

- تغییرات آب و هوایی و سیل در مناطق شهری

به دلیل گرم شدن زمین، بسیاری از زیرسیستم‌های چرخه جهانی آب تشدید می‌شوند و در نتیجه در بسیاری از مناطق، بزرگی و فرکانس سیل افزایش می‌یابد (Dao-yi و همکاران، ۲۰۰۱؛ Bermúdez و همکاران، ۲۰۲۱). مناطق شهری ممکن است باعث افزایش رعد و برق شوند، زیرا سطوح انسان ساخت (مانند آسفالت) دارای دمای بالاتری نسبت به مناطق طبیعی اطراف هستند، این موضوع باعث ایجاد گردش هوای محلی می‌شود و «جزیره گرمایی شهری» ایجاد می‌کند و در نهایت ممکن است به ایجاد طوفان بزرگ کمک کند (Qie و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش سطح دریا خطر سیلاب‌های ساحلی را به ویژه در صورت طوفان افزایش می‌دهد (Hall و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، میکرو اقلیم شهرها که عموماً باعث افزایش دما در محدوده شهر می‌شود، موجب تبدیل بارش‌ها به باران (و نه برف) می‌شود، که این مورد خود موجب افزایش دبی اوج و کوتاه شدن زمان اوج سیلاب می‌شود.

- پیامدهای مولفه‌های ریسک سیل شهری

سیل‌های شهری پیامدهای زیادی به ویژه از نظر خسارات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم دارند. خطر سیل تابعی از مواجهه مردم و فعالیت‌های اقتصادی در کنار آسیب‌پذیری بافت اجتماعی و اقتصادی است. به این ترتیب تأثیر چنین سیل‌هایی بر زندگی و معیشت مردم، باید به عنوان تابعی از آسیب‌پذیری آن‌ها، درک شود. تعدادی از ویژگی‌های شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه

که با افزایش خطر سیل ارتباط دارند عبارتند از: تراکم زیاد جمعیت، سطوح غیرقابل نفوذ گسترده و ساخت ساختمان‌ها، سیستم‌های زهکشی نامناسب، ساخت مسکن بدون هیچ گونه استاندارد بهداشتی و ایمنی و افزایش جمعیت غیر اصولی حاشیه شهرها (Du و همکاران، ۲۰۱۵؛ Lee and Brody، ۲۰۱۸؛ Thielen و همکاران، ۲۰۲۲؛ Muzamil و همکاران، ۲۰۲۲؛ Guo و همکاران، ۲۰۲۱).

- در معرض (Exposure) سیل بودن در مناطق شهری

«در معرض بودن» در اینجا به این سؤال اشاره می‌کند که آیا افراد یا دارایی‌ها در محدوده سیلاب هستند یا خیر. یکی از عوامل اصلی افزایش خسارات سیل شهری صرفاً افزایش تعداد افراد و دارایی‌هایی است که در شهرها به صورت فیزیکی در معرض سیل قرار می‌گیرند. رشد سریع و برنامه‌ریزی نشده شهرها باعث می‌شود تعداد افرادی که در مناطق سیل‌گیر زندگی می‌کنند، افزایش پیدا کند (Beringer و Kaewsuk، ۲۰۱۸؛ D'Ayala و همکاران، ۲۰۲۰).

شهرها در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال رشد هستند. مهاجرت بی‌سابقه از مناطق روستایی به شهرها منجر به گسترش بی‌رویه شهری، رشد صنعتی و توسعه زیرساخت‌ها در مناطق پرخطر مانند حاشیه رودخانه‌ها، زمین‌های اطراف رودخانه، دریا یا سطح مخزن یا حتی داخل بستر رودخانه‌ها، شده‌است. همچنین رشد اقتصادی منجر به انباشت دارایی‌هایی در مناطق شهری شده‌است که این امر آسیب‌پذیری آنها را در برابر سیل افزایش می‌دهد و این موضوع حتی از رشد جمعیت نیز پیشی گرفته‌است (Bayas-Jiménez و همکاران، ۲۰۲۲). متأسفانه، به دلیل اقدامات حفاظتی که در برابر سیل ایجاد می‌شود، تصور می‌شود که توسعه سکونتگاه‌های انسانی و زیرساخت‌ها در این مناطق از سیل مصون هستند. این تفکر، خطرات باقیمانده^۴ مرتبط با هر سیستم حفاظت در برابر سیل را نادیده می‌گیرد (Haer و همکاران، ۲۰۱۹؛ Webber و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، اگر خطرات سیل در فرآیندهای برنامه‌ریزی کاربری زمین در نظر گرفته شود، رشد شهری لزوماً به تشدید خطرات منجر نمی‌شود. گاهی اوقات تعهد به «برنامه‌ریزی شهری حساس به خطر سیل» به فراوانی سیل بستگی دارد. اگر سال‌ها یا دهه‌ها سیل‌های بزرگ در یک منطقه اتفاق نیافتند، حفظ آگاهی مردم و مقامات نسبت به سیل دشوارتر می‌شود، درک عمومی نسبت به سیل کاهش می‌یابد و قرارگرفتن در معرض، به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد (Verlynde و همکاران، ۲۰۱۹؛ Fukush و Sado-Inamura، ۲۰۱۹). متأسفانه، بسیاری از فرآیندهای شهرنشینی یا بدون برنامه‌ریزی یا با برنامه‌ریزی‌هایی که خطرات سیل را نادیده می‌گیرند یا دست کم می‌گیرند، (مانند فقدان مقررات کاربری زمین، نظارت ناکارآمد بر ساخت ساختمان‌ها و عدم وجود زهکشی مناسب) انجام می‌شود (Beringer و Kaewsuk، ۲۰۱۸).

- آسیب پذیری (Vulnerability) در برابر سیل در مناطق شهری: از گذشته تا کنون تعاریف و رویکردهای متعددی برای آسیب پذیری ارائه شده است (Balica و همکاران، ۲۰۰۹؛ Gheorghe، ۲۰۰۵؛ Green، ۲۰۰۴؛ Watson و همکاران، ۱۹۹۶). آسیب پذیری یک جنبه حیاتی از خطر است، زیرا تعیین می کند که آیا قرار گرفتن در معرض خطر می تواند منجر به فاجعه شود یا خیر. سطح آسیب و زیان در درجه اول توسط آسیب پذیری «افراد آسیب دیده» تعیین می شود (Tucci، ۲۰۰۸). یک مبحث مهم که باید در تعیین آسیب پذیری مورد توجه قرار گیرد، میزان فقر است. رابطه بین فقر و آسیب پذیری سیل پیچیده و چند وجهی است و عوامل متعددی در این رابطه نقش دارند. بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه ارتباط فقر و آسیب پذیری در برابر سیل بر جوامع روستایی متمرکز بوده اند (McElwee و همکاران، ۲۰۱۷؛ Das و Mahanta، ۲۰۱۷). با این حال باید توجه داشت که در شهرهای بزرگ نیز این موضوع در برنامه ریزی ها مورد نظر قرار گیرد. چرا که در شهرهای بزرگ نیز جوامع فقیر اغلب به دلیل منابع محدود در مناطق آسیب پذیر مانند حاشیه شهرها زندگی می کنند.

علاوه بر این جوامع کم برخوردار، دارای بافت آسیب پذیرتر هستند. این امر اولاً باعث می شود تا خانه ها و محیط شهری استانداردهای لازم برای جلوگیری و سازگاری با سیل را نداشته باشند؛ و از طرفی سیل های کوچکی که در این مناطق رخ می دهد، ممکن است باعث از بین رفتن تمام دارایی یک خانواده شوند. این در حالی است که

در مناطق برخوردار شهر، در صورت رخ دادن سیل های مشابه، فقط بخشی از دارایی ها خسارت می بیند. برخی مطالعات نشان داده که با توجه به اینکه میزان در معرض سیل بودن در بخش های کمتر برخوردار شهر تفاوتی با بخش های دیگر نداشته است، اما آسیب پذیری خانواده هایی که در این بخش ها زندگی می کنند، بسیار بیشتر برآورد شده است. همچنین فقر، اغلب ظرفیت انطباق را کاهش می دهد، به همین دلیل افراد فقیر ممکن است منابع مالی، دسترسی به اطلاعات و شبکه های اجتماعی که می توانند به آماده سازی و بهبود پس از سیلاب کمک کنند، نداشته باشند. خانوارهای کم تر برخوردار ممکن است دسترسی محدودی به منابعی مانند بیمه، سیستم های هشدار یا زیرساخت هایی داشته باشند.

به طور خلاصه، فقر و آسیب پذیری سیل از طرق مختلف مانند قرار گرفتن در معرض، حساسیت، ظرفیت سازگاری، دسترسی به منابع، وابستگی معیشتی، بهداشت، آموزش، آسیب پذیری اجتماعی و حکمرانی به هم مرتبط هستند. درک و پرداختن به این عوامل برای توسعه راهبردهای موثر برای کاهش تأثیر سیل بر جوامع فقیر، بسیار مهم است.

مروری بر برخی از جدیدترین مطالعات انجام شده در ایران

در ادامه تعدادی از مطالعات انجام شده بر روی جنبه های مختلف تابع ریسک سیل در ایران در جدول (۲) آورده شده است.

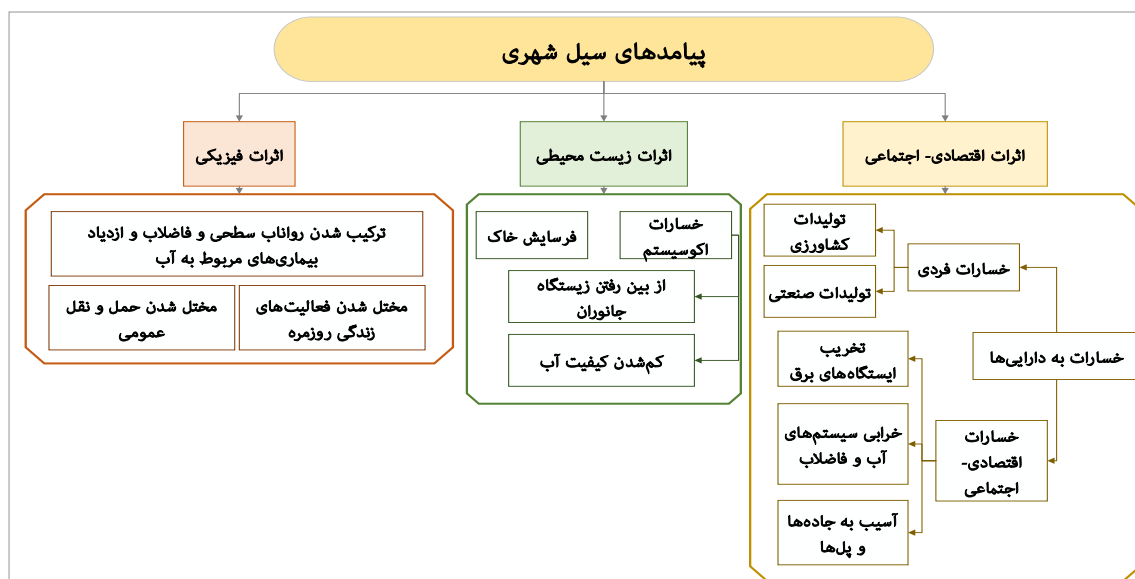
جدول ۲- مطالعات اخیر سیل در ایران از جنبه های مختلف مدیریت ریسک سیل

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	نویسندگان سال چاپ/ ریسک سیل	پارامتر دخیل در
پهنه بندی پتانسیل سیل گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان	در این پژوهش پهنه بندی نقشه پتانسیل سیل گیری در استان کردستان انجام شد. برای این کار روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه از متغیرهای بارش، شیب، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده شد و هر یک از این متغیرها توسط نرم افزار Expert Choice وزن دهی شدند.	نتایج نشان داد که معیارهای بارش، شیب و فاصله از رودخانه به ترتیب بیشترین اهمیت را در پتانسیل سیل گیری این منطقه داشتند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که پتانسیل سیل گیری در خروجی حوزه های آبریز، محدود به نواحی پایین دست و کم شیب رودخانه های پرآب در بخش های غربی و مرکزی استان کردستان، بسیار زیاد بود.	اکرمی مقدم و همکاران، (۱۴۰۳)	مخاطره و در معرض بودن
تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی چای)	حوضه آبریز آجی چای در استان آذربایجان یکی از حوضه های کشور است که هر ساله شاهد سیلاب های مخرب است. در این پژوهش نقشه پتانسیل ریسک وقوع سیل در سطح این حوضه تهیه شد. به این منظور از هجده پارامتر موثر در وقوع و دو روش آماری نسبت فراوانی (FR) و شاخص آماری (SI) استفاده شد.	نتایج نشان داد که مناطق پایین دست حوضه و اطراف آبراهه های اصلی منطقه، مناطقی هستند که بیشترین ریسک سیل را دارند. ارزیابی دقت نتایج هر دو مدل با منحنی ROC نشان داد که مقادیر سطح زیر منحنی برای مدل های SI مناسب بوده است و در نتیجه هر دو مدل عملکرد عالی در تهیه نقشه پتانسیل ریسک وقوع سیل را نشان می دهد.	رضایی مقدم و رجیم پور، (۱۴۰۳)	مخاطره و در معرض بودن

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	نویسندگان سال چاپ/ ریسک سیل	پارامتر دخیل در ریسک سیل
مدل سازی و پهنه بندی دو بعدی سیلاب شهری در حوضه شمال شهر کرج با استفاده از 2D HEC-RAS	در بسیاری از مناطق، سیلاب شهری و اجرا سیستم مناسب کنترل آن هنوز به عنوان یک مسأله جدی در طراحی بافت شهری در نظر گرفته نشده است. این مطالعه به استخراج پهنه های خطر سیلاب شهری و تحلیل آسیب پذیری زیرساخت های شهری که در معرض ریسک سیل هستند پرداخته است. ارزیابی ریسک سیل به منظور بررسی میزان آسیب پذیری و مواجهه با خطر انجام می شود. در این مطالعه از نرم افزار HEC-RAS برای شبیه سازی دو بعدی سیلاب و پهنه بندی عمق و سرعت آن با دوره بازگشت طرح (۲۵) ساله در چهار منطقه کرج (شاهین ویلا، گوهردشت، عظیمیه و جهان شهر) استفاده شده است.	نتایج مطالعه نشان می دهد که بیشتر مناطق مستعد سیل و آبگرفتگی بافت فرسوده دارند و طراحی شبکه زهشکی قدیمی تری دارند و مناطق شاهین ویلا و گوهردشت تاب آوری کمتری نسبت به دو منطقه دیگر دارد و در مقابل دو منطقه عظیمیه و جهان شهر کرج تاب آوری بهتری دارند.	خانونی و همکاران (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب پذیری
بررسی اثرات سیل بر معیشت پایدار خانوارهای روستایی (مطالعه موردی دهستان آستان، شهرستان خرم آباد)	در این مطالعه اثرات سیل بر معیشت پایدار خانواده های روستایی دهستان آستان در شهرستان خرم آباد مورد بررسی قرار گرفت. از روش نمونه گیری احتمالی با روش تصادفی ساده برای انتخاب نمونه های مورد مطالعه استفاده شد. همچنین برای جمع آوری داده از پرسش نامه استفاده شد و داده های جمع آوری شده، به روش کمی با استفاده از آمار توصیفی و آمار استنباطی مانند آزمون t مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.	نتایج نشان داد که سرمایه اجتماعی با بیش ترین میانگین در رتبه اول قرار دارد و سرمایه انسانی با کم ترین میانگین در رتبه آخر قرار دارد. همچنین محققان بیان کردند که وقوع سیل سبب کاهش ابعاد پنج گانه سرمایه های معیشتی (سرمایه مالی، اجتماعی، انسانی، فیزیکی و طبیعی) روستاییان شده است.	آذینی و همکاران، (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب پذیری
ارزیابی مولفه های تاب آوری محلات شهری در برابر سیلاب (مورد مطالعه: محلات واقع بر مسیر رودخانه ها در مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ شهرداری تهران)	این مطالعه به بررسی تاب آوری محلات مناطق ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ شهرداری تهران واقع شده بر مسیر رودخانه ها در برابر سیلاب می پردازد. برای گردآوری داده ها از پرسش نامه و برای سنجش تاب آوری محلات منتخب از تکنیک تحلیل عاملی و آزمون آماری T-Test استفاده شده است.	نتایج نشان می دهد که بالاترین میزان تاب آوری مربوط به بعد اقتصادی و کم ترین آن مربوط به بعد کالبدی است. به طور کلی میانگین تاب آوری محلات واقع شده بر مسیر رودخانه ها ۳/۳۹ است. همچنین یافته ها نشان می دهد از بین عوامل موثر در تاب آوری منطقه مورد مطالعه، عامل اقتصادی و مالی مهم ترین عوامل بوده اند. همچنین عواملی مانند برنامه ریزی و آمادگی، بازایی و خودسازمان دهی، رعایت اصول و قوانین و... اهمیت بالایی در میزان تاب آوری این منطقه دارند.	پوراحمد و صادقی (۱۴۰۲)	مخاطره و تاب آوری
الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهر ایلام	ضعف های مدیریت شهری و شیوه های سنتی مدیریت بحران (تکیه بر امداد و نجات پس از بحران) سبب شده است تا شهر ایلام تلفات جانی و مالی زیادی را از سیل متحمل شود. مهم ترین ابعدی که برای مدیریت بحران در این پژوهش مورد نظر قرار داده شد، شامل: ابعاد طبیعی، کالبدی، مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی بود.	یافته های این پژوهش نشان می دهد مهم ترین راهبردهای متناسب با وضعیت موجود برای مدیریت ریسک سیل شامل: مدیریت بافت فرسوده و نوسازی، نظارت بر ساخت و سازهای جدید و رعایت حریم رودخانه ها، افزایش سطوح نفوذپذیر در مناطق شهری و کنترل فقر بودند.	زیاری و همکاران (۱۴۰۲)	آسیب پذیری و در معرض بودن
مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش های قانونی و عملی	در این مطالعه علل وقوع سیل و راهبردهای اصلاحی کنترل سازه ای و غیرسازه ای سیل و مدیریت یکپارچه آن مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین رویکردهای حکمرانی سیل در ایران با در نظر گرفتن پنج جنبه پیشگیری، دفاعی، کاهش اثرات رویداد، آمادگی در برابر حادثه و بازایی بیان شده است.	نویسندگان بیان کردند که در شرایط فعلی برنامه ها و ضوابط مربوط به مدیریت سیل در ایران به هیچ وجه در سطح مطلوبی قرار ندارد. همچنین پیشنهاد شده است بخش های خصوصی و دولتی در سیاست گذاری های مربوط به مدیریت سیل وارد شوند. همچنین از دانش محلی در این راستا استفاده شود.	طاهری و مساعدی (۱۴۰۲)	عدم وجود مدیریت ریسک

عنوان مقاله	موضوع	نتایج	نویسندگان سال چاپ/ ریسک سیل	پایان‌دهنده در ریسک سیل
مطالعه جامعه شناختی چالش مدیریت آب‌های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (مطالعه موردی: حادثه سیلاب شهری و بالادستی فاضلاب در شهرهای اهواز و کارون، سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰)	استان خوزستان همیشه در معرض بلایا طبیعی مانند سیل بوده‌است. در چند دهه اخیر سیل و آبگرفتگی برای مردم این منطقه خسارت‌های زیادی همراه داشته‌است. همچنین رویدادهای سیل تبعات اجتماعی گسترده به دنبال داشته است. در این مقاله به شناسایی و تحلیل ابعاد مختلف و پیامدهای اجتماعی این پدیده پرداخته شده‌است.	یافته‌های این مطالعه حاکی از این است که زمینه‌های اجتماعی مربوط به این پدیده در استان شامل عدم وجود برنامه مدیریت ریسک سیل کارآمد، شکنندگی اقلیمی استان و... است که مهم‌ترین نتیجه آن شکل‌گیری فضای هیجانی پیرامون برنامه‌های مدیریتی، نارضایتی مردم از عملکرد مدیران، خسارت به زیرساخت‌ها و منازل و... است.	بهمنی و محمدی ده چشمه (۱۴۰۲)	آسیب‌پذیری و در معرض بودن
بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ	این مطالعه به بررسی سیل ناحیه گردشگری سیرچ در شرق کرمان می‌پردازد. این ناحیه هر ساله دچار خسارات شدیدی از سیل می‌شود. در این پژوهش به منظور بررسی عوامل موثر در سیل‌خیزی این ناحیه از مدل‌سازی‌های سه بعدی بهره گرفته شده‌است. و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی انجام شده‌است.	طبق نتایج این پژوهش مشخص شد که مهم‌ترین عامل طبیعی موثر در ایجاد سیل واحدهای زمین شناختی و شیب ناحیه هستند. از طرفی مدل سازی‌ها نشان داده‌اند که بخش مسکونی و محل گردشگری سیرچ، بیش‌ترین آسیب‌پذیری را در مقابل سیل دارد. پیشنهاد شده تا برای مدیریت و کاهش خسارات سیل در ناحیه تأسیسات سیل‌گیر احداث شود و پوشش گیاهی منطقه بازیابی شود.	حسنی (۱۴۰۲)	مخاطره و آسیب‌پذیری

• پیامدهای سیل شهری
به طور کلی، سیل شهری تأثیر گسترده‌ای بر جنبه‌های فیزیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی دارد و پیامدهای آن می‌تواند بر زیرساخت‌ها، اقتصاد و محیط‌زیست تأثیر بگذارد (شکل ۲).



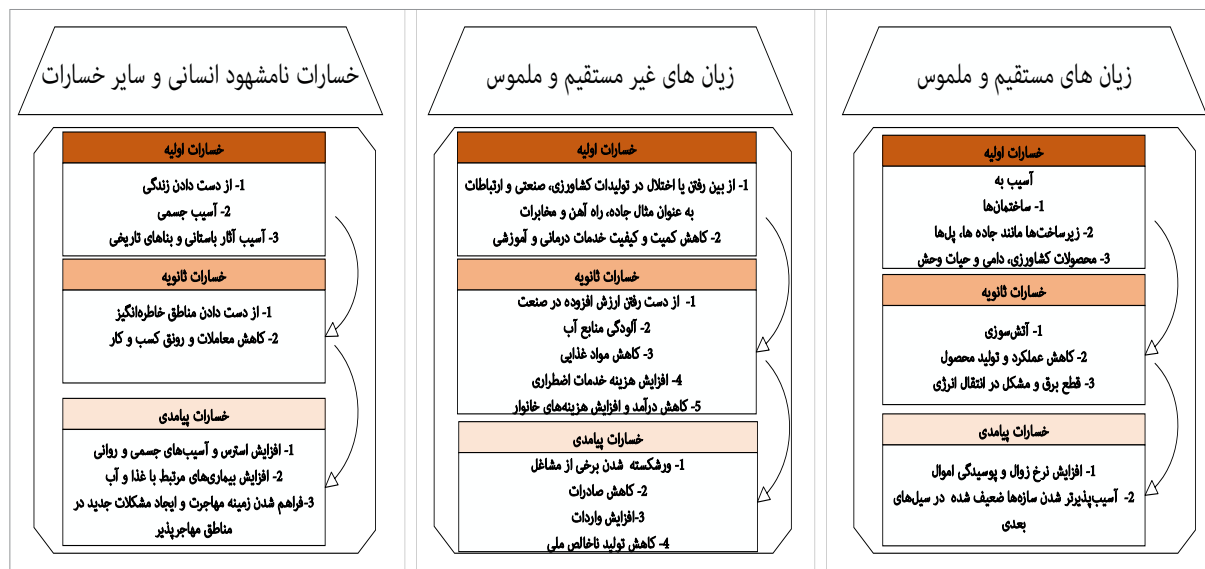
شکل ۲- پیامدهای سیل شهری در زمینه‌های مختلف

می‌تواند شامل آسیب به دارایی‌های فیزیکی، وقفه در فعالیت‌های تجاری و افزایش هزینه‌های واکنش‌های اضطراری مانند آتش‌نشانی شود.
خسارات غیرمستقیم (Indirect losses): زیان‌های ناشی از رویداد خسارات مستقیم (Direct losses): خسارات ناشی از تماس مستقیم با سیل، که به ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها وارد می‌شود. این مورد (Fatemi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Tanoue و همکاران، ۲۰۲۰).
خسارات ناشی از سیل را می‌توان در چند دسته، طبقه‌بندی کرد

اما نه از تأثیر مستقیم آن، به عنوان مثال، اختلال در حمل و نقل، زیان‌های تجاری که قابل جبران نیست، از دست دادن درآمد خانواده و غیره. Hu و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که اختلالات ناشی از سیل می‌تواند بخش‌های اقتصادی را که در مناطق سیل‌خیز واقع نشده‌اند، نیز تحت تأثیر قرار دهد.

زیان‌های ملموس (Tangible losses): از دست دادن چیزهایی که ارزش پولی (جایگزینی) دارند، به عنوان مثال، ساختمان‌ها، دام‌ها،

زیرساخت‌ها، محصولات زراعی و غیره. زیان‌های ناملموس (Intangible losses): از دست دادن چیزهایی که خرید و فروش نمی‌شوند، به عنوان مثال، جان و جراحات، اقام میراثی، یادگاری و غیره. برخی مطالعات نشان می‌دهند که ساکنان سیل‌زده از مشکلات سلامت روانی ناشی از سیل بیشتر از خسارات مالی رنج می‌برند (Thieken و همکاران، ۲۰۱۶). دسته‌بندی خسارات سیل و نمونه‌هایی از انواع آن در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- انواع خسارات سیل

رویکردهای مدیریت سیل

رویکردهای مدیریت سیل در طول زمان تکامل یافته‌است و با دانش، فناوری و نیازهای اجتماعی در حال تغییر و سازگاری است. این بخش شامل مروری بر رویکردهای مدیریت سیل از گذشته تا کنون می‌باشد:

تمدن‌های باستانی، مانند تمدن‌های بین‌النهرین، مصر، چین و هند، روش‌های مختلف آبیاری، زهکشی و کنترل سیلاب را توسعه دادند تا از مزایای طغیان رودخانه‌ها برای کشاورزی و گسترش تمدن استفاده کنند. آن‌ها خاکریزها، کانال‌ها، سدها و مخازن را برای محافظت از سکونتگاه‌های خود در برابر آسیب سیل ساختند. در اروپای قرون وسطی، اربابان فئودال و صومعه‌ها در امتداد رودخانه‌ها برای بازپس‌گیری زمین‌های کشاورزی و سکونتگاه‌ها، خاکریزهایی می‌ساختند (Mohanty و همکاران، ۲۰۲۰؛ Sayers و همکاران، ۲۰۱۳). در عصر مدرن، صنعتی شدن و شهرنشینی، تقاضا برای منابع آب و زمین را افزایش داد که منجر به اقدامات فشرده‌تر و گسترده‌تر کنترل سیل شد. این اقدامات اغلب ظرفیت طبیعی رودخانه‌ها و تالاب‌ها را برای ذخیره و

انتقال سیلاب کاهش می‌داد (Sayers و همکاران، ۲۰۱۳؛ National Research Council، ۲۰۱۳).

در اواخر قرن بیستم، محدودیت‌ها و پیامدهای منفی اقدامات سازه‌ای کنترل سیل و همچنین نیاز به در نظر گرفتن جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مدیریت سیل به طور قابل توجهی افزایش یافت. این موضوع منجر به ظهور مدیریت یکپارچه سیل یا Integrated Flood Management (IFM) شد، که یک رویکرد کل‌نگر است با این هدف که سود خالص از دشت‌های سیلابی به حداکثر برسد، در حالی که خسارات جانی و مالی ناشی از سیل را به حداقل می‌رساند. مدیریت یکپارچه سیل شامل ترکیبی از اقدامات ساختاری و غیرساختاری، مانند برنامه‌ریزی کاربری زمین، پیش‌بینی و هشدار سیل، آمادگی و واکنش اضطراری، بیمه سیل، آگاهی و مشارکت عمومی، و بازسازی اکوسیستم است. در قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر رژیم‌های هیدرولوژیکی، چالش‌ها و عدم قطعیت‌های جدیدی را برای مدیریت سیل ایجاد کرده‌است. نیاز به اتخاذ رویکردهای انطباقی و انعطاف‌پذیرتری است (Sayers و همکاران، ۲۰۱۳؛ National Research Council، ۲۰۱۳).

شناسایی می‌کنند، بلکه امکان مقایسه کمی عوامل مختلف خطر را نیز فراهم می‌کنند. چنین اطلاعاتی نشان می‌دهد که اقدامات پیشگیرانه در کجا می‌تواند در کاهش ریسک مؤثرتر باشد. از طرفی باید در نظر داشت که ارزیابی ریسک نباید فقط به جنبه‌های اقتصادی بپردازد، بلکه باید آسیب‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز ارزیابی کند. یک رویکرد ارزیابی یکپارچه خطر سیل، زمانی ارزشمند است که جنبه‌های فیزیکی خطر و قرارگرفتن در معرض، با جنبه‌های اجتماعی آسیب‌پذیری ترکیب شود (Dumrak و Zarghami، ۲۰۲۱؛ Gain و همکاران، ۲۰۱۵).

- برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات

همان‌طور که بیان شد تجزیه ریسک، هدف دوگانه‌ای را دنبال می‌کند که شامل اقدامات مربوط به مدیریت خطر سیل و بهبود رفاه کلی مردم است. مدیریت ریسک سیل، باید یک چرخه ریسک ساختاریافته داشته باشد. این چرخه در شکل (۴) نمایش داده شده است.

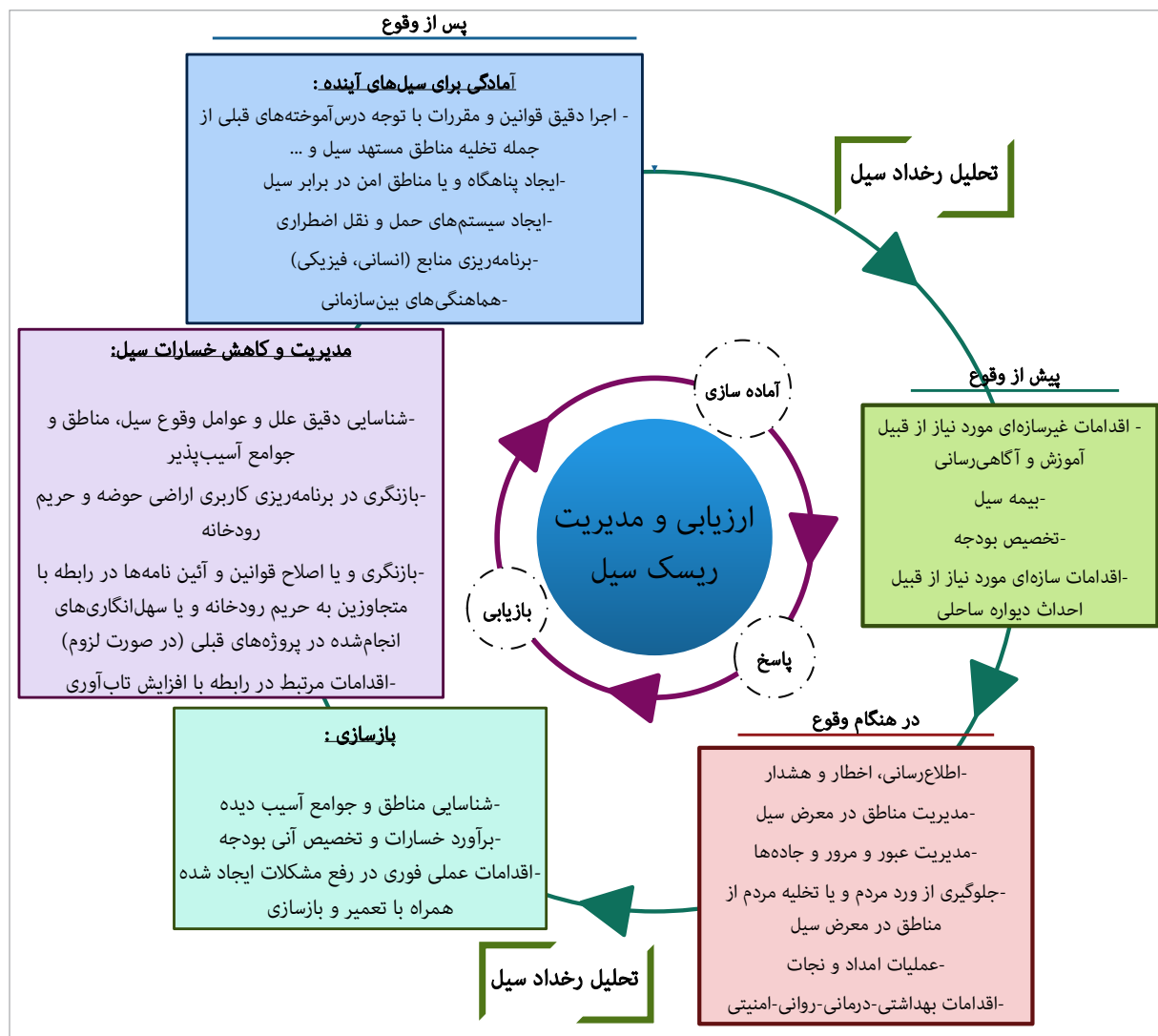
اقدامات پیشگیرانه برای جلوگیری از تبدیل خطرات احتمالی به فاجعه هستند. این موضوع شامل کاهش خطرات سیل به سطح قابل قبول و مقرون به صرفه از نظر اقتصادی است. برای مثال این اقدامات می‌توانند شامل گسترش و به‌روزرسانی سیستم‌های هشدار سیل، ایجاد سیستم‌های زهکشی مناسب، ایجاد مسیرهای مناسب انتقال رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی بالادست، احیاء مراتع و در برخی موارد ساخت بندهای انحرافی یا ذخیره‌کننده سیلاب باشد. اقدامات واکنشی یا پاسخ، در حین یا دقیقاً پس از وقوع سیل، اجرا می‌شوند که به برنامه‌ریزی و آمادگی قبلی برای پاسخ به شرایط اضطراری نیاز دارند. ارزیابی شامل بازسازی یا بهبود شرایط گروه یا جامعه آسیب‌دیده از بلایا، همسو با اصول توسعه پایدار و «بازسازی بهتر» برای جلوگیری یا کاهش ریسک سیل‌های آینده است. به طور کلی، به ویژه در کشورهای درحال توسعه، اقدامات پیشگیرانه و مرحله آماده‌سازی نادیده گرفته می‌شوند. در کشور ما برنامه‌های مدیریت سیل موجود اغلب اقدامات واکنشی را در اولویت قرار می‌دهند. اما باید بر نقش حیاتی برنامه‌ریزی پیشگیرانه در طول چرخه سیل، از جمله آمادگی و در زمان خود رویدادهای سیل تأکید کرد. یکی از اقداماتی که باید در این زمینه مورد توجه قرار گیرد، بیمه سیل است که ابزاری حیاتی است ولی در کشور کم‌تر به آن توجه شده است. استفاده از بیمه سیل فشار مالی افراد و دولت‌ها را پس از وقوع سیل به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. با تشویق جامعه به پذیرش بیمه سیل، دولت می‌تواند بازسازی را تسریع بخشد و تاب‌آوری طولانی‌مدت در برابر سیل‌های آینده ایجاد کند.

هدف نهایی مدیریت یکپارچه ریسک سیل شهری در دو جنبه اساسی است: ۱- به حداقل رساندن خسارات انسانی و اقتصادی. ۲- استفاده از منابع طبیعی به نفع و رفاه مردم. یک مدیریت یکپارچه و کارآمد ریسک سیل مستلزم درک جامع متغیرهای محرک سیل است (Quesada-Román، ۲۰۲۲). با این حال، مشخص است که امنیت مطلق در برابر سیل در بیشتر موارد امکان‌پذیر نیست، بنابراین باید آن‌ها را مدیریت کرد. در نتیجه، مدیریت سیل در تلاش برای حذف کامل خطرات سیل نیست، بلکه برای کاهش آن‌ها تلاش می‌کند. مراحل اساسی یک فرآیند مدیریت یکپارچه عبارتند از: ارزیابی ریسک، برنامه‌ریزی و اجرای اقدامات و ارزیابی مجدد ریسک (Kandasamy و Singkran، ۲۰۱۶؛ Tucci، ۲۰۰۸؛ Gain و همکاران، ۲۰۱۵).

- ارزیابی ریسک

یک طرح مدیریت ریسک سیل شهری باید با ارزیابی خطرات جاری و آینده سیل آغاز شود. ارزیابی ریسک، وسیله‌ای مؤثر برای کاهش اثرات سیل شهری است (Bin و همکاران، ۲۰۲۳). اولین گام در فرآیند مدیریت ریسک، درک، تجزیه و تحلیل و ارزیابی جامع خطرات سیل است. ارزیابی ریسک باید یک رویکرد یکپارچه داشته باشد و جنبه‌های مختلف خطر^۵ را مورد مطالعه قرار دهد (Chen و Liu، ۲۰۱۹). این ارزیابی باید ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در حوضه رودخانه، همراه با جنبه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی-فرهنگی و اکولوژیکی مناطق مستعد سیل را در بر گیرد. سناریوهای متعددی باید برای توضیح تغییرات آبی مانند شهرنشینی، نوسانات آب و هوا، و تغییرات کاربری زمین مدل‌سازی شوند. این مدل‌ها بینش‌هایی در مورد احتمالات سیل، بزرگی (اندازه، عمق، مدت زمان و سرعت جریان) و شناسایی مناطق و عوامل در معرض خطر ارائه می‌دهند. تعیین مناطق مستعد سیل در شهرها به دلیل تغییرات زیادی که در شکل رودخانه و دشت‌های سیلابی ایجاد کرده‌اند، باید با درک بیشتری انجام شود (Feng و همکاران، ۲۰۲۱؛ Sertel و همکاران، ۲۰۱۹؛ Karami و همکاران، ۲۰۲۴).

ارزیابی «در معرض بودن» می‌تواند با بررسی ارزش‌های اقتصادی و دارایی‌های واقع در مناطق سیل‌گیر به دست آید. محصولات ارزیابی ریسک، نقشه‌های ریسک هستند که برای توسعه اقدامات کاهش خطر برای محافظت از مناطق شهری در برابر سیل‌های ویرانگر، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Diakakis و همکاران، ۲۰۲۰). این ارزیابی‌ها، نه تنها مناطق پرخطر را



شکل ۴- چرخه مدیریت ریسک سیل (FRM)

این چرخه شامل اقدامات پیشگیرانه و آمادگی، پاسخ و اقدامات واکنشی و بازسازی است.

مهم در مدیریت ریسک سیل شهری است. سیلاب‌های آلوده در بسیاری از مناطق شهری یک مشکل اساسی است. سیلاب‌های آلوده می‌توانند خاک، آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی را آلوده کنند و خطرات درازمدت سلامتی را به همراه داشته باشند. برخی مطالعات راه حل‌های مبتنی بر طبیعت برای جلوگیری از آلودگی خاک و آب در اثر سیل پیشنهاد کرده‌اند؛ برای مثال باغ‌های بارانی^۶ (این مکان‌ها با هدف کاهش مقدار رواناب تولید شده از سطوح غیرقابل نفوذ شهری و افزایش نفوذ در این مکان‌ها، طراحی می‌شوند) می‌توانند اوج سیل را کاهش داده و به تأخیر بیاورند، تنوع زیستی را افزایش دهند و سیلاب را فیلتر کنند. همچنین می‌توان اقدامات مدیریتی در جهت جداسازی سیستم زهکشی سیلاب از فاضلاب شهری در بالا دست شهرها تعبیه کرد تا از اختلاط احتمالی آلودگی جلوگیری شود. در این

- برنامه‌ریزی و اقدامات کاهش خطر

سیلاب‌ها پدیده‌های طبیعی آب و هواشناسی همراه با برهم‌کنش آن‌ها با ویژگی‌های حوضه هستند (Gopinath و همکاران، ۲۰۲۲). از طریق مداخلات در تغییر ویژگی‌های حوضه‌آبریز، می‌توان فرآیندهای ایجاد رواناب را تغییر داد و در نتیجه امکان کاهش میزان خطر سیل را فراهم کرد (Li و همکاران، ۲۰۲۳). پیشگیری از سیل محلی در مناطق شهری به سیستم‌های زهکشی، از جمله کانال‌ها متکی است که سیلاب را از مکان‌های آسیب‌پذیر منحرف می‌کند. به طور معمول، هدف برنامه‌ریزی سیل شهری، حذف سریع آب است. کاهش رواناب سطحی را می‌توان با اجرای اقداماتی انجام داد که جذب آب و تبخیر و تعرق را در حوضه‌های مستعد سیلاب‌های محلی افزایش می‌دهد. از طرف دیگر مدیریت کیفیت سیلاب نیز یک چالش

راستا برنامه‌های بازیافت مؤثر، فراهم کردن امکان دفع زباله‌های خطرناک و آموزش جامعه در مورد دفع صحیح باید در دستور کار برنامه‌های مدیریت ریسک سیل قرار گیرد. (Dwarapureddi و همکاران، ۲۰۲۲؛ Singh و Osheen، ۲۰۱۹).

- برنامه‌ریزی و اقدامات کاهش در معرض بودن کاهش مواجهه به اقدامات برنامه‌ریزی شهری اطلاق می‌شود که از قرارگرفتن سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها در مناطقی که در معرض خطر هستند، جلوگیری کند. در حالت ایده‌آل، برنامه‌ریزی شهر حساس به سیل باید از تشدید خطرات سیل که در نتیجه فعالیت‌های توسعه ایجاد می‌شوند، اجتناب کند. اما در شهرهایی با نرخ زیاد رشد جمعیت و/یا تقاضاهای زیاد برای توسعه اقتصادی، اجتناب از افزایش قرارگرفتن در معرض سیل دشوار است. برای گنجاندن مؤثر خطرات سیل در برنامه‌ریزی بلندمدت شهری، برنامه‌ریزان باید دارای دانش و آگاهی کافی از خطرات جاری و آینده سیل باشند. این درک را می‌توان از ترکیب مدل‌های سیل با سناریوهایی به دست آورد که عواملی مانند رشد جمعیتی و اقتصادی، پیشرفت‌های فناوری، تغییر سبک زندگی و موارد دیگر را در نظر می‌گیرند. از آنجایی که این تغییرات ارتباط نزدیکی با تغییر کاربری زمین دارد، مدل‌سازی سناریوهای مختلف می‌تواند به ایجاد درک مؤثری از چگونگی قرارگرفتن در معرض کمک کند. اجرای مؤثر طرح‌های کاربری اراضی یک چالش مهم در کاهش مواجهه با خطرات سیل است. روش‌های اجرای این طرح‌ها را می‌توان به طور کلی به چهار گروه اصلی طبقه‌بندی کرد: مقررات محدود کننده (ممنوعیت، مجازات، اسکان مجدد)، مشوق‌های اقتصادی (مالیات ترجیحی برای کاربری مورد نظر، مالیات اضافی برای موارد نامطلوب کاربری زمین)، افزایش دانش (اطلاعات در مورد خطرات سیل، کمپین‌های آگاهی)، سرمایه‌گذاری عمومی (خرید ملک و قرار دادن امکانات عمومی در خارج از دشت سیلابی) (APFM، ۲۰۰۸؛ Burby، ۲۰۱۴).

- ارزیابی مجدد ریسک

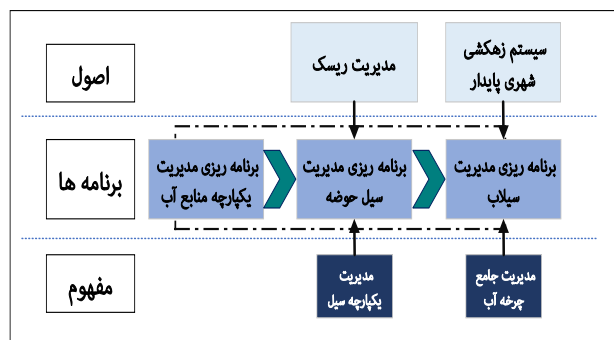
ارزیابی مجدد ریسک عموماً بعد از وقوع یک حادثه سیل انجام می‌شود و به دنبال یافتن مناطقی است که در ارزیابی اولیه به آن‌ها توجه نشده است، اما در هنگام وقوع سیل دچار خسارت شده‌اند. تکرار ارزیابی ریسک پس از اجرا، امکان ارزیابی کامل اثربخشی هر اقدام خاص و شناسایی جنبه‌هایی از ریسک را فراهم می‌کند.

چارچوب مفهومی برای مدیریت ریسک سیل شهری

شهرها به دلیل تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی، فشار قابل توجهی بر منابع طبیعی وارد می‌کنند. این فعالیت‌ها به شدت به هم مرتبط هستند و بر یکدیگر و بر ریسک سیل تأثیر می‌گذارند. علاوه

بر این، فعالیت‌های توسعه منطقه‌ای مانند کشاورزی، آبخیزداری، تولید انرژی و حفاظت از محیط زیست در خارج از محدوده شهر نیز بر مدیریت ریسک سیل شهری تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ادغام ملاحظات ریسک سیل در تمام این فعالیت‌های به هم پیوسته، بسیار مهم است. در نتیجه، خطرات سیل باید در راهبردها و سیاست‌های بخشی مختلف کشور لحاظ شود (Wilby و Keenan، ۲۰۱۲). ایجاد چنین جریان سیاسی و مدیریتی، مستلزم تجزیه و تحلیل و درک موارد زیر است: تأثیر سیل بر برنامه‌ها و پروژه‌های مختلف توسعه، تأثیر برنامه‌ها و پروژه‌های مختلف توسعه بر ایجاد سیل، بزرگی ریسک سیل، و آسیب‌پذیری جامعه در برابر خطرات سیل. شکل (۵) نشان‌دهنده نحوه این جریان‌سازی است.

برای دستیابی به این اهداف، IFM ترکیبی از اقدامات سیاستی، نظارتی، مالی و فیزیکی است که سازگاری با سیل را در اولویت قرار می‌دهد و در عین حال اذعان می‌کند که سیل را نمی‌توان به طور کامل کنترل کرد. IFM خواستار تغییر رویکرد از «کنترل سیلاب» به رویکرد «مدیریت سیل» است که روابط پیچیده بین سیل و انسان را تشخیص می‌دهد.



شکل ۵- مدیریت ریسک سیل (FRM) - چارچوب مفهومی (APFM، ۲۰۰۸)

- مدیریت زمین و کاربری اراضی

باید توجه داشت که کاهش مؤثر ریسک سیل شهری، مستلزم ترکیبی از اقدامات فضایی، فنی و سازمانی در سطح شهرداری است. مفاهیم مدیریت جامع چرخه آب، مدیریت یکپارچه سیل، و مدیریت جامع منطقه‌بندی همگی بر اهمیت استفاده مناسب از زمین تأکید می‌کنند (Chen و همکاران، ۲۰۱۶؛ Ocampo و همکاران، ۲۰۱۳). هنگام تدوین مقررات و آیین‌نامه‌های کاربری زمین، توجه به خطرات احتمالی سیل مرتبط با کاربری‌های مختلف زمین و اتخاذ اقداماتی برای به حداقل رساندن آن‌ها بسیار مهم است.

- مدیریت آب‌های سطحی

یکی از اجزای حیاتی یک استراتژی جامع و هماهنگ مدیریت ریسک سیل، برنامه مدیریت آب‌های سطحی است. شفاف‌سازی قانونی در مورد تخلیه آب‌های سطحی یکی از اقدامات اساسی در کاهش ریسک سیل است (Ellis و Revitt، ۲۰۱۰). وظیفه

اصلی طرح‌های مدیریت آب‌های سطحی، تقویت درک مشترک از مسائل مربوط به خطر سیل در میان ذی‌نفعان در سطوح مختلف است. برای انجام این ارزیابی‌ها به طور موثر، مدل‌سازی دقیق فرآیندهای سیل، اغلب ضروری است. این مدل‌سازی باید درک کاملی از رویدادهای تاریخی سیل، سیستم‌های زهکشی سطحی و زیرسطحی، و نحوه تعامل سیل‌های منابع مختلف با یکدیگر را در برگیرد. مطالعاتی در رابطه با مدیریت آب‌های سطحی و سیلاب صورت گرفته است. برای مثال Yang و همکاران (۲۰۲۰) روشی جدید برای مدل‌سازی سیلاب‌های شهری با ترکیب یک مدل یک بعدی مدیریت روان‌آب‌های شهری (SWMM) با یک مدل طغیان سیل دو بعدی (ECNU Flood-Urban) معرفی کردند.

توسعه برنامه‌های مدیریت ریسک سیل و اجرای اقدامات مربوطه وظایفی نیستند که یک بار انجام شوند، بلکه باید به عنوان یک فرآیند یادگیری مداوم در نظر گرفته شوند. برای ارتقای مستمر سیاست‌ها و اقدامات، نظارت و ارزیابی منظم آن‌ها بسیار مهم است. از آنجایی که شرایط هیدرولوژیکی، اجتماعی-اقتصادی، سیاسی و اکولوژیکی از شهری به شهر دیگر متفاوت است، این رویکرد باید در هر منطقه با توجه به شرایط اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی و سیاسی آن تعریف شود. ارزیابی این اقدامات گامی اساسی در مدیریت ریسک سیل است و ارتباط تنگاتنگی با ارزیابی مجدد خود ریسک دارد.

- برنامه‌ریزی مشارکتی

تمام مفاهیمی که زیربنای چارچوب مدیریت ریسک سیل شهری است، بر اصول مشارکتی استوار است. به طور سنتی، کنترل سیل با تصمیم‌گیری از بالا به پایین هدایت می‌شود. در کشورهای در حال توسعه به دنبال ساختار سلسله مراتبی سیستم‌های اداری، عموماً اقدامات کنترل سیل بدون مشارکت جوامع آسیب‌دیده و سایر ذی‌نفعان برنامه‌ریزی می‌شود. در بسیاری از موارد این موضوع منجر به اقدامات ناپایدار می‌شود که نیازهای ذی‌نفعان مربوطه را برآورده نمی‌کند. در موارد شدیدتر تصمیم‌گیری انحصاری از بالا به پایین حتی می‌تواند منجر به درگیری‌های جدی شود. مطالعات زیادی بر نقش مشارکت عمومی در مدیریت ریسک سیل تأکید کرده‌اند، چرا که مشارکت جوامع محلی و ذی‌نفعان تأثیر مستقیمی بر کاربری اراضی و همچنین در معرض بودن دارد (Thaler و Levin-Keitel, ۲۰۱۶). به منظور حصول اطمینان از اینکه همه ذی‌نفعان امکان مشارکت در سطوحی از فرآیند تصمیم‌گیری را دارند، شناسایی دقیق ذی‌نفعان برای موفقیت فرآیند مشارکت، بسیار مهم است. مشارکت ذی‌نفعان سه هدف اصلی را برآورده می‌کند (APFM, ۲۰۰۸).

۱. گردآوری دانش از دیدگاه‌های مختلف باعث ایجاد درک عمیق‌تری از خطرات سیل می‌شود.

۲. اعضای جوامع آسیب‌دیده این شانس را دارند که نیازهای جامعه را بیان کنند و خواسته‌های خود را در تصمیم‌گیری‌ها وارد کنند.

۳. بر اساس دو هدف اول، مشارکت ذی‌نفعان امکان شناسایی و اجرای اقدامات مدیریت سیل موثر و پایدار را فراهم می‌کند، زیرا اکثر سهامداران از آن‌ها حمایت می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، سه‌گانه مخاطره، آسیب‌پذیری و انعطاف‌پذیری، چارچوبی نسبتاً جامع برای مدیریت ریسک سیل شهری ارائه می‌کند. شناخت پیچیدگی و به هم پیوستگی این عناصر برای ابداع راهبردهایی که از رویکردهای سنتی فراتر می‌روند و رویکردی چند رشته‌ای را در بر می‌گیرند، حیاتی است. یک شهر تاب‌آور، شهری است که نه تنها تأثیر مخاطرات را کاهش می‌دهد، بلکه به جوامع قدرت می‌دهد تا فعالانه در حفاظت در برابر سیل مشارکت کنند. مدیریت ریسک سیل شهری به این شیوه، مسیری را به سوی محیط‌های شهری پایدار و سازگار ارائه می‌دهد که قادر به مقاومت در برابر چالش‌های غیرقابل پیش‌بینی آینده است.

مسئولیت کاهش پیامدهای سیل شهری ذاتاً یک وظیفه عمومی است و نیاز به مشارکت فعال ارگان‌های دولتی، شهرداری‌ها و سایر نهادهای عمومی دارد. مشارکت این نهادها و پیروی آن‌ها از قوانین سخت‌گیرانه مربوطه بسیار مهم است و تأثیر قابل توجهی بر دیدگاه عمومی نسبت به جدی بودن خطر سیل دارد. در نتیجه، این تحقیق تأکید می‌کند که مدیریت موفق سیل یک تلاش مشترک است که بخش عمومی و سهامداران را در تلاشی هماهنگ برای ایجاد شهری تاب‌آور در برابر سیل متحد می‌کند. متأسفانه در موارد متعدد بخصوص در کشورهای جهان سوم سازمان‌های دولتی و یا نیمه‌دولتی خود از عوامل موثر در آسیب‌پذیرتر نمودن جوامع هستند.

لازم به ذکر است که برای کاهش ریسک سیل شهری، مطالعات گسترده و جامعی برای هر منطقه و متناسب با شرایط اقلیمی، توپوگرافی و اجتماعی هر جامعه مورد نیاز است. این مطالعات باید تفاوت‌های فرهنگی و اجتماعی را در نظر بگیرند و با توجه به پتانسیل اقتصادی هر منطقه راهکارهای مناسبی را ارائه کنند.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Impacts
- 2-Intensity-Duration-Frequency
- 3-Flood Risk Management (FRM)
- 4-Residual Risks
- 5-Multi-Hazard Assessment
- 6-Rain gardens

- علی‌رغم هشدارها، <https://www.isna.ir/news>، درگاه الکترونیکی خبرگزاری خبر آنلاین، (۱۴۰۱)، سیلاب‌های مرگبار تهران پس از انقلاب؛ از ۳۰۰ کشته سیل تجریش تا سیلاب امامزاده داوود، <https://www.khabaronline.ir/news/1656037>
- درگاه الکترونیکی خبرگزاری مهر، (۱۳۹۸). اخبار ایران و جهان، «پیگیری قضائی بررسی سهل انگاری سیل شیراز/رودخانه لایروبی نشده بود»، <https://www.mehrnews.com/news>
- رضایی‌مقدم، محمد حسین، و رحیم‌پور، توحید. (۱۴۰۲). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آبی‌چای). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۳۰۸-۲۹۱. doi: [10.22059/jhs.ci.2024.369163.803](https://doi.org/10.22059/jhs.ci.2024.369163.803)
- زیاری، کرامت اله، رجایی، سید عباس، و داراب خانی، رسول. (۱۴۰۲). الگوی مناسب مدیریت بحران سیلاب شهرایلام. فصلنامه توسعه پایدار محیط جغرافیایی، ۵(۹)، ۸۹-۷۲. doi: [10.48308/sdge.2023.230355.1114](https://doi.org/10.48308/sdge.2023.230355.1114)
- طاهری، سیده محدثه، و مساعدی، ابوالفضل. (۱۴۰۲). مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش‌های قانونی و عملی. دو فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۳)، ۵۰-۳۵. <https://doi.org/10.48308/sdge.2023.230355.1114>
- قهرمان، بیژن. (۱۳۸۲). بررسی جامع رگبار ۱۶ خرداد ۱۳۷۱ مشهد. دوفصلنامه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۷(۲)، ۴۱-۲۹. <http://jcpii.iut.ac.ir/article-1-462-fa.html>
- محمدزاده هابیلی، جهانشیر، حسینی، زهرا، خلیلی، داور، هنر، تورج، زند پارسا، شاهرخ، و طالب‌نژاد، رضوان. (۱۳۹۸). تولید هیدروگراف سیلاب ۵ فروردین دروازه قرآن شهر شیراز بر مبنای مدلسازی فیزیکی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی. هجدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ایران.
- محمّدی‌استادکلایه، امین، مساعدی، ابوالفضل، و علاقمند، سینا. (۱۳۸۶). بررسی اثرات سیل مرداد ۱۳۸۰ شرق گلستان بر مورفولوژی رودخانه مادرسو. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(ویژه نامه منابع طبیعی (ضمیمه))، ۹-۱۷.
- Aerts, J. C., Botzen, W. J., Clarke, K. C., Cutter, S. L., Hall, J. W., Merz, B., Michel-Kerjan, E., Mysiak, J., Surminksi, S., & Kunreuther, H. (2018). Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment. *Nature Climate Change*, 8(3), 193-199. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0085-1>
- Alexander, J., Barclay, J., Sušnik, J., Loughlin, S. C., Herd, R. A., Darnell, A., & Croswell, S. (2010). Sedi-ment-charged flash floods on Montserrat: the influence of synchronous tephra fall and varying extent
- آذینی، کیومرث، قنبری‌موحد، رضوان، و رحیمیان، مهدی. (۱۴۰۲). بررسی اثرات سیل بر معیشت پایدار خانوارهای روستایی (مطالعه موردی دهستان آبستان، شهرستان خرم‌آباد). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۴(۲)، ۱۸۷-۲۰۴. <http://gsma.lu.ac.ir/article-1-518-fa.html>
- اکرمی‌مقدم، بهار، ایلخانی‌پورزینالی، رسول، و نیک‌مهر، سامان. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۰(۱)، ۷۹-۹۳. <https://doi.org/10.22034/ewe.2023.388125.1850>
- امامی، کامران، کبارفرد، محمد، و کراری، زینب. (۱۳۸۹). بهینه‌سازی مدیریت سیلاب شهری با روش‌های غیرسازهای مطالعه موردی سیستم هشدار سیل گلابدره دربند. اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران، ایران.
- امینا، زهرا، و حکمت‌زاده، علی‌اکبر. (۱۴۰۰). تخمین سیلاب برق آسا در حوضه‌های آبریز کوچک: مطالعه موردی حوضه آبریز دروازه قرآن شیراز. بیستمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گرگان، ایران.
- بهمنی، سجاد، و محمدی ده چشمه، مصطفی. (۱۴۰۲). مطالعه جامعه شناختی چالش مدیریت آب‌های سطحی و تأثیر آن بر زندگی روزمره شهروندان اهوازی (مطالعه موردی: حادثه سیلاب شهری و بالازدگی فاضلاب در شهرهای اهواز و کارون سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰). فصلنامه توسعه اجتماعی، ۱۸(۱)، ۲۲۷-۲۵۰. <https://doi.org/10.22055/qjsd.2023.41990.2734>
- پوراحمد، احمد، صادقی، علیرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی مولفه‌های تاب‌آوری محلات شهری در برابر سیلاب (مورد مطالعه: محلات واقع بر مسیر رودخانه‌ها در مناطق ۱، ۲، ۳ و ۵ و ۲۲ شهرداری تهران). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۴(۲)، ۴۲-۲۳. <http://gsma.lu.ac.ir/article-1-485-fa.html>
- حسنی، محمدجواد. (۱۴۰۲). بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ. فصلنامه مدیریت شهری و مهندسی محیط‌زیست، ۱۱(۴)، ۸۵-۱۰۲. doi: [10.48306/jumee.2024.445725.1039](https://doi.org/10.48306/jumee.2024.445725.1039)
- خاتونی، کوشا، هوشیاری‌پور، فرهاد، نوری، روح‌الله، و ملک‌محمدی، بهرام. (۱۴۰۲). مدلسازی و پهنه‌بندی دو بعدی سیلاب شهری در حوضه شمال شهر کرج با استفاده از HEC-RAS 2D. دو فصلنامه مهندسی آب، ۱۱(۱)، ۹۹-۱۱۰. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/1024540?FullText=FullText>
- درگاه الکترونیکی پایگاه خبری و تحلیلی انصاف، (۱۴۰۱). <https://en-safnews.com>، کد خبر: ۳۶۰۴۳۰، تاریخ به‌روز رسانی، ۱۴۰۱/۵/۴.
- درگاه الکترونیکی خبرگزاری ایسنا. (۱۳۹۸). گزارش خبری: رودخانه منتهی به دروازه قرآن لایروبی نشده بود، کوتاهی مسئولین شهرداری شیراز

- Braun, B., & Aßheuer, T. (2011). Floods in megacity environments: vulnerability and coping strategies of slum dwellers in Dhaka/Bangladesh. *Natural Hazards*, 58 (2), 771-787. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9752-5>
- Bruwier, M., Mustafa, A., Aliaga, D. G., Archambeau, P., Erpicum, S., Nishida, G., Zhang, X., Piroton, M., Teller, J., & Dewals, B. (2018). Influence of urban pattern on inundation flow in floodplains of lowland rivers. *Science of the Total Environment*, 622, 446-458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.325>
- Burby, R. (2014). Land-use planning for flood hazard reduction: the United States experience. In *Floods* (pp. 6-18). Routledge. Washington, D.C., United States.
- Chen, A. S., Leandro, J., & Djordjević, S. (2016). Modelling sewer discharge via displacement of manhole covers during flood events using 1D/2D SIPSON/P-DWave dual drainage simulations. *Urban Water Journal*, 13(8), 830-840. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1041991>
- National Research Council. (2013). *Levees and the National Flood Insurance Program: Improving Policies and Practices*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18309>
- D'Ayala, D., Wang, K., Yan, Y., Smith, H., Massam, A., Filipova, V., & Pereira, J. J. (2020). Flood vulnerability and risk assessment of urban traditional buildings in a heritage district of Kuala Lumpur, Malaysia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(8), 2221-2241. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2221-2020>
- Dao-yi, G., Jin-hong, Z., & Shao-wu, W. (2001). Flooding 1990s along the Yangtze River, has it concern of global warming? *Journal of Geographical Sciences*, 11(1), 43-52. <https://doi.org/10.1007/BF02837375>
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Antoniadis, Z., Melaki, M., Katsetsiadou, N., Andreadakis, E., Spyrou, N., & Gogou, M. (2020). Proposal of a flash flood impact severity scale for the classification and mapping of flash flood impacts. *Journal of Hydrology*, 590, 125452. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125452>
- Du, S., Shi, P., Van Rompaey, A., & Wen, J. (2015). Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. *Natural Hazards*, 76(3), 1457-1471. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1463-2>
- of vegetation damage. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 194(4), 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.05.002>
- APFM, A. (2008). *Tool for Integrated Flood Management: Urban Flood Risk Management*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Balica, S., Douben, N., & Wright, N. G. (2009). Flood vulnerability indices at varying spatial scales. *Water science and Technology*, 60(10), 2571-2580. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.183>
- Ballesteros-Cánovas, J. A., Rodríguez-Morata, C., Garófano-Gómez, V., Rubiales, J. M., Sánchez-Salguero, R., & Stoffel, M. (2015). Unravelling past flash flood activity in a forested mountain catchment of the Spanish Central System. *Journal of Hydrology*, 529, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.027>
- Bayas-Jiménez, L., Martínez-Solano, F. J., Iglesias-Rey, P. L., & Boano, F. (2022). Economic Analysis of Flood Risk Applied to the Rehabilitation of Drainage Networks. *Water*, 14(18), 2901. <https://doi.org/10.3390/w14182901>
- Beringer, A. L., & Kaewsuk, J. (2018). Emerging livelihood vulnerabilities in an urbanizing and climate uncertain environment for the case of a secondary city in Thailand. *Sustainability*, 10(5), 1452. <https://doi.org/10.3390/su10051452>
- Bermúdez, M., Farfán, J., Willems, P., & Cea, L. (2021). Assessing the effects of climate change on compound flooding in coastal river areas. *Water resources research*, 57(10), e2020WR029321. <https://doi.org/10.1029/2020WR029321>
- Bin, L., Xu, K., Pan, H., Zhuang, Y., & Shen, R. (2023). Urban flood risk assessment characterizing the relationship among hazard, exposure, and vulnerability. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(36), 86463-86477. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-28578-7>
- Blöschl, G., Gaál, L., Hall, J., Kiss, A., Komma, J., Nester, T., Parajka, J., Perdigão, R. A., Plavcová, L., & Rogger, M. (2015). Increasing river floods: fiction or reality? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 329-344. <https://doi.org/10.1002/wat2.1079>

- models and future challenges, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 25, 2843–2860. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2843-2021>
- Haer, T., Husby, T. G., Botzen, W. W., & Aerts, J. C. (2019). The safe development paradox: An agent-based model for flood risk under climate change in the European Union. *Global Environmental Change*, 60 (2), 102009. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102009>
- Hall, J. W., Sayers, P. B., & Dawson, R. J. (2005). National-scale assessment of current and future flood risk in England and Wales. *Natural Hazards*, 36 (1), 147-164. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-4546-7>
- Hu, X., Pant, R., Hall, J. W., Surminski, S., & Huang, J. (2019). Multi-scale assessment of the economic impacts of flooding: evidence from firm to macro-level analysis in the Chinese manufacturing sector. *Sustainability*, 11(7), 1933. <https://doi.org/10.3390/su11071933>
- Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. World Bank Publications, Washington, D.C., United States.
- Karami, M., Abedi Koupai, J., & Gohari, S. A. (2024). Integration of SWAT, SDSM, AHP, and TOPSIS to detect flood-prone areas. *Natural Hazards*, 120 (7), 6307-6325. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06483-7>
- Lee, Y., & Brody, S. D. (2018). Examining the impact of land use on flood losses in Seoul, Korea. *Land use policy*, 70(2), 500-509. <https://doi.org/10.1016/j.landuse-pol.2017.11.019>
- Li, Z., Wu, Y., Li, J., Qi, P., Sun, J., & Sun, Y. (2023). Attribution Analysis of Runoff Variation in the Second Songhua River Based on the Non-Steady Budyko Framework. *Water*, 15(3), 451. <https://doi.org/10.3390/w15030451>
- Liu, X., & Chen, H. (2019). Integrated assessment of ecological risk for multi-hazards in Guangdong province in southeastern China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 2069-2093. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1680450>
- Mahanta, R., & Das, D. (2017). Flood induced vulnerability to poverty: evidence from Brahmaputra Valley, Assam, India. *International journal of disaster risk reduction*, 24, 451-461. <https://doi.org/10.1016/j.jidrr.2017.04.014>
- Dwarapureddi, B. K., Dash, S., Raj, A., Garika, N. S., Kumar, A., & Vara, S. (2022). Prevention of soil erosion and torrential floods. In *Prevention and Management of Soil Erosion and Torrential Floods* (pp. 92-111). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8459-0.ch005>
- Ellis, J. B., & Revitt, D. M. (2010). The management of urban surface water drainage in England and Wales. *Water and Environment Journal*, 24(1), 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00203.x>
- Fatemi, M. N., Okyere, S. A., Diko, S. K., Kita, M., Shimoda, M., & Matsubara, S. (2020). Physical vulnerability and local responses to flood damage in peri-urban areas of Dhaka, Bangladesh. *Sustainability*, 12(10), 3957. <https://doi.org/10.3390/su12103957>
- Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106 (1), 613-627. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04480-0>
- Ferrarin, C., Tomasin, A., Bajo, M., Petrizzo, A., & Umgiesser, G. (2015). Tidal changes in a heavily modified coastal wetland. *Continental Shelf Research*, 101, 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2015.04.002>
- Gain, A. K., Mojtabed, V., Biscaro, C., Balbi, S., & Giupponi, C. (2015). An integrated approach of flood risk assessment in the eastern part of Dhaka City. *Natural Hazards*, 79 (3), 1499-1530. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1911-7>
- Gheorghe, A. V. (2005). Integrated risk and vulnerability management assisted by decision support systems: Relevance and impact on governance (Vol. 8). Springer Science & Business Media, Dordrecht, Netherlands.
- Gopinath, N., Aruneraj, J., & Ragul, V. (2022). IoT based model for flood warning system in waterfall. 2022 1st International Conference on Computational Science and Technology (ICCST). Chennai, India. <https://doi.org/10.1109/ICCST55948.2022.10040286>
- Green, C. (2004). The evaluation of vulnerability to flooding. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 13(4), 323-329. <https://doi.org/10.1108/09653560410556546>
- Guo, K., Guan, M., & Yu, D. (2021). Urban surface water flood modelling – a comprehensive review of current

- Rahman, M., Ningsheng, C., Mahmud, G., Islam, M., Pourghasemi, H., Ahmad, H., Habumugisha, J., Washakh, R., Alam, M., & Liu, E. (2021). Flooding and its relationship with land cover change, population growth, and road density. *Geosci. Front*, 12(6), 101224. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101224>
- Sado-Inamura, Y., & Fukushi, K. (2019). Empirical analysis of flood risk perception using historical data in Tokyo. *Land use policy*, 82, 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.031>
- Sampson, C. C., Smith, A. M., Bates, P. D., Neal, J. C., Alfieri, L., & Freer, J. E. (2015). A high-resolution global flood hazard model. *Water resources research*, 51(9), 7358-7381. <https://doi.org/10.1002/2015WR016954>
- Samu, R., & Kentel, A. S. (2018). An analysis of the flood management and mitigation measures in Zimbabwe for a sustainable future. *International journal of disaster risk reduction*, 31, 691-697. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.013>
- Santos, P. P., Pereira, S., Zêzere, J. L., Tavares, A. O., Reis, E., Garcia, R. A., & Oliveira, S. C. (2020). A comprehensive approach to understanding flood risk drivers at the municipal level. *Journal of environmental management*, 260, 110127. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110127>
- Sayers, P., Yuanyuan, L., Galloway, G., Penning-Rowsell, E., Fuxin, S., Kang, W., Yiwei, C., & Le Quesne, T. (2013). Flood risk management: A strategic approach. In: Asian Development Bank, GIWP, UNESCO and WWF-UK, Manila, Philippines.
- Sertel, E., Imamoglu, M. Z., Cueloglu, G., & Erturk, A. (2019). Impacts of land cover/use changes on hydrological processes in a rapidly urbanizing mid-latitude water supply catchment. *Water*, 11(5), 1075. <https://doi.org/10.3390/w11051075>
- Singkran, N., & Kandasamy, J. (2016). Developing a strategic flood risk management framework for Bangkok, Thailand. *Natural Hazards*, 84, 933-957. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2467-x>
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*. Routledge, London, United Kingdom.
- McElwee, P., Nghiem, T., Le, H., & Vu, H. (2017). Flood vulnerability among rural households in the Red River Delta of Vietnam: implications for future climate change risk and adaptation. *Natural Hazards*, 86, 465-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2701-6>
- Mohanty, M. P., Mudgil, S., & Karmakar, S. (2020). Flood management in India: A focussed review on the current status and future challenges. *International journal of disaster risk reduction*, 49, 101660. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101660>
- Muzamil, S. A. H. B. S., Zainun, N. Y., Ajman, N. N., Sulaiman, N., Khahro, S. H., Rohani, M. M., Mohd, S. M. B., & Ahmad, H. (2022). Proposed framework for the flood disaster management cycle in Malaysia. *Sustainability*, 14(7), 4088. <https://doi.org/10.3390/su14074088>
- Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M., & Baily, B. (2016). A review and critical analysis of the efforts towards urban flood risk management in the Lagos region of Nigeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(2), 349-369. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-349-2016>
- Ocampo-Martinez, C., Puig, V., Cembrano, G., & Quevedo, J. (2013). Application of predictive control strategies to the management of complex networks in the urban water cycle [applications of control]. *IEEE Control Systems Magazine*, 33(1), 15-41. <https://doi.org/10.1109/MCS.2012.2225919>
- Osheen, & Singh, K.K. (2019). Rain garden—A solution to urban flooding: A review. *Sustainable Engineering: Proceedings of EGRWSE 2018*, 27-35. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6717-5_4
- Qie, X., Yuan, S., Chen, Z., Wang, D., Liu, D., Sun, M., Sun, Z., Srivastava, A., Zhang, H., & Lu, J. (2021). Understanding the dynamical-microphysical-electrical processes associated with severe thunderstorms over the Beijing metropolitan region. *Science China Earth Sciences*, 64, 10-26. <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9656-8>
- Quesada-Román, A. (2022). Flood risk index development at the municipal level in Costa Rica: A methodological framework. *Environmental Science & Policy*, 133, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.012>

- Webber, J., Fletcher, T., Cunningham, L., Fu, G., Butler, D., & Burns, M. (2020). Is green infrastructure a viable strategy for managing urban surface water flooding? *Urban Water Journal*, 17(7), 598-608. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700286>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in physical geography*, 36(3), 348-378. <https://doi.org/10.1177/0309133312438908>
- Yang, J.-L., & Zhang, G.-L. (2011). Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. *Journal of soils and sediments*, 11, 751-761. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1>
- Yang, L., Smith, J., Baeck, M. L., & Morin, E. (2019). Flash flooding in arid/semiarid regions: climatological analyses of flood-producing storms in central Arizona during the North American monsoon. *Journal of Hydrometeorology*, 20(7), 1449-1471. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0016.1>
- Yang, Y., Sun, L., Li, R., Yin, J., & Yu, D. (2020). Linking a storm water management model to a novel two-dimensional model for urban pluvial flood modeling. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11, 508-518. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00278-7>
- Zarghami, S. A., & Dumrak, J. (2021). A system dynamics model for social vulnerability to natural disasters: Disaster risk assessment of an Australian city. *International journal of disaster risk reduction*, 60, 102258 <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102258>
- Tanoue, M., Taguchi, R., Nakata, S., Watanabe, S., Fujimori, S., & Hirabayashi, Y. (2020). Estimation of direct and indirect economic losses caused by a flood with long-lasting inundation: application to the 2011 Thailand flood. *Water resources research*, 56(5), e2019WR026092. <https://doi.org/10.1029/2019WR026092>
- Thaler, T., & Levin-Keitel, M. (2016). Multi-level stakeholder engagement in flood risk management—A question of roles and power: Lessons from England. *Environmental Science & Policy*, 55, 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.04.007>
- Thieken, A. H., Bessel, T., Kienzler, S., Kreibich, H., Müller, M., Pisi, S., & Schröter, K. (2016). The flood of June 2013 in Germany: how much do we know about its impacts? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(6), 1519-1540. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1519-2016>
- Thieken, A. H., Samprogha Mohor, G., Kreibich, H., & Müller, M. (2022). Compound inland flood events: different pathways, different impacts and different coping options. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(1), 165-185. <https://doi.org/10.5194/nhess-22-165-2022>
- Tingsanchali, T. (2012). Urban flood disaster management. *Procedia engineering*, 32, 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1233>
- Tucci, C. (2008). Urban flood risk management: A tool for integrated flood management. Geneva, world meteorological organisation.
- UNISDR, C. (2015). The human cost of natural disasters: A global perspective. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. UN Office for Disaster Risk Reduction.
- Verlynde, N., Voltaire, L., & Chagnon, P. (2019). Exploring the link between flood risk perception and public support for funding on flood mitigation policies. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(13), 2330-2351. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1546676>
- Watson, R. T., Zinyowera, M. C., & Moss, R. H. (1996). *Climate Change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analyses*. Published By: Cambridge University Press.

Classification of Types and Factors Violating the Heritage Boundary of Iranian Qanat (Case Study: Qanats of the Eastern Counties of Kerman Province)

N. Kamaladini*

Ph.D. Student, Department of Tourism Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Email: Nd.kamaladini@gmail.com

Received: 16-03-2024

Revised: 28-06-2024

Accepted: 20-07-2024

Available Online: 19-12-2024

طبقه‌بندی انواع و عوامل نقض حریم میراث قنات ایرانی (مطالعه موردی: قنات‌های شهرستان‌های شرقی استان کرمان)

ناهید کمال‌الدینی

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت جهانگردی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

رایانامه: Nd.kamaladini@gmail.com

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰

Abstract

The Iranian Qanat Chain Case, which includes 11 prominent Qanats, was added to the World Heritage List in 2016 after meeting two of UNESCO's six criteria. This record confirms the high importance of Qanats in the formation and sustainability of human settlements on the central plateau of Iran. On the other hand, the international obligations arising from UNESCO laws emphasize the necessity of preserving and improving the status of this living heritage. Nevertheless, studies indicate that the condition of Qanats in Iran is becoming increasingly worrying. Violating the Qanats boundary is one of the fundamental problems that threaten the health of the Qanat structure and the amount and quality of their water. In this descriptive study, which was conducted using a qualitative method and in-depth interview tools, 30 informed individuals in the Bam, Narmashir, Fahraj, Gonbaki, and Rigan regions were surveyed. This region has ancient, numerous, and high-flowing Qanats, but it faces widespread problems caused by violations of the Qanats' boundary. The research results identified six main factors: insufficient public awareness, limited access to information about the qanats, poor documentation and mapping, lack of appropriate laws, lack of enforcement support for existing laws, and weak local management. These factors have played a significant role in the continued violation of the Qanat boundary in these areas.

Keywords: Iranian Qanat, Qanat Boundary, East of Kerman Province, Bam County, Content Analysis.

چکیده

پرونده زنجیره‌ای قنات ایرانی که شامل ۱۱ قنات برجسته است، در سال ۲۰۱۶ با تأیید دو معیار از معیارهای شش‌گانه یونسکو به فهرست میراث جهانی اضافه شد. این ثبت، اهمیت بالای قنات‌ها را در شکل‌گیری و پایداری سکونت‌گاه‌های انسانی در فلات مرکزی ایران تأیید می‌کند. از سوی دیگر، تعهدات بین‌المللی ناشی از قوانین یونسکو بر لزوم حفظ و بهبود وضعیت این میراث زنده تأکید دارند. با این حال، مطالعات نشان می‌دهد وضعیت قنات‌های ایران روزبه‌روز نگران‌کننده‌تر می‌شود. نقض حریم قنات یکی از مشکلات اساسی است که سلامت ساختار قنات، میزان و کیفیت آب آن‌ها را تهدید می‌کند. در این پژوهش توصیفی که با روش کیفی و ابزار مصاحبه عمیق انجام شد، ۳۰ نفر از افراد مطلع در مناطق بم، نرماشیر، فراهج، گنبدکی و ریگان بررسی شدند. این منطقه قنات‌هایی با قدمت، تعداد و آبدهی بالا دارد، اما با مشکلات گسترده‌ای ناشی از نقض حریم قنات مواجه است. نتایج تحقیق شش عامل اصلی را شناسایی کرد: آگاهی ناکافی مردم، دسترسی محدود به اطلاعات درباره قنات‌ها، ضعف در مستندسازی و تهیه نقشه، کمبود قوانین مناسب، عدم پشتوانه اجرایی برای قوانین موجود و ضعف مدیریت محلی. این عوامل نقش مهمی در تداوم نقض حریم قنات‌ها در این مناطق داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: قنات ایرانی، حریم قنات، شرق استان کرمان، شهرستان بم، تحلیل محتوا.

که نه تنها خود قنات‌ها، بلکه ساختارهای مرتبط با آن‌ها، مانند مخازن آب، آسیاب‌ها، سیستم‌های آبیاری و باغ‌ها را شامل می‌شود (Unesco, ۲۰۱۶).

در کنار ضرورت‌های حیاتی حفظ این سیستم پایدار استحصال آب در کشور عمدتاً گرم و خشک ایران و همچنین سایر ارزش‌های میراثی-اجتماعی-اقتصادی و ... این پدیده، باید گفت که متأسفانه بسیاری از قنات‌های ایران، امروزه در معرض خطر آلودگی یا خشکیدگی قرار دارند. به‌عنوان نمونه دلایلی همچون ضعف مدیریت، ضعف علمی، خشکسالی، عوامل مخرب انسانی، نفوذ یا ورود فاضلاب‌های شهری-روستایی-صنعتی، احداث چاه‌های عمیق، تخلیه زباله، برنامه‌های عمرانی شهری و ... ازجمله عواملی هستند که سلامت کالبدی، میزان آبدی و کیفیت آب قنات را تحت تأثیر سوء خود قرار می‌دهند (یوسفی و همکاران، ۱۴۰۱، ابی زاده، ۱۳۸۹؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۷). چنانکه ملاحظه می‌شود دلیل غالب آسیب‌های بیان شده ریشه در نقض و شکسته شدن حریم قنات دارد. درحالی‌که در گذشته سازندگان و مهندسان قنات‌ها به خوبی ضرورت توجه به این موضوع را دریافته و با دقتی قابل تحسین به تعیین و شرح چگونگی حفظ حریم قنات پرداخته‌اند، که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

کرجی (۱۳۴۵) بیان کرد حریم قنات باید ۲۵۰ متر باشد؛ هر چند که تعیین حریم قنات بر اساس نوع خاک و میزان نفوذپذیری آن متغیر است. به‌عنوان مثال در منطقه مهریز، حریم قنات بر حسب نوع خاک تعیین می‌شود: برای خاک "شولات" ۲۰۰ متر، برای خاک "نر" (رس) ۲۰۰ متر، برای سنگ ۳۰۰ متر، و برای خاک "چیلار" (گل چشمه باز و آبدار) ۵۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود (جانب الهی، ۱۳۸۳). همچنین، حریم قنات در زمین‌های کشاورزی بر اساس جنس خاک، عمق چاه و نوع کشت تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، کاشت درخت‌های با ریشه‌های عمیق در نزدیکی قنات ممنوع است. در منطقه میبد، حریم چاه قنات از طریق پرتاب کلنگ توسط مقنی که در چاه قرار گرفته، تعیین می‌شود. چنانچه چاه در املاک خصوصی قرار داشته باشد، صاحبان قنات ملزم به خریداری حریم آن از مالک هستند (جانب الهی، ۱۳۸۳).

در خصوص حریم بین دو قنات چنین آمده است که اگر قناتی با قنات دیگر در یک راستا قرار بگیرد، فاصله دو قنات باید ۱۰۰۰ متر باشد، مشروط بر اینکه کف کاریز در هر دو قنات یکسان باشد (کرجی، ۱۳۴۵). رعایت حریم دو قنات نسبت به یکدیگر، برای مالکان به قدری اهمیت دارد که اگر احتمال بدهند قناتی با حفر پیشکار، آب قنات دیگری را به خود می‌کشد، اجازه حفر پیشکار به آن نمی‌دهند (بهینا، ۱۳۷۶).

هدف از ذکر این نمونه‌ها، بیان اهمیت پرداختن به جزییات در فرهنگ قنات‌داری ایرانی است. مشابه چنین قراردادهایی تفصیلی و جزیی‌نگر در ابعاد دیگر مرتبط با قنات مانند موضوع مدیریت

سیستم آب‌رسانی قنات ایرانی یکی از درخشان‌ترین فنون مبتکرانه بشر برای استحصال آب‌های زیرزمینی بدون صرف انرژی به‌شمار می‌رود (خوهرسندی‌آقایی و مالکی، ۱۳۸۵، مختارنیا و همکاران، ۱۴۰۱) و در بسیاری از سکونتگاه حاشیه کویر ایران، تنها راه دسترسی انسان به آب بوده است (جمعه پور، ۱۳۸۵، طباطبایی و خزیمه‌نژاد، ۱۳۹۸). سازگاری سیستم قنات با ویژگی‌های زیست‌محیطی و اقلیمی پیرامون خود، یک امتیاز مهم در شناخت آن به‌عنوان روش پایدار استحصال آب زیرزمینی محسوب می‌شود (جمعه‌پور، ۱۳۸۵).

باید در نظر داشت شکل‌گیری پدیده قنات در گستره فرهنگی-اجتماعی وسیع و متنوعی از فلات مرکزی ایران، موجب ایجاد ارزش‌های محلی گوناگون و رویکردهای مختلف در شیوه‌های احداث و بهره‌برداری از قنات در این محدوده شده است (مختارنیا و همکاران، ۱۴۰۱). به همین دلیل در زمان طرح موضوع در کمیته میراث جهانی یونسکو، کشور ایران به معرفی یک اثر یا یک قنات بسنده نکرد، بلکه پرونده قنات ایرانی به‌عنوان یک اثر زنجیره‌ای در فهرست میراث جهانی قرار گرفت. این اثر در تاریخ ۱۵ ژوئیه سال ۲۰۱۶ با حداکثر آراء به تأیید و تصویب در نشست سالانه میراث جهانی یونسکو رسید. طی این پرونده زنجیره‌ای ۱۱ قنات با ویژگی‌های برجسته و منحصر به فرد در فهرست میراث جهانی قرار گرفتند. از میان شش معیار سازمان یونسکو برای میراث جهانی، پرونده قنات ایرانی حائز معیارهای سوم و چهارم شناخته شد:

معیار (iii): سیستم قنات ایرانی گواهی استثنایی بر سنت آب‌رسانی در مناطق خشک برای ایجاد و حفظ سکونتگاه‌های بشری است. دستاوردهای فناورانه و اجتماعی قنات، گویای نقش مهم قنات در شکل‌گیری تمدن‌هایی گوناگون است. اهمیت حیاتی این سیستم برای منطقه خشک فلات کویری ایران به نحوی است که تحت نام «تمدن قناتی» از آن یاد می‌شود. پراکندگی محل‌های استقرار اولیه بشر بر روی مخروط افکنه‌های فلات داخلی و بیابان‌های ایران ارتباط بلافصلی با الگوی پراکنش سیستم قنات در سراسر کشور ایران دارد. این سیستم همچنین یک سنت فرهنگی زنده و استثنایی از مدیریت اشتراکی منابع آب را ارائه می‌دهد.

معیار (IV): سیستم قنات ایرانی نمونه‌ای برجسته از یک فناوری است که مراحل مهمی از تاریخ سکونت بشر در مناطق خشک و نیمه‌خشک را به تصویر می‌کشد. با کمک این فناوری و بر اساس محاسبات پیچیده و یک معماری استثنایی، آب صرفاً با کمک گرانش از فواصل طولانی جمع‌آوری و هدایت می‌شود و این سیستم در طول قرن‌ها و گاهی هزاره‌ها حفظ شده‌اند. سیستم قنات در عین اینکه ایجاد سکونت‌گاه‌ها و کشاورزی را میسر می‌سازد، همچنین الهام بخش ایجاد یک سبک خاص از معماری در منظر بیابانی است

کرمان در حاشیه جنوبی بیابان لوت است. براساس آمار سال ۱۳۹۰ اداره منابع آب شهرستان بم، تعداد قنات احصا شده (اعم از فعال و غیرفعال) در این شهرستان‌ها بالغ بر ۳۹۵ مورد بوده است (اداره منابع آب شهرستان بم، ۱۳۹۰). رشته‌کوه‌های هزار و جبالبارز، حوزه آبریز دهبکری و رودخانه نسا منابع اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی این منطقه هستند و شیب موافق زمین نیز شرایط حفر و آبدهی قنات‌های پرتعداد این منطقه را فراهم نموده است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان‌های شرقی استان کرمان

علاوه بر موارد ذکر شده، در ادامه به اختصار شرح کوتاهی از حوزه‌های قناتی ۵ شهرستان مورد مطالعه در شرق استان کرمان ارائه می‌شود:

بم: حوزه تمدن قناتی بم به‌عنوان یکی از زنده‌ترین و فعال‌ترین نواحی قناتی ایران در حال حاضر هست به‌نحوی که در حال حاضر بدون احتساب چشمه‌قنات‌های کوهستانی، ۴۲ قنات فعال در این شهرستان وجود دارد (اداره جهاد کشاورزی شهرستان بم، ۱۴۰۳). همچنین در خصوص نشانه‌ای از اهمیت فرهنگ و تمدن قناتی این شهرستان نیز، می‌توان به قنات‌های قاسم‌آباد و اکبرآباد اشاره کرد که دو مورد از قنات یازده‌گانه پرونده میراث جهانی قنات ایرانی را تشکیل می‌دهند. این دو قنات با داشتن ویژگی‌هایی چون دوقلو و جوان بودن در این فهرست قرار گرفته و همچنان منبع آبیاری سطح زیرکشت بزرگی در پایین‌دست مظهر خود در باغ‌شهرشهر بروات هستند. نکته حائز اهمیت دیگر در این زمینه، پر آب بودن قنات این منطقه است. به‌عنوان مثال به موجب آمار اداره منابع آب شهرستان بم در سال ۱۴۰۰، دبی آب دست‌کم ۵ قنات در این شهرستان بالای ۱۰۰ لیتر بر ثانیه گزارش شده است و قنات قنبرآباد شیخی با دبی آب ۳۶۰ لیتر بر ثانیه احتمالاً پر آب‌ترین قنات ایران می‌باشد (اداره منابع آب شهرستان بم، ۱۴۰۰).

همچنین یکی دیگر از ویژگی‌های برخی از قنات این منطقه، گسلی بودن آن‌ها است. پر آب بودن و کوتاه بودن طول کوره قنات، یکی از آثار قرار گرفتن در عرض گسل پوسته زمین است. این

توزیع آب قنات، نگهداری و تعمیر قنات و ... نیز قابل مشاهده و شناسایی می‌باشند. با این وجود شواهد حاکی از آن است که با ورود به عصر مدرنیته و میسر شدن سایر امکان‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و سطحی، متأسفانه به مرور از اهمیت قنات در سراسر کشور ایران کاسته شد و به همین جهت این سیستم تاریخی استحصال آب، در مناطق مختلف با آسیب‌های گوناگونی روبه‌رو شد (مسعودی آشتیانی و همکاران، ۱۴۰۲؛ فخری و همکاران، ۱۳۹۴، دسترنج و رجایی، ۱۴۰۱). در واقع با وجود قوانین مصوب مربوط به قنات از جمله قانون مصوب سال ۱۳۰۹، قانون حفظ و حراست از منابع آب‌های زیرزمینی مصوب ۱۳۴۵، قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷، قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱ و همچنین کلیه الحاقات و آیین‌نامه‌های ذیل این قوانین، بسیاری از قنات‌های ایرانی طی دهه‌های اخیر با نقض حریم روبه‌رو بوده و یا حتی خشک شده‌اند. این به آن معنا است که به دلایل مختلف احتمالاً این قوانین برای بازدارندگی و پیشگیری از نقض انواع حریم‌های قنات کفایت نمی‌کرده‌اند.

براین اساس در ای پژوهش انواع نقض حریم قنات ایرانی به‌عنوان یک میراث ملی و جهانی شناسایی و دلایل آن‌ها واکاوی شد. این گونه‌شناسی انواع و دلایل نقض حریم قنات، می‌تواند کمک خوبی برای قانون‌گذاران، تصمیم‌گیران و مدیران جهت اتخاذ راهکارهای رفع آنها و روشن نگه داشتن چراغ سیستم پایدار قنات در ایران باشد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

شرق استان کرمان تا اواخر دهه ۸۰ شمسی، تحت نام شهرستان بم شناخته می‌شد؛ اما در حال حاضر این ناحیه شامل ۵ شهرستان بم، نورماشیر، فهرج، گنبدکی و ریگان می‌شود و فعالیت اقتصادی غالب ساکنان آن کشاورزی است. با توجه به قرارگیری این منطقه در حاشیه بیابان لوت و گرم‌ترین نقطه زمین و همچنین اندک بودن منابع آب‌های سطحی آن، امکان‌پذیری وجود چنین سکونتگاه انسانی وسیعی که از قضا مبتنی بر کشاورزی نیز هستند، موضوع حائز توجهی به نظر می‌رسد. بررسی‌های میدانی و تاریخی حاکی از آن است که پاسخ این سوال را می‌توان در پیوند با قنات این محدوده جستجو کرد. بر اساس گزارش پروفیسور شهریار عدل در سال ۱۳۹۳، کشف و عمرسنجی یک نمونه خط میخی بر روی بدنه یک نای (کول) سفالی داخل قناتی در شهرستان بم، قدمت تمدن قناتی این منطقه را تا ۲۵۰۰ سال پیش به عقب برده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۳).

در کنار این قدمت بالا، تعدد زیاد قنات این منطقه نیز گواهی بر اهمیت و جایگاه قنات در شکل‌گیری سکونتگاه‌های شرقی استان

ویژگی‌ها به‌طور ویژه در روستاهای غربی شهر بم قابل مشاهده است. به‌عنوان مثال طول کوره چشمه قنات پشت‌رود به حدود ۲۰ متر می‌رسد که در گذشته از این نیز کمتر بوده و وجه تسمیه نام آن نیز به همین موضوع بازمی‌گردد. این طول کوتاه برای یک قنات دشتی جالب است.

نرماشیر: نرماشیر ۳ رودخانه فصلی و باغات وسیع خرما دارد. یکی از آثار فرهنگی تمدن قناتی در این منطقه ارتباط زیاد میان مقنی‌های این منطقه با مقنی‌های استان یزد در گذشته بوده است (برشان، ۱۳۸۸). باوجود رونق و تعداد بالای قنات در این منطقه، متأسفانه در حال حاضر هیچ قنات فعالی در این شهرستان وجود ندارد و چاه به جای قنات، چاه‌هایی عمیق و نیمه‌عمیق و همچنین سد نسا منابع تامین کننده آب مورد نیاز بخش کشاورزی این شهرستان هستند. متأسفانه باوجود آن پیشینه غنی تاریخی و تمدن قناتی، در حال حاضر هیچ قنات فعالی در شهرستان نرماشیر باقی نمانده است (اداره منابع آب شهرستان نرماشیر، ۱۴۰۳).

فهرج: فهرج در گذشته به‌عنوان انبار غله منطقه مشهور بوده است. در گزارش‌های تاریخی، اشاره‌هایی مبنی بر پرورش کرم ابریشم و وفور یونجه در این منطقه نیز وجود دارد، هر چند که درحال حاضر باغ‌های خرما رایج‌ترین شکل کشاورزی در این شهرستان هستند. قدمت سنجی قنات این منطقه نیاز به بررسی بیشتر دارد، اما به‌عنوان نمونه، سن قنات رکن‌آباد فهرج تا ۶۰۰ سال تخمین زده می‌شود (برشان، ۱۳۸۸). مطابق به‌روزترین آمار، درحال حاضر در شهرستان فهرج تنها ۱۵ قنات فعال وجود دارد (اداره جهاد کشاورزی شهرستان فهرج، ۱۴۰۳).

ریگان و گنبکی: این دو شهرستان از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۴۰۲ در قالب یک شهرستان واحد به نام ریگان بودند و وجه تسمیه نام آن به ریگزراهای گسترده اطراف آن برمی‌گردد. نظام آبیاری مبتنی بر واحد «گاوبند» یکی از ویژگی‌ها تمدن قناتی این منطقه بوده است که هر گاوبند مقدار زمینی است که در مدت ۱۲ ساعت با دو گاواهن کشت می‌شده است و هر دو گاوبند یک دمن (Demn) را می‌سازند که هر دمن نیز ۲۴ ساعت است. یکی از قدیمی‌ترین قنات این منطقه «گران» نام دارد که قدمت آن تا دوره اشکانیان تخمین زده شده است (برشان، ۱۳۸۸). درحال حاضر شهرستان ریگان فقط دو قنات فعال (با مالکیت شخصی و عام‌المنفعه) دارد. و برای شهرستان گنبکی ۱۳ رشته قنات فعال باقی‌مانده است (اداره جهاد کشاورزی شهرستان ریگان، ۱۴۰۳).

باتوجه به اطلاعات ارائه‌شده، به نظر می‌رسد شرایط زمین‌شناختی و منابع آب‌های زیرزمینی در شرق استان کرمان، بستر مناسبی برای ایجاد تمدنی مبتنی بر قنات فراهم کرده است. نشانه‌هایی از این تمدن شامل فرهنگ پایدار قنات‌داری، قدمت طولانی، دبی قابل‌توجه و تعداد زیاد قنات است که بر اهمیت و غنای این سیستم تأکید دارند.

با وجود ارزش‌های گوناگون این دارایی تاریخی، آمار ارائه شده در بالا بیانگر آن هستند که از آن آمار ۳۹۵ رشته قنات گزارش شده برای مجموع پنج شهرستان شرقی استان کرمان، درحال حاضر، مجموعاً فقط ۷۴ رشته قنات به‌جای مانده است که تغییرات کمی و کیفی آب آنها نیز، نیاز به مطالعات بیشتر دارد. هر چند که شاید این آمار در شرایط کنونی و در مقایسه با بسیاری از نواحی قناتی کشور، عدد مطلوب و قابل توجهی نیز به نظر برسد، اما واقعیت آن است که در مقایسه با گذشته خود این منطقه، آمار بسیار نگران‌کننده‌ای محسوب می‌شود. شایان ذکر است که گزارش‌ها و مشاهدات حاکی از آن است که عوامل متعددی ازجمله نقض حریم قنات موجب شده است کیفیت آب قنات‌های شرق استان کرمان نیز، خصوصاً در نواحی شهری طی سالیان اخیر با آسیب‌هایی مواجه باشد.

• روش پژوهش

این پژوهش با رویکرد کیفی و روش تحلیل محتوا انجام شده است. ابزار گردآوری داده‌ها، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته بوده و جمع‌آوری داده تا زمان رسیدن به اشباع نظری در سال‌های ۱۴۰۰ الی ۱۴۰۲ انجام شد. جامعه آماری پژوهش از یکسو ذی‌نفعان و افراد مرتبط با قنات و از سوی دیگر عموم مردم بوده اند. براساس اطلاعات جدول (۱)، نمونه انتخابی نیز ۴۰ نفر از مالکان قنات، مقنی‌های خبره، کارشناسان ادارات دولتی مربوط به این حوزه و عموم ساکنان منطقه مورد مطالعه بوده‌اند. دستیابی به نمونه‌ها نیز با روش گلوله‌برفی صورت گرفته است.

جدول ۱- نحوه توزیع تعداد مصاحبه شونده‌گان

مصاحبه شونده	مالک قنات	مقنی خبره	کارشناس دولتی	عموم مردم	مجموع
تعداد	۱۰	۴	۴	۱۲	۳۰

چنان‌که گفته شد، در این پژوهش، برای تحلیل و تفسیر داده‌ها یعنی محتوای مصاحبه‌ها، از روش تحلیل محتوای کیفی استفاده شده است. مصاحبه‌ها به شیوه عمیق و غیررسمی انجام شده، چرا که معمولاً غنی‌ترین داده‌ها از دل گفتگوهای غیررسمی به‌دست می‌آیند (Deterding و Waters، ۲۰۲۱). برای تحلیل محتوا نیز تکنیک کدگذاری و طبقه‌بندی داده‌ها، شکل دهنده فرایند پردازش داده‌های این پژوهش بوده است.

دو سوال اصلی این پژوهش موارد زیر بوده اند:

۱. انواع گونه‌های نقض حریم قنات در شهرستان‌های شرقی استان کرمان چه هستند؟
۲. دلایل نقض حریم قنات در شهرستان‌های شرقی استان کرمان چه هستند؟

جایگزین قنات شده است. سطرهای زیر، سخنان یکی از مالکان قنات روستایی در شهرستان نرماشیر است که قنات خود را از دست داده و موفق به احیای آن نشده‌اند:

"دبی آب قنات مون ۵۰ لیتر در ثانیه بود. سال ۹۰ زمانی که سیل اومد، قنات از بالا ریزش کرد و دچار گرفتگی شد ... بارها به ... مراجعه کردیم اما برای تامین اعتبار یا وام برای بازسازی هیچ کمکی به ما صورت نگرفت ... راحت‌ترین راهی که به ما پیشنهاد شد زدن چاه به جای قنات بود ... در طی ۸ سال با اجاره آب از سد نساء درخت‌ها رو آبیاری میکردیم تا اینکه در نهایت بعد از ۹ سال مجوز چاه با برداشت ۱۸ لیتر در ثانیه گرفتیم و چاه زدیم و موتور گذاشتیم. من هنوز هم دلم به این موضوع رضا نیست چون اگر برق قطع بشه یا مثلاً چند روز مشکل برق به وجود بیاد دیگه تو منطقه آب خوردن هم پیدا نمیشه چه برسه به آب کشاورزی" (مصاحبه شماره ۲)

علاوه بر این، ضعف در انجام کارشناسی‌ها در اجرای عادلانه قانون و اعطای مجوز حفر چاه برای مصارف کشاورزی و غیرکشاورزی، در حریم آبخوان قنات از دیگر موارد ذکر شده در این زمینه بودند: "بله، خیلی از چاه‌های مجاز مسئله دارند. مثلاً چاه آقای ... و چاه ... با کارشناسی غیرعادلانه و در حریم قنات ... مجوز گرفتند." (مصاحبه شماره ۷)

«بررسی‌ها حاکی از آن است که در حوزه مورد مطالعه، حفر چاه‌های موتورپمپ‌دار، تا کنون بیشترین تاثیر منفی خود را در منطقه بروات آشکار کرده است. براساس آمار اداره آب منطقه‌ای شهرستان بم، فهرست قنات‌های خشک شده در محدوده شهر بروات عبارتند از: سیداحمدی، جهرگنارو، بُرز گنارو، بُرز رشیدی، گرگین، فردوس، بُرز حسین آباد، قنات» (اداره منابع آب شهرستان بم، ۱۴۰۰). "چاه‌های آب شرب شهر بم، قنات‌های ما رو در شهر بروات خشک کردن. بعدم بهمون مجوز چاه به جای قنات دادن که کفاف آبیاری باغ‌هامون رو نمیده. قیمت آب توی بروات سر به فلک گذاشته و دیگه کشاورزی توجیه اقتصادی نداره" (مصاحبه شماره ۵)

"تهدید خشکیدگی قنات در نواحی شمالی شهر بروات جدی‌تر است و عواملی چون حفر چاه‌های عمیق و خشکسالی مهمترین دلایل این وضعیت‌اند." (مصاحبه شماره ۹)

۱-۲ چاه‌های غیرمجاز

علاوه بر چاه‌های عمیقی که در صحت کارشناسی مجوزشان تردید وجود دارد، بررسی‌ها نشان می‌دهد که عدم آگاهی عموم مردم از عوارض جدی ناشی از تخلیه آبخوان‌ها، منجر به دست‌اندازی غیرمجاز و منفعت طلبانه به سفره‌های آب زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در املاک شخصی نیز شده است. درحالی‌که قنات در برابر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موتورپمپ‌دار توان ایستادگی ندارند (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۹۱).

پیش از پرداختن به دلایل و عوامل نقض حریم قنات در منطقه مورد مطالعه، لازم بود ابتدا به اثبات و شفاف‌سازی موضوع پژوهش، یعنی نقض حریم قنات، پرداخته شود. به این منظور، مصاحبه‌هایی با افراد مرتبط شامل حقابه‌داران، مقنی‌ها و کارشناسان نهادهای دولتی مرتبط انجام شد که نتایج آن در ادامه ارائه می‌شود. در نتیجه این گفتگوها و با الهام از دسته بندی مرسوم وزارت نیرو در تفکیک سه نوع حریم ضرری، هوایی و کیفی برای قنات، موارد و مثال‌های دریافت شده از مصاحبه شونده‌گان در خصوص نقض این سه حریم در منطقه مورد مطالعه، نیز در قالب همین دسته‌بندی، نظام داده شدند. براساس دستورالعمل‌های رایج وزارت نیرو، تعریف سه حریم بیان شده به شرح مختصر ذیل می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۹۲):

حریم ضرری: تداعی کننده مفهوم حریم کمی است و به محدوده‌ای گفته می‌شود که برداشت آب در محدوده آن موجب کاهش آب‌های زیرزمینی می‌شود.

حریم کیفی: عبارت است از تعیین محدوده‌ها یا حریم‌های حفاظت کیفی در چندین سطح برای منابع آب زیرزمینی در مقابل آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی که برای هر کدام از سطوح حریم کیفی، محدودیت‌ها و تغییرات خاص فعالیت‌های انسانی وضع شود.

حریم هوایی: به محدوده‌ای گفته می‌شود که نقض آن الزاماً با نقصان کمی یا کیفی آب قنات همراه نیست اما برای کالبد و ساختار بدنه قنات آسیب‌زا است.

لازم به توضیح است براساس قوانین جاری کشور، متولی تعیین حریم قنات شرکت‌های آب منطقه‌ای استانی می‌باشند، اما برای پیچیدگی موضوع، سازمان‌های ذی‌مدخل دیگری مانند شرکت‌های آبفای کشوری، شهری و روستایی، سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و همچنین شرکت‌های مشاور و پیمانکار نیز در این موضوع نقش ایفا می‌کنند.

• نقض حریم قنات

۱. نقض حریم ضرری

۱-۱ چاه‌های مجاز

بر اساس ماده ۱۶ قانون آب‌های زیرزمینی، وزارت نیرو می‌تواند اجازه حفر چاه یا قنات در حریم چاه یا قنات بایر یا متروک را صادر نماید (قانون توزیع عادلانه آب، ۱۳۶۱). باتوجه به متن این قانون، این راهکار بایستی به عنوان آخرین راهکار ممکن و بعد از طی کردن همه راه‌های احیای قنات پیش پای حقابه‌داران گذاشته شود. باین‌وجود بر اساس مصاحبه‌های انجام شده، در مواردی، صرفاً به دلیل عدم توانایی یا اهتمام حقابه‌داران برای احیای قنات، چاه

۲. نقض حریم کیفی

۲-۱ فاضلاب شهری

یوسفی و همکاران (۱۴۰۱)، آلودگی منابع آب زیرزمینی به نیترات در شهرهایی مانند تهران، اراک و مشهد ناشی از تخلیه فاضلاب به چاه‌های جذبی، تخلیه پساب صنعتی، نفوذ سموم دفع آفات به سفره‌های زمینی و ... بوده است (یوسفی و همکاران، ۱۴۰۱)، و موارد متعدد دیگری از ورود یا نفوذ انواع آلودگی‌ها به آب قنات در گزارش‌ها و مقاله‌های مختلف قابل مشاهده می‌باشد (نجف‌پور و همکاران، ۱۳۹۹؛ فخری و همکاران، ۱۳۹۴). در منطقه مورد مطالعه نیز بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی، پاک و عاری از آلاینده بودن آب برخی از قنات را تایید می‌کند چرا که ساخت‌وسازهای غیراصولی و عدم رعایت حریم قنات در هنگام حفر چاه‌های فاضلاب طی سال‌های اخیر، منجر به آلودگی آب قنات شده است. به‌عنوان مثال براساس بررسی‌های آزمایشگاه اداره آب و فاضلاب شهرستان بم، آب برخی قنات‌ها غیرقابل شرب گزارش شده است.

درحالی‌که در گذشته‌ای نه چندان دور، باور به پاک و منزه بودن آب قنات یک اعتقاد رایج در بین ساکنان منطقه مورد مطالعه بوده است و مشاهدات حاکی از آن است که این باور هنوز در بین برخی از خانواده‌ها رایج بوده و ایشان بدون آگاهی از نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی، هنوز استفاده از آب قنات را به آب لوله‌کشی شهری را برای شرب ترجیح می‌دهند.

"نباید تو مسیر قنات خونه می‌ساختن که ساختن. حالا حداقل باید فاضلابشون رو سپتیک کنن." (مصاحبه شماره ۵)

«به نظرم باید در مورد اینکه آب بعضی از قنات‌های شهری دیگه غیرقابل شرب و آلوده هست، به مردم اطلاع‌رسانی بشه، تازه از همه قنات‌ها هم که نمونه‌بردای نمیشه» (مصاحبه شماره ۱۸)

۲-۲ صنایع آلاینده

صنایع آلاینده ازجمله منابع ایجاد آلودگی برای منابع آب زیرزمینی به‌شمار می‌روند. به‌عنوان مثال سدهای باطله کارخانجات فرآوری فلزات سنگین یا سمی، که محلی برای جمع‌آوری و نگهداری پساب‌ها و مواد باطله حاصل از این کارخانجات هستند، ازجمله مکان‌های با احتمال بالای نشر آلودگی به آب و خاک محسوب می‌شوند (رستمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ محب‌علی و همکاران، ۱۳۹۸).

در سطرهای زیر، به برخی از دیدگاه‌ها و نظرات مصاحبه‌شوندگان درباره این موضوع در منطقه مورد مطالعه اشاره شده است:

"اگر کارخونه فرآوری روی رو توی دشت ریگی دارین می‌زدن، آلودگی‌ش وارد قنات‌های ما می‌شد و آب و کشاورزیمون نابود می‌شد." (مصاحبه شماره ۸)

«در ماجرای احداث کارخانه فرآوری روی در دارزین، خطر بزرگی از کنار گوش قنات شهر بم و روستاهای پیرامونی‌اش دور شد. چرا که در صورت ورود آلودگی پسماند فلزات سنگین و سمی،

اطلاعات غیر رسمی به‌دست آمده از مصاحبه‌ها نشان می‌دهد که در محدوده شهرستان بم، بیشترین تعداد چاه‌های غیرمجاز شرب و کشاورزی در بخش بیلاقی دهبکری قرار دارد. همچنین چهار شهرستان دیگر یعنی نورماشیر، فهرج، گنبدکی و ریگان نیز سهم بالایی از این چاه‌های غیرمجاز را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از کارشناسان مورد مصاحبه تخمین خود را درباره تعداد چاه‌های غیرمجاز در شرق استان کرمان به این صورت اعلام نمود:

"آمار دقیقی از چاه‌های غیرمجاز نداریم. اما احتمالاً تعدادشان در شرق استان کرمان، بیش از ۱۰۰۰ حلقه است." (مصاحبه شماره ۷)

یکی از مقتیان خبره محلی، این‌گونه بیان کرده است:

« من همیشه میگم که حریم واقعی ما بندرعباس هست، چون موتورپمپ چاه‌ها از اون جا میاد.» (مصاحبه شماره ۴)

۱-۳ احداث سد

در پژوهشی که سعیدی فر و همکاران (۱۳۹۸) با عنوان "شناسایی عوامل موثر بر منابع آب زیرزمینی و پیش‌بینی سطح تراز و تغییرات آن در حوضه آبخیز جازموریان" در سال ۱۳۹۸ انجام دادند، تاثیر سازه سطح زمینی سد با همبستگی ۸۳ درصدی، بیشترین تاثیرمنفی را بر افت شدید سطح سفره‌های زیرزمینی داشته و چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. بررسی‌ها نشان می‌دهد احداث سد نسا در منطقه مورد مطالعه حاضر نیز تاثیر بزرگی در خشک شدن قنات‌های شهرستان‌های نورماشیر، فهرج، گنبدکی و ریگان داشته است.

حقابه‌دار یکی از قنات‌های شهرستان فهرج، شرح تجربه خشکیدگی قنات‌شان را به‌صورت زیر روایت می‌کند: "قنات ما یکی از قنات‌های معروف زمان خود بود. خیلی آبدهی خوبی داشت، به‌طوری‌که کل ده از آن آبیاری می‌شد. آب به مرور کم شد تا اینکه دیگر کلا ایستاد. پس از دوندگی‌های زیاد برای بازسازی به نتیجه‌ای نرسید. در آخر علت را که پیگیری کردیم گفتند علت آن سد است. گویا قرار بوده مقداری آب از سد در زمان‌های تعیین شده به دشت راهی شود که متأسفانه انجام نشده است. این کم‌آب شدن روی قنات‌های دهات اطراف نیز اثر گذاشته است. بعدها با تلاش فراوان، یک چاه موتور پمپ دار، جایگزین قناتمان شد ولی آن کجا و این کجا. با این تفاوت که کشت حنا و گندم و صیفی‌جات به علت کمبود آب در ده به فراموشی سپرده شد." (مصاحبه شماره ۱)

نظرات دو تن دیگر از مصاحبه‌شوندگان نیز از این قرار بوده است: "در اغلب موارد، بستر رودخانه‌ها در مناطق کویری مانند دهان آبخوان عمل می‌کند. وقتی احداث سد، مانع از جاری شدن آب به رودخانه‌های محلی شد قابل پیش‌بینی بود که قنات‌های پایین‌دست یکی پس از دیگری خشک شوند." (مصاحبه شماره ۷)

"از بچگی توی قنات‌های فهرج کار می‌کردم اما بعد از خشکسالی‌ها و زیاد شدن چاه‌ها و سد نسا، دیگه قناتی نمونده" (مصاحبه شماره ۳)

تا سالها امکان اصلاح آن وجود نداشت و ما الان نگران احتمال ایجاد منبع آلودگی جدید از طریق صنایع خودروسازی هستیم.» (مصاحبه شماره ۱۷)

۳. نقض حریم هوایی

۳-۱ خیابان کشی نایمن روی قنات

عدم توجه به حریم کمی و کیفی قنات که از یک سو سبب آسیب پذیری آنها از سویی دیگر ریسک های مترتب از قنات به شهر و شهروندان آن شده است (مسعودی آشتیانی و همکاران، ۱۴۰۲). در ادامه بیان پیامدهای ناشی از عدم رعایت حریم قنات، باید به خیابان کشی های غیر ایمن در مسیر قنات اشاره نمود. به عنوان مثال در نتیجه بررسی های انجام شده در شهر بم، مصاحبه شونده گان از وجود آسیب هایی جدی در زیر خیابان کشی های جنوب و غرب این شهر صحبت کردند. پیگیری های بیشتر منجر به شناسایی یک حفره بزرگ در کانال قنات قنبرآباد-شیخی در جوار بلوار شهید محمدآبادی شهر بم شد. بر اساس مشاهدات و نظر برخی خبرگان مورد مصاحبه، در زمان نگارش این مقاله، از ضخامت خاک باقیمانده روی این حفره کمتر از یک متر باقی مانده است، که خبر از احتمال جدی ریزش در این محل می دهد. موضوع نگران کننده تر این است که باوجود تابلوهای ممنوعیت تردد کامیون، یکی از مهم مهمترین پارکینگ های شخصی جرتقلیل ها و ماشین آلات در شهر بم، در همین محدوده واقع شده است.

"مظهر برخی از قنات مهمی که آب کشاورزی محدوده شهری بم را تامین می کنند در غرب شهر واقع شده اند. به این ترتیب قابل تصور است که در این محدوده کانال قنات به سطح زمین نزدیک شده و در نتیجه لایه میان کانال قنات و سطح زمین، چندان ضخیم نمی باشد. خیابان در این مناطق و عبور و مرور خودروها در این مناطق با احتمال همراه است." (مصاحبه شماره ۹)

"از زیر پیاده روی بین پارک افلاطونیان و خیابون، کانال قنات قنبرآباد-شیخی رد میشه. اونجا اندازه یک اتاقی باز شده. لایه نازکی، به نظرم کمتر از یک متر فقط مونده و خطرش خصوصاً با عبور ماشینای سنگین خیلی زیاده." (مصاحبه شماره ۵)

۳-۲ مسدود شدن دهانه میله چاه ها

با افزایش جمعیت و گسترش مناطق مسکونی در باغشهر بم، در حال حاضر میله چاه های پرشماری در این نواحی قرار دارند. پوشیده شدن دهانه این میله چاه ها از جمله عواملی است که پیامدهای زیر را به دنبال خواهد داشت:

- امر اکسیژن رسانی به مقنی ها را مختل می کند.
- مدت زمان دسترسی به بخش نیازمند لایروبی و ترمیم را بسیار افزایش می دهد.

- تشخیص مسیر قنات و جانمایی ساخت و سازهای آتی را با دشواری همراه می کند.

"سر خیلی از میله چاه های قنات توی شهر گرفته شده و حتی روی بعضی هاشون آسفالت هم شده. حالا اگر مشکلی پیش بیاد نمیتونیم راحت به اون محل دسترسی داشته باشیم. خطر هم داره." (مصاحبه شماره ۵)

"چند سال پیش، شهرداری بم نیاز به اطلاع از عمق یک میله چاه در حوالی بلوار شهید محمدآبادی داشت. اما پس از چند ساعت تلاش کارگران و همچنین استفاده از بیل مکانیکی، و باوجود راهنمایی های نماینده قنات، موفق به یافتن محل دقیق میله چاه مورد نظر نشدند. در آخر به دلیل احتمال آسیب رسانی به انشعابات آب و گاز عبوری از محل، فعالیت های یافتن دهانه میله چاه مورد نظر متوقف شد. همچنین از آنجایی که دهانه سایر میله چاه های قبلی و بعدی نیز مسدود بوده، امکان ورود به کانال قنات از زیر نیز به راحتی میسر نبوده است (تصویر مربوطه در شکل (۲) قابل مشاهده است)." (مصاحبه شماره ۱۴)



شکل ۲- تلاش بی ثمر برای یافتن دهانه مسدود شده یک میله چاه قنات در جوار بلوار سردار محمدآبادی شهر بم، اردیبهشت ۱۴۰۰

۳-۳ کاشت درخت های با ریشه پایین رونده

کاشت درخت غیربومی اکالیپتوس طی دهه های قبل در مسیر قنات بم، در برخی موارد موجب آسیب های مکرر به کانال قنات شده است. بنا به گفته مقنی های با تجربه، این درختان در بعضی موارد حتی منجر به بند آمدن کامل آب نیز شده اند.

"چند وقت قبل یه وانت پر از ریشه اکالیپتوس از تو قنات خیابون ... در آوردیم." (مصاحبه شماره ۱۱)

"کاشت درختان اکالیپتوس در خصوصاً غرب شهر بم بدون مطالعه و توجه به وجود کانال قنات صورت گرفته است." (مصاحبه شماره ۷)

«به خاطر ریشه درخت ها قراره روال قنات رو بندازیم اون طرف بلوار و جابه جاش کنیم. اینجوری خیلی خرابی میشه همیشه.» (مصاحبه شماره ۱۱)

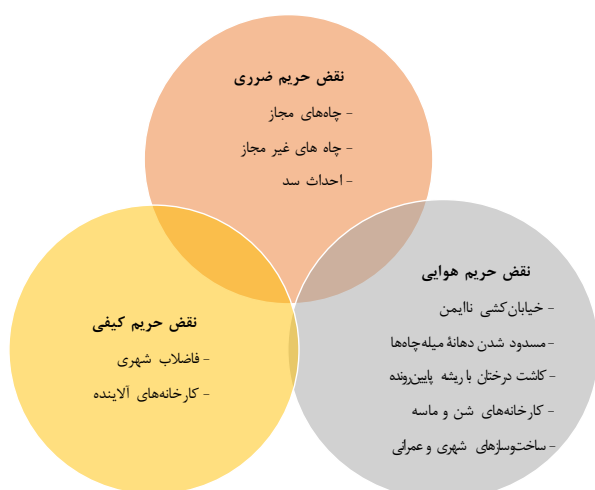
۳-۴ کارخانه های شن و ماسه

طی پژوهش اخیر، یکی از مهمترین گلایه ها و نگرانی های مالکان قنات، فعالیت معادن شن و ماسه در حریم قنات، شناخته شده

حریم قنات در منطقه شرق استان کرمان، در قالب ۳ نوع نقض حریم ضرری، هوایی و کیفی قنات و ۱۰ محور زیر آن‌ها، شناسایی و دسته‌بندی شدند. این مقوله‌بندی در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل ۳- خشک شدن قنات پرآب قنبرآباد شیخی شهرستان بم به علت انسداد یکی از میله‌چاه‌ها در اثر عملیات عمرانی- اردیبهشت ۱۴۰۱



شکل ۴- انواع نقض حریم میراث قنات در شرق استان کرمان

• دلایل نقض حریم قنات

در بخش قبل ملاحظه شد، حریم قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه از جنبه‌های مختلف مورد نقض و آسیب قرار گرفته است. به همین جهت و با هدف واکاوی عوامل شکسته شدن حریم قنات، مصاحبه‌هایی با افراد مرتبط با حوزه قنات و همچنین تعدادی از شهروندان عادی صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شد. این جدول در واقع خروجی حجم بزرگی از داده‌های گردآوری‌شده می‌باشد که پس از پیاده‌کردن متن مصاحبه‌ها و کدگذاری اولیه به دست آمدند. در ادامه، با گروه‌بندی عوامل براساس شباهت‌ها در محتوای گفته‌های مصاحبه‌شوندگان، کدهای اصلی مربوط به موضوع تحقیق استخراج شدند.

است. به‌عنوان مثال مطابق سخنان نمایندگان قنات، طی سال‌های اخیر قنات‌های بهجت آباد-فرخ آباد و همچنین قنات مهدی آباد که هر دو از مهمترین قنات‌های مشروب کننده شهر بم هستند، چندین بار با تخریب جدی و یا قطع آبدهی بر اثر فعالیت‌های معادن شن و ماسه روبه‌رو شده اند. این موضوع، علاوه‌بر ایجاد ضرر و زیان‌های مالی به کشاورزان و محصولات ایشان، منجر به تنش و استرس زیادی برای ایشان بوده، و باز بودن پرونده‌های قضایی مرتبط با این موضوع از دیگر پیامدهای اجتماعی چنین رخدادهایی می‌باشد.

"محل خاک‌برداری ماشین های کارخونه شن و ماسه، روی کانال و کنار میله چاه‌های قنات ما هست و هر آن ممکنه قنات ریزش کنه." (مصاحبه شماره ۱۲)

"چقدر دوندگی کردیم و دادگاه رفتیم تا تونستیم جلوی فعالیت کارخونه شن و ماسه قبلی اون سمت جاده رو که تو حریم قنات مون بود بگیریم" (مصاحبه شماره ۸)

۳-۵ ساخت و سازهای شهری و عمرانی

ضعف برنامه‌ریزی دقیق در توسعه شهری و تعیین سمت و سوی مناسب رشد آن، می‌تواند موجب بروز خسارات و هزینه‌هایی غیرقابل‌جبران شود. به‌عنوان مثال گسترش کالبدی برخی شهرها در ایران بر روی حریم قنات یکی از آثار رشد بدون مطالعه و برنامه‌ریزی دقیق است، چرا که سالانه در اثر فروریزش کالبد قنات، ده‌ها ساختمان در ایران دچار حادثه می‌شوند (صیامی و همکاران، ۱۳۹۷). به‌عنوان مثال نتایج پژوهش نظم‌فر و عشقی (۱۳۹۵) نشان می‌دهد ساخت‌وسازهای انجام شده بر روی مسیر قنات‌ها در منطقه ۳ شهرداری تهران ازجمله عواملی است که ریسک حجم بالای تلفات انسانی و خسارت‌های مالی در صورت بروز زلزله را با خود به همراه دارد. واقع شدن برخی میله چاه‌ها، در محدوده خانه‌های شخصی از دیگر تهدیدهای عدم رعایت حریم قنات به‌شمار می‌آید:

"در حدود سال ۱۳۸۰ آسیب و ریزش ناشی از میله چاه منجر به بند آمدن آب یک قنات شده بوده است. این میله چاه در وسط هال یک منزل شخصی در محدوده خیابان امیرکبیر قرار داشته است. در حاضر نیز بالا آمدن آب قنات مهدی آباد، در زیر یکی از منازل مسکونی خیابان ۲۲ بهمن، منجر به آسیب دیدن و تخلیه خانه مذکور شده است." (مصاحبه شماره ۱۴)

"بله فکر کنم اردیبهشت ۱۴۰۱ بود که موقع ساخت بلوار بیرون شهر، کم دقتی کردن و یکی از میله چاه‌های قنات قنبرآباد-شیخی پر شد و حدود ۲۰ روز آب قناتمون مسدود بود (تصویر مربوط به این واقعه و خشک شدن مظهر قنات قنبرشیخی، در شکل (۳) قابل مشاهده است)." (مصاحبه شماره ۱۱)

براین‌اساس، مجموع شواهد و نمونه‌های بیان شده از نقض

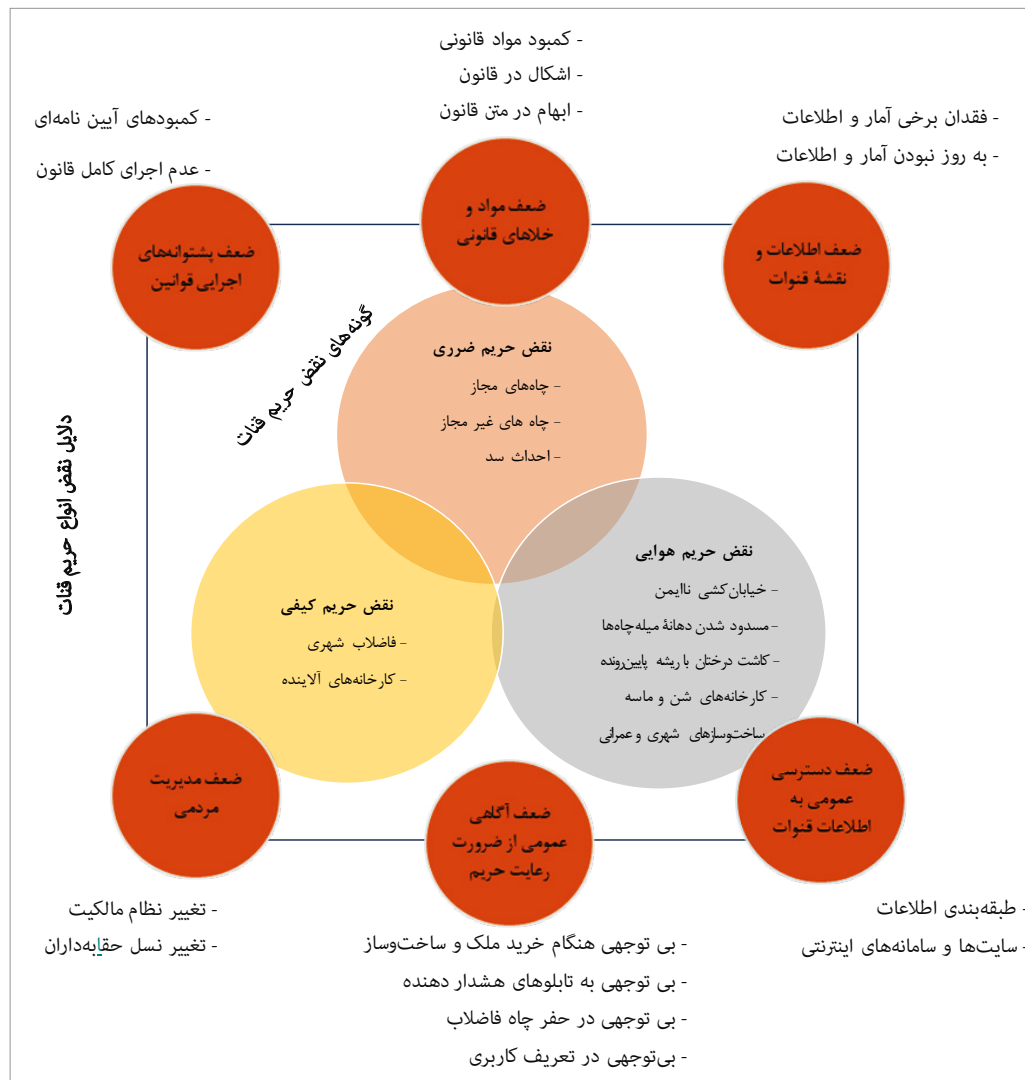
جدول ۲- عوامل موثر در نقض حریم قنات شرق استان کرمان

عبارت / محتوا	کد گذاری باز	کد گذاری محوری
«نه ما اصلاً در زمان خرید و ساخت خونه به موضوع قنات‌هایی که می‌دونستیم از این منطقه رد میشن، توجه نکردیم.» (مصاحبه شماره ۲۲)	بی‌توجهی هنگام خرید ملک و ساخت‌وساز	ضعف آگاهی عمومی از ضرورت رعایت حریم
«دورادور شنیده بودیم که از این حوالی چند تا قنات رد میشه اما دقیق پرس‌وجو نکردیم هیچ وقت.» (مصاحبه شماره ۲۴)		
«زمین ما روی قنات قرار داره، ولی میله چاهی داخل زمین مون نیست. زمین دور دیوار شده و داخلش با کلی هزینه بنا ساختیم. هم ساختمان و هم چاه فاضلاب کمتر از ۱۰ متر از مسیر قنات فاصله دارن. البته برای لای روبی مشکلی ایجاد نکرده. حالا بعضی‌ها می‌کنن باید ساختمان رو تخریب کنیم.» (مصاحبه شماره ۲۹)		
«نه راستش تا به حال توجهی به تابلوی هشدار عبور قنات و کاهش سرعت نداشتم.» (مصاحبه شماره ۲۱)		
«منظورتون کدوم خیابون و تابلو هست؟ دقت نکردم تا حالا» (مصاحبه شماره ۲۸)	بی‌توجهی به تابلوهای هشدار دهنده	
«آقای ... با وجود اینکه میدونه فاضلاب خونه‌ش کنار کوره قنات هست، هیچ اقدامی انجام نمیده و حتی سعی میکنه از روابطی برای ورودی قانون به موضوع جلوگیری کنه. نمیدونم چرا سپتیک نمیکنه یا چاهش رو جابه‌جا نمیکنه.» (مصاحبه شماره ۱۴)	بی‌توجهی در حفر چاه فاضلاب	
«به نظرم صاحب پارکینگ جرثقیل و ماشین‌های سنگین اصلاً متوجه به ضرورت موضوع کوره قنات‌ها و خطری که برای خودش و بقیه وجود داره نیست.» (مصاحبه شماره ۱)	بی‌توجهی در تعریف کاربری	
«خیر، بر طبق قانون ما مجاز نیستیم که بدون نامه درخواست رسمی و تایید واحد حراست، اطلاعات، آمار یا نقشه مربوط به قنات را در اختیار متقاضی اعم از کشاورز، پژوهشگر یا عموم مردم بگذاریم.» (مصاحبه شماره ۷)	طبقه‌بندی اطلاعات	ضعف دسترسی عمومی به اطلاعات قنات
«خیر، غیر از اطلاعات عمومی و کلی، آمار دقیق مربوط به قنات بر روی پایگاه‌های اینترنتی و دسترس عمومی قرار ندارد. برخی اطلاعات موجود در مثلاً ویکی‌پدیا هم به روز یا دقیق نیستند.» (مصاحبه شماره ۱)	سایت‌ها و سامانه‌های اینترنتی	
«در مورد میله چاه‌ها و روال کار قنات هیچ نقشه رسمی و دقیقی وجود ندارد. این کار نیاز به ابزار فنی و بودجه لازم دارد.» (مصاحبه شماره ۹)	فقدان برخی آمار و اطلاعات	ضعف اطلاعات و نقشه‌های موجود
«بله قبول دارم که وقتی نقشه نیست، صاحب ملک یا شهرداری هم اطلاع ندارند که بخواهند رعایت کنند. اما به نظرم دست کم میتونند از مالکان قنات کسب اطلاع کنند که مشکلات احتمالی پیش نیاید.» (مصاحبه شماره ۱)		
«متأسفانه آمار و اطلاعات ما از قنات‌هایمان دقیق، کامل و به روز نیست. در مورد نقاط UTM مادرچاه‌ها که مطمئنم خطاهای زیادی وجود دارد. این آمار مربوط به بیش از بیست سال قبل است و با دستگاه‌های قدیمی با خطای قابل توجه، احصا شده‌اند.» (مصاحبه شماره ۱۴)	به روز نبودن آمار و اطلاعات	
«متأسفانه توی شهر بروات و خصوصاً توی قسمت غربی شهر بم، نقشه خیلی از خونه‌ها روی کوره و یا در حریم قنات قرار گرفته، حتی میله‌چاه قنات گاهی زیر ساختمان قرار گرفته و کور شده که هم برای مالکان قنات و مقنی‌ها مشکل‌ساز هست و هم برای صاحب اون خونه، خطر داره. خب الان مشخصه که حریم قنات رعایت نشده. اما آیا دستورالعمل، عزم یا برنامه‌ای وجود داره که بشه با متخلفان برخورد کرد؟ ما که ندیدیم.» (مصاحبه شماره ۱۵)	کمبودهای آیین نامه‌ای عدم اجرای کامل قانون	ضعف پشتوانه‌های اجرایی
«شما ماده ۱۶ قانون توزیع عادلانه آب رو در نظر بگیرید، آیا شما در جایی دیدید که متولی دولتی راساً ورود کند و اقدام به احیای یک قنات بکند؟ ملاحظه می‌فرمایید که از روی آن بخش ماده قانونی همیشه به دلایلی از جمله کمبود منابع مالی یا عزم جدی به راحتی عبور می‌کنیم و کار می‌رسد به مجوز چاه به جای قنات که در انتهای این ماده آمده است.» (مصاحبه شماره ۷)		
«بر طبق قانون عدم رعایت حریم به معنای تجاوز، تعدی و تصرف عدوانی از سوی اشخاص است. اما میبینیم که در بسیاری از نقض حریم‌ها، در عمل با فرد متحلف با نوعی مسامحه‌گری رفتار می‌شود.» (مصاحبه شماره ۱۴)		

عبارت / محتوا	کد گذاری باز	کد گذاری محوری
«مطابق تبصره ماده ۱۷، تشخیص حریم چاه و قنات و مجرا با کارشناسان وزارت نیرو است. متأسفانه تا کنون قانونی مفصل، دقیق و با جزییات همه جانبه برای تعیین حریم قنات نسبت به انواع ساخت و ساز، درختکاری، معدن کاری، حفر چاه آب، حفر چاه فاضلاب، خیابان کشی و ... تهیه و اجرایی نشده است.» (مصاحبه شماره ۸)	کمیود مواد قانونی	
«در قانون توزیه عادلانه آب به تعیین تکلیف برای اموری مانند جابجایی قنات، یا جزئیات فعالیت های مربوط به تعمیر و نگهداری قنات، پرداخته نشده است.» (مصاحبه شماره ۴)		
«یا مثلاً در مصوبه ۱۳۸۹ به چاه های غیرمجاز تا ۴ سال قبل از آن، پروانه بهره برداری اعطا شد که به نظر اشتباه بزرگی بود.» (مصاحبه شماره ۷)		
«به نظر من ابداع اصطلاح «چاه فاقد پروانه» در قانون، خودش نوعی رسمیت بخشیدن به یک کار خلاف بود چون این نام، قبح اصطلاح و «چاه غیرمجاز» را ندارد.» (مصاحبه شماره ۴)	اشکال در قانون	ضعف قانون
«یک اشکال دیگر قانون از نظر من، دادن اختیار سلب مالکیت از قنات متروکه به کارگزار دولت بدون دریافت حکم دادگاه هست.» (مصاحبه شماره ۱۸)		
«... مثلاً در قانون توزیع عادلانه آب مصوب سال ۱۳۶۱، تعیین مجازات متخلفان بسیار مبهم و کلی هست.» (مصاحبه شماره ۷)	ابهام در متن قانون	
«قوانین مربوط به جزییات قنات و خصوصاً حریم قنات اصلاً کفایت نمی کند و در اغلب موارد تصمیم گیری بر مبنای این قوانین کلی و صرفاً با مسئولیت، تفسیر و یا بهتر بگوییم سلیقه کارشناس پرونده مربوطه صورت می پذیرد.» (مصاحبه شماره ۱۴)		
«قنات ... ماشالله با اون همه آب، اما نه هیئت مدیره مشخصی داره و نه کسی میدونه که اصلاً چند تا مالک داره. خب تو این شرایط کی میخواد مراقب اوضاع و احوال قنات باشه؟» (مصاحبه شماره ۳)	تغییر نظام ملکیت	ضعف مدیریت مردمی
«بعد از اصلاحات ارضی و به خاطر قانون تقسیم ارث، سهم آب های قنات خیلی کوچک شده. مثلاً یک شخصی شاید ۳ دقیقه سهم آب داشته باشه. به خاطر همین سهم کم، افراد انگیزه ای برای رسیدگی به کار قنات ندارن و اگر مشکلی پیش بیاد چندان حساسیت ندارن مثل گذشته.» (مصاحبه شماره ۱۳)		
«متأسفانه نمیدونم چرا در بین کشاورزهای جوان، توجهی زیادی به قنات نمیشه و همیشه این پیرمردها هستن که پی رد زن (مراقب و پیگیر) قنات هستن؟» (مصاحبه شماره ۱۱)	تغییر نسل حقه داران	

ضعف اطلاعات و نقشه قنات، ضعف پشتوانه های اجرایی قوانین، ضعف قانون و در نهایت ضعف مدیریت مردمی قابل تشخیص و دسته بندی بوده اند. کد انتخابی مجموع مقوله های شناسایی شده در این بخش «دلایل نقض حریم قنات» بوده است.

به این ترتیب بر اساس یافته های پژوهش، مطابق آنچه که در شکل (۴) مشاهده می شود، عوامل دخیل در نقض حریم قنات منطقه مورد مطالعه، در قالب شش عامل ضعف آگاهی عمومی از ضرورت رعایت حریم قنات، ضعف دسترسی عمومی به اطلاعات قنات،



شکل ۴- گونه‌شناسی انواع و عوامل نقض حریم میراث قنات ایرانی در شرق استان کرمان

نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین جنبه‌ها در خصوص حفاظت از قنات ایرانی، رعایت حریم این قنات است. تعریف انواع حریم قنات و قوانین مربوط به آن از ابتدای شکل‌گیری سازه مورد توجه بوده و در عصر حاضر نیز در قالب قوانین و آیین‌ها به آن پرداخته شده و رسمیت یافته است. با این وجود شواهد حاکی از آن است که طی دهه‌های اخیر وضعیت قنات در ایران رو به ضعف گذاشته، و قنات‌های زیادی بر اثر عدم رعایت حریم آنها، دچار آسیب کیفی و کمی شده‌اند. به عنوان مثال در منطقه مورد مطالعه، بررسی‌ها بیانگر آن است که ضعف پایبندی به رعایت حریم قنات، به عنوان علت اصلی بسیاری از مشکلات مرتبط با قنات قابل شناسایی می‌باشد. این اشکالات عموماً در قالب سه گونه نقض حریم ضرری، حریم هوایی و حریم کیفی قنات، دسته‌بندی می‌شوند. از جمله نمونه‌های نقض حریم ضرری در منطقه مورد مطالعه که موجب نقصان در آینده قنات می‌شود، می‌توان

سیستم استحصال و آبرسانی قنات، سنگ بنای بسیاری از سکونت‌گاه‌های انسانی در طبیعت کویری ایران به‌شمار می‌رود. در واقع به واسطه این ابتکار خردمندانه بوده که زیست بشر در مناطقی همچون شرق استان کرمان که فاقد منابع آبی سطحی دائم بوده، میسر شده است. به همین دلیل، این میراث ارزشمند ایرانی در سال ۲۰۱۶ در فهرست میراث جهانی ثبت شد. هر چند که در این پرونده زنجیره‌ای به طور ویژه از ۱۱ قنات با ویژگی‌های منحصر به فرد یاد شده است، اما باید در نظر داشت که کلیه قنات‌های ایرانی میراثی هستند که با قدمت‌هایی چند صد تا چند هزارساله از گذشتگان بر جای مانده‌اند و حفظ حراست از آنها علاوه بر اهمیت میراثی، موجب پایداری سیستم اکولوژیک منطقه و تداوم منابع آبی زیرزمینی خواهد شد.

به حفر چاه‌های مجاز و غیر مجاز و همچنین احداث سد نسا اشاره کرد. در خصوص نقض حریم هوایی نیز که به منزله عدم رعایت حریم کالبدی قنات است می‌توان به خیابان‌کشی‌های نالیمن، مسدود شدن دهانه میله‌چاه‌ها، کاشت درختان با ریشه پایین‌رونده، عملیات کارخانه‌های شن و ماسه و همچنین ساخت و سازهای شهری اشاره کرد. تهدید حریم کیفی نیز که اشاره به تأثیرات منفی بر کیفیت آب قنات دارد، در منطقه مورد مطالعه در قالب افعالیات کارخانه‌های آلاینده و نفوذ فاضلاب شهری خودنمایی می‌کند.

در خصوص چرایی پیشامد این نقض حریم‌ها، بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر شش عامل و کد محوری شناسایی شد. بر این اساس ضعف آگاهی عمومی از ضرورت رعایت حریم، ضعف دسترسی عمومی به اطلاعات قنات، ضعف اطلاعات و نقشه قنات، ضعف پشتوانه‌های اجرایی قوانین، ضعف قانون و در نهایت ضعف مدیریت مردمی شش کد محوری مورد ذکر می‌باشند.

ضعف آگاهی عمومی در خصوص لزوم رعایت حریم قنات، در قالب چهار بُعد بی‌توجهی هنگام خرید ملک و ساخت‌وساز، بی‌توجهی به تابلوهای هشدار دهنده، بی‌توجهی در محل حفر چاه فاضلاب و در نهایت بی‌توجهی در تعریف کاربری‌ها قابل تشخیص و شناسایی بود. در موضوع ضعف قانونی منجر به نقض حریم قنات هم باید گفت که کدهایی همچون کمبود مواد قانونی، اشکال در قانون و همچنین ابهام در متن قانون، کدهای مستخرج از محتوای گفتگو با مصاحبه شوندگان بود.

در خصوص ضعف پشتوانه‌های اجرایی قوانین مربوط به قنات، دو عامل کمبودهای آیین‌نامه‌ای و عدم اجرای کامل قانون از خلال داده‌های دریافتی قابل دسته‌بندی شناخته بود.

ضعف مدیریت مردمی، عاملی است که اشاره به تضعیف نقش مالکان قنات به‌عنوان مراقبان اصلی و تاریخی حریم قنات دارد. بر اساس داده‌های این پژوهش دو زیر مجموعه تغییر نظام مالکیت (بر اثر اصلاحات ارضی و قانون ارث) و تغییر نسل حبابه‌داران موجب کاهش پیگیری‌ها و حساسیت‌های مالکان نسبت به وضعیت حریم قنات شده است.

همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد موجود یا در دسترس نبودن نقشه و اطلاعات کامل قنات از دیگر دلایل نقض حریم قنات در منطقه مورد مطالعه است. موضوع ضعف اطلاعات و نقشه‌های موجود خود را در قالب دو زیر مجموعه فقدان برخی آمار و اطلاعات و به روز نبودن آمار و اطلاعات نشان داد. موضوع ضعف دسترسی عمومی به اطلاعات قنات نیز در قالب دو کد محرمانه بودن اطلاعات و عدم دسترسی اینترنتی عموم به اطلاعات قنات شناسایی شد. این موضوعات در وضعیتی که به‌عنوان مثال افراد به شکل روز مره، در زمان تصمیم برای خرید

و فروش املاک یا ساخت و ساز نیاز به اطلاع از مسیر کوره قنات دارند، ازاهمیت غیرقابل انکاری دارد. به همین جهت به نظر می‌رسد تجمیع اطلاعات پراکنده موجود و تهیه اطلاعات ناموجود، یک نیاز ضروری برای تداوم حیات سالم قنات و همچنین توسعه پایدار شهری و روستایی بوده و ایجاد یک بانک معتبر از اطلاعات قنات، ضمن پیشگیری از مخاطرات انسانی، اجتماعی، محیط‌زیستی، اقتصادی و ... موجب تسهیل دسترسی نهادهای دولتی، خصوصی و شهروندان به اطلاعات مورد نیازشان در زمینه قنات خواهد شد. هرچند که تصمیم‌گیری درباره نحوه دسترسی عمومی به اطلاعات و نقشه‌های قنات، احتمالاً نیازمند تصمیمات در سطح مدیریتی بالاتر است.

پیشنهادهای کاربردی

در انتها با نظر به یافته‌های این تحقیق، پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

- اجرای برنامه‌های فرهنگی و آموزش‌های عمومی خصوصاً در مناطق قناتی (فعال یا غیر فعال)، در خصوص اهمیت قنات و لزوم رعایت حریم انواع آنها
- تهیه بانک اطلاعات قنات کشور، شامل آمار و اطلاعات به روز و نقشه‌های GIS دقیق
- تسهیل دسترسی عمومی به اطلاعات ضروری قنات
- افزودن اطلاعات مربوط به وجود قنات یا حریم قنات در پرونده‌های املاک پیرامونی
- تدقیق و غنی‌سازی قوانین مربوط به حریم قنات
- تقویت پشتوانه‌های اجرایی و الزام‌آور ذیل قوانین مصوب در خصوص حریم قنات
- اتخاذ راهکارهای تقویت مدیریت مردمی آب قنات و برون رفت از آثار سوء ناشی از کوچک شدن سهم حبابه‌ها
- همچنین به سایر پژوهشگران علاقمند پیشنهاد می‌شود، مطالعات مشابه این پژوهش را در نقاط دیگر ایران نیز اجرا نمایند. انجام پژوهش با استفاده از روش‌های آماری کمی و یافتن ضرایب همبستگی بین متغیرها نیز از کارهای مفید برای کمک به تصمیم‌گیران و مدیران دولتی خواهد بود.

سپاسگزاری

از همکاری ادارات جهاد کشاورزی و ادارات منابع آب شهرستان‌های بم، نرماشیر، فهرج، گنبدکی و ریگان، بابت در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات قنات صمیمانه سپاسگزارم. همچنین قدردان لطف همراهی کلیه کارشناسان رسمی و خبره قنات و سایر افراد مشارکت‌کننده در انجام مصاحبه‌ها هستم.

کانی کاران تکاب). مجله پژوهش در بهداشت محیط، ۸(۲)،

doi: 10.22038/jreh.2022.63373.1482 .۱۹۲-۱۸۲

سعیدی‌فر، زهرا، رحیمی، محمد، لطفی‌نسب‌اصل، سکینه، خسروشاهی، محمد، و یزدانی، محمدرضا. (۱۳۹۸). شناسایی عوامل مؤثر بر منابع آب زیرزمینی و پیش‌بینی سطح تراز و تغییرات آن در حوضه آبخیز جازموریان. تحقیقات مرتع و بیابان

ایران، ۲۶(۱)، ۱۴۳-۱۵۷. doi: 10.22092/ijdr.2019.119333

صیامی، قدیر، گلمحمدی، محمد، و طالبی، علی. (۱۳۹۷). بررسی مخاطرات قنات‌ها در مدیریت بحران شهری (نمونه موردی: شهر نیشابور). مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، ۹(۴)، ۸۳-۹۷.

طباطبایی، سید مصطفی، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۳۹۸). بررسی اثر دانش بومی قنات بر ابعاد توسعه پایدار. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۷(۱)، ۳۱-۴۴.

فخری، میرسجاد، اصغری مقدم، اصغر، نجیب، مرتضی، و برزگر، رحیم. (۱۳۹۴). بررسی غلظت نیترات در منابع آب زیرزمینی دشت مرنده و ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روش‌های AVI و GODS. محیط‌شناسی، ۴۱(۱)، ۴۹-۶۶.

doi: 10.22059/jes.2015.53899

فرجی سبکبار، حسنعلی، اکبرپور سراسکانرود، محمد، و محبی، علی‌اکبر. (۱۳۹۱). بررسی تطبیقی بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی روستایی به‌وسیله قنات و چاه (مطالعه موردی: بخش‌های شوقان و سنخواست شهرستان جاجرم). پژوهش‌های جغرافیایی

انسانی، ۴۴(۳)، ۲۱-۴۴. doi: 10.22059/jhgr.2012.24979

قانون توزیع عادلانه آب. (۱۳۶۱). مجلس شورای اسلامی ایران. تهران، ایران.

کرجی، ابوبکر محمدبن الحسن الحاسب. (۱۳۴۵). استخراج آب‌های پنهان. ترجمه حسین خدیوچم. بنیاد فرهنگ ایران زمین. تهران، ایران.

محب‌علی، سجاد، مقصودی، سروش، و دولتی ارده‌جانی، فرامرز. (۱۳۹۸). استفاده از استراتژی‌های اولویت‌بندی داجسون، کم‌نی و کوهرلر در ادغام نتایج حاصل از روش‌های مختلف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی. نشریه مهندسی معدن، ۱۴(۴۴)، ۸۶-۶۹.

doi: 10.22034/ijme.2019.37347.

مختارنیا، کاظم، طالبیان، محمد حسن، و عشرتی، پرستو. (۱۴۰۱). توسعه چهارچوب نظری ارزش در قنات ایرانی. مطالعات معماری

ایران، ۱۱(۲۱)، ۲۰۵-۲۲۳. doi: 10.22052/jias.2022.245876.0

مسعودی آشتیانی، منا، شرافتی، احمد، و کاردان مقدم، حمید. (۱۴۰۲). ارزیابی آسیب‌شناسی بهره‌برداری از قنات به‌منظور پتانسیل تامین آب با رویکرد تئوری استخوان ماهی. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۱۳(۱)، ۲۳۹-۲۵۷. doi: 10.22059/jwim.2023.352703.1039

ابی‌زاده، الناز. (۱۳۸۹). نگرشی بر قنات با محوریت آموزش و احیاء فناوری بومی، فرهنگ و معماری ایرانی. معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۳(۵)، ۲۲-۱.

اداره جهاد کشاورزی شهرستان بم. (۱۴۰۳). آمار و اطلاعات قنات شهرستان بم. بم، ایران.

اداره جهاد کشاورزی شهرستان ریگان. (۱۴۰۳). آمار و اطلاعات قنات شهرستان ریگان. ریگان، ایران.

اداره جهاد کشاورزی شهرستان فهرج. (۱۴۰۳). آمار و اطلاعات قنات شهرستان فهرج. فهرج، ایران.

اداره منابع آب شهرستان بم. (۱۳۹۰). آمار و اطلاعات قنات شهرستان‌های بم، نرماشیر، فهرج و ریگان. بم، ایران.

اداره منابع آب شهرستان بم. (۱۴۰۰). آمار و اطلاعات قنات شهرستان بم. بم، ایران.

اداره منابع آب شهرستان نرماشیر. (۱۴۰۳). آمار و اطلاعات قنات شهرستان نرماشیر. نرماشیر، ایران.

برشان، محمد. (۱۳۸۸). تاریخ آب و آبیاری استان کرمان. مرکز کرمان‌شناسی. چاپ اول. کرمان، ایران.

بهنیا، عبدالکریم. (۱۳۶۷). قنات‌سازی و قنات‌داری. مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول. تهران، ایران.

جانب‌اللهی، محمدسعید. (۱۳۸۳). چهل گفتار در مردم‌شناسی میبد: دفتر اول فرهنگ و فناوری قنات (نقش قنات در معماری سنتی). انتشارات روشنان. یزد، ایران.

جمعه‌پور، محمود. (۱۳۸۵). کاریز (قنات): دستاورد دانش و فرهنگ بومی زیستگاه‌های کرانه‌های کویر و نظام‌های وابسته به آن در ایران و بهره‌برداری پایدار از آن. فصلنامه علوم اجتماعی، ۱۳(۳۳)، ۶۴-۲۷.

خوهرسندی آقایی، احمد، و مالکی، احمد. (۱۳۸۵). قنات در ایران: مطالعه موردی قنات در تهران. شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری. چاپ اول. تهران، ایران.

درگاه الکترونیکی خبرگزاری مهر. (۱۳۹۳). کشف خط میخی بر دیواره قنات بم/ فناوری پیشرفته مردمان کویر در دوران هخامنشی. دسترسی در: www.mehrnews.com/news/2308576.

تاریخ به‌روزرسانی: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰.

دسترنج، علی، و رجایی، حسین. (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر آب‌دهی قنات به‌عنوان روشی برای استحصال پایدار آب از منابع آب زیرزمینی. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۰(۴)، ۵۷-۶۶.

رستمی طرزم، سکینه، فهیمی، فرید غلامرضا، امیرنژاد، رضا، راهنورد، آپتین، و توانا، احمد. (۱۴۰۱). بررسی آلودگی به سیانید و فلزات سنگین آب‌های زیرزمینی، خاک و پسماندهای باطله کارخانجات استحصال طلا (مطالعه موردی: کارخانه

نجف‌پور، نویده، ترابی‌پوده، حسن، و یونسی، حجت‌اله. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی بر آلودگی آبخوان (مطالعه موردی: دشت لنجان، اصفهان). پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱۱(۲۱)، ۲۴۸-۲۳۳.

نظم‌فر، حسین، و عشقی‌چهاربرج، علی. (۱۳۹۵). ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله‌های احتمالی (مطالعه موردی: منطقه ۳ شهرداری تهران). مدیریت بحران، ۵(۱)، ۶۱-۴۹.

وزارت نیرو. (۱۳۹۲). دستورالعمل تعیین حریم کیفی آب‌های زیرزمینی. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. تهران، ایران.

یوسفی، حسین، ریحانی، الیاس، امینی، لیلی، و قاسمی، لیلا. (۱۴۰۱). ارزیابی کیفیت آب قنات‌ها با استفاده از برنامه Chemistry جهت مصارف مختلف در نائین. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(۲)، ۴۸۴-۴۶۳.

doi: [10.22125/iwe.2022.163668](https://doi.org/10.22125/iwe.2022.163668)

Deterding, N. M., & Waters, M. C. (2021). Flexible coding of in-depth interviews: A twenty-first-century approach. *Sociological methods & research*, 50(2), 708-739.

UNESCO. (2015). The Persian Qanat, for Inscription on the World Heritage list. Executive summary, World Heritage Convention. Paris, France.

Priorities for Adaptation to Water Scarcity in Arid Regions from the Perspective of Local Stakeholders: Taybad Region in Northeast Iran

A. Tahmasebi¹, F. Nemati Jowzqani^{2*}

1, 2- Associate Professor and Ph.D. Student, Geography and Rural Planning, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: f.nemati@khu.ac.ir)

Received: 16-05-2024

Revised: 12-10-2024

Accepted: 17-10-2024

Available Online: 19-12-2024

اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی در مناطق خشک از دیدگاه ذی‌نفعان محلی-منطقه تایباد در شمال شرق ایران

اصغر طهماسبی^۱، فاطمه نعمتی جوزقانی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: f.nemati@khu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶

Abstract

Climate change and increasing population growth have made the problem of water scarcity in arid regions a serious challenge to the sustainability of many human settlements. Investigating the perspectives and priorities of local stakeholders plays a key role in the success of water scarcity adaptation programs and has received less attention and consideration in previous studies. Using Q methodology, this study analyzed water scarcity adaptation strategies in Taybad County from the perspective of key actors. For this purpose, first, a discourse space for local adaptation strategies was created through content analysis of 20 interviews with local experts, which, after refining and categorizing, 30 key propositions of water scarcity adaptation strategies were categorized into 6 axial components. Then, the selected propositions were prioritized using a Q-table by 35 local activists who were selected through purposive sampling. Finally, the collected data were analyzed in KADE software using principal component analysis (PCA) and Varimax rotation. Based on the research findings, emphasis on educational-promotional activities, institutional interventions, and water resource consumption management constitute three local perspectives on water scarcity adaptation strategies, respectively, which suggest the development and facilitation of non-agricultural jobs and strengthening institutions to improve the efficiency and productivity of water resources.

Keywords: Water Scarcity, Adaptation, Q Method, Taybad County.

چکیده

تغییرات اقلیمی و رشد فزاینده جمعیت، مشکل کم‌آبی در مناطق خشک را به چالش جدی برای پایداری بسیاری از سکونتگاه‌های انسانی تبدیل کرده است. بررسی دیدگاه‌ها و اولویت‌های ذی‌نفعان محلی نقش کلیدی در موفقیت برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی بر عهده داشته و در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش‌شناسی کیو به تحلیل راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در شهرستان تایباد از دیدگاه کنشگران کلیدی پرداخته است. به این منظور ابتدا فضای گفت‌وگو راهبردهای سازگاری محلی از طریق تحلیل محتوای ۲۰ مصاحبه با خبرگان محلی ایجاد شد که پس از پالایش و دسته‌بندی ۳۰ گزاره کلیدی راهکار سازگاری با کم‌آبی در قالب ۶ مولفه محوری دسته‌بندی شد. سپس گزاره‌های منتخب با استفاده از جدول کیو توسط ۳۵ نفر از کنشگران محلی که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند، اولویت‌بندی شد. در نهایت داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار KADE با روش تحلیل مولفه‌های اصلی PCA و چرخش واریماکس تحلیل شدند. براساس یافته‌های پژوهش تأکید بر فعالیت‌های آموزشی-ترویجی، مداخلات نهادی و مدیریت مصرف منابع آب به ترتیب سه دیدگاه محلی راهکارهای سازگاری با کم‌آبی را تشکیل می‌دهند که توسعه و تسهیل مشاغل غیر کشاورزی و تقویت نهادهای ارتقای راندمان و بهره‌وری منابع آب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبی، سازگاری، روش کیو، شهرستان تایباد.

آب مهمترین عامل تمدن بشری و عنصر اصلی توسعه پایدار از زمان‌های بسیار قدیم بوده و عامل کلیدی توسعه سکونتگاه‌های انسان می‌باشد. با این حال، با تغییر محیط و توزیع نابرابر زمانی و مکانی منابع آب، عدم تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آب در برخی مناطق به یک گلوگاه تبدیل شده است که توسعه پایدار جامعه و اقتصاد را محدود می‌کند (Zhou و همکاران ۲۰۱۹). مفاهیم امنیت، ثبات، رفاه، پیشرفت و توسعه، پیوند مستقیم با منابع آب شیرین داشته و دارند. از این رو، کمبود یا نبود آب، برآشوبنده مفاهیم یاد شده و تهدید کننده حیات، مدنیت و بقا جوامع و واحدهای سیاسی- فضایی است (کاوایانی‌راد، ۱۳۹۸). با نگرش به کمبود آب، درک چگونگی مدیریت آب برای پایداری منابع آب شیرین (Poff و همکاران، ۲۰۱۶) و حفظ جمعیت انسانی (Kumar و همکاران، ۲۰۲۲) ضروری است. امروزه، کمبود آب بزرگترین چالش جهان است و بحران‌های ناشی از کمبود منابع آب تهدیدی جدی برای اقتصاد، محیط‌زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها و به‌طور کلی برای توسعه پایدار جوامع است (یاوریان و همکاران، ۱۴۰۲). کمبود آب ممکن است موقتی و در ارتباط با شرایط خشکسالی یا یک وضعیت تصادفی دیگر باشد، یا ممکن است دائمی باشد و به دلایل عمیق‌تر مانند رشد بیش از حد تقاضا، نبود زیرساخت برای ذخیره آب یا حمل‌ونقل یا محدودیت در مدیریت آب باشد (Martin-Carrasco و همکاران، ۲۰۲۳). طبق اعلام مطالعات سازمان ملل متحد کمبود آب به بحرانی حاد در سراسر خاورمیانه تبدیل شده و تنها از طریق برنامه‌ریزی‌های کلان و واقع‌بینانه و مبتنی بر تعاملات بین‌المللی و با استفاده از تمامی امکانات و ظرفیت‌ها قابل کنترل خواهد بود (Bazi و همکاران ۲۰۱۰). همچنین، بر اساس پیش‌بینی بسیاری از کارشناسان مربوطه، در سال ۲۰۲۵ میلادی، ایران جز کشورهای با بحران آب خواهد بود (یاوریان و همکاران، ۱۴۰۲) (یاوریان و همکاران، ۲۰۲۴). در حال حاضر موجودی منابع آبی در مناطق نیمه‌خشک ایران به علت افزایش تقاضا و استفاده از آب و طولانی شدن دوره‌های خشکسالی به شدت کاهش یافته است (Ashraf Vaghefi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Raheli و همکاران، ۲۰۲۰). بحران آب از نوع بحران‌های خزنده و تدریجی است. این نوع بحران‌ها از نابسامانی‌های موجود در یک سیستم آغاز می‌شود و به دلیل بی‌توجهی و نادیده گرفتن، دامنه و گستره و سطح آن افزایش می‌یابد (آستانه و همکاران، ۱۳۹۹). در سال‌های اخیر باتوجه به افزایش جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعت روند استفاده از منابع آب موجود به‌ویژه آب‌های زیرزمینی افزایش زیادی داشته و این منبع حیاتی را با کسری آب مخزن روبه‌رو کرده است. در چنین شرایطی نزولات جوی و منابع

آب سطحی و زیرزمینی پاسخگوی نیاز آبی بخش‌های مختلف نمی‌باشد، بنابراین باید به دنبال راهکارهای مناسبی برای سازگاری با شرایط کم‌آبی بود (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). سازگاری عبارت است از تطابق سیستم‌های طبیعی و انسانی در پاسخ به محرک‌های محیطی یا اثرات آنها، به گونه‌ای که منجر به کاهش خسارات یا بهره‌مندی از فرصت‌های سودمند شود. به عبارتی سازگاری فرایند یا نتیجه یک فرایند است که منجر به کاهش آسیب یا کاهش خطر آسیب‌رسانی و یا تحقق فواید در رابطه با تغییرات و تنوع اقلیمی می‌شود (Burton و همکاران، ۲۰۰۵؛ Gawith، ۲۰۰۵). حفاظت از منابع موجود به معنای مدیریت عرضه و تقاضا و شامل برداشت‌های بهینه و کنترل شده ضروری به حساب می‌آید. سازگاری‌ها در اشکال بسیار متنوعی مطرح شده است. انواع سازگاری (نظیر چگونه سازگاری رخ می‌دهد) بر اساس ویژگی‌های متعددی متمایز و شناخته شده‌اند، امروزه بیشتر مطالعات سازگاری بر مبنای تغییرات اقلیمی و سناریوهای تغییرات آن شکل گرفته است که وضعیت آب و هوای احتمالی آینده را به طور مطلق به‌عنوان میانگین شرایط سالیانه نظیر دما و رطوبت ارائه می‌دهند و اکثر مطالعات سازگاری جهان تاکنون به تغییر اقلیم می‌پردازند و در مقابل بخش اندکی از آنها به سازگاری با کم‌آبی پرداخته‌اند (Alam، ۲۰۱۵؛ Sowers و همکاران، ۲۰۱۱؛ Meron و همکاران، ۲۰۲۰). تحقیقات در ایران نیز مشمول این امر می‌شود و اغلب مطالعات سازگاری بر تغییرات اقلیمی و یا بررسی عوامل مؤثر بر رفتارهای سازگاری متمرکز بوده‌اند (یاوریان و همکاران، ۱۴۰۲؛ Azadi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Jamshidi و همکاران، ۲۰۲۰؛ Khaledi و همکاران، ۲۰۱۵). در حالی که سازگاری با کم‌آبی از مهمترین راهبردهای توسعه محسوب می‌شود و بررسی برنامه‌ها و اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی از منظر کنشگران کلیدی نقش مهمی در ارتقای اثربخشی راهبردهای سازگاری برعهده داشته است که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است. شهرستان تایباد در شمال خاوری ایران، منطقه خشک و کم بارشی است که طی چند دهه گذشته برخاسته از کاهش بارش و افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب دچار افت آب‌های زیرزمینی و درگیر چالش‌های بنیادی در بخش منابع آب شده است که پایداری همه زیرساخت‌های محیطی، اسکان، تولید و سرمایه‌گذاری در منطقه را تهدید می‌کند، براین اساس سازگاری با کم‌آبی به‌عنوان بهترین راهبرد در منطقه شناخته شده است. باتوجه به موارد ذکر شده پژوهش حاضر بر آن است تا اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی در مناطق بیابانی شهرستان تایباد از دیدگاه کنشگران کلیدی با روش تحلیل شبکه بررسی کند و سعی دارد به این سوال کلیدی پاسخ دهد که: اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی از دیدگاه کنشگران کلیدی چگونه است؟

• امنیت آب

مدیریت پایدار منابع آب موضوع پیچیده محیط‌زیستی است که نیازمند در نظر گرفتن منابع مربوط به استفاده، اشتراک و حفظ منابع فزاینده آب شیرین است (Portoghesi و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت سنتی منابع آب در بهترین حالت ممکن مبتنی بر رویکردی صرفاً فنی است و بر دانش محدودی از پیچیدگی سیستم مدیریت آب متکی است (Portoghesi و همکاران، ۲۰۱۳؛ De vito و همکاران، ۲۰۱۷؛ Giannoccaro و همکاران، ۲۰۱۳) و اغلب منجر به انتخاب‌های بسیار نامطمئن و بالقوه ناکارآمد می‌شود. موضوع کلیدی که در فرایندهای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مرتبط با مدیریت منابع آب باید به آن توجه داشت این است که آب منبعی طبیعی است که با نیازهای اساسی انسان مرتبط است، از دیدگاه فضایی نامتوازن توزیع شده است، توسط چندین بازیگر، استفاده می‌شود و متعلق به هیچ کس نیست (Pluchinotta و همکاران، ۲۰۱۹). افزون بر این، استفاده از منابع رایج آب‌های زیرزمینی بدون آگاهی کامل از پیامدهای چند بعدی اقدامات و تصمیمات فردی، معمولاً مسئول مشکلات بهره‌برداری بی‌رویه و آزاد است (Portoghesi و همکاران، ۲۰۲۱) و منابع آبی را روز به روز در وضعیت بحرانی و بحران آفرین قرار می‌دهد. به همین دلیل مجمع جهانی اقتصاد^۱ بارها آب را به‌عنوان یکی از منابع اصلی خطر جهانی معرفی کرده است. شورای اطلاعات ملی ایالات متحده^۲ در گزارش خود به این نکته اشاره کرد که آب ممکن است تا سال ۲۰۳۰ در هر دو سطح ملی و فراملی نسبت به انرژی یا مواد معدنی، منبع اصلی اختلاف باشد (Baranyai، ۲۰۲۰). نتیجه کلی تمام تحلیل‌های جهانی کمبود منابع آب این است که سهم بزرگی از جمعیت جهان، تا دو سوم، در آینده تحت تأثیر کمبود آب قرار خواهند گرفت (Brown و همکاران، ۲۰۱۹؛ Yan و همکاران، ۲۰۱۸؛ Rijsberman، ۲۰۰۶؛ Shiklomanov، ۱۹۹۸). ازاین‌رو، امنیت آب به معنای گسترده کلمه یکی از مسائل حیاتی صلح، ثبات و رفاه بوده و خواهد بود. در این میان، Grey و Sadoff (۲۰۰۷) امنیت آب را به‌عنوان دسترسی مطمئن به کمیت و کیفیت قابل قبول آب برای سلامت، معیشت، نیازهای اکوسیستم و تولید همراه با سطح قابل قبولی از خطرات مرتبط با آب برای جوامع انسانی، محیط‌زیست و اقتصاد تعریف کرده‌اند (Grey و Sadoff، ۲۰۰۷). امنیت آب را می‌توان به‌عنوان دسترسی پایدار به مقادیر کمی و کیفی آب کافی برای جوامع و اکوسیستم در مواجهه با تغییرات نامطمئن جهانی تعریف کرد (Zakeri و همکاران، ۲۰۲۲). در بیانیه وزیران دومین مجمع جهانی آب^۳ اصطلاح امنیت آب به‌صورت گسترده‌تری تعریف شده است تا اطمینان حاصل شود که آب شیرین و اکوسیستم‌های مرتبط حفاظت و بهبود می‌یابند، توسعه پایدار و ثبات سیاسی ترویج می‌شود، هر فرد به آب سالم و کافی با هزینه مقرون‌به‌صرفه برای داشتن زندگی

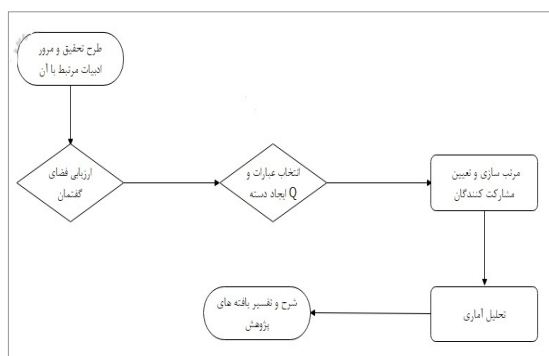
• سازگاری

بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی است و منابع آب کشاورزی هم غالباً در زمین‌های زراعی نواحی روستایی مصرف می‌شود؛ بنابراین، مدیریت درست منابع آبی همراه با بالابردن راندمان بهره‌وری و لزوم اشتغال‌زایی بر اساس متنوع‌سازی فعالیت‌های اقتصادی در نواحی روستایی، ضرورتی انکارناپذیر است. نگرش کشاورزان به مسائل کشاورزی از جمله به کم‌آبی و انتخاب راهبرد مناسب در این زمینه، متأثر از فهم و درک آنها نسبت به مسئله و شدت و اهمیت آن خواهد بود. درک و شناخت بهتر از ریسک بلایا مستلزم اتخاذ رویکردهایی جامع‌تر است که باید همه جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، ساختاری و مفهومی را شامل شود. پنجمین گزارش ارزیابی کارگروه بین‌الدولی تغییرات اقلیمی (IPCC) در خصوص ارزیابی اثرات، سازگاری و آسیب‌پذیری، تأکید می‌کند که میزان اثرات و ریسک‌های مربوط به تغییرات اقلیمی می‌توانند از طریق کنش‌های سازگاری و کاهش اثرات مدیریت شده و تعدیل شوند. سازگاری، در مباحث مختلف علمی، هرگونه اقدامی که منجر به کاهش اثرات ناخوشایند حوادث غیرمترقبه (مخاطرات طبیعی یا تغییر اقلیم) شود، را در برمی‌گیرد. به عبارت دیگر، سازگاری شامل شناخت محدودیت‌ها، پذیرش آن‌ها و سپس عمل در دامنه آن‌ها می‌باشد (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹) و براساس تعریف Mitchell و Tanner (۲۰۰۶) سازگاری، چگونگی آمادگی افراد، گروه‌ها و یا سیستم‌های طبیعی در برابر تغییرات اقلیمی یا محیطی و توانایی یک سیستم برای تعدیل خسارات، استفاده از فرصت‌ها و سازش با پیامدها است. در مقابل، ظرفیت سازگاری بیشتر سیستم نسبت به مخاطرات و ارائه اقدامات مناسب سازگاری باعث کاهش آسیب‌پذیری سیستم می‌شود (میان‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). سازگاری نشانه‌ای از هوشمندی و ضرورت دوام و بقاء هر توسعه‌ای است، سازگاری مستلزم شناخت محدودیت‌ها، پذیرش آن‌ها و سپس عمل در دامنه آن‌ها است. سازگاری را می‌توان به‌عنوان رویکردی برای توسعه متناسب با ظرفیت‌های طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و غیره موجود به‌منظور برآورد نیازهای جامعه تعریف نمود. علاوه بر مفهوم فوق، سیستم سازگار شونده، پویایی محیط‌های طبیعی و انسانی را رصد نموده و به‌طور مستمر آمادگی و توانایی تطبیق با شرایط جدید و حفظ سازگاری با کم‌آبی دارد. مبحث مدیریت تطبیقی در علم مدیریت، ناظر بر این نوع از سازگاری است (کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی، ۱۳۹۷). سازگاری‌ها براساس گزینه‌های انتخابی افراد مانند تحمل زیان، اشتراک در زیان، تغییر تهدید، جلوگیری از عوارض، تغییر کاربری و تغییر محل از یکدیگر متمایز می‌شوند انتخاب نوع شناسی سازگاری تابعی از نقش ساختاری جوامع، ترتیبات نهادی و سیاست عمومی است (Burton، ۱۹۹۸؛ Malone و Rayner، ۲۰۰۲).

• محدوده مورد مطالعه

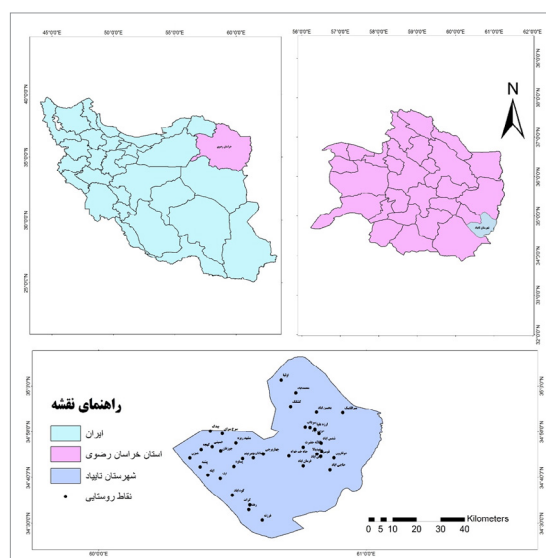
شهرستان تایباد، با پهنه‌ای حدود ۵۰۸۴ کیلومتر مربع، در شمال خاوری ایران و در استان خراسان رضوی، در کنار مرز ایران و افغانستان قرار دارد. این شهرستان از شمال به شهرستان تربت‌جام، از باختر به شهرستان تربت حیدریه، از جنوب به شهرستان خواف و از خاور به افغانستان محدود است و هریرود در این ناحیه، مرز ایران و افغانستان را مشخص می‌سازد (شکل ۱). ارتفاع این شهر از سطح آب‌های آزاد ۸۰۶ متر گزارش شده است. آب و هوای این ناحیه بیابانی و نیمه‌خشک است. حداکثر درجه حرارت ۴۰ درجه سانتیگراد و حداقل آن ۹- درجه سانتیگراد ثبت شده است. متوسط بارندگی سالیانه ۱۱۰ تا ۲۴۰ میلی‌متر همراه با وزش بادهای تقریباً دائمی است که در ۱ ماهه اول سال سرعت آن به بیش از ۱۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. این شهرستان براساس آخرین گزارش درصد مساحت تحت تاثیر خشکسالی (SPEI) دوره ده ساله تا پایان فروردین ماه ۱۴۰۳ در سازمان هواشناسی کشور (مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران) با درصد ۲۹/۸ خشکسالی شدید و ۷۱/۹۱ درصد خشکسالی بسیار شدید و در مجموع ۱۰۰ درصد مساحت شهرستان با خشکسالی مواجه است.

طرح‌های تحقیق کیفی را از میان برمی‌دارند. براین اساس از آنجایی که هدف پژوهش حاضر اولویت‌بندی راهکارهای سازگاری با کم‌آبی از دیدگاه کنشگران کلیدی در شهرستان تایباد است، برای دستیابی به این هدف از روش کیو استفاده می‌شود. روش شناسی کیو ازجمله روش‌های ترکیبی یا کیفی و کمی محسوب می‌شود که ابعاد دیدگاه‌های افراد در مورد پدیده‌ها را بررسی می‌کند تا مشخص کند چه ابعادی از نظر آماری در دیدگاه‌های افراد متفاوت است و همچنین ویژگی‌های افرادی که دیدگاه‌های مشترک دارند را شناسایی کند. در واقع روش کیو یک رویکرد ابتکاری برای تحقیقات کیفی محسوب می‌شود که امکان کمی‌سازی دیدگاه‌های افراد را فراهم می‌کند. در روش کیو پژوهشگر به دنبال اندازه‌گیری خصوصیات افراد نیست، بلکه از افراد می‌خواهد ذهنیت‌های خود را درباره یک موضوع خاص بیان کنند. هدف اصلی این روش شناخت الگوهای ذهنی است، نه شمارش تعداد افرادی که تفکرات مختلفی دارند. جامعه آماری پژوهش ۳۵ نفر از خبرگان و کنشگران صاحب‌نظر هستند که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و گویه‌های استخراج شده را با بهره‌گیری از جدول کیو اولویت‌بندی نمودند. برخی مراحل انجام روش کیو را به ۵ مرحله و برخی به ۲ مرحله دسته‌بندی نموده‌اند. در این پژوهش از فرآیند پنج مرحله‌ای کیو به شرح شکل (۲) استفاده شده است.



شکل ۲- مراحل اجرای طرح پژوهش براساس روش کیو

برای تولید گزاره‌های کیو ابتدا همه ذهنیت موجود در خصوص موضوع مربوط به آن از طریق پیشینه پژوهش ارزیابی شده است (فرح‌زا و نظری، ۱۴۰۱؛ علی‌شهیدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ یاوریان و همکاران، ۱۴۰۲؛ زبیدی و همکاران، ۱۴۰۰؛ ذوالفقاران و همکاران، ۱۳۹۸؛ میان‌آبادی و داوری، ۱۳۹۸؛ فتح‌اللهی و همکاران، ۱۴۰۰؛ احسانی کلی‌کند و همکاران، ۱۳۹۷). سپس با ایجاد یک فضای گفتار سعی شده است ذهنیت موجود در خصوص این موضوع که قابلیت ارتباط، به‌صورت گفتار روزمره، تفسیر و مکالمات عادی جامعه را دارد، در فضای گفتار مذکور وارد شود. در واقع مجموعه عامل‌های کیو و چگونگی تهیه آن: باتوجه به موضوع پژوهش که یکی از مباحث روز در بین عامه مردم بوده و هست، و اظهار نظرهای متنوعی



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه

• داده‌ها و روش کار

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش توصیفی و از جهت داده‌های جمع‌آوری و تحلیل شده از نوع ترکیبی (آمیخته) است. پژوهش‌های ترکیبی، پژوهش‌هایی هستند که با استفاده از ترکیب دو مجموعه تحقیق کمی و کیفی به انجام می‌رسند و شواهد بیشتری برای درک بهتر پدیده‌ها به‌دست می‌دهند و محدودیت

در بررسی جنبه‌های مختلف آن می‌توان یافت. این اظهارنظرها باتوجه به عمومیت موضوع، هر کدام می‌تواند در حوزه‌ای خاص، یا به صورت کلی تر و عام تر مطرح شده باشد. بنابراین باتوجه به اینکه در مطالعات کیو حجم نمونه می‌تواند بین ۸ تا ۴۰ نفر باشد (خوشگویان فرد، ۱۳۸۶) در این پژوهش ۳۵ نفر از خبرگان (اجرایی و محلی) و کنشگران صاحب نظر که ارتباط مستقیم با موضوع داشته‌اند به روش نمونه‌گیری هدفمند و تا رسیدن به اشباع نظری جهت گردآوری اطلاعات و مصاحبه نیمه ساختارمند انتخاب شدند و گویه‌های استخراج شده با بهره‌گیری از جدول کیو اولویت بندی شده‌اند. در مطالعات کیو

برخلاف روش‌های کمی که معمولاً در آن تعداد اندکی سوال از تعداد زیادی پاسخگو پرسیده می‌شود در مطالعه کیو بر عکس تعداد زیادی سوال از تعداد کمی پاسخگو پرسیده می‌شود یعنی مطالعات کیو به جای تاکید بر توزیع داده‌ها بر سوال‌ها تاکید دارد. در این پژوهش گزاره‌های مرتبط با مجموعه اولویت‌های سازگاری با کم‌آبی از طریق مصاحبه نیمه ساختارمند و پیشینه پژوهش جمع‌آوری شده است که مطابق جدول (۱) برای شناسایی و انتخاب اولویت‌ها و راهکارهای سازگاری با کم‌آبی پس از پالایش و دسته‌بندی ۱۱۵ گزاره، ۳۰ گزاره در قالب ۶ مولفه استخراج شده است.

جدول ۱- اولویت‌ها و راهکارهای سازگاری با کم‌آبی

مولفه	شاخص
اصلاح الگوی کشت	یکپارچه‌سازی زمین‌های کشاورزی به منظور توسعه سیستم آبیاری و کشاورزی نوین
	اصلاح الگوی کشت و توسعه محصولات کم‌آب بر در بخش کشاورزی
فعالیت های آموزشی و ترویجی	کنترل و حفظ رطوبت خاک با استفاده از روش‌های بی‌خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی
	اصلاح فضای سبز شهری و استفاده از گیاهان کم مصرف و یا مصنوعی
تنوع بخشی درآمد	آموزش و فرهنگ سازی برای اصلاح الگوی مصرف در بخش‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی
	تأمین تجهیزات یارانه‌ای از جمله شیرآلات هوشمند برای استفاده عمومی.
مدیریت منابع آب کشاورزی	آگاه‌سازی کشاورزان از وضعیت بحران آب و اهمیت حفظ منابع آب
	راه‌اندازی و تقویت تشکلهای کشاورزی برای مدیریت مشارکتی آب کشاورزی
تأمین منابع آب	احیاء و حمایت از فرهنگ ساخت و نگهداری قنوات به عنوان دانش سازگار با مناطق بیابانی
	توسعه و تسهیل اشتغال جامعه محلی در بخش صنعتی
تأمین منابع آب	توسعه و تسهیل مشاغل بخش خدمات (از جمله گردشگری)
	تسهیل دسترسی و درآمد جامعه محلی از تجارت مرزی و حمل و نقل کالا
مداخلات نهادی	سرمایه گذاری برای مهارت آموزی نیروی کار محلی در بخش‌های غیر کشاورزی
	توسعه استفاده از روش‌های آبیاری نوین و هوشمند
تأمین منابع آب	تقویت و تسهیل تسهیلات مالی توسعه روش‌های نوین آبیاری برای کشاورزان
	تقویت اعتبارات دولتی مدیریت منابع آب کشاورزی
تأمین منابع آب	کاهش تلفات و تبخیر آب از طریق توسعه شبکه انتقال، ذخیره و توزیع منابع آب
	توسعه طرح‌های آبخیزداری و جمع‌آوری و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی با مشارکت مردم
تأمین منابع آب	بهبودسازی، بازسازی و لایروبی قنوات
	احداث سدهای زیرزمینی جهت جلوگیری هدر رفت آب‌های سطحی و کاهش تبخیر
تأمین منابع آب	تقویت سفره‌های آب زیرزمینی از طریق کنترل و پخش سیلاب
	شیرین کردن و انتقال آب از دریای عمان به مناطق خشک و کم‌آب کشور
تأمین منابع آب	بازچرخانی و استفاده مجدد از پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی
	تفکیک شبکه آب شرب از آب غیرشرب و نیز فاضلاب سیاه از فاضلاب خاکستری
تأمین منابع آب	جلوگیری از حفر چاه‌های عمیق خصوصی و غیرمجاز و مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز کنونی
	اصلاح و تقویت سیاست‌های تجارت آب مجازی
تأمین منابع آب	تنظیم و تدوین قوانین و مقررات بازدارنده از جمله: جریمه نقدی، افزایش تصاعدی آبوفمان، قطع آب مشترکین پرمصرف
	اصلاح قوانین و مقررات جهت تمرکززدایی و توسعه مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی
تأمین منابع آب	اجرای فوری طرح شناسایی و شناسنامه‌دار کردن، و نصب کنتور روی چاه‌های مجاز
	برخورد قضایی مناسب و قاطع برای مسدودسازی چاه‌های غیرمجاز و مجازات افراد خاطی

در ادامه برای دسته‌بندی، یک نمودار کیو برای ۳۰ عبارت پژوهش به‌گونه‌ای تنظیم شد که بتواند مجموعه عبارات را در یک توزیع نسبتاً نرمال از اهمیت کلیدی (۴) تا بدون اهمیت (۴-) رتبه‌بندی کند (شکل ۳). حال بایستی از مشارکت‌کنندگان خواسته می‌شد که عامل‌های نمونه کیو را براساس میزان اهمیت آن‌ها در نمودار توزیع

کنند. از آنجا که تعداد گزاره‌ها زیاد بود، ابتدا از افراد خواسته شد که عبارات را به سه دسته کلی (مهم، متوسط و بی‌اهمیت) تقسیم کنند و سپس جدول کیو در اختیار آن‌ها قرار می‌گرفت تا نسبت به مرتب نمودن گزاره‌ها در جدول اقدام نمایند. شکل (۳) نمونه‌ای از پرسشنامه‌های پر شده توسط خبرگان اجرایی می‌باشد.



شکل ۳- نمونه‌ای از جدول کیو، تکمیل شده توسط پاسخگویان

داده‌های کیو را می‌توان هم در نرم‌افزار اختصاصی روش کیو (نرم‌افزار Kade (Zabala, ۲۰۱۴) و هم در نرم‌افزار تجزیه و تحلیل آماری (Stenner و همکاران، ۲۰۰۸) وارد و تجزیه و تحلیل نمود. روش تحلیل عاملی اصلی‌ترین روش آماری برای تحلیل ماتریس داده‌های کیو است که در آن افراد به‌جای متغیرها دسته‌بندی می‌شوند. مبنای این روش نیز همبستگی بین افراد براساس دیدگاه‌هایشان نسبت به گویه‌های پژوهش است. در این مطالعه پس از جمع‌آوری داده‌ها و مرتب کردن داده‌ها در نرم‌افزار اکسل، داده‌ها به‌صورت فرمت اکسل به نرم‌افزار Kade وارد کرده و برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Kade و روش تحلیل مولفه‌های اصلی PCA با چرخش واریماکس استفاده شد.

یافته‌ها

جدول (۲) پراکنش دسته‌بندی دیدگاه‌های ذهنی مشارکت‌کنندگان در موضوع پژوهش را در سه گروه استخراجی به روش تحلیل

مولفه‌های اصلی PCA با چرخش واریماکس نشان می‌دهد. بار عاملی افراد در ۳ عامل شناسایی شده، مقایسه شده و هر نفر در گروهی قرار می‌گیرد که در آن بار عاملی بزرگتری دارد. به این منظور بار عاملی بیش از ۳۵ درصد به عنوان سطح قابل قبول در نظر گرفته شده است. در ستون ویژگی‌ها دو عدد حرف اول معرف سطح تحصیلات افراد (دکتری (PH)، فوق لیسانس (MS)، لیسانس (BS) و دیپلم (DI)) و یک حرف بعدی معرف کنشگران (دستگاه اجرایی (S) و جوامع محلی (L) و تعاونی‌های روستایی (NG)) و دو عدد بعدی معرف سن افراد شرکت‌کننده بوده است.

در جدول (۲) اینکه هر کدام از این عامل‌ها مربوط به کدام دسته از دیدگاه‌های افراد است، نمایش داده شده است (بر اساس همان قواعدی که در ابتدا انتخاب شده‌اند). در این بخش میزان تبیین‌کنندگی هر کدام از این عامل‌ها وجود دارد که عامل اول ۲۸، عامل دوم و سوم ۱۵ درصد است. مجموع درصد تبیین نظرات بر اساس این سه عامل ۵۸ درصد می‌باشد و باتوجه به اینکه این عدد بالای ۵۰ است، درصد مناسبی است.

جدول ۲- پراکنش دسته‌بندی دیدگاه‌های ذهنی مشارکت‌کنندگان در سه گروه استخراجی به روش تحلیل مولفه‌های اصلی PCA با چرخش واریماکس

ردیف	ویژگی افراد	فاکتورهای استخراجی		
		فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳
۱	MSS40	۰/۹۲۶۸ X	۰/۱۱۹۹	۰/۱۷۶۷
۲	PHS38	۰/۶۷۲ X	۰/۲۳۷۸	-۰/۰۶۱
۳	PHS44	۰/۱۹۸۵	-۰/۱۰۸۹	۰/۶۰۴ X
۴	PHS44	۰/۲۴۱۳	۰/۹۰۹۳ X	-۰/۱۳۸۴
۵	MSS37	۰/۵۴۵۸ X	۰/۰۷۸۶	-۰/۱۱۲۸
۶	BSS51	۰/۹۱۴۶ X	۰/۰۰۵۱	۰/۱۵۹۹
۷	MSS52	۰/۳۲۷۶	۰/۳۰۴۲	۰/۴۴۲۹ X
۸	MSS37	۰/۱۵۱۷	-۰/۳۴۷۹ X	۰/۱۴۵۳
۹	MSL23	۰/۹۲۶۸ X	۰/۱۱۹۹	۰/۱۷۶۷
۱۰	DIL35	۰/۶۰۴۲ X	۰/۱۱۱۸	۰/۱۹۰۸
۱۱	DIL47	۰/۴۶۵۹ X	-۰/۲۸۱۲	۰/۲۳۳۴
۱۲	BSNG25	۰/۸۴۱۲ X	۰/۰۶۵	۰/۳۶۹۹
۱۳	BSNG33	۰/۹۲۶۸ X	۰/۱۱۹۹	۰/۱۷۶۷
۱۴	BSL49	۰/۹۱۸۷ X	۰/۰۹۳۵	۰/۱۷۸۲
۱۵	MSL47	۰/۴۵۷ X	۰/۲۲۵	۰/۲۱۶۶
۱۶	PHNG65	۰/۶۰۱۵ X	۰/۱۴۱۷	-۰/۰۹۲۴
۱۷	MSL30	۰/۸۱۱۹ X	۰/۰۳۱۷	۰/۳۵۸۵
۱۸	MSL27	۰/۱۴۲۴	-۰/۰۱۱	۰/۵۵۱ X
۱۹	DIL36	۰/۹۲۶۸ X	۰/۱۱۹۹	۰/۱۷۶۷
۲۰	BSS37	۰/۲۴۱۳	۰/۹۰۹۳ X	-۰/۱۳۸۴
۲۱	DIL49	۰/۰۶۰۷	۰/۶۱۷۲ X	۰/۲۰۰۱
۲۲	MS22	۰/۲۰۷۱	۰/۶۳۶ X	۰/۲۰۵۲
۲۳	BSL42	-۰/۰۱۱۶	۰/۲۱۳۸	۰/۶۴۷۹ X
۲۴	MSS36	۰/۰۹۱۹	-۰/۰۰۹۶	۰/۶۱۳۹ X
۲۵	PHS47	۰/۲۴۱۳	۰/۹۰۹۳ X	-۰/۱۳۸۴
۲۶	MSL26	-۰/۰۵۸۹	۰/۰۹۰۸	۰/۶۸۶۶ X
۲۷	BSS33	۰/۳۵۴۶	-۰/۱۸۱۸	۰/۷۵۹۲ X
۲۸	DIL56	۰/۰۱۱۶	۰/۰۸۷	۰/۷۰۳۴ X
۲۹	BSS34	-۰/۱۱۷۴	-۰/۰۰۸	۰/۶۱۴۵ X
۳۰	MSS48	۰/۳۲۹	-۰/۱۳۸۹	۰/۷۷۹۱ X
۳۱	BSS53	۰/۲۴۱۳	۰/۹۰۹۳ X	-۰/۱۳۸۴
۳۲	DIL61	۰/۳۰۷۴	۰/۳۵۷۷ X	۰/۲۹۹۴
۳۳	MSS53	۰/۳۱۰۸	-۰/۱۹۷۵	۰/۵۱۰۹ X
۳۴	PHS43	۰/۶۳۸۷ X	۰/۰۷۷۲	-۰/۰۶۵۸
۳۵	BSNG29	۰/۰۲۰۳	۰/۶۴۶۱ X	۰/۱۵۱۱
Explained Variance %		۲۸	۱۵	۱۵

باتوجه به جدول (۳) همبستگی بین فاکتورهای استخراج شده وجود دارد، به‌طوری‌که بین گروه ۱ با دو گروه دیگر میزان همبستگی به ترتیب ۰/۳۰۳۳ و ۰/۳۸۵۲ و بین گروه ۲ و ۳ این میزان برابر با ۰/۰۴۲۲ - است.

جدول ۳- میزان همبستگی گروه‌های استخراج شده

	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳
فاکتور ۱	۱	۰/۳۰۳۳	۰/۳۸۵۲
فاکتور ۲	۰/۳۰۳۳	۱	-۰/۰۴۲۲
فاکتور ۳	۰/۳۸۵۲	-۰/۰۴۲۲	۱

• دیدگاه‌ها

براساس یافته‌های پژوهش می‌توان بیان کرد سه نوع دیدگاه متفاوت در خصوص راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در بین کنشگران مختلف (دولتی و جوامع محلی) وجود دارد که در ادامه به آن اشاره می‌شود. در این بخش نیاز است، علاوه بر این که سه گروه که از هم تفکیک شده است شناسایی شوند، ابتدا یک نگاه به افرادی که در آن گروه هستند، شده، سپس نظرات هر گروه بررسی شود. در حقیقت در این بخش از پژوهش در مورد اینکه افراد چه نظری دارند بحث می‌شود.

دیدگاه اول: فعالیت‌های آموزشی-ترویجی

گروه اول که عمدتاً براساس بر دیدگاه جوامع محلی است، به‌طوری‌که هفت نفر از جوامع محلی و سه نفر از تعاونی‌های روستایی اعضای آن را تشکیل می‌دهد همچنین پنج نفر از مدیران بخش دولتی از دیگر افراد این گروه هستند. بر اساس دیدگاه و ذهنیت مصاحبه‌شوندگان در ارتباط با سازگاری با کم‌آبی این گروه تأکید بر رویکرد فعالیت‌های آموزشی-ترویجی دارند. آنها بر این باور هستند که برای سازگاری با کم‌آبی در مرحله اول باید مسئله برای کشاورزان و دیگر افراد ذی‌نفع روشن شود و پس از آن برای مدیریت و تأمین آب کشاورزی چاره‌اندیشی شود. به‌طوری‌که، باتوجه به جدول (۴) که گویه‌های متمایز کننده گروه شماره یک از گروه دو و سه را نشان می‌دهد. در این جدول برای هر گروه، ستون اول امتیاز اولویت‌بندی هر گویه از نظر گروه نشان داده و ستون Z-score مربوط به امتیاز نرمال شده گویه مربوط به آن در داخل آن گروه می‌باشد. جدول (۴) گویای آن است که گویه آگاه‌سازی کشاورزان از وضعیت بحران آب و اهمیت حفظ منابع آب اولین گویه متمایز کننده گروه یک از دو گروه دیگر بوده و از نظر این گروه امتیاز ۴ رتبه‌بندی کیو و در گروه دو رتبه ۰ و در گروه سه رتبه ۱ را به خود اختصاص داده است و تفاوت این گویه در گروه اول با گروه دو و سه در امتیاز نرمال شده مشخص بوده و عدد بالاتر ۱/۸۶ را گرفته است. دومین گویه متمایزکننده گروه یک از دو گروه دیگر توسعه طرح‌های آبخیزداری و جمع‌آوری

و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی با مشارکت مردم می‌باشد، این گویه در گروه يك از امتیاز ۳ برخوردار بوده و در گروه دو امتیاز صفر (۰) در گروه سه امتیاز یک (۱) را به خود اختصاص داده

است. توسعه استفاده از روش‌های آبیاری نوین و هوشمند، از دیگر گویه‌های مورد تاکید گروه يك می‌باشند که در دو گروه دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفتند.

جدول ۴- گویه‌های متمایزکننده گروه ۱ نسبت به گروه ۲ و ۳

ردیف	گویه‌های متمایز کننده	فاکتور ۱		فاکتور ۲		فاکتور ۳	
		Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV
۷	آگاه‌سازی کشاورزان از وضعیت بحران آب و اهمیت حفظ منابع آب	۴	۱/۸۶	۰	۰/۰۳۶	۱	۰/۶۴۵
۱۸	توسعه طرح‌های آبخیزداری و جمع‌آوری و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی با مشارکت مردم	۳	۱/۷۹	۰	-۰/۰۴۸	۱	۰/۵
۱۴	توسعه استفاده از روش‌های آبیاری نوین و هوشمند	۲	۱/۰۶	۰	۰/۰۴۵	-۱	-۰/۲۵۲

دیدگاه دوم: مداخلات نهادی

گروه دوم که براساس دیدگاه مدیران بخش دولتی است به‌طوری‌که شش نفر اعضای آن از مدیران بخش دولتی بودند و همچنین دو نفر از جامعه محلی و یک نفر از تعاونی‌های روستایی از دیگر افراد این گروه هستند. بر اساس دیدگاه و ذهنیت مصاحبه‌شوندگان در ارتباط با سازگاری با کم‌آبی این گروه تأکید بر رویکرد تأثیر مداخلات نهادی در سازگاری با کم‌آبی دارند. به عبارتی این گروه علاوه بر فعالیت‌های آموزشی-ترویجی، به مداخلات نهادی از طریق دستگاه‌های مربوط به آن و تنظیم قوانین و مقررات بازدارنده تأکید داشته‌اند. به‌طوری‌که باتوجه به جدول (۵) که گویه‌های متمایزکننده گروه شماره دو را در مقایسه با دو گروه دیگر نشان می‌دهد. تنظیم و تدوین قوانین و مقررات بازدارنده ازجمله: جریمه نقدی، افزایش تصاعدی آبوهان،

قطع آب مشترکین پرمصرف اولین گویه متمایزکننده گروه دو از دو گروه دیگر بوده و از نظر این گروه امتیاز ۴ رتبه‌بندی کیو و در گروه يك و سه و به ترتیب ۰ و ۴- را به خود اختصاص داده است و تفاوت این گویه از نظر گروه یک و سه در امتیاز نرمال شده مشخص بوده و عدد بالاتر ۲,۰۴ را گرفته است. دومین گویه متمایز کننده گروه دو از سه گروه دیگر برخورد قضایی مناسب و قاطع برای مسدودسازی چاه‌های غیرمجاز و مجازات افراد خاطی می‌باشد، این گویه در گروه دو از امتیاز ۳ برخوردار بوده و در گروه يك و سه به ترتیب ۱- و ۳- را به خود اختصاص داده است. راه‌اندازی و تقویت تشکلهای کشاورزی برای مدیریت مشارکتی آب کشاورزی، از دیگر گویه‌های مورد تاکید گروه دو می‌باشند که در دو گروه دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفتند.

جدول ۵- گویه‌های متمایزکننده گروه ۲ نسبت به گروه ۱ و ۳

ردیف	گویه‌های متمایز کننده	فاکتور ۱		فاکتور ۲		فاکتور ۳	
		Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV
۲۷	تنظیم و تدوین قوانین و مقررات بازدارنده ازجمله: جریمه نقدی، افزایش تصاعدی آبوهان، قطع آب مشترکین پرمصرف	۰	-۰/۲۳	۴	۲/۰۴	-۴	-۱/۹۶۲
۳۰	برخورد قضایی مناسب و قاطع برای مسدودسازی چاه‌های غیرمجاز و مجازات افراد خاطی	-۱	-۰/۴۵	۳	۱/۴۳	-۳	-۱/۳۷۲
۸	راه‌اندازی و تقویت تشکلهای کشاورزی برای مدیریت مشارکتی آب کشاورزی	-۲	-۱/۰۷	۲	۱/۱۹	۲	۰/۷۴

دیدگاه سوم: مدیریت مصرف منابع آب

گروه سوم که مبتنی بر دیدگاه مدیران بخش دولتی است به‌طوری‌که هفت نفر اعضای آن از مدیران بخش دولتی بودند و همچنین چهار نفر از جوامع محلی از دیگر افراد این گروه بوده‌اند. براساس دیدگاه و ذهنیت مصاحبه‌شوندگان در ارتباط با سازگاری با کم‌آبی این گروه بر رویکرد مدیریت مصرف منابع آب تأکید داشته‌اند. این گروه براین باور هستند که مدیریت مصرف

منابع آب از راهکارهای کلیدی سازگاری با کم‌آبی خواهد بود، همچنین اشتغال مبتنی بر بخش‌های غیرکشاورزی مثل صنعت و گردشگری از دیگر راهکارهای کلیدی این گروه می‌باشد به‌طوری‌که باتوجه به جدول (۶) که گویه‌های متمایزکننده گروه شماره سه را در مقایسه با دو گروه دیگر نشان می‌دهد. گویه اصلاح فضای سبز شهری و استفاده از گیاهان کم‌مصرف و یا مصنوعی، اولین گویه متمایزکننده گروه سه از دو گروه دیگر

بوده و از نظر این گروه امتیاز ۳ رتبه‌بندی کیو و در گروه يك امتیاز ۰ و در گروه دو امتیاز ۱- را به خود اختصاص داده است و تفاوت این گویه از نظر گروه یک و دو در امتیاز نرمال شده مشخص بوده و عدد بالاتر ۱,۱۵ را گرفته است. دومین گویه متمایزکننده گروه سه از دو گروه دیگر یکپارچه‌سازی زمین‌های

کشاورزی به‌منظور توسعه سیستم آبیاری و کشاورزی نوین می‌باشد، این گویه در گروه سه از امتیاز ۲ برخوردار بوده و در گروه يك و دو امتیاز ۱ می‌باشد. توسعه و تسهیل اشتغال جامعه محلی در بخش صنعتی، از دیگر گویه‌های مورد تاکید گروه سه می‌باشند که در دو گروه دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفتند.

جدول ۶- گویه‌های متمایزکننده گروه ۳ نسبت به گروه ۱ و ۲

ردیف	گویه‌های متمایز کننده	فاکتور ۱		فاکتور ۲		فاکتور ۳	
		Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV	Z-score	Q-SV
۴	اصلاح فضای سبز شهری و استفاده از گیاهان کم‌مصرف و یا مصنوعی	۰	۰/۰۳	-۱	-۰/۵۷	۳	۱/۱۵
۱	یکپارچه‌سازی زمین‌های کشاورزی به‌منظور توسعه سیستم آبیاری و کشاورزی نوین	۱	۰/۶۲	۱	۰/۶۱	۲	۱/۰۹
۱۰	توسعه و تسهیل اشتغال جامعه محلی در بخش صنعتی	-۱	-۰/۶۳	-۳	-۱/۴۳	۲	۱/۰۹

بحث و نتیجه‌گیری

نخستین گام برای مقابله با کم‌آبی، شناخت درست و درک مخاطره و در گام دوم، انتخاب راهکارهایی برای مقابله و سازگاری با این پدیده و پیامدهای آن است، درحالی‌که سازگاری با کم‌آبی از مهمترین راهبردهای توسعه محسوب می‌شود، بررسی برنامه‌ها و اولویت‌های راهکارهای سازگاری با کم‌آبی از منظر کنشگران کلیدی نقش مهمی در ارتقای اثربخشی راهبردهای سازگاری برعهده داشته است که تاکنون کمتر به آن توجه شده است. و پژوهش حاضر اولین نمونه در نوع خود است که به اولویت‌بندی راهکارهای سازگاری از دیدگاه کنشگران کلیدی با استفاده از روش کیو پرداخته است. و از آنجا که تاکنون تحقیقاتی در بررسی برنامه‌ها و اولویت‌های راهکارهای سازگاری با کم‌آبی از منظر کنشگران کلیدی صورت نگرفته است می‌توان نتایج این پژوهش را در هیچ موردی به‌صورت قطعی با دیگر پژوهش‌ها مورد مقایسه قرار داد.

از آنجا که روش کیو از افراد می‌خواهد ذهنیت‌های خود را درباره يك موضوع خاص بیان کنند، براین اساس پذیرفته می‌شود، اولویت‌های راهکارهای سازگاری با کم‌آبی در شهرستان تایباد توسط هر سه گروه، عوامل کلیدی در تحقق سازگاری با کم‌آبی بوده است و هرگروه با دانش و بینش و نگرش متفاوتی که به موضوع دارند آن را بررسی و اولویت‌بندی نموده‌اند. براساس یافته‌های پژوهش می‌توان بیان کرد که سه دیدگاه متفاوت در خصوص راهکارهای سازگاری با کم‌آبی وجود دارد. گروه اول که اکثریت افراد آن را جوامع محلی تشکیل می‌دهند، فعالیت‌های آموزشی-ترویجی را مهمترین راهکار سازگاری با کم‌آبی دانسته‌اند که با واریانس ۲۸ درصد اولویت بیشتری نسبت به دیگر دیدگاه‌ها داشته است زیرا اولین اقدام برای سازگاری شناخت و درک مسئله می‌باشد که نیاز به آموزش و آگاه‌سازی افراد دارد که هم‌راستا

با نتایج پژوهش‌های شهیدی و همکاران (۱۳۹۸) و Azadi و همکاران (۲۰۱۹) است. همچنین برای این گروه گویه آگاه‌سازی کشاورزان از وضعیت بحران آب و اهمیت حفظ منابع آب اهمیت زیادی دارد که می‌توان مدیریت مزرعه از طریق تغییر الگوی کشت را پیشنهاد داد (ذوالفقاران، ۱۳۹۸) سپس گویه‌های توسعه طرح‌های آبخیزداری و جمع‌آوری و ذخیره‌سازی رواناب‌های سطحی با مشارکت مردم و توسعه استفاده از روش‌های آبیاری نوین و هوشمند (احسانی کلی‌کندی و همکاران، ۱۳۹۷) در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند. گروه دوم که اکثریت افراد آن را مدیران بخش دولتی تشکیل می‌دهند، بر این باور هستند مداخلات نهادی به وسیله دستگاه‌های ذی‌ربط و اجرایی از طریق تنظیم و تدوین قوانین و مقررات بازدارنده ازجمله؛ جریمه نقدی، افزایش تصاعدی آب‌وتمان، قطع آب مشترکین پرمصرف و برخورد قضایی مناسب و قاطع برای مسدودسازی چاه‌های غیرمجاز و مجازات افراد خاطی می‌تواند مهمترین راهکار سازگاری با کم‌آبی باشد که با واریانس ۱۵ درصد در اولویت بعدی نسبت به گروه اول قرار دارد، این دیدگاه تاکنون در مطالعات پیشین مطرح نشده است و می‌تواند به‌عنوان یک موضوع پژوهشی مورد توجه قرار گیرد. همچنین راه‌اندازی و تقویت تشکلهای کشاورزی برای مدیریت مشارکتی آب کشاورزی از دیگر گویه‌های بااهمیت این گروه است. گروه و دیدگاه سوم که مبتنی بر دیدگاه مدیران بخش دولتی است معتقدند که مدیریت مصرف منابع آب از راهکارهای کلیدی برای سازگاری با کم‌آبی است که با مطالعه یاوریان و همکاران (۱۴۰۲) و فرح‌زا و نظری (۱۴۰۱) و زبیدی و همکاران (۱۴۰۰) همسو است. همچنین این گروه باور دارند رویکرد اشتغال مبتنی بر بخش‌های غیرکشاورزی مانند صنعت و مشاغل خدماتی باتوجه‌به موقعیت منطقه مورد مطالعه از دیگر راهکارهای سازگاری با کم‌آبی خواهد بود. این گروه با واریانس ۱۵ درصد همانند گروه دوم در اولویت

بعدی نسبت به گروه اول قرار می‌گیرند. همچنین برای این گروه گویه‌های اصلاح فضای سبز شهری و استفاده از گیاهان کم‌مصرف و یا مصنوعی، یکپارچه‌سازی زمین‌های کشاورزی به منظور توسعه سیستم آبیاری و کشاورزی نوین و توسعه و تسهیل اشتغال جامعه محلی در بخش صنعتی به ترتیب اهمیت زیادی دارد. ازین رو باتوجه به یافته‌های پژوهش توسعه و تسهیل مشاغل غیر کشاورزی مانند مشاغل خدماتی و کارگاه‌های کوچک صنعتی باتوجه به مرزی بودند منطقه مورد مطالعه و وجود نیروی انسانی تحصیل کرده و توانمند و تقویت نهادهای ارتقای راندمان و بهره‌وری منابع آب از طریق آبیاری قطره‌ای و تحت فشار قابل پیشنهاد می‌باشد. در پژوهش حاضر پژوهشگران با محدودیت‌هایی از جمله عدم همکاری برخی از افراد جهت اجرای مصاحبه با پژوهشگر، زمان‌بر بودن مصاحبه‌ها و همچنین کدگذاری گزاره‌های کیو و ناآشنایی مشارکت‌کنندگان با روش کیو، مواجه بودند.

پی‌نوشت‌ها

- 1-World Economic Forum
- 2-The US National Intelligence Council
- 3-Ministerial declaration of the 2 ND world water forum

منابع

- آستانه، مهسا، تقی‌پور، فائزه، و دوازده‌امامی، حمید. (۱۳۹۹). ارائه مدل مبنی بر استراتژی رسانه به منظور سازگاری با کم‌آبی. *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۳)، ۴۲-۲۶. doi: [10.22093/wwj.2019.161771.2792](https://doi.org/10.22093/wwj.2019.161771.2792)
- احسانی کلی‌کند، سمانه، نظری، بیژن، رضانی اعتدالی، هادی، و ستوده‌نیا، عباس. (۱۳۹۷). تعیین الگوی کشت بهینه باهدف سازگاری با کم‌آبی و افزایش درآمد کشاورزان در شرایط تحویل حجمی. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۵(۱)، ۷۸-۷۱. doi: [20.1001.1.24764531.1397.5.1.7.0](https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i2.74460)
- خوشگویان فرد، علیرضا (۱۳۸۶). روش‌شناسی کیو: مرکز تحقیقات صدا و سیما. تهران: ایران.
- ذوالفقاران، اردلان، عباسی، فریبرز، جلینی، محمد، و کریمی، محمد. (۱۳۹۸). بررسی علل کاهش آبدی قنات و راهکارهای سازگاری با آن (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و توسعه پایدار، ۲۶(۲)، ۷۷-۸۰. doi: [10.22067/jwsd.v6i2.74460](https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i2.74460)
- زبیدی، طاهره، یعقوبی، جعفر، و یزدان پناه، مسعود. (۱۴۰۰). بررسی روش‌های سازگاری روستاییان با کم‌آبی در استان خوزستان: کاربرد نظریه بنیانی پژوهش‌های روستایی، ۱۲(۲)، ۲۴۶-۲۵۷. doi: [10.22059/jrur.2020.302235.1497](https://doi.org/10.22059/jrur.2020.302235.1497)

- شهیدی، علی، خاشعی سیوکی، عباس، و جعفرزاده، احمد. (۱۳۹۸). راهکارهای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و سازگاری با کم‌آبی: مطالعه موردی دشت بیرجند. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۴(۴)، ۴۹۳-۵۰۴. <http://georesearch.ir/article-1-۷۰۳-fa.html>
- فتح‌اللهی، جمال، نجفی، سید محمدباقر، و فرهنگیان، شیما. (۱۴۰۰). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر کم‌آبی در استان کرمانشاه با کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی. آب و توسعه پایدار، ۸(۴)، ۳۳-۴۲. doi: [20.1001.1.24235474.1400.8.4.5.0](https://doi.org/10.22125/iwe.2022.158510)
- فرح‌زاد، محمدنوید، و نظری، بیژن. (۱۴۰۱). ارزیابی نیازهای آموزشی کشاورزان دارای سامانه آبیاری تحت فشار با رویکرد سازگاری با کم‌آبی (مطالعه موردی: استان قزوین). *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۳(۱)، ۱۰۸-۱۲۳. <https://doi.org/10.22125/iwe.2022.158510>
- کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی. (۱۳۹۷). <https://www.wsanw.ir/>
- کاویانی‌راد، مراد. (۱۳۹۸). هیدروپلیتیک سویه‌ها و رویکردها: پژوهش‌کننده مطالعات راهبردی. تهران: ایران.
- میان‌آبادی، آمنه، و داوری، کامران. (۲۰۲۰). ابهام‌زدایی از مفاهیم پایه در حوزه مدیریت آب: «سازگاری با کم‌آبی». آب و توسعه پایدار، ۷(۱)، ۶۱-۷۰. doi: [10.22067/jwsd.v7i1.81441](https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i1.81441)
- یاوریان، حسن، جلالیان، حمید، و طهماسبی، اصغر. (۱۴۰۲). ارزیابی نگرش کشاورزان روستاهای شهرستان بهار به چالش کم‌آبی و ارائه راهبرد های سازگاری با آن. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۳(۷۱)، ۳۸-۲۱. doi: [10.61186/jgs.23.71.21](https://doi.org/10.61186/jgs.23.71.21)
- Alam, K. (2015). Farmers' adaptation to water scarcity in drought-prone environments: A case study of Rajshahi District, Bangladesh. *Agricultural water management*, 148, 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.011>
- Ashraf Vaghefi, S., Mousavi, S., Abbaspour, K., Srinivasan, R., & Yang, H. (2014) Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *hydrological processes*, 28(4), 2018-2032. <https://doi.org/10.1002/hyp.9747>
- Azadi, Y., Yazdanpanah, M., & Mahmoudi, H. (2019). Understanding smallholder farmers' adaptation behaviors through climate change beliefs, risk perception, trust, and psychological distance: Evidence from wheat growers in Iran. *Journal of environmental management*, 250, 109456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109456>

- Khaledi, F., Zarafshani, K., Mirakzadeh, A. A., & Sharafi, L. (2015). Factors influencing on farmers' adaptive capacities to climate change (wheat farmers in Sar-pole Zahab township, Kermanshah province). *Journal of Rural Research*, 6(3), 655-678. doi: [10.22059/JRUR.2015.56064](https://doi.org/10.22059/JRUR.2015.56064)
- Kumar, P., Ojha, S., Kant Nigam, G., Singh, A., & Kumar Sinha, M. (2022). Water Resources, Livelihood Vulnerability and Management in Rural Desert Communities of Jaisalmer, India. *Water Resources Management and Sustainability*, 27(1), 1-58. doi: [10.1007/978-981-16-6573-8_1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6573-8_1)
- National Intelligence Council (2012). *Global Trends 2030: Alternative Worlds*. united states, America. <https://www.dni.gov/>
- Martin-Carrasco, F., Garrote, L., Iglesias, A., & Mediero, L. (2013). Diagnosing causes of water scarcity in complex water resources systems and identifying risk management actions. *Water resources management*, 27, 1693-1705. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0081-6>
- Meron, N., Blass, V., & Thoma, G. (2020). A national-level LCA of a water supply system in a Mediterranean semi-arid climate—Israel as a case study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 1133-1144. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01753-5>
- Mitchell, T., & Tanner, T. (2006). Adapting to climate change: Challenges and opportunities for the development community. A Commissioned Report for the Norwegian Ministry of Foreign Affairs: GECHS Report 2006:3
- Pluchinotta, I., Kazakçi, A. O., Giordano, R., & Tsoukiàs, A. (2019). Design theory for generating alternatives in public decision making processes. *Group Decision and Negotiation*, 28, 341-375. <https://doi.org/10.1007/s10726-018-09610-5>
- Poff, N. L., Brown, C. M., Grantham, T. E., Matthews, J. H., Palmer, M. A., Spence, C. M., & Dominique, K. C. (2016). Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*, 6(1), 25-34. . <https://doi.org/10.1038/nclimate2765>
- Baranyai, G. (2020). Geography of Transboundary River Basins. In: *European Water Law and Hydropolitics. Water Governance - Concepts, Methods, and Practice*. Springer: Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22541-4_2
- Bezi, K., Khosravi, S., Javadi, M., & Hossein Nejad, M. (2010). Water crisis in the Middle East (challenges and solutions. the 4th International Congress of the Islamic World Geographers (ICIWG2010). University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
- Brown, T. C., Mahat, V., & Ramirez, J. A. (2019). Adaptation to future water shortages in the United States caused by population growth and climate change. *Earth's Future*, 7(3), 219-234. <https://doi.org/10.1029/2018EF001091>
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., & Schipper, E. L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate policy*, 2(2-3), 145-159. <https://doi.org/10.3763/cpol.2002.0217>
- De Vito, R., Portoghesi, I., Pagano, A., Fratino, U., & Vurro, M. (2017). An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food nexus framework. *Advances in Water Resources*, 110, 423-436. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.027>
- Gawith, C. W. M. (2005). Measuring progress Preparing for climate change through the UK Climate Impacts Programme (UKCIP Technical Report, Issue).
- Giannoccaro, G., Pedraza, V., & Berbel, J. (2013). Analysis of stakeholders' attitudes towards water markets in Southern Spain. *Water*, 5(4), 1517-1532. <https://doi.org/10.3390/w5041517>
- Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water policy*, 9(6), 545-571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Movahhed Moghaddam, S., Dadrass Javan, F., Azadi, H., & Witlox, F. (2020). Adaptive capacity of smallholder farmers toward climate change: evidence from Hamadan province in Iran. *Climate and Development*, 12(10), 923-933. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1710097>

- Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289(5477), 284-288. doi: [10.1126/science.289.5477.284](https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284)
- Yan, D., Yao, M., Ludwig, F., Kabat, P., Huang, H. Q., Hutjes, R. W., & Werners, S. E. (2018). Exploring future water shortage for large river basins under different water allocation strategies. *Water resources management*, 32, 3071-3086. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1975-8>
- Zabala, A. (2014). qmethod: A package to explore human perspectives using Q methodology. *The R Journal*, 6(2), 163-173. <https://journal.r-project.org/archive/2014/RJ-2014>
- Zakeri, B., Hunt, J. D., Laldjebaev, M., Krey, V., Vinca, A., Parkinson, S., & Riahi, K. (2022). Role of energy storage in energy and water security in Central Asia. *Journal of Energy Storage*, 50(2022), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104587>
- Zhou, Y., Chang, L.-C., Uen, T.-S., Guo, S., Xu, C.-Y., & Chang, F.-J. (2019). Prospect for small-hydropower installation settled upon optimal water allocation: An action to stimulate synergies of water-food-energy nexus. *Applied energy*, 238, 668-682. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.069>
- Portoghese, I., D'Agostino, D., Giordano, R., Scardigno, A., Apollonio, C., & Vurro, M. (2013). An integrated modelling tool to evaluate the acceptability of irrigation constraint measures for groundwater protection. *Environmental modelling & software*, 46, 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.001>
- Portoghese, I., Giannoccaro, G., Giordano, R., & Pagano, A. (2021). Modeling the impacts of volumetric water pricing in irrigation districts with conjunctive use of surface and groundwater resources. *Agricultural Water Management*, 244, 106561. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106561>
- Raheli, H., Zarifian, S., & Yazdanpanah, M. (2020). The power of the health belief model (HBM) to predict water demand management: A case study of farmers' water conservation in Iran. *Journal of environmental management*, 263, 110388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110388>
- Rayner, S., & Malone, E. L. (1998). Human choice and climate change: an international assessment. Columbus, OH: Battelle Press (four volumes). *Foreign Affairs*, 77, 146. doi: [10.2307/20049143](https://doi.org/10.2307/20049143)
- Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 5-22.
- Shiklomanov, I. A. (1998). World water resources: an appraisal for the 21st century. IHP Report UNESCO. International Hydrological Program, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>
- Siwar, C., & Ahmed, F. (2014). Concepts, dimensions and elements of water security. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13(5), 281. <http://pjbs.org/pjnonline/fin2812.pdf>
- Sowers, J., Vengosh, A., & Weinthal, E. (2011). Climate change, water resources, and the politics of adaptation in the Middle East and North Africa. *Climatic Change*, 104(3), 599-627. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9835-0>
- Stenner, P., Watts, S., & Worrell, M. (2008). Q methodology. *The SAGE handbook of qualitative research in psychology*, 215-239. <https://doi.org/10.4135/9781848607927>

Scenarios for the Application of Virtual Water in the Local Governance of Isfahan Province with a Future Research Approach

A. Mottaghi^{1*}, M. Yosefi Shatori², A. Ghorbani Sepehr³

1, 2, 3- Professor, Ph.D. Student, and Postdoctoral Researcher in Political Geography, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: a.mottaghi@khu.ac.ir)

Received: 07-04-2024

Revised: 06-11-2024

Accepted: 10-11-2024

Available Online: 19-12-2024

سناریوهای فراوی کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان با رویکرد آینده‌پژوهی

افشین متقی^{۱*}، محمد یوسفی شاتوری^۲، آرش قربانی سپهر^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانشجوی دکترا و محقق پسادکترای جغرافیای سیاسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: a.mottaghi@khu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

Abstract

Isfahan Province is located in the arid and semi-arid region of Iran and is considered one of the country's leaders in the production and export of agricultural and industrial products. These characteristics have created challenges for local governance in this province. In the current research, the upcoming scenarios in the field of virtual water application in the local governance of Isfahan province have been investigated using a future research approach. This research is descriptive-analytical, and data were collected through library and field methods and analyzed using Micmac, Scenario Wizard, and Vensim software. The results of the research showed that coordination between various institutions and stakeholders, management of water resources in the agricultural sector in line with other sectors, the collective interest approach, development of water-intensive industries, climate change, rainfall patterns, and population size are among the key variables affecting the use of virtual water in local governance of Isfahan province. In the analysis of key drivers and possible scenarios, the output of the Scenario Wizard software showed that out of the 18 situations on the scenario page, the largest number of situations are related to scenarios that put the local governance of Isfahan province on a crisis path. These situations comprise 38.88 percent of the total situations on the scenario page. Therefore, the future situation of virtual water use in Isfahan province was assessed as critical.

Keywords: Virtual Water, Local Governance, Crisis Scenario, Isfahan Province.

چکیده

استان اصفهان در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران واقع است و در زمینه تولید و صادرات محصولات کشاورزی و صنعتی از پیشتازان کشور محسوب می‌شود. این ویژگی‌ها چالش‌هایی را برای حکمرانی محلی در این استان ایجاد کرده است. در پژوهش حاضر سناریوهای پیش‌رو در زمینه کاربرد آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان با رویکرد آینده‌پژوهی را بررسی شده است. این پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و داده‌ها از طریق روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده‌اند. سپس، تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای میک‌مک، سناریوویزارد و ونسیم انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد هماهنگی میان نهادها و ذی‌نفعان مختلف، مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به‌طور هم‌راستا با سایر بخش‌ها، رویکرد منافع جمعی، توسعه صنایع آب‌بر، تغییرات اقلیمی، الگوی بارش و میزان جمعیت، از جمله متغیرهای کلیدی مؤثر در کاربرد آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان هستند. در تحلیل پیش‌ران‌های کلیدی و سناریوهای محتمل، خروجی نرم‌افزار سناریوویزارد نشان داد از ۱۸ وضعیت موجود در صفحه سناریو، بیشترین تعداد وضعیت‌ها به سناریوهایی مربوط می‌شوند که حکمرانی محلی استان اصفهان را در مسیر بحران قرار می‌دهند. این وضعیت‌ها ۳۸/۸۸ درصد از کل وضعیت‌های صفحه سناریو را شامل می‌شوند. بنابراین، وضعیت آینده کاربرد آب مجازی در استان اصفهان بحرانی ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، حکمرانی محلی، سناریوی بحرانی، استان اصفهان.

با توسعه اقتصادی و ارتقای سطح زندگی انسان‌ها، تقاضا برای منابع آب هر ساله افزایش می‌یابد (Xue و همکاران، ۲۰۲۰؛ Sun و همکاران، ۲۰۲۱). رشد سریع جمعیت جهان، تغییر سبک زندگی انسان و روش‌های غیرمنطقی در استخراج و بهره برداری از منابع آب به همراه تغییرات اقلیمی و آب و هوایی، امروزه منابع آبی را تحت فشار فزاینده‌ای قرار داده است (Ma و همکاران، ۲۰۲۰). با رشد شهرنشینی، صنعتی شدن و فشارهای کم آبی مرتبط با آن چالش‌های بی‌شماری را در حوزه امنیت آب ایجاد کرده (Wang و همکاران، ۲۰۱۹) و سرعت کاهش منابع آب را تسریع کرده است (Li و Ma، ۲۰۲۰).

باتوجه به این که منابع آب شیرین تنها ۲/۵ درصد از کل منابع آب جهانی را شامل می‌شوند، این مقدار کم به واسطه عوامل متعددی از جمله فعالیت‌های انسانی، تغییرات آب‌وهوایی و مجموعه عوامل دیگر دچار روند کاهشی است که نشان دهنده تشدید کمبود آب و مشکلات آلودگی آب است و موجب ایجاد مسائلی از جمله توسعه اقتصادی محدود، عدم پایداری محیط‌زیستی و ناامنی غذایی در مقیاس جهانی شده است (Sun و همکاران، ۲۰۲۱). پایداری در استفاده از آب شیرین تنها شامل جریان فیزیکی و ذخیره آب، نیست (Du و همکاران، ۲۰۲۲)، بلکه آب مجازی در قالب تولید و صادرات محصولات کشاورزی و صنعتی و خدمات در امنیت منابع آب در یک مکان نقش بسزایی دارد.

آب در کشورهای آسیایی و آفریقایی نقش بسیار مهمی در تحول و توسعه پایدار دارد (Qadir و همکاران، ۲۰۰۷). شهرهای آسیایی و آفریقایی با مشکلات دوگانه آب مواجه هستند. از یک طرف خطر در دسترس بودن آب (کمیت و کیفیت) که با تغییرات آب‌وهوایی تشدید شده است و از طرف دیگر تقاضای روزافزون آب به دلیل رشد اقتصادی و جمعیتی این شهرها (Du و همکاران، ۲۰۲۲)، به چالش بحران آب در شهرهای این کشورها دامن زده است. کشور ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک واقع در آسیا است که محدودیت منابع آبی در آن عملکرد اکولوژیکی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را تغییر داده و اثرات سوء محیط‌زیستی آن به شدت تحت تأثیر منابع آبی و جریان‌های هیدرولوژیکی قرار گرفته است (Zarei، ۲۰۲۰؛ Moridi، ۲۰۱۷) و بخشی از منابع آب محدود خود را در قالب آب مجازی صادر می‌کند.

از زمان طرح آب مجازی در سال ۱۹۹۳ این مفهوم و کاربردهای تجربی آن بیشتر به تولید محصولات کشاورزی مربوط می‌شد (Kumar و همکاران، ۲۰۰۵). اما واقعیت آن است که تقسیم منابع آب مجازی امکان تمرکز بر سایر بخش‌های اقتصادی غیر از فعالیت‌های کشاورزی را فراهم می‌کند. اگر چه کشاورزی بیشترین سهم را در صادرات آب مجازی به خود اختصاص داده است،

فعالیت‌های اقتصادی متنوع دیگری به صادرات آب می‌انجامد. از طرفی به علت آنکه ما در عصر صنعتی زندگی می‌کنیم و تولید محصولات صنعتی دوره روبه‌رشدی را تجربه می‌کند، سهم فزاینده‌ای از تجارت بین‌الملل را به خود اختصاص داده است (Hou و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات اخیر این نگرانی را ایجاد کرده است که تأثیر نامطلوب تجارت جهانی آب مجازی بر کاهش آب ممکن است خطرات بالقوه‌ای برای تجارت مواد غذایی و امنیت آب در آینده ایجاد کند (Tian و همکاران، ۲۰۲۳).

باتوجه به توزیع محدود و نابرابر منابع آب شیرین در ایران، آب مجازی به معنای مقدار آب مورد نیاز برای تولید محصولات و خدمات که به طور گسترده به عنوان یک شاخص ارزیابی کمی در زنجیره تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد، نقش بسیار مهمی را در مکانیسم جریان آب در زمینه تجارت اقتصادی بازی می‌کند. علاوه بر این، امروزه باتوجه به گسترش تولید و مصرف و سرعت گرفتن جهانی شدن، نقش بسیار مهمی را در مقیاس‌های محلی، ملی و جهانی دارد (Sun و همکاران، ۲۰۲۱).

اصفهان استانی نیمه‌خشکی، در مرکز ایران است که با روند رو به افزایش بحران آب مواجه است و صادرات آب مجازی از این استان به دیگر شهرها و استان‌های کشور مسأله آب را در این استان در صدر مباحث امنیتی شدن قرار داده و حکمرانی محلی را در آن با بحران روبه‌رو کرده است. اصفهان به عنوان استان پیش‌تاز صنعتی و کشاورزی کشور، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی آن نه تنها رقابت بین شهرهای این استان و مکان‌های مختلف جغرافیایی را در بر داشته است، بلکه باعث رقابت بین بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، خدمات و ... در این استان شده است.

مسأله بحران و امنیت آب در استان اصفهان، اهداف، برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای استان مطابق با پتانسیل و ظرفیت آن را مختل کرده است و حکمرانی محلی را در آن به چالش کشده است. در این راستا پژوهش حاضر با طرح این سوال که عوامل تأثیرگذار کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان کدام است؟ به شناسایی این عوامل و عوامل کلیدی موثر بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان می‌پردازد. در نهایت با بهره‌گیری از عوامل کلیدی محتمل‌ترین سناریوی فراروی کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان را تدوین و به تحلیل محتمل‌ترین سناریوهای ممکن می‌پردازد.

مبانی نظری

- آب مجازی

آب مجازی برای اولین بار توسط آلن در سال ۱۹۹۳ مطرح شد (Allan، ۱۹۹۴). این مفهوم طی سال‌های اخیر اغلب مورد توجه سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار گرفته است

(Allan, ۲۰۰۳؛ Xue و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wichelns، ۲۰۱۰؛ Sun و همکاران، ۲۰۲۱؛ Williams و Al-Hmoud، ۲۰۱۵). بنابراین، آب مجازی به آب شیرین مصرف شده برای تولید یک محصول یا ارائه خدمات (Song و همکاران، ۲۰۲۰؛ Ma و همکاران، ۲۰۲۰) اشاره دارد. به عبارتی آب مجازی، آبی است که در یک محصول تجسم شده باشد. لازم به ذکر است که در ادبیات مربوط به آب مجازی نظرات مختلفی وجود دارد. در همین راستا، آلن اظهار داشت که "آب مجازی چیزی شبیه به مفهوم مزیت نسبی است." لانت پیشنهاد کرد آب مجازی عبارت بهینه برای توصیف فرصت‌های بهبود مدیریت آب با محاسبه آب موجود در تولید کالا است. از نظر وی، تجارت آب مجازی نیز کاربرد اصول اساسی جغرافیای اقتصادی است. از سوی دیگر، ویج لِنز استدلال کرد که آب مجازی صرفاً یک استعاره است، نه یک مفهوم، زیرا فقط به صرف آب می‌پردازد، او استدلال کرد که "آب مجازی" آب واقعی است و تجارت آب مجازی جز تجارت غذا وجود ندارد. هورلمن و نوبرت اشاره کردند که طبق نظریه هکسچر-اوهلین، تجارت بین‌المللی مطابق با مزیت‌های هزینه نسبی تنظیم می‌شود. همانطور که در بسیاری از کشورها قیمت آب یا وجود ندارد یا آنقدر پایین است که به هیچ وجه ارزش آب را منعکس نمی‌کند، تجارت فعلی آب مجازی با مزیت‌های هزینه نسبی تنظیم نمی‌شود، بلکه با کمبود مطلق آب تنظیم می‌شود. آنها استدلال کردند اگر ارزش اقتصادی مناسبی برای آب یا عرضه آن قائل شود، نیازی به یک استراتژی تجارت مجازی آب تحت یک سیاست ترویجی خاص وجود نخواهد داشت؛ زیرا تجارت خود را مطابق با مزیت‌های هزینه نسبی تنظیم می‌کند (Yang و Zehnder، ۲۰۰۷).

تحقیقات در مورد آب مجازی را می‌توان به مقیاس جهانی، مقیاس منطقه‌ای، مقیاس ملی و مقیاس محلی تقسیم کرد. تحقیقات تجارت آب مجازی در مقیاس جهانی، همه کشورهایی را که آب مجازی وارد یا صادر می‌کنند، در نظر می‌گیرد. در این مقیاس، علاوه بر کمی کردن حجم تجارت آب مجازی و تحلیل الگوهای تجارت آب مجازی جهانی، محرک‌های شکل‌گیری الگوی تجارت و ارزیابی مجازی جریان آب نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. در مقیاس منطقه‌ای شامل اکتشاف جریان‌های آب مجازی در میان کشورهای متعدد در یک منطقه است، مانند تأثیر جریان‌های آب مجازی در میان کشورهای اتحادیه اروپا بر منابع آب منطقه‌ای، کشاورزی و سیاست‌های تجاری یا وضعیت تجارت آب مجازی بین کشورها در یک حوضه را می‌توان از عمده‌ترین مباحث مطالعه آب مجازی در این مقیاس قلمداد کرد. به عنوان مثال می‌توان به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق تجارت نیز در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا اشاره نمود. مطالعه آب مجازی در مقیاس ملی شامل وضعیت جریان آب مجازی بین یک کشور و شرکای تجاری آن می‌شود که الگوهای تجارت آب مجازی تحت

تأثیر عوامل محیطی و اجتماعی-اقتصادی است و تکامل تجارت آب مجازی در یک کشور در طول زمان، در مورد اینکه آیا یک کشور می‌تواند با محاسبه محتوای آب مجازی به خودکفایی در عرضه محصولات کشاورزی دست یابد، مورد بررسی قرار می‌دهد (Sun و همکاران، ۲۰۲۱).

به‌طورکلی، آب مجازی ابزار مهمی برای متعادل کردن منابع آب است و به منابع آب متراکم در یک محصول اشاره دارد. در این راستا، یک کشور یا منطقه می‌توان از طریق تجارت بین‌المللی محصولات پر مصرف آب را از کشور یا منطقه دیگری خریداری کند تا آب مجازی از طریق تجارت منتقل شود. علاوه بر این، تجارت آب مجازی نه تنها به کشورهای دارای کمبود آب در صرفه‌جویی در منابع آب کمک می‌کند، بلکه به رشد تجارت کشورهای صادرکننده آب مجازی کمک می‌کند (Wang و همکاران، ۲۰۱۹؛ Xue و همکاران، ۲۰۲۰).

دو دیدگاه و رویکرد متفاوت نسبت به آب مجازی وجود دارد: در دیدگاه اول آب مجازی آبی است که در واقع برای تولید کالا یا خدمات استفاده می‌شود و این بستگی به زمان و مکان تولید کالا دارد. به عنوان مثال یک کیلوگرم غلات در یک کشور خشک دو یا سه برابر همین مقدار گندم در یک کشور مرطوب به آب نیاز داشته باشد. رویکرد دوم، رویکرد وارد کردن به جای تولید است. به این ترتیب در این رویکرد این سوال مطرح است اگر محصولی را به جای اینکه خودمان تولید کنیم، وارد کنیم، چقدر آب صرفه‌جویی می‌شود؟ (Han و همکاران، ۲۰۲۳).

- حکمرانی محلی آب

حکمرانی خوب برای بخش آب ضروری است (Tortajada، ۲۰۱۰). براین اساس، حکمرانی آب که با مدیریت منابع آب موضوعاتی به هم وابسته هستند، همواره در زمره بالاترین و اساسی‌ترین راهبردهای حیاتی بشر محسوب می‌شود که امروزه در کانون توجه اغلب سیاست‌مداران، مدیران، برنامه‌ریزان، اندیشمندان و حتی عموم مردم قرار گرفته است (ولی سامانی و مریدنژاد، ۱۳۹۵). برای حکمرانی آب در سیاست‌گذاری شبکه‌های محلی، دولت باید ضمن مشارکت مردم، مدیریت یکپارچه‌ای را در اعمال تقسیم آب دنبال کند. علاوه بر این، بی‌توجهی به جوامع محلی در روند سیاست‌گذاری‌های منابع آبی، موجب خسارات شدیدی به جوامع محلی شده و در برخی موارد مهاجرت‌های ناشی از آن و بالارفتن تقاضا برای منابع در راستای سیاست افزایش جمعیت شده است (بدیسار و همکاران، ۱۳۹۹؛ افسری و همکاران، ۱۳۹۶). حکمرانی آب سیستم‌های متعدد سیاسی، اجتماعی، اقتصادی بوده (اسکوهی و اسماعیلی، ۱۴۰۰) که افراد و نهادهای مختلف از این مفهوم به راه‌های مختلفی در زمینه‌های گوناگون فرهنگی، اقتصادی، اجتماعی، حقوقی و سیاسی استفاده می‌کنند.

به این ترتیب، حکمرانی آب را می‌توان به معنای وسیع آن در برگیرنده امور اجتماعی، سازمان‌ها و نهادهای سیاسی، اقتصادی، اداری و نیز روابط آنها با توسعه و مدیریت منابع آب در نظر گرفت که از طریق آنها دولت، بخش خصوصی و جامعه مدنی در مورد بهترین روش‌های استفاده، تخصیص، توسعه و مدیریت منابع آب تصمیم می‌گیرند (Tortajada, 2010). در مقیاس محلی به عنوان یک تفکیک فضایی مفید که برای درک فرایندها و اقداماتی که در محدوده‌های جغرافیایی کوچک‌تر از «منطقه‌ای» رخ می‌دهد، می‌باشد (Gao, 2020). در زمینه حکمرانی آب در مقیاس محلی، حکمرانی پایدار بر تمام جنبه‌ها و اولویت‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و فضایی تعریف می‌شود که به معنای دسترسی به آب در سطح محلی می‌باشد (سالاری و همکاران، 1394؛ Bayu و همکاران، 2020). بنابراین، حکمرانی آب که متأثر از ذی‌مدخلان از جمله سیاست‌گذاران است، دارای مقیاس‌های جغرافیایی از محلی تا منطقه‌ای و ملی بوده که حکمرانی محلی آب مبتنی بر جوامع محلی از جمله کارشناسان، دستگاه‌های دولتی، سمن‌ها و نمایندگان جوامع محلی است. بر این اساس، باتوجه به تمرکزگرایی که با نگاه ملی به مدیریت منابع آب وجود دارد و اغلب مانع از حکمرانی محلی آب می‌شود، سیستم مدیریت منابع آب قادر است تا با یک روند تمرکززدایی از قدرت موجب خلق نگاه محلی به مدیریت منابع آب شود. از این روی، با سیاست‌گذاری پایدار بر روی منابع آب که مستلزم به رسمیت شناختن نهادهای غیر رسمی و محلی در چارچوب حقوقی می‌باشد، نقش بازیگران محلی با نفوذ که تأثیر بسزایی بر خروجی‌های سیاستی دارند، به خوبی در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب، حکمرانی محلی آب یک رویکرد مشارکتی از پایین به بالا در مدیریت منابع آبی محسوب می‌شود که باید در این حکمرانی همه ذی‌مدخلان از جمله کشاورزان محلی تا دارندگان و خواهندگان آب در این سیستم در نظر گرفته شوند که در نهایت، این امر مستلزم به رسمیت شناختن نهادهای غیررسمی و محلی در چارچوب حقوقی با در نظر گرفتن سه مؤلفه رویکردهای فرهنگی و اخلاقی به شیوه‌های مدیریتی آب و خاک است (هاشمی، 1401).

- روش شناسی

پژوهش حاضر ماهیت کاربردی دارد. داده‌های مورد نیاز با روش کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری و با رویکرد ترکیبی کمی-کیفی (آمیخته) و تحلیل ساختاری و بهره‌گیری از نرم‌افزارهای میک‌مک^۱ و سناریوویزارد^۲ مورد واکاوی قرار گرفت. در پژوهش حاضر، ابتدا با مراجعه به منابع کتابخانه‌ای، مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان شناسایی و از طریق مصاحبه با خبرگان صحت

آنها بررسی شد. سپس پرسشنامه پژوهشگر ساخته‌ای در قالب ماتریس تحلیل اثرات، تنظیم و در نرم‌افزار میک‌مک میزان ارتباط متغیرها با حوزه مربوط به آن توسط خبرگان شناسایی و شش متغیر به عنوان متغیرهای کلیدی پژوهش شناسایی شدند. در مجموع 24 حالت برای شش متغیر کلیدی در نظر گرفته شد. بر پایه متغیرهای کلیدی و حالت‌های گوناگون آن پرسشنامه‌ای به صورت متقاطع، طراحی و در اختیار جامعه آماری پژوهش قرار گرفت. پرسشنامه‌های تکمیل شده در نرم‌افزار سناریوویزارد از طریق دستور گروه وارد شد. وزن‌دهی به پرسشنامه به صورت مقایسه‌ای زوجی و میزان ارتباط بین متغیرها با اعداد بین 3- تا 3+ سنجیده شد. سید سناریوهای فراروی کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان شناسایی و سناریوهای با سازگاری قوی تحلیل شدند. محتمل‌ترین سناریو شناسایی و راهکارهای مناسب با محتمل‌ترین سناریو تدوین شد. در نهایت نتایج تحقیق در نرم‌افزار ونسیم^۲ شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است روایی پرسشنامه‌های تنظیم شده توسط خبرگان تأیید شد. در جدول (۱) که نشان‌دهنده توزیع تعداد خبرگان دانشگاهی و اجرایی در حوزه‌های مختلف تخصصی در زمینه منابع آب و مرتبط با آن است. در بخش خبرگان دانشگاهی، افراد با تخصص‌های مختلف مانند مهندسی منابع آب، جغرافیای سیاسی، حقوق آب، و علوم سیاسی و روابط بین‌الملل حضور دارند. در بخش خبرگان اجرایی نیز، سازمان‌ها و نهادهای مختلف مانند استانداری استان اصفهان، جهاد کشاورزی، وزارت نیرو، و آب منطقه‌ای استان اصفهان مشارکت دارند. این جدول نشان‌دهنده هم‌راستایی میان تخصص‌های دانشگاهی و اجرایی در حوزه منابع آب است و تعداد افراد متخصص در هر حوزه را بر اساس سازمان‌های مربوط به آن نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات جامعه آماری پژوهش

خبرگان دانشگاه		خبرگان اجرایی	
حوزه تخصصی	تعداد	سازمان	تخصص
مهندسی	۳	استانداری	علوم اجتماعی
منابع آب	۳	استان اصفهان	علوم سیاسی
جغرافیای سیاسی	۱۰	جهاد کشاورزی استان اصفهان	مهندسی منابع آب
حقوق آب	۱	منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان	مهندسی کشاورزی (گرایش آب)
علوم سیاسی و روابط بین‌الملل	۵	وزارت نیرو آب منطقه‌ای استان اصفهان	مهندسی منابع آب مهندسی منابع آب

- شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان

در مرحله نخست پس از بررسی پژوهش‌های انجام شده، مستندات و پیشینه پژوهش در قالب کتاب، مقاله، اسناد و مدارک، متغیرهای مؤثر بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان توسط پژوهشگران شناسایی شد. سپس متغیرهای شناسایی شده مورد آزمایش قرار گرفت. به این صورت که با خبرگان پژوهش، مصاحبه نیمه ساختار یافته برای بررسی متغیرهای شناسایی شده، انجام و متغیرها بررسی شدند. در این مرحله شماری از متغیرها حذف، برخی اضافه و تعدادی در هم ادغام شدند. سرانجام تعداد ۳۱ متغیر تأثیرگذار بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان در قالب چهار بعد مدیریتی، اقتصادی- فنی، جغرافیایی- طبیعی و سیاسی- اجتماعی براساس جدول (۲) شناسایی و تنظیم شد. شایان ذکر است میانگین اهمیت متغیرها بر اساس امتیازاتی که نخبگان به رابطه متغیرها داده‌اند، می‌باشد.

- تحلیل سیستم و تعیین تأثیرگذاری-تأثیرپذیری متقابل متغیرها بر یکدیگر

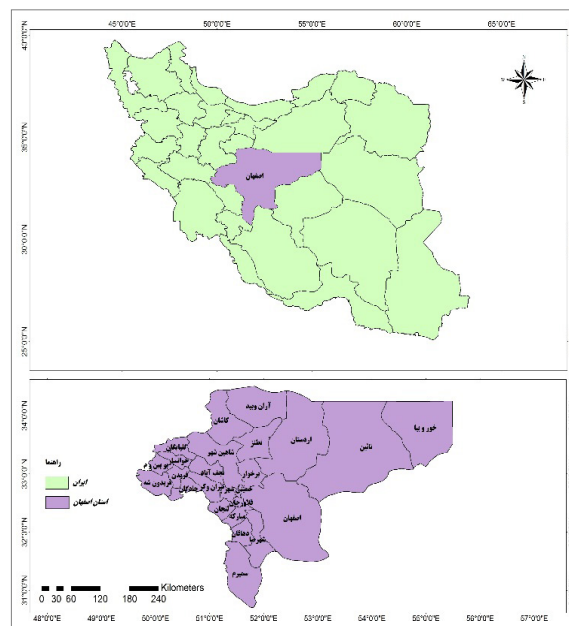
در این پژوهش پس از شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر کاربست آب مجازی در استان اصفهان، پرسشنامه پژوهشگر ساخته‌ای در قالب ماتریس اثرات متقاطع تنظیم و در اختیار خبرگان پژوهش قرار گرفت تا با بهره‌گیری از نظر خبرگان دانشگاهی و مدیران اجرایی به بررسی میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها پرداخته شود. نتایج پرسشنامه وارد نرم‌افزار میک‌مک شد. خروجی این نرم‌افزار شش متغیر کلیدی مؤثر بر کاربست آب مجازی در حکمرانی آب در استان اصفهان را نشان داد.

جدول (۳) نشان‌دهنده تحلیل اولیه داده‌های ماتریس اثرات متقابل است. این ماتریس با ابعاد ۳۲×۳۲، تعاملات مختلف بین شاخص‌ها و ابعاد مختلف را بررسی می‌کند. در این جدول، تعداد تکرارهای مختلف برای هر میزان اثر (صفر، یک، دو، سه و P) مشخص شده است. به طور خاص، تعداد ۱۷۴ مورد با مقدار صفر، ۲۴۳ مورد با مقدار یک، ۱۳۵ مورد با مقدار دو و ۳۱۰ مورد با مقدار سه ثبت شده است. در نهایت، جمع کل مقادیر ۹۱۶ بوده و درصد پُرشدگی ماتریس نیز ۹۲٫۸۸٪ محاسبه شده است. این اطلاعات نشان‌دهنده میزان کامل بودن و پُرشدگی ماتریس اثرات متقابل در تحلیل داده‌ها است.

علاوه بر این، این نتایج گویای آن هستند که تعداد روابط با اثرگذاری زیاد نسبت به دیگر روابط بیشتر است و روابط با تأثیر بالقوه، درصد کمی از مجموع روابط را به خود اختصاص داده است.

شایان ذکر است به دلیل آنکه این مقاله در حوزه دانش هیدروپلیتیک که زیرشاخه‌ای از جغرافیای سیاسی می‌باشد، به نگارش درآمده است، بیشترین تعداد جامعه آماری را به خود اختصاص داده است.

استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۷۰۱۹ کیلومتر مربع (۶/۵۵ درصد از مساحت کل کشور) می‌باشد که این استان در مرکز ایران واقع شده و از شمال به استان‌های مرکزی، قم و سمنان از جنوب به استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد از شرق به استان‌های یزد و خراسان جنوبی و از غرب به استان‌های لرستان و چهارمحال و بختیاری محدود است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، این استان دارای ۲۴ شهرستان بوده که مرکز آن شهر اصفهان است. این استان بعد از استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان، یزد، فارس و خراسان رضوی از نظر وسعت در رتبه هفتم قرار دارد و از منظر جمعیتی از استان‌های پر جمعیت کشور بوده و طی چند دهه اخیر به سبب تحولات اقتصادی ناشی از سرمایه‌گذاری‌های کلان ملی و توسعه یافتگی، جمعیت غیر بومی زیادی را از سایر استان‌های کشور به خود جذب کرده است. استان اصفهان به طور کلی دارای سه نوع آب و هوا است که عبارتند از: آب و هوای بسیار خشک تا نیمه‌خشک گرم (دشت‌های شرقی، مرکزی و شمال شرقی)، آب و هوای نیمه‌مرطوب تا سرد (نواحی مرتفع غربی و جنوبی) و آب و هوای نیمه‌خشک (نواحی مرتفع مرکزی و شمالی) است که با توزیع ناهمگون زمانی و مکانی بارش، وضعیت منابع آب استان را در حالت متفاوتی قرار داده است (سالنامه آماری استان اصفهان، ۱۳۹۸؛ باقری و همکاران، ۱۴۰۱؛ باقری و همکاران، ۱۴۰۲) (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده استان اصفهان

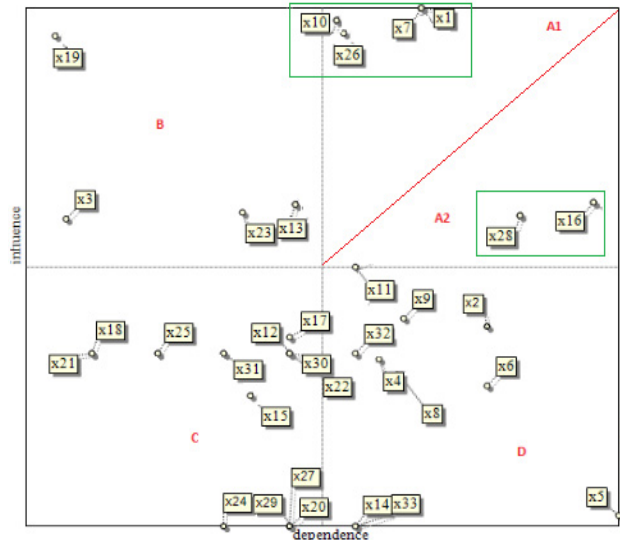
جدول ۲- متغیرهای تاثیرگذار بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان

میانگین اهمیت متغیر	متغیرهای تاثیرگذار	کد	بعد
۲/۱	میزان ارتباط و هماهنگی نهادها و گرداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان	X۱	مدیریتی
۱/۱	وجود مدیریت بحران به جای مدیریت ریسک در مدیریت منابع آب	X۲	
۱/۲	میزان اراده مسئولان مربوطه برای تغییر وضعیت از مدیریت بحران (انفعالی) به مدیریت پیشگیرانه (فعال)	X۳	
۱/۳	مافیای آب در استان اصفهان	X۴	
۱/۸	مدیریت زراعت و باغبانی در اقصی نقاط شهرستان‌های استان اصفهان	X۵	
۱/۳	مدیریت آب‌های سطحی و روان‌آب‌های جاری	X۶	
۲/۸	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها	X۷	
۱/۴	سامانه‌های آبیاری	X۸	
۱/۲	الگوهای کشت	X۹	
۲/۷	رویکرد منافع جمعی	X۱۰	
۱/۸	بهره‌وری آب کشاورزی و راندمان آبیاری	X۱۱	
۱/۴	برنامه‌ریزی فضایی و آمایش سرزمین	X۱۲	
۱/۲	سیاست ورزی و لابی‌گری در حکمرانی محلی آب	X۱۳	
۱/۸	مشارکت ذی‌نفعان در بهره‌برداری و حفاظت از منابع آب	X۱۴	
۱/۶	تطابق محصولات کشاورزی با ظرفیت‌های اکولوژیکی	X۱۵	
۲/۵	توسعه صنایع آب بر در استان اصفهان	X۱۶	اقتصادی- فنی
۱/۶	میزان تولید محصولات کشاورزی	X۱۷	
۱/۴	تکنولوژی پیشرفته	X۱۸	
۱/۳	الگوی کشت	X۱۹	
۱/۹	انتقال آب	X۲۰	
۱/۷	شبکه توزیع منابع آب	X۲۱	
۱/۱	معیشت وابسته به کشاورزی	X۲۲	
۱/۶	فرونشست زمین	X۲۳	جغرافیایی - طبیعی
۱/۴	خشکسالی و گسترش بیابان‌زایی	X۲۴	
۱/۳	عدم تطابق فصل برداشت و بارش	X۲۵	
۲/۲	تغییرات اقلیمی و الگوی بارش	X۲۶	
۱/۸	تعارضات (ناآرامی) اجتماعی	X۲۷	اجتماعی- فرهنگی
۲/۵	میزان جمعیت	X۲۸	
۱/۲	بقاء تمدن تاریخی اصفهان	X۲۹	
۱/۳	حاشیه نشینی	X۳۰	
۱/۷	میزان شغل‌های کاذب	X۳۱	
۱/۴	جمعیت روستاها و مهاجرت	X۳۲	

جدول ۳- تحلیل اولیه داده‌های ماتریس اثرات متقابل

شاخص	ابعاد ماتریس	تعداد تکرار	صفر	یک	دو	سه	P	جمع	درصد پرشدگی
مقدار	۳۲*۳۲	۲	۱۷۴	۲۴۳	۱۳۵	۳۱۰	۱۲۶	۹۱۶	۹۲/۰۸۸

- شناسایی متغیرهای کلیدی (پیشران‌های) موثر بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان
در نمودار پراکندگی چهار گروه از متغیرها به شرح زیر قابل شناسایی هستند:



شکل ۲- نمودار پراکندگی متغیرهای مستقیم و جایگاه آن در محور تأثیرگذاری- تأثیر پذیری

متغیرهای دو وجهی: این متغیرها با قرارگیری در بخش A نمودار، تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بالایی دارند. این متغیرها، متغیرهای کلیدی به‌شمار می‌روند؛ زیرا هم بر پویایی سیستم تأثیرگذارند و هم قابلیت کنترل دارند و به دو دسته متغیرهای ریسک و هدف تقسیم می‌شوند. متغیرهای ریسک (A1) بالای خط قطری در این ناحیه قرار دارند و اهمیت بیشتری دارند. متغیرهای هدف در زیر خط قطری (A2) این ناحیه قرار دارند و در درجه اهمیت پایین تری نسبت به متغیرهای ریسک قرار دارند. متغیرهای تأثیرگذار: این متغیرها در قسمت B محور مختصات، تأثیرگذاری بالا و تأثیرپذیری پایینی دارند و به علت تأثیرپذیری پایین، این متغیرها کلیدی به‌شمار نمی‌آیند. متغیرهای مستقل: این متغیرها در قسمت C نمودار پراکندگی قرار داشته و دارای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پایینی هستند. متغیرهای وابسته: این متغیرها با قرارگیری در قسمت D محور مختصات تأثیرگذاری پایین و تأثیرپذیری بالا دارند. با بررسی شکل (۲) و توضیحات بالا شش متغیر شامل: میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان (X1)، مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها (XV)، رویکرد منافع جمعی (X10)، توسعه صنایع آب بر در استان اصفهان (X16)، تغییرات اقلیمی و الگوی

- شرح حالت‌های احتمالی متغیرهای کلیدی

برای تدوین سناریوهای محتمل ابتدا شرح حالت‌های احتمالی که ممکن است برای هر متغیر کلیدی رخ دهد، مطابق جدول (۴) بیان می‌شود.

جدول ۴- شرح حالت‌های احتمالی برای متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان

کد	متغیر کلیدی	حالت	شرح حالت‌های احتمالی	وضعیت
A	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان	A1	هماهنگی کامل نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان	مطلوب
		A2	ادامه روند موجود	ایستا
		A3	هماهنگی نسبی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان	نیمه بحرانی
		A4	عدم هماهنگی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان	بحرانی
B	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها	B1	هماهنگی کامل بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	مطلوب
		B2	هماهنگی نسبی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	نیمه‌مطلوب
		B3	به روند موجود ادامه داده می‌شود	ایستا
		B4	عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	بحرانی
C	رویکرد منافع جمعی	C1	توجه اصولی به منافع جمعی	مطلوب
		C2	ادامه روند موجود	ایستا
		C3	عدم توجه به منافع جمعی	بحرانی
D	توسعه صنایع آب بر در استان اصفهان	D1	انتقال صنایع آب بر به مکان‌های با ذخیره آبی مناسب	مطلوب
		D2	ادامه روند موجود	ایستا
		D3	گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	بحرانی

کد	متغیر کلیدی	حالت	شرح حالت‌های احتمالی	وضعیت
E	میزان جمعیت	E1	رشد نسبی متناسب جمعیت با منابع آب	نیمه‌مطلوب
		E2	رشد جمعیت متناسب با منابع آب	مطلوب
		E3	ادامه روند موجود	ایستا
		E4	رشد نسبی نامتناسب جمعیت	نیمه‌بحرانی
		E5	رشد بی‌رویه جمعیت	بحرانی
F	تغییرات اقلیمی و الگوی بارش	F1	بهبود نسبی وضعیت اقلیمی	نیمه‌مطلوب
		F2	بهبود کامل وضعیت اقلیمی	مطلوب
		F3	ادامه روند موجود	ایستا
		F4	تشدید وضعیت موجود	نیمه‌بحرانی
		F5	فجایع اقلیمی	بحرانی

- تهیه سبد سناریو

پس از تهیه فهرست وضعیت‌های احتمالی، به طراحی پرسش‌نامه در قالب ماتریس متقاطع کلیدی پرداخته شد و در اختیار جامع آماری پژوهش قرار گرفت. نتایج پرسش‌نامه داده‌های لازم را برای تدوین سناریو توسط نرم‌افزار سناریویزارد فراهم کرد. با ارزیابی این مسأله که در اینجا هدف تهیه سناریوهای ممکن از ۲۴ وضعیت احتمالی مربوط به شش عامل کلیدی است، انتظار می‌رود بیش از ۳۸۳۵ سناریوی تلفیقی محتمل از میان این وضعیت‌های احتمالی استخراج شود که در برگزیده همه حالات پیش‌روی کاربری آب مجازی در

حکمرانی محلی استان اصفهان باشد. نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار سناریویزارد نشان داد پنج سناریو با سازگاری قوی و محتمل پیش روی کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان وجود دارد. شکل (۳) تابلوی سناریوهای با سازگاری قوی را نشان می‌دهد. در این تابلو رنگ آبی وضعیت کاملاً مطلوب، سبز نشان‌دهنده وضعیت نیمه‌مطلوب، رنگ زرد بیانگر وضعیت ایستا، رنگ صورتی وضعیت در آستانه بحران، رنگ قرمز نشان‌دهنده وضعیت بحرانی است. تابلوی سناریوهای قوی از ۱۸ وضعیت احتمالی مربوط به پنج سناریو با سازگاری قوی و محتمل تشکیل شده است.

Scenario No. 1	Scenario No. 2	Scenario No. 3	Scenario No. 4	Scenario No. 5
تغییرات اقلیمی و الگوی بارش؛ تشدید وضعیت موجود	رویکرد منافع جمعی؛ عدم توجه به منافع جمعی	توسعه صنایع آب بر در اصفهان؛ گسترش نسبی صنایع آب بر	تغییرات اقلیمی؛ بهبود نسبی وضعیت اقلیمی	توسعه صنایع آب بر در استان اصفهان؛ ادامه روند موجود
میزان ارتباط نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در اصفهان؛ عدم هماهنگی نهادها و گردواران آب	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان
میزان جمعیت؛ رشد نسبی نامتناسب جمعیت	تغییرات اقلیمی و الگوی بارش؛ فجایع اقلیمی	میزان جمعیت؛ رشد بی‌رویه جمعیت	رویکرد منافع جمعی؛ ادامه روند موجود	میزان جمعیت؛ رشد جمعیت متناسب با منابع آب
مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها؛ عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها؛ عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها؛ عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها؛ عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها	مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها؛ عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها
تغییرات اقلیمی و الگوی بارش؛ فجایع اقلیمی	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گردواران برای حکمرانی آب در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان؛ گسترش صنایع آب بر در استان اصفهان	تغییرات اقلیمی و الگوی بارش؛ ادامه روند موجود	تغییرات اقلیمی و الگوی بارش؛ ادامه روند موجود

شکل ۳- تابلو سناریوهای محتمل و قوی فراروی کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان

براین اساس، لازم است به‌منظور درک بهتر سناریوها، هر کدام یک از آن‌ها توضیح داده شوند که عبارتند از:
سناریوی شماره ۱- بر اساس این سناریو، تغییرات اقلیمی و الگوی بارش در استان اصفهان، به شدت وضعیت منابع آب را تحت تأثیر قرار داده و تهدیدی جدی برای حکمرانی محلی

همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود تعداد وضعیت بحرانی بر دیگر وضعیت‌های ممکن برتری دارد. از میان وضعیت‌های احتمالی ۳۸/۸۸ درصد وضعیت بحرانی، ۲۲/۲۲ درصد وضعیت نیمه بحرانی، ۱۶/۶۶ درصد وضعیت ایستا، ۱۱/۱۱ درصد وضعیت نیمه مطلوب و ۱۱/۱۱ درصد وضعیت مطلوب داشته‌اند.

محسوب می‌شود. با تشدید این تغییرات و وقوع فجایع اقلیمی، نظیر خشکسالی‌های طولانی مدت و نوسانات شدید بارش، نیاز به مدیریت بهینه و کارآمد آب در استان بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین مفهوم آب مجازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر جهت بهینه‌سازی مصرف آب در بخش‌های مختلف، به ویژه کشاورزی، مورد توجه قرار گیرد. با این‌وجود عدم هماهنگی و ارتباط مؤثر بین نهادها و ذی‌نفعان در حکمرانی آب، مانع از اجرای سیاست‌های کارا در این حوزه می‌شود. گسترش صنایع آب‌بر که به دلیل رشد سریع جمعیت و نیازهای روزافزون اقتصادی در استان اصفهان روی داده، فشار بیشتری بر منابع آب وارد کرده است. درحالی‌که مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی نیز نیازمند هم‌سویی و هماهنگی با دیگر بخش‌ها است، اما ناهماهنگی‌های موجود، به ویژه در سطح محلی، کاهش قابلیت پاسخگویی به چالش‌های موجود را به همراه داشته است. بنابراین، باتوجه به نیاز الزامی به راهکارهای پایدار و کارآمد برای مدیریت منابع آب، کاربست آب مجازی به‌عنوان یک استراتژی تطبیق‌پذیر می‌تواند به نهادها و ذی‌نفعان کمک کند تا ضمن کاهش فشار بر منابع آبی، با همکاری‌های بین‌نهادی و ادغام سیاست‌های مختلف، به سوی حکمرانی آبی بهینه در استان اصفهان حرکت کنند.

سناریوی شماره ۲- این سناریو به مانند سناریوی شماره ۱ می‌پردازد که باتوجه به تغییرات اقلیمی و تغییر الگوی بارش‌ها در استان اصفهان، مشکلات مرتبط با مدیریت منابع آب به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. در سال‌های اخیر، شدت پدیده‌های خشکسالی و فجایع اقلیمی، بحران آب را در این منطقه تشدید کرده و ضرورت حکمرانی بهینه بر منابع آبی را بیش از پیش نمایان کرده است. بنابراین استفاده از مفهوم آب مجازی می‌تواند به بهبود مدیریت و توزیع منابع آب کمک کند.

با عدم هماهنگی میان نهادها و گرداران مختلف به‌عنوان یک چالش اساسی در حکمرانی آب استان اصفهان، نه تنها باعث معرفی تصمیمات پراکنده و ناکارآمد می‌گردد، بلکه موجب بروز تعارضات و نارضایتی‌های اجتماعی می‌شود. از سوی دیگر، گسترش صنایع آب‌بر در این استان، مانند صنایع ذوب آهن و فولاد مبارکه، روند مصرف منابع آب را به شدت افزایش داده و به ویژه در شرایط رشد نامتناسب جمعیت، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد کرده است.

سناریوی شماره ۳- بر اساس این سناریو که بیانگر چالش‌ها و فرصت‌های مرتبط با حکمرانی آب در استان اصفهان می‌باشد. لازم به توضیح است، با افزایش جمعیت و رشد بی‌رویه آن، فشار زیادی بر منابع آبی استان وارد شده و این موضوع نیاز به رویکردهای نوین در استفاده از آب مجازی را ضرورت می‌بخشد. بنابراین توسعه صنایع آب‌بر به‌عنوان یکی از عوامل

مؤثر در بحران آب مطرح می‌شود. اگرچه گسترش نسبی این صنایع می‌تواند به توسعه اقتصادی منطقه منجر شود، اما عدم توجه به منافع جمعی و تبعات منفی آن بر منابع آبی استان، به یک چالش جدی برای حکمرانی محلی تبدیل شده است. همچنین، با بروز تغییرات اقلیمی و فجایع مرتبط با آن، بر ابعاد مختلف مدیریت منابع آب تأثیر گذاشته و در شرایطی که هماهنگی نهادها و گرداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان در سطحی نسبی قرار دارد، نیاز به تقویت این ارتباطات و همکاری‌ها حس می‌شود. به‌طوری‌که، بدون وجود یک ساختار مدیریتی قوی و هماهنگ، امکان دستیابی به حکمرانی پایدار و مؤثر بر منابع آب، به ویژه در مواجهه با چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، به شدت کاهش می‌یابد. لذا اتخاذ رویکردهایی مبتنی بر منافع جمعی و بهره‌برداری بهینه از آب مجازی می‌تواند به بهبود حکمرانی محلی در استان اصفهان کمک کند.

سناریوی شماره ۴- این سناریو نشان‌دهنده چالش‌های عمده‌ای است که در زمینه مدیریت منابع آب وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، عدم توجه کافی به منافع جمعی در فرآیند توسعه صنایع آب‌بر در استان اصفهان است، که باعث ادامه روند موجود و فزونی مصرف آب در فعالیت‌های صنعتی شده است. درحالی‌که تغییرات اقلیمی و الگوهای بارش، به وقوع فجایع اقلیمی و افزایش شرایط خشکسالی منجر شده که تأثیرات آن بر کشاورزی و تأمین آب شرب قابل توجه است.

رشد بی‌رویه جمعیت در استان اصفهان، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد کرده و ضرورت بهبود مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی و هماهنگی آن با دیگر بخش‌ها را نمایان می‌سازد. لازم به ذکر است اگرچه تلاش‌هایی برای بهبود هماهنگی بین نهادها و گرداران در حکمرانی آب صورت گرفته، اما هنوز این هماهنگی به طور کامل برقرار نیست و نیاز به اقدامات بیشتری در این زمینه احساس می‌شود. به همین دلیل، توجه به کاربست آب مجازی و ارتقای سطح همکاری نهادها می‌تواند به مدیریت بهینه و پایدار منابع آبی استان اصفهان کمک کند.

سناریوی شماره ۵- این سناریو با اشاره به بهبود نسبی وضعیت اقلیمی که می‌تواند فرصت‌های جدیدی را برای مدیریت منابع آب فراهم کند. به توسعه صنایع آب‌بر در استان اصفهان و ادامه روند موجود می‌پردازد که نیاز به اتخاذ تدابیری به‌منظور کاهش فشار بر منابع آبی را برجسته می‌کند. در این راستا، هماهنگی کامل نهادها و گرداران در حکمرانی آب، می‌تواند به بهبود فرآیندهای مدیریتی کمک کرده و از نابود کردن منابع جلوگیری کند.

در این سناریو، رویکرد منافع جمعی استمرار خواهد یافت، درحالی‌که رشد جمعیت نیز به‌صورت متناسب با منابع آب پیش می‌رود. این هماهنگی جمعیتی، می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری در استفاده از آب مجازی شود و به ویژه در بخش کشاورزی تأثیر

قابل توجهی داشته باشد. با وجود چالش‌های موجود، مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی به صورت هماهنگ با دیگر بخش‌ها قرار دارد، که این امر می‌تواند به بهره‌برداری بهینه از منابع آبی کمک کند و از تبعات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی جلوگیری نماید. بنابراین، ادامه روند مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر در این زمینه، کلید موفقیت در ایجاد سازوکارهای پایدار برای حکمرانی آب در استان اصفهان خواهد بود.

- تشکیل خانواده سناریوها

سناریوهای قوی با در نظر داشت ویژگی و وضعیت‌های حاکم بر آنها به سه گروه تقسیم می‌شوند و برای هر گروه سناریو تدوین می‌شود.

گروه نخست: محتمل‌ترین سناریو، سناریو بحرانی و نیمه بحرانی
کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی منابع آب استان اصفهان بحرانی و نیمه بحرانی نمود یافته است. این سناریو شامل الگوی سناریوهای یکم، دوم، سوم و چهارم است که با تشدید وضعیت موجود تغییرات اقلیمی و الگوی بارش، عدم توجه به رویکرد منافع جمعی، گسترش نسبی صنایع آب‌بر، عدم هماهنگی نهادها و گروه‌داران آب، گسترش صنایع آب‌بر در استان اصفهان، بروز فجایع اقلیمی، رشد نسبی نامتناسب جمعیت، رشد بی‌رویه جمعیت، عدم هماهنگی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها و هماهنگی نسبی نهادها و گروه‌داران برای حکمرانی آب در استان اصفهان با طیف گسترده‌ای از شرایط نیمه بحرانی تا بحرانی قرار دارند. لازم‌به‌ذکر است ضریب تأثیر این گروه از الگوی سناریوهای دیگر بالاتر بوده که نشان‌دهنده برجسته‌سازی این گروه از سناریوها نسبت به سایر گروه‌های دیگر است که باید به آن توجه ویژه‌ای شود. علاوه‌براین، این سناریوها به وضعیت‌هایی اشاره دارند که در آن نه تنها منابع آب کاهش یافته، بلکه عوامل متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، الگوهای بارش نامنظم و عدم توجه به منافع جمعی باعث افزایش فشار بر منابع آب می‌شوند. در این شرایط، کاربری آب مجازی به عنوان یک راهکار می‌تواند کمکی به مدیریت این بحران کند. آب مجازی به معنای مقدار آبی است که برای تولید کالاها و خدمات مصرف می‌شود. در این راستا، استفاده مناسب از آب مجازی می‌تواند به بهبود حکمرانی و مدیریت منابع آب کمک کند.

گروه دوم: سناریوی با تغییرات آهسته، ادامه روند موجود

از دیگر سناریوها در کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان را می‌توان به سناریو ادامه روند موجود اشاره نمود. این سناریو که شامل الگوی سناریوهای چهارم و پنجم است و با عنوان تغییرات آهسته در کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان یاد می‌شود و باعث ادامه روند موجود در استان مورد مطالعه می‌شود. از جمله شرایط

حاکم بر این گروه از الگوی سناریوها شامل توسعه صنایع آب‌بر در استان اصفهان، تغییرات اقلیمی و الگوی بارش و رویکرد منافع جمعی می‌باشد. بنابراین، این سناریو از دیگر الگوهای سناریوها می‌باشد که نشان‌دهنده حرکت و تغییرات آهسته این گروه از سناریوها نسبت به دیگر گروه‌ها است که بایستی به این موضوع توجه داشت. در نتیجه، این سناریو به عنوان مدلی از استمرار وضعیت فعلی، به تدریج و به آرامی مشکلات را نمایان می‌کند، که نیاز به توجه و اقدامات جدی‌تر در زمینه مدیریت منابع آب و رویکردهای سازگار با شرایط جدید دارد. در واقع، این سناریو بیانگر ضرورت توجه به مدیریت پایدار و سیاست‌های مناسب برای رشد و توسعه اقتصادی بدون آسیب به منابع آبی می‌باشد.

گروه سوم: ضعیف‌ترین سناریو، سناریو مطلوب و نیمه مطلوب
این سناریو که به عنوان ضعیف‌ترین سناریو در کاربری آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان شناخته می‌شود. شامل الگوی سناریوهای سوم، چهارم و پنجم است که با هماهنگی کامل نهادها و گروه‌داران برای حکمرانی آب، رشد جمعیت متناسب با منابع آب، بهبود نسبی وضعیت اقلیمی و در نهایت هماهنگی نسبی بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها با طیف گسترده‌ای از شرایط نیمه مطلوب تا مطلوب قرار دارند. لازم‌به‌ذکر است که ضریب تأثیر این گروه از الگوی سناریوهای دیگر کمتر بوده و نشان‌دهنده ضعیف بودن این گروه از سناریوها نسبت به سایر گروه‌های دیگر است.

بحث

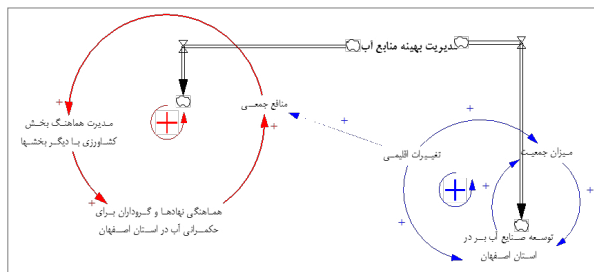
کشور ایران دچار خشکسالی و کم‌آبی شدید است که این مسأله با وجود اینکه تنش‌هایی را در ساخت اجتماعی افزایش داده است، منجر به بروز بی‌ثباتی و فراهم آوردن زمینه‌های فروپاشی نظام سیاسی حاکم شده است. از این رو استدلال می‌شود با افزایش جمعیت، رشد سریع فعالیت‌های اقتصادی و بی‌توجهی به روندهای محیط‌زیستی، سوء مدیریت و عطش توسعه بر دامنه این روند افزوده شود که می‌توان مسائل آب را در پیوند با شیوه حکمرانی یا مدیریتی دولت‌ها نیز مطرح نمود (حاتمی و نوربخش، ۱۳۹۸). بر این اساس، امروزه باتوجه به این که استان اصفهان یکی از استان‌های درگیر کمبود آب و با نیاز شدید آبی محسوب می‌شود، این کمبود باعث شده تا در کنار بسیاری از عوامل از جمله رشد صنایع آب‌بر، رشد سریع جمعیت، تغییرات اقلیمی و الگویی بارش وضعیت استان را بیش‌ازپیش بحرانی کند و با افت شدید منابع آب‌های زیرزمینی در استان تقاضا برای آب در بخش کشاورزی استان افزایش پیدا کند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ باقری و همکاران، ۱۴۰۲). از این رو، با وجود اینکه مطالعات زیادی در رابطه با این مسأله وجود دارد، اما در رابطه با آب مجازی

و کاربست آن در حکمرانی محلی استان اصفهان منابع بسیار اندکی وجود دارد که می‌توان پیشینه این پژوهش را از این حیث نیازمند تلقی کرد.

طی دهه‌های اخیر باتوجه به سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های کلان دولت در رابطه با ایجاد صنایع سنگین در استان اصفهان که موجب شده تا مصارف آب زیادی را به خود اختصاص بدهند، امروزه با وجهه افزایش تقاضای آب برای محصولات کشاورزی و فشار بی‌سابقه آن بر سیستم کشاورزی که در استان اصفهان با کمبود آبی که وجود دارد، به شدت به واردات کالای کشاورزی و آب آن وابستگی پیدا کرده و از این رو آب مجازی در تجارت محصولات کشاورزی و دامی و به‌طور ویژه در حکمرانی محلی آب مورد توجه و اهمیت قرار می‌گیرد و بایستی محصولات کشاورزی پر آب را از استان‌های دیگر وارد کند و در عین حال از منابع آبی محدود داخلی خود در راستای فعالیت‌های با ارزش بالاتر استفاده کند. بنابراین، استفاده از آب برای صادرات محصولات کشاورزی و تولیدات صنعتی بر جوامع محلی و محیط زیست تأثیر می‌گذارد. باتوجه به وضعیت نابسامان منابع آب در استان اصفهان و حساسیت‌های ناشی از تهدیدات و پیامدهای بحران آب در آن، پیوسته مسأله حکمرانی محلی آب مورد اهمیت قرار گرفته و بدون شک سبب شده تا مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب با مشکلات زیادی روبه‌رو شود. علاوه بر این، با کاهش منابع آب‌های زیرزمینی در استان و پیروی نکردن از الگوی کشت مناسب به همراه الگوی مصرف بهینه و عدم شفاف‌سازی در تخصیص، توزیع و مصرف آب در بخش‌های مختلف و نیز انتقال آب از سرشاخه‌های منابع آبی استان به سایر حوضه‌ها و استان‌های همجوار که حاکی از وجود شکاف در حکمرانی منابع آب استان دارد، باعث شده تا بر دامنه بحران آب و کاهش کمیت و کیفیت منابع آب در استان اصفهان بیافزاید. به این ترتیب این وضعیت با رویکرد بخشی و بدون توجه به رویکرد جمعی در حوزه منابع آب استان اصفهان باعث شده تا روند وضعیت بحرانی موجود تشدید شود و آسیب‌های محیطی دوچندانی را در حوزه‌های مختلف مدیریتی و جغرافیایی به وجود آورد.

می‌توان بیان نمود، مدیریت بهینه منابع آب یکی از مسائل حیاتی در عصر حاضر است، به ویژه در مناطقی مانند استان اصفهان که با چالش‌های مختلفی همچون تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و توسعه صنایع آب‌بر روبه‌رو است. بر اساس گزارش‌های اخیر، جمعیت استان اصفهان در حال افزایش است و این افزایش فشار بیشتری بر منابع آبی موجود ایجاد می‌کند. با توسعه صنایع آب‌بر در استان اصفهان به‌عنوان یک چالش جدید و اساسی که نیاز فزاینده به منابع آب دارند و می‌توانند منجر به کاهش منابع آبی موجود در استان شود، به ویژه زمانی که مدیریت بهینه منابع

آب به درستی صورت نگیرد، بر تشدید این مسأله تأثیرگذار است. بنابراین، ایجاد منافع جمعی از طریق همکاری و هماهنگی میان نهادهای مختلف و ذی‌نفعان امری ضروری در حفظ و بهبود وضعیت موجود تلقی می‌شود که با مدیریت هماهنگ بخش کشاورزی با دیگر بخش‌ها، به ویژه بخش صنعت و خدمات، می‌توان به یک استراتژی کلیدی برای تحقق این هدف دست یافت. لذا، این مسأله نه تنها به بهینه‌سازی مصرف آب کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی جوامع محلی و حفاظت از اکوسیستم‌های آبی منجر شود. به این ترتیب حکمرانی آب در استان اصفهان نیاز به هماهنگی و همکاری میان دستگاه‌های مختلف دارد. در این راستا، پژوهش حاضر به بررسی کاربست آب مجازی بر سناریوهای حکمرانی محلی آب استان اصفهان پرداخته است که متغیرهای میزان ارتباط هماهنگی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان، مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی هماهنگ با دیگر بخش‌ها، منافع جمعی، توسعه صنایع آب‌بر در استان اصفهان، تغییرات اقلیمی و الگوی بارش و میزان جمعیت به‌عنوان متغیرهای کلیدی مؤثر بر کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان انتخاب شدند (جدول ۲) که باتوجه به شکل (۴) استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مانند «ونسیم» می‌تواند ابزاری مؤثر در تحلیل سناریوهای مختلف مدیریت و حکمرانی محلی آب و پیش‌بینی نتایج تحقیق باشد. همچنین این رویکرد این امکان را می‌دهد تا با شبیه‌سازی نتایج مختلف به بررسی تأثیرات مختلف بر منابع آب پرداخته شود.



شکل ۴- شبیه‌سازی نتایج تحقیق در نرم‌افزار ونسیم

ارزش‌گذاری زیرمتغیرهای مؤلفه‌های جدول (۲) بر پایه نظرات خبرگان در رشته‌های متفاوت مربوط به بحث نشان داد وضعیت پیش‌روی کاربست آب مجازی در حکمرانی محلی استان اصفهان بحرانی و نیمه‌بحرانی است و برای حرکت به سوی وضعیت مطلوب با کمک مدیریت بهینه منابع آب در سطح ملی و استانی که بتوان با یک رویکرد جمعی در قالب مدیریت هماهنگ بخش کشاورزی با سایر بخش‌ها و نیز هماهنگی نهادها و گروداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان از رخداد وضعیت بحرانی استان اصفهان جلوگیری نمود (شکل ۴).

- 1-Micmac
2-Scenario Wizard
3-Vensim

منابع

- اسکوهی، مائده، و اسماعیلی، کاظم. (۱۴۰۰). تحلیلی بر نظریه‌های حکمرانی و مدیریت منابع آب در ایران. نشریه آب و توسعه پایدار، ۸(۱)، ۱-۱۰. doi: [10.22067/JWSD.V8I1.88216](https://doi.org/10.22067/JWSD.V8I1.88216)
- افسری، عبدالحمید، حاجی ناصری، سعید، فاضلی، محمد، و فیرحی، داوود. (۱۳۹۶). مدل داده بنیاد بررسی جامعه شناختی حکمرانی آب در بحران دریاچه ارومیه. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، ۷(۲۵)، ۷۳-۵۲. https://sspp.iranjournals.ir/article_29726.html
- باقری، مهرداد، مختاری‌هشی، حسین، گندمکار، امیر، و خادم‌الحسینی، احمد. (۱۴۰۱). تاثیر بحران آب بر تخریب بنیادهای زیستی؛ مورد مطالعه: فرونشست زمین در استان اصفهان. آمایش سیاسی فضا، ۴(۴)، ۳۳۶-۳۸۶. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.26455145.2022.4.4.7.3>
- باقری، مهرداد، مختاری‌هشی، حسین، گندمکار، امیر، و خادم‌الحسینی، احمد. (۱۴۰۲). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل موثر بر بحران آب در استان اصفهان. فصلنامه جغرافیا، ۲۱(۷۷)، ۱۳-۲۹. <http://dor.net/dor/20.1001.1.27833739.1402.21.77.2.5>
- بدیسار، سید ناصرالدین، احمدی، سید محمد صادق، و مدبرنژاد، عاطفه سادات. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های حکمرانی خوب در بخش آب. نشریه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲(۲)، ۲۷۵-۲۸۶. <https://doi.org/10.22034/jest.2020.30675.3908>
- حاتمی، عباس، و نوربخش، سوسن. (۱۳۹۸). بازسازی معنایی بحران آب در شرق اصفهان براساس نظریه زمینه‌ای. جامعه‌شناسی کاربردی، ۳۰(۱)، ۱۴۲-۱۲۳. doi: [10.22108/IAS.2018.109357.1299](https://doi.org/10.22108/IAS.2018.109357.1299)
- سالاری، فاطمه، قربانی، مهدی، و ملکیان، آرش. (۱۳۹۴). پایش اجتماعی شبکه ذی‌نفعان در حکمرانی محلی منابع آب (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز رزین، شهرستان کرمانشاه). نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۸(۲)، ۲۸۷-۳۰۵. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2015.54931>
- سازمان برنامه و بودجه کشور. (۱۳۹۸). سالنامه آماری شهرستانی استان اصفهان ۱۳۹۸. استان اصفهان، کشور ایران.

در کشور خشک و نیمه‌خشک ایران منابع آب با مسائل سیاسی پیوندی دوجندانی دارد که بایستی مدیریت و حکمرانی منابع آب در مقیاس‌های ملی و فروملی (محلی) مورد توجه قرار گیرد. استان اصفهان در حال تجربه کردن بحران فزاینده‌ای از منابع آب است که متأثر از عوامل و مولفه‌های گوناگونی بوده که این مسأله امروزه با استفاده بی‌رویه از منابع آب در بخش‌های گوناگون امنیت، ثبات و رفاه ساکنان استان را به ویژه در مقیاس محلی دچار آسیب نموده است. ازاین‌رو این مسأله در استان اصفهان باعث شده تا پیامدهای مخربی ایجاد کند و در بسیاری از مناطق تأمین آب در بخش کشاورزی به یک معضل روبه‌رشدی تبدیل شده که وضعیت استان را نسبت به گذشته دچار یک شکنندگی کرده است. براین‌اساس، بر بنیاد چنین شناسایی و ویژگی‌هایی، تدوین وضعیت پیش‌روی کاربرست آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. علاوه‌براین، ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان تحقیق، متغیرهای موثر بر کاربرست آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان شناسایی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار میک مک شش متغیر کلیدی (پیش‌ران‌های) تأثیرگذار بر کاربرست آب مجازی در حکمران محلی آب استان اصفهان شناسایی شدند. نحوه توزیع و پراکنش متغیرها در صفحه پراکندگی نشان‌دهنده ناپایداری سیستم است. با نگرش به رویکرد آینده پژوهی، در این تحقیق برای پیش‌ران‌های کلیدی حالت‌های مختلف (عدم قطعیت) از سه تا پنج فرض و در مجموع ۲۴ حالتی طراحی شد. نتایج پژوهش نشان داد، احتمال رخداد وضعیت بحرانی و نیمه بحرانی بیشتر از دیگر رویدادهای ممکن است. به گونه‌ای که ۳۸/۸۸ درصد از وضعیت‌های حاکم بر صفحه سناریو در وضعیت بحرانی و نیمه بحرانی قرار دارند. بنابراین، مسأله مهم در تدوین سناریوهای وضعیت پیش‌روی کاربرست آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان آن است که با رویکرد منافع جمعی، مدیریت هماهنگ بخش کشاورزی با سایر بخش‌ها و هماهنگی نهادها و گرداران برای حکمرانی آب در استان اصفهان بتوانند برای محتمل‌ترین سناریوی ممکن راهکار مناسبی ارائه دهند. بنابراین، با نگرش به وضعیت استان اصفهان مناسب‌ترین راهکار، مدیریت بهینه منابع آب در سطح محلی استان است تا متناسب با آن و کاربرست آب مجازی در حکمرانی محلی آب استان اصفهان از رخداد وضعیت بحرانی در استان اصفهان در حال حاضر جلوگیری نمود. این مسأله بایستی در کانون توجه سیاست‌گذاران، قلمروداران در مقیاس محلی قرار گیرد.

- resources in India *Current Science.*, 89(5), 794–811.
- Li, P.C., & Ma, H.W. (2020). Evaluating the environmental impacts of the water-energy-food nexus with a life-cycle approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104789>
- Ma, W., Opp, C., & Dewei Yang, D. (2020). Past, Present, and Future of Virtual Water and Water Footprint, *Water* 2020, 12(11), 3068. <https://doi.org/10.3390/w12113068>
- Moridi, A. (2017). State of Water Resources in Iran. *International Journal of Hydrology*, 4, 111-114. <https://doi.org/10.15406/ijh.2017.01.00021>
- Qadir, M., Sharma, B.R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. (2007). Non- conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural water management*, 87, 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018>
- Song, J., Yin, Y., Xu, H., Wang, Y., Wu, P., & Sun, S. (2020). Drivers of domestic grain virtual water flow: A study for China. *Agricultural Water Management*, 239(1), 106175. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106175>
- Sun, J. X., Yin, Y. L., Sun, S. K., Wang, Y. B., Yu, X., & Yan, K. (2021). Review on research status of virtual water: The perspective of accounting methods, impact assessment and limitations. *Agricultural Water Management*, 243, 106407. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106407>
- Tian, Q., Yu, Y., Xu, Y., Li, C., & Liu, N. (2023). Patterns and driving factors of agricultural virtual water imports in China. *Agricultural Water Management*, 281, 108262. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108262>
- Tortajada, C. (2010). Water Governance: Some Critical Issues. *International Journal Of water Resources Development*, 26(2), 297-307. <https://doi.org/10.1080/07900621003683298>
- Wang, Z., Zhang, L., Ding, X., & Mi, Z. (2019). Virtual water flow pattern of grain trade and its benefits in China. *Journal of Cleaner Production*, 223 (20), 445-455. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.151>
- محمدي، حمیدرضا، حکیمی‌خرم، علی، و احمدی، ابراهیم. (۱۳۹۸). امکان‌سنجی اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در ایران (مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت آباد-فلات مرکزی)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۵۱(۴)، ۱۰۷۳-۱۰۹۲. doi: [10.22059/jhgr.2018.248156.1007603](https://doi.org/10.22059/jhgr.2018.248156.1007603)
- ولی سامانی، جمال محمد، مریدنژاد، علی. (۱۳۹۵). بررسی تطبیقی و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود ساختار حاکمیتی مدیریت آب در ایران. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. تهران، ایران.
- هاشمی، سیدمختار. (۱۴۰۱). حکمرانی محلی آب در ایران: پیامدها و توصیه‌های سیاستی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۱)، ۱۳۵-۱۴۴. https://jwsd.um.ac.ir/article_42615.html
- Allan, J.A. (1994). Overall perspectives on countries and regions' In: Rogers, P. and Lydon, P. *Water in the Arab World: perspectives and prognoses*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 65-100. <https://doi.org/10.4236/as.2011.23033>
- Allan, J.A. (2003). Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus. Useful Concept or Misleading Metaphor?. *Water International*, 28(1), 106-113. <https://doi.org/10.1080/02508060.2003.9724812>
- Bayu, T., Kim, H., & Oki, T. (2020). Water Governance Contribution to Water and Sanitation Access Equality in Developing Countries. *water Resources Research*, 56(4), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2019WR025330>
- Du, Y., Fang, K., Zhao, D., Liu, Q., Xu, Z., & Peng, J. (2022). How far are we from possible ideal virtual water transfer? Evidence from assessing vulnerability of global virtual water trade. *Science of the Total Environment*, 828, 154493. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154493>
- Han, A., Liu, A., Guo, Z., Liang, Y., & Chai, L. (2023). Measuring Gains and Losses in Virtual Water Trade from Environmental and Economic Perspectives. *Environmental and Resource Economics*, 85(1), 195-209. <https://doi.org/10.1007/s10640-023-00763-9>
- Hou, S., Xu, M., & Qu, S. (2023). The “Gravity” for global virtual water flows: From quantity and quality perspectives. *Journal of Environmental Management*, 329, 116984. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116984>
- Kumar, R., Singh, R.D., & Sharma, K.D. (2005). *Water*

- Wichelns, D. (2010). Virtual Water: A Helpful Perspective, but not a Sufficient Policy Criterion. *Water Resources Management*, 24, 2203–2219. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9547-6>
- Williams, R.B & Al-Hmoud, R. (2015). Virtual Water on the Southern High Plains of Texas: The Case of a Nonrenewable Blue Water Resource. *Natural Resources*, 6(1), 27-36. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.61004>
- Xue, J., Chen, X & Jun Ma. (2020). Regional Virtual Water Trade: The Perspective of Interprovincial Trade in China. *American Journal of Industrial and Business Management*, 12, 1029-1046. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2022.125054>
- Yang, H., & Zehnder, A. (2007), Virtual water: An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resources Research*, 43(12), 1-10. <https://doi.org/10.1029/2007WR006048>
- Zarei, M. (2020). The water- energy- food nexus: a holistic approach for resource security in iran, Iraq and turkey. *water- energy*, 3, 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2020.05.004>

Dynamic Modeling of Urban Water Consumption and Management of Supply and Demand in Kerman Province

S. H. Moosavirad^{1*}, A. R. Torabi², S. M. Moosavirad³

1, 2 - Associate Professor and M.Sc. Graduate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. 3 - Associate Professor, Environmental Research Department, Research Institute of Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

*(Corresponding Author Email: s.h.moosavirad@uk.ac.ir)

Received: 13-05-2024

Revised: 22-08-2024

Accepted: 12-10-2024

Available Online: 19-12-2024

مدل سازی پویای مصرف آب شهری و مدیریت عرضه و تقاضا در استان کرمان

سید حامد موسوی راد^{۱*}، امیررضا ترابی^۲، سید مرتضی موسوی راد^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. ۳- دانشیار گروه پژوهشی محیط زیست، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول: s.h.moosavirad@uk.ac.ir (E-Mail:))

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Kerman Province is located in the arid region category. The volume of its groundwater aquifers has been declining in recent years, and the continuation of this situation will have unfortunate consequences. This study aims to model urban water consumption in Kerman Province using System Dynamics (SD) in the Vensim PLE+ software and investigate the impact of supply and demand management on water resource preservation. For SD modeling, the model variables, their types, and the relationships between them were first identified, and mathematical formulas for each were derived. The modeling results indicate that the difference between urban water supply and demand reached a maximum of 61 million m3 in the years 2011 to 2021. Subsequently, water consumption management policies were examined, including "artificial groundwater recharge," "separation of drinking water from non-potable water," "managing network losses," "controlling subsidized water prices," and "managing household consumption patterns." Simulation results reveal that "artificial groundwater recharge" as the most effective solution, can increase the water resources of Kerman to more than 100 million m3 per year. Additionally, this research demonstrates that modeling a complex system like urban water consumption using SD simplifies understanding of the model, identifies critical variables, tests solutions, and can serve as a useful management tool for decision-makers.

Keywords: Kerman Province, Water Crisis, System Dynamics, Urban Water Consumption, Vensim Software.

چکیده

استان کرمان در دسته مناطق خشک قرار دارد و حجم سفره‌های آب زیرزمینی آن در سال‌های گذشته، روند نزولی داشته و ادامه این وضعیت، پیامدهای ناگواری به دنبال خواهد داشت. هدف از پژوهش حاضر، مدل‌سازی مصرف آب شهری در استان کرمان با روش پویایی سیستم در نرم‌افزار Vensim PLE+ و بررسی تأثیر مدیریت عرضه و تقاضا در حفظ منابع آبی است. برای مدل‌سازی با روش پویایی سیستم، ابتدا متغیرهای مدل، نوع آن‌ها و روابط بین آن‌ها مشخص شد و رابطه ریاضی هر یک به دست آمد. نتایج مدل‌سازی نشان داد اختلاف عرضه و تقاضای آب شهری، در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، حداکثر ۶۱ میلیون مترمکعب بوده است. در ادامه، سیاست‌های مدیریت مصرف آب بررسی و شبیه‌سازی شد. سیاست‌ها شامل «تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها»، «جداسازی آب شرب از آب غیرشرب»، «مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی»، «کنترل قیمت یارانه‌ای آب» و «کنترل الگوی مصارف خانگی» بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد «تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به عنوان موثرترین راهکار، می‌تواند وضعیت منابع آبی استان را به بیش از ۱۰۰ میلیون مترمکعب در سال برساند. همچنین در این پژوهش نشان داده شد با مدل‌سازی یک سیستم پیچیده مانند مصرف آب شهری؛ درک مدل، شناسایی متغیرهای بحرانی و آزمایش راهکارها ساده‌تر می‌شود و پویایی سیستم به عنوان یک ابزار مدیریتی مفید برای تصمیم‌گیران عمل می‌کند. **واژه‌های کلیدی:** استان کرمان، بحران آب، پویایی سیستم، مصرف آب شهری، نرم‌افزار Vensim.



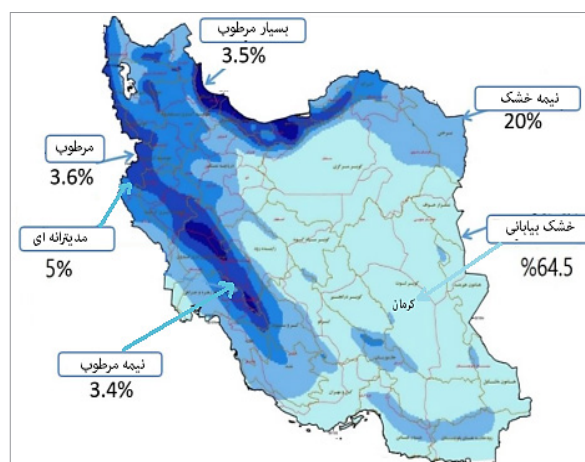
شکل ۲- افت حجم مخازن آب‌های زیرزمینی در استان کرمان

ادامه روند موجود، پیامدهایی مانند عدم امکان تأمین آب شرب، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، نشست زمین و عدم امکان استفاده از ظرفیت معادن و امکانات بالقوه استان را به دنبال خواهد داشت (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۳). همچنین این شرایط به تدریج آبخوان دشت کرمان را خشک می‌کند و تداخل از دست رفته آبخوان غیرقابل برگشت می‌شود و در آینده بیشتر مصارف آب شهری، صنعتی و کشاورزی فاقد منابع آب زیرزمینی برای تأمین خواهد بود که این مسئله منجر به کوچ اهالی دشت کرمان و شهرها و روستاها به نقاط غربی و شمالی کشور خواهد شد. بنابراین پایداری آبخوان دشت کرمان در تأمین نیازهای آبی استان مسئله‌ای حیاتی است.

بحران آب در پژوهش‌های مختلف در جهان و ایران، به‌ویژه در استان کرمان مورد توجه بوده است. بهادر (۱۳۹۶) بحران آب در شهرستان رفسنجان را بررسی کرد. در این پژوهش، افزایش جمعیت، تنوع و تعدد نیازهای جمعیتی، کشاورزی سنتی و ... از عوامل مهم بحران آب معرفی شد و سیستم مدیریت منابع آب رفسنجان با روش پویایی سیستم^۱ شبیه‌سازی و با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها^۲، متغیرهای اثرگذار بر کمبود آب آزمایش شد. نتایج این پژوهش نشان داد کاهش مصرف آب در هکتار سطح زیر کشت برترین سناریو است. غفاریان بهرمان و کرمی (۱۳۹۶) بحران آب در شهرستان رفسنجان و چالش‌های امنیتی آن را با روش آینده‌پژوهی^۲ بررسی کردند و رشد جمعیت، ارتقای سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی، توسعه صنایع و کشاورزی و ... را از دلایل بحران آب معرفی کردند. در این پژوهش، چالش‌های امنیتی بحران آب در سه بُعد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی طبقه‌بندی شد. تغییر سیستم مدیریت آب از حالت مدیریت بحران و واکنشی به حالت مدیریت پیشگیری و فعال، تصویب قوانین جدید در خصوص جرم‌بودن هدر دادن آب، تشکیل پلیس آب در زیرمجموعه پلیس پیشگیری و ... از مهمترین پیشنهادهای این پژوهش بود. عسکری‌نیا (۱۳۹۸) پژوهشی در مورد عوامل مؤثر بر پایداری منابع آب در شهرستان فاریاب استان کرمان انجام داد و کاهش بارندگی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را از عوامل مهم کمبود آب معرفی کرد. در این پژوهش پایداری منابع

آب بزرگترین منبع طبیعی جهان است و تنها سه درصد از آن را آب شیرین تشکیل می‌دهد که از این مقدار، یک سوم برای استفاده در کشاورزی و شهرها قابل دسترسی است و بقیه، در یخچال‌های طبیعی منجمد شده یا در عمق‌های زیاد در زیر زمین پنهان است. با افزایش جمعیت و رشد صنایع و کشاورزی، منابع آب شیرین جهان تحت فشار قرار گرفته و در نتیجه، بیش از نیمی از بزرگترین سفره‌های آب زیرزمینی جهان تخلیه شده و این مشکل با رشد تقاضا بدتر خواهد شد. همچنین با گرم شدن زمین و تغییرات آب‌وهوا، زیست‌بوم و محیط‌هایی که از منابع حیاتی آب محافظت می‌کنند، در معرض تهدید است (The Global Environment Facility، ۲۰۱۵).

مشکل آب در کشور ایران و به‌خصوص در استان کرمان نیز قابل توجه است. استان کرمان با متوسط بارندگی ۱۲۹ میلی‌متر در سال، در دسته مناطق خشک قرار دارد (شکل ۱). کاهش نزولات جوی، تداوم خشکسالی، رشد جمعیت، افزایش سطح زیر کشت و برداشت از منابع آبی بیش از تغذیه آن‌ها از عوامل کاهش حجم سفره‌های آب زیرزمینی در استان بوده که در نتیجه، منجر به افت کمی و کیفی منابع آب و بحرانی شدن بسیاری از دشت‌ها شده است، به‌گونه‌ای که زمین در برخی مناطق، ۲۰ سانتی‌متر در سال نشست می‌کند. بر اساس آمارها، متوسط کاهش سالانه حجم مخازن آب زیرزمینی در استان کرمان از سال آبی ۶۰-۶۱ تا ۷۵-۷۶ بیش از ۳۵۰ میلیون مترمکعب، از سال آبی ۷۵-۷۶ تا ۸۴-۸۵ بیش از ۷۶۰ میلیون مترمکعب و از سال آبی ۸۴-۸۵ تا ۹۰-۹۱ بیش از ۸۴۰ میلیون مترمکعب بوده است و روند آن همچنان نزولی است (شکل ۲) (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۳). در حال حاضر، ۱۱ شهر از استان کرمان با جمعیتی در حدود ۶۰ درصد از جمعیت کل استان، با تنش آبی روبه‌رو هستند. بر اساس آمار شرکت آب و فاضلاب استان کرمان، نیاز آبی این استان ۹۹۴۱ لیتر در ثانیه و توان تولید آب توسط این شرکت ۹۱۰۹ لیتر در ثانیه است که ۸۳۲ لیتر در ثانیه کمبود آب وجود دارد (سلطانی، ۱۴۰۰).



شکل ۱- تقسیم‌بندی بخش‌های مختلف کشور از نظر اقلیمی

آب گندم‌کاران فاریاب با استفاده از شاخص اتلاف آب محاسبه شد و پایداری منابع آب معادل با کاهش اتلاف آب در نظر گرفته شد. مدل استفاده شده در این پژوهش مدل لاجیت^۴ بود و نتایج حاصل از آن نشان داد عواملی ازجمله تجربه، بُعد خانوار، نوع سیستم آبیاری و فاصله میان چاه آب و زمین زراعی از عوامل تأثیرگذار بر پایداری منابع آب هستند. شاهرخی ساردو و جلال کمالی (۱۴۰۰) سیستم مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در دشت نسا بم را با روش پویایی سیستم، مدل‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی نشان داد در سال‌های آینده، افت تراز سطح آب ادامه خواهد داشت. در این پژوهش نشان داده شد که تغذیه مصنوعی، راهکار مؤثری در حفظ و تقویت آب‌های زیرزمینی است. Mehryar و همکاران (۲۰۱۵) بحران آب در شهر رفسنجان را بررسی کردند و مدیریت و برنامه‌ریزی ضعیف طی چند دهه اخیر را مهمترین عامل آن دانستند. آبیاری کارآمد و سیستم‌های کشاورزی مدرن، کنترل بهره‌برداری بیش‌ازحد و پروژه‌های انتقال آب به‌عنوان راهکارهای کوتاه‌مدت معرفی شد. در این پژوهش پیشنهاد شد که شهرهای کم‌آب ایران از دیدگاه اجتماعی-بوم‌شناختی بلندمدت و پیوسته بررسی شوند. Pluchinotta و همکاران (۲۰۲۱) برای بررسی مدیریت پایدار آب شهری در شهر افسفلت^۵ انگلیس، از روش پویایی سیستم استفاده کردند. رشد جمعیت شهری، تغییر در الگوهای بارندگی و فرسودگی زیرساخت‌ها، از مهمترین چالش‌های مدیریت آب شهری معرفی شد. در این پژوهش، بیان شد رویکرد مدل‌سازی با روش پویایی سیستم، از تصمیم‌گیری در سطح راهبردی پشتیبانی می‌کند. Wang و همکاران (۲۰۲۲) بحران آب در آسیای مرکزی را بررسی کردند و نتایج این پژوهش نشان داد بحران آب در این منطقه شدید بوده و دستیابی به اهداف توسعه پایدار، با مشکل مواجه شده است. در این پژوهش بیان شد تنش آبی در ازبکستان، ترکمنستان و تاجیکستان بالا است و قرقیزستان و قزاقستان تنش آبی متوسط دارند. همچنین، نسبت جمعیت روستایی با دسترسی به آب آشامیدنی سالم، به‌طور قابل توجهی کمتر از جمعیت شهری در همه کشورهای آسیای مرکزی است. همچنین سطح زمین زیر کشت و جمعیت نیز به‌عنوان عوامل مهم اثرگذار بر بحران آب، معرفی شد. Zehtabian و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش

خود بیان کردند مدیریت آب در رودخانه زاینده رود تحت تأثیر سیاست‌های ضعیف تخصیص آب است که نیازهای آشامیدنی، کشاورزی، صنعتی و محیط‌زیستی را برآورده نمی‌کند. آن‌ها در پژوهش خود، مدلی با هدف بهبود مدیریت آب در تالاب گاوخونی ارائه کردند. سناریوهای مدیریت آب عبارت بودند از: تغییر در اولویت تأمین آب، تغییر در جریان برگشتی و مدیریت تلفات آب و تغییر در میزان آب انتقالی به حوضه گاوخونی. Carbon (۲۰۲۴) در پژوهش خود ارتباط بین تنش آبی و مدیریت بحران در آلمان را بررسی کرد. در این پژوهش بیان شد تغییرات آب‌وهوایی، بر مخازن آب در سراسر جهان تأثیرگذار است و برخی از مناطق به دلیل دوره‌های طولانی خشکسالی، کاهش شدیدی در منابع آبی خود تجربه می‌کنند. این پژوهش به دنبال ارائه رویکرد جدیدی برای مدیریت آب بود و تحقیقات لازم را که می‌تواند به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری در حفاظت از منابع آب باشد، شناسایی کرد. Bera و Ghosh (۲۰۲۴) بیان کردند فشار بر منابع آب شیرین به دلیل انفجار جمعیت جهانی، توسعه اجتماعی-اقتصادی، تغییرات آب‌وهوا و توسعه زیرساختی رو به افزایش است. آن‌ها مطالعه‌ای در منطقه‌ای از هند انجام دادند که با بحران شدید آب، آلودگی آب‌های زیرزمینی و خشکسالی شدید مواجه بود. هدف پژوهش آن‌ها ارزیابی دینامیک آب سطحی و زیرسطحی با استفاده از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای و تعیین مکان‌های مناسب برای ساخت سد، به‌منظور مدیریت بحران آب بود. آن‌ها خروجی پژوهش خود را برای تعیین مکان‌های مناسب سدسازی و مدیریت پایدار منابع آب در محیط‌های نیمه‌خشک مفید دانستند. Naeem و همکاران (۲۰۲۴) رشد سریع جمعیت جهانی و شهرنشینی گسترده در مناطق خشک مانند کشورهای حاشیه خلیج فارس را تهدیدکننده پایداری آب معرفی کردند. آن‌ها در مطالعه خود، یک رویکرد نوآورانه را برای بررسی پایداری آب در مقیاس ملی، با توسعه یک سیستم پشتیبانی تصمیم^۶ و مدل‌سازی با روش پویایی سیستم، ارائه کردند. نتایج پژوهش نشان داد ۱۰ درصد افزایش در عرضه آب و ۱۰ درصد کاهش در مصرف، پایداری آب را تا ۵۰ سال تضمین می‌کند. در ادامه در جدول (۱)، خلاصه‌ای از پژوهش‌های بیان شده و سایر پژوهش‌های مرتبط ارائه می‌شود.

جدول ۱- گزیده مطالعات انجام‌شده در حوزه بحران آب

مرجع	هدف	مطالعه موردی	روش
فدایی و مهدوی (۱۳۹۵)	بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی	استان کرمان	سیستم اطلاعات جغرافیایی ^۷
حلبیان و مجاوری (۱۳۹۵)	بررسی افت آب‌های زیرزمینی	دشت کرمان	نرم‌افزارهای GIS و SURFER
امینی و همکاران (۱۳۹۶)	برآورد آب معادل برف به منظور مدیریت منابع آب	استان کرمان	شبکه عصبی مصنوعی ^۸ و رگرسیون چندگانه
بنی‌اسدی و همکاران (۱۳۹۶)	بررسی تغییر الگوی کشت و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی با اعمال سیاست‌های کاهش مصرف آب	ارزوئیه	برنامه‌ریزی ریاضی مثبت ^۹
بهادر (۱۳۹۶)	بررسی بحران آب و راهکارهای بهبود	رفسنجان	پویایی سیستم و طراحی آزمایش‌ها

مرجع	هدف	مطالعه موردی	روش
غفاریان بهرمان و کرمی (۱۳۹۶)	بحران آب و چالش‌های امنیتی آن	رفسنجان	آینده‌پژوهی
پارسا و همکاران (۱۳۹۷)	بررسی تأثیر پارامترهای دما و خشکسالی و میزان برداشت آب بر افت سطح آب‌های زیرزمینی	کرمان	الگوریتم ژنتیک ^{۱۰}
عسکری‌نیا (۱۳۹۸)	بررسی عوامل مؤثر بر پایداری منابع آب	فاریاب (کرمان)	مدل لاجیت
شاهرخی و جلال کمالی (۱۴۰۰)	مدل‌سازی مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی	دشت نسا بم	پویایی سیستم‌ها
Mehryar و همکاران (۲۰۱۵)	بررسی بحران آب و علل آن و ارائه راهکارهای بهبود	شهر رفسنجان	برنامه‌ریزی فضایی ^{۱۱}
Li و همکاران (۲۰۲۰)	تحلیل پتانسیل استفاده از آب بازیابی شده	شمال غربی چین	پویایی سیستم‌ها
Xu و همکاران (۲۰۲۰)	آزمایش عملکرد سیستم تأمین آب شهری تحت سناریوهای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت تا بلندمدت	سنگاپور	پویایی سیستم‌ها
Pluchinotta و همکاران (۲۰۲۱)	بررسی مدیریت پایدار آب شهری	ابسفلت انگلیس	پویایی سیستم
Wang و همکاران (۲۰۲۲)	بررسی بحران آب	آسیای مرکزی	مطالعات کتابخانه‌ای
Zehtabian و همکاران (۲۰۲۳)	ارائه مدلی برای مدیریت آب	تالاب گاوخونی	مدل‌سازی
Carbon (۲۰۲۴)	بررسی ارتباط بین تنش آبی و مدیریت بحران	آلمان	مطالعات کتابخانه‌ای
Bera و Ghosh (۲۰۲۴)	ارزیابی دینامیک آب سطحی و زیرسطحی برای مدیریت بحران آب	منطقه‌ای از هند	مدل‌های یادگیری ماشین ^{۱۲}
Naeem و همکاران (۲۰۲۴)	بررسی عوامل تهدیدکننده پایداری آب و ارائه یک رویکرد نوآورانه برای حل مشکل	کشورهای حاشیه خلیج فارس	سیستم پشتیبانی تصمیم و روش پویایی سیستم

در استان کرمان است که در سایر پژوهش‌ها کمتر به آن اشاره شده و همچنین مدل‌سازی آن با روش پویایی سیستم است که تاکنون انجام نشده است. در این پژوهش، مدل به‌دست آمده با روش پویایی سیستم می‌تواند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری مدیریتی در درک بصری و حل مسئله، به مدیران و پژوهشگران در این عرصه کمک کند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک پژوهش کمی-کیفی در زمینه مدیریت منابع آب با استفاده از روش پویایی سیستم است. این پژوهش با بررسی و مطالعه کتابخانه‌ای مدیریت منابع آب و پیشنهاد آن در جهان و استان کرمان آغاز شد و شیوه گردآوری و تحلیل داده‌ها، توصیفی و از نوع مطالعه موردی در استان کرمان است و از نظر هدف یک پژوهش کاربردی-توسعه‌ای محسوب می‌شود. در ادامه منطقه مورد مطالعه و روش پژوهش بیان می‌شود.

۱- منطقه مورد مطالعه

استان کرمان با مساحتی در حدود ۱۸۳۰۰۰ کیلومتر مربع و با اختصاص بیش از ۱۱/۵ درصد از خاک ایران، در جنوب شرق فلات ایران واقع شده است. این استان، منطقه‌ای مرتفع و کوهستانی اقلیم‌های متنوعی دارد، به‌طوری که محدوده کویر لوت و چاله جازموریان با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر از سطح دریا و ارتفاعات

بررسی پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد مسئله مدیریت منابع آب، به‌خصوص آب شهری و پایداری منابع آب زیرزمینی، در استان کرمان و در جهان مورد توجه بوده است. در استان کرمان، مشکلات آب در شهرهای کرمان، رفسنجان، فاریاب و ارزوئیه، همچنین دشت کرمان و بم، بررسی شده است. علاوه بر این، در سایر نقاط جهان، مطالعات موردی در زمینه مدیریت منابع آب در چین، سنگاپور، کشورهای آسیای مرکزی، هند، انگلیس و آلمان انجام شده است که این مطالعات تنها بخشی از پژوهش‌های پرشمار در این حوزه را تشکیل می‌دهد. در پژوهش حاضر، مسئله آب شهری در استان کرمان به عنوان یک موضوع مهم، که در سایر پژوهش‌ها کمتر مورد توجه بوده، بررسی شده و در میان روش‌های استفاده شده در پژوهش‌ها، روش پویایی سیستم پرکاربرد بوده است.

باتوجه به آنچه بیان شد، هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی مصرف آب شهری در استان کرمان با استفاده از روش پویایی سیستم در نرم‌افزار Vensim PLE+ و بررسی تأثیر مدیریت بهره‌برداری در حفظ منابع آبی استان است. مدیریت منابع آب نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت و کوتاه‌مدت، با رویکرد کل‌نگر و جزءنگر به مسئله است. همچنین سیستم مصرف آب، یک سیستم پیچیده با متغیرهای گوناگون است که هر متغیر رفتار متفاوتی دارد. بنابراین در این پژوهش سعی شده است تا با شبیه‌سازی سیستم مصرف آب شهری به گونه‌ای که درک آن پیچیده نباشد، همچنین بررسی رفتار متغیرها و میزان تأثیرگذاری راهکارهای مختلف، گامی در جهت حل مسئله برداشته شود. نوآوری این پژوهش بررسی مدیریت منابع آب شهری

کوهبنان، هزار، جویبار و لاله‌زار با ارتفاع بیش از ۴۴۶۵ متر از سطح دریا واقع است. استان کرمان از لحاظ اقلیم‌شناسی جز اقلیم نیمه‌خشک بیابانی و گرم محسوب می‌شود و به‌طور کلی پنج اقلیم گرم فراخشک، گرم و خشک، نیمه‌معتدل کوهپایه‌ای، سرد و کوهستانی و گرم و نیمه‌مرطوب دارد. سیستم آبی رودخانه‌های استان نیز در شش حوضه آبریز غرب جازموریان، کویر لوت، کویر ابرقو-سیرجان، کویر در انجیر، بندرعباس-سیدیچ و کل-مهران واقع شده است (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰).

۲- روش پویایی سیستم

روش پویایی سیستم نخستین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ معرفی شد. این روش، یک رویکرد تحلیلی است که از شبیه‌سازی رایانه‌ای، برای مطالعه رفتار پویای یک سیستم پیچیده در طول زمان استفاده می‌کند. پویایی سیستم با بهبود شناخت و درک از سیستم‌ها، پیش‌بینی رفتار متغیرها و ایجاد تغییرات در آن‌ها به دنبال ایجاد اثرات مطلوب است. مدل‌سازی به روش پویایی سیستم در ابتدا از طریق نقشه‌برداری بود و در ادامه با توسعه مدل و استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Vensim تکامل یافت. این روش از نظر کاربرد، یک روش مناسب برای مواجهه با مسائل راهبردی در ارتباط با سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری است و از یک مدل بصری برای آزمایش سیاست‌ها و ارزیابی نتایج استفاده می‌کند. پویایی سیستم با دیگر رویکردهای مدل‌سازی متفاوت است، زیرا با مسائل پیچیده‌ای سروکار دارد که شامل حلقه‌های بازخورد و تأخیرهای غیرخطی و زمانی است که این ویژگی‌ها، بر رفتار کل سیستم اثر می‌گذارد (Zainal-Abidin و همکاران، ۲۰۱۴؛ Rahim و همکاران، ۲۰۱۷). به این دلیل در این پژوهش، برای شناخت بهتر سیستم مصرف آب شهری و آزمایش راهکارها، از مدل‌سازی به روش پویایی سیستم استفاده شده است. در ادامه مراحل این روش و برخی از فعالیت‌های هر مرحله، بیان می‌شود.

۱) تعریف مسئله: هدف از این مرحله، انجام پیش‌نیازهای مدل‌سازی است. برخی فعالیت‌های این مرحله به شرح زیر است:

- تعیین متغیرهای مسئله؛
- جمع‌آوری داده‌های اولیه.

۲) مدل‌سازی نمودار حلقه‌های علت و معلولی^{۱۳}: هدف از این مرحله، نمایش بصری ارتباط میان متغیرهای مدل است. برخی فعالیت‌های این مرحله به شرح زیر است:

- شناسایی حلقه‌ها و رابطه بین متغیرها؛
- ترسیم نمودار.

۳) مدل‌سازی پویا: هدف از این مرحله، بررسی نتایج، شناخت رفتار متغیرها و شناسایی متغیرهای بحرانی است. برخی فعالیت‌های این مرحله به شرح زیر است:

- شناسایی نوع متغیرها (حالت، جریان و کمکی)؛
- تعیین روابط ریاضی متغیرها؛

- شبیه‌سازی نمودار حالت و جریان^{۱۴}؛

- اعتبارسنجی مدل؛

- تحلیل نتایج مدل.

۴) برنامه‌ریزی و مدل‌سازی سناریو: هدف از این مرحله، آزمایش راهکارهای مختلف است تا میزان بهبود در مدل مشخص شود.

برخی فعالیت‌های این مرحله به شرح زیر است:

- طراحی سیاست‌ها و راهبردهای بهبود؛

- مدل‌سازی سناریوها؛

- بررسی و تحلیل نتایج (Maani و Cavana، ۲۰۰۰).

یافته‌ها و بحث

در این قسمت نتایج به‌دست آمده از اجرای هر یک از مراحل روش پویایی سیستم که در قسمت قبل بیان شد، ارائه می‌شود.

۱- تعریف مسئله

مسئله این پژوهش همان‌گونه که بیان شد، مدل‌سازی سیستم مصرف آب شهری در استان کرمان است. متغیرهای مدل عبارتند از: جمعیت مناطق شهری، وضعیت آب شهری، آب‌های زیرزمینی و سطحی و مصرف آب شهری استان که شامل هفت بخش خانگی، آموزش و اماکن مذهبی، آزاد و زیربنایی، صنعتی، عمومی و دولتی، تجاری و سایر مصارف است. داده‌های مربوط به متغیرها، بر اساس سالنامه آماری سال ۱۴۰۰، در جداول (۲) تا (۴) ارائه شده است (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). مقایسه‌ای از حجم آب‌های زیرزمینی و حجم کل فروش آب در طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ و همچنین پیش‌بینی این مقادیر تا سال ۱۴۳۰ با استفاده از نرم‌افزار Excel در شکل (۳) نمایش داده شده است. در این شکل مشهود است که وضعیت آب‌های زیرزمینی روزه‌به‌روز بحرانی‌تر می‌شود.

جدول ۲- حجم آب تولید شده در مناطق شهری استان کرمان (مترمکعب)

سال	آب‌های سطحی	آب‌های زیرزمینی	جمع
۱۳۹۰	۱۷۲۰۰۰۰	۱۶۶۳۳۰۰۰	۱۶۸۰۴۳۰۰۰
۱۳۹۲	۱۵۵۰۰۰۰	۱۶۰۴۳۲۰۰۰	۱۶۱۹۸۲۰۰۰
۱۳۹۳	۱۱۲۱۰۰۰	۱۶۳۷۲۲۰۰۰	۱۶۴۸۴۳۰۰۰
۱۳۹۴	۵۷۱۵۰۰۰	۱۶۵۲۲۹۲۰۰	۱۷۰۹۴۴۲۰۰
۱۳۹۵	۵۸۴۸۰۰۰	۱۷۳۶۵۱۰۰۰	۱۷۹۴۹۹۰۰۰
۱۳۹۶	۲۱۲۷۲۰۰۰	۱۵۷۶۵۴۰۰۰	۱۷۸۹۲۶۰۰۰
۱۳۹۷	۱۹۶۷۴۰۰۰	۱۵۹۶۶۱۰۰۰	۱۷۹۱۳۵۰۰۰
۱۳۹۸	۱۱۹۵۶۱۰۰	۱۶۸۶۳۳۰۰۰	۱۸۰۵۸۹۱۰۰
۱۳۹۹	۲۰۹۳۲۶۰۰	۱۷۹۵۴۲۶۰۰	۲۰۰۴۷۵۲۰۰
۱۴۰۰	۱۵۳۷۸۰۰۰	۱۸۵۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۴۷۸۰۰۰

جدول ۳- تعداد انشعاب و حجم فروش آب در نقاط شهری به تفکیک کاربری (مترمکعب)

سال	جمع		خانگی		آموزش و اماکن مذهبی		آزاد و زیربنایی	
	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش
۱۳۹۰	۴۹۸۱۳۶۰	۱۰۸۷۵۱۰۰۰	۴۱۹۴۴۰	۸۵۴۲۵۰۰۰	۱۸۸۱	۱۲۷۳۱۵۶	۳۹۱۰۹	۳۶۳۱۲۷۸
۱۳۹۲	۵۳۹۶۰۶	۱۲۱۹۲۷۱۸۵	۴۵۲۷۵۰	۹۱۸۸۳۲۴۶	۲۰۳۴	۱۴۶۹۱۴۳	۴۳۳۸۲	۴۷۰۲۵۵۴
۱۳۹۳	۵۵۴۵۲۹	۱۲۵۴۱۵۱۲۶	۴۶۶۲۳۵	۹۶۳۲۸۴۲۵	۲۱۰۵	۱۶۱۷۴۶۷	۴۳۷۶۵	۴۶۱۳۳۱۸
۱۳۹۴	۵۶۴۴۵۳	۱۲۸۷۰۰۹۸۶	۴۷۶۵۲۶	۹۷۹۱۱۳۳۹	۲۱۴۰	۱۶۴۲۶۷۶	۴۱۹۱۵	۵۱۹۶۵۰۸
۱۳۹۵	۵۷۳۵۶۵	۱۳۳۳۵۶۹۵۰	۴۸۶۸۴۵	۱۰۲۲۲۹۸۱۵	۴۹۲۴	۵۰۰۸۱۳۲	۳۹۹۶۳	۵۳۱۲۱۱۳
۱۳۹۶	۵۹۰۷۴۶	۱۲۹۰۵۱۲۶۸	۵۰۱۵۵۳	۹۸۴۷۴۴۱۰	۵۵۰۱	۵۰۱۸۱۷۲	۴۰۸۳۹	۴۲۱۰۶۹۹
۱۳۹۷	۶۰۵۰۳۱	۱۲۹۱۵۹۳۶۴	۵۱۷۷۰۷	۱۰۰۰۵۹۲۰۸	۵۰۱۶	۴۳۳۳۶۱	۳۷۸۴۹	۴۳۱۱۵۲۹
۱۳۹۸	۶۲۰۷۶۵	۱۳۰۷۴۴۶۴۹	۵۳۲۰۰۰	۱۰۵۹۳۷۹۰۸	۳۳۳۷	۳۵۳۰۰۵۷	۳۶۹۱۳	۳۷۸۲۴۵۷
۱۳۹۹	۶۵۸۴۹۴	۱۳۹۱۹۶۴۷۸	۵۵۶۸۰	۱۱۶۴۶۲۳۴۷	۳۵۷۰	۲۹۲۳۱۴۱	۳۷۱۱۰	۳۸۳۵۶۶۴
۱۴۰۰	۶۶۲۴۷۵	۱۴۰۱۹۱۳۶۱	۵۶۸۰۶۵	۱۱۷۳۴۳۶۱۰	۳۴۴۶	۳۰۷۹۰۰۶	۳۷۴۸۱	۳۴۱۰۳۵۹

ادامه جدول ۳- تعداد انشعاب و حجم فروش آب در نقاط شهری به تفکیک کاربری (مترمکعب)

سال	صنعتی		عمومی و دولتی		تجاری		سایر مصارف	
	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش	انشعاب	حجم فروش
۱۳۹۰	۹۲۸	۳۶۹۰۰۰	۱۷۰۲	۱۵۰۵۸۷۸	۲۹۲۵۳	۳۳۳۳۰۰۰	۶۰۴۷	۱۳۲۳۳۶۸۱
۱۳۹۲	۱۰۵۷	۴۷۶۲۶۱	۱۸۹۸	۲۲۲۹۵۵۷	۳۱۸۰۰	۳۶۴۴۰۵۰	۶۶۸۵	۱۷۵۲۳۳۷۴
۱۳۹۳	۱۰۷۵	۴۵۷۰۱۵	۱۹۰۵	۱۹۱۳۱۲۶	۳۲۶۷۷	۳۶۸۵۸۸۵	۶۷۶۷	۱۶۷۹۹۸۹۰
۱۳۹۴	۱۰۸۰	۵۰۹۰۳۶	۱۹۰۶	۱۹۹۱۰۰۳	۳۳۷۲۹	۳۸۳۴۲۴۰	۷۱۵۷	۱۷۶۱۶۱۸۴
۱۳۹۵	۱۰۸۴	۵۴۱۳۱۶	۱۹۳۵	۳۰۱۷۴۰۹	۳۴۷۲۷	۴۴۸۳۰۳۲	۴۰۸۷	۱۲۷۶۴۴۳۳
۱۳۹۶	۱۰۸۶	۵۴۸۵۶۹	۲۷۲۵	۳۱۲۶۶۶۰	۳۷۰۱۹	۴۳۵۵۷۹۹	۲۰۲۳	۱۳۳۱۶۹۵۹
۱۳۹۷	۱۰۶۰	۵۲۴۷۲۳	۲۰۶۲	۳۱۶۶۲۲۵	۳۷۳۱۶	۴۰۲۱۹۶۰	۴۰۲۱	۱۲۷۵۲۳۵۸
۱۳۹۸	۱۱۶۹	۵۵۱۱۸۸	۲۳۳۷	۲۹۹۲۲۸۵	۳۹۹۷۰	۴۱۰۸۸۳۷	۵۰۳۹	۹۸۴۱۹۱۷
۱۳۹۹	۱۲۹۳	۵۵۶۹۱۵	۳۰۰۱	۴۷۸۱۹۳۴	۴۲۱۴۵	۴۰۸۲۰۲۰	۴۴۹۵	۶۵۵۴۴۵۷
۱۴۰۰	۱۲۹۶	۶۲۵۶۲۱	۲۴۵۳	۳۰۹۷۵۵۶	۴۴۴۳۷	۴۲۰۷۲۵۵	۵۲۹۷	۸۴۲۷۹۵۴

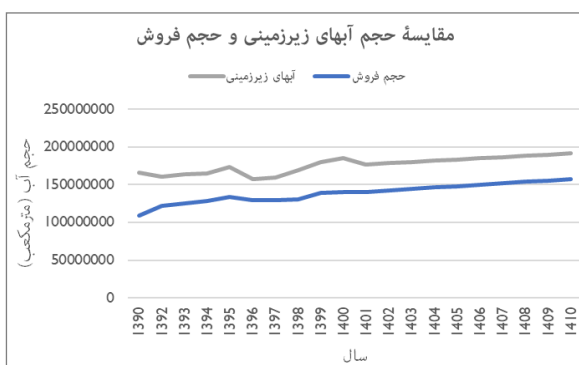
جدول ۴- جمعیت شهری استان کرمان

سال	جمعیت شهری	سال	جمعیت شهری
۱۳۵۵	۳۵۰۸۰۶	۱۳۸۵	۱۵۵۲۵۲۱
۱۳۶۵	۶۹۸۷۵۵	۱۳۹۰	۱۶۸۹۸۴۲
۱۳۷۵	۱۰۶۰۰۷۵	۱۳۹۵	۱۸۵۸۵۸۷

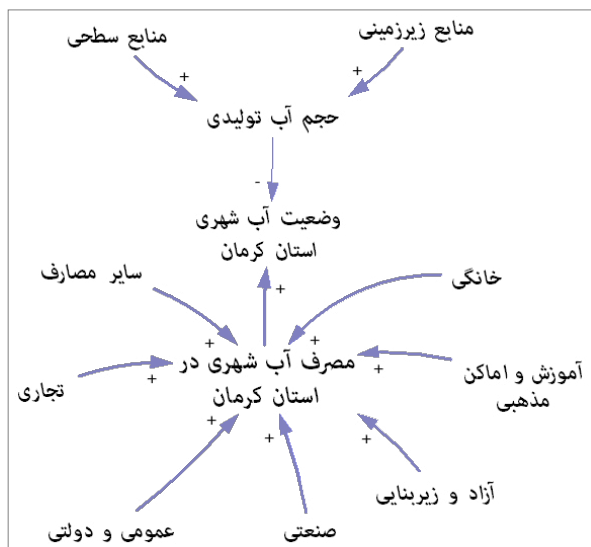
۲- مدل سازی نمودار حلقه های علت و معلولی

متغیرهای مدل در «قسمت ۱: تعریف مسئله» معرفی شد. روابط بین متغیرها و نمودار حلقه های علت و معلولی مدل در شکل (۴) نمایش داده شده است.

در شکل (۴) عوامل دیگری از جمله شرایط اقلیمی مانند شرایط آب و هوایی، بارش ها و دما؛ عوامل مرتبط با خاک مانند جنس خاک، نوع خاک و توانایی در جذب و نگهداری آب؛ عوامل انسانی مانند



شکل ۳- مقایسه حجم آب های زیرزمینی و حجم فروش آب از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۳۰



شکل ۴- نمودار حلقه‌های علت و معلولی وضعیت (بحرانی) آب شهری استان کرمان

جمعیت، بهره‌برداری از منابع آب، حفر چاه‌ها، تخریب منابع طبیعی، آلودگی و تغییر کاربری اراضی؛ و ساختار زمین مانند تراوایی سنگ‌ها و لایه‌های زمین نیز تأثیرگذار هستند. به دلیل اینکه تمرکز این مطالعه بر مدیریت مصرف آب است و همچنین به دلیل نداشتن آمار دقیق از این عوامل، روشن نبودن رابطه ریاضی بین آن‌ها، در دسترس بودن آمار دقیق مرتبط با میزان آب‌های سطحی و جاری و عدم نیاز به فرمول‌بندی این متغیرها، این عوامل در مدل لحاظ نشده است.

۳- مدل‌سازی پویا

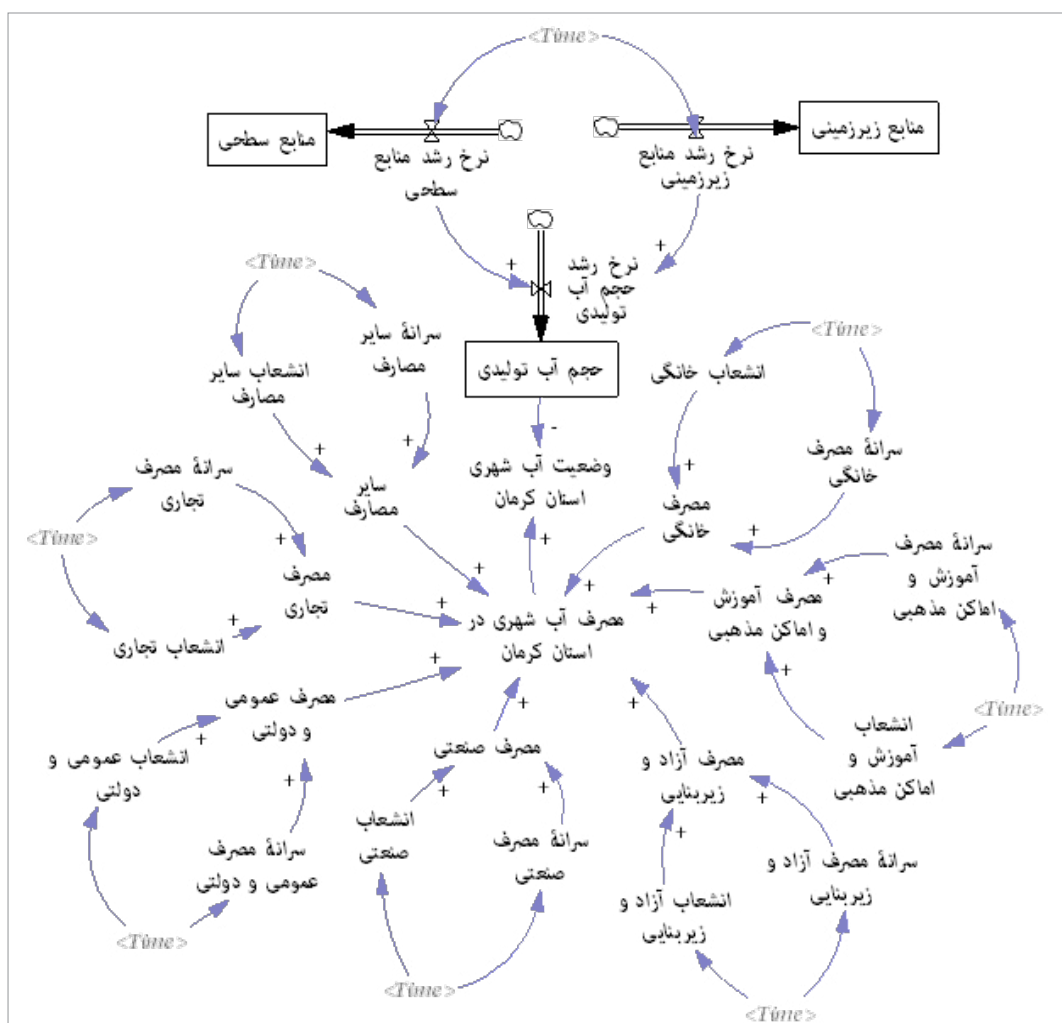
در این مرحله برای مدل‌سازی، نوع متغیرها و روابط ریاضی آن‌ها مشخص می‌شود (جدول ۵)، سپس نمودار حالت و جریان مصرف آب شهری کرمان به دست می‌آید (شکل ۵) و شبیه‌سازی از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ صورت می‌گیرد.

جدول ۵- نوع و روابط متغیرهای مدل شبیه‌سازی شده

متغیر	نوع	رابطه ریاضی
منابع آب سطحی	حالت	INTEG (نرخ رشد منابع آب سطحی); Initial Value=1.72e+06
نرخ رشد منابع آب سطحی	جریان	With Lookup (بر اساس جدول ۲)
منابع آب زیرزمینی	حالت	INTEG (نرخ رشد منابع آب زیرزمینی); Initial Value=1.66323e+08
نرخ رشد منابع آب زیرزمینی	جریان	With Lookup (بر اساس جدول ۲)
حجم آب تولیدی	حالت	INTEG (نرخ رشد حجم آب تولیدی); Initial Value=1.68043e+08
نرخ رشد حجم آب تولیدی	جریان	نرخ رشد منابع آب سطحی + نرخ رشد منابع آب زیرزمینی
مصرف خانگی	کمکی	مصرف خانگی × انشعاب خانگی
انشعاب خانگی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
سرانه مصرف خانگی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
مصرف آموزشی و اماکن مذهبی	کمکی	سرانه مصرف آموزشی و اماکن مذهبی × انشعاب آموزشی و اماکن مذهبی
انشعاب آموزشی و اماکن مذهبی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
سرانه مصرف آموزشی و اماکن مذهبی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
مصرف آزاد و زیربنایی	کمکی	سرانه مصرف آزاد و زیربنایی × انشعاب آزاد و زیربنایی
انشعاب آزاد و زیربنایی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
سرانه مصرف آزاد و زیربنایی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۳)
مصرف صنعتی	کمکی	سرانه مصرف صنعتی × انشعاب صنعتی
انشعاب صنعتی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
سرانه مصرف صنعتی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
مصرف عمومی و دولتی	کمکی	سرانه مصرف عمومی و دولتی × انشعاب عمومی و دولتی
انشعاب عمومی و دولتی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
سرانه مصرف عمومی و دولتی	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
مصرف تجاری	کمکی	سرانه مصرف تجاری × انشعاب تجاری
انشعاب تجاری	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
سرانه مصرف تجاری	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)

متغیر	نوع	رابطه ریاضی
سایر مصارف	کمکی	سراة سایر مصارف $\times$ انشعاب سایر مصارف
انشعاب سایر مصارف	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
سراة سایر مصارف	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۴)
مصرف آب شهری استان کرمان	کمکی	مصرف خانگی + مصرف آموزشی و اماکن مذهبی + مصرف آزاد و زیربنایی + مصرف صنعتی + مصرف عمومی و دولتی + مصرف تجاری + سایر مصارف
وضعیت آب شهری استان کرمان	کمکی	حجم آب تولیدی - مصرف آب شهری استان کرمان

* سراة مصرف (خانگی، صنعتی و...) با تقسیم مصرف (خانگی، صنعتی و...) بر تعداد انشعاب مربوط به آن با استفاده از داده‌های جداول (۲) و (۳) به دست آمده است.



شکل ۵- نمودار حالت و جریان وضعیت (بحرانی) آب شهری استان کرمان

با داده‌های اولیه در جداول (۲) و (۳)، صحت مدل‌سازی در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ مشخص می‌شود. به عنوان نمونه مصرف خانگی در سال ۱۳۹۲ برابر با ۹۱۸۸۳۲۴۶ مترمکعب بود (جدول ۳) که خروجی مدل نیز برابر با همین مقدار (9.18834e+07) است (شکل ۶).

نتایج شبیه‌سازی در شکل (۶) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد وضعیت آب شهری کرمان که از اختلاف میان حجم فروش آب و حجم آب تولید شده به دست می‌آید، بین ۳۹ میلیون مترمکعب تا ۶۱ میلیون مترمکعب متغیر بوده است. همچنین با مقایسه نتایج به دست آمده از نمودار حالت و جریان

Time (Year)	1390	1391	1392	1393
حجم آب تولیدی : وضعیت کنونی	1.68043e+08	1.61982e+08	1.61982e+08	1.64843e+08
سایر مصارف : وضعیت کنونی	1.32237e+07	1.53038e+07	1.75224e+07	1.67999e+07
مصرف آب شهری در استان کرمان : وضعیت کنونی	1.08751e+08	1.15241e+08	1.21927e+08	1.25415e+08
مصرف آزاد و زیربنایی : وضعیت کنونی	3.63128e+06	4.15031e+06	4.70257e+06	4.61331e+06
مصرف آموزش و اماکن مذهبی : وضعیت کنونی	1.27316e+06	1.36941e+06	1.46914e+06	1.61747e+06
مصرف تجاری : وضعیت کنونی	3.32299e+06	3.48289e+06	3.64406e+06	3.6859e+06
مصرف خانگی : وضعیت کنونی	8.54248e+07	8.86601e+07	9.18834e+07	9.63283e+07
مصرف صنعتی : وضعیت کنونی	369000	420923	476261	457015
مصرف عمومی و دولتی : وضعیت کنونی	1.50588e+06	1.85351e+06	2.22956e+06	1.91313e+06
منابع زیرزمینی : وضعیت کنونی	1.66323e+08	1.60432e+08	1.60432e+08	1.63722e+08
منابع سطحی : وضعیت کنونی	1.72e+06	1.55e+06	1.55e+06	1.121e+06
وضعیت آب شهری استان کرمان : وضعیت کنونی	5.92922e+07	4.67411e+07	4.00547e+07	3.94279e+07
Time (Year)	1394	1395	1396	1397
حجم آب تولیدی : وضعیت کنونی	1.70944e+08	1.79499e+08	1.78926e+08	1.79135e+08
سایر مصارف : وضعیت کنونی	1.76162e+07	1.27644e+07	1.3317e+07	1.27524e+07
مصرف آب شهری در استان کرمان : وضعیت کنونی	1.28701e+08	1.33357e+08	1.29051e+08	1.29159e+08
مصرف آزاد و زیربنایی : وضعیت کنونی	5.1965e+06	5.31212e+06	4.21071e+06	4.31153e+06
مصرف آموزش و اماکن مذهبی : وضعیت کنونی	1.64268e+06	5.00884e+06	5.01817e+06	4.32336e+06
مصرف تجاری : وضعیت کنونی	3.83425e+06	4.48305e+06	4.3558e+06	4.02196e+06
مصرف خانگی : وضعیت کنونی	9.79113e+07	1.0223e+08	9.84744e+07	1.00059e+08
مصرف صنعتی : وضعیت کنونی	509036	541316	548569	524723
مصرف عمومی و دولتی : وضعیت کنونی	1.99101e+06	3.0174e+06	3.12667e+06	3.16622e+06
منابع زیرزمینی : وضعیت کنونی	1.65229e+08	1.73651e+08	1.57654e+08	1.59461e+08
منابع سطحی : وضعیت کنونی	5.715e+06	5.848e+06	2.1272e+07	1.9674e+07
وضعیت آب شهری استان کرمان : وضعیت کنونی	4.22433e+07	4.61422e+07	4.98747e+07	4.99756e+07
Time (Year)	1398	1399	1400	
حجم آب تولیدی : وضعیت کنونی	1.80589e+08	2.00475e+08	2.00478e+08	
سایر مصارف : وضعیت کنونی	9.84192e+06	6.55447e+06	8.42795e+06	
مصرف آب شهری در استان کرمان : وضعیت کنونی	1.30744e+08	1.39197e+08	1.40191e+08	
مصرف آزاد و زیربنایی : وضعیت کنونی	3.78248e+06	3.83565e+06	3.41036e+06	
مصرف آموزش و اماکن مذهبی : وضعیت کنونی	3.53005e+06	2.92314e+06	3.079e+06	
مصرف تجاری : وضعیت کنونی	4.10884e+06	4.08202e+06	4.20726e+06	
مصرف خانگی : وضعیت کنونی	1.05938e+08	1.16463e+08	1.17343e+08	
مصرف صنعتی : وضعیت کنونی	551188	556915	625621	
مصرف عمومی و دولتی : وضعیت کنونی	2.99229e+06	4.78194e+06	3.09755e+06	
منابع زیرزمینی : وضعیت کنونی	1.68633e+08	1.79543e+08	1.851e+08	
منابع سطحی : وضعیت کنونی	1.19561e+07	2.09326e+07	1.5378e+07	
وضعیت آب شهری استان کرمان : وضعیت کنونی	4.98446e+07	6.12785e+07	6.02868e+07	

شکل ۶- نتایج شبیه‌سازی نمودار حالت و جریان در نرم‌افزار Vensim PLE +

آب‌های غیرشرب مانند پساب‌ها در مدیریت منابع آب مؤثر است. واگذاری انشعاب دوم به هر مشترک می‌تواند به میزان ۲۴ لیتر در روز (۷۶٪ مترمکعب در سال) به‌ازای هر نفر صرفه‌جویی ایجاد کند (فتوحی فیروزآباد و همکاران، ۱۳۹۸). برای پیاده‌سازی سیاست جداسازی آب شرب از آب غیرشرب، می‌توان مراحل زیر را دنبال کرد:

۴- برنامه‌ریزی و مدل‌سازی سناریو

در این مرحله، سیاست‌های کنترل مصرف آب شهری جهت بهبود وضعیت آب، از دو جنبه عرضه و تقاضا تدوین می‌شود، این سیاست‌ها با همکاری دولت و شرکت‌های آب قابل اجرا است. (۱) جداسازی آب شرب از آب غیرشرب: جدا کردن آب شرب از

• تدوین قوانین و مقررات:

- تشکیل یک کمیته متخصص برای تدوین قوانین و مقررات مرتبط با جداسازی آب‌ها.

- تعیین استاندارد برای آب‌های شرب و غیرشرب.

• تقسیم‌بندی شبکه آب‌رسانی:

- تعیین مناطق مختلف شهر بر اساس نیاز به آب شرب و آب‌های غیرشرب.

- نصب سیستم‌های جداسازی در نقاط انتقال آب.

• آموزش و آگاهی‌بخشی:

- آموزش به شهروندان در مورد اهمیت جداسازی آب‌ها و تأثیر آن بر کیفیت آب مصرفی.

- ترویج رفتارهای صحیح در استفاده از آب‌ها.

• نظارت و اجرا:

- نظارت بر اجرای قوانین و مقررات.

- تعیین مسئولیت‌ها برای اجرای جداسازی آب‌ها در شبکه‌های آب‌رسانی.

در خصوص این سیاست باید توجه داشت که اگر جداسازی آب شرب از غیرشرب از ابتدای اجرای شبکه آب شهری صورت می‌گرفت سیاست بسیار مناسبی بود، ولی در شرایط کنونی اجرای آن هزینه‌بر و مشکل می‌باشد.

۲) مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی: کاهش میزان تلفات در شبکه توزیع آب شهری یکی از رویکردهای اصلی شرکت‌های آب و فاضلاب برای عبور از بحران کم‌آبی، تخصیص بهینه آب و افزایش درآمد ناشی از فروش آن محسوب می‌شود. برای این منظور، یک راهکار عملی، مدیریت فشار از طریق تنظیم شیرهای فشارشکن مطابق با الگوی مصرف روزانه در منطقه می‌باشد. این رویکرد منجر به کاهش ۴/۲ درصد در مصرف روزانه آب می‌شود (جمشیدی، ۱۳۹۳). برای پیاده‌سازی سیاست‌های مدیریت تلفات در شبکه آب‌رسانی و کاهش مصرف آب شهری، می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

• مدیریت فشار در شبکه توزیع آب را با شیرهای فشارشکن مطابق با الگوی مصرف روزانه در منطقه، تنظیم کرد.

• تعمیر و نگهداری منظم شبکه آب‌رسانی، کشف و رفع تسریب‌ها و خرابی‌ها را تسهیل می‌کند و باعث کاهش تلفات آب می‌شود.

• استفاده از فناوری‌های هوشمند مانند نصب سنسورها و دستگاه‌های هوشمند، برای تشخیص تسریب‌ها و مدیریت بهینه تلفات آب، مفید است.

• آموزش و افزایش آگاهی مردم در مورد صرفه‌جویی در مصرف آب و رفتارهای مسئولانه به کاهش تلفات کمک کند.

۳) کنترل الگوی مصارف خانگی: ارتقای آگاهی شهروندان در مورد مصرف آب و ترویج رفتارهای صحیح در استفاده از آب منجر به حداقل ۳ درصد صرفه‌جویی می‌شود (Moosavirad و همکاران، ۲۰۲۴). اجرای این سیاست می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

• آموزش و افزایش آگاهی مردم در مورد صرفه‌جویی در مصرف آب مانند آموزش در مدارس، کمپین‌های تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی مستقیم به مردم.

• تعیین نرخ آب بر اساس مصرف به گونه‌ای که مصرف بیشتر باعث پرداخت هزینه‌های بیشتر می‌شود.

۴) کنترل قیمت یارانه‌ای آب: سیاست کنترل قیمت یارانه‌ای آب، به منظور حفظ و مدیریت منابع آب و صرفه‌جویی در مصرف آب اجرا می‌شود. تنظیم قیمت‌ها باید به نحوی باشد که مصرف‌های غیرضروری مشمول قیمت یارانه‌ای نشود. افزایش قیمت دو مرحله‌ای به میزان ۳۰ درصد، مصرف آب را ۳/۷ درصد کاهش می‌دهد (Agarwal و همکاران، ۲۰۲۳). این سیاست می‌تواند به چند نحو منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب شوند:

• تغییر الگوی کشت و ترغیب کشاورزان به کشت محصولاتی با مصرف آب کمتر.

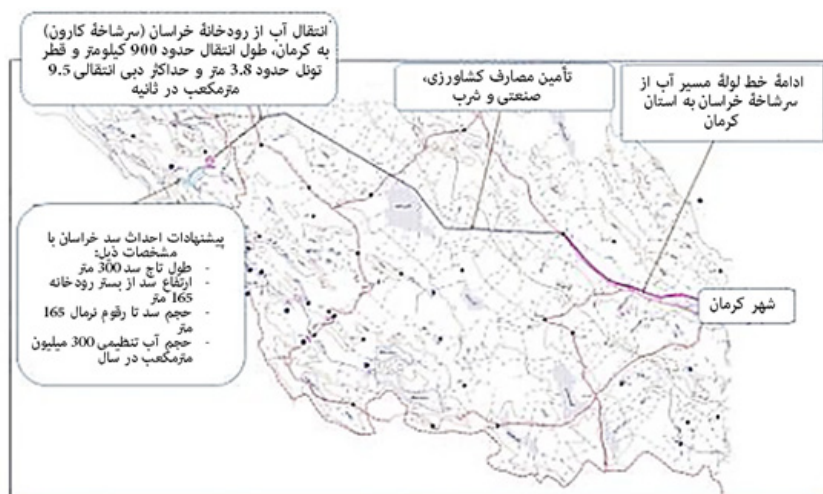
• افزایش بازده ناخالص کشاورزی.

• تعادل مصرف آب در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و خانگی (الهی و همکاران، ۱۴۰۰).

۵) تغذیه مصنوعی آبخوان‌های دشت کرمان: تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یک روش مؤثر برای بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی است. در این روش، آب سطحی یا سیلاب به آبخوان‌ها منتقل می‌شود تا حجم آب زیرزمینی را افزایش دهد.

براساس آخرین مطالعات طرح جامع آب کشور، بیلان منفی مجموع آبخوان‌های فلات مرکزی ایران، حدود ۵/۳ میلیارد مترمکعب در سال است. مجموع آب سطحی خروجی از کشور (عمدتاً به خلیج فارس، دریای عمان، دریای مازندران و از رودخانه‌های سیروان گرمسیری از غرب کشور به کشور عراق) معادل ۳۳ میلیارد مترمکعب در سال‌های نرمال و ۱۶ میلیارد مترمکعب در سال‌های خشک می‌باشد. حدود ۱۰ میلیارد از ۳۳ میلیارد مترمکعب آب خروجی از کشور در سال‌های نرمال از طریق رودخانه کارون به خلیج فارس می‌ریزد. بهره‌گیری از منابع آب سطحی خارج شده از کشور و تغذیه مصنوعی آبخوان‌های فلات مرکزی از جمله آبخوان دشت کرمان می‌تواند راهکار مناسبی باشد. مناسب‌ترین منبع آب سطحی مازاد بر مصارف که می‌توان از آن برای تغذیه آبخوان‌ها بهره‌گیری نمود، از منابع آب مازاد بر مصرف در سرشاخه‌های کارون شامل سرشاخه‌های رودخانه خرسان است. در این پژوهش فرض می‌شود ۵ میلیون مترمکعب در سال از آب اضافی به کرمان منتقل شود. یک نمونه از نحوه انتقال آب از رودخانه خرسان به کرمان در شکل (۷) نشان داده شده است.

در ادامه برای آزمایش سیاست‌های معرفی‌شده، متغیرها و روابط ریاضی آن‌ها تعیین می‌شود (جدول ۶) و نمودار حالت و جریان جدید با اعمال سیاست‌ها به دست می‌آید (شکل ۸). نتایج شبیه‌سازی در شکل (۹) تا شکل (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل ۷- یک مثال از انتقال آب از رودخانه خراسان به کرمان

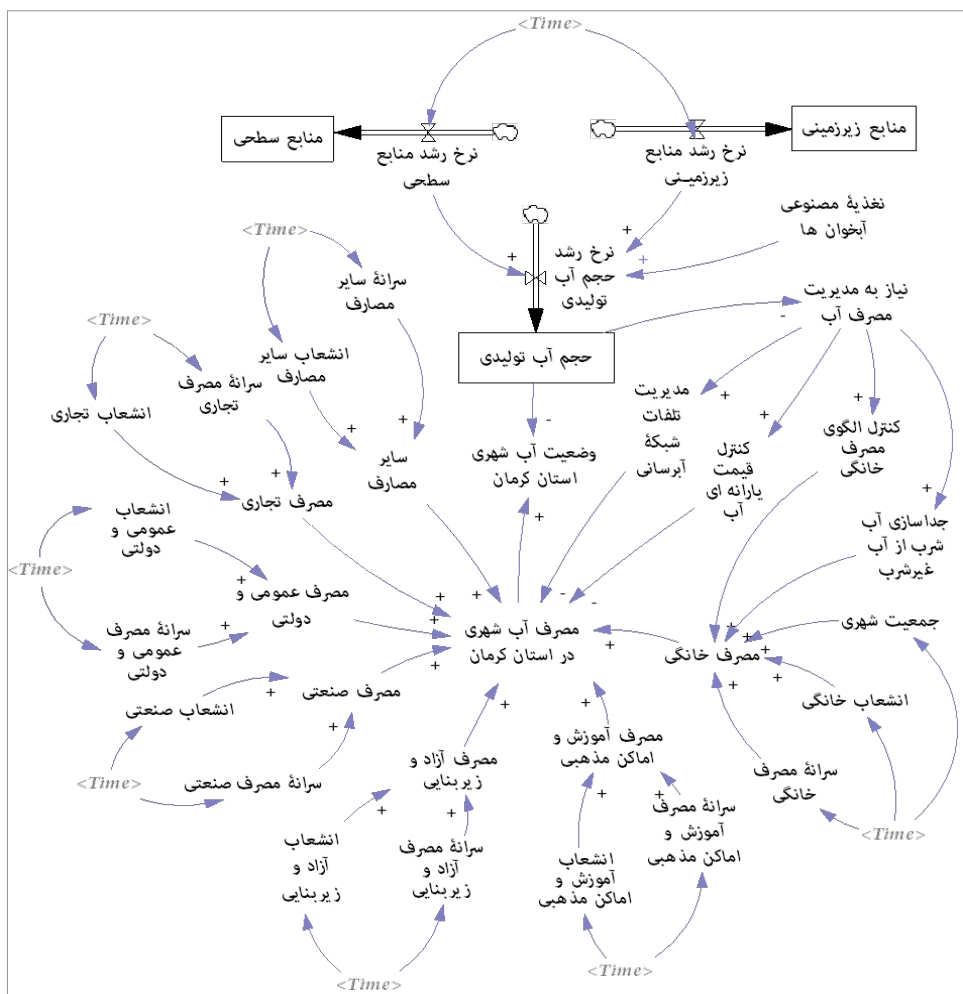
جدول ۶- نوع و روابط متغیرها در نمودار حالت و جریان با اعمال سیاست‌ها

متغیر	نوع	رابطه ریاضی
تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها	کمکی	۵۰۰۰۰۰ [مقدار ثابت]
نیاز به مدیریت مصرف آب	کمکی	IF THEN ELSE (حجم آب تولیدی <= 0, 1, 3e+09)
جداسازی آب شرب از آب غیرشرب	کمکی	IF THEN ELSE (نیاز به مدیریت مصرف آب = 0, 0, 8.76)
جمعیت شهری	کمکی	With Lookup (بر اساس جدول ۵)
کنترل الگوی مصارف خانگی	کمکی	IF THEN ELSE (نیاز به مدیریت مصرف آب = 0, 0, 0.03)
مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی	کمکی	IF THEN ELSE (نیاز به مدیریت مصرف آب = 0, 0, 0.042)
کنترل قیمت یارانه‌ای آب	کمکی	IF THEN ELSE (نیاز به مدیریت مصرف آب = 0, 0, 0.037)
مصرف خانگی	کمکی	((سرانه مصرف خانگی × انشعاب خانگی) - (جمعیت شهری × جداسازی آب شرب از آب غیرشرب)) × (۱ - کنترل الگوی مصارف خانگی)
مصرف آب شهری استان کرمان	کمکی	(مصرف خانگی + مصرف آموزشی و اماکن مذهبی + مصرف آزاد و زیربنایی + مصرف صنعتی + مصرف عمومی و دولتی + مصرف تجاری + سایر مصارف) × (۱ - مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی) × (۱ - کنترل قیمت یارانه‌ای آب)

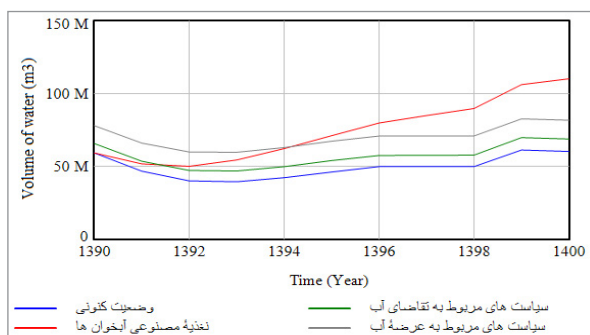
و «مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی» در قالب «سیاست‌های مربوط به عرضه آب»، سناریوهای «کنترل قیمت یارانه‌ای آب» و «کنترل الگوی مصرف خانگی» در قالب «سیاست‌های مربوط به تقاضای آب» و «سناریوی تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها» مقایسه شدند. سناریوها به‌ترتیب اثرگذاری عبارتند از «تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها»، «سیاست‌های مربوط به عرضه آب» و «سیاست‌های مربوط به تقاضای آب». «تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها» اثرگذاری بسیاری بالایی دارد به‌گونه‌ای که از سال ۱۳۹۸ به بعد، می‌توانست وضعیت منابع آبی استان را به بیش ۱۰۰ میلیون مترمکعب برساند.

در شکل (۱۱) نیز اجرای هم‌زمان همه سناریوها با وضعیت کنونی مقایسه شده است. اعمال همه سیاست‌ها در کمترین حالت در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ می‌توانست وضعیت منابع آبی را به حدود ۷۵ میلیون مترمکعب برساند.

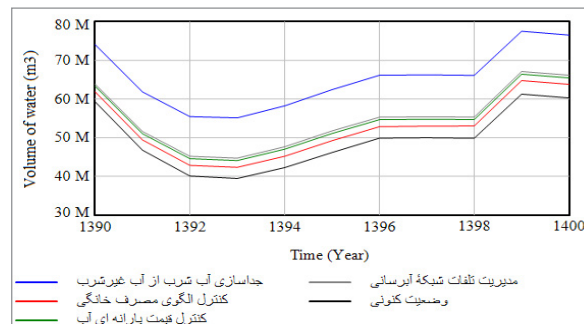
در شکل (۹) تا شکل (۱۱)، محور Y وضعیت مقادیر آب شهری استان کرمان بر حسب میلیون مترمکعب است و بر خلاف محور X که محدوده آن از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ برای نرم‌افزار تعیین شده است، محدوده خاصی ندارد و نرم‌افزار بر اساس خروجی مدل آن را از صفر تا مقداری بیش از حداکثر خروجی مدل تعیین می‌کند. در شکل (۹) مقایسه سناریوها به جز تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و وضعیت کنونی مشاهده می‌شود. «جداسازی آب شرب از غیرشرب» بیشترین میزان حفظ منابع آبی را می‌تواند داشته باشد به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۹، وضعیت منابع آبی استان می‌توانست تا حداکثر حدود ۷۷ میلیون مترمکعب در سال باشد. سایر سناریوها به‌ترتیب اثرگذاری عبارتند از «مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی»، «کنترل قیمت یارانه‌ای آب» و «کنترل الگوی مصرف خانگی» که اختلاف زیادی نسبت به یکدیگر ندارند. در شکل (۱۰) سناریوهای «جداسازی آب شرب از غیرشرب»



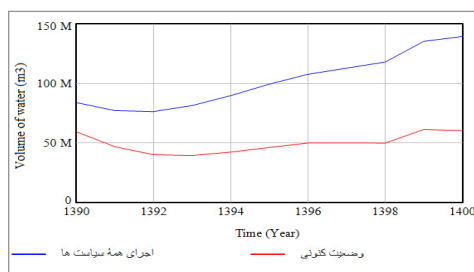
شکل ۸- نمودار حالت و جریان با اعمال سیاست‌ها



شکل ۱۰- وضعیت منابع آب شهری با اعمال سیاست‌های مربوط به عرضا و تقاضا و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها



شکل ۹- وضعیت منابع آب شهری با اعمال سیاست‌های چهارگانه به تنهایی



شکل ۱۱- وضعیت منابع آب شهری با اعمال همه سیاست‌ها

هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی مصرف آب شهری در استان کرمان با استفاده از روش پویایی سیستم و همچنین بررسی و آزمایش سیاست‌های مدیریت منابع آب بود. اقلیم خشک استان کرمان و اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، استان کرمان را با تهدیداتی مواجه کرده است مانند عدم امکان تأمین آب شرب، نشست زمین، عدم امکان استفاده از ظرفیت معادن، از دست رفتن تخلخل زمین، مهاجرت از مناطق روستایی به شهری و از استان کرمان به استان‌های شمالی. در این پژوهش، در قسمت (۱)، موضوع و اهمیت پژوهش بیان شد و مروری بر سایر پژوهش‌ها انجام گرفت؛ در قسمت (۲)، منطقه مورد مطالعه معرفی و روش پویایی سیستم بیان شد؛ و در قسمت (۳)، مدل‌سازی و یافته‌های حاصل از آن ارائه شد.

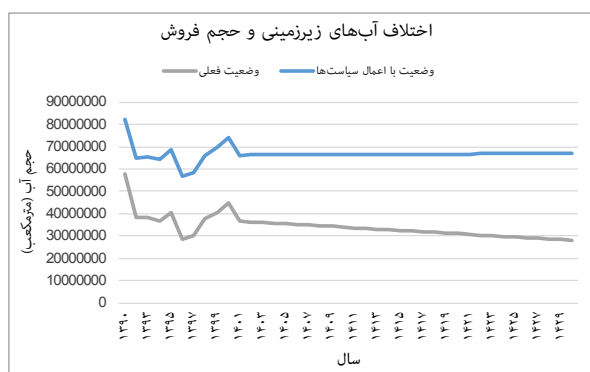
در بخش مدل‌سازی پژوهش، ابتدا مدلی از وضعیت موجود آب شهری استان شبیه‌سازی شد. نتایج آن نشان داد حجم منابع آب شهری استان کرمان که از اختلاف حجم میان فروش آب و حجم آب تولید شده به دست می‌آید، در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، بین ۳۹ میلیون مترمکعب تا ۶۱ میلیون مترمکعب متغیر بوده است. لازم به ذکر است این حجم از آب به دلایلی همچون محدودیت حجم مخازن در مدار و تصفیه‌خانه‌ها به طور کامل در دسترس نیست و برای تأمین آب شهری مشکل وجود دارد. در ادامه سیاست‌های مدیریت مصرف آب از دو جنبه عرضه و تقاضا بررسی شد. سیاست‌ها به ترتیب اثرگذاری عبارت بودند از: «تغذیه

مصنوعی آبخوان‌ها» از سرشاخه‌های کارون شامل سرشاخه‌های رودخانه خرسان با تغذیه ۵ میلیون مترمکعب در سال، «جداسازی آب شرب از آب غیرشرب» با صرفه‌جویی ۷۶/۸ میلیون مترمکعب در سال، «مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی» با صرفه‌جویی ۴/۲ درصد در سال، «کنترل قیمت یارانه‌ای آب» با صرفه‌جویی ۳/۷ درصد در سال و «کنترل الگوی مصارف خانگی» با صرفه‌جویی ۳ درصد در سال. خلاصه‌ای از نتایج مدل‌سازی و مزایا و چالش‌های هر سیاست در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد بهترین سیاست یعنی تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها اثرگذاری بسیاری بالایی دارد به گونه‌ای که پیش‌بینی می‌شود از سال ۱۳۹۸ به بعد، این سیاست می‌توانست وضعیت منابع آبی استان را به بیش ۱۰۰ میلیون مترمکعب برساند. همچنین حالت دیگری از اجرای سیاست‌ها شبیه‌سازی شد. «جداسازی آب شرب از آب غیرشرب» و «مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی» در قالب «سیاست‌های مربوط عرضه آب» و سناریوهای «کنترل قیمت یارانه‌ای آب» و «کنترل الگوی مصرف خانگی» در قالب «سیاست‌های مربوط تقاضای آب» که سیاست‌های عرضه آب اثرگذارتر است. لازم است سیاست‌ها و راهکارها به خصوص سیاست‌های فرهنگی و کنترل قیمت، در مراحل ابتدایی به میزان کمتری اعمال شود تا جامعه آمادگی پذیرش آن را داشته باشد و به مرور زمان، حجم بیشتری از سیاست‌ها اعمال شود. همچنین مطلوب‌ترین حالت، اجرای همه سیاست‌ها است که نیازمند طراحی برنامه راهبردی بلندمدت، تخصیص بودجه، پیش‌بینی زیرساخت‌های لازم و مدیریت صحیح است که منابع پایدار آب برای استان کرمان را تضمین کند.

جدول ۷- خلاصه‌ای از نتایج مدل‌سازی

سناریو	کمترین مقدار آب در دسترس (مترمکعب)	بیشترین مقدار آب در دسترس (مترمکعب)	مزایا	چالش‌ها
اجرای همه سیاست‌ها	۷۶۴۰۳۸۰۰	۱۳۹۵۹۹۰۰۰	• تأمین آب پایدار	• زمان‌بر و هزینه‌بر بودن
تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها	۵۰۰۵۴۷۰۰	۱۱۰۲۸۷۰۰۰	• تأمین آب پایدار • مقابله با کاهش سطح آب و جلوگیری از فرونشست زمین • بهبود کیفیت آب تحت فیلتراسیون طبیعی • حوضه‌های تغذیه و تالاب‌های ایجاد شده به عنوان زیستگاه حیات وحش عمل می‌کنند و سلامت اکوسیستم افزایش می‌یابد.	• هزینه‌های زیرساخت بالا • مشکل کیفیت آب به دلیل وجود آلاینده‌ها در صورت عدم مدیریت صحیح • عدم مناسب بودن برخی زمین‌ها برای تغذیه مصنوعی • خطر استخراج بیش از حد • خطرات لرزه‌ای در مناطق زلزله‌خیز
سیاست‌های مربوط به عرضه آب	۵۹۷۲۶۴۰۰	۸۲۷۲۲۲۰۰	• مجموع مزایا جداسازی آب شرب از غیرشرب و مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی	• مجموع چالش‌های جداسازی آب شرب از غیرشرب و مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی
سیاست‌های مربوط به تقاضای آب	۴۶۸۵۱۲۰۰	۶۹۷۹۳۴۰۰	• مجموع مزایای کنترل قیمت یارانه‌ای آب و کنترل الگوی مصرف خانگی	• مجموع چالش‌های کنترل قیمت یارانه‌ای آب و کنترل الگوی مصرف خانگی

سناریو	کمترین مقدار آب در دسترس (مترمکعب)	بیشترین مقدار آب در دسترس (مترمکعب)	مزایا	چالش‌ها
جداسازی آب شرب از غیرشرب	۵۵۱۱۷۹۰۰	۷۷۵۵۹۸۰۰	- دسترسی به آب سالم - حفاظت از سلامت با کاهش آلاینده‌ها - کنترل کیفیت - سفارشی‌سازی برای استفاده‌های خاص	- افزایش مصرف انرژی در روش‌های پیشرفته تصفیه - هزینه بالا - اثرات محیط‌زیستی مانند نمک‌زدایی گازهایی که گازهای گلخانه‌ای منتشر می‌کند - مشکل تخصیص منابع
مدیریت تلفات شبکه آب‌رسانی	۴۴۶۹۵۴۰۰	۶۷۱۲۴۸۰۰	- افزایش درآمد شرکت آب - صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی به دلیل توزیع کارآمد آب - افزایش قابلیت اطمینان و تداوم خدمات - کاهش مصرف انرژی	- هزینه‌های زیرساخت و سرمایه‌گذاری - پیچیدگی در مدل‌سازی و مدیریت دقیق شبکه‌ها با نشتی بالا - نیاز به دقت داده‌های مربوط به تجزیه و تحلیل نشت و سیاست‌گذاری - سنجیدن هزینه‌ها در برابر منافع
کنترل قیمت یارانه‌ای آب	۴۴۰۶۸۳۰۰	۶۶۴۲۸۸۰۰	- مقرون‌به‌صرفه بودن برای خانوارهای کم‌درآمد - رفع نابرابری - رفاه اجتماعی با ارتقای سلامت، بهداشت و رفاه عمومی - حفاظت از محیط‌زیست با استفاده بهینه از آب	- محدودیت‌های بودجه در دولت - انحرافات بازار و تخصیص ناکارآمد منابع - پیچیدگی اداری در اجرا و مدیریت برنامه‌های یارانه - دقت در هدف‌گذاری
کنترل الگوی مصرف خانگی	۴۲۳۱۷۸۰۰	۶۴۷۷۲۴۰۰	- حفاظت از منابع با کاهش هدر رفت - زندگی پایدار با تشویق به مصرف آگاهانه - ارتقای سلامت و بهداشت - هدفمند کردن معیار مصرف آب	- نیاز به آگاهی عمومی، آموزش و اصلاح رفتار در جامعه - در نظر گرفتن نیازهای متنوع، عوامل اجتماعی-اقتصادی و جمعیت‌های آسیب‌پذیر در سیاست‌گذاری - انطباق زیرساخت - متعادل کردن محدودیت‌ها



شکل ۱۲- پیش‌بینی وضعیت آینده منابع آب‌های زیرزمینی

در انتها، نکات و مواردی برای آگاهی بیشتر پژوهشگران و سیاست‌گذاران و همچنین جهت به‌کارگیری در پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود:

(۱) یکی از راهکارهای مدیریت پایدار آبخوان‌ها، افزایش راندمان آبیاری در کشاورزی است. راندمان آبیاری در کشور ایران ۳۰ تا ۵۰ درصد و راندمان آبیاری جهان ۷۵ تا ۹۲ درصد است.

در این پژوهش نشان داده شد با مدل‌سازی یک سیستم پیچیده مانند مصرف آب شهری، درک مدل، شناسایی نقاط بحرانی و آزمایش سیاست‌ها و راهکارها ساده می‌شود و پویایی سیستم یک ابزار مفید مدیریتی برای تصمیم‌گیران است. در ادامه در شکل (۱۲) پیش‌بینی از وضعیت فعلی آب‌های زیرزمینی و حجم فروش تا سال ۱۴۳۰ با استفاده از نرم‌افزار Excel ارائه شده است و همچنین وضعیت افت آب‌های زیرزمینی در صورت اعمال سیاست‌ها با آن مقایسه شده است. با توجه به نتایج اختلاف میزان آب‌های زیرزمینی و حجم فروش با ادامه روند کنونی، در سال ۱۴۳۰ به کمتر از ۳۰ میلیون مترمکعب می‌رسد که با اعمال سیاست‌های پیشنهادی این پژوهش مقدار آن بیش از ۶۷ میلیون مترمکعب خواهد بود.

شکل (۱۲) امکان برآورد نحوه افت ذخیره آبخوان، پیش‌بینی شرایط آینده ذخیره آبخوان برای دهه‌های آتی، اثر آن بر شرایط سطح زیر کشت، ادامه نشست زمین و همچنین اثر آن بر معیشت مردم را فراهم می‌سازد. این اطلاعات می‌تواند راهکاری برای برنامه‌ریزی آینده مناطق مسکونی و شرایط زندگی در استان کرمان و استان‌های مجاور باشد.

۲) شرکت آب و فاضلاب می‌تواند پس از تصفیه آب شهری، آب تصفیه شده را به سفره‌های آب زیرزمینی تزریق و آبخوان‌ها را برای بهره‌برداری مصارف کشاورزی تغذیه مصنوعی کند.

۳) باتوجه به الگوی کشاورزی در استان کرمان، علاوه بر پسته، سایر محصولات درختی سازگار با کم‌آبی مانند زعفران، زرشک و گل محمدی، بهترین گزینه برای کشت هستند.

۴) مدل ارائه شده در این پژوهش را می‌توان برای یک دوره آماری شامل دوره‌های نرمال، خشک و مرطوب به کار گرفت تا مدیریت بهره‌بردای متناسب با آن شرایط طراحی و اجرا شود.

۵) برای هر یک از متغیرهای مدل پیشنهادی در این مقاله، مدلی با جزئیات بیشتر طراحی شود تا اطلاعات سودمندی در اختیار مدیران و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

۶) عوامل مهمی از جمله کنترل مهاجرت به شهرها، توسعه شهرها، افزایش درآمد، بهبود رفاه جامعه و... نیز برای بررسی سودمند است.

پی‌نوشت‌ها

- 1-System Dynamics (SD)
- 2-Design of Experiment (DOE)
- 3-Future Studies (FS)
- 4-Logit 5-Ebbsfleet
- 6-Decision Support System (DSS)
- 7-Geographic Information System (GIS)
- 8-Artificial neural network (ANN)
- 9-Positive mathematical programming (PMP)
- 10-Genetic algorithm (GA)
- 11-Spatial Planning (SP)
- 12-Machine Learning Models (MLM)
- 13-Causal Loop Diagram (CLD)
- 14-Stock and Flow Diagram (SFD)

منابع

الهی، مهدی، وکیل‌پور، محمدحسن، نجفی علمدارلو، حامد، و اسعدی، محمدعلی. (۱۴۰۰). بررسی اثرات سیاست‌های مالیاتی و یارانه‌ای در راستای حفظ و پایداری منابع آب دشت کبودرآهنگ. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۳(۳)، ۲۳۷-۲۵۲. <https://sanad.iau.ir/Journal/jest/Article/833419>

امینی، یاسر، علی‌پور، عباس، هاشمی، سید مصطفی، و باقری، سجاد. (۱۳۹۶). برآورد آب معادل برف در استان کرمان جهت مدیریت منابع آب با استفاده از داده‌های سنجش از دور مایکروویو غیرفعال به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک‌های رگرسیون

چندگانه. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۶(۱۰۲)، ۶۷-۸۰. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2017.27457>

بنی‌اسدی، مصطفی، زارع مهرجردی، محمدرضا، مهرابی بشرآبادی، حسین، میرزایی خلیل‌آبادی، حمیدرضا، رضایی استخرنویه، عباس، و حسن‌وند، مریم. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات الگوی کشت و میزان استخراج منابع آب زیرزمینی با اعمال سیاست‌های کاهش مصرف آب در دشت ارزوئیه استان کرمان. اقتصاد کشاورزی، ۱۱(۳)، ۱۱۱-۱۲۹. <https://doi.org/10.22034/iaes.2017.28112>

بهادر، صادق. (۱۳۹۶). شبیه‌سازی بحران کمبود آب در شهر رفسنجان با استفاده از پویایی‌های سیستم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/c90b443414b370c6301ffdecc416986d>

پارسا، شیماء، ضیاء‌آبادی، مریم، و زارع مهرجردی، محمدرضا. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر خشکسالی بر افت سطح آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی مقدار افت آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: شهرستان کرمان). اولین همایش بین‌المللی و سومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط‌زیست. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. <https://civilica.com/doc/808675>

حلبیان، امیرحسین، و مجاور، نسرین. (۱۳۹۵). بررسی افت آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از نرم‌افزارهای GIS و SURFER. کنفرانس ملی دیده‌بانی آینده زمین با محوریت آب‌وهوا، کشاورزی و محیط‌زیست. مرکز توسعه آموزش‌های نوین ایران (متانا)، شیراز، ایران. <https://civilica.com/doc/522411>

جمشیدی، شروین. (۱۳۹۳). کاهش تلفات شبکه توزیع آب شهری با استفاده از مدیریت فشار. اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط‌زیست. مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. مؤسسه آموزش عالی مهراروند، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/347572>

شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان. (۱۳۹۳). خلاصه وضعیت منابع آب استان، <https://www.krrw.ir/old/SC.php?type=static&id=58>

تاریخ به روزرسانی: ۱۳۹۹/۶/۲۱.

مرکز آمار ایران. (۱۴۰۰). سالنامه آماری استان کرمان. https://nnt.sci.org.ir/sites/Apps/yearbook/Lists/year_book_req/Item/newifs.aspx

سلطانی، سارا. (۱۴۰۰). ۶۰ درصد جمعیت استان کرمان در تنش آبی به سر می‌برند. خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا). تهران، ایران. <http://isna.ir/xd/Imdg>

شاهرخی ساردو، مهدی، و جلال کمالی، نوید. (۱۴۰۰). مدل پویایی سیستم مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و عملکرد تغذیه مصنوعی (مطالعه موردی دشت نسا بم، کرمان). مجله پژوهش آب ایران، ۱۵(۲)، ۱۰۹-۱۱۸. https://iwrrj.sku.ac.ir/arti-cle_10772.html?lang=fa

عسکری‌نیا، محمدرضا. (۱۳۹۸). بررسی عوامل مؤثر بر پایداری منابع

- (2015). The water crisis and socio-ecological development profile of Rafsanjan Township, Iran. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 199, 271-285. <https://doi.org/10.2495/RAV150231>
- Moosavirad, S. H., Torabi, A., and Mirhosseini, M. (2024). Transdisciplinary approach to reduce electricity consumption using system dynamics. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 15. <https://doi.org/10.22545/2024/00249>
- Naeem, K., Aloui, S., Zghibi, A., Mazzoni, A., Triki, C., and Elomri, A. (2024). A system dynamics approach to management of water resources in Qatar. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 733-753. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.024>
- Pluchinotta, I., Pagano, A., Vilcan, T., Ahilan, S., Kapetas, L., Maskrey, S., Krivtsov, V., Thorne, C., & O'Donnell, E. (2021). A participatory system dynamics model to investigate sustainable urban water management in Ebbsfleet Garden City. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102709>
- Rahim, F., Hawari, N., and Zainal Abidin, N. (2017). Supply and demand of rice in Malaysia: A system dynamics approach. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(4), 234-240. <https://ojs.excelingtech.co.uk/index.php/IJSCM/article/view/1945>
- Wang, X., Chen, Y., Fang, G., Li, Z., and Liu, Y. (2022). The growing water crisis in central Asia and the driving forces behind it. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134574. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134574>
- Xu, Z., Yao, L. and Chen, X. (2020). Urban water supply system optimization and planning: Bi-objective optimization and system dynamics methods. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106373. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106373>
- Zainal Abidin, N., Mamat, M., Dangerfield, B., Haji Zulklepli, J., Baten, M., and Wibowo, A. (2014). Combating obesity through healthy eating behavior: A call for system dynamics optimization. *PLOS ONE*, 9(12), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114135>
- Zehtabian, E., Masoudi, R., Yazdandoost, F., Sedghi-Asl, M., and Loáiciga, H. A. (2023). Investigation of water allocation using integrated water resource management approaches in the Zayandehroud river basin, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136339>
- آب: مطالعه موردی گندم کاران شهرستان فاریاب (استان کرمان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/d5cc9003b7fde9c922e133029f3b586c>
- غفاریان بهرمان، محمد، و کرمی، تاج‌الدین. (۱۳۹۶). آینده‌پژوهی بحران آب و چالش‌های امنیتی آن (مورد مطالعه: شهرستان رفسنجان). فصلنامه دانش انتظامی کرمان، ۴۹-۸۰. http://kerman.jrl.police.ir/article_19667.html
- فتوحی فیروزآباد، فرزانه، اختصاصی، محمدرضا، سفید، محمد، و مروتی شریف‌آبادی، علی. (۱۳۹۸). بررسی فنی و مقایسه اقتصادی روش‌های جداسازی آب آشامیدنی از آب غیرآشامیدنی در شهرستان یزد (مطالعه نمونه‌ای: منطقه صفائیه یزد). مهندسی منابع آب، ۷۶-۸۶. https://weij.marvdasht.iau.ir/article_3921.html?lang=fa
- فدایی، محمدرضا، و مهدوی، افسون. (۱۳۹۵). ارزیابی وضعیت منابع آب زیرزمینی و خشکسالی جنوب شرق کشور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: استان کرمان). چهارمین کنفرانس علمی پژوهشی افق‌های نوین در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی معماری و شهرسازی ایران، تهران، ایران. <https://civil-ica.com/doc/617304>
- Agarwal, S., Araral, E., Fan, M., Qin, Y., & Zheng, H. (2023). The effects of policy announcement, prices, and subsidies on water consumption. *Nat Water*, 1, 176-186. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4318217>
- Carbon, D. (2024). Linking water stress and measures of crisis management - A systematic review of emergency drinking water management in Germany. *Journal of Environmental Management*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120901>
- The Global Environment Facility (GEF). (2015). The importance of water sustainability. <https://www.thegef.org/news/importance-water-sustainability>. Update: 1/11/2024
- Ghosh, A., & Bera, B. (2024). Identification of potential dam sites for severe water crisis management in semi-arid fluoride contaminated region, India. *Cleaner Water*, 1, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.cwat.2024.100011>
- Li, Q., Wang, W., Jiang, X., Lu, D., Zhang, Y., & Li, J. (2020). Analysis of the potential of reclaimed water utilization in typical inland cities in northwest China via system dynamics. *Journal of Environmental Management*, 270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110878>
- Maani, K., & Cavana, R. (2000). Systems thinking and modelling: Understanding change and complexity. Pearson Education, New Zealand.
- Mehryar, S., Sliuzas, R., Sharifi, M., and Van Maarseveen, M.

Providing an Integrated Model for the Sustainable Development of "Water, Energy and Food" in Iran Using a Grounded Theory Approach

F. Momeni Mahmoudi¹, A. A. Naji Meidani^{2*}, N. Salehnia², Gh. Eslami³

1, 2- Ph.D. Student in Resource Economics & Associate Professor, Department of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 3- Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: naji@um.ac.ir)

Received: 06-04-2024

Revised: 15-06-2024

Accepted: 09-07-2024

Available Online: 19-12-2024

ارائه مدل یکپارچه برای توسعه پایدار «آب، انرژی و غذا» در ایران با استفاده از رویکرد داده بنیاد

فاطمه مومنی مهمویی^۱، علی اکبر ناجی میدانی^{۲*}، نرگس صالح نیا^۲، قاسم اسلامی^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری اقتصاد منابع و دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۳- استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: naji@um.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

Abstract

One of the biggest challenges facing societies today is the increasing demand for water, food, and energy in the long term due to resource scarcity. Since Iran is an arid and semi-arid country and its natural resource supply is in a fragile balance due to unsustainable management, climate change, and continuous droughts, this study aims to design an integrated model for the sustainable economic development of water, energy, and food for Iran. In this paper, the Grounded theory was used. In order to collect data with 37 experts in related fields, semi-structured interviews were conducted until reaching theoretical saturation. After a process of continuous data comparison and open, axial, and selective coding, the concepts were organized in the form of 264 primary codes, 66 secondary codes, and 17 categories. The final result of the study is presented in the form of an integrated environmental model of sustainable economic development of water, energy, and food. Based on the pattern obtained in this study, it can be stated that the vulnerability of water, energy, and food resources in Iran is aggravated by population growth, economic growth, excessive exploitation, management factors, climate changes, governance, sanctions, and political issues. Therefore, to create a nexus in the integrated management of water, energy, and food in the country, it is necessary to change and modify the approach and method at several levels. At the highest level, i.e. the political and institutional level, there should be a kind of convergence and integration between the involved institutions including public, private, and civil in these three areas for proper planning. In the next step, the optimal management of resources, the use of appropriate methods and technologies, education and use of social capital capacity, interaction between stakeholders, and population policies should be examined and improved. Accordingly, the necessity of the necessity of paying attention to the linkage approach as a suitable policy strategy for sustainable development has been addressed.

Keywords: Water, Energy, Food, Grounded Theory Approach, Sustainable Development.

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی که امروزه جوامع با آن مواجه هستند، افزایش تقاضا برای آب، غذا و انرژی در درازمدت با توجه به کمبود منابع می‌باشد. از آنجایی که ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است و عرضه منابع طبیعی آن به دلیل مدیریت ناپایدار و تغییر اقلیم و خشکسالی‌های پیوسته، دچار تعادل شکننده‌ای شده، هدف این مطالعه طراحی مدلی یکپارچه برای توسعه اقتصادی پایدار آب، انرژی و غذا برای ایران است. در این مقاله از روش داده بنیاد استفاده شد. به منظور جمع‌آوری داده‌ها با ۳۷ نفر از خبرگان حوزه‌های مرتبط با تحقیق، مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته تا رسیدن به اشباع نظری صورت پذیرفت و پس از طی فرایند مقایسه مستمر داده‌ها و کدگذاری‌های باز، محوری و انتخابی، مفاهیم در قالب ۲۶۴ کد اولیه، ۶۶ کد ثانویه و ۱۷ طبقه سازماندهی شدند. حاصل نهایی مطالعه در قالب مدل یکپارچه زیست محیطی توسعه اقتصادی پایدار آب، انرژی و غذا ارائه شده است. براساس الگوی به دست آمده در این مطالعه می‌توان اظهار داشت که آسیب‌پذیری منابع آب، انرژی و غذا در ایران با رشد جمعیت، رشد اقتصادی، بهره‌برداری‌های بی‌رویه، عوامل مدیریتی، تغییرات اقلیمی، حکمرانی، تحریم و مسائل سیاسی تشدید می‌گردد. بنابراین برای ایجاد نوعی مدیریت هم‌بست در مدیریت آب، غذا و انرژی در کشور نیاز به تغییر و اصلاح رویکرد و روش در چند سطح است. در بالاترین سطح یعنی سطح سیاسی و نهادی باید نوعی همگرایی و یکپارچگی بین نهادهای دخیل اعم از عمومی، خصوصی و مدنی در این سه حوزه برای برنامه‌ریزی مناسب ایجاد کرد. در گام بعدی مدیریت بهینه منابع، استفاده از شیوه‌ها و فناوری‌های مناسب، آموزش و استفاده از ظرفیت سرمایه اجتماعی، تعاملات بین ذی‌نفعان و سیاست‌های جمعیتی باید مورد بررسی و بهسازی قرار گیرد. براین اساس به ضرورت توجه به رویکرد پیوندی به عنوان یک استراتژی سیاستی مناسب برای توسعه پایدار پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: آب، انرژی، غذا، رویکرد داده بنیاد، توسعه پایدار.

ذخایر آب‌های زیرزمینی ایران تا سال ۲۰۵۰ تمام شود و برخی از آنها تا سال ۲۰۳۰ به پایان می‌رسد (world bank, ۲۰۱۸). از سویی بخش کشاورزی ایران، بزرگ‌ترین و کم‌کارآمدترین مصرف‌کننده آب است و به شدت به آبیاری متکی است (Terrapon و همکاران، ۲۰۱۸). این بخش بیش از ۹۰ درصد از منابع آبی محدود کشور را مصرف می‌کند (FAO, ۲۰۱۶). همچنین توجه به خودکفایی در تولید محصولات عمده استراتژیک مانند گندم، به خصوص بعد از انقلاب، منجر به تحمیل یارانه‌های سنگین در بخش توسعه کشاورزی شد و این مسأله یکی از عواملی است که باعث فشار بر بخش آب گردید (Madani و همکاران، ۲۰۱۶). تقاضای انرژی کشور نیز در دهه‌های گذشته افزایش بسیار سریعی را تجربه کرده است. در حال حاضر بیش از ۹۵ درصد از انرژی مصرفی ایران را سوخت‌های فسیلی (نفت و گاز) تشکیل می‌دهد. اکتشاف و فرآوری سوخت‌های فسیلی به آب زیادی نیاز دارد. علاوه بر این، تولید برق در ایران عمدتاً به نیروگاه‌های حرارتی متکی است. بیش از ۹۲ درصد تولید برق کشور را نیروگاه‌های حرارتی تأمین می‌کنند (BP, ۲۰۲۲) که نیازمند مقادیر زیادی آب برای خنک‌سازی هستند. همچنین نیروگاه‌های برق آبی در مقیاس بزرگ، تنها زمانی قابل دوام هستند که رودخانه‌ها یا مخازن، دارای سطح آب کافی و جریان آب باشند (world bank, ۲۰۱۸). بنابراین با توجه به اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه خشک خاورمیانه قرار دارد و دارای منابع محدود آب سطحی است و همچنین وجود بحران‌های زیست‌محیطی که در آینده نزدیک، امنیت غذایی و انرژی کشور را به مخاطره می‌اندازد و در آینده‌ای نه چندان دور، به موازات رشد جمعیت و توسعه فعالیت‌های مختلف اقتصادی، کمبود سه منبع حیاتی آب، انرژی و غذا در آن مشهود خواهد بود، می‌توان استنباط کرد که این رهیافت می‌تواند رهنمودی برای سیاست‌گذاری توسعه پایدار منابع در دهه‌های آتی کشور باشد.

David و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه با هدف بررسی نقش نوآوری فناوری در تضمین پایداری منابع در پیوند آب، انرژی و غذا، نشان دادند که نوآوری‌های تکنولوژیکی به طور مستقیم و معناداری بر پیوند WEF تأثیر می‌گذارد. در مطالعه دیگری Rezaie و Rosen (۲۰۲۰)، به بیان اهمیت منابع و ارتباط متقابل آنها و بررسی نقش عوامل اثرگذار خارج از سیستم، ازجمله افزایش جمعیت، رشد اقتصادی، تغییرات آب‌وهوایی بر روی پیوند، پرداخته و نهایتاً یک چارچوب پایدار برای مدل‌سازی پیوند آب، انرژی و غذا پیشنهاد دادند. Olawuyi (۲۰۲۰)، جنبه‌های قانونی و حاکمیتی یکپارچه‌سازی و پیاده‌سازی پیوند WEF را در عمل بررسی کرده است. این مطالعه نشان می‌دهد که سطوح پیشرفته‌ای از ارتباط قانون‌گذار و قوانین، تدوین اصول مشترک توسط بازیگران نهادی در حوزه‌های WEF، همچنین دانش، تخصص و به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد برنامه‌ریزی مرتبط با WEF در سطوح محلی،

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی که امروزه جوامع در حال توسعه با آن مواجه هستند، افزایش تقاضا برای آب، غذا و انرژی در بلندمدت علی‌رغم محدودیت منابع است (Nhamo و همکاران، ۲۰۲۰). آب، انرژی و غذا به طور جدایی ناپذیری با تمام جنبه‌های زندگی انسان مرتبط هستند. آب در هر مرحله از زنجیره تأمین انرژی، از استخراج و پردازش حامل‌های انرژی تا تولید برق، گرما و خنک‌سازی مورد نیاز است (world bank, ۲۰۱۸). بدون آب، نمی‌توان غذا و انرژی (هسته‌ای، فسیلی و سوخت‌های زیستی)، تولید کرد و بدون انرژی، نیز نمی‌توان غذا و آب را پردازش یا توزیع نمود. همچنین، بدون غذا، انسان و حیوان در زنجیره ارزش تأمین انرژی و آب ممکن است نتوانند به خوبی عمل کنند (اسلامی، ۱۳۹۸). بنابراین این منابع به طور قابل توجهی به یکدیگر وابسته‌اند به نحوی که تغییرات یک بخش، تأثیر خود را بر بخش‌های دیگر می‌گذارد و اختلال در یک منبع می‌تواند منجر به اختلال در دو منبع دیگر شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین این منابع علاوه بر تأثیرپذیری متقابل درون پیوند، از عوامل متعدد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فناوری و محیطی در خارج پیوند نیز تأثیر می‌گیرند و بر آنها تأثیرگذارند (Purwanto و همکاران، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر، بررسی روابط متقابل و پیچیده این منابع منجر به ظهور اصطلاح جدیدی به نام پیوند آب، انرژی، غذا^۱ (WEF Nexus) در جامعه علمی شده است (Molajou و همکاران، ۲۰۲۱). طبق این رویکرد، سیستم‌های WEF سه رأس یک مثلث هستند و سیاست‌های اتخاذ شده در مورد هر یک از آنها روی دو سیستم دیگر تأثیر می‌گذارد (Li و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین پیوند نمی‌تواند به عنوان بخش‌های مستقل مورد بحث قرار گیرد و نیاز به سیاست‌های یکپارچه و همکاری بین بخشی و بین‌المللی برای ارتقاء توسعه پایدار را نشان می‌دهد (De Andrade و همکاران، ۲۰۲۱). در این راستا بررسی و شناخت دقیق روابط بین اجزای مختلف سیستم و در نتیجه، مدل‌سازی تعاملات بین منابع مختلف می‌تواند ابزاری مناسب و کارآمد برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان جهت تصمیم‌گیری دقیق و مناسب در راستای حفظ و پایداری منابع باشد (Molajou و همکاران، ۲۰۲۱).

طبق پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد انتظار می‌رود جمعیت ایران تا سال ۲۰۵۰ با رشد ۲۲ درصدی بالغ بر ۱۰۳ میلیون نفر گردد (United Nations, ۲۰۲۱). محصول ساده این رشد سریع جمعیت، افزایش تقاضای منابع و در صورت مدیریت ناصحیح، کاهش دسترسی به منابع خواهد بود. منطقه خاورمیانه که ایران نیز در آن واقع شده، یکی از خشک‌ترین مناطق جهان است و به طور قابل ملاحظه‌ای از کمبود آب رنج می‌برد. میانگین بارندگی سالانه در ایران در نیم قرن اخیر کمتر از یک سوم میانگین جهانی بوده است. همچنین براساس گزارش بانک جهانی پیش‌بینی می‌شود

منطقه‌ای و بین‌المللی، گام‌های مهمی در جهت پیشبرد حاکمیت سیستمی و یکپارچه منابع WEF است. نتایج مطالعه De Amorim و همکاران (۲۰۱۸)، بیانگر این است که آب، انرژی و غذا منابعی به هم وابسته و ضروری می‌باشند که نیازمند مدیریت پایدار، یکپارچه و هوشمند هستند. Al-Saidi و Elagib (۲۰۱۷)، در بررسی خود ظهور تفکر پیوندی را ناشی از سه عامل الف) افزایش پیوندهای منابع به دلیل کمبودهای رو به رشد، ب) بحران‌های اخیر تأمین منابع، و ج) شکست استراتژی‌های مدیریتی بخشی‌محور عنوان کردند. Rasul (۲۰۱۶)، نیز پیوند غذا، آب و انرژی را به منظور دستیابی به اهداف توسعه پایدار در جنوب آسیا بررسی نمود. نتیجه تحلیل او نشان می‌دهد رویکرد پیوندی مستلزم یک تغییر عمده در فرآیند تصمیم‌گیری به سمت اتخاذ دیدگاهی جامع و توسعه مکانیسم‌های نهادی برای هماهنگ کردن اقدامات بازیگران مختلف و تقویت مکمل‌ها و هم‌افزایی بین سه بخش است. در داخل کشور مطالعات اندکی به موضوع پیوند پرداخته‌اند، از جمله صیادی و همکاران (۱۳۹۸) به مدل‌سازی هریک از زیر بخش‌های آب، انرژی و غذا پرداخته و سپس مدل مفهومی یکپارچه‌ای از روابط هریک از بخش‌ها با یکدیگر ارائه نمودند. یافته‌های این مطالعه لزوم توجه به هم پیوندی در سیاست‌گذاری در این سه حوزه در کشور را نمایان می‌کند. مطالعه گودرزی و همکاران (۱۳۹۸)، نشان دادند که در شهر بروجرد به‌عنوان محدوده مطالعاتی مورد استفاده، مهم‌ترین مانع تصمیم‌گیری نسبت به معیار آب، غذا و انرژی، رویکرد جدید برای مدیریت و اداره یکپارچه با توجه به توسعه پایدار و کم‌اهمیت‌ترین مانع، ارتباط و همکاری است. در مطالعه صفایی و همکاران (۱۳۹۸)، نتایج تحلیل مبین این است که رویکرد همبست آب، انرژی و غذا به‌منظور اجرایی شدن سیاست‌ها، لازم است در شبکه‌ای از محققان، متخصصان و سیاست‌گذاران در زمینه‌های مرتبط به اشتراک گذاشته شود، تا قابلیت‌های آن آشکار شده و اجماعی میان ذی‌نفعان دولتی و خصوصی برای تعهد به چنین رویکردی شکل گیرد. میرزایی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در تحقیقی چهار راه حل سیاستی به‌منظور پیشبرد اهداف سیاست‌گذاری در ارتباط با پیوند آب، انرژی و غذا شامل قیمت‌گذاری آب و انرژی، تدوین الگوی کشت و جابجایی مناسب صنایع، تصحیح سیاست‌های واردات و صادرات با توجه به آب مجازی و ردپای آب و افزایش محصولات گلخانه‌ای پیشنهاد دادند.

بررسی مطالعات انجام شده در ارتباط با رویکرد نوپای پیوند WEF بیانگر این است که محدود مطالعات انجام شده فقط وضعیت فعلی را توصیف کرده‌اند. در تعداد محدودی از مطالعات پیوند WEF در منطقه‌ای خاص مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین در برخی موارد جهت‌گیری پیوند به سمت یکی از بخش‌ها بوده که چنین جهت‌گیری‌هایی سبب تصمیم‌گیری‌های یک سویه می‌گردد و ریسک عدم تعادل در سایر بخش‌ها را به دنبال خواهد داشت و

توسعه پایدار را تضعیف خواهد کرد. از این رو هدف این مقاله ارائه مدل یکپارچه توسعه اقتصادی پایدار برای سه منبع آب، انرژی و غذا برای کشور ایران در افق زمانی ۳۰ سال آینده با استفاده از روش داده‌بنیاد می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: راهبرد نظریه داده بنیاد

هرگاه پژوهشگر درصدد تبیین پدیده‌ای باشد و ادبیاتی پیرامون آن موجود نباشد، از نظریه داده‌بنیاد استفاده می‌کند (رنجبر، ۱۳۹۹). لذا هدف اصلی تحقیق، تعیین‌کننده نوع روشی است که پژوهشگر می‌تواند بر اساس آن به شکل مطلوب‌تری به پاسخ سوالات خود دست یابد. هدف اصلی این مطالعه ارائه الگویی برای توسعه پایدار آب، انرژی و غذا برای ایران است. از این رو استراتژی تحقیق حاضر «نظریه داده‌بنیاد» است. این راهبرد، روشی نظام‌مند و کیفی برای خلق نظریه‌ای است که در سطح گسترده به تبیین فرآیند، کنش یا کنش متقابل موضوعی با هویت مشخص می‌پردازد (Creswell، ۲۰۰۲). در این نوع مطالعات، مصاحبه‌ها مطلوب‌ترین نوع داده‌ها هستند و محقق به منظور دستیابی به غنی‌ترین اطلاعات به سراغ افراد یا گروه‌هایی می‌رود که از بیشترین آگاهی در خصوص سوال تحقیق برخوردار می‌باشند (Devers and Frankel، ۲۰۰۰). براساس این رویکرد فرایند تحلیل داده‌ها در سه مرحله اصلی کدگذاری باز^۱، کدگذاری محوری^۲ و کدگذاری انتخابی^۳ انجام می‌شود. کدگذاری عبارت است از «فرآیند گروه‌بندی شواهد و نشان‌گذاری ایده‌ها، به صورتی که منعکس‌کننده عمده دیدگاه‌ها باشند. شواهد به دست آمده از پایگاه داده‌ها را می‌توان در کدها گروه‌بندی کرد و کدها در مضامین گسترده‌تر گروه‌بندی می‌شوند. سپس مضامین را باید در ابعاد یا دیدگاه‌های بزرگ‌تری طبقه‌بندی کرد و بین آنها ارتباط برقرار نمود» (کرسول و کلارک، ۱۳۹۰).

در گام نخست، کدگذاری باز انجام می‌شود که فرایندی تحلیلی است که از طریق آن مفاهیم، شناسایی می‌شوند و مشخصات و ابعاد آن‌ها در داده‌ها کشف می‌گردند. محصول این مرحله مفاهیم هستند. کدگذاری باز تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که اثرات ظهور مقوله محوری نمودار شود تا بدین ترتیب در مرحله بعدی (یعنی مرحله کدگذاری محوری) کدگذاری براساس مقوله محوری هدایت شود (اسلامی، ۱۳۹۷). در گام دوم و کدگذاری محوری، پژوهشگر یکی از مقولات را به‌عنوان مقوله محوری انتخاب نموده و ارتباط سایر مقوله‌ها با آن مقوله مشخص می‌شود. که این ارتباط در پنج عنوان (شرایط علی، شرایط زمینه‌ای، شرایط مداخله‌گر، راهبردها و پیامدها) می‌تواند تحقق داشته باشد. در گام سوم کدگذاری انتخابی، صورت می‌گیرد که به فرایند انتخاب مقوله محوری و پیوند نظام‌مند آن با دیگر مقوله‌ها اشاره دارد. این روند شامل چند قسمت می‌باشد: گام نخست توضیح خط اصلی موضوع است. در

گام دوم، ربط دادن مقولات تکمیلی بر حول مقوله اصلی انجام می‌شود. گام سوم، ارتباط دادن مقولات به یکدیگر است. در گام چهارم، به تأیید رساندن آن روابط در قبال داده‌ها صورت می‌گیرد و گام نهایی، تکمیل مقولاتی است که نیاز به اصلاح و یا بسط دارند (Strauss و Corbin، ۲۰۰۸).

جامعه آماری در این مطالعه، مشتمل بر کلیه اعضای خبره حوزه‌های منابع انرژی، منابع غذایی و منابع آبی در ایران (مدیران ارشد و اساتید دانشگاه در حوزه‌های مربوطه) می‌باشند. در انتخاب نمونه برای این گروه از روش نمونه‌گیری گلوله برفی^۵ استفاده شد. در این روش، پژوهشگر ابتدا افرادی را شناسایی می‌کند و پس از دریافت اطلاعات از آنان می‌خواهد فرد یا افراد دیگری را به وی معرفی کنند (ایران‌نژاد پاریزی، ۱۳۸۸). در این شیوه، نمونه‌گیری تا آنجا ادامه دارد که اشباع نظری صورت گیرد، یعنی نقطه‌ای که دیگر اضافه کردن نمونه‌های جدید تأثیری در توسعه الگو یا نظریه پژوهش نداشته باشد. اشباع نظری در این پژوهش با انجام ۳۷ مصاحبه حاصل شد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در بخش کیفی مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته است که با استفاده از نرم افزار MAXQDA در سه گام کدگذاری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نهایت با

توجه به این سه مرحله، کدبندی مدل نهایی پژوهش استخراج گردید.

تحلیل یافته‌ها

در این پژوهش برای دستیابی به هدف تحقیق از رویکرد داده‌بنیاد استفاده گردید. در مجموع ۳۷ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان و مدیران اجرایی مرتبط با موضوع پژوهش انجام گردید. پس از تحلیل داده‌های مصاحبه‌ها در سه مرحله کدگذاری نهایتاً تعداد ۲۶۴ کد اولیه، ۶۳ کد ثانویه و ۱۷ طبقه‌شناسایی گردید. لذا مفاهیم ۱۷ گانه شناسایی شده در ۶ مقوله اصلی (شرایط علی، شرایط زمینه‌ای، مقوله محوری، شرایط مداخله‌گر، راهبردها و پیامدها) دسته‌بندی شده و مدل نهایی این مطالعه را تشکیل دادند. در جدول (۱) دسته‌بندی کدهای بدست آمده از متون مصاحبه در ۱۷ طبقه خلاصه شده است. روش نظریه‌پردازی داده بنیاد باعث می‌شود مؤلفه‌هایی که به دست آمده و از هم متمایز بودند، تحت نظریه‌ای هماهنگ و یکپارچه به هم پیوندند و مدل نهایی تحقیق را شکل بدهند. شکل (۱) الگوی شماتیک حاصل از تحلیل و کدگذاری‌ها را به تصویر می‌کشد.

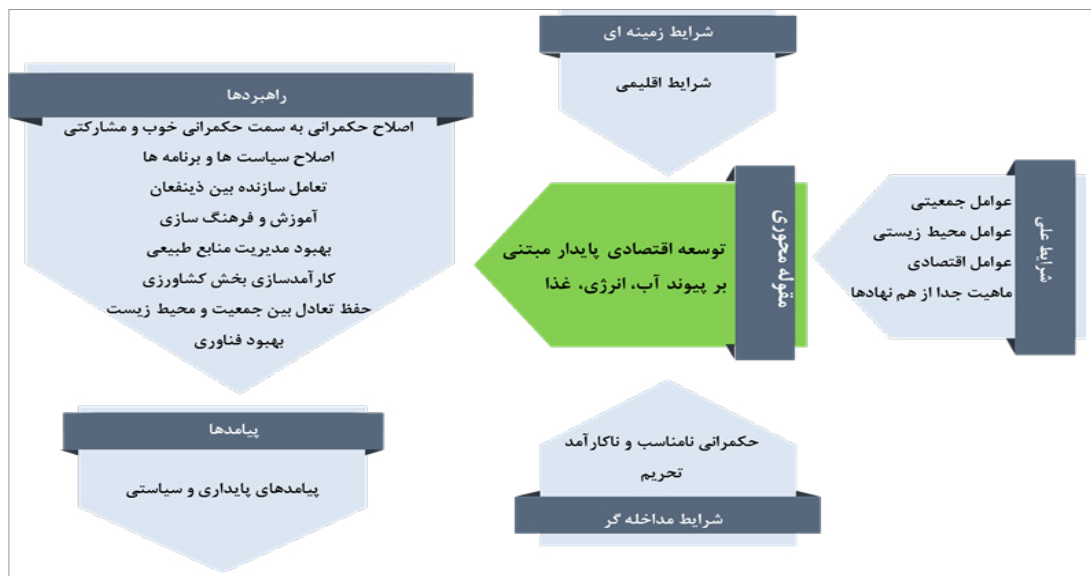
جدول ۱- کدها و طبقه‌های حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در مرحله کدگذاری انتخابی

ردیف	کدهای ثانویه	طبقه‌ها	ردیف	کدهای ثانویه	طبقه‌ها																								
۱	حفظ امنیت غذایی جمعیت رو به رشد	۵۰ ۵۱ ۵۲ ۵۳ ۵۴ ۵۵ ۵۶ ۵۷ ۵۸ ۵۹ ۶۰ ۶۱ ۶۲ ۶۳ ۶۴ ۶۵ ۶۶ ۶۷ ۶۸ ۶۹ ۷۰ ۷۱ ۷۲ ۷۳ ۷۴ ۷۵ ۷۶ ۷۷ ۷۸ ۷۹ ۸۰ ۸۱ ۸۲ ۸۳ ۸۴ ۸۵ ۸۶ ۸۷ ۸۸ ۸۹ ۹۰ ۹۱ ۹۲ ۹۳ ۹۴ ۹۵ ۹۶ ۹۷ ۹۸ ۹۹ ۱۰۰ ۱۰۱ ۱۰۲ ۱۰۳ ۱۰۴ ۱۰۵ ۱۰۶ ۱۰۷ ۱۰۸ ۱۰۹ ۱۱۰ ۱۱۱ ۱۱۲ ۱۱۳ ۱۱۴ ۱۱۵ ۱۱۶ ۱۱۷ ۱۱۸ ۱۱۹ ۱۲۰ ۱۲۱ ۱۲۲ ۱۲۳ ۱۲۴ ۱۲۵ ۱۲۶ ۱۲۷ ۱۲۸ ۱۲۹ ۱۳۰ ۱۳۱ ۱۳۲ ۱۳۳ ۱۳۴ ۱۳۵ ۱۳۶ ۱۳۷ ۱۳۸ ۱۳۹ ۱۴۰ ۱۴۱ ۱۴۲ ۱۴۳ ۱۴۴ ۱۴۵ ۱۴۶ ۱۴۷ ۱۴۸ ۱۴۹ ۱۵۰ ۱۵۱ ۱۵۲ ۱۵۳ ۱۵۴ ۱۵۵ ۱۵۶ ۱۵۷ ۱۵۸ ۱۵۹ ۱۶۰ ۱۶۱ ۱۶۲ ۱۶۳ ۱۶۴ ۱۶۵ ۱۶۶ ۱۶۷ ۱۶۸ ۱۶۹ ۱۷۰ ۱۷۱ ۱۷۲ ۱۷۳ ۱۷۴ ۱۷۵ ۱۷۶ ۱۷۷ ۱۷۸ ۱۷۹ ۱۸۰ ۱۸۱ ۱۸۲ ۱۸۳ ۱۸۴ ۱۸۵ ۱۸۶ ۱۸۷ ۱۸۸ ۱۸۹ ۱۹۰ ۱۹۱ ۱۹۲ ۱۹۳ ۱۹۴ ۱۹۵ ۱۹۶ ۱۹۷ ۱۹۸ ۱۹۹ ۲۰۰ ۲۰۱ ۲۰۲ ۲۰۳ ۲۰۴ ۲۰۵ ۲۰۶ ۲۰۷ ۲۰۸ ۲۰۹ ۲۱۰ ۲۱۱ ۲۱۲ ۲۱۳ ۲۱۴ ۲۱۵ ۲۱۶ ۲۱۷ ۲۱۸ ۲۱۹ ۲۲۰ ۲۲۱ ۲۲۲ ۲۲۳ ۲۲۴ ۲۲۵ ۲۲۶ ۲۲۷ ۲۲۸ ۲۲۹ ۲۳۰ ۲۳۱ ۲۳۲ ۲۳۳ ۲۳۴ ۲۳۵ ۲۳۶ ۲۳۷ ۲۳۸ ۲۳۹ ۲۴۰ ۲۴۱ ۲۴۲ ۲۴۳ ۲۴۴ ۲۴۵ ۲۴۶ ۲۴۷ ۲۴۸ ۲۴۹ ۲۵۰ ۲۵۱ ۲۵۲ ۲۵۳ ۲۵۴ ۲۵۵ ۲۵۶ ۲۵۷ ۲۵۸ ۲۵۹ ۲۶۰ ۲۶۱ ۲۶۲ ۲۶۳ ۲۶۴ ۲۶۵ ۲۶۶ ۲۶۷ ۲۶۸ ۲۶۹ ۲۷۰ ۲۷۱ ۲۷۲ ۲۷۳ ۲۷۴ ۲۷۵ ۲۷۶ ۲۷۷ ۲۷۸ ۲۷۹ ۲۸۰ ۲۸۱ ۲۸۲ ۲۸۳ ۲۸۴ ۲۸۵ ۲۸۶ ۲۸۷ ۲۸۸ ۲۸۹ ۲۹۰ ۲۹۱ ۲۹۲ ۲۹۳ ۲۹۴ ۲۹۵ ۲۹۶ ۲۹۷ ۲۹۸ ۲۹۹ ۳۰۰ ۳۰۱ ۳۰۲ ۳۰۳ ۳۰۴ ۳۰۵ ۳۰۶ ۳۰۷ ۳۰۸ ۳۰۹ ۳۱۰ ۳۱۱ ۳۱۲ ۳۱۳ ۳۱۴ ۳۱۵ ۳۱۶ ۳۱۷ ۳۱۸ ۳۱۹ ۳۲۰ ۳۲۱ ۳۲۲ ۳۲۳ ۳۲۴ ۳۲۵ ۳۲۶ ۳۲۷ ۳۲۸ ۳۲۹ ۳۳۰ ۳۳۱ ۳۳۲ ۳۳۳ ۳۳۴ ۳۳۵ ۳۳۶ ۳۳۷ ۳۳۸ ۳۳۹ ۳۴۰ ۳۴۱ ۳۴۲ ۳۴۳ ۳۴۴ ۳۴۵ ۳۴۶ ۳۴۷ ۳۴۸ ۳۴۹ ۳۵۰ ۳۵۱ ۳۵۲ ۳۵۳ ۳۵۴ ۳۵۵ ۳۵۶ ۳۵۷ ۳۵۸ ۳۵۹ ۳۶۰ ۳۶۱ ۳۶۲ ۳۶۳ ۳۶۴ ۳۶۵ ۳۶۶ ۳۶۷ ۳۶۸ ۳۶۹ ۳۷۰ ۳۷۱ ۳۷۲ ۳۷۳ ۳۷۴ ۳۷۵ ۳۷۶ ۳۷۷ ۳۷۸ ۳۷۹ ۳۸۰ ۳۸۱ ۳۸۲ ۳۸۳ ۳۸۴ ۳۸۵ ۳۸۶ ۳۸۷ ۳۸۸ ۳۸۹ ۳۹۰ ۳۹۱ ۳۹۲ ۳۹۳ ۳۹۴ ۳۹۵ ۳۹۶ ۳۹۷ ۳۹۸ ۳۹۹ ۴۰۰ ۴۰۱ ۴۰۲ ۴۰۳ ۴۰۴ ۴۰۵ ۴۰۶ ۴۰۷ ۴۰۸ ۴۰۹ ۴۱۰ ۴۱۱ ۴۱۲ ۴۱۳ ۴۱۴ ۴۱۵ ۴۱۶ ۴۱۷ ۴۱۸ ۴۱۹ ۴۲۰ ۴۲۱ ۴۲۲ ۴۲۳ ۴۲۴ ۴۲۵ ۴۲۶ ۴۲۷ ۴۲۸ ۴۲۹ ۴۳۰ ۴۳۱ ۴۳۲ ۴۳۳ ۴۳۴ ۴۳۵ ۴۳۶ ۴۳۷ ۴۳۸ ۴۳۹ ۴۴۰ ۴۴۱ ۴۴۲ ۴۴۳ ۴۴۴ ۴۴۵ ۴۴۶ ۴۴۷ ۴۴۸ ۴۴۹ ۴۵۰ ۴۵۱ ۴۵۲ ۴۵۳ ۴۵۴ ۴۵۵ ۴۵۶ ۴۵۷ ۴۵۸ ۴۵۹ ۴۶۰ ۴۶۱ ۴۶۲ ۴۶۳ ۴۶۴ ۴۶۵ ۴۶۶ ۴۶۷ ۴۶۸ ۴۶۹ ۴۷۰ ۴۷۱ ۴۷۲ ۴۷۳ ۴۷۴ ۴۷۵ ۴۷۶ ۴۷۷ ۴۷۸ ۴۷۹ ۴۸۰ ۴۸۱ ۴۸۲ ۴۸۳ ۴۸۴ ۴۸۵ ۴۸۶ ۴۸۷ ۴۸۸ ۴۸۹ ۴۹۰ ۴۹۱ ۴۹۲ ۴۹۳ ۴۹۴ ۴۹۵ ۴۹۶ ۴۹۷ ۴۹۸ ۴۹۹ ۵۰۰ ۵۰۱ ۵۰۲ ۵۰۳ ۵۰۴ ۵۰۵ ۵۰۶ ۵۰۷ ۵۰۸ ۵۰۹ ۵۱۰ ۵۱۱ ۵۱۲ ۵۱۳ ۵۱۴ ۵۱۵ ۵۱۶ ۵۱۷ ۵۱۸ ۵۱۹ ۵۲۰ ۵۲۱ ۵۲۲ ۵۲۳ ۵۲۴ ۵۲۵ ۵۲۶ ۵۲۷ ۵۲۸ ۵۲۹ ۵۳۰ ۵۳۱ ۵۳۲ ۵۳۳ ۵۳۴ ۵۳۵ ۵۳۶ ۵۳۷ ۵۳۸ ۵۳۹ ۵۴۰ ۵۴۱ ۵۴۲ ۵۴۳ ۵۴۴ ۵۴۵ ۵۴۶ ۵۴۷ ۵۴۸ ۵۴۹ ۵۵۰ ۵۵۱ ۵۵۲ ۵۵۳ ۵۵۴ ۵۵۵ ۵۵۶ ۵۵۷ ۵۵۸ ۵۵۹ ۵۶۰ ۵۶۱ ۵۶۲ ۵۶۳ ۵۶۴ ۵۶۵ ۵۶۶ ۵۶۷ ۵۶۸ ۵۶۹ ۵۷۰ ۵۷۱ ۵۷۲ ۵۷۳ ۵۷۴ ۵۷۵ ۵۷۶ ۵۷۷ ۵۷۸ ۵۷۹ ۵۸۰ ۵۸۱ ۵۸۲ ۵۸۳ ۵۸۴ ۵۸۵ ۵۸۶ ۵۸۷ ۵۸۸ ۵۸۹ ۵۹۰ ۵۹۱ ۵۹۲ ۵۹۳ ۵۹۴ ۵۹۵ ۵۹۶ ۵۹۷ ۵۹۸ ۵۹۹ ۶۰۰ ۶۰۱ ۶۰۲ ۶۰۳ ۶۰۴ ۶۰۵ ۶۰۶ ۶۰۷ ۶۰۸ ۶۰۹ ۶۱۰ ۶۱۱ ۶۱۲ ۶۱۳ ۶۱۴ ۶۱۵ ۶۱۶ ۶۱۷ ۶۱۸ ۶۱۹ ۶۲۰ ۶۲۱ ۶۲۲ ۶۲۳ ۶۲۴ ۶۲۵ ۶۲۶ ۶۲۷ ۶۲۸ ۶۲۹ ۶۳۰ ۶۳۱ ۶۳۲ ۶۳۳ ۶۳۴ ۶۳۵ ۶۳۶ ۶۳۷ ۶۳۸ ۶۳۹ ۶۴۰ ۶۴۱ ۶۴۲ ۶۴۳ ۶۴۴ ۶۴۵ ۶۴۶ ۶۴۷ ۶۴۸ ۶۴۹ ۶۵۰ ۶۵۱ ۶۵۲ ۶۵۳ ۶۵۴ ۶۵۵ ۶۵۶ ۶۵۷ ۶۵۸ ۶۵۹ ۶۶۰ ۶۶۱ ۶۶۲ ۶۶۳ ۶۶۴ ۶۶۵ ۶۶۶ ۶۶۷ ۶۶۸ ۶۶۹ ۶۷۰ ۶۷۱ ۶۷۲ ۶۷۳ ۶۷۴ ۶۷۵ ۶۷۶ ۶۷۷ ۶۷۸ ۶۷۹ ۶۸۰ ۶۸۱ ۶۸۲ ۶۸۳ ۶۸۴ ۶۸۵ ۶۸۶ ۶۸۷ ۶۸۸ ۶۸۹ ۶۹۰ ۶۹۱ ۶۹۲ ۶۹۳ ۶۹۴ ۶۹۵ ۶۹۶ ۶۹۷ ۶۹۸ ۶۹۹ ۷۰۰ ۷۰۱ ۷۰۲ ۷۰۳ ۷۰۴ ۷۰۵ ۷۰۶ ۷۰۷ ۷۰۸ ۷۰۹ ۷۱۰ ۷۱۱ ۷۱۲ ۷۱۳ ۷۱۴ ۷۱۵ ۷۱۶ ۷۱۷ ۷۱۸ ۷۱۹ ۷۲۰ ۷۲۱ ۷۲۲ ۷۲۳ ۷۲۴ ۷۲۵ ۷۲۶ ۷۲۷ ۷۲۸ ۷۲۹ ۷۳۰ ۷۳۱ ۷۳۲ ۷۳۳ ۷۳۴ ۷۳۵ ۷۳۶ ۷۳۷ ۷۳۸ ۷۳۹ ۷۴۰ ۷۴۱ ۷۴۲ ۷۴۳ ۷۴۴ ۷۴۵ ۷۴۶ ۷۴۷ ۷۴۸ ۷۴۹ ۷۵۰ ۷۵۱ ۷۵۲ ۷۵۳ ۷۵۴ ۷۵۵ ۷۵۶ ۷۵۷ ۷۵۸ ۷۵۹ ۷۶۰ ۷۶۱ ۷۶۲ ۷۶۳ ۷۶۴ ۷۶۵ ۷۶۶ ۷۶۷ ۷۶۸ ۷۶۹ ۷۷۰ ۷۷۱ ۷۷۲ ۷۷۳ ۷۷۴ ۷۷۵ ۷۷۶ ۷۷۷ ۷۷۸ ۷۷۹ ۷۸۰ ۷۸۱ ۷۸۲ ۷۸۳ ۷۸۴ ۷۸۵ ۷۸۶ ۷۸۷ ۷۸۸ ۷۸۹ ۷۹۰ ۷۹۱ ۷۹۲ ۷۹۳ ۷۹۴ ۷۹۵ ۷۹۶ ۷۹۷ ۷۹۸ ۷۹۹ ۸۰۰ ۸۰۱ ۸۰۲ ۸۰۳ ۸۰۴ ۸۰۵ ۸۰۶ ۸۰۷ ۸۰۸ ۸۰۹ ۸۱۰ ۸۱۱ ۸۱۲ ۸۱۳ ۸۱۴ ۸۱۵ ۸۱۶ ۸۱۷ ۸۱۸ ۸۱۹ ۸۲۰ ۸۲۱ ۸۲۲ ۸۲۳ ۸۲۴ ۸۲۵ ۸۲۶ ۸۲۷ ۸۲۸ ۸۲۹ ۸۳۰ ۸۳۱ ۸۳۲ ۸۳۳ ۸۳۴ ۸۳۵ ۸۳۶ ۸۳۷ ۸۳۸ ۸۳۹ ۸۴۰ ۸۴۱ ۸۴۲ ۸۴۳ ۸۴۴ ۸۴۵ ۸۴۶ ۸۴۷ ۸۴۸ ۸۴۹ ۸۵۰ ۸۵۱ ۸۵۲ ۸۵۳ ۸۵۴ ۸۵۵ ۸۵۶ ۸۵۷ ۸۵۸ ۸۵۹ ۸۶۰ ۸۶۱ ۸۶۲ ۸۶۳ ۸۶۴ ۸۶۵ ۸۶۶ ۸۶۷ ۸۶۸ ۸۶۹ ۸۷۰ ۸۷۱ ۸۷۲ ۸۷۳ ۸۷۴ ۸۷۵ ۸۷۶ ۸۷۷ ۸۷۸ ۸۷۹ ۸۸۰ ۸۸۱ ۸۸۲ ۸۸۳ ۸۸۴ ۸۸۵ ۸۸۶ ۸۸۷ ۸۸۸ ۸۸۹ ۸۹۰ ۸۹۱ ۸۹۲ ۸۹۳ ۸۹۴ ۸۹۵ ۸۹۶ ۸۹۷ ۸۹۸ ۸۹۹ ۹۰۰ ۹۰۱ ۹۰۲ ۹۰۳ ۹۰۴ ۹۰۵ ۹۰۶ ۹۰۷ ۹۰۸ ۹۰۹ ۹۱۰ ۹۱۱ ۹۱۲ ۹۱۳ ۹۱۴ ۹۱۵ ۹۱۶ ۹۱۷ ۹۱۸ ۹۱۹ ۹۲۰ ۹۲۱ ۹۲۲ ۹۲۳ ۹۲۴ ۹۲۵ ۹۲۶ ۹۲۷ ۹۲۸ ۹۲۹ ۹۳۰ ۹۳۱ ۹۳۲ ۹۳۳ ۹۳۴ ۹۳۵ ۹۳۶ ۹۳۷ ۹۳۸ ۹۳۹ ۹۴۰ ۹۴۱ ۹۴۲ ۹۴۳ ۹۴۴ ۹۴۵ ۹۴۶ ۹۴۷ ۹۴۸ ۹۴۹ ۹۵۰ ۹۵۱ ۹۵۲ ۹۵۳ ۹۵۴ ۹۵۵ ۹۵۶ ۹۵۷ ۹۵۸ ۹۵۹ ۹۶۰ ۹۶۱ ۹۶۲ ۹۶۳ ۹۶۴ ۹۶۵ ۹۶۶ ۹۶۷ ۹۶۸ ۹۶۹ ۹۷۰ ۹۷۱ ۹۷۲ ۹۷۳ ۹۷۴ ۹۷۵ ۹۷۶ ۹۷۷ ۹۷۸ ۹۷۹ ۹۸۰ ۹۸۱ ۹۸۲ ۹۸۳ ۹۸۴ ۹۸۵ ۹۸۶ ۹۸۷ ۹۸۸ ۹۸۹ ۹۹۰ ۹۹۱ ۹۹۲ ۹۹۳ ۹۹۴ ۹۹۵ ۹۹۶ ۹۹۷ ۹۹۸ ۹۹۹ ۱۰۰۰	حکمرانی خوب و مشارکتی	۳۴	حکمرانی خوب پیش شرط مدیریت یکپارچه منابع	۳۵	نقش دولت در مدیریت منابع	۳۶	اهمیت نقش سه قوه در لایه حکمرانی	۳۷	برنامه‌ریزی مبتنی بر واقعیات و محدودیت‌های جامعه	۳۸	لزوم وجود بانک اطلاعاتی جامع برای سیاست‌گذاری‌ها	۳۹	رویکرد سیستمی در برنامه‌ریزی	۴۰	تأکید بر اقدام و فعالیت‌های عملی به جای برنامه‌ریزی‌های متعدد	۴۱	برنامه‌ریزی منطقه‌ای به جای دستورالعمل واحد	۴۲	گفتمان و تعامل میان متولیان مدیریت منابع	۴۳	ایجاد رویکرد مشارکتی بین متولیان و برنامه‌ریزی یکپارچه فرابخشی توسط حاکمیت	۴۴	مشارکت همه ارکان جامعه مدنی و خصوصی و دولتی	۴۵	آموزش و فرهنگ‌سازی مدیریت مصرف	۴۶	تقویت مشارکت و مسئولیت اجتماعی محافظت از منابع در جامعه
۲	افزایش تقاضای منابع ناشی از تمرکز جمعیتی در شهرها		۵۰ ۵۱ ۵۲ ۵۳ ۵۴ ۵۵ ۵۶ ۵۷ ۵۸ ۵۹ ۶۰ ۶۱ ۶۲ ۶۳ ۶۴ ۶۵ ۶۶ ۶۷ ۶۸ ۶۹ ۷۰ ۷۱ ۷۲ ۷۳ ۷۴ ۷۵ ۷۶ ۷۷ ۷۸ ۷۹ ۸۰ ۸۱ ۸۲ ۸۳ ۸۴ ۸۵ ۸۶ ۸۷ ۸۸ ۸۹ ۹۰ ۹۱ ۹۲ ۹۳ ۹۴ ۹۵ ۹۶ ۹۷ ۹۸ ۹۹ ۱۰۰ ۱۰۱ ۱۰۲ ۱۰۳ ۱۰۴ ۱۰۵ ۱۰۶ ۱۰۷ ۱۰۸ ۱۰۹ ۱۱۰ ۱۱۱ ۱۱۲ ۱۱۳ ۱۱۴ ۱۱۵ ۱۱۶ ۱۱۷ ۱۱۸ ۱۱۹ ۱۲۰ ۱۲۱ ۱۲۲ ۱۲۳ ۱۲۴ ۱۲۵ ۱۲۶ ۱۲۷ ۱۲۸ ۱۲۹ ۱۳۰ ۱۳۱ ۱۳۲ ۱۳۳ ۱۳۴ ۱۳۵ ۱۳۶ ۱۳۷ ۱۳۸ ۱۳۹ ۱۴۰ ۱۴۱ ۱۴۲ ۱۴۳ ۱۴۴ ۱۴۵ ۱۴۶ ۱۴۷ ۱۴۸ ۱۴۹ ۱۵۰ ۱۵۱ ۱۵۲ ۱۵۳ ۱۵۴ ۱۵۵ ۱۵۶ ۱۵۷ ۱۵۸ ۱۵۹ ۱۶۰ ۱۶۱ ۱۶۲ ۱۶۳ ۱۶۴ ۱۶۵ ۱۶۶ ۱۶۷ ۱۶۸ ۱۶۹ ۱۷۰ ۱۷۱ ۱۷۲ ۱۷۳ ۱۷۴ ۱۷۵ ۱۷۶ ۱۷۷ ۱۷۸ ۱۷۹ ۱۸۰ ۱۸۱ ۱۸۲ ۱۸۳ ۱۸۴ ۱۸۵ ۱۸۶ ۱۸۷ ۱۸۸ ۱۸۹ ۱۹۰ ۱۹۱ ۱۹۲ ۱۹۳ ۱۹۴ ۱۹۵ ۱۹۶ ۱۹۷ ۱۹۸ ۱۹۹ ۲۰۰ ۲۰۱ ۲۰۲ ۲۰۳ ۲۰۴ ۲۰۵ ۲۰۶ ۲۰۷ ۲۰۸ ۲۰۹ ۲۱۰ ۲۱۱ ۲۱۲ ۲۱۳ ۲۱۴ ۲۱۵ ۲۱۶ ۲۱۷ ۲۱۸ ۲۱۹ ۲۲۰ ۲۲۱ ۲۲۲ ۲۲۳ ۲۲۴ ۲۲۵ ۲۲۶ ۲۲۷ ۲۲۸ ۲۲۹ ۲۳۰ ۲۳۱ ۲۳۲ ۲۳۳ ۲۳۴ ۲۳۵ ۲۳۶ ۲۳۷ ۲۳۸ ۲۳۹ ۲۴۰ ۲۴۱ ۲۴۲ ۲۴۳ ۲۴۴ ۲۴۵ ۲۴۶ ۲۴۷ ۲۴۸ ۲۴۹ ۲۵۰ ۲۵۱ ۲۵۲ ۲۵۳ ۲۵۴ ۲۵۵ ۲۵۶ ۲۵۷ ۲۵۸ ۲۵۹ ۲۶۰ ۲۶۱ ۲۶۲ ۲۶۳ ۲۶۴ ۲۶۵ ۲۶۶ ۲۶۷ ۲۶۸ ۲۶۹ ۲۷۰ ۲۷۱ ۲۷۲ ۲۷۳ ۲۷۴ ۲۷۵ ۲۷۶ ۲۷۷ ۲۷۸ ۲۷۹ ۲۸۰ ۲۸۱ ۲۸۲ ۲۸۳ ۲۸۴ ۲۸۵ ۲۸۶ ۲۸۷ ۲۸۸ ۲۸۹ ۲۹۰ ۲۹۱ ۲۹۲ ۲۹۳ ۲۹۴ ۲۹۵ ۲۹۶ ۲۹۷ ۲۹۸ ۲۹۹ ۳۰۰ ۳۰۱ ۳۰۲ ۳۰۳ ۳۰۴ ۳۰۵ ۳۰۶ ۳۰۷ ۳۰۸ ۳۰۹ ۳۱۰ ۳۱۱ ۳۱۲ ۳۱۳ ۳۱۴ ۳۱۵ ۳۱۶ ۳۱۷ ۳۱۸ ۳۱۹ ۳۲۰ ۳۲۱ ۳۲۲ ۳۲۳ ۳۲۴ ۳۲۵ ۳۲۶ ۳۲۷ ۳۲۸ ۳۲۹ ۳۳۰ ۳۳۱ ۳۳۲ ۳۳۳ ۳۳۴ ۳۳۵ ۳۳۶ ۳۳۷ ۳۳۸ ۳۳۹ ۳۴۰ ۳۴۱ ۳۴۲ ۳۴۳ ۳۴۴ ۳۴۵ ۳۴۶ ۳۴۷ ۳۴۸ ۳۴۹ ۳۵۰ ۳۵۱ ۳۵۲ ۳۵۳ ۳۵۴ ۳۵۵ ۳۵۶ ۳۵۷ ۳۵۸ ۳۵۹ ۳۶۰ ۳۶۱ ۳۶۲ ۳۶۳ ۳۶۴ ۳۶۵ ۳۶۶ ۳۶۷ ۳۶۸ ۳۶۹ ۳۷۰ ۳۷۱ ۳۷۲ ۳۷۳ ۳۷۴ ۳۷۵ ۳۷۶ ۳۷۷ ۳۷۸ ۳۷۹ ۳۸۰ ۳۸۱ ۳۸۲ ۳۸۳ ۳۸۴ ۳۸۵ ۳۸۶ ۳۸۷ ۳۸۸ ۳۸۹ ۳۹۰ ۳۹۱ ۳۹۲ ۳۹۳ ۳۹۴ ۳۹۵ ۳۹۶ ۳۹۷ ۳۹۸ ۳۹۹ ۴۰۰ ۴۰۱ ۴۰۲ ۴۰۳ ۴۰۴ ۴۰۵ ۴۰۶ ۴۰۷ ۴۰۸ ۴۰۹ ۴۱۰ ۴۱۱ ۴۱۲ ۴۱۳ ۴۱۴ ۴۱۵ ۴۱۶ ۴۱۷ ۴۱۸ ۴۱۹ ۴۲۰ ۴۲۱ ۴۲۲ ۴۲۳ ۴۲۴ ۴۲۵ ۴۲۶ ۴۲۷ ۴۲۸ ۴۲۹ ۴۳۰ ۴۳۱ ۴۳۲ ۴۳۳ ۴۳۴ ۴۳۵ ۴۳۶ ۴۳۷ ۴۳۸ ۴۳۹ ۴۴۰ ۴۴۱ ۴۴۲ ۴۴۳ ۴۴۴ ۴۴۵ ۴۴۶ ۴۴۷ ۴۴۸ ۴۴۹ ۴۵۰ ۴۵۱ ۴۵۲ ۴۵۳ ۴۵۴ ۴۵۵ ۴۵۶ ۴۵۷ ۴۵۸ ۴۵۹ ۴۶۰ ۴۶۱ ۴۶۲ ۴۶۳ ۴۶۴ ۴۶۵ ۴۶۶ ۴۶۷ ۴۶۸ ۴۶۹ ۴۷۰ ۴۷۱ ۴۷۲ ۴۷۳ ۴۷۴ ۴۷۵ ۴۷۶ ۴۷۷ ۴۷۸ ۴۷۹ ۴۸۰ ۴۸۱ ۴۸۲ ۴۸۳ ۴۸۴ ۴۸۵ ۴۸۶ ۴۸۷ ۴۸۸ ۴۸۹ ۴۹۰ ۴۹۱ ۴۹۲ ۴۹۳ ۴۹۴ ۴۹۵ ۴۹۶ ۴۹۷ ۴۹۸ ۴۹۹ ۵۰۰ ۵۰۱ ۵۰۲ ۵۰۳ ۵۰۴ ۵۰۵ ۵۰۶ ۵۰۷ ۵۰۸ ۵۰۹ ۵۱۰ ۵۱۱ ۵۱۲ ۵۱۳ ۵۱۴ ۵۱۵ ۵۱۶ ۵۱۷ ۵۱۸ ۵۱۹ ۵۲۰ ۵۲۱ ۵۲۲ ۵۲۳ ۵۲۴ ۵۲۵ ۵۲۶ ۵۲۷ ۵۲۸ ۵۲۹ ۵۳۰ ۵۳۱ ۵۳۲ ۵۳۳ ۵۳۴ ۵۳۵ ۵۳۶ ۵۳۷ ۵۳۸ ۵۳۹ ۵۴۰ ۵۴۱ ۵۴۴																										

ردیف	کدهای ثانویه	طبقه‌ها	ردیف	کدهای ثانویه	طبقه‌ها
۱۴	اقلیم خشک و نیمه خشک ایران	توسعه پایدار	۴۷	ضرورت مدیریت صحیح منابع آب	بهبود مدیریت منابع طبیعی
۱۵	آسیب پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی		۴۸	تدوین سیاست‌های اقدام محور برای حفظ امنیت منابع در آینده	
۱۶	تغییر اقلیم و بی‌ثباتی در منابع		۴۹	استفاده از الگوهای موفق جهانی	
۱۷	هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی تغییرات اقلیمی		۵۰	تشکیل سبد انرژی	
۱۸	دستوری بودن برنامه‌ها		۵۱	ارائه راهکارهای متناسب با سازگاری با شرایط اقلیمی	
۱۹	ضعف در نظام پایش و ارزیابی سیاست‌ها و اقدامات اجرایی انجام شده	توسعه پایدار	۵۲	تخصیص منابع بر اساس اولویت بندی	کارآمدسازی بخش کشاورزی
۲۰	برنامه ریزی‌های تک بعدی و عدم توجه به منافع همه ذی‌نفعان		۵۳	مسیر توسعه مستقل از منابع آب	
۲۱	ضعف در حکمرانی		۵۴	الگوی کشت سازگار با اقلیم	
۲۲	ضعف در تدوین سیاست‌های شفاف و بلندمدت برای مدیریت بهینه منابع طبیعی		۵۵	به کارگیری شیوه‌های نوین آبیاری	
۲۳	اثرات غیرمستقیم تحریم بر کیفیت محیط زیست		۵۶	توجه به اولویت‌ها در بخش کشاورزی	
۲۴	اثرات غیرمستقیم تحریم بر منابع	توسعه پایدار	۵۷	استفاده از فناوری‌های جدید در بخش کشاورزی	حفظ تعادل بین جمعیت و محیط زیست
۲۵	محدودیت در تأمین مالی و سرمایه گذاری خارجی		۵۸	توسعه شهرها و مراکز جمعیتی همسو با توسعه پایدار	
۲۶	محدودیت انتقال تکنولوژی‌های نوین در اثر تحریم		۵۹	تضاد سیاست‌های افزایش جمعیت با ظرفیت زیستی کشور	
۲۷	تحریم مانعی برای رشد و توسعه پایدار		۶۰	توجه همه جانبه به اثرات سیاست‌های تشویق جمعیت بر منابع پایه کشور	
۲۸	مدیریت مسئولانه منابع در قبال حقوق نسل‌های آینده	توسعه پایدار	۶۱	تکنولوژی محرک توسعه و مدیریت منابع	بهبود فناوری
۲۹	تداوم خدمات اکوسیستم		۶۲	حضور موثر و حمایت کافی دولت از دانش و تکنولوژی	
۳۰	توسعه اقتصادی پایدار		۶۳	لزوم تعامل بین مراکز تحقیقاتی و اجرایی	
۳۱	تأمین امنیت منابع		۶۴	افزایش بهره‌وری و هم‌افزایی منابع	پیاده‌سازی سیاست‌ها و پایداری
۳۲	دستیابی به اهداف توسعه پایدار		۶۵	مدیریت یکپارچه و بهینه منابع	
۳۳	سیاست گذاری همراه با بهره‌وری و کارایی		۶۶	توسعه استراتژی‌های بلندمدت و پایدار	

طراحی شده از اعتبار کافی برخوردار است؟ شکل (۲) مدل معادلات ساختاری حاصل رانشان می‌دهد. همچنین برای مشخص شدن اینکه داده‌های گردآوری شده تا چه اندازه مدل نظری را مورد حمایت قرار می‌دهد از شاخص‌های کمی برازش مدل استفاده می‌شود. در صورتی که شاخص‌های کلی قابل قبول باشند، یعنی مدل نظری تأیید شده است. نتایج جدول زیر حاکی از آن است که تمامی شاخص‌ها در حد مطلوب گزارش شده‌اند و مدل با داده‌ها برازش خوبی دارد.

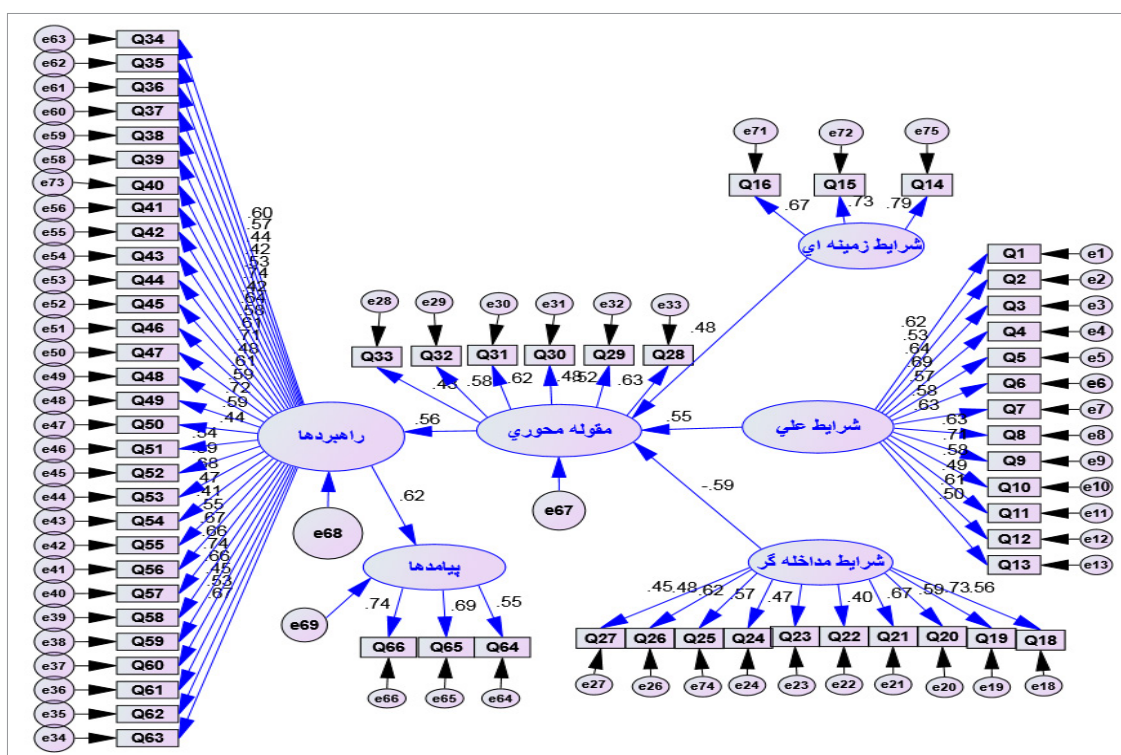
در گام بعدی به منظور اعتباریابی مدل حاصله و تأیید عوامل، از مدل سازی معادلات ساختاری و نرم افزار Amos^۶ استفاده گردید. بدین منظور پرسشنامه‌ای با مقیاس بندی لیکرت^۷ از درجه کاملاً موافق تا کاملاً مخالف طراحی و پس از بررسی و تأیید پایایی و روایی سوالات، پرسشنامه مورد نظر میان ۳۸۴ نفر از کارشناسان حوزه‌های مرتبط با تحقیق، توزیع گردید. در واقع هدف از تحلیل ساختاری مدل، اعتباریابی مدل به صورت کلی و پاسخ به این سوال است که آیا الگوی



شکل ۱- مدل یکپارچه زیست محیطی توسعه اقتصادی پایدار آب، انرژی، غذا

جدول ۱- شاخص‌های برازش مدل نظری تحقیق

شاخص	درجه آزادی (df)	کای اسکوئر (χ^2)	کای اسکوئر بهینه شده (χ^2/df)	ریشه خطای میانگین مجزورات (RMSEA)	شاخص برازش تطبیقی (CFI)	شاخص نیکویی برازش (GFI)	سطح معناداری
مقدار قابل قبول	-	$2df \leq \chi^2 \leq 3df$	$2 \leq \chi^2/df \leq 3$	$0.05 < RMSEA \leq 0.08$	$0.9 \leq CFI < 0.97$	$0.8 \leq GFI < 0.95$	$P \leq 0.5$
مقدار ایده آل	-	$0df \leq \chi^2 \leq 2df$	$0 \leq \chi^2/df \leq 2$	$0 \leq RMSEA \leq 0.05$	$0.97 \leq CFI \leq 1$	$0.95 \leq GFI \leq 1$	$P \leq 0.01$
مقدار به دست آمده در مدل	۲۰۱۰	۵۸۱۰/۸۰۲	۲/۸۹	۰/۰۷۱	۰/۹۳۴	۰/۹۰۱	۰/۰۰۰



شکل ۲- مدل برازش شده تحقیق

هدف اصلی این پژوهش طراحی الگوی «توسعه پایدار مبتنی بر پیوند آب، انرژی و غذا» است. امروزه دیگر نمی‌توان به توسعه پایدار به عنوان یک انتخاب نگرینست، بلکه به عنوان یک تعهد است که تمام بازیگران دولتی و غیردولتی باید برای نیل به توسعه پایدار تمامی مساعی خود را بکار بندند. توجه به سرمایه‌های طبیعی برای هر جامعه‌ای با ارزش است و وجود برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت در پرتو پایداری منابع، رشد و رفاه اجتماعی را برای جامعه به ارمغان خواهد آورد. در حال حاضر، تحقیقات اصلی در مورد پایداری نشان می‌دهد که پیوند آب، انرژی و غذا به عنوان یکی از موضوعات اصلی در زمینه دستیابی به تعادل بین ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه پایدار در نظر گرفته می‌شود. این رویکرد یک چشم‌انداز سیستماتیک چندقسمتی را برای ارتقاء توسعه پایدار و مقابله با چالش‌های ناشی از تغییرات محیطی جهانی ارائه می‌دهد.

شرایط علی به شرایطی گفته می‌شود که عامل اصلی به وجود آورنده پدیده مورد مطالعه باشد (Corbin و Strauss، ۲۰۰۸). در این مدل شرایط علی شامل چهار مقوله عوامل جمعیتی، عوامل محیط زیستی، عوامل اقتصادی و ماهیت جدا از هم نهادهاست. شرایط علی مستقیماً بر پدیده محوری و به صورت غیرمستقیم بر راهبردها اثرگذار هستند.

شرایط زمینه‌ای نشان‌دهنده یک سری خصوصیات ویژه است که به پدیده‌ای دلالت می‌کند. به عبارتی، محل حوادث یا وقایع مرتبط با پدیده‌ای در طول یک بعد است که در آن کنش متقابل برای کنترل، اداره و پاسخ به پدیده صورت می‌گیرد (Corbin و Strauss، ۲۰۰۸). در این بررسی و باتوجه به مصاحبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی ایران به عنوان زمینه‌ای که همزمان هم بر مقوله محوری اثر دارد و هم در اتخاذ راهبردها موثر است، شناسایی گردید.

شرایط مداخله‌گر یا میانجی، کلی و وسیع هستند که بر چگونگی کنش و واکنش متقابل اثر می‌گذارند (Corbin و Strauss، ۲۰۰۸). در این مدل دو عامل تحریم و حکمرانی نامناسب و ناکارآمد، به عنوان شرایط مداخله‌گر شناسایی گردیدند.

راهبردهای موردنظر در نظریه داده‌بنیاد به ارائه راه‌حلهایی برای مواجهه با پدیده مورد مطالعه اشاره دارد که هدف آن اداره کردن پدیده مورد مطالعه، برخورد با آن و حساسیت نشان دادن در برابر آن است و بیانگر رفتارها، واقعیت‌ها و تعاملات هدف‌داری هستند که تحت تأثیر شرایط مداخله‌گر و زمینه‌ای، حاصل می‌شوند. راهبردهای توصیه شده مشارکت‌کنندگان در این بررسی شامل اصلاح حکمرانی به سمت حکمرانی خوب و مشارکتی، اصلاح سیاست‌ها و برنامه‌ها، تعامل سازنده بین همه ذی‌نفعان، آموزش و فرهنگ‌سازی، بهبود مدیریت منابع طبیعی، کارآمدسازی بخش کشاورزی، حفظ تعادل بین جمعیت و محیط‌زیست و بهبود فناوری می‌باشند.

پیامدها نتیجه کنش (اعمال) و واکنش (عکس‌العمل‌ها) شرایطی است که در خصوص پدیده وجود دارد. باتوجه به مطالب مطرح شده توسط مصاحبه‌شوندگان پیامدهای به‌کارگیری راهبردها در زمینه دستیابی به توسعه پایدار مبتنی بر پیوند آب، انرژی و غذا شامل پیامدهای پایداری و سیاستی می‌باشد.

عوامل جمعیتی: جمعیت و مسائل مربوط به آن از جمله مسائل چندبعدی و پیچیده جوامع انسانی است که هم تحت تأثیر عوامل اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و به‌ویژه زیست‌محیطی می‌باشد و هم بر آن اثرگذار است. بدیهی است که بشر برای تأمین نیازهای خود ناگزیر به استفاده از منابع طبیعی است که این موضوع از بین رفتن زود هنگام منابع را در بر خواهد داشت. جمعیت بیشتر به معنی تقاضای بیشتر برای منابع آب، انرژی و غذا و آلودگی بیشتر محیط‌زیست است. این فشار جمعیت ممکن است به بهره‌برداری از منابع دست نخورده بیانجامد و ریسک توسعه ناپایدار را به همراه داشته باشد. جمعیت ایران، در نخستین سرشماری (سال ۱۳۳۵) حدود ۱۹ میلیون نفر و در سرشماری سال ۱۳۹۵ (آخرین سرشماری) حدود ۸۰ میلیون نفر شمارش شد. بنابراین از اولین تا آخرین سرشماری حدود ۶۱ میلیون نفر به جمعیت کشور اضافه شد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). به عبارتی در مدت ۶۰ سال گذشته جمعیت ایران ۴/۲ برابر شده است و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ بیش از صد میلیون نفر گردد. بنابراین با توجه به ساختار هرم سنی جوان و افزایش سالانه میلیون نفری جمعیت ایران، این افزایش علاوه بر تأثیر مثبت و به سزایی که بر فعالیت‌های توسعه اجتماعی و اقتصادی ایران دارد، در کنار سایر عوامل، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع و اکوسیستم‌های طبیعی را متأثر می‌سازد. بنابراین به دلیل تغییر مداوم شاخص‌های جمعیتی مانند اندازه جمعیت، ساختار سنی، توزیع مکانی جمعیت، افزایش و تمرکز جمعیت در شهرهای بزرگ‌تر، توجه به اثرات این متغیرها بر تقاضای منابع طبیعی و کیفیت محیط‌زیست در برنامه‌های سیاستی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این خصوص نتایج تحلیل‌ها با مطالعات Maja و Ayano (۲۰۲۱)، Hameed و همکاران (۲۰۱۹)، De Amorim و همکاران (۲۰۱۸)، شمس قهفرخی و همکاران (۱۴۰۰)، حبیبی و همکاران (۱۴۰۰)، شاهنوشی و همکاران (۱۳۹۵)، هم‌راستامی‌باشد.

- **عوامل محیط‌زیستی:** در کشورهای در حال توسعه، برنامه‌های توسعه توأم با بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع و آثار بسیار مخرب نسبت به محیط‌زیست بوده است. تخریب محیط‌زیست مانند آلودگی آب و هوا، پایداری منابع را به خطر می‌اندازد. به عنوان مثال سوءمدیریت و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب موجب کاهش سطح سفره آب زیرزمینی در دشت‌های حاصل‌خیز، خشک‌شدن رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌های کشور شده است. همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای با تکیه بر سوخت‌های فسیلی از طریق

تغییرات اقلیمی، تهدیداتی را برای جامعه و محیط‌زیست ایجاد می‌کند که ممکن است ذخیره آب در خشکی را کاهش دهد و در نتیجه بر انرژی و منابع غذایی تأثیر بگذارد. استفاده از مواد شیمیایی، کود و آفت‌کش‌ها نیز یک منبع بالقوه برای آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را در کشور فراهم آورده است. افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی دلیلی برای کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی است که باعث محدودیت در ظرفیت کشاورزی در مناطق نیز شده است. در نتیجه این مصرف بیش از حد و نادرست از انرژی و منابع و همچنین انباشت زباله، سرمایه طبیعی ایران شدیداً در حال از بین رفتن است. نتایج مطالعات Ali و همکاران (۲۰۲۱)، نوروزی و یزدانی (۱۴۰۱)، مهرآرا و همکاران (۱۳۹۶) نیز مشابه یافته‌های تحقیق حاضر است.

- عوامل اقتصادی: نکته اساسی آن است که اقتصاد و محیط‌زیست جدا از یکدیگر نیستند و هیچ تصمیم اقتصادی یافت نمی‌شود که بر محیط طبیعی و مصنوعی تأثیر نگذارد و هیچ تحول زیست‌محیطی وجود ندارد که در آن تأثیر اقتصادی وجود نداشته باشد. بنابراین رشد اقتصادی، منابع طبیعی و محیط‌زیست را هم در نقش نهاده و هم در نقش ستانده متأثر می‌کنند. لذا از آنجایی که رشد اقتصادی اغلب متکی به استخراج منابع طبیعی و تولید انرژی است که منجر به تخریب محیط‌زیست می‌شود و از آنجایی که منابع زمین محدود هستند و بهره‌برداری بیش از حد آنها می‌تواند منجر به کاهش منابع، آلودگی، تغییرات آب‌وهوایی و سایر مشکلات زیست‌محیطی شود، داشتن آینده‌ای پایدار و توسعه اقتصادی باید آسیبی به محیط‌زیست و منابع زنده تا توسعه اقتصادی و پیشرفت همه‌جانبه ایجاد شود. اقتصاد ایران بیش از هر چیزی به سوخت‌های فسیلی وابستگی دارد. در ایران بخش اعظمی از درآمد ارزی کشور از صادرات نفت حاصل می‌شود. از نظر تقاضا نیز، ایران در دهه‌های گذشته افزایش بسیار سریع تقاضای انرژی داخلی را تجربه کرده و در سال ۲۰۱۹ به بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی در خاورمیانه تبدیل شده است (IEA, ۲۰۲۱). بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز هیچگاه بدون اثرات جانبی اکولوژیکی صورت نگرفته است؛ نشت مواد آلوده‌کننده، آسیب رساندن به زمین‌های اطراف، آتش‌سوزی و آلودگی آب و هوا در نقاط مختلف مشاهده شده‌اند. استخراج و سوزاندن سوخت‌های فسیلی از یک طرف با آلودگی‌های محیط‌زیستی همراه بوده و از طرف دیگر مصرف منابع کمیاب آب را در پی دارد. لذا مدیریت مصرف منابع و افزایش بهره‌وری در چرخه مصرف آب برای آینده اقتصاد نیز مهم است. علی‌رغم ذخایر بزرگ منابع سوخت فسیلی کشور، افزایش مستمر تقاضای انرژی داخلی می‌تواند ظرفیت آینده کشور برای صادرات سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد. چنین تحولی برای اقتصاد ایران که به شدت به صادرات سوخت فسیلی وابسته است، حیاتی خواهد بود. تأثیر عامل اقتصادی بر

محیط زیست در مطالعات Balaka و همکاران (۲۰۲۳)، Ali و همکاران (۲۰۲۱)، Baloch و همکاران (۲۰۱۹)، فلاحی و همکاران (۱۴۰۱)، پارسا و همکاران (۱۴۰۰)، اشاره شده است.

- ماهیت جدا از هم نهادها: همانطور که پیش از این مطرح شد منابع آب و انرژی و غذا به طور پیچیده‌ای به هم پیوسته هستند و در نتیجه سیاست‌گذاری و اقدامات در هر یک از این دو بخش بر بخش دیگر مؤثر است و لذا هر سه باید به طور همزمان موردتوجه قرار گیرند. بدیهی است که نادیده گرفتن وابستگی‌های متقابل میان منابع طبیعی، منجر به مدیریت جزیره‌ای هر بخش خواهد شد. در حال حاضر مدیریت کلان و حاکمیتی در این سه حوزه تا به امروز به نوعی با رویکرد جزیره‌ای تعریف شده و علاوه بر سه وزارتخانه (نیرو، جهاد کشاورزی، نفت) که به صورت مستقیم و مجزا به وجوه مختلف حوزه‌های آب، غذا و انرژی می‌پردازند، حدود پنج شورای عالی نیز برای سیاست‌گذاری (شوراهای عالی آب، سلامت و امنیت غذایی، انرژی، محیط‌زیست و امنیت ملی) در این سه حوزه تعریف شده‌اند؛ همین تعدد مراکز تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری، در کنار تلاش هریک از این مراکز در به کرسی نشاندن رویکرد بخشی خود، استعداد یک ناهماهنگی و همچنین اصطحاک را در مدیریت هرکدام از این سه حوزه نشان می‌دهد. از این رو لزوم بازنگری در ساختار و وظایف سازمان‌های متولی بر کسی پوشیده نیست تا از دوباره کاری‌ها، موازی کاری‌ها، مبهم کاری‌ها و مسئولیت‌ناپذیری‌ها جلوگیری شود. مطالعات انجام شده توسط Molajou و همکاران (۲۰۲۱)، De Andrade و همکاران (۲۰۲۱)، Olawuyi (۲۰۲۰)، صیادی و همکاران (۱۳۹۸)، اسلامی و رحیمی (۱۳۹۸)، نیز اهمیت ماهیت جدا از هم نهادها را در پایداری منابع مورد تحلیل قرار داده‌اند.

- شرایط اقلیمی: شرایط اقلیمی عامل زمینه‌ای مؤثر بر توسعه پایدار آب، انرژی و غذا است. تغییرات اقلیمی که به معنای تغییرات آب‌وهوایی حول مقدار متوسط پارامترهای اقلیمی است، بنیاد یک کشور در حال و آینده را مشخص می‌کند. در سال‌های اخیر، ایران خشکسالی‌های چندساله را تجربه کرده است (مانند بارش‌های کمتر از میانگین طولانی‌مدت) که چالش جدی را برای مدیریت منابع آب ایجاد کرده است و اثرات عمده در تولیدات کشاورزی و نرخ استخراج آب‌های زیرزمینی دارد. در این شرایط هر سال شاهد کاهش نزولات جوی در کشور هستیم. وقتی بارندگی کم است و دما افزایش می‌یابد، رطوبت خاک نیز کاهش می‌یابد و بر کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و بیابان‌زایی تأثیر می‌گذارد، کشور ایران در محدوده گرم و خشک قرار دارد و این خشکسالی و کم‌بارشی آن را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، تغییر اقلیم بدون تردید یکی از چالش‌های بسیار مهم دوران فعلی آب‌وهوایی است که در مقیاس جهانی رخ می‌دهد و دارای اثرات مهمی بر ایران، به‌ویژه در پایداری منابع آب، انرژی و غذا است. در

مطالعات De Amorim و همکاران (۲۰۱۸)، Conway و همکاران (۲۰۱۵)، سلطانی و همکاران (۱۴۰۲) و رفیعی و همکاران (۱۴۰۲)، نیز به این مورد اشاره گردیده است.

- حکمرانی نامناسب و ناکارآمد: در تحلیل مدل به دست آمده، باید گفت شرایط مداخله‌گری نیز وجود دارد که می‌تواند برای تحقق مقوله محوری نقش شتاب‌دهنده و یا نقش بازدارنده داشته باشد. حکمرانی شامل نهادهای مختلفی است که در مدیریت منابع طبیعی کشور دخیل هستند که به صورت کلی به نهادهای سیاست‌گذار و اجرایی تقسیم می‌شوند. شواهد نشان می‌دهد که نهادهای سیاست‌گذار هنوز نتوانسته‌اند به سیاست‌های منسجم و مشخص در زمینه درک بحران منابع و چاره‌جویی اصولی بحران دست یابند. عدم توجه به واقعیت‌های کشور در تدوین برنامه‌های توسعه، مهم‌ترین علت عدم تحقق اهداف و برنامه‌هاست. به عنوان مثال قانون اصلاح الگوی مصرف و برنامه جامع انرژی کشور وجود دارد، ولی در اسناد شرایط آرمانی در نظر گرفته شده و وضعیت گذار در نظر گرفته نشده است. بدیهی است که قرار گرفتن کنشگران نه چندان توانمند در موقعیت‌های کلیدی، اخذ تصمیم‌های مهم، اما نادرست و نامناسب را در پی خواهد داشت که منابع و محیط‌زیست کشور در چند دهه گذشته به شدت از این امر متأثر بوده‌اند. در بخش نهادهای اجرایی نیز هر نهاد مرتبط در کشور بدون توجه به ارتباطات بین منابع و تبعات اجرای سیاست‌های بخشی بر منابع، سعی در تأمین اهداف سازمانی خود دارد. به نظر می‌رسد که تدوین‌کنندگان و تصویب‌کنندگان سیاست‌ها، برای یک وزارتخانه یا یک سازمان سیاست‌گذاری کرده‌اند و نه برای پدیده‌ای اجتماعی و فراگیر و در دل سایر پدیده‌های جامعه. از سویی دیگر نظارت‌ناپذیر بودن اکثر مصوبات و سیاست‌ها به طور طبیعی برخی ناهماهنگی‌ها و ناسازگاری‌ها را به همراه دارد، زیرا نهاد ناظری وجود ندارد که زمینه هماهنگی را فراهم و با زمینه ناهماهنگی‌ها مقابله کند. زیرا درآمد مستقیم و قابل توجه بخش منابع طبیعی، وابستگی دولت به درآمدهای مالیاتی را کاهش داده و از تمایل دولت به پاسخگویی می‌کاهد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که بخش زیادی از حکمرانی نامناسب، به دلیل ضعف در اولویت‌بندی در سیاست‌گذاری‌ها و درک اهمیت حفظ منابع و وجود رابطه‌ای پویا و دینامیک بین میزان، نحوه و روش استفاده از منابع بسیار مرتبط است. Olawuyi (۲۰۲۰)، پورخسروانی و همکاران (۱۳۹۹) و اسلامی و رحیمی (۱۳۹۸)، در مطالعات خود به این موضوعات پرداخته‌اند.

- تحریم: عامل مداخله‌گر دیگر تحریم است. طبیعی است تحت انزوا قرار دادن یا تحریم یک کشور می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر محیط‌زیست آن کشور بگذارد و نقش آن در تسریع بهره‌برداری از منابع و تخریب محیط‌زیست قابل توجه است. اساساً، تحریم‌ها رشد اقتصادی کشور و توانایی آن برای جدا

کردن اقتصاد خود از منابع طبیعی را محدود کرده و در نتیجه نقش منابع طبیعی در اقتصاد کشور را افزایش داده است. وقتی کشوری مانند ایران درگیر بحران‌های اقتصادی می‌گردد و فشار اجتماعی و سیاسی به آن تحمیل می‌شود، به ناچار مجبور است که به برخی بخش‌ها نظیر محیط‌زیست توجه کمتر یا حتی از مواردی چشم‌پوشی نماید و تلاش کند از دیگر بخش‌های حیاتی و پراهمیت کشور در مقابل تحریم‌ها حمایت نماید. بی‌ثباتی اقتصادی و سیاسی ناشی از تحریم‌های بین‌المللی، توجه تصمیم‌گیران را در جهت توسعه عوام‌گرایانه افزایش داده که بتوانند تولیدات فوری و اثرات اقتصادی قابل توجهی را ایجاد کنند و به تمایل هرچه بیشتر برای تسریع توسعه و گسترش زیرساخت‌های منابع آب، تولید انرژی و تأمین امنیت غذایی دامن زده است. توسعه شتابان زیر ساخت‌ها و سازه‌های آبی به همراه اعطای یارانه‌های هنگفت در بخش کشاورزی، نمونه‌های دیگری از این دست سیاست‌ها هستند؛ سیاست‌هایی که برای پیشبرد توسعه کشور تحت فشارهای ناشی از تحریم‌های بین‌المللی و تهدیدات موجود برای امنیت غذایی کشور ضروری به نظر می‌رسند، اما تسریع بهره‌برداری از منابع و تخریب محیط‌زیست را به همراه دارد. واردات فناوری‌های نوین می‌تواند فشار بر منابع طبیعی و تخریب محیط‌زیست را با افزایش دسترسی به فناوری‌های بهبودیافته که آسیب کمتری برای محیط‌زیست دارند، کاهش دهد. اما تحریم‌ها با منع انتقال فناوری‌های به‌روز زیست‌محیطی و دسترسی و توسعه انرژی‌های پاک، بر فشار بر منابع می‌افزاید. از مهم‌ترین اثرات زیست‌محیطی تحریم‌ها می‌توان به مواردی چون محدودیت در واردات تکنولوژی‌های پیشرفته زیست‌محیطی و انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، آلودگی محیط‌زیست، نقض حق محیط‌زیست سالم شهروندان، نقض تعهدات زیست‌محیطی بین‌المللی در مورد کمک‌های مالی و فنی و علمی به کشور تحریم شده و ناتوانی کشور تحریم شده در ارتقاء معیارها و کیفیت محیط‌زیست خود اشاره نمود. Madani (۲۰۲۰)، Fotourehchi (۲۰۲۰) و صابرپور و همکاران (۱۴۰۰) نیز در مطالعات خود به عامل تحریم اشاره داشته‌اند.

- اصلاح حکمرانی به سمت حکمرانی خوب و مشارکتی: اصلاح حکمرانی به سمت حکمرانی خوب و مشارکتی از جمله راهبردهای شناسایی شده در این مطالعه جهت دستیابی به توسعه پایدار اقتصادی آب، انرژی و غذا است. با توجه به تقابل شکل موجود توسعه با پایداری منابع طبیعی، به‌ویژه منابع آب، انرژی و غذا و ابعاد گسترده آن در اغلب کشورهای جهان، از جمله ایران، اصلاح یا بازسازی نظام حکمرانی بر اساس اصول سه‌گانه حقوقی حکمرانی مطلوب، یعنی شفافیت، مشارکت در فرایند تصمیم‌گیری و نیز پاسخ‌گویی و دادرسی سریع و منصفانه برای رفع این تقابل به عنوان راه حل اساسی و ریشه‌ای برای برون‌رفت از بحران پیش‌روی مدیران و سیاست‌گذاران ضروری است. بنابراین رفتار تعاملی بین

سه بخش دولت، نهادهای مدنی و بخش خصوصی ضروری بوده و دولت باید نقش هماهنگ‌کننده و تنظیم‌گر خود را تقویت نموده و به جای تصدی‌گری به تنظیم و تسهیل روابط بپردازد و برنامه‌ریزی‌ها و سیاستگذاری‌های از بالا به پایین و آمرانه دولت جای خود را به اجماع نظر ذی‌نفعان بدهد. در نتیجه، هم اکنون ورود عملی قوای سه‌گانه، بخش خصوصی و تمامی مؤسسات و نهادها و سازمان‌ها، در بازاندیشی کلیه رویکردها و عملکردها حیاتی است. از مطالعات همسو با این نتیجه از تحقیق می‌توان به مطالعه Olawuyi (۲۰۲۰)، پایسته و همکاران (۱۴۰۰) و عصمتی و عدالت‌جو (۱۳۹۹)، اشاره نمود.

- اصلاح سیاست‌ها و برنامه‌ها: قوانین، برنامه‌ها و اسناد بالادستی همواره از مهم‌ترین و کلان‌ترین اسناد در هر کشوری محسوب می‌شوند. موفقیت در برنامه‌ریزی و اجرای سیاست‌ها متکی به انتخاب سیاست‌هایی است که با اهداف ملی، توانایی‌های فنی و اقتصاد کشور سازگاری بیشتری داشته باشند و در آن با نگاهی جامع تمامی جوانب سنجیده شوند. به عنوان مثال می‌توان تأکید بر موضوع خودکفایی در اسناد بالادستی را عنوان نمود. توجه به خودکفایی در تولید محصولات عمده استراتژیک مانند گندم، به خصوص بعد از انقلاب، منجر به تحمیل یارانه‌های سنگین در بخش توسعه کشاورزی شد و این مسأله باعث فشار بیش از حد بر بخش آب گردید که این موضوع، به بهای تضییع حقوق نسل‌های آتی در دسترسی به منابع کافی آب محقق شده است. تدوین برنامه‌ها لازم است که به صورت منطقه‌ای و بر اساس ظرفیت‌های همان منطقه و مشارکت ذی‌نفعان محلی صورت پذیرد. به نظر می‌رسد ضرورت اصلاح سیاست‌ها و رهبری موثر برای رسیدگی به ارتباط آب، انرژی و غذا مورد نیاز باشد. در واقع بهتر است بسیاری از سیاست‌های فعلی بازنگری شوند و در بسیاری از موارد، سیاست‌هایی که پایداری آب و انرژی و غذا را ارتقا می‌دهند، در حال حاضر و در آینده جایگزین شوند. سیاست‌گذاران باید پیامدهای تصمیمات مربوط به انرژی و آب را به صورت تحلیلی ارزیابی کنند و هماهنگی سیاست بین بخش‌های مختلف به جهت جلوگیری از اثرات ناخواسته را لحاظ نمایند. در تحقیقات Molajou و همکاران (۲۰۲۱)، Olawuyi (۲۰۲۰)، Rezaie و Rosen (۲۰۲۰) و اسلامی و رحیمی (۱۳۹۸) از این نتیجه حمایت می‌کنند.

- تعامل سازنده بین همه ذی‌نفعان: همبستگی و ارتباط قوی بین منابع آب، انرژی، غذا و ارتباط تنگاتنگ آنها با مسائل زیست‌محیطی، تغییر اقلیم، اقتصادی، اجتماعی، سیاست‌گذاری و ... نیازمند همکاری بخش‌های ذی‌نفع است. در این میان در کشور ما وزارتخانه‌های نیرو، جهاد کشاورزی، نفت، سازمان حفاظت محیط‌زیست، مجلس شورای اسلامی، قوه مجریه و قوه قضائیه نقش اصلی را ایفا می‌کنند. مجلس شورای اسلامی با تدوین قوانین بالادستی در زمینه توسعه صنایع، استفاده صحیح

از منابع و نیز هماهنگی بین سازمان‌های مسئول و تعیین نقش هر نهاد در رسیدن به توسعه پایدار، نقش بسیار مهمی دارد. در وزارت نیرو هماهنگی بین معاونت‌های مختلف درگیر با موضوعات امور آب، انرژی و برق به منظور تدوین طرح‌های توسعه کلان و ساماندهی به امور مربوط و همچنین هماهنگی با وزارت جهاد کشاورزی به منظور بهبود بهره‌وری آب و ساماندهی مصرف آب در بخش کشاورزی، لازم به نظر می‌رسد. همچنین تعامل با سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور به عنوان متولی امر حفاظت از محیط‌زیست و منابع طبیعی و تضمین بهره‌مندی صحیح و مستمر از محیط‌زیست در نیل به توسعه پایدار برای تمامی نهادهای مرتبط ضروری است. همچنین مشارکت با مراکز علمی مانند شرکت‌های دانش‌بنیان و مراکز فناوری، مراکز آموزش عالی، انجمن‌های علمی فعال و سازمان‌های مردم‌نهاد به جهت درگیر شدن در بخش اجرایی و تکنولوژی، تربیت متخصصین و آموزش عمومی، ارائه طرح و پیشنهادها و جذب سرمایه و آموزش نیز به مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب، انرژی و غذا منجر خواهد گشت. Beekma و همکاران (۲۰۲۱)، Rasul (۲۰۱۶)، صفایی و همکاران (۱۳۹۸)، صیادی و همکاران (۱۳۹۸)، شاه‌محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، در تحقیقات خود به این مورد دست‌یافته‌اند.

- آموزش و فرهنگ‌سازی: ارائه آموزش به افراد می‌تواند منجر به رفتارهای سازگار با محیط‌زیست و ارتقای کیفیت محیط‌زیست شود. زیرا گسترش فرهنگ و کسب دانش مرتبط با رفتار دوست‌دار محیط‌زیست، منجر به اقدامات طرفدار محیط‌زیست می‌شود که به حفاظت از محیط‌زیست کمک می‌کند. آموزش محیط‌زیست باید برای همه سنین و در همه سطوح به صورت رسمی و غیررسمی اجرا گردد. آگاهی‌های محیط‌زیستی به طور کلی در ایران کم است. تفکر جدید نیاز به بسیج همگانی مراکز علمی، فرهنگی و اجرایی دارد و شایسته است تلاش بیشتر خویش را بر روی ارتقاء فرهنگ عمومی و تقویت مشارکت کلیه آحاد جامعه به منظور بهره‌وری مناسب و اصولی از منابع طبیعی، حفظ محیط‌زیست و توسعه پایدار کشور متمرکز نماییم. از آنجایی که سطح آگاهی‌های محیط‌زیستی در ایران هنوز به اندازه کافی بالا نیست که منجر به تغییر عمده در رفتار محیط‌زیستی عموم مردم شود، می‌توان از ظرفیت کارزارها و سازمان‌های مردم‌نهاد در راستای رفتار دوست‌دار با محیط زیست کمک گرفت. کمپین‌های حفاظت از محیط زیست به افزایش آگاهی عموم جامعه در رابطه با آسیب‌های زیست‌محیطی و تشویق آن‌ها به داشتن رفتاری مسئولانه در قبال تغییرات اکولوژیک کمک می‌کند. Wang و همکاران (۲۰۲۲)، Zheng و همکاران (۲۰۲۱)، عبد‌الهی و قادری (۱۴۰۲)، نیز در مطالعات خود اهمیت موضوع آموزش محیط‌زیست را مطرح نموده‌اند.

- **بهبود مدیریت منابع طبیعی:** در حال حاضر در ایران با وجود منابع طبیعی فراوان، میزان بهره‌وری در بخش‌های مختلف منابع طبیعی در حد مطلوبی نیست و تخریب منابع، یکی از مشکلات اساسی است که لازم است مدیریت صحیحی بر این منابع اعمال شود. زیرا سیاست‌های متناقض و ناهماهنگ در بهره‌برداری از منابع موجب شده است که تقریباً در همه زمینه‌های مرتبط با منابع، دچار مشکلات جدی باشیم. با توجه به منابع، در کشور ما اولویت‌بندی مهم است و باید منابع را بر اساس آن اولویت‌بندی اختصاص دهیم. ما نمی‌توانیم همزمان رشد جمعیت، رشد صنعت آب‌بر، رشد کشاورزی داشته باشیم. همه این‌ها که متکی به آب هستند را نمی‌توان با هم داشته باشیم و باید تعیین کنیم از منابع محدودمان بر اساس اولویت اول به چه بخش‌هایی تخصیص بدهیم. مدیریت یکپارچه منابع آب به عنوان مجموعه‌ای از روش‌های مدیریتی برای هماهنگی میان توسعه، آب، زمین و منابع مرتبط با هدف دستیابی به توسعه پایدار و مدیریت منابع انرژی، باید جایگزین مدیریت بحران در ایران شود. نظر به موقعیت جغرافیایی ایران، انرژی در کشور یک منبع نسبتاً ارزان است و این باعث شده که دغدغه‌ای که برای امنیت آب و غذا در کشور وجود دارد، در مورد انرژی مطرح نباشد. در چنین شرایطی بهره‌برداران مختلف در حوزه کشاورزی و صنعت، فعالیت‌های خود را با پیش فرض تقریباً رایگان بودن انرژی ادامه می‌دهند که نتیجه آن هدر رفتن انرژی و نیز کاهش بهره‌وری در بخش آب و غذا می‌باشد. لذا می‌بایست به فکر استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و اقتصادی و تشکیل سبد انرژی بود. در جهان با محدودیت آب، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به خصوص برای تولید برق، تقاضای آب را نیز کاهش می‌دهد. این موضوع در مطالعات Mirzaei و همکاران (۲۰۲۲)، Keyhanpour و همکاران (۲۰۲۱)، Hamidov و Helming (۲۰۲۰)، نیز مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است.

- **کارآمدسازی بخش کشاورزی:** هدف از تحولات کشاورزی، توسعه کشاورزی با صرفه‌تر، کارآمدتر و مقاوم‌تر در برابر پدیده‌های آب و هوایی و ایجاد پایداری در بخش کشاورزی است. به دلیل سیاست‌های در تعارض با توسعه پایدار در کشاورزی، در شرایطی قرار داریم که کشاورزی کشور یکی از متهمان اصلی بحران کنونی آب است. سیاست‌هایی مانند توسعه کشاورزی در مناطق کم آب، بدون توجه به محدودیت منابع آب، عدم مدیریت کشت، کشت محصولات با آب بری زیاد، کشت و آبیاری سنتی در بخش عمده کشاورزی کشور، هدررفت آب و بسیاری عوامل فنی دیگر باعث شده است که نسبت آب مصرفی در کشاورزی و بازده تولید محصول آن با معیارهای جهانی تفاوت قابل‌توجهی داشته باشد. در سال‌های اخیر، راه‌حل‌های مختلفی برای حل مشکلات پیش‌رو ارائه شده است. یکی از این راه‌حل‌ها، بهینه‌سازی فرایند کشاورزی از طریق تولید محصولات کشاورزی سازگار با محیط‌زیست و

رعایت الگوهای کشت منطقه‌ای، استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن، تولید مواد غذایی ارگانیک، واردات محصولات آب‌بر، حرکت به سمت تولیدات گلخانه‌ای، توسعه دانش و فناوری‌های نوین، استفاده مجدد از پساب‌ها است. از نتایج مشابه با تحقیق می‌توان به مطالعات Mirzaei و همکاران (۲۰۱۹)، Mirzaei و همکاران (۲۰۲۲)، گودرزی و همکاران (۱۴۰۲)، اشاره نمود.

- **حفظ تعادل بین جمعیت و محیط‌زیست:** از آنجا که افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل اصلی افزایش تقاضا برای منابع است، این مسأله باید در سیاست‌های مربوط به افزایش جمعیت مدنظر قرار گیرد و برنامه‌ریزی مناسب جهت مدیریت عرضه و تقاضای منابع در آینده در نظر گرفته شود. بند ۹ سیاست‌های کلی جمعیت به «بازتوزیع فضایی و جغرافیایی، متناسب با ظرفیت زیستی با تأکید بر تأمین آب با هدف توزیع متعادل و کاهش فشار جمعیت» پرداخته است. بنابراین اگر سیاست افزایش جمعیت به عنوان یک سیاست راهبردی مدنظر تصمیم‌گیرندگان کلان کشور باشد، لازم است بستر مناسب از جمله سرمایه‌گذاری کافی در زمینه عرضه منابع که قطعاً نیازمند هزینه زیادی است، فراهم شود. به بیان دیگر تا زمانی که نتوان برای جمعیت کشور عرضه منابع پایدار تعریف نمود، تأکید بر سیاست‌های افزایش جمعیت می‌تواند تبعات منفی در حوزه‌های مختلف اقتصادی اجتماعی و زیست محیطی به همراه داشته و در میان‌مدت و حتی در کوتاه‌مدت اثرات مثبت احتمالی افزایش جمعیت را هم منتفی خواهد نمود. بنابراین تراکم جمعیت متناسب با ظرفیت مناطق علاوه بر اینکه پایداری جمعیت را در پی دارد، آسیب کمتری نیز به محیط زیست وارد می‌سازد. رشد جمعیت، متناسب با امکانات و یا جمعیت متناسب، متضمن تداوم فرایند توسعه پایدار است. Maja و Ayano (۲۰۲۱)، Crist و همکاران (۲۰۱۷)، شمس قهفرخی و همکاران (۱۴۰۰)، حبیبی و همکاران (۱۴۰۰)، دقیقی اصلی و همکاران (۱۳۹۶)، شاهنوشی و همکاران (۱۳۹۵)، موضوع حفظ تعادل بین جمعیت و محیط‌زیست را در مطالعات خود مطرح نموده‌اند.

- **بهبود فناوری:** در پیشرفت و ارتقای توسعه اجتماعی-اقتصادی یک کشور، فناوری محرک اصلی رشد اقتصاد جهانی است. در شرایط امروزی دنیا، فناوری یک منبع تولید ثروت در کشورهاست، زیرا کشورهایی که دارای فناوری پیشرفته نیستند، قدرت بهره‌برداری از منابع خود را نیز ندارند و ناچار به خام‌فروشی منابع خود هستند. کشورهایی مانند ژاپن، سنگاپور، ایتالیا، تایوان و سوئیس با اینکه از نظر دارایی‌های طبیعی جزء فقیرترین کشورها هستند، به کمک فناوری توانسته‌اند در زمره پیشرفته‌ترین کشورها قرار گیرند. بنابراین، کارایی، اثربخشی و پایداری منابع طبیعی، انسانی یا مادی بدون نوآوری‌های تکنولوژیکی اجتناب‌ناپذیر است. یکی از ظرفیت‌های بسیار مهم

کشور ایران در کنار مواهب طبیعی، توان علمی و وجود نخبگان است. مهم‌ترین اقدام ضروری در تحقق اقتصاد دانش‌بنیان در راستای پایداری منابع، توجه به تجاری‌سازی است. در این راستا، تحقیق و توسعه برای پایداری منابع اساسی است، زیرا آنها می‌توانند از تصمیم‌گیری با اطلاعات به‌روز شده در پیوند آب، انرژی و غذا پشتیبانی کنند. در ادامه شیوه‌ها و فناوری‌های مناسب شناسایی یا حتی تولید خواهند شد تا از طریق آنها منابع آب، غذا و انرژی کشور با بهترین این روش‌ها و فناوری‌ها مورد بهره‌برداری و استفاده قرار بگیرند و از طرف دیگر از این منابع به بهترین روش محافظت شود. در مطالعه David و همکاران (۲۰۲۱)، نیز به اهمیت بهبود فناوری در زمینه محیط‌زیست اشاره شده است.

- پیامدهای پایداری و سیاستی: رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا به دنبال شناسایی ارتباطات متقابل بین منابع آب، انرژی و غذا از جمله همبستگی‌ها، هم‌افزایی‌ها و مبادلات آنهاست تا بتواند با افزایش بهره‌وری منابع و تدوین سیاست‌هایی برای تصمیم‌گیری بهتر به کاهش تلفات منابع کمک کند. سازگاری با تغییرات اقلیمی را نیز می‌توان از طریق ظرفیت‌های نظارت و مدل‌سازی مرتبط با بخش‌های متعدد پیوند آب، انرژی و غذا افزایش داد. علاوه بر این، به دلیل پاسخ یکپارچه آن به برنامه‌ریزی منابع و مدیریت زیست‌محیطی پایدار، ابزار مهمی در سازگاری با تغییرات آب و هوایی است. همچنین با در نظر داشتن ارتباطات زمانی و مکانی بین منابع آب، انرژی و غذا، می‌تواند امنیت منابع را ارتقا بخشد، تصمیم‌گیری بین بخشی و کل‌نگر را تسهیل کند و در نهایت کشورها را به سمت پایداری سوق دهد. بنابراین گنجاندن رویکرد پیوندی در راهبردهایی که به‌منظور مدیریت و حفظ امنیت منابع اتخاذ می‌گردد و در نظر گرفتن تعاملات بین بخشی آب، انرژی و غذا می‌تواند به طور پایدار این منابع حیاتی را با مبادلات و هم‌افزایی صریح مدیریت کند.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر بر آن بود تا باتوجه به وجود خلأ نظری در توسعه پایدار زیست‌محیطی منابع آب، انرژی، غذا در ایران و ضرورت شناخت چیرستی و چگونگی موضوع و تبیین عمیق مولفه‌های موثر و نوع روابط آنها به طراحی الگوی یکپارچه توسعه پایدار «آب، انرژی، غذا» در ایران با استفاده از نظریه داده‌بنیاد بپردازد. براساس یافته‌های این مطالعه می‌توان اظهار داشت که آسیب‌پذیری منابع آب، انرژی و غذا در ایران با رشد جمعیت، رشد اقتصادی، بهره‌برداری‌های بی‌رویه، عوامل مدیریتی، تغییرات اقلیمی و مسائل سیاسی تشدید می‌گردد. بنابراین درک صحیح ارتباطات آب، انرژی و غذا با مسائل جمعیتی، اقتصادی، اجتماعی،

مدیریتی، اقلیمی، سیاسی و تکنولوژیکی به‌منظور حفظ پایداری منابع، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر خواهد بود که تجزیه و تحلیل این مباحث، با رویکرد پیوندی امکان‌پذیر خواهد بود.

لذا بنابر این یافته‌ها برای ایجاد نوعی همبست در مدیریت آب، انرژی و غذا در کشور نیاز به تغییر و اصلاح رویکرد و روش در چند سطح است. در بالاترین سطح یعنی سطح سیاسی و نهادی باید نوعی همگرایی و یکپارچگی یا به عبارت دیگر تمرکز ایجاد کرد و سازوکار مناسبی در این راستا طراحی نمود تا همه سازمان‌ها و نهادهای دخیل اعم از عمومی، خصوصی و مدنی در این سه حوزه از یک منبع دستور گرفته و به آن پاسخگو باشند و ناهماهنگی در اجرا و عدم تطابق با اسناد بالادستی مرتفع گردد. براین اساس، یکی از راهبردهای توسعه نهادی پیشنهادی دستیابی به یک اجماع مشترک است. این اجماع از طریق تشکیل یک شورای عالی واحد در بالاترین سطح حاکمیتی (به ریاست رئیس‌جمهور) و متشکل از وزرای نیرو، نفت، جهادکشاورزی، صنایع و معادن، وزیر کشور، رئیس سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، رئیس سازمان حفاظت محیط‌زیست، یک نفر از اعضای کمیسیون کشاورزی، آب و منابع طبیعی با انتخاب مجلس شورای اسلامی به عنوان ناظر و دو نفر از متخصصین بخش‌های آب، انرژی و کشاورزی به حکم رئیس‌جمهور و سایر نهادهای مرتبط با حوزه‌های آب، غذا و انرژی میسر خواهد بود و لازمه اثربخشی آن وجود بانک اطلاعاتی جامع و یکپارچه و در دسترس برای همه سطوح و مقیاس‌ها برای متولیان و موسسات علمی می‌باشد. تصمیمات این شورا با تصویب هیأت وزیران یا کمیسیون مذکور در اصل ۱۳۸ قانون اساسی برای دستگاه‌های ذیربط لازم الاجرا گردد و برای ضمانت اجرایی و سازوکار آن، پیش‌بینی‌های لازم انجام گردد. برنامه‌ریزی و پشتیبانی از برنامه‌ها و نظارت قوی نیاز به حمایت سیاسی قوی در قالب یک قانون دارد. قانونی که علاوه بر ایجاد الزام برای همه دستگاه‌ها، همه فعالیت‌های مهم مرتبط با بخش‌های آب، انرژی و غذا را سامان دهد و امکان استفاده پایدار از منابع را تقویت نماید. گرچه نقش شوراهای عالی در سیاستگذاری کلان و راهبردی، مهم و قابل توجه است، ولی باید عنایت داشت که محدوده وظایف و اختیارات این شورا نباید طوری تعریف شود که با امور تقنینی استاندارد که معمولاً توسط سند بالادستی قانون تعیین می‌شود و همچنین وظایف تصدی‌گری دستگاهی تداخل داشته باشد. از این‌رو برای ایجاد یک گفتگوی معنادار، اولویت‌های سیاسی، هنجارها، ادراکات و مفروضات هنجاری زیربنایی دینفعان باید مورد توجه قرار گیرد و در اسناد بالادستی به محدودیت‌های بیوفیزیکی کشور توجه شود و کلیه برنامه‌های مرتبط با منابع آب، انرژی و غذا باید با رعایت مرزهای پایداری استفاده از منابع زیربنایی تهیه و اجرا شوند. در گام بعد مدیریت بهینه منابع، استفاده از شیوه‌ها و فناوری‌های مناسب، آموزش و سیاست‌های

جمعیتی باید مورد بررسی و به‌سازی قرار گیرد. هرچند رویکرد پیوندی به‌عنوان یک استراتژی سیاستی مناسب به توسعه پایدار کمک می‌نماید، اما پیاده‌سازی آن نیز با چالش‌هایی همراه خواهد بود. در راستای تقویت رویکرد همبست، اقداماتی نظیر تأمین و معرفی بسته‌های سرمایه‌گذاری منسجم و چندجانبه؛ ارزیابی نظام‌مند عوامل طبیعی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، مالی و... به منظور یافتن راهی برای افزایش پایداری منابع طبیعی، توجه به این رویکرد در سطوح مختلف نظام مدیریتی از سیاستگذاری و برنامه‌ریزی گرفته تا تصمیم‌گیری‌های میدانی، هماهنگی بین سازمان‌های مسئول و تعیین نقش هر نهاد در رسیدن به توسعه پایدار، در جهت برآورد نیازهای جامعه با توسعه همبست آب، انرژی و غذا یک امر مهم محسوب می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Water-Energy-Food Nexus

2-Open Coding

3-Axial Coding

4-Selective Coding

5-Snowball Sampling

۶- نرم‌افزار Amos یک نرم‌افزار آماری است که به طور ویژه برای مدلسازی معادلات ساختاری، تحلیل مسیر و تحلیل عاملی تأییدی به کار می‌رود. این نرم‌افزار به عنوان نرم‌افزار تحلیل کوواریانس یا مدل‌سازی علی شناخته می‌شود.

7-Likert

منابع

- اسلامی، روح‌الله، و رحیمی، احمد. (۱۳۹۸). سیاست‌گذاری و بحران آب در ایران. سیاست‌های راهبردی و کلان، ۷(۲۷)، ۴۳۵-۴۱۰. doi: 10.32598/JMSP.7.3.5
- اسلامی، زینب. (۱۳۹۸). امکان سنجی رویکرد پیوندی آب- انرژی- غذا در مدیریت یکپارچه منابع آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.
- اسلامی، قاسم. (۱۳۹۷). کشف فرآیند شکل‌گیری رفتار زیرآب زنی و پیامدهای آن در سازمان‌های بخش دولتی. رساله دکتری، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ایران‌نژاد پاریزی، مهدی. (۱۳۸۸). روش‌های تحقیق در علوم اجتماعی: مدیریت اقتصاد و سایر رشته‌های ذیربط. انتشارات مدیران، تهران.
- پارسا، شیم، زارع مهرجردی، محمدرضا، ضیاآبادی، مریم، مهرابی

بشرآبادی، حسین. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر عوامل اقتصادی بر تخریب محیط‌زیست با استفاده از رویکرد پانل (3SLS) منتخب کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۳(۹)، ۱۹۱-۲۰۴. doi: <https://doi.org/10.30495/jest.2022.50983.4999>

پایسته، مرضیه، کلاهی، مهدی، و عمرانپان خراسانی، حمید. (۱۴۰۰). ارتقاء مدیریت منابع طبیعی با تأکید بر حکمروایی خوب. مرتع، ۱۶(۱)، ۱۴۰-۱۵۷. doi: [doi: 20.1001.1.20080891.140](https://doi.org/10.161.7.9)

پورخسروانی، انیس، توحیدفام، محمد، امینی، علی‌اکبر، و جلالی، رضا. (۱۳۹۹). عوامل مؤثر بر ناکارآمدی سیاست منابع آب ایران. فصلنامه مطالعات سیاسی، ۱۳(۵۰)، ۸۷-۱۰۹. <https://sanad.iau.ir/journal/jourm/Article/681805?jid=681805>

حبیبی، کیومرث، خلیلی، امین، همتی، گلشن و ویسی، صلاح. (۱۴۰۰). تحلیل همبستگی تحرکات فضایی جمعیت و چالش‌های زیست‌محیطی در ایران جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای. ۱۱ (۴۱)، 6588. doi: [doi: 10.22111/GAII.2021.6588](https://doi.org/10.22111/GAII.2021.6588)

دقیقی اصلی، علی‌رضا، گرایی‌نژاد، غلامرضا، و عجایی، نسیم. (۱۳۹۶). جمعیت و آب: تعیین جمعیت بهینه ایران با توجه به منابع آب شیرین. مطالعات جمعیتی، ۳(۱)، ۱۶۳-۱۸۲. https://jips.nipr.ac.ir/article_89819.html

رنجبر، میلاد. (۱۳۹۹). ارائه چهارچوبی برای قابلیت‌های پویای دانشگاهی: پژوهشی داده بنیاد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه قم، قم، ایران.

رفیعی بهاره، کیومرثی، حامد، ناصری هرسینی، رضا، و مهدویان سید محمدرضا. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر محیط‌زیست و کشاورزی. پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۸(۱۳)، ۲۳-۳۹. doi: [doi: 20.1001.1.26763060.1402.8.13.10.1](https://doi.org/10.1001.1.26763060.1402.8.13.10.1)

سلطانی، شیوا، موسوی، سید حبیب‌الله، خلیلیان، صادق، و نجفی علمدارلو، حامد. (۱۴۰۲). ارزیابی آثار تغییرات اقلیم بر گسترش ناامنی غذایی با تأکید بر نقش مدیریت منابع آب در دشت همدان- بهار. پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۲۳(۲)، ۲۴۹-۲۷۴. doi: [doi: 20.1001.1.1735676](https://doi.org/10.1001.1.1735676)

شاه محمدی علیرضا، مفاخری، صلاح، ویسی، هادی، و خوشبخت، کوروس. (۱۳۹۶). پیوند آب، غذا و انرژی رهیافتی برای دستیابی به توسعه پایدار. شبکه مطالعات سیاست‌گذاری عمومی یافته‌های پژوهشی سیاستی. شماره مسلسل ۱۱۰۰۳۷۸.

شاهنوشی، ناصر، نقوی، سمیه، و اعظم رحمتی، الهه. (۱۳۹۵). بازخوردهای کلان اقتصادی-زیست‌محیطی اتخاذ سیاست افزایش جمعیت در ایران. آب و توسعه پایدار، ۳(۱)، ۳۱-۴۶. doi: [doi: 10.22067/JWSD.V3I1.59426](https://doi.org/10.22067/JWSD.V3I1.59426)

شمس قهفرخی، مهری، عسکری ندوشن، عباس و شمس قهفرخی،
 فریده. (۱۴۰۰). بررسی اثرات متقابل تغییرات جمعیتی و
 منابع پایه محیط‌زیست در ایران (با تأکید بر مسأله آب).
 محیط‌زیست و توسعه فرابخشی، ۶(۷۱)، ۱۱-۲۴. doi: 10.22034/envj.2021.180146

صابرپور، علی، اخوان فرد، مسعود، و مسعود، غلامحسین.
 (۱۴۰۰). آثار تحریم‌ها بر انتقال فناوری‌های زیست‌محیطی
 در حقوق بین الملل با تأکید بر مسأله ایران. مجله علمی
 پژوهشی حقوق پزشکی، ۱۵(۵۶)، ۲۹۹-۳۱۶. <http://ijmedicallaw.ir/fa.html> article-1-1310-

صفایی، وحیده، داوری، کامران، و پورمحمد، یاور. (۱۳۹۸).
 ضرورت پیوند آب، انرژی و غذا بر اساس برنامه استراتژیک
 توسعه پایدار، آب و توسعه پایدار، ۶(۲)، ۹-۱۴. doi: 10.22067/JWSD.V6I12.72591

صیادی، محمد، سلطانی، امید، و موحدی، سید فرهاد. (۱۳۹۸).
 ارائه یک مدل مفهومی از پویایی هم‌پیوندی آب - انرژی - غذا
 در ایران: رویکرد سیستمی. فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و
 منابع طبیعی، ۳(۶)، ۷۹-۱۰۴. doi: 10.22054/eenr.2019.12483

عبداللهی، فاطمه، و قادری، سیمین. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر
 منابع طبیعی و سرمایه انسانی بر ردپای اکولوژیکی ایران.
 حکمرانی و توسعه، ۳(۱)، ۹۸-۱۱۹. doi: 10.22111/JI-PA.A.2023.399117.1124

عصمتی، زینب، و عدالت جو، تهمینه. (۱۳۹۹). تحلیل نقش اسناد
 فرادستی و قوانین برنامه‌های توسعه جمهوری اسلامی ایران
 در حفاظت از محیط‌زیست. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست،
 ۲۲(۲)، ۲۳۹-۲۵۴. doi: 10.22034/JEST.2021.26155.3526

فلاحی، فیروز، پورعبدالهیان، محسن، صادقی، سید کمال، و
 شکری، توحید. (۱۴۰۱). بررسی رابطه‌ی میان رشد اقتصادی
 و کیفیت محیط‌زیست در ایران: شواهدی جدید مبتنی بر
 تبدیل موجک پیوسته. پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی،
 ۱۲(۴۷)، ۳۵-۵۲. doi: 10.30473/egdr.2020.49586.5499

کرسول، جان دلبیو، و کلارک، ویکی پلانو. (۱۳۹۰). روش‌های
 پژوهش ترکیب. مترجم: علیرضا کیامنش و جاوید سرایی.
 انتشارات آبیژ. تهران، ایران.

گودرزی، محمدرضا، پیریانی، رضا، و موسوی، میررحیم.
 (۱۳۹۸). موانع تصمیم‌گیری در خصوص منابع آب، غذا
 و انرژی با توجه به تغییرات اقلیمی؛ کاربرد روش تحلیل
 سلسله مراتبی فازی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۴(۳)،
 ۳۲۳-۳۳۲. doi: 10.29252/geores.34.3.323

گودرزی، مصطفی، قدبیک لو، جواد، غدیری، عادل، و خودشناس،
 محمدعلی. (۱۴۰۲). تعیین الگوی کشت بهینه مبتنی بر
 هم‌بست آب انرژی غذا و سود اقتصادی (مطالعه موردی

استان مرکزی- دشت فراهان). آب و خاک، ۳۷(۲)، ۱۸۷-۲۰۲.
 doi: 10.22067/jsw.2023.79946.1233

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). سرشماری نفوس و مسکن، تهران، ایران.
 مهرآرا، اسداله، مدانلوجویباری، سپیده، و زارع زیدی، علیرضا.
 (۱۳۹۶). بررسی نقش حفاظت از محیط‌زیست در توسعه
 پایدار. دو ماهنامه مطالعات کاربردی در علوم مدیریت و
 توسعه، ۳(۲)، ۸۵-۹۵. <http://noo.rs/6RHI2>

میرزایی، شکبیا، قهرمان، بیژن، مساعدی، ابوالفضل، و زرغامی،
 مهدی. (۱۳۹۶). راه‌حل‌های سیاستی در مواجهه با بحران آب
 با رویکرد پیوند آب- انرژی- غذا. اولین اجلاس هم‌اندیشی با
 متخصصان علوم آب و محیط‌زیست، وزارت نیرو.
 نوروزی، حسین، و یزدانی، سعید. (۱۴۰۱). تبیین آثار انتشار
 آلودگی و بهره‌برداری از منابع طبیعی بر امنیت غذایی.
 اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۳۰(۱)، ۱-۲۸. doi: 10.30490/AEAD.20200.353880.1316

Ali, A., Audi, M., & Roussel, Y. (2021). Natural resources depletion, renewable energy consumption and environmental degradation: A comparative analysis of developed and developing world. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(3), 251-260. doi: 10.32479/ijeep.11008

Al-Saidi, M., & Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. Science of the Total Environment, 574, 1131-1139. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.046

Balaka, M. Y., Gamsir, G., Hasddin, H., & Kasim, S. (2023). Study of Environment Economics According to Depletion and Degradation Values of Utilization of Natural Resources in the Regional Economy International Journal of Energy Economics and Policy, 13(6), 463. doi: 10.32479/ijeep.14837

Baloch, M. A., Mahmood, N., & Zhang, J. W. (2019). Effect of natural resources, renewable energy and economic development on CO2 emissions in BRICS countries. Science of the Total Environment, 678, 632-638. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.028

Beekma, J., Bird, J., Mersha, A. N., Reinhard, S., Prathapar, S. A., Rasul, G., & Tian, F. (2021). Enabling policy environment for water, food and energy security. Irrigation and Drainage. doi: 10.1002/ird.2560

BP. (2022). Statistical Review of World Energy. <https://>

- sanctions a cause or cure for the environment: Empirical evidence from Iran Environment. Development and Sustainability, 22, 5483-5501. doi: [10.1007/s10668-019-00434-0](https://doi.org/10.1007/s10668-019-00434-0)
- Hameed, M., Moradkhani, H., Ahmadalipour, A., Moftakhari, H., Abbaszadeh, P., & Alipour, A. (2019). A review of the 21st century challenges in the food-energy-water security in the Middle East. Water, 11(4), 682. doi: [10.3390/w11040682](https://doi.org/10.3390/w11040682)
- Hamidov, A. & Helming, K. (2020). Sustainability considerations in water-energy-food nexus research in irrigated agriculture. Sustainability, 12(15), 6274. doi: [10.3390/su12156274](https://doi.org/10.3390/su12156274)
- IEA. (2021). World Energy Balances. Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics>
- Keyhanpour, M. J., Jahromi, S. H. M., & Ebrahimi, H. (2021). System dynamics model of sustainable water resources management using the Nexus Water-Food-Energy approach. Ain Shams Engineering Journal, 12(2), 1267-1281. doi: [10.1016/j.asej.2020.07.029](https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.07.029)
- Li, M., Fu, Q., Singh, VP., Liu, D., Li, T. (2019). Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. Advances in Water Resources, 127, 209-224. doi: [10.1016/j.advwatres.2019.03.015](https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.03.015)
- Madani, K. (2020). How international economic sanctions harm the environment. Earth's Future, 8(12), 1-12. doi: [10.1029/2020EF001829](https://doi.org/10.1029/2020EF001829)
- Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iranian studies, 49(6), 997-1016.
- Maja, M. M., & Ayano, S. F. (2021). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries Earth Systems and Environment, 5, 271-283. doi: [10.1007/s41748-021-00209-6](https://doi.org/10.1007/s41748-021-00209-6)
- Mirzaei, A., Saghaian, B., Mirchi, A., & Madani, K. (2019). The groundwater-energy-food nexus in Iran's agricultural sector: implications for water security. Water, 11(9), 1835. doi: [10.3390/w11091835](https://doi.org/10.3390/w11091835)
- www.bp.com/bp-stats-review-2022-full-report.pdf
- Conway, D., Van Garderen, E. A., Deryng, D., Dorling, S., Krueger, T., Landman, W., ... & Dalin, C. (2015). Climate and southern Africa's water-energy-food nexus. Nature Climate Change, 5(9), 837-846. doi: [10.1038/nclimate2735](https://doi.org/10.1038/nclimate2735)
- Corbin, J., & Strauss, A. (2008). Strategies for qualitative data analysis. Basics of Qualitative Research, 7(10), 67-85.
- Creswell, J. W. (2002). Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative. New Jersey: Upper Saddle River.
- Crist, E., Mora, C., & Engelman, R. (2017) The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. Science, 356(6335), 260-264. doi: [10.1126/science.aal2011](https://doi.org/10.1126/science.aal2011)
- David, L. O., Nwulu, N. I., Aigbavboa, C. O., & Adepoju, O. O. (2023). Resource sustainability in the water, energy and food nexus: role of technological innovation. Journal of Engineering, Design and Technology. doi: [10.1108/JEDT-05-2023-0200](https://doi.org/10.1108/JEDT-05-2023-0200)
- De Amorim, W. S., Valduga, I. B., Ribeiro, J. M. P., Williamson, V. G., Krauser, G. E., Magtoto, M. K., & de Andrade, J. B. S. O. (2018). The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security. Environmental impact assessment review, 72, 1-11. doi: [10.1016/j.eiar.2018.05.002](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002)
- De Andrade, J. B. S. O., Berchin, I. I., Garcia, J., da Silva Neiva, S., Jonck, A. V., Faraco, R. A., & Ribeiro, J. M. P. (2021). A literature-based study on the water-energy-food nexus for sustainable development. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 35(1), 95-116. doi: [10.1007/s00477-020-01772-6](https://doi.org/10.1007/s00477-020-01772-6)
- Devers, K. J. & Frankel, R. M. (2000). Study Design in Qualitative Research: Sampling and Data Collection Strategies. Education for Health, 13(2), 263-271. doi: [10.1080/13576280050074543](https://doi.org/10.1080/13576280050074543)
- FAO. (2016). AQUASTAT Main Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/>
- Fotourehchi, Z. (2020). Are UN and US economic

- from CEOs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11391. doi: [10.3390/ijerph191811391](https://doi.org/10.3390/ijerph191811391)
- world bank. (2018). The Water-Energy-Food Nexus in the Middle East and North Africa. <https://www.worldbank.org/>
- Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W., & Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production*, 195, 625-639. doi: [10.1016/j.jclepro.2018.05.194](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194)
- Zheng, X., Wang, R., Hoekstra, A. Y., Krol, M. S., Zhang, Y., Guo, K., & Wang, C. (2021). Consideration of culture is vital if we are to achieve .the Sustainable Development Goals One Earth, 4(2), 307-319. doi: [10.1016/j.oneear.2021.01.012](https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.01.012)
- Mirzaei, A., Abdeslahi, A., Azarm, H., & Naghavi, S. (2022). New design of water-energy-food-environment nexus for sustainable agricultural management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(7), 1861-1874. doi: [10.1007/s00477-021-02131-9](https://doi.org/10.1007/s00477-021-02131-9)
- Molajou, A., Afshar, A., Khosravi, M., Soleimani, E., Vahabzadeh, M., & Variani, H. A. (2021). A new paradigm of water, food, and energy nexus. *Environmental Science and Pollution Research*, 2, 1-11. doi: [10.1007/s11356-021-13034-1](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13034-1)
- Nhamo, L., Mabhaudhi, T., Mpandeli, S., Dickens, C., Nhemachena, C., Senzanje, A., & Modi, A. T. (2020). An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study. *Environmental Science & Policy*, 109, 15-24. doi: [10.1016/j.envsci.2020.04.010](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.010)
- Olawuyi, D. (2020). Sustainable development and the water-energy-food nexus: Legal challenges and emerging solutions. *Environmental Science & Policy*, 103, 1-9. doi: [10.1016/j.envsci.2019.10.009](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.009)
- Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., & Fraiture, C. D. (2021). Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research. *Sustainability*, 13(4), 1919. doi: [10.3390/su13041919](https://doi.org/10.3390/su13041919)
- Rasul, G. (2016). Managing the food, water, and energy nexus for achieving the Sustainable Development Goals in South Asia. *Environ Dev* 18, 14-25. doi: [10.1016/j.envdev.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.12.001)
- Rezaie, B., & Rosen, M. (2020). The food-energy-water nexus: A framework for sustainable development modeling. *Energy Equipment and Systems*, 8(2), 179-201. doi: [10.22059/EES.2020.43229](https://doi.org/10.22059/EES.2020.43229)
- Terrapon-Pfaff, J., Fink, T., & Lechtenböhmer, S. (2018). The water-energy nexus in Iran: water-related challenges for the power sector. *Friedrich-Ebert-Stiftung*.
- United Nations. (2021). Population Division. World Population Prospects 2021. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/>
- Wang, C., Gou, L., & Li, X. (2022). Is education beneficial to environmentally friendly behaviors? Evidence

Application of Artificial Intelligence-Based Methods in Estimating Water Consumption Productivity (Case Study: Sari City)

R. Fazloulou^{1*}, Sh. Saraf², J. Vejihat³, A. R. Emadi¹

1, 2- Associate Professor and M.Sc. Graduate in Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 3- M.Sc. Graduate in Water Structures, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

*(Corresponding Author Email: r.fazloulou@sanru.ac.ir)

Received: 15-05-2024

Revised: 18-08-2024

Accepted: 18-08-2024

Available Online: 19-12-2024

کاربرد روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در برآورد بهره‌وری مصرف آب (مطالعه موردی: شهر ساری)

رامین فضل‌اولی^{۱*}، شادی صراف^۲، جواد وجاht^۳، علیرضا عمادی^۱

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. ۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: r.fazloulou@sanru.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Today, the optimal use of water in various sections to increase productivity and reduce losses is one of the basic assumptions in consumption management. Therefore, in the present research, the concept of productivity in different water consumption sections, including groundwater, drinking water, and special attention to chemical properties in the sewage treatment plant in Sari City has been investigated. In each section, using the appropriate algorithm, the available data has been evaluated to measure productivity. In the sewage treatment section, the analysis of effective parameters in Sari City sewage treatment was performed in two methods Artificial Neural Network and Wavelet. The output results of these models showed that due to the high value of the R2 statistic, there is an acceptable and direct relationship between the measured and estimated characteristics. In the groundwater sector, according to the results obtained, the wavelet network performed better in estimating the desired variables than the ANN method. In the water distribution network section, the results of wavelet analysis and the outputs of the WaterGems software revealed that the deterioration of the studied water distribution network plays a significant role in losses and reduced productivity, in such a way that about 47 percent of the water entering the network is out of reach and wasted in different ways.

Keywords: Sari, Wavelet Network, Sewage Treatment, Artificial Intelligence, ANN.

چکیده

امروزه استفاده بهینه از آب در بخش‌های مختلف با هدف افزایش بهره‌وری و کاهش تلفات یکی از پیش‌فرض‌های اساسی در مدیریت مصرف می‌باشد. ازاین‌رو در پژوهش حاضر مفهوم بهره‌وری در بخش‌های مختلف مصرف آب شامل آب‌های زیرزمینی، آب شرب و توجه ویژه به خصوصیات شیمیایی در تصفیه‌خانه فاضلاب در محدوده شهر ساری بررسی شده است. در هر بخش، با استفاده از الگوریتم مناسب، داده‌های موجود به‌منظور سنجش بهره‌وری ارزیابی شده است. در بخش تصفیه فاضلاب تحلیل پارامترهای موثر در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری با دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و موجک انجام شد. نتایج خروجی این مدل‌ها نشان داد با توجه به بالا بودن مقدار آماره R^2 ، رابطه قابل قبول و مستقیمی بین مشخصه‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده برقرار است. در بخش آب‌های زیرزمینی، مطابق با نتایج به‌دست آمده، شبکه موجک در برآورد متغیرهای مورد نظر نسبت به روش ANN عملکرد بهتری را نشان داد. در بخش شبکه توزیع آب نتایج تحلیل موجک و خروجی‌های نرم‌افزار WaterGems مشخص نمود که شد فرسوده بودن شبکه توزیع آب مورد مطالعه نقش بسزایی در تلفات و کاهش بهره‌وری آن دارد، به‌نحوی که حدود ۴۷ درصد آب ورودی به شبکه به طرق مختلف از دسترس خارج شده و تلف می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ساری، شبکه موجک، تصفیه فاضلاب، هوش مصنوعی، ANN.

افزایش جمعیت در طی دو قرن اخیر ناشی از بهبود بسیاری از شاخص‌های زندگی شامل ارتقای بهداشت، توسعه شهرنشینی، مهاجرت، پیشرفت تکنولوژی، صنعتی‌سازی صنایع، افزایش تولید و ... بوده است. از سوی دیگر، عدم توجه به این نکته که منابع در دسترس بشر محدود می‌باشند، منجر گشته تا محدودیت‌ها و مشکلات بسیاری به وجود آید.

بهره‌وری مفهوم جدیدی نبوده و قدمت آن به پیدایش بشر بازمی‌گردد، در بیشتر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، محدودیت‌های متعدد به عنوان مانعی برای سرمایه‌گذاری‌های جدید محسوب شده بنابراین کلید واژه دستیابی به حداکثر میزان بهره‌مندی از منابع با صرف حداقل مقدار هزینه، بهره‌وری می‌باشد (محمودی و همکاران، ۱۴۰۰). اما مفهوم کاربردی آن مربوط به بعد از انقلاب صنعتی و در راستای پاسخ‌دهی به مشکلات به وجود آمده به صورت فراگیر و جامع در سطوح مختلف فرد، خانواده، سازمان‌ها و کشور ارائه شده است. در شاخص‌های بهره‌وری معمولاً نسبت خروجی سیستم به ورودی آن سنجیده می‌شود، بنابراین وجود اطلاعات بیشتر در دقت و صحت نتایج به دست آمده اهمیت دارد. دستیابی به حداکثر میزان بهره‌وری هدف نهایی بهره‌مندی از هر محصولی می‌باشد (Liu و همکاران، ۲۰۱۷). در این بین منابع طبیعی به دلیل نقش بسزایی که در زندگی بشر دارند، جایگاه ویژه‌ای دارد. آب به عنوان یکی از عوامل اصلی توسعه پایدار و از دلایل پیشران اقتصاد مولد محسوب می‌شود. بهره‌وری یک عامل تولید مانند آب، بیانگر نسبت مشخصی نبوده به نحوی که مطابق با آن بتوان بیان داشت که چقدر ستانده به ازای واحد آن نهاد تولید شده است (محمودی و همکاران، ۱۴۰۰). شاخص بهره‌وری آب بیانگر استفاده موثر از آن در جهت تولید ارزش افزوده بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، این شاخص نشان‌دهنده آن است که برای تولید هر واحد ارزش ستانده، چه مقدار آب مصرف شده است (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱).

پژوهش حاضر به منظور بهره‌گیری از قابلیت‌های هوش مصنوعی به منظور تحلیل بهره‌مندی در حوزه صنعت آب به صورت مطالعه موردی می‌باشد. رویکرد اصلی حاکم در پژوهش توجه به بخش‌های مختلف مصرف آب در آب‌های زیرزمینی، آب شرب و توجه ویژه به رویکرد شیمیایی تصفیه‌خانه فاضلاب در محدوده شهر ساری می‌باشد. در این پژوهش، پس از دریافت داده‌ها از شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب استان مازندران در بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۸، وضعیت بهره‌وری صنعت آب در بخش‌های آب‌های زیرزمینی، آب شرب و تصفیه‌خانه فاضلاب بررسی شد.

بهره‌وری آب به طور کلی به صورت نسبت ستانده (محصول) به آب مصرف شده تعریف می‌شود که می‌تواند ارزش بازاری یا مقدار فیزیکی ستانده و مصرف و یا ترکیبی از این دو در این تعریف به کار رود (Legg, ۲۰۰۷). بنابراین:

بهره‌وری فیزیکی آب برابر با مقدار محصول تولید شده (kg) تقسیم بر آب مصرفی (m^3) و بهره‌وری اقتصادی: ارزش به ازای مقدار اخذ شده تقسیم بر ارزش به ازای آب مصرف شده (یا مقدار فیزیکی آب مصرف شده) برحسب شرایط و نوع بهره‌برداری از منابع آبی، ساختار بهره‌وری متناسب با همان حوضه تعریف شده شکل می‌گیرد. نکته قابل توجه این است که بخش‌های مختلف مصرف‌کننده شرایط متفاوتی در میزان مصرف، نوع مصرف، ثبت داده‌ها، شیوه اندازه‌گیری و ... داشته است و در نظر گرفتن تمامی موارد ذکر شده ضروری می‌باشد (Seyoum و Tanyimboh, ۲۰۱۷). عمده‌ترین مواردی که به منظور بررسی بهره‌وری آب مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، شامل بخش شرب، تصفیه‌خانه فاضلاب و آب‌های زیرزمینی می‌باشند (محمودی و همکاران، ۱۴۰۰).

ارزیابی دقیق از رویکرد مد نظر در هر پژوهشی، مبتنی بر بررسی یافته‌ها در پژوهش‌های مشابه می‌باشد. به این ترتیب علاوه بر تسلط بر دیدگاه موجود، خلاهای بررسی نشده نیز شناسایی شده و امکان تعریف پژوهش‌های با کیفیت بهتر فراهم می‌شود. وجاهت و صرف (۱۴۰۰) ضمن بررسی اثرات یکپارچه‌سازی هیدرولیکی و تعیین شاخص تاب‌آوری، بهره‌وری سامانه‌های شبکه توزیع آب را ارزیابی نمودند. در این پژوهش مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب از ۶ مخزن هم‌جوار با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS مدل‌سازی شد. مدل هیدرولیکی در ساعت حداکثر مصرف در حالت‌های اتصال مخازن به یکدیگر و در حالت عدم اتصال مخازن به یکدیگر اجرا و شرایط هیدرولیکی محدوده هر یک از مخازن به صورت نقشه فشار و در نمودارهای مربوط به آن ارائه شد. همچنین از قابلیت‌های نرم‌افزار WaterGEMS برای تعیین درصد میزان تأثیرگذاری مخازن در محدوده تحت پوشش آن‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد یکپارچه‌سازی هیدرولیکی محدوده مخازن هم‌جوار تأثیر مثبتی در بهبود تاب‌آوری و بهره‌وری شبکه توزیع دارد. همچنین به دلیل تدقیق الگوی مصرف، در حالت اتصال مخازن به یکدیگر، دقت مدل هیدرولیکی تهیه شده بیشتر می‌باشد. بررسی تأثیر به هم پیوستگی هیدرولیکی منجر به ارتقای واسنجی مدل هیدرولیکی شد. اعلمی و همکاران (۱۴۰۰) کارایی روش‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب در شهر تبریز را بررسی کردند. داده‌های ورودی شامل پارامترهای COD_{inf} ، BOD_{inf} ، TSS_{inf} و pH_{inf} فاضلاب در ورودی تصفیه‌خانه تبریز بوده

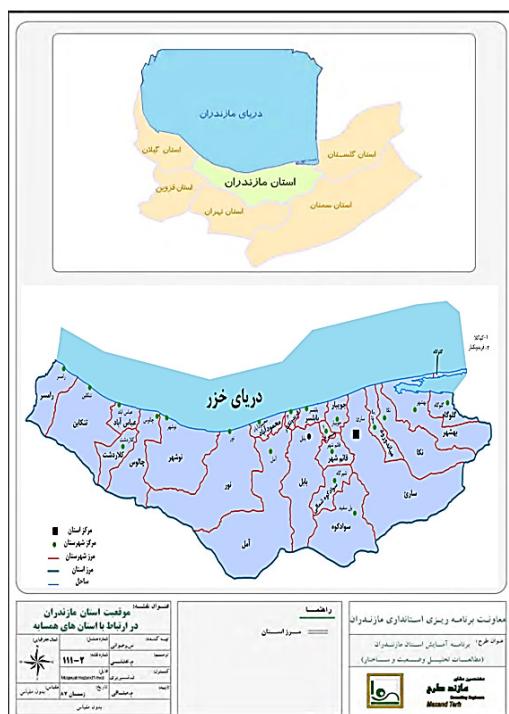
داده شد. بر اساس نتایج، مدل ANN با دستیابی به مقدار MSE و $RMSE < 0.02$ در حالی که R و R^2 نزدیک به مقدار واحد می‌باشد، از مدل SVM بهتر عمل کرده است.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان مازندران در محدوده جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان مساحتی بالغ بر ۲۳۸ هزار کیلومترمربع دارد حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. در شکل (۱) نقشه استان مازندران و موقعیت شهرستان ساری در آن مشخص شده است.

ساری از لحاظ وسعت بزرگ‌ترین شهرستان استان مازندران محسوب می‌شود. این شهرستان با استان سمنان، شهرستان‌های نکا، جویبار، قائمشهر و سوادکوه همسایه می‌باشد. شهر ساری به عنوان مرکز استان، دارای نقش سیاسی، اداری و خدماتی می‌باشد. نقش شهر ساری در طرح کالبدی گیلان و مازندران به عنوان عملکرد اصلی صنعتی سطح یک، خدمات کشاورزی سطح یک و تجاری منطقه‌ای و در طرح کالبدی ملی از نظر سطح‌بندی به عنوان پایتخت منطقه‌ای سطح یک معرفی شده است.



شکل ۱- نقشه تقسیمات سیاسی استان مازندران و شهرستان ساری (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱)

است که برای پیش‌بینی مقادیر متناظر مشخصه‌های BODeff، CODeff و TSSeff در پساب خروجی تصفیه‌خانه به کار برده شد. داده‌ها به صورت میانگین روزانه، هفتگی و ماهانه بررسی شدند. بر طبق نتایج، عملکرد داده‌های ماهانه در مدل‌سازی پارامترهای کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه تبریز وضعیت بهتری داشتند. امامی و چوپان (۱۳۹۹) با استفاده از روش‌های نوین هوش مصنوعی، کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت سلماس را بررسی کردند. در این پژوهش با به‌کارگیری دو مدل شبکه عصبی مصنوعی RBF و GFF، کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت سلماس پیش‌بینی و برآورد شد. جهت دستیابی به این هدف، از داده‌های کیفی آب زیرزمینی مربوط به دشت سلماس در دوره آماری ۱۰ ساله (۹۰-۱۳۸۱) استفاده شد و نتایج بر اساس استانداردهای ویلکاکس، شولر و پایپر بررسی شد. براساس نتایج، تمامی منابع آبی منطقه مورد مطالعه، به‌ترتیب برای کشاورزی، شرب و صنعت در حد مناسب، خوب و قابل قبول بوده است. (Alam و همکاران، ۲۰۲۲) آخرین یافته‌ها درخصوص کاربرد هوش مصنوعی در تصفیه آب برای بهینه‌سازی و اتوماسیون فرآیندهای جذب را بررسی نمودند. این بررسی تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی و کاربردهای آن در تصفیه آب را با تمرکز بر جذب آلاینده‌ها خلاصه می‌کند. مدل‌های متعدد هوش مصنوعی عملکرد جاذب‌های مختلف را برای حذف آلاینده‌های متعدد از آب با موفقیت پیش‌بینی کرده‌اند. این بررسی همچنین برخی از چالش‌ها و شکاف تحقیقاتی در مورد کاربردهای هوش مصنوعی در تصفیه آب را ارائه نموده و توصیه‌هایی برای اطمینان از کاربردهای موفق هوش مصنوعی در فناوری‌های مرتبط با آب در آینده ارائه شده است. (Taşan، ۲۰۲۳) کیفیت آب‌های زیرزمینی را با استفاده از ادغام شاخص کیفیت آب، روش‌های هوش مصنوعی و GIS در منطقه مدیترانه مرکزی در کشور ترکیه برآورد نمود. برای این منظور نمونه‌های آب زیرزمینی از ۳۷ ایستگاه نمونه‌برداری مختلف جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شد. از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) برای پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب آبیاری استفاده شد. نتایج نشان داد برآورد تمامی پارامترهای کیفی آب آبیاری، مدل ANN در مقایسه با مدل ANFIS عملکرد بسیار بالاتری داشته است و در نهایت نقشه‌های توزیع مکانی برای شاخص‌های کیفیت آب آبیاری اندازه‌گیری شده و خروجی مدل ANN با استفاده از روش درونیابی IDW تولید شد. Rizal و Hayder (۲۰۲۳) پیش‌بینی تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی پساب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از یادگیری ماشین و رابط کاربر پسند را ارائه دادند. در این مطالعه، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی (BODeff) با استفاده از چندین متغیر پساب توسعه

• مبانی نظری

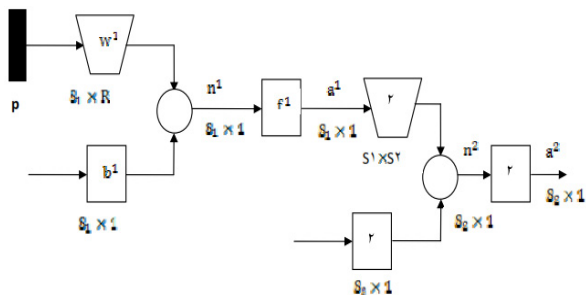
- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل آزاد مبتنی بر داده‌های تجربی هستند که نیاز به برقراری هیچ پذیره‌ای ندارند و با پردازش بر روی داده‌های تجربی گردآوری شده، دانش یا قانون نهفته در ارزیابی داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند.

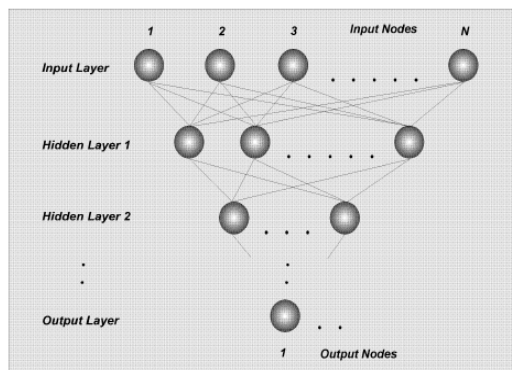
به‌منظور تحلیل میزان بهره‌وری مصرف آب در هر یک از بخش‌های مورد نظر، از قابلیت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل روش‌های پرسترون چند لایه و روش تئوری مویک در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد. علاوه‌براین، به‌منظور بررسی بیشتر به‌صورت موردی از سایر نرم‌افزارها و همچنین رویکردها در ارزیابی‌های ارائه شده بهره‌برده شد. ساختار عصب مصنوعی از ترکیب نرون‌ها به‌وجود آمده است. هر نرون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. شبکه‌های عصبی معمولاً ساختار تک‌لایه و چندلایه دارند. در این پژوهش از ساختار چند لایه استفاده شده که مورد بررسی اجمالی قرار می‌گیرد.

یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها می‌باشد. رفتار شبکه نیز به ارتباط بین اعضا وابسته است. در حالت کلی، در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه نرونی وجود دارد: لایه ورودی: لایه ورودی شبکه عصبی وظیفه توزیع مقادیر داده‌های ورودی به اولین لایه مخفی را بر عهده دارند. تعداد گره‌های لایه ورودی برابر با تعداد مقادیر داده‌های ورودی به مدل می‌باشد. لایه‌های پردازشگر مخفی: عملکرد این لایه‌ها به وسیله ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌کنند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود. انتخاب تعداد لایه‌های مخفی و تعداد گره‌های مخفی در هر لایه مساله ناچیزی نیست. ساختار پردازش مخفی شبکه عصبی اختیاری می‌باشد، اما عوامل زیادی در انتخاب ساختار نقش دارند که شامل کمیت نمونه‌های آموزش، تعداد گره‌های ورودی و خروجی و روابط بین داده‌های ورودی و خروجی می‌باشند. لایه خروجی: لایه‌ای که خروجی آن، خروجی نهایی شبکه باشد، به لایه خروجی موسوم است. عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی می‌باشد. در شکل (۲) شمایی از شبکه مویکی که شامل یک لایه میانی می‌باشد، مشخص شده است. در شکل (۳) نیز شبکه عصبی مصنوعی و لایه‌های ورودی، میانی و خروجی نشان داده شده است.

لازم به ذکر است، شبکه‌های عصبی چند لایه نسبت به شبکه‌های عصبی تک لایه توانایی بیشتری دارند، لذا در این تحقیق شبکه عصبی چند لایه استفاده شد.



شکل ۲- شبکه پیش‌خور دولایه (kisi و cimen، ۲۰۱۲)



شکل ۳- طراحی توپولوژی شبکه‌های عصبی

مصنوعی (kisi و cimen، ۲۰۱۲)

- شبکه مویک

مویک‌ها توابع خاص ریاضی با خواصی منحصر به فرد هستند که امکان پردازش و آنالیز داده‌ها را با گستردگی فراوان در سطوح مختلف دقت در زمان واحد فراهم می‌سازند. یک مویک، مویکی است که بقا زمانی محدود و متوسط صفر دارد. مویک‌ها قابلیت جداسازی و تجزیه یک سیگنال به بسته‌های مختلف فرکانسی در بعد زمان را دارند.

مویک به معنی موج کوچک است و سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر دارند. این سه ویژگی شرط لازم برای این است که تابعی بتواند به عنوان تبدیل مویک عمل کند که شرط مقبولیت نامیده شده و به صورت زیر بیان می‌شود (kisi و cimen، ۲۰۱۲):

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $\psi(t)$ تابع مویکی می‌باشد.

به‌منظور تحلیل و تعیین میزان بهره‌وری مصرف آب در هر یک از بخش‌های مورد نظر، از قابلیت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل روش‌های پرسپترون چندلایه و روش شبکه مویک در محیط نرم‌افزار متلب بهره‌گرفته شد. داده‌های مورد نظر از شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب استان مازندران در دوره آماری موجود (۱۳۷۵-۱۳۹۸) دریافت شده و پس از اعمال اصلاحات آماری، استفاده شد.

• شبکه آبرسانی

به منظور ارزیابی شرایط حاکم بر شبکه آب شرب، بخشی از خروجی تصفیه‌خانه آب شهر ساری (واقع در منطقه هولار-روستای سلیم بهرام) در نظر گرفته شده است. انتقال سالیانه ۳۳ میلیون مترمکعب (متوسط ۱ مترمکعب در ثانیه) آب از سد شهید رجایی به تصفیه‌خانه آب شهر ساری (واقع در منطقه هولار-روستای سلیم بهرام) و ساخت تصفیه‌خانه به ظرفیت مفید ۱/۵ مترمکعب در ثانیه برای تامین آب شهروندان شهر ساری تا سال افق طرح (۱۴۰۵) از اهداف این خط انتقال می‌باشد. شبکه فاضلاب شهر ساری و داده‌های مربوط به ورودی و خروجی آن به منظور ارزیابی تصفیه‌خانه فاضلاب بررسی شد. همچنین ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی آب زیرزمینی نیز در محدوده دشت ساری - دشت ناز و با استفاده از داده‌های تحلیل شده برای این محدوده صورت گرفت. بررسی مقادیر فشار و سرعت در نقاط مختلف شبکه باتوجه به موقعیت قرارگیری مخازن، ظرفیت، رقوم ارتفاعی، موقعیت شیرهای قطع و وصل، شیرهای فشاری و ... صورت گرفته و ارزیابی‌ها حاکی از آن است که عامل توپوگرافی، موقعیت مناسب قرارگیری شیرهای مختلف (از جمله شیرهای هوادهی) نقش مهمی در توزیع مناسب فشار در شبکه و همچنین یکنواختی آن خواهد داشت. به طور کلی همواره در یک شبکه آبرسانی به دلایل مختلف از جمله کاربرد تاسیسات و وجود اتصالات (زانویی‌ها و ...)، پدیده ضربه قوچ اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. نکته قابل توجه این است که مقادیر تغییرات سرعت به گونه‌ای کنترل شود که مقدار آن به حدی بحرانی نرسیده و فشار منفی که منجر به تشکیل حباب می‌شود، رخ ندهد. بررسی گره‌های حاصل از تحلیل پارامترهای هیدرولیکی در نرم‌افزار WaterGems حاکی از آن است که گستره فشار باتوجه به اثرگذاری رقوم توپوگرافی و همچنین عملکرد شیرهای کنترلی شامل شیرهای فشارشکن، زون‌بندی، شیرهای هواگیری و جلوگیری از بروز خلا متغیر بوده و بیشترین فشارها در محل خروجی جریان از مخازن یا محدوده‌های با رقوم بالا رخ می‌دهد.

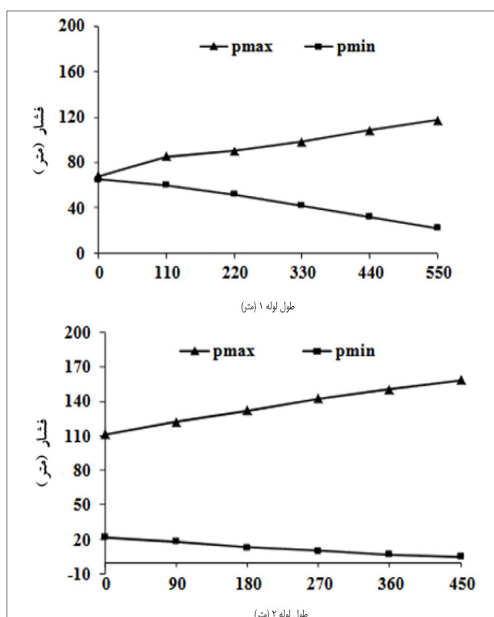
باتوجه به اینکه امکان تحلیل و بررسی فشار در مجاورت تمام تجهیزات و شیرآلات نصب شده خارج از هدف انجام این پژوهش است، بنابراین در این پژوهش خصوصیات عملکرد فشاری و تغییرات خصوصیات بار آبی مبتنی بر زمان که مولفه اصلی و موثر در بررسی پدیده ضربه قوچ می‌باشد ارزیابی شد. این امر با رویکرد بررسی بهره‌وری شبکه در انتقال آب صورت خواهد پذیرفت. مدل‌سازی فرآیند ضربه قوچ با باز و بسته شدن شیرهای مورد بررسی اعمال شد. به این منظور در شبکه مورد مطالعه در بخشی از خط انتقال جریان آب که دارای طول مناسب جهت شکل‌گیری

جریان کامل بوده و در فواصل حدوداً ۵۰۰ متری شیرهای قطع و وصل بر روی آن‌ها تعبیه شده بود انتخاب و تحلیل‌ها در این ناحیه اعمال شد. به این ترتیب حداکثر فشار در محل شیر رخ داده و مقدار آن ۱۶۸ متر و حداقل فشار نیز در محل شیر رخ داده و مقدار آن تقریباً برابر با صفر می‌باشد (شکل ۵). در شکل (۴) پوش سرعت بیشینه و کمینه در طول دو لوله دارای شرایط بحرانی بر حسب تغییرات سرعت در طول لوله، شکل (۵) تغییرات فشار-زمان در محل شیر اول و شکل (۶) پوش فشار در لوله‌ها در محل شیر اول را مشخص می‌نماید.

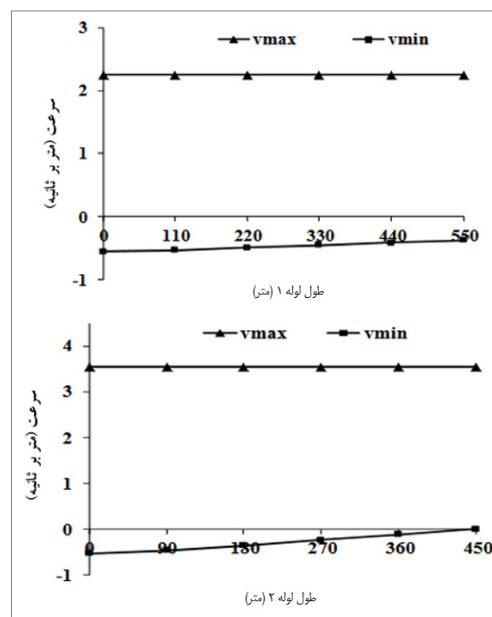
در شکل (۶)، حداکثر فشار قبل از بسته شدن کامل شیر اول رخ داده و پس از بسته شدن شیر، تغییرات فشار رفتار نوسانی داشته و دامنه آن به طور نامحسوسی با گذر زمان کاهش می‌یابد. در عمل، محل شیرها به طور طبیعی زمینه مساعدی برای وقوع انواع حالات رخداد ضربه قوچ می‌باشد. بررسی دوم مربوط به ارزیابی خصوصیات مشابه در محل شیر دوم با فشار ۱۶۰ متر صورت پذیرفت. نمودارهای آن‌ها حاصل از تحلیل‌ها در شکل‌های (۷) و (۸) مشخص شده است.

حداکثر مقدار فشار در شیر سوم ۱۵۲ متر بوده و ارزیابی پارامترهای مربوط به آن منجر به ایجاد نمودارهای حاصل در شکل‌های (۹) و (۱۰) شد. در شکل (۹) مشاهده می‌شودست به دلیل ایجاد تغییر سرعت ناشی از بستن شیر سوم، پدیده ضربه قوچ در محل لوله دوم به صورت مقطعی رخ داده و وقوع فشار منفی که مشخصه اصلی آن می‌باشد، ناشی از این امر می‌باشد. مقایسه پارامترهای مربوط در شیرهای دوم و سوم حاکی از آن است که حداکثر فشار در محل هر یک به ترتیب برابر با ۱۶۰ و ۱۵۲ متر بوده و باتوجه به کاهش تقریبی مقدار فشار نسبت به شیر اول، از دامنه نوسانی تغییرات نمودار فشار زمان نیز کاسته خواهد شد.

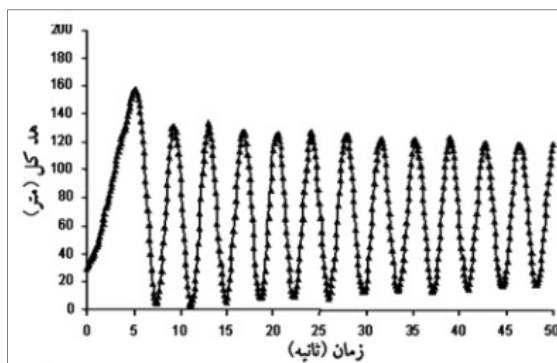
خروجی‌های حاصل از تحلیل فشار در شبکه آبرسانی شهر ساری با استفاده از نرم‌افزار WaterGems به عنوان ورودی‌های کد نوشته شده مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر تحلیل و ارزیابی کلی شبکه از نظر تغییرات فشار و دامنه مقادیر مشخص، عمده تمرکز بر بررسی خصوصیت جریان در محل شیرها به دلیل محتمل‌ترین محل بروز پدیده ضربه قوچ می‌باشد. به همین منظور، مطابق با فرآیند تحلیل با استفاده از نرم‌افزار WaterGems، روند پژوهش مبتنی بر این امر در محل شیر اول که شرایط بحرانی دارد نیز تحلیل شد. نکته قابل توجه در این مورد این است که با استفاده از روش هوش مصنوعی، مقدار قطر بهینه و ضخامت مناسب لوله متناسب با خصوصیات حداقل و حداکثری فشار نیز لحاظ می‌شود تا به این ترتیب امکان اطمینان از بروز نتایج مخرب ضربه قوچ به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد. در شکل (۱۱) نمودار پوش فشار در لوله‌ها و همچنین در شکل (۱۲) تغییرات نمودار فشار-زمان در محل شیر نمایش داده شده است.



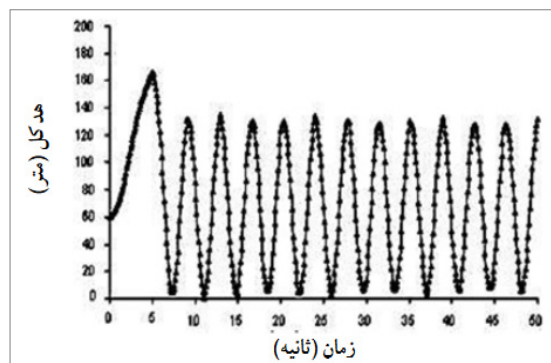
شکل ۷- نمودار پوش فشار در لوله‌ها در محل شیر دوم



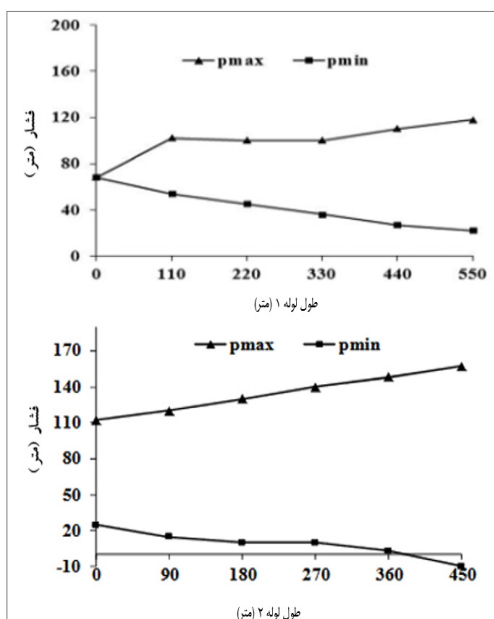
شکل ۴- نمودار پوش سرعت در لوله‌ها در محل شیر اول



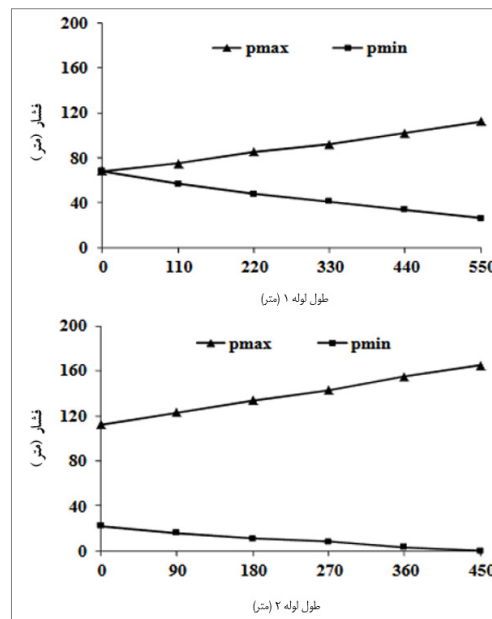
شکل ۸- نمودار تغییرات فشار-زمان در محل شیر دوم



شکل ۵- نمودار تغییرات فشار-زمان در محل شیر اول



شکل ۹- نمودار پوش فشار لوله‌ها در محل شیر سوم



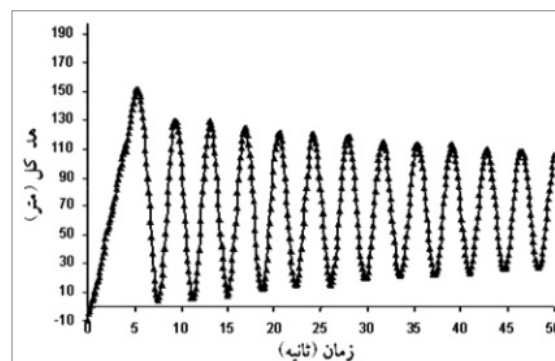
شکل ۶- نمودار پوش فشار در لوله‌ها در محل شیر اول

• آب‌های زیرزمینی

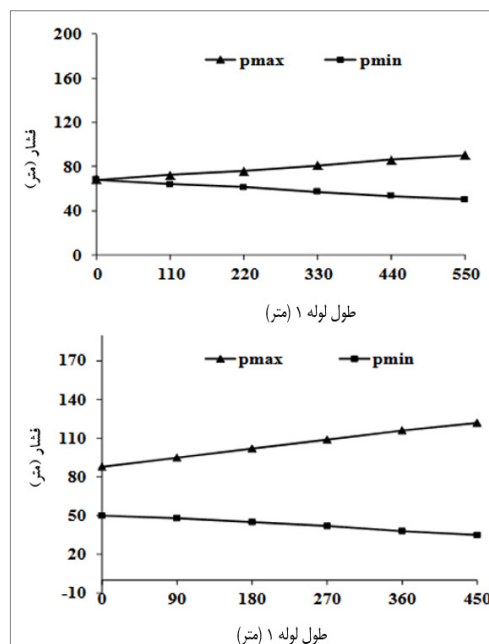
روش‌های مبتنی بر زمین آمار و شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین شرایط کیفی و تعیین میزان بهره‌وری از آبخوان نقش ارزشمندی خواهند داشت. برخی از پارامترهایی که در منطقه بر کیفیت آب آبخوان تاثیرگذار هستند در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است که در ادامه نتایج حاصل از تحلیل تعدادی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار در آب‌های زیرزمینی شامل آنیون، کاتیون، کلسیم، هدایت الکتریکی و pH با استفاده از دو شبکه عصبی و موجک در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) ارائه شده است. همچنین نتایج تحلیل آماری یافته‌ها در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است.

• تصفیه‌خانه فاضلاب

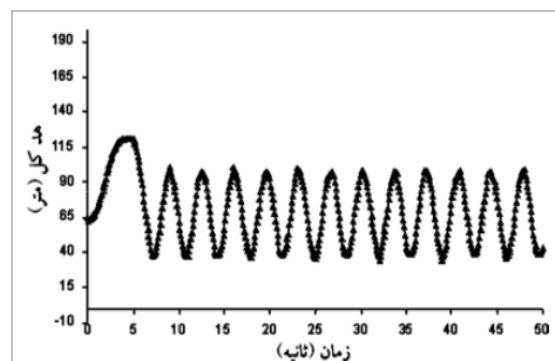
ازجمله پارامترهای معمولی که برای ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد توجه قرار می‌گیرد؛ میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)، میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، فسفر، مجموع مواد جامد معلق (TSS) و NH_4 پس‌اب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها است. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر باتوجه به موقعیت محدوده مورد مطالعه، پارامترهایی از جمله فسفر، NH_4 ، BOD_5 و TSS که بیشترین تاثیر در عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری دارند، در شبکه عصبی و موجک در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) بررسی شدند. همچنین در جدول‌های (۳) و (۴) تحلیل آماری یافته‌ها ارائه شده است. در تحلیل‌های صورت گرفته، برحسب بهترین نتیجه به دست آمده نوع توابع تغییر داده شده است.



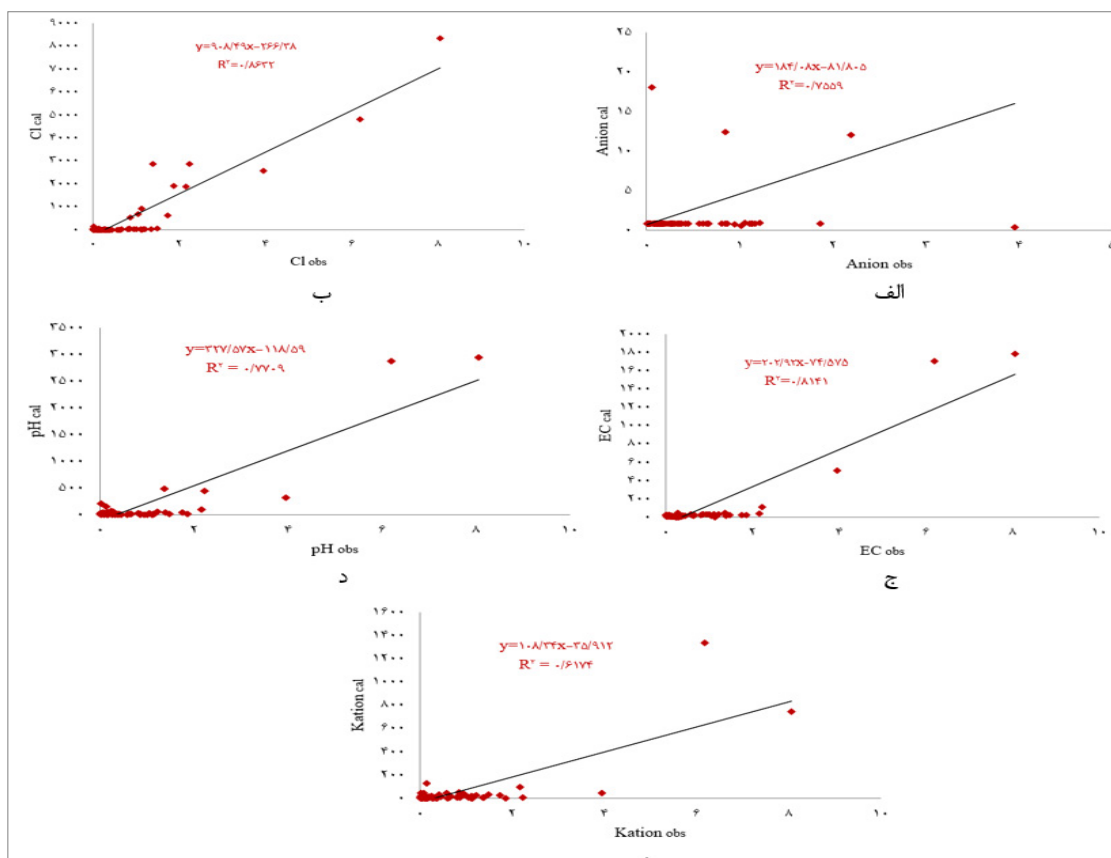
شکل ۱۰- نمودار تغییرات فشار-زمان در محل شیر سوم



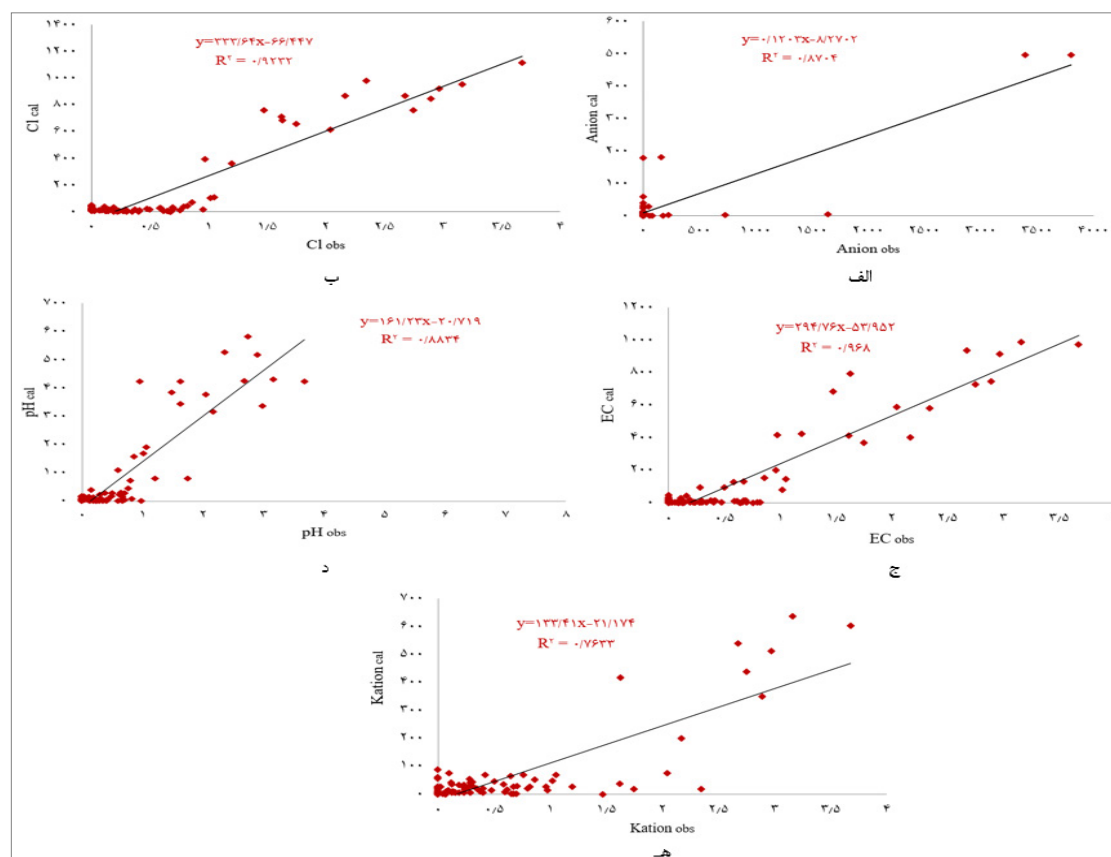
شکل ۱۱- نمودار پوش فشار در لوله‌ها مطابق با الگوریتم هوش مصنوعی



شکل ۱۲- نمودار تغییرات فشار-زمان منطبق با نتایج الگوریتم هوش مصنوعی



شکل ۱۳- تغییرات (الف) آنیون، (ب) کلسیم، (ج) هدایت الکتریکی، (د) pH و (هـ) کاتیون محاسباتی نسبت به مقدار مشاهداتی در شبکه عصبی مصنوعی



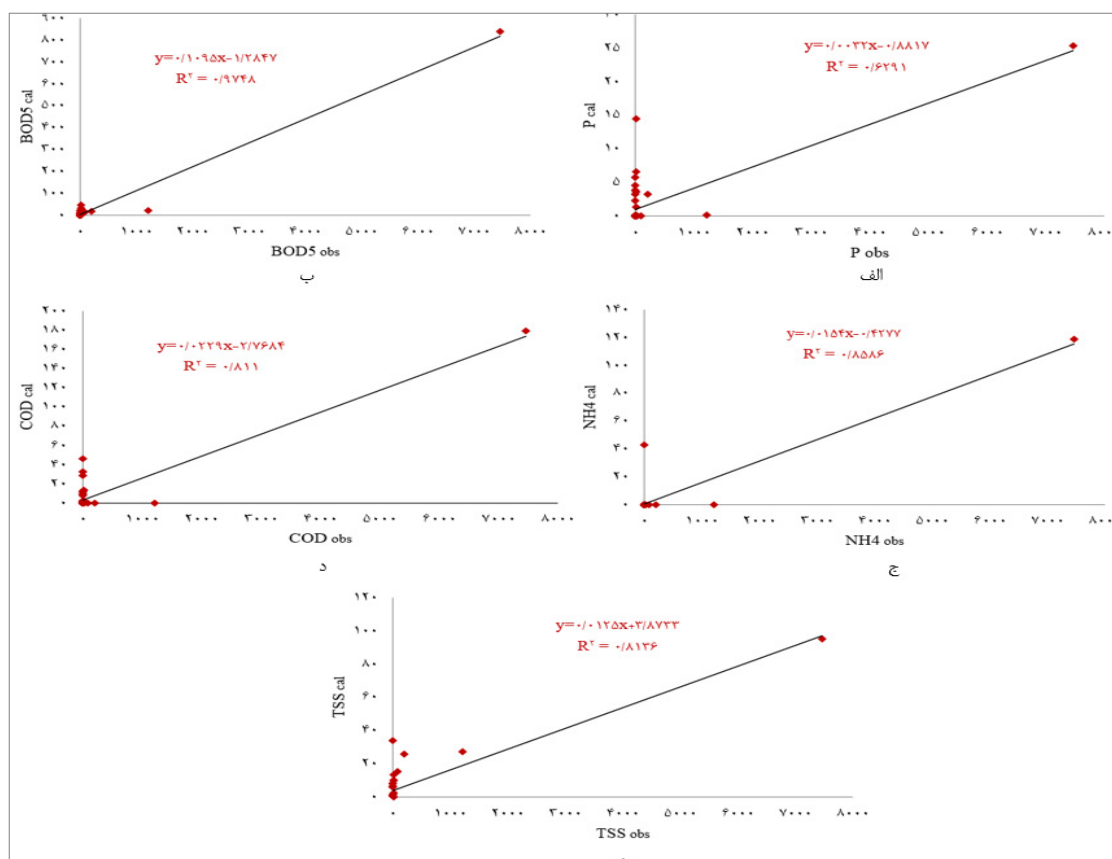
شکل ۱۴- تغییرات (الف) آنیون، (ب) کلسیم، (ج) هدایت الکتریکی، (د) pH و (هـ) کاتیون محاسباتی نسبت به مقدار مشاهداتی در شبکه موجک

جدول ۱- نتایج تحلیل آماری مربوط به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی براساس شبکه عصبی مصنوعی

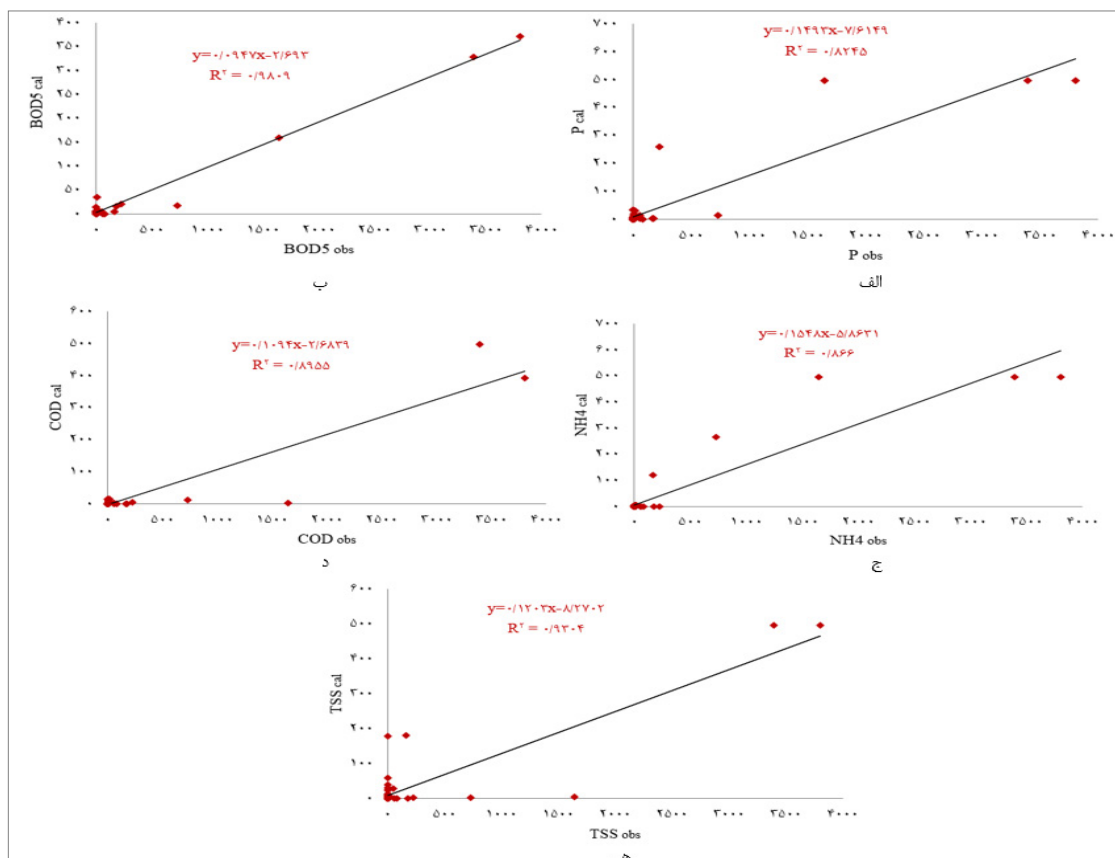
ردیف	متغیر ورودی	نام مدل	تعداد نرون‌ها	تابع انتقالی مخفی/لایه خروجی	R ² (%)	RMSE	MAE
۱	آنیون (mg/l)	ANN	۱۵	Logsig logsig	۷۵	۵/۷	۶۲/۸
۲	کلسیم (mg/l)	ANN	۲۰	Logsig logsig	۸۶	۵/۶	۱/۹
۳	هدایت الکتریکی (μs/cm)	ANN	۱۶	Logsig logsig	۸۱	۱/۳	۳/۶
۴	pH	ANN	۱۸	Tansig logsig	۷۷	۴/۲	۱/۸
۵	کاتیون (mg/l)	ANN	۱۱	Tansig logsig	۶۱	۵/۳	۱/۴

جدول ۲- نتایج تحلیل آماری مربوط به شبیه‌سازی پارامترهای کیفی آب زیرزمینی براساس شبکه موجک

ردیف	متغیر ورودی	نام مدل	تعداد نرون‌ها	تابع انتقالی مخفی/لایه خروجی	R ² (%)	RMSE	MAE
۱	آنیون (mg/l)	ANN	۱۵	Tansig logsig	۸۷	۶/۵	۹۴/۸
۲	کلسیم (mg/l)	ANN	۲۰	Tansig logsig	۹۲	۵/۶	۳/۲
۳	هدایت الکتریکی (μs/cm)	ANN	۱۶	Tansig logsig	۹۶	۳/۹	۲
۴	pH	ANN	۱۸	Tansig logsig	۸۸	۳/۶	۱/۹
۵	کاتیون (mg/l)	ANN	۱۱	Tansig logsig	۷۶	۴/۳	۲/۲



شکل ۱۵- تغییرات (الف) فسفر، (ب) BOD₅، (ج) NH₄، (د) COD و (ه) TSS نسبت به مقدار مشاهداتی در شبکه عصبی



شکل ۱۶- تغییرات (الف) فسفر، (ب) BOD₅، (ج) NH₄، (د) COD و (هـ) TSS نسبت به مقدار مشاهداتی در شبکه مویک

جدول ۳- نتایج تحلیل آماری شبیه‌سازی شرایط تصفیه‌خانه فاضلاب براساس شبکه عصبی مصنوعی

ردیف	متغیر ورودی	نام مدل	تعداد نوروها	تابع انتقالی مخفی/لایه خروجی	R ² (%)	RMSE	MAE
۱	فسفر	ANN	۱۵	Tansig logsig	۸۲	۳۸/۹	۱۰۹/۷
۲	BOD ₅	ANN	۲۰	Tansig logsig	۹۸	۱۵/۳	۱۲/۵
۳	NH ₄	ANN	۱۶	Tansig logsig	۸۶	۱۳	۱۷/۷
۴	COD	ANN	۱۸	Tansig logsig	۸۹	۱۵/۴	۱۳/۶
۵	TSS	ANN	۱۱	Tansig logsig	۹۳	۱۸/۲	۱۵/۱

جدول ۴- نتایج تحلیل آماری شبیه‌سازی شرایط تصفیه‌خانه فاضلاب براساس شبکه مویک

ردیف	متغیر ورودی	نام مدل	تعداد نوروها	تابع انتقالی مخفی/لایه خروجی	R ² (%)	RMSE	MAE
۱	فسفر	ANN	۱۵	Logsig logsig	۶۲	۲۰/۱	۵۲/۸
۲	BOD ₅	ANN	۲۰	Logsig logsig	۹۷	۱۲/۵	۱۰
۳	NH ₄	ANN	۱۶	Logsig logsig	۸۵	۹/۸	۱۳/۴
۴	COD	ANN	۱۸	Tansig logsig	۸۱	۱۴/۷	۱۱/۴
۵	TSS	ANN	۱۱	Tansig logsig	۸۱	۱۵	۱۳/۶

کلسیم، کاتیون، pH و هدایت الکتریکی با استفاده روش شبکه عصبی ANN و موجک صورت گرفت. مطابق با نتایج به‌دست آمده، شبکه موجک در برآورد متغیرهای مورد نظر نسبت به روش ANN عملکرد بهتری دارد. به‌طور کلی، مبنای روش شبکه موجک مبتنی بر تحلیل بهتر در کاربرد قواعد در ساختار شبکه‌های مشابه می‌باشند، لذا عملکرد بهتری دارند. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد مدل‌های استفاده شده توانسته‌اند با کارایی بالایی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی را در محدوده مورد نظر تعیین نمایند.

- خش تصفیه فاضلاب

در خصوص پژوهش حاضر، تحلیل پارامترهای موثر در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر ساری با دو روش شبکه عصبی و موجک تحلیل و ارزیابی شد. نتایج اجرای این مدل‌ها نشان داد باتوجه به بالا بودن مقدار آماره R^2 ، رابطه قابل قبولی بین مشخصه‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده برقرار است. عوامل کیفی برآوردی از مدل در اکثر موارد همخوانی مناسبی با مقادیر مشاهداتی داشته است. این نتایج بیان‌کننده برتری مدل موجک در این پژوهش می‌باشد. یکی از نکات حائز اهمیت، بالا بودن میزان فسفر در فاضلاب ورودی می‌باشد، زیرا به‌طور کلی در شهرهای ساحلی به دلیل شرایط خاص حاکم، میزان مصرف ماهی قابل توجه بوده و لذا ضرورت دارد تا در فرآیند تصفیه فاضلاب، حذف میزان مضر این عنصر مورد توجه قرار گیرد. اجرای هر چه بهتر مدل به تعداد مناسب مشخصه‌های ورودی نیز بستگی دارد، توجه به پارامترهای مهم در کاربرد روش‌های مورد نظر در به‌کارگیری یک شبکه عصبی با پنج مولفه ورودی TSS، COD، BOD، فسفر و نیترات در تصفیه‌خانه فاضلاب، خروجی‌های به‌دست آمده در جداول ارائه شد. از طرفی در بیشتر نمودارهای به‌دست آمده دامنه شیب خطوط برازش یافته در شکل‌ها بین ۰/۹ تا ۱ است که بیانگر عملکرد مناسب شبکه عصبی در شبیه‌سازی است. علت عملکرد مناسب مدل را می‌توان به هوشمند بودن فرآیند تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌های مناسب و انتخاب مشخصه‌های مؤثر در فاضلاب نسبت داد. به‌طوری‌که مدل طی فرآیند آموزش با ایجاد روابطی منطقی میان نگاشت‌های ورودی و خروجی از آن برای محاسبه داده‌هایی که در امر آموزش شبکه به کار نرفته‌اند استفاده می‌کند. در نهایت شبکه هوش مصنوعی در این مطالعه توانست با آرایش ۱۰-۱۲-۱۰ (۱۰ ورودی، ۱۲ نرون و ۱۰ خروجی) هر ۳ پارامتر هدف را به طور جداگانه با موفقیت برآورد نماید. باتوجه به نتایج حاصل از این مطالعه از آنجا که راندمان حذف TSS در تصفیه‌خانه در حد مطلوبی است و راندمان حذف BOD و COD پساب خروجی با استاندارد دفع پساب فاصله کمی

کاربرد هوش مصنوعی در صنعت آب به ویژه پارامترهای مورد نظر در این پژوهش که شامل شبکه توزیع آب، تصفیه فاضلاب و آب‌های زیرزمینی می‌باشد، بیش از چیزی است که اغلب افراد تصور می‌کنند. با ورود هوش مصنوعی به این صنعت نه تنها مدیریت آب تا حد زیادی بهبود پیدا می‌کند، بلکه راهکاری برای بالا بردن راندمان و بهره‌وری نیز به شمار می‌رود.

- شبکه توزیع آب

هدف اصلی از انجام این پژوهش ارائه و مقایسه روش‌های تحلیل حاصل از کاربرد نرم‌افزار WaterGems و نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های مبتنی بر شبکه عصبی و موجک در قالب نرم‌افزار متلب بوده است. مزیت عمده کاربرد روش هوش مصنوعی این است که قطر و ضخامت بهینه در لوله‌ها اعمال شده تا پدیده ضربه قوچ رخ ندهد. علاوه بر این، نتایج حاصل از به‌کارگیری روش شبکه عصبی مشخص نمود که دامنه نوسانات وقوع ضربه قوچ به دلیل کنترل مستمر و سریع آن باتوجه به بهینه شدن ابعاد فیزیکی عوامل موثر، کاهش چشمگیری می‌یابد. عمده تمرکز این بخش از پژوهش بر ارزیابی ضربه قوچ در محل وجود برخی از اتصالات که در معرض فشار جریان می‌باشد صورت گرفته، فشار زیاد، به‌نحوی که در حالت بسته بودن منجر به ایجاد بار آبی زیادی شده و امکان وقوع ضربه قوچ را افزایش می‌دهند. علاوه بر این نتایج تحلیل پارامترهای هیدرولیکی نشان داد باوجود زیاد بودن فشار در برخی مقاطع (بیش از ۱۰ بار)، به دلیل اثرگذاری رقوم ارتفاعی، تاثیر مثبت در وقوع ضربه قوچ برای شبکه چندان مشکل‌ساز نبوده و امکان کنترل آن با استفاده از تجهیزاتی مانند شیر فشارشکن، استفاده از قطر بالاتر و ... وجود خواهد داشت. به‌طور کلی، عدم توجه به مسائل عملیاتی، منجر به تاثیر قابل توجه فشار در میزان هدررفت منابع آب در شبکه‌های توزیع آب خواهد شد. در این پژوهش مشخص شد که فرسوده بودن شبکه توزیع آب مورد مطالعه نقش بسزایی در تلفات شامل آب‌دزدی، هدررفت و کاهش بهره‌وری آن دارد، به نحوی که حدود ۴۷ درصد آب ورودی به شبکه به طرق مختلف از دسترس خارج شده و به مصرف مورد نظر نمی‌رسد.

- آب‌های زیرزمینی

باتوجه به اینکه پیش‌بینی و تعیین کیفیت آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت آب زیرزمینی نقش بسزایی دارد، در این پژوهش سعی شد از مدل‌های شبکه عصبی با توابع مختلف برای مدل‌سازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده شود، در این پژوهش، شبیه‌سازی متغیرهای کیفی آب زیرزمینی شامل آنیون،

دارد، می‌توان با اندیشیدن تدابیری مانند بهره‌برداری بهتر و راه‌اندازی هوادهای معیوب، استاندارد دفع پساب تصفیه‌خانه را به استاندارد دفع پساب جهت آب‌های سطحی رساند و به این طریق انعطاف‌پذیری عملکرد تصفیه‌خانه و ایمنی کیفی تصفیه‌خانه را بالا برد. این مسئله وقتی نمود بهتری پیدا می‌کند که در نظر داشته باشیم دفع پساب جهت مصارف کشاورزی در مقاطع خاصی از سال امکان‌پذیر است. کاهش آلاینده‌های BOD, COD, TSS می‌تواند به واسطه دما، pH و فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی محیط باشد. مشخصه دما از طریق تأثیرگذاری بر عوامل تجزیه و مشخصه pH با نقش در میزان حلالیت ترکیبات موجود در فاضلاب سبب حذف آلاینده‌ها می‌شود. می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که سیستم مورد استفاده در این تصفیه‌خانه کارآمد بوده و پساب تولیدی از نظر پارامترهای مورد مطالعه با استانداردهای رایج در ایران مطابقت داشته و قابلیت استفاده مجدد در مصارف کشاورزی و با ارتقاء بیشتر کیفیت پساب، قابلیت تخلیه به آب‌های پذیرنده را دارد. به‌طورکلی، باتوجه به اینکه بخش عمده‌ای از پساب خروجی عمدتاً به سمت آب‌های سطحی و دریا هدایت می‌شود، ضرورت دارد تا استانداردهای تخلیه به دریا مورد توجه قرار گیرد. ارزیابی کلی بیانگر آن است که میزان بهره‌وری سامانه تصفیه‌خانه مورد نظر حدود ۴۱ درصد می‌باشد که می‌تواند قابل قبول تلقی شود. ولی ضرورت دارد باتوجه به بهره‌برداری از آن طی سال‌های آتی، تاسیسات جدید جایگزین شده تا میزان بهره‌وری افزایش یابد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مادی و معنوی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح پژوهشی تحت قرارداد به شماره ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ تهیه شده است که به‌این‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسندگان اعلام می‌شود.

منابع

اعلمی، محمدتقی، حجابی، نسیم، نورانی، وحید، و ثاقبیان، مهدی. (۱۴۰۰). بررسی کارایی روش‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی عملکرد تصفیه‌خانه فاضلاب در شهر تبریز. عمران امیرکبیر، ۵۳(۳)، ۱۰۳۳-۱۰۴۸. doi: 10.22060/ceej.2019.16757.6334
امامی، سمیه، و چوپان، یحیی. (۱۳۹۹). استفاده از روش‌های نوین هوش مصنوعی در بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت سلماس. زمین‌شناسی محیط‌زیست، ۱۴(۵۰)، ۳۹-۵۵.
صادقی، حمیدرضا، محمودی، بهروز، و پیشوائی، سامان. (۱۴۰۱).

شیوه‌نامه تعیین و سنجش نماگرهای بهره‌وری استان‌ها. انتشارات سازمان ملی بهره‌وری ایران، تهران، ایران
محمودی، بهروز، صادقی، حمیدرضا، و خاکسار، سمانه (۱۴۰۰). سیمای بهره‌وری ایران، انتشارات سازمان ملی بهره‌وری ایران. تهران، ایران.

وجاهت، جواد، صراف، شادی. (۱۴۰۰). بررسی تأثیرات یکپارچه‌سازی هیدرولیکی و تعیین شاخص تاب‌آوری و بهره‌وری سامانه‌های شبکه توزیع آب. پژوهش‌های مهندسی آب ایران، ۱۱(۱)، ۱۵-۲۵. doi: 10.22034/ijwer.2022.301276.1002

Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, M., & Sillanpää, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. Chemical Engineering Journal, 427, 130011. doi: 10.1016/j.cej.2021.130011

Kisi, O., & Cimen, M. (2012). Precipitation forecasting by using wavelet-support vector machine conjunction model. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25(4), 783-792. doi: 10.1016/j.engappai.2011.11.003

Legg, S., & Hutter, M. (2007). A collection of definitions of intelligence. Frontiers in Artificial Intelligence and applications, 157, 17.

Liu, E., Wen, D., Peng, S., Sun, H., & Yang, Y. (2017). A study of the numerical simulation of water hammer with column separation and cavity collapse in pipelines. Advances in Mechanical Engineering, 9(9), 1687814017718124. doi: 10.1177/1687814017718124

Rizal, N. N. M., & Hayder, G. (2023). Forecasting effluent biochemical oxygen demand in sewage treatment plants using machine learning and user-friendly interface. International Journal of Environmental Research, 17(1), 4. doi: 10.1007/s41742-022-00493-8

Seyoum, A. G., & Tanyimboh, T. T. (2017). Integration of hydraulic and water quality modelling in distribution networks: EPANET-PMX. Water Resources Management, 31, 4485-4503. doi: 10.1007/s11269-017-1760-0

Taşan, S. (2023). Estimation of groundwater quality using an integration of water quality index, artificial intelligence methods and GIS: Case study, Central Mediterranean Region of Turkey. Applied Water Science, 13(1), 15. doi: 10.1007/s13201-022-01810-4

Production of Biosorbents from Citrus Wastes for Adsorption of Pollutants and Salt from Wastewaters

H. Ghorbani Jafarbigloo¹, A. Chackoshian Khorasani^{2*}

1, 2- Ph. D Student and Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: chackoshian@um.ac.ir)

Received: 28-04-2024

Revised: 06-07-2024

Accepted: 03-08-2024

Available Online: 19-12-2024

تولید جاذب‌های زیستی از ضایعات مرکبات برای جذب آلاینده‌ها و نمک از فاضلاب‌ها

هانیه قربانی جعفریگللو^۱، علیرضا چکشیان خراسانی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: chackoshian@um.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

Abstract

One of the most important environmental issues in the world, and especially in Iran, is the accumulation of solid waste because its amount in the gross domestic product and national income is worrying. Solid wastes such as citrus wastes have no economic value and are considered useless. Therefore, it is necessary to use these wastes by providing a suitable method to valorize them. On the other hand, the wastewater of many industries contains a wide range of organic and mineral pollutants. Its cost-effective treatment is necessary to solve the water crisis. The adsorption method using cheap and available biosorbents is one of the most efficient methods for removing pollutants from industrial wastewater. Thus, using citrus wastes and improving their adsorption properties with the physical and chemical treatments, carbonization, and a combination of these methods simultaneously solves the problem of citrus wastes and industrial wastewater. In this review study, different adsorbents obtained from citrus wastes along with their production methods are investigated, and their adsorption behavior is expressed based on isotherm, kinetic, and thermodynamic models. Also, adsorbent regeneration, economic evaluation, and suggestions for the development of this approach are provided.

Keywords: Citrus, Biosorbent, Surface Adsorption, Wastewater, Desalination.

چکیده

یکی از مهمترین مباحث محیط‌زیستی در سطح جهان و به‌ویژه ایران، انباشت ضایعات جامد است زیرا حجم ضایعات تولید ناخالص داخلی و درآمد ملی نگران‌کننده است. ضایعات جامد مانند ضایعات مرکبات ارزش اقتصادی ندارند و غیرقابل مصرف تلقی می‌شوند. بنابراین، استفاده از این ضایعات با ارائه روشی مناسب برای تبدیل آن‌ها به موادی با ارزش افزوده ضروری است. از طرفی، فاضلاب‌های بسیاری از صنایع، حاوی طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های آلی و معدنی است که تصفیه مقرون به صرفه آن‌ها برای حل بحران آب ضروری است. روش جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های زیستی ارزان قیمت و در دسترس یکی از کارآمدترین روش‌های حذف آلاینده‌ها از فاضلاب‌های صنعتی است. بنابراین، استفاده از ضایعات مرکبات و بهبود خواص جذب آن‌ها با کمک تیمارهای فیزیکی و شیمیایی، کربنه‌کردن، و یا ترکیبی از این روش‌ها، سبب حل هم‌زمان معضل ضایعات مرکبات و فاضلاب‌های صنعتی می‌شود. در این مطالعه مروری، جاذب‌های مختلف به‌دست آمده از ضایعات مرکبات به همراه روش‌های تولید آن‌ها بررسی و رفتار جذب آن‌ها براساس مدل‌های ایزوترم، سینتیک، و ترمودینامیک بیان می‌شود. همچنین، روش‌های بازیابی جاذب‌ها، ارزیابی اقتصادی و پیشنهادهایی برای توسعه این رویکرد ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مرکبات، جاذب زیستی، جذب سطحی، فاضلاب، نمک‌زدایی.

زیستی است (Mahato و همکاران، ۲۰۲۰). در کل، صنعتی شدن و شهرنشینی، کاهش آب‌های زیرزمینی، و مدیریت نامناسب منابع، منجر به کمبود آب آشامیدنی شده است. از طرفی، ضایعات جامد تولید شده از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، و خانگی به‌طور مداوم در حال افزایش هستند که جمع‌آوری و دفع بی‌رویه آن‌ها باعث آلودگی خاک، آب یا هوا و ایجاد خطراتی برای سلامت انسان و محیط‌زیست می‌شود.

این مطالعه با هدف ارائه رویکردی برای حل هم‌زمان معضل انباشت ضایعات زیستی و فاضلاب‌های صنعتی، به مرور پژوهش‌های انجام شده بر روی ضایعات مرکبات استفاده شده در تولید جاذب برای حذف آلاینده‌ها و نمک‌زدایی از فاضلاب‌ها می‌پردازد. در این پژوهش، جاذب‌های زیستی تهیه شده از ضایعات مرکبات، برای نمک‌زدایی، حذف مواد آلی و معدنی از فاضلاب‌ها بررسی شدند. همچنین، روش‌های تولید جاذب با استفاده از تیمار فیزیکی و شیمیایی، کربنه کردن، یا ترکیبی از این روش‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند. رفتار جذب براساس مدل‌های ایزوترم، سینتیک، و ترمودینامیک بررسی شد. در نهایت، با ارائه روش‌های بازیابی جاذب و جنبه‌های اقتصادی، دورنگایی برای توسعه صنعتی رویکرد مورد مطالعه ارائه شد.

تصفیه آب

• آلاینده‌های آب و روش‌های جداسازی

آلودگی آب یکی از تهدیدکننده‌ترین مشکلات در سطح جهان است زیرا ذخایر آب شیرین با رنگ‌ها و سایر فاضلاب‌های سمی تخلیه شده توسط فعالیت‌های صنعتی آلوده می‌شوند (Samrot و همکاران، ۲۰۲۲). اکثر فاضلاب‌های طبیعی حاوی میکروارگانیسم‌ها و مواد مغذی هستند که واکنش‌های بیوشیمیایی را آغاز می‌کنند. از دیدگاه شیمیایی، فاضلاب‌ها از اجزای آلی و معدنی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و گریس‌ها، سورفکتانت‌ها، آفت‌کش‌ها، فلزها و ... تشکیل می‌شوند (Gupta و Sharma، ۲۰۱۴). شاخص‌هایی مانند BOD^۱ و COD^۲ برای اندازه‌گیری مقدار بار آلی موجود در آب بررسی می‌شوند. آنالیز اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) برای اندازه‌گیری مصرف اکسیژن در حین تجزیه مواد آلی و اکسیداسیون مواد معدنی، از طریق عوامل اکسیدکننده مانند دی کرومات پتاسیم در زمان کوتاه استفاده می‌شود. از سوی دیگر، آنالیز BOD روش استاندارد برای تعیین غلظت اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه مواد آلی است که در مدت حداقل ۵ روز اتفاق می‌افتد. در کل، آنالیز COD و BOD به‌عنوان دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری برای تعیین مقدار مواد آلی قابل اکسیداسیون با استفاده از فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی مطرح است (Aguilar-Torrejón و همکاران، ۲۰۲۳). توسعه یک روش تصفیه آب کارآمد و امکان‌پذیر برای حذف آلاینده‌های فلزات

فرآیندهای صنعتی و برخی از فعالیت‌های انسانی، مقدار زیادی ضایعات را در قالب مواد آلاینده مانند فلزات سنگین، رنگ‌ها، کودها، مواد شیمیایی فعال دارویی، فاضلاب‌های تولیدی در صنایع باتری و ... تولید می‌کنند. هنگامی که این مواد بدون تصفیه، به آب‌های زیرزمینی یا سطحی تخلیه می‌شود، نه تنها باعث آلودگی و آسیب به اکوسیستم می‌شوند، بلکه اثرات سمی بر سلامت انسان، حیوانات، و محصولات غذایی نیز دارند (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱).

تلاش‌های قابل توجهی توسط پژوهشگران و صنعتگران در توسعه فرآیندهای تصفیه فاضلاب صورت گرفته است. تقاضای آب شیرین امروزه به‌طور قابل توجهی بیشتر از قبل است. براساس گزارش شورای جهانی آب (WWC)^۱، تقریباً ۳/۹ میلیارد نفر روی کره زمین باید تا سال ۲۰۳۰ در مناطق کم آب زندگی کنند. سازمان جهانی بهداشت (WHO)^۲ پیش‌بینی می‌کند که در حال حاضر ۲/۱ میلیارد انسان از آب آشامیدنی سالم و تازه برخوردار نیستند (Rana و همکاران، ۲۰۲۱). ساماندهی آب آشامیدنی به یک نگرانی مهم برای دولت‌ها و هم برای مردم تبدیل شده است. به‌طور کلی، دو دسته منابع آبی وجود دارد، که عبارتند از: منابع آب معمولی (دریاچه‌ها، آب‌های زیرزمینی، و رودخانه‌ها) و منابع آبی نامتعارف (آب دریا، آب‌های شور و ...). (Rana و همکاران، ۲۰۲۱). منابع آبی نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی گفته می‌شود، که از آن‌ها به‌صورت معمول نمی‌توان استفاده کرد. کاهش بارندگی، برداشت زیاد از منابع آب شیرین و تداخل آن با منابع آب شور، استفاده از آب‌های نامتعارف را به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای تامین آب شیرین برای جامعه ضروری کرده است. زیرا ۹۷/۵٪ از کل ذخیره آب روی زمین (۱/۴ میلیارد کیلومتر مکعب) شور است. آب شور و آب دریا نمی‌تواند مستقیماً توسط انسان استفاده شود زیرا حاوی مقدار زیادی نمک محلول است، در نتیجه قبل از مصرف باید تصفیه یا نمک‌زدایی شود (Rana و همکاران، ۲۰۲۱).

مرکبات یکی از محصولات کشاورزی است که میزان تولید بسیاری در سرتاسر جهان دارد و می‌توان آن را در مناطق نیمه گرمسیری در هر دو نیمکره جنوبی و شمالی کشت کرد. پوست و پالپ مرکبات ۴۰ تا ۶۰ درصد از وزن کل مرکبات را تشکیل می‌دهند. تولید جهانی مرکبات $10^6 \times 202$ تن در سال است که منجر به تولید صنعتی بیش از $10^6 \times 23$ تن ضایعات مرکبات (CPW)^۳ می‌شود (عمدتاً پوست، پالپ، دانه و ...). استراتژی‌های مدیریت CPW (به عنوان مثال دفن زباله، سوزاندن) از نظر تأثیرات محیط‌زیستی و کارایی انرژی مشکل‌ساز هستند (Karanicola و همکاران، ۲۰۲۱). در نتیجه، نیاز روزافزون برای تبدیل محصولات جانبی و مازاد کشاورزی به محصولات جدید و مقرون‌به‌صرفه وجود دارد. افزودن ارزش به بقایای فرآوری مرکبات و به‌ویژه میوه‌های کامل که از بازارهای آزاد دور ریخته می‌شوند، نیازمند توسعه مدل‌های جدید پالایشگاه

سنگین، رنگ‌ها، داروها، و ترکیبات معدنی ضروری است (Wu و همکاران، ۲۰۲۲). در حال حاضر روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، و بیولوژیکی برای حذف یا کاهش آلاینده‌های آب و حذف فلزات سنگین از اجسام مختلف محیطی استفاده می‌شوند که عبارتند از: جذب سطحی، رسوب شیمیایی اتم‌ها/یون‌های فلزی، تبادل یونی، تبدیل ردوکس، اسمز معکوس، انعقاد، شناورسازی، الکترودیالیز، اولترافیلتراسیون با استفاده از غشای مناسب، اکسیداسیون شیمیایی، گندزدایی یا ضدعفونی. در برخی از این روش‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد. به عنوان مثال، حذف ناقص، شرایط عملیاتی پیچیده و تولید لجن سمی که سبب نگرانی بیشتری برای دفع می‌شود. اخیراً، قوانین سخت‌گیرانه حفاظت از محیط‌زیست و سیاست‌های دولتی/اداری برای تشویق آگاهی عمومی نسبت به مسائل محیط‌زیستی، پژوهشگران را در سراسر جهان به ابداع روش‌های کارآمد ترغیب کرده است. تجمع فلزات سنگین و رنگ‌ها در فاضلاب یک تهدید محیط‌زیستی پایدار با پیامدهای مخاطرات جدی است که همه موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد و حذف آن‌ها به یک چالش محیطی تبدیل شده است (El Malti و همکاران، ۲۰۲۲). تعداد قابل توجهی از رنگ‌ها به دلیل ساختار شیمیایی پیچیده و زیست تخریب پذیری ضعیف که منجر به تخریب جوامع آبی و همچنین ایجاد بیماری‌های مختلف مانند اختلالات سرطان‌زا، جهش‌زا و آسیب به اندام‌های انسان می‌شود، به بسیاری از روش‌های تصفیه رایج مقاوم هستند. اصلاح سیستم‌های آبی آلوده به رنگ هنوز به عنوان یک چالش بزرگ در نظر گرفته می‌شود که می‌توان با بهره‌برداری و اتخاذ روش‌های کاربردی جدید بر آن غلبه کرد (Khorasani و Shojasodati، ۲۰۱۹a). از بین روش‌های فوق، روش جذب سطحی توسط جاذب‌های زیستی به عنوان یکی از ارزان‌ترین، کارآمدترین و راحت‌ترین روش‌ها نشان داده شده است (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). جذب سطحی فرآیندی است که طی آن برخی از اجزای فاز سیال به سطح یک جاذب سطحی جامد منتقل می‌شوند و یک لایه نازک مولکولی یا اتمی از ماده جذب شونده روی جاذب ایجاد می‌کند. با انتخاب جاذب مناسب در فرآیند جذب سطحی می‌توان کمک مطلوبی به عملکرد جذب و جداسازی آلاینده‌ها از فازهای گاز و مایع نمود. اخیراً توجه زیادی به تهیه جاذب‌های کم‌هزینه، زیست‌شناختی و محیط‌زیستی ایمن شده است (Aichour و Zaghoulane-Boudiaf، ۲۰۲۰). اگرچه، هزینه‌های جداسازی و بازیابی جاذب‌ها بزرگترین مانع برای استفاده از این روش است. از این رو، فناوری‌های بازیابی و جداسازی کارآمد و مقرون به صرفه باید توسعه داده شوند تا امکان استفاده از روش جذب در مقیاس بزرگ فراهم شود (Czarnota و همکاران، ۲۰۱۹).

• نمک‌زدایی

نمک‌زدایی از آب به‌طور کلی به دو روش حرارتی و غشایی تقسیم‌بندی می‌شود که هر دو روش به انرژی نیاز دارند. فناوری

غشایی شامل اسمز معکوس^۶، یون‌زدایی خازنی^۷، نانوفیلتراسیون^۸، الکترودیالیز^۹ و الکترودیالیز معکوس^{۱۰} است؛ و فناوری حرارتی شامل تقطیر خورشیدی^{۱۱}، تقطیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF)^{۱۲}، تقطیر چند مرحله‌ای (MED)^{۱۳}، و تقطیر فشرده‌سازی بخار (VCD)^{۱۴} است (Bharadwaj و همکاران، ۲۰۰۸). نمک‌زدایی یک فرآیند فنی است که به‌طور کلی برای استخراج آب شیرین از آب دریا استفاده می‌شود و اولین بار توسط نیروی دریایی سلطنتی در قرن هجدهم برای افزایش استقلال ناوبری بدون ذخیره آب خالص بیشتر در کشتی‌ها معرفی شد. با این حال، اولین واحد نمک‌زدایی در سال ۱۸۸۵ در اسکاتلند تأسیس شد و Weir Westgarth تنها شرکتی بود که واحدهای نمک‌زدایی را تا جنگ جهانی دوم تأمین می‌کرد (Rana و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهش‌های اخیر در راستای تولید جاذب‌های خورشیدی برای تبخیر آب و شیرین‌سازی آب شور انجام شده است. کریونیزه کردن گونه‌های گیاهی از جمله بامبو، ذرت، ساقه ذرت، پوسته نارگیل، هویج، و باقیمانده میوه (گیلاس، انگور، پرتقال، و سیب) برای تهیه مواد فتوترمال به‌منظور نمک‌زدایی خورشیدی انجام شد. در این پژوهش با افزایش غلظت کربن در ساختار ماده، جذب خورشیدی و سرعت تبخیر بهبود یافت. علاوه بر این، گونه‌های گیاهی مورد استفاده به‌عنوان جاذب‌های گرمایی و خورشیدی شناور، آب را با کمک میکروکانال‌های طبیعی تبخیر می‌کنند. این مواد گیاهی نه تنها کارایی را بهبود می‌بخشند، بلکه مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی نیز دارند (Arunkumar و همکاران، ۲۰۲۲).

جاذب‌های زیستی

به‌منظور حذف آلاینده‌های آب، روش جذب سطحی به‌طور مداوم مورد پژوهش و اجرا قرار می‌گیرد. جاذب‌های متعددی تا به امروز برای حذف آلاینده‌ها از پساب و فاضلاب گزارش شدند. برخی از آن‌ها اکسیدگرافن، آلومینا، ژئولیت، هیدروژل‌ها، آئروژل‌ها، کربن فعال، بیوجار، زغال سنگ نارس، ضایعات لیگنوسولولزی و کشاورزی، MCM-41 و MCA، خاک رس پلیمری، خاک‌های هیومیک، نانوجاذب، SiO_2 مزوحفره، جاذب زیستی و غیره هستند (Yadav و همکاران، ۲۰۲۲؛ Osman و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، هزینه تولید جاذب‌های مصنوعی بسیار بالا است، که استفاده از آن‌ها را محدود می‌کند. این امر باعث افزایش تقاضا برای جاذب‌های زیستی شده است. در شکل (۱) مواد مختلفی مانند زیست توده‌های چوبی و علفی، ضایعات کشاورزی مانند بقایای محصول و جنگل، و ضایعات حیوانی (مانند فلس ماهی، استخوان شتر، پوسته خرچنگ و میگو، پوست تخم‌مرغ و پر مرغ) به‌عنوان جاذب زیستی مشاهده می‌شود. عوامل مؤثری مانند سازگاری با محیط‌زیست، هزینه و منبع زیست توده در انتخاب جاذب زیستی در نظر گرفته می‌شوند (Osman و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر جاذب‌های زیستی رایج، پژوهش‌های

مختلفی برای تولید جاذب‌های زیستی کامپوزیتی با کاربردهای خاص نیز انجام شده است. نانوکامپوزیت پکتین/ نانوالیاف لیگنوسلولز/ نانوالیاف کیتین به‌عنوان یک جاذب زیستی کارآمد برای جذب کلسترول و نمک‌های صفراوی بررسی شد (Khorasani و همکاران، ۲۰۲۱). کامپوزیت مغناطیسی پکتین-کلرلا ولگاریس (MPC-50)^{۱۵} با ترکیبی از ۵۰٪ پکتین و ۵۰٪ کلرلا ولگاریس برای جذب ۹ رنگ مختلف (متیلن بلو^{۱۶}، متیل قرمز^{۱۷}، متیل اورانژ^{۱۸}، تولویدین بلو^{۱۹}، کریستال ویولت^{۲۰}، سافرانین^{۲۱}، O^{۲۲}، بروموتیمول آبی^{۲۳}، بروموفنل^{۲۴}، مالاویت سبز^{۲۵} و مخلوط آن‌ها) از محلول آبی با ظرفیت جذب بالا تهیه شد (Shojaosadati و Khorasani، ۲۰۱۹a). مخلوط بهینه کدو سبز-زنجبیل-کلرلا ولگاریس به‌عنوان یک جاذب خوراکی برای جذب گلوکز، کلسترول، و نمک صفراوی برای بهبود میکروفلور روده‌ای و کاهش خطرات بیماری‌های روده‌ای استفاده شد (Khorasani و Shojaosadati، ۲۰۱۹b).



شکل ۱- طبقه‌بندی جاذب‌های زیستی رایج (Osman و همکاران، ۲۰۲۳)

اخیراً جاذب‌های زیستی به دلیل ظرفیت جذب بالا، هزینه پایین، تجدیدپذیر بودن، تولید لجن کم، در دسترس بودن، ماهیت غیر سمی و دوستدار محیط‌زیست، توجه پژوهشگران را در فرآیند تصفیه فاضلاب در مقایسه با سایر روش‌های گران قیمت به خود جلب کرده‌اند. جذب آلاینده‌ها روی جاذب زیستی به دلیل وجود چندین گروه عاملی فعال مانند COOH ، NH_2 و OH - در سطح آن‌ها مؤثرتر است (Adewuyi، ۲۰۲۰؛ Yadav و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعات مختلفی در زمینه حذف آلاینده‌های آب مبتنی بر جاذب زیستی گزارش شده است که به آن‌ها پرداخته می‌شود. از پوست برنج به‌عنوان جاذب زیستی برای جذب یون‌های مس، کادمیم، و سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۱۰/۹، ۱۶/۷ و ۵۷/۱ میلی‌گرم بر گرم)؛ از کرین فعال برای جذب یون‌های مس و سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۱۳/۸ و ۱۰۹/۳۰ میلی‌گرم بر گرم)؛ از پوست موز برای جذب

یون‌های مس، کادمیم، و سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۵۲/۳۶، ۳۴/۱۳ و ۲۵/۹۱ میلی‌گرم بر گرم)؛ از باگاس نیشکر اصلاح شده برای جذب یون‌های مس، کادمیم، و سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۶۹/۴، ۱۰۶/۴ و ۲۲۲/۲ میلی‌گرم بر گرم)؛ از پوست درخت کاج اصلاح شده برای جذب یون‌های مس، کادمیم، و سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۱۱/۳، ۵/۷ و ۶/۷ میلی‌گرم بر گرم) استفاده شد (Inagaki و همکاران، ۲۰۱۳). ضایعات گل زعفران، ضایعات گوجه‌فرنگی، کاه گندم، بیوچار کاه گندم، و بیوچار کاه گندم آسیاب شده برای جذب یون سرب (به‌ترتیب با میزان جذب ۴۵/۶۲، ۱۵۲، ۴۶/۳۳، ۱۱۹/۵۵ و ۱۳۴/۶۸ میلی‌گرم بر گرم)؛ پوست موز، پوست خیار، و پوست سیب‌زمینی برای جذب رنگ متیلن بلو (به‌ترتیب با میزان جذب ۲۱۱/۹، ۱۷۹/۹ و ۱۰۷/۲ میلی‌گرم بر گرم) بررسی شدند (Yadav و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، چوب ذرت، ضایعات گل آفتابگردان، پوست بادام زمینی، برگ‌های فیکوس، دانه سویا، کاه جو، پوست فندق، پوست بادام، برگ درخت خرما، و تفاله چغندر قند برای جذب یون‌های سرب و کادمیم به‌کار گرفته شدند (Dinh و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی، بیوچار به‌دست آمده از سلولز پوست گردو برای جذب ید از محلول آبی استفاده شد که میزان جذب ۵۵۵/۶۳ میلی‌گرم بر گرم را نشان داد (Satvati و Khorasani، ۲۰۲۴). در مجموع، در میان بسیاری از جاذب‌های ارزان قیمت زیستی مطالعه شده، ضایعات مرکبات می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب، برای تولید جاذب‌های زیستی تصفیه‌کننده آب به حساب می‌آیند.

بررسی رفتار جذب

• ایزوترم جذب

مدل‌سازی ایزوترم یک روش کاربردی برای بررسی رفتار جذب بین جاذب‌ها و آلاینده‌ها در یک محیط تعادلی است. مدل‌های ایزوترم منجر به درک رفتار جذب، و در نتیجه طراحی جاذب مناسب با آلاینده می‌شود. علاوه‌براین، مدل‌سازی ایزوترم می‌تواند بینشی در مورد مکانیسم حذف آلاینده‌ها و حداکثر ظرفیت جذب ارائه دهد. ایزوترم‌های جذب زمانی ارائه می‌شوند یک جاذب و یک ماده جذب شونده برای مدت زمان کافی در دمای ثابت بایکدیگر به تعادل برسند. ایزوترم جذب برای طراحی، بهینه‌سازی، و عیب‌یابی آزمایش‌های جذب بسیار مهم است. مدل‌های ایزوترم جذب متعددی در طول سال‌های گذشته برای بررسی همبستگی تعادل ترمودینامیکی بین آلاینده‌ها و جاذب‌ها در دماهای ثابت به‌کار گرفته شدند. به دلیل برخی محدودیت‌های مدل، همه مدل‌های ایزوترم نمی‌توانند برای بیان داده‌ها و توضیح روش جذب آلاینده مناسب باشند. بعضی از ایزوترم‌های جذب عبارتند از ایزوترم لانگمویر^{۲۵}، ایزوترم فروندلیچ^{۲۶}، سیپس^{۲۷}، ایزوترم دوینین-رادوشکویچ^{۲۸}، ایزوترم تمکین^{۲۹}، و ایزوترم برونر، امت و تِلر (BET)^{۳۰} (Osman و همکاران، ۲۰۲۳). متداول‌ترین

ایزوترم جهت مدل سازی فرایند جذب سطحی، معادلات لانگمویر و فروندلیچ هستند که به طور گسترده به کار می روند. معادلات ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ به ترتیب در رابطه های (۱) و (۲) بیان می شود (Satvati و Khorasani, ۲۰۲۴):

$$q_e = (q_m C_e) / (K_e + C_e) \quad (۱)$$

$$q_e = K_f C_e^n \quad (۲)$$

که در اینجا، q_e (mg/g) میزان ماده جذب شده بر روی سطح جاذب، q_m (mg/g) حداکثر میزان ماده جذب شده بر واحد جرم جاذب، C_e (mg/L) غلظت تعادلی ماده جذب شده، K_e و K_f (mg/L) به ترتیب ثابت معادله ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ بیانگر قدرت اتصال میان سطح جاذب و مولکول های جذب شونده، و n شدت جذب است.

• سینتیک جذب

مدل های سینتیک به بیان عملکرد و درک همبستگی های جاذب-آلاینده کمک می کنند. مدلهایی مانند مدل های الویچ^{۳۱}، آوامی^{۳۲}، بانگهام^{۳۳}، و مدل های انتشار لایه^{۳۴}، بهترین مدل های کاربردی شبه مرتبه اول^{۳۵} و شبه مرتبه دوم^{۳۶} هستند. مدل سینتیکی یک فرآیند براساس حذف آلاینده های مختلف از محلول های آلوده، بیان کننده دوره تعادل، مرتبه واکنش، و سمت واکنش است که رفتار و نرخ جذب آلاینده را نشان می دهد. به طور کلی، روش جذب زیستی که اساساً به زمان متکی است را می توان با مدل های سینتیکی مختلف مانند شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم، مدل وبر و موریس، مدل بوید، مدل بانگهام و مدل الویچ بررسی کرد (Osman و همکاران، ۲۰۲۳). دو مدل سینتیکی شبه مرتبه اول لاگ رگرن^{۳۷} و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم برای توصیف سینتیک جذب مواد آلاینده روی جاذب به ترتیب در رابطه های (۳) و (۴) ارائه شده است (Satvati و Khorasani, ۲۰۲۴):

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (۳)$$

$$q_t = (q_e^2 k_2 t) / (1 + q_e k_2 t) \quad (۴)$$

که در اینجا، k_1 (h⁻¹) و k_2 (g/mg.h) به ترتیب ثابت سرعت مدل های سینتیکی شبه مرتبه اول لاگ رگرن و شبه مرتبه دوم هستند. q_t (mg/g) ظرفیت جذب در زمان t (h) و q_e (mg/g) ظرفیت جذب در زمان تعادل است.

• ترمودینامیک جذب

ترمودینامیک جذب بینشی در مورد تغییرات انرژی مرتبط با مکانیسم جذب فراهم می کند، که برای توضیح رفتار جذب براساس کمیت های ترمودینامیکی، ΔG° ، ΔH° و ΔS° ، ارائه می شود. شرح این توابع ترمودینامیکی به شرح زیر است: انرژی آزاد گیبس (ΔG°) برای شناسایی خود به خودی سیستم ضروری است. هنگامی که ΔG° منفی است، جذب خود به خودی است، درحالی که $\Delta G^\circ > 0$ نشان دهنده غیر خود به خودی بودن است. به طور کلی، سیستم های آلاینده-جاذب خود به خودی هستند. از این رو، انرژی آزاد گیبس تعیین کننده دمای مناسب برای انجام جذب است. تغییر انتالپی

(ΔH°)، انرژی به دست آمده یا انرژی مصرف شده در طی فرآیند جذب را نشان می دهد. اگر تغییر انتالپی بیشتر از صفر باشد، جذب گرماگیر است، در حالی که وقتی کمتر از صفر شود جذب گرمازا است. بیشتر واکنش ها گرمازا هستند. تغییر انتروپی (ΔS°) تصادفی بودن و میزان بی نظمی در فرآیند را تعیین می کند. محاسبه دقیق مقادیر ترمودینامیکی برای تعیین جزئیات بیشتر در مورد ماهیت روش جذب آلاینده ضروری است (گرماگیر/ گرمازا/ خود به خودی و ...) (Osman و همکاران، ۲۰۲۳). تغییر انرژی آزاد گیبس (ΔG)، انتالپی (ΔH)، و انتروپی (ΔS) برای توصیف ترمودینامیک جذب مواد آلاینده روی جاذب استفاده می شود که در رابطه (۵) بیان شده است (Satvati و Khorasani, ۲۰۲۴):

$$\Delta G = -RT \ln K_D = \Delta H - T \Delta S \quad (۵)$$

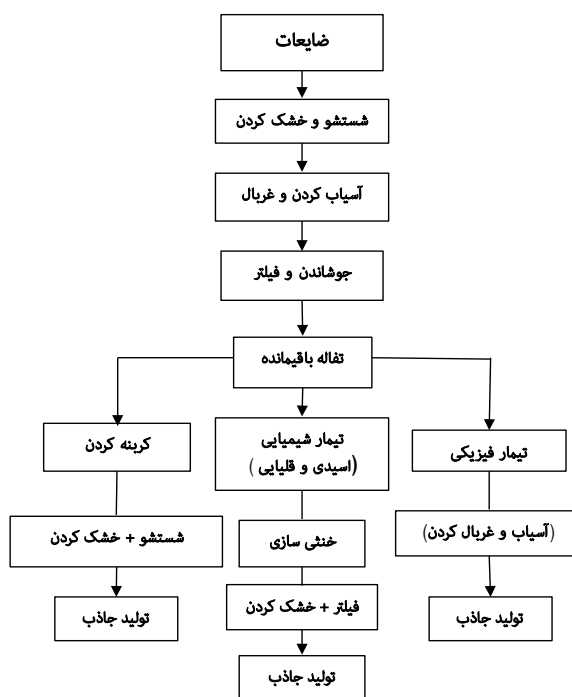
که در آن، ΔG (J/mol) تغییر انرژی آزاد گیبس، ΔH (J/mol) انتالپی و ΔS (J/mol.K) انتروپی است. R (J/mol.K) ثابت گاز است. T (K) دما و K_D ضریب توزیع ($K_D = C_e/C_e$) است. C_e (mg/L) و C_e (mg/L) به ترتیب غلظت های تعادلی آلاینده روی جاذب و رومانند هستند.

جاذب های زیستی حاصل از مرکبات برای تصفیه آب

• روش های تولید جاذب های زیستی

تولید مرکبات سالانه بیش از ۱۱۵ میلیون تن است که باعث فراوانی این نوع میوه در جهان می شود (Aichour و Zaghouane, ۲۰۲۰). باین حال سالانه حدود ۲ میلیون تن ضایعات مرکبات تولید می شود (Joglekar و همکاران، ۲۰۲۱). در حال حاضر یکی از مهمترین نگرانی های محیط زیستی، افزایش ضایعات کشاورزی است که می توانند به محصولات با ارزش تبدیل شوند (Khorasani و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، نیاز روزافزون برای تبدیل محصولات جانبی و مازاد کشاورزی به محصولات جدید با ارزش افزوده وجود دارد. تبدیل ضایعات مرکبات به جاذب های زیستی کم هزینه، اهداف متعددی را مانند حذف آلاینده ها از محلول های آبی و کاهش موثر آلودگی محیط زیست دنبال می کند. پوست مرکبات پس از استخراج اسانس و سایر مواد بیوشیمیایی ارزشمند، دیگر کاربرد عملی ندارد و از این رو یک منبع ارزشمند تجاری و قابل دسترس برای تولید مواد جاذب محسوب می شود. جاذب های حاصل از ضایعات مرکبات را می توان با روش های مختلفی از جمله فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، و ترموشیمیایی توسعه داد. هزینه تقریبی برای تهیه جاذب حاصل از زیست توده لیگنوسلولزی تقریباً ۴۸ دلار در هر تن است که به طور قابل توجهی کمتر از جایگزین های تجاری مثل کربن فعال (۱۵۰۰-۴۰۰ دلار در تن) است. بر خلاف مواد کربنی مانند کربن فعال و زغال زیستی، جاذب های زیستی، نیاز کمی به انرژی دارند زیرا به فرآیند پیرولیز در دمای بالا نیاز ندارند (Mahato و همکاران، ۲۰۲۰).

انواع جاذب‌های زیستی به‌دست آمده از ضایعات مرکبات را می‌توان بر اساس روش تولید طبقه‌بندی کرد: (۱) استفاده مستقیم از پوست، (۲) پوست پروتونه شده، (۳) پکتین پوست، (۴) پوست فاقد پکتین، (۵) ضایعات کربنه شده، (۶) ضایعات اصلاح شده شیمیایی، و (۷) ضایعات اصلاح شده بیوشیمیایی یا آنزیمی (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). تولید جاذب‌های زیستی به طور خلاصه در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- تولید جاذب زیستی از ضایعات مرکبات با روش‌های فیزیکی، شیمیایی، و کربنه کردن

۱- جاذب‌های زیستی حاصل از روش فیزیکی

این دسته از جاذب‌ها با تیمار فیزیکی یا مکانیکی ضایعات مرکبات به‌دست می‌آیند. در این روش، ابتدا زیست توده (ضایعات مرکبات) برای حذف آلودگی، با آب مقطر یا آب دیونیزه ۳ تا ۵ بار شسته می‌شود. سپس، ضایعات شستشو شده تحت خشک کردن قرار

می‌گیرند، تا زمانی که به وزن ثابتی برسند. سپس، در معرض آسیاب و الک کردن برای رسیدن به اندازه ذرات مورد نظر (تقریباً نیم تا یک میلی‌متر) قرار گرفته و برای مطالعات جذب آماده می‌شوند (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات انجام شده در راستای استفاده از این دسته جاذب‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. باتوجه‌به جدول (۱)، برای جذب رنگ متیلن بلو با روش فیزیکی از باگاس پرتقال، پوست لیمو شیرین، پوست پرتقال، پوست مرکبات و پوست دارابی استفاده شد. میزان جذب متیلن بلو با پوست دارابی < پوست لیمو شیرین < باگاس پرتقال < پوست مرکبات < پوست پرتقال بود.

برای جذب رنگ ریمازول برلیانت بلو از پوست لیمو و پوست پرتقال استفاده شد که میزان جذب برای این رنگ با پوست پرتقال بیشتر بود. برای جذب یون کادمیم از برگ لیمو، پوست دارابی، پوست گریپ فروت و پوست مرکبات استفاده شد. میزان جذب این یون با پوست مرکبات < پوست گریپ فروت < برگ لیمو < پوست دارابی بود. برای جذب یون سرب از برگ لیمو، پوست دارابی، پوست نارنگی، و پوست پرتقال استفاده شد. میزان جذب این یون با پوست پرتقال < پوست نارنگی < پوست دارابی < برگ لیمو بود.

برای جذب یون نیکل از برگ لیمو، پوست گریپ فروت، پوست لیمو شیرین و پوست پرتقال استفاده شد. میزان جذب با پوست گریپ فروت < پوست پرتقال < پوست لیمو شیرین < برگ لیمو بود. برای جذب یون مس از برگ لیمو، تفاله نارنج، پوست پرتقال و پوست مرکبات استفاده شد. میزان جذب این یون با پوست پرتقال < پوست مرکبات < برگ لیمو < تفاله نارنج بود.

برای جذب یون روی از برگ لیمو، و پوست پرتقال استفاده شد که میزان جذب با پوست پرتقال بیشتر از برگ لیمو بود. باتوجه‌به نتایج، روش فیزیکی نتایج قابل قبولی را نشان داد. پوست پرتقال برای جذب یون‌های فلزی از ظرفیت جذب بالایی برخوردار است. علاوه‌براین، میزان جذب رنگ‌ها نسبت به میزان جذب یون‌های فلزی با استفاده از این ضایعات بیشتر است. بنابراین، می‌توان گفت روش‌های فیزیکی برای تولید جاذب زیستی به دلیل ماهیت سازگار با محیط‌زیست ترجیح داده می‌شود.

جدول ۱- جذب سطحی آلاینده‌ها از محلول آبی توسط جاذب‌های حاصل از روش فیزیکی

منبع	ترمودینامیک	مدل سینتیکی	ایزوترم	BET (m ² /gr)	آلاینده	میزان جذب (میلی‌گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	روش تولید	ضایعات
Sivaraj و همکاران، (۲۰۰۱)	-	شبه مرتبه اول لاگرن	لانگمویر	-	رنگ اسید ویولت ۱۷ ^{۳۸}	۱۹/۸۸	پودر کردن	پوست پرتقال
Saeed و همکاران، (۲۰۱۰)	گرواگیر	شبه مرتبه دوم	لانگمویر	-	رنگ کریستال ویولت	۲۵۴/۱۶	پودر کردن	پوست گریپ فروت
Bhatti و همکاران، (۲۰۱۲)	گرم‌مازو غیر خود به خودی	شبه مرتبه دوم	لانگمویر	-	رنگ متیلن بلو	۹۶/۴	پودر کردن	باگاس پرتقال

ضایعات	روش تولید	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	آلاینده	BET (m ² /gr)	ایزوترم	مدل سینتیکی	ترمودینامیک	منبع
پوست لیمو	پودر کردن	۹/۵۸	رنگ ریمازول برلیانت بلو آر ^{۳۹}	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	-	Rahmat) و (همکاران، ۲۰۱۶)
پوست لیموشیرین	پودر کردن	۲۲۷/۳	رنگ متیلن بلو	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر و خود به خودی با افزایش آنزیمی	Shakoor) و (Nasar، ۲۰۱۶)
برگ پرتقال	پودر کردن	۹/۴۳	رنگ دایرکت بلو ۷۷ ^{۴۰}	-	فرونلیچ	شبه مرتبه دوم	-	Sowmya) Lakshmi) و (Munilakshmi، ۲۰۱۶)
برگ لیمو	پودر کردن	به ترتیب برابر با: ۱۲/۸۲۰، ۲۳/۸۱۰، ۱۷/۸۵۷، ۱۱/۳۶۴ و ۳۱/۲۵۰		-	لانگمویر	-	-	Muniraj) و (همکاران، ۲۰۲۰)
پوست ماندارین (نارنگی)	پودر کردن	۳۹۲	رنگ سافرانین اورانژ ۶۱	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر، خود به خودی، و برگشت پذیر	Januário) و (همکاران، ۲۰۲۲)
تفاله گریپ فروت	پودر کردن	۴۱/۱۶	منگنز (II)	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر	Naveed) و (همکاران، ۲۰۱۶)
پوست دارابی	پودر کردن	۱۳/۳۵ و ۴۷/۱۸	سرب (II) و کادمیم (II)	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	مطلوب و خود به خودی	Dinh) و (همکاران، ۲۰۲۱)
پوست گریپ فروت	پودر کردن	۴۶/۱۳ و ۴۲/۰۹	کادمیم (II) و نیکل (II)	-	فرونلیچ	شبه مرتبه دوم	گرماگیر، خود به خودی و مطلوب	Torab-) و (Mostaedi (همکاران، ۲۰۱۳)
پوست لیموشیرین	پودر کردن	۲۷/۷۸	نیکل (II)	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرمازا و خود به خودی	Shukla Singh) (۲۰۱۷)
پوست پرتقال	پودر کردن	۲۲/۴۴	رنگ کنگو رد ^{۴۲}	-	لانگمویر و فرونلیچ	شبه مرتبه اول	-	Namasivayam) (و همکاران، ۱۹۹۶)
		۱/۳	رنگ پروسیون اورانژ ^{۴۳}					
		۳/۲۲	رنگ رودامین بی ^{۴۴}					
		۲۰/۵	رنگ اسید اورانژ ۵۲ ^{۴۵} یا متیل اورانژ					
		۱۸/۶	رنگ بیسیک بلو ۹ ^{۴۶} یا متیلن بلو					
پوست پرتقال	پودر کردن	۱۴/۳	رنگ بیسیک ویولت ۱۰ ^{۴۷} یا رودامین	-	لانگمویر	شبه مرتبه اول لاگرگن	-	Annadurai) و (همکاران، ۲۰۰۲)
		۱۴	رنگ دایرکت رد ۲۸ ^{۴۸} یا کنگو رد					
		۱۱/۵	رنگ متیل ویولت ^{۴۹}					
پوست نارنگی	پودر کردن	۲۷/۴۶	کاتیون ها (کلسیم و منیزیم)	-	فرونلیچ	-	-	Ashraf) و (همکاران، ۲۰۱۱)

منبع	ترمودینامیک	مدل سینتیکی	ایزوترم	BET (m ² /gr)	آلاینده	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	روش تولید	ضایعات
Gondhalekar و (Shukla, ۲۰۱۴)	-	شبه مرتبه دوم	لانگمویر، فروندلیچ و سیس	-	اورانیوم (VI)	۷۵/۳۳	پودر کردن	پوست لیموشیرین
Khaskheli و (همکاران، ۲۰۱۱)	گرماگیر و خود به خودی	موریس و بر، شبه مرتبه دوم و الویچ	فروندلیچ، لانگمویر، دوبینین ردوشکویچ و فلوری-هاگینز	-	آرسنیک ^{۵۰}	۳۷/۷۶	پودر کردن	پوست پرتقال
Serin و Gönen) (۲۰۱۲)	گرمازا	شبه مرتبه دوم	لانگمویر و فروندلیچ	-	نیکل (II)	۲۹/۰۴	پودر کردن	پوست پرتقال
(Sattar، ۲۰۱۳)	گرمازا	-	فروندلیچ	-	کبالت (III)	-	پودر کردن	نارنج
Pavan و (همکاران، ۲۰۰۸)	-	شبه مرتبه اول	لانگمویر	-	یون های سرب	۱۱۲/۱	پودر کردن	پوست پونکان (نارنگی)
Hameed و (همکاران، ۲۰۰۸)	-	شبه مرتبه دوم	لانگمویر	-	رنگ متیلن بلو	۳۴۴/۸۳	پودر کردن	پوست دارابی
Mafra و (همکاران، ۲۰۱۳)	گرماگیر و خود به خودی	-	لانگمویر و فروندلیچ	-	رنگ ریمازول برلیانت بلو	۱۱/۶۲	پودر کردن	پوست پرتقال
Khormaei و (همکاران، ۲۰۰۷)	-	شبه مرتبه دوم	لانگمویر و فروندلیچ	-	مس	۲۱/۷	پودر کردن	تفاله نارنج
FENG و (GUO، ۲۰۱۲)	-	-	لانگمویر	-	یون های مس، سرب و روی	به ترتیب برابر با: ۱۱۳/۵، ۴۴/۲۸ و ۲۱/۲۵	پودر کردن	پوست پرتقال
El Malti و (همکاران، ۲۰۲۲)	-	-	لانگمویر و فروندلیچ	۱/۹۰	یون های مس، کادمیم و رنگ متیلن بلو	به ترتیب برابر با: ۵۶/۸۱ و ۸۰، ۴۰	پودر کردن	پوست مرکبات

۲- جاذب های زیستی حاصل از روش شیمیایی

اصلاح شیمیایی جاذب های زیستی با هدف افزایش ظرفیت جذب از طریق ایجاد گروه های عاملی فعال با استفاده از واکنش های شیمیایی انجام می شود. این روش به افزایش پایداری شیمیایی و خواص مکانیکی جاذب کمک می کند و درعین حال از تخلیه آلاینده ها به سیستم جذب جلوگیری می کند. عملیات شیمیایی از طریق چندین روش مختلف انجام می شود. برخی از روش های شناخته شده عبارتند از: (الف) پروتونه کردن (با استفاده از اسیدهای معدنی مانند HCl، H₂SO₄، HNO₃)، (ب) صابون سازی قلیایی (با استفاده از NaOH، Ca(OH)₂، CaCl₂)، (ج) مسدود کردن گروه های عاملی با استفاده از معرف های شیمیایی، و (د) تیمار با هیدروژن پراکسید (H₂O₂). پروتونه کردن با پردازش ضایعات با اسیدهایی مانند HCl یا HNO₃ انجام می شود. برای این کار، مواد به صورت معلق در اسید و به مدت ۶-۸ ساعت تیمار می شوند. ضایعات تیمار شده با آب شسته تا pH خنثی شود و سپس خشک می شود تا وزن ثابت به دست

آید. پروتونه کردن برای حذف کاتیون های اضافی مانند Ca²⁺ یا Na⁺ موجود در سطح ماده زیستی که در فرآیند جذب فلز اختلال ایجاد می کند، استفاده می شود. این کاتیون ها با پروتون ها جایگزین می شوند که با کاهش رقابت بین یون های K⁺، Na⁺ و Ca²⁺ با فلزات سنگین مانند Cd²⁺، Hg²⁺، Pb²⁺، Zn²⁺، Se²⁺، As²⁺ و ...، اتصال فلزات سنگین را افزایش می دهند. جایگزینی یون های Ca²⁺ و Na⁺ توسط پروتون ها باعث افزایش جذب یون های فلزات سنگین مورد نظر و حذف آن ها از فاضلاب شده است (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات انجام شده در راستای استفاده از این دسته جاذب ها در جدول (۲) ارائه شده است.

باتوجه به جدول (۲)، برای جذب یون سرب با روش شیمیایی از پوست مرکبات، پوست پرتقال، پوست ماندارین، و لیموشیرین استفاده شد. میزان جذب یون سرب با پوست مرکبات (پروتونه شده) < پوست ماندارین (تیمار با هیدروکلریک اسید) < پوست پرتقال (تیمار با سدیم هیدروکسید و کلسیم کلرید) < لیموشیرین

(اصلاح با هگزامتیلن دی ایزوسیانات) < پوست پرتقال (پروتونه با نیتریک اسید) < پوست پرتقال (تیمار با سدیم هیدروکسید و اسید سیتریک) < پوست پرتقال (پروتونه) بود.

برای جذب یون مس از پوست پرتقال، پوست ماندارین، تفاله نارنج، و پوست دارابی استفاده شد. میزان جذب یون مس با پوست ماندارین (تیمار با هیدروکلریک اسید) < پوست پرتقال (تیمار با سدیم هیدروکسید و کلسیم کلرید) < تفاله نارنج (تیمار قلیایی با سدیم هیدروکسید) < پوست دارابی (یکتین زدایی) < پوست پرتقال (پروتونه) بود.

برای جذب یون کادمیم از پوست پرتقال، پوست ماندارین و گریپ فروت استفاده شد. میزان جذب یون کادمیم با پوست ماندارین (تیمار با هیدروکلریک اسید) < پوست پرتقال (پروتونه با نیتریک

اسید) < گریپ فروت (پروتونه با سولفوریک اسید) < پوست پرتقال (پروتونه کردن) بود.

برای جذب یون روی از پوست پرتقال استفاده شد. میزان جذب روی با پوست پرتقال (تیمار با سدیم هیدروکسید و کلسیم کلرید) < پوست پرتقال (پروتونه با نیتریک اسید) بود.

باتوجه به نتایج جدول، می توان گفت ضایعات تیمار شده شیمیایی، برای جذب رنگ ها، در بعضی موارد از میزان جذب کمتری برخوردار است اما برای جذب یون های فلزی در اکثر موارد میزان جذب بیشتری نسبت به روش فیزیکی دارد که میزان جذب علاوه بر نوع ضایعات، به نوع ماده شیمیایی تیمار کننده بستگی دارد. بنابراین، فعال سازی شیمیایی برای تولید جاذب زیستی به دلیل سطح بالاتر و ریزحفره ها ترجیح داده می شود.

جدول ۲- جذب سطحی آلاینده ها از محلول آبی توسط جاذب های حاصل از روش شیمیایی

منبع	ترمودینامیک	مدل سینتیکی	ایزوترم	BET (m ² /gr)	آلاینده	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	روش تولید	ضایعات
Schiewer و (۲۰۰۹, Balaria)	-	شبه مرتبه دوم یا سوم	لانگمویر	-	یون سرب	۴۰۰	پروتونه شده	پوست مرکبات
Mahmoud و (همکاران، ۲۰۱۷)	گرماگیر	شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم	لانگمویر و فروندلیچ	-	رنگ های کنگورد و متیل اورانژ	۱۰ و ۲۶	هیدروژل بر پایه پوست پرتقال و N-vinyl-2-pyrrolidone	پوست پرتقال
Lasheen و (همکاران، ۲۰۱۲)	گرماگیر	شبه مرتبه دوم	فروندلیچ و لانگمویر	-	سرب، مس و کادمیم	به ترتیب برابر با: ۱۳/۷ و ۱۵/۲۷، ۷۳/۵۳	پروتونه کردن	پوست پرتقال
Chatterjee و Schiewer، (۲۰۱۴a)	-	-	-	-	سرب، کادمیم و روی	به ترتیب برابر با: ۸۵، ۲۰ و ۴۴	پروتونه با نیتریک اسید	پوست پرتقال
De Souza و (همکاران، ۲۰۱۲)	گرماگیر و خود به خودی	شبه مرتبه دوم	لانگمویر و فروندلیچ	-	سرب	۵۵/۵۲	بدون تیمار شیمیایی	پوست پرتقال
Shukla و Singh، (۲۰۱۶)	گرمازا	شبه مرتبه دوم	لانگمویر	-	یون کبالت	۲۰/۸۳ و ۳۵/۷۱	تیمار نشده تیمار قلیایی	پوست لیمو
Rosales و (همکاران، ۲۰۱۶)	-	شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم	لانگمویر	-	مخلوط رنگ و کروم (VI)	۳۹/۰۶۲۸ و ۳۷/۴۲۷	تیمار با هیدروژن پراکسید	پوست گریپ فروت
Patiño-Saldivar و (همکاران، ۲۰۲۱)	-	مدل الویچ	فروندلیچ	-	کروم (III)	۵۳/۱۵	تیمار با آب	پوست پرتقال
Inagaki و (همکاران، ۲۰۱۳)	گرمازا	شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم	لانگمویر و فروندلیچ	-	یون های مس، کادمیم و سرب	به ترتیب برابر با: ۱۳۱/۵، ۳۲۲/۶ و ۳۹/۷۴	تیمار با هیدروکلریک اسید	پوست ماندارین
Bayo و (همکاران، ۲۰۱۲)	گرمازا و خود به خودی	شبه مرتبه دوم	فروندلیچ	-	کادمیم	۱۶/۶۷	پروتونه با سولفوریک اسید	گریپ فروت

ضایعات	روش تولید	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	آلاینده	BET (m ² /gr)	ایزوترم	مدل سینتیکی	ترمودینامیک	منبع
لیمو شیرین	اصلاح با هگزامتیلن دی ایزوسیانات ^{۵۱}	۲۵۰ و ۲۰۰	رنگ متیلن بلو و سرب (II) از محلول آبی	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر و خود به خودی	Yadav و همکاران، (۲۰۲۲)
تفله نارنج	تیمار قلبایی با سدیم هیدروکسید	۵۲/۰۸	مس	-	لانگمویر و فروندلیچ	شبه مرتبه دوم	-	Khormaei و همکاران، (۲۰۰۷)
ضایعات پرتقال	عامل دار کردن با فلزات La (III)، Ce (III) و Fe (III)	به ترتیب برابر با: ۱۳/۸۴، ۱۳/۹۴ و ۱۳/۶۳	فسفات	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	-	Biswas و همکاران، (۲۰۰۷)
پوست پرتقال	اصلاح با سدیم هیدروکسید و کلرید	به ترتیب برابر با: ۲۰۹/۸، ۷۰/۷۳ و ۵۶/۱۸	یون های مس، سرب و روی	-	لانگمویر	-	-	FENG و GUO، (۲۰۱۲)
پوست دارابی	پکتین زدایی (پوست بدون پکتین)	۲۱/۱	مس	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرمازا و خود به خودی	Tasaso، (۲۰۱۴)
پوست پرتقال	پروتونه کردن، پکتین زدایی، و اسید پکتیک استخراج شده از پوست	اسید پکتیک پوست < پروتونه شده < پوست خام < پوست بدون پکتین	کادمیم	-	لانگمویر و فروندلیچ	شبه مرتبه اول	-	Schiewer و Iqbal، (۲۰۱۰)
پوست نارنگی	تیمار نشده تیمار با محلول فرمالدئید ۲۰٪ تیمار با اوره ۱۰٪	۵/۹۰ ۱۴/۷۹ ۷۱/۰۷	رنگ ایندیگو کارمین ^{۵۲}	-	لانگمویر	-	-	Rehman و همکاران، (۲۰۱۴)
پوست پرتقال	تیمار با نیتریک اسید	۴۴/۹۶	کادمیم	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	-	Chatterjee و Schiewer، (۲۰۱۱)

۳- جاذب های زیستی حاصل از روش کربنه کردن

محبوب ترین جاذب برای فرآیند جذب، کربن فعال است. با این حال، استفاده از آن هنوز محدود است زیرا از نظر هزینه عملیاتی گران است. فناوری های پیشرفته، می تواند پژوهشگران را قادر سازد تا برای تولید جاذب های ارزان، کارآمد و در دسترس، بر هزینه های فرآیندی غلبه کنند. مطالعات متعددی برای به دست آوردن کربن های فعال کم هزینه از ضایعات کشاورزی، مانند پوست گندم، پوست برنج، ضایعات چای، ضایعات پنبه، پوست موز، پوست پرتقال، ضایعات مرکبات و ... برای حذف فلزات سنگین و سایر ترکیب های خطرناک از فاضلاب گزارش شده است. اگرچه، پتانسیل جذب اکثر این جاذب های ارزان محدود است. بنابراین، سطح جاذب ها را باید برای افزایش فعالیت آن تغییر داد (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). در روش کربونه کردن، ابتدا پوست های خشک شده ضایعات مرکبات در معرض دمای بسیار بالا (تقریباً ۷۷۳ کلوین) قرار می گیرند و به دنبال آن معمولاً اکسیداسیون اسیدی انجام می شود. یک گاز بی اثر، مانند N₂، برای جلوگیری از آتش سوزی یا اکسیداسیون شدید استفاده می شود. در جاذب نهایی، گروه های عاملی با بار مثبت یا

منفی موجود در سطح جاذب (ضایعات مرکبات)، اتصال به آلاینده را با جذب الکترواستاتیکی تسهیل می کنند (Mahato و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهش های انجام شده در راستای استفاده از این دسته جاذب ها در جدول (۳) ارائه شده است. باتوجه به جدول (۳)، برای جذب یون مس با روش کربونه کردن از ضایعات مرکبات، پوست مرکبات و پوست پرتقال استفاده شد. میزان جذب یون مس با پوست مرکبات (فعال سازی با هیدروژن پراکسید) < ضایعات مرکبات (فعال سازی با CO₂) < پوست پرتقال (پیرولیز) بود. برای جذب رنگ متیلن بلو از پوست نارنج، پوست دارابی، پوست لیموشیرین، پوست گریپ فروت، و پوست مرکبات استفاده شد. میزان جذب رنگ متیلن بلو با پوست لیموشیرین (فعال سازی با سولفوریک اسید) < پوست دارابی (تیمار با سدیم هیدروکسید و با استفاده از مایکروویو) < پوست نارنج (پیرولیز) < پوست نارنج (فعال سازی با روی کلرید) < پوست نارنج (فعال سازی با فسفریک اسید) < پوست گریپ فروت (فعال سازی با فسفریک اسید) < پوست مرکبات (فعال سازی با هیدروژن پراکسید) بود. برای جذب یون سرب از پوست پرتقال و برگ های لیموشیرین

استفاده شد. میزان جذب این یون با برگ‌های لیموشیرین (پیرولیز) < پوست پرتقال (پیرولیز) بود. برای جذب یون کادمیم از پوست پرتقال و پوست مرکبات استفاده شد. میزان جذب این یون با پوست مرکبات (فعال‌سازی با هیدروژن پراکسید) < پوست پرتقال (پیرولیز) بود. برای جذب یون نیکل از پوست پرتقال و برگ‌های لیموشیرین استفاده شد. میزان جذب یون نیکل با برگ‌های لیموشیرین (پیرولیز) < پوست لیمو (پیرولیز بدون ماده فعال‌کننده) بود. باتوجه‌به جدول (۳)، می‌توان نتیجه گرفت که با کربونه کردن ضایعات، میزان جذب برای یون‌های فلزی و رنگ‌ها افزایش پیدا

می‌کند. در روش کربونه کردن، نوع ضایعات و نوع ماده فعال‌کننده در میزان جذب تاثیر دارد. در این بخش، میزان جذب یون فلزی (کبالت، نیکل، و سرب) و رنگ با ضایعات لیموشیرین، تقریباً بیشتر است. همچنین فعال‌سازی با ماده فعال‌کننده باعث افزایش بیشتر جذب می‌شود. بنابراین، تولید جاذب زیستی از طریق فعال‌سازی حرارتی به دلیل اثرات قابل توجه، هزینه کم، حجم منافذ بهینه و ریز تخلخل‌ها برای جذب آلاینده ترجیح داده می‌شود. تحقیقات نشان داده است که مواد کربنی مشتق شده از زیست‌توده، خواص جذب مایکروویو عالی را از خود نشان می‌دهند، و آن‌ها را برای کاربردهای مختلف ایده آل می‌کنند. پس مناسب‌ترین روش برای تولید جاذب زیستی از ضایعات مرکبات، کربونه کردن برای ایجاد کربن فعال است که ظرفیت جذب برای تصفیه آب را به دلیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و مقرون‌به‌صرفه بودن افزایش می‌دهد.

جدول ۳- جذب سطحی آلاینده‌ها از محلول آبی توسط جاذب‌های حاصل از روش کربنه کردن

منبع	ترمودینامیک	مدل سینتیکی	ایزوترم	BET (m ² /gr)	آلاینده	میزان جذب (میلی‌گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	روش تولید	ضایعات
Da Silva) و همکاران، (۲۰۲۲)	-	شبه مرتبه دوم	-	۲۱۲/۴	یون مس (II)	۲۸/۲	فعال سازی با CO ₂	ضایعات مرکبات (پوست پرتقال، ماندراين، لیموترش و لیمو شیرین)
				۳۹۹/۴		۳۷/۸	فعال سازی با H ₂ O	
Verma) و همکاران، (۲۰۱۹)	As (III) ملهیت گرمازا و As(V) گرماگیر، خود به خودی	شبه مرتبه دوم	لاتگمویر	۲۰۶/۸	آرسنیک (III) و (V) ^{۵۳}	۲ و ۰/۷۱۴	فعال سازی با آهن	پوست لیموشیرین
		شبه مرتبه دوم	فروندلیچ و تمکین	۳۷/۰۷۲	آرسنیک (III) و (V)	۲ و ۰/۵۲۶	فعال سازی با آهن	تفاله لیموشیرین
Roy) و همکاران، (۲۰۲۲)	-	مرتبه دوم	لاتگمویر	-	رنگ متیلن بلو	۱۳۹/۷	پیرولیز	پوست نارنج
Foo) و Hameed، (۲۰۱۱)	-	-	لاتگمویر	۱۳۳۵	رنگ‌های متیلن بلو و اسید بلو ^{۵۴}	۴۴۴/۴۵ و ۵۰۱/۱	تیمار با سدیم هیدروکسید و با استفاده از مایکروویو	پوست دارابی
Santos) و همکاران، (۲۰۱۵)	-	-	لاتگمویر	-	یون‌های سرب، کادمیم، مس، نیکل، روی و آلومینیوم	به ترتیب برابر با: ۹/۸۰۳، ۵۰/۵۰۵، ۱۵/۷۲۲، ۱۳/۸۱۲، ۵/۱۶۲ و ۰/۵۱۲۸	پیرولیز	پوست پرتقال
Bhatnagar) و همکاران، (۲۰۱۰)	گرمازا و خود به خودی	شبه مرتبه دوم	لاتگمویر	-	یون کبالت	۲۵/۶۴	پیرولیز بدون ماده فعال‌کننده	پوست لیمو

ضایعات	روش تولید	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	آلاینده	BET (m ² /gr)	ایزوترم	مدل سینتیکی	ترمودینامیک	منبع
پوست گریپ فروت	فعال سازی با فسفریک اسید (H ₃ PO ₄)	۲۵/۵۱۰	رنگ متیلن بلو	۵۲۶	-	-	-	Dutta و همکاران، (۲۰۱۱)
پوست پرتقال	فعال سازی با سولفوریک اسید (H ₂ SO ₄)	۷۵/۷۶	رنگ دایرکت یلو ۱۲ ^{۵۵}	-	لانگمویر، فروندلیچ، کوئل- کورینگان ^{۵۶} ، تمکین، دوینین- رادوشکویچ و معادلات ایزوترم تعمیم یافته ^{۵۷}	شبه مرتبه دوم و انتشار درون ذرات	-	Khaled و همکاران، (۲۰۰۹)
پوست لیموشیرین	فعال سازی با سولفوریک اسید	۱۱۴۹/۴۲ و ۷۴۰/۷۴	رنگ های متیلن بلو و کریستال ویولت	-	فروندلیچ برای رنگ متیلن بلو و تمکین برای رنگ کریستال ویولت	شبه مرتبه دوم	-	Rani و Chaudhary، (۲۰۲۲)
پوست مربکات	پیرولیز	۱۴۴/۹	آنتی بیوتیک تری متوپریم (TMP) ^{۵۹}	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	-	Kam و Lee (۲۰۱۸،
برگ های لیموشیرین	پیرولیز	۶۹/۸۲، ۶۰/۶۰ و ۵۸/۱۴	یون های سرب، کبالت و نیکل	۷/۲	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرمازا و خود به خودی	Aboli و همکاران، (۲۰۲۰)
پوست نارنج	فعال سازی با روی کلرید (ZnCl ₂)	۱۰۸/۹	رنگ متیلن بلو	۱۲۵۶/۷	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر و خود به خودی	Gunay و Gurer و همکاران، (۲۰۲۱)
پوست نارنج	فعال سازی با فسفریک اسید	۹۰/۵۸	رنگ متیلن بلو	۶۴۷/۳				
پوست نارنج	پیرولیز	-	رنگ های متیلن بلو و کنگورد	-	فروندلیچ و لانگمویر	-	-	Rajasekhar و همکاران، (۲۰۰۹)
پوست پرتقال	فعال سازی با سولفوریک اسید	۳۳/۷۸ و ۱۰۷/۵۳	رنگ دایرکت بلو ۸۶ ^{۵۹} رنگ دایرکت بلو	-	لانگمویر، تمکین و دوینین-رادوشکویچ	شبه مرتبه دوم	-	El Nemr و همکاران، (۲۰۰۹)
پوست مربکات	فعال سازی با هیدروژن پراکسید (H ₂ O ₂)	به ترتیب برابر با: ۲۶/۸۸، ۳۸/۹۰ و ۱۱/۳۶	یون های مس، کادمیم و رنگ متیلن بلو	۹۶	لانگمویر و فروندلیچ	-	-	El Malti و همکاران، (۲۰۲۲)
پوست دارابی، بالنگ و لیمو	اکسیداسیون با نیتریک اسید (HNO ₃)	پوست دارابی، بالنگ و لیمو به ترتیب برابر با: ۲۰۴، ۲۱۵ و ۱۹۶	رنگ راکتیو رد ^{۶۰}	-	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	-	Babu و همکاران، (۲۰۱۱)
پوست لیمو	پیرولیز بدون ماده فعال کننده	۵۰/۳ و ۳۴/۵	رنگ های متیل اورانژ و کنگورد	-	لانگمویر	شبه مرتبه اول	-	Bhatnagar و همکاران، (۲۰۰۹)
پوست دارابی	فعال سازی با پتاسیم هیدروکسید (KOH)	۱۷۷/۴۳	رنگ مالاشیت گرین	۱۳۵۷/۴۱	لانگمویر	شبه مرتبه دوم	گرماگیر و خود به خودی	Bello و همکاران، (۲۰۱۵)

۴- جاذب‌های زیستی کامپوزیتی

از ضایعات کشاورزی (مانند پوست گندم، پوست برنج، و پوست انواع مرکبات و میوه‌های خشک) می‌توان برای تهیه کامپوزیت‌های پلیمری با کاربرد تجاری استفاده کرد. کامپوزیت‌ها، پلاستیک‌ها، و سرامیک‌ها قویترین مواد مهندسی در چند دهه اخیر هستند. اما امروزه استفاده از کامپوزیت الیاف طبیعی به تدریج مورد توجه صنعت و بخش دانشگاهی قرار گرفته است (Rao و Bhambure، ۲۰۱۹). هدف از ارائه این بخش، استفاده موثر از ضایعات مرکبات در تولید زیست کامپوزیت‌هایی است که به‌عنوان جاذب زیستی در تصفیه آب مطرح شدند (Joglekar و همکاران، ۲۰۲۱). زیست

کامپوزیت‌ها می‌توانند جایگزین زیست محیطی مناسبی برای کرین، شیشه، و کامپوزیت‌های الیاف مصنوعی باشند (Bharath و Basavarajappa، ۲۰۱۶). معمولاً کامپوزیت‌های زیستی از یک ساختار رزینی (ماتریس) و الیاف طبیعی (تقویت‌کننده) ایجاد می‌شوند. علاوه بر این، الیاف زیستی، اجزای اصلی زیست کامپوزیت‌ها هستند که از منشاء زیستی مشتق می‌شوند. الیاف معمولاً سلولزی هستند که از منابع مختلف در طبیعت به دست می‌آیند که بزرگترین منبع آن‌ها گیاهانند (Joglekar و همکاران، ۲۰۲۱). پژوهش‌های انجام شده در راستای استفاده از این دسته جاذب‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- جذب سطحی آلاینده‌ها از محلول آبی توسط جاذب‌های کامپوزیتی

ضایعات	روش تولید	میزان جذب (میلی گرم جذب شونده بر گرم جاذب)	آلاینده	BET (m ² /gr)	ایزوترم	مدل سینتیکی	ترمودینامیک	منبع
پوست مرکبات	پروتونه کردن	۳۱	کادمیم	-	لانگمویر و فروندلیچ	شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم	-	Chatterjee و Schiewer (۲۰۱۴b)
	پروتونه کردن و کامپوزیت با آلزینات	۴۳						
	کامپوزیت با آگار	۳۶						
	کامپوزیت با آلزینات	۳۵						
	پوست مرکبات	۱۱۶/۲						
پوست مرکبات	دانه‌های ژل آلزینات	۷۲/۱	سلنیوم (IV)	-	فروندلیچ	شبه مرتبه دوم	-	Dev و همکاران (۲۰۲۰)
	کلسیم							
	دانه‌های کامپوزیت از پوست‌های مرکبات و آلزینات کلسیم	۱۱۱/۹						
پوست مرکبات	اصلاح شده با استیک اسید به صورت پودری	۱۸۷/۷۷ و ۲۰۰/۱	متیلن بلو و کریستال ویولت	-	لانگمویر	شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم	گرمازا و خود به خودی	Aichour و Zaghoulane-Boudiaf (۲۰۲۰)
	پوست مرکبات فعال شده / دانه‌های کامپوزیت آلزینات	۸۸۱/۵۶ و ۹۲۳/۰۷						
پرتقال شیرین	کامپوزیت با آلزینات سدیم و سپس تیمار با استیک اسید	۷۵/۱۹ و ۲۳۲/۵۶	راکتیو بلو (۱۹ و ۴۹)	۳/۵۴	فروندلیچ، لانگمویر و تمکین	شبه مرتبه دوم	گرمازا	Asgher و Bhatti (۲۰۱۲)

باتوجه به جدول (۴)، روش کامپوزیت کردن به دلیل کارایی، مقرون به صرفه بودن، و توانایی حذف رنگ‌ها، فلزات سنگین و مواد شیمیایی سمی از آب‌های آلوده، بهترین روش برای تولید جاذب زیستی از ضایعات مرکبات است. به‌طور کلی هدف از بررسی و مقایسه روش‌های تولید جاذب، انتخاب روشی مناسب بر مبنای نوع ضایعات، نوع آلاینده‌های مورد نظر، و منابع مالی و انرژی در دسترس است. باتوجه به پژوهش‌های انجام شده، ضایعات مرکبات پتانسیل

خوبی برای حذف آلاینده‌های مختلف از آب، پساب، و فاضلاب‌ها دارند. باتوجه به روش‌های ارائه شده، جاذب‌های پروتونه شده (تیمار شیمیایی) کارایی بهتری نسبت به جاذب‌های زیستی حاصل از تیمار فیزیکی دارند. جاذب‌های زیستی تیمار شده شیمیایی پایداری شیمیایی و مکانیکی بیشتری در محیط‌های آبی دارند. علاوه بر این، تیمارهای شیمیایی به بهبود خواص سطح با گروه‌های عاملی اضافی یا مکان‌های جذب فعال کمک می‌کنند و ظرفیت

جذب را افزایش می‌دهند. از طرفی، فعال‌سازی ترموشیمیایی باعث ایجاد مواد کربن فعال می‌شود که تداخل بیشتری برای تسهیل جذب فیزیکی همراه با جذب شیمیایی نشان می‌دهند. همچنین، امروزه جاذب‌های زیستی با خواص مغناطیسی برای فرآیند تصفیه آب و فاضلاب بیشتر مورد توجه هستند؛ زیرا به دلیل ماهیت مغناطیسی می‌توان آن را به راحتی جدا کرد و بیش از یک بار از آن استفاده کرد (Verma و همکاران، ۲۰۱۹).

• نمک‌زدایی

استفاده از ضایعات مرکبات برای نمک‌زدایی در مقایسه با جاذب‌های مصنوعی، مقرون به صرفه‌تر و سازگارتر با محیط‌زیست است که این امر به پایداری آن‌ها می‌افزاید و ضایعات را کاهش می‌دهد. در این بخش به نمک‌زدایی از آب با رویکردهای مختلف براساس ضایعات مرکبات پرداخته می‌شود.

تولید مولد بخار خورشیدی (برای تولید بخار کارآمد) با استفاده از کربن متخلخل حاصل از پوست‌های لیموشیرین (ضایعات غذایی) و اسفنج پلی وینیل الکل در نمک‌زدایی خورشیدی از آب دریا بررسی شد. مولد بخار خورشیدی به‌طور رضایت بخشی نور خورشید را جذب و گرمای موضعی را در فصل مشترک آب و هوا ایجاد کرد. این مولد توانست بخار را با سرعت ۱/۳۸۶ کیلوگرم بر متر مربع در ساعت تولید نماید، که راندمان فتوترمال ۹۰/۸٪ را نشان داد. کربن متخلخل حاصل از زیست توده در اسفنج پلی وینیل الکل گنجانده شد تا یک مولد بخار خورشیدی کم هزینه، سبز و پایدار به دست آید (Wilson و همکاران، ۲۰۲۰). در پژوهشی دیگر، کربن فعال به‌دست آمده از پوست لیموشیرین برای آماده سازی الکترودهای اسفنجی متخلخل در دیونیزاسیون خازنی الکترو (CDI)^{۶۲} برای نمک‌زدایی آب استفاده شد. این بررسی، عملکرد فوق‌العاده کربن فعال را به‌عنوان یک ماده الکتروکود بسیار پایدار و کم‌هزینه برای ابرخازن‌ها و کاربردهای نمک‌زدایی آب تأیید کرد و حداکثر ظرفیت الکترو جذب کربن فعال مشتق شده از پوست لیمو شیرین برای نمک‌زدایی آب ۲۲/۸ میلی‌گرم بر گرم بود (Ahirrao و همکاران، ۲۰۱۹). در گزارش Xie و همکاران (۲۰۱۸)، مواد کربنی به‌دست آمده از پوست مرکبات به روش سنتز هیدروترمال با فعال کننده $ZnCl_2$ بررسی شد. کربن فعال شده به‌عنوان آند در سلول دیونیزاسیون خازنی (CDI) برای نمک‌زدایی به‌کار برده شد. این آند با مقدار بالای نمک‌زدایی (۱۶ میلی‌گرم بر گرم) و سرعت بالای جذب نمک (۰/۶۷ میلی‌گرم بر گرم در دقیقه)، مطلوب است. این پژوهش روشی آسان، کم‌هزینه، و سازگار با محیط‌زیست برای تهیه کربن متخلخل حاصل از ضایعات میوه با مقدار کم (۱٪ جرم) فعال کننده برای دیونیزاسیون خازنی با کارایی بالا ارائه می‌دهد. الکتروکود حاصل دارای بازده و نمک‌زدایی بالا پس از ۳۵ سیکل است.

Attallah و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند، ارزیابی نانوذرات مغناطیسی پوشش داده شده با پکتین (از پوست مرکبات یا سیب) در کاربردهای نمک‌زدایی آب با فرآیند اسمز رو به جلو (FO) با انرژی کم انجام شد. در این سیستم از یک غشای FO به عنوان غشای نیمه تراوا برای دفع نمک‌ها، و نانوذرات مغناطیسی پکتین پوشیده شده برای تحریک مولکول‌های آب در سراسر غشای FO استفاده شد. نتایج نشان دادند که آبدوستی نانوذرات فشار اسمزی بالایی برای کشیدن آب تمیز در سراسر غشای FO به همراه دفع نمک در محدوده ۹۵ تا ۹۷ درصد ایجاد می‌کند (Attallah و همکاران، ۲۰۱۸؛ Tayel و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین، برای نمک‌زدایی آب به بررسی کربن متخلخل به‌دست آمده (از طریق روش فعال‌سازی شیمیایی با KOH و دمای فعال‌سازی بالا) از پوست‌های گریپ فروت برای الکترودهای دیونیزاسیون خازنی پرداختند که بازده حذف نمک بالا (۹۵٪) و ظرفیت الکترو جذب ۵/۷۴ میلی‌گرم بر گرم هنگام اعمال ولتاژ ۲ ولت ایجاد شد. این نتایج نشان دادند که پوست‌های گریپ فروت می‌توانند الکترودهای CDI امیدوارکننده‌ای برای نمک‌زدایی آب با شوری کم باشند (Elisadiki و همکاران، ۲۰۱۹).

بازیابی جاذب

قابلیت استفاده مجدد از جاذب مهم است. این شامل حذف مواد جذب شده از سطح جاذب زیستی پس از استفاده است و جاذب زیستی باید تقریباً به شکل اولیه خود برگردد. تعداد چرخه‌هایی که در آن جاذب‌های زیستی می‌توانند مجدداً استفاده شوند، در تعیین ارزش اقتصادی و پایداری آن‌ها بسیار مؤثر است. یکی از دستاوردهای کلیدی جاذب‌های زیستی، بازیابی آن‌ها پس از استفاده است. برای یک جاذب زیستی کافی نیست که به تنهایی عملکرد بالایی از خود نشان دهد، بلکه قابلیت استفاده مجدد نیز به همان اندازه ضروری است. بنابراین، فرایند واجذب و بازیابی فرآیندهای اساسی هستند که هنگام انتخاب جاذب زیستی باید بررسی شوند (Adewuyi، ۲۰۲۰). یک جاذب با کیفیت را می‌توان بازیافت و بازیابی کرد و هزینه تولید آن را تا حد زیادی کاهش داد. بازیابی جاذب‌های استفاده شده را می‌توان به طور مکرر انجام داد. با این وجود، ظرفیت جذب جاذب بازیابی شده کمتر از جاذب اولیه است. واجذب آلاینده را می‌توان با استفاده از روش بازیابی مناسب افزایش داد. چندین روش شامل جداسازی مغناطیسی، فیلتراسیون، بازیابی حرارتی، قابلیت استفاده مجدد از حلال، عملیات مایکروویو، ترمیم مایع فوق بحرانی، روش اکسیداسیون پیشرفته، استفاده از شوینده‌ها و روش میکروبی برای بازیابی جاذب‌های اشباع استفاده می‌شود (Adewuyi، ۲۰۲۰؛ Osman و همکاران، ۲۰۲۳).

تمامی اجزاء یک محصول کشاورزی بهره مناسب و کامل را ببرد. طرح تبدیل ضایعات کشاورزی به محصولات مدتی است که در حال انجام است. با این حال، برخی از معایب، مانند فناوری محدود مربوط به استفاده از محصولات زراعی-کشاورزی نیز وجود دارد. در آینده، پیشنهادها برای انرژی‌های سبز، اقتصادی و تجدیدپذیر باید شامل افزایش استفاده از ضایعات کشاورزی باشد. با بهره‌گیری مناسب از علم بیوتکنولوژی در مورد ضایعات کشاورزی، می‌توان به‌منظور حذف آن‌ها و تبدیل آن‌ها به فرآورده‌های سودمند اقدام کرد (Abdullah و همکاران، ۲۰۲۱). در این میان، تولید سالانه مرکبات در کشور ایران در حدود ۴/۵ میلیون تن است که ۴۰ درصد مرکبات تولیدی کشور دورریز می‌شود. مرکبات یکی از بزرگترین محصولات میوه‌ای است که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری روی کره زمین رشد می‌کند. مناطق مناسب برای تولید مرکبات در ایران به سه منطقه شامل: مناطق شمالی (مازندران، گیلان و گلستان)، مناطق مرکزی (فارس، کرمان، کرمانشاه، ایلام، کهگیلویه و بویراحمد و خراسان جنوبی)، و مناطق جنوبی (هرمزگان، بوشهر و سیستان و بلوچستان) تقسیم می‌شوند. ایران در بین کشورهای تولید کننده مرکبات در رتبه هفتم قرار دارد و استان‌های گیلان و مازندران بیشترین سهم در تولید مرکبات را دارند و پس از آن استان‌هایی نظیر فارس، کرمان و هرمزگان از دیگر تولیدکنندگان مهم مرکبات هستند. در جدول (۵) میزان تولید و درصد ضایعات چند محصول باغی (مرکبات) ارائه شده است.

جدول ۵- میزان تولید و درصد ضایعات مرکبات در ایران (میرمجیدی هشتجین و همکاران، ۱۳۹۵)

نوع محصول (میلیون تن)	میزان تولید	حدود ضایعات (%)
پرتقال	۱/۹۳	۳۰
لیموترش	۰/۴۸	۲۶
نارنگی	۰/۷	۳۱
لیموشیرین	۰/۵۱	۲۶

باتوجه به جدول (۵)، میزان ضایعات مرکبات بالا است. بنابراین، استفاده از این ضایعات باعث کاهش آن‌ها و کاهش آلودگی محیط‌زیست می‌شود. به‌طور متناوب، این ضایعات می‌توانند به جاذب‌های زیستی برای حذف مواد شیمیایی مضر و سمی از فاضلاب‌های صنعتی تبدیل شوند. همچنین، اطلاعات و ارقام نشان می‌دهند میزان آبی که در بخش ضایعات محصولات باغی از دست می‌رود معادل ۳/۹ میلیارد مترمکعب بوده و درحالی‌که حتی برای برخی مناطق تامین یک متر مکعب آب بسیار اهمیت دارد و حیاتی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که قسمت عمده ضایعات مرکبات در ایران و کشورهای در حال توسعه مربوط

تخمین هزینه جذب زیستی و تولید جاذب زیستی کار آسانی نیست و اغلب گزارش نمی‌شود. تصفیه فرآیند، حمل و نقل، مصرف انرژی، تعمیر و نگهداری، بهینه‌سازی فرآیند، بازسازی، واجذب و ... عواملی هستند که هنگام تخمین زدن مورد توجه قرار می‌گیرند. این به ماهیت آب یا فاضلابی که باید تصفیه شود و همچنین حجم آن بستگی دارد. با این حال، هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های جاری به نوع و اندازه تصفیه‌خانه بستگی دارد. بهتر است از ضایعات مرکبات به‌عنوان ماده اولیه برای تولید جاذب زیستی استفاده شود تا هزینه فرآیند به حداقل برسد. ضایعات تولید شده از محصولات مزرعه، ضایعات خانگی و صنعتی مانند ضایعات باکتریایی صنایع تخمیر، ضایعات قارچی صنایع تبدیلی مواد غذایی و لجن سایر صنایع تبدیلی در تولید جاذب زیستی قابل استفاده هستند. دفع زباله یک مشکل اساسی است. بنابراین، استفاده از این زباله‌ها برای تولید جاذب زیستی مشکل محیط‌زیستی را حل می‌کند و درعین حال به کاهش هزینه تولید جاذب‌های زیستی برای تصفیه آب کمک می‌کند. یکی از عواملی که هزینه تولید را افزایش می‌دهد، پیش تصفیه است. برخی از این مواد قبل از پردازش نیاز به پیش تصفیه دارند و پیش تصفیه اضافی ممکن است هزینه تولید را افزایش دهد. با این حال، مهم است که یک پیش تصفیه موثر اما ارزان و قابل استفاده لحاظ شود. برای به حداقل رساندن هزینه، اطمینان از نزدیک بودن مرکز تصفیه به منبع زباله، حیاتی است. هزینه‌های تولید از جاذبی به جاذب دیگر بسته به ساختار آن، متفاوت باشد. هزینه جذب زیستی نیز به ظرفیت و رفتار جاذب زیستی مورد استفاده بستگی دارد. هر چه مصرف انرژی بیشتر باشد، هزینه تولید نیز بیشتر می‌شود. فرآیند جذب زیستی در مقایسه با روش‌های دیگر مانند اسمز معکوس، الکترودیالیز، اکسیداسیون پیشرفته و روش‌های الکتروترمال که حدود ۴۵۰ دلار آمریکا در هر میلیون لیتر هزینه دارند، از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر است. بسته به نوع جاذب زیستی، هزینه تصفیه آب به ازای هر میلیون لیتر از ۱۰ تا ۲۰۰ دلار آمریکا تخمین زده می‌شود (Adewuyi, ۲۰۲۰).

ظرفیت بومی‌سازی

در حال حاضر سالانه و به طور متوسط حدود ۱۰۰ میلیون تن انواع محصولات کشاورزی در ایران تولید می‌شود که تقریباً ۱۶/۵ میلیون تن آن به‌صورت ضایعات از چرخه مصرف به‌عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود (میرمجیدی هشتجین و همکاران، ۱۳۹۵). در ایران، تقریباً نیمی از محصولات کشاورزی بدون اینکه به مصرف برسد، در مراحل مختلف از بین می‌روند و صنایع تبدیلی موجود در ایران به آن حد از رشد نرسیده که بتواند از

باتوجه به مطالعات انجام شده، تولید جاذب‌های زیستی از طریق روش‌های فیزیکی، شیمیایی، کربنه‌کردن، و ترکیبی از این روش‌ها مزایای متمایزی دارد. فعال‌سازی فیزیکی، سطح ویژه کمتری با درصد منافذ بالایی ایجاد می‌کند که جاذب را برای کاربردهای خاص مناسب می‌کند. از سوی دیگر، فعال‌سازی شیمیایی، منجر به افزایش سطح با افزایش ریزحفره‌ها می‌شود و قابلیت جذب آلاینده را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تهیه جاذب‌های زیستی از طریق فعال‌سازی حرارتی در دمای بالا، اثرات قابل‌توجهی بر روی ظرفیت جذب جاذب‌های ارزان با حجم منافذ بهینه دارد. جاذب‌های زیستی تولید شده از طریق روش‌های کربنه‌کردن به دلیل ایجاد ساختارهای منحصر به فرد ترجیح داده می‌شوند زیرا جذب آلاینده را با هزینه کم و عملکرد بالا ممکن می‌سازد. بنابراین، ترکیبی از روش‌های فیزیکی و شیمیایی در تولید جاذب‌های زیستی می‌تواند رویکرد مناسبی برای توسعه جاذب‌های متخلخل باشد که برای نیازهای مختلف مفید هستند. با استفاده ترکیبی از این روش‌ها، ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی جاذب‌های زیستی افزایش می‌یابد که منجر به افزایش کارایی در حذف آلاینده‌های معدنی و آلی از فاضلاب می‌شود. این پژوهش نشان داد حل هم‌زمان معضل انباشت ضایعات مرکبات و تصفیه فاضلاب‌های صنعتی قابل انجام است. اگرچه، هزینه‌های جداسازی و بازیابی جاذب‌ها می‌تواند یکی از بزرگ‌ترین موانع برای استفاده از جاذب‌ها باشد، اما ضایعات مرکبات چون ارزان قیمت هستند نیازی به بازیابی جاذب‌های حاصل از آن‌ها نیست. از طرفی، بررسی‌ها نشان داد ضایعات مرکبات به‌عنوان مواد اولیه سازنده جاذب‌های گرمایی و خورشیدی شناور برای نمک‌زدایی در مقایسه با جاذب‌های مصنوعی، نه تنها کارایی را بهبود بخشیدند، بلکه مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی نیز داشتند. همچنین، فرآیند جذب زیستی با جاذب‌های زیستی در مقایسه با روش‌های دیگر از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر هستند. بنابراین، در میان بسیاری از جاذب‌های زیستی ارزان قیمت مطالعه شده، ضایعات مرکبات یکی از گزینه‌های مناسب، برای تولید جاذب‌های زیستی تصفیه کننده آب و فاضلاب هستند.

پیشنهادها

بررسی‌های این پژوهش روی جاذب‌های مختلف حاصل از ضایعات مرکبات نشان داد که استفاده از ضایعات مرکبات برای جذب آلاینده‌های مختلف مانند رنگ‌ها، سم‌ها، داروها، یون‌های فلزی، و نمک از محیط‌های آبی از نظر اقتصادی و محیط‌زیستی امکان‌پذیر است و در صورت اجرا در مقیاس صنعتی، تأثیر مثبت

به مراحل برداشت و پس از برداشت است. همچنین، مابقی ضایعات از کارخانه‌های تولید آمپوه و ... در ایران سرچشمه می‌گیرد که در اکثر استان‌های کشور از جمله تهران، البرز، خراسان رضوی، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، فارس، مازندران، اصفهان، گلستان، قزوین، خوزستان، قم، و گیلان تأسیس شده‌اند. این ضایعات اثرات منفی قابل ملاحظه‌ای بر رشد و توسعه کشور دارد. متأسفانه یکی از ضعف‌هایی که در بخش صنایع تبدیلی ضایعات کشاورزی وجود دارد این است که پایشی در زمینه فعالیت و عدم فعالیت صنایع وجود نداشته است و باعث شده است که باوجود تولید بالای ضایعات مرکبات (از بخش‌های مختلف مثل کشت، برداشت، حمل و نقل، نگهداری، و تفاله‌های حاصل از کارخانجات)، به حداقل استفاده از این ضایعات اکتفا شود. فرآوری مرکبات انواع مختلفی از پسماندهای جامد و مایع را تولید می‌کند. از محصولات جانبی مرکبات می‌توان به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات با ارزش افزوده، برای تولید سوخت‌های زیستی گازی (بیومتان)، سوخت‌های زیستی مایع (بیودیزل و بیواتانول)، و جاذب برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی استفاده کرد. همچنین، می‌توان از آن‌ها در بخش‌های غذایی، آرایشی و بهداشتی، دارویی، در تولید خوراک بهینه دام و کودهای خاص زیستی استفاده کرد.

صنایع تولیدکننده انواع فاضلاب صنعتی در بیشتر استان‌های ایران وجود دارد که شامل، صنایع معدنی، صنایع دارویی و بهداشتی، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع فولاد و آهن، صنایع غذایی، کشتارگاه‌ها، صنایع نساجی، صنایع کاغذ و مقوا، صنایع چاپ و رنگریزی، صنایع باتری‌سازی و ... است. انواع فاضلاب‌های صنعتی به جهت اینکه حاوی مواد سمی، واکنش‌پذیر، رنگ‌ها، فلزات سنگین، و مواد سرطان‌زا هستند، بدون اعمال فرایندهای تصفیه امکان تخلیه به آب‌های سطحی را ندارند و اثرات بسیار مخربی بر محیط‌زیست خواهند گذاشت. در ایران (در اکثر مناطق)، باتوجه به حجم بالای ضایعات مرکبات، می‌توان از این ضایعات با روشی آسان (فیزیکی، شیمیایی و کربونه کردن یا ترکیبی از این روش‌ها)، برای تولید جاذب زیستی استفاده کرد. بنابراین، از جاذب‌های زیستی حاصل از ضایعات مرکبات می‌توان برای تصفیه فاضلاب‌های حاصل از صنایع‌های مختلف که در ایران وجود دارد استفاده کرد. استفاده از روش جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های زیستی (ضایعات مرکبات) نسبت به روش‌های دیگر، مقرون به‌صرفه، آسان و موثر در حذف بسیاری از آلاینده‌ها به‌ویژه رنگ‌ها و فلزات است. از این رویکرد می‌توان در ایران، باتوجه به حجم بالای ضایعات مرکبات، برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در فاضلاب‌های صنعتی استفاده کرد. تولید جاذب زیستی از ضایعات مرکبات می‌تواند موجب توسعه صنعت آب و فاضلاب در ایران شود.

- 16-Methylene Blue 17-Methyl Red
 18-Methyl Orange 19-Toluidine Blue O
 20-Crystal Violet 21-Safranin O
 22-Bromothymol Blue 23-Bromophenol
 24-Malachite Green 25-Langmuir isotherm
 26-Freundlich isotherm 27-Sips
 28-Dubinín-Radushkevich isotherm
 29-Temkin isotherm
 30-Brunauer, Emmett, and Teller isotherm
 31-Elovich 32-Avrami 33-Bangham
 34-Layer diffusion models
 35-Pseudo-First-Order
 36-Pseudo-Second-Order
 37-Lagergren pseudo-first order 38-Acid Violet 17
 39-Remazol Brilliant Blue R 40-Direct Blue 77
 41-Safranin Orange 42-Congo Red
 43-Procion Orange 44-Rhodamine B
 45-Acid Orange 52 46-Basic Blue 9
 47-Basic Violet 10 48-Direct Red 28
 49-Methyl Violet 50-Arsenic
 51-Hexamethylene diisocyanate
 52-Indigo Carmine 53-Arsenic (III) and (V)
 54-Acid Blue 55-Direct Yellow 12
 56-Koble-Corrigan
 57-Generalized isotherm equations
 58-Trimethoprim 59-Direct Blue 86
 60-Reactive Red 2 61-Reactive Blue 19 & 49
 62-Capacitive Deionization (CDI) Cell

منابع

- میرمجیدی هشتجین، عادل، فامیل مومن، رضا، و گودرزی، فرزاد. (۱۳۹۵). کاهش ضایعات محصولات کشاورزی راهبرد اصلی در ارتقاء امنیت غذایی. کرج، ایران.
- Aboli, E., Jafari, D., & Esmaeili, H. (2020). Heavy metal ions (lead, cobalt, and nickel) biosorption from aqueous solution onto activated carbon prepared from Citrus limetta leaves. Carbon letters, 30, 683-698. doi.org/10.1007/s42823-020-00141-1
- Abdullah, N. A., Rani, M. S. A., Mohammad, M., Sainorudin, M. H., Asim, N., Yaakob, Z., Razali, H., & Emdadi, Z. (2021). Nanocellulose from agricultural waste as an emerging nanotechnology material for nanotechnology applications—an overview. Polimery, 66(3). doi.org/10.14314/polimery.2021.3.1

محیط زیستی را به همراه دارد. به منظور توسعه عملی استفاده از جاذب های زیستی حاصل از مرکبات برای تصفیه آب، چالش هایی وجود دارد که پیشنهاد می شود در کارهای پژوهشی آینده مورد توجه قرار گیرند:

- بسیاری از مطالعات به منظور استفاده از جاذب ها برای حذف یک آلایندة خاص از فاضلاب مصنوعی انجام شدند که برای کاربردهای واقعی غیر عملی است. بنابراین، پژوهش های آینده باید استفاده از فاضلاب های واقعی حاوی مخلوطی از آلایندة ها را برای ارزیابی جاذب ها بررسی نمایند.
- در بیشتر پژوهش ها جذب زیستی در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد که باید برای به دست آوردن عملکرد کامل جذب زیستی، بررسی کافی در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی لحاظ شود.
- توسعه فناوری های مقرون به صرفه برای واجذب آلایندة ها از جاذب های استفاده شده و بازیابی آن ها باید بررسی شوند.
- سطح بسیاری از جاذب ها را برای افزایش ظرفیت جذب می توان تغییر داد. بنابراین، باید روش های اصلاح سطح جدیدی مبتنی بر فناوری های نو مانند پلاسمای سرد را بررسی کرد.
- پژوهش های بیشتری برای اطمینان از ایمنی و اثرات زیست محیطی ضایعات مرکبات مورد نیاز است.
- ارزیابی فنی-اقتصادی کلید گمشده توسعه این رویکرد است که اغلب، در پژوهش های مختلف ارائه نمی شود. بنابراین، برای اثبات کارایی این رویکرد باید در پژوهش های آینده ارزیابی اقتصادی برای جاذب های تولیدی و میزان صرفه جویی اقتصادی ناشی از این رویکرد در تصفیه فاضلاب ارائه شود.

سپاسگزاری

این اثر تحت حمایت مادی دانشگاه فردوسی مشهد برگرفته شده از طرح پژوهشی با کد ۶۱۶۷۹ انجام شده است. به این وسیله، نویسندگان از دانشگاه فردوسی مشهد قدردانی می کنند.

پی نوشت ها

- 1-World Water Council
- 2-World Health Organization
- 3-Citrus peel waste
- 4-Biochemical Oxygen Demand
- 5-Chemical Oxygen Demand
- 6-Reverse Osmosis
- 7-Capacitive deionization
- 8-Nanofiltration
- 9-Electrodialysis
- 10-Electrodialysis Reversal
- 11-Solar distillation
- 12-Multi-Stage Flash Distillation
- 13-Multi-Effect Distillation
- 14-Vapour Compression Distillation
- 15-Magnetic pectin-Chlorella vulgaris

- Babu, C. S., Chakrapani, C. C., & Rao, K. S. (2011). Equilibrium and kinetic studies of reactive red 2 dye adsorption onto prepared activated carbons. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 3(1), 428-439.
- Bayo, J., Esteban, G., & Castillo, J. (2012). The use of native and protonated grapefruit biomass (*Citrus paradisi* L.) for cadmium (II) biosorption: equilibrium and kinetic modelling. *Environmental Technology*, 33(7), 761-772. doi.org/10.1080/09593330.2011.592227
- Bello, O. S., Ahmad, M. A., & Semire, B. (2015). Scavenging malachite green dye from aqueous solutions using pomelo (*Citrus grandis*) peels: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination and Water Treatment*, 56(2), 521-535. doi.org/10.1080/19443994.2014.940387
- Bharadwaj, R., Singh, D., & Mahapatra, A. (2008). Seawater desalination technologies. *International Journal of Nuclear Desalination*, 3(2), 151-159. doi.org/10.1504/IJND.2008.020222
- Bhatti, H. N., Akhtar, N., & Saleem, N. (2012). Adsorptive removal of methylene blue by low-cost *Citrus sinensis* bagasse: equilibrium, kinetic and thermodynamic characterization. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 37, 9-18. doi.org/10.1007/s13369-011-0158-1
- Bhatnagar, A., Kumar, E., Minocha, A. K., Jeon, B. H., Song, H., & Seo, Y. C. (2009). Removal of anionic dyes from water using *Citrus limonum* (lemon) peel: equilibrium studies and kinetic modeling. *Separation Science and Technology*, 44(2), 316-334. doi.org/10.1080/01496390802437461
- Bhatnagar, A., Minocha, A. K., & Sillanpää, M. (2010). Adsorptive removal of cobalt from aqueous solution by utilizing lemon peel as biosorbent. *Biochemical Engineering Journal*, 48(2), 181-186. doi.org/10.1016/j.bej.2009.10.005
- Bhambure, S., & Rao, A. S. (2019). A Review on Bio Composites in Industrial Applications. In *Proceedings 2019: Conference on Technologies for Future Cities (CTFC)*. Veermata Jijabai Technological Institute (VJTI) - Department of Mechanical Engineering, New Panvel. Maharashtra, India. doi.org/10.2139/ssrn.3346958
- Bharath, K. N., & Basavarajappa, S. (2016). Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review. *Science and Engineering of Composite Materials*, 23(2), 123-133. doi.org/10.1515/secm-2014-0088
- Adewuyi, A. (2020). Chemically modified biosorbents and their role in the removal of emerging pharmaceutical-waste in the water system. *Water*, 12, 1551. doi.org/10.3390/w12061551
- Aguilar-Torrejón, J. A., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G., Barrera-Díaz, C. E., Rodríguez-Torres, I., & Torres-Blancas, T. (2023). Relationship, importance, and development of analytical techniques: COD, BOD, and, TOC in water—An overview through time. *SN Applied Sciences*, 5(4), 118. doi.org/10.1007/s42452-023-05318-7
- Ahirrao, D. J., Tambat, S., Pandit, A. B., & Jha, N. (2019). Sweet-lime-peels-derived activated-carbon-based electrode for highly efficient supercapacitor and flow-through water desalination. *ChemistrySelect*, 4(9), 2610-2625. doi.org/10.1002/slct.201803417
- Aichour, A., & Zaghouane-Boudiaf, H. (2020). Single and competitive adsorption studies of two cationic dyes from aqueous mediums onto cellulose-based modified citrus peels/calcium alginate composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 1227-1236. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.277
- Annadurai, G., Juang, R. S., & Lee, D. J. (2002). Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 92(3), 263-274. [doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00017-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00017-1)
- Arunkumar, T., Lim, H. W., Denkenberger, D., & Lee, S. J. (2022). A review on carbonized natural green flora for solar desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112121. doi.org/10.1016/j.rser.2022.112121
- Ashraf, M. A., Maah, M. J., Yusoff, I., Mahmood, K., & Wajid, A. (2011). Study of biosorptive potential in the peel of *Citrus reticulata*, *Punica granatum*, *Daucus carota* and *Momordica charantia*. *African Journal of Biotechnology*, 10(68), 15364-15371. doi.org/10.5897/AJB11.1090
- Asgher, M., & Bhatti, H. N. (2012). Removal of reactive blue 19 and reactive blue 49 textile dyes by citrus waste biomass from aqueous solution: equilibrium and kinetic study. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 90(2), 412-419. doi.org/10.1002/cjce.20531
- Attallah, O. A., Al-Ghobashy, M. A., Nebesen, M., El-Kholy, R., & Salem, M. Y. (2018). Assessment of pectin-coated magnetite nanoparticles in low-energy water desalination applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 18476-18483. doi.org/10.1007/s11356-018-2060-9

- (Citrus maxima) fruit peels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 63504-63515. doi.org/10.1007/s11356-020-10176-6
- Dutta, S., Bhattacharyya, A., Ganguly, A., Gupta, S., & Basu, S. (2011). Application of response surface methodology for preparation of low-cost adsorbent from citrus fruit peel and for removal of methylene blue. *Desalination*, 275(1-3), 26-36. doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.057
- El Malti, W., Hijazi, A., Abou Khalil, Z., Yaghi, Z., Medlej, M. K., & Reda, M. (2022). Comparative study of the elimination of copper, cadmium, and methylene blue from water by adsorption on the Citrus sinensis peel and its activated carbon. *Royal Society of Chemistry advances*, 12(17), 10186-10197. doi.org/10.1039/D1RA08997H
- El Nemr, A., Abdelwahab, O., El-Sikaily, A., & Khaled, A. (2009). Removal of direct blue-86 from aqueous solution by new activated carbon developed from orange peel. *Journal of Hazardous Materials*, 161(1), 102-110. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.060
- Elisadiki, J., Jande, Y. A. C., Machunda, R. L., & Kibona, T. E. (2019). Porous carbon derived from Artocarpus heterophyllus peels for capacitive deionization electrodes. *Carbon*, 147, 582-593. doi.org/10.1016/j.carbon.2019.03.036
- FENG, N. C., & GUO, X. Y. (2012). Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead, and zinc by modified orange peel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 22(5), 1224-1231. [doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61309-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61309-5)
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2011). Microwave assisted preparation of activated carbon from pomelo skin for the removal of anionic and cationic dyes. *Chemical Engineering Journal*, 173(2), 385-390. doi.org/10.1016/j.cej.2011.07.073
- Gondhalekar, S. C., & Shukla, S. R. (2014). Equilibrium and kinetics study of uranium (VI) from aqueous solution by Citrus limetta peels. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 302, 451-457. doi.org/10.1007/s10967-014-3165-3
- Gönen, F., & Serin, D. S. (2012). Adsorption study on orange peel: removal of Ni (II) ions from aqueous solution. *African Journal of Biotechnology*, 11(5), 1250-1258. doi.org/10.5897/AJB11.1753
- Gunay Gurer, A., Aktas, K., Ozkaleli Akcetin, M., Erdem Unsar, A., & Asilturk, M. (2021). Adsorption isotherms, thermodynamics, and kinetic modeling of methylene blue
- Biswas, B. K., Inoue, K., Ghimire, K. N., Ohta, S., Harada, H., Ohto, K., & Kawakita, H. (2007). The adsorption of phosphate from an aquatic environment using metal-loaded orange waste. *Journal of Colloid and Interface Science*, 312(2), 214-223. doi.org/10.1016/j.jcis.2007.03.072
- Chatterjee, A., & Schiewer, S. (2011). Biosorption of cadmium (II) ions by citrus peels in a packed bed column: effect of process parameters and comparison of different breakthrough curve models. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 39(9), 874-881. doi.org/10.1002/clen.201000482
- Chatterjee, A., & Schiewer, S. (2014a). Effect of competing cations (Pb, Cd, Zn, and Ca) in fixed-bed column biosorption and desorption from citrus peels. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 1-13. doi.org/10.1007/s11270-013-1854-0
- Chatterjee, A., & Schiewer, S. (2014b). Multi-resistance kinetic models for biosorption of Cd by raw and immobilized citrus peels in batch and packed-bed columns. *Chemical Engineering Journal*, 244, 105-116. doi.org/10.1016/j.cej.2013.12.017
- Czarnota, R., Knapik, E., Wojnarowski, P., Janiga, D., & Stopa, J. (2019). Carbon dioxide separation technologies. *Archives of Mining Sciences*, 64(3), 487-498. doi.org/10.24425/ams.2019.129364
- Da Silva, M. D., da Boit Martinello, K., Knani, S., Lütke, S. F., Machado, L. M., Manera, C., Perondi, D., Godinho, M., Collazzo, G.C., Silva, L.F., & Dotto, G. L. (2022). Pyrolysis of citrus wastes for the simultaneous production of adsorbents for Cu (II), H₂, and d-limonene. *Waste Management*, 152, 17-29. doi.org/10.1016/j.wasman.2022.07.024
- De Souza, J. V. T. M., Diniz, K. M., Massocatto, C. L., Tarley, C. R. T., Caetano, J., & Dragunski, D. C. (2012). Removal of Pb (II) from aqueous solution with orange sub-products chemically modified as biosorbent. *BioResources*, 7(2), 2300-2318. doi.org/10.15376/biores.7.2.2300-2318
- Dev, S., Khamkhash, A., Ghosh, T., & Aggarwal, S. (2020). Adsorptive removal of Se (IV) by citrus peels: Effect of adsorbent entrapment in calcium alginate beads. *American Chemical Society omega*, 5(28), 17215-17222. doi.org/10.1021/acsomega.0c01347
- Dinh, V. P., Xuan, T. D., Hung, N. Q., Luu, T. T., Do, T. T. T., Nguyen, T. D., Nguyen, V.D., Anh, T.T.K., & Tran, N. Q. (2021). Primary biosorption mechanism of lead (II) and cadmium (II) cations from aqueous solution by pomelo

- Khorasani, A. C., Bajestani, S. Z., & Bajestani, A. S. (2023). Comparative techno-economic assessment of production of microcrystalline cellulose, microcrystalline nitrocellulose, and solid biofuel for biorefinery of pistachio shell. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101673. doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101673
- Khorasani, A. C., & Satvati, P. R. (2024). Reusable cellulose-based biosorbents for efficient iodine adsorption by economic microcrystalline cellulose production from walnut shell. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 128432. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128432
- Khaskheli, M. I., Memon, S. Q., Siyal, A. N., & Khuahwar, M. Y. (2011). Use of orange peel waste for arsenic remediation of drinking water. *Waste and Biomass Valorization*, 2, 423-433. doi.org/10.1007/s12649-011-9081-7
- Khormaei, M., Nasernejad, B., Edrisi, M., & Eslamzadeh, T. (2007). Copper biosorption from aqueous solutions by sour orange residue. *Journal of Hazardous Materials*, 149(2), 269-274. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.074
- Khaled, A., El Nemr, A., El-Sikaily, A., & Abdelwahab, O. (2009). Treatment of artificial textile dye effluent containing Direct Yellow 12 by orange peel carbon. *Desalination*, 238(1-3), 210-232. doi.org/10.1016/j.desal.2008.02.014
- Lasheen, M. R., Ammar, N. S., & Ibrahim, H. S. (2012). Adsorption/desorption of Cd (II), Cu (II) and Pb (II) using chemically modified orange peel: Equilibrium and kinetic studies. *Solid State Sciences*, 14(2), 202-210. doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2011.11.029
- Lee, M. G., & Kam, S. K. (2018). Study on the adsorption of antibiotics trimethoprim in aqueous solution by activated carbon prepared from waste citrus peel using box-behnken design. *Korean Chemical Engineering Research*, 56(4), 568-576. doi.org/10.9713/kcer.2018.56.4.568
- Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, E. R., Koteswararao, R., Dhyani, A., Cho, M.H., & Cho, S. (2020). Bio-sorbents, industrially important chemicals, and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. *Journal of Advanced Research*, 23, 61-82. doi.org/10.1016/j.jare.2020.01.007
- Mahato, N., Agarwal, P., Mohapatra, D., Sinha, M., Dhyani, A., Pathak, B., Tripathi, M.K., & Angaiah, S. (2021). Bio-transformation of citrus waste-II: bio-sorbent materials for removal of dyes, heavy metals, and toxic chemicals from polluted water. *Processes*, 9(9), 1544. doi.org/10.3390/pr9091544
- onto novel carbonaceous adsorbent derived from bitter orange peels. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232, 1-17. doi.org/10.1007/s11270-021-05090-7
- Hameed, B. H., Mahmoud, D. K., & Ahmad, A. L. (2008). Sorption of basic dye from aqueous solution by pomelo (*Citrus grandis*) peel in a batch system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 316(1-3), 78-84. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.08.033
- Inagaki, C. S., Caretta, T. D. O., Alfaya, R. V. D. S., & Alfaya, A. A. D. S. (2013). Mexerica mandarin (*Citrus nobilis*) peel as a new biosorbent to remove Cu (II), Cd (II), and Pb (II) from industrial effluent. *Desalination and Water Treatment*, 51(28-30), 5537-5546. doi.org/10.1080/19443994.2012.759156
- Januário, E. F. D., Vidovix, T. B., Araujo, L. A. D., Bergamasco Beltran, L., Bergamasco, R., & Vieira, A. M. S. (2022). Investigation of Citrus reticulata peels as an efficient and low-cost adsorbent for the removal of safranin orange dye. *Environmental Technology*, 43(27), 4315-4329. doi.org/10.1080/09593330.2021.1946601
- Joglekar, J. J., Munde, Y. S., Jadhav, A. L., Bhutada, D. S., Radhakrishnan, S., & Kulkarni, M. B. (2021). Studies on effective utilization of Citrus Maxima fibers-based PVC composites. *Materials Today: Proceedings*, 42, 578-583. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.648
- Karanicola, P., Patsalou, M., Stergiou, P. Y., Kavallieratou, A., Evripidou, N., Christou, P., & Koutinas, M. (2021). Ultrasound-assisted dilute acid hydrolysis for production of essential oils, pectin, and bacterial cellulose via a citrus processing waste biorefinery. *Bioresource Technology*, 342, 126010. doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126010
- Khorasani, A. C., & Shojaosadati, S. A. (2019a). Magnetic pectin-*Chlorella vulgaris* biosorbent for the adsorption of dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103062. doi.org/10.1016/j.jece.2019.103062
- Khorasani, A. C., & Shojaosadati, S. A. (2019b). Intestinal adsorption of glucose, cholesterol, and bile salt by simultaneous incorporation of edible microbiosorbent and intestinal bacteria. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101119. doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101119
- Khorasani, A. C., Kouhfar, F., & Shojaosadati, S. A. (2021). Pectin/lignocellulose nanofibers/chitin nanofibers bionanocomposite as an efficient biosorbent of cholesterol and bile salts. *Carbohydrate Polymers*, 261, 117883. doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117883

- using nanocelluloses/cellulose derivatives-based membranes for sustainable future. *Desalination*, 520, 115359. doi.org/10.1016/j.desal.2021.115359
- Rahmat, N. A., Ali, A. A., Salmiati, Hussain, N., Muhamad, M. S., Kristanti, R. A., & Hadibarata, T. (2016). Removal of Remazol Brilliant Blue R from aqueous solution by adsorption using pineapple leaf powder and lime peel powder. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227, 1-11. doi.org/10.1007/s11270-016-2807-1
- Rani, S., & Chaudhary, S. (2022). Adsorption of methylene blue and crystal violet dye from waste water using Citrus limetta peel as an adsorbent. *Materials Today: Proceedings*, 60, 336-344. doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.237
- Rajasekhar, K. K., Babu, R. H., Veena, B. M., Lavanya, G., Haripriya, P., & Hamsini, K. V. (2009). Adsorption studies of methylene blue and congo red on the surface of Citrus aurantium. *Asian Journal of Chemistry*, 21(2), 1531.
- Rehman, R., Zafar, J., & Nisar, H. (2014). Adsorption studies of removal of indigo carmine dye from water by formaldehyde and urea treated cellulosic waste of citrus reticulata peels. *Asian Journal of Chemistry*, 26(1), 43. doi.org/10.14233/ajchem.2014.15305
- Rosales, E., Meijide, J., Tavares, T., Pazos, M., & Sanromán, M. A. (2016). Grapefruit peelings as a promising biosorbent for the removal of leather dyes and hexavalent chromium. *Process Safety and Environmental Protection*, 101, 61-71. doi.org/10.1016/j.psep.2016.03.006
- Roy, H., Prantika, T. R., Riyad, M. H., Paul, S., & Islam, M. S. (2022). Synthesis, characterizations, and RSM analysis of Citrus macroptera peel derived biochar for textile dye treatment. *South African Journal of Chemical Engineering*, 41, 129-139. doi.org/10.1016/j.sajce.2022.05.008
- Samrot, A. V., Purohit, K., Saigeetha, S., Shobana, N., Dhas, T. S., & Cypriana, P. J. (2022). Citrus sinensis cellulose fibres incorporated with SPIONs for effective removal of crystal violet dye. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 39, 102211. doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102211
- Saeed, A., Sharif, M., & Iqbal, M. (2010). Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: kinetics, equilibrium, and mechanism of crystal violet adsorption. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 564-572. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.041
- Sattar, J. A. A. (2013). Toxic metal pollution abatement using sour orange biomass. *Al-Nahrain Journal of Science*, 16(3), 56-64. doi.org/10.22401/JNUS.16.3.07
- Mafra, M. R., Igarashi-Mafra, L., Zuim, D. R., Vasques, E. C., & Ferreira, M. A. (2013). Adsorption of remazol brilliant blue on an orange peel adsorbent. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30, 657-665. doi.org/10.1590/S0104-66322013000300022
- Mahmoud, G. A., Abdel-Aal, S. E., Badway, N. A., Elbayaa, A. A., & Ahmed, D. F. (2017). A novel hydrogel based on agricultural waste for removal of hazardous dyes from aqueous solution and reuse process in a secondary adsorption. *Polymer Bulletin*, 74, 337-358. doi.org/10.1007/s00289-016-1717-0
- Muniraj, K., Raju, G., Asha, B., & Manikandan, G. (2020). Citrus lemon leaf powder as a biosorbent for the removal of liquid phase toxic metals from textile effluent. *Desalination and Water Treatment*, 196, 422-432. doi.org/10.5004/dwt.2020.26084
- Naveed, S., Bhatti, H. N., Kazmi, M., Ishfaq, T., Ikhlaq, A., & Fatima, H. (2016). Biosorption of Mn (II) by ripped Citrus paradisi pulp waste. *Desalination and Water Treatment*, 57(14), 6574-6581. doi.org/10.1080/19443994.2015.1011703
- Namasivayam, C., Muniasamy, N., Gayatri, K., Rani, M., & Ranganathan, K. (1996). Removal of dyes from aqueous solutions by cellulosic waste orange peel. *Biore-source Technology*, 57(1), 37-43. [doi.org/10.1016/0960-8524\(96\)00044-2](https://doi.org/10.1016/0960-8524(96)00044-2)
- Osman, A. I., El-Monaem, E. M. A., Elgarahy, A. M., Anisagor, C. O., Hosny, M., Farghali, M., Rashad, E., Ejimofor, M.I., López-Maldonado, E.A., Ihara, I., Yap, P.S., Rooney, D.W., & Eltaweil, A. S. (2023). Methods to prepare biosorbents and magnetic sorbents for water treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2337-2398. doi.org/10.1007/s10311-023-01603-4
- Pavan, F. A., Mazzocato, A. C., Jacques, R. A., & Dias, S. L. (2008). Ponkan peel: a potential biosorbent for removal of Pb (II) ions from aqueous solution. *Biochemical Engineering Journal*, 40(2), 357-362. doi.org/10.1016/j.bej.2008.01.004
- Patiño-Saldivar, L., Hernández, J. A., Ardila, A., Salazar-Hernández, M., Talavera, A., & Hernández-Soto, R. (2021). Cr (III) removal capacity in aqueous solution in relation to the functional groups present in the orange peel (Citrus sinensis). *Applied Sciences*, 11(14), 6346. doi.org/10.3390/app11146346
- Rana, A. K., Gupta, V. K., Saini, A. K., Voicu, S. I., Abdellatif, M. H., & Thakur, V. K. (2021). Water desalination

- Tayel, A., Nasr, P., & Sewilam, H. (2019). Forward osmosis desalination using pectin-coated magnetic nanoparticles as a draw solution. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 1617-1628. doi.org/10.1007/s10098-019-01738-5
- Torab-Mostaedi, M., Asadollahzadeh, M., Hemmati, A., & Khosravi, A. (2013). Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies for biosorption of cadmium and nickel on grapefruit peel. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(2), 295-302. doi.org/10.1016/j.jtice.2012.11.001
- Verma, L., Siddique, M. A., Singh, J., & Bharagava, R. N. (2019). As (III) and As (V) removal by using iron impregnated biosorbents derived from waste biomass of Citrus limetta (peel and pulp) from the aqueous solution and ground water. *Journal of Environmental Management*, 250, 109452. doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109452
- Wilson, H. M., Ahirrao, D. J., Ar, S. R., & Jha, N. (2020). Biomass-derived porous carbon for excellent low intensity solar steam generation and seawater desalination. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 215, 110604. doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110604
- Wu, S., Li, K., Shi, W., & Cai, J. (2022). Chitosan/polyvinylpyrrolidone/polyvinyl alcohol/carbon nanotubes dual layers nanofibrous membrane constructed by electrospinning-electrospray for water purification. *Carbohydrate Polymers*, 294, 119756. doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119756
- Xie, Z., Shang, X., Yan, J., Hussain, T., Nie, P., & Liu, J. (2018). Biomass-derived porous carbon anode for high-performance capacitive deionization. *Electrochimica Acta*, 290, 666-675. doi.org/10.1016/j.electacta.2018.09.104
- Yadav, M., Jadeja, R., & Thakore, S. (2022). An ecofriendly approach for methylene blue and lead (II) adsorption onto functionalized Citrus limetta bioadsorbent. *Environmental Processes*, 9(2), 27. doi.org/10.1007/s40710-022-00583-x
- Santos, C. M., Dweck, J., Viotto, R. S., Rosa, A. H., & de Morais, L. C. (2015). Application of orange peel waste in the production of solid biofuels and biosorbents. *Bioresource Technology*, 196, 469-479. doi.org/10.1016/j.biortech.2015.07.114
- Schiewer, S., & Balaria, A. (2009). Biosorption of Pb²⁺ by original and protonated citrus peels: Equilibrium, kinetics, and mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 146(2), 211-219. doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.034
- Schiewer, S., & Iqbal, M. (2010). The role of pectin in Cd binding by orange peel biosorbents: a comparison of peels, depectinated peels and pectic acid. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 899-907. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.01.001
- Sharma, P., & Gupta, S. (2014). Study of amount of Oxygen (BOD, OD, COD) in water and their effect on fishes. *American International Journal of Research in Formal, Applied and Natural Sciences*, 7(1), 53-58.
- Shakoor, S., & Nasar, A. (2016). Removal of methylene blue dye from artificially contaminated water using Citrus limetta peel waste as a very low-cost adsorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 66, 154-163. doi.org/10.1016/j.jtice.2016.06.009
- Sivaraaj, R., Namasivayam, C., & Kadirvelu, K. (2001). Orange peel as an adsorbent in the removal of acid violet 17 (acid dye) from aqueous solutions. *Waste Management*, 21(1), 105-110. [doi.org/10.1016/S0956-053X\(00\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(00)00076-3)
- Singh, S. A., & Shukla, S. R. (2016). Adsorptive removal of cobalt ions on raw and alkali-treated lemon peels. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13, 165-178. doi.org/10.1007/s13762-015-0801-6
- Singh, S., & Shukla, S. R. (2017). Theoretical studies on adsorption of Ni (II) from aqueous solution using Citrus limetta peels. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(3), 864-872. doi.org/10.1002/ep.12526
- Sowmya Lakshmi, K. B., & Munilakshmi, N. (2016). Adsorptive removal of colour from aqueous solution of disazo dye by using organic adsorbents. *International Journal of ChemTech Research*, 9(4), 407-415.
- Tasaso, P. (2014). Adsorption of copper using pomelo peel and depectinated pomelo peel. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(2), 154-157. doi.org/10.7763/JOCET.2014.V2.112

Evaluation of MIKE SHE and MIKE 11 Models for Simulating the Hydrology of Surface Water and Groundwater in the Foumanat Plain Aquifer

M. Sodori¹, S. Janatrostami^{2*}, K. Mohammadi³

1, 2- M.Sc. Graduate and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. 3- Senior Hydrogeologist and Groundwater Modeller, HLV2K Engineering Limited, Mississauga, Ontario, Canada.

*(Corresponding Author Email: janatrostami@guilan.ac.ir)

Received: 02-05-2024

Revised: 15-08-2024

Accepted: 20-08-2024

Available Online: 19-12-2024

ارزیابی مدل‌های MIKE SHE و MIKE 11 برای شبیه‌سازی هیدرولوژی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی در آبخوان دشت فومنات

مریم صدوری^۱، سمیه جنت رستمی^{۲*}، کورش محمدی^۳

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. ۳- کارشناس ارشد مدل‌سازی آب زیرزمینی، شرکت مهندسی HLV2K، اونتاریو، کانادا.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: janatrostami@guilan.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

Abstract

Shallow alluvial aquifers in watersheds with multiple rivers experience complex hydrological and hydraulic interactions among different subsystems, such as the aerated zone, groundwater, and surface water. In such aquifers, combining hydrological models of surface water and groundwater is crucial for accurately simulating and describing these processes. This study focused on developing and evaluating the MIKE SHE integrated hydrological model and the MIKE 11 hydrodynamic model to simulate hydrological and hydraulic processes in the Foumanat aquifer. To establish a dependable model, groundwater levels and river flow were concurrently calibrated at the control points of observation wells and hydrometric stations within the study area. Calibration was performed based on sensitivity analysis, utilizing parameters such as saturated hydraulic conductivity, leakage coefficients, and Manning's roughness coefficient. Despite the natural heterogeneity of the region, the model demonstrated satisfactory performance, yielding an absolute error of less than one for groundwater level estimation and less than 0.5 for flow rate estimation at the hydrometric stations. During the wet season (October to March), the combined evaporation and transpiration (ETa) amounts to 0.4 times the total rainfall. In contrast, during the dry season (April to September), the combined evaporation and transpiration (ETa) equates to 7.3 times the total rainfall, emerging as the main contributor to water loss. These findings apply to a dry year, implying that these ratios would increase in dry and average years.

Keywords: Groundwater-Surface Water Interaction, Hydrological-Hydraulic Modeling, MIKE SHE, MIKE 11.

چکیده

آبخوان‌های آبرفتی کم‌عمقی که در حوضه‌های آبریز بارودخانه‌های متعدد واقع می‌شوند، با برهمکنش‌های پیچیده هیدرولوژیکی و هیدرولیکی که بین زیرسیستم‌های مختلف از جمله منطقه هوادهی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی مواجه می‌شوند، ممکن است برای شبیه‌سازی و توصیف قابل اطمینان این فرایندها، مدل‌های هیدرولوژیکی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی به‌صورت ادغام شده ضروری باشد. در این مطالعه، مدل هیدرولوژیکی یکپارچه MIKE SHE به‌صورت متصل با مدل هیدرودینامیکی MIKE 11 در آبخوان فومنات، توسعه و ارزیابی شد. برای دستیابی به یک مدل قابل اطمینان، به‌صورت موازی سطوح آب زیرزمینی و جریان رودخانه در نقاط کنترل چاه‌های مشاهده‌ای و ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در محدوده مورد مطالعه، واسنجی انجام شد. براساس تحلیل حساسیت، واسنجی با استفاده از پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، ضرایب نشت و ضریب زبری مانینگ انجام شد. با وجود ناهمگونی‌های عارضه‌های طبیعی در منطقه، عملکرد مدل به‌صورت میانگین با خطای مطلق کمتر از یک، برای برآورد تراز سطح آب زیرزمینی و کمتر از ۰/۵ برای برآورد دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری قابل قبول بود. در طول فصل تر (مهر تا اسفند)، تبخیر و تعرق واقعی با میانگین ۰/۴ برابر کل بارندگی این دوره و در طول فصل خشک (فروردین تا شهریور)، تبخیر و تعرق واقعی با میانگین ۷/۳ برابر کل بارندگی این دوره به مولفه اصلی تلفات آب تبدیل می‌شود. باتوجه‌به اینکه، این نتایج برای یک سال ترسالی است، این نسبت‌ها برای سال‌های خشک و نرمال افزایش خواهد یافت.

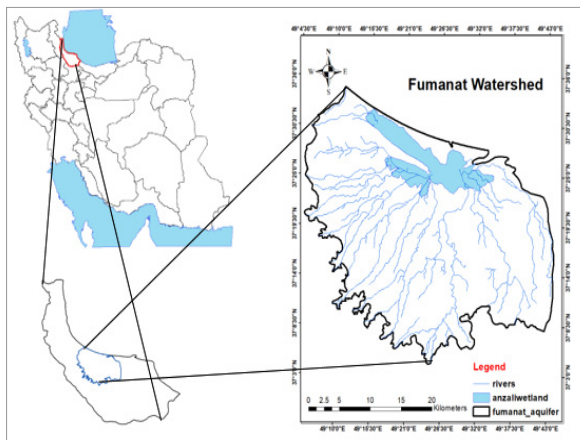
واژه‌های کلیدی: برهمکنش آب سطحی و زیرزمینی، مدل‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی، MIKE SHE، MIKE 11.

هرچند که می‌توان منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را به‌عنوان اجزای مجزا تجزیه و تحلیل کرد، اما رویکرد تحلیل کلی برهمکنش‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند داده‌های بهینه را برای کاربردهای مدیریت آب بهتر ارائه دهد (Zhang و همکاران، ۲۰۰۷؛ Guermazi و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌سازی ارتباط رودخانه و آب‌زیرزمینی به دلیل تعداد زیادی داده و نیازهای نرم‌افزاری زمان‌بر است. با این حال، چنین مدل‌هایی در دسترس هستند که چنین مدل‌سازی را امکان‌پذیر می‌کنند. براساس بررسی ادبیات، MIKE SHE، GSFLOW، SWAT-MODFLOW و HydroGeoSphere رایج‌ترین مدل‌ها برای تحلیل شبیه‌سازی تعامل آب سطحی و زیرزمینی هستند (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲). ارزیابی‌های عملکرد مدل‌ها نشان داد مدل MIKE SHE دینامیک هیدرولوژی را بهتر از چندین مدل توزیعی مبتنی بر فرایند (مانند APEX و SWAT) شبیه‌سازی می‌کند (Golmohammadi و همکاران، ۲۰۱۴؛ Wu و همکاران، ۲۰۱۸). MIKE SHE در سراسر دنیا در سیستم‌های یکپارچه آب سطحی و زیرزمینی استفاده شده است (Botero-Acosta و همکاران، ۲۰۱۸؛ Shu و همکاران، ۲۰۱۸). این مدل کل فرایندهای چرخه هیدرولوژیکی شامل مدل‌های فرایند برای تبخیر و تعرق، جریان زمینی، جریان غیراشباع، جریان آب‌زیرزمینی و جریان کانال و همچنین تعاملات بین آن‌ها را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. هر یک از این فرایندها می‌توانند در سطوح مختلف توزیع مکانی و پیچیده باتوجه به اهداف مطالعه مدل‌سازی، در دسترس بودن داده‌های میدانی و گزینه‌های کاربر نشان داده شوند (Graham و Butts، ۲۰۰۵؛ Shu و همکاران، ۲۰۱۲؛ Doummar و همکاران، ۲۰۱۲). MIKE SHE برای شبیه‌سازی جریان در سیستم رودخانه به MIKE 11 متصل شد. تاکنون در مطالعات زیادی از اتصال مدل MIKE SHE با MIKE 11 استفاده شده است. به‌عنوان مثال Voeckler و همکاران ۲۰۱۴، برای بررسی سهم پتانسیل تغذیه از ذوب برف در آبخوان، Sandu و Vista (۲۰۱۵)، برای ارزیابی فرایند بارش-رواناب، Sterte و همکاران (۲۰۱۸) برای بررسی تأثیر ویژگی‌های حوضه و فرایندهای انجماد-ذوب^۱ بر تبادلات آب سطحی و زیرزمینی و Waseem و همکاران، ۲۰۲۰، با بررسی فرایندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در حوضه یک رودخانه، تأثیر نوع کاربری زمین و شرایط جوی محلی را در توزیع مکانی بیلان آب بررسی کردند (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲). باوجود عملکرد موفق MIKE SHE در مدل‌سازی‌ها، MODFLOW یکی دیگر از نرم‌افزارهای پرکاربرد مدل‌سازی آب زیرزمینی است که در بسیاری از مطالعات آب‌های زیرزمینی استفاده شده است (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲؛ Prucha و همکاران، ۲۰۱۶). Akram و همکاران، ۲۰۱۲ باتوجه به مزایای خاص دو مدل MIKE SHE و MODFLOW نسبت به

منابع آب‌های زیرزمینی یکی از منابع ارزشمند برای توسعه و پایداری جوامع بشری است (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲). در گذشته برداشت از این منابع برای مصارف مختلف پایدار در نظر گرفته می‌شد، در صورتی‌که امروزه بررسی وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد این منابع در برخی کشورها به‌طور جدی در معرض کاهش است. به‌دلیل این تهدید، درک فرآیندهایی که آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مهم است (Akram و همکاران، ۲۰۱۲). در مدیریت برداشت سفره‌های کم‌عمقی که مستقیماً به پیکره آب سطحی متصل هستند، باید دقت شود ارتباط دو سیستم آب سطحی و زیرزمینی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در نحوه جریان آب داشته باشد. یکی از ویژگی‌های خاص مناطق با سطح ایستابی کم‌عمق، واکنش سریع و قابل توجه سطح آب نسبت به تنش‌ها (بارش) به دلیل رفتار دینامیکی خاص آن‌ها است (Waseem و همکاران، ۲۰۲۰). پژوهش‌های Sophocleous (۱۹۸۵) و Bizhanimanazar و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد، مقدار نوسانات سطح آب زیرزمینی در این مناطق می‌تواند بسیار بیشتر از آن چیزی باشد که با فرض مقدار آبدهی ویژه ثابت در مدل‌های ادغام شده آب سطحی و زیرزمینی انتظار می‌رود.

در چرخه هیدرولوژیکی، آب از اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و خاک تبخیر می‌شود و بخار آب به داخل اتمسفر منتقل می‌شود و به شکل باران یا برف در زمین می‌بارد، به آب‌زیرزمینی نفوذ می‌کند و به‌عنوان جریان پایه به دریاها و رودخانه‌ها تخلیه می‌شود. چرخه هیدرولوژیکی یک حلقه بسته است و مداخلات انسان‌ها آب را حذف نمی‌کند اما نسبتاً بر حرکت و انتقال آب در چرخه هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲). باتوجه به نقش مهم رواناب تولیدی در رودخانه‌ها و مناطق پست حوضه‌های آبریز بر روی تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های کم‌عمق، ارزیابی جامع شرایط هیدرولوژیکی ضروری است (Bizhanimanazar و همکاران، ۲۰۲۰). فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز سفره‌های کم‌عمق با اقلیم معتدل می‌تواند به دلیل فعل و انفعالات پیچیده آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی پیچیده باشد، بنابراین اطلاعات دقیق بیلان آب هیدرولوژیکی لازمه توسعه شیوه‌های مدیریتی برای استفاده پایدار از منابع آب است (Waseem و همکاران، ۲۰۲۰). مداخلات انسانی مانند کاربری زمین، زهکشی مصنوعی، برداشت آب زیرزمینی از طریق پمپ‌ها، سازه‌های هیدرولیکی رودخانه و غیره نیز بر بیلان طبیعی آب در آبخوان‌های کم‌عمق تأثیر می‌گذارد. درک تبادلات افقی و عمودی آب بین سیستم‌های سطحی و زیرسطحی بسیار مهم است و شاید سخت‌ترین بخش فرایند مدل‌سازی باشد (Margarita Ntona و همکاران، ۲۰۲۲)، که به دلیل پیچیدگی و چالش‌های عددی، این مدل‌ها تاکنون به ندرت استفاده شده‌اند.

پست‌ترین نقطه برابر ۲۶ - متر می‌باشد. متوسط ارتفاع در بخش ارتفاعات برابر ۱۰۰/۳۶ متر و در بخش دشت برابر ۱۱/۶ متر نسبت به دریای آزاد می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبریز فومنات

رودخانه‌های بررسی شده در این مطالعه که از طریق تالاب انزلی به دریای خزر می‌پیوندند شامل بهمبر، مرغک، خالکایی ماسال، پلنگور، ماسوله رودخان، شاخرز، قلعه رودخان، پسیخان و گشت رود است. این رودخانه‌ها دارای جریان دائمی می‌باشند و از ارتفاعات جنوب غرب منطقه سرچشمه گرفته و در جهت شمال شرق جریان یافته و پس از عبور از دشت فومنات و آبیاری اراضی کشاورزی این منطقه به تالاب انزلی می‌ریزند. لازم به ذکر است که مدل ریاضی آب سطحی و زیرزمینی برای سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تهیه شد.

• جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

یکی از مهمترین مراحل در مدل‌سازی، جمع‌آوری داده‌های لازم می‌باشد. در انجام این مدل‌سازی ابتدا آمار و اطلاعات مربوط به محدوده مطالعاتی فومنات از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گیلان دریافت شد. این آمار شامل شیب فایل‌های محدوده فومنات و آبخوان به همراه شبکه‌بندی، لایه توپوگرافی منطقه، داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی، سینوپتیک و هیدرومتری، داده‌های مربوط به چاه‌های مشاهداتی و چاه‌های بهره‌برداری منطقه به همراه مقادیر تخلیه و همچنین داده‌های مربوط به مقاطع رودخانه‌های حوزه می‌باشند. داده‌ها برای یک دوره یک ساله از مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۵ آماده شد. بعد از تهیه مدل مفهومی، محدوده آبخوان با سلول‌هایی به ابعاد ۱۰۰۰ متر (۵۷ ستون و ۵۷ ردیف) شبکه‌بندی شد.

- داده‌های آب زیرزمینی: لایه توپوگرافی سطح زمین از نقشه DEM منطقه با مقیاس ۹۰ متر تهیه شد. پارامترهای هیدرولیکی آبخوان برای مدل‌سازی در محیط اشباع شامل قابلیت انتقال، هدایت هیدرولیکی افقی، هدایت هیدرولیکی عمودی، ضریب ذخیره و آبدی ویژه

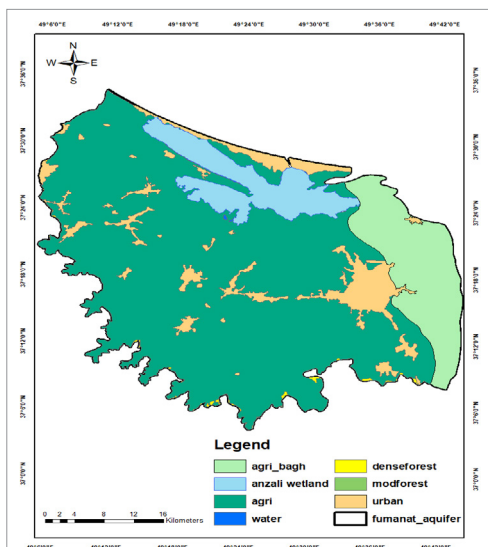
یکدیگر، دو مدل را مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با اینکه هر دو مدل MIKE SHE و MODFLOW مسائل جریان آب زیرزمینی را با استفاده از روش تفاضل محدود حل می‌کنند، با این حال تفاوت‌های قابل توجهی با یکدیگر دارند. مزیت اصلی مدل MIKE SHE نسبت به مدل MODFLOW این است که مدل MIKE SHE تمام اجزای منفرد چرخه هیدرولوژیکی را از طریق پنج ماژول اساسی به درستی در نظر می‌گیرد و از طریق آمیختن رواناب سطحی و منطقه غیراشباع، نفوذ و تبخیر و تعرق مرجع و تغذیه را مطابق قوانین فیزیکی مرتبط محاسبه می‌کند. درحالی‌که MODFLOW برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی فقط در منطقه آب زیرزمینی اشباع محدود شده است و محاسبات ناحیه غیراشباع باید قبل از توسعه مدل MODFLOW به‌طور جداگانه انجام شود. قابلیت کالیبراسیون خودکار و استفاده از داده‌های کمتر برای توسعه مدل از دیگر مزایای مدل MODFLOW نسبت به MIKE SHE است. بنابراین واضح است که برای مسائل ساده جریان آب زیرزمینی که آبیاری وجود ندارد، MODFLOW مدل مناسب‌تری است (Akram و همکاران، ۲۰۱۲).

آبخوان فومنات که در مجاورت تالاب انزلی واقع در استان گیلان است، یک آبخوان کم عمق است که تراز سطح آب زیرزمینی در آن نزدیک سطح زمین است. بنابراین، باید دقت شود که ارتباط دو سیستم آب سطحی و زیرزمینی در این محدوده، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در نحوه جریان آب داشته باشد. زیرا در چنین سیستم‌هایی به دلیل رفتار فیزیکی خاص آن‌ها، سطح آب نسبت به تنش‌های اعمال شده واکنش سریع و قابل توجهی دارد. به این ترتیب، در این مطالعه از یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی مبتنی بر فرآیندهای فیزیکی، MIKE SHE، همراه با یک مدل هیدرودینامیکی (MIKE 11) برای تهیه مدل شبیه‌سازی آب سطحی و زیرزمینی آبخوان فومنات استفاده شد.

مواد و روش‌ها

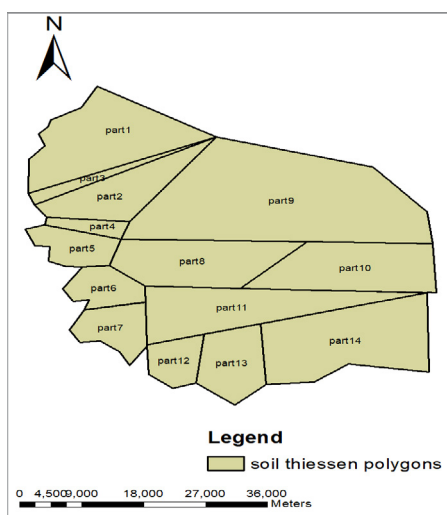
• معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی فومنات در شمال ایران، استان گیلان قرار دارد. این محدوده از شمال به تالاب انزلی و دریای خزر، از شرق به محدوده مطالعاتی آستانه-کوچصفهان، از جنوب و غرب با واسطه خط الرأس ارتفاعات تالش با محدوده‌های مطالعاتی طارم-خلخال و تالش مجاورت پیدا می‌کند. از طریق دریای خزر امکان ارتباط با مناطق ساحلی استان‌های گیلان و مازندران و کشورهای واقع در حاشیه دریای خزر فراهم می‌باشد. وسعت محدوده مطالعاتی برابر ۳۸۲۸/۸ کیلومتر مربع است که ۲۰۲۷/۳ کیلومتر مربع (۵۳ درصد) آن را دشت و ۱۸۰۱/۵ کیلومتر مربع (۴۷ درصد) ارتفاعات تشکیل می‌دهند. ارتفاع بلندترین نقطه محدوده برابر ۳۱۵۰ متر و



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی آبخوان فومنات

شرایط خاک در محیط غیراشباع: ناحیه غیر اشباع معمولاً ناهمگن و به صورت عمودی می باشد زیرا نیروی ثقل در طول فرایند نفوذ نقشی اساسی ایفا می کند. بنابراین جریان غیراشباع در MIKE SHE به صورت عمودی و تنها در یک بعد محاسبه می شود. در این مطالعه، برای محاسبه جریان در ناحیه غیر اشباع، از روش بیلان آب به صورت دو لایه ای استفاده شد، این روش ناحیه غیر اشباع را به دو منطقه ریشه و منطقه بین ریشه و سطح ایستابی تقسیم می کند. برای تعیین مشخصات بافت خاک از روش تیسن بندی استفاده شد که نقشه آن در شکل (۴) و مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است. ناحیه های تیسن بندی شده از نظر جنس و مشخصات خاک و لاگ های حفاری موجود در منطقه با هم تفاوت دارند. باتوجه به تغییرات مکانی بافت خاک و کاربری زمین این اراضی یکپارچه، مدل حوضه به ۱۴ زیرحوضه تقسیم شد.

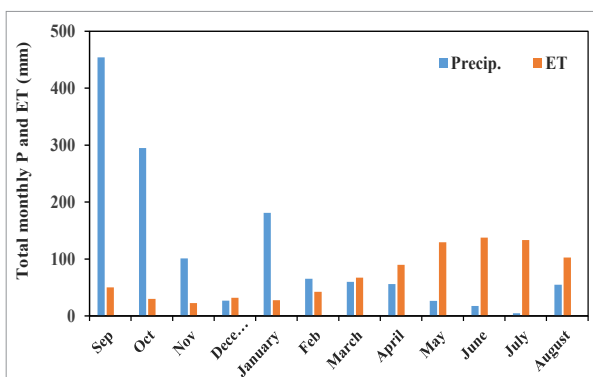


شکل ۴- تقسیم بندی پلیگون های جنس خاک در آبخوان فومنات

می باشد که از طریق آزمون های پمپاژ انجام شده و الگوهای حفاری موجود در منطقه، به صورت نقطه ای محاسبه و در محیط ArcGIS درون یابی و به صورت داده های رقومی به محیط مدل وارد شدند. لازم به ذکر است در این بخش از هدایت هیدرولیکی عمودی صرف نظر شد و مقدار هدایت هیدرولیکی افقی در بازه ۲ تا ۲۲ متر بر روز قرار می گیرد.

مقادیر اولیه تراز سطح ایستابی نقطه شروعی برای اجرای شرایط اولیه در شبیه سازی های پایدار و گذرا می باشد. انتخاب مقادیر اولیه ممکن است بر نرخ همگرایی عددی نیز تاثیرگذار باشد. به این منظور برای محاسبه بار هیدرولیکی اولیه از داده های سطح ایستابی مهر ۱۳۹۴ استفاده شد. اطلاعات مربوط به برداشت آب زیرزمینی باتوجه به مقادیر پمپاژ از چاه های بهره برداری به دست آمد. برای مقادیر تغذیه آب زیرزمینی، تغذیه حاصل از بارندگی، آب برگشتی کشاورزی و تغذیه توسط رودخانه در نظر گرفته شد.

- **بارش و تبخیر و تعرق مرجع:** بارش با استفاده از داده های روزانه برای یک سال، با مراجعه به ایستگاه باران سنج هواشناسی در ایستگاه مورد نظر به دست آمد. تبخیر و تعرق مرجع نیز با استفاده از داده های ایستگاه سینوپتیک شامل طول و عرض جغرافیایی، رطوبت، ساعات آفتابی، سرعت باد و غیره به روش پنمن- مانتیث (Allen و همکاران، ۲۰۰۶) برای ایستگاه مورد نظر به دست آمد.



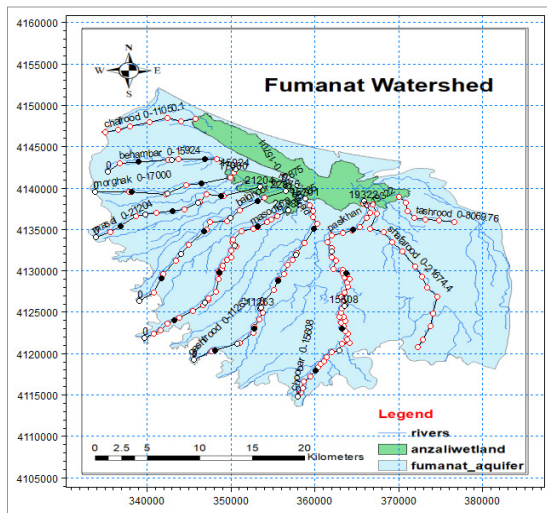
شکل ۲- مقادیر بارش و تبخیر تعرق مرجع در سال آبی ۱۳۹۴-۹۵

- **کاربری اراضی:** کاربری اراضی نقش بسیار مهمی در هیدرولوژی دارد. برای تعریف خصوصیات سطح زمین از نقشه کاربری اراضی، داده های حداکثر عمق توسعه ریشه (RD) و شاخص سطح برگ (LAI) استفاده می شود. نقشه کاربری اراضی در شکل (۳) آورده شده است. باتوجه به این نقشه، سطح وسیعی از پوشش گیاهی منطقه شالیزارهای برنج است و بقیه اراضی شامل باغات (باغات چای) و سطح آب است. حداکثر عمق توسعه ریشه (RD) و شاخص سطح برگ (LAI) برای باغات چای، شالیزارهای برنج باتوجه به چهار مرحله نشاء، پنجه زنی، خوشه دهی و رسیدن، از فائو ۵۶ (Allen و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده شد.

جدول ۱- بافت خاک مربوط به پلیگون‌های جنس خاک

Part1	sand,clay,rubble,gravel
part2	clay,rubble,sand,sandyclay
Part3	silty sand,sand,gray clay
Part4	sand,silt,clay,grayclay,rubble
Part5	sandy clay,sand,gravel
Part6	brown clay,gray clay,sandy gravel
Part7	sandy clay,sand,rubble
Part8	clay,gravel,sandy gravel
Part9	sand,gravel,sandygravel,rubble,clay
Part10	clay,sand,sandyclay,stickyclay
Part11	clay,sand,rubble
Part12	sticky brown clay,silt,sand,rubble,gray clay
Part13	loam,rubble,sand,clay
Part14	sandy clay,sand,rubble,sandy gravel

مشخص شد. سپس نقاطی به عنوان نقاط ورودی حوزه آبریز برای مدل رواناب بارش در طول شاخه رودخانه تعیین شد. این نقاط دیجیتالی، شامل مختصات جغرافیایی می‌باشند که در این بخش نرم‌افزار امکان ویرایش دارند. در ادامه زنجیره‌هایی باتوجه به نقاط دیجیتالی متعلق به هرکدام از شاخه‌های رودخانه‌های منتهی به تالاب، تعریف شد (شکل ۶). طول این زنجیره‌ها از بالادست تا پایین دست تالاب متغیر می‌باشد.



شکل ۶- ترسیم مسیر رودخانه‌ها در محدوده آبخیز فومنات

• ارزیابی مدل MIKE SHE

برای بررسی کارکرد مدل و ارزیابی آن، از آماره‌های میانگین خطای مطلق^۲ (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) و ضریب کارایی نش ساتکلیف^۴ (NSE) استفاده شد. معادلات هر یک از آماره‌های نام‌برده در ادامه آورده شده است. در روابط (۱ تا ۳)، Y_{obs} و Y_{est} به ترتیب مقدار برآورد شده و مقدار مشاهده‌ای پارامتر Y در زمان t در T دوره زمانی و $\bar{Y}_{obs}$ میانگین مقادیر مشاهده‌ای پارامتر Y است.

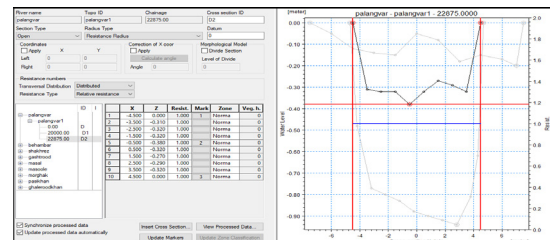
$$MAE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |Y_{est,t} - Y_{obs,t}| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_{est,t} - Y_{obs,t})^2} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Y_{est,t} - Y_{obs,t})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_{obs,t} - \bar{Y}_{obs})^2} \quad (3)$$

مقادیر MAE و RMSE هر چه به صفر نزدیکتر باشد به معنای کمتر بودن مقدار خطا یا همان اختلاف مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده است. مقادیر NSE بین ۱ تا $-\infty$ به دست می‌آید و هنگامی که NSE برابر یک می‌شود، مقدار پارامتر برآورد شده با مقدار پارامتر مشاهده‌ای برابر است و به این معنا است که مدل از نظر عملکرد و دقت در بهترین وضعیت است. بنابراین در ارزیابی مدل‌سازی هر چقدر NSE به ۱ نزدیکتر باشد، بهتر است.

داده‌های سطح مقطع رودخانه: مقاطع عرضی مورد استفاده در مدل همراه با اطلاعات آن‌ها از قبیل دبی، فاصله طولی، عمق و سطح مقاطع توسط سازمان آب و فاضلاب استان گیلان در قالب مطالعات حد و حریم بستر رودخانه‌های فومنات منتهی به تالاب انزلی، تهیه شد. سپس مشخصات مربوط برای هر رودخانه در بخش مقاطع عرضی وارد شد که این اطلاعات برای رودخانه پلنگ‌ور به عنوان نمونه در شکل (۵) آورده شده است.



شکل ۵- داده‌های سطح مقطع رودخانه پلنگ‌ور با استفاده از مدل

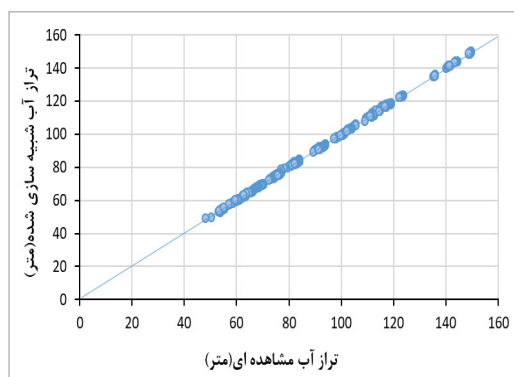
در ادامه، پارامترهای هیدرودینامیک مانند ضریب زبری، اصطکاک کف رودخانه، ضریب نشت و همچنین اطلاعات مربوط به فایل خروجی و غیره وارد شد. در قسمت شرایط مرزی مربوط به جریان رودخانه‌ها، شرایط مرزی بالادست به صورت جریان دبی و شرایط مرزی پایین دست به صورت سطح آب برحسب متر تعیین شد.

• اتصال دو مدل MIKE 11 و MIKE SHE

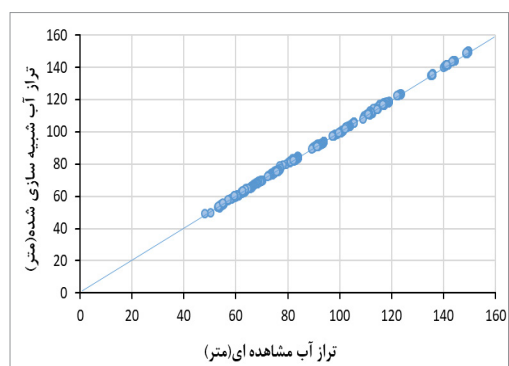
در تهیه سیستم رودخانه برای اتصال به مدل MIKE SHE، فایل با نام و فرمت mike11.sim آماده و به نرم‌افزار وارد شد. به این منظور ابتدا مسیر و شبکه رودخانه‌ها در بخش Network

در ارزیابی تراز سطح آب زیرزمینی چاه‌های منتخب نیز نشان داد مقادیر به عدد یک نزدیک هستند.

لازم به ذکر است که پس از مرحله واسنجی، برای اعتبارسنجی، مدل تهیه شده برای سال آبی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا و نتایج مدل‌سازی با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شد. نتایج اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی چند چاه منتخب در شکل (۱۱) و در شبیه‌سازی دبی رودخانه‌ها در چند ایستگاه هیدرومتری منتخب در شکل (۱۲) آورده شده است. مشاهده می‌شود دقت مدل در دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی تفاوت چندانی نکرده است و باتوجه به مقادیر شاخص‌های آماری (جدول ۳) مدل‌سازی در این بخش رضایت بخش می‌باشد. در مرحله اعتبارسنجی، عملکرد مدل به صورت میانگین با خطای مطلق کمتر از ۰/۵ برای برآورد تراز سطح آب زیرزمینی و دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری به دست آمد. مقدار ضریب نش ساتکلیف در ایستگاه‌های هیدرومتری بسیار به یک نزدیک است که نشان از دقت مدل‌سازی در این بخش است و مقدار این ضریب در ارزیابی تراز سطح آب زیرزمینی چاه‌های منتخب نیز نشان داد مقادیر به عدد یک نزدیک هستند. مقادیر به دست آمده شاخص‌های آماری خطا در این مطالعه با مطالعات گذشته مانند Shu و همکاران (۲۰۱۸)؛ Zhang و همکاران (۲۰۲۱) و Waseem و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی داشت.



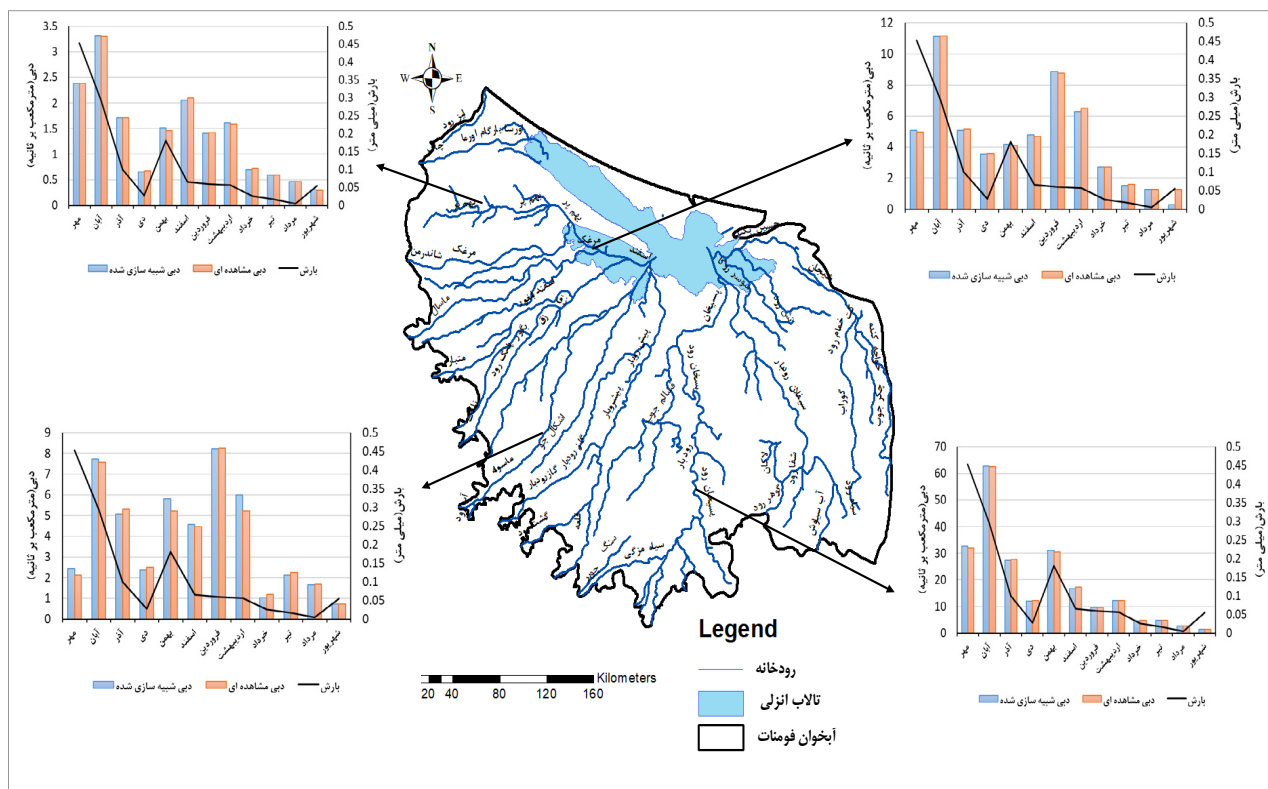
شکل ۷- مقایسه مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی



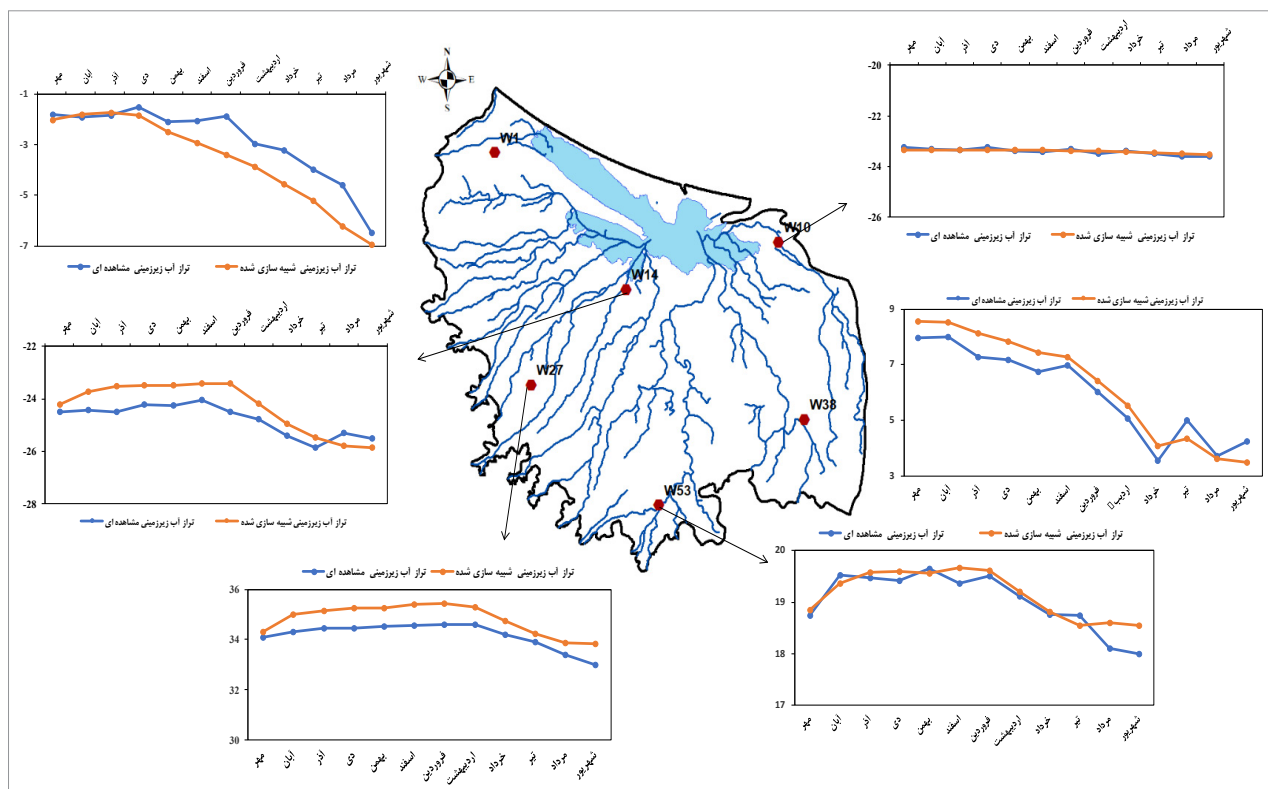
شکل ۸- مقایسه مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی

تحلیل حساسیت به منظور بررسی تاثیر پارامترها بر خروجی مدل و جلوگیری از تغییرات غیرمنطقی پارامترها در فرآیند واسنجی انجام می‌شود. در واسنجی نیز سعی می‌شود تا حد امکان داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه گیری شده منطبق شود و این فرآیند تا رسیدن به نتیجه قابل قبول تکرار خواهد شد. به این ترتیب مدل آبخوان فومنتات در دوره زمانی ۹۵-۱۳۹۴ باتوجه به شرایط مرزی مشخص شده شبیه‌سازی و باتوجه به نتایج آنالیز حساسیت واسنجی شد.

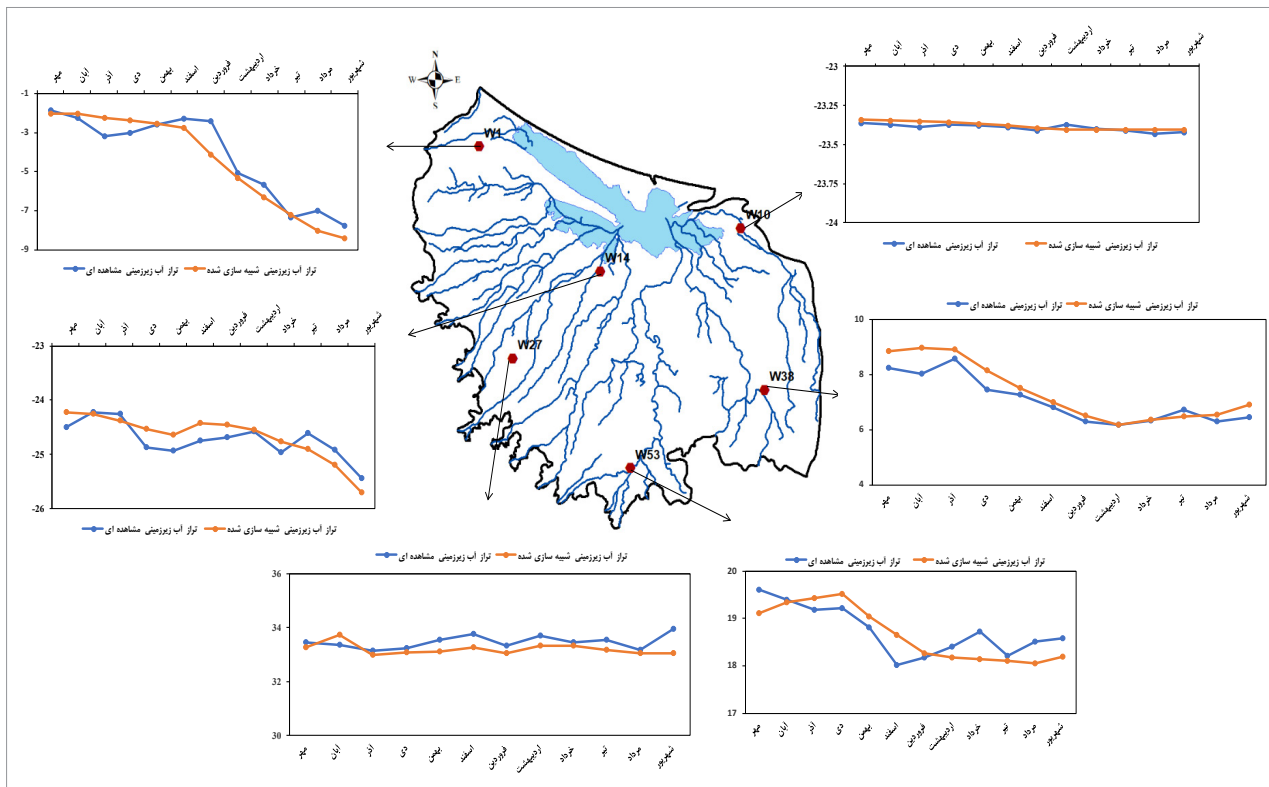
باتوجه به نتایج آنالیز حساسیت، در فرآیند واسنجی، ضرایب مانینگ و پارامترهای هیدرودینامیکی در مدل MIKE 11 بررسی شد و در مدل MIKE SHE نیز پارامترهایی از قبیل رطوبت اشباع، رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی بررسی شدند. در طول بازه زمانی مدل‌سازی، مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل مقایسه و طی واسنجی اختلاف این سطوح تا رسیدن به یک خطای قابل قبول کاهش پیدا کرد. شکل (۷) مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را پس از فرآیند واسنجی در چاه‌های مشاهده‌ای واقع در محدوده مدل‌سازی نشان می‌دهد. همچنین، مقایسه مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در رودخانه‌های واقع در محدوده مدل‌سازی در شکل (۸) آورده شده است. پراکنش نقاط نسبت به خط نیمساز در شکل‌های (۷ و ۸) همبستگی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده دو مدل MIKE 11 و MIKE SHE را نشان می‌دهد که بیانگر قابل قبول بودن نتایج واسنجی است. علاوه بر این، رابطه بین بارش و دبی رودخانه‌ها در چند رودخانه منتخب در محدوده مدل‌سازی نیز به عنوان نمونه در شکل (۹) بررسی و مقایسه شد. ارزیابی‌ها نشان داد هیدروگراف‌های جریان شبیه‌سازی شده و بارندگی در بیشتر ماه‌ها روند مشابهی داشتند که سازگاری بین پارامترهای مدل را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در چند چاه منتخب در شکل (۱۰) آورده شده است. بررسی این شکل و مقایسه روند تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای بیانگر منطقی بودن روندهای به دست آمده در مرحله شبیه‌سازی است. علاوه بر این، مقادیر شاخص‌های آماری مورد بررسی در این مطالعه در رودخانه‌ها و همچنین در چاه منتخب در شکل‌های (۹ و ۱۰) در جدول (۲) آورده شده است. باتوجه به مقادیر به دست آمده در جدول (۲) نتایج مدل‌سازی رضایت بخش بود. بعد از انجام واسنجی مدل، عملکرد مدل به صورت میانگین با خطای مطلق کمتر از یک برای برآورد تراز سطح آب زیرزمینی و کمتر از ۰/۵ برای برآورد دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری به دست آمد. مقدار ضریب نش ساتکلیف در ایستگاه‌های هیدرومتری بسیار به یک نزدیک است که نشان از دقت مدل‌سازی در این بخش است و مقدار این ضریب



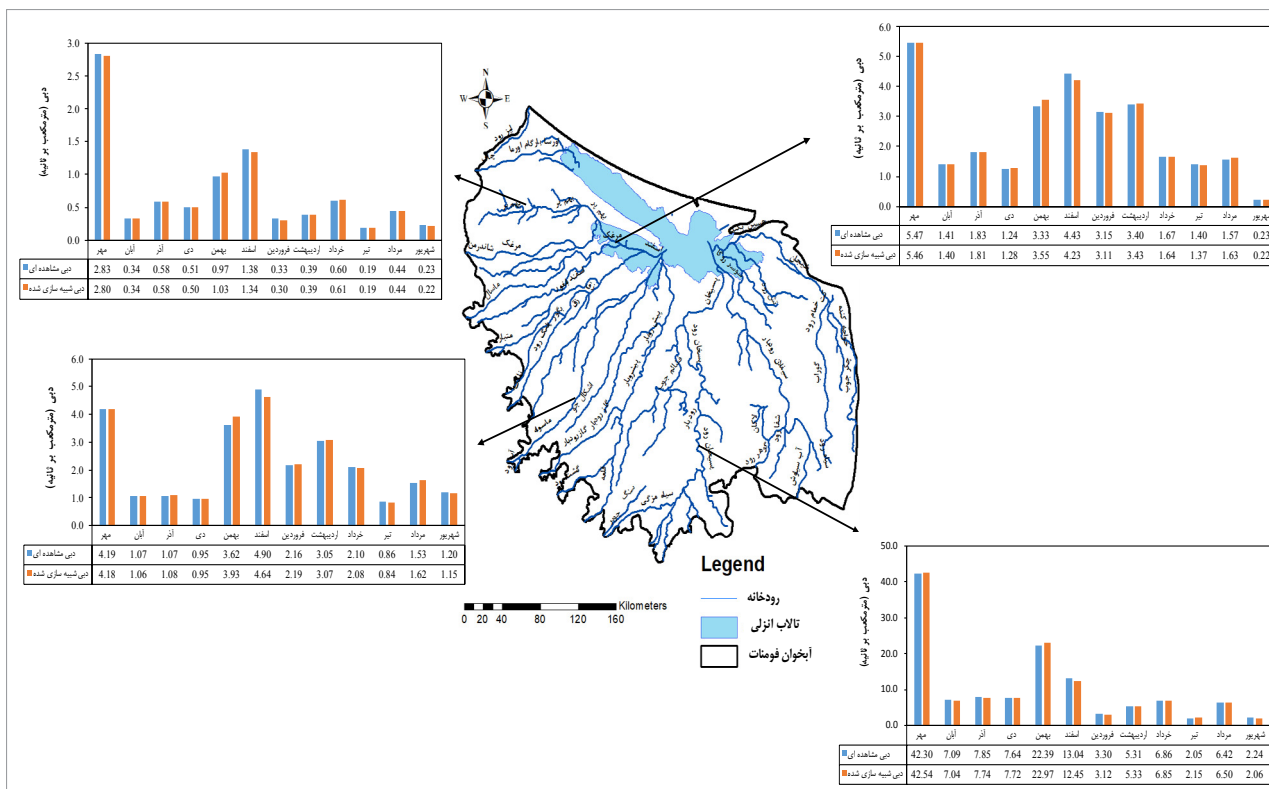
شکل ۹- مقایسه مقادیر بارش و دبی شبیه سازی شده در چند رودخانه منتخب در محدوده مدل سازی



شکل ۱۰- مقایسه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه های منتخب در محدوده مدل سازی



شکل ۱۱- مقایسه روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در چاه‌های منتخب در مرحله اعتبارسنجی



شکل ۱۲- مقایسه مقادیر بارش و دبی شبیه‌سازی شده در چند رودخانه منتخب در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های آماری ارزیابی مدل در رودخانه‌ها و چاه‌های منتخب

شاخص آماری	رودخانه بهمبر	رودخانه مرغک	رودخانه ماسوله	رودخانه پسیخن	W1	W10	W14	W27	W38	W53
MAE	۰/۰۸۷	۰/۱۵۶	۰/۰۸۳	۰/۵۲۵	۰/۷۶۳	۰/۰۶۰	۰/۶۲۳	۰/۶۴۹	۰/۵۴۷	۰/۲۰۲
RMSE	۰/۲۵۲	۰/۳۸۲	۰/۲۴۲	۱/۱۸۲	۰/۹۳۲	۰/۰۶۷	۰/۶۶۶	۰/۶۷۸	۰/۵۸۱	۰/۲۵۵
Nash-Sutcliffe	۰/۹۸۵	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۸	۰/۵۷۵	۰/۶۷۸	۰/۳۹۵	-۰/۹۳۲	۰/۸۵۷	۰/۷۷۵

جدول ۳- مقایسه شاخص‌های آماری ارزیابی مدل در رودخانه‌ها و چاه‌های منتخب در مرحله اعتبارسنجی

شاخص آماری	رودخانه بهمبر	رودخانه مرغک	رودخانه ماسوله	رودخانه پسیخن	W1	W10	W14	W27	W38	W53
MAE	۰/۰۴۳	۰/۰۶۵	۰/۰۵۹	۰/۴۵۵	۰/۵۷۲	۰/۰۱۹	۰/۲۲۴	۰/۳۲۵	۰/۳۵۱	۰/۳۱۹
RMSE	۰/۱۳۹	۰/۱۴۶	۰/۱۳۸	۱/۰۵۸	۰/۷۳۸	۰/۰۲۱	۰/۲۴۶	۰/۳۹۲	۰/۴۳۷	۰/۳۶۷
Nash-Sutcliffe	۰/۹۹۳	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۷	۰/۸۷۹	۰/۰۰۷	۰/۴۱۹	-۱/۷۴۸	۰/۷۱۲	۰/۴۴۴

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل هیدرولوژیکی یکپارچه همراه با یک مدل هیدرودینامیکی با هدف شبیه‌سازی آبخوان دشت فومنات توسعه داده شد. به دلیل اینکه در آبخوان‌هایی که تراز سطح آب زیرزمینی آن‌ها بسیار به سطح زمین نزدیک است، فرآیندهای هیدرولوژیکی در این مناطق تحت تأثیر برهمکنش‌های آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی هستند. بنابراین از مدل هیدرولوژیکی یکپارچه MIKE SHE که به صورت متصل با مدل هیدرودینامیکی MIKE 11 است برای شبیه‌سازی جریان آب سطحی و زیرزمینی آبخوان فومنات استفاده شد که تاکنون از این ابزارها برای شبیه‌سازی یکپارچه هیدرولوژیکی-هیدرولیکی در این منطقه استفاده نشده بود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که دقت مدل در ارزیابی تراز آب زیرزمینی و دبی جریان با خطای مطلق کمتر از ۰/۵ می‌باشد و ضریب نش ساتکلیف به عدد یک نزدیک است، که حاکی از اعتبار بالای مدل‌سازی است. نتایج اعتبارسنجی مدل نیز نتایج رضایت‌بخش و هماهنگی با داده‌های مشاهداتی را به همراه داشت. بنابراین، ارزیابی‌های انجام شده بر روی نتایج مدل، توانایی مدل‌های ادغام شده را برای توصیف هیدرولوژی دشت نشان داد. همچنین واسنجی هم‌زمان آب‌های سطحی و زیرزمینی در مدل‌های MIKE 11 و MIKE SHE، از مزایای نحوه مدل‌سازی است و بالا بودن درجه اطمینان نتایج یک مدل یکپارچه را نشان می‌دهد. این مطالعه می‌تواند به عنوان مبنایی برای مدیریت منابع آب و طراحی استراتژی‌های پایدار در مواجهه با چالش‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد و پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های آینده به بررسی تأثیرات ناشی از تغییرات اقلیمی و کاربری زمین بر منابع آب بپردازند تا تأثیرات احتمالی بر کیفیت و کمیت منابع آبی شناسایی و مدیریت شوند.

پی‌نوشت‌ها

- 1-freeze-thaw processes
- 2-Mean Absolute Error
- 3-Root Mean Square Error
- 4-Nash-Sutcliffe Efficiency

منابع

- Akram, F., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., & Amir, M.S.I.I. (2012). A Comparative View of Groundwater Flow Simulation Using Two Modelling Software - MODFLOW and MIKE SHE. 18th Australasian Fluid Mechanics Conference. Launceston, Australia.
- Allen, R., PEREIRA, L., RAES, D., & SMITH, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO, Paper No. 56. Water Resources, Development and Management Service. Rome, Italy.
- Allen R.G., Pruitt W.O., Wright J.L., Howell T.A., Ventura F., Snyder R., Itenfisu D., Steduto P., Berengena J., Yrisarry J.B., Smith M., Pereira L.S., Raes D., Perrier A., Alves I., Walter I., & Elliott R.L. (2006). A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO 56 Penman-Monteith method. Agricultural Water Management, 81(1), 1-22. doi.org/10.1016/j.agwat.2005.03.007
- Bizhanimanzar, M., Leconte, R., & Nuth, M. (2019). Modelling of shallow water table dynamics using conceptual and physically based integrated surface-water-ground-

- SHE to Simulate Hydrology in Argesel River Catchment. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 6, 517–524. doi: [10.1016/j.aaspro.2015.08.135](https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.135)
- Shu, Y., Villholth, K. G., Jensen, K.H., Stisen, S., & Lei, Y. (2012). Integrated hydrological modeling of the North China Plain: Options for sustainable groundwater use in the alluvial plain of Mt. Taihang. Journal of Hydrology, 464–465, 79–93. Doi:10.1016/j.jhydrol.2012.06.048.
- Shu, Y., Li, H., & Lei, Y. (2018). Modelling Groundwater Flow with MIKE SHE Using Conventional Climate Data and Satellite Data as Model Forcing in Haihe Plain, China. Water, 10(10), 1295. doi: [10.3390/w10101295](https://doi.org/10.3390/w10101295)
- Sophocleous, M. (1985). The Role of Specific Yield in Ground-Water Recharge Estimations: A Numerical Study. Groundwater, 23, 52–58. doi: [10.1111/j.1745-6584.1985.tb02779.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1985.tb02779.x)
- Sterte, E.J., Johansson, E., Sjöberg, Y., Karlsen, R. H., & Laudon, H. (2018). Groundwater-surface water interactions across scales in a boreal landscape investigated using a numerical modeling approach. Journal of Hydrology, 560, 184–201. doi: [10.1016/j.jhydrol.2018.03.011](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.011)
- Voeckler, H.M., Allen, D.M., & Alila, Y. (2014). Modeling coupled surface water groundwater processes in a small mountainous headwater catchment. Journal of Hydrology, 517, 1089–1106. doi: [10.1016/j.jhydrol.2014.06.015](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.015)
- Waseem, M., Kachholz, F., Klehr, W., & Tränckner, J. (2020). Suitability of a Coupled Hydrologic and Hydraulic Model to Simulate Surface Water and Groundwater Hydrology in a Typical North-Eastern Germany Lowland Catchment. Applied sciences, 10(4), 1281. doi: [10.3390/app10041281](https://doi.org/10.3390/app10041281)
- Zhang, X., Zwiers, F.W., Hegerl, G.C., Lambert, F.H., Gillett, N.P., Solomon, S., Stott, P.A., & Nozawa, T. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. Nature, 448, 461–465. doi: [10.1038/nature06025](https://doi.org/10.1038/nature06025)
- Zhang, J., Zhang, M., Song, Y., & Lai, Y. (2021). Hydrological simulation of the Jialing River Basin using the MIKE SHE model in changing climate. Journal of Water and Climate change, 12(6), 2495–2514. doi: [10.2166/wcc.2021.253](https://doi.org/10.2166/wcc.2021.253)
- Wu, W., Yang, Z., Tian, B., Huang, Y., Zhou, Y., & Zhang, T. (2018). Impacts of coastal reclamation on wetlands: Loss, resilience, and sustainable management. Estuarine, Coastal and Shelf Science 210, 153–161. doi: [10.1016/j.ecss.2018.06.013](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.013)
- water hydrologic models. Hydrology and Earth System Sciences, 23(5), 2245–2260. doi: [10.5194/hess-23-2245-2019](https://doi.org/10.5194/hess-23-2245-2019)
- Bizhanimanzar, M., Leconte, R., & Nuth, M. (2020). Catchment-Scale Integrated Surface Water-Groundwater Hydrologic Modelling Using Conceptual and Physically Based Models: A Model Comparison Study. Water, 12(2), 363. doi: [10.3390/w12020363](https://doi.org/10.3390/w12020363)
- Botero-Acosta, A., Chu, M.L., & Huang, C. (2018). Impacts of environmental stressors on nonpoint source pollution in intensively managed hydrologic systems. Journal of Hydrology, 579, 124056. doi: [10.1016/j.jhydrol.2019.124056](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124056)
- Doummar, J., Sauter, M., & Geyer, T. (2012). Simulation of flow processes in a large-scale karst system with an integrated catchment model (Mike She) – Identification of relevant parameters influencing spring discharge. Journal of Hydrology, 426–427, 112–123. doi: [10.1016/j.jhydrol.2012.01.021](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.021)
- Golmohammadi, G., Prasher, S., Madani, A., & Rudra, R. (2014). Evaluating Three Hydrological Distributed Watershed Models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. Hydrology, 1(1), 20–39. doi: [10.3390/hydrology1010020](https://doi.org/10.3390/hydrology1010020)
- Graham, D.N., & Butts, M. B. (2005). Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In Watershed Models, Editors: V.P. Singh & D.K. Frevert, Pages 245–272, CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Guermaz, E., Milano, M., Reynard, E., & Zairi, M. (2019). Impact of climate change and anthropogenic pressure on the groundwater resources in arid environment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 24(1), 73–92. doi: [10.1007/s11027-018-9797-9](https://doi.org/10.1007/s11027-018-9797-9)
- Margarita Ntona, M., Busico, G., Mastrocicco, M., & Kazakis, N. (2022). Modeling groundwater and surface water interaction: An overview of current status and future challenges. Science of the Total Environment, 846, 157355. doi: [10.1016/j.scitotenv.2022.157355](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157355)
- Prucha, B., Graham, D., Watson, M., Avenant, M., Esterhuysen, S., Joubert, A., Kemp, M., King, J., Roux, P., Redelinghuys, N., Rossouw, L., Rowntree, K., Seaman, M., Sokolic, F., Rensburg, L., Waal, B., Tol, J., & Vos, T. (2016). MIKE-SHE integrated groundwater and surface water model used to simulate scenario hydrology for input to DRIFT-ARID: the Mokolo River case study. Water SA, 42(3), 384–398. doi: [10.4314/wsa.v42i3.03](https://doi.org/10.4314/wsa.v42i3.03)
- Sandu, M., & Virsta, A. (2015). Applicability of MIKE

Traditional Ecological Knowledge: A Review of Global Studies

M. Rezaei

Associate Professor, Department of Natural Sciences, Institute for Humanities and Cultural Studies, Tehran, Iran.

Email: m.rezaei@ihcs.ac.ir

Received: 23-04-2024

Revised: 15-09-2024

Accepted: 24-10-2024

Available Online: 19-12-2024

دانش بوم‌شناختی سنتی: مروری بر مطالعات جهانی

مسعود رضایی

دانشیار گروه علوم طبیعی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران.

رایانامه: m.rezaei@ihcs.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۳

Abstract

Traditional ecological knowledge is the knowledge of indigenous peoples that has been acquired during their lifetime and experience in a specific environment over generations and is an inseparable aspect of the bio-cultural heritage of indigenous communities. Using the documentary research method, this article investigates the role of indigenous knowledge in the sustainable management of natural resources by introducing implications in the world. The traditional ecological knowledge has a history as long as the life history of indigenous peoples, which negates the oppressive and exploitative attitude towards natural resources and the superiority of man over nature and its inferiority, and emphasizes protecting nature, choosing a lifestyle in harmony with nature, and appreciation of nature. In addition, an ongoing gift exchange between humans and the more-than-human world, the stewarding of nature, and an eco-centric view of it are the inherent characteristics of indigenous peoples, which provide alternative solutions to overcome the current environmental crises, which are mainly the result of the anthropocentric and developmentalist view of human beings towards natural resources and the environment.

Keywords: Traditional Ecological Knowledge, Formal Knowledge, Sustainable Management.

چکیده

دانش بوم‌شناختی سنتی، دانش مردمان بومی در طول نسل‌ها زندگی و تجربه در محیطی خاص و جنبه‌ای جدا نشدنی از میراث زیست-فرهنگی جوامع بومی است. این پژوهش با استفاده از روش اسنادی، نقش دانش بومی در مدیریت پایدار منابع طبیعی را بررسی و دلالت‌هایی از جهان ارائه کرده است. دانش بوم‌شناختی سنتی، پیشینه‌ای به درازای تاریخ حیات مردمان بومی دارد که تصور ظالمانه و استثمارگرانه از منابع طبیعی و برتری انسان بر طبیعت و فرودست پنداشتن آن را نفی می‌کند و بر نگرهبانی از طبیعت، انتخاب سبک زندگی هماهنگ با طبیعت و احترام و قدرشناسی از آن تاکید دارد. علاوه‌براین، تبادل مداوم مواهب بین انسان و عالم ورای انسان، نیکداری طبیعت و نگاه بوم‌محورانه به آن از ویژگی‌های ذاتی مردمان بومی هستند که راه‌حل‌های جایگزینی را برای گریز از بحران‌های محیط‌زیستی کنونی که بیشتر زاده نگاه انسان‌محورانه و توسعه‌گرایانه بشر به منابع طبیعی و محیط‌زیست هستند، فراهم می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: دانش بوم‌شناختی سنتی، دانش رسمی، مدیریت پایدار.

بحران جهانی محیط زیست بدون شک حاصل تصور تحریف شده کشورهای صنعتی بیشتر غربی از طبیعت و رابطه انسان با جهان طبیعی است. حداقل از زمان انقلاب علمی، کشورهای صنعتی غربی جهان طبیعی را ماشین یا کالای ناچیز و بی جانی تصور کرده اند که باید تحت سلطه انسان قرار گیرد و برای اهدافش استفاده شود (McGregor, 2018)، که یکی از پیامدهای آن بهره برداری بی رویه از منابع طبیعی تا مرز نابودی است. شیوه های تفکر غربی درباره جهان و فرآیندهای صنعتی سازی، بر دیدگاه های سلسله مراتبی و دوتایی از حیات متمرکز هستند که انسان ها و علایق آنان را در راس سلسله مراتب قرار می دهند. این دوگانگی، انسان را در برابر طبیعت قرار می دهد و هدف انسان کنترل و بهره برداری از طبیعت است (Dominelli, 2012). سنت روشنگری غربی تمام جهان را مادی، با نظم، تفکیک پذیر، قابل ترکیب، قابل بازسازی و قابل توصیف کامل با ابزارهای عقلانی می داند (Allison, 2022). از دریچه جهان بینی مادی گرایانه غربی، نهرها، دریاچه ها، کوه ها و دره های غنی که هزاران گونه گیاهی و جانوری مشترک را در خود جای داده اند، فراوانی منابع طبیعی یا خدمات بوم نظام تلقی می شوند. در این جهان بینی، گیاهان یا وحشی هستند که آزادانه می توان آنها را برداشت کرد یا به عنوان دارایی، قابل خرید و فروش هستند و هر توافقی که برای کنترل برداشت وجود داشته باشد، بیشتر به سمت به حداکثر رساندن بهره وری است (Kimmerer, 2018). برای مثال آب در نظریه فرهنگی غرب، یک منبع بی جان و غیرزنده است که بیشتر با خواص فیزیکی و شیمیایی آن تعریف می شود و حیات و ارزش ندارد، اما ارزش بالقوه زیادی برای به کارگیری در تولید دارد. آب به خودی خود هیچ سودی ندارد، جز اینکه انسان تا چه حد بتواند مستقیم یا غیرمستقیم از خود آب یا محیط های آبی (مانند غذاهای دریایی که به زنده بودن بوم نظام دریا وابسته هستند)، بهره مند شود. آب مانند زغال سنگ یا نفت، منبعی است که نه تنها از نظر فرهنگی مجاز است، بلکه ارجحیت دارد که با استخراج یا بازیابی آن به هر روشی که از نظر فناوری امکان پذیر است، استفاده شود. اگرچه دیدگاه های اخیر درباره محیط های آبی تغییر کرده تا به خدمات محیط زیستی بوم نظام های آبی ارزش اقتصادی دهند، اما نظریه فرهنگی زیربنایی آنها ثابت مانده است: ارزش آب با واژگان اقتصادی مشخص می شود (Basu و Dasgupta, 2023a).

رویکرد اقتصادی مبتنی بر سرمایه و فناوری، تلاش های مردمی و دانش سنتی موروثی را که مردمان محلی در طول توسعه تمدنی خود به دست آورده اند، نادیده گرفته و تجاری سازی و فرآیندهای توسعه مبتنی بر فناوری مدرن، حفاظت پایدار از تنوع زیستی و سایر منابع طبیعی را بدتر کرده است. فشار فزاینده ای که با سلطه سرمایه و فناوری ایجاد شده است، مردم را با از دست دادن زبان و

دانش بومی که در طی نسل ها از طریق فرآیند اجتماعی به دست آورده اند، از زیستگاه خود دور می کند (Mishra و همکاران، 2022). چندین نسل از کارشناسان و سازمان هایی که مدافع توسعه از بالا به پایین بودند، مشغول مدیریت و بهره برداری از منابع جهان توسعه نیافته شدند که یا دانسته از استفاده از دانش بومی در زمینه هایی که الگوهای خودشان برتر بود، اجتناب کردند یا هرگز نفهمیدند که ممکن است دانشی وجود داشته باشد که باید از آن استفاده شود (Ellen و Harris, 2005). کاهش دانش انسان ها درباره گیاهان، حاصل قطع ارتباط آنان با دنیای طبیعی در جامعه صنعتی است که در آن رزق و روزی انسان، در پشت فرآیندهای صنعتی پنهان شده است. افزایش اتکا به بازار برای غذا، دارو و مواد نیز تکیه بر زمین و دانش نحوه استفاده از آن را کاهش داده است و فعالیت های معیشتی با اقتصاد دستمزدی جایگزین شده اند که به طور قابل توجهی به از دست رفتن دانش کمک کرده، زیرا پیوندهای خانوادگی با زمین را از بین برده است (Kimmerer, 2018).

همه انسان ها با بهره برداری از دنیای طبیعی به عنوان کالا موافق نبوده و تصور و رابطه مردمان بومی با جهان طبیعی در تضاد با این تصویر ظالمانه و استثمارگرانه است (McGregor, 2018). حدود ۳۰۰ میلیون بومی در جهان زندگی می کنند که به ۵۰۰۰ گروه قومی مختلف تعلق دارند. اقوام ۴ درصد جمعیت و ۹۵ درصد تنوع فرهنگی جهان را تشکیل می دهند. زندگی مسالمت آمیز و پایدار با طبیعت، اصل مهم جوامع قومی بوده (Sing و همکاران، 2022) و مردمان بومی به دلیل وابستگی بقای خود به منابع محلی، روش هایی را برای حفظ منابع طبیعی پیرامون خود در طول قرن ها ایجاد کرده اند (Rai و Mishra, 2022). ۸۰ درصد از تنوع زیستی جهان در ۲۲ درصد از سرزمین هایی است که بومیان در آنها ساکن هستند و ۷۰ درصد از مواد غذایی جهان از طریق دانش سنتی تولید می شود (Unuigbo, 2023). در قرن حاضر شاهد تغییر از رویکردهای نوگرایانه و غرب محور در توسعه، به نگاه هایی هستیم که دانش بومی را به رسمیت می شناسند و بر آن ارجحیت می دهند.

جوامع بومی برای حفظ حقوق، سنت ها و دانش خود، پیوسته با نظامی که هنوز تحت سلطه جهان بینی غربی است، مبارزه می کنند. آنان با چالش زندگی در دو جهان بومی و غیربومی که دائم با یکدیگر در کشمکش هستند، مواجه هستند (Magni, 2016). مردم بومی معتقدند فرهنگ ها و سنت های آنان ذاتاً تاب آور هستند و افزایش آسیب پذیری، نتیجه نیروهای خارجی و ترکیبی از فشارهای سیاسی و اجتماعی، همراه با استفاده رقابتی از زمین (مانند کشاورزی تجاری بزرگ-مقیاس، معدن یا جنگل، گسترش شهری و غیره) است که نهادها و بنیان منابع آنها را فرسوده می کند (Nakashima و همکاران، 2018). شیوه زندگی مردمان محلی و جامعه گرایانه است و در بیشتر موارد با ایجاد پیوستگی محلی و حتی جهانی، فراتر از اجتماع واحد خود عمل می کنند (Azevedo

(Lundia, ۲۰۰۸). سنت‌گرایان می‌دانند در اعصار نخستین برای انسان‌ها محدودیت‌هایی تعیین شده بود که قبایل، آنها را برای بقا و رزق و روزی آینده لازم می‌دانستند (Hogan, ۲۰۱۸). تصورات مردمان بومی از خود به‌عنوان نگهبانان گیاهان، جانوران و منابع طبیعی برای نسل‌های کنونی و آینده در پیوند معنوی بین انسان‌ها، سایر اشکال حیات و اشیاء بی‌جان نهفته است (Dominelli, ۲۰۱۲). جوامع قومی گوناگون با تحمیل باورهای فرهنگی و مذهبی که پیش از تمدن بشری مرسوم بوده و تا به امروز ادامه یافته است، فعالانه در حفظ منابع مشارکت دارند (Sing و همکاران, ۲۰۲۲). مفهوم توسعه که به‌عنوان افزایش بهره‌وری، نوسازی و فناوری و تملک کالا و سرمایه مالی در نظر گرفته شده، نه بخشی از دانش بومی و نه بخشی از کیهان‌شناسی و زبان گروه‌های بومی است. بااین‌حال، مردمان بومی توانسته‌اند برای قرن‌ها زنده بمانند و به روش‌های مختلف با شرایط آب و هوایی نامطلوب سازگار شوند و موفق به ایجاد نظام‌های معیشتی پایدار شوند. اشکال متنوع دانش آنان که به شدت در روابط آنها با محیط‌زیست و نیز در انسجام فرهنگی ریشه دارد، به بسیاری از این جوامع امکان داده است تا منابع طبیعی را به شیوه پایدار مدیریت کنند، از محیط‌زیست خود محافظت کنند و تاب‌آوری خود را افزایش دهند (Magni, ۲۰۱۶).

روش‌شناسی

در این مقاله از روش پژوهش اسنادی استفاده شده است. پژوهش اسنادی نوعی مطالعه است که در آن از اسناد شخصی و رسمی به‌عنوان منبع اطلاعات یا شواهد استفاده می‌شود. این اسناد ممکن است شامل نشریات، عکس‌ها، روزنامه‌ها، یادداشت‌های روزانه، نوارها، فایل‌های رایانه‌ای و غیره باشد. در این روش، پژوهشگر داده‌های پژوهشی خود را درباره کنشگران، وقایع و پدیده‌ها از بین منابع و اسناد جمع‌آوری می‌کند. در این پژوهش تلاش شده است با تکیه بر اسناد و منابع علمی مرتبط با قلمرو دانش بوم‌شناختی سنتی، به ویژه مصادیق استفاده از این دانش در جهان، مبحث نقش دانش بومی در مدیریت پایدار منابع طبیعی تشریح شود. از این‌رو، پرسش اصلی مطالعه حاضر آن است که کشورهای مختلف چگونه از دانش بوم‌شناختی سنتی برای حفاظت پایدار از منابع طبیعی بهره‌برده‌اند؟

دانش بوم‌شناختی سنتی

در عصر اخیر کاربرد، مقبولیت و عمومیت دانش بومی رشد داشته که از قرن گذشته در ادبیات روزافزون درباره این موضوع، بروز یافته است. شکست پروژه‌های از بالا به پایین (Ellen, ۲۰۱۱) پروژه‌هایی که به صورت متمرکز در مرکز تدوین و برای اجرا در

سطوح پایین ابلاغ می‌شوند) و نرخ بالای فقر و شکاف اقتصادی گسترده، این باور اشتباه دیرپای که دانش علمی غربی، آینده برنامه‌های توسعه در جهان در حال توسعه را شکل می‌دهد، تضعیف کرد و دانش بومی در دستور کار بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌عنوان منبع بالقوه توسعه پایدار قرار گرفت (Arlene Romm, ۲۰۱۷). در حال حاضر دانش بومی به‌عنوان دارایی فرهنگی مهم بشر شناخته می‌شود (Kikvidze, ۲۰۲۱). واژه بومی در عبارت دانش بومی، به معنای اصیل، نخستین، اهلی یک مکان یا بومی یک منطقه است (Arlene Romm, ۲۰۱۷) و بر فرهنگ ساکنان اصلی یک منطقه، در مقابل فرهنگ جهانی شده تأکید دارد (Dudgeon و Berkes, ۲۰۰۳). از نظر سازمان ملل متحد اصطلاح بومی به گروه‌هایی از انسان‌ها که شرایط اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی، آنان را از سایر بخش‌های جامعه ملی متمایز می‌کند و وضعیت آنها به طور کامل یا جزئی توسط آداب یا سنت‌های خود یا قوانین یا حقوق خاص تعیین می‌شود، اشاره دارد (World Bank, ۱۹۹۸).

دانش بومی، دانش سنتی، دانش محلی یا علم فنی بومی اصطلاحی است که برای اشاره به فعالیت‌های عقلانی جوامع بومی پراکنده در سراسر جهان استفاده می‌شود و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. به عبارت دیگر، دانش بومی منحصر به یک فرهنگ یا جامعه خاص است و جامعه محلی را از اقداماتی که باید در زمینه‌های گوناگون مانند بهداشت، کشاورزی و نیز دین انجام دهند، آگاه می‌کند (Mapara, ۲۰۱۷). دانش بومی قلمروی گسترده و شامل دانش آیینی، دانش تاریخی، دانش اجتماعی، دانش پزشکی، دانش علمی و سایر قلمروها است. این دانش طی هزاران سال تجربه بشر با جهان طبیعی تکامل یافته و زاده مشارکت زیسته با واقعیت و چشم‌انداز طبیعی است (Cajete, ۲۰۱۸) که از نظر فرهنگی مناسب است، معیشت، تغذیه و رفاه عمومی را بهبود می‌بخشد و استفاده منطقی‌تر از منابع طبیعی را تشویق می‌کند (Ellen, ۲۰۱۱).

دانش بومی به معنای وسیع، سنت‌های فرهنگی محلی از جمله روش‌های استفاده از خدمات بوم‌نظام و منابع طبیعی (مانند حیوانات، گیاهان، مواد معدنی، شکارگاه‌ها، مجموعه‌های آبی برای ماهی‌گیری) را در برمی‌گیرد. دانش بومی به این معنا است که گروه معینی از افراد می‌توانند عناصر خاصی از طبیعت (موجودات زنده، صخره‌ها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها، جنگل‌ها) را بشناسند و از آنها به‌عنوان منابع (غذا، دارو، مواد ابزارسازی، ساخت‌وساز، مصنوعات، اقلام آیینی، تزئینات) استفاده کنند یا در صورت تهدید، از آسیب‌ها (به‌عنوان مثال شکارچیان خطرناک یا گیاهان سمی) به روشی خاص برای رسیدن به هدف خاص جلوگیری کنند. بنابراین، دانش بومی در اصل به دانش و مهارت‌ها، اعم از ضمنی و آموخته شده از والدین، بزرگ‌ترها یا همسالان برای شناخت و استفاده از گیاهان، حیوانات و

ویژگی‌های بوم‌نظام اشاره دارد (Kikvidze, ۲۰۲۱). این دانش محیط‌زیستی و فرهنگی، ساکن نیست و با تغییر بسترهای فرهنگی، بوم‌شناختی و اجتماعی، تکامل یافته است و به تکامل و تغییر ادامه می‌دهد (Turner, ۲۰۱۴). دانش بومی ظرفیتی است که مردمان بومی می‌توانند از آن برای تسهیل حکمرانی خود استفاده کنند (Whyte, ۲۰۱۸) و دیدگاه‌های دانش بومی که توسط افراد بومی روایت می‌شوند، پتانسیل زیادی برای توسعه بینش و راهنمایی برای ایجاد نوعی اخلاق محیط‌زیستی و درک عمیق دارند که باید در زمان‌های حساس پیش رو مطرح‌نظر قرار گیرند (Cajete, ۲۰۱۸). مردمان بومی حضوری دیرینه و نسل در نسل در سرزمین‌های خود داشته و این اخلاف مکان به شدت در فرهنگ‌ها و سازمان‌های اجتماعی آنان نهفته است. پایداری برای اکثر مردم بومی، نتیجه راهبردهای آگاهانه و عمدی است که برای ایجاد تعادل بین انسان‌ها و جهان طبیعی و حفظ آن تعادل به نفع نسل‌های آینده طراحی شده است. به‌عنوان مثال، بسیاری از مردم بومی که دانش بوم‌شناختی سنتی خود را حفظ می‌کنند، بر اقتصاد معیشتی مبتنی بر زمین به جای اقتصاد صنعتی یا بازاری، متکی هستند (Tsosie, ۲۰۱۸).

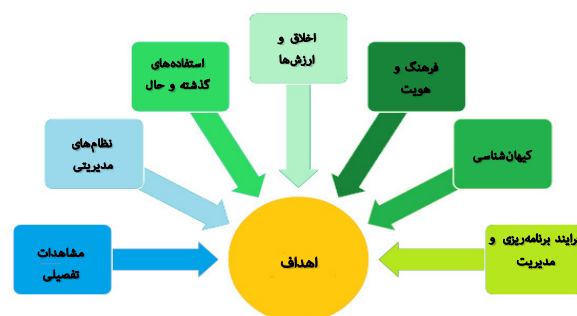
عبارت دانش بوم‌شناختی سنتی در دهه ۱۹۸۰ رایج شد و انسان‌شناسان اولین کسانی بودند که این دانش را بررسی کردند. داروسازی، گیاه‌شناسی قومی، تاریخ، علوم دامی و بوم‌شناسی همه از یادگیری دانش بوم‌شناختی سنتی سود می‌برند (Withanage و Gunathilaka, ۲۰۲۲). اکنون نظام‌های بوم‌شناختی سنتی حفاظت از محیط‌زیست به بخش اساسی از هویت فرهنگی و اجتماعی بسیاری از جوامع قومی در جهان تبدیل شده‌اند. دانش بوم‌شناختی سنتی در اصطلاح رایج به‌عنوان دانش محلی، دانش سنتی، دانش بومی، دانش سنتی محیط‌زیست، علم مردمی، دانش بومی فن‌آوری، دانش کشاورز، بوم‌شناسی قومی، دانش عامیانه، دانش مردم روستایی (Rai و Mishra, ۲۰۲۲)، علوم بومی (U.S. Fish & Wildlife Service, ۲۰۱۱)، نظام‌های دانش طبیعی (Withanage و Gunathilaka, ۲۰۲۲)، بوم‌شناسی عامیانه، قوانین عرفی، دانش سرزمینی (Johnson, ۱۹۹۲)، دانش فنی بومی، دانش عامیانه (Ellen و Harris, ۲۰۰۵) و غیره شناخته می‌شود و یک حوزه تخصصی خاص در ادبیات گسترده دانش بومی است (Dudgeon و Berkes, ۲۰۰۳). جغرافی‌دانان، مردم‌شناسان، گیاه‌شناسان قومی، سیاست‌گذاران و سایر دانشمندان علوم اجتماعی، دانش بوم‌شناختی سنتی را از دیدگاه خود تبیین کرده‌اند، اما تا قرن بیستم در مردم‌شناسی دانش مختص یک فرهنگ، غالب بوده است (Rai و Mishra, ۲۰۲۲).

در ادبیات علمی هیچ تعریفی از دانش بوم‌شناختی سنتی که مورد توافق همگان باشد، وجود ندارد. خدمات حیات وحش و ماهیان ایالات متحده دانش بوم‌شناختی سنتی را دانش در حال

تکاملی می‌داند که توسط مردم بومی و محلی طی صدها یا هزاران سال از طریق تماس مستقیم با محیط‌زیست به‌دست آمده است. این دانش شامل روابط بین گیاهان، حیوانات، پدیده‌های طبیعی، مناظر و زمان‌بندی رویدادهایی است که برای شیوه زندگی ازجمله شکار، ماهی‌گیری، تله‌گذاری، کشاورزی، جنگل‌داری و غیره استفاده می‌شود (U.S. Fish & Wildlife Service, ۲۰۱۱). از منظر بوم‌شناسی قومی، دانش بوم‌شناختی سنتی به‌عنوان بررسی نظام‌های دانش تولید شده توسط یک فرهنگ خاص برای طبقه‌بندی اشیاء، فعالیت‌ها و رخدادها در عالم خود تعریف شده است (Withanage و Gunathilaka, ۲۰۲۲). Nakashima و همکاران (۲۰۱۲) معتقدند دانش بوم‌شناختی سنتی، دانش و فوت و فنی است که طی قرن‌ها جمع‌آوری شده و توسط نسل‌های جدید بازسازی شده است که تمدن‌های بشری را در تعامل متعدد خود با محیط اطراف هدایت می‌کند. Withanage و Gunathilaka (۲۰۲۲) بیان کردند دانش بوم‌شناختی سنتی مجموعه‌ای انباشته از دانش و باورها درباره رابطه موجودات زنده با یکدیگر و با محیط‌زیست است که در طول نسل‌ها از طریق فرهنگی، منتقل می‌شود. این دانش یکی از ویژگی‌های جوامع با استمرار تاریخی در شیوه‌های استفاده از منابع است. به‌طورکلی این جوامع، غیرصنعتی یا از نظر فناوری کمتر پیشرفته و بسیاری از آنها بومی یا قبیله‌ای هستند. از دیدگاه دانش بوم‌شناختی سنتی، رابطه انسان با جهان طبیعی باید متقابل باشد و جهان فقط برای اهداف انسان به وجود نیامده است و انسان‌ها در قبال دنیای طبیعی مسئولیت دارند (McGregor, ۲۰۱۸). Unuigbel (۲۰۲۳) بیان کردند دانش بوم‌شناختی سنتی یک نظام طبقه‌بندی، مجموعه‌ای از مشاهدات تجربی درباره محیط‌زیست محلی و مهمتر از همه، چارچوبی اخلاقی است که بر روابط بین انسان‌ها و طبیعت حاکم است.

دانش بوم‌شناختی سنتی تنها دانش توصیفی درباره محیط طبیعی نیست، بلکه دانشی است که با تجربه در یک مکان به‌دست می‌آید و تجویزی است، یعنی توضیحی از نحوه رفتار مردم در رابطه با طبیعت ارائه می‌دهد. پس دانش بوم‌شناختی سنتی ترکیبی از علم، معنویت و اخلاق است (McGregor, ۲۰۱۸) و جنبه‌ای جدانشدنی از میراث زیست-فرهنگی مردمان بومی و جوامع محلی است (Mishra و همکاران, ۲۰۲۲). این دانش مجموعه‌ای از باورها نیست، بلکه یک شیوه زندگی (مجموعه‌ای از شیوه‌های اخلاقی حاکم بر روابط مردم بومی با طبیعت) است (Unuigbel, ۲۰۲۳). چنین نظام‌های دانشی در محیط‌زیست محلی تکامل می‌یابند و برای پذیرش نیازهای افراد و شرایط محیط‌زیستی محلی مناسب هستند (Rai و Mishra, ۲۰۲۲). هدف دانش بوم‌شناختی سنتی در درجه اول متقاعد کردن انسان‌ها برای قدردانی از غیرانسان‌ها است (Withanage و Gunathilaka, ۲۰۲۲). دانش بوم‌شناختی

سنتی متضمن تعامل دانش، افراد و همه مخلوقات (طبیعی و معنوی) است. در نتیجه، دانش بوم‌شناختی سنتی به‌جای دانش، فرآیندی برای مشارکت مناسب در چنین شرایطی است (McGregor, ۲۰۰۸). درحالی که برخی از اشکال دانش سنتی از طریق داستان‌ها، افسانه‌ها، فولکلور، آیین‌ها، آوازها، هنر و حتی قوانین بیان می‌شوند، اشکال دیگر اغلب از طریق ابزارهای مختلف بیان می‌شوند (Rao و Saxena, ۲۰۲۲). شکل (۱) اهداف دانش بوم‌شناختی سنتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- اهداف دانش بوم‌شناختی سنتی
(Gunathilaka و Withanage, ۲۰۲۲)

بر اساس فلسفه محیط‌زیست بومی، زندگی انسان بی‌شک به زندگی موجودات دیگر وابسته است و اولین مسئولیت انسان، قدرشناسی است. به رسمیت شناختن جهان به‌عنوان موهبت، دعوت به شکرگزاری است و در واقع بسیاری از فرهنگ‌های بومی، فرهنگ‌های قدرشناسی توصیف شده‌اند. ابراز قدرشناسی ممکن است عاطفی و معنوی باشد، اما نتایج بسیار عملی به همراه دارد. تمرین قدرشناسی می‌تواند به شیوه‌ای بسیار واقعی به تمرین خویش‌داری و اجتناب از بهره‌برداری بی‌رویه منجر شود. سنت‌های داستانی بومی سرشار از داستان‌های هشداردهنده درباره قصور در قدرشناسی هستند. وقتی افراد فراموش می‌کنند که موهبت را گرمای بداند، عواقب آن همیشه معنوی و مادی است. در یک داستان، چشمه خشک می‌شود، ذرت نمی‌روید، حیوانات برمی‌گردند و لشکر گیاهان و جانوران آزرده و رودخانه‌ها علیه کسانی که از شکرگزاری غافل شده‌اند، طغیان می‌کنند. سنت داستان‌سرایی غربی به طرز عجیبی در این باره سکوت کرده است. بنابراین ما خود را در دوره‌ای می‌بینیم که قرن‌ها مصرف بیش از حد، منابع طبیعی را تهی کرده و جوامع بشری را از نظر مادی و فرهنگی به دلیل قطع ارتباط عمیق با دنیای جاودان، فقیر کرده است. قدرشناسی به عنوان پاسخ به زمین بسیار قدرتمند است، زیرا دریچه‌ای برای اقدام متقابل می‌گشاید. دانش سنتی سرشار از آموزه‌ها درباره چگونگی رفتار متقابل است. عمل متقابل می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته

باشد. آیین‌ها نوعی عمل متقابل هستند که پیوندهای بین زمین و انسان‌ها را تجدید می‌کنند. گیاهان اغلب نقش حیاتی در مراسم، به‌عنوان غذاها و اشیای آیینی و وسیله‌ای برای ارتباط با امر مقدس دارند. مصرف غذاهای گیاهی در آیین‌ها، قدردانی از روش‌هایی که گیاهان و حیوانات بدن خود را برای تغذیه بدن انسان تسلیم می‌کنند و پیوند مقدس حیات برای حیات را تقویت می‌کند. یادآوری این نکته مهم است که آیین‌های معنوی، علاوه‌بر قدرتی که در ابعاد غیبی دارند، ممکن است اثرات فوری و مستقیم مهم بر دنیای فیزیکی نیز داشته باشند و نوعی احترام عملی را شکل دهند. از دریچه فلسفه سنتی بومی، جهان زنده نه به‌عنوان مجموعه‌ای از منابع قابل بهره‌برداری، بلکه به‌عنوان مجموعه‌ای از روابط و مسئولیت‌ها ادراک می‌شود. در فلسفه محیط‌زیست بومی جهت‌گیری به جهان به‌عنوان تبادل مداوم مواهب بین انسان و جهان‌ورای انسان، بنیادی است و این پرسش مطرح می‌شود که چگونه به جهانی سرشار از مواهب پاسخ دهیم؟ پاسخ به این پرسش بسیار متفاوت از پاسخ ناشی از مفهوم دنیایی از کالاها یا دارایی است. اقتصادهای مبتنی بر مواهب فرهنگ‌های متقابلی را ایجاد می‌کنند که در آن انسان‌ها مسئولیت اخلاقی، معنوی و مادی برای جبران مواهب دریافتی دارند (Kimmerer, ۲۰۱۸). محور معیشت مردم بومی، مفهوم نیک‌زیستی است که بر مجموعه‌ای از هنجارها و ارزش‌های مشترک بین گروه‌های بومی استوار است. اساس این ارزش‌ها جنبه‌هایی مانند اجتماع، رابطه هماهنگ بین انسان-طبیعت-جهان و مفاهیم برابری و کمال است (Magni, ۲۰۱۶). به‌عنوان مثال، ادعاهای بومیان درباره آب، پویا و خاص یک بستر فرهنگی است، اما دیدگاه آنان عموماً جامع، شهودی و هماهنگ است و تعامل جوامع با آب اغلب برای هویت و نیک‌زیستی آنان اهمیت دارد (Holmes, ۲۰۲۳). یکی از بحث‌های مهم در دانش سنتی، تفاوت آن با علم است. از آنجایی که علم ویژگی اصلی جوامع بشری است، بین دانش بوم‌شناختی سنتی و علم شباهت‌ها و تفاوت‌هایی وجود دارد. درحالی‌که بسیاری از دانشمندان زیست‌شناسی و متخصصان مدیریت منابع طبیعی دانش بوم‌شناختی سنتی را نادیده می‌گیرند، علوم دیگر مانند کشاورزی ارزش بالاتری برای آن قائل هستند. بااین‌حال، داده‌ها نشان می‌دهند که دانش بوم‌شناختی سنتی بیش از یک اقدام ساده است و کنج‌کاو علمی را نیز شامل می‌شود. بومیانی که هیچ آموزش رسمی علمی یا دانش علمی ندارند، علاقه‌مند به مبانی علم هستند. بنابراین، دانش بوم‌شناختی سنتی فقط یک نظام دانش و عمل نیست، بلکه نظامی کل‌نگر از دانش، عمل و باورها است (Withanage و Gunathilaka, ۲۰۲۲). در جدول (۱) تفاوت بین علم و دانش بوم‌شناختی سنتی ارائه شده است.

جدول ۱- تفاوت بین دانش بوم‌شناختی سنتی و علم

(Vinyeta و Lynn, ۲۰۱۳)

دانش بوم‌شناختی سنتی	علم
سنت شفاهی	سنت مکتوب
رویکرد کل‌نگر	رویکرد تقلیل‌گرایانه
یادگیری از مشاهدات و تجربه‌ها	یادگیری تحلیلی و آموخته شده
بر اساس تجربه انباشته و جمعی	بر اساس قوانین و نظریه‌ها
عمدتاً کیفی (اما با استثنائات)	عمدتاً کمی
بهره‌برداران منابع اطلاعات را تولید کرده‌اند	متخصصان یا کارشناسان اطلاعات را گردآوری کرده‌اند
زندگی طولانی‌مدت در یک مکان	زندگی طولانی‌مدت در مناطق بزرگ
در رفتارها و زندگی روزمره به کار گرفته می‌شود	آزمون فرضیه‌ها و مدل‌سازی

نمونه‌هایی از دانش بوم‌شناختی سنتی

اولین نمونه از دانش و حکمرانی بومی از قبیله کاروک^۱ در آمریکای شمالی است. میراث کاروک روابط دیرینه وابستگی متقابل با طیف وسیعی از غذاها، از گوزن تا زغال اخته و ماهی سالمون است. از نظر تاریخی، این غذاها با رژیم‌های آتش‌سوزی هدفمند و نظام‌مند که دانش پیچیده محیط‌زیستی را دربرداشت، تقویت می‌شدند. در یک مطالعه، حدود سه چهارم گونه‌هایی که مردم کاروک برای غذا یا فعالیت‌های فرهنگی استفاده می‌کردند، به نوعی از آتش (نورگارد) نیرو می‌گرفتند. کاروک همچنین دانش دقیق درباره چگونگی مراقبت از شرایط اکولوژیکی موردنیاز برای حفظ جمعیت ماهی سالم به ویژه سالمون را که در رژیم غذایی کاروک مهم است، مهیا کرد (Whyte, ۲۰۱۸). مثال دیگر سیستم آبیاری هوهوکام-آودهام، بزرگ‌ترین سیستم آبیاری است که تا به حال در آمریکای شمالی یا شاید حتی کل جهان توسط یک جامعه فرهنگی بومی ساخته شده است. این سیستم کاملاً توسط بومیان قبل از آمدن آمریکایی‌های اروپایی‌تبار به قاره آمریکا برنامه‌ریزی، طراحی، مهندسی و ساخته شده بود که بزرگ‌ترین سیستم آبیاری بومی در دنیای جدید بود که از قوه جاذبه زمین نیرو می‌گرفت و بیش از ۱۱۰۰۰۰ هکتار را در یک دره آبیاری می‌کرد (Ortiz, ۲۰۱۸). ادبیات سرشار از توصیف روابط فرهنگی افراد بومی با آب است که اغلب شامل ارتباط عمیق معنوی و اجدادی بین افراد و منابع و تعهد افراد به حکمرانی و مراقبت از این منبع برای نسل‌های کنونی و آینده، به جای بهره‌برداری صرف از آن برای منافع خود است. ادعاهای بومی اغلب بر تمایل به دسترسی یا مالکیت آب برای اهداف مختلف، از جمله مدیریت و استفاده از آب برای اهداف فرهنگی، معنوی و محیط‌زیستی و نه تخصیص آن بر اساس قیمت برای استفاده تجاری

تاکید دارند (Macpherson, ۲۰۱۹). حفاظت از منابع آب شیرین با استفاده از فنون مختلف مدیریتی و حفاظتی نیز جنبه‌ای بسیار مهم برای تامین آب و غذا در بین مردمان بومی است. به‌عنوان مثال بلوک‌های مرجانی در جزایر مارشال، در اطراف کانون‌های آب شیرین قرار داده می‌شوند تا از شور شدن آب جلوگیری شود (Salick و Byg, ۲۰۰۷). برداشت آب باران فن دیگری است که قرن‌ها در میان گروه‌های بومی جنوب آسیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم‌های گودا و تاگالوک در بنگلادش نمونه‌هایی از این دست هستند که مبتنی بر استفاده از بامبو برای نگهداری آب باران و نشست آب برای مصارف کشاورزی و خانگی هستند (Tebtebba Foundation, ۲۰۰۹). همه زنان مسن روستایی در سریلانکا به اتفاق آرا آب را شکل دیگری از حیات می‌دانند (Dasgupta و Basu, ۲۰۲۳b).

اساطیر باستانی هندو از نظر استعاره و متافیزیکی، از آب به‌عنوان زیربنای حیات، قدرت و ابدیت یاد می‌کنند. خصوصیت شست‌وشوی گناهان، با قدرت تقدس و مفهوم کیهانی آب همراه است به‌طوری‌که رودخانه‌ها به‌عنوان پاک‌کننده آلودگی مورد احترام قرار می‌گیرند. بر اساس فلسفه ودا که اساس اولیه فرهنگ و اندیشه هندو است، آب و بدن انسان در نظام اجتماعی هندو واقعیت‌های فیزیکی صرف نیستند. آب در اساطیر هندو به‌عنوان پایه و اساس کل جهان، بنیان حیات و اکسیر جاودانگی توصیف شده است. در متون هندو، رابطه نزدیکی بین دارما (فضیلت، وظیفه، عدالت، یا چیزی که حفظ می‌کند) و ویران کردن زمین وجود دارد. وقتی دارما رو به زوال است، انسان‌ها طبیعت را غارت می‌کنند (Mitra, ۲۰۲۳). سازه‌های مختلف برداشت آب در مناطق کوهستانی شمال هند ساخته شده‌اند که با ارزش‌های مذهبی و فرهنگی مردم این منطقه پیوند تنگاتنگی دارد. سازه‌های قدیمی جمع‌آوری آب مانند ناولا، دهرا و چوپتاوولا بیشتر برای ذخیره آب سالم و کافی برای مصارف خانگی بوده و بسیاری از این سازه‌ها چهره‌هایی از خدایان و/یا اسطوره‌هایی دارند که از بهره‌برداری یا آلودگی این سازه‌های ذخیره‌سازی آب جلوگیری می‌کنند. سازه‌های سنتی نگهدارنده آب مانند چاه‌های پلکانی نیز در دهلی نو وجود دارند که نشان‌دهنده سودمندی آنها در ذخیره‌سازی آب برای مصارف خانگی است (Dasgupta و Basu, ۲۰۲۳a). کشاورزان محلی در سودان به تاثیر منفی شیب‌های تند بر تسریع رواناب و انتقال خاک حاصلخیز به پایین دامنه‌ها پی بردند. در نتیجه، آنان مجموعه‌ای از تراس‌ها را برای کاهش سرعت رواناب و با هدف بهبود تولید محصول ایجاد کردند. فن تراس برای برداشت آب بر اساس اصل افزایش رطوبت خاک برای رشد گیاه و ذخیره بخشی از زمین برای برداشت و انتقال آب باران به زمین‌های زراعی است (Abdel Magid, ۲۰۱۲). یک فن رایج که توسط مردمان سنتی در آمریکا نیز استفاده می‌شود، ایجاد سرریزها، سدها یا تراس‌ها برای کند کردن رواناب و تقویت رسوبات در ارتفاعات است. به این ترتیب، شیب‌های فرسوده با

جمع شدن خاک سطحی در پشت سازه‌ها احیا می‌شوند. بومیان آمریکا در جنوب غربی ایالات متحده بیش از هزار سال است که در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشاورزی کرده‌اند. برخی از روش‌های مورد استفاده توسط آنان شامل جایابی دقیق مزارع بر روی مخروط افکنه‌ها، دستکاری پیچیده رواناب و مدیریت تشکیل آبکند است که به آنان امکان می‌دهد تا بر رطوبت خاک و وضعیت مواد مغذی و بافت خاک در مزارع خود تأثیر مطلوبی بگذارند (Berkes, 2012).

شینتوئیسم، مذهب بومی جان‌گرا در ژاپن است که به رابطه سه جانبه بین کامی^۲ (خدا)، انسان و طبیعت اعتقاد دارد. جنگل‌ها، بیشه‌ها و کوه‌ها در شینتوئیسم نشانه نهایی قدرت و فراوانی حیات در نظر گرفته می‌شوند، زیرا آب و خورشید پایگاه حیات را برای درختانی که جنگل‌ها، بیشه‌ها و کوه‌ها را تشکیل می‌دهند، فراهم می‌کنند. یکی از خصوصیت‌های اصلی شینتوئیسم، تطهیر آیینی ناپاکی‌ها است و آب مهم‌ترین نقش را در فرآیند تطهیر ایفا می‌کند، زیرا اعتقاد بر این است که ظرفیت شست‌وشوی ناپاکی‌ها را دارد (Chiang و همکاران، 2023). شینتوئیسم بر حفظ هماهنگی بین طبیعت و انسان تأکید دارد و چندین خدا و الهه دارد که به‌عنوان نگهبان اجزای مختلف زمین مانند آتش، آب، جنگل، کوه و غیره عمل می‌کنند (Basu و Dasgupta, 2023b). در زیما‌بوه رهبران سنتی نقش مهم در نظام‌های مدیریت آب در سطح محلی ایفا می‌کنند، زیرا هنجارها، باورها و سیاست‌های سنتی را اجرا می‌کنند. باورهای اساطیری و مذهبی نیز نقش مهم در حکمرانی بومی آب دارند. باورهای مذهبی قوانین و کدهای اخلاقی را تحمیل می‌کنند که مردم محلی باید در حکمرانی آب از آنها پیروی کنند و افسانه‌ها، دسترسی و استفاده پایدار از منابع آب را تضمین می‌کنند. یکی از این باورها این است که اگر فردی در منبع آب اجابت مزاج کند، دچار بیرون‌روی می‌شود و این بیماری تنها زمانی قطع می‌شود که متخلف با یک طبیب سنتی مشورت کند و وجهی را برای دلجویی از اجداد پرداخت کند. مدیریت محیط‌زیست نیز به اجداد که نگهبانان طبیعت هستند، ارتباط داده شده است و ارواح اجدادی در حصول اطمینان از پایبندی به هنجارها و قوانین مربوط به استفاده از منابع مشترک نقش اساسی دارند (Basu و Dasgupta, 2023a).

کشاورزان بومی آند از زمان حال برای پیش‌بینی ماهیت فصل بارانی آینده استفاده می‌کنند. آنان در طول قرن‌ها خوشه ستاره‌ای پروین را به دقت بررسی کرده‌اند تا تصمیم بگیرند که کاشت محصول اصلی خود یعنی سیب‌زمینی را انجام دهند یا آن را به تأخیر بیاورند. این تفسیر از ستارگان به آن‌ها اجازه می‌دهد تا چند ماه پیش‌تر، وقوع باران (عادی یا با تأخیر، بارش ثابت یا نامنظم) را در طول فصل رشد بعد پیش‌بینی کنند (Nakashima و همکاران، 2018). پاچاماما (مادر-زمین) در فرهنگ‌های آند، مقدس و زنده در

نظر گرفته می‌شود و انسان‌ها در طول زندگی خود باید بر اساس تقویم‌های خاص مرتبط با کیهان‌بینی بومی که برای این هدف اساسی هستند، هماهنگی با مادر-طبیعت و شیوه‌های کشاورزی را بیابند. فعالیت‌های پرورشی که کشاورزان بومی انجام می‌دهند، مطابق با آیین‌ها و جشن‌های متفاوتی هستند که در پی اصول چرخه‌های طبیعت انجام می‌شوند (Gonzales و همکاران، 2010). در آموزه‌های باستانی انیشینابک^۳ در کانادا آمده است انسان نخستین (نانابوژو^۴) وقتی بر روی زمین قرار گرفت، از غرابت و زیبایی جهان که در آن زمان برای او ناشناخته بود، پر از شگفتی شد. آفریدگار به او دستور داده بود که به‌عنوان یادگیرنده متواضع در چهار جهت گردش کند و همه آنچه را که می‌تواند از دیگرانی که قبلاً در هماهنگی با یکدیگر در آنجا زندگی می‌کردند، بیاموزد. به او این مسئولیت داده شد که با هر موجودی صحبت کند و از آنها بیاموزد که چه مواهبی را باید با کسانی که قرار است بیایند، به اشتراک بگذارد. هر گیاهی که با آن روبه‌رو می‌شد ارزشش را به وی آموخت، روشی که ریشه‌هایش را می‌توان خورد، داروهایی که درست می‌کرد و غیره. وی از این آموزه‌ها، دستورات خالق را دنبال کرد و نامی برای هر گونه قرار داد. داستان‌های نانابوژو از آغاز جهان منعکس کننده درک انسان‌ها نه به‌عنوان سلطه‌گران، بلکه یادگیرندگانی فروتن از سایر موجودات زمین است. به نانابوژو دستور داده شد به همه موجودات زمین احترام بگذارد. اصل اساسی دانش سنتی گیاهی این است که گیاهان نه به‌عنوان اشیاء صرف یا اشکال پست‌تر حیات، بلکه به‌عنوان افراد غیرانسانی با دانش، نیت و روح خود ادراک می‌شوند. گیاهان قدیمی‌ترین معلمان انسان نیز شناخته می‌شوند. گفته می‌شود گیاهان بیشتر از انسان‌ها در جهان بوده‌اند و می‌دانند چگونه از نور و هوا، غذا و دارو درست کنند. در فرهنگ‌های بومی انسان‌هایی که فاقد مواهب سخاوتمندانه گیاهان و حیوانات هستند، اغلب به‌عنوان برادران کوچک‌تر خلقت نامیده می‌شوند. گیاهان در برخی از آموزه‌های آیشینابک به‌عنوان سطح دوم خلقت شناخته می‌شوند که سایر اشکال حیات بر آنها متکی هستند. این اتکا به قدری نزدیک است که گیاهان در بسیاری از داستان‌های خلقت به‌عنوان خاستگاه انسان، مورد احترام قرار می‌گیرند. در این فرهنگ‌ها، روابط انسان و گیاه جایگاه محوری در زندگی فرد، خانواده، جامعه و ملت دارد. ارتباط عمیقی که تجسم آن در جامعه صنعتی که در آن گیاهان اغلب فقط به‌عنوان کالا یا زینتی برای ساخت چشم‌انداز در نظر گرفته می‌شوند، دشوار است (Kimmerer, 2018).

نهایت احترام به گیاهان و جوامع گیاهی عنصری اساسی در تمام شیوه‌های جمع‌آوری گیاه در بین مردم بومی اوکانگان^۵ در کانادا است. همه گیاهان به ویژه آنهایی که به‌عنوان غذا و دارو مهم هستند، با نهایت احترام و تکریم مورد توجه قرار می‌گرفتند. مردم بومی اوکانگان حدود ۱۳۰ گونه از ۲۶۰ گونه گیاهی شناخته شده

را به عنوان دارو استفاده می کردند. حیوانات، ماهی ها، ریشه های گیاهی و دانه ها بدون توجه به حق حیات شان جمع آوری نمی شدند و احترام اخلاقی نسبت به جان حیوانات، ماهی ها، ریشه ها و دانه ها در سطح جامعه به خودی خود حفظ می شد و در آیین های غیررسمی به رسمیت شناختن، نزدیکی یا هم وزن بودن حیوانات با انسان ها، شیوه های رایج مردم بومی اوکاناگان بود. آنان با حیوانات به ویژه شکارهای بزرگ، با احترام زیادی برخورد می کردند و درباره آنها متفاوت صحبت می شد. وقتی یک خرس کشته می شد، آهنگی به نام آواز خرس خوانده می شد. نانسی ترنر، متخصص گیاهشناسی قومی، گزارش می دهد که هنوز با همه انواع داروها با احترام و تکریم رفتار می شود و در حین جمع آوری و آماده سازی با گیاهان صحبت می شود و از آنها درخواست کمک می شود. درحالی که این اعمال ممکن است به یک نظام اعتقادی بی نظیر جان گرایی^۶ نسبت داده شود، اما این واقعیت که آن ها رویه غالب، رایج و متداول دروگرها، شکارچیان و ماهی گیران هستند نشان می دهد که این عمل هدف اجتماعی عمیق تری نسبت به عرفان باستانی داشته است (Armstrong، ۲۰۱۸).

نظام های چندکشتی مثالی مهم برای راهبردهای سازگاری با تغییرات آب و هوایی هستند که بر به حداقل رساندن خطر برداشت کمک می کنند، زیرا محصولات که کشت می شوند حساسیت متفاوت نسبت به پیامدهای تغییرات آب و هوایی دارند. برای نمونه در شمال شرق هند، کشت بیش از ۴۰ محصول، به جوامع بومی امکان داده است تا از شرایط سخت آب و هوایی جان سالم به در ببرند (Nakashima و همکاران، ۲۰۱۲). میلپا^۷ بوم نظام کشاورزی در مکزیک است که در آن ذرت، لوبیا و کدو سبز محصولات اصلی هستند (Binnqüist و همکاران، ۲۰۱۷). کشاورزان بومی مشاهده کردند ذرت به تنهایی به اندازه زمانی که با گیاهان دیگر رشد می کند، مولد نیست. نبوغ کشاورزی بومی این بود که با کشت سه گونه ای که با دقت انتخاب شده بودند، از قدرت مکمل بودن استفاده کرد. ذرت در اصل یک علف غول پیکر، بلند و قوی است و در گرمای تابستان با استفاده از فتوسنتز تخصصی به سرعت رشد می کند. مارپیچ عمودی برگ ها به سمت بالای ساقه به طور موثری از نور استفاده می کند و خوشه های ذرت به راحتی برداشت می شود. باین حال، بهره وری بالای ذرت به منبع غنی از مواد مغذی نیز نیاز دارد. در نتیجه، لوبیاهای تثبیت کننده نیتروژن با ذرت کاشته شدند و با غنی سازی خاک، کود مورد نیاز را فراهم کردند. در مقابل، ساقه ذرت از لوبیایی که از ذرت بالا می رود حمایت می کند و برگ ها، گل ها و میوه های آن را در فضاهای باز بین برگ های خود قرار می دهد و برچی از غذا از رابطه متقابل بین لوبیا و ذرت ایجاد می شود. خواهر سوم یعنی کدو، برگ های بزرگ و خاردار را روی زمین در پای ذرت پخش می کند. سایه برگ های کدو علف های هرز را سرکوب می کند و خاک را مرطوب نگه

می دارد، درحالی که برگ های زبر باعث دفع گیاه خواران می شود. کشاورز-دانشمندان بومی نظامی را ایجاد کردند که در آن سه گونه به جای کاهش موفقیت یکدیگر در رقابت شدید موجود در سیستم های تک کشتی، رشد یکدیگر را از طریق همکاری تسهیل کنند (Kimmerer، ۲۰۱۸).

مدیریت جنگل بخش مهمی از اقتصاد سنتی در روستاهای گرجستان بوده و همچنان ادامه دارد. جوامع موفق شده اند جنگل های خود را از طریق چرخش، برش گزینشی، تاج بری و بریدن درختان پهن برگ نزدیک به زمین با هدف تولید عناصر شاخه زاد، به طور پایدار در طول هزاره ها مدیریت کنند و جنگل های مقدس هنوز در اطراف صومعه ها وجود دارند. اگرچه بهره برداری از منابع و تبدیل زیستگاه های طبیعی به زمین های کشاورزی تغییراتی در طبیعت گرجستان ایجاد می کند، اما حداقل مساحت زیستگاه های طبیعی که برای وجود آنها ضروری هستند، حفظ می شود. به عنوان مثال، جنگل های محلی جزء ضروری هر نظام سنتی استفاده از زمین در گرجستان هستند و این جنگل ها به وسیله انسان هایی اداره می شوند که چوب و سایر منابع را به طور پایدار با فنون مختلف استخراج می کنند. کشاورزان سنتی می دانند کدام زمین ها به عنوان زمین های زراعی مناسب هستند، کدام زمین ها به عنوان جنگل های محلی بهتر حفظ می شوند و از کدام مکان ها برای باغداری یا کاشت سبزیجات استفاده شود (Kikvidze، ۲۰۲۱).

منطقه هیمالیا یکی از مناطق سرشار از نظام های دانش سنتی برای مدیریت رطوبت خاک است. درحالی که اکثر نظام های جدید از آبیاری برای مدیریت رطوبت خاک استفاده می کنند، نظام های سنتی از روش هایی مانند مخلوط گیاهی چندلایه یا مالچ پاشی برای کاهش تبخیر از لایه های خاک بهره می گیرند. استفاده از کوزه های آب به عنوان منبع آبیاری در مزارع در مناطقی که بارندگی کم است، رایج است. هنگامی که کوزه پر از آب می شود و روی آن با درپوشی که در خاک قرار می گیرد پوشانده و گیاه جدید در نزدیکی آن کاشته می شود، ریشه ها رطوبت خود را از کوزه می گیرند و در نتیجه بقای گیاهان زراعی افزایش می یابد. همچنین مخازن کوچکی که در فواصل معین قرار می گیرند، برای جمع آوری جریان های زیرپوسته ای که از دامنه های منطقه کوهستانی تراوش می کنند، استفاده می شود تا نیازهای آب خانگی و آبیاری را تامین کنند. این عمل، دسترسی کافی به آب در زمان کمبود آب را تضمین می کند و از آب این حوضچه ها می توان برای مصارف آبیاری و شرب استفاده کرد. جمع آوری آب باران از پشت بام یا تراس خانه ها یکی دیگر از روش های دانش سنتی برای حفظ آب است. آب در سازهایی که با پلاستیک یا دیوارهای سنگی سیمانی پوشانده شده اند، جمع آوری و در دوره های کم آبی برای مصارف آبیاری استفاده می شود. درحالی که در نظام های جدید از ورق های پلاستیکی برای کاهش هدررفت آب حوضچه ها استفاده می شود، در برخی جوامع

سنتی از چمن به عنوان پوشش داخلی استفاده می‌شود. مدیریت حاصلخیزی خاک توسط جوامع سنتی، به دلیل اثربخشی آن در حفظ سلامت خاک مورد توجه علم مدرن قرار گرفت. در این فرآیند هر سال یا فصل کاشت با استفاده از تناوب زراعی و انواع کشت، محصولات مختلف در یک مزرعه کاشته می‌شوند تا حاصلخیزی خاک حفظ شود. کودهای آلی حاصل از منابع گیاهی و حیوانی از محصولات جانبی ارزشمند کشاورزی هستند. نظام‌های سنتی در منطقه هیمالیا نشان دادند نظام‌های کشاورزی به منابع مغذی به دست آمده از بستر جنگل، بقایای محصولات و زیست‌توده علف‌های هرز مخلوط با فضولات حیوانی، که درجات مختلفی از تجزیه میکروبی را تجربه کرده‌اند، وابسته هستند (Rao و Saxena، ۲۰۲۲). زنان در فیلیپین با یک روش قدیمی کمپوست‌سازی به نام ژن-ژن (کودهای آلی) که برای جلوگیری از فرسایش خاک به کار می‌رود، مسئول جنگل-زراعی هستند (Tebtebba Foundation، ۲۰۰۹). جوامع سنتی در شمال شرقی هند، از طریق نهادهای غیررسمی متعدد و پذیرش نظام‌های دانش بوم‌شناختی سنتی، از تنوع زیستی و تنوع بوم‌نظام‌ها بهره‌برداری و حفاظت می‌کنند. این گروه‌ها دارای طیف وسیعی از عادات غذایی، تفاوت‌های فرهنگی و زبانی و نیز دانش عمومی و ساختارهای اجتماعی غیررسمی روستایی هستند که همه تعیین کننده دسترسی و حفظ منابع طبیعی در این مناطق هستند. مردم شمال شرقی هند مدت‌ها است که با طبیعت همزیستی کرده‌اند و نظام‌های دانش بوم‌شناختی سنتی خاص مکانی را توسعه داده‌اند که با فرهنگ و بوم‌شناسی هماهنگ شده‌اند. راهبرد بقای این جوامع امرار معاش از طبیعت، به جای از بین بردن تنوع زیستی و سایر منابع است (Mishra و همکاران، ۲۰۲۲). در پاکستان، حفاظت از جنگل‌ها در مکان‌های مقدس انجام می‌شود. مردم مکان‌های مقدس را مقدس می‌دانند و نخلستان‌ها یا قبرستان‌های مقدس، کانون‌های تنوع زیستی جنگلی هستند و مومنان مکان‌های مقدس را به دلیل فرهنگ بومی و اعتقاداتشان به این مکان‌ها محافظت می‌کنند (Abdullah و همکاران، ۲۰۲۲). کشاورزان در اندونزی معتقد هستند کاهش پوشش جنگلی بر یکنواختی جریان آب در رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش طغیان رودخانه‌ها در فصل بارانی می‌شود و میزان آب رودخانه‌ها در فصل خشک را به شدت کاهش می‌دهد. آنها همچنین معتقد هستند با تخریب جنگلی تیرگی آب افزایش می‌یابد. روش‌های کشت به شدت بر کارایی باغ‌های قهوه در حفظ کارکردهای حوزه آبخیز تأثیر می‌گذارد. سازه‌های خاکی (مانند تراس‌ها و شیارها) می‌توانند به کاهش فرسایش کمک کنند. از سوی دیگر، علف‌های هرز و تکنیک‌های وجین نیز بر فرسایش خاک تأثیر می‌گذارند، زیرا وجین شدید فرسایش را افزایش می‌دهد درحالی‌که از وجود علف‌های هرز مانند نوارهای علف‌های هرز، وجین حلقه‌ای و مالچ‌پاشی می‌توان برای کاهش فرسایش استفاده

کرد (Joshi و همکاران، ۲۰۰۴).

از دیگر جنبه‌های اصلی معیشت پایدار بومی، کیهان‌شناسی بومی و اعمال معنوی است. به عنوان مثال، مطالعاتی که در آمازون انجام شده است، بر اهمیت حکیمان و شفادهنده‌ها در ارائه راهنمایی درباره شکار و فعالیت‌های کشاورزی و نیز استفاده از منابع تأکید کرده‌اند (Fragoso و Luzar، ۲۰۱۳). نمونه دیگر از اعمال روحانی که بر مدیریت منابع تأثیر می‌گذارند، اعمال مردم ناکسی در شمال شرق چین است که نظام باورها و تابوهای آنان بر اساس ارواح سو^۸ است. اعضای جامعه برای اینکه ارواح را هنگام مدیریت منابع طبیعی آزار ندهند، باید از قوانین خاص مانند ممنوعیت قطع درختان در قبرستان و اطراف زمین برای مراسم آیینی یا ممنوعیت شکار حیوانات باردار پیروی کنند (Kissya و Mu Xiuping، ۲۰۱۰). مینگا یا مینکا، اصطلاحی است که برای اشاره به کار جمعی برای یک پروژه مشترک که نیاز به مشارکت کل جامعه دارد، استفاده می‌شود. در اکوادور، والدین یک مینگا را ترتیب می‌دهند تا زمین متعلق به مدرسه را بکارند و محصولاتی تولید کنند که برای تغذیه دانش‌آموزان در طول سال تحصیلی مورد استفاده قرار گیرد (Ferraro، ۲۰۰۴). در نیوزیلند، مائوری‌ها از عمل کایتیاکاتینگا^۹ استفاده می‌کنند، که به نوعی مدیریت دارایی مشترک اشاره دارد که برای اطمینان از حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی و نیز استفاده پایدار از آن برای بقای جامعه استفاده می‌شود (Dodson، ۲۰۱۵). فن دیگر سیستم لامپسا در فیلیپین است که برای حفظ تولید برنج انجام می‌شود. این سیستم مبتنی بر نگهداری و مدیریت کانال‌های آبیاری موسوم به چتچت و مشارکت کلیه صاحبان مزارع در کار تعاونی موسوم به آب‌بو^{۱۰} برای بازسازی سیستم آبیاری و تضمین سهم برابر از آبیاری، به خصوص در زمان خشکسالی است (Nakashima و همکاران، ۲۰۱۲).

مثال دیگر طبقه‌بندی زمین توسط دامداران بورانادر اتیوپی است که بر اساس دانش آنان درباره تعامل گیاه و جانور و توزیع اکولوژیکی گونه‌ها و نیز مکان منابع آب است. این دانش به آنها امکان داده است که منابع آب و دام و نظم سکونتگاه‌ها را برای قرن‌ها در محیطی که مشخصه آن خشکسالی و بارندگی‌های نامنظم است، مدیریت کنند. تقسیم زمین از طریق توافق بین اعضای جامعه انجام می‌شود و قوانین عرفی برای مثال در استفاده از آب اعمال می‌شود. برای اطمینان از استفاده پایدار از این منبع حیاتی، یک مدیر آب برای هر منطقه آبی انتخاب می‌شود. مناطقی آبی در طول فصل مرطوب بسته می‌شوند و دام‌ها نیز از این مناطق خارج و در فصل خشک بازگردانده می‌شوند (Gemedo و همکاران، ۲۰۰۶). مردمان بومی به طور مداوم عادات حیوانات را مشاهده می‌کردند، نه به این دلیل که می‌توانستند آنها را بهتر شکار کنند، بلکه به این دلیل که خرس، آهو، اردک، غاز و سایر گونه‌ها به دنبال برخی از غذاهای مشابه با غذای انسان، به ویژه غذاهای گیاهی بودند.

انسان‌ها می‌توانستند از طریق بررسی دقیق این حیوانات بیاموزند که در چه فصولی غذاهای خاص را برداشت کنند و در برخی موارد، چه قطعاتی را جمع‌آوری کنند و چگونه غذا را در انبارهای زیرزمینی ذخیره کنند (Turner, 2014). دامداران در کامرون با بررسی رفتار پرندگان مهاجر، جهت باد و رفتار گاوها، تغییرات آب و هوایی را مشاهده و پیش‌بینی می‌کنند. این نظام دانش به آنان کمک می‌کند با اثرات تغییرات آب و هوایی بر منابع دامداری سازگار شوند (Kongnsso, 2022).

بحث و نتیجه‌گیری

دانش بوم‌شناختی سنتی به‌عنوان یک راهبرد نقش مهم در مدیریت پایدار منابع دارد. این دانش به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به دلیل افزایش تقاضا برای ارائه راه‌حل‌های جایگزین برای مسائل فزاینده تخریب محیط‌زیست، فقر و نابرابری و وجود کشمکش قابل‌توجه بین شیوه‌های زندگی بومی و توسعه اقتصادی سرمایه‌داری، اهمیت بیشتری دارد (Appiee Tiu, 2016). برخلاف الگوهای مالکیت فردی، خصوصی‌سازی و توسعه که به تغییرات آب و هوایی، آلودگی، تخریب زمین و از دست رفتن تنوع زیستی منجر شده‌اند، مردم بومی برای قرن‌ها پایداری را تمرین (Recio و Hestad, 2022) و در سرزمین‌های اجدادی خود به شیوه پایدار زندگی کرده‌اند که با جهان‌بینی بوم‌محور آنان که تأکید دارد انسان‌ها بخشی از طبیعت و نه جدا از آن هستند، امکان‌پذیر شده است (Unuigbe, 2023). دانش بوم‌شناختی سنتی جدا بودن انسان از جهان طبیعی و برتری وی بر آن را انکار و این دیدگاه را با دیدگاهی جایگزین می‌کند که انسان را جزئی از طبیعت و مراقبت از طبیعت و احترام به آن را ضروری می‌داند (McGregor, 2018). به همین دلیل اگر قرار است راه‌حل جامعی برای فاجعه ماریچ محیط‌زیستی پیدا شود، درس گرفتن از خرد مردم بومی که طی هزاران سال زندگی پایدار در بوم‌نظام‌ها انباشته شده، ضروری است. اکثر پژوهشگران و دانشمندان مدیریت منابع طبیعی معتقدند دانش بوم‌شناختی سنتی باید به‌عنوان مفهومی مشترک در نظر گرفته شود تا گروه‌های مختلف تشویق شوند این دانش را مبادله کنند و از یکدیگر یاد بگیرند و از این طریق نیکداری محیط‌زیست را بهبود بخشند (Gunathilaka و Withanage, 2022).

تسلط بر طبیعت و فرودست پنداشتن طبیعت به رابطه تحریف شده‌ای منجر می‌شود که انسان‌ها و منافع، ظرفیت‌ها و دستاوردهای آنان را در اولویت قرار می‌دهد و موجودات طبیعی غیرانسانی را فقط ابزاری برای نیک‌زیستی انسان می‌داند. حال آنکه دیدگاه‌های بومی درباره رابطه مناسب با جهان طبیعی در مواجهه با مشکلات پایداری، منبع غنی دانش هستند که ممکن است به ایجاد اخلاق پایداری کمک کنند (McGregor).

۲۰۱۸). ازاین‌رو با تاسی از مردم بومی، کشف یک الگوی زیست فرهنگی برای زندگی در مرزهای اکولوژیکی اهمیت زیادی دارد (Unuigbe, 2023). دانش بوم‌شناختی سنتی مسئولیتی اخلاقی است و انسان‌ها در قبال یکدیگر، زمین، گیاهان و حیوانات مسئولیت‌هایی برای حال و آینده دارند (McGregor, 2018) و یادگیری از جوامع بومی بخش اساسی برای گذار موفق از بحران محیط‌زیستی کنونی است که نیازمند گسترش ظرفیت نهادی برای شناخت فرهنگ‌های بومی درباره حفاظت و استفاده از منابع طبیعی است. در تدوین راهبردهای حفاظت از منابع طبیعی باید به اشتراک‌گذاری دانش بین نهادهای بومی و نهادهای رسمی غالب تشویق شود. این امر می‌تواند به ایجاد برنامه‌های سازگاری با اقلیم که از نظر فرهنگی مناسب باشند کمک کند، زیرا بازیگران بومی می‌توانند درباره راهبردهای واقع‌بینانه، قابل اجرا و مقرون‌به‌صرفه که مطابق با ارزش‌های محلی هستند، مشورت دهند. همچنین بسیج جامعه از طریق نهادهای بومی برای تغییر نگرش مردم و مشارکت آنان در حفاظت از منابع طبیعی حیاتی است. از سوی دیگر، دانش بوم‌شناختی سنتی باید برای کارشناسان، برنامه‌ریزان و مخاطبان غیربومی تشریح و قابل درک‌تر شود و بستر تاریخی رابطه مردم بومی با منابع طبیعی به منظور درک چگونگی توسعه نظام‌های دانش و فرهنگ مردم بومی تبیین شود.

توجه به این نکته نیز مهم است که قانون‌گذاری و سیاست‌هایی که فرهنگ و سنت گروه‌های بومی را سرکوب یا تحقیر می‌کنند، خطرات متعددی را برای دانش بوم‌شناختی سنتی از جمله تغییر شیوه‌های معیشتی سنتی، از بین رفتن نهادها و حقوق سنتی و از دست دادن ابزارهای انتقال دانش بوم‌شناختی سنتی ایجاد می‌کنند (Nepal, 2021). به همین دلیل دولت باید با حمایت و به رسمیت شناختن حقوق مرسوم و دانش سنتی افراد بومی، زمینه ظهور و بروز این دانش را فراهم کند. برای مثال در فیلیپین، حقوق بومیان بر اساس قانون اساسی و نیز از طریق قانون حقوق مردم بومی تضمین شده است که از حق مردم بومی برای داشتن و توسعه سرزمین اجدادی خود حمایت می‌کند (Jacqueline و همکاران, 2015). در حال حاضر دانشی که در جوامع بومی نگهداری می‌شود در بوروکراسی‌های مدیریتی کمتر مورد توجه قرار گرفته و مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. احیای شیوه‌های فرهنگی و راه‌حل‌های سنتی که به‌عنوان عقب مانده کنار گذاشته شده است، برای انطباق با چالش‌های محیط‌زیستی باید در مرکز توجه قرار گیرد. تلفیق ارزش‌های معنوی و فرهنگی در تصمیم‌های مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست، پذیرش این تصمیم‌ها را در جوامع محلی افزایش می‌دهد. همچنین دانستن این ارزش‌های معنوی و فرهنگی به درک چگونگی ارزش‌گذاری منابع طبیعی در طول تاریخ و در طول نسل‌ها کمک می‌کند و راه‌هایی برای بهره‌برداری پایدار از منابع

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|-----------------|-------------|
| 1-Karuk | 2-Kami |
| 3-Anishinaabek | 4-Nanabozho |
| 5-Okanagan | 6-Animistic |
| 7-Milpa | 8-Su |
| 9-Kaitiakitanga | 10-Obobbo |

منابع

- Abdel Magid, T.D. (2012). Indigenous Knowledge Related to Forestry and Natural Resource. Available at: https://www.researchgate.net/publication/341481011_Indigenous_Knowledge_Related_to_Forestry_and_Natural_Resources (visited 24 March 2024).
- Abdullah, S.M.K., Ul Haq, Z., & Ahmad, Z. (2022). Muslim Graveyard Groves: Plant Diversity, Ecosystem Services, and Species Conservation in North-west Pakistan. In book: Sacred Forests of Asia: Spiritual Ecology and the Politics of Nature Conservation. Routledge. New York, USA.
- Jacqueline, K., Thingreiphi Lungharwo, C., Carling, J., & Lakpa Nuri Sherpa, L. 2015. Recognition of Indigenous Peoples' Customary Land Rights in Asia. Available at: <https://aippnet.org> (visited 24 March 2024).
- Allison, E. (2022). Sacred Forests as Sites of Bio-Cultural Resistance and Resilience in Bhutan. In book: Sacred Forests of Asia: Spiritual Ecology and the Politics of Nature Conservation. Routledge. New York, USA.
- Appiee Tiu, S. (2016). Traditional Ecological Knowledge in Sustainable Resource Management in Papua New Guinea: The Role of Education and Implications for Policy. Ph.D. thesis, The University of Waikato, Hamilton, New Zeland.
- Arlene Romm, N.R. (2017). Researching Indigenous Ways of Knowing-and-Being: Revitalizing Relational Quality of Living. In book: Handbook of Research on Theoretical Perspectives on Indigenous Knowledge Systems in Developing Countries. IGI Global. New York, USA.

طبیعی برای نسل‌های آینده ترسیم می‌کند. از آنجایی که نظام‌های مدیریت منابع دیوان‌سالارانه و متمرکز به دلیل نابودی منابع طبیعی و محیط‌زیست مورد انتقاد قرار گرفته‌اند، بسیاری معتقدند دانش بومی می‌تواند استحکام تصمیم‌های مدیریت محیط‌زیست و شیوه‌های مدیریتی را که بیشتر با ویژگی‌های محلی هماهنگ هستند، بهبود بخشد (Gunathilaka و Withanage، ۲۰۲۲). زیرا راهبردها و دیدگاه‌های جایگزین استفاده از منابع را بر اساس شیوه‌های توسعه یافته محلی و خود جوامع ارائه می‌دهد.

نظام‌های دانش بوم‌شناختی سنتی نقش اصلی را در دستیابی و حمایت از پایداری بر عهده دارند (Brondizio و همکاران، ۲۰۲۱) و تلاش برای تفکیک دانش بوم‌شناختی سنتی از جهان‌بینی بوم‌محورش و ادغام آن در دانش علمی، نوعی سوء استفاده و انکار ماهیت آن است. به این ترتیب، کمک‌های عمیقی که دانش بوم‌شناختی سنتی می‌تواند در درک ما از یکپارچگی اکولوژیکی داشته باشد نادیده گرفته خواهد شد (Unuigbo، ۲۰۲۳). حال آنکه استفاده از دانش بوم‌شناختی سنتی در مدیریت منابع، نه تنها بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی را تضمین می‌کند، بلکه از شیوه‌های سنتی زندگی و معاش حمایت می‌کند. به همین دلیل شکست مرزهای سیاسی و توسعه ظرفیت‌های نهادی برای فضا دادن به رویکردهای جایگزین برای مقابله با بحران‌های محیط‌زیستی که ممکن است در آینده بدتر شوند، ضروری است و نظام‌های دانش و دانش سنتی مردم بومی کلید طراحی آینده‌ای پایدار برای همگان هستند.

نکته پایانی فاصله گرفتن مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی و محیط‌زیست از رویکرد فناوری‌محور صرف و مداخلات فناورانه در مدیریت منابع طبیعی و اتخاذ رویکردی کل‌نگر و همه‌جانبه در این حوزه است. به عنوان مثال مدیران حوزه آب می‌توانند از سازه‌های سنتی برداشت آب و مناظر فرهنگی دیدن کنند تا با دانش بومی دخیل در ساخت این سازه‌ها آشنا شوند. این امر ممکن است به طراحی منابع آب پایدارتر کمک کند و تقاضای آب در حال افزایش ساکنان شهری را برآورده کند. از طرف دیگر، مردم محلی بیشتر از طریق افسانه‌ها و روایات محلی و نه اصطلاحات فنی، می‌توانند با منابع طبیعی ارتباط برقرار کنند و از آنها استفاده کنند و نادیده گرفتن این ارزش‌ها باعث ایجاد شکاف بین برنامه‌ریزی و اجرا می‌شود. زنان روستایی در سریلانکا اظهار کردند با نصب آب لوله‌کشی، دانش بومی مردم محلی از بین می‌رود، زیرا آنان دیگر نیازی به تمرین آن دانش ندارند (Basu و Dasgupta، ۲۰۲۳b).

این مثال نشان می‌دهد چگونه پیشرفت فناوری زندگی را آسان‌تر می‌کند درحالی‌که از سوی دیگر به از دست رفتن دانش سنتی منجر می‌شود که می‌تواند تهدیدی جدی برای جوامع آینده باشد، زیرا افراد با از دست دادن دانش بومی به فناوری وابسته می‌شوند و غلبه فناوری می‌تواند تهدیدهای جدیدی را برای منابع طبیعی و محیط‌زیست ایجاد کند.

- Chiang, H.H., Basu, M., & Sano, Y. (2023). Water and Shintoism: Exploring the Link between Spirituality and Water Values in Japan. In book: *Indigenous and Local Water Knowledge, Values and Practices*. Springer Nature. Singapore.
- Dodson, G. (2015). *Advancing Local Marine Protection, Cross Cultural Collaboration and Dialogue in Northland*. Unitec ePress Research Report Series (1). Available at: <http://www.unitec.ac.nz/epress/> (visited 25 March 2024).
- Dominelli, L. (2012). *Green social work: from environmental crises to environmental justice*. Polity Press. Cambridge, UK.
- Dudgeon, R.C., & Berkes, F. (2003). Local Understandings of the Land: Traditional Ecological Knowledge and Indigenous Knowledge. In book: *Nature across cultures: views of nature and the environment in non-western cultures*. Kluwer Academic Publishers, Manchester, UK.
- Ellen, R. (2011). Introduction. In book: *Modern Crises and Traditional Strategies Local Ecological Knowledge in Island Southeast Asia*. Berghahn Books, New York, USA.
- Ellen, R., & Harris, H. (2005). Introduction. In book: *Indigenous Environmental Knowledge and its Transformations: Critical Anthropological Perspectives*. Taylor & Francis e-Library. Amsterdam, Netherlands.
- Ferraro, E. (2004). *Reciprocidad, don y deuda: relaciones y formas de intercambio en los Andes ecuatorianos: la comunidad de Pesillo*. Flacso-Sede Ecuador. Paris, France.
- Gemedo, D., Isselstein, J., & Maass, B. L. (2006). Indigenous ecological knowledge of Borana pastoralists in southern Ethiopia and current challenges. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 13(2), 113-130. <https://doi.org/10.1080/13504500609469666>
- Gonzales, T., Machaca, M., Chambi, N., & Gomel, Z. (2010). Latin American Andean Indigenous Agriculturalists Challenge Current Transnational System of Science, Knowledge and Technology for Agriculture: From Exclusion to Inclusion. In book: *Towards*
- Armstrong, J. (2018). A Single Strand: The Nsyilxcin Speaking People's Tmix Knowledge as a Model for Sustaining a Life- Force Place. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Azevedo Lundia, L. (2008). *Ecoturismo de pueblos indígenas: Propuestas sostenibles*. Fondo para el Desarrollo de los Pueblos Indigenas de América Latina y el Caribe, La Paz, Bolivia.
- Basu, M., & Dasgupta, R. (2023a). Concluding Reflections on the Indigenous and Local Water Knowledge, Values, and Practices and Lessons Learned. In book: *Indigenous and Local Water Knowledge, Values and Practices*. Springer. Singapore.
- Basu, M., & Dasgupta, R. (2023b). Exploring Indigenous Water Knowledge, Values, and Practices: Insights and Examples. In book: *Indigenous and Local Water Knowledge, Values and Practices*. Springer. Singapore.
- Berkes, F. (2012). *Sacred ecology*, Routledge. Third edition, New York, UK.
- Binnqüist, C.L., Ledesma, R.H., & Panzo, F.P. 2017. Keeping Our Milpa: Maize Production and Management of Trees by Nahuas of the Sierra de Zongolica, Mexico. In book: *Indigenous knowledge: enhancing its contribution to natural resources management*. CAB International. Oxford, UK.
- Brondizio, E.S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bates, P., Carino, J., Fernandez Llamazares, A., Ferrari, M.F., Galvin, K., Reyes- Garcia, V., McElwee, P., Molnar, Z., Samakov, A., & Shrestha, U.B. (2021). Locally Based, Regionally Manifested, and Globally Relevant: Indigenous and Local Knowledge, Values, and Practices for Nature. *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 481-509. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-012127>
- Cajete, J. (2018). Native Science and Sustaining Indigenous Communities. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.

- Macpherson, E.J. (2019). *Indigenous Water Rights in Law and Regulation: Lessons from Comparative Experience*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Magni, G. (2016). Indigenous knowledge and implications for the sustainable development agenda. *European Journal of Education*, 52(4), 437-447. <https://doi.org/10.1111/ejed.12238>
- Mapara, J. (2017). Binarism as a Recipe for Lukewarm Research into Indigenous Knowledge Systems in Zimbabwe. In book: *Handbook of Research on Theoretical Perspectives on Indigenous Knowledge Systems in Developing Countries*. IGI Global. New York, USA.
- McGregor, J. (2018). Toward a Philosophical Understanding of TEK and Ecofeminism. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Mishra, A.P., Chandra Jha, P. & Mondal, S. (2022). Geographies of Knowledge Synthesis and Interdisciplinary. In book: *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Mitra, P. (2023). Water Symbolism in Hindu Culture. In book: *Indigenous and Local Water Knowledge, Values and Practices*. Springer. Singapore.
- Mu-Xiuping, H.H., & Kissya, E. (2010). *Indigenous Knowledge and Customary Law in Natural Resource Management: Experiences in Yunnan, China and Haruku, Indonesia*. Asia Indigenous Peoples Pact (AIPP) Foundation, Chiang Mai, Thailand.
- Nakashima, D., Galloway, M.L.K., Thulstrup, H., Ramos Castillo, A., & Rubis, J. (2012). *Weathering uncertainty: traditional knowledge for climate change assessment and adaptation*. UNESCO. Paris, France.
- Nakashima, D., Rubis, J.T., & Krupnik, I. (2018). *Indigenous Knowledge for Climate Change Assessment and Adaptation: Introduction*. In book: *Indigenous Knowledge for Climate Change Assessment and Adaptation*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- an Alternative Development Paradigm: Indigenous Peoples' Self-Determined Development. Tebtebba Foundation. Baguio, Philippines.
- Hogan, L. (2018). The Radiant Life with Animals. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Holmes, P. (2023). A Political-Economic Analysis of Water, Indigeneity, and Capitalism in the Face of Climate Change. In book: *Indigenous and Local Water Knowledge, Values and Practices*. Springer Nature. Singapore.
- Johnson, M. (1992). Research on Traditional Environmental Knowledge: Its Development and Its Role. In book: *Lore: capturing traditional environmental knowledge*. Dene Cultural Institute and the International Development Research Centre. Ottawa, Canada.
- Joshi, L., Arévalo, L., Luque, N., Alegre, L., & Sinclair, F. (2004). Local ecological knowledge in natural resource management. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=ed2d8c2798d8ef5f8ebe727e8840ea6dddcdbef9> (visited 23 April 2024).
- Kikvidze, Z. (2021). *Traditional Ecological Knowledge in Georgia: A Short History of the Caucasus*. Routledge. New York, USA.
- Kimmerer, R.W. (2018). *Mishkos Kenomagwen, the Lessons of Grass: Restoring Reciprocity with the Good Green Earth*. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Kongnso, M.E. (2022). *Indigenous Adaptation of Pastoralists to Climate Variability and Range Land Management in the Ndop Plain, North West Region, Cameroon*. In book: *Indigenous Knowledge and Climate Governance: A Sub-Saharan African Perspective*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Luzar, J.B., & Fragoso, J.M. (2013). Shamanism, Christianity and culture change in Amazonia. *Human ecology*, 41(2), 299-311. <https://doi.org/10.1007/s10745-012-9515-2>

- Tsosie, R. (2018). Indigenous Peoples and “Cultural Sustainability”. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Turner, N.J. (2014). *Ancient pathways, ancestral knowledge: ethnobotany and ecological wisdom of Indigenous peoples of northwestern North America*. McGill-Queen's University Press. Montreal, Canada.
- U.S. Fish & Wildlife Service. (2011). *Traditional Ecological Knowledge for Application by Service Scientists*. <http://www.fws.gov> (visited 24 March 2024).
- Unuigbo, N. (2023). What can we learn from indigenous ecological knowledge? *The Ecological Citizen*, 6(2), 135–139. <http://www.ecologicalcitizen.net/>
- Vinyeta, K., & Lynn, K. (2013). Exploring the role of traditional ecological knowledge in climate change initiatives. https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/pnw_gtr879.pdf (visited 29 December 2024).
- Whyte, K. (2018). What Do Indigenous Knowledges Do for Indigenous Peoples? In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Withanage, W.K.N.C., & Gunathilaka, M.D.K.L. (2022). Theoretical Framework and Approaches of Traditional Ecological Knowledge. In book: *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Nepal, T.K. (2021). An Overview of Threats to Traditional Ecological Knowledge. *Journal of Research in Humanities and Social Science*, 9(11), 1-4. www.questjournals.org
- Ortiz, S. (2018). Indigenous Sustainability: Language, Community Wholeness, and Solidarity. In book: *Traditional Ecological Knowledge: Learning from Indigenous Practices for Environmental Sustainability*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Rai, S.C., & Mishra, P.K. (2022). Traditional Ecological Knowledge and Resource Management: A Conceptual Framework. In book: *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Recio, E., & Hestad, D. (2022). Indigenous Peoples: Defending an Environment for All. <https://www.iisd.org/articles/deep-dive/indigenous-peoples-defending-environment-all> (visited 29 December 2024).
- Salick, J., & Byg, A. (2007). *Indigenous peoples and climate change*. Tyndall Center for Climate Change Research. Oxford, UK.
- Saxena, K.G., & Rao, K.S. (2022). Traditional Knowledge Systems and Sustainable Development. In book: *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Singh, H.B., Yaipharembi, N., Huidrom, E., & Anniebesant Devi, C. (2022). Traditional Knowledge, Beliefs, and Practices Associated with Ethnic People of Manipur, North East India in Conservation of Biodiversity. In book: *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Nature Switzerland Springer. Cham, Switzerland.
- Tebtebba Foundation. (2009). Asia Summit on Climate Change and Indigenous Peoples. https://redd.unfccc.int/uploads/63_9_redd_20110523_tebtebba_asia_summit.pdf (visited 29 December 2024).
- The world Bank. (1998). *Indigenous Knowledge Definitions, Concepts and Applications*. Available at: <https://chm.cbd.int/api> (visited 24 March 2024).



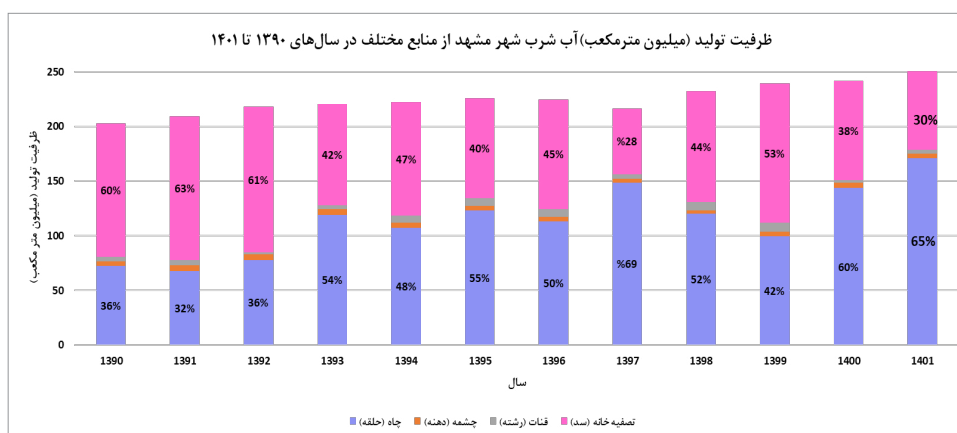
این یادداشت برگرفته از نتایج مطالعات برنامه عملیاتی آمایش سرزمین خراسان رضوی، گروه توسعه پایدار شهری- منطقه‌ای، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی در سال ۱۴۰۳ می‌باشد.

چالش‌های تأمین آب شهر مشهد و طرح‌های انتقال آب در این پژوهش بررسی شده است. وضعیت منابع آب دشت مشهد و کاهش سهم سدها در تأمین آب شرب شهر و افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی، متولیان را به فکر طرح‌های انتقال آب واداشته است. این طرح‌ها به صورت کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت، به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. طرح‌های انتقال آب از هزار مسجد و دریای عمان به عنوان مهمترین پروژه‌های در دست اجرا معرفی شده و چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی هر کدام ذکر شده است. شکاف میان منابع و مصارف آب در دشت مشهد و مسائل مغفول در طرح انتقال آب از دریای عمان، از جمله تمرکز بر راهکارهای سازه‌ای و عدم توجه کافی به مدیریت تقاضا، ابهام در تأمین مالی پروژه، نقش بخش خصوصی و تأثیر آن بر امنیت ملی و لزوم مشارکت اجتماعی در طرح‌های مدیریت مصرف آب، مورد بحث قرار گرفته است. در پایان، راهکارهای پیش‌رو برای مدیریت منابع آب، از جمله اصلاح نظام حکمرانی، افزایش مشارکت ذی‌نفعان، ایجاد سازوکارهای اعتمادساز، مدیریت یکپارچه منابع آب و توسعه روش‌های نوین مدیریت تقاضا، مانند بازار آب، افزایش ذخیره آب در آبخوان، کاهش مصارف کشاورزی، تصفیه پساب، و تغذیه مصنوعی آبخوان، پیشنهاد شده است.

تأمین آب در شهر مشهد

و چاه‌ها، مهمترین منابع تأمین آب مشهد به شمار می‌روند. کاهش درصد تأمین آب از سدها و افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی در سال‌های اخیر، به وضوح قابل مشاهده است. این مسئله تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله میزان بارش، دوره‌های ترسالی و خشکسالی قرار دارد. براساس آمار دریافت شده از جهاد دانشگاهی خراسان رضوی (۱۴۰۳) وضعیت تأمین آب شرب شهر مشهد به تفکیک نوع منبع در شکل (۱) ارائه شده است. همانطور که در شکل مشخص است، در سال ۱۴۰۱، حدود ۶۵ درصد از آب شرب مشهد از طریق چاه‌ها تأمین شده و تنها ۳۰ درصد از آب شرب مشهد از سدها تأمین شده است، این در حالی است که در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۲، این نسبت معکوس بوده است.

شهر مشهد در محدوده مطالعاتی دشت مشهد واقع شده و آب مورد نیاز خود را از این حوضه تأمین می‌کند. این حوضه، که شامل ارتفاعات، دشت، آبخوان‌ها و رودخانه‌ها است. دشت مشهد، به‌عنوان بزرگ‌ترین دشت استان، با حدود ۸۰۰۰ حلقه چاه رسمی (مجاز) و تعداد زیادی چاه غیرمجاز، با چالش‌های جدی در زمینه منابع آب مواجه است. بر اساس گزارش‌های متعدد تاریخی، دشت مشهد به‌عنوان اولین دشت مجهز به چاه نیمه‌عمیق در استان، در حدود سال ۱۳۴۵ به‌عنوان دشت ممنوعه اعلام شد اما تاکنون حفر چاه در این دشت همچنان ادامه یافته است. در حال حاضر، سدها (به‌ویژه سد دوستی)

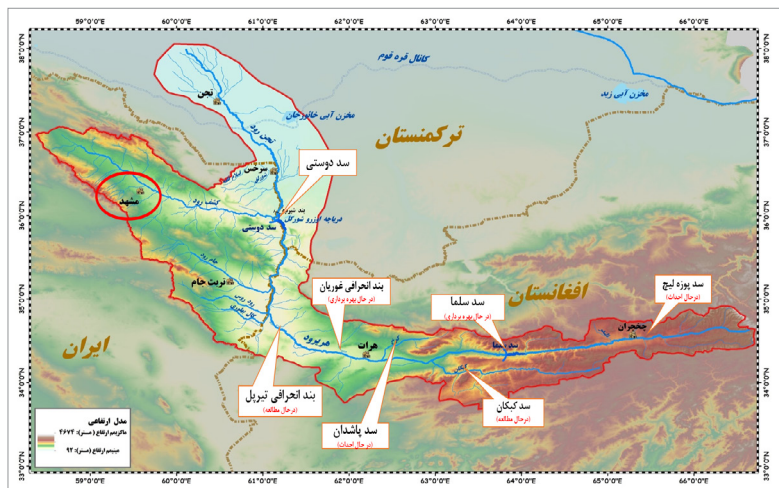


شکل ۱- وضعیت تأمین آب شرب مشهد از منابع موجود (جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ۱۴۰۳)

سالانه حدود ۴۰ میلیون متر مکعب از حجم ورودی آب سد و ۲۷ میلیون متر مکعب از حجم آب خروجی سد، کاهش یافته است (جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ۱۴۰۳). حجم برداشت نیز به

سد دوستی در شهرستان سرخس، یکی از مهمترین منابع تأمین‌کننده آب شرب شهر مشهد می‌باشد که الگوی خط روند حجم ورودی و خروجی آب این سد نشان می‌دهد به طور میانگین

مشترک بین کشور ایران و افغانستان مانند سد دوستی مختل شده و پیامدهای بسیاری در شرایط بحران آب در کشور ایران به وجود آورده است (خبرگزاری خبرآنلاین، ۱۴۰۳). شکل (۲) موقعیت سد دوستی و سدهای بالادست در افغانستان را نشان می‌دهد.



خراسان رضوی، ۱۴۰۳-ب) که این روند کاهش متأسفانه در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ به میزان ۱/۱۶ متر رسیده است (جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ۱۴۰۳).

آب شرب به‌عنوان حیاتی‌ترین بخش مصرف آب، اولویت اول مصارف آب در نظر گرفته می‌شود. وضعیت تأمین آب شرب مشهد از منابع موجود در سال ۱۴۰۱ در شکل (۳-الف) و نقشه این منابع در شکل (۳-ب) ارائه شده است. باتوجه به افزایش نیاز آبی شهر مشهد و افت سطح آب‌های زیرزمینی، تنوع بخشیدن به منابع تأمین آب یا مدیریت مصرف آب اهمیت زیادی دارد.

نقشه منابع تأمین آب شرب و بهداشت کلانشهر مقدس مشهد (۱۳۹۹)

حجم (میلیون مترمکعب)

۱۲۷	سد های دوستی، آرداگ، طرق و گارده
۱۰۳	چایبار، ۴۷۶ هکتار،
۸	قنات، دو رشته،
۴	چشمه، یک دهانه،
۲۴۲	مجموع

رأیضای نقشه

محدوده حفاظتی

- خط انتقال از سد دوستی به مشهد
- خط انتقال از سد آرداگ به مشهد
- خط انتقال از سد گارده به مشهد
- خط انتقال از سد طرق به مشهد
- ایستگاه پمپاژ

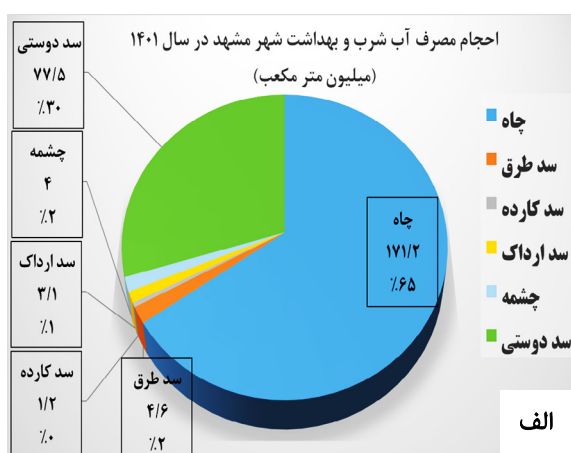
نهر

آبشار

چاه

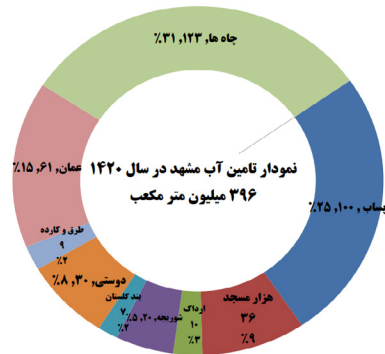
چشمه

قنات



سال یازدهم، شماره ۳، ۱۴۰۳

نیاز آبی شهر مشهد در سال ۱۴۰۲، میزان ۲۹۹ میلیون متر مکعب در سال بوده است که بر اساس مصوبه شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور تا سال ۱۴۲۰ به ۳۹۶/۱ میلیون متر مکعب در سال می‌رسد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۳-ب). لذا برای تأمین آب شرب این شهر، طرح‌های انتقال آب از سرشاخه‌های هزار مسجد و دریای عمان مورد توجه متولیان تأمین آب قرار گرفت. بر طبق برنامه‌های تدوین شده، منابع تأمین آب شرب شهر مشهد برای افق ۱۴۲۰ مطابق شکل (۴) پیش‌بینی شده است. بنابراین پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۲۰ باید ۲۵٪ نیاز آبی مشهد از پساب تأمین شود. لازم به ذکر است پساب به‌عنوان جایگزین برای چاه‌های کشاورزی و فضای سبز در نظر گرفته می‌شود. چراکه پساب در گذشته، خود تغذیه‌کنندهٔ آبخوان بوده است. لذا در صورتی این موضوع می‌تواند مفید باشد که

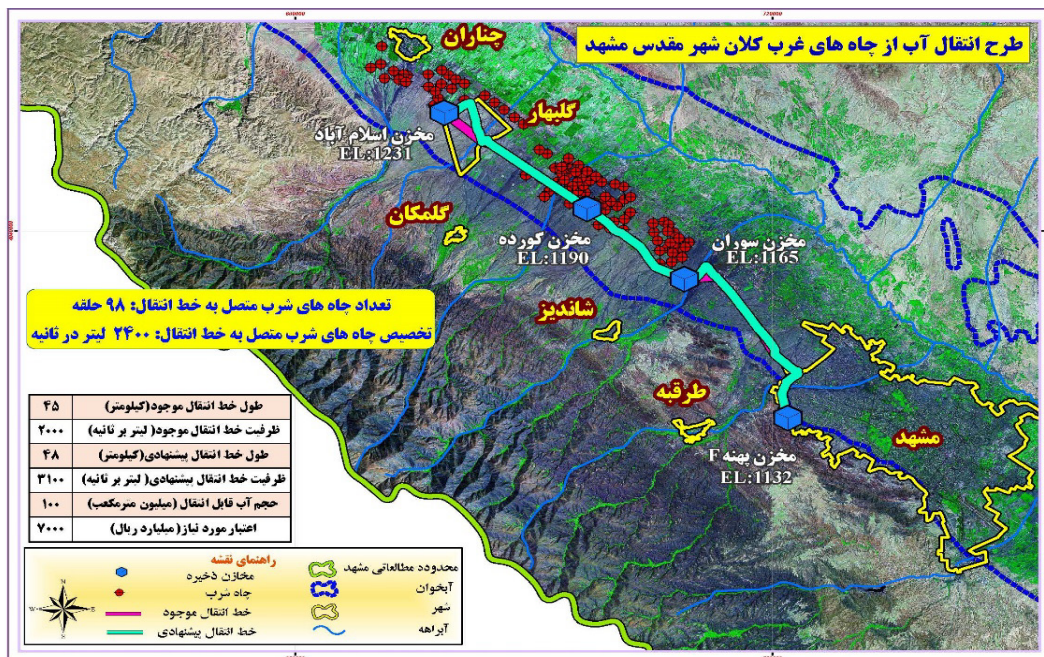


شکل ۴- نمودار سهم تأمین آب شرب شهر مشهد از منابع مختلف آب برای افق ۱۴۲۰ (شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، ۱۴۰۰)

طرح‌های انتقال آب در دست اجرا به مشهد شامل طرح‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت می‌باشد که در جدول (۱) ارائه شده است.

طرح‌های انتقال آب گزینه‌هایی هستند که در مناطق مواجه با تنش آبی بیشتر اعمال می‌شود تا بتوان کمبود منابع آب را جبران نمود. اولین طرح انتقال آب در استان خراسان رضوی، تأمین آب شرب مورد نیاز برای شهر مشهد از سدهای کارده، ارداک و دوستی بوده است. در طرح دیگری که در سال ۱۳۹۰ اجرا شده، انتقال آب از ۹۸ حلقه چاه غرب دشت مشهد برای تأمین ۱۰۰ میلیون مترمکعب آب شرب این شهر بوده است (شکل ۵).

بلندمدت	میانمدت	کوتاهمدت
خلیج فارس	سد شوریجه	سدکارده
دریای عمان	هزار مسجد	غرب مشهد
	پساب غرب مشهد	سد گلستان



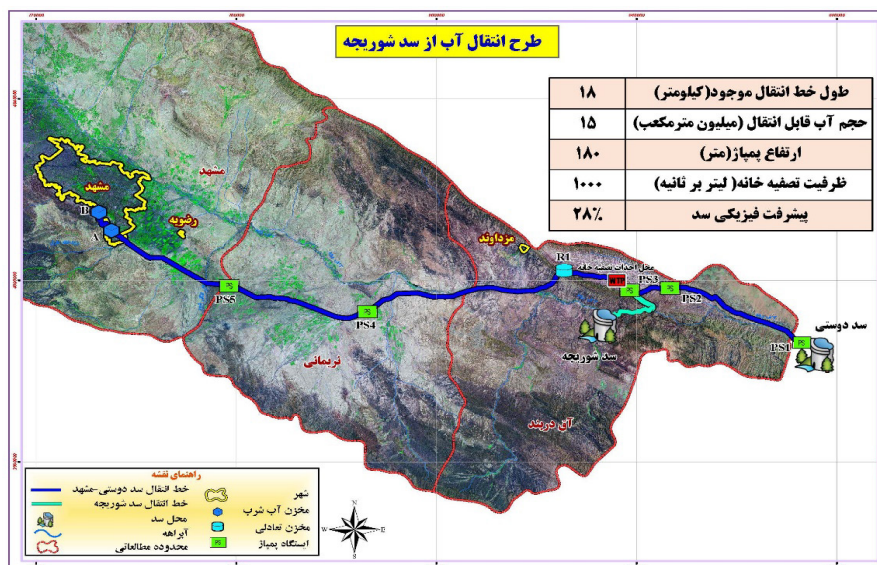
شکل ۵- طرح انتقال آب از چاه‌های غرب دشت مشهد برای مصرف شرب شهر مشهد (شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، ۱۴۰۰)

سد شوریجه

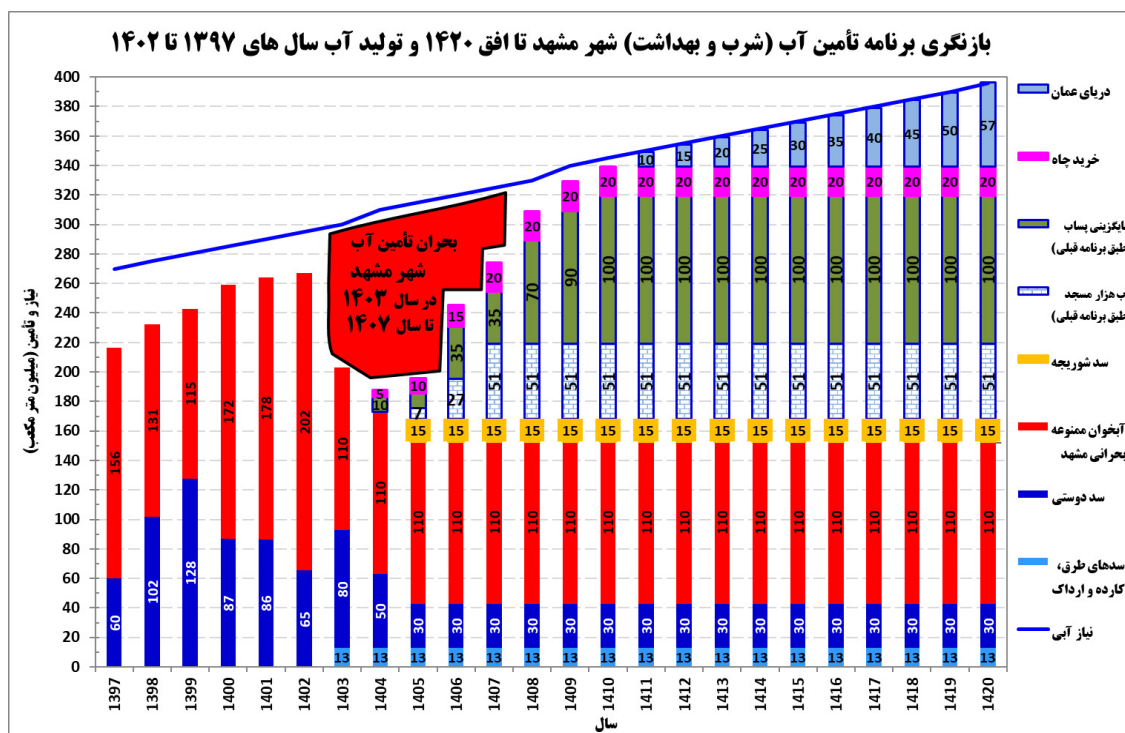
طرح سد مخزنی شوریجه شهرستان سرخس بر روی رودخانه کشفرود در حال اجرا است. این سد با هدف کنترل و تنظیم سیلاب‌های کشفرود و جلوگیری از خروج آب‌های مرزی از کشور، تأمین بخشی از آب شرب شهر مشهد به حجم ۱۵/۴ میلیون مترمکعب، سیلاب‌بران اراضی کشاورزی کشفرود و محیط‌زیست به‌ترتیب با ۲/۲ و ۳/۳ میلیون مترمکعب، با

حجم تنظیمی حدود ۲۱ میلیون مترمکعب طراحی شده است (شکل ۶).

مهمترین طرح‌های انتقال آب یعنی طرح انتقال آب از هزار مسجد و دریای عمان در ادامه بررسی شده است. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۴۰۳-الف)، گزارش بازنگری تأمین آب شرب و برنامه یکپارچه تأمین آب شرب شهر مشهد تا افق سال ۱۴۲۰ را به‌صورت شکل (۷) ارائه داده است.



شکل ۶- طرح انتقال آب از سد دوستی و سد شوریجه به شهر مشهد (شرکت‌های آب و فاضلاب خراسان رضوی، ۱۴۰۰)



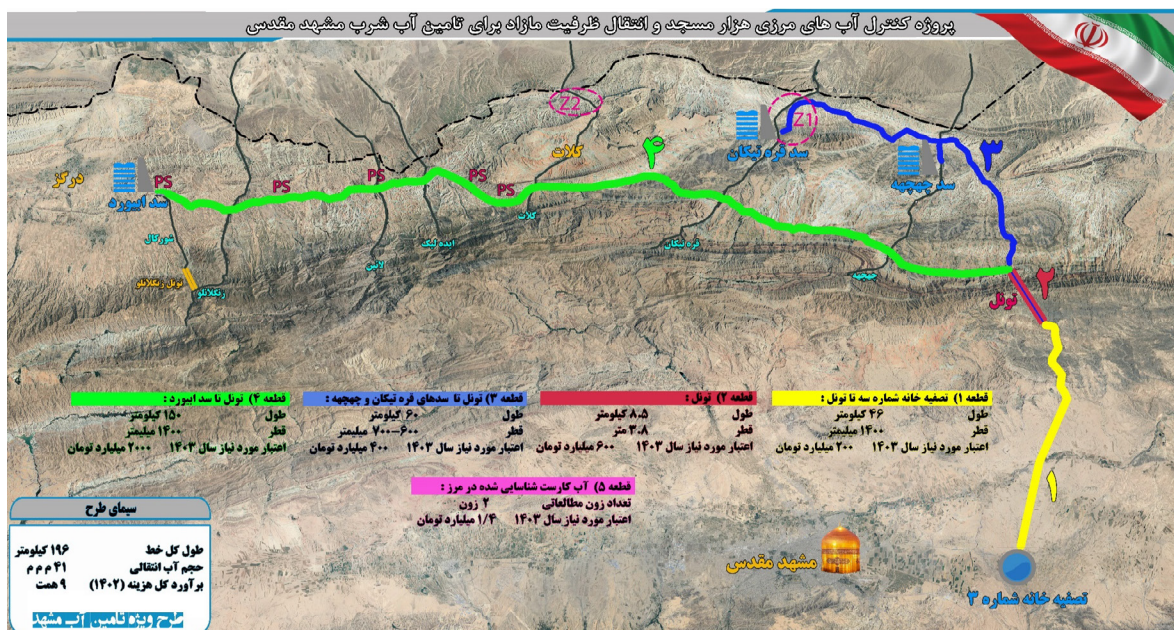
شکل ۷- برنامه تأمین آب شهر مشهد تا سال ۱۴۲۰ (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۳-الف)

- طرح انتقال آب هزار مسجد

طرح انتقال آب از رشته کوه‌های هزار مسجد، واقع در ناحیه شمالی دشت مشهد است که حدود ۴۰ میلیون متر مکعب (برآورد ۱۴۰۰) آب را در اختیار مصرف شرب آب شهر مشهد قرار خواهند داد. بر اساس شکل (۷)، پروژه انتقال آب هزار مسجد، از سال ۱۴۰۵ مقدار ۷ میلیون متر مکعب آب به مشهد خواهد رسید و در سال‌های بعد تا ۵۱ میلیون متر مکعب افزایش می‌یابد. این طرح با مخالفت فعالان محیط‌زیست و دانشگاهیان قرار گرفته است. برخی از دلایل مخالفت به شرح زیر است:

۱- کلات امروزه با خشکسالی روبه‌رو است و درختان ارس که میراث طبیعی هستند به همین دلیل مورد هجوم سوسک چوب‌خوار قرار گرفته و در حال نابودی است (بنابراین باید

پیوست‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی طرح تهیه شود)، ۲- خطر ریزگردها ناشی از بیان‌زایی بالادست، ۳- هزینه هر متر مکعب ۲۰۰ هزار تومان برآورد شده است که می‌توانست خرج زیرساخت‌ها، سیستم استحصال باران، بازچرخانی و... در مقصد (شهر مشهد) شود و ۴- طرح‌های انتقال آب در اکثر کشورهای دنیا با شکست مواجه شده است. موافقان این پروژه معتقد هستند از ۵۱ میلیون متر مکعب آب سهم کشور ایران که از کشور خارج می‌شود، برای تأمین نیاز شرب مشهد در این طرح، آب از نقطه صفر مرزی انتقال می‌یابد (خبرگزاری تابناک، ۱۴۰۳). با وجود این چالش‌ها، این طرح در مرحله اقدام است. شکل (۸) نشان می‌دهد پروژه کنترل آب‌های مرزی هزار مسجد با طول خط انتقال ۱۹۶ کیلومتر، آبی به‌میزان ۴۱ میلیون مترمکعب را با برآورد هزینه ۹ همت منتقل می‌کند.



شکل ۸- طرح در دست انجام انتقال آب از سرشاخه‌های هزارمسجد به شهر مشهد (شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی، ۱۴۰۰)

- طرح انتقال آب از دریای عمان

جدیدترین طرح انتقال آب، شیرین‌سازی سالانه ۲۸۰ میلیون مترمکعب آب دریای عمان برای تأمین آب بخش شرب سه استان سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی با حجم تخصیص ارائه شده در جدول (۲) است. لازم به ذکر است، براساس اطلاعات به‌دست‌آمده، این حجم آب برای تخصیص در مصارف شرب و صنعت مدنظر است (شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۹۷). در مورد طرح انتقال آب از دریای عمان به استان‌های شرقی کشور و شهرهای مهم آن‌ها، یعنی مشهد و بیرجند و زاهدان، ناکفته‌ها و مسائلی که به آن‌ها توجهی نمی‌شود، وجود دارند

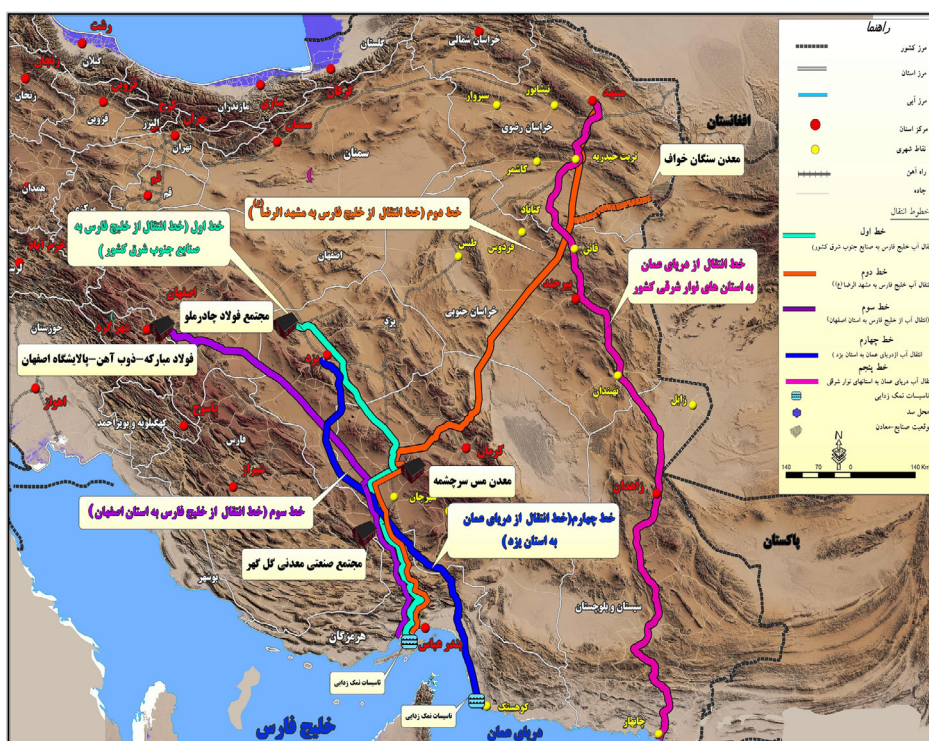
که براساس اهمیت این گزارش نیاز است تا به بررسی آن‌ها پرداخته شود.

جدول ۲- سهم آب هریک از استان‌های شرقی کشور از طرح انتقال آب دریای عمان (شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۹۷)

استان	حجم تخصیص آب (میلیون مترمکعب)
خراسان رضوی	۱۲۰
خراسان جنوبی	۶۰
سیستان و بلوچستان	۱۰۰
مجموع	۲۸۰

مسیر و طرح کلی انتقال آب دریای عمان و خلیج فارس در شکل (۹) مشاهده می‌شود. طرح های انتقال آب از دریا های جنوب کشور در این شکل آمده است: ۱- طرح انتقال آب خلیج فارس به صنایع جنوب شرق کشور (در حال بهره‌برداری)، ۲- فاز دوم طرح انتقال آب خلیج فارس، ۳- طرح انتقال آب خلیج فارس به استان اصفهان (شروع اجرای کارهای زودهنگام)، ۴- طرح انتقال آب از خلیج فارس به استان یزد و ۵- طرح انتقال آب دریای عمان به نوار شرقی کشور. طبق برآوردها، در پروژه انتقال آب از دریای عمان از سال

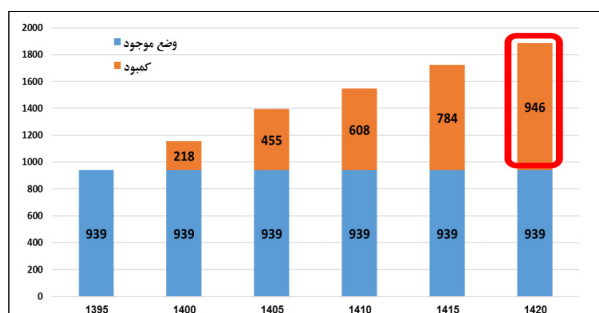
۱۴۱۱ به میزان ده میلیون متر مکعب آب به مشهد خواهد رسید که به مرور تا سال ۱۴۲۰ به ۵۷ میلیون متر مکعب می‌رسد. لازم به ذکر است پروژه انتقال آب از دریای عمان تا کنون ۱۷٪ پیشرفت داشته است (خبرگزاری ایرنا، ۱۴۰۳). هزینه اجرای شیرین‌سازی آب و انتقال آب از دریای عمان، ۶/۸ میلیارد یورو خواهد بود. انتقال آب از دریای عمان، نیاز به ۲۷۰۰ گیگاوات ساعت در سال برق است. به طوری که قیمت تمام شده هر متر مکعب آب در مشهد ۳/۲ دلار برآورد شده است (شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷).



شکل ۹- طرح انتقال آب از دریای عمان و خلیج فارس (جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ۱۴۰۰)

شکاف میان منابع و مصارف در دشت مشهد

مشاهده داده‌ها و تحلیل آن، نشان‌دهنده بارگذاری مصارف آب، بیش از قابلیت تجدیدپذیری طبیعت و حتی برداشت از مقادیر استراتژیک منابع آب در محدوده مطالعاتی مشهد است. بر اثر این بهره‌برداری ناپایدار آب، ضمن اینکه حبابه‌های محیط‌زیستی رودخانه و سفره تأمین نمی‌گردند، پیامدهای متعددی ایجاد می‌شود. کسری منابع آب مورد نیاز در دشت مشهد تا افق ۱۴۲۰ به شرح زیر است:



شکل (۱۰) نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۵ منابع آب موجود برای مصارف (با در نظر گرفتن این نکته که بیش از تجدیدپذیر است) ۹۳۹ میلیون متر مکعب است که ممکن است به دلیل کاهش بارندگی، کاهش یابد. براساس پیش‌بینی‌ها با الگوی مصرف فعلی

شکل ۱۰- کسری منابع آب مورد نیاز در دشت مشهد تا افق ۱۴۲۰ (واحد‌ها به میلیون متر مکعب) (جهاد دانشگاهی استان خراسان رضوی، ۱۴۰۰)

۱. گزینه‌های طرح شده از سمت متولیان مدیریت آب استان در مورد ارائه راهکار برای جبران این شکاف، عمدتاً مبتنی بر راهکارهای سازه‌ای است. این راهکارها که در صدر آن طرح انتقال آب از دریای عمان قرار دارد، درصدد تأمین کسری مصارف موردنیاز آب برمی‌آیند و کمتر به سمت دیگر معادله، یعنی کاهش مصارف از طریق سازوکارهای نرم مدیریت تقاضا توجه می‌نمایند.

۲. لزوم بازنگری در ابعاد مهمی از مطالعات این طرح که اکنون روند اجرایی آن از دریای عمان آغاز شده است، در بررسی‌ها آشکار است. این مسائل از منظر دانش نرم دیپلماسی آب و سیاست‌گذاری در مدیریت پایدار منابع آب بسیار اهمیت دارند؛ باوجود اهمیت زیاد این مسأله، هر دو مورد در گزارش‌های کلی مورد غفلت قرار گرفته است.

۳. ابهام اصلی در چگونگی تأمین مالی و زمان‌بندی پروژه انتقال آب از دریای عمان برای رفع تنها ۱۰٪ از کمبود منابع آبی استان خراسان رضوی است. برای رفع این ابهام، باید روش‌های کاهش تقاضا برای آب در استان بازنگری شوند. به عنوان مثال، مصرف آب فضای سبز در مشهد در سال ۱۴۰۰ حدود ۲۶/۵ میلیون مترمکعب بوده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۱۴۲۰ به ۶۵ تا ۷۰ میلیون مترمکعب افزایش یابد (جهاد دانشگاهی، ۱۴۰۰). خرید حبابه‌های کشاورزی و فضای سبز، گزینه‌هایی برای جایگزینی انتقال آب هستند و بر اساس خرد جمعی و اجماع علمی، بهترین تصمیم‌گیری در این زمینه اتخاذ خواهد شد.

۴. موضوع مورد چالش در این قسمت، اهمیت در نظر گرفتن سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در روند اجرای این پروژه است. سرمایه‌هنگفت که بخشی از آن توسط صنایع چادرم‌لو، گل‌گهر، مس ایران و فولاد سنگان تأمین شود، در قبال دریافت حبابه‌ای است که به‌صورت دائمی در اختیار صنایع قرار خواهد گرفت. به تعبیری اجرای این پروژه تحت نظر این تشکل بخش خصوصی است و موضوع را در جایی پیچیده می‌نماید که منابع آب در محدوده‌های مطالعاتی منتفع از آب شرب این طرح انتقال دچار کمیابی یا کمبود شوند و یا خود صنایع مذکور نیاز به منابع بیشتری از آب داشته باشند (جهاد دانشگاهی، ۱۴۰۰).

۵. دولت در مورد تأمین امنیت ملی ایران، متولی است و تأمین پایدار و متداوم آب شرب مناطق شهری و روستایی نیز بر عهده دولت است. سپرده شدن سهمی از منبع تأمین آب شرب شهرهای استان خراسان به‌ویژه شهر مشهد، ایجاد

یک وابستگی امنیتی به بخش خصوصی و اخلاف در امنیت ملی است و بروز مناقشات آبی و دیپلماسی آبی را به همراه خواهد داشت. شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی و جنوبی، باید به دور از ایجاد فضای ملتهب در مورد بحرانی بودن وضعیت منابع آب این استان‌ها، با طرح استدلال منطقی در یک فضای مشترک میان متخصصین و ایشان، به تصمیم‌گیری در مورد بیلان آب بپردازند.

۶. استفاده از منابع صندوق توسعه ملی برای پروژه انتقال آب از دریای عمان، نشان‌دهنده کمبود منابع مالی دولتی برای این طرح است. این موضوع، یعنی کمبود منابع دولتی از یک سو و استفاده از صندوق توسعه ملی از سوی دیگر، سوالی جدی را در مورد توجیه ضرورت این طرح، ایجاد می‌کند.

۷. مطابق با طرح سازگاری با کم‌آبی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تأمین آب شرب شهر مشهد را منوط به بسته شدن ۷۰٪ از مصارف بخش کشاورزی دشت مشهد و جایگزینی با آب شرب و یا بسته شدن ۵۵٪ مصارف بخش کشاورزی دشت مشهد در ازای عملیاتی شدن جایگزینی پساب با چاه‌های کشاورزی می‌داند. این گزینه که در دسته اقدامات نرم در راستای پایدار نمودن بهره‌برداری از منابع آب از طریق مدیریت تقاضا قرار می‌گیرد، در ظاهر راهکاری منطقی به نظر می‌رسد. اما نکته مهم و چالش‌برانگیز، مشارکت اجتماعی در اجرای این طرح است (جهاد دانشگاهی، ۱۴۰۳).

بنابراین اینکه انتقال آب بتواند موجب پایایی حوضه شود، مورد تردید است. طرح انتقال آب دریای عمان به خراسان رضوی، به‌رغم اهداف تأمین آب شرب و صنعتی، با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی جدی همراه است.

راهکارهای پیش‌رو

در مورد کارآمدی سیستم مدیریت منابع آب، ابتدا مسائل بنیادی مدیریت منابع آب، حائز اهمیت هستند:

- اصلاح نظام حکمرانی متمرکز و افزایش توان و برد حکمرانی محلی
- افزایش مشارکت ذی‌نفعان و بخش خصوصی در فرآیند مدیریت آب به طرق مختلف نظیر مدیریت محلی آب و
- ایجاد سازوکارهای اعتمادساز و شفافیت‌بخش بر نظام مدیریت آب جهت تسهیل اقدامات بعدی نظیر راه‌اندازی بازار آب و ...
- برپایی مدیریت یکپارچه منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی با هدف متمرکز کردن تصمیم‌گیری

به ویژه انجام فرآیند تخصیص آب در فضای اشتراک ذهنی متخصصان- مدیران- ذی‌نفعان.

در مورد اقدامات عملی در راهکارهای پیش‌رو، پیشنهاد این گزارش مبنی بر توسعه روش‌های نوین و کارآمد مدیریت منابع آب است. مدیریت منابع آب، عمدتاً در قسمت تقاضا و به عبارتی مدیریت تقاضای آب معطوف شده است. مدیریت تقاضای آب نگاهی است بر حل مسأله کمبود منابع آب با تمرکز بر کاهش منطقی مصارف از طریق به‌کارگیری روش‌های نرم تا جایی که تجدیدپذیری منابع آبی حفظ شود.

برخی روش‌های مدیریت تقاضای آب عبارتند از:

- برپایی بازار رسمی آب از طرف مصرف‌کنندگان و به رسمیت شناخته شدن آن توسط دولت ملی و محلی با ساز و کارهای حقوقی و سیاسی در جهت تعیین قیمت واقعی آب در فرآیند عرضه-تقاضا
- ایجاد سازوکار افزایش ذخیره آب در آبخوان با روش خرید آب کشاورزان و سرمایه‌گذاری در این بخش
- کاهش مصارف بخش کشاورزی از طریق نوین‌سازی سیستم‌های زراعی و آبیاری و ترویج الگوی کشت مناسب
- تصفیه پساب شهری و استفاده در بخش فضای سبز و کشاورزی
- تغذیه مصنوعی آبخوان
- راهکارهای افزایش جذب آب باران

نتیجه‌گیری

انتقال آب با وجود هزینه‌های بالا، اثرات محیط‌زیستی مخرب، تعارضات بین استانی و مسائل امنیتی، همچنین عدم اطمینان از پایایی در بلندمدت، به‌عنوان مُسکن ضروری برای بحران کم‌آبی استان خراسان رضوی به ویژه شهر مشهد در حال اجرا است. این راهکار به جای حل ریشه‌ای مشکل، تنها برای مدتی فشار را کاهش می‌دهد، اما خود منجر به چالش‌های جدیدی خواهد شد. برخی طرح‌های انتقال آب برای تأمین آب شرب شهر مشهد و چالش‌های آنها در پژوهش حاضر بررسی شده‌اند. بنابراین راهکارهای پیش‌رو برای مدیریت منابع آب، از جمله اصلاح نظام حکمرانی، افزایش مشارکت ذی‌نفعان، ایجاد سازوکارهای اعتمادساز، مدیریت یکپارچه منابع آب و توسعه روش‌های نوین مدیریت تقاضا، مانند بازار آب، افزایش ذخیره آب در آبخوان، کاهش مصارف کشاورزی، تصفیه پساب و تغذیه مصنوعی آبخوان پیشنهاد شد که به‌عنوان بخشی از نتایج مطالعات برنامه عملیاتی آمایش سرزمین خراسان رضوی در ۱۴۰۳ در این پژوهش ارائه شده است.

جهاد دانشگاهی استان خراسان رضوی. (۱۴۰۰). مطالعات آمایش سرزمین، تحلیل حوضه‌ها و زیرحوضه‌های آبریز. مشهد، ایران.

جهاد دانشگاهی استان خراسان رضوی. (۱۴۰۳). مطالعات برنامه عملیاتی آمایش سرزمین خراسان رضوی. مشهد، ایران. خبرگزاری ایرنا. (۱۴۰۳). پیشرفت ۱۷ درصدی انتقال آب از مکران به خراسان رضوی/دولت چهاردهم پیگیر این ابر طرح. کد خبر: ۸۵۶۶۷۹۶۶. www.irna.ir/news/85667966. ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

خبرگزاری تابناک. (۱۴۰۳). ماجرای انتقال آب از هزار مسجد به مشهد به کجا رسید؟. کد خبر: ۱۲۶۵۶۰۳. <https://www.tabnak.ir/fa/news/1265603>. ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

خبرگزاری خبرآنلاین. (۱۴۰۳). سدسازی در افغانستان، کم‌آبی در ایران/ تأمین آب یک کلمه دروغین است/چین مجری ساخت سد برای افغان‌ها/ وضعیت بحرانی آب در سیستان و بلوچستان و خراسان. کد خبر: ۲۰۰۵۸۶۲. www.khabaronline.ir/news/2005862. ۱۴۰۳/۱۱/۲۲

شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۲). گزارش سیمای آب استان خراسان رضوی (۱۴۰۰-۱۴۰۱). مشهد، ایران. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۳-الف). برنامه یکپارچه تأمین آب شرب شهر مشهد مقدس تا افق سال ۱۴۲۰، معاونت طرح و توسعه-مدیریت فنی آب، مشهد، ایران.

شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۳-ب). گزارش سیمای آب استان خراسان رضوی (۱۴۰۱-۱۴۰۲). آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۱-۱۴۰۲ مشهد، ایران.

شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب خراسان رضوی. (۱۴۰۰). گزارش مشهد دشت پایدار. مشهد، ایران.

شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۳۹۸). دشت‌های ممنوعه کشور. معاونت حفاظت و بهره‌برداری. دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب و امور مشترکین. وزارت نیرو. ایران. شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب. (۱۳۹۶). «نمک‌زدایی و انتقال آب از دریای عمان به استان‌های شرقی کشور؛ مطالعات ارزیابی اقتصادی». مشهد، ایران.

شرکت مهندسی مشاور طوس‌آب. (۱۳۹۷). «مطالعات اجتماعی (سیستان و بلوچستان) طرح جامع تأمین و انتقال آب شرب و صنعت استان‌های نوار شرقی کشور (سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و رضوی) از دریای عمان و سایر منابع جانبی». مشهد، ایران.

به سفارش

نشریه آب و توسعه پایدار

و شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

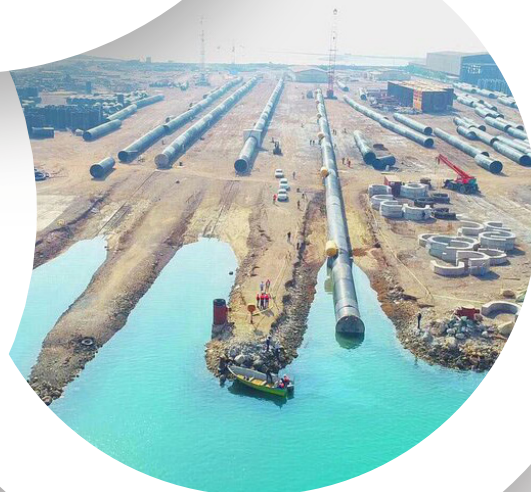
با همکاری

پژوهشکده آب و محیط زیست

دانشگاه فردوسی مشهد

کنکاشی در انتقال آب (از دریا به خشکی)

پاییز
۱۴۰۳



گردآوردگان

دکتر کاظم اسماعیلی

دانشیار گروه علوم و

مهندسی آب دانشگاه

فردوسی مشهد

وحیده مرتضوی امیری

دانشجوی دکتری علوم

و مهندسی آب دانشگاه

فردوسی مشهد

مائده اسکوهی

دکتری علوم و مهندسی

آب دانشگاه فردوسی

مشهد

شامل: مقدمه، میزگرد مجازی، مصاحبه های حضوری، مجازی و جمع بندی



پژوهشکده آب و محیط زیست



شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

شرکت‌کنندگان در میزگرد مجازی، مصاحبه‌های حضوری و مجازی

نام	سمت	نحوه شرکت
دکتر علی عباسی	هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد	مقدمه
مهندس علیرضا دائمی	قائم مقام سابق وزارت نیرو	میزگرد مجازی
مهندس مریم الله‌دادی	مدیر مطالعات و توسعه بازار شرکت تأمین آب صنایع و معادن (ایمواسکو)	میزگرد مجازی
مهندس بهمن فرجی	مدیر پروژه سامانه انتقال آب شرکت تأمین آب صنایع و معادن (ایمواسکو)	میزگرد مجازی
مهندس رضا طاهری	مشاور عالی مدیریت شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی	میزگرد مجازی
دکتر کاظم اسماعیلی	هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد	دبیر جلسه و پرسش‌گر
مهندس محمد حب‌وطن	مدیر گروه توسعه و حکمرانی آب شرکت مدیریت منابع آب ایران	میزگرد مجازی
مهندس سید محمدهادی رضوی	کارشناس مخابرات	مصاحبه‌شونده
دکتر علی مریدی	هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی	مصاحبه‌شونده
دکتر مهدی کلاهی	هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد	مصاحبه‌شونده
مهندس فرهاد رئوف شیبانی	نماینده شرکت مهندسی طوس آب	مصاحبه‌شونده
دکتر حامد پورسپاهی سامیان	مدیرگروه آب و محیط زیست مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران	مصاحبه‌شونده
دکتر حسین انصاری	هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد	مصاحبه‌شونده
دکتر حجت میان‌آبادی	هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس	نشست آینده آب- انتقال، دیپلماسی و منابع آب، دانشگاه فردوسی مشهد، اسفند ۱۴۰۰. https://www.aparat.com/v/0326z
دکتر مائده اسکوهی	دانش‌آموخته دانشگاه فردوسی مشهد	همکار و پرسش‌گر
مهندس وحیده مرتضوی امیری	دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد	همکار و پرسش‌گر

همواره به عنوان یک راهکار برای حل این چالش مطرح شده است. هرچند موافقان و مخالفان این گونه پروژه‌های انتقال آب در این مدت، نظرات خود را در فضاهای مختلف ارائه نموده‌اند، اما این نظرات عمدتاً بصورت یک طرفه و با ارائه دلایل متضاد و حتی به صورت "برداشت‌های شخصی و سلیقه‌ای" در فضاهای مختلف انتشار یافته‌اند. این شرایط باعث سردرگمی نهادهای تصمیم‌گیر در خصوص شفاف بودن موضع مجامع تخصصی در خصوص انتقال آب شده است که نتیجه‌ای جز گرایش به سمت وسوی خاصی نداشته است. کناره‌هم گذاشتن نظرات مخالفان و موافقان پروژه‌های انتقال آب و شنیدن انتقادهای آنها علاوه بر ایجاد یک گفتمان تخصصی و مبتنی بر دلایل علمی و فنی، باعث ایجاد یک وحدت رویه در نظرات نهایی مجامع تخصصی در این حوزه به‌ویژه دانشگاه‌ها، شرکت‌های مشاور و سمن‌ها می‌شود همچنین با ایجاد "عدالت رسانه‌ای" باعث شنیده شدن صحبت‌ها و نظرات هر دو طرف موافق و مخالف و دیدن "نادیده‌ها" در این گونه پروژه‌ها خواهد شد. با توجه به چند بعدی بودن و پیچیده بودن طرح‌های انتقال آب، دیدگاه یکپارچه در بررسی اثرات این گونه طرح‌ها اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین یک گفتمان دوطرفه با حضور متخصصان در یک فضای شفاف، شرایط را برای روشن شدن مسائل و موضوعاتی خواهد کرد که در نهایت منجر به شفاف‌سازی در تصمیمات و سیاست‌های اتخاذ شده خواهد شد.

با توجه به شرایط موجود و روند رو به رشد توسعه در کشور، دسترسی به منابع آب پایدار و قابل برنامه‌ریزی، به عنوان یک چالش اصلی در همه حوزه‌ها، بخصوص حوزه شرب و صنعت مطرح است. با وجود تلاش دولت‌های مختلف در سالیان اخیر برای مدیریت تقاضا در کنار مدیریت تأمین آب، انتقال آب بین حوضه‌ای همواره به عنوان یکی از گزینه‌های اصلی تأمین آب مورد نیاز شرب و صنعت مطرح بوده است. صرف‌نظر از خوب یا بد بودن انتقال آب، این گونه پروژه‌های بزرگ، اثرات بسیار زیادی در حوزه‌های مختلف دارند. واضح است که بررسی و ارزیابی جامع اثرات مختلف انتقال آب، چه در مبدأ و چه در مقصد، می‌تواند کمک قابل توجهی برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران باشد. واضح است که ارائه نظرات موافقان و مخالفان طرح‌های انتقال آب در فضای تخصصی و به دور از سطحی‌نگری، زمینه را برای دیدن اثرات مستقیم و غیرمستقیم پروژه‌های انتقال آب در کوتاه و درازمدت در مناطقی تحت تأثیر فراهم خواهد کرد. لذا ضروری است تا مجموعه‌ای از برای شنیدن، نقد و مستندسازی نظرات صاحب‌نظران و متخصصان (چه مخالف و چه موافق) شکل گیرد. مسلماً جمع‌بندی و خروجی این گفتگوها، برای جامعیت در تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری طرح‌های انتقال آب حیاتی است.

طی سالیان اخیر و با افزایش شرایط کم‌آبی در کشور و نیز افزایش جمعیت و رشد صنایع و در نتیجه نیاز به آب بیشتر، انتقال آب

بخش دوم- میزگرد مجازی

تجدیدپذیر ۴۰ درصد آن می‌باشد و بیشتر از آن ما را به سمت مشکلات زیادی سوق می‌دهد. با افزایش جمعیت، ظرفیت منابع آبی کشور در حال کاهش است و نیاز به آب شرب و صنعت روز به روز افزایش می‌یابد. مشکل اساسی پیش رو این است که نگاه ما عمدتاً صنعتی است؛ یعنی وقتی درباره آب صحبت می‌کنیم، در ابتدا به دنبال سدسازی یا انتقال آب هستیم. حتی بحث‌هایی که بیشتر به ساخت و ساز مربوط می‌شود و تأمین آب را هدف قرار می‌دهد، بدون توجه به مدیریت تقاضا و مدیریت مصرف مطرح می‌شود. در اینجا لازم است اطلاعاتی درباره سامانه‌های نمک‌زدایی در دنیا ارائه شود. بر اساس آمار سال ۲۰۱۶، ۱۸۰۰۰ واحد نمک‌زدایی در دنیا وجود داشته و ۱۵۰ کشور از این روش استفاده می‌کنند. در حال حاضر، حجمی معادل ۸۷ میلیون مترمکعب آب شیرین از این طریق تأمین می‌شود. در خلیج فارس تمرکز بیشتری بر روی این موضوع وجود دارد و اکثر کشورهای حاشیه خلیج فارس و همسایه‌های

>> **مهندس علیرضا دائمی:** بحث انتقال آب از دریا به خشکی موضوع مهمی است که در اینجا عمدتاً به مسائل استفاده از آب دریا می‌پردازیم و از ورود به بحث‌های انتقال آب بین حوضه‌ای خودداری می‌کنیم. جهان در حال حاضر با چالش تغییر اقلیم مواجه است و اثر اصلی این تغییرات بر منابع آب است. بر اساس گزارش آینده آب که به عنوان UC شناخته می‌شود، در هفت تا هشت سال آینده به ویژه در کشورهای در حال توسعه، به ۵۰ درصد آب بیشتری نیاز خواهیم داشت. گزارش‌های دیگری نیز وجود دارد که نشان می‌دهد موضوع آب در رده سوم معضلات جهانی قرار دارد و در کشور ما ممکن است شرایط بدتری وجود داشته باشد. در جنوب و مرکز کشور، ما بیشتر از ۱۰۰ درصد آب تجدیدشونده را مصرف می‌کنیم که این یک معیار فوق‌العاده هشداردهنده است. وقتی می‌گوییم ۱۰۰ درصد مصرف می‌کنیم، باید در نظر داشته باشیم که براساس معیارهای سازمان ملل و نهاد بین‌المللی، حد استفاده از آب

دریای عمان تقریباً همه از آب دریا استفاده می‌کنند. برخی از این کشورها مانند کویت و عربستان، بالای ۸۰ درصد آب خود را از این طریق تأمین می‌کنند. قبلاً از روش‌های حرارتی برای تصفیه آب استفاده می‌شد و در آن زمان ایران در رتبه دهم دنیا در سیستم‌های حرارتی قرار داشت. اما اکنون از روش‌های غشایی استفاده می‌کنیم. در ایران، از سال ۱۳۴۶ به موضوع استفاده از آب دریا پرداخته شده است. در دانشگاه صنعتی شریف، انستیتو آب و انرژی تأسیس شد و فعالیت‌های خوبی در این زمینه انجام گرفت. ما اکنون تقریباً نزدیک به ۶۰ سال است که به این موضوع پرداخته‌ایم و در برخی از جزایر از این روش استفاده می‌شود. بحث انرژی نیز در اینجا مطرح است. وقتی درباره آب دریا صحبت می‌کنیم، انرژی را در تصفیه آب یا نمک‌زدایی آب به کار می‌گیریم. همچنین باید به بحث محیط زیست توجه کنیم. با نگاهی به موقعیت جغرافیایی کشور، می‌بینیم که در حاشیه سواحل جنوبی کشور حدود ۶ میلیون نفر ساکن هستند که این عدد بسیار کم است. سیاست دولت باید این باشد که صنایع، جمعیت و مراکز بزرگ را به سمت سواحل منتقل کند. در بسیاری از کشورهای دنیا، مانند کشورهای اروپایی، تمرکز جمعیت در سواحل است، زیرا هم حمل و نقل دریایی راحت‌تر است و هم تأمین کالا آسان‌تر انجام می‌شود و از آب و منابع طبیعی نیز می‌توانند بهره‌برداری کنند. وضعیت سواحل کشور نشان می‌دهد که در نواحی مشخص شده نیاز آبی برآورد شده و ما در این نواحی بالای ۱۰۰ دستگاه آب شیرین‌کن یا سامانه نمک‌زدایی داریم که فعال هستند و بخشی از آب مورد نیاز شرب را تأمین می‌کنند. با این حال، در بسیاری از این مناطق هنوز با تانکر آب می‌دهیم، یعنی آب از محل‌های دیگر خریداری می‌شود و توسط تانکر حمل و منتقل می‌شود. اگر بخواهیم وضعیت جمعیتی را بررسی کنیم، بر اساس مطالعاتی که در سال ۱۳۹۶ انجام شد و من در آن زمان در وزارت نیرو بودم، نیازسنجی دقیقی صورت گرفت. از سال ۱۳۹۵ که آمار آن موجود بود، نیازها مشخص شده است. فقط برای صنعت و شرب در نواحی ساحلی استان‌های سیستان و بلوچستان، هرمزگان، فارس، بوشهر و خوزستان حدود یک میلیارد مترمکعب آب نیاز داریم. ماده ۳۶ در برنامه پنجم توسعه این موضوع را تعریف کرده و تأکید کرده بود که این کار باید انجام شود. شرایطی برای خرید تضمینی آب وجود داشت و همکاران ما در شرکت آب و فاضلاب تلاش کردند و قراردادهای زیادی برای تأمین آب، به ویژه در همین مناطق ساحلی، بسته شد. ما همچنین در پهنه داخلی کشور از خرید تضمینی آب استفاده کردیم. پتانسیل‌های بالقوه‌ای که در کشور وجود دارد، متأسفانه در حال تغییر است. دسترسی ما به آب دریا، به ویژه در دریای عمان، می‌تواند به دلیل ارتباط با آب‌های آزاد، آلاینده‌گی محیط‌زیستی دریایی قابل

توجهی نداشته باشد، زیرا این منطقه اقیانوسی است و قابلیت رشد در آنجا زیاد است. نکته‌ای که باید ذکر کنم این است که در بسیاری از موارد خطاهایی داشتیم و با سعی و خطا و بعد از بروز مشکلات اقتصادی و اجتماعی، تلاش کردیم این خطاها را رفع کنیم. به عنوان مثال، در بحث مدیریت آب، سدهایی ساختیم که ضرورت نداشتند و در بسیاری از جاها می‌توانستیم با رویه‌هایی مانند مدیریت یکپارچه آب یا مشارکت مردم، مشکلات را حل کنیم. اما صرفاً با رویکردهای سازه‌ای این کار را انجام دادیم. به همین دلیل، زمانی که مدیریت ما بدون مشارکت سازمان‌ها، ذینفعان و بدون تفکر لازم و استفاده از ایده‌های مختلف باشد، به این شکل می‌شود که ما می‌خواهیم کشور را توسعه دهیم. توسعه‌دهندگان سامانه‌های نمک‌زدایی کارهای مهمی انجام می‌دهند و زحمت می‌کشند تا آب دریا را با هزینه بسیار گزاف شیرین کنند، اما بعد می‌بینیم که پذیرش جامعه نسبت به این موضوع، اصلاً مناسب نیست یا استفاده از آن آب به شکلی که باید انجام شود، صورت نمی‌گیرد. یعنی ما دو ریل را به درستی نمی‌گذاریم. بحث دوم من درباره طرح انتقال آب است که موضوع اصلی آن کریدور شرق است. در این طرح، ما آب را از دریای عمان شیرین‌سازی کرده و به مناطق شرقی کشور منتقل می‌کنیم. برای انتقال آب بین حوضه‌ای، یعنی از حوضه دریای عمان، باید به چند نکته توجه کنیم. سازمان ملل چهار نکته را مطرح کرده است. اول اینکه در حوضه پذیرنده، که در اینجا استان‌های شرقی کشور هستند، باید مصرف آب بهینه شده باشد. ما الگوهایی برای مصرف داریم: مصرف شرب، مصرف کشاورزی و مصرف صنایع، و باید مطمئن شویم که در آنجا آب به شکل بهینه مصرف می‌شود. به عنوان مثال، برای مصرف شرب گفته می‌شود که به ازای هر نفر باید ۱۵۰ لیتر آب مصرف شود و پرت شبکه‌های آب شهری نباید بیشتر از ۱۴ درصد باشد. از طرف دیگر، باید اطمینان حاصل کنیم که در حوضه دهنده آب، آب اضافی وجود دارد و مشکلات و چالش‌های محیط زیستی ایجاد نمی‌کند. بنابراین، دو اصل مهم وجود دارد: اول اینکه باید ببینیم در حوضه پذیرنده آب را به درستی مصرف می‌کنیم یا خیر، و دوم اینکه آیا انتقال آب به آن حوضه چالش‌های جدید محیط زیستی یا انسانی ایجاد نمی‌کند. موضوع دیگر حفظ مسائل محیط زیست در انتقال آب است. باید بررسی کنیم که آیا در مناطقی که آب منتقل می‌کنیم، منابع آب موجود را به درستی مصرف کرده‌ایم یا اینکه داریم از آن مقدار آب به شکل نادرستی استفاده می‌کنیم. همچنین، هر جا که آب منتقل شود، مطمئناً مصارف نیز افزایش پیدا می‌کند. اگر شما بخواهید حجم عظیمی از آب را به یک نقطه از ایران منتقل کنید و مدیریت درست اعمال نشود، بخشی از این آب به درستی مصرف نخواهد شد و در واقع مصرف را افزایش می‌دهد. به

عنوان مثال، ما برای شهرهای بزرگ مانند تهران، آب‌های اطراف را منتقل کردیم و با این کار، جمعیت تهران افزایش پیدا کرد و مصرف آب بالا رفت. اگر این فرآیند را ادامه دهیم، ممکن است در ۱۰۰ سال آینده بخش عمده‌ای از جمعیت در آنجا ساکن شوند. در حالی که بهتر است صنایع آب‌پر را به کنار دریا منتقل کنیم و جمعیت را در آنجا ساکن کنیم. این کار هم به لحاظ امنیت آبی و هم از نظر امنیت کل کشور لازم است. متأسفانه در سواحل ما، مانند بندر گواتر یا بندر بستک، تا بندرعباس، به جز بخش‌هایی مانند چابهار، سکنه زیادی وجود ندارد. این را با شهر تهران مقایسه کنید که بیش از ۲۰ درصد جمعیت کشور در تهران بزرگ ساکن هستند. این وضعیت منجر به معضلاتی مانند کمبود آب و فرونشست زمین می‌شود. به عنوان مثال، ۶ میلیون نفر در استان اصفهان ساکن هستند. این رویه‌ها در مدیریت آب، رویه‌های درست و منطقی نیستند. طرح‌های انتقال آب از قسمت جنوب، ابتدا برای تأمین آب صنایع در یزد و کرمان شروع شده است. این طرح شامل صنایع گل گهر، چادرملو، مس سرچشمه، سنگ آهن و... می‌شود. بنابراین، طرح انتقال آبی که آغاز شده و اکنون اولین خط آن نیز به پایان رسیده، نخستین خط بلند دریایی بوده است. به جز این، بالای ۱۰۰ سامانه نمک‌زدایی در جنوب کشور داریم، از جمله در چابهار، بوشهر و عسلویه که چندین واحد سیستم‌های نمک‌زدایی آب دریا وجود دارد. اگر بخواهیم درباره استان خراسان صحبت کنیم، همواره بحث بوده که ما بتوانیم آب را از دریای خزر منتقل کنیم. در آنجا به دلیل وجود کفه طبیعی و بستر رودخانه‌های اترک، عوارض زیادی در نزدیکی استان‌های خراسان شمالی و خراسان رضوی داریم. این طرح نیز وجود دارد، اما مطالعات دقیقی روی آن انجام نشده است. طبیعتاً این طرح صرفاً برای مصارف استان خراسان است، در حالی که طرحی که از جنوب مطرح شده، از چند استان و منطقه عبور می‌کند و اکنون در استان سیستان و بلوچستان توانسته بخشی از مشکلات کشور را بعد از کمبود آبی که در هامون ایجاد شد، حل کند.

>> مهندس مریم الله‌دادی: شرکت ایمواسکو مجری سامانه انتقال آب از دریای عمان به سه استان شرقی کشور، یعنی خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان است. ابتدا خلاصه‌ای از پروژه را ارائه می‌دهم و اشاره می‌کنم که نزدیک به یک دهه، این طرح دارای مطالعات بوده است که هم وزارت نیرو و هم شرکت‌های مشاور زحمت انجام این مطالعات را کشیده‌اند. از آذر ماه ۱۴۰۰، شرکت ایمواسکو به طور جدی عملیات اجرایی این طرح را هم در بخش دریایی و هم در بخش خشکی آغاز کرده است. پروژه به دو فاز تقسیم‌بندی شده و تا به حال ۳۱ درصد پیشرفت تا زاهدان و ۱۷ درصد تا

مشهد داشته‌ایم. پیرو فرمایشات آقای دکتر دائمی، باید بگویم که سیاستگذاری‌های کشور باید به سمتی پیش برود که جمعیت بیشتر به نزدیکی دریا منتقل شود و در آن قسمت از کشور به لحاظ آمایش سرزمین برنامه‌ریزی شود. با توجه به جمعیتی که در کشور داریم و برآوردی که مشاور انجام داده، ۸۶۰ میلیون مترمکعب کمبود آب در سه استان شرقی که اشاره کردم برآورد شده و هم‌اکنون بالغ بر یک و نیم میلیارد مترمکعب کسری مخزن داریم. این کسری مخزن منجر به پدیده‌هایی مانند فرونشست زمین در این مناطق شده و مسائل عدیده‌ای را برای ساکنین ایجاد کرده است. متأسفانه ما از یک مرحله‌ای گذر کردیم و ناچار هستیم کسری مخزن را با تعادل‌بخشی و بخشی از این کمبود شرب و صنعت را به طریقی جبران کنیم. به موازات آن، باید طرح‌های آمایش سرزمین نیز در دستور کار دولت، مشاورین و متخصصین قرار بگیرد. این پروژه به دو بخش اصلی تقسیم شده است: بخش دریایی که شامل تأسیسات آبگیری و نمک‌زدایی است و بخش سامانه انتقال آب. در بخش دریایی، ظرفیت‌سازی برای ۲/۴ میلیارد مترمکعب آب خام انجام شده که در فاز اول، ۱/۲ میلیارد مترمکعب در سال در دستور کار قرار گرفته است. نمک‌زدایی نیز برای میزان ۱ میلیارد مترمکعب ظرفیت‌سازی شده است که در فاز اول، ۲۸۰ میلیون مترمکعب در سال در برنامه بوده است. سامانه انتقال آب از چابهار تا مشهد به طول ۱۳۴۰ کیلومتر با خط لوله فولادی با قطر ۲۲۰۰ میلی‌متر آغاز می‌شود و به صورت تلسکوپی تا مشهد ادامه می‌یابد. دو انشعاب برای سنگان و جامگان به طول مجموعاً ۱۵۵ کیلومتر برآورد شده و ۲۰ باب ایستگاه پمپاژ در طول مسیر داریم. هزینه‌های سرمایه‌گذاری پروژه حدود ۱۲۹ همت (هزار میلیارد تومان) برآورد شده که تا فاز اول، که پروژه تا زاهدان می‌رسد، حدود ۶۰ همت سرمایه اولیه مورد نیاز است. تأمین مالی به این صورت برآورد شده که ۷۴ درصد از صندوق توسعه ملی تسهیلات اخذ خواهد شد و خوشبختانه موافقت صندوق نیز اخذ شده است. ۲۶ درصد نیز آورده سهامداران این پروژه است که شامل شرکت‌های فولاد مبارکه، گل‌گهر، ملی مس ایران، فولاد خراسان و... می‌باشد. در خصوص آخرین وضعیت اجرا، اگر بخواهم خلاصه‌ای بگویم، تا به حال در بخش آبگیر بالغ بر ۷۸ درصد پیشرفت داشته‌ایم. آبگیر طرح در ۳۵ کیلومتری شرق چابهار احداث شده است. خوشبختانه به روش‌های بسیار خوب و نوآورانه کالورت اخذ آب به خوبی اجرا شده است. در بخش شیرین‌سازی، بالغ بر ۱۶ درصد پروژه دارای پیشرفت بوده و در حوزه سامانه انتقال آب و ایستگاه‌های پمپاژ، مجموعاً بالغ بر ۴۰ درصد پروژه پیشرفت دارد. در حوزه اجرایی، مسدودسازی، لوله‌گذاری و کانال‌کشی‌هایی که اجرا شده، همکارم آقای مهندس فرجی توضیحات بیشتری خواهند داد.

>> **مهندس بهمن فرجی:** در خصوص موارد اجرایی در پروژه، بالغ بر ۱۴۰۰ دستگاه ماشین‌آلات سنگین و ۳۵۰۰ نفر نیروی انسانی به صورت مستقیم درگیر پروژه هستند. حجم برآوردهایی که تا الان منعقد شده، حدود ۴۱ هزار میلیارد تومان است. از مجموع ۱۳۴۰ کیلومتر مسیر خط لوله، حدود ۹۶۵ کیلومتر اکنون آماده‌سازی شده است. مسیر ما از چابهار تا زاهدان که فعالیت اصلی ما در این منطقه متمرکز است، به طول ۳۵۳ کیلومتر می‌باشد. تا کنون ۳۸۸ کیلومتر مسیرسازی انجام شده، ۱۸۵ کیلومتر کانال‌کشی و ۱۲۸ کیلومتر لوله‌گذاری نیز انجام شده است. بالاترین راندمان روزانه‌ای که در بحث لوله‌گذاری داشتیم، حدود ۵۲۴ متر در یک روز بوده است. همچنین، یک تونل در انتهای مسیر در استان خراسان رضوی داریم که از حدود ۱۲۰۰ متر طول لوله، ۹۳۰ متر پیشرفت آن انجام شده است. فعالیت‌های اجرایی با سرعت خوبی در حال انجام است. در خصوص مشکلات، باید بگویم که یکی از معضلات، تأمین سوخت در استان سیستان و بلوچستان است. تأمین سوخت برای این حجم از ماشین‌آلات، خود یکی از چالش‌هاست. همچنین، زمان‌بر بودن فرآیندها، به ویژه در تعامل با سازمان‌های دولتی، از دیگر مشکلات است. تأمین نیروی انسانی کارآمد نیز مسأله مهمی است. علاوه بر این، سیلابی که در اوایل سال اتفاق افتاد، مشکلاتی را در زمینه‌های اجرایی ما ایجاد نمود.

>> **مهندس رضا طاهری:** اینکه ما به سراغ پروژه‌های انتقال آب می‌رویم، یک بحث فانتزی نیست؛ در واقع به دلیل کمبود آب و نیاز به آب است. یکی از قدیمی‌ترین پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، پروژه‌ای است که ۶۰۰ سال پیش در مشهد مقدس انجام گرفته است. افرادی که در مشهد هستند، چشمه گیلان را می‌شناسند. این چشمه در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری حرم مطهر در مشهد قرار دارد. امیرعلیشیر نوایی، وزیر عالم دوره تیموری، این چشمه را با یک کانال روباز به حرم مطهر منتقل کرده که آثار این کانال تا چند ده سال پیش نیز در حرم مطهر موجود بوده است. من این افتخار را دارم که دو موضوع اشاره شده در صحبت‌های آقای دکتر دائمی را به صورت موازی در آب خراسان رضوی پیش بردیم؛ هم موضوعات مربوط به مدیریت مصرف و مدیریت تقاضا و هم موضوعات مربوط به تأمین آب. من در پروژه انتقال آب از گیسور به گناباد به طول ۱۴۰ کیلومتر، پروژه انتقال آب از سربیشه به بیرجند به طول حدود ۸۰ کیلومتر، پروژه انتقال آب از سد شیرین دره به بجنورد به طول حدود ۷۰ کیلومتر با تصفیه‌خانه، و پروژه انتقال آب از سد دوستی به مشهد به طول ۱۸۰ کیلومتر که افتخار مدیریت این طرح را داشتم، فعالیت کرده‌ام. همچنین، همانطور که خانم مهندس الله‌دادی فرمودند و زحمات زیادی برای این

طرح کشیده‌اند، من نیز در مطالعات شیرین‌سازی و انتقال آب از دریای عمان به شرق کشور که در واقع از چابهار تا مشهد حدود ۱۳۴۰ کیلومتر بوده، فعالیت نمودم. همزمان درگیر بخش مدیریت مصرف و بخش مدیریت تقاضا نیز بوده‌ام. من در استان خراسان رضوی فعالیت کردم که اولین استانی است که سامانه اندازه‌گیری و کنترل را روی چاه‌های کشاورزی در سال ۱۳۸۸ نصب کرد. از آن زمان تا به الان، حدود ۱۲۰۰۰ کنترل روی چاه‌های کشاورزی استان نصب شده است. ما می‌توانیم این ادعا را داشته باشیم که هم مانیتورینگ داریم و هم روی بیش از ۷۰ درصد این چاه‌ها، کنترل داریم. بنابراین، رفتن متولیان صنعت آب به سمت آب‌های بین حوضه‌ای یا آب دریا، در واقع یک بحث فانتزی یا حاشیه‌ای نیست. این یک کمبود و نیاز واقعی است. وزارت نیرو دکتترین تحت عنوان سازگاری با کم‌آبی دارد که بسیار عالی است. ما در جلسات عنوان می‌کردیم که می‌شود با کم‌آبی سازگار شد، اما آیا می‌شود با بی‌آبی سازگار شد؟ هرگز نمی‌شود. بنابراین تأکید می‌کنم که ما مجبور بودیم برای کمبود آب شرب و صنعت شرق کشور، طرح نوینی را دراندازیم. خانم مهندس الله‌دادی عددی را ذکر کردند که من اینجا عدد حدود ۹۰۰ میلیون مترمکعب یادداشت کردم. کمبود آب صنعت و شرب سه استان شرقی کشور ۹۰۰ میلیون مترمکعب بود که در خلال مطالعات به دست آمد. بعداً که بحث سازگاری با کم‌آبی مطرح شد، ما از عدد ۹۰۰ میلیون مترمکعب به حدود ۷۵۰ میلیون مترمکعب رسیدیم که در صحبت‌های خانم مهندس الله‌دادی مطرح بود. پس از یک طرف، ما کمبود آب داریم و از طرف دیگر، معضلات محیط‌زیستی شدید داریم. به طور رسمی، حوزه زمین‌شناسی اعلام کرده که مشهد حدود ۲۰ سانتی‌متر نشست زمین دارد که این عدد بسیار خطرناک است. یک عددی را به صورت غیررسمی به شما بگویم که هنوز تثبیت نشده، ولی در سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۳، یعنی از مهر ۱۴۰۲ تا انتهای شهریور ۱۴۰۳، ما ۱۷۰ میلیون مترمکعب فقط کسری مخزن در دشت مشهد داشتیم، با چیزی حدود ۱/۱۳ سانتی‌متر افت تراز آب زیرزمینی. این اعداد حقیقتاً بسیار نگران‌کننده هستند. یک بحثی مطرح است که دکتر دائمی هم فرمودند، اینکه ما آب را به جایی ببریم و آنجا پرمعیت شود. حداقل برای مشهد، شما به عنوان رئیس، شاهد بودید که در سال ۱۳۸۵ جیره‌بندی در مشهد اتفاق افتاد. در آن سال، ما ۱۲ ساعت آب داشتیم و ۱۲ ساعت آب قطع بود و هیچ منبعی برای مشهد نداشتیم. آن سال از دو سد طرق و کارده و حدود ۲۴۰ عدد چاه بهره می‌بردیم. در آن زمان، خط انتقال آب از سد دوستی که خود حضرتعالی بارها ما را مورد حمایت قرار دادید و کمک کردید، در حال اجرا بود. این خط در واقع آن زمان نویدی برای مردم مشهد و زائران آقا علی ابن موسی الرضا بود که امید به تأمین

آب دارند. طرح شیرین‌سازی و انتقال آب از دریای عمان همین الان به بهره‌برداری رسیده است. چطور به بهره‌برداری رسیده؟ برای افرادی که در مسیر این طرح هستند، امید به داشتن این آب از نظر من یعنی این طرح به بهره‌برداری رسیده است. عزیزانی از شرکت ایمواسکو شرایطی فراهم کردند که از استان سیستان و بلوچستان بازدید کردیم و امیدوارم همان برنامه زمان‌بندی که خانم مهندس الله‌دادی گفتند، انجام بگیرد. سه مرکز استان، ۳۰ شهر و حدود ۳۰۰۰ روستا از این آب بهره‌مند خواهند شد. من در بخش مطالعات شنیدم که الان ۸ خط از دریای جنوب به سمت فلات مرکزی ایران در حال مطالعه و اجرا است. امیدوارم که موضوع مهمی که بتوانیم به آن برسیم، این باشد که مسأله مدیریت مصرف و مدیریت تقاضا از یک سمت و مدیریت تأمین از سمت دیگر به صورت موازی مورد توجه قرار گیرد. اصلاً اینطور فکر نکنیم که اول بیاییم مدیریت مصرف را انجام بدهیم و بعد اگر هیچ راه‌حل دیگری نداشتیم، برویم سراغ مدیریت تأمین. باور کنید که ما زمان برای انجام این کار نخواهیم داشت.

>> دکتر کاظم اسماعیلی: آقای مهندس طاهری در بحث انتقال آب از سد دوستی به مشهد که فرمودید، در سال ۱۳۸۵ که بحث‌های کمبود آب و قطعی آب وجود داشت، در واقع هدف فقط انتقال آب بود تا آب مشهد تأمین شود یا برنامه‌ای به موازات این هم وجود داشت؟ آیا وزارت نیرو طرح دیگری در کنار این طرح داشت؟ آیا فقط هدف تأمین آب و انتقال آب بوده است؟

>> مهندس رضا طاهری: در برنامه تأمین آب مشهد از گذشته تا حال، منابع تأمین آب شرب مشهد متنوع دیده شده است. یعنی یک بخش عمده‌ای، از چاه‌های دشت مشهد است. آن زمان من گفتم ۲۴۰ حلقه چاه بوده، اما الان ۵۷۰ حلقه چاه، مشهد را از نظر شرب تأمین می‌کند. بحث مهم تصفیه فاضلاب و جایگزینی پساب با آب کشاورزی برای شرب هم هست که ما شاید برای اولین بار در کشور، دو سد طرق و کارده که مسئولیت تأمین آب شرب مشهد را داشتند، به طور کامل آب کشاورزی را برای شرب آوردیم. در سد طرق ۶ میلیون مترمکعب و در سد کارده ۱۴ میلیون مترمکعب آب داریم که آن آب‌ها را وارد فضای شرب کردیم. بحث درستی که آقای دکتر اسماعیلی و آقای دکتر دائمی فرمودند، بحث مدیریت مصرف و اصلاح شبکه‌ای است که الان در مشهد انجام گرفته است. دوستان من در شرکت آب و فاضلاب عددی را که اعلام می‌کنند برای پرت فیزیکی آب، نه آب به حساب نیامده، حدود ۱۰ درصد است که برای شهری مثل مشهد عدد بسیار خوبی است. البته ما یک مقدار آب مصرفی داریم تحت عنوان آب به

حساب نیامده یا آب فاقد درآمد، که در واقع آن آب‌هایی است که به شکل غیرمجاز و غیرقانونی مصرف می‌شود. بنابراین، آقای دکتر اسماعیلی کاملاً درست می‌فرمایید که یک منبع به تنهایی نمی‌تواند، چه در مشهد و چه در جای دیگر. ما باید منابع را متنوع کنیم. خاطرم هست در مطالعات انتقال آب از سد دوستی در همان سال اشاره شده بود که این طرح هم برای مشهد، طرح موقتی است، اما همین طرح موقت تا الان ۱۳۰۰ میلیون مترمکعب آب شرب وارد شهر مشهد کرده و سد دوستی تا الان مجموعاً ۶ میلیارد مترمکعب آب برای کشورهای پایین‌دست تنظیم کرده است. اگر شما ارزش اقتصادی همین دو آیت را در نظر بگیرید، شاید یک یا دو بار هزینه‌های کل طرح مستهلک شده باشد.

>> مهندس محمد حب‌وطن: در جاهایی این طرح‌ها در پاسخ به کمبود آب تعریف و اجرا می‌شود. تجربه دنیا هم هست و نمی‌توانیم این را رد کنیم و بگوییم در هیچ جای دنیا انجام نمی‌شود. اما معمولاً انتقال آب در پهنه‌های این‌چنینی، به‌خصوص از محل شیرین‌سازی تا منطقه هدف، باید با فاصله انتقال، جایی که آب را به آنجا منتقل می‌کنیم و هزینه‌ها، تناسبی داشته باشد. وزارت نیرو در دهه‌های گذشته مطالعات مختلفی را انجام داد اما تا سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ مطالعات به یک پهنه ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتری ساحل جنوبی کشور محدود شده بود و اعتقاد بر این بود که نمک‌زدایی و انتقال آب در همین محدوده می‌تواند توجیه اقتصادی و فنی داشته باشد و بالاتر از آن را با احتیاط و ملاحظات برخورد می‌کردند. تا اینکه دولت سیزدهم آمد و این کار را از طریق شرکت‌های معدنی و صنایع شروع کرد. من فکر می‌کنم عجله کرد، به دلیلی که عرض می‌کنم. در طرح‌های کلان، معمولاً کشورها گزارش ملی و جامعی از پدیده تهیه می‌کنند. با گرداران، ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان مختلف به بحث می‌گذارند و به یک اجماع می‌رسند. من فکر می‌کنم این اجماع و این فرآیند تهیه گزارش ملی در این طرح انتقال آب اتفاق نیفتاد. طبیعتاً الان نمی‌شود تمامی پیامدهای این طرح را حساب و کتاب کرد و حکم قطعی صادر کرد که کار منطقی بوده یا نبوده است. نه گزارش ملی را داریم، نه اینکه عمری از پروژه گذشته تا به قضاوت بنشینیم. آینده این را قضاوت خواهد کرد. همانطور که آقای دکتر دائمی اشاره کردند، توصیه‌های بین‌المللی معمولاً در مورد چنین طرح‌هایی می‌گوید در مدیریت حوزه‌ها، باید همزمان با این طرح‌های انتقال آب، که معمولاً توهم فراوانی‌ای را به دنبال دارد، بحث برنامه‌ها و طرح‌های مدیریت مصرف را هم انجام دهیم. من چنین برنامه‌هایی را نمی‌بینم. سازگاری با کم‌آبی و طرح تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی، سابقه ۲۰ ساله دارد. اما من سوال می‌کنم آیا فقط یک دشت را می‌توانید نشان دهید که در

آن، در اثر مدیریت مصرف و برنامه‌های تعادل‌بخشی و سازگاری با کم‌آبی، افت سطح آب زیرزمینی تثبیت شده باشد؟ یعنی هیدروگراف که معمولاً نبض آب‌خوان است، افقی شود یا شیبی که معمولاً دشت با آن شیب افت می‌کند، افت نکند و افقی شود. بنابراین وقتی می‌گوییم مدیریت مصرف انجام می‌دهیم این حرف اشتباه است. پس از نظر توصیه‌های بین‌المللی، به‌صورت نادرست انجام دادیم. ما در کنار این طرح‌های تأمین، طرح‌های مدیریت مصرف انجام ندادیم. همه با فضای مهندسی آشنا هستیم. در مهندسی جایگزین‌ها را مقایسه می‌کنند و به‌گزینی انجام می‌دهند. می‌گویند من چندین جایگزین برای مسأله آب مشهد تعریف می‌کنم و مناسب‌ترین و بهترین‌شان را از نظر اقتصادی و فنی انتخاب می‌کنم. چنین کاری در مورد آب مشهد انجام نشده است. کدام جایگزین مطرح شده است که به‌گزینی انجام شده باشد؟ کدام طرح‌ها بررسی و رد شده است که بعد به‌گزینه انتقال آب از هزار و چند صد کیلومتر آن طرف‌تر از آب دریا رسیدیم؟ بنابراین این‌که کاری که بلد هستیم انجام دهیم، الزاماً به‌معنی کار درست نیست. سمنان قرار بود در دوره ریاست جمهوری آقای احمدی‌نژاد، ۱۲۰ میلیون متر مکعب از دریای خزر منتقل کند. سوالی مطرح شد: یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب مصرف آب سمنان است. اگر سمنان ۱۰ درصد در آب کشاورزی صرفه‌جویی کند، این حجم تأمین می‌شود. آیا منطق حکم می‌کند آب دریای خزر را پمپاژ کنیم، از ارتفاعات به سمنان بیاوریم یا ۱۰ درصد آب کشاورزی را صرفه‌جویی کنیم؟

مسأله بعدی این‌که تمامی طرح‌های توسعه‌ای ملی کلان، باید طبق اسناد بالادستی و قوانین موجود، ارزیابی تأثیرات اجتماعی و ارزیابی راهبردی محیط‌زیستی شوند، SEA و SIA. من خبر ندارم که چنین مطالعاتی انجام شده باشد. بنابراین اگر از دریچه حکمرانی نگاه کنیم، باید به این پرسش پاسخ دهیم: آیا این کار اثربخش است؟ آیا این کار جلوی برنامه‌های مدیریت مصرف در آن مناطق هدف را نمی‌گیرد؟ آیا اصفهان خیالش راحت نمی‌شود که از دریا منابع آب تأمین می‌شود و دیگر به تعادل‌بخشی و مدیریت مصرف چه نیاز است؟ آیا از این منظر اثر بخش است؟ نکته بعدی حجم کار است. ما با آب‌های شیرین‌شده با نمک‌زدایی آب دریا، می‌خواهیم به پهنه‌های داخلی کشور چقدر آب منتقل کنیم؟ ۱ میلیارد؟ ۲ یا ۳ میلیارد؟ مگر مصرف‌کننده این آب‌ها به احتمال قوی صنایعی که سرمایه‌گذاری کردند و بخشی از آب شرب، نیست؟ من می‌توانم یک عدد بدهم. همه این‌ها را جمع کنیم، به یک رقم بیشتر از ۳-۴ میلیارد مترمکعب نمی‌رسیم و سوال: مصرف آب کشور ۸۰-۹۰ میلیارد مترمکعب است. این مقدار می‌شود ۱ درصد آن آب که منتقل می‌کنیم پس ORDER کار چقدر است؟ من به‌لحاظ اثربخشی این طرح با این هزینه‌ها چه مقدار آب

منتقل می‌کنم؟ و آیا این طرح‌ها نجات‌بخش مشکل تأمین آب کشور من خواهد بود؟ در این کشور، کشاورزی ۸۰ میلیارد متر مکعب آب مصرف می‌کند. تناسب این دو حجم چقدر است؟ ناترازی آب کشور را چگونه می‌توان با این اعداد حل کرد؟ اگر کشوری بودیم که مشکل آب مصرفی‌شان مثلاً همین مقدار ۴ میلیارد متر مکعب بود، مثل کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس، در این حالت درست و طبیعی است. آن‌ها باید بروند دنبال این کار. اصلاً با ما قابل‌مقایسه نیستند. ما که باید ۸۰ میلیارد متر مکعب را باوجود ناترازی که باید حل شود تأمین کنیم، چگونه نجات کشور را به چنین طرح‌هایی گره بزنیم؟ از بعد دیگر، اگر مثبت ببینیم، به لحاظ اثربخشی، می‌توانیم ادعا کنیم که این طرح می‌خواهد به ناترازی منابع آب زیرزمینی در مناطق هدف کمک کند. آب‌خوان‌هایی در دشت کرمان داریم که دارد از بین می‌رود. در مشهد، یزد و هرجایی که این طرح می‌خواهد به آن‌جا آب را منتقل کند. سوال: سازوکار شما برای این‌که این آب برود و آن آبخوان را نجات بدهد و خیال من راحت باشد که این طرح به‌لحاظ مدیریت آبی اثربخش است، چه خواهد بود؟ چگونه می‌خواهید آبخوان‌ها را نجات دهید؟ ما یک بند ع تبصره ۸ داریم که حتی صنایع هم می‌گویند که من آب چاه دارم و برای چه باید این آب را با دیگری معاوضه کنم؟ چگونه می‌خواهیم این آب انتقالی را با برداشت‌هایی که از آبخوان‌ها می‌شود، معاوضه و جایگزین کنیم؟ تا خیالمان راحت باشد که بالاخره یک آبخوان را احیا کنیم؟ مشخص نیست. اگر فرونشست‌ها نبودند، نمی‌دانم این طرح‌ها با چه بهانه‌ای می‌توانست توجیه شود؟ فرونشست کدام دشت را می‌خواهیم با چه سازوکاری رفع کنیم؟

مورد بعدی تجربه کشورهای دیگر است. یک سوال: کالیفرنیا در حاشیه اقیانوس است و همه هم‌نظرند که از نظر کشاورزی، اقلیم و منابع آب بسیار مشابه ایران است. حتی درمورد وضع بدی که در رابطه با منابع آب دارد، مشابه ایران است. نشست زمین هم در این ایالت بسیار زیاد است. چرا آن‌جا برای چنین طرح‌هایی اقدام نکرده‌اند؟ کل نمک‌زدایی در کالیفرنیا ۵ یا ۶ طرح است که مهم‌ترینش در سانتیاگو است که ۲۰۰ گالن در روز است و می‌بینیم که نزدیک ۱۰۰ میلیون متر مکعب است و سوال این است که این کشور هم مثل ما با بحران‌هایی مواجه است. تا آنجا که مجبور می‌شود گاهی ۳۰-۴۰ درصد پروانه‌های حجم مصرفی کشاورزان را کم کند. آب شرب شهرها را کاهش می‌دهد و جیره‌بندی می‌کند. این کشور که مشکل دارد و دسترسی به آب اقیانوس دارد، چرا به‌دنبال این حجم از پروژه‌های مشابه، پروژه‌های شیرین‌سازی و انتقال آب دریا نیست؟

اما چاره چیست؟ البته این طرح‌ها با فاصله‌های منطقی مورد قبول من هم هست. اما سوال این است: با شرایط موجود، شما

که نقد می‌کنید، پیشنهاد دهید چه کاری باید انجام دهیم؟ تا زمانی که توسعه اقتصادی این کشور مبتنی بر کشاورزی است و آمایش سرزمین را بسته و کنار گذاشته است، وضعیت همین خواهد بود. اگر شما دو برابر این طرح‌های انتقال آب را هم وارد مدار کنید و به کل کشور لوله‌کشی انجام دهید، ناترازی آب این کشور حل نخواهد شد. پس منطق حکم می‌کند سراغ راهی برویم که راه واقعی یا درست باشد، نه راهی که بلدیم. بنابراین توسعه کم‌آب‌بر به‌عنوان راه نجات این کشور و راه نجات آب این کشور شود. مسیری است که سیاست‌گران و تصمیم‌گیران ارشد این کشور باید این جراحی را انجام دهند و راه دیگری غیر این نیست. آمایش سرزمین می‌گوید مشهد نباید هم قطب کشاورزی، هم صنعتی و هم گردشگری باشد. این را هیچ کجای دنیا نمی‌بینید. پس راه غلط بوده است. مشهد باید قطب گردشگری می‌شد و اقتصاد این شهر باید به صنعت گردشگری و زیارتی وصل می‌شد. کشاورزی باید تعطیل می‌شد یا حداقل در این حجم انجام نمی‌شد. مدیریت مصرف از سمت کشاورزی به سمت شرب یا صنعت باید اتفاق می‌افتاد، اما به هزار دلیل نیفتاده است. بالاخره باید این تصمیم گرفته شود و راه نجات، دریا نخواهد بود. فرض کنیم مشهد را حل کردیم، تهران را که از نظر جمعیت چند برابر مشهد است، چه کار می‌خواهیم بکنیم؟ من فکر می‌کنم که راه نجات آب کشور و رفع ناترازی آب کشور، با دریا حل نخواهد شد.

>> **مهندس رضا طاهری:** من دیدگاه‌های آقای مهندس حب‌وطن در مورد بحث آمایش را، هم قبول دارم و هم به آن‌ها اعتقاد دارم. در کنار این، مثالی در ذهنم نقش بسته است که می‌خواهم مطرح کنم و از آن نتیجه‌گیری کنم. حدود ۲۰ سال پیش، اگر ما به مناطق جنوبی استان خراسان بزرگ که از بندان نه‌بندان شروع می‌شود، تا مانه و سمرقان و راز و جرگلان نگاه کنیم، به‌ویژه در قسمت‌های جنوبی منطقه، مانند بندان، نه‌بندان و بعد که وارد سیستان و بلوچستان می‌شدیم، با صحنه‌هایی مواجه می‌شدیم که یک خانواده با مخزن آب ۲۰ لیتری، باید ۱ هفته را گذران می‌کرد. و عزیزان الان هم همین داستان هست. همان موقع هم ما می‌گفتیم که باید به‌شکل ریشه‌ای، جامع و کلی این مسئله را ابتدا شناخت و در مرحله بعد، نسبت به آن، راه‌حل‌های اجرایی را عملیاتی کرد. خانم مهندس اله‌دادی توضیح دادند. برای تصویب طرح، حدود ۶-۷ سال در هزار دالان بروکرسی دولتی وحشتناک مملکت گیرکرده بودیم. بعد از دو سه سال سوال و جواب و بررسی مسائل فنی طرح، در شرکت مدیریت منابع آب و شرکت آب و فاضلاب کشور، این طرح مصوب شد. مسائل محیط‌زیستی آن هم مانند در نظر گرفتن لاک‌پشت‌ها، خرچنگ‌ها و کشتن قرمز، این‌ها تک‌به‌تک در ذهنم است که در سازمان

محیط‌زیست که سخت‌گیری منطقی داشت، انجام گرفت. مسائل امنیتی و پدافند غیرعامل طرح در سازمان پدافند غیرعامل انجام گرفت. این طرح بنا ندارد همه مشکلات شرق کشور را حل کند، اما باید در نظر بگیریم که حدود ۱۲ میلیون نفر در شرق کشور زندگی می‌کنند. آیا می‌توانیم به خودمان اجازه دهیم که این‌ها را هم یک مولفه‌ای از محیط زیست بدانیم؟ آیا فقط محیط زیست بعضی از متونی است که در کتاب‌های ترجمه شده، آمده است؟ آیا آن دختر بچه‌ای که من در روستاهای شمال استان سیستان و بلوچستان دیدم که برای یک ظرف آب خوشحالی می‌کرد و خانواده‌اش یک هفته با آن گذران می‌کردند، نیازمند توجه نیست؟ در مناطق جنوبی خراسان بزرگ جاهایی وجود دارد که اصلاً حمام معنایی ندارد. بنابراین ضمن اعتقاد به حرف شما، که چرا اسم مباحث آمایشی ۷۰ سال است در این مملکت برده می‌شود، ولی اجرا نمی‌شود؟ برای ما متولیان آب، این مسأله مهمی است که مصرف اجباری روزانه مردم را تأمین کنیم. یا دست کم، حداقل‌ها را تأمین کنیم.

در مورد موضوع تعادل‌بخشی و افت مداوم سفره‌های آب زیرزمینی، من کاملاً با شما هم‌عقیده‌ام. ولی مسیری که الان دولت برای انجام این کار درپیش گرفته، اصلاً و ابداً ما را به نتیجه نمی‌رساند. ما روزی می‌توانیم به نتیجه برسیم که متولی آب را که خود مردم هستند، پای کار بیاوریم. در خراسان، قناتی به نام قصبه گناباد داریم. دولت در آن قنات هیچ‌کاره است. بهترین نظم سیستمی را آن قنات دارد. ولی به قول شما، ما از ابتدای امسال، ۱۸۲۰ چاه غیرمجاز را بستیم. حتماً تعدادی چاه غیرمجاز باز شده است. اگر این مسأله را در یک کلمه خلاصه کنیم، می‌شود تخصیص. تخصیص را به خود مردم بدهیم. به اهالی آن دشت واگذار کنیم که بنشینند کنار هم و در مورد تخصیص و برخورد با تخلفات آب تصمیم بگیرند. همین چند روز پیش در قوچان، یک نفر کشته دادیم. یک چاه‌دار غیرمجاز، با تیر مغز یک کارگر ما را متلاشی کرد. تا موقعی که دولت بخواهد به‌عنوان یک متولی یک‌طرفه برای آب تصمیم بگیرد، تخصیص بدهد و حریم مشخصی کند، ما به تعادل‌بخشی کامل حوزه‌ها نخواهیم رسید. طرحی مانند شیرین‌سازی و انتقال آب دریای عمان، صرفاً می‌خواهد بخشی از آلام و رنج‌های ۱۲ میلیون شرق‌نشین کشور را تسکین دهد که خوشبختانه اجرایی هم شده است. با این آماری که خانم اله‌دادی و مهندس فرجی دادند، ظرف یکی دو سال آینده، ما یک منبع پایدار و مطمئن خواهیم داشت. یک جمله کوتاه هم بگویم. ظاهراً همه ایرادها به این طرح این است که گران است. چه چیزی در این مملکت ارزان است؟ هزینه کل طرح، ۴ میلیارد دلار و قیمت آب در مشهد ۲/۵ دلار است. همین الان در مشهد، قیمت آب، متر مکعبی ۱ میلیون تومان است. بنابراین اصلاً هم آب گران نیست. این آب می‌آید و می‌توانیم با

استفاده از آن، مصارف را تأمین کنیم. چند روز پیش اعلام شد که ۶۰ میلیون زائر برای شهر مشهد پیش بینی شده است. این عدد پشت انسان را به لرزه می‌اندازد. تأمین آب این زائران عزیز، وظیفه حتمی ما هست و همه باید کمک کنیم این اتفاق بیفتد.

>> مهندس علیرضا دائمی: از توضیحات آقای مهندس حب‌وطن تشکر می‌کنم. نکاتی که مطرح کردند، بسیار قابل فکر هست. یک بخش این مطالب، به مطالعات طرح مربوط می‌شود که دوستان جواب دادند. فرض ما این است که وقتی یک طرح در کشور اجرا می‌شود، باید مراحل مطالعات و مجوزهای تخصیص و محیط‌زیستی و برداشت آب از دریا انجام شده باشد. فرض را باید به این شکل بگذاریم. در رابطه با بحث دیگری که در صحبت ایشان مطرح بود، ببینید ما نمی‌خواهیم با آب دریا کشور یا مدیریت آب کشور را نجات بدهیم. آب دریا همان‌طوری که ایشان گفتند، نهایتاً یک بخشی است که عمدتاً برای شرب یا صنعت استفاده خواهد شد و می‌تواند کمکی شود به کمبودهایی که جناب آقای مهندس طاهری به‌درستی توضیح دادند. ما منابع آب سطحی، زیرزمینی و مخازن آب سدها را داریم. از این طریق، بخشی از کمبودها قرار است جایگزین شود. جناب آقای مهندس طاهری فرمودند. ما در هر صورت مسأله اقتصاد را هم باید در نظر داشته باشیم. وقتی طرح‌های انتقال آب دریا مطرح شد، خود من به‌واسطه مسئولیتی که داشتم، استقبال کردم. دلیل استقبال من این بود که بگذاریم برای یک بار هم که شده، ارزش واقعی آب در کشور مشخص شود. الان در استان سیستان و بلوچستان یا خوزستان، یا حتی در استان‌های ساحلی، قیمت واقعی آب، هر متر مکعب، ۱۰۰ هزار تومان است و این خودش شاخصی بود که کسی باور نمی‌کرد زمانی برسد که ارزش واقعی آب این‌قدر شود. بحث دیگری هم که مطرح شد، ببینید آقای حب‌وطن به‌درستی گفتند که ما باید به تدریج شرایط به اصطلاح جمعیتی آمایشی‌مان را اصلاح کنیم. مهندس طاهری فرمودند ما ۷۰-۸۰ سال است این را داریم و اقدامی نمی‌شود. وقتی ما این را نداشته باشیم، این مشکلات همین‌طور ادامه پیدا می‌کند. ببینید اگر قرار است که منابع ما توسعه پیدا کند، چه بهتر که صنایع ما در قسمت جنوب کشور باشد. آقای حب‌وطن اشاره کردند، مشهد یک منطقه زیارتی است و طبعاً آب باید تأمین شود. نباید جیره‌بندی شود و بحث‌های بسیار زیاد دیگری که مطرح است. ما باید تلاش کنیم که درآمد اقتصادی و حتی مدیریت توسعه آن منطقه، در راستای گردشگری باشد. آن وقت کشاورزی می‌تواند در دشت مغان انجام شود و توسعه بیشتر را در آن‌جا در کنار رود ارس داشته باشیم. یک تأکید کوچک دیگر دارم که ما اصلاً به این توجه نکنیم که با طرح شیرین‌سازی یا نمک‌زدایی آب و انتقالش می‌خواهیم مشکلات بخش آب را حل کنیم. خیر، راه حل‌ها بحث دیگری است.

سوال- چه کسانی تضمین می‌دهند پایداری تأمین آب با این پروژه برقرار می‌شود؟ آیا مطمئن هستید که مصرف در همین حد باقی می‌ماند و با انتقال، تأمین پایدار خواهد شد؟

>> مهندس طاهری: سوال بسیار خوبی است. اصلاً تضمینی در کار نیست. من به مشهد اشاره می‌کنم، اما فکر می‌کنم برای کشور هم همین‌طور باشد. مشهد در حال حاضر، ۲۷۰ میلیون مترمکعب در سال آب مصرف می‌کند. مشهد در سال ۱۴۲۰، ۴۰۰ میلیون متر مکعب آب مصرف می‌کند. این مطالعاتی است که در بحث جمعیت‌شناسی و نیازسنجی آب داشتیم. ولی در توضیحات خوب آقای حب‌وطن و توضیحات خوب آقای دکتر دائمی هم بود. ما چاره‌ای نداریم که بخشی از مصرف آب کشاورزی‌مان را با حفظ درآمد و اشتغال بخش کشاورزی، به بخش شرب و صنعت منتقل کنیم. به شما عدد می‌دهم. الان متوسط مصرف در بخش کشاورزی ایران حدود ۹۰ درصد است. باید این حجم مصرف آبیاری را کاهش دهیم. متوسط دنیا ۷۰ درصد است. من یک کارمند کوچک آب منطقه‌ای هستم، عزیزان ما در وزارت نیرو، در شرکت مدیریت منابع آب، سهم هستند. جای نماینده جهاد کشاورزی همیشه در این جلسات خالی بوده است. استاد عزیز ما، آقای دکتر اسماعیلی آگاهی دارند. حقیقتاً، ۹۵ درصد بخش کشاورزی به روش ۱۰۰ سال پیش، انجام می‌شود. تا موقعی که این وضعیت پابرجا باشد، نه تضمینی می‌دهیم، نه قولی می‌دهیم. منتها از آن طرف، ناچاریم آب شرب را تأمین کنیم. اگر بخواهیم همه حرف امشب من را در رابطه با طرح شیرین‌سازی و انتقال آب دریای عمان برای شرق کشور خلاصه کنیم، این است که این طرح نه قرار است معجزه کند، نه این‌که خط پایانی بر مشکلات آب شرق کشور بکشد. فقط و فقط قرار است بخشی از کمبود آب شرب و صنعت را در این سه استان محروم پاسخگو باشد.

>> دکتر کاظم اسماعیلی: آقای مهندس، به جای خالی دوستان جهاد کشاورزی اشاره کردند. یکی از سوالاتی که مطرح است، این است: طبق آماری که داشتیم، به‌طور متوسط، حدود ۳۰ درصد محصولات کشاورزی که در کل کشور تولید می‌شود، از بین می‌رود. براساس محاسباتی که انجام شده بود - این گزاره‌ای است که از قول دکتر میان‌آبادی مطرح می‌کنم - آبی که صرف این بخش محصولات می‌شد، حدود ۹ میلیارد مترمکعب است. اگر ما بتوانیم در تولید، فرآیندهایی اجرا کنیم که میزان پرت محصول ما کم شود، می‌توانیم در این مقدار آب صرفه جویی کنیم. آبی که انتقال می‌دهیم، در برابر این مقدار بسیار کم هست. مانند سد دوستی که در مورد اقدامات جانبی در کنار احداث سد دوستی اقدامی انجام شده است؟ دکتر اکبرزاده مدیرعامل وقت آب و فاضلاب بودند. ایشان می‌گفتند که سد دوستی را برای رفع مشکلات تأمین آب شرب مشهد داشته باشیم و در کنار آن،

بتوانیم ۱۰-۱۵ سال فرصت داشته باشیم که روی مدیریت مصرف کار کنیم و اقداماتی انجام دهیم که اگر زمانی آب سد دوستی را نداشتیم (تمام شد)، فرصتی داشته باشیم کار کنیم، آموزش دهیم و مسیرهای مشخصی را طی کنیم تا بتوانیم با همان آبی که در دسترس داریم، سازگار باشیم. که متأسفانه آن زمان گذشت و علاوه بر این که کاری انجام نشد، مصرف هم بالاتر رفت.

>> مهندس رضا طاهری: کاملاً درست می‌فرمایید. من از ابتدای جلسه قصد داشتم این مسأله را مطرح کنم. متولی تأمین آب کارش را انجام می‌دهد. بخش‌های دیگر هم باید وظایفشان را انجام دهند. الان چقدر خوب بود که نماینده جهاد کشاورزی حضور داشت و بحث راندمان تولید و کشت‌های گلخانه‌ای را توضیح می‌دادند. من یک‌جانبه به قاضی نمی‌روم که بگویم این کارها انجام نشده است. من فکر می‌کنم همه این مسیرها به‌صورت هماهنگ و موازی باید پیش رود. یکی از وزرای نیرو بودند، در مورد این طرح به‌گونه‌ای صحبت می‌کردند که این طرح، یک طرح توهمی است. هرجایی هستند، به گوششان برسد که این طرح الان ۳۰ درصد پیشرفت اجرایی دارد. کارهای بزرگ را باید انجام دهیم و نباید از این که به سمت کارهای بزرگ برویم، بترسیم. گلخانه‌ها هم اشتغال را بالا می‌برند، هم مصرف آب را پایین می‌آورند و هم باعث صرفه‌جویی در انرژی می‌شوند. یک شهر آلمریا در اسپانیا، ۳۰ هزار هکتار گلخانه دارد. در کل استان ما، مساحت گلخانه‌ها به ۱۰۰۰ هکتار هم نمی‌رسد. یک هکتار گلخانه، ۹۰۰ تن گوجه‌فرنگی تولید می‌کند، اما یک هکتار زمین کشاورزی، فقط ۳۰ تن گوجه‌فرنگی تولید می‌کند. ما باید به این سمت برویم. گاهی برایم سوال پیش می‌آید که چرا همه این کارها را رها کردیم و از یک طرح درحال اجرا نقد می‌کنیم؟ آقای مهندس اسدی که بسیار به ایشان درود می‌فرستم، با استفاده از اعتبارات غیردولتی (چند شرکت معدنی و فولادی) در حال انتقال آب هستند و از قبل این آب گفتند که اگر به شرب هم نیاز دارید، می‌توانیم آن را ارزان‌تر در اختیار شما بگذاریم. یعنی اگر آب در شهر مشهد، برای صنعت ۲/۵ دلار هست، برای شرب ۰/۵ دلار است. ما باید به این سمت برویم. کارهای انتقال درحال انجام است و تعادل‌بخشی و کارهای دیگر هم به صورت موازی باید پیش برود. اما تا موقعی که آب دولتی است، ره به جایی نخواهیم برد.

سوال- در سال چقدر آب به مشهد می‌رسد؟

>> مهندس رضا طاهری: آبی که از عمان می‌آید- مشهد یکی از نقاط هدف است- برای کل شرق کشور (سه استان) که شامل آب شرب و صنعت می‌باشد، تأمین می‌شود. اما ما از سال ۱۴۰۷ برای مشهد، ۶۱ میلیون مترمکعب در سال پیش‌بینی کردیم. این را بگذارید کنار ۳۴۰ میلیون مترمکعب دیگر که باید از سایر منابع تأمین کنیم.

سوال- بودجه‌ای که در همه این مسیرها مطرح می‌شود، یکسان نیست که به‌طور موازی مسأله آب را حل کند. منابع مالی و اعتباری کشور در راستای پروژه‌هایی مطرح می‌شوند که اثربخشی پایدار آن توسط مجریان پروژه هم قابل تضمین نیست.

>> مهندس مریم الله‌دادی: براساس برداشتی که من از سوال دارم، بله. بودجه‌ای که در این مسیرها مصرف می‌شود، یکسان نیست. اگر منظورشان خطوط انتقال آب در مسیرهای مختلف است. و آن چیزی که به‌عنوان اثربخشی اتفاق می‌افتد، یکی از آن‌ها کمبود و جبران آب شرب و صنعت است. دیگری توسعه متوازن است و ارزش افزوده‌ای که برای معادن و توسعه معادن کشور اتفاق می‌افتد. تکمیل زنجیره‌های فولادی یکی دیگر از مسائل است. درآثر انتقال آب، دیگر خام‌فروشی اتفاق نمی‌افتد. این‌ها دست‌آوردهایی است که به موازات توسعه این طرح‌ها در قالب کارآفرینی و ارزش افزوده به دست می‌آید. اما این که توسط مجریان هم قابل تضمین نیست، بله، هر مسیری از این خطوط انتقال میزانی از آب را به توسعه صنایع می‌رساند و موجب ایجاد ارزش افزوده، کارآفرینی و توسعه و رونق اقتصادی در آن قسمت می‌شود.

سوال- آیا بازار آب خواف هم وارد می‌شود؟

>> مهندس مریم الله‌دادی: اگر منظور این است که آیا آب به صنایع شهرستان خواف می‌رسد، بله. ما برای تأمین آب صنایع خواف برنامه‌ریزی کردیم و یکی از مصرف‌کننده‌های اصلی صنعت در استان خراسان رضوی، صنایع خواف هستند. یک سری فرضیه‌ها و پروپوزال‌هایی در زمینه بازار آب مطرح هست که این آبی که از دریا می‌آید، آیا با آب کشاورزی قابل مبادله هست یا خیر؟ واقعیت این است که حداقل برای این شرکت به‌عنوان مجری طرح، با توجه به این که می‌دانیم به لحاظ قانونی و حقوقی باید بررسی شود که این آبی که در حال حاضر در اختیار جامعه کشاورزی قرار دارد، قابل‌مبادله باشد- بعضاً آب همراه زمین است- قطعاً یک سری قوانین و مسایل حقوقی بالادستی در مورد آن وجود دارد. مسأله به این راحتی نیست که بگوییم آیا بازار آبی وجود خواهد داشت یا نه؟ و این مسأله جای کار دارد و درحال حاضر در دست مطالعه و بررسی هست.

>> مهندس علیرضا دائمی: نکته اولی که در این جلسه می‌توان برداشت کرد، این است که اطلاع‌رسانی‌مان در این موضوع خیلی دقیق نیست. همکاران ما در وزارت نیرو حتماً باید دقت کنند که این طرح قابلیت دفاع بیشتری داشته باشد. مثلاً آقای حب‌وطن درباره مباحث زیادی سوال کردند. از جمله این که آیا مجوزهای لازم و مطالعات لازم انجام شده است؟ در این طرح واقعاً این اطلاع‌رسانی لازم است. چون این طرح بزرگی است، ملی و پرهزینه است و لازم است که حداقل دوستان متخصص آب از آن اطلاعات کافی داشته باشند. پیشنهادم این است که همکاران ایمواسکو و همکاران شرکت‌های آب منطقه‌ای که

در مسیر بهره‌مند می‌شوند، این اطلاع‌رسانی را انجام دهند. این دومین جلسه‌ای است که من به صورت تخصصی روی بخش انتقال آب کریدور شرق شرکت می‌کنم. نشست اول در دانشگاه تهران برگزار شد و بسیار چالشی بود. سؤالاتی انجام می‌شد که نشان می‌داد آشنایی به مسائل طرح، بسیار کم است. مثلاً همه فکر می‌کردند که دولت این طرح را انجام می‌دهد و اعتقاد داشتند که ما باید این منابع را جای دیگر هزینه کنیم. وقتی من توضیح می‌دادم که این سرمایه‌گذاری از منابع غیردولتی و صنایع انجام می‌شود، برای ایشان جدید بود یا مشهود نبود. این است که من پیشنهاد می‌کنم حتماً این طرح را بیشتر معرفی کنیم، بگذاریم به مردم اطلاع‌رسانی شود و قابلیت دفاع داشته باشد. باید در این زمینه توسط مجریان و کارفرمایان اهتمام شود که این طرح بتواند جایگاه اصلی خود را به عنوان یک طرح ملی و مهم پیدا کند، تا کمتر مورد مخالفت قرار بگیرد.

در بخش بازار آب سوال شد. ببینید لازمه تکمیل این طرح این است که ما بازاری داشته باشیم. وقتی ما وارد بازار آب می‌شویم، ممکن است کسانی باشند که حاضر باشند بخشی از آب را خریداری کنند و به فروش برسانند. صناعی در مسیر یا در خود استان خراسان رضوی باشند که راغب باشند سرمایه‌گذاری کنند و وارد بازار آب شوند. مورد دیگری که آقای مهندس طاهری به درستی گفتند، مشارکت دستگاه‌های اجرایی در استان‌های بهره‌مند از این طرح، مانند جهاد کشاورزی، استانداری‌ها، وزارت سمت و سازمان‌هایشان هست. من در هر صورت، بسیار تشکر می‌کنم و امیدوارم این طرح با موفقیت انجام شود و با اطلاع‌رسانی، بخشی از ابهامات هم در این طرح، برطرف شود.

>> دکتر کاظم اسماعیلی: آیا تحویل آب گران به صنایع بر روی قیمت نهایی تولیدات تأثیرگذار نیست؟

>> مهندس رضا طاهری: سوال بسیار خوبی است. من تشکر می‌کنم از آقای دکتر دائمی. ما الان بازار آب را در خواف شروع کردیم. یعنی شما یک چاه کشاورزی دارید و با هماهنگی و مجوز آب منطقه‌ای، بخشی از آب را در اختیار صنعت قرار می‌دهید. آقای مهندس حب‌وطن اشاره کردند، بند ۶ تبصره ۸ بودجه سال ۱۴۰۲، به ما دیکته می‌کند که آب‌های بکر و درجه ۱ را از صنایع بگیریم و برای شرب ببریم. به صنعت پساب یا آب دریا بدهیم. بنابراین، درخواف این کار در حال انجام است. اگر می‌گوییم با هماهنگی دولت باشد، به این دلیل است که قیمت‌ها به نوعی هماهنگی و هارمونی برسد. درمورد سوال آقای دکتر اسماعیلی، مطالعات منسجمی انجام شده که به اصطلاح هزینه‌تیه آب در فرآیند تولید در صنایع، حداقل آن‌هایی که در خراسان رضوی فعالیت می‌کنند، کمتر از یک درصد هزینه‌های نهایی آن صنایع را پوشش می‌دهند و در واقع جزء هزینه‌های اصلی‌شان نیست. الان در خراسان رضوی برای صنعت، فیزیک آب و وجود آب از قیمت‌ش

مهم‌تر است. در حال حاضر، ما آب را در خواف با نرخ نسبتاً گرانی در اختیار صنعت می‌گذاریم. بنابراین باز هم روی ارزش زمان تأکید می‌کنم. در همین پروژه انتقال آب از دریای عمان، یا پروژه دیگری که آقای دکتر دائمی بر آن اشراف دارند که انتقال آب مازاد بر مصرف شمال استان خراسان رضوی، تحت عنوان هزار مسجد، برای تأمین مصارف شرب و صنعت مشهد است، اگر ما این کارها را ۵ سال پیش تمام کرده بودیم، هزینه طرح شاید یک پنجم بود. عنصر زمان بسیار مهم‌تر از عنصر پول است. ولی باز هم خدا را شکر می‌کنیم که هر دو پروژه اجرایی شده است. ریاضیات صنایع این را نمی‌گوید که با گران شدن این آب، هزینه تولید بالا می‌رود. چون مقدار مصرف آب صنایع پایین است. مثلاً کل آبی که قرار است از این طرح برای خواف برود، حدود ۳۰ میلیون مترمکعب است که عدد بزرگی نسبت به مصرف کل استان نیست.

سوال- لطفاً در مورد هزینه‌های طرح توضیح دهید. نسبت هزینه به فایده چقدر است؟ در مورد هزینه‌های شیرین‌سازی، انرژی، تعمیرات و نگهداری توضیح دهید.

>> مهندس رضا طاهری: خانم مهندس الله‌دادی بهتر می‌توانند به این سوال پاسخ بدهند. اما چون افتخار مطالعه این طرح با شرکت آب خراسان رضوی بود، می‌خواهم با اجازه آقای دکتر اسماعیلی، از چند نفر در این زمینه تشکر کنم. آقای دکتر قاضی‌زاده که نماینده وقت مشهد بودند، در تصویب این طرح کمک کردند. از آقای مهندس مقدوری که معاون عمرانی وقت بودند تشکر می‌کنم که برای مطالعات این طرح که آن زمان دولتی انجام می‌گرفت، حدود ۵۰۰ میلیون تومان هزینه کردند. در واقع این دو عزیز و آقای اسدی و عبداللهی کسانی بودند که مشارکت داشتند. این اولین بار است که گزارش می‌دهم. ما در این طرح، ۴ مشاور داشتیم. کل هزینه مطالعات طرح که توسط این چهار شرکت مشاور شامل طوس آب، سرواب، سازه‌پردازی ایران و یک شرکت هلندی (که مطالعات بخش شیرین‌سازی را بر عهده داشت) انجام شد، حدود ۳ میلیارد و ۴۰۰ میلیون تومان بود که عدد بسیار بسیار پایینی بود. من از این مشاوران عذرخواهی می‌کنم. کل هزینه طرح برای فاز اول، که با هدف تأمین ۲۸۰ میلیون مترمکعب آب برای شرق کشور می‌باشد، شامل یک خط ۲۲۰ آب شیرین‌کن، آبگیر، خط و ۲۰ ایستگاه پمپاژ، ۴ میلیارد دلار است. قیمت تمام شده آب در مشهد، حدود ۲/۵ دلار است که البته پیش از رسیدن به مشهد، این قیمت کمتر است و هر چقدر به مشهد نزدیک می‌شویم، قیمت آن بیشتر خواهد بود. ولی باز هم من روی ارزش افزوده معنوی این کار تأکید می‌کنم که همین الان امید و شوق به زندگی در اثر اجرای این طرح در شرق کشور ایجاد شده است. به طوری که بعضی جاها از جمله شهرستان‌های فردوس، بشرویه و سراوان، دنبال فعال کردن صنایع و معادنشان هستند. امیدوارم بقیه شهرها هم بتوانند صنایع و معادن خود را احیا کنند.



>> مهندس سید محمدهادی رضوی:

بحث انتقال آب دارای پنج گزینه اصلی است که اگر این موارد رعایت شوند، از هر نقطه‌ای به هر نقطه‌ای می‌توان آب را منتقل نمود. این نکته نیز توسط سازمان جهانی یونسکو تأیید شده است. این پنج گزینه عبارتند از: ۱- وجود نیاز شدید در مقصد، ۲- عدم آسیب به توسعه آبی منبع، ۳- در نظر گرفتن اثرات محیط‌زیستی طرح در مبدأ، مسیر و مقصد، ۴- در نظر گرفتن اثرات فرهنگی و اجتماعی طرح در مبدأ، مسیر و مقصد، و ۵- سودده بودن طرح و تقسیم منصفانه سود آن بین مبدأ، مسیر و مقصد. طرح‌هایی که ما در زمینه انتقال آب داریم، بخشی از آن‌ها متعلق به داخل کشور است. با توجه به شرایط کنونی کشور، دیگر امکان تأمین آب از منابع داخلی وجود ندارد و ناچار به مهار رودخانه‌های مرزی هستیم. البته این کار تا حدی که ممکن است انجام شده، اما هنوز جوابگوی نیاز کشور نیست. بنابراین، مجبور به انتقال آب از دریا هستیم. در این راستا، دو گزینه داریم: یکی از سمت شمال کشور و دیگری از سمت جنوب کشور. طرح انتقال آب از دریای خزر و همین‌طور طرح انتقال آب از جنوب کشور، معایب و محاسن خاص خود را دارد. من بر طرح انتقال آب از دریای خزر به سمت فلات مرکزی ایران کار کرده‌ام. همچنین، آبی که از سمت دریای عمان به مشهد، گل‌گهر و فولاد مبارکه می‌رسد نیز در این طرح مدنظر قرار دارد. به‌عنوان یک کشاورز، برای انتقال آب ابتدا باید سرگاه زمین را شناسایی نمود. در مورد مشهد، سرگاه کشف‌رود نزدیک قوچان است. از آنجا، وقتی باران ببارد، آب به پل خاتون می‌رود و از آنجا به ترکمنستان و سپس به دریای خزر منتقل می‌شود. این مسیر حدود ۹۰۰ کیلومتر است و آب با شیب زمین حرکت می‌کند. اگر بارندگی مناسب باشد، سرشاخه اترک نیز در نزدیکی‌ها قرار دارد. یکی از کارهای مهم در بحث انتقال آب، پیدا نمودن سرگاه مناسب است. باید سرگاهی پیدا کنیم که فاصله‌اش تا منبع کوتاه و فاصله‌اش تا پایاب بسیار طولانی باشد. به‌عنوان مثال، سرگاه چناران نسبت به مسیر ۹۰۰ کیلومتری آب را با شیب زمین انتقال می‌دهد. در غیر این‌صورت آب را باید با انرژی منتقل کنیم، باید به این نکته توجه شود. بنابراین، باید در جهتی حرکت کنیم که طبیعت به ما درس می‌دهد. همان‌طور که در کشاورزی این کار را می‌کنیم، ابتدا باید سرگاه فلات مرکزی ایران را پیدا کنیم که چشمه علی در دامغان است. اگر آب را به این صورت به چشمه علی برسانید، می‌توانید آن را به چهار شاخه انتقال دهید. یکی از این شاخه‌ها به سمت اسفراین می‌رود. چشمه علی ارتفاعی معادل ۱۵۰۰ متر از سطح دریا دارد. اگر آب را به چشمه علی

برسانید و تا نزدیک کاشان که حدود ۴۰۰ کیلومتر فاصله دارد، با شیب زمین منتقل کنید، این کار مشابه روش‌های انجام شده در کانال کالیفرنیا است. در این کانال، سرگاه ۳۸۰ متر و پایاب آن صفر است و آب به صورت پلکانی منتقل شده و در مسیر، برق تولید نموده‌اند. یک مسیر به سمت اسفراین وجود دارد که حدود ۴۰۰ کیلومتر است. با انتقال ۹۶ کیلومتر از سمت کردکوی به چشمه علی، می‌توان آب را به فلات مرکزی ایران منتقل نمود. در مجموع، حدود ۱۴۰۰ کیلومتر مسیر آب با شیب زمین قابل انتقال است. این آب در نزدیکی اسفراین به یک مسیر ۱۵۰ کیلومتری می‌رسد و نزدیک کوه‌های نیشابور می‌آید. چناران نیز ۱۷ کیلومتر مسیر را طی می‌کند و دشت نیشابور را سیراب می‌کند. از چناران نیز آب باید به سمت ترکمنستان منتقل شود و مسیر ۹۰۰ کیلومتری را طی کند تا به دریا برسد که این سرگاه دوم فلات مرکزی ایران است. حالا وقتی بخواهید آب را به این روش انتقال دهید، چند موضوع را باید رعایت کنید. اولاً، باید بررسی کنید که آیا منبع شما توان برداشت آب را دارد یا خیر. منبع شما دریای خزر می‌باشد و برداشت یک سانتی‌متر آب از آن معادل چهار میلیارد مترمکعب آب است. برداشت یک میلی‌متر آب از دریای خزر معادل ۴۰۰ میلیون متر مکعب آب می‌باشد. این منبع، برخلاف آنچه که برخی افراد در شمال کشور می‌گویند و مخالف طرح انتقال آب از دریای خزر هستند، می‌تواند نیازهای ما را تأمین کند. این منبع همچنین دارای پدافند غیرعامل است و سواحل سمت ایران، به جز منطقه‌ای که در شرق آن قرار دارد و منطقه ترکمن‌نشین است، در صورت برداشت یک متر آب هیچ آسیبی نخواهد دید. بنابراین، منبع شما هیچ محدودیتی ندارد و نباید آن را با دریاچه ارومیه مقایسه کنید. برخی افراد که می‌گویند اگر آب از دریای خزر برداشت کنیم، به سرنوشت دریاچه ارومیه دچار خواهیم شد، اشتباه می‌کنند. شما منبع را دارید و طول مسیر انتقال آب ۹۶ کیلومتر است. طول مسیر تا پایاب در چهار جهت مختلف حدود ۱۴۰۰ کیلومتر است. آب را می‌توان به فاصله ۱۵۰ کیلومتری مشهد منتقل نمود. شیب زمین از چشمه علی به سمت مشهد می‌آید و با اختلاف ارتفاع، آب منتقل می‌شود. این مسیر، حدود ۲۵۰۰ کیلومتر در جهت‌های مختلف قابل انتقال است. بنابراین، پستی و بلندی وجود دارد، اما این‌گونه نیست که بخواهید آب را از سمت دریای عمان به مشهد منتقل کنید. بحث انتقال آب باید شامل بررسی مصرف برق، تولید گاز CO₂ و درختانی که برای جذب این گاز ضروری هستند، باشد. به‌عنوان مثال، اگر آب را به‌صورت پلکانی به چشمه علی در دامغان منتقل کنید، ممکن است حدود ۴ هکتار

جنگل تخریب شود، یعنی معادل ۴۰ هزار متر مربع. در حالی که اگر بخواهید آب را از دریای عمان به مشهد منتقل کنید، مسیری به طول ۱۵۰۰ کیلومتر را در نظر بگیرید که عرض لوله‌گذاری آن ۲۰ متر است، در این صورت حدود ۳۰۰ هزار هکتار زمین نابود خواهد شد. برای شهر تهران، ارتفاع جنوب شهر حدود ۱۱۰۰ متر از سطح دریا است و ارتفاع چشمه علی ۱۵۰۰ متر از سطح دریا. در این راستا، می‌توان به طرح انتقال آب از دریای خزر اشاره نمود. دریای خزر حدود ۴۰۰ هزار کیلومتر مربع وسعت دارد، که معادل ۴۰۰ میلیارد متر مربع است. برداشت یک سانتی‌متر آب از دریای خزر معادل چهار میلیارد مترمکعب آب می‌باشد. دریای خزر دارای پنج رودخانه اصلی است که ولگا یکی از آن‌هاست و این پنج رودخانه، سالانه ۲۹۰ میلیارد مترمکعب آب به دریای خزر وارد می‌کنند. آبی که از سمت ایران به دریای خزر می‌رفته، مانند سفیدرود، در حدود ۴ میلیارد متر مکعب بوده که به دلیل مدیریت‌های نادرست کاهش یافته است. دریای خزر در سال‌های اخیر، به ویژه از سال ۱۸۳۰ تا ۱۹۷۵، حدود ۳ متر افت داشته است که معادل ۱۲۰۰ میلیارد مترمکعب آب می‌باشد. بنابراین، اگر سالی ۴ میلیارد مترمکعب آب از این دریا برداشت شود، این میزان برداشت به مدت ۳۰۰ سال ادامه خواهد داشت. یونسکو نیز به ما اجازه می‌دهد که به ضرورت، سالی یک سانتی‌متر آب از دریای خزر برداشت کنیم. مزیت دریای خزر این است که شهری به نام رشت با وسعت ۱۴۷۰۰ کیلومتر مربع با بارندگی سالانه یک متر، معادل ۱۴ میلیارد مترمکعب آب شیرین از آسمان، دریافت می‌کند. اگرچه در این منطقه کشاورزی انجام می‌شود، اما عمدتاً برنج‌کاری است و از اول مهر تا یک ماه بعد از عید، نزولات جوی به خوبی مدیریت نمی‌شوند. این می‌تواند به عنوان یک پدافند غیرعامل در نظر گرفته شود که آب شیرین را جمع‌آوری نموده و یا از کشاورزان منطقه خزری خریداری و به داخل کشور منتقل گردد. سفیدرود نیز آب مورد نیاز شالیزارها را تأمین می‌کند، اما از اول مهر تا یک ماه بعد از عید برنج نمی‌کارند، حدود ۲۰۰ هزار هکتار زمین در این منطقه آیش است. بنابراین، می‌توان آب‌های اضافی را از کشاورزان خریداری نمود و به مصرف کشاورزی رساند. هر کشاورز می‌تواند تصمیم بگیرد که آیا آب را بفروشد یا نه. به عنوان مثال، اگر هر متر مکعب آب به قیمت ۱۰ سنت خریداری شود و ۱۰ سنت دیگر برای مسیر و ۱۰ سنت هم برای احیای جنگل‌ها در نظر گرفته شود، در مجموع ۳۰ سنت برای محیط‌زیست ناحیه خزری صرف خواهد شد. این کار به احیای جنگل‌ها کمک نموده و حدود ۲۰ مورد از مسائل محیط زیستی کشور را حل می‌کند.

برعکس، اگر بخواهیم آب را از دریای عمان منتقل کنیم، به راحتی این اتفاقات روی نمی‌دهد. همچنین، در صورت بروز مشکلات، می‌توانیم تصمیم بگیریم که مثلاً برنج نکاریم، زیرا آب کشور اولویت بیشتری دارد. به یاد داشته باشید که ۱۰۰ سال طول می‌کشد تا دریا یک متر افت کند. در زمان انتقال آب از روسیه، ۷۰ میلیارد متر مکعب آب پشت سد‌ها ذخیره شد و برای دریای خزر هیچ مشکلی پیش نیامد. کشور ترکمنستان یکی از کشورهایی است که با این مسئله مشکل دارد. سد دوستی که احداث شد، به سمت سد دوستی آب نمی‌رود و اکنون ترکمنستان و مشهد با مشکل مواجه‌اند. اگر طرح انتقال آب صورت گیرد، نیازهای تهران، مشهد و نیشابور به راحتی تأمین خواهد شد. در غیر این صورت، باید آب را شیرین‌سازی نمود که این کار انرژی زیادی می‌برد، اما در مسیر انتقال از دریای خزر، انرژی کمتری مصرف می‌شود و به نفع جامعه جهانی خواهد بود. کشورهای آذربایجان و روسیه هر سال ۲۴۰ میلیارد متر مکعب آب از ولگا به دریای خزر وارد می‌کنند. کشور قزاقستان نیز در حال حاضر نیاز به آب ندارد. استان مازندران با وسعت ۲۳ هزار کیلومتر مربع و بارندگی متوسط ۷۰۰ میلی‌متر، سالانه ۱۶ میلیارد متر مکعب آب دریافت می‌کند. مقدار زیادی از این آب تبخیر می‌شود و بقیه، یا به دریا می‌ریزد یا از دسترس خارج می‌شود. در فصل زمستان، ۲۳۰ هزار هکتار زمین آیش برای برنج در مازندران وجود دارد و آب شیرین را می‌توان به راحتی جمع‌آوری و به فروش رساند. دشت‌های استان مازندران نیاز به زهکشی دارند و می‌توانند آب را مدیریت نموده و بفروشند. حوضه‌آبریز دریاچه ارومیه ۵۰ هزار کیلومتر مربع و حوضه‌آبریز دریای خزر ۲ میلیون کیلومتر مربع است. متوسط بارندگی اطراف حوضه دریاچه ارومیه ۴۰۰ میلی‌متر و اطراف حوضه دریای خزر ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. سدهایی که بر روی رودخانه‌های اطراف دریاچه ارومیه احداث شده‌اند، در مقایسه با سدهایی که بر روی ولگا ساخته شده‌اند، را در نظر بگیرید. دریاچه ارومیه زمانی که آب داشته باشد، در مجموع ۳۲ میلیارد متر مکعب آب دارد، در حالی که دریای خزر ۸۷۸ میلیارد متر مکعب آب دارد. بنابراین، این دو منبع به هیچ وجه قابل مقایسه نیستند. اگر آب دریاچه ارومیه را بر روی ایران بریزید، تنها ۱۹ میلی‌متر ارتفاع آب به وجود می‌آید، در حالی که اگر آب دریای خزر را بر روی ایران بریزید، ارتفاع آب به ۴۶ متر خواهد رسید. همچنین، دریاچه ارومیه در ارتفاع بالاتری واقع شده و تبخیر در ارتفاعات آسان‌تر است، در حالی که دریای خزر در سطح پایین‌تری قرار دارد و تبخیر در آن سخت‌تر می‌باشد. از سوی دیگر، دمای آب دریای خزر در

سمت ایران تقریباً به ۲۵ درجه نمی‌رسد و بخش شمالی آن تقریباً نیمی از سال یخبندان است. شوری آب دریای خزر در سمت جنوب حدود ۱۳ گرم بر لیتر است، در حالی که دریاچه ارومیه شوری معادل ۳۳۰ گرم بر لیتر دارد. این تفاوت‌ها تأثیرات قابل توجهی بر نابودی دریاچه ارومیه دارد و مقایسه این دو منبع آب (دریای خزر و دریاچه ارومیه) کار اشتباهی است. شما می‌توانید آب شیرین را از کشاورزان خریداری نموده و انتقال دهید دیگر نیازی به شیرین‌سازی آب نیست. حال سؤال اینجاست که چرا آب از دریای عمان انتقال داده می‌شود. پیمانکاران در دهه ۱۳۸۰، ۱۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری نموده‌اند تا آب را از دریای عمان به سمت مشهد منتقل کنند. این پروژه سالیانه یک میلیارد دلار هزینه برق، بدون احتساب افت خط دارد. پیمانکاری که ۱۰ میلیارد دلار قرارداد می‌بندد، می‌تواند پروژه‌های متعددی را انجام دهد. برای انتقال ۲۰۰ میلیون متر مکعب آب به مشهد، که معادل نیم میلی‌متر آب است، باید آب را از دریای عمان به سمت مشهد منتقل کنیم. طول مسیر ۱۵۰۰ کیلومتر است و ارتفاع مبدأ صفر و ارتفاع مقصد ۱۲۰۰ متر است. برق مصرفی برای این انتقال حدود ۲۳ کیلووات است، در حالی که شیرین‌سازی آب به حدود ۸ کیلووات نیاز دارد. بنابراین، مجموعاً حدود ۳۰ کیلووات برق برای هر متر مکعب آب مصرف می‌شود. قیمت جهانی برق ۱۶ سنت است و ۸ سنت آن در حال حاضر به عراق فروخته می‌شود. اما باید اثرات مخرب محیط‌زیستی این پروژه را نیز در نظر گرفت. برق تولید شده در نیروگاه‌های گازی، به‌ویژه نیروگاه‌های سیکل ترکیبی که کمترین CO_2 را تولید می‌کنند، ۱۶ سنت برای هر کیلووات است. بنابراین، هزینه تولید یک متر مکعب آب با این روش به حدود ۴۸۰ سنت می‌رسد. این هزینه‌ها فقط مربوط به برق است و استهلاك تأسیسات و دیگر هزینه‌ها در نظر گرفته نشده است، بازگشت سرمایه نیز باید مد نظر قرار گیرد. اگر بخواهید سالی یک میلیارد دلار برق مصرف کنید تا ۲۰۰ میلیون متر مکعب آب به مشهد برسد، این به معنای هزینه ۵ دلار برای هر متر مکعب آب است. در حالی که اگر آب را از دریای خزر به سد دوستی که ارتفاع آن تقریباً ۲۵۰ متر از سطح دریا است، منتقل کنید، می‌توانید از روش نیروگاه‌های تلمبه ذخیره‌ای استفاده کنید که هزینه‌ای برای شما نخواهد داشت. مسأله دیگر امنیت می‌باشد، تأمین امنیت ۱۵۰۰ کیلومتر مسیر در مرز افغانستان و پاکستان با مشکلاتی همراه است. در کالیفرنیا، در زمان خشکسالی، آب

برای یونجه و ذرت که برای تغذیه گاوها استفاده می‌شود، قطع نمی‌شود. اگر به روشی که توضیح دادم عمل شود، آب را خریداری و به یونجه اختصاص می‌دهید. به عنوان مثال، اگر ۱۰ هزار متر مکعب آب خریداری کنید و برای آن متر مکعبی نیم دلار پرداخت کنید، در مجموع ۵۰۰۰ دلار برای آب هزینه کرده‌اید. این آب به شما ۲۰ تن یونجه می‌دهد. ضریب مصرف گوشت از یونجه در بره ۵ به یک است، بنابراین ۲۰ تن یونجه به دو لاشه بره تبدیل می‌شود. با احتساب قیمت هر لاشه بره، به ۱۲ هزار دلار می‌رسید. این نشان‌دهنده ارزش افزوده یک متر مکعب آب است که به حدود دو و نیم برابر تبدیل می‌شود. همچنین، از ۲۰ تن یونجه، ۲۰ تن کود ارگانیک به دست می‌آید. با همین کود، می‌توان در دو هکتار زمین در آمریکا، پیاز، بادمجان یا فلفل دلمه‌ای تولید نمود. اگر اختلاف قیمت هر کیلوگرم ۱۰ سنت باشد و برداشت سه ساله باشد، به ۱۸۰ هزار دلار می‌رسد. این‌ها همه ارزش افزوده‌ای است که می‌تواند از یک متر مکعب آب به دست آید. در مناطق بارانی مانند گیلان و مازندران، با مدیریت مناسب می‌توان آب مورد نیاز تهران، مشهد و دشت نیشابور را تأمین نمود و مشکلات را حل نمود. طرح انتقال آب باید برای مبدأ سودآور باشد. دو مبدأ داریم: یکی آبی که از کشاورز خریداری می‌شود به قیمت متر مکعبی ۵ سنت و دیگری آب از دریا به همان قیمت. این ۵ سنت باید صرف محیط زیست ناحیه خزری شود و در موارد محیط زیستی شامل صید پرندگان و همچنین جنگل‌های هیرکانی که با مشکل پروانه‌های خاصی روبرو هستند، هزینه گردد. اینکه جنگل‌نشینان سرشاخه‌های درختان را قطع می‌کنند و به گوسفندان می‌دهند، همه جزو مشکلات محیط‌زیستی محسوب می‌گردد. در استان مازندران، ۱۴ هزار هکتار آب‌بندان وجود دارد که تقریباً نیمی پر است و در استان گیلان نیز ۱۱ هزار هکتار آب‌بندان وجود دارد. در استان گیلان، به‌طور متوسط بارندگی یک متر است و هر هکتار برنج ۱۵ هزار متر مکعب آب مصرف می‌کند. زمین‌های شالیزاری از آب اشباع هستند و دشت‌های مازندران نیاز به زهکشی دارند. در تولید یک کیلوگرم کاهو در هلند، کارگر و برق گران‌تر است و یخبندان بیشتری نیز وجود دارد. اما استان گلستان با ۸۰۰ هزار هکتار زمین زراعی که ۴۰۰ هزار هکتارش به‌صورت کشت دیم است، می‌تواند نیاز کل اوراسیا را تأمین کند. یونسکو نیز تأکید می‌کند که اگر نیاز شدید به آب در مقصد وجود داشته باشد، می‌توان آب را منتقل نمود.

>> دکتر علی مریدی:

سوال- با توجه به این که تخصص شما در بخش‌های محیط‌زیستی می‌باشد، لطفاً نظر کلی خود را درباره انتقال آب از دریا به خشکی بفرمایید. آیا اقدامات مورد لزوم برای برطرف کردن نیارهای مقصد انجام شده است؟ از نظر شما انتقال آب از شمال مناسب‌تر است یا جنوب؟

در بحث انتقال آب چند موضوع مطرح هست. از دید کلان، به بحث مجانب رشد اشاره می‌کنم. شما با انتقال آب می‌توانید در حد خاصی، آن هم در صنعت و معدن جواب‌گو باشید که شخصاً بعید می‌دانم در آن حوزه هم پا بگیرد. شما در واقع آب بسیار گرانی را به حوزه صنعت و معدن انتقال می‌دهید که این خودش منطقه را به تشکیل یک بازار آب ناخواسته و بدون نظارت تشویق خواهد کرد. یعنی صنعت بعد از دو یا سه ماه که آب ۱۵۰ - ۳۰۰ هزار تومانی را خرید، به این نتیجه خواهد رسید چرا آب چاه کشاورزی را با مبلغ پایین‌تر خریداری نکنم؟ کما اینکه بعضی بررسی‌ها نشان می‌دهد چنین بازار آبی که شیر آب زیرزمینی را می‌کشد، در کرمان هم در حال شکل‌گیری است. بنابراین این صنایع در حد یک یا دو متر مکعب از نیازشان را از خط انتقال تهیه می‌کنند و مابقی را از چاه‌های منطقه تأمین می‌کنند. این موضوع مهمی است که باید حتماً مورد بررسی قرار گیرد. آیا این خطی که ما می‌کشیم، بعداً به درد خود صنایع هم خواهد خورد، یا آن‌قدر این آب گران است که بعضی صنایع خاص از پس این هزینه نخواهند آمد؟ در واقع این موضوع، بازار منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هم موجب تعطیلی کشاورزی می‌شود و هم یک آب فروشی بدون نظارت را ایجاد می‌کند. این یکی از نگرانی‌ها در موضوع انتقال آب است.

بحث دوم موضوع مربوط به آمایش سرزمین است. ما با فرض محال می‌گوییم کار خوبی هم هست. آب صنایع را تأمین کردیم، پایدار هم هست. در مراکز جمعیتی مانند مشهد، اصفهان و تهران، برای آلودگی هوا چه ایده‌ای داریم؟ وقتی یک موتور محرک را در یک منطقه فعال و تقویت می‌کنید، یعنی با انتقال آب برای صنایع مشهد، اصفهان و جاهای دیگر، در حال تقویت تمرکز بودجه، اشتغال و افزایش جمعیت در این مناطق هستید و این باعث می‌شود زودتر به مجانب رشد برسیم. به هرحال جذب جمعیت، موجب افزایش نیاز آبی می‌شود که باید از جایی تأمین شود. دیگر این که فرض کنیم آب را تأمین کردیم، هوا چطور؟ بحث‌های مربوط به بقیه المان‌های زیست‌پذیری که این جمعیت نیاز دارند را چگونه پیش می‌گیریم؟ به عنوان یک کارشناس محیط زیست، اگر می‌گوییم صنایع باید به نزدیک دریا یا هر جای دیگری که پتانسیل آن موجود باشد، منتقل شوند، بخشی از آن مربوط به مسأله تأمین آب است و

بخش دیگر مربوط به پراکندگی نیروی انسانی و جمعیت، در سراسر سرزمین است. از این جهت که این تمرکز در حوزه آب و فاضلاب، آلودگی هوا و دیگر آلودگی‌ها، به ما ضربه زند. حتی از بعد امنیتی، وقتی جمعیت در شهرهای بزرگ تمرکز می‌یابد، مرزها خالی می‌شود که موجب بروز مشکلات در آینده خواهد شد. پس مجانب رشد یعنی عملاً این انتقال آب در کوتاه مدت، یک بازار آب ناسالم ایجاد خواهد کرد و در بلندمدت هم مشکلی از منطقه حل نخواهد کرد. بحث دوم این است که اگر درست هم اجرا شود، به یک موتور متحرک تبدیل می‌شود که موجب جذب جمعیت به این مناطق خواهد شد و مسایل محیط‌زیستی را تشدید خواهد کرد. بحث بعدی هم این است که پهنه وسیعی از سرزمین ما خالی از جمعیت است که می‌تواند با یک برنامه‌ریزی درست، متعادل شود. مثلاً همین هزینه‌ها را در بحث آمایشی در بلوچستان، در حاشیه جنوب شرقی کشور سرمایه‌گذاری می‌کردیم. البته چون کار نشده، فقط می‌شود در مورد آن صحبت کرد، اما دست کم می‌توانستیم زیرساخت‌های آن مناطق را برای سرمایه‌گذاری جدید فراهم کنیم.

موضوع دیگر در مورد امنیت آب و انرژی مطرح می‌شود. طول خطوط انتقال در مجموع، چند هزار کیلومتر و چند صد متر ارتفاع پمپاژ است که نیاز به حجم برق زیادی دارد. باید بینیم کشور ما آمادگی این حجم پمپاژ، یا این مقدار تأمین انرژی را دارد؟ پس از لحاظ امنیت تأمین برق خطوط انتقال هم باید چاره‌اندیشی کنیم. ما الان مشکل قطعی آب و برق داریم. چگونه می‌توانیم این مقدار انرژی مورد نیاز را تأمین کنیم؟ اگر روی نیروگاه‌ها حساب می‌کنیم، گاز آن‌ها را چگونه قرار است تأمین کنیم؟

این‌ها چرخه‌های به هم پیوسته است. من فکر می‌کنم در این طرح باید منتظر گذر زمان بود. حداقل ما به عنوان کارشناس، زورمان به بدنه طرفداران اقدامات سازه‌ای نرسید. چون این‌ها با شعار سرمایه‌گذاری بخش خصوصی وارد شدند، اما در حال حاضر بخش عمده این هزینه از صندوق توسعه تأمین می‌شود و عملاً بخش خصوصی واقعی وجود ندارد. با یکی از شرکت‌های تأمین لوله که صحبت می‌کردیم، انگیزه‌شان برای ورود به این طرح، این بود که با وام دریافتی از صندوق توسعه، یکی از خطوط تولید لوله‌شان را راه‌اندازی کنند. خودشان هم مشتری بودند و در پروژه پیاده‌سازی می‌کردند. بعدها می‌توانستند صادرکننده لوله باشند. این انگیزه‌ها در پشت این پروژه‌ها وجود دارد. بنابراین ابعاد این طرح بسیار پیچیده است. بخش مالی و سرمایه‌گذاری، شفاف نیست و عملاً بخش خصوصی هم درکار نیست. طرح از نظر مالی، انرژی و مشتری، پایدار ندارد. مشتری‌ها هم بعدها به بازارهای منطقه‌ای روی خواهند

آورد. چون آب گرانی خواهد بود که مشخص نیست بتواند نظر مشتری را جلب کند. این موضوع بازار آب را در شهرهای اصفهان، مشهد و یزد تحت تأثیر قرار خواهد داد. این هم از بحث‌های جنبی موضوع انتقال آب از دریا هست که در آینده نزدیک شاهدش خواهیم بود.

سوال- یکی از مسائلی که مطرح می‌شود، این است که بخش خصوصی تأمین‌کننده هزینه این طرح است. فرض کنیم که بخش خصوصی سرمایه‌گذاری را تأمین می‌کند. آیا محصولی که تولید می‌شود، با قیمت بالا تولید نمی‌شود و قرار نیست خود مردم این هزینه بالا را بپردازند؟

یک موضوع این است که تسهیلات صندوق توسعه می‌تواند در جای بهتری هزینه شود. دیگر اینکه آبی که به‌عنوان نهاده بسیار گران در اختیار صنعت قرار می‌گیرد، می‌تواند هزینه‌ها را بالا ببرد. البته خودشان مدعی هستند که هزینه‌های آب مصرفی در محصول نهایی مطرح نیست. من بررسی نکردم، اما بعید می‌دانم که چنین موضوعی درست باشد. چون بعضی از صنایع مصرف آب بالایی دارند. از این مهم‌تر ما بحث Carbon foot print و Water foot print را داریم. اگر قرار باشد انرژی این انتقال آب از طریق سوخت‌های فسیلی باشد، کربنی که به ازای ۱ کیلوگرم فولاد تولیدی منتشر می‌کنیم، عدد بسیار بالایی خواهد بود و این باعث می‌شود بعدها گلوگاه‌های محیط‌زیستی برای کشورمان تنگ‌تر شده و فولاد ما با عوارض بالای گمرکی توسط دیگر کشورها خریداری شود. این موضوع محصولات ما را غیرقابل رقابت می‌کند. دنیای آینده، دنیای تولید محصول پاک (کم‌کربن) است. ما با این اقدامات، کربنی که برای تولید محصولات منتشر می‌شود را افزایش می‌دهیم. کما این‌که اگر کارخانه فولاد را در حاشیه دریا داشتیم، حداقل فولاد نسبتاً سبز برای صادرات داشتیم. بنابراین هم روی قیمت تمام‌شده و هم روی بازار فروش آینده و بازار صادرات ما تأثیرگذار است. خیلی از کشورهای دنیا کم‌کم روی کربن مالیات می‌گذارند. محصولات ما گران خریداری خواهد شد و از بازار خارج خواهد شد.

سوال- آن‌هایی که طرفدار انتقال آب هستند، این را فرصتی می‌دانند که ما بتوانیم اقدامات دیگری در بحث مدیریت مصرف انجام دهیم. باتوجه به شرایط کنونی که در بعضی جاها مانند سیستان و بلوچستان آب وجود ندارد، نظر شما چیست؟

این را می‌توانیم در مورد اصفهان ببینیم. ما تجربه کوهرنگ ۱، ۲ و ۳ را داشتیم و هر کدام از این‌ها که انجام شد، وضعیت بدتر شد. این نشان می‌دهد که ما اصلاً دنبال خرید فرصت نیستیم. مانند این است که دوز اعتیاد انسانی که معتاد است را بالاتر ببریم. موضوع انتقال آب هم درمانی از جنس اعتیاد است که شما با تزریق بیشتر، بیمار را بیشتر وابسته می‌کنید.

این کار موجب می‌شود بعدها رفع مشکل سخت‌تر شود. من به‌عنوان یک کارشناس این ادعا را نمی‌پذیرم. سابقه ما در ایران نشان می‌دهد که اگر هم صحبتش باشد، انجام نمی‌شود. در حال حاضر، در مسأله انتقال آب دریاچه ارومیه هم نشان می‌دهد که دریاچه نجات پیدا نکرد.

سوال- بحث دیگر این است که در انتقال آب از دریا، شورآبه‌ای که به داخل دریا منتقل می‌شود، موجوداتی که در دریا وجود دارند را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منتقدان مدعی هستند که ما در آینده در این نواحی مشکلات زیادی از نظر موجودات دریایی، صید ماهی و این گونه موارد پیدا خواهیم کرد.

زمانی که این طرح‌ها، از سازمان محیط زیست مجوز می‌گرفتند، من در آنجا سمت داشتم. توصیه می‌کردیم که برداشت آب از دریای عمان باشد، نه خلیج فارس. چون همین آبیگری خلیج فارس چند تا مشکل دارد. یکی از آن‌ها برگشت آب شور و خسارت‌های محیط‌زیستی است که ایجاد می‌کند. دلیلش این است که خلیج یک محدوده بسته است و امکان تجمع نمک آن بالاست. موضوع دوم این است که بحث کشند قرمز را در این مناطق داریم که موجب می‌شود آب شیرین‌کن‌ها چند روزی از مدار خارج شوند. اگر شما پای درد دل افرادی که درحوزه شیرین‌سازی هستند، بنشینید، متوجه می‌شوید که این‌ها در بخش عمده‌ای از سال، خارج از مدار هستند. زیرا جلبک‌ها جلوی ورود آب را می‌گیرند و فرآیندی که منجر به شیرین‌سازی می‌شود، دچار مشکل می‌شود. غیر از آن، وقتی تعداد این‌ها زیاد شد، اثراتی که خودشان روی یکدیگر می‌گذارند، افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان به تأثیرات منفی که روی اکولوژی و سیستم دریایی می‌گذارند، اشاره کرد. تأیید می‌کنم مشکل ما این است که با وجود این‌که در مهندسی راهکارهای زیادی وجود دارد که اثرات محیط زیستی این طرح‌ها را کم کنیم، مانند این‌که محل خروجی را در داخل دریا انتخاب کنیم- اما در این موارد هم آن‌قدر کج‌سلیقه و به دنبال منافع مادی هستیم که علی‌رغم راه‌حلهایی که داریم، طرح‌های ما همه از جنسی هستند که در آینده با مشکلات محیط‌زیستی در خود دریا مواجه می‌شویم.

سوال- اگر ممکن است اثرات محیط زیستی منفی این طرح‌ها را با جزییات بیشتر توضیح دهید. لطفاً بفرمایید که این طرح‌ها در اکوسیستم‌های محلی و زیست‌بوم چه تأثیراتی دارند؟ و اینکه در مورد راهکارهایی که برای حل مشکلات فرمودید، چه ایده‌های وجود دارد که بتوانیم تأثیرات محیط‌زیستی طرح‌ها را کاهش دهیم؟

در طرح‌های انتقال آب، مخصوصاً طرح‌های بزرگی که الان مطرح است، سه ناحیه را باید درنظر بگیریم. یکی ناحیه آبیگیرشان هست، یعنی مجموعه‌های شیرین‌سازی که عمده ناحیه تأثیرشان نزدیک دریا قرار دارند. دیگری خطوط انتقال

آب است که این خطوط حتی الامکان باید از جاهایی که منابع طبیعی داریم مانند مناطق حفاظت شده فاصله بگیرند. خوشبختانه زمانی که این طرح‌ها در سازمان محیط زیست مطرح شد، تمهیدات لازم اندیشیده شد که مسیرها اصلاح شود و انتقال با کمترین خسارت انجام شود. اما در حین اجرا هم نیاز هست که نظارت انجام شود. با توجه به این‌که در خطوط انتقال، عرض لوله‌ها و مسیری که طی می‌کند قابل توجه هست، می‌تواند خسارت سنگینی به منابع طبیعی بزند. درحوزه مقصد من بیشتر نگران بازارها هستم که اگر نظارت نشود، موجب تخریب منابع آب زیرزمینی می‌شود و نه تنها فایده‌ای نخواهد داشت، می‌تواند تخریب‌های جدی‌تری هم درحوزه منابع آب اتفاق بیفتد. در رابطه با دریا این برگشت آب شور که غلظتش تقریباً ۲/۵ تا ۳ برابر غلظت ورودی هست، اگر درست به دریا تخلیه نشود، می‌تواند موجب تمرکز شوری شود. در ناحیه نزدیک تخلیه، می‌تواند اکوسیستم‌های منطقه را در فاصله خاصی از بین ببرد. البته این ناحیه تأثیر مطالعه نشده است و ما دقیقاً نمی‌دانیم که این محدوده تا کجاست. قطعاً روی بحث‌های شیلات هم می‌تواند مشکل ایجاد کند. راه‌کار مهندسی این است که تخلیه پساب آب شور را به عمق دریا منتقل کنیم که به مراتب اثرات منفی محیط‌زیستی آن کمتر خواهد بود. اما چون هزینه دارد، بعید می‌دانم که انجام شده باشد.

سوال- لطفاً در رابطه با تغییر اقلیم و افزایش آلودگی مرتبط با این طرح‌ها توضیح دهید.

موضوعی که اتحادیه اروپا در حال انجام است و احتمالاً در آینده نزدیک کل دنیا به این سمت می‌رود، مالیات بر کربن است. این طرح‌ها موجب افزایش شدت تولید گازهای گل‌خانه‌ای خواهد شد و چون برق ما با پایه سوخت‌های فسیلی است، پس قطعاً این پروژه تأثیر بسزایی در این زمینه خواهد داشت. از طرف دیگر، روی اقتصاد مصرف‌کننده‌ها هم موثر است. چون هر محصولی که با استفاده از آب تولید می‌شود، باعث می‌شود تولیدکننده‌ها مجبور شوند مالیات سنگین پرداخت کنند. با توجه به پیش‌بینی‌ای که داریم، بعید است که منبع تأمین انرژی به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر برود و احتمالاً از نیروگاه حرارتی استفاده می‌شود.

سوال- با توجه به نکاتی که فرمودید، آیا به طور کلی موافق انتقال آب از دریا به خشکی هستید؟ اگر نظرتان مثبت است، چه زیرساخت‌هایی باید فراهم شود؟

من با انتقال آب از دریا به خشکی با این شرایط یعنی انتقال

به فلات مرکزی ایران مخالفم. نه تنها به لحاظ محیط‌زیستی و اقتصادی، بلکه حتی به لحاظ فنی هم توجیه ندارد. درحال حاضر با آب منطقه‌ای بوشهر و هرمزگان که صحبت می‌کنیم، این استان‌ها که در حاشیه دریا هستند، از عهده تأمین هزینه آب شیرین‌کن‌ها بر نمی‌آیند. یعنی آب و فاضلاب بوشهر حاضر نیست از آب شیرین‌کن برای مصرف آب شهری استفاده کند. سد را ترجیح می‌دهند چون هزینه بهره‌برداری این طرح‌ها بسیار بالا هست. بنابراین من کلاً با این طرح موافق نیستم. ولی تأمین آب برای شهرهای ساحلی، یک کار پسندیده و خوب هست که می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌ها مطرح شود و اگر بحث اقتصادی و تبعات محیط‌زیستی را بتوان مدیریت کرد، کار خوبی است.

سوال- می‌بینیم که با اجرای طرح‌های انتقال آب، مشکلاتی برای جامعه محلی پیش می‌آید. چون بحث شفافیت و پاسخگویی وجود ندارد. مردم منطقه مبدأ مشکلات مربوط به خودشان را دارند که این مسائل بررسی نشده است. نظر شما در این باره چیست؟

گزارش‌هایی وجود دارد ولی به عنوان شهروند، هیچ اطلاعات مدون و صحیحی وجود ندارد. ممکن است اطلاعاتی باشد که به صورت موردی بعضی کارشناسان به آن‌ها دسترسی داشته باشند. اما صحت این داده‌ها را چه کسی بررسی کرده است؟ در زمینه‌های مختلف در این طرح، سوالاتی مطرح است -مانند اقتصاد طرح یا تولید گازهای گلخانه‌ای- اما شفافیتی وجود ندارد. در طرح‌های انتقال آب، افرادی که در مبدأ هستند، نگرانند و خسارت‌ها مربوط به آن‌هاست. مانند چابهار و حاشیه جنوبی دریای عمان و خلیج فارس. اگر این‌ها دیده نشود، مشکلاتی را در آینده ایجاد خواهد کرد. یعنی مردمی که از مقابلشان آب منتقل می‌شود، ولی خودشان تشنه هستند، قاعدتاً با این طرح مشکل خواهند داشت. درمورد مقصد، معمولاً در طرح‌های انتقال، مقصد منتفع می‌شود اما در این طرح من معتقدم حتی مقصد هم با مشکل مواجه خواهد شد. چون با آمدن این آب، قیمت آب بالا می‌رود و کسی که قبلاً از همسایه‌اش با قیمت محدودی سهم حقه را خریداری می‌کرد، بعد از اجرای طرح، به دلیل بازاری که شکل می‌گیرد، ده‌ها برابر این قیمت را باید پرداخت کند. بنابراین دیگر کسی بابت کشاورزی به کسی آب نخواهد داد. در واقع شما بافت خرد اجتماعی و اقتصادی منطقه را به هم می‌ریزید. البته این پیش‌قضاوت است اما موارد مشابهش هم دیده شده است. بنابراین قسمت پذیرنده هم از این طرح سود نخواهد برد.

سوال- به طور کلی اثرات اجتماعی پروژه انتقال آب را بفمایید؟ از چه زاویه‌ای باید به قضیه نگاه کرد؟

مسئله شیرین‌سازی و انتقال آب، در مقاطع و مکان‌های مختلف باید به صورت دقیق و متنوع بررسی شود. این مسئله باعث شده تا کنش‌های متقابل اجتماعی و اقتصادی بسیاری در جوامع متأثر شوند. اینجا از چند جنبه به ابعاد اجتماعی و محیط‌زیستی پروژه‌های مرتبط با شیرین‌سازی و انتقال آب می‌پردازم:

۱. عواقب محیط‌زیستی

از مقطع آغاز شیرین‌سازی آب دریا، باید مسائل مختلفی مورد توجه قرار گیرند. در منطقه خلیج فارس، کشورهایی مانند عربستان و امارات اقداماتی گسترده‌ای در زمینه شیرین‌سازی آب دریا انجام داده‌اند. لجن‌های ناشی از این فرآیند، نه تنها غلظت آب دریاها را افزایش می‌دهد، بلکه موجب از بین رفتن کانون‌های اکوسیستمی می‌شود. از مثال‌های مهم، گونه گاو دریایی که مخصوص خلیج فارس است و نمونه‌ای منحصر به فرد از تنوع زیستی محسوب می‌شود که امروز به شدت در معرض خطر نابودی قرار گرفته است. دانشجویان و محققان خارجی متعددی بر روی گونه‌های خلیج فارس تحقیق کرده‌اند و شواهد نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی نظیر شیرین‌سازی آب، تأثیرات مخربی بر این گونه‌ها داشته است.

علاوه بر این، افزایش تردد کشتی‌ها و آلودگی‌های نفتی نیز مزید بر علت شده و پایداری اکوسیستم‌های منطقه را به چالش کشیده است. به عنوان نمونه، جامعه شیلاتی عربستان به دلیل کاهش چشمگیر جمعیت ماهی‌ها، با مشکلات اقتصادی روبرو شده و نیازمند دریافت یارانه از دولت هستند. این مشکلات نه تنها تأثیرات محیط‌زیستی دارند، بلکه مستقیماً معیشت جوامع محلی را نیز تهدید می‌کنند.

۲. نیاز به بازچرخانی آب به جای انتقال

یکی از نکات کلیدی در بحث مدیریت منابع آب، توجه به بازچرخانی به جای انتقال آب است. به عنوان مثال، در شهر مشهد با هزینه ساخت یک هتل مجلل می‌توان هفت مرکز بازچرخانی محلی آب تأسیس کرد که نیاز آبی شهر را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. در ژاپن، آب حداقل ۲۱ بار بازچرخانی می‌شود تا هیچ بخشی از این منبع ارزشمند هدر نرود. انجام رویکرد بازچرخانی، نه تنها نیاز به انتقال آب را کاهش می‌دهد، بلکه به حفظ منابع طبیعی و کاهش اثرات محیط زیستی نیز کمک می‌کند.

۳. تأثیرات اجتماعی و اقتصادی

انتقال آب و پروژه‌های مرتبط با آن غالباً با تغییرات گسترده‌ای

در ساختار اجتماعی جوامع، همراه هستند. این تغییرات شامل مهاجرت‌های ناخواسته، اختلافات بر سر منابع محلی، و حتی بروز تعارضات بین شهری، استانی یا بین‌المللی می‌شود. علاوه بر این، هزینه‌های هنگفت این پروژه‌ها که می‌تواند در زیرساخت‌های پایدارتر سرمایه‌گذاری شود، به جای خود، چالش‌برانگیز است.

در نهایت، باید تأکید کرد که راه‌حل‌های پایدار مانند بهینه‌سازی مصرف، بازچرخانی و استفاده از فناوری‌های نوین، باید به جایگزین‌های اصلی برای انتقال و شیرین‌سازی آب تبدیل شوند. این رویکردها نه تنها هزینه‌ها را کاهش می‌دهند، بلکه جوامع محلی و اکوسیستم‌ها را نیز از خطرات جدی محافظت می‌کنند.

سوال- چه کارهایی انجام نشد که الان به گزینه انتقال آب رسیده‌اند؟ ۱. تلنگر فکری

موضوع انتقال آب، پیچیدگی‌های متعددی دارد که نیازمند تحلیل‌های دقیق‌تر از نگاه‌های صرفاً فنی یا اقتصادی است. این مسئله زمانی حادث می‌شود که بخواهیم آن را از منظر عدالت، دسترسی اجتماعی و حق محیط‌زیستی بررسی کنیم. اگر کودکی تشنه است، باید فوراً چاره‌ای اندیشید. انتقال آب، فرآیندی زمان‌بر است که ممکن است سال‌ها به طول بینجامد، اما نیاز فوری را نمی‌توان به تأخیر انداخت. یکی از راهکارهای کوتاه‌مدت و اثربخش، بازچرخانی آب است که به لحاظ عملیاتی در مدت کوتاهی قابل اجراست. در مقابل، وعده‌های طولانی‌مدت برای تأمین آب، نه تنها راه‌حلی منطقی نیست، بلکه می‌تواند بحران‌ها را تشدید کند.

آنچه در این میان مسئله‌ساز است، توجیه اشتباهات گذشته و ارائه راهکارهایی است که بیشتر جنبه احساسی دارند تا علمی. در ادبیات بین‌المللی مدیریت منابع آب، شواهد نشان می‌دهد که پروژه‌های انتقال آب به ندرت موفق بوده‌اند؛ چرا که این پروژه‌ها غالباً بر انتقال فیزیکی آب تمرکز دارند و از مسائل اجتماعی، محیط‌زیستی و سیاسی غافل هستند. در جمهوری اسلامی ایران نیز ترکیب انتقال آب و شیرین‌سازی، چالشی مضاعف ایجاد کرده است. آیا می‌توان این طرح‌ها را با هزینه‌های سرسام‌آور، بدون در نظر گرفتن عدالت و توزیع منصفانه منابع، توجیه کرد؟

در مورد هزینه‌های چنین طرح‌هایی، باید پرسید آیا جامعه‌ای که توان پرداخت ۱۰ هزار تومان برای یک قرص نان را ندارد، می‌تواند هزینه‌های گزاف آب انتقال‌یافته یا شیرین‌شده را متحمل شود؟ چنین مسیری در واقع به دور از اصول عدالت است. پیش از آن که انتقال آب به عنوان راه‌حلی نهایی مطرح شود، باید سایر گزینه‌ها مانند بازچرخانی آب، مدیریت تقاضا و حفاظت منابع آب به طور جدی بررسی و اجرا شوند.

۲. نگاه انتقادی به سدسازی و مدیریت منابع آب

در گذشته، سیاست‌های اشتباهی در زمینه سدسازی اجرا شده که تأثیرات مخربی بر منابع آب و اکوسیستم‌های طبیعی داشته است. تبخیر بالای آب در پشت سدها، تشکیل لایه‌های لجن و آلودگی منابع آبی، تنها بخشی از پیامدهای این سیاست‌هاست. در مقابل، روش‌هایی نظیر آبخوان‌داری می‌توانست راهکاری مؤثر و پایدار برای ذخیره آب باشد. با این حال، به نظر می‌رسد که سدها در تأمین پایدار آب موفق نبوده‌اند و ۷۰ درصد نیاز آبی کشور همچنان از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود.

این وضعیت نیازمند شفافیت و پاسخ‌گویی است. طبق قوانین شفافیت اطلاعات و حفاظت از حقوق عمومی، باید اسناد مربوط به اثربخشی پروژه‌های انتقال آب و سدسازی در اختیار عموم قرار گیرد تا امکان تحلیل و نقد فراهم شود. اما متأسفانه، اطلاعات این پروژه‌ها محدود یا مخفی شده و فضای لازم برای مشارکت اجتماعی فراهم نیست.

۳. بعد اجتماعی و سیاسی انتقال آب

نگاه اجتماعی به مسأله آب تنها به جمعیت‌شناسی و آمار جمعیتی محدود نمی‌شود. بررسی روابط میان افراد، جوامع محلی و نهادها، و همچنین تحلیل اثرات اجتماعی طرح‌های انتقال آب بر زندگی مردم، باید بخشی اساسی از مطالعات اجتماعی باشد. متأسفانه، در بسیاری از طرح‌ها، جنبه‌های اجتماعی به‌طور سطحی و در قالب آماری و عددی بررسی می‌شوند و مفاهیم عمیق‌تری مانند رضایت و مشارکت اجتماعی نادیده گرفته می‌شوند. این رویکرد، در نهایت به تحمیل تصمیمات بر جامعه منجر می‌شود؛ تصمیماتی که ممکن است نه تنها رضایت عمومی را جلب نکند، بلکه موجب نارضایتی و تنش‌های اجتماعی شود. یکی از پیامدهای اجتماعی انتقال آب، تخلیه روستاها و تغییرات جمعیتی است که تعادل اجتماعی و اقتصادی مناطق را برهم می‌زند. جمعیت‌هایی که پیش‌تر تولیدکننده و مؤثر بودند، به مصرف‌کنندگان وابسته تبدیل شده و به حاشیه‌نشینی در کلان‌شهرها روی آورده‌اند. این روند نه تنها خلاف اصول پدافند غیرعامل است، بلکه امنیت اجتماعی و محیط‌زیستی کشور را نیز تهدید می‌کند.

۴. تضاد منافع و حکمرانی آب

یکی از مشکلات اصلی در مدیریت منابع آب، تضاد منافع و نبود حکمرانی مؤثر است. تصمیمات مدیریتی باید بر اساس شواهد علمی، منافع عمومی و اصول عدالت اجتماعی اتخاذ شوند، اما آنچه در عمل مشاهده می‌شود، اولویت‌دادن به منافع گروه‌های خاص است. سرمایه‌گذاری‌های کلان در پروژه‌های پرهزینه‌ای مانند انتقال آب، می‌توانست صرف احداث تصفیه‌خانه‌های محلی و سیستم‌های بازچرخانی آب شود که هم اقتصادی‌تر و هم پایدارتر است.

۵. نیاز به تغییر رویکرد

مسأله انتقال آب، بحرانی فراتر از ابعاد فنی و مهندسی است. این بحران، بازتابی از سیاست‌های نادرست در مدیریت منابع آب و فقدان نگاه جامع به مسائل اجتماعی، محیط‌زیستی و سیاسی است. راه‌حل این بحران نه در انتقال آب، بلکه در تغییر رویکرد به مدیریت تقاضا، بازچرخانی آب، شفافیت در تصمیم‌گیری‌ها و توجه به عدالت اجتماعی- محیط‌زیستی نهفته است. با بازنگری در سیاست‌ها و بهره‌گیری از دانش و فناوری‌های نوین، می‌توان به راهکارهایی دست یافت که هم نیازهای فعلی را تأمین کنند و هم آینده‌ای پایدار برای منابع آب کشور رقم بزنند.

سوال- وقتی که آب را دوباره به چرخه برمی‌گردانیم، آیا از نظر اکولوژیکی و هیدرولیکی در مسیر جریان آب مشکل ایجاد می‌شود؟

تعریف اکولوژیست‌ها و فعالان محیط‌زیست از شهر به‌عنوان «اجتماع انسانی در یک بستر طبیعی» می‌تواند نقطه شروعی برای پاسخ به این سوال باشد. در واقع، مفهوم شهر به‌عنوان جایی که انسان‌ها در تعامل با محیط‌زیست خود زندگی می‌کنند، به ما این امکان را می‌دهد که نسبت به استفاده مجدد از منابع آبی مسئولانه‌تر عمل کنیم. انتقال آب از منابع دوردست به داخل شهرها، از منظر محیط‌زیستی می‌تواند پیامدهایی بسیار منفی به‌دنبال داشته باشد، اما وقتی که آب موجود در خود شهر را دوباره به چرخه استفاده برمی‌گردانیم، این عمل نه تنها اکولوژیکی است، بلکه به‌نوعی مدیریت منابع طبیعی به شمار می‌رود. ما باید توجه کنیم که مشکل اصلی، نه در بعد فنی، بلکه در ابعاد اجتماعی، سیاسی و حکمرانی قرار دارد.

از منظر اجتماعی، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، نبود ساختارهای مشارکتی مؤثر در تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات اجرایی است. در بسیاری از موارد، سیاست‌های مدیریت منابع آبی به دلیل کمبود درک و آگاهی اجتماعی از ضرورت‌های محیط‌زیستی، به‌جای حل مسائل، آن‌ها را پیچیده‌تر کرده است. علاوه بر این، در بسیاری از مناطق، نگاه‌های محدود به توسعه و بهره‌برداری از منابع به‌جای توسعه پایدار، سبب فشار بیشتر به اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی می‌شود.

در بعد سیاسی و حکمرانی، یکی از مهم‌ترین مسائلی که بر مدیریت منابع آب تأثیرگذار است، نبود شفافیت و ضعف در مباحث حکمرانی داده است. حکمرانی خوب نیازمند داشتن اطلاعات شفاف و قابل دسترس است تا تصمیم‌گیری‌های دقیق و مبتنی بر واقعیت‌های موجود انجام گیرد. در کشورهای پیشرفته، مانند ژاپن، اطلاعات مربوط به اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی به‌طور سیستماتیک جمع‌آوری و منتشر می‌شود تا عموم مردم و متخصصان بتوانند در فرآیند تصمیم‌گیری مشارکت کنند. این شفافیت در ایران، به‌ویژه در زمینه پروژه‌های انتقال آب، هنوز جایگاه خود را پیدا نکرده است.

تئوری‌های اجتماعی محیط‌زیستی نیز نشان می‌دهند که برای دستیابی به راه‌حل‌های پایدار، نیازمند رویکردهایی هستیم که نه تنها به نیازهای فنی و علمی پاسخ دهند، بلکه نگاهی جامع به ابعاد اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی داشته باشند. حرکت به سمت حکمرانی خوب، شفافیت اطلاعات و همکاری بین‌نهادی، می‌تواند در حل چالش‌های انتقال و مدیریت آب مؤثر باشد. به‌ویژه زمانی که به بحران‌های آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک توجه می‌کنیم، ضروری است که مسئولان به مدیریت منابع آب از بستر اجتماعی و حکومتی توجه داشته باشند و برای پیشبرد اهداف پایداری، از مشارکت مردم و ایجاد بستری از اعتماد عمومی استفاده کنند.

در نهایت، باید تأکید کرد که بدون سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اجتماعی و فنی، هیچ‌گونه تحولی در مدیریت منابع آب ایجاد نخواهد شد. به عنوان مثال، اگر در هر خانه یک سیستم بازچرخانی آب نصب شود، با کاهش نیاز به منابع آبی جدید، می‌توانیم به حفظ منابع موجود کمک کنیم. این تنها زمانی امکان‌پذیر است که حکمرانی محلی و مشارکت مردمی در این فرآیند به‌طور فعال و مؤثر درگیر شوند.

سوال- در طرح‌های پیشنهادی، اگر بخواهیم ایده‌ای ارائه دهیم که تأثیرات منفی بر تنوع زیستی را کاهش دهد، آیا کار اشتباهی است؟ واقعیت این است که هیچ‌گاه نمی‌توانیم از اشتباهات جلوگیری کنیم، چرا که هر تصمیمی که اتخاذ می‌شود، همیشه احتمال بروز عواقب منفی وجود دارد. اما نکته مهم این است که باید در اتخاذ تصمیمات، به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و تأثیرگذار بر محیط‌زیست، تمامی جوانب را به دقت ارزیابی کنیم. به طور خاص، پروژه‌هایی که تأثیرات منفی بر تنوع زیستی دارند، باید با حساسیت بیشتری مورد بررسی قرار گیرند. این پروژه‌ها ممکن است در ابتدا به نظر مفید برسند، اما در طول زمان می‌توانند آثار جبران‌ناپذیری بر اکوسیستم‌ها بگذارند.

در این زمینه، ضروری است که ما همواره از تئوری‌های اجتماعی محیط‌زیستی استفاده کنیم. به عنوان مثال، تئوری‌های اکولوژی سیاسی به‌ویژه نظریه «توسعه پایدار» تأکید دارند که هر گونه فعالیت اقتصادی و اجتماعی باید با در نظر گرفتن توازن بین بهره‌برداری از منابع و حفظ تنوع زیستی انجام گیرد. این بدان معناست که پروژه‌های انتقال آب نه تنها از نظر فنی و اقتصادی، بلکه باید از نظر اجتماعی و محیط‌زیستی نیز تحلیل شوند. در بسیاری از موارد، تلاش برای بهره‌برداری از منابع آبی به‌طور غیرقابل بازگشتی به کاهش کیفیت اکوسیستم‌ها و حتی تهدید بقای برخی گونه‌های زیستی منجر می‌شود.

از سوی دیگر، تئوری‌های اجتماعی محیط‌زیستی به‌ویژه نظریه‌های «عدالت محیط‌زیستی» نیز نشان می‌دهند که تصمیمات مربوط به انتقال آب باید با در نظر گرفتن عدالت

اجتماعی و اقتصادی گرفته شوند. این بدان معناست که نباید فدای منافع اقتصادی کوتاه‌مدت شویم، بلکه باید تأثیرات بلندمدت آن را بر زندگی جوامع محلی و تنوع زیستی در نظر بگیریم. بنابراین، اگر یک پروژه انتقال آب بدون ارزیابی دقیق اثرات آن بر محیط‌زیست و عدالت اجتماعی انجام شود، ممکن است نه تنها منجر به تخریب اکوسیستم‌ها شود، بلکه مشکلات اجتماعی و اقتصادی جدیدی نیز ایجاد کند.

چالش اصلی در این گونه پروژه‌ها این است که ما اغلب به دنبال راه‌حل‌های سریع و فنی برای حل مشکلات آب هستیم، اما بدون در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی و محیط‌زیستی آن. به عنوان مثال، پروژه‌های انتقال آب معمولاً بدون توجه کافی به تأثیرات محیط‌زیستی اجرا می‌شوند و پس از مدتی به دلیل مشکلات ناشی از تغییرات اکولوژیکی یا اجتماعی متوقف می‌شوند. برای جلوگیری از این معضل، پیشنهاد می‌شود که تصمیم‌گیری‌های مربوط به پروژه‌های آب‌محور مبتنی بر تحلیل‌های جامع و بین‌رشته‌ای باشد، که به‌ویژه در آن مسائل اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی در کنار هم ارزیابی شوند.

در نهایت، ما باید این نکته را در نظر بگیریم که اگر بخواهیم تأثیرات منفی بر تنوع زیستی را کاهش دهیم، باید از رویکردهای مشارکتی و هم‌افزایی استفاده کنیم. این به معنای درگیر کردن تمامی گردواران، از جمله جوامع محلی، متخصصان محیط‌زیستی، مقامات دولتی و بخش خصوصی در فرآیند تصمیم‌گیری است. بدون این رویکرد جامع و مشارکتی، هر پروژه‌ای حتی اگر نیت خوب داشته باشد، می‌تواند به مشکلات جدیدی منجر شود که در نهایت تأثیرات آن بر تنوع زیستی بیشتر از فواید آن باشد.

سوال- یکی از دلایل توجیه انتقال آب، خط انتقال سد دوستی می‌باشد که ادعا می‌کنند در دهه اخیر، این خط توانست مشکلات زیادی را در تأمین آب حل کند.

خط انتقال سد دوستی، که به عنوان یکی از راه‌حل‌های پیشنهادی برای حل مشکلات تأمین آب در مشهد در دهه اخیر معرفی شده، ایرادات مشخصی دارد که نمی‌توان به سادگی از کنار آن گذشت. یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها، اعتراضات مردم منطقه سرخس است که با وجود فاصله تنها ۲۰ کیلومتری از سد دوستی، همچنان از کمبود منابع آبی رنج می‌برند، در حالی که آب همین منابع به مشهد منتقل می‌شود. این تناقض آشکار نه تنها موجب نارضایتی‌های محلی شده، بلکه به‌ویژه از منظر عدالت محیط‌زیستی و اجتماعی قابل تأمل است. در چنین شرایطی، اگر منابع مالی و بودجه‌ای که صرف نگهداری و حفاظت از خط لوله انتقال آب سد دوستی می‌شود، به جای آن در خود مشهد برای بهینه‌سازی مصرف و استفاده از سیستم‌های بازچرخانی آب هزینه می‌شد، به‌طور قطع می‌توانست نیاز آبی مشهد را به‌طور مؤثرتری تأمین کند.

بر اساس تئوری‌های اجتماعی محیط‌زیستی، یکی از اصول اساسی برای مدیریت منابع طبیعی، توجه به عدالت اجتماعی و توزیع عادلانه منابع است. انتقال آب از حوضه‌های آبی به مناطق دوردست، اگر بدون در نظر گرفتن نیازهای بومی و محلی انجام شود، می‌تواند به بحران‌های جدیدی در سطح اجتماعی منجر شود. در این شرایط، رویکردهای حکمرانی خوب و مشارکتی، که همگان را در فرآیند تصمیم‌گیری دخیل می‌کند، می‌تواند موجب بهبود وضعیت شود. در این مورد، تداوم چنین پروژه‌هایی نشان‌دهنده ضعف در حکمرانی منابع آبی است که به جای پاسخگویی به مشکلات بومی و محلی، تنها به منافع مالی و اقتصادی نگاه می‌کند.

در مورد سد دوستی، هنگامی که این پروژه به‌عنوان آخرین راه‌حل برای تأمین آب معرفی شد، هیچ پیش‌بینی‌ای از مشکلاتی که ممکن است در طول زمان ایجاد شود، صورت نگرفته بود. اکنون که این پروژه به دلیل عدم تأمین پایدار آب و مشکلات مختلف تعطیل شده یا در حال تعطیل شدن است، همانند پروژه‌های مشابه در گذشته، بار دیگر به موضوع انتقال آب از مناطق دیگر پرداخته می‌شود. این چرخه انتقال آب به جای توجه به راه‌حل‌های پایدار و درون‌زا، نشان‌دهنده وابستگی به راه‌حل‌های مقطعی و غیرمؤثر است.

در این زمینه، تئوری‌های اکولوژی سیاسی به‌ویژه نظریه‌هایی مانند «توسعه پایدار» و «عدالت محیط‌زیستی» تأکید دارند که هر گونه طرحی که به منابع طبیعی وابسته است، باید به‌طور جامع و از دیدگاه اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی مورد ارزیابی قرار گیرد. اگر پروژه‌ای مانند انتقال آب به مشهد به جای توجه به راه‌حل‌های درون‌محلی و بهینه‌سازی مصرف در خود شهر، تنها به دنبال بهره‌برداری از منابع بیرونی باشد، نه تنها منافع مالی کوتاه‌مدت را به دنبال خواهد داشت، بلکه در بلندمدت به ایجاد نارضایتی‌های اجتماعی و محیط‌زیستی خواهد انجامید.

به‌ویژه زمانی که نگاهی به وضعیت فعلی سد دوستی داریم، باید به این واقعیت توجه کنیم که این پروژه پس از سال‌ها دیگر به‌عنوان منبع آب پایدار عمل نمی‌کند. این نشان‌دهنده چرخه‌ای از پروژه‌های انتقال آب است که هیچ‌گاه به حل اساسی مشکل کمبود آب نپرداخته و تنها به جابجایی مشکلات به مکان‌های دیگر محدود می‌شود. در واقع، انتقال آب ممکن است در کوتاه‌مدت برخی مشکلات را حل کند، اما در بلندمدت به دلیل عدم توجه به پایداری و بهینه‌سازی منابع، به حل واقعی مسأله کمبود آب منجر نخواهد شد. به این ترتیب، به جای ادامه این روند، باید راه‌حل‌هایی مبتنی بر مدیریت منابع آبی به‌صورت محلی و استفاده از فناوری‌های نوین مانند سیستم‌های بازیابی و بازچرخانی آب در سطح شهرها در نظر گرفته شود.

در نهایت، مشکلات مرتبط با انتقال آب باید با نگاه جامع‌تری به حکمرانی منابع آبی و پیاده‌سازی سیاست‌های محیط‌زیستی و اجتماعی اصلاح شود. تنها در صورتی می‌توان از تأثیرات منفی این پروژه‌ها کاست که در تصمیم‌گیری‌ها، همه ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در نظر گرفته شود و مسئولین با شفافیت و با مشارکت تمامی گروه‌داران، به دنبال راه‌حل‌هایی پایدار و مبتنی بر عدالت اجتماعی باشند.

سوال- در مورد نقش آموزش و آگاهی‌بخشی جامعه در مورد اثرات محیط‌زیستی طرح‌های انتقال آب بفرمایید.

بر این باورم که آموزش جامعه به‌تنهایی نمی‌تواند اثرات محیط‌زیستی طرح‌های انتقال آب را کاهش دهد، بلکه این مسئولان و مدیران هستند که باید به‌طور جدی آموزش ببینند. متأسفانه، بسیاری از مدیران و مسئولان ما تنها مدرک تحصیلی دارند و این امر باعث می‌شود که در جلسات و بحث‌ها، تحلیلی دقیق از مسائل نداشته باشند و در مقابل واقعیت‌ها مقاومت کنند. در چنین شرایطی، تمرکز بر آموزش مردم تنها به نظر می‌رسد که از منافع مالی برای برگزارکننده برخوردار است و در واقع این روش، رویکردی سطحی و بدون بازخورد اثربخش است. به عبارت دیگر، سازمان‌دهی کلاس‌های آموزشی که تأثیر واقعی ندارند، نه تنها کمکی به حل مشکلات نمی‌کند، بلکه صرفاً یک فعالیت بی‌دغدغه است که در نهایت خروجی ملموسی ندارد.

در گذشته، نظریه‌ای در جامعه‌شناسی محیط‌زیست وجود داشت که می‌گفت ارتباطی خطی بین دانش، بینش و عمل وجود دارد. به این معنا که هرچه دانش افراد بیشتر باشد، بینش‌شان نیز تقویت می‌شود و در نتیجه، عمل آن‌ها به‌طور طبیعی به سمت بهبود می‌رود. اما امروزه این تئوری مورد انتقاد قرار گرفته و رد شده است. در کتابی که خودم در زمینه پیشبرد دانش محیط‌زیستی ترجمه کرده‌ام، این موضوع به‌طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. به عنوان مثال، مسأله کمربند ایمنی خودرو را در نظر بگیرید. اختصاص جریمه‌های سنگین نتوانست باعث تغییر فرهنگ رفتاری مردم در این زمینه شود. جامعه‌شناسان به این نتیجه رسیدند که به جای جریمه‌های مالی، باید احتمال دستگیری را افزایش داد و این امر را با نصب دوربین‌های نظارتی و افزایش پلیس در خیابان پیگیری کرد تا به نوعی شفافیت و نظارت به‌طور مؤثر پیاده‌سازی شود. این روش در کاهش تخلفات موفق بود و نتایج مثبتی به همراه داشت.

این مثال می‌تواند در مورد محیط‌زیست نیز کاربردی باشد. به جای صرف هزینه‌های زیادی برای برگزاری دوره‌های آموزشی برای مردم بدون تأثیر ملموس، باید به راهکارهایی مانند ایجاد شفافیت و نظارت مؤثر توجه کرد. در واقع، همان‌طور که در

تئوری‌های حکمرانی خوب مطرح است، شفافیت و پاسخگویی به‌عنوان دو اصل کلیدی در این فرآیند عمل می‌کنند. اگر این دو عنصر در مدیریت منابع آبی و پروژه‌های انتقال آب به‌طور مؤثر پیاده‌سازی شوند، مطمئناً هیچ‌کس از این پروژه‌ها حمایت نخواهد کرد. چرا که شفافیت اطلاعات و حکمرانی خوب باعث می‌شود که همه‌گروداران از واقعیت‌های پنهان پشت این پروژه‌ها آگاه شوند و به درستی از پیامدهای منفی آن‌ها آگاهی پیدا کنند.

در این راستا، تئوری‌های اجتماعی محیط‌زیستی و سیاسی تأکید دارند که طرح‌های بزرگ مانند انتقال آب باید با مشارکت و هم‌افزایی تمامی‌گروداران صورت پذیرد. این فرآیند نه تنها باید به‌طور شفاف و با مسئولیت‌پذیری پیگیری شود، بلکه باید فضای بحث و گفت‌وگوی باز ایجاد گردد تا همگان در خصوص اثرات بلندمدت و کوتاه‌مدت این طرح‌ها آگاه شوند. به جای تمرکز بر آموزش‌های سطحی و موقتی، باید به سراغ ابزارهای مدیریتی رفت که مردم و مسئولان را به‌طور مستقیم و با شیوه‌های مؤثر درگیر مسائل کنند. این همان مسیری است که می‌تواند از بروز مشکلات محیط‌زیستی جلوگیری کرده و موجب ایجاد تغییرات اساسی و پایدار در مدیریت منابع آبی شود.

سوال- دانشگاه هم یکی از ناظرین مهم است. چگونه می‌تواند نقش خود را به‌خوبی ایفا کند؟

دانشگاه‌ها به‌عنوان نهادهای علمی و تحقیقی، نقش حیاتی در نظارت و تحلیل پروژه‌های محیط‌زیستی و توسعه‌ای ایفا می‌کنند. اما متأسفانه در بسیاری از موارد، دانشگاه‌ها به‌عنوان یک مجموعه با سلول‌های مستقل و نه‌چندان هماهنگ عمل می‌کنند. این در حالی است که دانشگاه‌ها باید به‌طور فعال و هماهنگ در فرآیند تصمیم‌سازی‌ها و نظارت‌ها مشارکت داشته باشند. به‌طور معمول، طرح‌هایی که در سطح کلان به دانشگاه‌ها سپرده می‌شود، به‌سادگی تأیید می‌شوند و کم‌تر مورد نقد و بررسی دقیق قرار می‌گیرند. این روند در حالی است که در کشورهای پیشرفته مانند ایالات متحده، طرح‌ها پس از آماده شدن توسط متخصصان، به‌صورت عمومی روی وب‌سایت‌ها منتشر می‌شوند تا جامعه به‌عنوان خرد جمعی بتواند نظر خود را اعلام کند. این فرآیند نه تنها به شفافیت تصمیمات کمک می‌کند، بلکه به رفع مشکلات و نواقص طرح‌ها در مراحل مختلف نیز کمک می‌کند تا در نهایت، طرح‌ها پس از چندین دوره بررسی و تکمیل، به تصویب نهایی برسند.

در جمهوری اسلامی ایران، به‌ویژه در مورد پروژه‌های بزرگ، معمولاً شاهد این هستیم که طرح‌ها بدون توجه به نظرات عمومی و بررسی‌های علمی مستقل به‌ویژه در بعد محیط‌زیستی، تصویب می‌شوند. یکی از دلایل این وضعیت، نبود قوانین کافی برای مقابله با تعارض منافع است. در

بسیاری از موارد، منافع شخصی و گروهی افراد مسئول باعث می‌شود که تصمیمات نادرستی در حوزه‌های مختلف، از جمله آب، محیط‌زیست و منابع طبیعی اتخاذ شود. عدم وجود قانون تعارض منافع در کشور، زمینه فساد و تصمیم‌گیری‌های غیرعلمی را فراهم کرده است، که نمونه‌های آن در پروژه‌های مختلف محیط‌زیستی و آب‌گذرها قابل مشاهده است.

اگر بخواهیم دانشگاه‌ها نقش خود را به‌خوبی ایفا کنند، باید از روش‌هایی مانند حکمرانی شفاف و مشارکت عمومی استفاده کنند. تئوری‌های اجتماعی و سیاسی تأکید دارند که شفافیت در فرآیند تصمیم‌گیری و نظارت، باعث کاهش فساد و افزایش اعتماد عمومی می‌شود. به‌عنوان مثال، در انتخابات ایالات متحده، شاهد آن هستیم که تمام مراحل رأی‌گیری به‌صورت آنلاین و شفاف تحت نظارت قرار دارد، که باعث ایجاد اعتماد به سیستم و کاهش مشکلات احتمالی می‌شود. در صورتی که دانشگاه‌ها در پروژه‌های محیط‌زیستی و مدیریتی این رویکرد را در پیش بگیرند، می‌توانند نقش مؤثری در نظارت و بهبود طرح‌ها ایفا کنند.

همچنین، دانشگاه‌ها باید به‌طور فعال به تجزیه و تحلیل اثرات بلندمدت طرح‌ها پرداخته و از ابزارهای علمی و پژوهشی برای ارائه راهکارهای بهتر و پایدارتر استفاده کنند. در این مسیر، همکاری میان دانشگاه‌ها، جامعه، دولت و دیگر نهادهای خصوصی و عمومی ضروری است تا منافع عمومی در تصمیمات مختلف مد نظر قرار گیرد و طرح‌ها به‌گونه‌ای طراحی شوند که به حفظ منابع طبیعی و رفاه اجتماعی منجر شوند. برای تحقق این اهداف، دانشگاه‌ها باید به‌عنوان نهادهای مشاور و ناظر در فرآیندهای توسعه و تصمیم‌گیری حضور فعال داشته باشند و نقش علمی و پژوهشی خود را به‌خوبی ایفا کنند.

سوال- یونسکو می‌گوید برای انتقال آب باید پنج مورد را در نظر بگیرید که از نظرمنافع محیط زیستی و غیره در مبدأ، مسیر و مقصد نباید مشکل‌زا باشد. اگر این پنج عامل تأمین شود، انتقال آب موجه است. به شرط اینکه در مقصد تأمین آب هیچ گزینه دیگری نداشته باشد. آیا این مسائل برای طرح انتقال آب در نظر گرفته شده است؟ سوال این است که آیا این که صنایع آب را با قیمت بالا می‌خرند، چه نتیجه‌ای دارد؟ محصول این صنایع با قیمت بالا وارد بازار می‌شود. چه کسی این هزینه را باید پرداخت کند؟

یکی از بزرگترین چالش‌ها در پروژه‌های انتقال آب این است که بسیاری از این طرح‌ها، علیرغم توجه به برخی اصول اولیه مانند تأمین منابع آب در مقصد و توجه به منافع محیط‌زیستی در مبدأ و مسیر، همچنان با مشکلات جدی مواجه می‌شوند. یونسکو بر این نکته تأکید دارد که برای توجیه هر پروژه انتقال آب، باید پنج عامل کلیدی در نظر گرفته شود که هیچ‌یک از این عوامل نباید در مبدأ، مسیر و مقصد مشکلات محیط‌زیستی، اجتماعی

یا اقتصادی ایجاد کند. در حقیقت، اگر هیچ گزینه دیگری برای تأمین آب در مقصد وجود نداشته باشد، ممکن است انتقال آب از یک حوضه به حوضه دیگر موجه باشد. اما باید توجه داشت که حتی اگر این شرایط به ظاهر فراهم شود، هنوز بسیاری از پیامدهای منفی این نوع پروژه‌ها نادیده گرفته می‌شوند.

نکته حائز اهمیت این است که بررسی‌ها و تجربیات جهانی، به‌ویژه در کشورهایی که طرح‌های انتقال آب مشابه را پیاده‌سازی کرده‌اند، نشان می‌دهند که این پروژه‌ها غالباً با شکست مواجه می‌شوند. به‌عنوان مثال، در کتاب «انتقال آب بین حوضه‌ای»^۱ که توسط انتشارات کمبریج منتشر شده است، آمده است که تمام طرح‌های انتقال آب در شش کشور مطرح جهان که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، با مشکلات جدی روبه‌رو شده و در بسیاری از موارد شکست خورده‌اند. این شکست‌ها عمدتاً به‌دلیل نادیده گرفتن جنبه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی پروژه‌ها است که در نهایت منجر به عدم پایداری این طرح‌ها می‌شود.

در مورد قیمت‌گذاری آب و تأثیر آن بر صنایع، باید گفت که یکی از پیامدهای منفی این‌گونه طرح‌ها، افزایش قیمت آب برای صنایع است. وقتی صنایع مجبور به خرید آب با قیمت بالا می‌شوند، این هزینه‌ها به‌طور مستقیم به قیمت محصولات تولیدی منتقل می‌شود. در نهایت، این افزایش قیمت‌ها به مصرف‌کنندگان نهایی تحمیل می‌شود. از این رو، این سوال مطرح می‌شود که چه کسی باید این هزینه‌ها را بپردازد؟ آیا مصرف‌کنندگان نهایی باید بار هزینه‌های افزایش قیمت آب را به دوش بکشند یا دولت باید از طریق یارانه‌ها یا سیاست‌های دیگر این بار را کاهش دهد؟

تئوری‌های اجتماعی و محیط‌زیستی تأکید دارند که در طرح‌های انتقال آب، باید توجه ویژه‌ای به عدالت اجتماعی و اقتصادی داشته باشیم. این به این معناست که هر گونه افزایش هزینه در نتیجه انتقال آب باید به‌طور منصفانه بین تمام گروه‌داران توزیع شود. همچنین، بسیاری از نظریه‌پردازان توسعه پایدار معتقدند که طرح‌های انتقال آب باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که علاوه بر تأمین نیازهای آبی، به حفظ منابع طبیعی و اکوسیستم‌های محلی نیز توجه ویژه‌ای داشته باشند. به عبارت دیگر، این پروژه‌ها نباید تنها بر مبنای منافع کوتاه‌مدت اقتصادی شکل بگیرند، بلکه باید به‌طور همزمان به پایداری محیط‌زیستی و رفاه اجتماعی نیز توجه داشته باشند. در نهایت، باید گفت که مدیریت منابع آب باید از یک رویکرد جامع و یکپارچه پیروی کند که نه تنها نیازهای انسانی را در نظر بگیرد، بلکه به حفظ تعادل اکولوژیکی و تضمین عدالت اجتماعی نیز توجه کند. این رویکرد شامل مشارکت عمومی، شفافیت در تصمیم‌گیری‌ها، و استفاده از دانش علمی برای ارزیابی دقیق اثرات بلندمدت پروژه‌ها است.

سوال- یک ایده این است که آب را به جای دریای عمان، از شمال منتقل کنیم. آب مورد نظر از خط جنوب، ۲۰۰ میلیون متر مکعب است. درحالی که یک سانتی‌متر از آب دریای خزر، معادل ۴ میلیارد مترمکعب است که چند برابر حجم انتقالی از جنوب است. در این حالت، ارتفاعات بالا و ایستگاه‌های پمپاژ متعدد و امنیت و غیره هم وجود ندارد. اما در شمال فقط کافیس آب را به فاصله ۱۰۰ کیلومتری، به ارتفاعات بیاورید و سپس به صورت ثقلی به فلات مرکزی ایران منتقل شود. هزینه شیرین‌سازی آن هم کمتر از دریای عمان است. حتی می‌توان آب را در مجاورت کویر لوت در نظر گرفت و پساب را در کویر تخلیه کرد.

در ابتدا، بهتر است که از واژه «دریای کاسپین» به جای «دریای خزر» استفاده کنیم. دریای کاسپین در حال حاضر با مشکلات جدی از جمله عقب‌نشینی سطح آب مواجه است. به‌طور دقیق‌تر، این دریا در حدود ۱۲ متر عقب‌نشینی کرده و سطح آزاد آب آن کاهش یافته است. این مسأله به دلیل تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و دخالت‌های انسانی، به ویژه مدیریت منابع آبی در اطراف آن، تشدید شده است. یکی از عوامل مهم این کاهش سطح آب، اقدامات روسیه است که به‌منظور خشک کردن بخش‌هایی از این دریا جهت فعال بودن اسکله، جریان آب ولگا را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و به این ترتیب، باعث تضعیف اکوسیستم‌های اطراف دریا شده است.

یکی از مسائلی که ممکن است در صورت اجرای پروژه‌های انتقال آب از دریای کاسپین به وجود آید، آسیب به مناطق حساس اکولوژیکی خود دریا، به ویژه منطقه میانکاله است. این منطقه نه تنها از لحاظ محیط‌زیستی دارای اهمیت است، بلکه به‌عنوان یکی از زیستگاه‌های فک ایرانی، یکی از برندهای ملی ایران نیز به‌شمار می‌آید. هرگونه تخلیه لجن حاصل از فرایند نمک‌زدایی یا هرگونه تغییر در اکوسیستم این منطقه می‌تواند موجب تهدید جدی برای این گونه‌های خاص شود. به علاوه، با توجه به اینکه دریاچه کاسپین عمق زیادی ندارد، انتقال تجهیزات تصفیه به این منطقه با مشکلات فنی قابل توجهی روبه‌رو خواهد بود، و این خود می‌تواند منجر به کاهش کارایی پروژه و افزایش هزینه‌ها شود.

ایده انتقال آب از دریای کاسپین و این مزایای ذکر شده، بیشتر یک شوخی است تا یک بررسی علمی! عواقب این طرح، بسیار بدتر از انتقال از دریای عمان است. پروژه‌های انتقال آب، به‌ویژه در مناطق حساس اکولوژیکی مانند دریای کاسپین و کویر لوت، باید با دقت و توجه به همه ابعاد آن صحبت شوند. در کل، برای جلوگیری از بروز مشکلات و آسیب‌های محیط‌زیستی، لازم است که تمام جنبه‌های

فنی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به‌طور جامع و یکپارچه در پروژه‌های مدیریت منابع آب در نظر گرفته شوند. این رویکرد می‌تواند به ایجاد یک مدل پایدار برای مدیریت منابع آبی در کشور کمک کند که علاوه بر تأمین نیازهای آبی، به حفظ و بهبود وضعیت محیط‌زیست و عدالت اجتماعی نیز توجه ویژه‌ای داشته باشد.

سوال- در رابطه با ظرفیت که می‌فرمایید، مساحت دریاچه کاسپین حدود ۳۷۱۰۰۰ کیلومتر مربع است که با در نظر گرفتن عمق متوسط، ۷۸۰۰۰ کیلو متر مکعب حجم دارد. اگر بر مساحت ایران - یعنی ۱/۸ میلیون کیلومتر مربع- تقسیم شود، حدود ۴۵ متر ارتفاع آب روی ایران می‌شود. در واقع مساحت دریاچه یک چهارم مساحت ایران است. سواحل دریای کاسپین در ایران، در سمت عمیق آن قرار گرفته است. بنابراین نیاز نیست به مسافت زیادی وارد دریا شویم. پس اگر به ازای ۱ سانتی‌متر، بتوانیم ۳ میلیارد متر مکعب را تأمین کنیم، چه اثرات محیط‌زیستی ممکن است ایجاد کند؟ آبی که ولگا به کاسپین می‌ریزد ۱۹۰ میلیارد متر مکعب است و ما قرار است به ازای نیم میلی‌متر کاهش سطح آب دریاچه کاسپین، فقط ۲۰۰ میلیون متر مکعب برداریم.

در ابتدا، باید به این نکته توجه کرد که تحلیل‌هایی که بر اساس حجم و مساحت دریاچه کاسپین صورت می‌گیرد، تنها جنبه‌های فنی را در نظر دارند و نمی‌توانند تمام ابعاد اثرات محیط‌زیستی و اجتماعی را در خود جای دهند. این نوع تحلیل‌ها به‌ویژه زمانی که به مقایسه حجم آب و نسبت آن به مساحت ایران پرداخته می‌شود، نمی‌توانند به‌طور کامل و جامع به پیامدهای بالقوه پروژه‌های انتقال آب اشاره کنند. در واقع، حجم و مساحت تنها بخشی از تصویر است و اثرات محیط‌زیستی و اکولوژیکی، که از تعادل پیچیده‌تری بین عوامل مختلف مانند تبخیر، تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و میزان جریان آب ورودی به دریاچه ناشی می‌شوند، باید در نظر گرفته شوند.

پدیده‌ای که در حال حاضر در دریای کاسپین رخ می‌دهد، کاهش سطح آب به دلیل تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و کاهش ورود آب از رودخانه‌های تغذیه‌کننده است، به‌ویژه از رودخانه ولگا. این کاهش سطح آب از یک سو تهدیدی برای اکوسیستم‌های وابسته به دریاچه است و از سوی دیگر ممکن است به اختلال در شرایط زیستی و اجتماعی جوامع ساکن در حاشیه دریاچه منجر شود. به این ترتیب، هرگونه اقدام در جهت برداشت آب از این دریاچه، حتی اگر در ابتدا به‌نظر برسد که اثرات کمی دارد، می‌تواند به سرعت تعادل اکولوژیکی دریاچه را مختل کند. لازم به ذکر است که این اثرات به‌ویژه در اکوسیستم‌های بسته مانند دریاچه کاسپین، که حساسیت بیشتری دارند، بیشتر و سریع‌تر خود را نشان می‌دهند.

در واقع، دریاچه کاسپین یک اکوسیستم کوچک، پویا و پیچیده است که تحت تأثیر تغییرات متعددی قرار دارد. نه تنها کاهش سطح آب و تبخیر باعث عقب‌نشینی دریاچه شده، بلکه همچنین تغییرات ناشی از استفاده بیش از حد منابع آبی، تخریب اکوسیستم‌های ساحلی و فشارهای اقتصادی و اجتماعی بر این مناطق، می‌تواند عواقب غیرقابل جبران به‌همراه داشته باشد. به‌عنوان مثال، شیرین‌سازی آب از کاسپین می‌تواند باعث افزایش غلظت نمک در آب دریاچه شود، که نه تنها بر کیفیت آب تأثیر خواهد گذاشت، بلکه بر تنوع زیستی و سلامت اکوسیستم‌های آبی نیز تهدیدی جدی ایجاد خواهد کرد.

از جنبه حقوقی و سیاسی نیز باید اشاره کرد که معاهده کاسپین، که توافق‌نامه‌ای بین پنج کشور حاشیه این دریاچه است، به‌صراحت از هرگونه برداشت منابع آب از این دریاچه جلوگیری می‌کند. این موضوع به‌ویژه در شرایطی که خود دریاچه در حال تجربه بحران‌های محیط‌زیستی است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. هرگونه اقدام بر خلاف مفاد این معاهده می‌تواند نه تنها تبعات محیط‌زیستی جدی به‌دنبال داشته باشد، بلکه ممکن است موجب بروز اختلافات و تنش‌های سیاسی میان کشورهای ساحلی گردد.

در مواجهه با سوال مطرح‌شده، باید تأکید کرد که تحلیل‌های فنی بدون در نظر گرفتن تمامی ابعاد اجتماعی، اقتصادی، و سیاسی، به‌ویژه در یک پروژه حساس محیط‌زیستی مانند انتقال آب از دریاچه کاسپین، به‌شدت محدود و ناکافی هستند. از این رو، پاسخ علمی و تخصصی این است که، حتی اگر از منظر فنی برداشت حجم کمی از آب دریاچه کاسپین، ممکن به‌نظر برسد، این اقدام می‌تواند اثرات منفی قابل توجهی بر اکوسیستم و جوامع وابسته به دریاچه به‌دنبال داشته باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌کنم که به جای تکیه بر تحلیل‌های ساده‌انگارانه، نگاهی جامع‌تر و چندوجهی به این پروژه‌ها داشته باشیم و تأثیرات بالقوه آن را در تمامی ابعاد اجتماعی و محیط‌زیستی ارزیابی کنیم.

در پایان، اگر از من بپرسید که بین انتخاب دریاچه کاسپین و دریای عمان، کدام را ترجیح می‌دهم، بدون شک انتخاب من انتقال از دریای عمان خواهد بود. چرا که دریای عمان به اقیانوس متصل است و این امر باعث می‌شود که توانایی تحمل تغییرات انسان‌محور و فشارهای ناشی از برداشت منابع آبی را بیشتر داشته باشد. همچنین، این دریا به‌دلیل وسعت و ارتباطات گسترده‌تری که با دیگر اکوسیستم‌های آبی دارد، به‌مراتب از دریاچه کاسپین که یک اکوسیستم بسته است، توانایی بیشتری در مقابله با برداشت آب و تغییرات محیط‌زیستی خواهد داشت.

سوال- از نظر شیرین سازی کدام طرح می تواند هزینه بیشتری تحمیل کند؟

در تحلیل هزینه های شیرین سازی آب، یکی از مهم ترین عوامل که باید مدنظر قرار گیرد، تفاوت های ترکیب آب در منابع مختلف است. آب دریاچه کاسپین و دریای عمان از نظر ترکیب شیمیایی، به ویژه میزان شوری و غلظت نمک، تفاوت های عمده ای دارند. در حالی که دریای کاسپین دارای شوری کمتری نسبت به دریای عمان است، این تفاوت در ترکیب آب بر فرآیندهای شیرین سازی، تأثیر مستقیم دارد. دریاچه کاسپین به عنوان یک اکوسیستم بسته، از یک سو دارای ویژگی های خاصی است که می تواند شیرین سازی را به واسطه پایین بودن شوری آب، از نظر فنی آسان تر سازد. اما از سوی دیگر، مسائل و چالش های دیگر مانند تخلیه پساب های حاصل از فرآیند شیرین سازی به ویژه در مناطق خشک و کویری (به ویژه در منطقه ای مانند کویر لوت)، می تواند اثرات منفی بسیار شدیدی بر محیط زیست داشته باشد.

در صورتی که این پساب ها به صورت بی محابا در مناطق خشک تخلیه شوند، مشکل غبار ایجاد می شود که می تواند کیفیت هوا را کاهش دهد و مشکلات بهداشتی و محیط زیستی جدی به دنبال داشته باشد. در این میان، یکی از تئوری های مهم در زمینه پایداری محیط زیست و مدیریت منابع آبی، «تئوری ظرفیت تحمل اکوسیستم» است. بر اساس این تئوری، اکوسیستم ها ظرفیت محدودی برای جذب و تحمل تغییرات و فشارهای ناشی از فعالیت های انسانی دارند. بنابراین، اگر پساب های شیرین سازی به طور بی رویه وارد محیط شوند، ممکن است این اکوسیستم ها به سرعت به نقطه اشباع برسند و آسیب های جبران ناپذیری را متحمل شوند.

از جنبه اجتماعی و سیاسی، شیرین سازی آب با این چالش های محیط زیستی نیز ممکن است تبعات اقتصادی و اجتماعی به همراه داشته باشد. برای مثال، در بسیاری از مناطق که به آب شیرین نیاز دارند، هزینه های بالای شیرین سازی ممکن است باعث شود که قیمت آب به شدت افزایش یابد، که در این صورت فشار مالی زیادی بر اقشار آسیب پذیر جامعه وارد می شود. در این راستا، باید توجه داشت که سیاست گذاری ها باید در راستای تضمین دسترسی عادلانه به منابع آب و کاهش نابرابری های اجتماعی و اقتصادی باشد.

این تحلیل ها همچنین به طور مستقیم با مفاهیم «عدالت محیط زیستی» و «حکمرانی و حاکمیت خوب» در ارتباط هستند. عدالت محیط زیستی به ویژه در مواقعی که منابع طبیعی محدود هستند، به معنای توزیع عادلانه هزینه ها و

منافع در جامعه است. به عبارت دیگر، اگر فرآیند شیرین سازی آب، هزینه های محیط زیستی سنگینی به دنبال داشته باشد، باید اطمینان حاصل شود که این هزینه ها به طور عادلانه میان همه گروه ها و جوامع توزیع شود، به ویژه به گروه های اجتماعی که در معرض آسیب های بیشتر قرار دارند. این گونه سیاست ها باید بر اساس اصل شفافیت، پاسخگویی و مشارکت عمومی طراحی شوند تا همگان از نتایج آن بهره مند شوند و آثار منفی آن به حداقل برسد.

در نهایت، باید گفت که هزینه های شیرین سازی نه تنها شامل جنبه های مالی و فنی است، بلکه نیازمند در نظر گرفتن تأثیرات بلندمدت و پایداری محیط زیستی، اجتماعی و سیاسی است. به این ترتیب، هر گونه برنامه ریزی برای شیرین سازی آب باید به گونه ای انجام شود که ضمن حفظ منابع طبیعی و اکوسیستم ها، به ارتقای رفاه اجتماعی و اقتصادی جامعه کمک کند و از آثار منفی آن جلوگیری شود.

سوال- گزینه های دیگری هم در این ارتباط وجود دارد. مثلاً دریای کاسپین از نظر آب زیرزمینی متصل به ساحل است. اگر ما بتوانیم از زمین های کشاورزی، آب مازاد را به منظور انتقال، استحصال کنیم، مشکل سطح بالای آب زیرزمینی در شمال که نیاز به زهکشی دارد را می تواند حل کند.

این ایده که می تواند به طور مستقیم منجر به استحصال آب مازاد از زمین های کشاورزی برای انتقال به سایر مناطق شود، از نظر علمی و محیط زیستی با چالش های جدی روبه رو است. به ویژه در مناطقی مانند مازندران و گلستان که خود با مشکلات کم آبی و خشکسالی مواجه هستند، چنین اقدامی نه تنها راه حل پایدار نخواهد بود، بلکه می تواند باعث تشدید بحران آب در این مناطق شود. این نگرش، که به جای اتخاذ رویکردهای جامع و پایدار، به دنبال بهره برداری از منابع آب با دیدگاه کوتاه مدت است، می تواند مشکلات محیط زیستی و اجتماعی زیادی را به همراه داشته باشد.

اولین ایراد این پیشنهاد این است که با فرض اینکه در مناطقی مانند مازندران یا گلستان، آب مازاد از زمین های کشاورزی برداشت و به منظور انتقال به مناطق دیگر استفاده شود، در حقیقت به ایجاد شرایطی منجر می شود که کشاورزان و بهره برداران منابع آب تشویق می شوند تا برداشت های بی رویه از منابع آب زیرزمینی خود انجام دهند. در نهایت، این اقدام نه تنها مشکلی از کمبود آب در این مناطق حل نخواهد کرد، بلکه بحران موجود را تشدید می کند. این مسأله با توجه به اصل «نگرش سیستمی و کل نگر^۲» به وضوح نمایان می شود؛ یعنی حل یک مشکل بدون توجه به عوارض جانبی آن به طور غیرمستقیم می تواند مشکلات بزرگ تری ایجاد کند.

در نظریه‌های اجتماعی و محیط‌زیستی، این نوع تصمیمات می‌تواند به بروز درگیری‌های اجتماعی نیز منجر شود. فرض کنید که کشاورزان در این مناطق به جای استفاده از آب برای کشاورزی، به‌طور عمده به فروش آب روی آورند. این تغییر در مدل کسب‌وکار می‌تواند باعث شود که شغل‌های موجود به‌طور ناگهانی از بین بروند و تبعات اقتصادی و اجتماعی شدیدی برای جوامع محلی به‌وجود آید. این تغییرات در ساختار اجتماعی و اقتصادی به‌ویژه در جوامع روستایی می‌تواند بحران‌های جدیدی را در پی داشته باشد.

در نهایت، باید توجه داشت که مسأله آب و تخصیص منابع آبی به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران که با مشکلات خشکسالی و کم‌آبی دست‌وپنجه نرم می‌کنند، نیازمند رویکردهایی است که هم در سطح مدیریتی و هم در سطح اجتماعی، به ایجاد عدالت و پایداری کمک کند. در این راستا، مفاهیم «عدالت محیط‌زیستی» و «عدالت اجتماعی» نقشی اساسی دارند. عدالت محیط‌زیستی به این معناست که منابع طبیعی باید به‌طور منصفانه میان تمامی گروه‌های اجتماعی توزیع شوند و تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست باید به حداقل برسد.

چهار رویکرد اصلی در تعامل انسان با محیط‌زیست وجود دارد: رویکرد درمانی، جریمه، پیشگیری، و احتیاط‌آمیز. در رویکرد درمانی، مشکلات محیط‌زیستی پس از وقوع رفع می‌شوند که این رویکرد معمولاً کم‌اثر و کوتاه‌مدت است. در رویکرد جریمه، به‌جای حل ریشه‌ای مشکل، به افراد یا سازمان‌ها جریمه‌های مالی تحمیل می‌شود. در رویکرد پیشگیری، هدف جلوگیری از آسیب به محیط‌زیست است. اما رویکرد احتیاط‌آمیز که توسط کشورهایمانند آلمان به‌طور جدی دنبال می‌شود، بر این اصل استوار است که پیش از اجرای هر پروژه‌ای، باید همه مستندات و پیش‌بینی‌ها به‌طور کامل و شفاف مورد بررسی قرار گیرد تا از بروز هرگونه آسیبی به محیط‌زیست جلوگیری شود. در ایران نیز، مطابق با اصل ۵۰ قانون اساسی، هر پروژه‌ای که به محیط‌زیست آسیب بزند ممنوع است. در این راستا، سمن‌ها، متخصصان و دانشگاه‌ها باید نقش مهمی در مطالبه‌گری و نظارت بر پروژه‌ها ایفا کنند.

بنابراین، این پیشنهاد که به‌دنبال استفاده از آب مازاد از زمین‌های کشاورزی برای انتقال به دیگر مناطق است، نه تنها از نظر محیط‌زیستی قابل‌قبول نیست، بلکه منجر به ایجاد تبعات اجتماعی و اقتصادی منفی نیز خواهد شد. بهترین رویکرد برای حل مشکل کم‌آبی باید شامل سیاست‌های پایدار، کل‌نگر و عدالت‌محور باشد که در آن هم محیط‌زیست و هم جوامع محلی مورد توجه قرار گیرند.

>> مهندس فرهاد رئوف شیبانی:

سوال- با توجه به اینکه نقش اصلی شرکت‌های مشاور در انجام یک طرح این است که وقتی یک موضوعی مطرح می‌شود، این موضوع را برای اینکه مجوزی به کارفرما داده شود و اینکه که این کار باید انجام شود یا نباید انجام شود، باید از زوایای مختلف مورد بررسی قرار دهند. در مورد بحث خط انتقال آبی که به سمت مشهد می‌آید یا خط انتقال آبی که آب را از سمت دریای عمان به سمت فلات مرکزی ایران می‌آورد، اقدامات متعددی انجام شده تا تأییدیه‌های لازم برای این پروژه‌ها کسب گردد؟ آیا این اقدامات شامل ارزیابی‌های فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی بوده است که به منظور اطمینان از قابلیت اجرایی و تأثیرات مثبت این طرح‌ها باشد؟

ابتدا در مورد سرفصل بحث و موضوع آن شفاف‌سازی بیشتری کنم. سرفصل کلان انتقال آب با موضوع نمک‌زدایی و انتقال آب دریای عمان و خلیج فارس را می‌خواهیم بررسی کنیم و تفکیکی قائل شویم، زیرا انتقال آب از دریای خزر و انتقال آب از دریای عمان و خلیج فارس هر کدام ملاحظات خاص خود را دارند. بنابراین، اجازه دهید سرفصل و موضوع جلسه را به نمک‌زدایی، انتقال آب خلیج فارس و دریای عمان به سرزمین مادری، فلات مرکزی و شهرهای ذی‌مدخل این طرح اختصاص دهیم. این تفکیک تغییر عمده‌ای در تعاریف و توضیحات ایجاد می‌کند. به تاریخچه بحث وارد می‌شوم. موضوع انتقال آب دریا به سرزمین مادری یا فلات مرکزی یک آرمان تاریخی برای کشور بوده است. در دهه‌های ۱۳۳۰ و ۱۳۴۰ شمسی، طرح انتقال آب دریا به کویر نمک، کویر لوت و دریاچه‌هایی در بخش مرکزی کشور به عنوان یک طرح آرمانی مطرح شد. ایده‌های بسیار رویایی و کلانی در آن زمان شکل گرفت که به دلیل تبعات کلان آن، این ایده‌ها به حساب و کتاب‌های کلی انتقال و طرح تبدیل شد. این آرمان برای سرزمین ایران به منظور جدا نمودن بخش خشک و نیمه‌خشک کشور از چالش‌های موجود مطرح گردید. بنابراین، در دهه‌های ۱۳۳۰ و ۱۳۴۰ این ایده شکل گرفت، مطرح شد و رسانه‌ای گردید. بعدها، مرکز تحقیقات مجلس در دوره ریاست جمهوری آقای هاشمی رفسنجانی این طرح را در قالب طرح محدودتری تحت عنوان «ایران‌رود» معرفی کرد. در دهه ۱۳۷۰، طرح ایران‌رود به این شکل بود که یک کانال سراسری از جنوب به شمال، از خلیج فارس به دریای خزر شکل بگیرد و با تأسیسات مختلف، یک معبر ترابری کلان در کشور ایجاد شود. ضمن آن، در واقع دسترسی به آب شور در سراسر جنوب به شمال کشور، طرح‌های مجاور این کانال را فراهم می‌آورد. برای این طرح نیز مطالعاتی در مرکز تحقیقات مجلس انجام شده است که به نظر می‌رسد هنوز هم در آرشو مجلس موجود باشد. در واقع، این

طرح در ابعاد اولیه و ثانویه از ظرفیت‌های اقتصادی کشور حتی در زمان رونق و شرایط اقتصادی مطلوب خارج بود و وقتی به بحث سرمایه‌گذاری می‌رسید، پاسخگوی نیازهای مالی طرح نبود. بنابراین، همیشه این طرح ابتر باقی ماند. در اوایل دهه ۱۳۹۰ شمسی یا اواخر دهه ۱۳۸۰، بعد از اینکه ما به عنوان مهندس مشاور طوس آب متولی مطالعات طرح جامع آب کشور در حوضه‌های شرق کشور شدیم، در حوضه‌های شش‌گانه کشور و با همکاری پنج مشاور دیگر، مطالعات به‌هنگام‌سازی و طرح جامع آب کشور را انجام دادیم. سناریوهای مختلف پیش‌بینی وضعیت آب کشور و برنامه‌های منابع آبی را تبیین نمودیم. با توجه به عملکردی که رخ داد و مشغول بررسی مطالعات بودیم، مسئول تهیه سنتز آب کشور شدیم و جمع‌بندی طرح جامع آب کشور را بر پایه مطالعات مشاورین صاحب صلاحیت کشور انجام دادیم و تقدیم وزارت نیرو کردیم. سپس، در شورای عالی آب کشور مصوبه‌ای برای آن فراهم شد. بر اساس اطلاعات این طرح‌ها، در همان دوره از ما خواسته شد که در خصوص وضعیت آب کشور جداگانه یک چشم‌انداز را ترسیم کنیم. این کار را در قالب گزارشی تقدیم دفتر ریاست جمهوری کردیم که محور اصلی گزارش این بود که سرزمین مادری و سرزمین اصلی برای توسعه آبی با توجه به وضعیت منابع آب، به دو میلیارد متر مکعب آب جدید نیاز دارد. بنابراین، منابع آبی ما پاسخگوی این نیاز نیستند و باید فکر دیگری کرد، از جمله بحث انتقال آب دریا‌های جنوب، خلیج فارس و دریای عمان، نمک‌زدایی و انتقال آن به سرزمین مادری. حدود برآورد ما در این زمینه حدود ۲ میلیارد متر مکعب بوده است. البته، ما این ایده را در چشم‌انداز ترسیم کرده بودیم و به بحث‌هایی که هنوز هم وجود دارد، از جمله کشت فراسرزمینی و انتقال آب فراسرزمینی از آب دریا، اشاره کردیم که به عنوان مکمل این طرح و در تلفیق کلان و درازمدت می‌تواند نقش‌آفرینی کند و به عنوان یک ایده مورد بررسی و تحلیل بیشتر قرار گیرد. بعداً، این طرح در قالب نیازهای جمعی از صنایع به مرحله اجرایی پیوست و با سرمایه‌گذاری جمعی از صنایع برای تأمین نیاز شرب و طبعاً برای بازاری که بعد از تأمین نیاز خود پیش‌بینی کردند، در استان‌های مسیر، مبدأ و مقصد ایجاد خواهد شد. این دیدگاه انتقال آب از دریا به لحاظ اقتصادی، مالی و همچنین از نظر فنی باید بر جوانب مختلف مورد بررسی قرار گیرد. پیش‌بینی‌های انجام شده موجب شد که حتی بیش از نیاز خود، ظرفیت‌سازی کنند با چشم‌انداز بازار آبی که شکل خواهد گرفت. در حال حاضر، این بازار به تدریج حول خط انتقال خلیج فارس به صنایع گل‌گهر، سرچشمه و چادرملو

شکل می‌گیرد. برای مثال، در مورد یزد و سایر صنایع کوچکتر در مسیر و منطقه نیز بحث‌هایی وجود دارد. در دهه ۱۳۹۰، این طرح برای صنایعی که ذکر شد، اجرایی شد و حدود ۸۶۰ کیلومتر آب از خلیج فارس به گل‌گهر، سرچشمه و چادرملو انتقال پیدا کرد. به طور کلی، حدود ۱۴۰ میلیون مترمکعب در سال آب منتقل می‌شود و در حال حاضر، این نیاز هم از سوی صنایع داخلی و هم از تقاضاهایی که در منطقه صنایع دیگر وجود دارد، به طور عمده در حال افزایش است. همچنین، آب شرب نیز به عنوان یک متقاضی برای این موضوع مطرح شده است. طبعاً، چون سرمایه‌گذاری از سوی بخش خصوصی انجام می‌شود، باید تعاملات و روابط مالی بین طرفین شکل بگیرد و خرید و فروش آب بر اساس قیمت تمام شده یا قیمت ارائه شده توسط سرمایه‌گذار مورد توافق قرار گیرد و قراردادهایی در این زمینه شکل بگیرد. علاوه بر این، در همان سال‌ها در بخش شرقی کشور نیز این ایده محقق شد و مطالعاتی در این زمینه انجام شد. در گزارشی که ما دو میلیارد متر مکعب آب را از دریا پیشنهاد دادیم، سه کریدور کلی شرقی، میانی و غربی را برای کشور پیشنهاد داده بودیم. این کریدورها جمعاً دو میلیارد متر مکعب آب دریا را به سرزمین مادری منتقل خواهند کرد تا در گام اول، بازار آبی برای بخش خصوصی شکل دهند و طبعاً بعداً بازارهای جانبی، از جمله آب شرب، با قیمت خرید تمام شده، بتوانند این آب را در اختیار جوامع منطقه قرار دهند. بحث کریدور شرق به صورت عمده مطرح شد و به عنوان یکی از سه کریدور کلی نیازسنجی شد. در اینجا وزارت نیرو ورود کرد و مطالعاتی را پایه‌گذاری نمود که ما انجام دادیم. این مطالعات جنبه‌های فنی، محیط زیستی و اقتصادی طرح را شامل می‌شد و حدود ۵۰ تا ۶۰ گزارش برای وزارت نیرو تبیین شد که طی ۳ تا ۴ سال مطالعه انجام شد و در اختیار وزارت نیرو قرار گرفت. چشم‌انداز شرق کشور به دلیل تعاملات نامتوازن در بخش منابع آب سیستان و بلوچستان با افغانستان، وضعیت بحرانی آب زیرزمینی در خراسان جنوبی، خراسان رضوی و تبعاتی که این کمبود آب به لحاظ امنیتی در شرق کشور ایجاد کرده، جابجایی‌های جمعیتی را در روستاهای حتی در بازه ۲۰۰ کیلومتری شرق کشور مشهود کرده است. این مطالعات نشان داد که جابجایی‌های جمعیتی و خالی شدن مناطق از جمعیت مطرح بوده و نیازها و کمبودهای درازمدت در آنجا ترسیم شد. وضعیت بخش‌های مرزی نیز مشخص شد و در بررسی‌ها، در بازه حدود ۲۰۰ کیلومتر که ما به شدت مشکل داریم، چشم‌انداز آبی برای پایداری مرزهای ما به وضوح مشخص شد. مردم باید بتوانند به حیات خود ادامه دهند و یک زندگی مناسب و با اقتصادی

قابل قبول در آنجا پایدار بمانند و معیشت خود را تأمین کنند، حداقل آب شرب برای زندگی و فعالیت‌های اقتصادی در منطقه داشته باشند. به هر حال، این طرح در سال ۱۳۹۵ به وزارت نیرو ارائه شد و با توجه به منابع، وزارت نیرو قادر به اجرای این طرح بود. علی‌رغم اینکه هر روز وضعیت منابع آبی، به خصوص در سیستان و بلوچستان، چاه نیمه‌ها، رودخانه هیرمند، طرح‌های توسعه‌ای افغانستان و رویکرد سیاسی افغانستان در قبال منابع آبی مشترک حادث می‌شود، این قضیه از طریق منابع کشور قابل اجرا نبوده و قیمت تمام شده آب نیز در قالب بودجه و منابع کشور قابلیت پذیرش نداشت. در هر صورت، مشابه طرحی که برای کریدور مرکزی از بندرعباس تا گل‌گهر، سرچشمه و چادرملو مطرح شد، جمعی از سرمایه‌گذاران صنایع در بخش مرکزی نیز به این طرح ورود کردند. با ملاحظات و حمایت‌هایی که دولت از سرمایه‌گذاران و صنایع داشت و با توجه به چشم‌انداز بزرگ معدنی که در شرق کشور وجود دارد، مستحضرید که بزرگترین پتانسیل‌های معدنی کشور در استان‌های سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی قرار دارد و مرکزیت صنعتی شرق کشور نیز فقط در خراسان رضوی است. از این رو، صنایعی مانند فولاد خراسان و اپال پارسین در سنگان و بخشی از صنایع سنگان به سرمایه‌گذاری در این طرح روی آوردند. نهایتاً در سال ۱۴۰۰ بود که استارت مطالعاتی طرح زده شد و در حال حاضر، علی‌رغم مشکلات اقتصادی حادی که صنایع با آن دست به گریبان هستند، این طرح به کار خود ادامه می‌دهد، البته با سرعت آرام‌تری به دلیل محدودیت‌هایی که در تأمین منابع وجود دارد. در کل طرح، یعنی از چابهار تا خراسان، در حال حاضر حدود ۱۸ درصد پیشرفت داریم و تا زاهدان حدود ۳۷ درصد پیشرفت فیزیکی کار صورت گرفته است. در حال حاضر، تمام مسیرسازی چابهار تا مشهد انجام شده و اجرای خط انتقال، ایستگاه‌های پمپاژ، سایت آبگیر، سایت آب شیرین‌کن، احداث نیروگاه‌های تکمیلی در حال انجام است و هر کدام به پیشرفت خاص خود رسیده‌اند. این مقدمه‌ای بود از سابقه طرح‌ها که نشان می‌دهد چگونه یک ایده به یک طرح اجرایی تبدیل شد و یک آرمان ملی که در واقع در ۷۰ و ۸۰ سال گذشته تغییر شکل داده و نهایتاً به مجموعه‌ای از طرح‌های خط انتقال تبدیل شده است که قابلیت اجرایی پیدا کرده و سرمایه‌گذار جذب آن شده و کار دنبال شده است.

سوال- ما تجربه انتقال آب از دریا به خشکی را نداشتیم، اما تجربه انتقال آب از منابع آبی بین حوضه‌ای را داشتیم. این تجربه، که شرکت مهندسی مشاور طوس آب نقش اصلی را در آن ایفا کرد، شامل انتقال آب از سد دوستی به مشهد بود. در سال‌های گذشته،

با توجه به بحث انتقال، رویکرد انتقال آب از سد دوستی به مشهد به عنوان یک فرایند موفق ارزیابی شده است. سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا تصمیم بر این بوده که آب را از سد دوستی به مشهد منتقل کنند تا فقط مشکل کمبود آب در مشهد حل شود، یا اینکه در کنار این اقدام، نیاز به انجام اقدامات دیگری نیز بوده است. اگر این اقدامات لازم بوده، آیا موفق به انجام آن‌ها شده‌اند یا خیر؟

در مورد سد دوستی، می‌خواهم این بحث را به صورت تفکیک‌شده بررسی کنم، به‌طوری که مسائل در حوزه‌های مختلف مطرح شود؛ از جمله مسائل مربوط به کارفرما، مهندس مشاور و ملاحظات خاصی که در این طرح وجود دارد. من به عنوان یک مشاور و با نگاهی فنی، بیشتر بر روی این موارد تأکید خواهم داشت. هرچند که خوشحال می‌شوم که بحث ما متمرکز بر انتقال آب از دریا باشد، زیرا مسائل خاصی برای آن وجود دارد و یک چشم‌انداز جدیدی از شرایط فعلی ما را ارائه می‌دهد. این چشم‌انداز شامل دیدگاه‌های مثبت و منفی است که بر اجرای طرح‌های در حال اجرا تأثیر می‌گذارد و ما می‌توانیم نتایج آن‌ها را به صورت کم یا زیاد مشاهده کنیم. در خصوص سد دوستی و انتقال آب به مشهد، به یاد دارم که یک آب مشترک به نسبت ۳۰ به ۷۰ بین کشور شوروی سابق وجود داشت. این آب ناشی از سیلاب‌های رودخانه هریرود بود که کنترل و مدیریت آن از طریق ایران به‌طور کامل میسر نبود. سیلاب‌ها در دشت سرخس ترکمنستان پخش می‌شدند و بخشی از آن نیز تغذیه سرخس ایران را تأمین می‌کرد. رژیم سیلابی رودخانه هریرود در آن زمان که افغانستان دارای حکومت مرکزی با ثباتی نبود، به‌طور متوسط سالانه حدود یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب آب بود. توزیع جریان در سال نیز به‌طور کامل تحت تأثیر رژیم سیلابی قرار داشت و مدیریت این آب به‌طور کامل از دست می‌رفت. نسبت تقسیم بهره‌برداری نیز همان‌طور که ذکر شد، ۳۰ به ۷۰ بود.

سوال- آیا اجرای پروژه انتقال آب از سد دوستی به مشهد، که منبعی برای تأمین آب این شهر بود، اثرات مثبتی داشته است یا اثرات منفی؟ به نظر شما، این اثرات در شرایط اجتماعی، فرهنگی و مسائل محیط زیستی در مشهد به عنوان یک کلانشهر، چگونه بوده است؟ اگر اثرات مثبت داشته، این اثرات چه بوده‌اند و اگر اثرات منفی وجود داشته، دلایل آن را بفرمایید؟ در واقع، ما نتوانسته‌ایم به شرایطی برسیم که بتوانیم مدیریت مناسبی در بحث مصرف آب در شهر مشهد داشته باشیم. ما آب را به مشهد آوردیم و در واقع خیالمان راحت شد که مشکل کم‌آبی نداریم، اما مسئولان باید در کنار این اقدام، چه کارهایی انجام می‌دادند که انجام ندادند؟ آیا باید خودمان پیگیری می‌کردیم؟ و چه مشکلاتی ممکن است به عنوان پیش‌زمینه‌ای به وجود آمده باشد؟

سوال شما نیاز به بررسی دقیق دارد و واقعیت این است که ما تاکنون این بررسی را انجام نداده‌ایم. آنچه که هست، همان‌طور که از منظر شما به عنوان یک ایده مطرح شده، از منظر کلی نیز من که نقشی هم در این طرح داشتم، می‌توانم بگویم که این موضوعات و سوالات چقدر مستدل و متقن هستند و پاسخ‌ها چه خواهند بود، نیاز به یک بررسی متناسب و لازم دارد. به یاد دارم که در تابستان ۱۳۷۳، مشهد مشغول جیره‌بندی آب شد و این وضعیت چشم‌انداز منفی را ایجاد می‌کرد. برنامه‌های توسعه کشور و طرح‌های مختلف که به این موضوع مرتبط نیستند، ممکن است در موقعیت‌های دیگر مواضع متفاوتی داشته باشند. اما طرح دوستی و سرمایه‌گذاری انجام شده برای آن، شامل سد و انتقال آب، حدود ۷ یا ۸ میلیارد متر مکعب آب جدید را به دشت مشهد آورد. اینکه این آب چگونه مصرف شد و چه تبعاتی داشت، آیا به درستی مصرف شد یا نه، موضوعی است که نیاز به نقد و بررسی دارد. مدیریت تقاضا جزو مباحثی است که همیشه در طرح‌های انتقال آب دریا مطرح می‌شود. بحث‌های مدیریت تقاضا و مدیریت مصرف و تعادل‌بخشی، همواره باید به‌درستی انجام شوند. فراموش نکنیم که ما یک بدهکار بزرگ به محیط زیست و منابع آبی کشور هستیم و هر اقدامی از این دست، تنها بخش کوچکی از آن بدهی بزرگ را شاید بتواند جبران کند. این موارد هیچ‌کدام در مقابل هم طرح‌های تکمیلی نیستند. ما باید یک رویکرد داشته باشیم که کار جدیدی که انجام می‌دهیم، باعث نشود که مشکل فراموش شود. ساختار مدیریتی باید به‌گونه‌ای باشد که با اینکه مشکل شما را به‌طور موقت و برای چند سال حل کند، برنامه‌های اصلاحی شما تحت تأثیر آن قرار نگیرد. شما ممکن است مشکل را در جای دیگری ببینید و اساساً تابع برنامه‌ریزی نباشید. تمرکز کشور بر حمایت از طرح انتقال آب دریا بود، به‌طوری که دولت تا زمانی که چاه نیمه‌ها خشک بود، تنها به اندک آبی که برای این طرح آمده بود، توجه می‌کرد. در مورد طرح دوستی نیز همین وضعیت وجود دارد. من در اینجا در موضع پاسخگویی به نحوه مدیریت منابع آب حاکمیت نیستم. بحث من این است که ما یک منبع آبی داشتیم و با حفظ مسائل و اصول، این آب را مدیریت کردیم. این آب در اختیار ما نبوده و ما آن را به مشهد، یکی از کلان‌شهرها که بحث‌های توسعه‌ای در حوزه‌های مختلف خود را دارد، منتقل کردیم. این آب در سال‌های آینده نیز بنا به مسائل موجود، کمتر و بیشتر در اختیار کشور و شهر مشهد خواهد بود و به نیازهای کلی آن کمک خواهد کرد. اینکه چقدر این طرح مؤثر بوده و نسبت به اهدافش موفق بوده است، نیاز به یک بررسی دقیق دارد و اگر اجازه بدهید، می‌توانیم این موارد را دنبال کنیم و پیش برویم.

سوال- به یاد دارم زمانی که طرح دوستی به نتیجه رسید و خط انتقال آب به مشهد برقرار شد، ایده‌پردازان این طرح بیان می‌کردند که برای مدیریت مصرف آب در شهر مشهد، به یک مدت زمان نیاز داریم. در این مدت، باید مشکلات مربوط به کمبود آب را تا حدودی جبران کنیم و خط انتقال این فرصت را به ما می‌دهد که بر روی مدیریت مصرف آب کار کنیم. هدف این بود که به تدریج وابستگی‌مان به آب منتقل‌شده از سد دوستی را کاهش دهیم. اما عملاً بعد از حدود ۱۵ تا ۱۶ سال، مشاهده می‌کنیم که هیچ گامی به سمت جلو در زمینه مدیریت مصرف آب برنداشته‌ایم و هر روز بیشتر به آب منتقل‌شده از سد دوستی وابسته می‌شویم. این وابستگی باعث شده که مشهد به دلیل عدم مشکل کمبود آب، با افزایش حاشیه‌نشینی مواجه شود. حاشیه‌نشینی به شدت افزایش یافته و اثرات اجتماعی و فرهنگی خاصی را به همراه داشته است. همچنین، تخلیه روستاها نیز در این زمینه مشاهده می‌شود. این وضعیت ناشی از این است که ما تصور می‌کردیم با تأمین آب در مشهد، مشکلات ما کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال، خط لوله آب استان‌های مرکزی مانند کرمان به چادرم‌لو رسیده و بازار آبی خوبی را ایجاد کرده است. به نظر شما، از دید فردی که در این طرح زحمت زیادی کشیده، آیا ایجاد بازار آب به این معنا نیست که کشاورز وقتی زمین کشت خود را می‌بیند و متوجه می‌شود که قیمت یک مترمکعب آب چقدر است، ممکن است کشاورزی را رها کرده و به فروش آب بپردازد؟ آیا این بازار آبی که تشکیل می‌شود، نیاز به بحث منابع را نادیده نمی‌گیرد؟

یکی از سوالات من این است که تصور مشهد بدون سد دوستی چگونه است؟ اجازه دهید این مطالعه انجام شود. همیشه در بحث‌های سدهایی که برای کشاورزی طراحی شده‌اند، یک حالت داریم که مطالعات با سد و بدون سد را در نظر می‌گیرند. بنابراین، ما باید آینده مشهد را با یک برنامه مطالعاتی تحقیقاتی بررسی کنیم که شامل وضعیت با سد دوستی و بدون آن باشد. نکته‌ای که درباره مدیریت مصرف و تقاضا وجود دارد، این است که ما در اتاق فکری که در شرکت طوس آب داریم، به این موضوع پرداخته‌ایم. ضمن اینکه ما تمام عیار کنار این طرح‌های مدیریت مصرف، مدیریت تقاضا و حفاظت از محیط‌زیست هستیم، باید اشاره کنم که توسعه بر اساس معیارهای جهانی، بر پایه آب‌های تجدیدپذیر توصیه می‌شود. به طور کلی، پیشنهاد می‌شود که حدود ۴۰ درصد برنامه‌ریزی‌ها بر روی منابع آب تجدیدپذیر باشد تا از مخاطره در دشت مشهد جلوگیری گردد. در حال حاضر، بارگذاری منابع آب تجدیدپذیر در دشت مشهد حدود ۱۲۰ درصد است و ما با بیلان منفی مواجه هستیم. به جای ۴۰ درصد، ما ۱۲۰ درصد بارگذاری بر منابع آبی داریم، اعم از سطحی یا زیرزمینی. در مسیرهای اولیه، با اعمال مدیریت تقاضا و مصرف در مشهد،

ما حداکثر می‌توانیم اثربخشی این طرح را از ۱۲۰ درصد به ۱۰۰ درصد کاهش دهیم. حتی در بدترین شرایط، اگر طرح‌های مدیریت تقاضا به صورت مستقل انجام شوند، می‌توانیم بگوییم که با اعمال مدیریت مصرف و تقاضا، حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از فشاری که بر منابع آب وجود دارد، کاهش می‌یابد. این فشار مازاد به این معناست که ما سه برابر ضوابط متعارف جهانی، فشار بر منابع آب در دشت مشهد داریم. بنابراین، بحث در مورد جایگاه یک سد و خط انتقال آب باید با در نظر گرفتن وضعیت با سد و بدون سد در کنار هم دنبال شود تا به نتیجه برسیم. من مجدداً تأکید می‌کنم که به عنوان مشاور، بدون هیچ تردیدی موافق طرح‌های مدیریت تقاضا و مصرف هستم. البته، من به این طرح‌ها به اندازه خودشان اهمیت می‌دهم و می‌گویم که نمی‌توانیم بحران‌ها و مشکلات مختلفی که در کشور داریم را در یک سرفصل قرار دهیم. ما یک مسئولیت و یک مأموریت بسیار پیچیده و چندوجهی داریم و یکی از این وجوه را در حال حاضر مورد بحث قرار می‌دهیم. اثر متقابل بخش‌های مختلف بر این شرایط پیچیده باید در یک مقوله گسترده‌تر مورد بررسی قرار گیرد. آوردن بحث‌های چندوجهی در یک مقوله ممکن است صحبت‌ها و بحث‌ها را از موضوع اصلی خارج کند و نتوانیم تصمیم درستی در این زمینه بگیریم. اینکه توسعه کشور نیاز به آب دارد و ما با دو رویکرد روبرو هستیم؛ اینکه این کار را انجام دهیم یا انجام ندهیم، به این معناست که تأمین آب تبعات دیگری ایجاد می‌کند و نیازهای جدیدی به وجود می‌آورد. ما باید با یک اقدام نگهدارنده، از شکل‌گیری تقاضای جدید جلوگیری کنیم تا سایر کارها بتوانند پیش بروند. بحث حاشیه‌نشینی و مسائل مربوط به خالی شدن مرزها، منشاء دیگری دارد. اگر آب در مشهد در تنگنا بود، آیا روستاهای خراسان جنوبی یا سیستان و بلوچستان تخلیه نمی‌شدند؟ حتماً این اتفاق می‌افتاد. مهاجرت به حاشیه کلان‌شهرها یک پدیده اجتناب‌ناپذیر است. در سال‌های آینده، در سطح جهانی، استقرار جامعه در شهرها نسبت به روستاها به مراتب بیشتر خواهد شد. این یک ویژگی جهانی است که در حال شکل‌گیری است و فرم تمدنی آن در حال تغییر می‌باشد و بنابراین تبعاتی نیز به دنبال خواهد داشت. منحصر کردن این قضیه به یک موضوع محدود، جای بحث بسیار زیادی دارد. در مورد بازار آب در کشور ما، از سال‌های اول انقلاب، کشاورزی محور توسعه قرار گرفت و این سیاست کلان حول این محور شکل گرفت. برای کشوری که در طول تاریخ هرگز یک کشور کشاورزی نبوده است، این موضوع قابل توجه است. سرزمین ایران هیچ‌گاه در طول تاریخ یک کشور کشاورزی نبوده است، اما ما کشاورزی را محور توسعه قرار داده‌ایم. این وضعیت کنونی کشاورزی به گونه‌ای است که حدود ۸۵ درصد منابع

آب، صرف کشاورزی می‌شود و بهره‌وری آن بسیار پایین است. در یک سخنرانی، آقای کشاورز به نکته جالبی اشاره کردند که کل تولید ناخالص داخلی (GDP) کشور ما حدود ۳۸ میلیارد دلار است. این ۳۸ میلیارد دلار در GDP کل کشور چه اهمیتی دارد که ما سرزمین‌مان را برای آن نابود می‌کنیم؟ این جابجایی یک جابجایی استراتژیک است و باید ملاحظات آن را در نظر بگیریم. کشاورزی که آب را از دست داده و به هر دلیلی جذابیت ندارد، موضوعی است که باید به آن پرداخته شود. اخیراً ما بحثی را مطرح کردیم درباره مالکان طرح‌های انتقال آب دریا که ساختار تمدنی جدیدی را در شرق کشور شکل می‌دهند. شما در حال ایجاد یک رودخانه از چابهار تا مشهد هستید، که هیچ رودخانه‌ای در شرق کشور با این مشخصات در طول تاریخ وجود نداشته است. چشم‌انداز درازمدت این است که شما توسعه و بهبود تمدن را حول این محور در آینده شکل می‌دهید. بنابراین، بدانید که یک رسالت و تبعات تمدنی با این کار همراه خواهد بود و بازار آب یکی از این محورهای تمدنی است. این موضوع تبعات بسیار گسترده‌ای اعم از مناسبات امنیتی، قانونی، اجتماعی و سیاسی خواهد داشت. از آنجا که هنوز این مسائل به طور کامل شکل نگرفته‌اند، باید از هم‌اکنون برای برنامه‌ریزی در این زمینه اقدام کنیم. باید توجه داشت که نمی‌توان آبی را که بحث کلان امنیتی دارد، به عنوان یک کالا تولید کرده و به صورت انحصاری در کشور ارائه داد. در غیر این صورت حوزه امنیتی به دنبال آن خواهد آمد و بنابراین این حوزه باید قانون‌گذاری شود. بحث ما این است که نمک‌زدایی و شیرین‌سازی آب دریا تنها نقطه تأمین در درازمدت این بازار نخواهد بود، بلکه آغاز کار خواهد بود. ما فراتر از نمک‌زدایی، کريدورهای جابجایی آب و مبادلات آب را ایجاد خواهیم کرد. پیش‌بینی ما این است که این بازار به شکلی خواهد بود که کشاورزی معیشتی ما، که سطح عمده زیر کشت فلات مرکزی را در بر می‌گیرد و نقش جدی در GDP و درآمد کشور ندارد، به تدریج تغییر کند. ما باید کشاورزان را به تدریج به سمت حوزه‌هایی با بهره‌وری بیشتر سوق دهیم، مانند صنعت و صنایع معدنی که در فلات مرکزی در حال توسعه هستند. به طور کلی، ما نباید کشاورزی را محور توسعه قرار می‌دادیم و اکنون دغدغه این را داشته باشیم که کشاورزی که میلیون‌ها نفر حول آن شکل گرفته، بدون راندمان است. باید برای اینکه این افراد چه کار کنند، برنامه‌ریزی کنیم و آن‌ها را به سمت صناعی که قابلیت توسعه دارند، هدایت کنیم. به طور کلی، ما باید برنامه‌های کلان و توسعه کشور را بر مبنای این واقعیت قرار دهیم که این جوامع و افراد به تدریج در حوزه‌های دیگر جذب شوند، به ویژه در بخش خدمات و صنعت که بهره‌وری و درآمدزایی بالاتری نسبت به کشاورزی

معیشتی دارد. بنابراین، اگر یک چاه ۳۰ لیتری را در نظر بگیریم، ارزش آن به گونه‌ای است که کسی که سرمایه‌گذاری روی این کریدور کرده است، می‌تواند این چاه را تعطیل کند تا با قیمت بالاتری از کشاورز خریداری کند و به جای ۳۰ لیتر، ۱۰ لیتر را به خط کریدور انتقال دهد. این جزو محورهای بررسی بازار آب آبی ما خواهد بود و این اتفاقات تبعات خود را خواهد داشت که باید مدیریت شود. بحث بازار آب به نوعی در برنامه هفتم توسعه مطرح شده است و آیین‌نامه اجرایی آن نیز توسط وزارت نیرو در حال تدوین است. ما به صنایعی که در حال حاضر سرمایه‌گذار این بخش از آب کریدور هستند، توصیه کردیم که حتماً در آیین‌نامه اجرایی بازار آب ورود کنند. با توجه به اینکه طرح‌های بزرگ انتقال آب دریا در سطح چند صد کیلومتر در کشور در حال انجام است، ایده‌های دیگری نیز در قبال این قضیه وجود دارد که باید به نাত্রازی آب و انرژی توجه شود.

سوال- همانطور که اشاره کردید، در ابتدا کشاورزی به عنوان محور توسعه انتخاب شد، در حالی که این موضوع در کشوری که کشاورزی سابقه طولانی ندارد، به نظر می‌رسد که به صورت آگاهانه یا ناآگاهانه مسیری را ایجاد کرده که ما را به یک بن‌بست رسانده است. در این بن‌بست‌ها، راهکارهای کوتاه‌مدت و سریع از جمله انتقال آب به ما ارائه می‌شود. زمانی که ما برای مدیریت مصرف آب صحبت می‌کنیم، متوجه می‌شویم که زمان زیادی برای این کار نیاز داریم، اما در مقابل، راه‌های کوتاه‌مدت برای تأمین آب وجود دارد. یکی از دوستانم می‌گفت که برای آن کودک روستایی در سیستان و بلوچستان که نیاز به یک لیوان آب دارد، چه کاری می‌توانم انجام دهم؟ آیا باید بحث آمایش سرزمین را انجام دهم؟ این کودک در حال حاضر به آب نیاز دارد. بنابراین، بهترین کاری که می‌توان انجام داد، این است که ما به طور خواسته یا ناخواسته، آگاهانه یا ناآگاهانه به سمتی رفته‌ایم که چنین طرح‌هایی بتوانند توجیه‌پذیر باشند و از این طرح‌ها حمایت و پشتیبانی کنیم. در واقع، نظر من این است که این مسیر ما را به سمتی سوق داده که نیاز به این طرح‌ها را ایجاد کرده است. اصل قضیه این است که ما باید بر مبنای توسعه پایدار پیش برویم. حرف شما درست است که اگر ۱۲۰ درصد برداشت از آب تجدیدپذیر داریم، یعنی سه برابر مبنای توسعه پایدار، باید همان ۴۰ درصد را برداشت کنیم. اما اگر به نحوی دیگر به این موضوع نگاه کنیم، ممکن است لزومی نداشته باشد که بر روی کشاورزی تمرکز کنیم و باید به سمت واردات برویم یا در جاهایی که امکان دارد، از بیرون آب تأمین کنیم. سیاست‌های کلی در واقع ما را به اینجا رسانده است که طرح‌های زودبازده از نظر زمانی، به راحتی توسط کسانی که متولی یا ایده‌پرداز این طرح‌ها هستند، توصیه می‌شود. به هر مسیری که می‌رویم، می‌گویند همین است و طرح‌های زیربنایی

که باید انجام شوند، نادیده گرفته می‌شوند. در عوض، بیشتر به طرح‌های کوتاه‌مدت که زودتر اجرا می‌شوند، توجه می‌شود. خواستم نظر شما را در این زمینه بدانم؟

این سرفصل‌هایی که شما برشمردید، بحث‌های درستی است و هیچ مناقشه‌ای در این زمینه وجود ندارد. کشور به هر صورت نیاز به دو میلیارد متر مکعب آب جدید برای برنامه‌های توسعه‌ای خود، شامل توسعه صنعت و توسعه بخش خدمات، دارد و نه کشاورزی. این طرح‌ها به هیچ وجه برای کشاورزی نیستند، مگر به صورت بسیار محدود برای کشاورزی صنعتی و گلخانه‌ای با درآمدزایی بالا. در غیر این صورت، اگر قیمت تمام‌شده آب را در نظر بگیریم، قطعاً هر بخش خصوصی ملاحظه خواهد کرد که بی‌دلیل خود را درگیر این حوزه نکند، زیرا باید پاسخگوی هزینه‌های آب ۳ یا ۴ یورویی باشد. دولت اگر برای تأمین آب شرب برنامه دارد، باید در برنامه‌های تأمین مالی خود فکری کند، زیرا قیمت این آب در هر صورت ۳ یا ۴ یورو خواهد بود. صنعت و خدمات این قیمت را می‌پذیرند، اما کشاورزی بنیه‌اش را ندارد که این هزینه‌ها را بپذیرد. آیا این رویکرد و این شرایط در راستای نقطه نظر شما نیست؟ به نظر می‌رسد که یک اشتباهی در ابتدای انقلاب در توسعه جدید خدمات و توجیه‌پذیری خدمات و کشاورزی ایجاد شده است. ما اعتقاد داریم که کشور نیاز دارد و نمی‌توان کشور را تعطیل کرد. شما اعتقاد دارید که باید به دنبال سیاست‌های کوتاه‌مدت باشیم تا این مشکلات را حل کنیم. به نظر من، بخش خصوصی که باید چرخ خود را بچرخاند، در این زمینه نقش مهمی دارد. دولت بنا بر ملاحظات می‌تواند کمک کند، اما باید توجه داشته باشد که سهمی که ناچاراً باید برای تأمین آب شرب خود بپردازد، نباید به کشاورزی اختصاص یابد. در واقع، وقتی می‌گوییم آب شرب، باید یک مدل مالی خاصی را در نظر بگیریم. فرض کنید قیمتی که برای آبی که در اختیار مصرف‌کننده شهری قرار می‌گیرد، قیمت واقعی و تمام‌شده آب باشد. آب را به ما می‌فروشند. اگر قیمت آب ۵ یورو باشد، آیا کسی می‌تواند آب ۵ یورویی را از شما بگیرد که هزینه تصفیه هم به آن می‌خورد؟ در حال حاضر، متر مکعب آبی با قیمت ۳۰۰، ۴۰۰ یا ۵۰۰ تومان وجود دارد و این آب ۵۰۰ تومانی را می‌برند و به کسی می‌فروشند. چرخه اقتصادی ما به طور کلی دچار اختلال است و بر اساس این چرخه اقتصادی، هیچ چیزی سر جای خودش نیست. ما برای بخش خصوصی، صنعت، خدمات و بخش‌های مربوط به آن نیاز به سرمایه‌گذاری داریم و باید حمایت‌های دولت را در نظر بگیریم. حداکثر برای تأمین آب شرب در شرایط بحرانی، یک سرمایه‌گذاری باید انجام شود و باید از این طرح‌ها حمایت کرد. در نهایت، باید در قالب ریل‌گذاری جدید کشور بر روی طرح‌های توسعه حرکت کنیم.

چاقوی دولبه انتقال آب دریا: ارتقای تاب‌آوری سرزمین یا افزایش آسیب‌پذیری؟

از آغاز قرن دوازدهم شمسی و با ورود مدرنیسم به ایران، که مقارن با رشد تصاعدی جمعیت و توسعه اقتصادی بود، حجم بهره‌برداری از منابع آب کشور نیز فزونی یافت. در این دوره، پیاده‌سازی اصل چهار ترومن^۲ همراه با اهرم‌های اقتصادی و فناوریانه در کشور موجب آغاز دوره «ماموریت هیدرولیکی»^۴ در مدیریت منابع آب شد. در همین راستا، مدیریت متمرکز دولتی بر منابع آب با تأسیس بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۲۲ و سپس تشکیل وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲ آغاز شد. ساخت سدهای بزرگ کرج، سفیدرود و دز از جمله اقداماتی است که در این دوره انجام شد. طرح‌های انتقال آب نیز در همین دوره و مبتنی بر رویکرد^۵ ماموریت هیدرولیکی تعریف شدند. یکی از اولین قوانین مربوط به آب در کشور، «قانون اجازه الحاق آب کوهرنگ به زاینده‌رود» است که در سال ۱۳۰۱ به تصویب رسید و در آن برای انتقال آب کوهرنگ به زاینده‌رود بودجه‌ای تعیین و به موجب آن استقراض محلی نیز برای انتقال آب انجام شد. ساخت تونل آب بر فومن به عنوان «بزرگترین تونل آبی جهان» با هدف انتقال آب از سد سفیدرود جهت آبیاری اراضی فومن نیز از جمله اقداماتی بود که پس از تشکیل وزارت آب و برق انجام شد و آب را از حوضه سفیدرود به حوضه تالاب انزلی انتقال می‌دهد.

انتقال آب از دریا به استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی، کرمان و یزد نیز در ادامه رویکرد ماموریت هیدرولیکی انجام شده یا در دست انجام است. بررسی آمارهای رسمی کشور نشان می‌دهد این پنج استان، از جمله استان‌هایی هستند که بیشترین چالش را در زمینه منابع آب دارند. مجموع کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی این پنج استان معادل ۷۵ میلیارد متر مکعب است. بدین ترتیب حدود ۵۲ درصد از کل کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی کشور مربوط به این استان‌هاست. از سوی دیگر برنامه‌ریزی شده است که آب انتقالی از دریا در بخش‌های شرب و صنعت مورد مصرف قرار گیرد.^۶ در چنین شرایطی سوالاتی در خصوص طرح‌های انتقال آب از دریا قابل طرح است که پاسخ به آنها راهگشا خواهد بود:^۷

۱- بیش از ۹۱ درصد از برداشت آب‌های سطحی و زیرزمینی در استان‌های مذکور در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد. بدین ترتیب تنها با صرفه‌جویی ۱۰ درصدی در مصرف آب بخش کشاورزی امکان تأمین کل مصرف شرب و صنعت در این استان‌ها قابل حصول است و تنها با ۱۵ درصد کاهش

مصرف بخش کشاورزی، معادل با میزان آب هدف‌گذاری شده برای انتقال به استان‌های مذکور صرفه‌جویی می‌شود. بنابراین با توجه به هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی قابل‌توجه طرح‌های شیرین‌سازی و انتقال دریا این پرسش مطرح است که چرا اجرای چنین طرح‌هایی به کاهش ۵ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی ترجیح داده می‌شود؟

۲- طبق آخرین سالنامه آماری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، حجم آب به حساب نیامده در بخش خانگی شهری در استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، کرمان و یزد در سال ۱۴۰۲ مجموعاً ۲۲۵ میلیون متر مکعب بوده است. حجم آب به حساب نیامده در بخش تأمین آب خانگی روستایی نیز در همین سال معادل ۱۴۵ میلیون متر مکعب بوده است. در صورتی که درصد آب به حساب نیامده در این استان‌ها به ۲۰ درصد برسد، ۱۳۷ میلیون متر مکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد و در صورتی که آب به حساب نیامده به ۱۵ درصد برسد، قریب به ۲۰۰ میلیون متر مکعب صرفه‌جویی به همراه خواهد داشت. چرا به جای تأمین آب از طریق شیرین‌سازی آب دریا، به سراغ چنین راهکارهایی نمی‌رویم؟

۳- آیا طرح انتقال آب دریا به فواصل چندصدکیلومتری موجب افزایش آسیب‌پذیری در مقصد انتقال آب نخواهد شد؟ تجربه طرح‌های انتقال آب نشان داده است که این طرح‌ها نه تنها به کاهش مشکلات در مقصد کمک نکرده‌اند بلکه موجب تشدید تقاضا شده و در نتیجه مسأله را پیچیده‌تر کرده‌اند. برای مثال انتقال آب برای شرب و صنعت به دشت مشهد از جنبه اجتماعی می‌تواند منجر به افزایش مهاجرپذیری و افزایش حاشیه‌نشینی در این شهر شده و تقاضا را به شکل فزاینده افزایش دهد. به گونه‌ای که میزان افزایش تقاضا حتی از میزان آب انتقال یافته نیز فراتر برود و در چنین شرایطی آسیب‌پذیری دشت مشهد (که یکی از بحرانی‌ترین دشت‌های کشور بوده و مانند بسیاری از دشت‌های کشور با فرونشست زمین نیز مواجه است) افزایش خواهد یافت. بدین ترتیب راهکاری که باید منجر به تاب‌آوری بیشتر شود، می‌تواند اثر معکوس بگذارد.

۴- موضوع دیگری که در خصوص طرح‌های شیرین‌سازی و انتقال آب دریا باید مد نظر قرار داد، بحث انرژی است. انرژی مورد نیاز برای آب‌شیرین‌کن‌ها و تجهیزات انتقال آب چه میزان است و وابستگی متقابل آب و انرژی (و در نگاهی وسیع‌تر آب-انرژی-غذا) چگونه مدیریت خواهد شد؟ به نظر می‌رسد تأمین آب از این طریق موجب خواهد شد مسأله تأمین انرژی جایگزین مسأله تأمین آب شود. بنابراین برخلاف تصور که با استفاده از این فناوری می‌توان از چالش‌های اجتماعی-سیاسی کمبود منابع رها شد، چالش‌های کلان اجتماعی-سیاسی

مدیریت آب دارای ابعاد تازه‌ای خواهند شد و محدودیت تأمین انرژی در آن نقش جدی خواهد داشت.^۸

۵- شیوه تأمین مالی این طرح‌ها چگونه است؟ در حال حاضر شرکت‌های سرمایه‌گذار آب شیرین‌کن، نزدیک به ۹ هزار میلیارد تومان مطالبه معوقه از دولت دارند که عمده این مبلغ مربوط به خرید تضمینی آب از سال ۱۴۰۱ تاکنون است. بسیاری از این شرکت‌ها در حال حاضر در آستانه ورشکستگی قرار دارند. در چنین شرایطی تأمین مالی این طرح‌ها چگونه میسر خواهد بود؟

۶- با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری، تأمین آب شرب از طریق انتقال آب حاصل از شیرین‌سازی آب دریا، چگونه مقرون به صرفه خواهد بود؟ هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری به دلیل مشکلات مربوط به تأمین غشا، افزایش مداوم شوری آب ورودی، خوردگی تأسیسات و مشکلات تأمین مالی که پیش‌تر ذکر شد، هرساله رو به افزایش است. در چنین شرایطی قیمت آب تولید و منتقل شده از دریا نیز بسیار قابل توجه خواهد بود. حتی اگر کمترین برآورد در این زمینه را در نظر بگیریم، آیا استفاده از راهکارهای کنترل مصرف نسبت به تأمین آب از دریا مقرون به صرفه‌تر نخواهد بود؟

۷- تبعات اجتماعی پروژه‌های انتقال آب از دریا در طول مسیر انتقال چگونه مدیریت خواهد شد؟ آیا گران‌قیمت بودن آب تأمین شده از این روش موجب شکاف عدالت اجتماعی و تشدید اختلاف طبقاتی نخواهد شد؟ آیا کشاورزی که در مسیر انتقال قرار دارد و با مشکل تأمین آب مواجه است در خصوص انتقال آب بی‌تفاوت خواهد بود؟ برای یادآوری، در خصوص انتقال آب کانی سیب به دریاچه ارومیه شاهد بودیم که کشاورزان به برداشت غیر مجاز از خط انتقال مبادرت کردند.

۸- آیا در طراحی این طرح‌ها به مسئله محیط زیست به عنوان یکی از جنبه‌های مهم مسئله پرداخته شده است؟ تأثیر تأسیسات آب شیرین‌کن بر افزایش شوری خلیج فارس و دریای عمان چه میزان است؟ آیا بر کسب و کار ساکنین حاشیه خلیج فارس و دریای عمان (به طور خاص صیادان) تأثیر خواهد داشت؟ در صورتی که تأثیر بر شوری خلیج فارس جدی است، چه اقداماتی در این خصوص انجام شده یا در دست انجام است؟ آیا اقدامی جهت امضای معاهده چندجانبه با کشورهای حاشیه خلیج فارس، که اتفاقاً حجم قابل توجهی از تأسیسات آب شیرین‌کن نیز در دست بهره‌برداری دارند، صورت گرفته است؟ از طرف دیگر با توجه به اینکه تأمین انرژی در کشور متکی به نیروگاه‌های سوخت فسیلی است، تأمین انرژی این طرح‌ها بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای چه تأثیری خواهد داشت؟

۹- در یک نگاه آینده‌نگرانه، مثلاً در افق ۱۵-۲۰ ساله، با توجه به مشکل تأمین مالی و هزینه فزاینده تعمیر و نگهداری، چه برنامه‌ای برای تداوم عملکرد و توجیه‌پذیری اقتصادی آب شیرین‌کن‌ها و تأسیسات انتقال آب اندیشیده شده است؟ آیا در صورت فقدان چنین برنامه‌ای دور از ذهن نیست که تمام تأسیسات و زیرساخت‌های ایجاد شده در آینده نزدیک متروکه و بلااستفاده شوند؟

۱۰- سوال بسیار مهم پایانی این‌که: ذی‌نفعان مختلف و ساکنین مناطق فلات مرکزی و شرق کشور در تصمیم‌گیری برای انتقال آب دریا، چه نقشی داشته‌اند؟

تردیدی نیست که استفاده از آب شیرین‌کن‌ها به منظور تأمین آب در مناطق ساحلی (از جمله استان سیستان و بلوچستان) راهکاری مهم برای افزایش تاب‌آوری و ارتقای امنیت آبی است. اما انتقال آب دریا به نواحی درون سرزمین، روشی برای تأمین دائمی آب نیست و علاوه بر مسائل اجتماعی و محیط‌زیستی، مسأله آب را در مناطق مقصد انتقال پیچیده‌تر خواهد کرد. در مناطق درون سرزمین بهره‌گیری از روش‌های مدیریت تقاضا مانند کاهش مصرف در بخش کشاورزی، ارتقای بهره‌وری، بازچرخانی آب در بخش صنعت، کاهش آب به حساب نیامده و ...، ساده‌تر، کم‌هزینه‌تر و پایدارتر خواهد بود.

پیش از اقدام به انتقال آب دریا ضروری است که سوالات مطرح شده، و سوالاتی از این دست، به صراحت و به‌درستی پاسخ داده شوند. در غیر این صورت انتقال آب دریا، نه تنها کمکی به حل مسأله آب در کشور نخواهد کرد، بلکه منجر به ایجاد مسائل جدید و تهدید پایداری سرزمین خواهد شد. به عبارت دیگر، هزینه‌هایی گزاف متقبل خواهیم شد تا سرزمین خود را به دست خود، ویران کنیم.

>> دکتر حسین انصاری:

سوال- جناب دکتر شما به عنوان یکی از پیشگامان و طراحان طرح انتقال آب از دریای عمان به مشهد و نیز با توجه به تخصص شما در حوزه کشاورزی، لطفاً تحلیل و نظر خود را در مورد طرح انتقال آب که در حال اجرا برای رساندن آب به مشهد است، بیان کنید.

اجازه دهید ابتدا توضیح دهم طرح موضوع انتقال آب از دریای عمان از کجا شروع شد، به چه دلیلی منحرف شد و اینکه نهایتاً بحث انتقالی که مدنظر بود - و حداقل ما به عنوان دانشگاهیان دنبال اجرای آن بودیم- با آنچه الان در حال اجرا هست، آیا تفاوتی دارد یا اهداف متفاوتی داشته است؟ زمانی که مدیر اتاق فکر استان در مرکز بررسی‌های استراتژیک در سال ۱۳۹۳ بودم، بحثی به صورت مشخص دنبال شد که ریشه در گذشته داشت. این بحث ادامه مباحث تأمین آب مشهد بود. از زمانی که قرار شده بود آب از سد دوستی به

مشهد منتقل شود، مباحث جدی مطرح شده بود و درستی یا نادرستی طرح‌های تأمین آب مشهد، مورد سوال بود. به عنوان مثال طرح انتقال آب از سد دوستی بارها در کلاس‌های اقتصاد مهندسی برای دانشجویان به عنوان یک پروژه غیراقتصادی مورد نقد قرار گرفت. برای سال‌ها در زمان اجرای این پروژه، دانشجویان از اقتصادی بودن و نبودن این پروژه پرسش می‌کردند و بعد این پاسخ «که تأمین آب مشهد از طریق این پروژه، از نظر اقتصادی توجیه ندارد»، این سوال مطرح می‌شد که چرا با اینکه این پروژه غیراقتصادی است و در برخی از زمان‌ها، اجرا به دلیل کمبود منابع مالی یا هر دلیل دیگری متوقف است، اجرای آن متوقف نمی‌شود؟ پاسخ این بود: اگرچه بهتر است جلوی ضرر از هر جا گرفته شود و عملاً این اقدام، یک تصمیم اقتصادی است، شخص مسئولی را نمی‌شناسم که شهادت اعلام مخالفت جدی و توقف این طرح را داشته باشد و جلوی این پروژه که برای مدتی نیمه‌کاره رها شده بود، را بگیرد. بنابراین اجرای این پروژه ادامه پیدا کرد تا اینکه آب سد دوستی از طریق این خط به مشهد رسید و برای افتتاح به عنوان یک سند افتخار، افراد و مسئولین زیادی ابراز همکاری و همراهی داشتند و بعد هم تاکنون از این پروژه به عنوان یک گزینه مطمئن تأمین آب یاد می‌شد و یاد می‌شود و در همه زمان‌ها به عنوان یک طرح موفق، تبلیغات زیادی برای آن تدارک و هزینه شد، اما نهایتاً هیچ‌وقت، هیچ فرد یا گروهی، ارزیابی دقیق فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی این پروژه را مورد بررسی قرار نداد. این موضوع را طرح کردم تا با یک پیش زمینه وارد بحث خط انتقال آب عمان و ماجرای تأمین آب مشهد، که قصه پر غصه‌ای است، شوم. به هر صورت پس از این‌که با انتقال آب از سد دوستی، مجدداً بحث و چالش تأمین آب مشهد سر زبان‌ها افتاد با اینکه سر زبان‌ها انداختند و مجدداً مشهد در برخی زمان‌ها با مشکل کمبود آب مواجه شد، موضوع انتقال آب از تاجیکستان به عنوان پروژه‌ای عجیب؛ اما عملیاتی در دستور کار قرار گرفت و وزیر نیرو هم در دولت دهم، ترک تشریفاتی برای انجام مطالعات انتقال آب از تاجیکستان صادر کرده و مطالعات شروع شده بود که بحثی با عنوان تونل انتقال انرژی را هم حداقل در فضاهای گفتگوی عمومی در بر گرفته بود. از شروع مطالعات مدتی گذشته بود که این اشتباه عجیب سیاست‌گذاری در تأمین آب یک کلان‌شهر مذهبی از خارج مرزها، به جد به عنوان یک اشتباه استراتژیک چالش‌ساز، در آن زمان مورد نقد قرار گرفت و از اینجا بود که مجدداً به مباحث تأمین آب مشهد و مباحث انتقال آب به نوعی وارد شدم. چون جدای از دیگر بحث‌های تخصصی حوزه آب در اتاق فکر، مورد بحث کارگروه آب اتاق فکر استان خراسان رضوی شده بود. خوشبختانه به دلیل موقعیتی که برای

بخشی از دانشگاهیان و خبرگان حوزه آب در استان در اتاق فکر به وجود آمده بود و از پیش هم نقد طرح تأمین آب مشهد از سد دوستی مطرح بود، علاوه بر کارگروه آب، کارگروه‌های دیگری هم در اتاق در حوزه امنیت غذایی و خشکسالی و حوزه امنیت استان و بحث‌های اجتماعی و اقتصادی، درگیر مباحث مرتبط با مدیریت منابع آب شده بودند و همیشه در اکثر کارگروه‌ها این بحث وجود داشت که شرق کشور به جهت کمبود منابع آبی، از لحاظ امنیتی، اقتصادی و اجتماعی دچار چالش‌ها و تهدیدهای بسیاری است و از طرفی هم ما جنوب خراسانی‌ها، تخلیه روستاها، تشدید مشکلات قاچاق و چالش کاهش سطح امنیت را با دل و جان تجربه کرده بودیم و به نوعی دغدغه شخصی شده بود. در راستای مباحث قبلی، با همکاران مجدداً به این موضوع ورود کردیم که چگونه می‌توان با توسعه آب محور در شرق کشور و به ویژه استان خراسان رضوی، این بار موضوع را از تأمین آب مشهد فراتر برد و به فکر ارتقای سطح امنیت شرق کشور بود. در همین اثنا بود که در کنار بحث‌های انتقال و تأمین آب، طرحی را با عنوان «شبکه ملی آب ایران با تمرکز بر شرق کشور» مطرح کردم. بحث متمرکز بر این موضوع بود که باید در شرق کشور مانند شبکه برق، گاز و تلفن، یک شبکه ملی تأمین آب شرب داشته باشیم که روستاها و سکونتگاه‌های مرزی و غیرمرزی برای تأمین امنیت مرز و شرق کشور و نهایتاً توازن سکونت منطقه‌ای، مشکل تأمین آب شرب و صنعت نداشته باشند. البته در کنار این مهم، در درجه بعدی بحث ترانزیت جاده‌ای مرز و مباحثی از این قبیل نیز مطرح بود. این مسأله همزمان با بحث انتقال آب از تاجیکستان مطرح شده بود؛ لذا در آن زمان و در ادامه دغدغه بحث تأمین آب و ورود ما به طور مشخص‌تر به طرح‌های انتقال آب، بحث خط انتقال آب عمان و حتی بحث خط انتقال آب از عمان و خزر و اتصال این دو به هم در مسیر مرز را در دانشگاه و در مهندسين مشاور هیدروتک توس با کمک کارشناسان مطرح کردیم و با هم‌فکری آقای دکتر داوری ترتیب مذاکره‌ای با آقای دکتر نی‌ریزی مدیرعامل مهندسين مشاور طوس آب داده شد تا گفتگویی برای عملیاتی کردن مطالعات خطوط انتقال آب داشته باشیم. اما با هدفی خارج از بحث صرفاً تأمین آب شرب یا صنعت. چون به این جمع‌بندی رسیده بودیم که اولاً باید بخش‌های بزرگ مشاوره‌ای استان و کشور را همراه کرد و ثانیاً برای توسعه شرق و نهایتاً تأمین امنیت مرز شرقی، باید اقدامات مشخصی مبتنی بر تأمین آب انجام داد. جدای از این بحث در مرکز بررسی‌های استراتژیک موضوع انتقال آب از تاجیکستان به مشهد نیز به عنوان یک چالش جدی به کمک اتاق فکر استان، در دستور کار قرار گرفته بود. در آن زمان این

موضوع به جد مطرح شد که چگونه امکان دارد تفکراتی، تأمین آب شرب مشهد به عنوان پایتخت معنوی جهان اسلام، را به تأمین آب از افغانستان و تاجیکستان وابسته کند؟ در این خصوص جلسات عمومی، تخصصی علنی و غیرعلنی شکل گرفت و نهایتاً این مهم، منجر به این سوالات شد که چه شرایطی باعث شده که به دنبال انتقال آب از خارج مرز از جمله تاجیکستان برای تأمین آب شرب مشهد باشند و تا چه سطحی این اقدامات می‌تواند چالش‌ساز باشد. سوال این بود که این موارد به عنوان بحث‌های هیدروپولماسی تا چه حد می‌تواند سطح روابط ایران با کشورهای همسایه مانند افغانستان و تاجیکستان را تحت تأثیر قرار دهد؟ سوال بعدی این بود که با توجه به مسیر انتقالی که مطرح شده بود، آیا می‌توان آب را از چنین مسیر پرتنش و پر حاشیه‌ای برای تأمین آب شهر مشهد مدنظر قرار داد؟ به‌طور مشخص در خصوص تأمین آب شرب، جواب منفی بود. البته همیشه این سوال هم در ذهن من مطرح بوده و هست که چرا با اینکه سطح مصرف آب شرب یا همان هدررفت آب از منابع سطحی و زیرزمینی بسیار پایین است و بخش عمده برداشت آب برای آب شرب مجدداً به منبع برگشت می‌کند، باید به دنبال ابرپروژه‌های عمرانی با هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری بود، در حالی که می‌دانستم عملاً تأمین بخش مصرف آب شرب از طریق انتقال و پروژه‌های سرمایه‌گذاری کلان، نه فنی است و نه اقتصادی. لذا مجدداً تأکید موکد می‌کنم بحث من در حوزه انتقال آب صرفاً بر مصرف شرب متمرکز نبود، چون کاملاً به این امر واقفم که مشخصاً تخلیه مخزن آب «چه سطحی و چه زیرزمینی» به وسیله مصرف شرب (البته نه برداشت و تأمین آب شرب)، تخلیه چندان نیست و حجم آن به نسبت حجم آب تجدیدپذیر ناچیز است؛ لذا اعتقاد داشته و دارم که با عنایت به میزان حجم آب تجدیدپذیر استان خراسان رضوی به خصوص حوزه آبی قره قوم و دشت مشهد، تأمین این بخش تأثیر چندان بر موجودیت و بحران منابع آب سطحی و زیرزمینی این منطقه نداشته و ندارد که خواسته باشد بحران‌ساز شود. بنابراین باید عنوان داشت که تأمین صرفاً بخش مصرف آب شرب شهر مشهد، در سطحی نیست که برای تأمین آن نیاز باشد تا به سراغ پروژه‌های پرهزینه و پرچالشی مانند طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای رفت. به هر صورت بعد اقدامات فراوان در اتاق فکر و مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهوری مشخص شد که انتقال آب از تاجیکستان برای تأمین آب شرب شهر مشهد، یک خطای استراتژیک تصمیم‌سازی مقطعی بوده و به همین جهت و به دلیل اهدافی دیگری که در موضوع انتقال آب در مرز شرقی مطرح بود، ایده انتقال آب از عمان در حاشیه طرح‌های انتقال آب به فلات مرکزی به‌صورت جدی

مدنظر قرار گرفت. البته به همراه ایجاد شبکه ملی آب ایران با تمرکز بر شرق برای تأمین آب روستاها، سکونت‌گاه‌ها به ویژه سکونتگاه‌هایی که درحال تخلیه بودند. بحث دیگر این مسأله، تأمین سرمایه برای این ایده پرهزینه و بزرگ بود. در کنار این مهم، در کارگروه اقتصادی اتاق فکر بحثی تحت عنوان عدم پیشرفت پروژه‌های فولادی شرق کشور و نیز عدم اجرای مناسب پروژه‌های مرتبط با توسعه معادن سنگان خواف که از آن به عنوان «عسلویه شرق کشور» در سخنرانی در ستاد اقتصاد مقاومتی یاد کردیم، نیز مطرح بود. در همین راستا برای تأمین هزینه خط انتقال موضوعاتی دیگری هم مطرح شد که به دلیل کمبود منابع آب در شرق از یک سو و از سوی دیگر شرکت‌های مستقر در سنگان که معادن عظیم استخراج و برداشت سنگ آهن را در اختیار داشتند و گردش مالی بالایی را نیز برای این شرکت‌ها در استان به همراه داشت، به جهت اینکه برداشت این منابع می‌تواند خسارت‌هایی به ویژه در حوزه زیست‌محیطی به همراه آورد، لذا می‌توانند و می‌باید بخشی از تأمین هزینه انتقال آب در مرز شرقی را مدنظر قرار دهند که خود بحث مفصلی دارد. همزمان بحث دیگری مطرح بود که دولت طرحی در دستور اقدام دارد به نام انتقال کارخانه‌های فولاد به حاشیه دریا. مجدداً این سوال مطرح شد که آیا تاکنون مطالعات دقیقی در این خصوص انجام شده که توسعه فولاد در شرق کشور به چه مقدار آب نیاز دارد؟ آیا انتقال آب از دریا ارزان‌تر است یا انتقال خاک به کنار دریا؛ قاعداً پاسخ این بود که در صورت اصرار بر انتقال خاک در مقام مقایسه قطعاً انتقال آب ارزان‌تر است. به طور کلی در حوزه حمل و نقل کالاها، حمل و نقل آبی با مکانیزم‌های انتقال سیال، ارزان‌ترین شیوه‌های حملی و نقلی کالا چه سیال و چه غیرسیال است. لذا این مهم و ایده پررنگ‌تر شد که اگر شبکه ملی آب در شرق اجرا شود، می‌توان آب را به منطقه خواف و سنگان آورد تا اجباری به انتقال خاک با هزینه‌های بالای حمل و نقلی و محیط‌زیستی نباشد. جدای از اینکه، مرتباً این سوال مطرح بود که کدام یک از این روش‌های انتقال (انتقال آب از دریا به خواف و یا انتقال خاک از خواف به کنار دریا)، اقدام بهتری در حفظ اکوسیستم شرق کشور است؟ به نظرم اینجا بود که بحث مشارکت شرکت‌های فولادی در بحث انتقال آب مطرح شد و به ویژه مشارکت آنها در بحث توسعه شبکه ملی آب ایران در شرق. به هر صورت برای کاهش هزینه‌های شبکه ملی آب با تمرکز بر شرق و ارتقای سطح امنیت مرز شرقی، بحث خط انتقال آب از عمان در حاشیه مرز شرقی به طور جدی در دستور کار قرار گرفت -البته این مباحث موضوعاتی است که صرفاً به اقدامات ما و اتاق فکر مرتبط بود، قطعاً مباحث و موضوعاتی در سطوح دیگر و در بخش‌های دیگری

هم در حال مذاکره و بحث بود که من ورودی به آنها ندارم، چون اطلاع کاملی از آنها نداشته و ندارم- یک موضوع حاشیه‌ای مرتبط دیگر هم نیاز است در اینجا طرح شود که شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی، سیاسی، اقتصادی و استراتژیک ایران هیچ تناسبی با اکثر کشورهای پیشرفته و در حال پیشرفت دنیا ندارد که بتوان تجربیات، مباحث و موضوعات تخصصی و دانشی مرتبط با مدیریت منابع آب، انتقال و تأمین آب را از این کشورها به ایران منتقل کرد، بلکه کلیه این موضوعات نیاز است متناسب با شرایط ایران مدنظر و مورد تحلیل و مذاقه قرار گیرد. شاید بتوان برخی موضوعات آبی در ایران را به لحاظ شرایط اقلیمی و سطح فعالیت‌های اقتصادی آب‌محور به ویژه در حوزه کشاورزی صرفاً با کشوری مانند مصر تطابق داد که البته باید یادآور شد مصر هم رودخانه دائمی مشابه نیل دارد که ما در ایران از این چنین منبع آبی سطحی شیرینی در طول یا عرض کشور، بی‌بهره هستیم. جدای از اینکه باید اشاره کرد که مسائل و موضوعات اقتصادی، سیاسی و امنیتی ایران، بسیار فراتر از بحث‌هایی است که بخشی از آن در ارتباط با حوزه انتقال آب در این گفتگو مطرح شد. اما برگردم به بحث اصلی و اینکه باید عرض کنم با عنایت به موضوعات فوق، در ادامه بحث اقدامات، در این مقطع زمانی، یعنی همان سال‌های ابتدایی دهه ۹۰ بود که ورود سازمان‌ها، مسئولین، نهادهای مشاوران و پیمانکاران به بحث انتقال آب شرق به طور جدی اتفاق افتاد که متأسفانه تقریباً چندان آشنایی با پس زمینه موضوع نداشتند و در جریان سطح و سطوح مباحث و ایده‌های تأمین و انتقال آب شرب نبودند و این مهم، تقریباً سرآغاز انحراف جدی در بحث‌های مرتبط با انتقال آب در شرق و به‌ویژه در استان خراسان رضوی شد و به‌نوعی ایده خاص خط انتقال آب عمان با اهدافی خاصی که داشت، به شکل دیگری تقریباً مصادره به مطلوب توسط گروه‌های خاص شد. اگرچه شخصاً طرح اولیه و ایده انتقال آب از عمان با اهداف مورد نظر فوق و با توجه به مباحث فوق را در کنار دیگر همکاران مطرح کرده بودیم (شاید در سازمان‌ها و نهادهای دیگری هم بحث‌ها و ایده‌های موازی در جریان بود که من اطلاعی نداشتیم)، اما در ادامه اینکه چرا از ما خواسته نشد که نظر بدهیم و یا در جلسات، درخواستی برای بررسی موضوعات توسط تیم ایده‌پرداز موضوع مطرح نشد و دیگر دعوتی برای جلسات کارشناسی نداشتیم، بحثی است که همیشه در گوشه ذهن ما، بی‌جواب و بی‌پاسخ مانده است؟ لذا این‌گونه بود که طرح انتقال آب از واقعیت خود-البته از آنچه در ذهن، ایده و طرح مورد نظر ما بود- منحرف شد. البته باید اعتراف کرد که در کشور ما در مواقع زیادی در اجرای پروژه‌های بزرگ و توسعه‌ای، عادت کرده‌اند مسیری را در جهتی خلاف و یا مغایر

با ایده و طرح اول بپیمایند و بعد از سال‌ها، اشتباهات صورت گرفته را به بحث بگذارند. دقیقاً نمی‌توان عنوان کرد که مشکل کجاست که ایده و پروژه‌ای که به خوبی طرح می‌شود، چرا باید منحرف شود؟

نکته حاشیه‌ای دیگر و البته پرچالش را در ارتباط با بحث تأمین آب حوزه‌های مختلف مصرف به‌ویژه شرب مطرح کنم و آن هم اینکه از نظر من به‌عنوان یک متخصص حوزه آب در مناطق خشک، به طور ویژه در ایران به جز مناطق کویری مرکزی و سکونتگاه‌هایی که سفره آب زیرزمینی ندارند، از نظر کمی و کیفی، ما در هیچ موقعیت جغرافیایی در کشور، مشکل چندانی برای بخش صرفاً مصرف آب یا همان Consumption Use یا بخش هدررفت واقعی مفید آب شرب یا حتی آب مصرف صنعت نداریم. مشکل ما در بحث مدیریت منابع آب در ایران در جای دیگری است که به آن نپرداختیم. در همین جا و به‌اختصار باید عرض کنم مشکل ما بحران آب نیست؛ مشکل ما میزان و موجودیت تشعشع بالای خورشیدی و به‌تبع آن میزان بالای انرژی و میزان بالای کمبود فشار بخار اشباع برای تبدیل آب مایع به بخار است که نه در غرب و نه در شرق دنیا مشکل کشورها نیست، بلکه صرفاً موضوع منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا است که مباحث حوزه مدیریت منابع آبی را به شدت تحت تأثیر خود دارد. ایران اگر در تمام این سال‌ها، یعنی پنج یا شش دهه اخیر، در مباحث توسعه‌ای به جای تمرکز بر توسعه کشاورزی باز و نیز به تبع آن در دهه‌های اخیر که در سیستم‌های کشاورزی باز صرفاً تمرکز بر توسعه سیستم آبیاری تحت فشار داشته، تمرکز را بر توسعه کشاورزی زیر پوشش، مدیریت کشاورزی سنتی معیشتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و توسعه و حفاظت مراتع این مناطق، توسعه دامپروری و آبریزپروری قرار داده بود و به‌طور ویژه در سپهر توسعه شرق ایران با درس گرفتن از تاریخ و تمدن این منطقه، توسعه منطقه‌ای آن را بر تجارت و توسعه آب محور (با حفاظت و مدیریت حرفه‌ای منابع آبی برای شرب و صنعت) قرار داده بود، تقریباً هیچ چالشی در بحث آب بخش شرب و صنعت در بخش عمده‌ای از کشور وجود نداشت. البته همین الان هم دیر نیست و مسئولین باید با قدرت و با اتخاذ تصمیمات بزرگ برای حفظ تمدنی منطقه تصمیمات سختی البته نه سخت، تصمیمات واقع‌گرایانه‌ای در این موضوع بگیرند. به عنوان مثال در این بحث اگر به شهر مشهد اشاره‌ای داشته باشیم، می‌دانیم که حدوداً طبق اطلاعات منتشر شده، در حال حاضر بیش از ۲۴۰ میلیون متر مکعب برداشت آب برای تأمین آب شرب صورت می‌گیرد. از این مقدار شاید حدود بیش از ۲۰ میلیون مترمکعب به مصرف آب یا همان Consumption Use یا بخش هدررفت واقعی مفید آب شرب اختصاص دارد.

اگر این اعداد را با یک حساب سرانگشتی بپذیریم، آن وقت سوال این است که چه توجهی دارد که برای توسعه یک هکتار از برخی محصولات کشاورزی در اطراف مشهد باید بیش از ۷ هزار متر مکعب آب در سال مصرف کرد و بعد برای تأمین مصرف ۲۰ میلیون مترمکعبی آب شرب به دنبال انتقال آب از دریا عمان بود، مگر این آب با تعطیلی چند هکتار کشاورزی غیر سودمند و غیراقتصادی در بخش از کشاورزی‌های اطراف مشهد قابل تأمین نیست که باید پروژه‌ای به عظمت انتقال آب از عمان را با شکل و اهداف حاضر در دستور کار قرار داد. اینها سوالات درستی است و باید پاسخ درست هم داده شود وگرنه همیشه ذهن مخاطبین این موضوع و مردم را درگیر خود داشته و خواهد داشت، به ویژه زمانی که کشور در بحران‌های جدی محیط‌زیستی و اقتصادی گرفتار شده است. با این چند داده باید اشاره کرد که متأسفانه مدیران کشور و استان چندان در حوزه حکمرانی دولتی و خصوصی، نهادهای علمی و مدنی، عادت به استفاده از نظام‌های حکمرانی داده مبنا نداشته و ندارند و تقریباً چندان هم با مدیریت دانش محور و مدیریت‌های مبتنی بر توسعه‌های هرم دانایی سازمانی، تصمیم‌سازی و مدیریت نمی‌کنند و نهایتاً تصمیمات خلق الساعه و یا بدون دانش و علم کافی در حوزه‌های مختلف به ویژه مباحث آب، گرفتاری‌های عدیده‌ای به همراه داشته و به دنبال آن هم سوالات و پرسش‌های زیادی را به همراه آورده است.

به هر حال با طرح برخی گفتارهای مرتبط با موضوع انتقال و مدیریت تأمین آب و این گفتگوی دو طرفه باید عنوان کنم که در موضوع انتقال آب دریای عمان، به خاطر عدم رعایت برخی الزاماتی که در بحث مطرح کردم، نظر خاصی برای تأیید یا رد آن ندارم. فعلاً چه بخواهیم و چه نخواهیم در شرایطی که منابع آب زیرزمینی را به این حد از وضعیت فلاکت‌بار دچار کرده‌ایم، به‌طورقطع انتقال آب از دریا، به شرط رعایت الزامات محیط‌زیستی و اقتصادی می‌تواند در برخی مواقع مدنظر قرار گیرد و به‌عنوان یک گزینه مناسبی در برخی از نواحی (البته نه صرفاً با تفکر تأمین آب مورد نیاز برای مصرف شرب)، باعث رشد و ارتقای سطح امنیت و توسعه اقتصادی آب محور ایران شود که متأسفانه تاکنون مطالعات درستی در این خصوص انجام نشده است. شخصاً مدافع پروژه‌های انتقال آبی از دریای آزاد در ایران، به‌دلیل موقعیت خاص سیاسی، استراتژیک و اقلیمی هستم، البته با رعایت اصول و الزاماتش. ایران برای توسعه اقتصادی، سیاسی و امنیتی خود در حال حاضر خواسته یا ناخواسته نیاز به تأمین آب مطمئن و پایدار دارد و انتقال آب از دریای آزاد می‌تواند به عنوان یکی از بهترین راهکارهای توسعه‌ای در بخش‌هایی از کشور باشد. به‌عنوان مثال در شرق

و فلات مرکزی. همانطور که عنوان داشتم بحث انتقال آب از دریای عمان از ابتدای دهه ۱۳۹۰، من را به طور مشخص درگیر موضوع کرده و بحث شبکه ملی آب ایران در شرق برای حفظ سکونتگاه‌ها، توسعه شرق و امنیت مرز شرقی دغدغه شخصی است که به دنبالش بوده و هستم؛ اگرچه ناراحتی خود را از تبدیل شدن طرح شبکه ملی آب ایران به خط انتقالی صرفاً برای تأمین آب صنعت یا شرب، در یک مسیر چند صد کیلومتری یا حتی هزار کیلومتری با اختلاف ارتفاع زیاد بدون رعایت الزامات اساسی فنی، محیط‌زیستی، اقتصادی و سیاسی، ایده و طرح اولیه مطرح شده که برای آن وقت و زمان و هزینه زیادی صرف شد، عنوان می‌کنم، اما امید دارم تصمیمات مرتبط با مدیریت و حفاظت از منابع آب و تأمین آب شرب و کشاورزی به متخصص و اهل فن واگذار شود.

حالا که به‌هرصورت، این طرح شروع شده و در حال انجام است، باید اقداماتی را انجام داد که برخی اثرات نامناسب مدنظر برخی از متخصصین در اجرای این ابر پروژه عمرانی در کشور به حداقل برسد. فعلاً نباید مانع اجرای خطوط انتقال آب در کشور شد، بلکه باید مسیر درست و صواب را طی کرد، البته اگر همتی برای انجام درست کار درست باشد. مشکلات با فوریت باید شناسایی شده و راهکار ارائه شود. راهکارهای بهینه باید براساس مطالعات درست و دقیق انتخاب شده و یا براساس یک تحلیل محتوایی، تحلیل داده و نشست‌های خبرگانی و نخبگانی، تصمیم‌سازی درستی انجام شود. براین اساس و به کمک توسعه نظام حکمرانی هوشمند داده محور، باید اجماع نخبگانی ایجاد کرد. باید به موضوعات و اثرات مثبت و منفی زیست‌محیطی توجه ویژه شود. نیاز است به منفعت‌های اجتماعی اقتصاد منابع آب، توجه خاص شود و الزام است تا برای حفظ تمدن خود به سراغ فعالیت و سازکارهای بوم‌سازگار رفته و آنها را در کنار مباحثی از جنس مباحث انتقال آب در دستور کار فوری قرار داد. بالاخره برای احیای بخشی از زیست‌بوم‌هایی که در این چند دهه تخریب شده‌اند، نیاز به آب است. لذا می‌توان عنوان داشت برای برخی از بخش‌های کشور، انتقال آب، کار صواب و درستی باشد، البته نه صرفاً انتقال آب از دریا. در برخی از بخش‌ها حتی برای بحث توسعه‌های اقتصادی و ارتقای سطح امنیت، از جمله بخش از مرز شرقی و یا مناطقی مانند خواف و سنگان، شاید بهتر باشد در میان‌مدت به جای تمرکز بر انتقال آب از عمان به صنایع منطقه، آب را از محل انتقال پساب شهرهای با جمعیت بالا مدیریت کرد، البته با تأکید بر رعایت الزامات مرتبط به حفظ اکوسیستم و سیاست‌های توسعه پایدار که بحث‌های مفصلی دارد.

در انتها به طور کلی در بحث تأمین و مدیریت آب کشور

هم باید اشاره کوتاهی داشته باشم که ایران کشور بزرگی با پتانسیل بالای اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، محیط‌زیستی و فرهنگی است. موقعیت استراتژیک خاصی دارد و مرکز تجارت غرب به شرق است. کشوری است که به دلیل نیاز کشورهای پیشرفته برای تأمین انرژی مورد نیاز رشد سریع تکنولوژی آنها و برای خرید فرصت زمانی این کشورها برای گذر از انرژی فسیلی به انرژی تجدیدپذیر، مورد هجوم و فشار و تهدیدهای زیادی بوده و هست. لذا ورود به بحث‌های کلان و حکمرانی سطح کلان در حوزه آب نیاز به دقت، دانش و تخصص مرتبط با حوزه و متناسب با شرایط ایران دارد و نمی‌توان مباحث کلان را در سطح رسانه‌ای به بحث گذاشت و ذهن، روح و روان مردم را درگیر موضوعاتی مانند تأمین و بحران آب به عنوان یک کالای اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیستی کرد و سطح دغدغه مردم را بیش از پیش افزایش داد. این متخصصین هستند که باید درست بیان‌دیشند و درست همکاری و همراهی کنند. باید سطح اندیشه‌ورزی و دانش‌محوری را در بدنه تصمیم‌سازی دولت ارتقا داد. نباید اجازه داد که دانشگاه‌های بزرگ و خبرگان و نخبگان از موضوع تصمیم‌سازی‌های اساسی مرتبط با اکوسیستم و محیط‌زیست در کشور دور نگه داشته شوند و نباید موجبات تصمیمات خلق‌الساعه، بدون دانش و تخصص کافی و بدون تناسب با شرایط کلان کشور، را فراهم آورد. نیاز است دانش اندوخته شده در متون علمی، در ذهن متخصصین و تحصیل‌کرده‌های داخل و خارج را براساس هنجارها، ارزش‌ها، داشته‌های تاریخی و تمدنی و موقعیت استراتژیک و اقلیمی خاص کشور حداقل در حوزه مدیریت منابع آب به دانش بومی سیاستی تبدیل کرد. متأسفانه در همین جا باید عرض کرد در تدوین اسناد بالادستی مرتبط با حوزه آب از این مهم بی‌بهره بودیم و عمدتاً تمرکزمان بر دانش وارداتی از سرزمین‌های با اقلیم مرطوب و با سطح هنجارها، ارزش‌ها و نظام‌های حکمرانی متفاوتی بوده است که البته موضوع بحث نیست و خود هم بحث مفصلی دارد. باید پذیرفت که ایران در کمر بند خشک دنیا است، ایران کشوری با ساختار خاص توسعه‌ای است، پس باید برای توسعه پایدار آب‌محور آن هم، خود را مجهز به دانش بومی مناسبی کرد، که این کار نشده است. باید به خبرگان و نخبگان که در این سرزمین تلاش‌ها و مجاهدت فراوانی برای حفظ اکوسیستم خاص کشور کرده‌اند اعتماد کرد. باید سطح تصمیم‌سازی مبتنی بر داده، اطلاعات، دانش و بصیرت به کمک خبرگان و نخبگان ارتقا داده شود که ظاهراً در این امر هم چندان موفق نبودیم. به هر جهت باید توجه داشت که امروز از بحث خط انتقال آب گرفته تا بحث اقتصاد و فرهنگ و امنیت، مباحث زیادی در رسانه‌ها و در بین متخصصین و فعالین مدنی و سیاسی

وجود دارد که به نظر زمان حاضر، شرایط خوبی برای تجزیه و تحلیل‌کردن بعضی از این سیاست‌های و واکاوی اشتباهات گذشته نیست. بخشی از چالش‌ها و بحران‌های امروز کشور در حوزه منابع آب، به دلیل اشتباهات در مدیریت حوزه‌های داخلی توسط بخش‌های دولتی و خصوصی اتفاق افتاده، بخش ناشی از ضعف‌هایی است که در فرآیندهای سازمانی و ساختاری در حوزه تصمیم‌گیری‌های مرتبط با بحث‌های محیط‌زیستی و توسعه پایدار بوده و یا تحریم‌هایی شدیدی که بر کشور تحمیل شده، فضایی برای اتخاذ تصمیمات نادرست در بحث توسعه‌ای مرتبط با زیست بوم ایران را دو چندان کرده و می‌کند. در این شرایط، بهتر است با طمأنینه بیشتر و با دقت بیشتری به تحلیل موضوعات و مباحث تخصصی پرداخت. به نظر زمان آن است که همه متخصصین و سیاسیون همت و کمک کنند تا وفاق ملی در راستای منافع ملی کشور در بحث مدیریت بحران آب شکل بگیرد. شاید این وفاق کمک کند تا رفاه اجتماعی و در نهایت به‌کامی حداقلی برای مردم از محل توسعه آب محور اتفاق بیفتد. مشخصاً در حوزه مباحث آبی در شرق کشور اکثراً در جریان اخبار و موضوعات مرتبط هستند. مباحثی هم در خصوص موضوعات مرتبط با آب‌های مرزی و تأمین حقابه به ویژه در شرق و در حوزه هیرمند و هریرود وجود دارد که با طرح موضوع کوتاه فوق؛ باید بیشتر در گفتارها و مباحث طرح شده در رسانه‌ها و نشست‌های زیست‌محیطی و مدنی دقت کرد. باید بیشتر گفتگو و مذاکره و تفاهم داشت. نباید بیش از پیش با طرح مباحث غیرتخصصی و غیرحرفه‌ای موجبات نابه‌هنجاری‌ها و نگرانی مردم را دامن زد. مردم امروز به آرامش نیاز دارند و این انتظار از خبرگان و نخبگان است تا وظیفه خودشان را به‌درستی عمل کنند، به‌همین جهت سعی شد تا در این گفتگو، طرح موضوعات متفاوت از این نگاه و با همین توجه، مدنظر قرار گیرد.

>> دکتر حجت میان‌آبادی:

من سعی می‌کنم این پروژه را از نگاه کاملاً و صرفاً علمی و مبتنی بر مبانی سیاست‌گذاری پیگیری و مورد بررسی و تحلیل قرار دهم. مسأله‌ای است که در واقع به جد در کشور ما مورد غفلت قرار گرفته است و متأسفانه بحثش به عنوان سیاست‌گذاری را رها کرده‌ایم و در دست شرکت‌ها و پیمانکاران است. بر این اساس، در بخش اول در مورد معرفی کلی پروژه انتقال آب صحبت می‌کنم و سپس به ابعاد امنیتی این طرح می‌پردازم. در قسمت سوم، ابعاد اقتصادی و در بخش چهارم، بحث اقتصاد مقاومتی و مدیریت تقاضا را بررسی می‌کنم. با توجه به اینکه ادعا می‌شود این پروژه قرار است بخش عمده‌ای از نیازهای مصارف صنعتی را تأمین

کند، وارد آن بخش می‌شوم. در بخش بعد، به صورت فشرده پایداری طرح از منظر ریسک را مورد بحث قرار خواهم داد. این کلیت ارائه است.

به طور متوسط، این پروژه قرار است ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب در سال را برای سیستان و بلوچستان، ۶۰ میلیون متر مکعب در سال برای خراسان جنوبی و ۱۲۰ میلیون متر مکعب در سال برای خراسان رضوی با در نظر گرفتن محدوده خطا، مجموعاً ۲۸۰ میلیون متر مکعب در سال را نمک‌زدایی و شیرین‌سازی کند. بر این اساس، من به انتقال آب از عمان به مشهد اشاره می‌کنم. البته یک سری تغییراتی برای خلیج فارس وجود دارد، اما اکنون یکی از گزینه‌ها را مطرح می‌کنم. احداث طول این خط تقریباً ۱۵۱۰ کیلومتر است و نیاز به احداث ۶ نیروگاه با ظرفیت ۹۰۰ مگاوات داریم. مسأله این است که ظرفیت نمک‌زدایی آن تقریباً بین ۸۰۰ هزار متر مکعب در روز است. اما دو نکته مهم در این حوزه وجود دارد: زمان تقریبی اجرا، که مشاور محترم برای سیاست‌گذاری اعلام می‌کند، به صورت واقعی بین حدود ۱۰ تا ۱۴ سال تخمین زده شده است. هزینه کل اجرا طبق مطالعات و آمار رسمی که اعلام خواهم کرد، بیش از ۶ میلیارد یورو برآورد شده است. این آمار رسمی کشور است و ذی‌نفعان آن عمدتاً صنایع استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان هستند که تأسیسات زیادی را نیز می‌طلبند. منبع جدولی که اعلام می‌کنم، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو در فروردین ۱۴۰۰ است. در طرح انتقال آب جنوب کشور به نوار شرقی، ابتدا ۵ سالی را شرکت محترم تابش با مشاوره طوس آب به دنبال طرح انتقال آب عمان به مشهد بود. بعد از یک سری تغییر و تحولات که در اینجا بحثش نیست، دوستان تابش، دوستان طوس آب و دوستان آب منطقه‌ای صلاح بدانند به آن ورود پیدا کنند. تغییر و تحولاتی رخ داد و گزینه خلیج فارس به مشهد مطرح شد. لذا بین این دو طرح، تقریباً برآورد نیاز همان ۲۸۰ میلیون متر مکعب است. هزینه اجرای این طرح نزدیک به ۶ میلیارد یورو است و اگر این طرح بخواهد اجرا شود، قیمت بالغ بر ۲۶۰۰ گیگاوات ساعت انرژی لازم دارد و قیمت تمام شده متوسط این طرح، دارای قیمت آب حداقل ۹۳ هزار تومان خواهد بود. این قیمت برای شهر مشهد حدود ۱۰۵ هزار تومان برآورد شده است. طبق آمار فروردین ۱۴۰۰، که فکر می‌کنم آن موقع دلار حدود ۲۳ هزار تومان بوده است، هزینه این طرح انتقال آب برای زاهدان هم تقریباً ۲/۶ متر مکعبی ۸۰ هزار تومان خواهد بود، برای اینکه تقریباً با ۲/۶ یورو فقط آب را شیرین و به زاهدان منتقل کنیم، هزینه دارد. فرض کنیم از ۲۸۰ میلیون متر مکعب، فقط ۱۰۰ میلیون متر مکعب آن به عنوان شرب در نظر گرفته شود، این یعنی

دولت باید سالیانه بیش از ۱۰۰ هزار میلیارد ریال فقط یارانه آب شرب بدهد. طبق اعلام رسمی سازمان برنامه و بودجه، دولت برای تأمین بخش خصوصی و هزینه‌های شرکت‌های تأمین‌کننده آب شور در نوار ساحلی کشور با مشکل مواجه است و نزدیک ۱۸۰۰ میلیارد تومان را با مشکل تأمین می‌کند. با این هزینه‌ای که دوستان با این طرح‌ها دارند، حساب کنید که متر مکعبی حدوداً ۱۰۵ هزار تومان می‌باشد، حالا حساب کنید برای ۲۸۰ میلیون متر مکعب چه هزینه‌ای باید صرف گردد. یک بخش آن را بخش خصوصی می‌دهد و یک بخش آن را قطعاً باید دولت پرداخت کند. هدف اصلی این طرح، علی‌رغم اینکه ادعا می‌شود بخش خصوصی می‌خواهد این کار را انجام دهد، صندوق توسعه ملی است و برداشتن از منابع نداشته صندوق توسعه ملی و همان بحث‌هایی که هست. برای نمونه، خط انتقال آب دریای عمان به سیستان و بلوچستان و زاهدان نزدیک ۱/۳ میلیارد یورو هزینه دارد که اکنون هم مصوبه مجلس را گرفته است. با این ۱/۳ میلیارد یورو، بعداً خواهیم رسید که چه کاری خواهد کرد و تقریباً برای متر مکعبی آب، ۸۰ هزار تومان صرف خواهد شد. دولت سالیانه با کدام بودجه قرار است این آب را خرید تضمینی کند؟ این کلیات پروژه بود.

اکنون وارد ابعاد امنیتی پروژه می‌شویم. ابعاد امنیتی مسائل آب بسیار مهم است و ارتباط جدی با مسأله امنیت ملی دارد به خصوص در مواردی که وارد مسأله شرب شود. اینکه ما در حوزه امنیت ملی و پدافند چه میزان می‌توانیم امنیت ملی‌مان را به دست بخش خصوصی دهیم، خود جای سوال است. در کشورهای مختلف دنیا، مانند هلند، توزیع شبکه آب شهری به بخش خصوصی واگذار شده است، اما تولید آب همچنان در دست دولت می‌باشد. اگر فرض کنیم که بخش خصوصی تأمین آب شهرهای مشهد، زابل و زاهدان را بر عهده بگیرد و به هر دلیلی، در ۵ یا ۱۰ سال آینده این بخش خصوصی نتواند به کار خود ادامه دهد، تکلیف این وابستگی امنیتی به آب چه خواهد بود؟ لذا این مسأله بسیار مهم است. بهره‌برداری از این پروژه به یک هلدینگ متشکل از شرکت‌های به اصطلاح خصوصی و خصولتی واگذار می‌شود و همه می‌دانیم که این اتفاق چه تبعاتی از منظر امنیتی خواهد داشت. سوالی که مطرح می‌شود این است که دوستان ما در شرکت‌های مشاور، آب منطقه‌ای و مجریان، همواره سعی می‌کنند وضعیت آب مشهد را بحرانی نشان دهند. آن‌ها ادعا می‌کنند که اگر این پروژه اجرا نشود، فردا برای مشهد اتفاقات ناگواری رخ خواهد داد، اما اگر این پروژه اجرا شود، امنیت آبی در مشهد برقرار خواهد بود. به چند نمونه اشاره می‌کنم: مجموع کسری مخزن آب سه استان شرقی در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ بیش از یک میلیارد

متر مکعب بوده است. همچنین، کسری آب زیرزمینی نزدیک به ۱۳۸۰ میلیون متر مکعب در سال بوده است. در حالی که ما می‌خواهیم این کسری مخزن در سطح استان بالغ بر یک میلیارد و سیصد و هشتاد میلیون متر مکعب را با هزینه‌ای بیش از ۶ میلیارد یورو و در مدت زمان حداقل ۱۰ تا ۱۴ سال جبران کنیم. امیدوارم نهادهای متولی بتوانند با استفاده از چارچوب‌های حقوق بین‌الملل بر این ظلم مضاعف به اسم تحریم‌ها غلبه کنند. در خوشبینانه‌ترین حالت، با فرض اینکه بودجه تأمین شود و تأخیری در اجرا وجود نداشته باشد، پروژه باید بین ۱۰ تا ۱۴ سال طول بکشد. قرار است به کل سه استان شرقی کشور ۲۸۰ میلیون متر مکعب در سال آب انتقال یابد، در حالی که کسری آب یک میلیارد متر مکعب در سال است. سوال این است که چرا شرایط را این‌قدر بحرانی نشان می‌دهید و سپس وعده تأمین امنیت و حل مشکلات آب را می‌دهید؟ آیا به فرض تأمین ۱۸۰ میلیون متر مکعب آب برای خراسان رضوی، امنیت آبی این استان تأمین خواهد شد؟ این طرح برخلاف ادعاهای مبتنی بر بحران‌سازی و نظریه Securitization (امنیتی‌سازی) مطرح می‌شود که تاکتیکی مرسوم و شناخته‌شده در میان شرکت‌های مشاور و پیمانکاران است. این طرح به هیچ عنوان نمی‌تواند نقش مؤثری در حل بحران و امنیت پایدار داشته باشد. نمونه بعدی این است که متأسفانه شرکت‌ها و مجریان وقتی می‌خواهند پروژه‌هایشان را توجیه کنند، یکی از مظلوم‌ترین مناطق، یعنی سیستان و بلوچستان، را به عنوان مثال مطرح می‌کنند. برای مردم مظلوم سیستان و بلوچستان، ۱۲۰۰ میلیارد تومان را بدون مطالعات جامع، صرف پروژه‌هایی نمودند که وعده حل مشکلات این منطقه را می‌داد، اما پروژه‌ها رها شده‌اند. در سال ۱۳۹۶، برخی از این شرکت‌ها با وعده امنیت آبی و حل مشکلات، پروژه‌هایی را آغاز نمودند که اکنون ابعاد امنیتی و اجتماعی آن‌ها در دفتر معاون اول، خاک می‌خورد. پروژه نیم‌لوله شکست خورده و تمام اعتبار آن مصرف شده است. حالا می‌خواهیم وعده دهیم که این‌ها را کنار بگذارید و آب را از سیستان برای شما بیاوریم. نماینده استان اخیراً مصاحبه‌ای کرده و گفته است که پس از اجرای این طرح، یعنی انتقال آب عمان به سیستان، سیستان خشک خواهد شد. این ادعا نادرست است، زیرا سیستان زمانی خشک خواهد شد که اقیانوس‌ها خشک شوند. حقیقت این است که حداقل نیاز آبی در سیستان و بلوچستان برای زنده ماندن، با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و محیط‌زیستی، میلیون‌ها متر مکعب آب است. تنها ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب تأمین شود؟ چرا به مسئولین و سیاستمداران نمی‌گویید که نیاز واقعی ۱۰ میلیارد متر مکعب است؟ آیا ۱/۶ میلیارد یورو، از شما پول می‌گیرند

و ۸۵۰ کیلومتر لوله می‌کشند از عمان تا آب را به زاهدان و زابل برسانند، اما تنها ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب تأمین گردد؟ چرا مشابه پروژه‌های شکست‌خورده قبلی، یک چراغ سبز و بهشت دروغین برای مسئولین روشن می‌کنید؟ وقتی وعده امنیت آبی برای مشهد می‌دهید، بحران‌سازی می‌کنید. هزینه اجرای طرح بیش از ۶ میلیارد یورو است و تعهدات ملی بسیار سنگینی را از نظر امنیتی برای دولت ایجاد می‌کند. بخش خصوصی، که به جرأت می‌توان گفت بخش خصوصی است، با در دست داشتن ابزاری همچون آب شرق کشور می‌تواند مناسبات نادرستی را در کشور برقرار کند. مایلم جلسه‌ای با عنوان مبانی علم امنیت آبی در سیاست‌گذاری آب برگزار شود. به‌راستی این پروژه ضد امنیتی است و ناامنی را از منظر آبی، اجتماعی و سیاسی در مشهد به شدت افزایش خواهد داد. این بدیهیات علم سیاست‌گذاری است. ما چه کنیم که سیاستمداران ما متوجه این نکات نیستند؟ حداقل قیمت تمام‌شده یک متر مکعب آب ۳ تا ۵ یورو است. وزارت نیرو و شرکت‌های آب و فاضلاب بهتر از من می‌دانند که بدهی‌هایشان را چگونه تأمین کنند. طبق اسناد و نامه‌های رسمی، شرکت تابش قرار است حداقل سه میلیارد دلار به اسم امنیت آبی از صندوق توسعه ملی برداشت کند. مطالعات مرکز پژوهش‌های مجلس نشان می‌دهد که از زمان تأسیس صندوق توسعه ملی تا انتهای سال ۱۳۹۷، از ۱۳ میلیارد دلار برداشت خارج از اساسنامه صندوق، نزدیک به ۱۰ میلیارد دلار آن برای طرح‌های آب و خاک و بهره‌وری کشاورزی بوده است. چرا نمی‌آیند گزارشی ارائه دهند و بگویند اثرگذاری این ۱۰ میلیارد دلار از بودجه بیت‌المال کجا بوده است؟ من نمی‌خواهم سیاه‌نمایی کنم، اما آیا واقعاً اثرگذاری مثبتی وجود داشته است؟ جامعه حق دارد از مسئولین بپرسد که این ۱۰ میلیارد دلار کجا اثرگذاری کرده است، در حالی که امروز شرکت طوس آب و مدیران آب منطقه‌ای هر استانی نشان می‌دهند که وضعیت آنقدر بحرانی است که اگر این پروژه اجرا نشود، وضعیت به‌شدت وخیم خواهد شد. بنابراین، این ۱۰ میلیون دلار قرار است به ۳ میلیارد دلار دیگر نیز افزوده شود، بدون اینکه گزارشی از آن برداشت ارائه شود. این مسائل باید مورد بررسی قرار گیرد.

بحث بعدی به اقتصاد مقاومتی مربوط می‌شود. میزان تولید محصولات کشاورزی در ایران ۱۳۰ میلیون تن در سال است که طبق آمار رسمی، بیش از ۳۰ درصد آن، یعنی معادل ۳۶ میلیون تن در سال، به ضایعات تبدیل می‌شود. میزان آبی که صرف کشت ضایعات کشاورزی در کشور می‌شود، بالغ بر ۳/۹ میلیارد متر مکعب است، که نزدیک به کل مصرف شرب، خانگی و صنعت در کشور است و معادل ۳ میلیارد دلار فقط

ارزش اقتصادی این آب می‌باشد. حالا حساب کنید که آقایان می‌خواهند با اصطلاحاً ۱/۳ میلیارد یورو، نهایت ۱۰۰ میلیون متر مکعب آب برداشت کنند و به کشور بیاورند. سوالی که مطرح می‌شود این است که چرا این کار به امنیت غذایی مربوط نمی‌شود؟ یک نهاد متفکر سیاست‌گذار باید وجود داشته باشد که هنگام سیاست‌گذاری، امنیت آبی و امنیت غذایی را در نظر بگیرد. اگر این پول را می‌خواهید از صندوق توسعه ملی برداشت کنید به اسم نجات آب و به اسم بحران آب، بهتر است که این موارد را در مدیریت این کارها لحاظ کنید. این کار می‌تواند امنیت غذایی ۱۶ تا ۱۸ میلیون نفر جمعیت را تأمین نماید. میزان آب تلف شده ناشی از ضایعات گندم در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ معادل ۱/۹۳ میلیارد متر مکعب بوده است. طبق آمار رسمی، از این سه استان، فقط استان خراسان رضوی سالانه ۸ میلیون تن انواع محصولات باغی و زراعی برداشت می‌کند که ۳۰ درصد از این میزان، یعنی ۴/۲ میلیون تن، به ضایعات تبدیل می‌شود. طبق مطالعات اتاق بازرگانی، ارزش اقتصادی همین ضایعات کشاورزی دو میلیارد دلار است. طبق مصاحبه با مهندس اعلائی، مدیرعامل سابق آب منطقه‌ای خراسان رضوی، میزان آبی که صرفاً برای کشت ضایعات کشاورزی در استان خراسان رضوی مصرف می‌شود، بیش از یک میلیارد متر مکعب در سال است. در حالی که آقایان می‌خواهند با ۶ میلیارد یورو، ۲۸۰ میلیون متر مکعب آب بیاورند. آیا ما نمی‌توانیم کار دیگری انجام دهیم؟ من نمی‌گویم که آقایان از این ۶ میلیارد یورو چند درصد را برای مدیریت طرح تعادل‌بخشی هزینه کنند. اگر فقط ما ۲/۵ درصد بتوانیم طرح تعادل‌بخشی و مدیریت تقاضا را با هزینه مناسب در استان خراسان رضوی اجرا کنیم، مشکلات مشهد که این قدر از آن می‌گویند حل خواهد شد. مگر مشکل شما ترافیک، حاشیه‌نشینی و آلودگی نیست؟ بارها و بارها گفته‌ام که من تهران و اصفهان را کنار می‌گذارم. چطور شما حاضرید ۶ میلیارد دلار پول خرج کنید و آب را از خلیج فارس و عمان به مشهد بیاورید، اما حاضر نیستید بخشی از این پول را صرف مناطق ساحلی کشور کنید تا جمعیت مهاجر به مشهد، تهران و اصفهان به شهرهای خودشان برگردند؟ چرا این پرسش را از شرکت مشاور نمی‌پرسیم؟ زیرا این موضوع در صلاحیت آن‌ها نیست و باید از سیاست‌گذاران پرسید، از جمله معاون اول رئیس‌جمهور. آمار حاشیه‌نشینی در مشهد ۳ برابر میانگین کشوری است. اوایل دهه ۱۳۹۰ اعلام شده بود که ۲۰۰۰ میلیارد تومان برای ساماندهی حاشیه‌نشینی در مشهد نیاز است. اوایل دهه ۱۳۹۰، یک سوم مشهد حاشیه‌نشین بودند. خوب، با این طرح‌های انتقال آبی که به مشهد می‌آید، حاشیه‌نشینی قطعاً بیشتر خواهد شد.

تصاویر بحران آب در کالیفرنیا نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۴، آقای باراک اوباما به خاطر خشکسالی در کالیفرنیا حالت فوق‌العاده نظامی اعلام کرد. در شهرهای ایالت کالیفرنیا، دولت برای مدیریت شهری اعلام کرد که کشت چمن ممنوع باشد. در حالی که در مشهد، که به اصطلاح کویری است، آقایان شعار بحران آب می‌دهند و ادعا می‌کنند که تمام مسائل شهری را حل و فصل کرده‌اند. قرار است با شعار حل بحران آب و امنیت آبی در این شهر، ۶ میلیارد یورو از صندوق توسعه ملی برداشت شود. پس اگر شما بحران آب در مشهد دارید، چرا در اوج تابستان در تیرماه ۱۴۰۰ بزرگترین آبشار مصنوعی کشور را در مشهد افتتاح کردید؟ آیا می‌شود در حوزه مدیریت شهری شعار بحران آب داد و در عین حال بزرگترین آبشار مصنوعی کشور را افتتاح کرد؟ همچنین، در شهر مشهد ۷ دریاچه مصنوعی افتتاح شده است که طبق آمار رسمی، یک میلیون متر مکعب در سال تخصیص آب دارد. در حالی که من به عنوان یک مشهدی در این شهری کویری و بحران‌زده زندگی می‌کنم. کجا ادعا می‌شود که مدیریت تقاضا شده است، جز اینکه بخواهند دست در صندوق توسعه ملی بگذارند؟ اینکه می‌گویند چرا طرح‌های کشاورزی در صرفه‌جویی موفق نبود، جواب مشخص است: به خاطر اینکه سود اقتصادی ندارد. آب‌های زیرزمینی، طرح‌های احیا و تعادل بخشی و مدیریت تقاضا، این‌ها اقتصادی و سیاسی نیستند. مدیریت آب شهری در مشهد نیز سود اقتصادی ندارد. طبق نتایج مطالعات طرح جامع فولاد کشور، سال ۱۴۱۱ سال پایان ذخایر معدنی آهن خواهد بود. امیدوارم این آمارها به مسئولین گفته شده باشد. طبق طرح جامع فولاد کشور، با فرض ۳۰ درصدی کل ذخایر فولادی کشور، سال ۱۴۱۵ تمام خواهد شد. حالا می‌گویند که می‌خواهند آب را برای معادن سنگان ببرند. طبق مطالعات شرکت IMIDRO، وزارت صمت و سازمان نظام مهندسی، سال ۱۴۱۴ سال پایان ذخایر قطعی معدن سنگان است. در حالی که حداقل مدت زمان واقعی پروژه برای انتقال آب اعلام شده ۱۰ تا ۱۴ سال می‌باشد.

از جهت پایداری طرح از منظر ریسک، مطالعات رسمی بین شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی نشان می‌دهد که پایین‌ترین اولویت گزینه‌های تأمین آب نسبت به سایر گزینه‌های تأمین برای پایداری مشهد، گزینه انتقال آب عمان به مشهد است. این مطالعات توسط جناب آقای دکتر قندهاری، مدیر وقت مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، با همکاری آقای دکتر داوری انجام شده و نشان می‌دهد که ناپایدارترین گزینه از نظر قیمت، حجم و ریسک، گزینه انتقال آب است. پس چرا این گزینه به عنوان اصلی‌ترین گزینه نجات‌بخش اعلام می‌شود؟

پیل اندر خانه تاریک بود.

حکایت انتقال آب حکایت مولانا نیست که می‌گوید پیل در خانه تاریک بود، که هر فرد و یا مجموعه‌ای برای آن توصیفی داشته باشد. جالبی موضوع این است که هر چند اتاق روشن است (راه و مسیر روشن) اما نظرها در مورد پیل (انتقال آب) باز با هم متفاوت است. اینجاست که باید سخن بزرگان را تعبیر دیگری کرد. **هرکسی از نفع خود گفت این راه را.**

سرگذشت انتقال آب سابقه طولانی دارد و در ایران مربوط به یکی دو سده اخیر است. افکار بلندپروازانه اتصال آب‌های جنوب و شمال ایران به یکدیگر در قالب پروژه ایران‌رود از دوره قاجاریه مطرح بود که به دلیل ابعاد پروژه و هزینه‌های سرسام‌آور آن از جهات مختلف، سال‌ها است که مسکوت مانده است. اما چرا موضوع انتقال آب دوباره در کشور ما موردتوجه قرار گرفت؟ در دهه‌های اخیر با برنامه‌ریزی‌های پی در پی در مسیر پیشرفت کشور به‌گونه‌ای گام نهاده شد که علیرغم انتقادات و تذکرات داده شده در آن سال‌ها، راهی طی شد که رسیدن به شرایط کنونی از نگاه متخصصان دلسوز و آگاه کاملاً روشن و واضح بود. مسیر حرکت توسعه با محوریت کشاورزی برای کشور کم‌آب که در دوران گذشته با محدود آبی که در دسترس داشت، برنامه زندگی خود را تنظیم کرده بود، به نظر کارشناسان تصمیمی نادرست بوده است. زیرا در گذشته میزان دسترسی به منابع آبی زیرزمینی از طریق قنات در حد محدودی بوده است. در واقع میزان دسترسی آب زیرزمینی در مناطق دور از آب‌های سطحی، توسط منبع آب یا قنات و بسته به شرایط بارندگی تأمین می‌شد و بهره‌بردار در تغییرات جریان، نقش تعیین‌کننده‌ای نداشت. از این رو فعالیت‌های خود را بر همان میزان آب در دسترس تنظیم می‌کرد. با توسعه و پیشرفت تکنولوژی، به‌تدریج بهره‌برداران امکان دستیابی به منابع آب زیرزمینی بیشتری را پیدا کردند. این تلقی که آب مجانی است و به هر مقدار قابل برداشت، توسعه کشاورزی با افزایش سطح زیر کشت گام در راهی گذاشت که سرانجام کشور را از نظر منابع آب به وضعیت بحرانی کنونی رساند. سیری در نظرات متخصصان این حوزه درباره انتقال آب، خود گواه بر این باور است که راهکارهای نادرست مقابله با کمبود آب، شرایط کشور را بدین وضعیت اسفبار از نظر منابع آبی رسانده است. تلقی‌های متفاوت از روش‌های تأمین آب و رسیدن به شرایط پایدار آبی را می‌توان در چند مورد کلی دسته‌بندی نمود. همچنین کلیه نظرات و ایده‌ها که با انتقال آب موافق یا مخالف هستند را شاید بتوان در دو گروه اصلی تقسیم‌بندی نمود: گروه اول تأمین تمامی توصیه‌های ارائه شده از سوی نهادهای بین‌المللی و نخبگان داخلی که تجربیات تمامی کشورها را در مورد انتقال آب بررسی کرده‌اند، لازم و کافی می‌دانند و گروه دوم دستیابی به بخشی از توصیه‌ها را کافی دانسته و به دلایلی در پی تأمین همه شرایط لازم نیستند. تمامی ملزومات برای انتقال آب را می‌توان در یک عبارت کوتاه خلاصه کرد که هر اقدامی باید بر مبنای **توسعه پایدار** صورت گیرد. تفسیر توسعه پایدار خود نیازمند توضیحات

مفصل بوده که از حد این نگارش خارج است و در این رابطه دیدگاه‌های مختلفی تاکنون ارائه شده است.

سوء برداشت از واژه‌هایی همچون امنیت غذایی و خودکفایی در بخش کشاورزی برای توجیه‌کنندگان طرح‌های هزینه‌بر، از اقداماتی است که اجرایی شدن طرح‌های انتقال آب را توجیه‌پذیر کرده است. عدم شناخت کافی از دلایل اصلی کمبود آب و نبود اطلاعات و داده‌های لازم موجب اتخاذ برخی تصمیم‌گیری‌های نادرست در طرح‌های کلان همچون طرح‌های انتقال آب شده است. اینکه ایران در کمربند خشک قرار گرفته و میزان تابش و انرژی دریافتی آن از خورشید بسیار بالا است و این خود دلیلی بر افزایش میزان تبخیر و مصرف آب بوده؛ اما در نقد و نظرها در مورد مسأله کمبود آب کمتر به آن توجه شده و راه‌حل مشخصی برای آن پیشنهاد نشده است. انتقال آب ممکن است میان حوضه‌ای یا انتقال از دریا به خشکی و... باشد. آنچه در این متن بر آن تأکید شده، انتقال آب از دریا به خشکی و بخصوص در مورد انتقال آب از دریای عمان به فلات مرکزی ایران و نهایتاً به مشهد با طول مسیری حدود ۱۳۴۰ کیلومتر است.

بیان ایده‌های متنوع در مورد حل مسأله کمبود آب نشان از انگاشت‌های متفاوتی است که در خصوص انتقال آب وجود دارد. به‌عنوان نمونه بارز می‌توان به فرآیند طرح انتقال آب به سمت مشهد اشاره کرد. ایده طرح انتقال، ابتدا بر این موضوع بیان شده که یک شبکه ملی آب برای شرق کشور ایجاد شود. هدف از این طرح، تأمین پایدار آب برای مناطق شرقی و بخصوص مرزنشینان، ایجاد سکونت‌گاه‌ها و تمهیدات لازم جهت پای‌بندی روستائینان در زادگاهشان بوده است که می‌تواند از مهاجرت آنها جلوگیری کند و هم امنیت مرزها را به میزان چشمگیری افزایش دهد. در عین حال، آب موردنیاز برخی از صنایع را که انتقال آنها به کنار دریا مقرون به صرفه نیست، تأمین نماید. همچنین پشتوانه لازم برای تأمین کمبود آب در زمانی که طرح‌های مدیریت مصرف اجرایی می‌شود، باشد (دکتر انصاری). اولین و اصلی‌ترین شرط برای انتقال آب براساس توصیه‌های یونسکو این است که در مقصد همه راهکارها برای تأمین کمبود آب بررسی و عملیاتی شده باشد. نقدکنندگان این مطلب را در اولویت پرسش‌های خود مطرح دارند که چه اقداماتی در این خصوص انجام شده است؟ آیا اقدامات صورت‌گرفته کافی بوده یا خیر؟ و چه مقدار بر کاهش مصرف تأثیر گذاشته است. مسئولان تأمین آب، کنتورگذاری بر روی چاه‌ها و سوق دادن کشاورزان به‌سوی کشت‌های گلخانه‌ای، بستن چاه‌های غیرمجاز و مدیریت و نظارت بر روش‌های کاشت و داشت و برداشت و از این دست موارد را به‌عنوان بخشی از اقدامات صورت گرفته در راستای دستیابی به توصیه‌های فوق‌الذکر مطرح می‌کنند.

نکته اصلی در گفتار نقدکنندگان طرح‌ها همین جاست که آیا این اقدامات نتایج ملموس در برداشته یا خیر؟ آیا وابستگی به منابع آب خارج از منطقه کاهش یافته یا روزبه‌روز افزایش داشته است؟ بررسی‌ها نشان از وابستگی بیشتر را دارد. بعد از سد دوستی،

موضوع انتقال آب از تاجیکستان و افغانستان و به دنبال آن انتقال آب از هزار مسجد و با ناکافی بودن این منابع، انتقال آب از دریای خزر و یا دریای عمان مطرح شد. هرچند کاهش نزولات جوی نیز به عنوان یکی از اصلی ترین عوامل در کاهش منابع آبی بیان می شود. نکته اصلی این است که برداشت از منابع آبی تجدیدپذیر طبق توصیه یونسکو نباید بیش از ۴۰ درصد و یا در حالت اضطرار نباید بیش از ۵۰ درصد باشد. فواید کلام منتقدان این که تمامی اقدامات صورت گرفته باید بر این مبنا باشد که با همان ۴۰ یا ۵۰ درصد بایستی برنامه ریزی کرد. از این مقدار، ۱۰ درصد به شرب و صنعت اختصاص داشته و بقیه در بخش کشاورزی مصرف شود. طبیعتاً با توسعه کشاورزی و ایده های خودکفایی کشاورزی، آب باقی مانده کافی نیست. نکته قابل توجه دیگر در این خصوص آن است که به اثرات محیط زیستی چنین طرح هایی باید توجه شود. اگر از هزینه های اقتصادی و عدم پدافند عامل لازم و تأثیر محیطی که با حفر کانال های عریض در طول مسیر ایجاد می شود، فرضاً چشم پوشی کنیم، مشکل شیرابه تولیدی مربوط به شیرین سازی آب را که در دریا باید تخلیه شود، چگونه باید حل کرد؟ بر اساس مطالعات انجام شده، وجود برخی آبریزان نادر در خلیج فارس به دلیل ورود شیرابه های تغلیظ یافته، با خطر جدی روبرو است (دکتر کلاهی) و تغییر شرایط شوری ممکن است به دور شدن آبریزان و ماهی ها که منبع درآمد و زندگی سواحل نشینان است، منجر شود. نهایتاً علاوه بر آن که باید به سمت توسعه کشت های کم مصرف آب رفت، لازم است مدیران ارشد کشور با تعامل سازنده با خارج، شرایط واردات بخشی از نیازهای کشور برای تأمین کمبودهای مواد غذایی را فراهم کنند که این امر وابسته به سیاست های انتخابی از سوی حکمرانان کشور خواهد بود.

پی نوشت ها

1-Inter-basin water transfer

2-Holistic Management

3-Truman's Point 4 Program

4-Hydraulic Mission

5-Paradigm

۶- در بند ج ماده ۴۰ برنامه هفتم پیشرفت نیز انتقال آب دریا تنها برای شرب مجاز شده است و سپس در تبصره ذیل همین بند، استحصال و انتقال آب از دریا و دریاچه ها از شمولیت حکم مذکور خارج شده است.

۷- لازم به ذکر است موضوع استفاده از آب حاصل از شیرین سازی دریا در استان سیستان و بلوچستان که یک استان ساحلی است و تحت تأثیر مناقشه ایران-افغانستان قرار دارد، با انتقال آب به یک فاصله چندصد کیلومتری مثلاً به استان خراسان رضوی متفاوت است.

۸- مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۸). انتقال آب بین حوضه ای و انتقال آب از دریا ۱. جهان. شماره خبر ۱۴۰۶۳۶۸.

In the Name of Allah



Grantee
Manager in Charge
Editor in Chief

Editorial Board



Guiding Council



Advisory Editors



Executive Expert
Editor
Design / Graphic
Order of publication
Publisher
ISSN Print/ Online
Website/ E-Mail
Address
Sponsor
Indexing

Journal of Water and Sustainable Development



Volume 11, Issue 3 [Serial No. 33], December 2024

Due to certificate no. 3/18/126631 dated 20/9/2015 from the scientific publications review Commission of the Ministry of Science, Research and Technology in Iran. also Due to registration number no76766 dated 25/1/2016 from the Ministry of Culture and Islamic Guidance, this journal has been licensed to publish. This journal is an output of joint scientific activities between the Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Shahnnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Davary, K. Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Alidadi, H. Prof., Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Ansari, H. Prof., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

Morid, S. Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Nassery, H.R. Prof., Shahid Behesti University, Tehran, Iran

Ghannadi, M. General Manager of the Office of Research, Technology Development and Communication with the Industry of the Country Water & Wastewater Engineering Company, **Chairman of the Council**

Esmailian, H. Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company

Nematnejad, M.A., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Mousavi, S. Y. Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company

Shahnnooshi Foroushani, N. Manager in Charge

Davary, K. Editor in Chief

Noori Esfandiari, A. Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company

Sajadifar, S.H. Representative of Country Water and Wastewater Engineering Company

Kalaei, G.H. Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

Ghanbari, F. Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

Mirgasemi, S.H. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Barati, R. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.

Quchanian, M., Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F., Oskouhi, M.

Talebi Hossein Abad, F. / Shaikhi, M.R.

Quarterly

Ferdowsi University of Mashhad

2423-5474 / 2717-3321

<http://jwsd.um.ac.ir> / Email: jwsd@um.ac.ir

Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163

Mashhad Water & Wastewater Company

ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

Articles in issue:

- **Synthesis of Ecological, Economic, and Social Effects of Water Transfer Projects**
A. Boroumand, S. Karimi
- **Operation of the Ghadir Khuzestan Water Transmission System under Defensive Conditions Using Hydraulic Modeling**
N. Poustizadeh, D. Horri, R. Rameshi
- **Investigating the Challenges of Inter-Basin Water Transfer Projects (Case Study: Beheshtabad Water Transfer Plan)**
F. Alipour Nasirmahale, R. Mirabbasi Najafabadi, A. Torabi Haghighi
- **The Necessity of Creating a Comprehensive Perspective for Urban Flood Risk Management**
S. Attaran, A. Mosaedi
- **Classification of Types and Factors Violating the Heritage Boundary of Iranian Oanat (Case Study: Oanats of the Eastern Counties of Kerman Province)**
N. Kamaladini
- **Priorities for Adaptation to Water Scarcity in Arid Regions from the Perspective of Local Stakeholders: Taybad Region in Northeast Iran**
A. Tahmasebi, F. Nemati Jowzeqani
- **Scenarios for the Application of Virtual Water in the Local Governance of Isfahan Province with a Future Research Approach**
A. Mottaghi, M. Yosefi Shatori, A. Ghorbani Sepehr
- **Dynamic Modeling of Urban Water Consumption and Management of Supply and Demand in Kerman Province**
S. H. Moosavirad, A. R. Torabi, S. M. Moosavirad
- **Providing an Integrated Model for the Sustainable Development of "Water, Energy and Food" in Iran Using a Grounded Theory Approach**
F. Momeni Mahmoudi, A. A. Naji Meidani, N. Salehnia, GH. Eslami
- **Application of Artificial Intelligence-Based Methods in Estimating Water Consumption Productivity (Case Study: Sari City)**
R. Fazloul, Sh. Saraf, J. Vejihat, A. R. Emadi
- **Production of Biosorbents from Citrus Wastes for Adsorption of Pollutants and Salt from Wastewaters**
H. Ghorbani jafarbigloo, A. Chackoshian Khorasani
- **Evaluation of MIKE SHE and MIKE 11 Models for Simulating the Hydrology of Surface Water and Groundwater in the Foumanat Plain Aquifer**
M. Sadori, S. Janatrostami, K. Mohammadi
- **Traditional Ecological Knowledge: A Review of Global Studies**
M. Rezaei



پیش از تصمیم‌گیری برای هر پروژه انتقال آب، باید اثرات آن در مبداء و مقصد بر پایداری سیستم همبست (آب-غذا-انرژی)، در هر سه سطح خرد تا کلان ارزیابی شود. پایداری سیستم، باید در سه مولفه محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی و در بستر حکمرانی، بررسی شود.

