آب و توسعه پایدار

دوره سیزدهم . شماره دوم (پیاپی ۴۰) . شهریور ۱۴۰۵

حقوق آب

حوضه

(آب های سطحی و زیرزمینی)



حقوق عامه، حقابه و مالکیت، انفال، ملی ...
محیط زیست، آب بران متقدم، قانون ...
تخصیص، مجوز برداشت، آلایندگی ...

فهرست مقالات

- **عوامل روانشناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان در زمینه حفاظت آب در منطقه ماهیدشت شهرستان کرمانشاه**
  رضا موحدی، مریم شیرخانی
- **طراحی مدل درآمدی پایدار برای زنجیره ارزش داده‌های کلان آب ایران: تلفیق تحلیل اقتصادی، ارزیابی ریسک و سنجش تمایل به پرداخت**
  مهسا قطبی زاده، مهدی ضرغامی
- **کاربرد مدل‌سازی و واسنجی در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب صنعتی: مطالعه موردی کارخانه کویرتایر**
  علی نصیریان، زهرا زراعتکار، سید علی موسوی، علی فوادالدینی، مهسا مردانی
- **از حجم به ارزش: طراحی چارچوب تلفیقی حسابداری آب بنگاهی برای صنایع معدنی ایران با الهام از چارچوب‌های MCA-WAF و SEEA-W**
  سید محمد راه‌دار، علی باقری، مرضیه ثمره هاشمی
- **برآورد ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت: مطالعه موردی صنایع تولید فلزات پایه و فرآورده‌های معدنی غیر فلزی**
  صدف جهانگیری، محمدرضا نظری
- **معانی فرهنگی آب و شکاف سیاست‌های رسمی و کنش‌های محلی: مطالعه‌ای مردم‌نگارانه در کشاورزان شهرستان آمل**
  سید قاسم حسنی
- **ادراک و معناسازی آب در زیست‌جهان شهروندان برای مدیریت پایدار آب (مورد مطالعه افراد میانسال شهر اردبیل)**
  حسن بخشی زاده، رقیه علائی
- **مقایسه بهره‌وری آب در سه سامانه کشت عمودی در شرایط غیرگلخانه ای در یک منطقه شهری نیمه‌خشک**
  مهدی حسین‌زاده، حسین انصاری، ابوالفضل مساعدی، جواد شباهنگ
- **ارزیابی کمی انتشار خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های SRI، SPI و منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF)**
  غزاله بهمن، مهدی تباشیری، محمدعلی علیجانیان
- **مطالعه و بررسی الگوی تغییرات روند بارندگی حوضه‌های آبخیز غرب استان مازندران و تاثیر آن بر پدیده تغییر اقلیم منطقه‌ای**
  عباس غلامی
- **نقش تسهیلگری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در پروژه انتقال آب به دشت سیستان**
  ام‌البنین خواجه، عنایت عباسی، همایون فرهادیان
- **خطر اخلاقی در بیمه کشاورزی و پیامدهای آن برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب: شواهدی از محصولات منتخب استان کهگیلویه و بویراحمد**
  ارسلان بی نیاز

شاپا چاپی ۵۴۷۴-۲۴۲۳

بسم الله الرحمن الرحیم

دوره سیزدهم. شماره دوم. (پیاپی ۴۰). شهریور ۱۴۰۵

آب و توسعه پایدار

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول: ناصر شاهنوشی فروشانی. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
سردبیر: کامران داوری. استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی. استاد 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 جلینی. دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
حسین علی‌دادی. استاد گروه مهندسی بهداشت محیط و حرفه‌ای. دانشگاه علوم پزشکی مشهد
سعید مرید. استاد گروه مهندسی آب. دانشگاه تربیت مدرس
حمیدرضا ناصری. استاد گروه زمین شناسی. دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست گذاری

مجیدقنادی (ریاست شورا). مدیرکل مرکز تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
حسین اسماعیلیان. مدیر عامل و رئیس هیات مدیره شرکت آب و فاضلاب مشهد
محمدعلی نعمت نژاد. مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
احمدقندهاری: رئیس حوضه‌های آبریز ارس، اترک و حوضه‌های شمالی، 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
حسین دهقانی سانیج . موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
سید حسین سجادی فر. 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
محمود ارجمند شریف . شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

این نشریه طبق نامه شماره ۳/۱۸/۱۲۶۶۳۱ مورخ ۱۳۹۴/۶/۲۹ ازکمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، اعتبارعلمی دریافت نموده است. همچنین در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است. این نشریه حاصل فعالیت علمی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن هیدرولیک ایران است.

اطلاعات نشر

کارشناس اجرایی: مهری شاهدی
ویراستاری: مرجان قوچانیان. مهری شاهدی. فاطمه طالبی حسین آباد (فنی و ادبی). مائده اسکوهی (لاتین)
طراحی جلد: محمدرضا شیخی / **صفحه آرایی:** رحمان اسدی
ترتیب انتشار. ناشر: فصلنامه. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
شماره شاپا چاپی. الکترونیکی: ۵۴۷۴-۲۴۲۳ / ۳۳۲۱-۲۷۱۷
تارنما. رایانامه: https://jwsd.um.ac.ir. Email: jwsd@um.ac.ir
آدرس: دانشگاه فردوسی مشهد. دانشکده کشاورزی. گروه علوم و مهندسی آب. دفتر نشریه. کدپستی ۹۱۷۷۵۱۱۶۳
حامی مالی نشریه: شرکت آب و فاضلاب مشهد
حامی مالی کنکاش: شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
پایگاه‌های نمایه شده: پایگاه استنادی علوم ایران (ISC). پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran). google scholar، DOAJ، CABI، Agris

فهرست مطالب

۱ **سرمقاله: حقوق آب**
انوش نوری اسفندیاری

٤ **یادداشت کوتاه: حقوق آب و مردم؛ وقتی آب حق خود را می‌گیرد**
محمد بخشی محبی

۷ **عوامل روان‌شناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان در زمینه حفاظت آب در منطقه ماهیدشت شهرستان کرمانشاه**
رضا موحدی، مریم شیرخانی

۲۳ **طراحی مدل درآمدی پایدار برای زنجیره ارزش داده‌های کلان آب ایران: تلفیق تحلیل اقتصادی، ارزیابی ریسک و سنجش تمایل به پرداخت**
مهسا قطبی زاده، مهدی ضرغامی

۴۵ **کاربرد مدل‌سازی و واسنجی در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب صنعتی: مطالعه موردی کارخانه کویرتایر**
علی نصیریان، زهرا زراعتکار، سید علی موسوی، علی فوادالدینی، مهسا مردانی

۶۱ **از حجم به ارزش: طراحی چارچوب تلفیقی حسابداری آب بنگاهی برای صنایع معدنی ایران با الهام از چارچوب‌هایMCA-WAF و SEEA-W**
سید محمد رامدار، علی باقری، مرضیه ثمره هاشمی

۷۵ **برآورد ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت: مطالعه موردی صنایع تولید فلزات پایه و فرآورده‌های معدنی غیر فلزی**
صدف جهانگیری، محمدرضا نظری

۸۵ **معانی فرهنگی آب و شکاف سیاست‌های رسمی و کنش‌های محلی: مطالعه‌ای مردم‌نگارانه در کشاورزان شهرستان آمل**
سید قاسم حسنی

۹۹ **ادراک و معناسازی آب در زیست‌جهان شهروندان برای مدیریت پایدار آب (مورد مطالعه افراد میانسال شهر اردبیل)**
حسن بخشی زاده، رقیه علائی

۱۱۱ **مقایسه بهره‌وری آب در سه سامانه کشت عمودی در شرایط غیرگلخانه ای در یک منطقه شهری نیمه‌خشک**
مهدی حسین‌زاده، حسین انصاری، ابوالفضل مساعدی، جواد شباهنگ

۱۲۱ **ارزیابی کمی انتشار خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های SRI،SPI و منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF)**
غزاله بهمن، مهدی تباشیری، محمدعلی علیجانیان

۱۳۵ **مطالعه و بررسی الگوی تغییرات روند بارندگی حوضه‌های آبخیز غرب استان مازندران و تاثیر آن بر پدیده تغییر اقلیم منطقه‌ای**
عباس غلامی

۱۵۱ **نقش تسهیل‌گری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در پروژه انتقال آب به دشت سیستان**
ام‌البنین خواجه، عنایت عباسی، همایون فرهادیان

۱۶۵ **خطر اخلاقی در بیمه کشاورزی و پیامدهای آن برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب: شواهدی از محصولات منتخب استان کهگیلویه و بویراحمد**
ارسلان بی نیاز

۱۷۹ **یادداشت تحلیلی: چالش‌های حقوقی مشارکت‌بخش خصوصی در تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها (رواناب باران) در ایران**
سجاد مقدس، سید محسن قائمی خرق

۱۸۶ **کنکاش: کنکاشی در تبیین جایگاه و کاربرد فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب در ایران**
محمد فشائی، مرجان قوچانیان، سارا عطاران

سرمقاله



انوش نوری اسفندیاری

اندیشکده تدبیرآب ایران/ مشاور هیئت تحریریه نشریه

حقوق آب

در کلی‌ترین تعریف، حقوق آب یعنی حقوقی که بر آب شیرین (Feresh Water) و منابع تأمین آن حاکم است. حقوق آب با چنین نگاه گسترده‌ای عهده‌دار نظم بخشیدن و اداره فعالیت‌ها در بخش‌های مختلفی است، مانند: تأمین آب شرب، آب کشاورزی، تولید انرژی برقابی، معدن و سایر صنایع، شامل تصفیه فاضلاب‌ها و حمل و نقل آبی. در دهه‌های گذشته حقوق آب، حفاظت از اکولوژی آبی و همسازی با حقوق محیط زیستی منابع آبی را نیز شامل شده است. حقوق آب ناظر بر انتظام و سازماندهی خدمات و بهره‌برداری‌های اجتماعی مرتبط با آب است و از آن‌ها درمقابل اختلالات و حوادثی چون سیل و خشکسالی پشتیانی می‌کند. بنابراین حقوق آب در تقاطع با سیستم‌های اجتماعی در سطوح (بین‌المللی، فراملی، ملی، محلی) و بخش‌های اجتماعی مختلف (غذا، انرژی، زیرساخت‌های شهری) می‌بایست مسائل متعددی را حل و فصل و تعیین تکلیف کند (Soininen و همکاران، ۲۰۲۳). از این‌رو، چگونگی تدوین و اجرای قوانین مناسب آب در یک نظام حقوقی منسجم از اقدامات جدی و مهم در تحکیم نظام حقوقی و حکمرانی هر جامعه به‌حساب می‌آید. جامعه ایران از این نظر ممکن است با چه غفلت‌ها، کاستی‌ها و چالش‌های عمده‌ای روبرو باشد؟ وچه راه‌حل‌های کلانی باید برای پرهیز و مقابله با آن‌ها اندیشید؟

حقوق به معنی جمع حق، در فرهنگنامه‌ها، یعنی راست‌ها، بهره‌ها، مواجب، اموال و...، این معنا در علم حقوق و فقه اسلامی دربارهٔ «اعتبار امتیاز و قدرتی است که یک فرد در مقابل دیگران در زندگی اجتماعی دارد و از آن می تواند استفاده کند» (حسینی،۱۳۸۷). حق در این معنا معمولاً معادل (Right) در زبان انگلیسی است، آن‌گاه که از «حقوق آب» به معنی حقابه سخن می‌رود. بخش مهمی از گفتمان امروزی حکمرانی آب – یعنی نظام و ساختار تخصیص منابع آب به استفاده‌های رقیب و حفاظت کمی و کیفی منابع آب- بطور کلی بر بنیاد قوانین منابع آب، و به ویژه قوانین حاکم بر «حقوق مدرن آب» (Modern Water Rights) استوار می‌شود. اهمیت حیاتی آب، بیشتر جوامع و فرهنگ‌ها را ناگزیر کرده تا قواعد حقوقی خاص خود را طراحی کنند. سیال بودن و تجدید پیوسته آن به عنوان بخشی از چرخه آب به ناگزیر اثربخشی رویکردهای حقوقی سنتی درباره منابع طبیعی مانند مالکیت را محدود ساخته است. در نتیجه در بیشتر کشورها، حقوق آب به این معنا، به طور سنتی با حقوق مناسبات ارضی و به ویژه حقوق مالکیت زمین پیوند دارد و غالب اوقات، تنها راه فروش حق استفاده از آب، فروش حق زمین است (هاجسن، ۱۴۰۰).

یکی از کلیدی‌ترین اقدامات در اصلاحات قانونی شماری از کشورها، گنجاندن حقوق رسمی و صریح آب از منظر «حق آب»، بوده است که به روشنی حجم آبی را که حقوق «مدرن» آب، مجاز به استفاده هستند، به همراه ترتیبات نهادی مربوط برای تخصیص، ثبت، پایش و اجرا مشخص می‌کند. حقوق مدرن آب ذاتاً با قطعات زمین پیوند ندارد و در شمار فزاینده‌ای از کشورها، قابل انتقال هستند و بنابراین ممکن است به شکل موقتی یا دائمی مبادله شوند. این حقوق، بلندمدت، با تعریف روشن و مطمئن هستند، و شکلی از حق دارایی نسبت به استفاده از آب به شمار می آیند (هاجسن، ۱۴۰۰).

حقوق در معنی دوم آن، نه به معنای جمع حق، بلکه اشاره به یک مجموعه مستقل حقوقی، یک معنای کلی و یک معنای خاص دارد. مفهوم کلی آن یعنی مجموعه‌ای از اصول و قواعد اخلاقی - اجتماعی برای ایجاد نظم در جامعه. به مفهوم خاص آن یعنی قانون، اصول و قواعد رسمی که توسط دولت وضع و اعمال می‌شود. هرچند که در تجربه عملی شماری از کشورها، انجام اصلاحات آب (Water Reforms) بدون تغییرات قانونی و با اتخاذ سیاست‌های جدید وجود دارد (Cullet، ۲۰۱۲)، اما در هنگامی که در اصلاحات آبی، تغییرات حقوقی به صورت قصد شده می‌خواهد انجام شود، معمولاً معنی خاص «حقوق» مورد نظر است. اما قوانین جدیدِ تدوین و مصوب شده چگونه می‌توانند اجرا شوند؟ آیا نظام حقوقی (The Legal System) موجود برای اجرا و پشتیبانی از آن، آگاهی وآمادگی لازم را دارد؟ جامعه و «گروداران» نسبت به قانون جدید چه گرایشی دارند؟ آیا قوانین جدید نسبتش با قواعد اخلاقی – اجتماعی به گونه‌ای هست تا مانع ایجاد «آنومی» در جامعه شود؟

حقوق آب به معنی دوم آن، شامل مجموعهٔ مجوزهای انجام کار (حقوق مثبت) با عدم انجام کار (حقوق منفی)، امتیازات،

اختیارات، ادعاها، مصونیت‌ها، حق‌های فردی و حق‌های جمعی و «حق به آب» به معنی حق بشری و حتی حق رودخانه و تالاب است. حقوق در این معنا ممکن است در انگلیسی یا فرانسه معادل‌های متعددی داشته باشد، هرچند معمولاً معادل (Law) به کار می‌رود. اما ممکن است از واژه‌های Jurisprudence، Legal code، Corpus Juris و Jus هم بر اساس زمینه‌های متفاوت، استفاده شود. در حقوق‌شناسی (Jurisprudence) به رابطه حقوق و قدرت توجه می‌شود. از این رو حقوق به عنوان مجموعه‌ای قواعد و مقررات، ابزار مهار قدرت‌های ناروا و جلوگیری از کژروی‌های اجتماعی است. پر واضح است که از این دیدگاه، این ابزار می‌تواند فرصت مهمی را برای ایجاد امنیت و خلق ارزش‌های اقتصادی و رشد و بالندگی نیروهای اصیل و ظرفیت‌های گستردهٔ هر جامعه فراهم کند. محمد حسین ساکت در دفتر نهم کتاب خود در تبیین رابطه حقوق و قدرت، حقوق را ابزار مهار قدرت‌های ناروا و بازشناسی قدرت منطقی ورای نیروی حاکم معرفی می‌کند (ساکت، ۱۳۸۷). این از جمله ملاحظاتی است که در بحث حقوق مدرن آب به آن نیاز است.

علم حقوق را بطور بنیادی به دو بخش حقوق خصوصی و حقوق عمومی تقسیم کرده‌اند. منظور از حقوق خصوصی یعنی بیان روابط میان افراد عادی جامعه و با دولت یا سازمان‌های دولتی، در مقامی برابر با آحاد مردم و بدون اعمالِ حق حاکمیت. درحالیکه حقوق عمومی به عکس در مقام بیان روابط افراد با دولت و کارگزارانش در مقام اِعمال حاکمیت و اجرای اقتدار عمومی است. در شکل‌گیری و تکوین حقوق آب کشور، از سال ۱۲۸۵ تا ۱۳۴۷- به روایتی- حدود ۴۶ قانون موردی و پراکنده مرتبط با آب در عرصه قانون‌گذاری تصویب شد که رویکرد آنها عمدتاً مبتنی بر حقوق خصوصی بوده است. این رویکرد در حوزه آب با توجه آگاهانه به مبانی فقهی و استمرار تاریخی عرف موجود در جامعه در موضوعاتی چون «حیازت» و «حریم» منابع آب انجام گرفت. مرتضی سرمد در فصل ششم جلد اول کتاب خود شش صفحه توضیح در این مورد با عنوان «آب در حقوق مدنی و اسلامی» نوشته است. با تصویب «قانون آب و نحوه ملی شدن آن» در سال ۱۳۴۷به صورت منظومه‌ای اختصاصی برای آب (Water Code)، حکمرانی آب از نظر مقررات‌گذاری وارد مرحله جدیدی شد. مرتضی سرمد در جلد اول ذیل فصل هفتم صفحهٔ ۵۲ کتاب خود درباره مالکیت آب می‌نویسد: «باید تفاوتی میان مالکیت و حق استفاده از آب در قانون جدید گذارده شود تا اشتباهی در امر مالکیت رخ ندهد. باید به عنوان فرق مالکیت آب و حق استفاده از آب، مقرراتی تنظیم نمود تا حق استفاده از آب برای مصارف مختلف مشخص گردد». از این‌رو، با مشخص کردن نحوه ملی شدن آب، دخالت دولت با توجه به ضرورت منضبط کردن جامعه، متناسب استفاده از فناوری‌ها و سازه‌های جدید در جهت محدود کردن حقوق خصوصی (حق استفاده از آب) به سرعت گسترش می‌یابد. البته تلاش‌هایی شده تا به نحوی حقوق خصوصی/ حق استفاده از آب در قالب «مصرف مفید» - یا در قانون «توزیع عادلانه آب» بعداز انقلاب «مصرف معقول»- در سیطره و نظارت حقوق عمومی بازتعریف و تثبیت شود، اما این تلاش‌ها تاکنون به سرانجام مناسبی نرسیده و شاید بتوان اظهار داشت که تا حدودی بر ابهامات نیز افزوده شده است.

بار دیگر با تدوین و تصویب دومین منظومه قانونی آب در سال ۱۳۶۱، می‌توان این‌گونه برداشت کرد که حضور پررنگ‌تر و دخالت بیشتر دولت برای رعایت مصالح عامه (در عرف بین‌المللی به منظور حفاظت از منابع آبی، ممانعت از آثار معطوف به غیر و استفاده معقول یا کارآمد) مجدداً وجهه قانونی پیدا کرد و براساس آن حقوق و مسئولیت‌های بهره‌برداران از طریق صدور مجوزها یا پروانه‌های بهره‌برداری می‌بایست تضمین می‌شد. هر چند حق دولت در اختیارش قرارگرفت، اما اعطای حق بعدی (یعنی حقوق بهره‌برداران) در عمل با نارسایی و کاستی‌های جدی مواجه شد. به‌علاوه، در اجرا و به مرور زمان مشخص شد که قوانین مصوب از نظر توجه به سایر زمینه‌های حقوقی مدرن آب (به‌جز گسترش فضای حقوق عمومی) مانند پاسخگویی در مقابل حقوق تفویض شده، ارتباط آب سطحی و زیرزمینی، ارتباط آب با سایر منابع پایه، نحوه رسیدگی به درخواست‌ها و اعتراضات، رفع تزاحم و مناقشات، انواع همیاری‌ها و مشارکت‌ها، نارسا و دارای کاستی‌های عمده‌ای می‌باشد. مقرر بود تا دولت در تلاش پیش‌بینی شده در قانون برنامه سوم توسعه، مجموعه قانونی جدیدی به عنوان لایحه «قانون جامع آب» تدارک ببیند تا این قبیل خلاءها و نیازهای جدید، برطرف شود.

استفاده از فناوری سدسازی در ذخیره‌سازی متمرکز آب سطحی و چاه‌های عمیق در مکش آب ذخایر لایه‌های عمیق آب زیرزمینی از محرک‌هایی بودند که روابط اجتماعی را به‌طور وسیعی تحت تاثیر قرار دادند، بدون آنکه تمهیدات حقوقی متناسب با پیامدهای آن‌ها به حد کفایت مورد توجه دستگاه حقوقی و قانون‌گذاری، قرار گرفته باشند. بی‌تردید تدابیری که دولت با توجه به حقوق مکتسبه در نزدیک نیم قرن برای مقابله و بهبود این وضعیت اتخاذ کرده، از نظر «مهار و بازرسی اجتماعی» چندان کارآمد نبوده است. از جمله وضع قوانین، تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردها و ایجاد تشکیلات وسیع برای کنترل و نظارت حجمی، اقدامات نظارتی و بازرسی، کنترل شرکت‌ها و نظایر آن (که بعضاً ممکن است به شکل گرفتن اقتصاد سیاسی خاص آب همراه با مفاسدی یا نقض غرض انجامیده باشد). آنچه که به لحاظ تاریخی اهمیت دارد، سال‌ها و دهه‌ها تکرار این تدابیر با همان ضرب‌آهنگ قبلی است. اما دلایل ناکارآمدی آن‌ها بطور جدی مورد مستندسازی، بررسی، ارزیابی و نظریه‌پردازی قرار نگرفته است. ویرایش‌های مختلف از قانون جدید در دو دوره با تکرار این مسامحهٔ مهم آماده شد. در نتیجه چون قلم و تریبون بطور یک جانبه برای دولت بوده است، همه ظرفیت‌های اجتماعی به سخن در نیامده است و از جمله به موضوع مهم حقوق تعریف نشده، نادرست تعریف شده یا از کف رفته آب نیز التفات لازم نشده

است. این در شرایطی است که برداشت‌های بخش خصوصی در پرداختن به دلایل ناکارآمدی حقوق آب کشـــور با بخش دولتی بسـیار تفاوت دارد. مثلاً در حالیکه مسـئولین رسـمی حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، عدم رعایت حد برداشت در چاه‌های مجاز را عامل اصلی و در درجه دوم ادامه بهره‌برداری از چاه‌های «فاقد پروانه» را از عوامل ایجاد این شـرایط بحرانی و خطرآفرین می‌دانند، دسـت اندرکاران بخش خصوصی اعتقاد دارند که اعمال سیاست دست‌اندازی مداوم به این منابع توسـط دولت با سـیاسـت حامی‌پروری برای بازتوزیع آن با لحاظ کردن افراد جدید و جلب رضـایت عده‌ای (که بخشی از آنها را قانون‌شکنان تشکیل داده است) موجب بی‌توجهی به حقوق آب متداول شـــده، قبح تجاوز به حقوق دیگران شـکسـته و باعث شـده تا حقوق نسـل‌های آینده با راحتی بیشـتری پایمال شود. البته (ضمن پذیرش این کاستی مهم و عمده) با آشـنایی اندک به مباحث حقوقی مدرن منابع طبیعی در سـطح کشـورهای جهان، روشـن می‌شـود که این نمی‌تواند همه مسـئله باشـد. از نظر حکمرانی آب، برقراری رابطه منصـفانه و تکمیلی میان حقوق خصـوصـی و حقوق عمومی در عرصـه بهره‌برداری از «منابع مشـترک» مانند ذخایر آب زیرزمینی، شـبکه‌های آبیاری، جنگل‌ها، مراتع و شـیلات، نباید کار سـهل و سـاده‌ای انگاشـته شـود. چون طبق تعریف پذیرفتـه شـــده، در بهره‌برداری از این نوع منـابع مشـــترک (Common Pool) شـرایط مدیریت اجرایی متمرکز به گونه‌ای است که برداشت هر بهره‌بردار موجب کاستن از سهم دیگری (subtractability) اسـت، ممـانعـت از بهره‌برداری غیر (excludability) پرهزینه و حتی ناممکن می‌نماید و «تراژدی منابع مشـــترک» فقط روی کاغذ و با تصـــویب قانون حل نمی‌شود.

موضـــوع گســـترش دامنه حقوق عمومی فقط به منابع آب یا دیگر «منابع مشـترک»، اختصـاص ندارد، اما به‌ویژه در اینگونه موارد، پیچیده‌تر از آن اسـت که بتوان موضـوع را در دوگانه اصـالت نهادها و نیروهای بازار یا دخالت دیوان‌سـالاری دولت خلاصـه کرد. شـاید بجای مطرح کردن این دوگانگی، مطرح کردن «قوانین اقتصـادی در هماهنگی با نیروهای بازار» یا به تعبیر دیگر رابطه تکمیلی میان نهاد «برنامه» ونهاد «بازار» و یا همکاری دولت و نیروهای اجتماعی منسـجم و موثر، به عنوان طرحی نو و بدیل جدید، جای پرداخت بیشـتری داشـته باشـد. درهرصـورت اگر به شـرایط کشـور ایران برگردیم، روا نیسـت دولت تحت عنوان «مصـالح عمومی» اینگونه یک جانبه -حتی در سـطح عملیاتی- ابتکار عمل را از « ذی‌نفعان» و«گرورداران» بگیرد وسـپس به عناوین مختلف، حقوق بهره‌برداران از منابع آب چنین دسـتخوش بی‌توجهی و تجاوز واقع شـود. مَخلص کلام آن اسـت که: حقوق آب در شـرایط جدید «به عنوان ابزار مهار و بازرسـی اجتماعی» به ناگزیر از نظر سـطوح مفهومی و تشـکیلاتی، بـا رویکرد و دکترین حقوقی جـدیـدی، نیـاز بـه بازتعریف دارد.

ممکن اســـت گفته شـــود که در تهیه طرح‌ها و لوایح حقوقی جدید آب تلاش شده یا می‌شود که این نواقص تشخیص داده شـده و برطرف شـوند. آنچه در چاره‌جویی‌ها و هر نوع اقدام در حقوق و قوانین آب (ماننـد سـایر مولفـه‌های اصـلی نهاد حکمرانی آب چون سـیاسـت‌گذاری یا سـازماندهی) اهمیت دارد، پرهیز از تمرکز بر رویکردهای دستوری و صرفاً فنی-اداری و تصمیم‌گیری در پشت درهای بسته یا نیمه است. چون چارهٔ کار منحصـر به تصـویب محدودیت‌های قانونی و ایجاد موانع اداری، بدون توجه به شـرایط و سـازوکارهای اقتصـادی و فرهنگی- اجتماعی، نمی تواند باشـد. این تدابیر باید در یک «نظام حقوقی» تکوین یافته و دگرگون -بر اسـاس مبانی عمیق و بنیـادی عرفی، فقهی، فنی، عقلی و اقتصـــادی حـاکم بر نظام‌هـای بهره‌برداری از منـابع آب و نهـادهـای مـدیریتی در سطوح مختلف ملی، حوضه‌آبریز، استانی و محلی- پی‌ریزی و اجرا شـوند. این زیرسـاخت‌ها در صـورتی تأمین می‌شـوند که انتخاب الگوی بازسـازی حکمرانی (از جمله تعیین اصـول و هدف‌ها و اصلاح مسیر و قوانین و ترتیبات مورد نیاز) بر اساس حضـور فعال بخش خصـوصـی و نیروهای اجتماعی (به‌ویژه جامعه محلی) و توسـعه حوزه عمومی بر پایه یادگیری و توافق جمعی سرانجام پذیرد. از این‌رو شایسته است که کار دگرگونی و بازسـاخت مبانی حقوقی حکمرانی آب با تکیه بر نوآوری لازم در درون یک فرایند فرهنگی - ارتباطی گسـترده و بهره‌مند از گفت‌وگوهای چندجانبه مردمی و مذاکره و مشارکت شهروندی با یکدیگر و نهادهای دولتی مرتبط، در نظر گرفته شـود. تا فراهم نشـدن این شـرایط و زیرسـاخت‌ها، ممکن اسـت شـتابزدگی نظیر تدوین لایحه بی‌سـرانجام آب در انتهای دوره دولت دوازدهم، باعث شـود که تجربه تدوین و تصـویب قانون توزیع عادلانه آب در سال ۱۳۶۱، بار دیگر تکرار شود.

منابع

سـرمد، مرتضـی. (۱۳۵۱). حقوق آب، جلد اول. انتشـارات کیهان، تهران، ایران.

ساکت، محمدحسین. (۱۳۸۷). حقوق‌شناسی: دیباچه‌ای بر دانش حقوق. نشر ثالث، تهران، ایران.

حسینی، سید عبدالرحیم. (۱۳۸۷). رساله‌ای در باب حق و حکم، سازمان تبلیغات اسلامی، چاپ و نشر بین‌الملل، تهران، ایران.

هاجسن، استیفن. (۱۴۰۰). حقوق مدرن آب: نگاهی نو به مسایل نظری و عملی. برگردان حمید پشـتوان. اندیشـکده تدبیر آب ایران.

Soininen, N., Belinskij, A., & Puharinen, S.-T. (2023). Water law. Cambridge Prisms: Water, 1, e12. doi:10.1017/wat.2023.13

Cullet, P. (2012). Is Water Policy the New Water Law? Rethinking the Place of Law in Water Sector Reforms, IDS Bulletin, 43(2), 69-78, https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2012.00309.x

یادداشت کوتاه



محمد بخشی محبی
دکتری حقوق جزا و جرم‌شناسی
رئیس کمیسیون حقوقی- اجتماعی کارگروه سازگاری با کم‌آبی استان

حقوق آب و مردم؛ وقتی آب حق خود را می‌گیرد

نگاهی به حقوق آب به عنوان یک حق عامه، رودخانه‌ها، مسیل‌ها و ضرورت سازگاری با کم‌آبی

مقدمه؛ آب، حق مردم است

آب فقط یک ماده حیاتی نیست؛ بستر حیات است. وقتی از آب سخن می‌گوییم، در واقع درباره مجموعه‌ای از حقوق مردم سخن می‌گوییم: حق برخورداری از آب سالم، حق زندگی در محیط‌زیست سالم، حق امنیت، حق سلامت و حتی حق زندگی در شهری که در برابر حوادث طبیعی تا حد امکان ایمن باشد. اصل ۴۵ قانون اساسی و قانون توزیع عادلانه آب، جایگاه آب‌های عمومی و ضرورت بهره‌برداری از آنها در چارچوب مصالح عمومی را مورد توجه قرار داده‌اند. بنابراین، آب را نباید صرفاً از منظر «مصرف‌کننده» و «تولیدکننده» دید. در کنار حق بهره‌بردار، حق جامعه نیز وجود دارد؛ حقی که باید در تصمیم‌گیری‌های آبی، عمرانی و شهری مورد توجه قرار گیرد. اگر برداشت یک فرد یا یک مجموعه از منابع آب موجب آسیب به آبخوان، کاهش حقابه دیگران یا از بین رفتن امکان استفاده نسل آینده شود، دیگر با یک مسئله صرفاً خصوصی مواجه نیستیم؛ بلکه موضوع به حوزه حقوق عامه وارد می‌شود.

رودخانه یعنی خانه‌رود

یکی از ساده‌ترین و در عین حال مهم‌ترین اصول در مدیریت آب این است که مسیر طبیعی رودخانه و مسیل باید حفظ شود. ماده یک قانون توزیع عادلانه آب، بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها را تحت مقررات عمومی قرار داده و تصرف در این محدوده‌ها را تابع ضوابط قانونی کرده است. اما فرای این حکم حقوقی، یک واقعیت طبیعی وجود دارد: خشک بودن رودخانه به معنای پایان کار رودخانه نیست. مسیلی که ممکن است سال‌ها خشک باشد، در یک بارندگی شدید می‌تواند دوباره به مسیر عبور آب تبدیل شود.از همین منظر، همواره این باور وجود داشته است که: «رودخانه یعنی خانه‌رود؛ نباید خانه‌رود را تصرف کرد». این جمله شاید در ظاهر ساده باشد، اما پشت آن یک اصل مهم پیشگیرانه قرار دارد: طبیعت مسیر خود را فراموش نمی‌کند.اگر مسیر رودخانه را محدود کنیم، دیوار بسازیم، راه را ببندیم یا حریم آن را نادیده بگیریم، ممکن است برای مدتی تصور کنیم که بر طبیعت غلبه کرده‌ایم؛ اما یک بارش استثنایی می‌تواند همه محاسبات ما را تغییر دهد.به تعبیر دیگر، آب حق خود را می‌گیرد؛ سؤال این است که این حق را با برنامه‌ریزی و قانون به رسمیت بشناسیم یا پس از حادثه و خسارت آن را بپذیریم.

کشف‌رود؛ مسأله ای فراتر از آب

تجربه کشف‌رود مشهد نمونه روشنی از پیوند آب با حقوق مردم است. در سال‌های فعالیت در حوزه حقوق عامه و امور اجتماعی، ساماندهی این محدوده با همکاری دستگاه‌های مختلف دنبال شد. مسئله کشف‌رود صرفاً یک مشکل مربوط به رودخانه نبود؛ آلودگی، فاضلاب، سلامت مردم، فعالیت‌های اقتصادی، تصرف اراضی و آسیب‌های اجتماعی در آن به یکدیگر گره خورده بودند.در چنین شرایطی، برخورد صرفاً قضایی یا صرفاً اجرایی نمی‌تواند مسئله را حل کند.حقوق عامه زمانی معنا پیدا می‌کند که دستگاه‌ها به جای نگاه جزیره‌ای، خود مسئله را ببینند. آزادسازی و ساماندهی بخش‌هایی از این محدوده نیز بیش از آنکه یک اقدام صرفاً عمرانی باشد، تلاشی برای بازگرداندن بخشی از حقوق عمومی به مردم بود.این تجربه موفق یک درس مهم دارد: در بسیاری از مسائل آب، پیشگیری از آسیب به مردم، مهم‌تر از رسیدگی به خسارتی است که قبلاً ایجاد شده است.

در سال‌های منتهی به ۱۳۹۷، در بخش‌هایی از شهر مشهد، آزادسازی و ساماندهی مسیرهای طبیعی آب و مسیل‌ها نیز مورد توجه قرار گرفت و در مواردی در مجاورت مسیرهای ساماندهی‌شده، فضاهای سبز و پارک‌های خطی ایجاد شد. این تجربه نشان داد که حفاظت از مسیر آب الزاماً در مقابل توسعه شهری قرار ندارد. مسیل را می‌توان حفظ کرد، حریم آن را رعایت نمود و در عین حال، آن را به بخشی از فضای عمومی و سبز شهر تبدیل کرد. این همان پیشگیری قبل از حادثه است. گاهی ارزش یک اقدام را نباید با تعداد پرونده‌ها

یا اخبار منتشرشده درباره آن سنجید؛ بلکه باید پرسید چند خطر از سر مردم دور شده است.

چاه غیرمجاز؛ تضییع حق دیگران

موضوع فقط رودخانه و مسیل نیست. آب‌های زیرزمینی نیز متعلق به یک فرد یا یک نسل نیستند.چاه غیرمجاز ممکن است در ظاهر منفعت یک بهره‌بردار را تأمین کند، اما برداشت از یک آبخوان مشترک، می‌تواند بر منابع سایر بهره‌برداران، قنات‌ها، کشاورزی و آینده منطقه اثر بگذارد. قانون برای حفر چاه و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بدون رعایت مقررات، محدودیت و ضمانت اجرا تعیین کرده است (قانون توزیع عادلانه آب- ماده ۲، ۱۳۶۱). اما مقابله با چاه غیرمجاز نباید فقط به انسداد یک چاه و تشکیل یک پرونده ختم شود. باید علت شکل‌گیری تخلف را یافت، آیا الگوی کشت با ظرفیت آبی منطقه تناسب دارد؟ آیا نظارت کافی است؟ آیا بهره‌بردار راه قانونی و اقتصادی قابل قبولی پیش روی خود می‌بیند؟ اینجاست که حقوق، پیشگیری اجتماعی و حکمرانی آب به هم پیوند می‌خورند.

دروازه قرآن؛ وقتی مسیر آب فراموش می‌شود

سیلاب پنجم فروردین ۱۳۹۸ در شیراز و حادثه تلخ دروازه قرآن، یکی از روشن‌ترین هشدارهای سال‌های اخیر درباره اهمیت مسیرهای طبیعی آب بود. بدون آنکه بخواهیم یک حادثه پیچیده را به یک علت واحد نسبت دهیم، واقعیت این است که در زمان وقوع سیلاب، ظرفیت مسیر انتقال آب، وضعیت زیرساخت‌ها و نحوه مداخلات انسانی در مسیرهای طبیعی، اهمیت تعیین‌کننده پیدا می‌کند. سیلاب را همیشه نمی‌توان متوقف کرد؛ اما می‌توان میزان خسارت آن را کاهش داد. از منظر حقوق عامه، پرسش اصلی این نیست که آیا می‌توان جلوی باران شدید را گرفت؛ بلکه این است که آیا قبل از بارش، وظایف قانونی خود را برای کاهش خطر انجام داده‌ایم؟ این پرسش باید همواره پیش روی دستگاه‌های متولی شهرسازی، مدیریت آب، راه و شهرسازی، مدیریت بحران و سایر نهادهای مسئول باشد.

سیدی مشهد؛ هشداری برای آینده

سیلاب سیدی مشهد در سال ۱۴۰۳ نیز بار دیگر اهمیت مدیریت روان‌آب‌ها و شناخت مسیرهای طبیعی سیلاب را به جامعه یادآوری کرد. این حادثه پس از پایان دوره مسئولیت نگارنده در حوزه حقوق عامه رخ داده است و طبیعتاً نباید میان آن و تصمیمات دوره مسئولیت گذشته ارتباط مستقیم برقرار کرد. اما ارزش بررسی آن برای بحث حاضر در جای دیگری است: هر شهر باید همواره احتمال رخدادهای فراتر از شرایط معمول را در برنامه‌ریزی خود لحاظ کند. شهر ایمن، شهری نیست که هرگز با سیلاب مواجه نشود؛ شهری است که هنگام مواجهه با سیلاب، کمترین خسارت ممکن را متحمل شود.

نپال؛ طبیعت مرزهای خود را یادآوری می‌کند

سیلاب ویرانگر اخیر در منطقه مرزی نپال و چین نیز، با وجود تفاوت اساسی با حوادث شهری ایران، از همین منظر قابل تأمل است. در سال جاری فروریختن بخشی از یک یخچال و به‌دنبال آن حرکت حجم عظیمی از آب، سنگ و رسوبات، سیلابی بسیار مخرب در منطقه ایجاد کرد. گزارش‌های اخیر از تلفات و مفقودان بسیار زیاد و تخریب گستردهٔ زیر ساخت‌ها حکایت دارد. بدیهی است که نمی‌توان چنین حادثه‌ای را با تصرف یک مسیل شهری مقایسه کرد؛ منشأ آنها متفاوت است. اما پیام مشترک روشن است: انسان نمی‌تواند همه حوادث طبیعی را متوقف کند؛ اما می‌تواند آسیب‌پذیری خود را کاهش دهد. پایش، هشدار سریع، رعایت حریم رودخانه‌ها، مکان‌یابی صحیح ساخت‌وسازها و آمادگی دستگاه‌های مسئول، بخشی از حقوق مردم در برابر مخاطرات طبیعی است.

حقوق مردم؛ حلقه اتصال حقوق آب و جامعه

در نهایت، مسئله آب فقط مسئله وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای، شهرداری، محیط‌زیست یا دستگاه قضایی نیست. بلکه آب، مسئله مردم است.اگر آب آلوده شود، سلامت مردم آسیب می‌بیند. اگر آبخوان تخلیه شود، معیشت مردم آسیب می‌بیند. اگر رودخانه و مسیل تصرف شود، امنیت مردم در هنگام سیلاب تهدید می‌شود و اگر منابع امروز بدون توجه به فردا مصرف شود، حقوق نسل آینده تضییع خواهد شد (قانون توزیع عادلانه آب- مواد ۳ و ۴۵، ۱۳۶۱). از این منظر، مفهوم حقوق عامه می‌تواند حلقه اتصال همه این مسائل باشد. نقش دستگاه قضایی نیز در این میان صرفاً برخورد با تخلف پس از وقوع آن نیست؛ بلکه مطالبه اجرای قانون، جلوگیری از تثبیت وضعیت‌های پرخطر و حمایت از اقدامات پیشگیرانه نیز بخشی از صیانت از حقوق مردم است.

سازگاری با کم آبی؛ ضرورت سبک زندگی حال حاضر

امروز بیش از هر زمان دیگری، نیازمند عبور از نگاه سنتی به آب هستیم. سازگاری با کم‌آبی فقط به معنای توصیه مردم به کمتر مصرف کردن نیست؛ بلکه یک مسئله حقوقی، اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی است. باید میان حق شرب، کشاورزی، صنعت، محیط‌زیست و نیازهای نسل آینده تعادل ایجاد کرد. در این میان، کمیسیون حقوقی - اجتماعی کارگروه سازگاری با کم‌آبی، می‌تواند به یک پرسش اساسی بپردازد. چگونه می‌توان قانون، مدیریت و رفتار اجتماعی را در مسیر سازگاری با واقعیت کم‌آبی همسو کرد؟ پاسخ این پرسش بدون مشارکت مردم ممکن نیست. به عبارتی هیچ سیاست آبی، صرفاً با بخشنامه پایدار نمی‌شود. جامعه باید ضرورت آن را درک کند و احساس کند که قانون در نهایت برای حفظ حق خود اوست.

سخن پایانی

حقوق آب، در نهایت، حقوق یک رودخانه یا یک چاه نیست؛ حقوق مردم است. مردم حق دارند آب سالم داشته باشند؛ حق دارند در شهری ایمن زندگی کنند؛ حق دارند از محیط‌زیست سالم برخوردار باشند و حق دارند منابع طبیعی برای نسل‌های آینده نیز باقی بماند. تجربه‌های کشف‌رود، ارداک و ساماندهی برخی مسیل‌های شهری نشان می‌دهد که پیشگیری، همکاری بین دستگاهی و رعایت حقوق طبیعت، می‌تواند از تبدیل یک مسئله به بحران جلوگیری کند. سیلاب دروازه قرآن و سیدی نیز هشدارهایی برای امروز و فردای شهرهای ما هستند. حادثه نپال، در مقیاسی متفاوت، یک بار دیگر به ما یادآوری می‌کند که طبیعت را نمی‌توان حذف کرد؛ باید آن را شناخت و با آن زندگی کرد. همچنان که مطرح شد، با هیچ گونه توجیهی نمی‌توانیم خانه‌رود را تصرف کنیم، همان‌گونه که نمی‌توان حق مردم بر آب را نادیده گرفت. اگر مسیر طبیعی آب را نبینیم، یا در آن تغییری غیر استاندارد ایجاد کنیم، روزی آب مسیر خود را به ما یادآوری خواهد کرد. آب حق خود را می‌گیرد؛ هنر حکمرانی این است که پیش از آنکه آب حق خود را با سیلاب و خسارت مطالبه کند، ما حق آب و حق مردم را به رسمیت بشناسیم.

منابع

قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۵۸). اصل ۴۵ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران.

قانون توزیع عادلانه آب. (۱۳۶۱). ماده ۱، ماده ۲، ماده ۳ و ماده ۴۵. مصوبات مجلس شورای اسلامی. ایران.

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۷ تا ۲۲

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). pages 7 to 22

نوع مقاله | پژوهشی کاربردی

Document Type | Applied Research Article

عوامل روان‌شناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان در زمینه حفاظت آب در منطقه ماهیدشت شهرستان کرمانشاه

رضا موحدی[۱*]، مریم شیرخانی[۲]

۱ و ۲- به‌ترتیب استاد و دانش آموخته دکتری، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: r.movahedi@basu.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۴/۱۰/۱۳
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۴/۰۶
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

هدف اصلی پژوهش بررسی عوامل روانشناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان در حفاظت از منابع آب کشاورزی در منطقه ماهیدشت شهرستان کرمانشاه بود. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی، به لحاظ روش‌شناختی، کمی و از لحاظ گردآوری داده‌ها، از نوع پیمایشی است و بر پایه تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نوع توصیفی است. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از پرسشنامه ساختارمند جمع‌آوری شد. جامعه آماری پژوهش، شامل کشاورزان دارای کشت آبی منطقه ماهیدشت در دو دهستان ماهیدشت و چقانرگس بودند. حجم جامعه آماری مورد مطالعه در مجموع ۱۲۰۰ نفر بود (N=۱۲۰۰). انتخاب حجم نمونه بر اساس جدول کرجسی و مورگان و معادل ۲۹۱ نفر به دست آمد. نمونه‌گیری با استفاده از روش تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب انجام گرفت. تحلیل و پردازش داده‌ها در دوبخش توصیفی و استنباطی مبتنی بر آزمون‌های آماری مقایسه‌ای، همبستگی و مدل‌سازی معادلات ساختاری، انجام گرفت و در این راستا از نرم‌افزارهای SPSS 26 و PLS-3 استفاده شد. نتایج نشان داد از بین عوامل روانشناختی، متغیرهای هنجار ذهنی، هنجار اخلاقی، شخصیت، مسئولیت‌پذیری یا انتساب مسئولیت در سطح ۹۵ درصد دارای تاثیر معناداری بر تصمیم‌گیری کشاورزان نسبت به حفاظت منابع آب هستند. همچنین متغیرهای دلبستگی مکانی، ارزش حفاظت منابع آب، نگرانی محیط‌زیستی و نگرش در سطح ۹۵ درصد تاثیر معناداری بر تصمیم‌گیری کشاورزان نسبت به حفاظت منابع آب ندارند. عدم معناداری متغیرهای نگرانی، ارزش‌ها، دلبستگی مکانی و نگرش لزوماً نشان‌دهنده بی‌اهمیت بودن آن‌ها نیست، بلکه می‌تواند ناشی از اثرات غیرمستقیم، همپوشانی مفهومی، یا غلبه عوامل اقتصادی و زمینه‌ای در تصمیم‌گیری کشاورزان باشد.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، حفاظت منابع آب، تصمیم‌گیری کشاورزان، عوامل روانشناسی.

The Psychological Factors Influencing Farmers' Decision-Making Regarding Agricultural Water Conservation in the Mahidasht Region of Kermanshah

R. Movahedi[1*], M. Shirkhani[2]

1, 2- Professor and Ph.D. Graduate, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** r.movahedi@basu.ac.ir

Received ▶ 03-01-2026
Revised ▶ 25-06-2026
Accepted ▶ 27-06-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

The main aim of the present study was to investigate the psychological factors influencing farmers' decision-making regarding agricultural water conservation in the Mahidasht region of Kermanshah, Iran. This applied research employed a quantitative methodology and a survey design for data collection, with a descriptive-analytical approach for data analysis. Data were gathered using a structured questionnaire. The statistical population consisted of irrigated farmers in the Mahidasht region across two rural districts, Mahidasht and Chaqan-Narges, with a total population of 1,200 farmers (N = 1,200). The sample size was determined using the Krejcie and Morgan table, resulting in 291 respondents. A stratified random sampling method with proportional atribution was used. Data analysis was conducted in two stages–descriptive and inferential–using comparative statistical tests, correlation analysis, and structural equation modeling. SPSS 26 and PLS-3 were used for data processing. The results indicated that among the psychological factors examined, subjective norm, moral norm, personality, and perceived responsibility (attribution of responsibility) had a significant effect on farmers' decision-making regarding water resource conservation at the 95% confidence level. In contrast, place attachment, conservation value, environmental concern, and attitude did not show a statistically significant effect. However, the non-significant effects of concern; values, place attachment, and attitude do not necessarily imply their irrelevance. Rather, these findings may reflect indirect relationships, conceptual overlap among variables, or the stronger influence of economic and contextual factors in farmers' decision-making processes.

Keywords: Water Crisis, Water Resource Conservation, Farmers' Decision-Making, Psychological Factors.

How to cite this article:

Movahedi, R. and Shirkhani, M. (2026). The Psychological Factors Influencing Farmers' Decision-Making Regarding Agricultural Water Conservation in the Mahidasht Region of Kermanshah. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 7-22. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2601-1489

مقدمه

توزیع نامساوی آب در جهان، به‌معنای اهمیت آن به‌ویژه برای کشورهای کم‌آب است و بنابراین بهره‌برداری پایدار و کارآمد از آن، اهمیت حیاتی دارد (lu و همکاران، ۲۰۲۵). بااین‌حال امروزه به دلیل افزایش تقاضا برای آب و کاهش ذخیره‌های آبی، مناطق وسیعی از جهان در معرض مشکلات کمبود آب قرار گرفته است (Jia و همکاران، ۲۰۲۴). ایران نیز به‌عنوان دومین کشور بزرگ خاورمیانه با کمبود آب شدید مواجه است (Hamidifar، ۲۰۲۴)؛ به‌طوری‌که اثرات انسانی توسعه و خشک‌سالی‌های مکرر، دسترسی به آب را محدود کرده است (Maghrebi و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین بهره‌برداری پایدار و کارآمد از آب، اهمیت حیاتی دارد.

ازآنجایی‌که اعمال انسان باعث به‌وجود آمدن چالش‌ها و مشکلات محیط‌زیستی ازجمله بحران آب شده است؛ بنابراین رفع آن‌ها نیاز به درک ریشه‌های آن در رفتار انسانی دارد (Sarathchandra و Taylor، ۲۰۲۵). انسان‌ها با انتخاب‌های محتمل بسیاری درباره نحوه زندگی کردن مواجه هستند و این انتخاب کردن‌ها ساده نیست، زیرا سازمان‌دهی جوامع انسانی بسیار پیچیده است. بسیاری از تصمیماتی که به‌صورت فردی یا گروهی اتخاذ می‌شود و اقداماتی که بر اساس آن‌ها انجام می‌گیرد، بر محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد (Berardi و Blackmore، ۲۰۰۶). انتخاب‌های فردی به‌طور آشکار بر اساس مزایای فردی و نه به نفع همه، انجام می‌شود؛ و مشکلات محیط‌زیستی می‌تواند به‌عنوان یک شکست در همکاری بررسی شود (Blackmore و همکاران، ۲۰۱۸). تصمیم‌های محیط‌زیستی[1] بیشتر دارای ابعاد محلی هستند اما به مسائل محیط‌زیستی جهانی مربوط می‌شوند. افراد و گروه‌ها می‌توانند با انتخاب‌هایشان، نتایج محیط‌زیستی مثبت را به حداکثر رسانده، محیط‌زیست را بهبود داده و اثرات مخرب را محدود نمایند (Berardi وBlackmore، ۲۰۰۶). بنابراین توجه به موضوع تصمیم‌گیری و انتخاب در مسائل مربوط به محیط‌زیست، از جمله مسئله بحران آب و حفاظت از آن، اهمیت به‌سزایی دارد.

باتوجه‌به چالش‌های فراوانی که ایران در زمینه بحران آب با آن مواجه است و سهم و نقش بخش کشاورزی در ایجاد این بحران، افزایش بهره‌وری آب زراعی ضروری است (کلانتر و همکاران، ۱۴۰۴؛ حیدری، ۱۴۰۳). اقدامات سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان ایران به‌منظور حمایت از بخش کشاورزی، بدون داشتن یک طرح جامع برای توانمندسازی کشاورزان و جوامع روستایی، با شکست مواجه خواهد شد (Madani، ۲۰۱۴). اعمال سیاست‌های حمایتی دولت بر بخش کشاورزی در شرایطی اهمیت دارد که موجب برهم‌خوردن پایداری در این بخش نشده و پایداری اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی حفظ شود (Li و همکاران، ۲۰۲۵). بنابراین برای این منظور باید برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های مربوط به بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب کشاورزی، بر مبنای نتایج پژوهشی جامع و در برگیرنده رویکردهای جامعه‌شناختی و روان‌شناختی مربوط به بهره‌برداران آب، انجام گیرد.

در چنین شرایطی، تصمیم‌گیری محیط‌زیستی فردی یا گروهی کشاورزان در حفاظت منابع آبی و اقداماتی که به‌دنبال آن‌ها و بر اساس آن‌ها انجام می‌گیرد، بسیار اهمیت دارد؛ و بر منابع آب کشاورزی منطقه ماهیدشت دارای اثرات مستقیم و غیرمستقیم و پیامدهای گسترده و درازمدت است. بنابراین مطالعه ابعاد روان‌شناختی موثر بر تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی بهره‌برداران آب منطقه و درک پیچیدگی‌های آن، باید بررسی و تحلیل شود. ازجمله متغیرهای روان‌شناختی تعیین‌کننده فرآیند پیچیده تصمیم‌گیری محیط‌زیستی می‌توان به ارزش‌های محیط‌زیستی، احساسات[2]، نگرش[3] محیط‌زیستی، پیوند عاطفی با طبیعت[4]، هویت محیط‌زیستی ، باورها، هنجارها، مسئولیت‌پذیری، تعهد، درگیر شدن شخصی[5]، نگرانی و ... اشاره کرد. به‌این‌ترتیب ضرورت دارد با استفاده از رویکردی روان‌شناختی، آن دسته از متغیرهای مرتبط با موضوع پژوهش حاضر بررسی شود.

باتوجه‌به آن‌چه گفته شده و همچنین از آنجایی‌که دشت ماهیدشت شهرستان کرمانشاه، یکی از حاصل‌خیزترین دشت‌های ایران است؛ و به‌دلیل خشک‌سالی‌های پیاپی و کمبود بارندگی در سالیان اخیر، بر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی برای مصارف بخش کشاورزی تاکید داشته و این مسئله موجب تخلیه و برداشت بیش از حد از سفره آب زیرزمینی و افت سطح آب و در نتیجه ممنوعه اعلام شدن این دشت، شده است (Zarafshani وSaadvandi، ۲۰۱۷)؛ مسئله اصلی پژوهش حاضر بررسی عوامل روانشناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان در حفاظت از منابع آب کشاورزی در منطقه ماهیدشت شهرستان کرمانشاه است.

تاکنون پژوهش‌ها و مطالعات مختلفی در سطح جهان و ایران انجام شده که بر عوامل موثر بر حفاظت منابع آب تاکید داشته‌اند. اما در زمینه عوامل روانشناختی و فردی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان تحقیقاتی صورت گرفته که به برخی از مهمترین آنها اشاره می‌شود.

نتایج پژوهش فلاحیان و همکاران (۱۴۰۴) در زمینه تحلیل عوامل روان‌شناختی مؤثر بر رفتار حفاظت از آب در بین کشاورزان شهرستان دلفان نشان داد متغیرهای نگرش، هنجارهای توصیفی، هنجارهای تأکیدی و قصد تأثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار کشاورزان در زمینه حفاظت از آب داشتند. نتایج اسدزاده و همکاران (۱۴۰۴) نشان داد متغیرهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، مدیریتی، فنی و اقلیمی بر تصمیم‌گیری کشاورزان تاثیر مستقیم و غیر مستقیم دارند. همچنین متغیرهای درک ریسک تغییرات اقلیمی و حمایت‌های دولتی به‌عنوان متغیرهای میانجی، نقش مهم و معنی‌داری بر رفتار کشاورزان در برابر تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند. نتایج پژوهش اسکندری و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد

متغیرهای خودکارآمدی، انتساب مسئولیت، آگاهی از نیاز، اثربخشی پاسخ و آگاهی از پیامدها اثری مثبت و معنی داری بر هنجار اخلاقی شالیکاران نسبت به استفاده از کودهای آلی در کشت برنج دارد. همچنین هنجارهای اخلاقی با تاثیرگذاری از طریق متغیرهای احساس غرور و احساس گناه به‌طور مستقیم و نامستقیم بر رفتار شالیکاران نسبت به به‌کارگیری کودهای اثر معنی‌داری دارد. یافته‌های برخوری (۱۴۰۴) در زمینه عوامل موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان برای سازگاری با تغییراقلیم در دشت جیرفت نشان داد متغیرهای نظریه انگیزش حفاظت (ارزیابی تغییراقلیم، ارزیابی سازگاری و بازدارندگی سازگاری)، نقش میانجی‌گری را برای اثرگذاری متغیرهای ظرفیت سازگاری (متغیرهای سرمایه اجتماعی، پتانسیل مالی و سرمایه انسانی) بر تصمیم‌سازی سازگاری کشاورزان دارند. یافته‌های خسروی پور و همکارانش (۱۴۰۴) نشان داد نگرش‌ها، هنجارهای اجتماعی درک‌شده، کنترل رفتاری ادراک شده و باورهای محیط‌زیستی کشاورزان تحت تاثیر مستقیم آموزش قابل تغییر بوده و با ایجاد ارتباط میان دانش فنی و انگیزه‌های روان‌شناختی، رفتار زیست محیطی کشاورزان به طور پایدار قابل تغییر است.

نتایج پژوهش عزیزی و همکاران (۱۴۰۱)، نشان داد ویژگی‌های کشاورزان از قبیل تجربه، مالکیت، تحصیلات بر تصمیماتی که برای آبیاری مزرعه می‌گیرند تاثیرگذار هستند. باتوجه‌به نتایج به‌دست آمده از پژوهش Azizi-Khalkheili و همکارانش (۲۰۲۱)، سازه‌های اقتصادی، دانش، انگیزه‌ها و اهداف، نتایج محسوس سازگاری، هنجارهای اجتماعی و شخصی، درک از تغییر اقلیم، درک از ریسک و موانع، نگرش نسبت به تغییر اقلیم، درک آتی از تغییر اقلیم، و ارزیابی ذهنی از تغییر اقلیم و فعالیت های سازگاری بر تصمیم‌گیری کشاورزان برای سازگاری با تغییر اقلیم تاثیر گذار هستند. Valizadeh و همکاران (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر دلبستگی و هویت مکانی کشاورزان بر هنجارهای اخلاقی و نیت حفاظت از آب، یافته‌ها نشان دادند دلبستگی مکانی (وابستگی مکانی، هویت مکانی، اثر مکانی) اثرات مثبت و معنی‌داری بر هنجارهای اخلاقی حفاظت از آب دارند. علاوه‌براین، هنجارهای اخلاقی حفاظت از آب و هویت حفاظت‌گرا اثرات مثبت معنی‌داری بر نیت حفاظت از آب داشتند. بااین‌حال، هویت تولیدگرا اثر منفی معنی‌داری بر هنجارهای اخلاقی و نیت حفاظت از آب داشت. در مطالعه دیگری با عنوان «مفهوم‌سازی اجتماعی-شناختی رفتار حفاظت از آب کشاورزان ایرانی» نتایج نشان داد عمده‌ترین عوامل تعیین‌کننده رفتار حفاظت آب شامل نیت حفاظت از آب، عوامل اجتماعی-ساختاری، ادراک رفتار دیگران، انتظار نتیجه[۶]، خودکارآمدی[۷] و هم‌تنظیمی[۸] حفاظت از آب بودند (Valizadeh و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج مهنی رفتار و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد متغیرهای هنجارهای اخلاقی و دانش ذخیره‌سازی و مهار آب، در حدود ۶۶ درصد از تغییرات رفتار حفاظت از آب کشاورزان شهرستان جیرفت را تبیین نمودند.

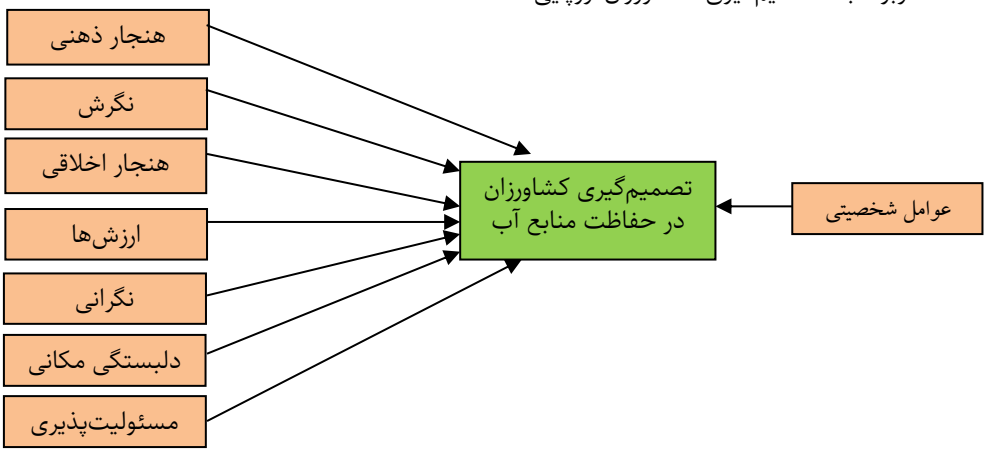
در پژوهشی با هدف بررسی تعیین‌کننده‌های هنجارهای اخلاقی و اسناد مسئولیت در زمینه حفاظت آب کشاورزان شهرستان‌های مهاباد و میاندوآب در استان آذربایجان غربی، نتایج نشان داد متغیرهای نگرانی نسبت به کمبود آب، مسئولیت و دلبستگی مکانی، اثر مثبت و معنی‌داری بر هنجارهای اخلاقی در زمینه حفاظت آب داشتند (ولی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). رنجبر و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با هدف بررسی تاثیر انواع هنجارها بر رفتار مشارکتی کشاورزان در حفاظت از آب حوضه آبخیز تالاب زریوار شهرستان مریوان، نشان دادند متغیرهای هنجارهای مشارکتی، قانونی و باورهای هنجاری، تاثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتار مشارکتی در زمینه حفاظت از آب داشتند و در مجموع ۴۷ درصد از واریانس متغیر وابسته را تبیین کردند. نتایج قنبری و همکارانش (۱۳۹۷) نشان داد عوامل اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی نقش بیشتری در تصمیم کشاورزان در اتخاذ شیوه‌های مناسب برای حفاظت از آب وخاک داشته‌اند؛ بنابراین، می‌توان گفت بهترین راه حفاظت از منابع، توجه به نیازهای محیط‌زیستی محلی و عوامل اجتماعی و اقتصادی کشاورزان است که در کاهش تخریب محیط‌زیست و افزایش تولید محصولات کشاورزی موثر است. Keshavarz و Karami (۲۰۱۶) در مطالعه خود از نظریه انگیزه حفاظت[۹] به‌عنوان پایه‌ای برای شناسایی عوامل تعیین کننده رفتار محیط‌زیستیپ کشاورزان در خشکسالی استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد کارایی پاسخ[۱۰]، شدت درک شده[۱۱]، هزینه های پاسخ[۱۲]، آسیب‌پذیری درک شده[۱۳]، خودکارآمدی[۱۴]، درآمد و محیط اجتماعی به‌طور معنی‌داری رفتار محیط‌زیستی کشاورزان در خشکسالی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در تحقیقی با هدف تحلیل روانشناسی محیط‌زیستی از رفتار مشارکت‌گرایانه کشاورزان در حفاظت از آب، یافته‌ها نشان دادند که کشاورزان دارای ارزش‌های فردگرایانه، رفتارهای مشارکت‌گرایانه کمتری نسبت به کشاورزان دارای ارزش‌های جمع‌گرایانه در راستای حفاظت از منابع آب از خود نشان می‌دهند و این دو متغیر توانستند، ۳۲/۵ درصد از تغییرات رفتار حفاظت آب مشارکت‌گرایانه را پیش‌بینی کنند (ولی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج پژوهش رحیمی فیض آباد و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد دو متغیر انتساب مسئولیت و خودکارآمدی بر هنجار اخلاقی کشاورزان نسبت به حفاظت از آب تاثیر می‌گذارند. همچنین، رفتار حفاظت از آب به طور معنی‌داری توسط هنجار اخلاقی تبیین می‌شود.

Morris و Morris (۲۰۲۶) در پژوهش خود نشان دادند عوامل روانشناختی کلیدی مانند هویت شغلی، ناهماهنگی شناختی، دلبستگی عاطفی به زمین، انزوای اجتماعی و کنترل ادراک شده بر رفتار کشاورزان نسبت به ترک طبیعت یا حفاظت از آن موثر هستند. نتایج تجربی Eichhorn و همکاران (۲۰۲۶) حاصل از نظرسنجی از ۲۳۵ کشاورز اتریشی نشان می‌دهد که عوامل رفتاری مانند خودکارآمدی، ریسک ادراک شده و هنجار ذهنی به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر قصد کشاورزان برای

اجرای طرح‌های نتیجه محور تأثیر می‌گذارند. Jia و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با هدف بررسی رفتار تصمیم‌گیری طبقه‌بندی زباله‌های خانگی ساکنان روستایی در شمال غربی چین نشان دادند که احساس مسئولیت محیط‌زیستی، تاثیر مثبت و معنی‌داری بر رفتارهای تصمیم‌گیری ساکنان روستایی دارد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد ادراک روانشناختی ساکنان روستا از آلودگی زباله‌های خانگی، به‌طور معنی‌داری تمایل به طبقه‌بندی آن‌ها را افزایش می‌دهد. Dessart و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای، یافته‌های ۲۰ سال گذشته را در مورد عوامل رفتاری که بر تصمیمات کشاورزان برای اتخاذ شیوه‌های محیط‌زیستی پایدار تأثیر می‌گذارد، بررسی کردند. بررسی آن‌ها نشان داد در نظر گرفتن عوامل رفتاری، تحلیل‌های اقتصادی تصمیم‌گیری کشاورز را غنی‌تر می‌کند و می‌تواند به سیاست‌های کشاورزی - محیط‌زیستی واقعی‌تر و مؤثرتر منجر شود. در مطالعه Sachdeva (۲۰۱۷) پیرامون بررسی تأثیر باورهای مقدس در ادراک و نگرش مخاطره محیط‌زیستی، مشخص شد که باورهای مقدس ممکن است مشارکت‌کنندگان را به اثرات مضر آلودگی در رودخانه گنجیز[۱۵] سوق دهد. یافته‌های تجربی Bartkowski و Bartke (۲۰۱۸) از بررسی ۸۷ مطالعه مربوط به تصمیم‌گیری کشاورزان اروپایی نشان داد محدودیت‌ها و انگیزه‌های اقتصادی بسیار مهم هستند، اما سایر عوامل به‌ویژه نگرش طرفدار محیط‌زیست، تناسب و سازگاری مناسب و تجربه گذشته، نیز تأثیرات مهمی بر تصمیم‌های محیط‌زیستی کشاورزان دارند.

بنابراین، متغیرهای مفهومی مدل تحقیق (شکل ۱) بر اساس چارچوب‌های نظری معتبر در حوزه روان‌شناسی و علوم رفتاری که در بالا اشاره شد انتخاب شدند. این متغیرها (نگرش، هنجار، ارزش، نگرانی، مسئولیت پذیری، دلبستگی مکانی، عوامل شخصیتی) به‌طور مکرر در مرور ادبیات مربوط به مطالعات پذیرش نوآوری، مدیریت منابع طبیعی و سازگاری با تغییرات اقلیمی ظاهر شده‌اند. بنابراین انتخاب آن‌ها هم مبتنی بر نظریه است هم توسط داده‌های تجربی پشتیبانی می‌شود. متغیرهای مدل ترکیب عوامل شناختی، اجتماعی و هیجانی است. این چهار دسته متغیر باعث می‌شود مدل، فقط نظری نباشد، بلکه ابعاد شناختی (نگرش)، اجتماعی (هنجار)، فردی (شخصیت) و هیجانی (نگرانی) را هم‌زمان پوشش دهد این رویکرد چندبعدی، به‌ویژه در کشاورزی که تصمیم‌ها تحت تأثیر عدم قطعیت و شرایط محیطی هستند، بسیار ضروری است.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت ماهیدشت یکی از مناطق مهم استان کرمانشاه می‌باشد و یکی از حاصل‌خیزترین دشت‌های ایران به شمار می‌رود که به دلیل خشک‌سالی‌های پیاپی و کمبود بارش در منطقه مورد مطالعه، آب‌های سطحی قابل توجهی نداشته و آب‌های زیرزمینی بخش زیادی از آب مصرفی بخش کشاورزی را در آن تامین می کند. در طی سال های گذشته برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی در این دشت روند صعودی داشته است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). در حوزه دشت ماهیدشت ۱۵۹۳ چاه وجود دارد که این منطقه را به یکی از مناطق استان با بیشترین تعداد چاه تبدیل کرده است. دشت ماهیدشت بر اساس بهره‌برداری از آب به چهار بخش مختلف (سرفیروزآباد، ماهیدشت، مرکزی و کوزران) تقسیم شده است. کشاورزان این منطقه بیشتر کشاورزان با کشت آبی هستند که به تولید ذرت، گندم، جو و چغندرقند اشتغال دارند. رودخانه زهکش اصلی دشت، مرک نام دارد که از ارتفاعات بخش شرقی سرفیروزآباد سرچشمه گرفته و پس از طی نمودن دشت سرفیروزآباد وارد دشت ماهیدشت می‌شود و ضمن عبور از کل این دشت، در دوآب مرک از دشت خارج و وارد دشت بالادربند می‌شود. دشت ماهیدشت به‌صورت یک دشت تقریباً مستطیل شکل با کشیدگی شمال غرب-جنوب شرق قرارگرفته است. آب زیرزمینی در دشت ماهیدشت در طبقات آبرفتی به ضخامت بین ۱۰ تا ۲۰۰ متر وجود دارد که از شن، ماسه و سیلت همراه با لایه‌های رسی تشکیل شده است. سطح آب زیرزمینی در دشت متفاوت بوده و در مناطق غربی عموما بالا بوده و در بعضی مناطق به‌خصوص نواحی شمال

غربی منطقه به‌علت ضـخامت طبقات رسـی که اکثرا بین لایه‌ها قرار دارد، سفره تحت‌فشار و یا نیمه‌تحت‌فشار می‌باشد. این منطقه نیمه‌خشک و سرد می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، ۱۳۹۸).

پژوهش حـاضـر از نظر هـدف، کـاربردی بوده، بـه‌لحـاظ روش‌شـنـاختی، از دیـدمـان کمی بهره می‌گیرد و از لحـاظ گردآوری داده‌ها، از نوع پیمایشی است و بر پایه تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نوع توصـیفی بود. اطلاعات موردنیاز با اسـتفاده از پرسـشـنامه سـاختارمند جمع‌آوری شـد. تحلیل و پردازش داده‌ها در دو بخش آمار توصـیفی و اسـتنباطی مبتنی بر آزمون‌های آماری مقایسـه‌ای، همبسـتگی، و مدل‌سـازی معادلات ساختاری، انجام گرفت و در این راستا از نرم‌افزارهای SPSS-26 و PLS-3 اسـتفاده شـد. به‌منظور بررسـی متغیر وابسته، فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی، از مدل English (۱۹۹۹) و چهارچوب Tonn و همکاران (۲۰۰۰) اسـتفاده شـد. متغیرهای مستقل این پژوهش نیز شامل هنجارهای اخلاقی، هنجارهای ذهنی، نگرش، نگرانی، ارزش، دلبسـتگی مکانی، مسـئولیت‌پـذیری، عوامـل شـخصـیتی و ویژگی‌هـای جمعیت‌شناختی بودند.

جامعه آماری تحقیق را کشـاورزان دارای کشـت آبی منطقه ماهیدشـت در دو دهسـتان ماهیدشـت و چقانرگس تشـکیل دادند. حجم جامعه کشـاورزان آبی در دهسـتان ماهیدشـت ۴۳۰ نفر و دهسـتان چقانرگس ۷۷۰ نفر و در مجموع ۱۲۰۰ نفر بود (N=۱۲۰۰). انتخاب حجم نمونه بر اسـاس جدول Krejcie و Morgan (۱۹۷۰) و معادل ۲۹۱ نفر به‌دسـت آمد. نمونه‌گیری با استفاده از روش تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب انجام گرفت. تعداد پرسـشـنامه‌های جمع‌آوری شده، ۲۷۶ عدد بود و نرخ بازگشـت، ۹۴/۸۴ درصـد برآورد شـد. از این تعداد، ۹۹ پرسـشـنامه مربوط به دهسـتان ماهیدشـت و ۱۷۷ پرسـشـنامه مربوط به دهسـتان چقانرگس بود. پرسـشـنامه پژوهش حاضر متشـکل از سـه بخش بود. بخش اول شـامل ویژگی‌های شـخصـی-حرفه‌ای (جمعیت‌شـناختی) کشـاورزان و بخش دوم شـامل مولفه‌های تصـمیم‌گیری محیط‌زیسـتی، شـامل فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی (تعریف مسئله، جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات، شـناسـایی گزینه‌ها، اجرا و ارزیابی تصـمیمات) بود. در نهایت بخش سـوم پرسـشـنامه در بر گیرنده مولفه‌های روان‌شـناختی- محیط‌زیسـتی (هنجارهای اخلاقی، هنجارهای ذهنی، نگرش، نگرانی، ارزش‌هـا، دلبسـتگی مکـانی، درگیری شـخصـی، انتسـاب مسـئولیت، و عوامل شـخصـیتی) بود. در جدول (۱) مشخصات همه بخش‌های پرسشنامه و منابع مورد استفاده در تهیه گویه‌ها ارائه شده است.

جدول ۱- متغیرها و سوالات پرسشنامه و مقادیر آلفا

سازه	متغیر	سوال	آلفا	منبع
ویژگی‌های جمعیت‌شناختی	سن-تحصیلات-میزان زمین	۱۵	-	Mozzato و همکاران (۲۰۱۸)؛ Bartke و Bartkowski (۲۰۱۸)؛ Karami و Keshavarz (۲۰۱۴)
فرایند تصمیم‌گیری	تعریف مسئله	۲	۰/۹۲۱	Tonn و همکاران (۲۰۰۰)؛ English (۱۹۹۹).
	جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات	۵	۰/۹۳۵	
	شناسایی گزینه‌ها	۳	۰/۹۴۷	
	اجرا و ارزیابی تصمیمات	۳	۰/۹۳۲	
ویژگی‌های روانشناسی	هنجارهای اخلاقی	۳	۰/۹۶۴	Jia و همکاران (۲۰۲۱)؛ Mozzato و همکاران (۲۰۱۸)؛ Bartke و Bartkowski (۲۰۱۸)؛ Tanner (۲۰۰۹)؛ Smith و همکاران (۲۰۰۸)؛
	هنجارهای ذهنی	۲	۰/۷۸۳	
	نگرش	۳	۰/۹۳۴	
	نگرانی	۳	۰/۸۸۵	
	ارزش‌ها	۴	۰/۹۰۱	
	دلبستگی مکانی	۵	۰/۸۹۷	
	انتساب مسئولیت	۲	۰/۷۰۸	
	عوامل شخصیتی	۴	۰/۸۶۰	

به منظور سـنجش روایی سـوالات پرسـشـنامه اولیه، از روش روایی محتوایی به کمک نظرات کارشناسان و اساتید دانشگاه استفاده شد. برای سنجش پایایی پرسشنامه، ۳۰ پرسشنامه اولیه در یك جامعه آماری مشـابه جامعه اصـلی (دهسـتان بیلوار، جلالوند و حومه کرند) توزیع و تکمیل شـد. سـپس با اسـتفاده از نرم‌افزار SPSS 26، آلفای کرونباخ سـوالات طیف لیکرتی پرسـشـنامه، محاسـبه شـد. براین‌اساس، گویه‌هایی که باعث کم شـدن مقادیر ضـریب آلفای کرونباخ می‌شـدند (کمتر از ۰/۶۰)، حـذف شـد. همچنین یکی از متغیرها به نام باور بوم‌شناختی آب[۱۶] با تعداد ۲ گویه، به دلیل پایین بودن ضریب آلفای کرونباخ آن، به کلی حذف شـد. در نهایت سـوالات پرسـشـنامه نهایی همگی با مقادیر کرونباخ آلفای بالای ۰/۷۰

بودند که نشان دهنده پایایی قابل قبول ابزار این تحقیق است (جدول ۱). در پژوهش حاضر، جهت تحلیل و بررسی روابط بین متغیرهای مستقل (هنجار، نگرش، نگرانی، ارزش، دلبستگی مکانی، مسئولیت‌پذیری، و عوامل شخصیتی) و وابسته (فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی) و آزمون فرضیات تحقیق از تکنیک تحلیل عاملی تاییدی به شیوه مدل‌سازی معادلات ساختاری به کمک نرم‌افزار PLS-3 استفاده شده است. این روش شامل دو بخش ارزیابی مدل اندازه‌گیری و ارزیابی مدل ساختاری است.

نتایج و بحث

بر اساس یافته‌های توصیفی، در مجموع ۸۵/۵ درصد از کشاوزان در این پژوهش مرد (۲۳۶ نفر) و ۱۴/۵ درصد (۴۰ نفر) زن بودند. همچنین ۸۳/۳ درصد از کشاوزان دارای کشت آبی متاهل (۲۲۹ نفر) و ۱۶/۷ درصد (۴۶ نفر) مجرد بودند. محدوده سنی کشاورزان بین ۱۸ تا ۹۰ سال و با میانگین ۴۵/۵۸ و انحراف‌معیار ۱۲/۲۴ بود. بر اساس یافته‌های توصیفی به‌دست آمده درباره میزان تحصیلات پاسخگویان، ۲۹/۴ درصد از آنان با بیشترین فراوانی (۸۱ نفر) دارای تحصیلات ابتدایی و بعد از آن، ۲۹ درصد (۸۰ نفر) دارای تحصیلات دیپلم بودند. کمترین فراوانی (۷ نفر) نیز مربوط به کشاورزان دارای سطح تحصیلات فوق لیسانس و بالاتر بود. از مجموع کشاورزان مورد مطالعه، ۵۳/۳ درصد (۱۴۷ نفر) دارای کشت آبی و ۴۶/۷ درصد (۱۲۹ نفر) دارای هر دو کشت آبی و دیم بودند. یافته‌ها نشان داد میزان زمین‌های آبی کشاورزان بین ۱ تا ۴۰۰ هکتار متغیر بوده و دارای میانگین ۲۵/۷۳ هکتار و انحراف‌معیار ۳۲/۳۶ می‌باشد. بیشترین فراوانی (۳۲/۵ درصد) مربوط به پاسخگویانی بود که کمتر از ۱۰ هکتار زمین آبی داشتند و کمترین فراوانی (۶ نفر) مربوط به افرادی بود که بیشتر از ۱۰۰ هکتار زمین آبی داشتند. یافته‌های توصیفی نشان داد کشت غالب کشاورزان مورد مطالعه، گندم (۷۰/۲) و بعد از آن جو (۱۳/۴) و ذرت (۹/۳) بوده است. محصولات دیگری همچون چغندر قند، یونجه، نخود، سیب زمینی و پیاز (۷/۱) نیز به‌عنوان کشت غالب معرفی شدند. نتایج نشان داد متوسط مصرف کود شیمیایی توسط کشاورزان بین صفر تا ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده و دارای میانگین ۱۴۲/۸۸ کیلوگرم و انحراف‌معیار ۵۲/۲۳ می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، منبع تامین آب کشاورزی ۷۵ درصد از پاسخگویان با بیشترین فراوانی (۲۰۷ نفر)، چاه شخصی و ۱/۱ درصد با کمترین فراوانی (۳ نفر)، رودخانه بود. یافته‌های توصیفی درباره نوع چاه‌های آب کشاورزی نشان داد که ۷۳/۱ درصد از پاسخگویان با بیشترین فراوانی (۲۰۱ نفر) دارای چاه عمیق و ۱۰/۵ درصد با کمترین فراوانی (۲۹ نفر) دارای چاه دهانه گشاد یا دستی بوده است. سایر پاسخگویان نیز فاقد چاه بودند. نوع کانال انتقال آب کشاورزی ۶۳/۱ درصد از پاسخگویان با بیشترین فراوانی (۱۶۹ نفر)، لوله پلی‌اتیلن و ۲/۲ درصد با کمترین فراوانی (۶ نفر)، سیمانی و نهرخاکی بود. ۴۹/۵ درصد از کشاورزان با بیشترین فراوانی (۱۳۶ نفر) دارای روش آبیاری مدرن، ۲۷/۲ درصد (۷۵ نفر) دارای روش سنتی و ۲۳/۳ درصد (۶۴ نفر) دارای هر دو نوع روش آبیاری مدرن و سنتی بودند. در مجموع، ۱۵/۶ درصد از کشاوزان (۴۳ نفر) در دوره‌های آموزشی مربوط به آب شرکت داشته و ۸۴/۴ درصد (۲۳۲ نفر) نیز در این دوره‌ها شرکت نداشته‌اند. همچنین هیچ‌گونه تشکل‌های آب‌بران و سایر تشکل‌ها و تعاونی‌های کشاورزی فعالی در منطقه مورد مطالعه وجود نداشته و کشاورزان فاقد عضویت در هر گونه تشکل و تعاونی بودند.

اولویت‌بندی گویه‌های روان‌شناختی موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان

در این پژوهش متغیرهای موثر بر حفاظت از منابع آب کشاورزی تحت عنوان عوامل روان‌شناختی و شخصیتی مورد سنجش قرار گرفت. هر یک از این عوامل در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

نگرش، به احساس مثبت یا منفی پایدار به حفاظت از منابع آب کشاورزی اشاره دارد و یکی از مهمترین عوامل در این زمینه است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح نسبتا خوبی قرار دارد (میانگین ۳/۹۷ و انحراف‌معیار ۰/۷۶۹).

نگرانی، به میزان آگاهی کشاورزان از مسائل محیط‌زیستی مربوط به منابع آب و تلاش برای حل آن‌ها اشاره دارد که از عوامل موثر در این‌باره تلقی می‌شود. به‌عبارت‌دیگر نگرانی درباره منابع آب یعنی اینکه کشاورزان چقدر نسبت به وضعیت منابع آب و مسائل مربوط به مصرف بیش از حد از آب، نگران هستند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح نسبتا خوبی قرار دارد (میانگین ۳/۹۳ و انحراف‌معیار ۰/۹۳۵). به‌این‌ترتیب این سه متغیر روان‌شناختی مهم، در کشاورزان وضعیت نسبتا خوبی دارد که می‌تواند با برنامه‌ریزی‌های درست و مطالعه شده، زمینه مناسبی برای اجرای اقدامات حفاظت از منابع آب کشاورزی را فراهم کنند.

هنجارهای اخلاقی یا شخصی به قواعد یا ارزش‌های اخلاقی درونی اشاره دارند که با انگیزه پاداش‌ها یا مجازات‌های پیش‌بینی شده توسط خود فرد، اداره می‌شوند و برای درک رفتارهای اخلاقی مثل تصمیم‌گیری حفاظت از منابع آب کشاورزی اهمیت دارند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح نسبتا خوبی قرار دارد (میانگین ۳/۵۴ و انحراف‌معیار ۱/۰۲۳). به‌عبارت‌دیگر تعهد اخلاقی کشاورزان نسبت به حفاظت از منابع آب کشاورزی نسبتا خوب است. هنجارهای ذهنی یا اجتماعی در مقابل هنجارهای اخلاقی یا شخصی قرار دارد و فشار اجتماعی درک شده برای انجام یا عدم انجام یک عمل است و در واقع حمایت اجتماعی که از تصمیمات حفاظت از منابع آب کشاورزی دریافت می‌شود، انگیزه انجام آن‌ها را ایجاد می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح متوسطی

قرار دارد (میانگین ۳/۳۸ و انحراف‌معیار ۰/۹۶۴). به‌این‌ترتیب نتایج نشان می‌دهد که انگیزه‌های درونی کشاورزان منطقه در حفاظت از منابع آب کشاورزی، بیشتر از انگیزه‌های بیرونی آن‌ها است. ارزش‌ها، مسئول شکل‌گیری بسیاری از انگیزه‌های درونی هستند و حفاظت از منابع آب کشاورزی نیز می‌تواند متاثر از ارزش‌های کشاورزان باشد. ارزش‌ها در کشاورزان با استفاده از ۴ گویه مورد سنجش گرفت. همان‌طور که نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح خوبی قرار دارد (میانگین ۴/۰۱ و انحراف‌معیار ۰/۷۷۲).

انتساب مسئولیت یا میزان مسئولیت‌پذیری شخصی ادراک شده به آگاهی کشاورزان از عواقب اعمال خود برای دیگران و منابع آب کشاورزی منطقه و پذیرفتن مسئولیت عواقب مشاهده شده در این زمینه اشاره دارد. نتایج نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح نسبتا ضعیفی قرار دارد (میانگین ۲/۸۸ و انحراف‌معیار ۱/۱۳۴) و اکثر کشاورزان مشکلات کنونی بحران آب در منطقه ماهیدشت را به دلیل سیاست‌های اشتباه دولت می‌دانند. عدم وجود فرهنگ درست مصرف آب می‌تواند دارای ریشه‌های مختلفی باشد که یکی از آن‌ها وجود باورها و بینش‌های اشتباه جامعه در مورد مسئله بحران آب است که در طی سالیان طولانی شکل گرفته است؛ به‌طوری‌که مردم آب را یک مقوله دولتی یا حاکمیتی می‌دانند و این باور اشتباه باعث می‌شود که در زمینه حفاظت از آب احساس مسئولیت نداشته باشند و همه مشکلات را مربوط به دولت بدانند و فکر کنند خودشان نباید و نمی‌توانند به منظور حل بحران آب کاری انجام دهند.

دلبستگی مکانی یک پیوند کارکردی، نمادین یا عاطفی به یک مکان و ساختاری سه‌جانبه شامل دلبستگی مکانی، وابستگی مکانی و هویت مکانی است. نتایج نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح متوسطی قرار دارد (میانگین ۳/۳۸ و انحراف‌معیار ۱/۰۶۲). کشاورزان مورد مطالعه نسبت به فعالیت در زمین کشاورزی که شاخص دلبستگی است، احساس بهتری دارند و بعد از آن هویتی که ناشی از این فعالیت‌ها است نیز در کشاورزان وضعیت بهتری دارد. بااین‌حال تمایل آن‌ها به زندگی در منطقه روستایی کم است.

عوامل شخصیتی خصلت‌هایی است که به‌عنوان ویژگی‌های محدود کننده اقدامات حفاظت از منابع آب کشاورزی بهره‌برداران آب، مشخص شدند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد وضعیت این متغیر در سطح متوسطی قرار دارد (میانگین ۳/۳۸ و انحراف‌معیار ۱/۱۱۶). ، منفعت‌طلبی و سودجویی و رقابت در بهره‌برداری از منابع آب، ناتوانی در برطرف کردن مشکلات مالی، مقاومت در برابر قوانین و تنبلی و راحت‌طلبی، به‌ترتیب به‌عنوان مهمترین عوامل شخصیتی بهره‌برداران آب عنوان شد (جدول ۲).

اولویت‌بندی گویه‌های فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی کشاورزان

فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی کشاورزان، توسط ۱۳ گویه مورد سنجش قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی گویه‌های این بخش بر طبق ضریب تغییرات نشان می‌دهد که گویه «تشخیص قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از منابع آب کشاورزی» با میانگین ۳/۱۱ و انحراف‌معیار ۰/۹۴۳ در بالاترین رتبه قرار داشته است. گویه «توانایی پیش‌بینی وضع آینده» با میانگین ۲/۴۲ و انحراف‌معیار ۱/۱۱۱ در رتبه آخر قرار گرفته است. همان‌طورکه نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد وضعیت کلی فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی کشاورزان در سطح نسبتا ضعیفی قرار دارد (میانگین ۲/۸۵ و انحراف‌معیار ۱/۰۱۲).

مدل‌یابی معادلات ساختاری فرآیند تصمیم‌گیری کشاورزان در زمینه حفاظت منابع آب

متغیر فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی، متغیر وابسته اصلی پژوهش حاضر است. متغیرهای مربوط به سازه ویژگی‌های روان‌شناختی شامل هنجار، نگرش، نگرانی، ارزش، دلبستگی مکانی، مسئولیت پذیری و عوامل شخصیتی متغیرهای مستقل هستند. در پژوهش حاضر، جهت تحلیل و بررسی روابط بین متغیرهای اصلی و آزمون فرضیات تحقیق از مدل‌سازی معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار PLS-3 استفاده شد. بخش اول این روش شامل ارزیابی مدل اندازه‌گیری و بخش دوم ارزیابی مدل ساختاری است.

ارزیابی مدل اندازه‌گیری

ارزیابی مدل اندازه‌گیری شامل سنجش پایایی و روایی مدل می باشد.

۱- بررسی پایایی مدل

جهت بررسی پایایی مدل، بارهای عاملی، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی اندازه‌گیری شدند. ارزش هر یک از بارهای عاملی برای پذیرش آن گویه، مقادیر بیشتر از ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر بیشتر از ۰/۷ نیز نشانه پایایی بسیار مطلوب می‌باشند. بررسی مقادیر هر یک از بارهای عاملی مربوط به نشانگرها نشان داد که اکثر آن‌ها بالاتر از ۰/۵ بودند و سایر نشانگرها با مقادیر کمتر از این مقدار حذف شدند (جدول ۴). به‌این‌ترتیب می‌توان بیان کرد مدل اندازه‌گیری از پایایی نسبتا خوبی برای متغیرهای پنهان برخوردار است. لازم به ذکر است به‌دلیل زیاد بودن تعداد نشانگرهای متغیرهای مکنون، در شکل (۲) تنها نشانگرهای متغیر وابسته، نمایش داده شده است.

در ارزیابی مدل اندازه‌گیری فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی پژوهش حاضر، بررسی شاخص‌های پایایی آلفای کرونباخ و ترکیبی برای متغیرهای مکنون انجام گرفت و پایایی قابل قبول ارزیابی شد. لازم به ذکر است براساس مطالعات Hair و همکاران (۲۰۱۷)، درصورتی‌که آلفای کرونباخ هر سازه کمتر از مقدار ۰/۷ باشد، قبل از اقدام به حذف شاخص با بارعاملی

کمتر، ابتدا باید پایایی ترکیبی بررسی شود و اگر پایایی ترکیبی از مقدار حداقلی ۰/۷ بیشتر باشد، نیازی به حذف شاخص نیست. در پژوهش حاضر نیز این عمل صورت پذیرفت (جدول ۴).

جدول ۲- اولویت بندی گویه‌های روان‌شناختی موثر بر تصمیم‌گیری محیط‌زیستی کشاورزان

متغیر	گویه‌ها	میانگین*	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
هنجارهای اخلاقی	من احساس می‌کنم که باید کار مثبتی برای حفاظت از منابع آب کشاورزی انجام دهم.	۳/٦۲	۰/۹۰۷	۰/۲۵۰	۱
	من احساس می‌کنم که وظیفه و تعهدی برای انجام حفاظت از منابع آب کشاورزی دارم.	۳/٦۰	۱/۰۳٤	۰/۲۸۷	۲
	من احساس می‌کنم اگر از منابع آب کشاورزی بیشتر حفاظت کنم، انسان بهتری هستم.	۳/٤۱	۱/۱۲۹	۰/۳۳۱	۳
	کل	۳/٥٤	۱/۰۲۳	۰/۲۸۹	
هنجارهای ذهنی	اگر من اقدامات حفاظت از منابع آب کشاورزی انجام دهم، افرادی که برای من مهم هستند آن را تایید می‌کنند.	۳/٤۱	۰/۹٦۷	۰/۲۸٤	۱
	اکثر افرادی که برایم ارزشمند هستند (مثل خانواده، دوستان، همکاران)، اقدامات حفاظت از منابع آب کشاورزی را انجام می‌دهند.	۳/۳٥	۰/۹٦۱	۰/۲۸۷	۲
	کل	۳/۳۸	۰/۹٦٤	۰/۲۸٦	
نگرش	من فکر می‌کنم انجام دادن اقداماتی برای حفاظت از منابع آب کشاورزی عاقلانه است.	۳/۹٥	۰/۷۳۸	۰/۱۸۷	۱
	من فکر می‌کنم انجام دادن اقداماتی برای حفاظت از منابع آب کشاورزی سودمند است.	۳/۹۲	۰/۷۷۰	۰/۱۹٦	۲
	من موافق حفاظت از منابع آب کشاورزی هستم.	٤/۰٥	۰/۷۹۹	۰/۱۹۷	۳
	کل	۳/۹۷	۰/۷٦۹	۰/۱۹۳	
نگرانی	من نگران هستم که در آینده به دلیل کمبود یا نبود آب، شغل و زمین کشاورزی من نابود شود.	۳/۹۹	۰/۹۱۱	۰/۲۲۸	۱
	من نگران هستم که در آینده به دلیل کمبود یا نبود آب، محیط‌زیست و طبیعت با مشکل جدی روبه‌رو شود.	۳/۹٥	۰/۹٥۲	۰/۲٤۱	۲
	فکر کردن به میزان هدر رفت منابع آب کشاورزی مرا آشفته خاطر می‌کند.	۳/۸٤	۰/۹٤۲	۰/۲٤٥	۳
	کل	۳/۹۳	۰/۹۳٥	۰/۲۳۸	
ارزش‌ها	حفاظت از منابع آب کشاورزی به منظور تولید محصولات کشاورزی مورد نیاز مردم، ضروری است.	٤/۱۲	۰/۷٥۱	۰/۱۸۲	۱
	حفاظت از منابع آب کشاورزی برای من ارزشمند است.	٤/۰۱	۰/۷٤۱	۰/۱۸٥	۲
	آشنایی با روش‌های حفاظت از منابع آب کشاورزی برای من ارزشمند است.	۳/۸۹	۰/۷۷۲	۰/۱۹۸	۳
	حل بحران آب در منطقه برای من ارزشمند است.	٤/۰۱	۰/۸۲۲	۰/۲۰٥	٤
	کل	٤/۰۱	۰/۷۷۲	۰/۱۹۲	
دلبستگی مکانی	هنگامی‌که در زمین کشاورزی‌ام فعالیت می‌کنم، احساس خیلی خوبی دارم.	۳/۷٤	۰/۹٦۷	۰/۲٥۹	۱
	زمین کشاورزی من و فعالیت‌هایی که در آن انجام می‌دهم، هویت من را مشخص می‌کند.	۳/٥۳	۰/۹۷۰	۰/۲۷٥	۲
	زمین کشاورزی من و طبیعت اطراف آن دارای ارزشی هستند که من نمی‌توانم آن را در جای دیگری پیدا کنم.	۳/٤۳	۱/۰۷۲	۰/۳۱۲	۳
	زمانی‌که از زمین کشاورزی‌ام و طبیعت اطراف آن دور هستم، دلم برایشان تنگ می‌شود.	۳/۳۰	۱/۰۷۱	۰/۳۲٥	٤
	اگر در آینده مجبور به نقل مکان شوم، سعی می‌کنم در منطقه روستایی زندگی کنم.	۲/۹۰	۱/۲۲۸	۰/٤۲۳	٥
	کل	۳/۳۸	۱/۰٦۲	۰/۳۱٤	
انتساب مسئولیت	مشکلات کنونی بحران آب در منطقه ماهیدشت به دلیل سیاست‌های اشتباه دولت است و به ما کشاورزان ارتباطی ندارد.**	۳/۳۳	۱/۰۹۸	۰/۳۳۰	۱
	کشاورزان و فعالیت‌های اشتباه کشاورزی آن‌ها مسئول مشکلات کنونی منابع آب زیرزمینی در منطقه ماهیدشت هستند.	۳/۰۹	۱/۱۷۱	۰/۳۷۹	۲
	کل	۲/۸۸	۱/۱۳٤	۰/۳۹۳	
عوامل شخصیتی	منفعت‌طلبی و سودجویی و رقابت در بهره‌برداری از منابع آب	۳/٥٥	۰/۹۹۸	۰/۲۸۱	۱
	ناتوانی در برطرف کردن مشکلات مالی	۳/۷۷	۱/۰۸۳	۰/۲۸۷	۲
	مقاومت در برابر قوانین	۳/۲٤	۱/۱٥۱	۰/۳٥٥	۳
	تنبلی و راحت‌طلبی	۲/۹٤	۱/۲۳۳	۰/٤۱۹	٤
	کل	۳/۳۸	۱/۱۱٦	۰/۳۳۱	

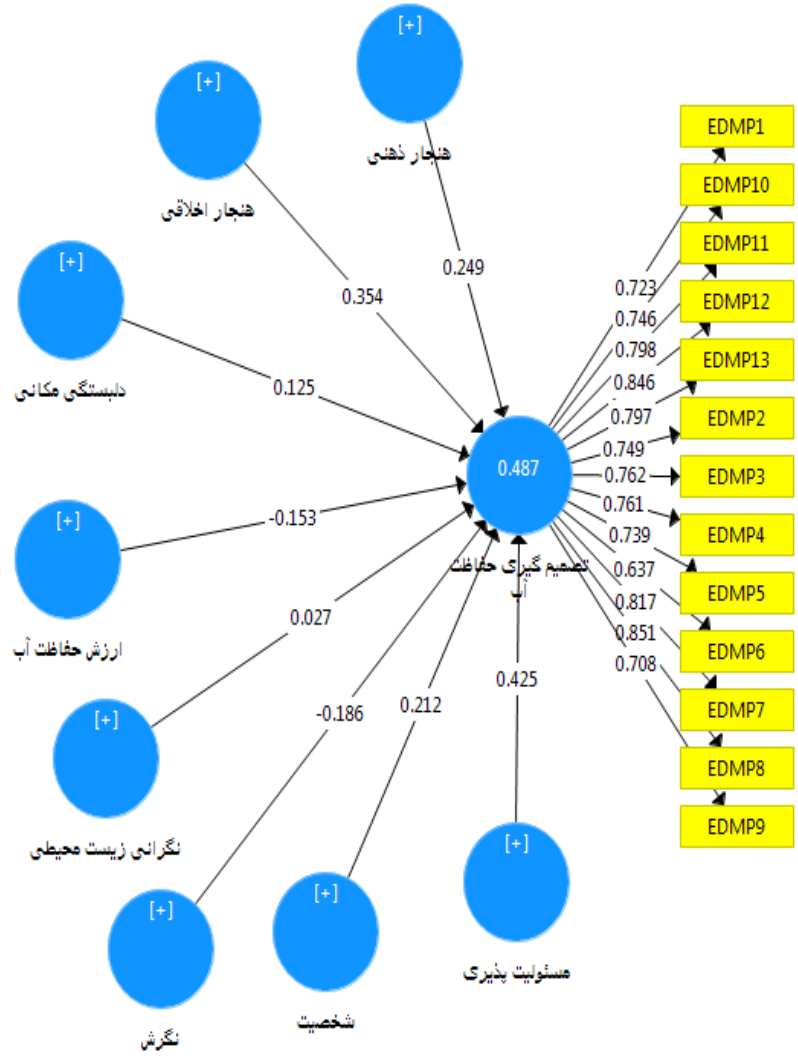
*مقیاس: ۱ تا ۵ (بسیار کم ... بسیار زیاد)

** جهت گویه معکوس

جدول ۳- اولویت‌بندی گویه‌های فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی کشاورزان

متغیر	گویه‌ها	میانگین*	انحراف معیار	ضریب تغییرات	رتبه
تعریف مسئله	تشخیص نیازها، اهداف و ارزش‌ها	۲/۸۹	۰/۹۷۵	۰/۳۳۷	۱
	شناسایی و تعیین مسائل و مشکلات	۲/۸۰	۱/۰۲۳	۰/۳٦٦	۲
	کل				
جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات	تشخیص قوانین و مقررات مربوط به حفاظت از منابع آب کشاورزی	۳/۱۱	۰/۹٤۳	۰/۳۰۳	۱
	تشخیص وضعیت منطقه از نظر بحران منابع آب کشاورزی	۳/۳۳	۱/۰٦۰	۰/۳۱۸	۲
	تشخیص عوامل مختلف موثر بر حفاظت از آب کشاورزی (عوامل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی)	۳/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۳۳٤	۳
	توانایی جمع‌آوری اطلاعات درباره وضع موجود	۲/۹٦	۱/۰۲۵	۰/۳٤٦	٤
	توانایی تلفیق اطلاعات موجود	۲/۵۲	۰/۹۸۹	۰/۳۹۲	۵
	کل				
شناسایی گزینه‌ها	توانایی شناسایی گزینه‌های مناسب	۲/۸۷	۱/۰۰۸	۰/۳۵۱	۱
	توانایی ارزیابی، اصلاح و غربال‌گری گزینه‌های مناسب	۲/۷۰	۰/۹۹۰	۰/۳٦٦	۲
	توانایی پیش‌بینی وضع آینده	۲/٤۲	۱/۱۱۱	۰/٤۵۸	۳
	کل				
اجرا و ارزیابی تصمیمات	توانایی ارزیابی تصمیمات اتخاذ شده	۲/۸۷	۰/۹۷۱	۰/۳۳۸	۱
	توانایی اجرای برنامه‌ها و اقدامات لازم	۲/۸۷	۱/۰۱۷	۰/۳۵٤	۲
	توانایی پیش‌بینی پیامدهای حاصل از تصمیمات اتخاذ شده و غلبه بر پیامدهای منفی	۲/٦٦	۱/۰٤۱	۰/۳۹۲	۳
	کل چهار مرحله فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی	۲/۸۵	۱/۰۱۲	۰/۳۵۵	

*مقیاس: ۱ تا ۵ (بسیار کم ... بسیار زیاد)



شکل ۲- مدل اندازه‌گیری فرآیند تصمیم‌گیری همراه با ضرایب بتا و بارهای عاملی

جدول ٤- نتایج پایایی و روایی متغیرهای مکنون

متغیرهای مکنون	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی (CR)	میانگین واریانس استخراج شده (AVE)	CR>AVE
ارزش	۰/۸۱۳	۰/۸۷۷	۰/۶۴۱	OK
هنجارهای اخلاقی	۰/۸۱۹	۰/۸۹۲	۰/۷۳۴	OK
هنجارهای ذهنی	۰/۸۶۲	۰/۹۳۵	۰/۸۷۸	OK
نگرانی	۰/۸۲۱	۰/۸۹۳	۰/۷۳۷	OK
نگرش	۰/۸۰۵	۰/۸۸۵	۰/۷۲۱	OK
دلبستگی مکانی	۰/۸۲۴	۰/۸۷۲	۰/۵۷۹	OK
انتساب مسئولیت	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	OK
موانع شخصیتی	۰/۶۲۸	۰/۷۵۹	۰/۵۲۰	OK
فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی	۰/۹۰۹	۰/۹۲۳	۰/۵۸۱	OK

۲- بررسی روایی مدل

جهت بررسی روایی مدل، روایی همگرا و روایی واگرا یا افتراقی بررسی شدند. روایی همگرا از طریق شاخص میانگین واریانس استخراج شده (AVE) بررسی شد. مقدار این شاخص باید بیشتر از ۰/۵ باشد (Hair و همکاران، ۲۰۱۷). بررسی این شاخص برای متغیرهای مکنون انجام گرفت و روایی همگرا قابل قبول ارزیابی شد (جدول۴). روایی واگرا یا افتراقی از طریق شاخص‌های بررسی بارهای عرضی (بارهای عاملی متقابل)، معیار نسبت HTMT[17] بررسی شد. مقادیر نسبت خصیصه تک‌ارزشی به چندارزشی یا HTMT که شاخص دیگری برای بررسی روایی واگرا است، باید کمتر از ۰/۹ باشد. این شاخص بررسی شد و مقدار آن برای تمام سازه‌های مدل انعکاسی، زیر ۰/۹ بود که نشانه روایی قابل قبول متغیرهای مکنون بود (جدول ۵).

جدول ۵- بررسی روایی واگرا بر اساس معیار چندارزشی HTMT

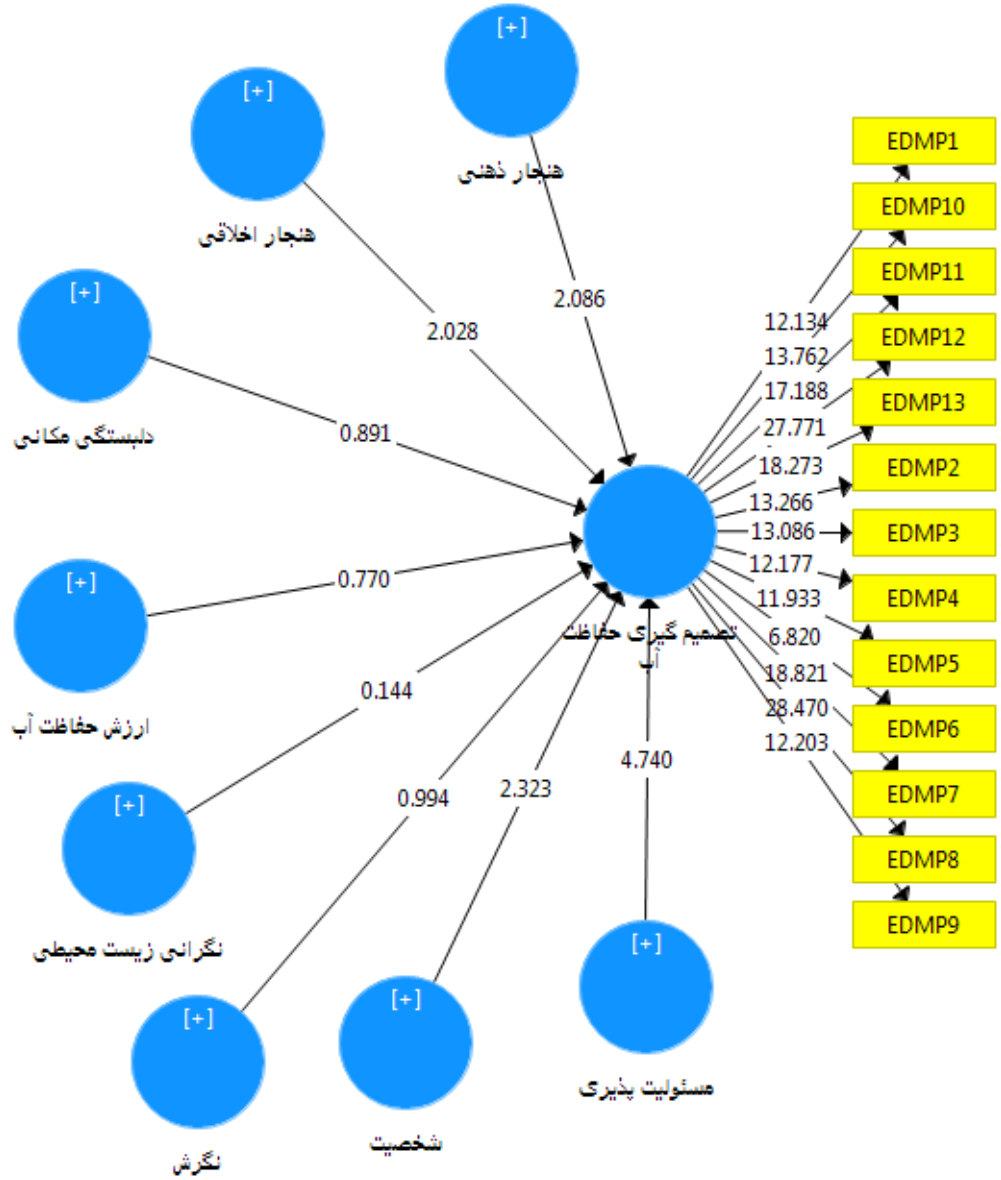
سازه	ارزش	انتساب مسئولیت	دلبستگی مکانی	تصمیم‌گیری	عوامل شخصیتی	نگرانی	نگرش	هنجار اخلاقی	هنجار ذهنی
ارزش									
مسئولیت	۰/۱۵۹								
دلبستگی مکانی	۰/۵۸۰	۰/۱۰۴							
تصمیم‌گیری	۰/۲۰۰	۰/۱۷۹	۰/۲۴۰						
شخصیتی	۰/۲۸۶	۰/۰۸۸	۰/۲۳۶	۰/۳۵۸					
نگرانی	۰/۸۱۳	۰/۲۷۲	۰/۶۰۳	۰/۳۲۲	۰/۳۵۶				
نگرش	۰/۸۷۴	۰/۰۷۹	۰/۴۹۶	۰/۲۸۰	۰/۲۴۲	۰/۸۱۶			
هنجار اخلاقی	۰/۷۷۶	۰/۱۴۴	۰/۷۵۰	۰/۴۱۸	۰/۳۰۳	۰/۸۲۴	۰/۷۷۸		
هنجار ذهنی	۰/۵۲۶	۰/۱۴۲	۰/۶۹۵	۰/۳۶۳	۰/۲۰۷	۰/۶۴۲	۰/۵۲۵	۰/۷۵۹	

برازش مدل ساختاری

با استفاده از مدل ساختاری می‌توان به بررسی فرضیه‌های پژوهش پرداخت. از معیارهای ضرایب معناداری Z (آماره t)، ضریب اثر (f^2)، ضریب تعیین (R^2)، معیارGOF و ضریب مسیر (β) برای ارزیابی مدل و تایید یا رد فرضیات استفاده می‌شود. اگر آماره t از ۱/۹۶ و ۲/۵۷ بزرگ‌تر باشد، فرض مورد نظر در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ یا سطح معنی‌داری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ مورد تایید خواهد بود (Chin، ۱۳۹۸). همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، ضرایب معنی‌داری مربوط به هنجار ذهنی (t=۲/۰۸)، هنجار اخلاقی (t=۲/۰۲)، شخصیت (t=۲/۳۲)، مسئولیت‌پذیری یا انتساب مسئولیت (t=۴/۴۷) بیشتر از ۱/۹۶ بوده و براین‌اساس تمامی این متغیرها در سطح ۰/۵ دارای تاثیر معناداری بر تصمیم گیری کشاورزان نسبت به حفاظت منابع آب بوده و ضرایب دلبستگی مکانی (t=۰/۸۹)، ارزش حفاظت (t=۰/۷۷)، نگرانی (t=۰/۱۴)، و نگرش (t=۰/۹۹)، کمتر از ۱/۹۶ بوده و بر این اساس این متغیرها در سطح ۰/۵ تاثیر معناداری بر تصمیم‌گیری کشاورزان نسبت به حفاظت منابع آب ندارند.

تحلیل ضرایب مسیر (β) یکی دیگر از شاخص‌های بررسی برازش مدل است (شکل ۳). نمودار مسیر، پیوندهای علی احتمالی بین متغیرها را آشکار می‌کند. در جدول (۶) ضرایب مسیر (β) و اعداد معنی‌داری مربوط به هر یک نشان داده شده است. هر چه ضرایب به‌دست آمده بالاتر باشد، متغیر مربوطه اثرگذاری بیشتری دارد.

قدرت پیش‌بینی مدل ساختاری، با استفاده از ضریب تعیین (R^2) برای متغیر وابسته تحلیل می‌شود. Chin (۱۹۹۸)، مقادیر ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ را به‌ترتیب مقادیر ضعیف، متوسط و قوی ارزیابی کردند. ضریب تعیین (R^2) برای فرایند تصمیم‌گیری حفاظت از منابع آب برابر با ۰/۴۸ به دست آمد؛ به این معنا که سازه‌های وارد شده در مدل توانسته‌اند در مجموع ۴۸ درصد از تغییرات فرایند تصمیم‌گیری را تبیین کنند. بنابراین، مدل از توان تبیینی قابل‌قبولی برای توضیح بخشی از رفتار تصمیم‌گیری کشاورزان برخوردار است.



شکل ۳- مدل ساختاری فرآیند تصمیم‌گیری همراه با مقادیر t-value

جدول ۶- نتایج ضرایب مسیر فرآیند تصمیم‌گیری

مسیر مستقیم			اندازه اثر (f^2)	ضرایب بتا (β)	آماره t	معناداری	نتیجه
مسئولیت‌پذیری	←	فرایند تصمیم‌گیری	۲/۹۴۵	۰/۴۲۵	۴/۷۴۰	۰/۰۰۰	تایید
هنجارهای اخلاقی	←	فرایند تصمیم‌گیری	۲/۵۳۸	۰/۳۵۴	۲/۰۲۸	۰/۰۳۷	تایید
هنجارهای ذهنی	←	فرایند تصمیم‌گیری	۲/۰۱۰	۰/۲۴۹	۲/۰۸۶	۰/۰۳۰	تایید
عوامل شخصیتی	←	فرایند تصمیم‌گیری	۱/۰۹۹	۰/۲۱۲	۲/۳۲۳	۰/۰۰۰	تایید
نگرش	←	فرایند تصمیم‌گیری	۰/۳۱۷	۰/۱۲۵	۰/۹۴۴	۰/۰۶۰	رد
ارزش	←	فرایند تصمیم‌گیری	۰/۱۴۳	۰/۱۵۳	۰/۷۷۰	۰/۰۷۵	رد
دلبستگی مکانی	←	فرایند تصمیم‌گیری	۰/۰۴۸	۰/۰۲۷	۰/۸۹۱	۰/۳۰۳	رد
نگرانی	←	فرایند تصمیم‌گیری	۰/۰۸۹	۰/۱۸۶	۰/۱۴۴	۰/۳۱۵	رد

بااین‌حال، بررسی ضرایب مسیر نشان داد که اثرگذاری سازه‌های پیش‌بین بر فرایند تصمیم‌گیری یکسان نیست. بر اساس نتایج، چهار مسیر شامل مسئولیت‌پذیری (β=0/425)، هنجارهای اخلاقی (β=0/354)، هنجارهای ذهنی (β=0/249) و عوامل شخصیتی (β=0/212) دارای اثر مستقیم و معنادار بر فرایند تصمیم‌گیری حفاظت از منابع آب بوده‌اند. در مقابل، مسیرهای نگرش (p=0/060، β=0/125)، ارزش (β=0/153 p=0/075)، دلبستگی مکانی (β=0/027، p=0/303) و نگرانی محیط‌زیستی (p=0/315، β=0/186) در سطح خطای ۵ درصد معنادار نشده‌اند. ازاین‌رو، یافته‌ها بیانگر آن است که در جامعه مورد مطالعه، مؤلفه‌های هنجاری، مسئولیت‌پذیری و برخی ویژگی‌های شخصیتی نسبت به سایر عوامل بررسی شده نقش مستقیم برجسته‌تری در فرایند تصمیم‌گیری حفاظت از منابع آب دارند. اگرچه همه روابط فرض شده در

مدل تأیید نشده‌اند، مدل توانسته است بخش قابل توجهی از تغییرات متغیر وابسته را تبیین نماید (شکل ۲).

معیار اندازه اثر (f^2) به‌منظور تعیین شدت رابطه میان سازه‌های مدل است و مقادیر ۰/۰۲ و ۰/۱۵ و ۰/۳۵ برای f^2 به‌ترتیب بیانگر اثر کوچک، متوسط و بزرگ سازه‌های مستقل بر سازه‌های وابسته است (Cohen، ۱۹۸۸). همان‌طورکه در جدول (۶) نشان داده شده است، سازه‌های مسئولیت‌پذیری، هنجار اخلاقی، هنجار ذهنی و عوامل شخصیتی با مقادیر ۲/۹۴ و ۲/۵۳ و ۲/۰۱ و ۱/۰۹، علاوه بر معناداری آماری، اندازه اثر بالایی بر سازه وابسته پژوهش (فرایند تصمیم‌گیری منابع آب) می‌باشند. سازه‌های نگرش محیط‌زیستی و ارزش‌های محیط‌زیستی بر سازه وابسته با مقادیر ۰/۳۱۷ و ۰/۱۴۳ دارای اندازه اثر متوسط و سازه‌های دلبستگی مکانی و نگرانی محیط‌زیستی با مقادیر ۰/۰۴۸ و ۰/۰۸۹ اندازه اثر کوچکی بر متغیر وابسته داشتند.

برای بررسی برازش مدل کلی از معیار GOF استفاده می‌شود که سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF معرفی شده است (Wetzels و همکاران، ۲۰۰۹). این معیار از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود. نتایج نشان دهنده مقدار ۰/۲۷۴ برای GOF می‌باشد که نشان از برازش کلی متوسط به بالای مدل دارد.

$$GOF = \sqrt{\overline{R^2} * \overline{Communality}} \quad (۱)$$

در رابطه (۱) شاخص نکویی برازش GOF (Goodness of Fit) شامل موارد زیراست:

Communality= میانگین مجذور بارهای عاملی (Factor loading) هر متغیر

R^2 = مجذورضریب تعیین (R Square) متغیر درون زا یا همان متغیر وابسته

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد اولین و مهمترین مولفه از عوامل روان‌شناختی موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی، مسئولیت‌پذیری کشاورزان است (β=۰/۴۲۵، t-value=۴/۷۴). به‌نحوی‌که، افزایش میزان مسئولیت‌پذیری کشاورزان در مورد مسائل مربوط به حفاظت آب که به‌معنای افزایش تلاش آنها برای حل مشکل آب است، باعث بهبود فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی آنان می‌شود. عدم وجود فرهنگ درست مصرف آب می‌تواند دارای ریشه‌های مختلفی باشد که یکی از آن‌ها وجود باورها و بینش‌های اشتباه جامعه در مورد مسئله بحران آب است که در طی سالیان طولانی شکل گرفته است؛ به‌طوری‌که مردم آب را یک مقوله دولتی یا حاکمیتی می‌دانند و این باور اشتباه باعث می‌شود که در زمینه حفاظت از آب احساس مسئولیت نداشته باشند و همه مشکلات را مربوط به دولت بدانند و فکر کنند خودشان نباید و نمی‌توانند به‌منظور حل بحران آب کاری انجام دهند. باتوجه‌به رابطه مثبت انتساب مسئولیت با فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب، هر چقدر که احساس مسئولیت کشاورزان در زمینه عواقب فعالیت‌های کشاورزی خود بر روی منابع آب کشاورزی منطقه بیشتر شود، فرآیند مربوطه تقویت می‌شود. وقتی کشاورزان آگاه باشند که اعمال آن‌ها موجب مشکلات موجود در زمینه منابع آب کشاورزی شده است، خودشان نیز می‌توانند نقش موثری در تعدیل روند برداشت و بهره‌برداری زیاد از منابع آب کشاورزی و کاهش آن داشته باشند. پژوهشگران مختلفی مانند Valizadeh و همکاران (۲۰۱۹)؛ Jia و همکاران (۲۰۲۱)؛ Mozzato و همکاران (۲۰۱۸)؛ ولی زاده و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعات خود اهمیت متغیر انتساب مسئولیت را نشان دادند.

هنجارهای اخلاقی شخصی یا تعهد اخلاقی دومین مولفه مهم و تاثیرگذار از عوامل روان‌شناختی موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی منطقه شناخته شد (β=۰/۳۵۴، t-value=۴/۰۲۸). این متغیر به ارزش‌های اخلاقی درونی اشاره می‌کند و بر اساس نتایج توصیفی تحقیق، وضعیت آن در سطح نسبتا خوبی قرار دارد. احساس کشاورزان در مورد انجام دادن کاری مثبت برای حفاظت از منابع آب کشاورزی، احساس وظیفه و تعهد برای انجام اقدامات لازم در این زمینه و احساس خوب داشتن نسبت به خود در هنگام حفاظت از منابع آب کشاورزی می‌تواند موجب بهبود فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی شود. در هنگام تصمیم‌گیری محیط‌زیستی مربوطه، بین منافع جمعی و هزینه‌های فردی عدم تعادل وجود دارد و این تصمیم‌گیری به‌معنای تصمیم‌گیری بین منافع شخصی خود و منافع دیگران است (Kaiser ، ۲۰۰۶) و از آنجایی‌که این مسائل بر جنبه‌های اخلاقی تاکید می‌کند، بنابراین توجه به هنجارهای اخلاقی مهم هستند. پژوهشگران مختلفی مانند یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۹۴)؛ ولی زاده و همکاران (۱۳۹۸)؛ Bartkowski و Bartke (۲۰۱۸)؛ Tanner (۲۰۰۹)؛ Smith و همکاران (۲۰۰۸)؛نیز در مطالعات خود اهمیت متغیر هنجارهای اخلاقی یا شخصی را نشان دادند.

سومین مولفه مهم و تاثیرگذار از عوامل روان‌شناختی موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی منطقه، هنجارهای ذهنی یا اجتماعی است. نتایج نشان داد با افزایش تایید اقدامات حفاظت از منابع آب کشاورزی توسط افراد مهم و ارزشمند برای کشاورزان، فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی مربوطه بهبود می‌یابد (β=۰/۲۴۹، t-value=۲/۰۸۶). در واقع اگر کشاورزان درک کنند که خانواده و دوستانشان فکر می‌کنند حفاظت از آب یک فعالیت ارزشمند است، به‌دلیل حمایت اجتماعی که از انجام آن دریافت می‌کنند، فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی در آن‌ها تقویت می‌شود. ادبیات مربوطه نشان می‌دهد که ادراک فشار اجتماعی یا خانوادگی برای رفتار

محیط‌زیستی تأثیر قابل‌توجهی بر این نوع رفتار دارد و ادراک از اینکه دیگران رفتار حفاظتی دارند، بر تلاش‌های حفاظتی شخص تأثیر می‌گذارد (Corral-Verdugo و Frías-Armenta ، ۲۰۰۶). پژوهشگران مختلفی مانند Corral-Verdugo و Frías-Armenta (۲۰۰۶)؛ Jia و همکاران (2021)؛ یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۹۴)؛ مهنی رفتار و همکاران (۱۳۹۹)؛ رنجبر و همکاران (۱۳۹۸)؛ نیز در مطالعات خود اهمیت متغیر هنجارهای ذهنی یا اجتماعی را نشان دادند.

بر اساس نتایج معادلات ساختاری، چهارمین مولفه مهم و تاثیرگذار از عوامل روان‌شناختی موثر بر فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی، عوامل شخصیتی کشاورزان است (t-value=۲/۳۲۳ ،β=۰/۲۱۲). نتایج توصیفی پژوهش، نشان داد رقابت در بهره‌برداری از منابع آب، منفعت‌طلبی و سودجویی، ناتوانی در برطرف کردن مشکلات مالی، مقاومت در برابر قوانین و تنبلی و راحت‌طلبی، به‌ترتیب به‌عنوان مهمترین موانع شخصیتی بهره‌برداران آب می‌باشند.

بر اساس نتایج معادلات ساختاری، متغیرهای نگرانی محیط‌زیستی، ارزش حفاظت آب، دلبستگی مکانی و نگرش کشاورزان، در زمینه فرآیند تصمیم‌گیری حفاظت از منابع آب کشاورزی معنی‌دار نشدند. این وضعیت در پژوهش‌های رفتاری کاملاً رایج است و لزوماً به این معنا نیست که «نگرانی، ارزش‌ها، دلبستگی مکانی و نگرش» بی‌اهمیت هستند؛ بلکه می‌تواند ناشی از اثرات غیرمستقیم، همپوشانی مفهومی، یا غلبه عوامل مداخله گر زمینه‌ای از جمله عوامل اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی در تصمیم‌گیری کشاورزان باشد.

در برخی مواقع متغیرهایی مثل نگرش یا ارزش‌ها به‌طور مستقیم روی رفتار اثر نمی‌گذارند، بلکه از طریق متغیرهای دیگر عمل می‌کنند (مثلاً هنجارهای اجتماعی یا ادراک کنترل رفتاری). در چارچوب‌هایی مثل نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده (Theory of Planned Behavior) نگرش معمولاً همراه با عوامل دیگر رفتار را پیش‌بینی می‌کند، نه به‌تنهایی. بنابراین ممکن است در مدل، این متغیرها اثر غیرمستقیم داشته باشند که در تحلیل مستقیم دیده نشده است. همچنین متغیرهایی مثل ارزش‌ها، نگرش و نگرانی معمولاً همبستگی و همپوشانی مفهومی بالایی با هم دارند. در نتیجه وقتی همزمان وارد مدل می‌شوند، اثرشان «پخش» می‌شود. نکته مهم دیگر تاثیر عوامل و شرایط زمینه‌ای و مداخله‌گر می باشد؛ شرایط زمینه‌ای کشاورزان در تصمیم‌گیری کشاورزان، موثر هستند. در شرایط اقتصادی مثل سود و هزینه، دسترسی به منابع، ریسک تولید ممکن است متغیرهای روان‌شناختی مثل نگرانی، نگرش یا دلبستگی مکانی تحت‌الشعاع قرار بگیرند. یعنی کشاورز ممکن است نگرش مثبت داشته باشد، اما به دلیل محدودیت‌های واقعی عمل نکند. افراد ممکن است نگرش یا نگرانی محیط‌زیستی داشته باشند، اما در عمل رفتار متفاوتی نشان دهند. این موضوع در حوزه محیط‌زیست بسیار گزارش شده است. از نظر آماری و ویژگی‌های نمونه اگر همه پاسخ‌دهندگان سطح نگرانی مشابهی داشته باشند، متغیر نمی‌تواند تفاوت معناداری ایجاد کند. در نهایت نتایج ممکن است تحت تاثیر نقش فرهنگ و بافت محلی قرار گیرد به‌طوری‌که در برخی جوامع روستایی، ممکن است عواملی مثل هنجارهای اجتماعی و تجربه‌های عملی از ارزش‌ها یا نگرش‌های فردی مهمتر باشند. بنابراین، عدم معناداری متغیرهای نگرانی، ارزش‌ها، دلبستگی مکانی و نگرش لزوماً نشان‌دهنده بی‌اهمیت بودن آن‌ها نیست، بلکه می‌تواند ناشی از اثرات غیرمستقیم، همپوشانی مفهومی، یا غلبه عوامل اقتصادی و زمینه‌ای در تصمیم‌گیری کشاورزان باشد.

در نهایت، باتوجه‌به ماهیت چندبعدی تصمیم‌گیری کشاورزان در زمینه حفاظت از منابع آب، معنادار نشدن برخی مسیرها می‌تواند بیانگر آن باشد که بعضی عوامل روان‌شناختی الزاماً از طریق اثر مستقیم بر تصمیم‌گیری عمل نمی‌کنند و احتمال دارد اثر آنها تحت تأثیر متغیرهای دیگری مانند هنجارهای اجتماعی، مسئولیت‌پذیری، ویژگی‌های شخصیتی یا سایر سازه‌های موجود در مدل قرار گیرد.

بنابراین طبق نتایج، موارد زیر پیشنهاد می‌شوند:

فراهم کردن اطلاعات مورد نیاز برای کشاورزان به‌منظور کمک به بهبود فرآیند تصمیم‌گیری محیط‌زیستی حفاظت از منابع آب کشاورزی آنان به‌ویژه در پیشبینی وضع آینده و پیش‌بینی پیامدهای حاصل از تصمیمات اتخاذ شده و غلبه بر پیامدهای منفی؛

نهادینه کردن فرهنگ بهره‌برداری صحیح از منابع آب کشاورزی و تغییر در مولفه‌های روان‌شناختی کشاورزان به‌ویژه نگرانی، ارزش‌ها، و نگرش کشاورزان درباره حفاظت از منابع آب کشاورزی؛

اجرای برنامه‌های آموزشی در زمینه رشد مهارت‌های فردی و گروهی، اصول سازماندهی جامعه، مهارت‌های مدیریت گروهی، مهارت‌های رفع تعارضات، مذاکره و ارتباطات موثر برای کشاورزان به‌منظور افزایش مشارکت بهره‌برداران و تفویض اختیار به سازمان‌های کشاورزان؛

منابع

اسدزاده، بهنام، اشراقی سامانی، رویا، رحیمی بدر، بیتا، و معرفی، مریم. (۱۴۰۴). الگوی تصمیم‌گیری کشاورزان در انتخاب و تغییر الگوی کشت با تأکید بر سازگاری با تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۹(۳)، ۴۸۹-۴۹۸. https://idj.iaid.ir/article_222344.html

اسکندری، زهرا ، سواری، مسلم و یزدان پناه، مسعود. (۱۴۰۲). عامل‌های آموزشی – ترویجی و روانشناختی موثر بر استفاده شالیکاران دزفول از کودهای آلی . پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، ۱۵ (۴)، ۵۶-۳۳. doi: 10.22092/jaear.2023.363269.1968

برخوری، سعید. (۱۴۰۴). عوامل موثر بر تصمیم‌گیری کشاورزان برای سازگاری با تغییراقلیم در دشت جیرفت. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۳ (۳)، ۱۰۷-۱۲۴. doi:20.1001.1.24235970.1404.13.3.7.1

حیدری، نادر. (۱۴۰۳). مسائل و چالش‌های پنهان مفهوم و کاربرد شاخص بهره‌وری آب. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴(۱۲)، ۲۰۱۵-۱۹۹۵. Doi:10.22059/ijswr.2023.367306.669600

خسروی‌پور، بهمن، کریمی، نرگس، و سواری ممبنی، آمنه. (۱۴۰۴). تبیین رفتارهای حفاظت از خاک زراعی در میان کشاورزان با تأکید بر نقش آموزش و عوامل رفتاری. جغرافیا و روابط انسانی، ۸ (۴)، ۱۹۳-۲۰۲. doi: 10.22034/gahr.2026.569843.2658

رحیمی فیض آباد، فاطمه، یزدان پناه، مسعود، فروزانی، معصومه، محمد زاده، سعید و بورتن، رابرت. (۱۳۹۵). تعیین عوامل موثر بر رفتار حفاظت از آب کشاورزان در شهرستان سلسله: کاربرد مدل فعال سازی هنجار. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۲-۴۷ (۲)، ۳۷۹-۳۹۰. Doi: 10.22059/ijaedr.2016.59710

رنجبر، بهزاد، نعیمی، امیر، و نهاوندیان، فرنوش. (۱۳۹۸). تحلیل هنجارهای تاثیرگذار بر رفتار مشارکتی کشاورزان در راستای حفاظت از آب حوضه آبخیز تالاب زریوار شهرستان مریوان. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۵ (۲)، ۱۶-۱.doi:10.22034/iaeej.2020.194549.1443

شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه. (۱۳۹۸). اطلاعات آماری استان. کرمانشاه: پرتال شرکت آب منطقه ای استان کرمانشاه. https://www.kshrw.ir

عابدینی، موسی، عبادی، الهامه، قلعه، احسان. (۱۴۰۱). بررسی فرونشست دشت ماهیدشت استان کرمانشاه با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، 26(79)،207-220. doi:10.22034/GP.2021.44688.2789

عزیزی، آسیه، مهرابی، حسین، زارع مهرجردی، محمدرضا. (۱۴۰۱). تاثیر تغییرات اقلیم و کمبود آب بر تصمیم های آبیاری کشاورزان استان خراسان شمالی: محصولات عمده زراعی، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۵(۴)، ۳۶۷-۳۸۲. Doi:10.22067/jead.2021.70253.1046

فلاحیان، طیبه، قنبری موحد، رضوان، رحیمیان، مهدی، و رحیمی فیض‌آبادی، فاطمه. (۱۴۰۴). تحلیل عوامل روان‌شناختی مؤثر بر رفتار حفاظت از آب در بین کشاورزان شهرستان دلفان. پژوهش‌های روستائی، ۱۶(۴)، ۵۷-۷۵. doi:10.22059/jrur.2025.382635.1984

قنبری، سیروس، بذرافشان، جواد، طولابی نژاد، مهرشاد و طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۷). بررسی عوامل موثر بر تصمیم کشاورزان در به کارگیری شیوه های حفاظت منابع آب وخاک در دشت جایدر (شهرستان پل دختر، فصلنامه پژوهش های جغرافیای انسانی، ۵۰(۱۰۳)، ۷۳-۹۲. Doi:10.22059/jhgr.2016.58924

کلانتر، وحید، موسوی، سید حبیب اله، و نجفی علمدارلو، حامد. (۱۴۰۴). کشت سنجد و افزایش بهره‌وری منابع آب راهبردی برای پایداری کشاورزی در مناطق خشک. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۳۳(۲)، ۱۹۷-۲۳۸. doi:10.30490/aead.2025.367411.1667

مهنی رفتار، رضوان، نعیمی،امیر، رضایی، روح الله و خسروی، یونس. (۱۳۹۹). تحلیل رابطه بین هنجارهای اخلاقی، دانش و رفتار حفاظت از آب کشاورزان حوضه آبریز هلیل رود شهرستان جیرفت، مجله پژوهش های ترویج و آموزش کشاورزی، ۱۳(۱)، ۴۱-۵۱. https://sanad.iau.ir/fa/Journal/DownloadFile/825645

ولی‌زاده، ناصر.، بیژنی، مسعود، و عباسی، عنایت اله. (۱۳۹۶). تحلیل روانشناسی محیط‌زیستی رفتار مشارکت‌گرایانه کشاورزان در حفاظت از آب. نشریه تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳ (۴)، ۲۷-۱۷. https://www.iaeej.ir/article_13960.html

ولی‌زاده، ناصر، کریمی، حمید، و حیاتی، داریوش. (۱۳۹۸). تعیین کننده‌های هنجارهای اخلاقی و استناد مسئولیت در زمینه حفاظت آب: مورد مطالعه کشاورزان شهرستان‌های مهاباد و میاندوآب. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱ (۱۵)، ۱۷۵-۱۸۸. Doi:10.22034/iaeej.2019.93522

یزدان پناه، مسعود، توکلی، کبری؛ مرزبان، افشین. (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر بر نیت کشاورزان در رابطه با کاربرد ایمن سموم شیمیایی: کاربرد مدل اعتقادات سلامت. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۱(۲)، ۲۱-۲۹. doi:20.1001.1.20081758.1394.11.2.2.8

Azizi-Khalkheili, T., Aenis, T., Menatizadeh, M., & Zamani, G. (2021). Farmers' decision-making process under climate change: Developing a conceptual framework. International Journal of Agricultural Management and Development, 11(1), 1-15. https://doi.org/10.22004/ag.econ.335143

Bartkowski, B., & Bartke, S. (2018). Leverage points for governing agricultural soils: A review of empirical studies of European farmers' decision-making. Sustainability, 10 (9), 3179 https://doi.org/10.3390/su10093179.

Berardi, A., & Blackmore, C. (2006). Introducing environmental decision making. Milton Keynes: Open University Worldwide.

Blackmore, C., Sriskandarajah, N., & Ison, R. (2018). Developing learning systems for addressing

Jain, S., Srivastava, A., Khadke, L., Chatterjee, U., & Elbeltagi, A. (2024). Global-scale water security and desertification management amidst climate change .Environmental Science and Pollution Research, 31(49), 58720-58744 . https://doi.org/10.1007/s11356-024-34916-0

Jia, Y., Cheng, S., and Shi, R. (2021). Decision-making behavior of rural residents' domestic waste classification in Northwestern of China--analysis based on environmental responsibility and pollution perception. Journal of Cleaner Production, 326, 129374. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129374

Kaiser, F. G. (2006). A moral extension of the theory of planned behavior: Norms and anticipated feelings of regret in conservationism. Personality and Individual Differences, 41(1), 71–81. https://doi.org/10.1016/j.paid.2005.11.028

Keshavarz, M. & Karami, E. (2016). Farmers' pro-environmental behavior under drought: Application of protection motivation theory. Journal of Arid Environments, 127, 128-136. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.11.010

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. Educational and Psychological Measurement, 30(3), 607–610. https://doi.org/10.1177/001316447003000308

Li, T., Zheng, M., & Zhou, Y. (2025). LTPNet Integration of Deep Learning and Environmental Decision Support Systems for Renewable Energy Demand Forecasting: Deep Learning for Renewable Energy Demand Prediction. Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC), 37(1), 1-29 . https://doi.org/10.4018/JOEUC.370005

Lu, J., Jia, L., Menenti, M., Zheng, C., Hu, G., & Ji, D. (2025). The impacts of drought on water availability: spatial and temporal analysis in the Belt and Road region (2001–2020). International Journal of Digital Earth, 18(1), 244 .۹۷۰۶ https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2449706

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of Environmental Studies and Sciences, 4 (4), 315-328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

uncertainty in farming, food and environment: what has changed in recent times? International Journal of Agricultural Extension, 03-15.

Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), Modern methods for business research (pp. 295–336). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates

Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Corral-Verdugo, V., & Frías-Armenta, M. (2006). Personal normative beliefs, antisocial behavior, and residential water conservation. Environment and Behavior, 38(3), 406–421. https://doi.org/10.1177/0013916505282272

Dessart, F. J., Barreiro-Hurlé, J., & Van Bavel, R. (2019). Behavioural factors affecting the adoption of sustainable farming practices: a policy-oriented review. European Review of Agricultural Economics, 46(3), 417-471. https://doi.org/10.1093/erae/jbz019

Eichhorn, T., Kantelhardt, J., & Schaller, L. L. (2026). Understanding farmers' intention to perform result-based agri-environmental schemes for the improved provision of biodiversity and soil quality. Journal of Environmental Planning and Management, 69(1), 284-308. https://doi.org/10.1080/09640568.2024.2364774

English, M. R., Dale, V. H., Van Riper-Geibig, C., Ramsey, W. H., & Gregory, R. (1999). Overview. In V. H. Dale & M. R. English (Eds.), Tools to aid environmental decision making (pp. 1–31). Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1418-2_1

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) (2nd ed.). SAGE Publications.

Hamidifar, H. (2024). Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In Water Crises and Sustainable Management in the Global South (pp. 85-109): Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4966-9

Maghrebi, M., Noori, R., Bhattarai, R., Mundher Yaseen, Z., Tang, Q., Al-Ansari, N., et al. (2020). Iran's agriculture in the Anthropocene. Earth's Future, 8 (9), 1547. https://doi.org/10.1029/2020EF001547

Morris, B., & Morris, K. (2026). Psychological factors that influence the nature-health relationship in the agricultural industry; insights for providing more effective mental health support to farmers. Journal of Rural Studies, 121, 103934. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2025.103934

Mozzato, D., Gatto, P., Defrancesco, E., Bortolini, L., Pirotti, F., Pisani, E., & Sartori, L. (2018). The role of factors affecting the adoption of environmentally friendly farming practices: Can geographical context and time explain the differences emerging from literature? Sustainability, 10(9), 3101. https://doi.org/10.3390/su10093101

Sachdeva, S. (2017). The influence of sacred beliefs in environmental risk perception and attitudes. Environment and Behavior, 49 (5), 583-600. https://doi.org/10.1177/0013916516649413

Sarathchandra, D., & Taylor, C. A. (2025). Perceived risk, health protective behavior, and trust: a case study of the flint water crisis. Environmental Sociology, 11(2), 198-212. https://doi.org/10.1080/23251042.2024.2408703 .

Smith, W., Kelly, S., & Rhodes, T. (2008). Information, decision and action: The factors that determine farmers' environmental decision-making. Wellington, New Zealand: Ministry of Agriculture and Forestry.

Tanner, C. (2009). To act or not to act: Nonconsequentialism in environmental decision-making. Ethics & Behavior, 19(6), 479–495. https://doi.org/10.1080/10508420903275192

Tonn, B. E., English, M. R., & Travis, C. (2000). A framework for understanding and improving environmental decision making. Journal of Environmental Planning and Management, 43(2), 163–183. https://doi.org/10.1080/09640560010658

Valizadeh, N., Bijani, M., Hayati, D., & Fallah Haghighi, N. (2019). Social-cognitive conceptualization of Iranian farmers' water conservation behavior. Hydrogeology Journal, 27 (4), 1131-1142 https://doi.org/10.1007/s10040-018-01915-8

Valizadeh, N., Bijani, M., Karimi, H., Naeimi, A., Hayati, D., & Azadi, H. (2020). The effects of farmers' place attachment and identity on water conservation moral norms and intention. Water Research, 185, 116131 https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116131

Wetzels, M. G. M., Odekerken-Schröder, G. J., & van Oppen, C. A. M. L. (2009). Using PLS path modeling for assessing hierarchical construct models: Guidelines and empirical illustration. MIS Quarterly, 33(1), 177–195. https://doi.org/10.2307/20650284

Zarafshani, K., & Saadvandi, M. (2017). Determining Agricultural Water Poverty Index in Kermanshah Province: The Case of Mahidasht Basin, Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 19, 541-552. https://jast.modares.ac.ir/article_16014.html

پی‌نوشت‌ها

1- Environmental decision making
2- Emotions
3- Attitude
4- Emotional connection to nature
5- Personal involvement
6- Outcome expectancy
7- Self-efficacy
8- Protection motivation theory
9- Protection motivation theory
10- Response efficacy
11- Perceived severity
12- Response costs
13- Perceived vulnerability
14- Self-efficacy
15- Ganges River
16- Water ecological beliefs
17- Heterotrait-Monotrait Ratio

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۲۳ تا ۴۴

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 23 to 44

نوع مقاله | پژوهشی کاربردی

طراحی مدل درآمدی پایدار برای زنجیره ارزش داده‌های کلان آب ایران: تلفیق تحلیل اقتصادی، ارزیابی ریسک و سنجش تمایل به پرداخت

مهسا قطبی زاده[۱*]، مهدی ضرغامی[۲]

۱-دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲- استاد دانشکده حکمرانی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول: m.ghotbizadeh@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۴/۱۱/۰۴
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۱/۲۲
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

در عصر اقتصاد دیجیتال، داده‌های کلان آب به‌عنوان دارایی راهبردی، ظرفیت بالایی برای خلق ارزش اقتصادی و مدیریت پایدار منابع آب دارند. بااین‌حال، در ایران باوجود زیرساخت گسترده پایش، زنجیره ارزش اقتصادی کاملی شکل نگرفته و مدل کنونی متکی بر بودجه دولتی، فاقد پایداری مالی و بهره‌وری است. این پژوهش با هدف تحلیل اقتصادی این زنجیره و طراحی مدل درآمدی بومی و پایدار، با رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) انجام شد. زنجیره ارزش بر اساس مدل پورتر بومی‌سازی و شاخص‌های مالی کلیدی محاسبه شدند. یافته‌ها نشان‌دهنده توجیه‌پذیری مالی بالا با نرخ بازده داخلی (IRR) ۳۲٪، ارزش خالص فعلی(NPV) مثبت و دوره بازگشت سرمایه ۳ سال است؛ اما تحلیل حساسیت، آسیب‌پذیری شدید پروژه را در برابر کاهش حدود ۷٪ درآمد آشکار ساخت. تحلیل کارایی مرحله‌ای نشان داد که مرحله «جمع‌آوری داده» کم‌بازده‌ترین و «انتشار و خدمات‌رسانی» پربازده‌ترین بخش است. همچنین، حدود ۶۸٪ از کاربران هدف (دولتی، خصوصی و پژوهشی) تمایل به پرداخت برای داده‌های باکیفیت دارند و عواملی مانند دقت، اعتبار و به‌روزبودن داده‌ها بر این تمایل تأثیر معنادار دارند. ارزیابی پنج مدل درآمدی با روش AHP، «خدمات ارزش‌افزوده» و «اشتراک سازمانی» را به‌عنوان راهبردهای بهینه معرفی کرد. بر این اساس، چارچوب حکمرانی و تجاری‌سازی یکپارچه شامل سه محور پیشنهاد می‌شود: تدوین سند ملی حکمرانی داده و ایجاد نهاد تنظیم‌گر بازار؛ اجرای سیاست داده‌باز برای داده‌های پایه و تمرکز بر خدمات ارزش‌افزوده؛ و نوسازی زیرساخت‌های جمع‌آوری داده با تأمین مالی پایدار از طریق مشارکت عمومی-خصوصی. این پژوهش نقشه‌راهی کاربردی برای گذار به اقتصاد داده‌محور تاب‌آور در حوزه آب ایران ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: داده‌های آب، زنجیره ارزش، مدل درآمدی، تمایل به پرداخت، تجاری‌سازی.

Document Type | Applied Research Article

Designing a Sustainable Revenue Model for Iran's Water Big Data Value Chain: Integrating Economic Analysis, Risk Assessment, and Willingness-to-Pay Evaluation

M. Ghotbizadeh[1*], M. Zarghami[2]

1- Ph.D. Student in Civil Engineering – Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Professor, Faculty of Governance, University of Tehran, Tehran, Iran.
*** Corresponding, Author Email:** m.ghotbizadeh@tabrizu.ac.ir

Received ▶ 24-01-2026
Revised ▶ 07-04-2026
Accepted ▶ 11-04-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

In the era of the digital economy, water big data, as a strategic asset, holds significant potential for creating economic value and supporting sustainable resource management. However, in Iran, despite the existence of extensive monitoring infrastructure, a complete economic value chain around this data has not yet been formed, and the current model—reliant on government budgets—lacks financial sustainability and productivity. This study was conducted with the aim of economically analyzing this value chain and designing a localized and sustainable revenue model, using a mixed-methods approach (qualitative-quantitative). The value chain was localized based on Porter's model, and key financial indicators were calculated. The findings indicate high financial feasibility with an Internal Rate of Return (IRR) of 32%, a positive Net Present Value (NPV), and a payback period of 3 years; however, sensitivity analysis revealed that the project is highly vulnerable to even a 7% decline in revenue. Stage-wise efficiency analysis showed that the "data collection" stage is the least efficient, while the "dissemination and service delivery" stage is the most profitable part of the value chain. Furthermore, about 68% of target users (governmental, private, and research sectors) are willing to pay for quality data, with factors such as accuracy, credibility, and timeliness having a significant impact on this willingness. Evaluation of five common revenue models using the AHP method identified "value-added services" and "organizational subscription" as the optimal revenue generation strategies. Accordingly, an integrated governance and commercialization framework is proposed, based on three pillars: developing a national data governance document and establishing a market regulatory body; implementing an open data policy for basic data and focusing on the development of specialized value-added services; and modernizing costly data collection infrastructure and establishing sustainable financing mechanisms through public-private partnerships. This research provides a practical roadmap for transitioning toward a resilient data-driven economy in Iran's water sector.

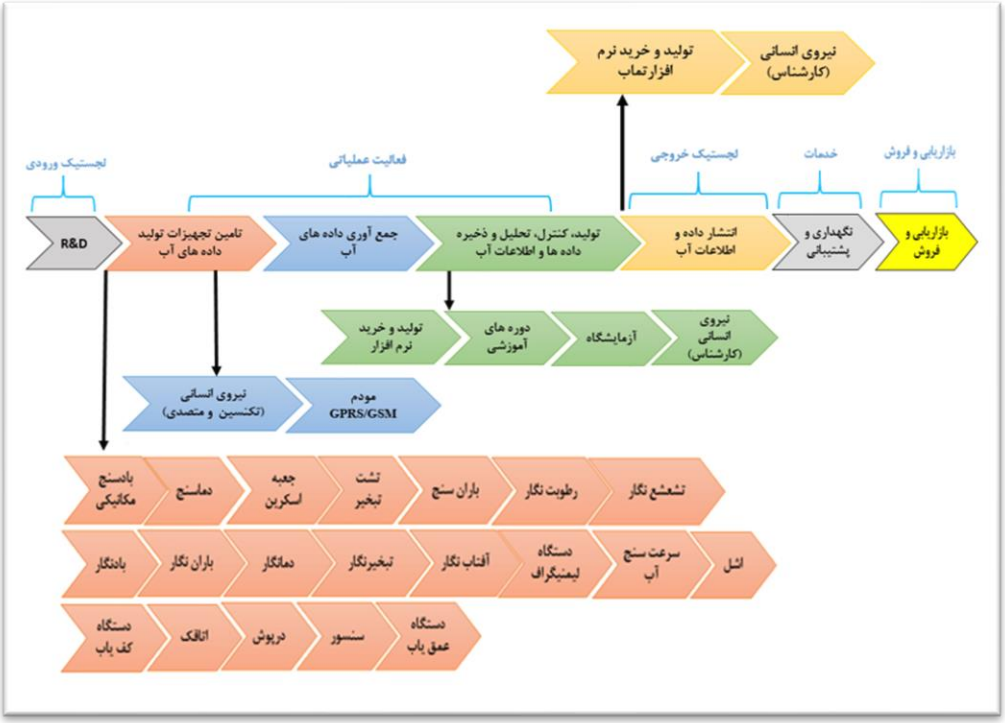
Keywords: Water Data, Value Chain, Revenue Model, Willingness to Pay, Commercialization.

How to cite this article:
Ghotbizadeh, M. and Zarghami, M. (2026). Designing a Sustainable Revenue Model for Iran's Water Big Data Value Chain: Integrating Economic Analysis, Risk Assessment, and Willingness-to-Pay Evaluation. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 23-44. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i1.2601-1492

مقدمه

در عصر اقتصاد دیجیتال، داده‌ها به عنوان یک دارایی راهبردی و ارزش‌آفرین نقش بی‌بدیلی در توسعه پایدار ایفا می‌کنند (World Economic Forum، ۲۰۲۲). در این میان، داده‌های کلان آب به دلیل اهمیت حیاتی آب در امنیت غذایی، سلامت جامعه، پایداری محیط‌زیست و تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی، جایگاهی حساس و ارزشمند دارند. این داده‌ها که از شبکه گسترده‌ای از ایستگاه‌های هیدرومتری، کیفی، هواشناسی و پایش منابع آب زیرزمینی گردآوری می‌شوند نه تنها زیربنای مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب را تشکیل می‌دهند (Anshul و همکاران، ۲۰۲۲)، بلکه پتانسیل تبدیل به کالاها و خدمات اطلاعاتی با ارزش اقتصادی بالا را دارند. با این‌حال، بهره‌برداری از این پتانسیل مستلزم عبور از پارادایم سنتی «داده به مثابه کالای عمومی رایگان» و حرکت به سمت مدل‌های اقتصادی نوین «داده به مثابه دارایی سرمایه‌ای قابل تجاری‌سازی» است (Berntzen و Krumova، ۲۰۱۷). این گذار، طراحی و استقرار مدل‌های درآمدی هوشمند را در کانون توجه قرار می‌دهد؛ مدل‌هایی که بتوانند میان دسترسی عمومی به داده‌های پایه و فروش خدمات تخصصی ارزش‌افزوده توازن برقرار کنند. تجربه موفق نهادهای پیشرو بین‌المللی، از جمله سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) با مدل درآمدی دوگانه خود نشان می‌دهد که تجاری‌سازی هدفمند نه تنها وابستگی مالی به بودجه دولتی را کاهش می‌دهد. همچنین، این رویکرد با جذب سرمایه و نوآوری بخش خصوصی، کیفیت، دامنه و کاربردپذیری داده‌ها را به شکل چشمگیری ارتقا می‌بخشد (National Oceanic and Atmospheric Administratio، ۲۰۲۳). در ایران، باوجود تاریخچه طولانی پایش و زیرساخت نسبتاً وسیع جمع‌آوری داده‌های آب (قطبی زاده و همکاران، ۱۴۰۴)، زنجیره ارزش اقتصادی کامل حول این دارایی داده‌ای شکل نگرفته است. تمرکز اصلی بر مرحله تولید و ذخیره‌سازی داده بوده و مراحل بعدی زنجیره ارزش مانند پردازش پیشرفته، تحلیل، بسته‌بندی، قیمت‌گذاری و عرضه خدمات ارزش‌افزوده، به صورت نظام‌مند توسعه نیافته‌اند (قطبی زاده و همکاران، ۱۴۰۴). وابستگی تقریباً کامل به تأمین مالی دولتی و عدم وجود یک مدل درآمدی پایدار و متنوع، نه تنها پایداری مالی پروژه‌های داده‌محور را تهدید می‌کند، بلکه فرصت‌های عظیم اقتصادی ناشی از ایجاد بازارهای داده و توسعه اکوسیستم فناوری‌های مرتبط با آب را نیز به حاشیه رانده است. درحالی‌که مطالعات متعدد، بازده اقتصادی بالا و توجیه‌پذیری سرمایه‌گذاری در ارتقای زیرساخت‌های داده‌ای و تجاری‌سازی خدمات آب و هواشناسی را تأیید کرده‌اند (Leviäkangas و Hautala، ۲۰۰۹). شکل (۱) حلقه‌ها و زیرحلقه‌های زنجیره ارزش داده‌های کلان آب کشور را نشان می‌دهد. بر اساس مدل پورتر و با بومی‌سازی آن برای شرایط ایران، این زنجیره از هشت مرحله اصلی تشکیل شده است (Ghotbizadeh و همکاران، ۲۰۲۶): (۱) تأمین تجهیزات تولید داده‌های آب، (۲) جمع‌آوری داده‌های آب از طریق شبکه گسترده ایستگاه‌های هیدرومتری، کیفی، هواشناسی و پایش منابع آب زیرزمینی، (۳) تولید، کنترل، تحلیل و ذخیره داده‌ها و اطلاعات آب، (۴) انتشار داده و اطلاعات آب، (۵) نگهداری و پشتیبانی، (۶) بازاریابی و فروش، (۷) خدمات پس از فروش و پشتیبانی مشتری، و (۸) فعالیت‌های تحقیق و توسعه. همچنین، این شکل نیروی انسانی مورد نیاز (کارشناسان، تکنسین‌ها و متصدیان)، زیرساخت‌های فنی (مودم‌هایGPRS/GSM، تجهیزات اندازه‌گیری نظیر بادسنج، باران‌سنج، رطوبت‌نگار، تشعشع‌نگار، لیمنی‌گراف، سرعت‌سنج آب، دستگاه‌های درپوش، اتاقک و عمق‌یاب) و همچنین نیازمندی‌های نرم‌افزاری و آموزشی را به تصویر می‌کشد. این چارچوب، مبنای تحلیل اقتصادی و محاسبه شاخص‌های مالی در بخش‌های بعدی پژوهش قرار گرفته است.

ازاین‌رو، پژوهش حاضر با رویکردی ترکیبی (کیفی-کمی) و با هدف تحلیل اقتصادی زنجیره ارزش داده‌های کلان آب در ایران و ارائه یک مدل درآمدی بومی و عملیاتی برای تجاری‌سازی آنها انجام شده است. این مطالعه در پی پاسخ به پرسش‌های کلیدی زیر است::۱- ساختار هزینه‌ها و ارزش افزوده مراحل مختلف زنجیره ارزش داده‌های آب در ایران چگونه است؟ ۲- شاخص‌های مالی کلیدی این سرمایه‌گذاری (مانند ارزش خالص فعلی، نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه) چه میزان است و آیا از توجیه اقتصادی برخوردار است؟ ۳- از منظر اجتماعی،تمایل به پرداخت ذی‌نفعان برای دسترسی به داده‌ها و خدمات آب چگونه است و چه عواملی بر آن تأثیر می‌گذارند؟ ۴- با توجه به شرایط نهادی، حقوقی، بازار و یافته‌های اجتماعی، کدام مدل یا ترکیبی از مدل‌های درآمدی برای تجاری‌سازی پایدار این داده‌ها مناسب‌تر است؟ انتظار می‌رود یافته‌های این پژوهش، درکی عمیق‌تر از اقتصاد داده‌های آب در ایران ارائه دهد، مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاری فراهم کند و با معرفی یک چارچوب بومی برای درآمدزایی پایدار، گامی در جهت کاهش وابستگی به بودجه عمومی، فعال‌سازی بخش خصوصی و در نهایت شکل‌گیری اقتصاد دانش‌بنیان و داده‌محور در حوزه مدیریت منابع آب کشور برداشته شود. پس از مقدمه حاضر، ابتدا پیشینه پژوهش بررسی شده، سپس روش انجام پژوهش معرفی شده، پس از آن یافته‌های پژوهش مرور شده و در نهایت ضمن جمع‌بندی تحقیق، توصیه‌های سیاستی و اقتصادی مرتبط ارائه شده است.



شکل ۱- حلقه ها و زیرحلقه‌های زنجیره ارزش داده‌های کلان آب کشور (Ghotbizadeh و همکاران، ۲۰۲۶)

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، موضوع داده‌ها و زنجیره ارزش آن‌ها به‌ویژه در حوزه منابع طبیعی مانند آب، مورد توجه فزآینده‌ای قرار گرفته است. جدول (۱) مطالعات بین‌المللی را نشان می‌دهد که سازمان‌های پیشرو در حوزه آب و هواشناسی، با تجاری‌سازی داده‌ها و ارائه خدمات ارزش‌افزوده، درآمدهای قابل‌توجهی ایجاد کرده و به بهره‌وری و مدیریت پایدار منابع کمک شایانی نموده‌اند (Ghotbizadeh و همکاران، ۲۰۲۶). به‌عنوان‌مثال، سازمان هواشناسی استرالیا[1](BOM) با مدل درآمدی ترکیبی شامل بودجه دولتی (۵۰٪)، اشتراک‌های سازمانی (۳۰٪) و خدمات تخصصی (۲۰٪)، سالانه حدود ۴۵۰ میلیون دلار درآمد دارد. کلید موفقیت آن سفارشی‌سازی خدمات برای صنایع حیاتی مانند معدن و کشاورزی است (Australian Government Department of Industry, Science, Energy and Resources، ۲۰۲۱). اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) مدل دوگانه‌ای اجرا می‌کند: داده‌های پایه رایگان و خدمات پیشرفته پولی. درآمد سالانه آن حدود ۱/۲ میلیارد دلار است که از بودجه فدرال (۶۰٪)، فروش داده‌های پیشرفته (۲۵٪) و قراردادهای تجاری (۱۵٪) تأمین می‌شود. این مدل توازن هوشمندانه‌ای بین منفعت عمومی و درآمدزایی ایجاد کرده است (National Oceanic and Atmospheric Administratio، ۲۰۲۳). برنامه کوپرنیکوس اتحادیه اروپا داده‌های ماهواره‌ای را به طور کامل رایگان ارائه می‌دهد و بودجه آن (۴/۲ میلیارد یورو) توسط اتحادیه اروپا تأمین می‌شود. هسته مدل درآمدی آن، ایجاد اکوسیستمی برای بخش خصوصی است که با استفاده از داده‌های رایگان، خدمات ارزش افزوده تجاری توسعه می‌دهد و بازاری ۱۲ میلیارد یورویی ایجاد کرده است (European Commission، ۲۰۲۳).

هواشناسی هلند[2](KNMI) با تمرکز بر تخصص ملی در مدیریت آب، سالانه حدود ۸۵ میلیون یورو درآمد دارد که از بودجه عمومی (۶۰٪)، اشتراک سازمانی (۲۵٪) و پروژه‌های تحقیقاتی (۱۵٪) تأمین می‌شود. موفقیت آن ناشی از تبدیل چالش جغرافیایی به مرکز تخصصی جهانی و ارائه خدمات حیاتی به بخش‌هایی مانند بندر روتردام است (van derWiel و de Vries، ۲۰۲۲). سازمان هواشناسی آلمان[3](DWD) با مدل درآمدی مجوزمحور، سالانه حدود ۶۰۰ میلیون یورو درآمد دارد که تنها ۲۰٪ آن دولتی است. این مدل بر تفکیک حقوقی و قیمت‌گذاری شفاف بر اساس نوع کاربری (تجاری/غیرتجاری) و همکاری استراتژیک با صنایع پیشرفته تکیه دارد (Deutscher Wetterdienst، ۲۰۲۱). سازمان هواشناسی انگلیس (Met Office) با مدل درآمدی هیبریدی مبتنی بر مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)، سالانه حدود ۳۰۰ میلیون پوند درآمد ایجاد می‌کند (Met office، ۲۰۲۳). ساختار درآمدی آن شامل سه بخش است: قراردادهای بلندمدت با دولت (۴۰٪)، خدمات مستقیم به بخش خصوصی (۳۵٪) و فروش داده و مجوز به کاربران بین‌المللی (۲۵٪) (Harrison و Williams، ۲۰۲۱).

سازمان هواشناسی فرانسه با مدل درآمدی دوگانه، مأموریت‌های عمومی (۵۵٪ درآمد) را از بودجه دولتی تأمین می‌کند و هم‌زمان از طریق فروش خدمات تخصصی به صنایع

(۳۰٪) و فروش بین‌المللی داده‌ها (۱۵٪) درآمدزایی می‌کند (Météo-France، ۲۰۲۳). تمرکز اصلی آن بر صنایع استراتژیک ملی مانند انرژی هسته‌ای است، جایی که خدمات پیش‌بینی میکرومقیاس با دقت بالا برای ایمنی نیروگاه‌ها ارائه می‌دهد. بازار هدف آن مشتریان سازمانی حیاتی مانند وزارت دفاع، هوانوردی و بخش مالی است. با تمرکز بر تولید داده‌های دقیق و همکاری با شرکت‌های واسط، اکوسیستم تجاری منسجمی ایجاد کرده که طی آن خروجی‌ها به خدمات کاربرپسند تبدیل می‌شوند (Bernard و Moreau، ۲۰۲۲). این مدل را به نهادی پایدار تبدیل کرده که از طریق ارزش‌آفرینی مستقیم، پایداری مالی خود را تضمین می‌کند. سازمان هواشناسی و هیدرولوژی سوئد (SMHI)[۴] با مدل درآمدی مبتنی بر پلتفرم و استراتژی "داده باز، خدمات ارزش افزوده"، درآمد سالانه حدود ۱۰۰ میلیون یورویی خود را از ترکیب بودجه دولتی (۴۰٪)، فروش خدمات دیجیتال و API (۳۵٪) و قراردادهای پروژه‌ای (۲۵٪) تأمین می‌کند (Government Offices of Sweden، ۲۰۲۲). این سازمان با ارائه گسترده داده‌های رایگان از طریق پورتالOpen Data ، پایه یک اکوسیستم نوآوری پویا را ایجاد کرده و سپس با عرضه APIهای پیشرفته پولی به بازارهای هدفی مانند انرژی تجدیدپذیر، مدیریت شهری و حتی صنعت بازی‌های ویدیویی، درآمدزایی می‌کند (Andersson و Nilsson، ۲۰۲۲).

نیوزیلند با مدل دوگانه منحصربه‌فرد، خدمات هواشناسی، MetService را میان شرکت دولتی تجاری، مسئول پیش‌بینی‌های عمومی و هوانوردی و موسسه تحقیقاتی، متمرکز بر داده‌های بلندمدت آب و هواشناسی تقسیم کرده است (Harrington و Reid، ۲۰۲۲). درآمد ترکیبی حدود ۲۵۰ میلیون دلار نیوزیلند است که بیشتر از طریق MetService و از مسیر قراردادهای دولتی، خدمات هوانوردی منطقه‌ای و خدمات تخصصی به صنایع گردشگری و کشاورزی کسب می‌شود (Harrington و Reid، ۲۰۲۲). شرکت ملی آب اسرائیل[۵] (Mekorot) با تحول به یک ارائه‌دهنده راه‌حل‌های فناورانه، بخش فزاینده‌ای از درآمد خود (حدود ۵۰٪) را از صادرات خدمات ارزش افزوده و پلتفرم هوشمند «AquaMind» مبتنی بر هوش مصنوعی و اینترنت اشیا تأمین می‌کند (MEKOROT، ۲۰۲۳). بازار هدف آن دولت‌ها و شرکت‌های خدمات شهری در کشورهای خشک جهان است که از طریق قراردادهای مشاوره، پروژه‌های EPC و فروش مجوز نرم‌افزار، دانش فنی مدیریت آب را صادر می‌کنند (Cohen و Levi، ۲۰۲۲). مدل درآمدی هواشناسی و داده‌های آب هند بر تأثیر اجتماعی و امنیت ملی در مقیاس عظیم متمرکز است، با بودجه دولتی عمده (حدود ۷۰٪) برای ارائه خدمات رایگان به ۵۰۰ میلیون کشاورز از طریق برنامه «هواشناسی برای کشاورزی» درآمدزایی تجاری محدود (حدود ۳۰٪) بیشتر از طریق قرارداد با سایر نهادهای دولتی بزرگ و فروش داده به صنایع انرژی محقق می‌شود (Patel و Desai، ۲۰۲۱). سرویس هواشناسی سنگاپور (MSS)[۶] با مدل پلتفرم‌محور و ادغام با طرح "ملت هوشمند"، سالانه حدود ۱۲۰ میلیون دلار درآمد دارد. ساختار درآمدی آن متشکل از بودجه دولتی (۴٪)، فروش API (۴۰٪) و پروژه‌ها (۲۰٪) است. MSS داده‌ها را به یک سرویس زیرساختی دیجیتال تبدیل کرده که مستقیماً در سیستم‌های شهر هوشمند ادغام می‌شود (Meteorological Service Singapore، ۲۰۲۳). سازمان هواشناسی ژاپن (JMA)[۷] مدلی درآمدی مبتنی بر مأموریت عمومی با درآمدزایی بسیار تخصصی را اجرا می‌کند که در آن دقت، قابلیت اطمینان و یکپارچگی با سیستم‌های حیاتی ملی در اولویت مطلق قرار دارند. درآمد سالانه آن حدود ۸۵ میلیارد ین (۵۵۰ میلیون یورو) است که بیشتر از بودجه دولتی(۵۵٪ برای انجام مأموریت‌های حیاتی عمومی، به ویژه هشدار سریع بلایای طبیعی تأمین می‌شود (Meteorological Service Singapore، ۲۰۲۳). ویژگی کلیدی JMA و منبع اصلی درآمدزایی تجاری آن ارائه خدمات فوق‌تخصصی (۴۵٪) با تضمین دقت بالا به صنایعی است که ایمنی و تداوم عملیات آنها به شدت وابسته به شرایط جوی و لرزه‌ای است (Japan Meteorological Agency، ۲۰۲۳). اداره هواشناسی چین (CMA)[۸] و وزارت منابع آب (MWR)[۹] با بودجه دولتی عظیمی، زیرساخت‌های گسترده جمع‌آوری داده (شبکه‌ای با ده‌ها هزار ایستگاه خودکار و ماهواره) را ایجاد و به‌صورت انحصاری مدیریت می‌کنند (China Meteorological Administration، ۲۰۲۳). مدل درآمدی چین در حوزه داده‌های آب و هوا ترکیبی از کنترل انحصاری دولتی بر داده‌های پایه و فعال‌سازی یک بازار بزرگ خدمات خصوصی است. دولت با سرمایه‌گذاری عظیم در زیرساخت جمع‌آوری داده، داده‌های دارای مجوز را در اختیار شرکت‌های فناوری بزرگ (مانند علی‌بابا و تنسنت) قرار می‌دهد تا آن‌ها خدمات ارزش افزوده متنوعی توسعه داده و بازاری ۱۴ میلیارد دلاری ایجاد کنند (Liu و همکاران، ۲۰۲۳). مدل درآمدی ترکیه در حوزه داده‌های آب و هوا با اولویت‌های ملی امنیت آبی و انرژی هم‌سو است، و سازمان هواشناسی ترکیه(MGM)[۱۰] با درآمد حدود ۷۰ میلیون دلار، ۶۰٪ را از بودجه دولتی و ۴۰٪ را از فروش خدمات تخصصی به پروژه‌های بزرگ ملی (مانند پروژه آناتولی جنوب شرقی شامل سدها و نیروگاه‌های برق‌آبی) تأمین می‌کند (Turkish State Meteorological Service، ۲۰۲۳). این مدل دو سطح خدمات ارائه می‌دهد: سطح اول، داده‌های رایگان پایه برای عموم و کشاورزان، و سطح دوم، فروش داده‌های پردازش شده و خدمات مشاوره‌ای تخصصی به بخش خصوصی و پیمانکاران پروژه‌های عمرانی (Demir و Aksoy، ۲۰۲۱). مدل درآمدی پاکستان در حوزه داده‌های آب و هوا به شدت متکی بر بودجه دولتی (۵۰٪) و کمک‌های بین‌المللی (۴۰٪) با سهم ناچیزی (۱۰٪) از درآمدزایی داخلی است. تمرکز اصلی آن بر مدیریت بلایا و امنیت آب است، به‌گونه‌ای که سیستم‌های حیاتی مانند پیش‌آگاهی سیلاب غالباً با حمایت مالی خارجی توسعه می‌یابند و دسترسی

عمومی و تجاری به داده‌ها بسیار محدود باقی می‌ماند (Pakistan Meteorological Department، ۲۰۲۳).

در ایران مدیریت داده‌های آب تحت مسئولیت وزارت نیرو در دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور به عنوان زیرمجموعه شرکت مدیریت منابع آب است. بخش عمده سرمایه‌گذاری بر پایش و تولید داده (ایستگاه‌ها، چاه‌های مشاهده‌ای) متمرکز است، اما بازاریابی، تعرفه‌گذاری و خدمات ارزش‌افزوده وجود ندارند (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۹). در حال حاضر، اصلی‌ترین زیرساخت انتشار داده و اطلاعات آب کشور، سامانه جامع مطالعات پایه منابع آب (تماب) است که در حال بهره‌برداری است. سامانه تماب، یک سامانه مکان‌محور و تحت وب بوده که علاوه بر جمع‌آوری و تهیه آمار و گزارش‌هایمدیریتی در قالب داشبورد آماری و فرایندی، امکان دریافت برخط اطلاعات از ایستگاه‌های سنجش آب و هواشناسی مطالعات پایه منابع آب و جمع‌آوری آن در یک پایگاه اطلاعاتی متمرکز را دارد. وزارت نیرو بنا دارد تا بعد از نهایی‌شدن این سامانه، به سمت یکپارچه‌سازی سامانه‌های خود در قالب طرح «رصدخانه ملی آب» گام بردارد که این برنامه تنها برنامه یکپارچه‌سازی در حوزه داده و اطلاعات آب به حساب می‌آید که آن هم درون سازمانی بوده. مدل حاکم بر مدیریت داده‌های هواشناسی ایران، یک مدل دولتی متمرکز و ۱۰۰٪ وابسته به بودجه عمومی است که در آن جریان درآمدی غیربودجه‌ای (بیشتر از طریق فروش پراکنده و محدود داده‌های خام) کمتر از ۵٪ از هزینه‌های کل را تشکیل می‌دهد. نقطه قوت ایران زیرساخت گسترده پایش منابع و مصارف، دارای طیف وسیعی از ادوات، زیرساخت‌ها و بانک‌های اطلاعاتی مختلف مرتبط با مطالعه پایه منابع آب و داده‌های تاریخی است، درحالی‌که ضعف اصلی، نبود چارچوب حقوقی مالکیت داده و عدم شکل‌گیری بازار داده‌های آب است (قطبی زاده و همکاران، ۱۴۰۴). درحالی‌که وابستگی کامل به تخصیص‌های مالی دولت، نه‌تنها پایداری مالی پروژه‌های داده‌محور را به شدت آسیب‌پذیر کرده، بلکه به دلیل عدم توسعه یک مدل درآمدی پایدار، تجاری و متنوع، امکان سرمایه‌گذاری در ارتقای فناوری، پردازش داده و ارائه خدمات ارزش افزوده را به حداقل رسانده است.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف تحلیل اقتصادی و ارزش‌آفرینی زنجیره داده‌ها و اطلاعات آب کشور و با اتکا به یک رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) طراحی و اجرا شده است (Creswell و Plano Clark، ۲۰۱۸). این رویکرد امکان درک عمیق‌تر پیچیدگی‌های زنجیره ارزش از طریق داده‌های کیفی و سپس آزمون و تعمیم یافته‌ها با داده‌های کمی را فراهم می‌آورد. روش‌شناسی پژوهش در چهار مرحله اصلی:۱- تلفیق مطالعه تطبیقی بین‌المللی مدل‌های درآمدی، ۲- بومی‌سازی و کمی‌سازی زنجیره ارزش، ۳- تحلیل اقتصادی زنجیره ارزش داده‌های آب کشور (مالی، حساسیت و سناریوسازی) و ۴- تحلیل اجتماعی (سنجش تمایل به پرداخت)، سازماندهی شده است تا پاسخی جامع به پرسش‌های تحقیق ارائه نماید. پایه تحلیل ساختاری این پژوهش، مدل زنجیره ارزش پورترِ مبتنی بر داده کلان قرار داده شده است (Berntzen و Krumova، ۲۰۱۷). در این مدل، فعالیت‌های ارزش‌آفرین اصلی در پنج حوزه لجستیک ورودی، فعالیت‌های عملیاتی، لجستیک خروجی، خدمات و بازاریابی و فروش و فعالیت‌های پشتیبانی در چهار حوزه زیرساخت داده، مدیریت منابع انسانی، تحقیق و توسعه فناوری، و تدارکات دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۲).

برای بومی‌سازی و تکمیل این مدل در حوزه آب، از روش نمونه‌گیری هدفمند گلوله‌برفی جهت انتخاب ۱۵ خبره از نهادهای کلیدی شامل شرکت مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو، مؤسسه تحقیقات آب و بخش خصوصی استفاده شد. داده‌های کیفی از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته (در آذر و دی ماه ۱۴۰۲) و بازدید میدانی از ایستگاه‌های تولید داده در خوزستان گردآوری و با تحلیل محتوای کیفی بررسی شد. خروجی این مرحله، شناسایی و جایگزینی مؤلفه‌های زنجیره ارزش داده‌های آب کشور در قالب مدل پورتر و تهیه لیست هزینه‌های دقیق ابزارها و فرآیندها از تولید تا انتشار داده بود. برای اعتبارسنجی برآوردهای مالی، توسط چهار خبره مستقل بهره گرفته شد.

مرحله اول، با تلفیق مطالعه تطبیقی بین‌المللی مدل‌های درآمدی، نتایج تحلیل زنجیره ارزش و خروجی جلسات طوفان فکری با خبرگان، چارچوب یکپارچه‌ای برای تجاری‌سازی خدمات آمار و اطلاعات آب طراحی شد. سپس، پنج مدل درآمدی متداول (فروش رکورد خام، اشتراک، پرداخت به ازای استفاده، فروش گزارش تحلیلی و خدمات ارزش‌افزوده) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[11] مورد ارزیابی و رتبه‌بندی قرار گرفتند (Saaty، ۱۹۸۰). معیارهای ارزیابی و وزن آن‌ها مبتنی بر یافته‌های مراحل قبل تعیین شد: ریسک درآمدی (۳۰٪)، قابلیت گسترش (۲۵٪)، تناسب با بازار ایران (۲۵٪) و نیاز به زیرساخت اضافی (۲۰٪). امتیازدهی به هر مدل در هر معیار با استفاده از مقیاس لیکرت ۵ درجه‌ای (۱ تا ۵) توسط خبرگان انجام و گزینه بهینه انتخاب شد.

جدول ۱- مقایسه مدل درآمدی و حاکمیتی خدمات داده‌های آب و هواشناسی درکشورهای منتخب

کشور	مدل حاکمیتی / همکاری	دسترسی به داده	پلتفرم / API /بازار	مدل درآمدی اصلی/ تجاری‌سازی	درآمد تقریبی سالانه	ویژگی کلیدی تجاری‌سازی و مدل درآمدی
استرالیا	دولت نقش هدایت‌گر دارد؛ داده‌های پایه اغلب باز اما پروژه‌های تخصصی و خدمات کاربردی تجاری‌سازی می‌شوند	داده پایه آبی معمولاً در پورتال‌های دولتی در دسترس	سامانه ملی داده‌های آب، گزارش‌های بازار آب، ابزارهای تحلیلی برای کاربران حرفه‌ای	-اشتراک سازمانی (سطح‌بندی شده) -فروش داده‌های تاریخی و پیش‌بینی شده -خدمات اختصاصی برای معادن و کشاورزی	~۴۵۰ میلیون دلار	دولت سرمایه‌گذاری بزرگ روی زیرساخت و چشم‌انداز ملی آب؛ در عین حال پروژه‌های پیچیده و پرهزینه که نیازمند مدیریت مالی دقیق هستند. مدل مبتنی بر اشتراک با سطوح مختلف دسترسی و قیمت‌گذاری پویا
ایالات متحده	قوی در داده‌های پایه دولتی؛ برنامه‌های رسمی برای مشارکت عمومی-خصوصی و خرید داده‌های تجاری؛ حرکت به سمت مدل‌های تجاری مبتنی بر همکاری	ترکیبی: بسیاری داده‌های پایه رایگان، اما برنامه‌های خرید داده‌ی تجاری وجود دارد.	برنامه‌های تجاری Commercial Data) (Program API ها و خرید داده از بخش خصوصی	-داده‌های باز رایگان (پایه) -خدمات پولی ویژه (API پیشرفته، داده بلادرنگ) -قراردادهای (B2B و B2G (شهرسازی،کشاورزی، انرژی)	~۱/۲ میلیارد دلار	تمرکز رسمی روی مشارکت با بخش خصوصی و خرید داده‌های تجاری برای بهبود خدمات دولتی. مدل دوگانه: دسترسی آزاد و خدمات ارزش افزوده پولی
اتحادیه اروپا	سیاستگذاری متمرکز در سطح اتحادیه؛ تشویق مشارکت خصوصی در توسعه خدمات مبتنی بر داده	دسترسی آزاد به داده‌های پایه؛ خدمات پیشرفته پولی توسط ارائه‌دهندگان خصوصی	پلتفرم‌های داده باز اتحادیه اروپا (Copernicus) بازارهای خدمات تخصصی	-داده‌های باز و رایگان -خدمات ارزش افزوده پولی توسط بخش خصوصی	~۲/۴ میلیارد یورو	تمرکز بر سیاست‌های یکپارچه داده باز در سطح اتحادیه و توسعه بازار خدمات تخصصی. مدل دو مرحله‌ای: داده رایگان دولتی، خدمات پولی خصوصی
آلمان	ساختارهای ملی/قاره‌ای برای تبادل داده هیدرولوژیک؛ نهادهای تخصصی داده‌های جریان را منتشر می‌کنند	داده‌های پایه در پورتال‌های تخصصی قابل دسترسی؛ ترکیبی از دسترسی باز و محدود	مراکز داده تخصصی، دیتاپورتال‌های جاری و همکاری‌های بین‌المللی	مجوزمحور با تفکیک دقیق کاربرد تجاری و غیرتجاری	~۶۰۰ میلیون یورو	شبکه قوی از مراکز تخصصی و مشارکت در پروژه‌های بین‌المللی. نظام حقوقی و قراردادی بسیار شفاف و سخت‌گیرانه
انگلیس	دولت به عنوان مشتری و همکار اصلی؛ مدل حاکمیتی مشارکتی با بخش خصوصی	دسترسی محدود به داده‌های حساس؛ داده‌های عمومی در پورتال‌های دولتی	پلتفرم‌های داده ملی و ابزارهای تحلیلی تحت قرارداد	-خدمات قراردادی عمومی-خصوصی (PPP) - فروش داده‌ها و خدمات تخصصی	~۳۰۰ میلیون پوند	همکاری نزدیک با بخش خصوصی در پروژه‌های زیرساختی و تحقیقاتی. مدل هیبریدی با تمرکز بر قراردادهای بلندمدت با دولت و بخش خصوصی
فرانسه	نهادهای دولتی با اختیارات تجاری محدود؛ نظارت وزارت محیط زیست	داده‌های پایه عموماً آزاد؛ خدمات تحلیلی پیشرفته پولی	پلتفرم‌های عمومی داده آب و هوا، خدمات تجاری تحت نظارت دولتی	خدمات عمومی با درآمدزایی تجاری تکمیلی تحت نظارت وزارت محیط‌زیست	~۵۵۰ میلیون یورو	تاکید بر خدمات عمومی با کیفیت بالا و درآمدزایی از طریق خدمات ارزش افزوده. توازن قوی بین مأموریت عمومی و کارآفرینی دولتی
سوئد	دولت به عنوان تسهیل‌گر دیجیتال؛ همکاری نزدیک با بخش خصوصی و استارتاپ‌ها	داده‌های پایه کاملاً باز؛ APIهای پیشرفته پولی	پلتفرم‌های داده باز، بازار API، همکاری با استارتاپ‌ها	-داده‌های باز رایگان (پایه) -خدمات ارزش افزوده پولی با تأکید شدید بر نوآوری دیجیتال و پلتفرم‌محوری	~۱۰۰ میلیون یورو	اکوسیستم قوی استارتاپی و توسعه‌دهندگان حول داده‌های دولتی. پیشرو در دیجیتالی‌سازی و ارائه خدمات مبتنی برAPI
هلند	دولت مرکزی با سیاست‌های قوی اشتراک‌گذاری داده و همکاری با استارتاپ‌ها	سیاست باز/قابل دانلود برای بسیاری از داده‌ها؛ API و استانداردسازی قوی در اروپا	پلتفرم‌ها و داده‌های باز، استانداردهای متادیتا و همکاری با بازارها/اپلیکیشن‌ها	-خدمات عمومی رایگان -مدل اشتراک ویژه برای بخش‌های حیاتی اقتصاد با تمرکز بر مدیریت آب و حفاظت از ساحل	~۸۵ میلیون یورو	تمرکز روی استانداردسازی، اینترآپریبیلیتی و مشارکت با اکوسیستم توسعه‌دهندگان. تخصص بی‌نظیر در داده‌های مرتبط با دریا، سطح آب و طوفان‌های ساحلی
نیوزیلند	مؤسسه تحقیقاتی نیمه‌دولتی با درآمد تجاری قابل‌توجه؛ ترکیب خدمات پژوهشی و تجاری	بخشی آزاد، بخشی خدمات تخصصی فروشی (مشاوره، داده‌های پردازش‌شده)	خدمات تحقیقی، محصولات داده‌ای و قراردادهای خدماتی با بخش خصوصی و دولت	مدل دوگانه عمومی-خصوصی منحصربه‌فرد: -شرکت دولتی تجاری (MetService) برای پیش‌بینی عمومی و هوانوردی؛ -موسسه تحقیقاتی (NIWA) برای داده‌های آب‌وهوایی بلندمدت و آب‌شناسی	~۲۵۰ میلیون دلار	نمونه تبدیل ظرفیت علمی به درآمد تجاری (موفقیت مالی قابل‌توجه در گزارش‌ها). تفکیک شفاف و قانونی بین خدمات تجاری کوتاه‌مدت و تحقیقات/داده‌های بلندمدت عمومی

سنگاپور	آژانس ملی با رویکرد فناوری‌محور (هوشمندسازی شبکه‌ها)؛ سرمایه‌گذاری در سنسور و هوشمندسازی	داده مصرف مشتری و مانیتورینگ هوشمند تحت کنترل آژانس؛ برخی داده‌ها از طریق پورتال‌های رسمی در دسترسند	پروژه‌های هوش‌مندی مثل نصب گسترده کنتورهای هوشمند و داشبوردهای کاربری	- API پولی برای کسب‌وکارها -داده‌های رایگان برای شهروندان -شهر هوشمند و خدمات یکپارچه	~۱۲۰ میلیون دلار	مثال عملی از تبدیل داده به‌روزرسانی روزانه/لحظه‌ای به خدمات عملیاتی و پیام‌رسانی به مشتریان ادغام کامل داده‌های آب و هوا در پلتفرم شهر هوشمند
ژاپن	دولت و آژانس‌های تخصصی زیرساختی داده‌های موج، تراز آب و سازه‌ها را منتشر می‌کنند	پورتال‌های تخصصی با داده‌های تاریخی و لحظه‌ای؛ دسترسی غالباً عمومی برای شاخص‌های غیرحساس	پورتال‌های دولتی نظارت لحظه‌ای برای امواج/جزرومد	-فروش داده‌های بلادرنگ و پیش‌بینی شده -خدمات اختصاصی برای صنایع حساس (هوانوردی، حمل‌ونقل) -همکاری‌های بین‌المللی پژوهشی	~۸۰۰ میلیون دلار	تأکید بر داده‌های زیرساختی و در دسترس‌پذیری زمانی برای کاهش مخاطرات. تمرکز بر دقت بالا و قابلیت اطمینان برای صنایع حیاتی
رژیم صهیونیستی	شرکت دولتی با مأموریت صادرات فناوری؛ همکاری نزدیک با بخش خصوصی در پروژه‌های بین‌المللی	دسترسی محدود به داده‌های حساس؛ تمرکز بر خدمات پردازش‌شده و تحلیلی	پلتفرم‌های تخصصی برای مدیریت آب، خدمات مشاوره بین‌المللی	-خدمات ارزش افزوده مشاوره‌ای (بهینه‌سازی مصرف آب) -اشتراک داده‌های پیش‌بینی شده -صادرات فناوری و دانش به کشورهای خشک	~۳۰۰ میلیون دلار	مدل موفق صادرات فناوری و خدمات به بازارهای بین‌المللی به‌ویژه مناطق خشک. تمرکز کامل بر خدمات با ارزش افزوده بالا و صادرات
هند	دولت نقش اصلی در تأمین داده پایه؛ همکاری با صنایع بزرگ برای درآمدزایی	داده‌های پایه عموماً رایگان؛ داده‌های پیشرفته و تحلیلی پولی برای صنایع	پورتال‌های داده عمومی رایگان، خدمات اختصاصی برای صنایع و پروژه‌های دولتی	-مدل دولتی-عمومی با خدمات رایگان گسترده -مدل درآمدی متمرکز بر بخش‌های دولتی و صنایع بزرگ	~۱۴۰ میلیون دلار	توازن بین مأموریت اجتماعی (دسترسی رایگان) و درآمدزایی از پروژه‌های بزرگ صنعتی. ارائه گسترده رایگان برای مقابله با فقر اطلاعاتی، همراه با درآمدزایی هدفمند از پروژه‌های بزرگ
ترکیه	آژانس‌های دولتی متولی داده‌های آب؛ همکاری نزدیک با پیمانکاران پروژه‌های ملی	دسترسی محدود به داده‌های پروژه‌ای؛ داده‌های عمومی در پورتال‌های دولتی	پورتال‌های داده برای پروژه‌های ملی، خدمات مشاوره مهندسی.	مدل دولتی با درآمدزایی از پروژه‌های بزرگ زیرساختی و خدمات به بخش خصوصی	~۷۰ میلیون دلار	پیوند قوی بین داده‌های هیدرولوژیک و پروژه‌های ملی زیرساختی. تمرکز شدید بر پشتیبانی از پروژه‌های کلان ملی (سدها، نیروگاه‌ها، کشاورزی مکانیزه) و فروش خدمات تخصصی
پاکستان	دولت با حمایت سازمان‌های بین‌المللی؛ تمرکز بر امنیت آب و انرژی	دسترسی محدود به داده‌های زنده؛ داده‌های تاریخی اغلب از طریق گزارش‌ها در دسترس	پورتال‌های محدود داده برای مدیریت بحران، گزارش‌های پروژه‌ای	مدل دولتی با وابستگی شدید به کمک‌های بین‌المللی و تمرکز بر مدیریت بحران و داده‌های هیدرولوژیکی	~۱۸میلیون دلار	وابستگی به تأمین مالی خارجی برای توسعه زیرساخت داده‌ای. تمرکز بر پایش سیلاب و ذوب برف‌های هیمالیا برای امنیت آب و انرژی، با تأمین مالی از طریق پروژه‌های کمک بین‌المللی
چین	دولت انحصار داده پایه را در دست دارد؛ تشویق بخش خصوصی برای توسعه خدمات	داده‌های پایه تحت کنترل دولت؛ دسترسی شرکت‌های خصوصی از طریق مجو	پلتفرم‌های داده دولتی، بازار خدمات خصوصی رقابتی	مدل دولتی- سرمایه‌داری با سرمایه‌گذاری عظیم دولتی و انحصار داده، همراه با توسعه فعال بازار خدمات خصوصی حول داده‌های دولتی	~۱۴میلیون دلار	رشد سریع بازار خدمات ارزش افزوده خصوصی حول داده‌های دولتی. ترکیب کنترل متمرکز و انحصاری دولت بر داده‌های پایه با تشویق یک اکوسیستم بزرگ شرکت‌های فناوری خصوصی برای ارائه خدمات ارزش افزود
ایران	دولت نقش اصلی؛ نهادهای دولتی (وزارت نیرو، دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور) داده‌ها را تولید و کنترل می‌کنند؛ همکاری محدود با بخش خصوصی و دانشگاه‌ها	دسترسی محدود و پراکنده؛ بسیاری داده‌ها به صورت عمومی در دسترس نیستند؛ برخی داده‌ها از طریق درخواست رسمی یا پروژه‌های پژوهشی قابل دریافت است	پورتال‌های دولتی محدود، برخی داشبوردهای مدیریتی داخلی؛ API یا بازار داده تجاری تقریباً وجود ندارد	مدل دولتی متمرکز با فروش محدود داده خام	درآمد غیربودجه‌ای ناچیز (کمتر از ۵٪ از هزینه‌ها)	چالش اصلی پراکندگی داده، فقدان استانداردسازی و دسترسی محدود برای توسعه خدمات نوآورانه؛ فرصت برای توسعه بازار داده آب و ایجاد پلتفرم‌های یکپارچه وجود دارد. دولتی و عدم وجود مدل درآمدی پایدار تجاری وابستگی کامل به بودجه



شکل ۲- اصلاح شده مدل زنجیره ارزش پورتر مبتنی بر داده (Berntzen و Krumova، ۲۰۱۷)

مرحله دوم، بومی‌سازی و کمی‌سازی زنجیره ارزش: برای کمی‌سازی، داده‌های هزینه و درآمد شناسایی شده در مرحله قبل، از طریق بررسی اسناد مالی، گزارش‌های رسمی و پایگاه‌های داده نهادهای مربوطه (مانند دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور) جمع‌آوری و راستی‌آزمایی شد. برای متغیرهایی که داده مستقیم در دسترس نبود (مانند قیمت فروش داده)، از روش قیاس برون‌بخشی[۱۲] و برون‌یابی از مدل‌های مشابه (مانند مدل درآمدی سازمان هواشناسی کشور) استفاده شد. کلیه برآوردهای مالی توسط چهار خبره مستقل اعتبارسنجی شدند تا از واقع‌گرایی ارقام اطمینان حاصل شود.

مرحله سوم: تحلیل اقتصادی زنجیره ارزش داده‌های آب کشور، با محاسبه شاخص‌های مالی کلیدی بر اساس داده‌های گردآوری‌شده و با استفاده از فرمول‌های استاندارد مهندسی مالی انجام پذیرفت. محاسبات در یک مدل مالی پویا در نرم‌افزار Excel پیاده‌سازی شد (Brealey و همکاران، ۲۰۲۰). شاخص‌های محاسبه شده و فرمول‌های آن‌ها به شرح زیر است:

- هزینه عملیات و نگهداری (O&M)[۱۳]: مجموع هزینه نیروی انسانی، آزمایشگاه و نرم‌افزار تخصصی (تماب).
- ارزش خالص فعلی (NPV)[۱۴]: ارزش خالص فعلی نشان‌دهنده میزان ارزش افزوده اقتصادی پروژه پس از در نظر گرفتن ارزش زمانی پول است. فرمول محاسبه NPV: (Ct: جریان نقدی در زمان t،C0: سرمایه گذاری اولیه، IRR: نرخ تخفیف، t: دوره زمانی) نرخ بازده داخلی (IRR) از طریق حل رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن ارزش خالص فعلی (NPV) برابر با صفر قرار داده می‌شود:

$$NPV=\sum \left(\frac{Ct}{(1+IRR)^{t}}\right) - C0 \qquad (۱)$$

- نرخ سودآوری سرمایه‌گذاری (IRR)[۱۵]: بر اساس جریان‌های نقدی حاصل از هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های O&M و درآمدهای تعرفه‌ای محاسبه و به‌عنوان شاخص اصلی سنجش سودآوری اقتصادی سرمایه‌گذاری مورد استفاده قرار گرفت. IRR نرخی است که ارزش خالص فعلی تمام وجوه نقدی و دریافتی یک سرمایه‌گذاری را به صفر می‌رساند.
- دوره بازگشت (PP)[۱۶]: شاخصی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها است که مدت‌زمان لازم برای بازگشت سرمایه‌گذاری اولیه از محل جریان‌های نقدی خالص پروژه را نشان می‌دهد. این شاخص بیان می‌کند که سرمایه‌گذار پس از چند سال قادر خواهد بود هزینه اولیه سرمایه‌گذاری را از طریق درآمدهای حاصل از پروژه جبران کند. فرمول محاسبه PP (رابطه ۲):

$$PP = \frac{\text{Initial Investment}}{annual\ cash\ flow} \qquad (۲)$$

*Initial Investment*Initial Investment: سرمایه‌گذاری اولیه (هزینه‌های سرمایه‌ای در سال صفر یا سال پایه) بر حسب ریال.

Annual Cash FlowAnnual Cash Flow: میانگین جریان نقدی خالص سالانه (متوسط تفاضل درآمدها و هزینه‌های عملیاتی در هر سال) بر حسب ریال

- جریان نقدی سالانه[۱۷]: جریان نقدی سالانه به تفاوت میان وجوه نقد ورودی و خروجی یک پروژه یا فعالیت اقتصادی در طول یک سال مشخص گفته می‌شود. فرمول جریان نقدی سالانه (رابطه ۳):

$$\text{Cash Flow} = \text{درآمد} - \text{هزینه عملیاتی} \qquad (۳)$$

- هزینه استهلاک[۱۸]: هزینه استهلاک به کاهش تدریجی ارزش اقتصادی دارایی‌های سرمایه‌ای در طول عمر مفید آن‌ها اطلاق می‌شود که ناشی از فرسودگی فیزیکی، کهنگی فنی و کاهش کارایی اقتصادی دارایی است. فرمول محاسبه هزینه استهلاک (N: عمر مفید پروژه) (رابطه ۴):

$$\text{Dep} = \frac{\text{fixed invested}}{\text{N}} \qquad (۴)$$

- ارزش افزوده[۱۹]: خدمات داده‌ها و اطلاعات آب به‌عنوان تفاوت میان ارزش اقتصادی خدمات نهایی ارائه شده و هزینه نهاده‌های مورد استفاده در تولید و پردازش داده‌ها تعریف و برای تحلیل کارایی اقتصادی زنجیره ارزش داده‌های آب مورد استفاده قرار گرفته است، فرمول محاسبه ارزش افزوده رابطه ۵):

$$Value\ added = \text{هزینه خرید} - \text{هزینه فروش} \qquad (۵)$$

- بازاریابی و فروش داده‌های آب کشور: هزینه فروش داده‌های آب کشور به دلیل عدم اجازه فروش داده‌های آب در کشور، از طریق بررسی هزینه‌های فروش داده‌های هوا در سازمان هواشناسی کشور و تعداد رکورد بازدید از داده‌ها آب در یک سال در دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور محاسبه و تخمین زده شد.

برای ارزیابی آنالیز حساسیت و سناریوسازی اقتصادی، از یک مجموعه تحلیل استفاده شد (Saltelli و همکاران، ۲۰۰۰):

۱- تحلیل نقطه سر به سر[۲۰] برای تعیین حداقل درآمد (R_{min}) حداکثر هزینه عملیاتی و حداکثر سرمایه اولیه قابل تحمل و محاسبه حاشیه ایمنی هر متغیر.

$$Rmin = \frac{FC}{CM} + VC \quad (۶)$$

- RminRmin: حداقل درآمد مورد نیاز برای پوشش هزینه‌ها (درآمد آستانه یا آستانه سربه‌سر) بر حسب ریال در سال
- FC: هزینه‌های ثابت سالانه شامل هزینه‌های نگهداری زیرساخت، حقوق پرسنل ثابت، استهلاک و سایر هزینه‌هایی که مستقل از میزان تولید یا فروش هستند، بر حسب ریال
- CM: نسبت حاشیه سود ناخالص که از تفاضل قیمت فروش و هزینه متغیر واحد تقسیم بر قیمت فروش به دست می‌آید (عددی بین صفر و یک)
- VC: هزینه‌های متغیر سالانه شامل هزینه‌هایی که متناسب با حجم تولید یا فروش تغییر می‌کنند (مانند هزینه‌های جمع‌آوری داده در هر ایستگاه، هزینه‌های پردازش و انتشار داده)، بر حسب ریال

۲- تحلیل حساسیت[۲۱] (SA): جهت سنجش تأثیر تغییرات تک‌متغیره (±۱۰٪ و ±۲۰٪) در درآمد، هزینه عملیاتی، سرمایه اولیه و نرخ تنزیل بر شاخص NPV، ضریب حساسیت بررسی می‌شود.

۳- تحلیل سناریوهای ترکیبی: برای شبیه‌سازی شرایط واقع‌بینانه‌تر، سه سناریوی بدبینانه (کاهش ۱۰٪ درآمد و افزایش ۱۰٪ هزینه)، خوش‌بینانه (افزایش ۱۰٪ درآمد و کاهش ۱۰٪ هزینه) و واقع‌بینانه (نوسانات متعادل ±۵٪) طراحی و نتایج مالی آن‌ها مقایسه شد.

۴- تحلیل کارایی و شکاف اقتصادی: فاصله بین عملکرد فعلی و وضعیت مطلوب (پتانسیل) در ابعاد درآمد، هزینه، سودآوری و بهره‌وری نیروی انسانی کمی‌سازی شد. نسبت هزینه به ارزش (EE[۲۲]) و تحلیل کارایی مرحله‌ای (کارایی سه مرحله اصلی جمع‌آوری داده، تأمین تجهیزات و انتشار داده) به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$EE = \frac{\text{ارزش اقتصادی ایجاد شده}}{\text{کل هزینه}} \quad (۷)$$

۵- در گام نهایی، تحلیل اجتماعی: سنجش تمایل به پرداخت، به‌موازات تحلیل‌های اقتصادی، برای درک رفتار بازار و ترجیحات ذی‌نفعان، یک پیمایش مقطعی انجام شد. جامعه آماری، کاربران بالقوه داده‌های آب در بخش‌های دولتی/حاکمیتی، خصوصی/مشاوره‌ای و پژوهشی/دانشگاهی بودند. با استفاده از پرسشنامه استاندارد شده الکترونیکی (پیوست ۱)، داده‌های مربوط به ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، الگوی استفاده از داده‌ها و تمایل به پرداخت برای سطوح مختلف کیفیت و خدمات گردآوری شد. برای تحلیل داده‌ها از آمار توصیفی، آزمون کای-دو (برای بررسی روابط) و مدل رگرسیون لجستیک دووجهی (برای شناسایی عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت) در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

مطالعه تطبیقی مدل‌های تجاری‌سازی داده و اطلاعات آب و هوا

جدول (۲) وضعیت ۱۷ کشور نمونه در پنج معیار کلیدی پیرامون مدل‌های تجاری‌سازی داده و اطلاعات آب و هوا را نشان می‌دهد. امتیازها در بازه ۱ تا ۵ ارائه شده است. بر این اساس، کشورهایی مانند ایالات متحده، اتحادیه اروپا و سوئد با امتیاز ۲۳ در جایگاه پیشتاز قرار دارند که نشان‌دهنده وجود سیستم‌های یکپارچه، دسترسی باز به داده‌های پایه، پلتفرم‌های پیشرفته و اکوسیستم نوآورانه است؛ کشورهایی مثل استرالیا، آلمان، نیوزیلند و ژاپن در سطح میانه قرار می‌گیرند و اگرچه داده‌های پایه و زیرساخت‌های قوی دارند، اما در حوزه تجاری‌سازی و نوآوری بازار محور عقب‌تر هستند؛ در مقابل، سنگاپور با وجود امتیاز متوسط در دسترسی و تجاری‌سازی، در حوزه نوآوری و استفاده از IoT و فناوری‌های هوشمند سرآمد است؛ در مقابل، کشورهایی مانند ایران (امتیاز ۹) و پاکستان (امتیاز ۸) با چالش‌های عمده‌ای چون مدل حاکمیتی متمرکز، دسترسی محدود به داده، فقدان پلتفرم‌های یکپارچه و نبود مدل درآمدی پایدار مواجه هستند. این تحلیل نشان می‌دهد که موفقیت در تجاری‌سازی داده‌های آب و هواشناسی نیازمند ترکیب مؤثر سیاست‌های داده‌باز، مشارکت فعال بخش خصوصی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال و نوآوری است.

تحلیل اقتصادی زنجیره ارزش داده‌ها و اطلاعات آب

بر اساس بررسی جامع هزینه‌های هر فاز زنجیره ارزش داده‌های آب کشور، ارزش افزوده حاصل از این پروژه در جدول (۳) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، هزینه سرمایه‌گذاری ثابت معادل هزینه ساخت و تجهیز ایستگاه‌ها، ۱۰۸۱۰ میلیارد ریال برآورد شده است. عمر مفید پروژه از مرحله تولید تا انتشار داده‌ها ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. هزینه‌های عملیات و نگهداری (O&M) نیز شامل هزینه‌های نیروی انسانی، آزمایشگاه و خرید نرم‌افزار تخصصی (تماب) بوده که در مجموع ۵۳۹۰ میلیارد ریال محاسبه شده است. درآمد سالانه پروژه با فرض فروش داده‌های آب بر مبنای مدل سازمان هواشناسی کشور و بر اساس تعداد رکوردهای تولید شده (۷ میلیون رکورد در سال) برآورد شده است. با قیمت‌گذاری ۲۵۰۰ ریال به ازای هر رکورد ساعتی و با در نظر گرفتن میانگین ۵۱۷ بار فروش هر رکورد، درآمد سالانه پروژه معادل ۹۰۵۰ میلیارد ریال محاسبه شد. بر این اساس، نرخ بازده داخلی (IRR) سرمایه‌گذاری در داده‌های آب کشور ۳۲٪ به‌دست آمد که نشان‌دهنده توجیه‌پذیری مالی مناسب پروژه است. همچنین، با نرخ تنزیل ۲۴٪، خالص ارزش فعلی (NPV) پروژه ۲۱۵۰ میلیارد ریال محاسبه شد که مثبت بودن آن حاکی از سودآوری و مقبولیت اقتصادی طرح است. دوره بازگشت سرمایه (PP) نیز معادل ۳ سال برآورد شد که بازگشت سریع سرمایه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی مدل‌های تجاری‌سازی داده و اطلاعات آب و هوا

معیار	نوآوری/IoT	قیمت‌گذاری اطلاعات/ تجاری‌سازی	پلتفرم/ API	دسترسی به داده	حاکمیت/ همکاری
کشور	وزن معیار				
ایالات متحده (NOAA)	۴	۵	۵	۴	۵
ایالات متحده (USGS)	۴	۴	۵	۵	۵
استرالیا	۳	۴	۴	۴	۴
نیوزیلند	۳	۴	۳	۳	۴
اتحادیه اروپا	۴	۴	۵	۵	۵
هلند	۴	۴	۴	۴	۵
آلمان	۳	۴	۳	۴	۴
انگلیس	۳	۴	۳	۳	۴
فرانسه	۳	۳	۳	۴	۳
سوئد	۵	۴	۵	۵	۴
سنگاپور	۵	۳	۳	۳	۴
ژاپن	۳	۳	۳	۴	۴
رژیم صهیونیستی	۴	۴	۴	۳	۴
هند	۳	۳	۳	۴	۴
ترکیه	۲	۳	۲	۳	۳
پاکستان	۱	۱	۲	۲	۲
چین	۴	۴	۴	۲	۳
ایران	۱	۰	۲	۳	۳

جدول ۳- تحلیل اقتصادی داده‌های آب کشور (برحسب میلیارد ریال)

سال	سرمایه‌گذاری	هزینه عملیاتی	درآمد	جریان نقدی سالانه
۰	۱۰۸۱۰	۰	۰	۱۰۸۱۰
۱	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۲	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۳	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۴	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۵	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۶	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۷	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۸	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
۹	۰	۵۳۹۰	۹۰۵۰	۳۶۶۰
سودآوری سرمایه‌گذاری (IRR)				۳۲٪
ارزش فعلی سالانه ثابت (AF)				۳٫۵۶
ارزش فعلی (PV)				۱۲۹۴۳
خالص ارزش افزوده (NPV)				۲۱۳۳
نرخ تنزیل				۰/۲۴
دوره بازگشت (PP)				۳ ساله
هزینه استهلاک				۱۰۸۱
ارزش افزوده (Added value)				۴۲۷۰

جریان نقدی سالانه پروژه ۳۶۳۰ میلیارد ریال و هزینه استهلاک سالانه ۱۰۸۱ میلیارد ریال محاسبه شد. در نهایت، ارزش افزوده کل حاصل از این سرمایه‌گذاری ۴۲۷۰ میلیارد ریال به‌دست آمد که نشان‌دهنده ایجاد ارزش اقتصادی قابل توجه در چارچوب زنجیره تأمین داده‌های آب کشور است.

تحلیل حساسیت

بر اساس نتایج تحلیل نقطه سر به سر (جدول ۴)، درآمد حداقل قابل قبول پروژه ۸۴۲۴ میلیارد ریال است که تنها ۶/۹۴٪ کمتر از درآمد پیش‌بینی شده (۹۰۵۰ میلیارد ریال) می‌باشد. این حاشیه ایمنی پایین نشان می‌دهد که پروژه نسبت به کوچک‌ترین نوسانات منفی درآمد (حتی به میزان ۶۲۸ میلیارد ریال یا کمتر از ۷٪) بسیار آسیب‌پذیر است و می‌تواند به سرعت به مرز سربه‌سری و زیان‌دهی سقوط کند. ازاین‌رو، با وجود مطلوبیت شاخص‌های مالی اولیه، موفقیت پروژه کاملاً وابسته به تحقق دقیق درآمدهای پیش‌بینی شده است. از طرفی، حداکثر هزینه عملیاتی قابل تحمل ۶۰۱۸ میلیارد ریال محاسبه شد که حاشیه ایمنی ۱۱%/۷ را نسبت به هزینه پیش‌بینی شده (۵۳۹۰ میلیارد ریال) نشان می‌دهد. این رقم بیانگر مقاومت نسبی بیشتر پروژه در برابر افزایش هزینه‌ها در مقایسه با کاهش درآمد است، اما کنترل دقیق هزینه‌های عملیاتی همچنان ضروری می‌باشد. همچنین، حداکثر سرمایه اولیه قابل قبول ۱۲۹۴۳ میلیارد ریال برآورد شد که نشان‌دهنده حاشیه ایمنی ۲۰٪ نسبت به سرمایه پیش‌بینی شده (۱۰۸۱۰ میلیارد ریال) است. این امر حاکی از توانایی نسبی پروژه برای تحمل افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای پیش‌بینی‌نشده می‌باشد. حداکثر نرخ تنزیل قابل قبول نیز ۳۰/۲۲٪ تعیین شد که با نرخ تنزیل پایه ۲۴٪، حاشیه ایمنی ۶/۲۲٪ دارد. این رقم نشان می‌دهد پروژه در برابر افزایش نرخ هزینه سرمایه آسیب‌پذیر است.

جدول ٤- مقادیر نقطه سر به سر و درصد حاشیه ایمنی برای متغیرهای کلیدی

شاخص		مقدار (میلیارد ریال)	تفسیر
درآمد پیش بینی شده		۹۰۵۰	هدف پروژه
درآمد	نقطه سر به سر درآمد	۸۴۲۴	حداقل قابل قبول
	حاشیه ایمنی	۶۲۸	۶/۹۴٪
هزینه	نقطه سر به سر هزینه	۶۰۱۸	حداقل قابل قبول
	حاشیه ایمنی	۶۲۸	۱۱/۷٪
سرمایه اولیه	نقطه سر به سر سرمایه اولیه	۱۲۹۴۳	حداقل قابل قبول
	حاشیه ایمنی	۲۱۳۳	۲۰٪
نرخ تنزیل	حاشیه ایمنی	۲۴٪	۶/۲۲٪
	حاشیه ایمنی	۳۱/۲٪	۷/۲٪

یافته‌های جدول (۵) به‌وضوح نشان می‌دهد که سودآوری پروژه بیش از همه متأثر از نوسانات درآمد است. کاهش ۲۰ درصدی درآمد، NPV پروژه را از ۲۱۳۳ میلیارد ریال به ۴۳۲۱- میلیارد ریال کاهش می‌دهد که بیانگر حساسیت بسیار بالای طرح نسبت به این متغیر است. هزینه‌های عملیاتی نیز با حساسیت بالا بر NPV تأثیرگذارند، به‌طوری‌که افزایش ۲۰ درصدی آن‌ها NPV را به ۱۷۱۱- میلیارد ریال می‌رساند. در مقابل، متغیرهای سرمایه اولیه و نرخ تنزیل با حساسیت متوسط ارزیابی شدند. به‌عنوان‌مثال، افزایش ۲۰ درصدی سرمایه اولیه، NPV را به ۲۹- میلیارد ریال نزدیک می‌کند. به منظور تسهیل درک بصری و تفسیر سریع نتایج تحلیل حساسیت، جدول فوق با استفاده از یک **طیف** رنگی سه‌گانه (سبز، زرد و قرمز) کدگذاری شده است. این کدگذاری بر اساس شدت تأثیرپذیری شاخص ارزش خالص فعلی (NPV) از تغییرات هر پارامتر طراحی شده است: رنگ سبز (تأثیرپذیری متوسط): سلول‌هایی که با رنگ سبز مشخص شده‌اند، نشان‌دهنده پارامترهایی هستند که تغییرات آنها تأثیر متوسط بر NPV دارد. در این موارد، پروژه در مواجهه با نوسانات این پارامترها از انعطاف‌پذیری نسبی برخوردار است. این وضعیت در پارامترهای «سرمایه اولیه» و «نرخ تنزیل» مشاهده می‌شود. رنگ زرد (تأثیرپذیری بالا): سلول‌های زرد رنگ بیانگر پارامترهایی با تأثیرپذیری بالا هستند. تغییرات در این پارامترها (مانند «هزینه عملیاتی») می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی NPVپروژه را افزایش یا کاهش دهد و نیازمند مدیریت دقیق‌تر و پایش مستمر است. رنگ قرمز (تأثیرپذیری بسیار بالا): سلول‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده بحرانی‌ترین و حساسترین پارامترها هستند. در این پژوهش، پارامتر «درآمد» با رنگ قرمز مشخص شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود، کاهش ۲۰ درصدی درآمد منجر به کاهش شدید NPVبه مقدار منفی ۴,۳۲۱- میلیون ریال می‌شود که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بسیار بالای پروژه در برابر کاهش درآمد است. این وضعیت هشداری جدی برای سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران محسوب می‌شود.

جدول ۵-تحلیل حساسیت NPV نسبت به نوسانات متغیرهای کلیدی

پارامتر	تغییر	تغییر مطلق	NPV جدید	حساسیت
درآمد	-۲۰٪	-۶۴۵۴	-۴۳۲۱	بسیار بالا
	-۱۰٪	-۳۲۲۷	-۱۰۹۴	
	پایه	-	۲۱۳۳	
	+۱۰٪	۳۲۲۷	۵۳۶۰	
	+۲۰٪	۶۴۵۴	۸۵۸۷	
هزینه عملیاتی	-۲۰٪	-۳۸۴۴	-۱۷۱۱	بالا
	-۱۰٪	-۱۹۲۲	-۲۱۱	
	پایه	-	۲۱۳۳	
	+۱۰٪	۱۹۲۲	۴۰۵۵	
	+۲۰٪	۳۸۴۴	۵۹۷۷	
سرمایه اولیه	+۲۰٪	-۲۱۶۲	۴۲۹۵	متوسط
	-۱۰٪	-۱۰۸۱	۳۲۱۴	
	پایه	-	۲۱۳۳	
	+۱۰٪	۱۰۸۱	-۱۰۵۲	
	+۲۰٪	۲۱۶۲	-۲۹	
نرخ تنزیل	۲۰٪	۳۹۴۴	۱۸۱۱	متوسط
	پایه (۲۴٪)	-	۲۱۳۳	
	۲۸٪	-۱۰۸۳	۱۰۵۰	
	۳۲٪	-۲۱۳۳	۰	

تحلیل ریسک و عدم قطعیت

براساس جدول (۶) درآمد با ضریب حساسیت ۱۷/۶، حساسترین متغیر است؛ به‌طوری که هر ۱٪ کاهش درآمد، منجر به ۱۵/۱۳٪ کاهش در NPV می‌شود. این امر نشان می‌دهدکه تنها با کاهش ۶/۹٪ درآمد، کل پروژه به نقطه سر به سر می‌رسد. هزینه‌های عملیاتی با ضریب ۹/۰۱ در رتبه دوم و سرمایه اولیه با ضریب ۵/۰۷ در رتبه سوم حساسیت قرار دارند. این تحلیل مجدداً ریسک درآمدی را به‌عنوان بحرانی‌ترین ریسک پروژه معرفی کرده و لزوم تمرکز فوری بر استراتژی‌های تضمین درآمد و کنترل هزینه را نشان می‌دهد.

جدول ٦- محاسبه ضرایب حساسیت متغیرهای کلیدی

تغییر	متغیر	مقدار پایه	متغیر Δ	ΔNPV	ضریب حساسیت (S)
۲۰٪	درآمد	۹۰۵۰	۱۰۸۱۰	۶۴۵۴	۱۵/۱۳
±1%			۹۰۵	۳۲۲٫۷	۱۵٫۱۲
۲۰٪	هزینه	۵۳۹۰	۱۰۷۸	۳۸۴۴	۹
±1%			۵۳۹	۱۹۲٫۲	۹٫۰۱
۲۰٪	سرمایه	۱۰۸۱۰	۲۱۶۲	۲۱۶۲	۵٫۱
±1%			۱۰۸۱		۵٫۰۷

تحلیل سناریوهای ترکیبی

برای درک تأثیر هم‌زمان نوسانات درآمد و هزینه، سه سناریوی ترکیبی بدبینانه، خوشبینانه و واقع‌بینانه طراحی و تحلیل شد. نتایج تحلیل‌های حساسیت و سناریوسازی آشکار می‌سازد که اگرچه پروژه تحت شرایط پایه و سناریوهای میانی از توجیه اقتصادی برخوردار است، اما ریسک درآمدی نقطه آسیب‌پذیر اصلی آن محسوب می‌شود. موفقیت پایدار پروژه مستلزم اولویت‌دهی به مدیریت این ریسک از طریق مکانیزم‌های تضمین درآمد، تنوع‌بخشی منابع درآمدی و آمادگی برای سناریوهای نامطلوب می‌باشد (جدول ۷).

الف) سناریوی بدبینانه ترکیبی (کاهش ۱۰٪ درآمد و افزایش ۱۰٪ هزینه): در این سناریو که می‌تواند ناشی از عوامل بیرونی مانند کاهش تقاضای بازار، ورود رقبا و تورم، یا عوامل درونی مانند کاهش کیفیت داده‌ها و خرابی سیستم باشد، ارزش اقتصادی پروژه به‌شدت تحلیل می‌رود. جریان نقدی سالانه به ۲۲۱۶ میلیارد ریال سقوط کرده و NPV به حدود ۱۲۵۰- میلیارد ریال می‌رسد که بیانگر زیان عمیق و از دست رفتن کامل توجیه‌پذیری اقتصادی است. دوره بازگشت سرمایه به نزدیک ۵ سال افزایش و IRR به زیر ۲۰٪ کاهش می‌یابد. با احتمال وقوع ۲۰-۱۰٪، این سناریو یک تهدید حیاتی محسوب

شده و ضرورت تدوین برنامه‌های پیشگیرانه (مانند تضمین درآمد و کنترل هزینه)، واکنشی (مانند تنوع‌بخشی درآمد و بازسازی مالی) و حتی برنامه خروج کنترل شده را ایجاب می‌کند.

ب) سناریوی خوشبینانه ترکیبی (افزایش ۱۰٪ درآمد و کاهش ۱۰٪ هزینه): این سناریو که ممکن است در نتیجه رشد تقاضا، قیمت‌گذاری بهینه، ورود به بازارهای جدید و افزایش بهره‌وری محقق شود، چشم‌انداز بسیار مطلوبی را ترسیم می‌کند. جریان نقدی سالانه به ۵۱۰۴ میلیارد ریال صعود کرده و NPV به ۷۳۸۹ میلیارد ریال (بهبود ۲۴۷٪ نسبت به حالت پایه) می‌رسد. IRR در محدوده ۵۰-۵۵٪ قرار گرفته و دوره بازگشت سرمایه به تنها ۲ سال کاهش می‌یابد. این سناریو با احتمال وقوع ۱۰-۲۰٪، پتانسیل نهفته پروژه برای تبدیل به یک سرمایه‌گذاری نمونه و لزوم پیگیری استراتژی‌های رشد فعال را نشان می‌دهد.

ج) سناریوی واقع‌بینانه (نوسانات متعادل ±۵٪ در درآمد و هزینه): در این سناریو که نزدیک‌ترین حالت به شرایط عملیاتی عادی است، با در نظر گرفتن ترکیب‌های مختلف نوسانات، محدوده NPV بین ۵۰۰ تا ۳۸۰۰ میلیارد ریال متغیر است (جدول ۵). احتمال کلی مثبت بودن NPV حدود ۸۵٪ برآورد می‌شود که حکایت از شانس بالای سودآوری پروژه در صورت مدیریت متعارف دارد. با این وجود، وجود ۱۵٪ احتمال زیان‌دهی (عمدتاً در حالت‌های بدترین و ضعیف) نشان‌دهنده آن است که ریسک غیرقابل اغماضی همچنان پابرجاست و موفقیت پروژه قطعی نیست. این سناریو یک تعادل نسبتاً مطلوب بین ریسک و بازده را نشان داده و پروژه را برای سرمایه‌گذاران با تحمل ریسک متوسط به بالا جذاب می‌سازد، اما بر ضرورت نظارت مستمر و مدیریت فعال ریسک تأکید دارد.

جدول ۷- شاخص‌های مالی در سناریوی ترکیبی واقع‌بینانه (برحسب میلیارد ریال)

ترکیب	درآمد	هزینه	جریان	NPV	احتمال
بدترین	-۵٪	+۵٪	۲۹۳۸	-۵۰۰	۶٪
ضعیف	-۵٪	۰٪	۳۲۰۸	۱۳۰۰	۱۲٪
متوسط	۰٪	۰٪	۳۶۶۰	۲۱۳۳	۴۴٪
خوب	+۵٪	۰٪	۴۱۱۱	۲۹۶۶	۲۰٪
بهترین	+۵٪	-۵٪	۴۳۸۲	۳۸۰۰	۶٪

تحلیل نسبت هزینه به ارزش (هزینه-فایده)

برای ارزیابی جامع کارایی اقتصادی پروژه، پنج شاخص کلیدی محاسبه و در جدول (۸) ارائه شده‌اند. مجموعه این شاخص‌ها حاکی از آن است که پروژه از نظر اقتصادی کارا، سودآور و دارای بازدهی مطلوب سرمایه است. بااین‌حال، مقدار نسبتاً پایین‌تر شاخص بهره‌وری عملیاتی (OPR) نشان می‌دهد که مدیریت هزینه‌های عملیاتی نقطه قابل بهبود در زنجیره ارزش محسوب می‌شود.

جدول۸ – تحلیل نسبت هزینه به ارزش

شاخص	مقدار	وضعیت
نسبت درآمد به هزینه(RCR)	۱/۳۹۸	بازده مثبت% ۳۹/۸
نسبت ارزش افزوده به هزینه(VCR)	۰/۶۶۰	بازگشت کل هزینه
بهره‌وری سرمایه(CPR)	۳/۹۵۰	بهره‌وری عالی سرمایه
بهره‌وری عملیاتی(OPR)	۰/۷۹۲	نیازمند بهبود
ضریب اهرمی(LR)	۸/۳۷۲	اهرم مالی قوی پروژه
دوره بازگشت ارزش	۲/۵۳ سال	بازگشت سریع

تحلیل کارایی مرحله‌ای در زنجیره ارزش

کارایی سه مرحله اصلی زنجیره ارزش در جدول (۹) مورد مقایسه قرار گرفته است. کارایی به صورت نسبت ارزش ایجادشده به هزینه هر مرحله تعریف و محاسبه شده است. مرحله انتشار داده‌ها با نسبت کارایی چشمگیر ۱:۱۵۰۸، به‌وضوح کارآمدترین حلقه زنجیره است. با سرمایه‌گذاری ناچیز، بالاترین ارزش را ایجاد می‌کند که نشان‌دهنده اثر اهرمی بسیار بالا و بلوغ مدل تجاری در این مرحله است.

مرحله تأمین تجهیزات با وجود سرمایه‌گذاری سنگین، با نسبت کارایی ۱:۳/۹۵ بازدهی خوبی دارد و در رتبه دوم قرار می‌گیرد. مرحله جمع‌آوری داده که بیشترین سهم هزینه (عمدتاً عملیاتی) را به خود اختصاص داده، با نسبت کارایی ۱:۱/۶۸، کم‌کارآمدترین مرحله شناسایی شده است. این نتیجه نشان می‌دهد اگرچه این مرحله ارزش بالایی خلق می‌کند، اما هزینه‌های عملیاتی آن بهینه نیست و نیازمند بازنگری اساسی در فرآیندها، فناوری‌ها یا مدل اجرایی برای افزایش بهره‌وری است.

جدول ۹ -کارایی مرحله‌ای زنجیره ارزش

مرحله	هزینه (میلیارد ریال)	ارزش ایجاد شده	کارایی	رتبه
جمع آوری داده	۵۳۹۰۰	۹۰۵۰۰	۱:۱/۶۸	۳
تامین تجهیزات	۱۰۸۱۰	۴۲۷۰۰	۱:۳/۹۵	۲
انتشار داده	۶۰	۹۰۵۰۰	۱:۱/۵۰۸	۱

تحلیل شکاف‌های اقتصادی (فاصله عملکرد تا پتانسیل)

تحلیل شکاف به شناسایی فاصله بین عملکرد فعلی و وضعیت مطلوب (پتانسیل بهینه) در ابعاد مختلف می‌پردازد. نتایج این تحلیل در جدول (۱۰) خلاصه شده است. شکاف سودآوری (۴۸٪/۴)، بزرگ‌ترین شکاف از نظر درصدی است و نشان می‌دهد سود فعلی تنها حدود نیمی از پتانسیل واقعی پروژه را محقق کرده است. پر کردن این شکاف مستلزم تمرکز هم‌زمان بر افزایش درآمد و کاهش هزینه‌ها است. شکاف درآمدی (۳۲٪/۶)، نشان‌دهنده ظرفیت قابل‌توجه برای افزایش ۲۹,۵۰۰ میلیارد ریالی درآمد از طریق راهبردهایی مانند توسعه بازار، قیمت‌گذاری بهینه، یا ارائه خدمات ارزش‌افزوده جدید است. شکاف هزینه‌ای (۲۰٪): عمدتاً در مرحله پرهزینه و کم‌کارآمد جمع‌آوری داده متمرکز است. بهینه‌سازی فرآیندها و فناوری در این مرحله می‌تواند تا ۱۰,۷۸۰ میلیارد ریال در هزینه‌ها صرفه‌جویی ایجاد کند. شکاف کارایی نیروی انسانی (۳۷/۵٪)، نشان می‌دهد بهره‌وری نیروی کار می‌تواند با بهبود فرآیندها، آموزش و استفاده از فناوری از سطح فعلی (۱:۱/۲۵) به سطح مطلوب (۱:۲) ارتقا یابد.

جدول ۱۰ -تحلیل شکاف اقتصادی زنجیره ارزش داده‌های آب کشور (میلیارد ریال)

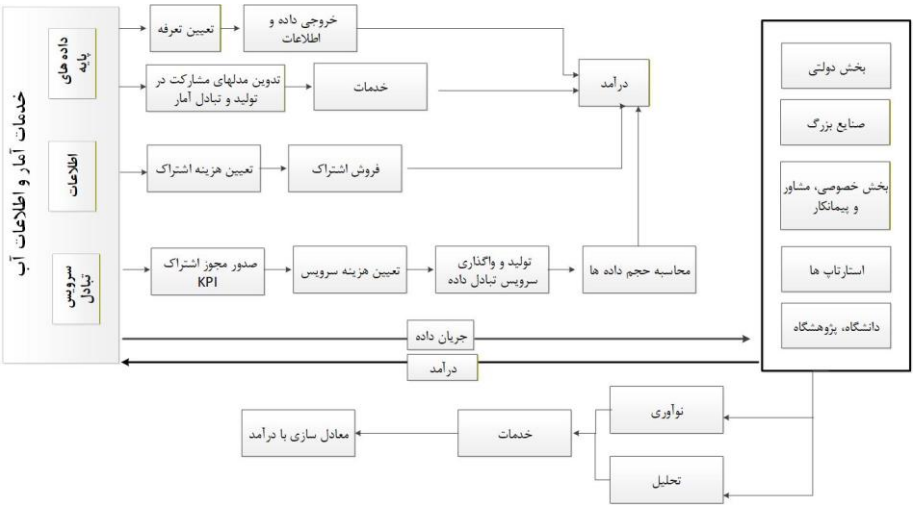
شکاف	مرحله مربوط	وضعیت موجود	وضعیت مطلوب	شکاف	درصد شکاف
شکاف درآمدی	کل زنجیره	۹۰۵۰۰	۱۲۰۰۰۰	۲۹۵۰۰	۳۲/۶
شکاف هزینه‌ای	جمع‌آوری داده	۵۳۹۰۰	۴۳۱۲۰	۱۰۷۸۰	۲۰
شکاف سودآوری	کل پروژه	۲۵۷۹۰	۵۰۰۰۰	۲۴۲۱۰	۴۸/۴
شکاف کارایی	نیروی انسانی	نسبت ۱:۱/۲۵	نسبت ۱:۲۰۰	۰/۷۵	۳۷/۵

مدل منتخب و تحلیل تطبیقی مدل‌های درآمدی تجاری‌سازی

با اتکا بر مطالعات تطبیقی بین‌المللی در حوزه خدمات داده‌محور آب و هواشناسی، تحلیل زنجیره ارزش داده‌های آب، و همچنین برگزاری جلسات طوفان فکری با خبرگان این حوزه، چارچوب یکپارچه‌ای برای تجاری‌سازی داده‌های آب کشور طراحی شد (شکل ۳). این مدل نشان می‌دهد که داده‌های آماری و اطلاعاتی آب، در صورت پردازش و بسته‌بندی مناسب و با طراحی یک جریان ارزش کارآمد، می‌توانند به منبعی پایدار برای درآمدزایی و بستری برای نوآوری‌های فناورانه تبدیل شوند.

مدل پیشنهادی با تفکیک مراحل اصلی چرخه حیات داده‌های تجاری‌شده، از تولید و جمع‌آوری، پردازش و تحلیل، قیمت‌گذاری، طراحی خدمات، صدور مجوز تا اشتراک‌گذاری و مصرف نهایی، امکان مدیریت بهینه دارایی داده و جلب مشارکت هدفمند ذی‌نفعان متنوع (حاکمیتی، خصوصی، پژوهشی) را فراهم می‌سازد. یک وجه تمایز کلیدی این مدل، تأکید صریح بر لایه سیاست‌گذاری و حکمرانی است که بر فرآیندها سایه افکنده و تعیین‌کننده چارچوب‌های تعرفه‌گذاری، مدل‌های مشارکت و مجوزهای اشتراک داده می‌باشد. این امر نشان‌دهنده آن است که تجاری‌سازی موفق و پایدار داده‌های ملی آب، مستلزم همکاری و تعامل مؤثر نهادهای حاکمیتی، سرمایه و نوآوری بخش خصوصی، و توان پژوهشی مراکز علمی است. جریان درآمدی پایدار حاصل از فروش خدمات و اشتراک داده‌ها نیز به نوبه خود می‌تواند محرکی برای توسعه پایدار، شکوفایی نوآوری و توانمندسازی اکوسیستم استارت‌آپ‌های داده‌محور در کشور باشد.

برای تعیین مناسب‌ترین راهبردهای درآمدزایی در چارچوب مدل فوق، پنج مدل درآمدی متداول با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP) و با در نظر گرفتن نتایج تحلیل حساسیت کمی پروژه (که آسیب‌پذیری شدید به نوسانات درآمد را نشان داد) و ملاحظات کیفی بازار ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج تحلیل حساسیت که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری شدید پروژه در برابر نوسانات درآمدی (به‌طوری که کاهش ۷٪ درآمد، طرح را به مرز سربه‌سری می‌رساند) بود، معیار ریسک درآمدی با بیشترین وزن (۳۰٪) به‌عنوان کلیدی‌ترین عامل در ارزیابی مدل‌های درآمدی تعیین شد. هم‌زمان، دو معیار قابلیت گسترش و تناسب با بازار ایران هرکدام با وزن برابر ۲۵٪، بر مبنای مطالعات تطبیقی بین‌المللی و نیاز استراتژیک به توسعه پایدار بازار داخلی و فرصت‌های صادراتی، در اولویت بعدی قرار گرفتند. در مقابل، معیار نیاز به زیرساخت اضافی با کمترین وزن (۲۰٪) در نظر گرفته شد، زیرا سرمایه‌گذاری سنگین اولیه در زیرساخت اصلی (ایستگاه‌ها و سیستم‌های جمع‌آوری) انجام شده و اولویت راهبردی کنونی، تمرکز بر بهره‌وری و خلق ارزش از دارایی‌های موجود است و نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی نهایی در جدول (۱۱) ارائه شده است.



شکل۳- مدل تجاری سازی خدمات آمار و اطلاعات آب کشور

جدول۱۱- تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های درآمدی

مدل درآمدی	ریسک درآمدی (وزن: ۳۰%)	قابلیت گسترش (وزن: ۲۵%)	نیاز به زیرساخت (وزن: ۲۰%)	تناسب با ایران (وزن: ۲۵%)	امتیاز کل	رتبه
فروش رکورد	۲	۳	۴/۵	۴/۲	۳/۲۶	۵
اشتراک	۴/۲	۴/۵	۳	۳/۵	۳/۸۹	۲
پرداخت به ازای استفاده	۳	۴/۸	۲	۲/۵	۳/۱۵	۴
فروش گزارش تحلیلی	۴/۵	۳/۵	۲/۵	۴	۳/۶۸	۳
خدمات ارزش افزوده	۴/۳	۴/۷	۲/۲	۴/۵	۴/۰۱	۱

در تحلیل مقایسه‌ای مدل‌های درآمدی، مدل خدمات ارزش‌افزوده با امتیاز ۴/۰۱ به‌عنوان گزینه برتر انتخاب شد که نقاط قوت آن ریسک درآمدی پایین و تناسب بالا با بازار ایران است و چالش زیرساختی آن با قابلیت گسترش عالی توجیه می‌شود. مدل اشتراک با امتیاز ۳/۸۹ در رتبه دوم، به‌عنوان گزینه‌ای متعادل با درآمد دوره‌ای قابل پیش‌بینی قرار گرفت. مدل فروش گزارش تحلیلی با امتیاز ۳/۶۸ و کم‌ریسک‌ترین وضعیت، در رتبه سوم جای دارد، هرچند قابلیت گسترش محدودتری نشان می‌دهد. در مقابل، مدل فروش رکورد خام داده باوجود سازگاری با نهادهای دولتی، به دلیل ریسک درآمدی بسیار بالا و آسیب‌پذیری شدید در رتبه آخر (امتیاز ۳/۲۶) قرار گرفته و به‌عنوان راهبرد اصلی غیرقابل اتکا ارزیابی می‌شود. مدل پرداخت به ازای استفاده نیز با امتیاز ۳/۱۵، با وجود قابلیت گسترش بالا، به دلیل تناسب کم با زیرساخت داخلی و نیاز فنی پیچیده در جایگاه چهارم واقع شده است.

نتایج تحلیل بخش اجتماعی زنجیره داده‌ها و اطلاعات آب کشور

نتایج ارائه شده در جدول (۱۲) جامعه نمونه پژوهش که حاصل از ۲۲ پرسشنامه معتبر از نظر سطح تحصیلات و نوع فعالیت سازمانی، از ترکیبی تخصصی و مرتبط با حوزه مدیریت و تحلیل منابع آب تشکیل شده است را نشان می‌دهد. باتوجه‌به جدول (۱۳) از منظر تمایل به پرداخت، حدود ۶۵ تا ۷۰ درصد از پاسخ‌دهندگان آمادگی خود را برای پرداخت هزینه به‌منظور دسترسی به خدمات آمار و اطلاعات آب اعلام کرده‌اند که این تمایل به‌طور معناداری با عواملی نظیر کیفیت، دقت و به‌روز بودن داده‌ها مرتبط است. همچنین بیش از نیمی از افراد اعلام کرده‌اند در صورت تضمین صحت و اعتبار داده‌ها، حاضر به پرداخت مبلغ بیشتری خواهند بود. در مقابل، حدود ۳۰ درصد از پاسخ‌دهندگان عدم تمایل خود به پرداخت را عمدتاً به محدودیت‌های بودجه‌ای سازمانی یا ماهیت عمومی داده‌های آب نسبت داده‌اند. این یافته حاکی از وجود ارزش اقتصادی ادراک‌شده برای داده‌های آب و امکان‌پذیری گذار از مدل عرضه صرفاً دولتی به مدل‌های داده‌محور مبتنی بر تقاضا است. افزون بر این، نقش معنادار کیفیت، دقت و اعتبار داده‌ها در افزایش تمایل به پرداخت، ضرورت طراحی سازوکارهای تضمین کیفیت و اعتبارسنجی داده‌ها را به‌عنوان پیش‌نیاز اقتصادی‌سازی خدمات اطلاعات آب برجسته می‌سازد.

جدول۱۲ – مشخصات عمومی پاسخ‌دهندگان پرسشنامه

متغیر	طبقه	تعداد (نفر)	درصد (%)
جنسیت	مرد	۱۷	۷۷
	زن	۵	۲۳
گروه سنی	کمتر از ۳۰ سال	۲	۹
	۳۰-۳۹ سال	۷	۳۲
	۴۰-۴۹ سال	۹	۴۱
	۵۰ سال و بالاتر	۴	۱۸
سطح تحصیلات	کارشناسی	۴	۱۸
	کارشناسی ارشد	۱۰	۴۶
	دکتری	۸	۳۶
نوع فعالیت سازمانی	دولتی / حاکمیتی	۱۱	۵۰
	خصوصی / مشاوره‌ای	۶	۲۷
	پژوهشی / دانشگاهی	۵	۲۳

جدول ۱۳ – نتایج تحلیل تمایل به پرداخت برای دسترسی به خدمات آمار و اطلاعات آب

شاخص	گزینه پاسخ	تعداد (نفر)	درصد (%)
تمایل کلی به پرداخت	دارای تمایل به پرداخت	۱۵	۶۸
	فاقد تمایل به پرداخت	۷	۳۲
تمایل به پرداخت بیشتر در صورت تضمین صحت داده	بله	۱۲	۵۵
	خیر	۱۰	۴۵
مهم‌ترین عامل مؤثر بر تمایل به پرداخت	دقت و اعتبار داده‌ها	۹	۴۱
	به‌روز بودن اطلاعات	۶	۲۷
	سهولت دسترسی	۴	۱۸
	پشتیبانی و خدمات جانبی	۳	۱۴
دلایل عدم تمایل به پرداخت	محدودیت بودجه	۳	۴۳
	عمومی بودن داده‌ها	۲	۲۹
	نبود سازوکار شفاف	۲	۲۸

آزمون رابطه بین سطح تحصیلات و تمایل به پرداخت

نتایج آزمون کای‌دو د جدول (۱۴) نشـــان داد که رابطه بین سـطح تحصـیلات و تمایل به پرداخت در سـطح اطمینان ۹۵ درصـــد معنادار اســـت ($p < 0.05$). به‌عبارت‌دیگر، با افزایش سطح تحصیلات، احتمال تمایل به پرداخت برای دسترسی به داده‌ها و اطلاعات آب افزایش می‌یابد. این یافته بیانگر آن اسـت که افراد با تحصـیلات بالاتر، ارزش اقتصـادی داده‌های آب و اطلاعات و نقش آن‌ها در تصـمیم‌سـازی‌های حرفه‌ای را بیشتر درک می‌کنند.

آزمون رابطه بین نوع سازمان و تمایل به پرداخت

نتایج آزمون در جدول (۱۵) نشان داد که رابطه بین نوع سازمان و تمایل به پرداخت در سطح اطمینان ۹۰ درصد معنادار است (p<۰/۱۰). به‌گونه‌ای که کاربران فعال در بخش خصـــوصـــی بیشـــترین تمایل به پرداخت را نشـــان داده‌اند، درحالی‌که در بخش دولتی ســـهم عدم تمایل به پرداخت بالاتر اســـت. این تفاوت را می‌توان به ساختار بودجه‌ای، مأموریت‌های حاکمیتی و تلقی داده‌ها به‌عنوان کالای عمومی در ســـازمان‌های دولتی نسبت داد.

جدول ۱۴ – رابطه بین سطح تحصیلات و تمایل به پرداخت

سطح تحصیلات	تمایل به پرداخت (نفر)	عدم تمایل (نفر)	جمع
کارشناسی	۱	۳	۴
کارشناسی ارشد	۷	۳	۱۰
دکتری	۷	۱	۸
جمع	۱۵	۷	۲۲

جدول ۱۵- رابطه بین نوع سازمان و تمایل به پرداخت

نوع سازمان	تمایل به پرداخت (نفر)	عدم تمایل (نفر)	جمع
دولتی/ حاکمیتی	۶	۵	۱۱
خصوصی/ مشاوره‌ای	۶	۰	۶
پژوهشی/ دانشگاهی	۳	۲	۵
جمع	۱۵	۷	۲۲

استخراج تمایل به پرداخت نهایی

نتایج جدول (۱۶) نشان می‌دهد افزایش دقت و اعتبار داده‌های آب بالاترین تمایل به پرداخت نهایی را در میان کاربران ایجاد می‌کند. این به آن معنا است که کاربران حاضر هستند سهم بیشتری از هزینه پرداختی خود را به ویژگی‌های مرتبط با صحت، مستندسازی و قابلیت اتکای داده‌ها اختصاص دهند. در مقابل، ویژگی‌هایی نظیر سهولت دسترسی و خدمات پشتیبانی اگرچه از نظر کاربران مهم تلقی می‌شوند، اما نقش آن‌ها بیشتر به‌عنوان عوامل مکمل در ارزش‌گذاری اقتصادی داده‌ها ظاهر می‌شود. این الگوی تمایل به پرداخت نهایی حاکی از آن است که ارزش اقتصادی داده‌های آب بیش از آنکه ناشی از «دسترسی» باشد، ریشه در کیفیت و اعتبار اطلاعات دارد؛ موضوعی که در طراحی سامانه‌های داده‌محور و مدل‌های قیمت‌گذاری باید در اولویت قرار گیرد.

جدول ۱۶ – تمایل به پرداخت نهایی برای خدمات داده‌ها و اطلاعات آب

ویژگی خدمات داده	ضریب (β)	تمایل به پرداخت نهایی	تفسیر اقتصادی
افزایش دقت و اعتبار داده‌ها	۱/۴۵	۱	بیشترین ارزش اقتصادی
به‌روز بودن اطلاعات	۰/۹۸	۰/۶۸	ارزش بالا
سهولت و سرعت دسترسی	۰/۷۴	۰/۵۱	ارزش متوسط
خدمات پشتیبانی و تحلیلی	۰/۵۲	۰/۳۶	ارزش تکمیلی

مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی تمایل به پرداخت

نتایج مدل رگرسیون لجستیک در جدول (۱۷) نشان می‌دهد سطح تحصیلات، نوع سازمان، میزان استفاده حرفه‌ای از داده‌ها و اهمیت ادراک‌شده کیفیت داده‌ها اثر مثبت و معناداری بر احتمال تمایل به پرداخت دارند. به‌طور مشخص، ضریب مثبت متغیر تحصیلات بیانگر آن است که با افزایش سطح تحصیلات، احتمال تمایل به پرداخت افزایش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که شانس تمایل به پرداخت در سطوح تحصیلی بالاتر حدود 2/4 برابر افزایش می‌یابد. همچنین، متغیر نوع سازمان نشان می‌دهد که کاربران بخش خصوصی و پژوهشی در مقایسه با بخش دولتی، بیش از سه برابر احتمال تمایل به پرداخت دارند. این نتیجه منعکس‌کننده تفاوت‌های نهادی، ساختار بودجه‌ای و انگیزه‌های اقتصادی میان بخش‌های مختلف است. در این میان، متغیر اهمیت کیفیت داده‌ها بیشترین اثر را بر تمایل به پرداخت دارد، به‌طوری‌که افزایش یک واحد در ادراک کیفیت داده، شانس تمایل به پرداخت را بیش از چهار برابر افزایش می‌دهد.

جدول ۱۷ – برآورد مدل رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی تمایل به پرداخت

متغیر	ضریب (β)	آماره	سطح معناداری	نسبت شانس
عرض از مبدا	-۲/۳۱	۳/۸۴	۰/۰۵۰	-
سطح تحصیلات	۰/۸۷	۴/۹۶	۰/۰۲۶	۲/۳۹
نوع سازمان	۱/۱۲	۵/۲۱	۰/۰۲۲	۳/۰۶
میزان استفاده از داده‌ها	۰/۷۴	۴/۱۱	۰/۰۴۳	۲/۱۰
اهمیت کیفیت داده	۱/۴۵	۶/۷۸	۰/۰۰۹	۴/۲۶

شاخص‌های برازش مدل رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که مدل برآوردشده از قدرت تبیین مناسبی برخوردار است. مقدار آماره ۲- Log Likelihood برابر با ۱۸/۶ به‌دست آمد که بیانگر کاهش قابل‌قبول خطای برازش مدل نسبت به مدل بدون متغیرهای توضیحی است و نشان می‌دهد متغیرهای مستقل واردشده توانسته‌اند بخش معناداری از تغییرات تمایل به پرداخت را توضیح دهند. همچنین، درصد پیش‌بینی صحیح مدل برابر با ۷۷ درصد است که حاکی از دقت مناسب مدل در طبقه‌بندی پاسخ‌دهندگان به دو گروه دارای تمایل و فاقد تمایل به پرداخت می‌باشد. این میزان دقت، باتوجه‌به حجم نمونه و ماهیت رفتاری متغیر وابسته، قابل قبول ارزیابی می‌شود. نتایج آزمون هاسمر- لمشو نشان داد که اختلاف معناداری بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده مدل وجود ندارد ($p > ۰/۰۵$)، که این امر بیانگر برازش مناسب مدل و کفایت مشخصات تابعی آن است. در مجموع، شاخص‌های برازش حاکی از اعتبار آماری مدل لجستیک و قابلیت اتکای نتایج آن برای تفسیر اقتصادی و سیاست‌گذاری داده‌های آب می‌باشد.

جمع‌بندی و پیشنهادات

پژوهش حاضر با رویکردی ترکیبی (کیفی-کمی) و با به‌کارگیری مدل‌های تحلیل اقتصادی پیشرفته، به ارزیابی زنجیره ارزش داده‌های کلان آب در ایران و طراحی یک مدل درآمدی بومی می‌پردازد. یافته‌های کمی تحقیق حاکی از آن است که سرمایه‌گذاری در تکمیل و تجاری‌سازی این زنجیره توجیه‌پذیری مالی بالایی دارد. برآوردها نشان می‌دهد با سرمایه‌گذاری اولیه‌ای بالغ بر ۱۰،۸۱۰ میلیارد ریال و هزینه سالانه عملیات و نگهداری ۵،۳۹۰ میلیارد ریال، درآمد سالانه بالقوه‌ای معادل ۹،۰۵۰ میلیارد ریال قابل تحقق است که شاخص‌های مالی نرخ بازده داخلی (IRR) ٪۳۲، ارزش خالص فعلی (NPV) مثبت ۲،۱۳۳ میلیارد ریال و دوره بازگشت سرمایه ۳ سال را به همراه دارد. این ارقام، جذابیت اولیه پروژه را برای سرمایه‌گذاران بخش عمومی و خصوصی به وضوح نشان می‌دهد.

بااین‌وجود، تحلیل‌های عمیق‌تر حساسیت و ریسک، تصویر پیچیده‌تری را آشکار می‌سازد. تحلیل نقطه سربه‌سر نشان می‌دهد که پروژه نسبت به کاهش اندک درآمد (حدود ۶/۹۴٪ یا ۶۲۸ میلیارد ریال) بسیار آسیب‌پذیر است و به سرعت می‌تواند به مرز عدم توجیه اقتصادی سقوط کند. ضریب حساسیت بالا (۱۵/۱۳) برای متغیر درآمد نسبت به NPV، این ریسک را تأیید می‌کند. همچنین، تحلیل کارایی مرحله‌ای زنجیره ارزش مشخص می‌سازد که مرحله جمع‌آوری داده با نسبت کارایی ۱:۱/۶۸، کم‌بازده‌ترین حلقه است، درحالی‌که مرحله انتشار و خدمات‌رسانی داده با کارایی چشمگیر ۱:۱۵۰۸، بیشترین پتانسیل ارزش‌آفرینی را دارد.

تحلیل اجتماعی تمایل به پرداخت (WTP) نیز نشان داد که حدود ۶۸٪ از کاربران هدف (شامل بخش‌های دولتی، خصوصی، پژوهشی و دانشگاهی) برای دسترسی به داده‌های با کیفیت آب تمایل به پرداخت دارند. عواملی مانند دقت و اعتبار داده‌ها، به‌روز بودن و میزان استفاده حرفه‌ای به طور معناداری بر این تمایل تأثیرگذار بوده‌اند. نتایج مدل رگرسیون لجستیک نیز تأیید کرد که سطح تحصیلات، نوع سازمان و اهمیت ادراک شده کیفیت داده، پیش‌بینی‌کننده‌های قوی تمایل به پرداخت هستند.

در مقایسه تطبیقی بین‌المللی، باوجود سابقه طولانی پایش و زیرساخت نسبتاً گسترده در ایران، فقدان یک اکوسیستم نظام‌مند اقتصادی حول داده‌های آب مشهود است. تمرکز سنتی بر تولید و ذخیره‌سازی داده، بدون توسعه بازار، مکانیسم‌های قیمت‌گذاری شفاف و عرضه خدمات ارزش‌افزوده، موجب شده تا وابستگی تقریباً کامل به تأمین مالی دولتی ادامه یابد و فرصت‌های عظیم خلق ثروت، اشتغال‌زایی و نوآوری فناورانه محقق نشود. ارزیابی مدل‌های درآمدی با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP) نشان داد که مدل "خدمات ارزش‌افزوده" (امتیاز ۴/۰۱) و سپس مدل "اشتراک سازمانی" (امتیاز ۳/۸۹) به‌عنوان راهبردهای بهینه درآمدزایی در قالب مشارکت عمومی-خصوصی قابل اجرا هستند.

برای تبدیل چالش‌های فوق به فرصت و حرکت به سمت یک اقتصاد داده‌محور تاب‌آور در حوزه آب، مجموعه‌ای از اقدامات راهبردی و سیاستی به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. تدوین چارچوب حکمرانی و حقوقی داده‌های آب: تدوین و ابلاغ "سند ملی حکمرانی داده‌های آب" با همکاری وزارت نیرو، سازمان هواشناسی کشور، سازمان محیط‌زیست و مرکز ملی فضای مجازی. این سند باید مبانی مالکیت، حاکمیت، دسترسی، اشتراک‌گذاری و بهره‌برداری از داده‌های آب را باتوجه‌به ملاحظات امنیت ملی، حریم خصوصی و حقوق ذی‌نفعان، به صورت شفاف تبیین کند و تعریف دقیق سطوح دسترسی به داده‌ها (داده‌های پایه رایگان، داده‌های پردازش‌شده، خدمات ارزش‌افزوده) و تعیین نهادهای مسئول تایید و اعتبارسنجی داده‌ها.

۲. ایجاد نهاد تنظیم‌گر و توسعه بازار: ایجاد "نهاد تنظیم‌گر تخصصی بازار داده‌های آب" به‌صورت مستقل یا زیرمجموعه‌ای تخصصی در وزارت نیرو. وظایف این نهاد شامل تعیین ضوابط قیمت‌گذاری، صدور مجوزها، نظارت بر کیفیت داده و خدمات، تضمین رقابت‌پذیری بازار و رسیدگی به اختلافات خواهد بود. و راه‌اندازی "بازارگاه داده‌های آب[۲۳]" به‌عنوان پلتفرمی شفاف برای عرضه و تقاضای داده‌ها و خدمات مرتبط.

۳. اجرای تدریجی سیاست داده‌های باز و توسعه خدمات ارزش‌افزوده: آزادسازی تدریجی داده‌های پایه و تاریخی آب با رعایت سطوح دسترسی تعریف‌شده، به صورت رایگان یا با کمترین هزینه، جهت استفاده جامعه پژوهشی و بخش خصوصی برای خلق خدمات نوآورانه. تمرکز بر توسعه خدمات ارزش‌افزوده سفارشی برای بخش‌های کلان اقتصادی مانند کشاورزی دقیق، مدیریت بهینه مصرف آب در صنعت، پیش‌بینی و مدیریت سیل، بهینه‌سازی تولید برق آبی و مدیریت کیفیت آب شرب. و طراحی مدل درآمدی دوستاره (ترکیبی از درآمد پایدار از اشتراک‌های سازمانی، برای نهادهای تحقیقاتی و شرکت‌های خدمات‌رسان، و درآمد متغیر از فروش خدمات ارزش‌افزوده تخصصی، برای بخش خصوصی و صنایع).

۴. نوسازی زیرساخت و فناوری: بازمهندسی فرآیندهای مرحله جمع‌آوری داده با سرمایه‌گذاری در اتوماسیون، سنجش از دور، حسگرهای پیشرفته و فناوری اینترنت اشیاء به منظور کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش دقت، فراوانی و بلادرنگ بودن داده‌ها. و ارتقای "پلتفرم ملی داده‌های آب" با محوریت سامانه تماب و تکمیل طرح رصدخانه ملی آب به سمتی که امکان ارائه APIهای استاندارد و امن، ابزارهای تحلیل خودخدمت[۲۴] و داشبوردهای مدیریتی پیشرفته را فراهم آورد.

۵. تأمین مالی پایدار و تشویق مشارکت خصوصی: ایجاد "صندوق توسعه داده‌های آب" با ترکیبی از منابع دولتی، درآمدهای حاصل از تجاری‌سازی و مشارکت بخش خصوصی.

مأموریت این صـــندوق، بازســـرمایه‌گذاری در به‌روزرســـانی زیرســاخت‌های پایش، حمایت از پروژه‌های تحقیق و توسـعه و ارائه تســهیلات به اســتارت‌آپ‌های فعال در حوزه فناوری‌های آب خواهد بود. همچنین، طراحی و اجرای مشـوق‌های مالیاتی و عوارضـی برای شـرکت‌های خصـوصـی که در توسـعه خدمات ارزش‌افزوده مبتنی بر داده‌های آب ســـرمایه‌گذاری می‌کنند. و توسـعه مدل‌های مشـارکت عمومی-خصـوصـی برای پروژه‌های بزرگ ارتقای زیرساخت داده‌ای و ارائه خدمات.

۶. تقویت ســـرمایه انســـانی و همکاری‌های بین‌المللی: تدوین برنامه‌های آموزشـی و توانمندسـازی برای نیروی انسـانی متولی داده‌هـای آب در بخش دولتی و خصـــوصـــی، بـا تمرکز بر مهـارت‌هـای تحلیـل داده، هوش مصـــنوعی و مـدل‌ســـازی اقتصـادی. همچنین، تقویت همکاری‌های بین‌المللی فناورانه و علمی از طریق ایجاد کرسـی‌های تحقیقاتی مشـترک، عضـویت در کنسـرسـیوم‌های جهانی داده‌های آب و جذب و بومی‌سـازی فناوری‌های پردازش و تحلیل پیشرفته.

۷. پیاده‌ســازی گام به گام و پایش مســتمر: تعریف یک برنامه اجرایی مرحله‌ای با اهداف کمی و زمان‌بندی مشـــخص برای پیاده‌ســـازی مدل درآمدی منتخب. و ایجاد ســـامانه پایش و ارزیابی (M&E) برای ردیابی شـــاخص‌های کلیدی عملکرد (KPI) مالی، فنی و اجتماعی پروژه و انجام بازنگری دوره‌ای در استراتژی‌ها.

سپاسگزاری

مؤلفان بر خود لازم می‌دانند از دفتر اطلاعات و داده‌های آب کشور، شرکت مدیریت منابع آب ایران، و همچنین از دکتر فیروز قاسم‌زاده، دکتر حسن مردانی، دکتر پرویز محمدزاده و دکتر حمید کاردان‌مقدم، صمیمانه قدردانی کنند. همچنین از تمامی پاسخ‌دهندگان محترم پرسشنامه، شامل کاربران بالقوه داده‌های آب در بخش‌های دولتی/حاکمیتی کشور، شرکت‌های خصوصی و مشاوره‌ای و دانشگاه‌های مطرح کشور که با مشارکت ارزشمند خود در پیشبرد این پژوهش سهیم بودند، کمال تشکر و امتنان را داریم.

منابع

قطبی‌زاده، مهســا، ضــرغامی، مهدی، عبداللهی نســب، علی، تقی‌پور زارعی، آرش، و نظری، مهدی. (۱۴۰۴). تدوین راهبردهای توســعه زیرســاخت ملی داده‌های آب و هوا برای ارتقا حکمرانی آب ایران. مجله مطالعات راهبردی ســیاســتگذاری عمومی. ۱۵(۵۴)، ۹۴- ۱۱۷. doi:10.22034/sspp.2024.2026850.3613

موسسه تحقیقات آب (۱۳۹۹). گزارش تدوین نقشه راه مطالعات پایه منابع آب کشور. تهران، ایران.

Andersson, L., & Nilsson, P. (2022). The Platform Strategy of National Meteorological Institutes: How SMHI is Fostering an Innovation Ecosystem Through Open APIs. Journal of Digital Innovation for Public Services, 8(2), 45–67. https://doi.org/10.1016/j.jdips.2022.04.003.

Anshul, A., Mitesh, S., Srinivasan, G., Buizer, J., Finan, T., Singh, K. K., & Kumar, S. (2022). Integrating climate information into decision making for building resilience: A case study on farming communities in Bihar, India. *Climate Services*, *28*, 100328.

Australian Government Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2021). BOM's tailored services for the mining and resources sector. https://www.industry.gov.au.

Bernard, E., & Moreau, S. (2022). The economic impact of specialized weather services on French agriculture and tourism. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 61(5), 567–580. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0152.1.

Berntzen, L., & Krumova, M. (2017). Big data from a business perspective. In Proceedings of the 10th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. Coimbra, Portugal.

Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2020). Principles of corporate finance (13th ed.). McGraw-Hill Education. New York, USA.

Cohen, A., & Levi, Y. (2022). From utility to tech company: The transformation of Mekorot and its data-driven business model. Water Policy, 24(4), 675–692. https://doi.org/10.2166/wp.2022.321.

China Meteorological Administration (CMA). (2023). Annual Report. Available at: https://www.cma.gov.cn/zfxxgk/gknr/qxbg/202303/t20230324_5396394.html.

Creswell, J.W. & Plano Clark, V.L. (2018). Designing and Conducting Mixed Methods Research. 3rd ed. SAGE Publications, Thousand Oaks, CA, USA.

Demir, I., & Aksoy, H. (2021). Economic valuation of hydrological data for large-scale infrastructure projects: The case of DSI in Turkey. Water Resources Management, 35(10), 3285–3302. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02893-5.

Deutscher Wetterdienst. (2021). Terms of use and pricing for weather data and products. https://www.dwd.de. Abgerufen am 2026/09/27.

European Commission. (2014). Towards a thriving data-driven economy, Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social Committee and the committee of the regions, Brussels. COM (2014) 442 final. Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0442.

Ghotbizadeh, M., Zarghami, M., & Mohammadzadeh, P. (2026). Data-Driven Water Governance: A Strategic Model to Develop Roadmap for National Water and Climate Data Infrastructure .Water Resources Management ,40(7), 308. DOI: 10.1007/s11269-026-04539-w

Government Offices of Sweden. (2022). Assignment to SMHI regarding the development of climate adaptation services. https://www.government.se

Harrison, R. G., & Williams, P. D. (2021). The public-private partnership model in meteorological services: Case study of the UK Met Office. Weather, Climate, and Society, 13(4), 899-915. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-21-0023.1.

Harrington, L., & Reid, J. (2022). The bifurcated model of meteorological services in New Zealand: Lessons for public-private delineation. Asia Pacific Journal of Public Administration, 44(3), 244–261. https://doi.org/10.1080/23276665.2022.2084567.

Liu, R., Huang, Y., Zhu, X., Ren, F., & Wang, Y. (2026). Does the improvement of government governance capacity (GGC) mitigate public-private partnership risks (PPP risks)? Evidence from China. Engineering, Construction and Architectural Management, 33(10), 8489-8511.

Japan Meteorological Agency (JMA). (2023). Annual Report on the Activities of the RSMC Tokyo - Typhoon Center 2022. Ministry of Land, Infrastructure. Transport and Tourism. Tokyo, Japan. Available at: https://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/AnnualReport/2022/Text/Text2022.pdf

Leviäkangas, P. & Hautala, R. (2009). Benefits and Value of Meteorological Information Services–the Case of the Finnish Meteorological Institute. Meteorological Applications, 16(3), 369-379. doi:10.1002/met.135.

Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications. Springer International Publishing. 1st ed. Cham, Switzerland.

Mekorot - National Water Company. (2023). Annual Financial Report 2022. Mekorot - National Water Company. Tel Aviv, Israel. Available at: https://www.mekorot.co.il/Eng/About/FinancialReports/Pages/default.aspx

Met Office. (2023). Annual report and accounts 2022-23. Met Office, Exeter, UK. Available at: https://www.gov.uk/government/publications/met-office-annual-report-and-accounts-2022-to-2023 (Accessed: 6 September 2026).

Météo-France. (2023). Rapport d'activité 2022. Météo-France, Saint-Mandé, France. Available at: https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/RA2022_MeteoFrance.pdf (Accessed: 6 September 2026).

Meteorological Service Singapore (MSS). (2023). Annual Report 2022. National Environment Agency. Singapore Changi Airport, Singapore. Available at: https://www.weather.gov.sg/annual-report-2022 (Accessed: 6 September 2026).

National Oceanic and Atmospheric Administratio. (NOAA). (2023). NOAA FY 2024 budget in brief. U.S. Department of Commerce. https://www.noaa.gov/sites/default/files/2023-03/NOAA_FY2024_Budget_in_Brief.pdf. Washington, D.C, USA.

Pakistan Meteorological Department (PMD). (2023). State of Pakistan Climate in 2022 (Annual Report 2021-22). Ministry of Defence, Islamabad, Pakistan. Available at: https://www.pmd.gov.pk/cdpc/Pakistan_Climate_2022.pdf (Accessed: 6 September 2026).

Patel, S., & Desai, M. (2021). Monetizing public weather data in a developing economy: Challenges and strategies at IMD. Journal of Environmental Economics and Policy, 10(3), 332–348. https://doi.org/10.1080/21606544.2020.1856987

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York, USA.

Saltelli, A., Chan, K., & Scott, E. M. (Eds.). (2000). Sensitivity Analysis. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons. Chichester, UK; New York, USA.

Turkish State Meteorological Service (MGM). (2023). Annual Activity Report 2022. Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. Ankara, Türkiye. https://www.mgm.gov.tr/eng/annual-reports.aspx.

World Economic Forum. (2022). A Data Governance Framework for Industrial Transformation. C4IR Platform Papers. World Economic Forum, Cologny, Switzerland. Available at: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Data_Governance_Framework_for_Industrial_Transformation_2022.Pdf

پی‌نوشت‌ها

1- The Bureau of Meteorology
2- Royal Netherlands Meteorological Institute
3- Royal Netherlands Meteorological Institute
4- Swedish Meteorological and Hydrological Institute
5- Mekorot - National Water Company
6- Meteorological Service Singapore
7- Japan Meteorological Agency
8- China Meteorological Administration
9- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China

10- Turkish State Meteorological Service
11- Analytic Hierarchy Process
12- Extrapolation
13- Operation and Maintenance Costs
14- Net Present Value
15- Internal Rate of Return
16- Payback Period
17- Cash Flow
18- Depreciation Cost
19- Value Added
20- Break-even Analysis
21- Sensitivity Analysis
22- Economic Efficiency
23- Water Data Marketplace
24- Self-Service Analytics

پیوست

پرسشنامه سنجش تمایل به پرداخت برای دسترسی به اطلاعات آب و هواشناسی و خدمات مرتبط

فرهیخته/متخصص گرامی

باسلام واحترام،

ارزیابی‌ها و مطالعات نشان داده است که فایده به هزینه تولید داده‌های حوزه آب به‌طور متوسط ٤ می‌باشد. از سوی دیگر، تأمین هزینه‌های توسعه زیرساخت نرم افزاری و سخت‌افزاری حوزه داده در دنیا با چالش‌های جدی مواجه است. ازاین‌رو مدل‌های مختلفی برای فروش داده، طرح‌های مشارکتی تولید داده و طرح‌های سرمایه‌گذاری برای پوشش هزینه‌ها در سطح دنیا توسعه داده شده است. موضوعی که در کشورمان ایران مغفول واقع شده است. در همین راستا، پرسشنامه حاضر در چارچوب یک پژوهش دکتری با هدف «تکمیل زنجیره ارزش داده و اطلاعات آب کشور» تهیه شده است. هدف این بخش، شناخت نیازها و نظرات متخصصان محترم در مورد ارزش داده و اطلاعات آب و خدمات مبتنی بر آن است. از شما درخواست می‌شود با دقت در این نظرسنجی مشارکت نمایید. اطلاعات شما محرمانه خواهد ماند و صرفاً برای اهداف علمی این پژوهش مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

بخش اول: اطلاعات عمومی و ویژگی‌های کسب‌وکار

۱. **جنسیت:** ☐ مرد ☐ زن

۲. **سن:**

☐ کمتر از ۳۰ ☐ ۳۰-۳۹ ☐ ٤٠-٤٩ ☐ ۵۰ و بالاتر

۳. **سطح تحصیلات:**

- ○ کارشناسی
- ○ کارشناسی ارشد
- ○ دکتری

٤. **حوزه فعالیت اصلی شما کدام است؟ (لطفاً تنها یک گزینه انتخاب نمایید)**

- ○ کشاورزی یا باغداری
- ○ صنعت
- ○ شرکت خدمات مهندسی، مشاوره یا پیمانکاری
- ○ استارتاپ یا شرکت فعال
- ○ دانشگاه یا مرکز پژوهشی
- ○ سازمان یا نهاد دولتی
- ○ شرکت فعال در حوزه بازار آب
- ○ سایر (لطفاً مشخص کنید): .....

۵. **سابقه فعالیت در حوزه فعالیت اصلی شما:**

- ○ کمتر از ۵ سال
- ○ ۵ تا ۱۰ سال
- ○ ۱۱ تا ۱۵ سال
- ○ بیش از ۱۵ سال

٦. **تعداد پرسنل سازمان/کسب‌وکار شما:**

- ○ کمتر از ۱۰ نفر
- ○ ۱۰ تا ۵۰ نفر
- ○ ۵۱ تا ۲۰۰ نفر
- ○ بیش از ۲۰۰ نفر

۷. **درآمد سالانه سازمان/کسب‌وکار شما در چه محدوده‌ای قرار دارد؟ (در صورت عدم تمایل به پاسخ، می‌توانید از این سوال گذر کنید)**

- ○ کمتر از ۱۰ میلیارد تومان
- ○ ۱۰ تا ۵۰ میلیارد تومان
- ○ ۵۰ تا ۲۰۰ میلیارد تومان
- ○ بیش از ۲۰۰ میلیارد تومان

بخش دوم: ارزیابی وابستگی به داده و اطلاعات آب

۱. **آیا در حال حاضر از داده و اطلاعات آب (مانند داده‌های بارش، دبی رودخانه، سطح آب چاه‌ها، کیفیت آب و...) در فعالیت‌های خود استفاده می‌کنید؟**

- ○ بله
- ○ خیر

۲. **منبع اصلی دریافت این داده و اطلاعات چیست؟ (چند گزینه قابل انتخاب است)**

- ○ سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران
- ○ سایت سازمان هواشناسی کشور
- ○ داده‌های داخلی و اندازه‌گیری شخصی
- ○ خرید از شرکت‌های خصوصی
- ○ مقالات و گزارش‌های علمی
- ○ دریافت از مبادی غیررسمی نظیر دوست و آشنا و همکلاسی و همکار و غیره.
- ○ استفاده از سایت های بین المللی
- ○ سایر

۳. **از ۱ (کمترین) تا ۵ (بیشترین)، میزان وابستگی تصمیمات کاری/تحقیقاتی شما به داده و اطلاعات قابل اطمینان آب را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ (لطفاً یک عدد انتخاب کنید)**

1 --- 2 --- 3 --- 4 --- 5

٤. **تعداد دفعات دریافت داده‌های آب توسط شما چند بار در سال می‌باشد؟**

- ○ یکبار
- ○ تا ۱۰ بار
- ○ تا ۱۰۰ بار
- ○ بیش از ۱۰۰ بار

۵. **حجم سالانه داده‌های مرتبط با آب که توسط سازمان شما دریافت می‌شود، در کدام بازه قرار دارد؟**

- ○ کمتر از 10^9 بایت (>1GB)
- ○ بین 10^9 تا 10^{12} بایت (GB–TB)
- ○ بین 10^{12} تا 10^{15} بایت (TB–PB)
- ○ بیش از 10^{15} بایت (>PB)

٦. **آیا در ۵ سال گذشته، فعالیت شما به دلیل عدم دسترسی به داده و اطلاعات دقیق یا به‌موقع و اطلاعات آب (مانند خشکسالی، سیل، کاهش کیفیت آب) در معرض خسارت بوده است؟ یا متحمل خسارت شده است؟**

- ○ بله
- ○ خیر

اگر متحمل خسارت شدید، میزان آن چقدر بوده است؟ میزان خسارت ناشی از عدم دریافت یک اطلاعات خاص؟ گزینه‌ها برحسب میزان خسارت بیان گردد.

۷. **میزان رضایت شما از وضع موجود کیفیت داده و اطلاعات حوزه آب:**

- ○ کاملاً ناراضی
- ○ ناراضی
- ○ نسبتاً راضی
- ○ راضی
- ○ کاملاً راضی

۸. **مهمترین چالش‌های شما در دسترسی به داده و اطلاعات آب چیست؟ (چند گزینه قابل انتخاب است)**
- ○ پراکندگی داده‌ها
- ○ عدم به‌روزرسانی منظم
- ○ عدم دسترسی به داده‌های بلادرنگ
- ○ کیفیت پایین داده‌ها
- ○ فرمت نامناسب داده‌ها
- ○ هزینه بالای دسترسی
- ○ سایر (بنویسید):.....

بخش سوم: سناریو و سنجش تمایل به پرداخت

لطفا سناریوی زیر را با دقت مطالعه فرمایید:

"فرض کنید یک سامانه یکپارچه، مطمئن و تحت وب (پورتال) برای داده و اطلاعات آب در کشور راه‌اندازی شده است. این پلتفرم، دسترسی آسان و سریع به داده و اطلاعات زیر را برای شما فراهم می‌کند:

- **داده‌های بلادرنگ و تاریخی:** سطح آب چاه‌ها، دبی رودخانه‌ها، بارش، دما و کیفیت آب.
- **ابزارهای پیشرفته تحلیل:** پیش‌بینی خشکسالی و سیل برای ۷ روز آینده، نمودارهای روند تغییرات، هشدارهای سفارشی پیامکی.
- **دسترسی فنی:** امکان اتصال نرم‌افزارهای شما به این پلتفرم از طریق API.
- **پشتیبانی فنی و تضمین صحت داده. این خدمات به صورت دائمی و با پشتیبانی قابل اطمینان ارائه می‌شود."**

۱۶. **با فرض ارائه خدمات فوق، شما/سازمان شما در محدوده نیاز اطلاعاتی اتان، حداکثر مبلغی که حاضر هستید پرداخت کنید، چقدر است؟**
- ○ کمتر از ۰٫۰۰۰۱ درآمد/بودجه سالانه
- ○ تا ۰٫۰۰۵ درصد درآمد/بودجه سالانه
- ○ ۰٫۰۰۵ تا ۰٫۰۰۱ درصد درآمد/بودجه سالانه
- ○ بیشتر از ۰٫۰۰۱ درصد درآمد/بودجه سالانه
- ○ سایر (در صورت تمایل، درصد موردنظر خودتان را وارد کنید.)

۱۷. **اگر تمایلی به پرداخت هزینه ندارید، دلیل عدم تمایل چیست؟**
- ○ هزینه بالا
- ○ بودجه محدود
- ○ داده و اطلاعات برای من ضروری نیست
- ○ سازمان پرداخت نمی‌کند
- ○ دسترسی رایگان غیررسمی به داده ها دارم
- ○ سایر: .....

۱۸. **کدام یک از خدمات زیر از نظر شما دارای بیشترین ارزش است؟ (لطفاً اولویت‌بندی کنید: ٤- بیشترین ارزش، ۱-کمترین ارزش)**
- ○ داده‌های بلادرنگ (آنی) آب و هواشناسی اولویت: .....
- ○ پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت (مثلاً ۷ روزه) خشکسالی و سیل اولویت: .....
- ○ داده‌های تاریخی بلندمدت و کامل برای تحلیل‌های آماری اولویت: .....
- ○ امکان اتصال و استخراج خودکار داده (API) برای استفاده در نرم‌افزارهای دیگر اولویت: .....

۱۹. **تمایل شما برای پرداخت به ازای خدمات اضافی: (چند گزینه قابل انتخاب است)**
- ○ تمایل به پرداخت برای پشتیبانی فنی تلفنی □ دارم □ ندارم
- ○ تمایل به پرداخت برای گزارش‌های تحلیلی سفارشی □دارم □ندارم
- ○ تمایل به پرداخت برای آموزش استفاده از پلتفرم □ دارم □ ندارم
- ○ تمایل به پرداخت برای دسترسی به داده‌های با وضوح بالاتر □دارم □ندارم

۲۰. **آیا حاضرید برای تضمین صحت داده‌ها مبلغ بیشتری پرداخت کنید؟**
- ○ بله، حداکثر _____ درصد بیشتر
- ○ خیر

۲۱. **ترجیح شما برای مدل پرداخت چیست؟**
- ○ اشتراک ماهانه
- ○ اشتراک سالانه (با تخفیف)
- ○ اشتراک به ازای میزان استفاده
- ○ اشتراک مادام‌العمر
- ○ پرداخت کمتر در درخواست اول و پرداخت بیشتر در درخواست‌های بعدی

۲۲. **مهمترین عاملی که شما را برای پرداخت متقاعد می‌کند چیست؟**
- ○ دقت و صحت داده‌ها
- ○ سرعت دسترسی
- ○ پشتیبانی فنی
- ○ قیمت رقابتی
- ○ سهولت استفاده

۲۳. **چه تضمین‌هایی برای پرداخت لازم دارید؟**
- ○ تضمین صحت داده‌ها
- ○ تضمین دسترسی دائمی
- ○ تضمین امنیت داده‌ها
- ○ تضمین پشتیبانی
- ○ تضمین به‌روزرسانی

۲٤. **در صورت عدم پرداخت، چه جایگزین‌هایی دارید؟**

.....

۲۵. **به نظر شما، قیمت گذاری و فروش داده و اطلاعات باعث بهبود کیفیت داده‌ها می‌گردد؟**
- ○ بله
- ○ خیر
- ○ پیشنهاد مورد نظر شما چیست؟

۲٦. **چه پیشنهادی برای بهبود خدمات دارید؟**

.....

۲۷. **در صورت عدم نیاز به داده‌ها و اطلاعات آب، کسب و کار شما چگونه دوام پیدا خواهد کرد؟ گزینه جایگزینی را می‌توانید معرفی کنید؟**

.....

۲۸. **آیا مایلید در صورت راه‌اندازی این پلتفرم، به شما اطلاع‌رسانی شود؟**
- ○ بله (لطفاً ایمیل خود را وارد کنید)
- ○ خیر
- ○ لطفاً ایمیل خود را وارد کنید:

با سپاس فراوان از وقتی که در اختیار ما گذاشتید. مشارکت شما نقش کلیدی در شکل‌گیری سیاست‌های آینده مدیریت داده‌های آب کشور خواهد داشت.

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Lssue 2 (Serial No. 40). pages 45 to 60

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۴۵ تا ۶۰

Document Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Application of Modeling and Calibration in Optimization of Industrial Water Distribution Networks: A Case Study of the Kavir Tire Factory

A. Nasirian[1*], Z. Zeraatkar[2], S. A. Mousavi[3], A. Foadaldini[4], M. Mardani[5]

1, 2, 3 and 5- Assistant Professor; Ph.D. Graduate in Water Science and Engineering, M.Sc. Student in Water Engineering, and Ph.D. Student in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran. 4- Ph.D. in Mechanical Engineering, Energy Conversion, Energy Advisor, Kavir Tire Company, Birjand, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** a.nasirian@birjand.ac.ir

Received ▶ 31-01-2026
Revised ▶ 05-05-2026
Accepted ▶ 06-05-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

One of the vital components of industrial facilities is the water distribution networks, which supplies billions of cubic meters of water annually to industrial plants for various purposes, including HVAC systems, process cooling, drinking water, and sanitation. Due to gradual expansions of production lines and changes in equipment specifications, these systems often deviate from their optimal hydraulic performance, leading to increased water and energy losses. The present study focuses on the hydraulic modeling and optimization of the industrial water distribution network at Kavir Tire Factory using a hydraulic approach. This network is designed to supply water for equipment and process cooling; however, it faces challenges, including inadequate pressure distribution across certain sections of the production line. The network was modeled using WaterGEMS software and calibrated using a combination of tools and methods, including Darwin Calibrator, direct measurement-based approaches, and volumetric balancing. The results revealed that pipes with high hydraulic losses and excessive pressure represent the main weaknesses of the network. Proposed solutions, such as the installation of pressure-reducing valves, reduced energy consumption by up to 12%. Furthermore, pressure conditions were optimized at 85% of the network nodes. Field surveys and sensitivity analyses were conducted to complete the water distribution network maps and improve model accuracy. This study provides practical solutions for enhancing the performance of industrial water distribution networks and recommends the development of an electronic database and the implementation of continuous monitoring.

Keywords: Industrial Water Distribution Network, Hydraulic Modeling, Pressure-Reducing Valve, Hydraulic Loss, Energy Consumption.

کاربرد مدل‌سازی و واسنجی در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب صنعتی: مطالعه موردی کارخانه کویرتایر

علی نصیریان[1*]، زهرا زراعتکار[2]، سید علی موسوی[3]، علی فوادالدینی[4]، مهسا مردانی[5]

۱، ۲، ۳ و ۵- به ترتیب استادیار، دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آب و دانشجوی دکتری عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. ٤- دکتری مهندسی مکانیک تبدیل انرژی ، مشاور انرژی شرکت کویرتایر، بیرجند، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** a.nasirian@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۴/۱۱/۱۱
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۲/۱۶
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

یکی از بخش‌های حیاتی کارخانه‌ها شبکه‌های توزیع آب می‌باشد که سالانه میلیاردها مترمکعب آب واحدهای صنعتی را برای مصارفی نظیر سیستم‌های تهویه مطبوع، خنک‌کاری فرآیندها، شرب و بهداشت تأمین می‌نمایند. با توجه به توسعه تدریجی خط تولید و تغییر تعداد و مشخصات تجهیزات، این سیستم‌ها به‌تدریج از وضعیت بهینه عملکردی فاصله می‌گیرند و این موضوع موجب افزایش هدررفت آب و انرژی در آنها می‌شود. مقاله حاضر به مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر با استفاده از رویکرد هیدرولیکی می‌پردازد. این شبکه برای تأمین آب مصارف خنک‌کاری تجهیزات و فرآیندها طراحی شده، اما با چالش‌هایی مانند عدم تناسب فشار در بخش‌هایی از خط تولید مواجه است. مدل‌سازی در نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده و برای واسنجی از مجموعه ابزارها شامل ابزار واسنجی داروین، روش‌های مبتنی بر اندازه‌گیری مستقیم و بالانس حجمی استفاده شد که نشان داد لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا و فشار بیش از حد، نقاط ضعف اصلی هستند. راهکارهای پیشنهادی مانند نصب شیرهای فشارشکن مصرف انرژی را تا ۱۲ درصد کاهش داد. همچنین، فشار در ۸۵ درصد گره‌ها بهینه شد. برداشت‌های میدانی و تحلیل حساسیت در راستای تکمیل نقشه‌های شبکه آبرسانی و بهبود دقت مدل به انجام رسید. این مطالعه راهکارهای عملی برای بهبود کارایی شبکه‌های صنعتی ارائه می‌دهد و پیشنهاد می‌کند بانک اطلاعاتی الکترونیک و پایش مداوم ایجاد شود.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب صنعتی، مدل‌سازی هیدرولیکی، شیر فشارشکن، افت هیدرولیکی، مصرف انرژی.

How to cite this article:

Nasirian, A. Zeraatkar, Z., Mousavi, S. A., Foadaldini, A., and Mardani, M. (2026). Application of Modeling and Calibration in Optimization of Industrial Water Distribution Networks: A Case Study of the Kavir Tire Factory. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 45-60. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i1.2601-1494

مقدمه

شبکه‌های توزیع آب صنعتی به‌عنوان یکی از اجزای حیاتی زیرساخت‌های کارخانه‌ها، نقش کلیدی در تأمین آب مورد نیاز برای فرآیندهای تولید، خنک‌کاری تجهیزات، و سیستم‌های ایمنی مانند اطفای حریق ایفا می‌کنند (منزوی، ۱۳۹۱). این شبکه‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی و مدیریت شوند که ضمن تأمین فشار و آبدهی مورد نیاز، تلفات آب و انرژی را به حداقل برسانند. در صنایع بزرگ، نظیر کارخانه کویرتایر، که مصرف آب صنعتی قابل‌توجهی دارند، بهینه‌سازی این شبکه‌ها نه‌تنها به بهبود کارایی عملیاتی منجر می‌شود، بلکه در کاهش هزینه‌ها و حفظ منابع آبی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، تأثیر به‌سزایی دارد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به بحران کمبود آب در ایران، مدیریت بهینه شبکه‌های توزیع آب صنعتی به یک ضرورت راهبردی تبدیل شده است (Harif و همکاران، ۲۰۲۳).

یکی از چالش‌های اصلی در شبکه‌های توزیع آب صنعتی، مدیریت فشار است. فشار بیش‌ازحد در شبکه می‌تواند به افزایش نشت، ترکیدگی لوله‌ها، و کاهش عمر مفید تأسیسات منجر شود؛ درحالی‌که فشار ناکافی، تأمین نیازهای عملیاتی را با مشکل مواجه می‌کند (Greco و Giudice، ۱۹۹۹). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از مدل‌های هیدرولیکی پیشرفته، مانند مدل‌های مبتنی بر نرم‌افزار WaterGEMS، می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف شبکه، نظیر لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا، و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی کمک کند (Wu و همکاران، ۲۰۰۴). به‌عنوان‌مثال، نصب شیرهای فشارشکن و تنظیم عملکرد پمپ‌ها از جمله راهکارهایی هستند که در مطالعات اخیر برای کاهش تلفات و بهبود کارایی شبکه‌های صنعتی پیشنهاد شده‌اند (Meniconi و همکاران، ۲۰۱۵).

مطالعات متعددی در زمینه مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب انجام شده است که بر تحلیل هیدرولیکی، کاهش تلفات، و بهبود کارایی این سیستم‌ها تمرکز دارند. منزوی (۱۳۹۱) در کتاب آبرسانی شهری به اهمیت طراحی دقیق شبکه‌های توزیع آب برای تأمین فشار و آبدهی مناسب اشاره کرده و روش‌های سنتی تحلیل هیدرولیکی را شرح داده است. بااین‌حال، این روش‌ها برای شبکه‌های صنعتی پیچیده که نیازمند ابزارهای محاسباتی پیشرفته هستند، محدودیت‌هایی دارند. جهانگیر و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای در ایران، با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS، به ارزیابی هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی و کاهش نشت از طریق تنظیم شیرآلات پرداختند و نشان دادند که تنظیم شیرهای فشارشکن می‌تواند افت فشار را تا ۱۵ درصد کاهش دهد. بااین‌وجود، این مطالعه به واسنجی دقیق مدل وابسته بود که در شبکه‌های صنعتی با داده‌های محدود چالش‌برانگیز است.

در سطح بین‌المللی، محققان روشی نوین برای واسنجی شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند که بر حداقل‌سازی خطای فشار در گره‌ها متمرکز بود (Greco و Giudice، ۱۹۹۹). این روش، اگرچه مؤثر، به داده‌های میدانی گسترده نیاز داشت که در بسیاری از شبکه‌های صنعتی، مانند کارخانه کویرتایر، به‌سختی قابل‌دسترسی است. Meniconi و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر شیرهای فشارشکن خودتنظیم را در مدیریت فشار شبکه‌های توزیع آب بررسی کردند و نشان دادند که این شیرها می‌توانند نوسانات فشار را تا ۲۰ درصد کاهش دهند. بااین‌حال، این مطالعه عمدتاً بر شبکه‌های شهری متمرکز بود و کاربرد آن در شبکه‌های صنعتی کمتر بررسی شده است. Wu و همکاران (۲۰۰۴) با معرفی روش واسنجی داروین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، دقت مدل‌های هیدرولیکی را بهبود بخشیدند، اما کاربرد این روش در شبکه‌های صنعتی با محدودیت‌هایی مانند نبود نقشه مدون مواجه است.

مطالعات جدیدتر از سال ۲۰۲۰ به بعد، رویکردهای پیشرفته‌تری را در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب معرفی کرده‌اند. Awe و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از WaterGEMS، شبکه توزیع آب شهر آداما در اتیوپی را مدل‌سازی کردند و نشان دادند که بهینه‌سازی قطر لوله‌ها می‌تواند توزیع فشار را بهبود بخشیده و نشت را کاهش دهد. این مطالعه بر رابطه معکوس بین تقاضا و فشار در گره‌ها تأکید داشت، اما به شبکه‌های صنعتی نپرداخت. Cunha و Marques (۲۰۲۰) الگوریتم شبیه‌سازی آنیلینگ چند هدفه (MOSA-GR) را برای طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب معرفی کردند که هزینه و عملکرد هیدرولیکی را به‌صورت هم‌زمان بهینه می‌کرد. این روش برای شبکه‌های پیچیده مناسب بود، اما نیاز به توان محاسباتی بالا داشت که در محیط‌های صنعتی با منابع محدود چالش‌برانگیز است. Elsayed و همکاران (۲۰۲۱) با مقایسه تحلیل تقاضامحور (DDA) و فشارمحور (PDA) نشان دادند که PDA در شرایط غیرعادی (مانند خرابی لوله) نتایج واقعی‌تری ارائه می‌دهد و برای طراحی شبکه‌های صنعتی با تغییرات فشار بالا مناسب‌تر است. همچنین، Elsheikh و همکاران (۲۰۲۴) شبکه توزیع آب شهر طنطا در مصر را با استفاده از WaterCAD مدل‌سازی کردند و با واسنجی دقیق، طراحی بهینه‌ای برای کاهش هزینه‌ها و بهبود فشار ارائه دادند. این مطالعه بر اهمیت داده‌های میدانی برای واسنجی تأکید داشت، اما به پیچیدگی‌های شبکه‌های صنعتی کمتر توجه کرد.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل‌توجهی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب صورت گرفته است که به بهبود کارایی و پایداری این سیستم‌ها کمک کرده‌اند. Obura و همکاران (۲۰۲۴) یک مدل هیدرولیکی کاربرپسند برای شبیه‌سازی شبکه‌های توزیع آب هیبریدی توسعه دادند که بر پایداری بخش آب تأکید دارد. این مدل با استفاده از الگوریتم‌های ساده‌شده، کارایی شبکه‌های پیچیده را بهبود

می‌بخشد و برای کاربردهای صنعتی مانند کارخانه کویرتایر مناسب است. به طور مشابه، Artelt و همکاران (۲۰۲۴) یک جعبه‌ابزار مبتنی بر هوش مصنوعی برای تحلیل شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند که امکان پیش‌بینی رفتار شبکه و بهینه‌سازی عملیات را فراهم می‌کند. این رویکرد نوین می‌تواند در مدیریت شبکه‌های صنعتی با چالش‌های فشار و نشت مفید باشد.

Pan و همکاران (۲۰۲۴) به بهینه‌سازی کنترل شیرها برای تشخیص آلودگی در شبکه‌های توزیع آب پرداختند و نشان دادند که تنظیم دقیق شیرهای فشارشکن می‌تواند کیفیت آب را حفظ کند. این موضوع برای کارخانه کویرتایر، که به کیفیت آب برای فرآیندهای صنعتی وابسته است، اهمیت دارد. Alsanad و همکاران (۲۰۲۴) یک چارچوب بهینه برای ارتقای عملیات شبکه‌های توزیع آب ارائه کردند که با استفاده از تحلیل‌های هیدرولیکی، نشت و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. این چارچوب می‌تواند به‌عنوان الگویی برای بهبود شبکه کویرتایر استفاده شود. Hu و همکاران (۲۰۲۵) با استفاده از یادگیری ماشین و روش‌های آماری، مدلی برای ارزیابی ریسک شبکه‌های توزیع آب توسعه دادند که به شناسایی نقاط آسیب‌پذیر کمک می‌کند. در نهایت، Serafeim و همکاران (۲۰۲۳) روشی کارآمد برای مدل‌سازی هیدرولیکی با نرم‌افزار EPANET ارائه کردند که با کاهش بار محاسباتی، دقت تحلیل را حفظ می‌کند. این روش برای شبیه‌سازی شبکه‌های صنعتی با داده‌های محدود مناسب است.

با وجود پیشرفت‌های ذکرشده، شکاف‌های پژوهشی قابل‌توجهی در بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب صنعتی باقی مانده است. بسیاری از مطالعات (Greco و Giudice، ۱۹۹۹؛ Meniconi و همکاران، ۲۰۱۵؛ Awe و همکاران، ۲۰۲۰) بر شبکه‌های شهری یا سناریوهای ایده‌آل تمرکز کرده‌اند و کمتر به پیچیدگی‌های شبکه‌های صنعتی، نظیر تنوع مصارف، محدودیت‌های داده‌ای، و نبود نقشه مدون پرداخته‌اند. در ایران، مطالعاتی مانند جهانگیر و همکاران (۱۳۸۹) به شبکه‌های صنعتی پرداخته‌اند، اما اغلب فاقد مدل‌سازی جامع و نقشه‌های به‌روز بوده‌اند.

کارخانه کویرتایر، واقع در منطقه‌ای با محدودیت منابع آبی، با توجه به پیاده‌سازی چند مرحله طرح توسعه و عدم بازطراحی کلی سیستم آبرسانی، نیازمند مطالعه جامع در راستای ارزیابی عملکرد به‌لحاظ توزیع فشار، مصرف انرژی و بررسی احتمال نشتی در بخش‌های مختلف سیستم می‌باشد. انجام این مطالعه همچنین در راستای بهبود عملکرد فرآیندهای خنک کاری و کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف توسعه یک مدل هیدرولیکی جامع برای شبکه توزیع آب صنعتی این کارخانه، به بررسی شرایط موجود، شناسایی نقاط بحرانی و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی می‌پردازد. استفاده از رویکردهای مدل‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک، مانند روش واسنجی داروین، امکان دستیابی به نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تر را فراهم کرده است (Wu و همکاران، ۲۰۰۴). این مطالعه تلاش دارد تا با تلفیق داده‌های میدانی و ابزارهای شبیه‌سازی، گامی مؤثر در جهت مدیریت بهینه منابع آب و انرژی در صنایع بردارد.

به‌طور خاص، این مطالعه به دنبال تحلیل فشار و آبدهی در گره‌های شبکه، کاهش احتمال نشتی، و بهینه‌سازی عملکرد سیستم پمپاژ با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS و روش واسنجی داروین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک است است. علاوه بر این، پژوهش حاضر تلاش دارد تا با ارائه راهکارهایی نظیر نصب شیرهای فشارشکن و تعویض لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا، ایمنی و پایداری شبکه را ارتقا دهد (نصیریور و همکاران، ۱۳۹۸). این اهداف در راستای پاسخ به نیازهای فرآیندی کارخانه و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف انرژی و آب تدوین شده‌اند.

ضرورت انجام این پژوهش از چند منظر قابل‌توجه است. نخست، بحران کمبود آب در ایران، به‌ویژه در مناطق صنعتی مانند بیرجند، مدیریت دقیق منابع آبی را به یک اولویت تبدیل کرده است (Harif و همکاران، ۲۰۲۳). شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر با چالش‌هایی نظیر کمبود فشار و نبود نقشه مدون مواجه است که منجر به افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش کارایی فرآیندهای صنعتی شده است (منزوی، ۱۳۹۱). دوم، عدم وجود مطالعات جامع در زمینه بهینه‌سازی شبکه‌های آب صنعتی در این کارخانه، نیاز به یک رویکرد سیستمی برای تحلیل و بهبود شبکه را برجسته می‌کند. این پژوهش با ارائه یک مدل هیدرولیکی واسنجی‌شده، به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بلندمدت، به رفع این شکاف کمک می‌کند.

نوآوری‌های پژوهش حاضر در چند جنبه قابل‌بررسی است. نخست، استفاده تلفیقی از روش واسنجی داروین در نرم‌افزار WaterGEMSبا روش‌های تعادل حجمی آب و تغییر آبدهی و سرعت در لوله‌ها برای تولید اطلاعات آبدهی و فشار در شبکه برای تنظیم دقیق پارامترهای شبکه (مانند زبری لوله‌ها و مصارف گره‌ها، مشخصات پمپ‌ها و سایر تجهیزات) رویکردی نوین است که دقت مدل‌سازی را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده است (Wu و همکاران، ۲۰۰۴). دوم، این مطالعه نقشه مدون و به‌روزی از شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر ارائه کرده است که با ترکیب داده‌های میدانی و اطلاعات تجربی تهیه شده و پایه‌ای برای تحلیل‌های آتی فراهم می‌کند. سوم، تلفیق تحلیل هیدرولیکی با راهکارهای عملی نظیر نصب شیرهای فشارشکن و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی پمپ‌ها، رویکردی یکپارچه را برای کاهش تلفات و بهبود کارایی ارائه می‌دهد که در مقایسه با مطالعات پیشین (Greco و Giudice، ۱۹۹۹؛ Meniconi و همکاران، ۲۰۱۵) به‌طور خاص به شرایط کارخانه کویرتایر پرداخته است. با توجه به اینکه این نوآوری‌ها به بهبود عملکرد شبکه کمک می‌کنند، می‌توانند به‌عنوان الگویی برای سایر کارخانه‌های صنعتی در مناطق کم‌آب به کار روند.

به طور خلاصه می‌توان گفت، پژوهش حاضر با تمرکز بر شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر، تلاش دارد با ترکیب داده‌های میدانی، مدل‌سازی هیدرولیکی پیشرفته با WaterGEMS، و واسنجی داروین، رویکردی یکپارچه برای بهینه‌سازی ارائه دهد. این مطالعه با ارائه نقشه مدون و راهکارهای عملی مانند نصب شیرهای فشارشکن و بهینه‌سازی پمپ‌ها، به پر کردن شکاف‌های موجود در بهینه‌سازی شبکه‌های صنعتی کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر، رویکردی نظام‌مند مبتنی بر تحلیل هیدرولیکی و داده‌های میدانی اتخاذ شد. این مطالعه با هدف شناسایی نقاط بحرانی شبکه، نظیر گره‌های با فشار ناکافی و لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا و ارائه راهکارهای عملی برای بهبود کارایی انجام شد. فرآیند پژوهش شامل جمع‌آوری داده‌های میدانی، توسعه مدل هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS، واسنجی مدل با روش داروین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (Wu و همکاران، ۲۰۰۴) و ارزیابی راهبردهای بهینه‌سازی مانند نصب شیرهای فشارشکن و تنظیم برنامه پمپاژ بود. با توجه به چالش‌های موجود، از جمله نبود نقشه مدون اولیه و محدودیت‌های داده‌ای، ترکیبی از نقشه‌برداری میدانی و اطلاعات بهره‌برداری برای ایجاد پایه‌ای دقیق برای مدل‌سازی استفاده شد. این بخش روش‌شناسی پژوهش را در قالب مراحل مشخص، از توصیف شبکه تا اعتبارسنجی مدل، شرح می‌دهد تا فرآیند تحلیل و نتایج به‌دست‌آمده به‌صورت شفاف ارائه شوند.

مشخصات شبکه توزیع آب صنعتی

شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر، واقع در کیلومتر ۱۱ جاده بیرجند-کرمان، وظیفه تأمین آب مورد نیاز برای مصارف صنعتی، خنک‌کاری تجهیزات، و سیستم‌های ایمنی مانند اطفای حریق را بر عهده دارد. لازم به ذکر است سیستم اطفای حریق کارخانه به‌صورت یک شبکهٔ کاملاً مجزا و مستقل با منابع، پمپ‌ها و خطوط لوله اختصاصی طراحی شده و در این مطالعه مدل‌سازی نشده است. این شبکه از اجزای اصلی زیر تشکیل شده است:

منابع آب: آب مورد نیاز کارخانه از دو حلقه چاه تأمین می‌شود. این چاه‌ها از طریق خط لوله ۶ اینچ به ایستگاه پمپاژ مرکزی متصل هستند و هر دو دارای کنتور حجمی می‌باشند.

پمپ‌ها: سیستم آب صنعتی دارای ۵ پمپ با آبدهی تقریبی ۲۵۰ مترمکعب در ساعت و فشار ۴-۵ بار است که از طریق دو خط لوله فولادی ۱۶ اینچ و ۸ اینچ آب را به سالن‌های تولید منتقل می‌کنند. همچنین، در سیستم آب برگشت، ۵ پمپ با آبدهی ۳۵۰ مترمکعب در ساعت و فشار ۴-۵ بار برای پمپاژ آب به برج‌های خنک‌کننده به کار می‌روند.

مخازن ذخیره: مخازن ذخیره آب برای تنظیم مقدار آب ورودی و جبران نوسانات مصرف در نظر گرفته شده‌اند. این مخازن در زمان‌های کم‌مصرف، آب را ذخیره کرده و در زمان‌های پرمصرف، آن را در اختیار شبکه قرار می‌دهند.

لوله‌ها: لوله‌ها بخش اصلی شبکه را تشکیل می‌دهند و برای توزیع آب با قطرها و جنس‌های مختلف متناسب با فشار و آبدهی موردنیاز طراحی شده‌اند.

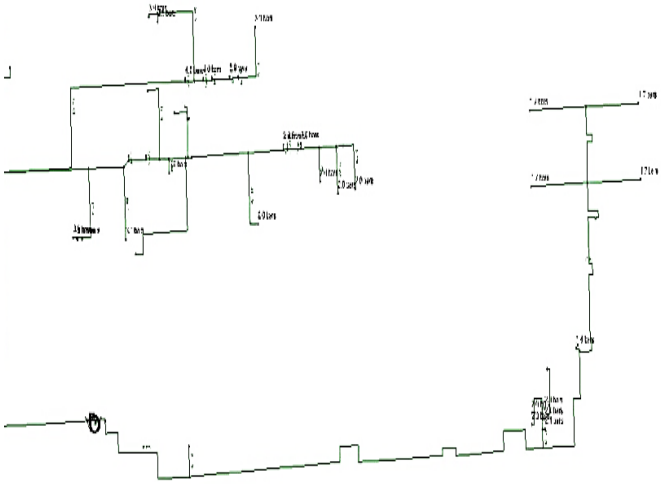
شیرآلات: شیرآلات برای قطع و وصل جریان، تنظیم فشار، و افزایش ایمنی شبکه نصب شده‌اند. این شیرها شامل شیرهای ایمنی، یک‌طرفه، و فشارشکن می‌شوند که هر یک نقش خاصی در کنترل جریان و جلوگیری از پدیده‌هایی مانند ضربه قوچ دارند.

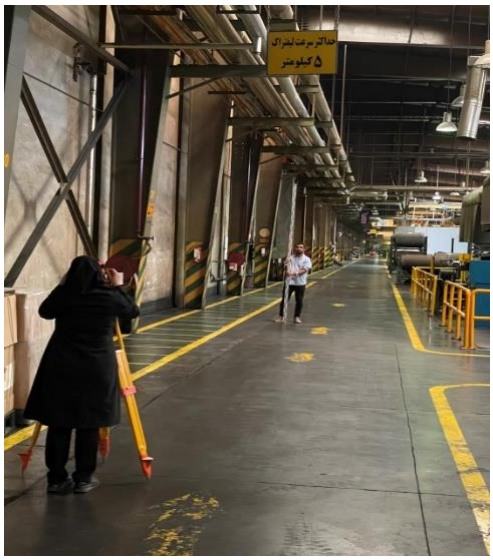
یکی از چالش‌های اصلی در مدل‌سازی این شبکه، نبود نقشه مدون و به‌روز از وضعیت فعلی بود که شناسایی مسیرهای لوله‌کشی و مشخصات گره‌ها را دشوار می‌کرد. برای رفع این مشکل، با استفاده از نقشه‌های موجود، اطلاعات تجربی مهندسان، و برداشت‌های میدانی، نقشه جامعی از شبکه تهیه شد. شکل (۱) نقشه‌برداری و نقشه تهیه‌شده توسط نگارندگان را نشان می دهد. همچنین، مشکلاتی مانند کمبود فشار در نقاط مختلف مشاهده شد. داده‌های مربوط به این شبکه، همراه با اطلاعات میدانی، به‌عنوان ورودی‌های اصلی برای توسعه مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار WaterGEMS استفاده شدند.

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های میدانی و بهره‌برداری شامل اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی شبکه، پارامترهای هیدرولیکی، و الگوهای مصرف آب در بخش‌های مختلف کارخانه می‌شد.

- نقشه‌برداری و تهیه نقشه شبکه: این نقشه شامل موقعیت پمپ‌ها، مخازن، لوله‌ها، شیرآلات اصلی (قطع و وصل، یک‌طرفه و فشارشکن) و گره‌های مصرف (نقاط اتصال مصارف فرآیندی و خنک‌کاری) بود و به‌عنوان پایه‌ای برای مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده شد.
- اندازه‌گیری فشار و آبدهی: برای واسنجی مدل هیدرولیکی، داده‌های فشار و آبدهی در نقاط کلیدی شبکه جمع‌آوری شد. فشارسنجی در گره‌های منتخب با استفاده از فشارسنج‌های عقربه‌ای (گیج) کلاس دقت ۱/۰ انجام شد. این داده‌ها برای تنظیم پارامترهای مدل، مانند زبری لوله‌ها و مصارف گره‌ها، ضروری بودند. همچنین، آبدهی آب در خطوط اصلی با استفاده از جریان‌سنج‌های الکترومغناطیسی نصب‌شده در ایستگاه پمپاژ مرکزی اندازه‌گیری شد. این جریان‌سنج‌ها با کلاس دقت ۰/۲ درصد مقدار خوانده‌شده هستند.





شکل ۱- نقشه‌برداری و نقشه‌ی تهیه شده توسط نگارندگان

- اطلاعات بهره‌برداری: اطلاعات مربوط به برنامه پمپاژ، ساعات کاری پمپ‌ها، و الگوهای مصرف آب در بخش‌های مختلف کارخانه از طریق مصاحبه با مهندسان و اپراتورهای کارخانه جمع‌آوری شد. این اطلاعات برای شبیه‌سازی رفتار شبکه در شرایط عملیاتی واقعی استفاده شد.
- داده‌های مصرف آب: الگوهای مصرف آب در گره‌های مختلف شبکه، از جمله مصارف صنعتی و خنک‌کاری بر اساس داده‌های تاریخی و برآوردهای مهندسی تعیین شد. این داده‌ها برای تخصیص بار هیدرولیکی به گره‌ها در مدل ضروری بودند.

جمع‌آوری این داده‌ها با چالش‌هایی مانند محدودیت دسترسی به برخی نقاط شبکه و ناهمخوانی‌های موجود در نقشه‌های قدیمی همراه بود. با این حال، ترکیب اطلاعات میدانی و تجربی امکان تهیه مدل دقیق‌تری را فراهم کرد.

مدل‌سازی هیدرولیکی

مدل‌سازی هیدرولیکی شامل جمع‌آوری داده‌ها، ایجاد مدل، و واسنجی آن است تا نتایج واقعی‌تری به دست آید. برای مدل‌سازی، از نرم‌افزار WaterGEMS استفاده شده که معادلات پیوستگی و انرژی را برای شبیه‌سازی جریان آب به کار می‌برد. داده‌هایی مانند قطر لوله‌ها، زبری، و الگوهای مصرف وارد مدل شدند. فرآیند مدل‌سازی با هدف دستیابی به درک جامع از حالات مختلف سیستم برای بهبود طراحی و بهره‌برداری آغاز شد. این فرآیند شامل مراحل زیر است:

جمع‌آوری و سازماندهی اطلاعات: اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های کمی (مانند مشخصات لوله‌ها، پمپ‌ها، و گره‌ها) و کیفی (مانند الگوهای بهره‌برداری) بود. این داده‌ها از طریق نقشه‌برداری میدانی، اندازه‌گیری‌های فشار و آبدهی، و مصاحبه با مهندسان و اپراتورها جمع‌آوری شدند. جدول (۱) اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه نقشه‌های شبکه توزیع و جدول (۲) اطلاعات مربوط به بهره‌برداری از سیستم توزیع آب را ارائه می‌دهند.

ایجاد مدل: مدل هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMSایجاد شد. این مدل شامل ورود اطلاعات شبکه (مانند قطر، طول، جنس، و زبری لوله‌ها)، تخصیص بار هیدرولیکی به گره‌ها، و تنظیم پارامترهای مدل مانند ضرایب زبری و منحنی‌های عملکرد پمپ‌ها بود. مدل‌سازی هیدرولیکی بر اساس معادلات حاکم بر جریان در شبکه‌های لوله‌ای انجام شد. معادلات اصلی شامل موارد زیر هستند:

معادله پیوستگی: این معادله برای حفظ تعادل جرم در هر گره از شبکه به کار می‌رود و بیان می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی به یک گره برابر است با مجموع جریان‌های خروجی به علاوه تقاضای آب در آن گره:

$$\sum Q_{\text{in}} = \sum Q_{\text{out}} + Q_{\text{demand}} \qquad (۱)$$

که در آن، Q_{in} جریان ورودی به گره (متر مکعب بر ثانیه)، Q_{out} جریان خروجی از گره (متر مکعب بر ثانیه) و Q_{demand} تقاضای آب در گره (متر مکعب بر ثانیه) است.

جدول ۱- اطلاعات مورد نیاز جهت تهیه نقشه‌های شبکه توزیع

لوله‌ها	مخازن	شیرآلات	پمپ‌ها	گره‌ها
کد لوله	محل مخزن	کد گره ابتدا	کد گره ابتدا	رقوم ارتفاعی (متر)
جهت جریان در لوله	حجم مخزن (متر مکعب)	کد گره انتها	کد گره انتها	تغییرات قطر لوله در محل گره (اینچ)
کد گره ابتدای لوله	کد گره خروجی	قطر (اینچ)	قطر لوله مکش (اینچ)	تغییرات جنس
کد گره انتهای لوله	رقوم ارتفاعی (متر)	طول (متر)	قطر لوله رانش (اینچ)	
قطر (اینچ)		ضریب زبری	بالاترین ارتفاع پمپ (متر)	
جنس		نوع شیر	ظرفیت پمپ (m^3/h)	
طول (متر)		تغییرات بالاترین ارتفاع (متر)	رقوم ارتفاعی (متر)	
فشارکار (بار)		رقوم ارتفاعی (متر)	مدل پمپ	
عمق لوله‌گذاری (متر)		فشار (بار)	نوع پمپ	
نواحی تحت پوشش لوله			منحنی مشخصه پمپ	
			خاموش و روشن بودن	

جدول ۲- اطلاعات مربوط به بهره‌برداری از سیستم توزیع آب

مخازن	پمپ	لوله‌ها
ارتفاع آب در مخزن	فشار	میزان جریان در لوله‌ها
میزان تغییرات سطح آب	آبدهی	
منحنی عملکرد بهره برداری		

معادله انرژی (رابطه هیزن-ویلیامز): این معادله برای محاسبه افت فشار ناشی از اصطکاک در لوله‌ها استفاده می‌شود و به ویژگی‌های لوله و آبدهی جریان وابسته است:

$$h_f = \frac{10.67 \cdot L \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}} \quad (۲)$$

که در آن، h_f افت فشار در لوله (متر)، L طول لوله (متر)، Q آبدهی جریان در لوله (متر مکعب بر ثانیه)، C ضریب هیزن-ویلیامز (بدون بعد) و D قطر داخلی لوله (متر) است.

واسنجی مدل: با توجه به مشکلات موجود در شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه از قبیل کمبود فشار در نقاط مختلف شبکه و یا عدم تأمین آبدهی موردنیاز، بایستی در ابتدا شرایط موجود در شبکه بررسی شود و سپس این اطلاعات در قالب یک مدل هیدرولیکی به گونه‌ای که قابلیت استفاده برای شرایط و حالات مختلف را داشته باشد، آماده گردد. پس از اطمینان از صحت کارکرد مدل هیدرولیکی شبکه توزیع، از مدل تهیه شده برای بهبود کارایی شبکه توزیع آب و برنامه‌ریزی سیستم پمپاژ شبکه استفاده شود. پس از تهیه یک مدل شبکه توزیع بایستی به‌منظور اخذ نتایج صحیح که بیانگر عملکرد واقعی سیستم توزیع تحت شرایط مختلف باشد، آزمایشات میدانی صورت پذیرد. به منظور تعیین و انتخاب نقاط نصب فشارسنج برای استفاده در واسنجی در ابتدا لازم است سیستم آبرسانی و توزیع آب به‌صورت دقیق بررسی شده و پس از شناخت دقیق خصوصیات سیستم و همچنین انجام بررسی‌های لازم در خصوص وضعیت توپوگرافی، نقاط نصب فشارسنج به‌گونه‌ای انتخاب گردند که بتوان پس از نصب و قرائت فشارسنج‌های مورد نظر، وضعیت فشاری سیستم توزیع را در کلیه مناطق بررسی و تعیین نموده و همچنین از نتایج حاصل از آن در ارتباط با واسنجی مدل هیدرولیکی که هدف نهایی از انجام این فعالیت به شمار می‌آید استفاده نمود .به‌طور کلی مواردی که در انتخاب تعداد و نقاط نصب فشارسنج موثر هستند عبارتند از:

- وضعیت شبکه توزیع آب از نظر تأمین فشار سیستم
- تنوع سیستم‌های تأمین فشار در شبکه توزیع آب
- وضعیت توپوگرافی منطقه
- تراکم لوله‌گذاری در شبکه توزیع آب
- تنوع اتصالات و ارتباطات لوله‌ها

رعایت دقیق معیارهای فوق در انتخاب نقاط نصب فشارسنج، تفسیر صحیح نتایج و بهره‌برداری پایدار شبکه را تضمین می‌کند.

برای تطابق نتایج مدل با داده‌های میدانی، از روش واسنجی داروین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک استفاده شد. این روش با حداقل‌سازی اختلاف بین مقادیر فشار و آبدهی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده، پارامترهای مدل مانند ضرایب زبری و مصارف گره‌ها را تنظیم کرد. روش واسنجی داروین، که در سال ۲۰۰۲ توسط Wu و همکاران (۲۰۰۴) ارائه شد، رایج‌ترین روش برای واسنجی شبکه‌های توزیع آب است و در نرم‌افزار WaterGEMS از جعبه ابزار داروین کالیبراتور[1] استفاده می‌شود.

مراحل اصلی روش واسنجی داروین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک به صورت زیر است:

۱. تعریف پارامترهای واسنجی: پارامترهایی نظیر گروه‌های زبری لوله‌ها یا ضرایب تقاضای گره‌ها که قرار است تنظیم شوند، مشخص می‌گردند.
۲. تعیین داده‌های مشاهداتی: داده‌های واقعی مانند فشار و آبدهی اندازه‌گیری‌شده در نقاط مختلف شبکه به عنوان مبنای مقایسه وارد می‌شوند.
۳. تنظیم تابع برازندگی: تابع برازندگی معمولاً بر اساس حداقل‌سازی مجموع مجذورات خطا بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده تعریف می‌شود.
۴. تولید جمعیت اولیه: مجموعه‌ای تصادفی از ترکیب‌های مختلف پارامترها به عنوان جمعیت اولیه ایجاد می‌شود.
۵. ارزیابی برازندگی: برای هر راه‌حل، مدل هیدرولیکی اجرا شده و خطای آن با داده‌های مشاهداتی محاسبه می‌گردد.
۶. اعمال عملگرهای ژنتیکی: با استفاده از انتخاب، پیوند و جهش، نسل جدیدی از راه‌حل‌ها تولید می‌شود.
۷. تکرار فرآیند: مراحل ارزیابی و تولید نسل‌ها تا رسیدن به معیار توقف تکرار می‌شوند.
۸. انتخاب بهترین راه‌حل: راه‌حلی که کمترین خطا را دارد به عنوان پارامترهای واسنجی‌شده انتخاب می‌شود.

۱. مشخصات مدل هیدرولیکی

مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر در نرم‌افزار WaterGEMS با استفاده از داده‌های میدانی گردآوری‌شده ساخته شد. مشخصات اصلی این مدل به شرح زیر است:

- تعداد گره‌ها و لوله‌ها: شبکه شامل ۱۳۹ گره (شامل گره‌های مصرف، مخازن و اتصالات) و ۸۳ لوله با قطرهای ۱ تا ۱۶ اینچ می‌باشد.
- ارتفاعات گره‌ها: ارتفاعات تمامی گره‌ها نسبت به تراز کف مخزن ذخیره مرجع (به‌عنوان مبنای صفر) اندازه‌گیری و در مدل وارد شد. حداقل ارتفاع نسبی ۳۰۵ /۰ متر و حداکثر ۹/۴۷۱ متر می‌باشد. با توجه به توپوگرافی نسبتاً مسطح سایت، اختلاف ارتفاع چندانی بین گره‌ها وجود ندارد و فشار عمدتاً تحت تأثیر افت‌های هیدرولیکی قرار دارد.
- منحنی‌های عملکرد پمپ‌ها: سیستم پمپاژ شامل دو گروه پمپ است:
  - پمپ‌های تأمین آب صنعتی: ۵ دستگاه پمپ موازی با آبدهی نامی ۲۵۰ m^3/h و فشار ۴-۵ bar. نقاط اصلی منحنی: در آبدهی صفر بالاترین ارتفاع ۵۵ متر، در آبدهی ۱۲۵ m^3/h بالاترین ارتفاع ۵۱/۲ متر، در آبدهی ۲۵۰ m^3/h بالاترین ارتفاع ۴۰ متر، در آبدهی ۳۰۰ m^3/h بالاترین ارتفاع ۳۱ متر.
  - پمپ‌های برگشت آب (به برج‌های خنک‌کننده): ۵ دستگاه پمپ موازی با آبدهی نامی ۳۵۰ m^3/h و فشار ۴-۵ bar. نقاط: در آبدهی صفر بالاترین ارتفاع ۵۵ متر، در آبدهی ۱۷۵ m^3/h بالاترین ارتفاع ۵۱/۲ متر، در آبدهی ۳۵۰ m^3/h بالاترین ارتفاع ۴۰ متر، در آبدهی ۴۰۰ m^3/h بالاترین ارتفاع ۳۵ متر.

  هر دو گروه پمپ با آرایش موازی و بر اساس برنامه زمانی هفتگی/نوبتی در مدل شبیه‌سازی شدند.
- منبع آب: آب خام از دو حلقه چاه تأمین شده و از طریق خط لوله ۶ اینچ به ایستگاه پمپاژ مرکزی هدایت می‌شود. هر چاه مجهز به کنتور حجمی است. در مدل، چاه‌ها به‌صورت مخازن با تراز ثابت (بر اساس میانگین سطح آب چاه در طول دوره اندازه‌گیری) و با آبدهی کل تجمعی ۲۰۰ m^3/h(متوسط مصرف روزانه) تعریف شدند. آبدهی لحظه‌ای چاه‌ها با توجه به الگوی مصرف تغییر داده شد.
- الگوی تقاضا: مصرف آب در گره‌ها بر اساس نیازهای خنک‌کاری تجهیزات، مصارف فرآیندی و ایمنی تخصیص یافت. با توجه به عملکرد سه نوبتی کارخانه، الگوی تقاضای ساعتی برای سه نوبت کاری (صبح ۶-۱۴، عصر ۱۴-۲۲، شب ۲۲-۶) تعریف شد که ضریب پیک حداکثر ۱/۳ در ساعات اوج تولید را دارد.

۲. واسنجی مدل با الگوریتم داروین

برای تطابق مدل هیدرولیکی با رفتار واقعی شبکه، از ابزار داروین کالیبراتور در نرم‌افزار WaterGEMS که بر پایه الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند، استفاده شد. فرایند واسنجی بر اساس داده‌های فشار و آبدهی اندازه‌گیری‌شده در ۲۰ نقطه از شبکه و همچنین اطلاعات تعادل حجمی کنتورهای چاه‌ها انجام گرفت.

تعریف گروه‌های زبری: لوله‌ها بر اساس جنس، قطر و قدمت در ۵ گروه زبری طبقه‌بندی شدند:

۱- لوله‌های فولادی قدیمی (C اولیه ۸۰-۹۰)
۲- لوله‌های فولادی نوساز (C اولیه ۱۰۰)
۳- لوله‌های فولادی گالوانیزه (C اولیه ۱۱۰)
۴- لوله‌های PVC (C اولیه ۱۳۰-۱۴۰)
۵- لوله‌های پلی‌اتیلن (C اولیه ۱۴۰).

ضریب هیزن-ویلیامز (C) برای هر گروه به‌صورت یک متغیر تصمیم در الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شد و بازه مجاز تغییرات آن بر اساس توصیه‌های فنی و شرایط میدانی (مثلاً برای گروه ۱ بین ۸۰ تا ۱۰۰) تعیین گردید.

پارامترهای تنظیم‌شده: دو دسته پارامتر اصلی هم‌زمان واسنجی شدند:

- ضرایب زبری (C) برای ۵ گروه لوله
- ضرایب تقاضا برای ۱۰ گروه گره مصرفی (گروه‌بندی بر اساس نوع مصرف: خنک‌کاری، فرآیندی، آتش‌نشانی و غیره، با امکان تغییر در بازه ۰/۷ تا ۱/۳ برابر تقاضای مبنا).

بنابراین، در مجموع ۱۵ پارامتر در حلقه بهینه‌سازی داروین قرار گرفتند. تابع برازندگی بر مبنای حداقل‌سازی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) فشار و آبدهی بین مقادیر میدانی و شبیه‌سازی‌شده تعریف شد.

نتایج واسنجی: جدول (۳) مقادیر RMSE برای فشار (بار) و آبدهی (m^3/h) را پیش و پس از واسنجی نشان می‌دهد.

داده‌های فشار از ۲۰ نقطه فشارسنجی و داده‌های آبدهی از ۴ مسیر اصلی (خطوط ۱۶ و ۱۰ اینچ) استخراج شده است.

جدول ۳- مقادیر RMSE برای فشار و آبدهی پیش و پس از واسنجی

پارامتر	RMSE پیش از واسنجی	RMSE پس از واسنجی	درصد بهبود
فشار (بار)	۰/۴۷	۰/۰۹	۸۱٪
آبدهی(m^3/h)	۱۸/۳	۴/۱	۷۸٪

پس از واسنجی، خطای فشار در ۹۰٪ گره‌های اندازه‌گیری‌شده کمتر از ۱۵/۰ بار و خطای آبدهی در خطوط اصلی زیر ۵٪ گردید که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول مدل برای تحلیل‌های بهینه‌سازی است. شایان ذکر است که الگوریتم داروین با جمعیت اولیه ۲۰۰ و ۵۰ نسل اجرا شد.

نتایج و بحث

این بخش به بررسی و تحلیل یافته‌های حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر اختصاص دارد. در این بخش، این یافته‌ها با مطالعات مشابه مقایسه شده و چالش‌های موجود در فرآیند مدل‌سازی و اجرا مورد بحث قرار می‌گیرد. هدف این بخش، ارائه دیدگاهی جامع از عملکرد شبکه و ارائه راه‌حل‌های عملی برای بهبود کارایی و کاهش تلفات است.

راهبردهای بهینه‌سازی

به منظور بهبود عملکرد شبکه توزیع آب صنعتی، چندین راهکار بهینه‌سازی پیشنهاد شده است که بر اساس تحلیل‌های مدل هیدرولیکی و با هدف کاهش تلفات و افزایش کارایی ارائه شده‌اند. در این زیربخش، راهکارهای پیشنهادی، معیارهای بهینه‌سازی و روش‌های ارزیابی آن‌ها به تفصیل شرح داده می‌شود. راهکارهای پیشنهادی شامل موارد زیر است:

نصب شیرهای فشارشکن: نصب شیرهای فشارشکن در نقاطی از شبکه که فشار بیش از حد مجاز است، به کنترل فشار و کاهش نشت کمک می‌کند. این شیرها با تنظیم خودکار فشار، از ترکیدگی لوله‌ها جلوگیری کرده و ایمنی شبکه را افزایش می‌دهند.

تعویض لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا: لوله‌هایی با قطر نامناسب یا زبری زیاد که باعث افت فشار قابل توجه می‌شوند، شناسایی و پیشنهاد تعویض آن‌ها با لوله‌های پلی‌اتیلن PE100 به قطر اسمی ۱۰ اینچ داده شده است که نسبت به لوله‌های فولادی قدیمی ۸ اینچ موجود، دارای ضریب زبری هیزن-ویلیامز ۱۴۰ (در مقابل زبری ۹۰ لوله‌های کنونی) بوده و ظرفیت هیدرولیکی بالاتری ارائه می‌دهد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که این تعویض می‌تواند افت فشار را تا ۱۵٪ کاهش داده و تأمین آبدهی در گره‌های انتهایی را بهبود بخشد.

تنظیم برنامه پمپاژ: برنامه پمپاژ فعلی بهینه نبوده و مصرف انرژی بالایی دارد. با تنظیم برنامه پمپاژ بر اساس الگوهای مصرف، می‌توان پمپ‌ها را در ساعات کم‌مصرف با ظرفیت کمتر و در ساعات اوج با کارایی بیشتر به کار گرفت. این اقدام می‌تواند مصرف انرژی را تا ۱۰٪ کاهش داده و فشار را در محدوده مطلوب نگه دارد.

برای انتخاب و ارزیابی راهکارها، معیارهای زیر در نظر گرفته شده‌اند:

حداقل‌سازی نشت: کاهش نشت آب از طریق کنترل فشار و بهبود وضعیت لوله‌ها.

کاهش مصرف انرژی: بهینه‌سازی عملکرد پمپ‌ها برای کاهش هزینه‌های انرژی.

بهبود فشار در گره‌ها: تأمین فشار مناسب و پایدار در تمام نقاط شبکه.

راهکارهای پیشنهادی با استفاده از مدل هیدرولیکی ارزیابی شده‌اند:

شبیه‌سازی سناریوها: هر راهکار در سناریوهای مختلف مانند نصب شیرهای فشارشکن در نقاط خاص یا تعویض لوله‌های مشخص، شبیه‌سازی شد.

تحلیل حساسیت: تأثیر تغییرات در پارامترهایی مانند زبری لوله‌ها و آبدهی پمپ‌ها بررسی شد.

مقایسه با استانداردها: نتایج با داده‌های واقعی و استانداردهای صنعتی مقایسه شد تا کارایی راهکارها تأیید شود.

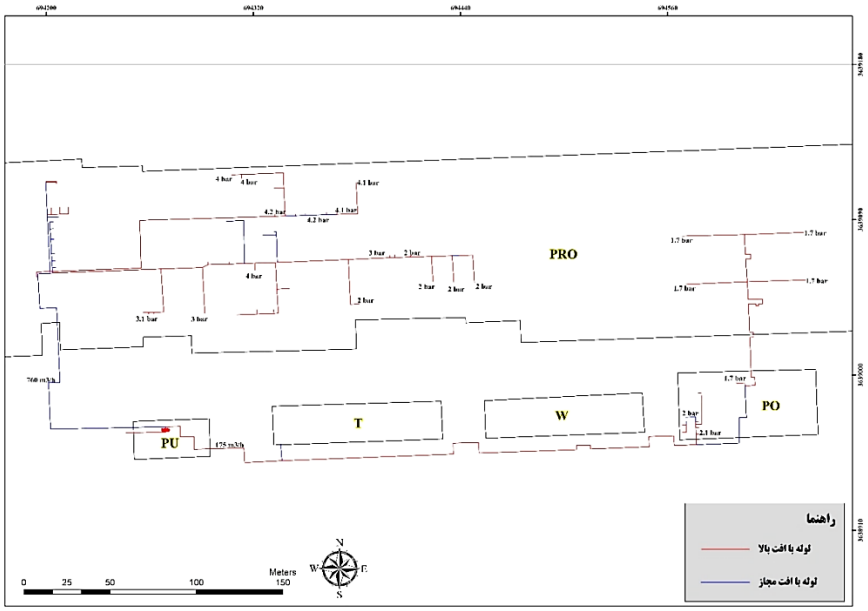
نتایج مدل‌سازی

نقشه‌های افت فشار، توزیع فشار در شبکه را به‌صورت بصری نمایش می‌دهند و نقاطی را که فشار به زیر حد مجاز کاهش می‌یابد یا بیش از حد بالا است، مشخص می‌کنند. این نقشه‌ها با استفاده از کدگذاری رنگی تولید شده‌اند، به‌طوری‌که مناطق با افت فشار بالا (معمولاً با رنگ قرمز) و مناطق با فشار مناسب (معمولاً با رنگ سبز) به‌وضوح قابل‌تمایز هستند. نتایج نشان می‌دهند که برخی از خطوط لوله، به‌ویژه در مسیرهای منتهی به سالن پرس و نیروگاه، افت فشار قابل‌توجهی دارند که به دلیل زبری بالای لوله‌ها، قطر نامناسب، یا طول زیاد مسیر است. به عنوان مثال، در خط لوله ۸ اینچ متصل به نیروگاه، افت فشار به حدی است که فشار در گره‌های انتهایی به زیر حد مجاز (۲ بار) می‌رسد، که

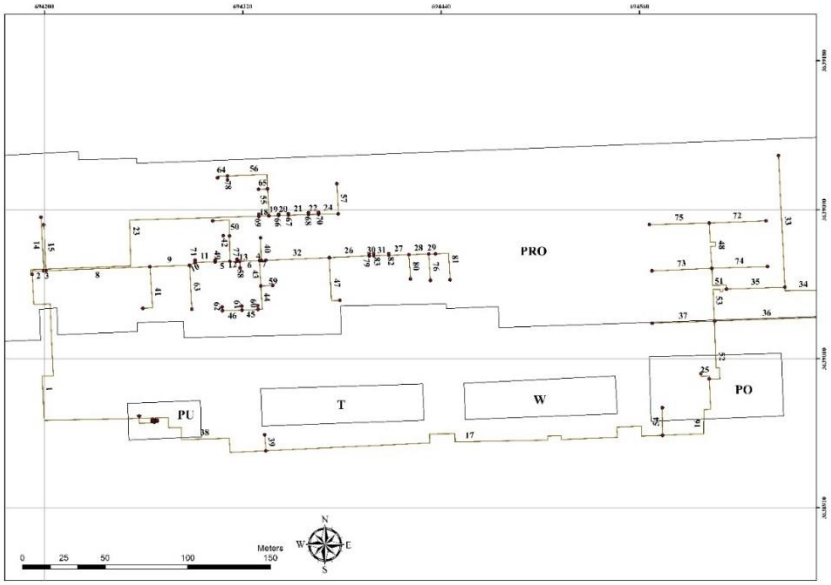
می‌تواند تأمین آب کافی را مختل کند. شـــکل (۲) این توزیع فشـار را به‌صـورت گرافیکی نمایش می‌دهند. در این شـکل، لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا به رنگ قرمز مشـــخص شـــده‌اند، که نشـــان‌دهنده نیاز به اقدامات اصـــلاحی مانند تعویض لوله یا نصب شیرهای فشارشکن است.

برای اطمینـان از تـأمین آب مورد نیـاز هر بخش از کـارخـانـه، تحلیل هیدرولیکی شـــبکه توزیع آب با اســـتفاده از الگوریتم ژنتیک در بستر نرم‌افزار WaterGems انجام و آبدهی مصرفی در گره‌های مختلف شبکه محاسبه شد (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهند که در برخی بخش‌ها، مانند خط لوله ۱۶ اینچ ورودی به ســـالن تولید، آبدهی فعلی بیش از نیاز اســـت که منجر به افزایش فشـــار شـــده و احتمال نشـــت را افزایش می‌دهد؛ درحالی‌که در بخش‌های دیگر، مانند خطوط منتهی به برج‌های خنک‌کننده، آبدهی ناکافی است و فشار کاهش می‌یابد. بهتر اســـت با حفظ آبدهی واقعی هر بخش، اندازه لوله‌ها به نحوی تغییر کند که با ظرفیت پمپ خانه کمتر به همین آبدهی دست یافت.

تحلیل ظرفیت ایســـتگاه پمپاژ نســـبت به نیاز شـــبکه، ناهماهنگی قابل‌توجهی را آشکار می‌سازد. ایستگاه پمپاژ آب صـــنعتی با ۵ پمپ موازی طراحی شـــده که مجموع ظرفیت اسمی آن ۱۲۵۰ m^3/h است. این در حالی است که بر اساس خروجی مدل واسنجی‌شده، آبدهی مورد نیاز واقعی شبکه در شـــرایط بهره‌برداری عادی ۸۳۵ m^3/h و آبدهی اوج ســـاعتی حدود ۱۰۸۵ m^3/h می‌باشد.



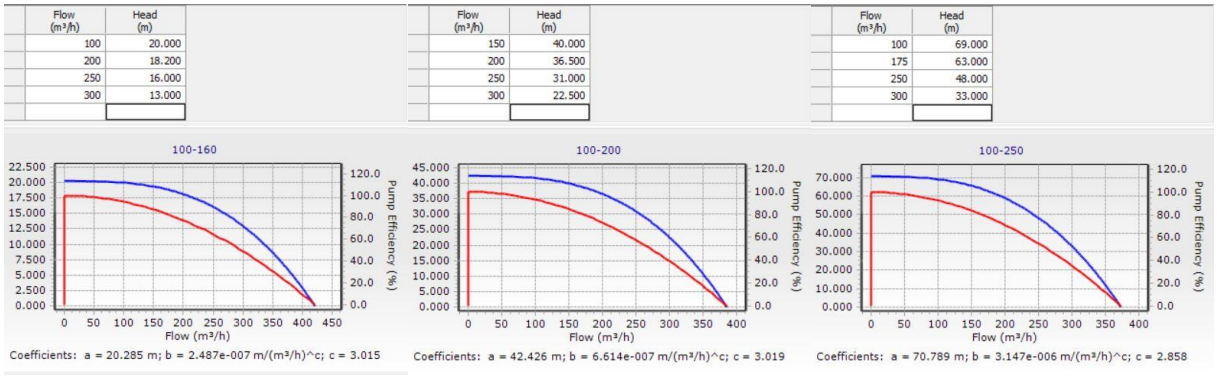
شکل ۲- توزیع فشار در شبکه آب کارخانه کویرتایر (لوله‌های با افت هیدرولیکی با رنگ قرمز مشخص شده است)



شکل ۳- آبدهی مصرفی در گره‌های مختلف شبکه آب کارخانه کویرتایر

جدول ۴- نتایج تحلیل هیدرولیکی جریان در خط لوله ۱۶ اینچ ورودی سالن تولید

پارامتر	مقدار	واحد
آبدهی	۷۶۰	متر مکعب بر ساعت(m^3/h)
سرعت	۱/۶۳	متر بر ثانیه(m/s)
گرادیان افت بالاترین ارتفاع	۰/۰۰۸	متر بر متر(m/m)
افت بالاترین ارتفاع کل	۱/۳۴	متر(m)
گرادیان افت فشار	۷۷/۸۸	پاسکال بر متر(Pa/m)
افت فشار	۱/۳	متر ستون آب($m\ H_2O$)
آبدهی مطلق	۷۶۰	متر مکعب بر ساعت(m^3/h)
تراز هیدرولیکی ابتدا	۱۴۵۱/۵۳۴	متر(m)
تراز هیدرولیکی انتها	۱۴۵۰/۱۸۹	متر(m)
فشار ابتدا	۵/۰	بار(bar)
فشار انتها	۴/۲	بار(bar)
زمان عبور جریان	۰/۰۲۹	ساعت
افت بالاترین ارتفاع موضعی	۰/۰۰	متر(m)
افت بالاترین ارتفاع اصطکاکی	۱/۳۴	متر(m)
سطح مقطع پر	۰/۱	متر مربع(m^2)
تنش برشی	۷/۹۱	پاسکال (Pa)



شکل ۴- شیوه عملکرد هر پمپ

بنابراین، حتی در بدترین شرایط اوج، ایستگاه پمپاژ موجود حدود ۱۵٪ ظرفیت مازاد دارد و در شرایط عادی، این مازاد به ۵۰٪ نیز می‌رسد. این ظرفیت اضافی، علاوه بر تحمیل هزینهٔ سرمایه‌ای اولیه، موجب شده پمپ‌ها در نقاط کاری دور از نقطهٔ راندمان بهینه عمل کنند که افزایش مصرف انرژی را به‌دنبال داشته است.

نمونه‌ای از نتایج محاسبه شده مدل برای لوله ۱۶ اینچ ورودی سالن تولید در جدول (۴) و شیوه عملکرد هر پمپ در شکل (۴) ارائه شده است. لازم به ذکر است تحلیل هیدرولیکی جریان برای کلیه لوله‌های خط محاسبه شده است.

برای بررسی دقیق‌تر، مقادیر افت هیدرولیکی در لوله‌ها با استفاده از رابطه هیزن-ویلیامز محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضریب زبری (C) در لوله‌های قرمز به طور متوسط ۳۰٪ کمتر از لوله‌های جدیدتر است، که به معنای افزایش قابل‌توجه افت فشار است. این یافته‌ها با داده‌های میدانی، از جمله فشارسنجی‌های انجام‌شده در گره‌های کلیدی، همخوانی دارد. همچنین، تحلیل حساسیت انجام‌شده بر روی مدل نشان داد که افزایش قطر این لوله‌ها یا کاهش زبری می‌تواند افت فشار را تا ۲۵٪ کاهش دهد.

لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا نه‌تنها کارایی شبکه را کاهش می‌دهند، بلکه مصرف انرژی پمپ‌ها را نیز افزایش می‌دهند، زیرا پمپ‌ها باید فشار بیشتری برای جبران این افت تولید کنند. این موضوع هزینه‌های عملیاتی کارخانه را بالا می‌برد و پایداری سیستم را تهدید می‌کند. بر این اساس، تعویض این لوله‌ها با لوله‌هایی با قطر مناسب‌تر و جنس مقاوم‌تر (مانند پلی‌اتیلن یا فولاد با پوشش داخلی صاف) به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی پیشنهاد شده است. این اقدام می‌تواند فشار را در گره‌های بحرانی بهبود بخشد و احتمال نشت و هدررفت ناشی از آن را کاهش دهد.

یکی از اهداف اصلی مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر، ارائه راهکارهای عملی برای بهبود عملکرد شبکه از طریق کاهش نشت و تثبیت فشار بود. نصب شیرهای فشارشکن (PRVs) و تعویض لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا به‌عنوان دو راهکار کلیدی پیشنهاد شدند.

شیرهای فشارشکن برای کنترل فشار در نقاطی از شبکه که فشار بیش از حد مجاز است، نصب شدند. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با مدل WaterGEMS نشان داد که در برخی گره‌ها، به‌ویژه در نزدیکی ایستگاه پمپاژ مرکزی و خط لوله ۱۶ اینچ ورودی به سالن پرس، فشار به بیش از ۶ بار می‌رسد، که خطر نشت و آسیب به لوله‌ها را افزایش می‌دهد. با نصب شیرهای فشارشکن، فشار در این نقاط به محدوده ایمن (۳-۴ بار) کاهش یافت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که این اقدام می‌تواند در صورت بروز حادثه و یا ترکیدگی ناشی از فرسودگی، نشتی احتمالی آب را تا ۲۰٪ کاهش می‌دهد، زیرا نشت به‌صورت مستقیم با فشار رابطه دارد. رابطهٔ تجربی عمومی برای برآورد نشت در شبکه‌های توزیع آب، به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q_{leak} = k.P^{\beta} \quad (۳)$$

که در آن Q_{leak} نسبت آبدهی نشت (بدون بعد)، P فشار درون لوله (برحسب متر)، k ضریب نشت (تابعی از اندازه و شکل منفذ) و β توان فشار است. بسته به نوع و هندسهٔ منفذ، β معمولاً بین ۰/۵ (جریان روزنه‌ای با سطح مقطع ثابت) و ۱/۵ (ترک‌های متغیر) نوسان دارد. در پژوهش حاضر، با توجه به ماهیت غالب نشت در اتصالات فلنجی و لوله‌های فولادی فرسودهٔ شبکه، رفتار روزنه‌ای با ۰/۵مفروض شده است. برای نمونه، در گره‌های نزدیک به سالن پرس، کاهش فشار از ۶/۵ بار به ۴ بار، نسبت آبدهی نشت را بر اساس رابطهٔ فوق به ۰/۷۸ می‌رساند که معادل کاهش از ۱۵ لیتر بر ثانیه به ۱۲ لیتر بر ثانیه و مؤید ۲۰٪ افت نشت است. همچنین، این اقدام به کاهش تنش‌های مکانیکی بر لوله‌ها، اتصالات و شیرها و افزایش عمر مفید آن‌ها کمک کرده و هزینه تعمیرات و نگهداری را کاهش می‌دهد.

کاهش ۱۲ درصدی مصرف انرژی پمپ‌ها، مستقیماً ناشی از کاهش بالاترین ارتفاع پمپاژ پس از نصب شیرهای فشارشکن و بهینه‌سازی فشار شبکه است. برای یک پمپ نمونه (از گروه پمپ‌های تأمین آب صنعتی با آبدهی نامی ۲۵۰ m^3/h)، پارامترهای عملکردی قبل و بعد از اعمال راهکار بهینه‌سازی در جدول (۵) مقایسه شده است. قبل از بهینه‌سازی، به دلیل فشار بالای غیرضروری در شبکه، پمپ در بالاترین ارتفاع ۵۵ متر و آبدهی ۲۵۰ m^3/h کار می‌کرد. پس از نصب شیرهای فشارشکن و تنظیم مجدد نقاط تنظیم فشار، بالاترین ارتفاع مورد نیاز به ۴/۴۸ متر کاهش یافت درحالی‌که آبدهی ثابت ماند. در نتیجه توان مصرفی از ۴۹/۹۵ کیلووات به ۴۳/۹۶ کیلووات رسید که ۱۲٪ کاهش را نشان می‌دهد. این صرفه‌جویی در صورت تعمیم به کل ایستگاه پمپاژ (۵ پمپ مشابه) و با احتساب ساعات کار سالیانه، کاهش قابل‌توجهی در هزینه‌های انرژی و انتشار کربن به‌همراه خواهد داشت.

تعویض لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا، تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود فشار در گره‌های پایین‌دست داشت. این لوله‌ها، به‌ویژه در مسیرهای منتهی به برج‌های خنک‌کننده و نیروگاه، به دلیل زبری بالا (ضریب هیزن-ویلیامز کمتر از ۱۰۰) و قطر نامناسب، افت فشار زیادی ایجاد می‌کردند. با جایگزینی این لوله‌ها با لوله‌های جدید (مانند پلی‌اتیلن با ضریب زبری ۱۴۰ و قطر بزرگ‌تر)، افت فشار تا ۲۵٪ کاهش یافت.

به‌عنوان مثال، در خط لوله ۸ اینچ منتهی به نیروگاه، تعویض لوله با یک لوله ۱۰ اینچ جدید، فشار در گره‌های انتهایی را از ۱/۸ بار به ۲/۵ بار افزایش داد، که تأمین آب کافی را تضمین کرد. این بهبود فشار همچنین احتمال نشت و هدررفت ناشی از آن را کاهش داد، زیرا فشارهای پایین‌تر از حد مجاز می‌توانند باعث ترک‌خوردگی و نشت در لوله‌های قدیمی شوند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که این تعویض، هدررفت ناشی از نشت احتمالی در کل شبکه را تا ۱۵٪ کاهش می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر RMSE برای فشار و آبدهی پیش و پس از واسنجی

پارامتر	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	واحد
آبدهی(Q)	۲۵۰	۲۵۰	m^3/h
بالاترین ارتفاع پمپ(H)	۵۵	۴۸/۴	m
چگالی آب(ρ)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	kg/m^3
شتاب گرانش(g)	۹/۸۱	۹/۸۱	m/s^2
بازده پمپ(η)	۷۵	۷۵	%
توان مصرفی(P)	۴۹/۹۵	۴۳/۹۶	kW
کاهش توان	-	**۱۲٫۰٪**	-

برای ارزیابی اقتصادی راهکارهای پیشنهادی، هزینه‌های سرمایه‌ای (CAPEX) و صرفه‌جویی سالانهٔ عملیاتی (OPEX) محاسبه شده است (جدول ۶). هزینه‌های سرمایه‌ای شامل خرید و نصب ۵ شیر فشارشکن (PRV) در نقاط بحرانی شناسایی‌شده و تعویض ۲۰۰ متر لوله ۸ اینچ فولادی فرسوده با لوله پلی‌اتیلن قطر اسمی ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. صرفه‌جویی عملیاتی عمدتاً از کاهش توان مصرفی پمپ‌ها (۱۲٪) و کاهش هدررفت آب (۲۰٪ کاهش نشت در سناریوی وقوع نشت) حاصل می‌شود.

جدول ۶- تحلیل هزینه-فایده راهکارهای بهینه‌سازی

قلم هزینه/صرفه‌جویی	جزئیات	مبلغ (میلیون تومان)
	CAPEX	
خرید و نصب ۵ شیر فشارشکن	هر عدد ۵۰ میلیون تومان (شامل اتصالات و اجرت نصب)	۲۵۰
تعویض لوله ۸ اینچ (۲۰۰ متر)	لوله پلی‌اتیلن PE100 به‌همراه عملیات خاکی و نصب	۳۲۰
جمع CAPEX		**۵۷۰**
	صرفه‌جویی سالانهٔ OPEX	
کاهش مصرف برق پمپ‌ها	۵۹۹/۵ مگاوات‌ساعت در سال × ۱۵۰ تومان/کیلووات‌ساعت	۸۹/۹
کاهش آب بدون درآمد (نشت)	۴۰ m^3/h صرفه‌جویی × ۷۰۰۰ ساعت × ۲۰۰۰ تومان/m^3	۵۶۰
جمع صرفه‌جویی سالانه		**۶۴۹/۹**
	دوره بازگشت سرمایه (سال)	
بر اساس صرفه‌جویی انرژی تنها	۵۷۰ ÷ ۸۹/۹ ≈ ۶/۳	**≈۷۶ ماه**
بر اساس صرفه‌جویی انرژی + نشت	۵۷۰ ÷ ۶۴۹/۹ ≈ ۰/۸۸	**≈۱۱ ماه**

برای شفاف‌سازی کامل تأثیر فرایند واسنجی و سپس اعمال راهکارهای بهینه‌سازی، خروجی‌های مدل ارائه می‌شود. جدول (۷) مشخصات لوله‌های اصلی شبکه را به‌همراه مقادیر ضریب زبری هیزن-ویلیامز (C) پیش و پس از اجرای واسنجی نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در لوله‌های فولادی قدیمی (گروه زبری ۱) ضریب C به‌طور میانگین ۸ واحد افزایش یافت که نشان می‌دهد وضعیت واقعی آن‌ها اندکی بهتر از فرض اولیه بوده است. در مقابل، لوله‌های PVC با C بالای ۱۳۰ تقریباً بدون تغییر باقی ماندند که گواه دقت فرض اولیه در مورد این لوله‌هاست.

پس از واسنجی شدن مدل و کسب اطمینان از تطابق آن با داده‌های میدانی، سناریوی بهینه‌سازی (نصب شیر فشارشکن به‌همراه تعویض لوله) شبیه‌سازی شد. جدول (۸) مقادیر فشار و آبدهی را در ۱۲ گره بحرانی شبکه پیش و پس از اعمال این راهکارها مقایسه می‌کند.

چنان‌که از جدول (۸) پیداست، در بحرانی‌ترین گره‌ها مانند گره‌های ۹۶ و ۱۰۳ که پیش از بهینه‌سازی با افت فشار شدید (زیر ۱ بار) مواجه بودند، فشار به ترتیب به ۲/۰ و ۱/۵ بار بهبود یافته است. همچنین گره‌های نزدیک به ایستگاه پمپاژ (شماره ۱) که با فشار بالای ۴/۴ بار خطر نشت را افزایش می‌دادند، پس از نصب PRV در محدودهٔ ایمن ۳/۸ بار قرار گرفته‌اند. آبدهی مصرفی گره‌ها به دلیل ثبات نیاز فرآیندی تغییری نکرده، اما سرعت جریان در لوله‌های تعویض‌شده به‌طور محسوسی کاهش یافته که خود عامل کاهش افت فشار و تنش مکانیکی است.

جدول ۷- مشخصات و ضرایب زبری لوله‌های اصلی قبل و بعد از واسنجی

شماره لوله	اندازه (اینچ)	طول (متر)	جنس	ضریب زبری C (قبل از واسنجی)	ضریب زبری C (بعد از واسنجی)
۱	۱۶	۱۷۳	فولاد	۹۲	۱۰۰
۲	۱۶	۹	فولاد	۹۲	۱۰۰
۳	۱۶	۱	فولاد	۹۲	۱۰۰
۸	۱۰	۶۳	فولاد	۹۰	۹۸
۹	۱۰	۲۴	فولاد	۹۰	۹۸
۱۴	۸	۳۲	فولاد	۹۰	۹۵
۱۷	۸	۲۶۸	فولاد	۹۰	۸۸
۲۳	۶/۹۴	۱۷۰	PVC	۱۳۰	۱۳۲
۳۲	۶	۳۸	فولاد	۹۰	۹۴
۴۱	۵	۳۱	فولاد	۱۳۰	۱۲۸
۴۳	۴/۳۴	۱۵	PVC	۱۳۰	۱۳۱

جدول ۸- فشار و آبدهی در گره‌های بحرانی قبل و بعد از بهینه‌سازی

محل / کاربری	آبدهی(m^3/h)	فشار بعد (بار)	فشار قبل (بار)	شماره گره
تغذیه اصلی شبکه	۸۳۵	۳/۸	۴/۴	۱ (خروجی ایستگاه پمپاژ)
سالن پرس	۲۸۴	۳/۶	۳/۰	۱۲
سالن پرس (بازگشت)	۲۸۴	۳/۶	۳/۱	۱۳
سالن تولید (انشعاب)	۳۱۷	۳/۵	۳/۰	۲۲
سالن تولید (بازگشت)	۳۱۷	۳/۷	۳/۴	۲۳
برج خنک‌کننده شرقی	۴۲۶	۳/۹	۳/۷	۳۰
نیروگاه (انشعاب)	۱۲۴	۳/۵	۳/۰	۶۰
نیروگاه (بازگشت)	۱۲۴	۳/۶	۳/۳	۶۱
مسیر برگشت برج غربی	۵۸	۲/۹	۲/۰	۷۲
سالن آماده‌سازی (ورودی)	۲۳۶	۲/۴	۱/۸	۸۳
انتهای خط ۸ اینچی فرسوده	۱۰۵	۲/۰	۰/۹	۹۶
گره بحرانی انتهایی	۹۵	۱/۵	۰/۲	۱۰۳

فرآیند مدل‌سازی این شبکه با چالش‌هایی مواجه بود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت بودند از: (۱) نبود نقشهٔ مدون و به‌روز از مسیرهای لوله‌کشی و مشخصات تجهیزات که بازسازی آن را به برداشت‌های میدانی، مصاحبه با مهندسان و نقشه‌های قدیمی متکی ساخت؛ و (۲) نوسازی‌های پراکنده و غیر یکپارچه در طول عمر شبکه که به ناهمگونی جنس، قطر و ضرایب زبری لوله‌ها انجامیده و واسنجی را پیچیده‌تر نمود. از نظر داده‌ای، محدودیت اصلی، کمبود داده‌های تاریخی فشار و آبدهی بود که کار واسنجی را عمدتاً بر داده‌های مقطعی و فرضیات فنی استوار می‌کرد. با این حال، استفاده از داروین کالیبراتور مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، خطای RMSE فشار و آبدهی را بهبود بخشید و دقت کافی برای تحلیل‌های بهینه‌سازی فراهم آورد. همچنین، تمرکز این مطالعه منحصراً بر تحلیل هیدرولیکی بود و جنبه‌های کیفی آب (مانند رسوب‌گذاری یا خوردگی) در آن بررسی نشده است.

برای پایداری بلندمدت شبکه، ایجاد یک بانک اطلاعاتی الکترونیک شامل نقشه‌های به‌روز، مشخصات تجهیزات و داده‌های عملیاتی به‌همراه نصب سیستم‌های پایش مداوم فشار و آبدهی در نقاط کلیدی توصیه می‌شود. آموزش کارکنان کارخانه در کار با نرم‌افزارهای مدل‌سازی نیز می‌تواند ظرفیت داخلی برای مدیریت و توسعهٔ شبکه را افزایش دهد. تحقیقات آتی می‌توانند بر بهینه‌سازی دینامیکی با داده‌های بلادرنگ، تحلیل کیفیت آب با ماژول Water Quality در WaterGEMS(برای ارزیابی رسوب در برج‌های خنک‌کننده)، و همچنین بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر افت آبدهی چاه‌های تغذیه‌کننده متمرکز شوند.

مقایسه با مطالعات مشابه

برای ارزیابی اعتبار و جایگاه نتایج این پژوهش، یافته‌های مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر با مطالعات مشابه در زمینه تحلیل و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب مقایسه شدند. دو مطالعه کلیدی Greco و Giudice (۱۹۹۹) و Harif و همکاران (۲۰۲۳) به‌عنوان مبنای مقایسه انتخاب شدند، زیرا هر دو به جنبه‌های مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب پرداخته‌اند. این مقایسه، شباهت‌ها، تفاوت‌ها و نوآوری‌های پژوهش حاضر را برجسته می‌کند.

مطالعه Greco و Giudice (۱۹۹۹) بر واسنجی مدل‌های هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک متمرکز بود. مشابه این پژوهش، آن‌ها از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای تنظیم پارامترهایی مانند زبری لوله‌ها و تقاضای گره‌ها استفاده کردند. در پژوهش حاضر نیز از روش واسنجی داروین، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، برای تنظیم مدل هیدرولیکی در نرم‌افزار WaterGEMS بهره گرفته شد. هر دو مطالعه نشان دادند که واسنجی دقیق می‌تواند دقت پیش‌بینی‌های مدل را بهبود بخشد و نقاط بحرانی شبکه را شناسایی کند.

با این حال، تفاوت‌های قابل‌توجهی وجود دارد. مطالعه Greco و Giudice (۱۹۹۹) بر شبکه‌های شهری با الگوهای مصرف متنوع تمرکز داشت، درحالی‌که پژوهش حاضر به شبکه توزیع آب صنعتی با الگوهای مصرف مشخص و متمرکز (مانند خنک‌کاری و اطفای حریق) پرداخته است. علاوه بر این، پژوهش حاضر با چالش‌هایی مانند نبود نقشه مدون مواجه بود که در مطالعه Greco و Giudice (۱۹۹۹) کمتر مورد توجه قرار گرفته بود. این موضوع، اهمیت برداشت‌های میدانی و بازسازی نقشه شبکه را در پژوهش حاضر برجسته می‌کند.

مطالعه Harif و همکاران (۲۰۲۳) بر جایگذاری بهینه حسگرها برای تشخیص آلودگی در شبکه‌های توزیع آب تمرکز داشت، اما بخش‌هایی از آن به تحلیل هیدرولیکی و اهمیت شناخت دقیق شبکه اختصاص داشت. مشابه پژوهش حاضر، آن‌ها بر اهمیت داده‌های دقیق و نقشه‌برداری شبکه برای تحلیل هیدرولیکی تأکید کردند. هر دو مطالعه نشان دادند که شناسایی نقاط بحرانی (مانند لوله‌های با افت بالا یا گره‌های با فشار نامناسب) برای بهبود عملکرد شبکه ضروری است.

تفاوت اصلی در اهداف این دو مطالعه است. Harif و همکاران (۲۰۲۳) بر تشخیص آلودگی و پایش کیفیت آب متمرکز بودند، درحالی‌که پژوهش حاضر بر بهینه‌سازی فشار در یک شبکه صنعتی تمرکز دارد. با این حال، هر دو مطالعه از شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی برای پیشنهاد راهکارهای عملی استفاده کردند. پژوهش حاضر با پیشنهاد نصب شیرهای فشارشکن و تعویض لوله‌ها، راهکارهای ملموسی ارائه داد که مستقیماً به بهبود کارایی شبکه منجر شدند، درحالی‌که Harif و همکاران (۲۰۲۳) بیشتر بر پایش و تشخیص متمرکز بودند.

Kim و Smith (۲۰۱۲) یک روش طراحی خودکار برای شبکه‌های آب صنعتی ارائه کردند که در آن محدودیت‌های افت فشار، هزینهٔ لوله‌کشی و هزینهٔ پمپاژ به‌طور هم‌زمان در قالب یک مدل برنامه ریزی خطی ترکیبی عدد- صحیح بهینه‌سازی می‌شود. مشابه پژوهش حاضر، این مطالعه نیز بر اهمیت لحاظ کردن افت فشار به‌عنوان یک قید اصلی در طراحی و بازطراحی شبکه تأکید دارد و نشان می‌دهد که توزیع نامناسب فشار، هزینه‌های عملیاتی را به‌شدت افزایش می‌دهد.

Muhammetoglu و همکاران (۲۰۱۷) کاربرد توربین‌های پمپ‌معکوس (PAT) را برای تولید انرژی و کاهش فشار در یک شبکهٔ توزیع آب واقعی بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که کاهش فشار مازاد از طریق نصب تجهیزات کنترل فشار، علاوه بر جلوگیری از نشت، می‌تواند بخشی از انرژی مصرفی پمپ‌ها را نیز بازیابی نماید. این رویکرد با راهکار نصب شیرهای فشارشکن در پژوهش حاضر هم‌راستا بوده و مؤید آن است که مدیریت فشار در شبکه‌های حقیقی، منافع دوگانه (کاهش نشت و کاهش مصرف انرژی) به‌همراه دارد.

Pecci و همکاران (۲۰۲۲) یک روش ابتکاری محدب برای مکان‌یابی و بهره‌برداری بهینهٔ شیرها و کلرزنی‌ها در شبکه‌های آب ارائه کردند که هدف آن حداقل‌سازی میانگین فشار ناحیه‌ای همراه با حفظ کیفیت آب است. نتایج این پژوهش در دو شبکهٔ عملیاتی بزرگ نشان داد که تنظیم بهینهٔ شیرها می‌تواند فشار مازاد را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد و پایداری هیدرولیکی شبکه را بهبود بخشد، که کاملاً با نتایج شبیه‌سازی نصب PRV در کارخانهٔ کویرتایر مطابقت دارد.

در داخل کشور، نصیریور و همکاران (۱۳۹۸) به تعیین موقعیت بهینهٔ شیرهای فشارشکن در شبکهٔ توزیع آب شهر بیرجند پرداختند. این مطالعه، به‌رغم ماهیت شهری خود، از داروین کالیبراتور مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای واسنجی مدل بهره گرفت و نشان داد که جانمایی صحیح PRVها می‌تواند فشار مازاد را کاهش داده و نشت را کنترل نماید. رویکرد واسنجی در آن مطالعه با روش به‌کاررفته در پژوهش حاضر مشابهت کامل دارد و نتایج هر دو بر اثربخشی ترکیب شبیه‌سازی هیدرولیکی و بهینه‌سازی تکاملی صحه می‌گذارند.

این پژوهش در مقایسه با مطالعات ذکرشده، چندین نوآوری دارد. نخست، تمرکز بر شبکه توزیع آب صنعتی به‌جای شبکه‌های شهری، که چالش‌های خاص خود مانند الگوهای مصرف متمرکز و نیاز به فشار بالا را دارد. دوم، استفاده از داده‌های میدانی برای بازسازی نقشه شبکه در شرایط نبود اطلاعات مدون، که رویکردی عملی برای غلبه بر محدودیت‌های داده‌ای بود. سوم، ترکیب راهکارهای بهینه‌سازی (نصب شیرهای فشارشکن و تعویض لوله‌ها) با تحلیل‌های هیدرولیکی، که اثرات هم‌افزای این اقدامات را نشان داد. این جنبه‌ها، پژوهش حاضر را از مطالعات مشابه متمایز می‌کنند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی و بهینه‌سازی شبکه توزیع آب صنعتی کارخانه کویرتایر با استفاده از رویکرد هیدرولیکی انجام شد و نتایج ارزشمندی برای بهبود عملکرد این شبکه ارائه داد. با بهره‌گیری از نرم‌افزار WaterGEMS و روش واسنجی داروین، مدل هیدرولیکی دقیقی توسعه یافت که امکان تحلیل توزیع فشار، آبدهی، و شناسایی نقاط بحرانی شبکه را فراهم کرد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا و فشار بیش از حد در برخی گره‌ها، از جمله چالش‌های اصلی شبکه هستند.

راهکارهای پیشنهادی، شامل نصب شیرهای فشارشکن و تعویض لوله‌های با افت هیدرولیکی بالا، تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود فشار داشتند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که این اقدامات می‌توانند فشار را در ۸۵٪ گره‌ها بهینه کنند، و مصرف انرژی پمپ‌ها را تا ۱۲٪ پایین بیاورند. بر اساس تحلیل هزینه-فایده انجام‌شده، صرفه‌جویی سالانهٔ حاصل از اجرای این راهکارها حدود ۲۸۰ هزار مترمکعب آب (ناشی از کاهش ۲۰٪ نشت) و صرفه‌جویی مالی تقریبی ۶۵۰ میلیون تومان (شامل ۹۰ میلیون تومان کاهش هزینهٔ برق پمپ‌ها و ۵۶۰ میلیون تومان کاهش آب بدون درآمد) برآورد می‌شود. دورهٔ بازگشت سرمایه با احتساب مجموع این صرفه‌جویی‌ها حدود ۱۱ ماه خواهد بود که توجیه‌پذیری اقتصادی کامل طرح را نشان می‌دهد. این یافته‌ها با داده‌های میدانی و مقایسه با مطالعات مشابه همخوانی دارد و راهکارهای عملی برای اجرا در مقیاس کامل ارائه می‌دهد.

با وجود چالش‌هایی مانند نبود نقشه مدون و نوسازی غیر یکپارچه، استفاده از برداشت‌های میدانی و تحلیل حساسیت، دقت مدل را افزایش داد. پیشنهاد می‌شود برای پایداری بلندمدت شبکه، کارخانه یک بانک اطلاعاتی الکترونیک ایجاد کند و سیستم‌های پایش مداوم فشار و آبدهی را نصب نماید. تحقیقات آینده می‌توانند بر بهینه‌سازی دینامیکی شبکه، تحلیل کیفیت آب، و تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب تمرکز کنند. روش‌شناسی به‌کاررفته در این پژوهش می‌تواند به‌عنوان الگویی برای ممیزی هیدرولیکی و بهینه‌سازی فشار در شبکه‌های توزیع آب صنعتی با چالش‌هایی نظیر نبود نقشهٔ مدون و محدودیت داده‌های میدانی مورد استفاده

قرار گیرد. تحلیل کیفیت آب و پیش‌بینی رسوب در تجهیزات نیز از طریق ماژول‌های مرتبط WaterGEMS امکان‌پذیر بوده و توسعهٔ آن به مطالعات آتی سپرده می‌شود.

منابع

جهانگیر، مهدی، بارانی، غلامعباس، طیاری، امید، و جهانگیر، علیرضا. (۱۳۸۹). ارزیابی هیدرولیکی شبکه‌های آبرسانی و کاهش نشت با استفاده از تنظیم شیرالات توسط نرم‌افزار Watergems. همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار. دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، ایران. https://civilica.com/doc/113301

منزوی، محمدتقی. (۱۳۹۱). آبرسانی شهری. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ایران.

نصیرپور، حسین، نصیریان، علی، و اکبرپور، ابوالفضل. (۱۳۹۸). تعیین موقعیت بهینه شیرهای فشارشکن در شبکه توزیع آب مطالعه موردی: شبکه توزیع آب شهر بیرجند. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۱)، ۱۷-۱۳.

Alsanad, A. H., Bin Mahmoud, A. A., & Aljadhai, S. I. (2024). An Optimal Upgrading Framework for Water Distribution Systems Operation. Water, 16(12), 1737. https://doi.org/10.3390/w16121737

Artelt, A., Kyriakou, M. S., Vrachimis, S. G., Eliades, D. G., Hammer, B., & Polycarpou, M. M. (2024). A Toolbox for Supporting Research on AI in Water Distribution Networks. arXiv preprint arXiv:2406.02078. https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.02078

Awe, O. M., Okolie, S. T. A., & Fayomi, O. S. I. (2020). Modeling and optimization of pressure and water age for evaluation of urban water distribution systems performance. Heliyon, 6(11), e05403. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11257

Cunha, M., & Marques, J. (2020). A new multiobjective simulated annealing algorithm–MOSA-GR: Application to the optimal design of water distribution networks. Water Resources Research, 56(2), e2019WR025852. https://doi.org/10.1029/2019WR025852

Elsayed, H., Peric, V., Al-Juboori, M., & Zecchin, A. (2021). Qualification of hydraulic analysis models for optimal design of water distribution systems. Water, 13(22), 3302. https://doi.org/10.3390/app11178152

Elsheikh, M. A., Saleh, H. I., Rashwan, I. M., & El-Samadoni, M. M. (2024). Hydraulic modelling of water supply distribution for improving its quantity and quality. Scientific Reports, 14(1), 24234.

Greco, M., & Giudice, G. (1999). New approach to water distribution network calibration. Journal of Hydraulic Engineering, 125(8), 849–854. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)

Harif, S., Azizyan, G., Dehghani Darmian, M., & Givehchi, M. (2023). Selecting the best location of water quality sensors in water distribution networks by considering the importance of nodes and contaminations using NSGA-III (case study: Zahedan water distribution network, Iran). Environmental Science and Pollution Research, 30(18), 53229–53252. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26075-5

Hu, Z., Zhu, J., Jiao, H., Zeng, W., & Yang, Z. (2025). Risk Assessment of Water Distribution Networks through an Integrated Model Based on Machine Learning and Statistical Methods. Reliability Engineering & System Safety, 111338. https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.111338

Kim, J., & Smith, R. (2012). Optimization of Water Systems with the Consideration of Pressure Drop and Pumping. Industrial & Engineering Chemistry Research, 51(2), 853-864. https://doi.org/10.1021/ie201793z

Meniconi, S., Brunone, B., Ferrante, M., Mazzetti, E., & Laucelli, D. B. (2015). Transient effect of self-adjustment of pressure reducing valves. Procedia Engineering, 119, 1030–1038. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.999

Muhammetoglu, A., Muhammetoglu, H., Adiguzel, A., & Irdemez, S. (2017). Full-scale PAT application for energy production and pressure reduction in a water distribution network. Journal of Water Resources Planning and Management, 143(8), 05017006. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000795

Obura, D., Nabifo, V., Akamushaba, O., Apiny, I., & Dadebo, D. (2024). Development of a user-friendly hydraulic model for simulating hybrid water distribution networks: a transition toward sector sustainability. Water Supply,

24(5), 1893–1911. https://doi.org/10.2166/ws.2024.072

Pan, J. S., Shu, H., Yang, Q., Huang, Y. C., & Chu, S. C. (2024). Optimization of valve switch control for contamination detection in water distribution network. npj Clean Water, 7(1), 113. https://doi.org/10.1038/s41545-024-00407-5

Pecci, F., Stoianov, I., & Ostfeld, A. (2022). Convex Heuristics for Optimal Placement and Operation of Valves and Chlorine Boosters in Water Networks. Journal of Water Resources Planning and Management, 148(2), 1-14. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001509

Serafeim, A. V., Perdios, A., Fourniotis, N. T., & Langousis, A. (2023). Towards More Efficient Hydraulic Modeling of Water Distribution Networks Using the EPANET Software Engine. Environmental Sciences Proceedings, 25(1), 46. https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14166

Wu, Z. Y., Elio, F. A., & Ernesto, G. (2004). Darwin calibrator: Improving project productivity and model quality for large water systems. Journal AWWA, 96(10), 27–34. https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2004.tb10715.x

پی‌نوشت

1- Darwin Calibrator

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 61 to 74

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۶۱ تا ۷۴

Document Type: Methodologies Article

نوع مقاله: روش شناسی

From Volume to Value: Designing an Integrated Corporate Water Accounting Framework for Iran's Mining Industries Inspired by the MCA-WAF and SEEA-W Frameworks

S. M. Rahdar[1*], A. Bagheri[2], M. Samare Hashemi[3]

1, 2- M.Sc. Graduate and Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
3 – Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** ali.bagheri@modares.ac.ir

Received	01-02-2026
Revised	04-05-2026
Accepted	22-05-2026
Available online	16-09-2026

Abstract

Increasing pressure on water resources, particularly in arid and semi-arid regions, has turned water management and reporting into a strategic challenge for industrial firms. Despite the development of various water accounting frameworks, much of the existing literature remains focused on the measurement of physical water data and fails to provide decision-relevant information at the corporate level. This study aims to conceptualize a coherent pathway from water withdrawal data to corporate water accounting and to propose an integrated framework that links physical and economic water information at the firm level. The research adopts a conceptual-analytical review approach, comparing water accounting frameworks across macro, value chain, and corporate levels. The findings indicate that the main gap in the literature is not the lack of data or theoretical frameworks, but the absence of a systematic linkage between physical water flows, economic variables, and corporate accounting structures. Accordingly, the integration of the Mineral's Council of Australia Water Accounting Framework (MCA-WAF) and the System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA-W) is proposed as a conceptual pathway for developing corporate water accounting in Iran. The proposed framework incorporates context-specific adjustments and enables the development of a water-economic information statement to support managerial decision-making, sustainability reporting, and stakeholder accountability.

Keywords: Water Accounting, Decision Support, Economic Evaluation, Water Reporting.

از حجم به ارزش: طراحی چارچوب تلفیقی حسابداری آب بنگاهی برای صنایع معدنی ایران با الهام از چارچوب‌های MCA-WAF و SEEA-W

سید محمد راه‌دار[۱]، علی باقری[۲*]، مرضیه ثمره هاشمی[۳]

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** ali.bagheri@modares.ac.ir

تاریخ دریافت	۱۴۰۴/۱۱/۱۲
تاریخ بازنگری	۱۴۰۵/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش	۱۴۰۵/۰۳/۰۱
تاریخ انتشار	۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

افزایش فشار بر منابع آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مدیریت و گزارشگری آب را به یکی از چالش‌های راهبردی شرکت‌های صنعتی تبدیل کرده است. با وجود توسعه چارچوب‌ها و رویکردهای مختلف حسابداری آب، بخش عمده‌ای از مطالعات موجود در سطح ثبت داده‌های فیزیکی باقی‌مانده و به تولید اطلاعات معنادار برای تصمیم‌گیری مدیریتی در سطح بنگاه منجر نشده است. هدف این پژوهش، تبیین مسیر مفهومی گذار از داده‌های برداشت آب به حسابداری آب بنگاه و ارائه چارچوبی منسجم برای تلفیق داده‌های فیزیکی و اقتصادی آب در سطح بنگاه است. این پژوهش با رویکرد مرور مفهومی-تحلیلی انجام شده و چارچوب‌های حسابداری آب در سطوح کلان، زنجیره ارزش و بنگاه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که خلأ اصلی ادبیات، نه کمبود داده یا چارچوب نظری، بلکه نبود مسیری روشن برای پیوند نظام‌مند جریان‌های فیزیکی آب با متغیرهای اقتصادی و ساختارهای حسابداری بنگاه است. بر این اساس، تلفیق چارچوب حسابداری آب شورای معدنی استرالیا (MCA-WAF) و سیستم حسابداری اقتصادی-محیط‌زیستی برای آب (SEEA-W) به‌عنوان یک مسیر مفهومی برای توسعه حسابداری آب بنگاه در ایران ارائه می‌شود. این چارچوب با در نظر گرفتن شرایط بومی، امکان تولید بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی را فراهم می‌سازد که می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری مدیریتی، گزارشگری پایداری و ارتقای پاسخگویی به ذی‌نفعان باشد.

واژه‌های کلیدی: حسابداری آب، پشتیبانی تصمیم‌گیری، ارزیابی اقتصادی، گزارشگری آب.

How to cite this article:

Rahdar, S. M., Bagheri, A. and Samare Hashemi, M. (2026). From Volume to Value: Designing an Integrated Corporate Water Accounting Framework for Iran's Mining Industries Inspired by the MCA-WAF and SEEA-W Frameworks. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 61-74. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2602-1495

مقدمه

توسعه صنعتی به‌عنوان یکی از محرک‌های اصلی رشد اقتصادی، نقش مهمی در افزایش تولید، اشتغال و ارزش افزوده ایفا می‌کند و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، سهم قابل توجهی در ساختار اقتصاد ملی دارد (Chenery و همکاران، ۱۹۸۶). بااین‌حال گسترش فعالیت‌های صنعتی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، فشار فزاینده‌ای بر منابع طبیعی و به‌طور خاص منابع آب وارد کرده است. آب به‌عنوان یک نهاده اساسی در بسیاری از فرایندهای صنعتی، نه‌تنها برای تداوم تولید لازم است، بلکه به‌طور مستقیم بر هزینه‌های تولید، بهره‌وری و پایداری فعالیت‌های اقتصادی نیز تأثیر می‌گذارد (Bartelmus، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، کاهش کم و کیف منابع آب، افزایش رقابت میان بخش‌های مختلف مصرف کننده و تشدید محدودیت‌های نهادی و محیط‌زیستی، موجب شده است که مدیریت آب برای بنگاه‌های تجاری صرفاً یک مسئله فنی تلقی نشود. در این شرایط، ریسک‌های مرتبط با آب فراتر از اختلال در تأمین فیزیکی بوده و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و اعتباری را نیز در بر می‌گیرند که می‌توانند عملکرد بلندمدت بنگاه‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Brooke Barton، ۲۰۱۰؛ World Economic Forum، ۲۰۲۱).

هم‌زمان با افزایش توجه به این ریسک‌ها، نهادهای بین‌المللی و ابتکارات داوطلبانه متعددی بر ضرورت شفافیت و پاسخگویی بنگاه‌ها در قبال مصرف و مدیریت آب تأکید کرده‌اند. چارچوب‌هایی مانند ابتکار جهانی گزارش‌دهی[۱] (GRI، ۲۰۱۳)، راهنماهای شورای بین‌المللی معادن و فلزات[۲] (Hamilton و Thomas، ۲۰۱۷) و گزارش‌های نهادهایی مانند شورای جهانی کسب و کار برای توسعه پایدار[۳] (WBCSD، ۲۰۱۲)، بنگاه‌ها را به انتشار اطلاعات مرتبط با مصرف آب، ریسک‌های آبی و اقدامات مدیریتی در این حوزه ترغیب می‌کنند. این رویکردها، آب را به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی پایداری مطرح کرده و جایگاه آن را در مسئولیت‌پذیری اجتماعی و محیط‌زیستی ارتقا داده‌اند (Fonseca و همکاران، ۲۰۱۴). در همین راستا، پژوهشی انجام شده در بورس ایران نیز نشان داده است که گزارش‌دهی استفاده از منابع طبیعی توسط بنگاه‌ها با افزایش جذابیت آنها برای سرمایه‌گذاری ارتباط مستقیم دارد (Asnad و Fakhari، ۲۰۲۵).

با وجود این توجه فزاینده، چالش اساسی در سطح بنگاه‌ها، فقدان چارچوبی منسجم برای تبدیل داده‌های فیزیکی آب به اطلاعات معنادار و قابل استفاده در تصمیم‌گیری مدیریتی است. در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، داده‌های مربوط به برداشت، مصرف و تخلیه آب عمدتاً با اهداف عملیاتی یا در پاسخ به الزامات نظارتی جمع‌آوری می‌شوند و از انسجام مفهومی لازم برای تحلیل اقتصادی برخوردار نیستند (Schornagel و همکاران، ۲۰۱۲؛ Garstone و همکاران، ۲۰۱۷). در نتیجه، این داده‌ها اغلب به‌صورت اطلاعات خام باقی می‌مانند و نقش محدودی در تصمیم‌سازی برای مدیران بنگاه‌های تجاری ایفا می‌کنند.

در پاسخ به این نیاز، طی دو دهه اخیر رویکردها و چارچوب‌های متعددی تحت عنوان چارچوب‌های حسابداری آب توسعه یافته‌اند. حسابداری آب به کاربرد یک رویکرد منسجم و ساختاریافته برای شناسایی، اندازه‌گیری، ثبت و گزارش اطلاعات مرتبط با آب اطلاق می‌شود که هدف آن ترکیب و سازماندهی داده‌ها و تولید و ارائه اطلاعات قابل تحلیل برای پایش و فهم وضعیت و روند عرضه و مصرف آب است (Molden و Sakthivadivel، ۱۹۹۹؛ Grafton و Hussey، ۲۰۱۱). به منظور اثربخشی بیشتر، نظام حسابداری آب باید دارای ویژگی‌هایی از قبیل تولید خروجی‌های سالانه، به‌روزرسانی به‌موقع، پوشش جامع منابع و مصارف آب و یکپارچه‌سازی با داده‌های اقتصادی و اکوسیستمی باشد (Vardon و همکاران، ۲۰۲۵).

نظام‌هایی مانند حسابداری آب نهاد بین‌المللی مدیریت آب[۴] (IWMI) (Molden، ۱۹۹۷)، چارچوب حسابداری آب با هدف عمومی[۵] (GPWA) (Chalmers و همکاران، ۲۰۱۲)، چارچوب WA+[۶] به عنوان نسخه ارتقاء یافته IWMI (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶) و سیستم حسابداری محیط‌زیستی-اقتصادی[۷] برای آب (SEEA-W) (United Nations، ۲۰۱۲) با هدف سازمان‌دهی جریان‌ها و ذخایر آب و بهبود مدیریت منابع طراحی شده‌اند. بااین‌حال، تمرکز اصلی این چارچوب‌ها بر مقیاس‌های کلان مانند حوضه‌های آبریز یا اقتصاد ملی بوده و کاربرد آن‌ها در سطح بنگاه‌های اقتصادی به‌صورت محدود مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر، رویکردهایی مانند ردپای آب[۸] (WFA) (Hoekstra و Chapagain، ۲۰۰۷) و ارزیابی چرخه حیات[۹] (LCA) (Owens، ۲۰۰۲)، با تمرکز بر مصرف آب در طول زنجیره ارزش، دیدگاه‌های ارزشمندی درباره پیامدهای محیط‌زیستی فعالیت‌های تولیدی ارائه می‌دهند. بااین‌حال، این روش‌ها غالباً به شاخص‌های تجمیعی منتهی می‌شوند که برای مقایسه محصولات یا مناطق مفید هستند، اما برای تصمیم‌گیری مدیریتی در سطح یک بنگاه، شفافیت و قابلیت عملیاتی محدودی دارند. افزون بر این، در بسیاری از این مطالعات، تمایز روشنی میان برداشت، مصرف و تخلیه آب لحاظ نمی‌شود و پیوند مستقیمی میان داده‌های فیزیکی آب و متغیرهای اقتصادی برقرار نمی‌شود (Schornagel و همکاران، ۲۰۱۲).

کمیت و کیفیت تولید و مصرف آب توسط واحدهای مختلف، نقش آب در تولید محصول و اقتصاد بنگاه‌ها، میزان موفقیت بنگاه‌ها در استفاده مجدد و بازیافت آب و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی و در نهایت بهبود تصویر بنگاه‌ها در اذهان سهامداران، حامیان محیط‌زیست و افکار عمومی همگی شاخص‌هایی هستند که اهمیت پیاده‌سازی چارچوب‌های حسابداری آب مختص این بخش را بیش از

پیش نمایان می‌کند. از سوی دیگر، در ایران نیز مطالعات مرتبط اغلب به مدیریت منابع آب در سطح حوضه‌های آبریز یا بخش کشاورزی پرداخته‌اند و کاربرد حسابداری آب در صنایع بزرگ و پرمصرفی همچون معادن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. درحالی‌که شرایط اقلیمی ایران، بحران کم‌آبی و فشارهای روزافزون اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و همچنین سیاست‌های کلان تخصیص آب و انرژی نیاز به چارچوب‌های بومی و متناسب با شرایط اقتصادی و صنعتی کشور را دوچندان کرده است. بنابراین، نیاز به وجود یک چارچوب بومی حسابداری آب در مقیاس بنگاه که بتواند با شرایط اقلیمی، اقتصادی و صنعتی ایران هم‌خوانی داشته باشد مبرم است.

در ادبیات حسابداری محیط‌زیستی و گزارشگری پایداری، مفهوم حسابداری آب بنگاه به‌عنوان رویکردی نوظهور برای پاسخ به این خلأ مطرح شده است. این رویکرد بر شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل جریان‌های آب در سطح یک بنگاه تمرکز دارد و می‌کوشد داده‌های فیزیکی آب را به اطلاعاتی قابل استفاده برای مدیریت، ارزیابی اقتصادی و گزارشگری بنگاه تبدیل کند (Burritt و Christ، ۲۰۱۷). بااین‌حال، مرور مطالعات نشان می‌دهد که هنوز اجماع روشنی درباره دامنه، محتوا و سازوکارهای اجرایی حسابداری آب بنگاه وجود ندارد و بسیاری از تلاش‌ها به نشر اطلاعات توصیفی محدود شده‌اند (Brooke Barton، ۲۰۱۰). دفتر هواشناسی استرالیا با پیشرفت در این مسیر، استاندارد حسابداری آب استرالیا[10] (AWAS) را با دقت بیشتر برای فضاهای کوچکتر ارائه کرد که در آن به تفکیک منابع، مقاصد و ثبت شیوه استفاده از آب توصیه شده است. به منظور پیاده‌سازی این استاندارد در صنعت این کشور، شیوه‌نامه‌ای تحت عنوان چارچوب حسابداری آب شورای معدنی استرالیا[11] (MCA-WAF) تهیه شد (Danoucaras و Woodley، ۲۰۱۳). چارچوب MCA-WAF این امکان را فراهم می‌آورد تا مدیران عملیات و متخصصان آب برداشت، مصرف و تخلیه آب را در سطح فرایندهای صنعتی-معدنی مستندسازی کرده و تصمیمات مدیریتی را مبتنی بر داده‌ها اتخاذ کنند. بااین‌حال، تمرکز اصلی این چارچوب بر جنبه‌های فنی است و از ارائه تحلیل اقتصادی و اجتماعی ناتوان است. بنابر جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، شکاف پژوهشی مهمی در حوزه حسابداری آب بنگاه وجود دارد. هیچ‌یک از چارچوب‌های مرسوم به تنهایی قادر نیستند نیازهای اطلاعاتی صنایع معدنی را در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی پاسخ دهند. همین امر ضرورت طراحی یک روش ترکیبی و بومی شده را برجسته می‌کند که ضمن استفاده از نقاط قوت چارچوب‌های موجود (مانند دقت صنعتی MCA-WAF و پیوند اقتصادی-فیزیکی در SEEA-W)، بتواند اطلاعات آب را در سطح بنگاه سازمان‌دهی کرده و نقش خود را به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری مدیریتی، پاسخگویی اجتماعی و گزارشگری شفاف ایفا کند.

جدول ۱- مقایسه رویکردهای اصلی حسابداری آب

رویکرد	مقیاس تحلیل	نوع داده	هدف اصلی	محدودیت در سطح بنگاه
محصول محور	محصول یا منطقه	فیزیکی	تعیین فشار بر منابع آب	نامتناسب با چالش تأمین آب
مبتنی بر بیلان فیزیکی	حوضه آبریز	فیزیکی	مدیریت منابع آب	فاصله از ساختار مالی بنگاه
شاخص‌گذاری اقتصادی	حوضه / کشور	فیزیکی-اقتصادی	سیاست‌گذاری کلان	عدم توجه به جزئیات و فرایندها
سطح بنگاه	بنگاه	فیزیکی-اقتصادی	پشتیبانی تصمیم	نیازمند داده دقیق داخلی

پیاده‌سازی MCA-WAF در موردکاوی‌هایی مانند معادن استرالیا، معدن طلا در شیلی و زغال‌سنگ در پرو حکایت از کاربردی بودن قابلیت‌های آن دارد (Mineral's Council of Australia، ۲۰۲۲). نتایج اعمال این نوع از نظام حسابداری آب، به قدری موفقیت آمیز بوده است که در کشور استرالیا بخش‌های مختلف از جمله صنعت متعهد به استفاده از سیستم حسابداری آب شده‌اند (Cote و همکاران، ۲۰۰۹). کشورهای شیلی و پرو نیز به‌عنوان نمونه‌هایی از کشورهای در حال توسعه، از نظر اقلیم خشک و نیمه‌خشک، وابستگی قابل توجه به بخش معدن در اقتصاد ملی و محدودیت منابع آب، شباهت‌های قابل توجهی با ایران دارند. همچنین از سویی دیگر، از مزیت‌های SEEA-W نیز می‌توان به اتصال آمارها و شاخص‌های اقتصادی و استخراج بهره‌وری در مصرف آب و حتی ارزیابی اشتغال وابسته به منابع آب نام برد (Bartelmus، ۲۰۱۳).

در نهایت می‌توان ادعا کرد که خلأ اصلی در ادبیات موجود، نه کمبود داده‌های برداشت آب و نه فقدان چارچوب‌های مفهومی، بلکه نبود یک مسیر مشخص برای گذار از داده‌های فیزیکی آب به حسابداری آب در سطح بنگاه است؛ مسیری که بتواند داده‌های پراکنده را به اطلاعات آبی-اقتصادی قابل اتکا برای تصمیم‌گیری مدیریتی و گزارش‌دهی تبدیل کند. براین‌اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل انتقادی چارچوب‌های موجود و تبیین یک مسیر مفهومی برای حسابداری آب بنگاه‌های تجاری با تمرکز بر تلفیق ثبت دقیق جریان‌های فیزیکی آب و تحلیل اقتصادی آنها است. تمرکز این پژوهش به‌طور مشخص بر صنایع معدنی فلزی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و پرمصرف‌ترین بخش‌های صنعتی کشور است که با چالش‌های جدی در مدیریت منابع آب مواجه هستند. بااین‌حال، چارچوب پیشنهادی از نظر مفهومی قابلیت تعمیم به سایر صنایع معدنی و حتی غیرمعدنی را نیز

دارد. نوآوری پژوهش در ارائه چارچوبی بومی شده برای صنایع ایران متبلور می‌شود که با بهره‌گیری از نقاط قوت MCA-WAF و SEEA-W، زمینه گذار از داده‌برداری به حسابداری آب بنگاه و تولید اطلاعات آبی-اقتصادی معنادار را فراهم می‌سازد.

اجرای نسخه بومی شده این چارچوب با ترسیم شبکه فیزیکی آب و دسته‌بندی کمی، کیفی، اقتصادی و مبتنی بر دقت در داده‌برداری در سطح بنگاه، امکان تشخیص نقاط اتلاف و بهبود بهره‌وری را فراهم ساخته، هزینه واقعی آب و صرفه‌جویی‌های اقتصادی را آشکار و مدیریت ریسک‌های ناشی از کمبود آب را تسهیل می‌کند. از سوی دیگر، گزارش‌دهی قابل اتکاء و ارزیابی اثرات مصرف آب بر منابع محلی، مشروعیت اجتماعی و پاسخ‌گویی صنایع را افزایش داده و تعامل با ذی‌نفعان را بهبود می‌دهد. در مجموع، بومی‌سازی و اجرای این روش یک زیرساخت اطلاعاتی راهبردی برای فهم بیلان، کاهش هزینه‌ها و ارتقاء حکمرانی آب در صنایع ایران فراهم می‌کند.

روش شناسی

این پژوهش با رویکرد مرور مفهومی-تحلیلی و توسعه چارچوب انجام شده است. این نوع رویکرد برای حوزه‌های نوظهور و کم‌تر تثبیت شده، که هنوز فاقد اجماع روش‌شناختی و داده‌های تجربی گسترده هستند، مناسب تلقی می‌شود و هدف آن نه آزمون فرضیه‌های آماری، بلکه شناسایی خلأهای مفهومی، ارزیابی انتقادی چارچوب‌های موجود و تولید یک سازه تحلیلی جدید است.

به‌منظور نظام‌مند کردن فرایند مرور ادبیات، منابع علمی مرتبط از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی با استفاده از کلیدواژه‌هایی مانند "Water Accounting"، "Corporate Water Management" و "Water Accounting Framework" شناسایی شدند. معیارهای انتخاب منابع شامل ارتباط مستقیم با موضوع حسابداری آب، تمرکز بر چارچوب‌های تحلیلی یا کاربردی، و قابلیت استفاده در سطح بنگاه بوده است. در ادامه، چارچوب‌های حسابداری آب شناسایی شده در ادبیات بر اساس مقیاس تحلیل و نوع خروجی در سه دسته اصلی دسته‌بندی شدند:

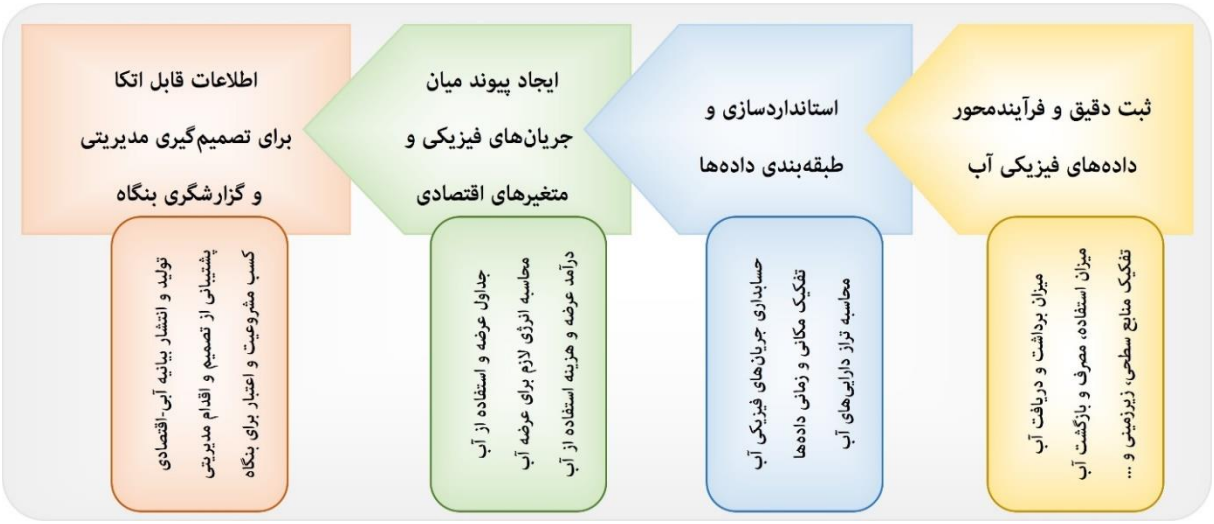
- مقیاس کلان مانند GPWA، WA+ و SEEA-W برای سیاست‌گذاری ملی و حوضه‌ای؛
- زنجیره ارزش مانند WFA و LCA برای ارزیابی محیط‌زیستی، و
- سطح بنگاه مانند MCA-WAF برای ثبت فرایندمحور جریان‌های آب.

این دسته‌بندی با تمرکز بر چالش‌های کلیدی صنایع ایران چون کمبود آب، هزینه‌های بالای تأمین و انتقال، تنش‌های اجتماعی با جوامع محلی و فشارهای نهادی برای کاهش مصرف انجام شد تا قابلیت هر چارچوب در پاسخگویی به این مسائل ارزیابی شود. علاوه‌براین، انتخاب حوزه تمرکز پژوهش (صنایع معدنی) می‌تواند بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای تحلیلی انجام شود که شامل شدت مصرف آب، اهمیت اقتصادی در ساختار صنعتی کشور، تنوع الگوهای مصرف آب در فرآیندهای تولید و میزان مواجهه با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی مرتبط با آب است. همچنین انتخاب شاخص‌های آبی-اقتصادی در این پژوهش مبتنی بر معیارهایی نظیر قابلیت ثبت دقیق جریان‌های فیزیکی آب، امکان برقراری پیوند با متغیرهای اقتصادی (هزینه و ارزش)، و توانایی پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی و گزارشگری در سطح بنگاه انجام شده است. این رویکرد تضمین می‌کند که چارچوب پیشنهادی صرفاً توصیفی نبوده و از پشتوانه تحلیلی و کاربردی برخوردار است.

نتایج این ارزیابی نشان داد که چارچوب حسابداری آب شورای معدنی استرالیا (MCA-WAF) از بالاترین قابلیت در ثبت دقیق جریان‌های فیزیکی آب در سطح فرایندهای عملیاتی برخوردار است و امکان ترسیم شبکه آب، تطبیق بیلان و استخراج شاخص‌های عملیاتی چون میزان آب مصرفی هر واحد به ازای تولید محصول و سهم منابع آب مختلف آب در واحدها را فراهم می‌کند. در مقابل، سیستم حسابداری محیط‌زیستی-اقتصادی برای آب (SEEA-W) با ارائه جداول عرضه و استفاده فیزیکی و پولی، بستر مناسبی برای تحلیل اقتصادی استفاده از آب، محاسبه هزینه تمام شده و استخراج شاخص‌هایی مانند بهره‌وری آب فراهم می‌سازد. بااین‌حال، هر یک از این دو چارچوب به‌تنهایی قادر به پاسخ‌گویی کامل به نیازهای اطلاعاتی بنگاه‌های صنعتی ایران نیستند.

در گام سوم، با اتکا به نتایج مراحل پیشین، یک مسیر مفهومی برای گذار از داده‌برداری فیزیکی آب به حسابداری آب بنگاه توسعه داده شد. نوآوری پژوهش حاضر، تلفیق هدفمند نقاط قوت MCA-WAF و SEEA-W و توسعه بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی بنگاه به عنوان خروجی تحلیلی پژوهش است (شکل ۱). این بیانیه به عنوان یک سازه مفهومی، فراتر از ثبت داده‌های فیزیکی، امکان تفسیر اقتصادی، اجتماعی و مدیریتی جریان‌های آب در سطح بنگاه را فراهم می‌آورد.

بیانیه پیشنهادی علاوه بر اجزای پایه MCA-WAF (مانند مرز سیستم، محدوده عملیاتی و شرایط اثرگذار بر مدیریت آب)، شامل شاخص‌های اقتصادی استخراج شده از منطق SEEA-W (هزینه تمام شده تأمین آب از منابع مختلف، هزینه آب مصرفی در واحدها و شاخص‌های کارایی) است. همچنین، به‌منظور بومی‌سازی چارچوب برای شرایط ایران، مؤلفه‌هایی مانند اثرگذاری بنگاه بر منابع آب منطقه، تعهدات اجتماعی مرتبط با آب و نقاط بالقوه مداخله برای کاهش مصرف و هزینه تأمین آب به آن افزوده شده است.



شکل ۱- مسیر گذار از داده‌برداری به سمت حسابداری آب بنگاه

به منظور درک بهتر از نحوه پیاده‌سازی و یافتن ظرفیت‌های مداخله در اجزاء روش پیشنهادی، ابتدا لازم است محوریت و تمایزهای MCA-WAF با سایر نظام‌های حسابداری آب تشریح شود. این چارچوب توصیه می‌کند در گام اول دیاگرام مفهومی شبکه آب با تجمیع واحدهایی با نوع فعالیت و کارکرد مشابه، ترسیم شود. سپس با در نظر گرفتن موقعیت واحدهای عملیاتی روی دیاگرام، محدوده عملیاتی روی این دیاگرام تعیین می‌شود. منظور از محدوده عملیاتی محدوده‌ای است که وسعت فعالیت واحدهای عملیاتی دخیل در فرایند استخراج، پردازش و تولید محصول در کل مجموعه تحت مدیریت بنگاه را نشان می‌دهد. تهیه دیاگرام کمی (دارای مقادیر حجم آب انتقالی) شبکه آب محدوده عملیاتی، گام دوم اجرای این چارچوب به شمار می‌رود. اکنون جدول اصلی جمع‌آوری داده‌ها در چارچوب حسابداری آب شورای معدنی استرالیا، نمایانگر میزان آب ورودی و خروجی به/از این محدوده است که در قالب جدول (۲) نمایش داده شده است. منظور از نوع داده در این جدول، اندازه‌گیری، شبیه‌سازی و تخمین داده‌ها و نیز سطح اطمینان، دسته‌بندی کیفی داده‌بردار یا مدل‌ساز از میزان صحت داده‌ها است که با بالا، متوسط یا پایین نمایش داده می‌شود. سایر جداول این چارچوب مانند صورت وضعیت‌های ورودی-خروجی، دقت داده‌برداری و کارایی آب در محدوده عملیاتی، باتوجه‌به این داده‌ها محاسبه و تدوین می‌شوند. چارچوب حسابداری مورد بحث در این مطالعه، علاوه بر مد نظر قرار دادن مقیاس فعالیت واحدهای عملیاتی با هدف تولید شاخص‌های آبی-تولیدی دقیق‌تر، به جای عرضه و استفاده، ورود و خروج آب را ملاک قرار می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، با فرض برابری مفاهیم استفاده و ورود آب برای یک مجموعه، این چارچوب با دسته‌بندی‌های جدول (۲) آب خروجی را به همراه تغییرات ذخیره مخازن در طرف دیگر تساوی در رابطه بیلان آب قرار می‌دهد. بنابراین، اختلاف دو طرف تساوی، میزان آبی را نشان می‌دهد که به این محدوده وارد شده اما از آن خارج نشده است که منتج به فهم ایراد در داده‌برداری و/یا تغییر در حجم مخازن در این محدوده می‌شود. پس از انجام هشت مرحله از این چارچوب و محاسبه و تدوین نتایج عددی در قالب جداول مختلف، تدوین بیانیه متنی اطلاعات مدیریت آب مجموعه آخرین مرحله‌ای است که به منظور تشریح وضعیت عملیاتی مجموعه، نحوه بهره‌برداری از منابع آب منطقه، چگونگی محاسبه و تدوین نتایج به‌کارگیری نظام حسابداری آب نگارش می‌شود. در بخش نتایج و بحث، با هدف دستیابی به چارچوب مناسبی که تولید کننده شاخص‌های مورد نیاز بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی است، به تعیین نقاط مداخله و اعمال تغییر در فرایند یا اصول این نظام حسابداری آب پرداخته می‌شود.

در ادامه با هدف ارزیابی اقتصادی نقش آب در زنجیره تولید محصولات، جداول عرضه و استفاده فیزیکی و اقتصادی، دارایی‌ها و ترازنامه‌های آبی محدوده مورد مطالعه، بااهمیت‌ترین جداولی هستند که SEEA-W به تدوین آنها توصیه می‌کند. در این پژوهش، باتوجه‌به استفاده از چارچوب MCA-WAF، جداولی مشابه با موارد نام‌برده تدوین و بررسی می‌شود. ازاین‌رو، فقط بعد اقتصادی این چارچوب، با جداول عرضه و استفاده فیزیکی به تفکیک کل منطقه، شرکت و محدوده عملیاتی نشان داده می‌شود. همچنین جداولی تحت عنوان جداول عرضه و استفاده هیبریدی، نسبت هزینه تمام شده آب از هر منبع تأمین، و نیز درآمد حاصل از عرضه آب از منابع مختلف با هدف ارزیابی ریسک اقتصادی و تأمین آب، تدوین می‌شوند.

دامنه این پژوهش مبتنی بر توضیح مفهومی نوین در حسابداری آب است و هدف آن ارائه و آزمون تجربی یک چارچوب کاربردی نیست، بلکه تبیین مسیر گذار و طراحی یک سازه تحلیلی برای استفاده در مطالعات و پیاده‌سازی‌های آینده است.

تمرکز مطالعه بر صنایع بزرگ و پرمصرف به‌ویژه صنایع معدنی بوده و تعمیم مستقیم نتایج به سایر بخش‌ها نیازمند تطبیق چارچوب با ویژگی‌های آن‌ها است.

همچنین اجرای عملی چارچوب پیشنهادی مستلزم دسترسی به داده‌های داخلی بنگاه‌ها با سطح دقت مناسب است که در شرایط واقعی می‌تواند با محدودیت‌هایی همراه باشد.

جدول ۲- نسخه خام جدول خلاصه داده‌های آب در چارچوب حسابداری آب شورای معدنی استرالیا (Mineral's Council of Australia، ۲۰۲۲)

جریان	منبع/ مقصد	دسته‌بندی	شرح	حجم	کیفیت آب	نوع داده	سطح اطمینان
ورودی عملیاتی	سطحی	بارش و رواناب رودخانه‌ها و نهرها منابع آب سطحی خارجی					
	زیرزمینی	برداشت از چاه زهکشی آب محبوس در ماده					
	دریا	مصب رودخانه دریا و اقیانوس					
	منبع ثالث	قرارداد با نهادهای دولتی پساب					
		مجموع					
خروجی عملیاتی	سطحی	تخلیه جریان‌های محیطی					
	زیرزمینی	نشت/ نفوذ تغذیه مصنوعی					
	دریا	مصب رودخانه دریا و اقیانوس					
	منبع ثالث	منبع ثالث					
	سایر	تبخیر آب محبوس در ماده اتلاف در عملیات					
		مجموع					
مخازن سایر آب‌های مدیریت شده انتقال‌های داخلی		تغییرات ذخیره آب موجود در مخازن					

نتایج و بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد خلأ اصلی در ادبیات حسابداری آب که پاسخگوی نیازهای جدید بنگاه‌های تجاری نیز باشد، نه کمبود داده‌های فیزیکی و نه فقدان چارچوب‌های مفهومی، بلکه نبود یک مسیر منسجم برای گذار از برداشت داده‌های آب به حسابداری آب بنگاه است. بر اساس تحلیل انجام شده، این گذار مستلزم چهار مؤلفه کلیدی است: ۱) ثبت دقیق، فرآیندمحور و مبتنی بر مرز عملیاتی داده‌های فیزیکی آب، ۲) استانداردسازی و طبقه‌بندی جریان‌های ورودی، خروجی و تغییرات ذخیره، ۳) اتصال نظام‌مند این جریان‌ها به متغیرهای اقتصادی نظیر هزینه استفاده و درآمد حاصل از عرضه آب، و ۴) ارائه نتایج در قالب شاخص‌ها و گزارش‌هایی که مستقیم در تصمیم‌گیری مدیریتی و گزارشگری قابل استفاده باشد.

نتایج بررسی چارچوب‌های مرسوم نشان می‌دهد که MCA-WAF بیشترین توانمندی را در پاسخ به مؤلفه نخست و دوم این گذار دارد. این چارچوب با تمرکز بر ترسیم شبکه مفهومی و کمی آب، تعیین محدوده عملیاتی و انطباق بیلان آب در سطح فرآیندها، امکان شناسایی دقیق نقاط برداشت، مصرف، بازچرخانی و اتلاف آب را فراهم می‌کند. با این‌حال، تحلیل نتایج نشان می‌دهد به‌تنهایی قادر به پاسخگویی به نیازهای اقتصادی و مدیریتی بنگاه‌ها نیست؛ زیرا پیوند روشنی میان جریان‌های فیزیکی آب و هزینه‌های عرضه، استفاده و ریسک‌های اقتصادی مرتبط برقرار نمی‌کند. در مقابل، SEEA-W ظرفیت بالایی در تحلیل اقتصادی آب، محاسبه بهره‌وری، هزینه تمام شده و استخراج شاخص‌های اقتصادی

مرتبط با مصرف آب دارد. با این‌حال، نتایج نشان می‌دهد این سیستم در سطح بنگاه، به دلیل اتکای محدود به داده‌های فرآیندمحور و جزییات عملیاتی، به‌تنهایی قادر به انعکاس واقعیت پیچیده شبکه آب در واحدهای صنعتی نیست. این محدودیت به‌ویژه در صنایع بزرگ و پرمصرف مانند صنایع معدنی که تنوع منابع تأمین و مسیرهای استفاده از آب بالاست، تشدید می‌شود.

تحلیل تطبیقی این دو چارچوب نشان داد که تلفیق قابلیت‌های MCA-WAF در ثبت دقیق جریان‌های فیزیکی با ظرفیت‌های تحلیلی SEEA-W در حوزه اقتصادی، می‌تواند مسیر گذار از داده‌برداری به حسابداری آب بنگاه را هموار کند. بااین‌وجود، این مطالعه تغییرات مفهومی و ساختاری زیر را با هدف انطباق با شرایط صنایع ایران و پر کردن جای خالی تولید شاخص‌های بومی ضروری می‌داند:

۱) در شرایطی که درآمد و هزینه در تدوین صورتحساب مالی برای یک بنگاه با هم برابر نمی‌شوند، ردیفی تحت عنوان درآمد گمشده یا هزینه بدون بازگشت ثبت می‌شود تا ترازنامه مالی صفر باشد که چنین عنوانی در جدول (۲) وجود ندارد. این مورد که به دلیل تغییر در حجم مخازن، داده‌برداری ضعیف یا کمبود داده به وجود می‌آید، اولین نقطه مداخله در این چارچوب به شمار می‌رود. به‌عنوان‌مثال افزودن ردیفی تحت عنوان آب تعیین تکلیف نشده، علاوه بر برقراری تساوی بین ورودی و خروجی، مقدار دقیق آبی که وضعیت مصرف آن مشخص نیست را نمایش می‌دهد.

۲) یکی از مهمترین تفاوت‌های واحدهای معدنی کشور ایران و استرالیا، نحوه فعالیت و پردازش سنگ استخراج شده در همان موقعیت معدن است. به‌این‌معنی که در استرالیا، واحدهای معدنی اغلب فقط وظیفه استخراج، دانه‌بندی و پردازش اولیه را بر عهده دارند؛ درحالی‌که مجتمع‌های صنعتی-معدنی فعال در ایران، علاوه بر امور نام برده، تولید کنسانتره و حتی محصول نهایی را نیز انجام می‌دهند. به‌عبارت‌دیگر، گستره فعالیت و تنوع واحدهای فعال در نزدیکی معادن ایران، بسیار بیشتر از استرالیا است. بنابراین بهتر است علاوه بر تنظیم بیلان محدوده عملیاتی، بیلان کل مجموعه نیز تهیه شود. در این صورت، شاخص‌هایی چون نسبت آب تأمین شده/مصرف شده برای/در محدوده عملیاتی به کل تأمین/مصرف آب قابل استخراج است. همچنین این مقایسه وضعیت مدیریت آب در کل سطح شرکت و تخصیص به واحدها و نقاط مختلف مصرف را بهتر نمایان می‌کند.

۳) محاسبه هزینه تمام شده آب از منابع مختلف (هم در کل سطح شرکت و هم در محدوده عملیاتی) و تولید محصولات توسط بنگاه، منجر به تولید مهمترین نتایج عددی از این نوع نظام حسابداری آب برای بنگاه‌های صنعتی-معدنی در ایران می‌شود. در زیر فهرستی از شاخص‌های آبی-اقتصادی که می‌تواند برای یک شرکت صنعتی-معدنی قابل استفاده باشد ارائه شده است:

- حجم تولید محصول
- حجم آب مصرف شده (مترمکعب)
- هزینه تمام‌شده آب (ریال)
- آب مصرفی به ازای تولید واحد محصول (مترمکعب بر تن)
- هزینه تمام شده آب به ازای تولید واحد محصول (ریال بر تن)

به‌منظور نمایش کاربرد چارچوب پیشنهادی در شرایط واقعی صنایع ایران، یک بنگاه صنعتی-معدنی فرضی در نظر گرفته می‌شود که سالانه ۱۲ میلیون تن کنسانتره تولید می‌کند. مصرف کل آب این مجموعه برابر با ۱۸ میلیون مترمکعب در سال و هزینه تأمین آب آن معادل ۵۴۰۰ میلیارد ریال فرض می‌شود. در جدول هیبریدی، به‌منظور تقویت تحلیل اقتصادی، درآمد بنگاه علاوه بر درآمدهای مرتبط با آب، درآمد حاصل از تولید محصولات را نیز در بر می‌گیرد تا امکان ارزیابی سهم هزینه‌ها و نقش آب در ساختار اقتصادی شرکت فراهم شود. در این سناریو، به دلیل محدودیت منابع محلی، بخش قابل توجهی از آب مصرفی از طریق انتقال از منابع خارج از سایت یا خرید از سایر واحدها تأمین می‌شود، به‌گونه‌ای که سهم آب دریافتی معادل ۱۲ میلیون مترمکعب و سهم برداشت مستقیم از منابع طبیعی محلی حدود ۶ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود.

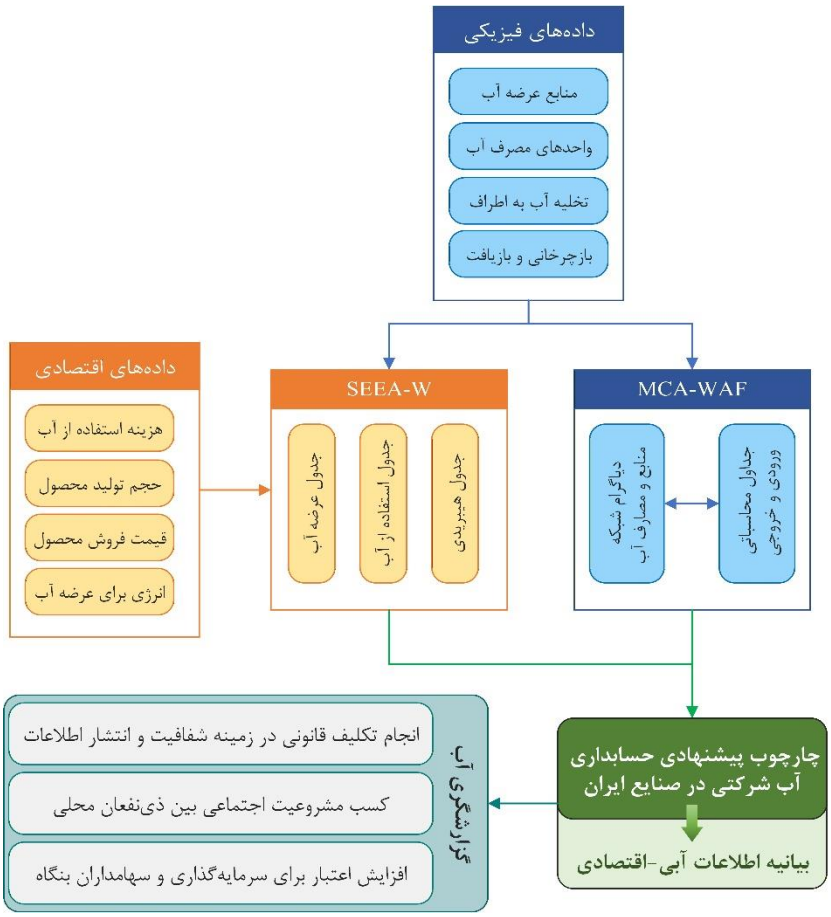
نتایج این سناریو نشان می‌دهد که وابستگی بالا به آب انتقالی، اگرچه از نظر تأمین فیزیکی آب راهکاری برای استمرار تولید در شرایط کم‌آبی محسوب می‌شود، اما ساختار هزینه بنگاه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌گونه‌ای که سهم هزینه آب انتقالی به‌مراتب بیشتر از سهم منابع طبیعی محلی بوده و به یکی از عوامل اصلی شکل دهنده هزینه تمام شده محصول تبدیل می‌شود. این موضوع اهمیت تحلیل هم‌زمان جریان‌های فیزیکی و اقتصادی آب را برجسته می‌کند.

جدول ۳- عرضه هیبریدی آبی-اقتصادی در یک شرکت صنعتی-معدنی (United Nations، ۲۰۱۲)

	داخل سایت									خارج سایت						جمع
	واحدهای عملیاتی			واحدهای غیرعملیاتی			واحدهای عملیاتی			واحدهای غیرعملیاتی						
	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی				
۱- درآمد حاصل از تولید (میلیارد ریال)	۷۵۰۰۰	-	-	۵۰۰۰			۳۵۰۰۰	-	-	۵۰۰۰						۱۲۰۰۰۰
۲- درآمد مرتبط با آب (میلیارد ریال)	-	۴۰۰	۸۰۰		۲۰۰		-	۱۰۰	۵۰		۵۰					۱۶۰۰
۲-الف- آب طبیعی	-	۴۰۰	۰		۲۰۰			۱۰۰	-	۰						۷۰۰
۲-ب- خدمات پساب/انتقال			۸۰۰	-				-	۵۰		۵۰					۹۰۰
۳- کل آب عرضه شده (میلیون مترمکعب)	-	۲	۵	۱			-	۰/۵	۱	۰/۵						۱۰
۳-الف- عرضه آب به سایر واحدهای اقتصادی	-	۰/۸	۲	۰/۷			-	۰/۳	۱/۲	۰/۵						۵/۵
۳-الف-۱- پساب	-	۰/۲	۰/۶	۰/۳			-	۰/۱	۰/۳	۰/۳						۱/۸
۳-ب- کل آب بازچرخانی شده	-	۱/۲	۳	۰/۳			-	۰/۲	۰/۸	-						۵/۵

جدول ۴- استفاده هیبریدی آبی-اقتصادی در یک شرکت صنعتی-معدنی (United Nations، ۲۰۱۲)

	داخل سایت						خارج سایت						جمع
	واحدهای عملیاتی			واحدهای غیرعملیاتی			واحدهای عملیاتی			واحدهای غیرعملیاتی			
	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	تولید محصول	آب طبیعی	آب انتقالی	
۱- هزینه تولید (میلیارد ریال)	۵۸۰۰۰	-	-	۱۲۰۰۰			۱۲۰۰۰	-	-	۸۰۰۰			۹۰۰۰۰
۲- هزینه مرتبط با آب (میلیارد ریال)	-	۱۱۰۰	۲۵۰۰		۷۰۰		-	۲۰۰	۳۰۰		۶۰۰		۵۴۰۰
۲-الف- آب طبیعی	-	۱۱۰۰	-		۷۰۰		-	۲۰۰	-	-			۲۰۰۰
۲-ب- خدمات پساب/انتقال	-	-	۲۵۰۰	-			-	-	۳۰۰		۶۰۰		۳۴۰۰
۳- کل آب استفاده شده (میلیون مترمکعب)	-	۳/۵	۹/۵		۲/۵		-	۰/۵	۱/۵	۰/۵			۱۸
۳-الف- برداشت (زیرزمینی)	-	۳/۵	-		۲		-	۰/۳	-	۰/۲			۶
۳-ب- آب دریافتی (انتقالی)	-	-	۹/۵		۰/۵		-	۰/۲	۱/۵	۰/۳			۱۲



شکل ۲- مسیر مفهومی تلفیق MCA-WAF و SEEA-W برای حسابداری آب شرکتی در صنایع ایران

در این چارچوب، ابزار پیشنهادی می‌تواند با شناسایی نقاط پرهزینه، ارزیابی گزینه‌های جایگزین تأمین آب و کاهش وابستگی به منابع انتقالی، نقش مؤثری در بهبود تصمیم‌گیری مدیریتی و مدیریت ریسک ایفا کند. این الگو با شرایط بسیاری از صنایع معدنی ایران که به منابع آب انتقالی وابسته‌اند، هم‌خوانی دارد.۴) اکنون با استفاده از خروجی‌های بیلان فیزیکی و هزینه تمام‌شده آب در مقیاس کل بنگاه و محدوده عملیاتی، جداول SEEA-W را می‌توان تحت تأثیر از این تغییرات ترسیم کرد. در این صورت ضمن صرف نظر کردن از تدوین جداول عرضه و استفاده فیزیکی از آب با توجه به تکرار آن مفاهیم در MCA-WAF، جدول‌های (۳) و (۴) تحت عنوان جداول هیبریدی عرضه و استفاده با قرار دادن درآمد و هزینه آب متناظر با هر منبع بهترین معیارهای تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت آب را برای مدیران فراهم می‌کنند. به منظور نمایش نحوه کاربرد جداول، یک نمونه عددی مبتنی بر داده‌های فرضی اما واقع‌بینانه برای یک بنگاه صنعتی-معدنی ایرانی در سال‌های اخیر در جداول مزبور ارائه شده است.

۵) نوآوری پژوهش یعنی توسعه بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی شرکت نیز شامل محتوای پایه MCA-WAF (مرز سیستم، تأسیسات عملیاتی، شرایط تأثیرگذار)، شاخص‌های فیزیکی MCA-WAF (مصرف آب به ازای تولید محصول، سهم منابع در تخصیص به واحدها) و شاخص‌های اقتصادی SEEA-W (هزینه تمام‌شده تأمین از منابع مختلف، هزینه آب مصرفی در واحدها) است (شکل ۲).

در نهایت به منظور بومی‌سازی این نظام حسابداری آب و پاسخ به چالش‌های گریبانگیر صنایع ایران، بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی تولید شده علاوه بر محتوای بیانیه پایه MCA-WAF، باید موارد زیر را نیز دربرگیرد:

۱) اثر بهره‌برداری بنگاه بر منابع آب منطقه (برای پاسخ به اعتراضات محلی)؛
۲) مسئولیت‌های اجتماعی مرتبط با آب (مانند تعهد به جوامع محلی و کاهش مصرف)؛
۳) هزینه تمام شده آب و صرفه‌جویی فیزیکی-اقتصادی (برای مدیریت ریسک)؛
۴) شاخص‌های کارایی استخراج شده از بیلان عملیاتی و نقشه‌های شبکه آب.

علاوه بر تغییرات لازم در پیاده‌سازی این رویکرد حسابداری آب، برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که چارچوب ارائه شده در این پژوهش در قالب مطالعات موردی در صنایع مختلف مورد آزمون تجربی قرار گیرد و با استفاده از داده‌های واقعی، کارایی و قابلیت اجرایی آن ارزیابی شود. همچنین توسعه شاخص‌های تکمیلی متناسب با ویژگی‌های صنایع

مختلف، بررسی ارتباط حسابداری آب با عملکرد مالی بنگاه‌ها، تطبیق چارچوب با شرایط کشور و شناخت محدودیت‌های پیاده‌سازی در ایران بیش از آنچه در ادامه آورده می‌شود، می‌تواند از محورهای مهم پژوهش‌های آینده باشد.

تطبیق چارچوب با شرایط ایران

پیاده‌سازی چارچوب‌های حسابداری آب در صنایع ایران، علاوه بر ابعاد فنی، به‌طور جدی تحت تأثیر شرایط اقتصادی، نهادی و اجتماعی قرار دارد. محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها و نوسانات اقتصادی، هزینه تأمین آب از منابع جایگزین مانند انتقال بین‌حوضه‌ای یا شیرین‌سازی را افزایش داده و ضرورت شفاف‌سازی هزینه واقعی آب را پررنگ‌تر می‌سازد. در سطح نهادی نیز، اگرچه حرکت‌هایی به سمت افزایش شفافیت صورت گرفته، اما هنوز نظام یکپارچه و استانداردی برای گزارشگری آب در سطح بنگاه وجود ندارد و داده‌های موجود بیشتر کارکرد عملیاتی دارند. در این چارچوب، مدل پیشنهادی با ارائه «بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی» می‌تواند پیوند میان داده‌های فیزیکی و تحلیل اقتصادی را تقویت کرده و خلأ تصمیم‌سازی مدیریتی را کاهش دهد. همچنین در بسیاری از مناطق معدنی ایران، ریسک‌های اجتماعی مرتبط با آب به یک چالش جدی تبدیل شده است. در این شرایط، شفاف‌سازی میزان برداشت، استفاده و اثرگذاری بنگاه بر منابع آب منطقه می‌تواند به کاهش تنش‌های محلی و بهبود تعامل با ذی‌نفعان کمک کند.

چالش‌های پیاده‌سازی در ایران

با وجود مزایای چارچوب پیشنهادی، پیاده‌سازی آن در صنایع ایران با محدودیت‌هایی همراه است. نخست، هزینه‌های استقرار زیرساخت‌های دقیق داده‌برداری و پایش جریان‌های آب می‌تواند برای برخی بنگاه‌ها، به‌ویژه در کوتاه‌مدت، قابل توجه باشد. دوم، در برخی سازمان‌ها، داده‌های مرتبط با مصرف آب به‌عنوان اطلاعات محرمانه تلقی شده و تمایل کمتری به اشتراک‌گذاری یا تحلیل آن در سطوح مدیریتی وجود دارد. استقرار موفق چارچوب پیشنهادی نیازمند تغییر نگرش نسبت به آب از یک نهاده صرفاً عملیاتی به یک متغیر راهبردی است. سوم، محدودیت در دسترسی به داده‌های دقیق و قابل اتکا همچنان یکی از چالش‌های اصلی محسوب می‌شود؛ زیرا در بسیاری از واحدهای صنعتی ثبت داده‌های آب یا کامل نیست یا از سطح دقت کافی برخوردار نیست. در نهایت، نبود استانداردهای بومی و دستورالعمل‌های اجرایی مشخص می‌تواند موجب ناهمگونی در پیاده‌سازی شود و ضرورت تدوین چارچوب‌های راهنما را برجسته می‌سازد.

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش فشار بر منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مدیریت آب را برای بنگاه‌های صنعتی از یک موضوع صرفاً فنی به یک مسئله راهبردی تبدیل کرده است. در صنایع معدنی ایران که هم پرمصرف‌اند و هم با تنش‌های اجتماعی و فشارهای نهادی روبه‌رو هستند، این مسئله ملموس‌تر است. با این حال، داده‌های برداشت، مصرف و تخلیه آب در بیشتر بنگاه‌ها برای اهداف عملیاتی یا در پاسخ به الزامات نظارتی گردآوری می‌شوند و به اطلاعاتی که بتوان بر پایه آن تصمیم مدیریتی گرفت، تبدیل نمی‌شوند. پرسش این پژوهش نیز همین بود: مسیر گذار از داده‌برداری فیزیکی به حسابداری آب بنگاه چیست؟

مرور مفهومی-تحلیلی چارچوب‌ها در سه سطح کلان، زنجیره ارزش و بنگاه نشان داد که خلأ اصلی ادبیات نه کمبود داده است و نه نبود چارچوب نظری. آنچه کم است، پیوند نظام‌مند جریان‌های فیزیکی آب با متغیرهای اقتصادی و ساختار حسابداری بنگاه است. چارچوب‌های کلان مانند GPWA، WA+ و SEEA-W به حوضه و اقتصاد ملی نگاه می‌کنند. رویکردهای WFA و LCA نیز به شاخص‌های تجمیعی می‌رسند که برای مقایسه محصولات مفید هستند، اما برای تصمیم‌گیری در سطح یک بنگاه شفافیت کافی ندارند. از همین‌جا ضرورت تلفیق MCA-WAF و SEEA-W روشن می‌شود. MCA-WAF با ترسیم شبکه آب، تعیین محدوده عملیاتی و انطباق بیلان بر مبنای ورود و خروج، دقیق‌ترین ثبت فرایندمحور جریان‌های فیزیکی را فراهم می‌کند، اما پیوندی میان این جریان‌ها و هزینه یا ریسک اقتصادی برقرار نمی‌سازد. در مقابل، SEEA-W با جداول عرضه و استفاده فیزیکی و پولی، بستر مناسبی برای محاسبه هزینه تمام شده و بهره‌وری آب دارد، ولی در سطح بنگاه و به‌ویژه در صنایع بزرگ با تنوع بالای منابع تأمین، از انعکاس پیچیدگی شبکه آب ناتوان می‌ماند. هیچ‌یک از این دو به‌تنهایی نیازهای اطلاعاتی بنگاه‌های معدنی ایران را پوشش نمی‌دهد، اما ضعف هرکدام را دیگری جبران می‌کند.

خروجی جدید چارچوب پیشنهادی، «بیانیه اطلاعات آبی-اقتصادی» بنگاه است. این بیانیه علاوه بر محتوای پایه MCA-WAF، یعنی مرز سیستم، تأسیسات عملیاتی و شرایط اثرگذار، شاخص‌های اقتصادی SEEA-W را نیز در بر می‌گیرد: هزینه تمام شده تأمین از منابع مختلف، هزینه آب مصرفی در واحدها و شاخص‌های کارایی. برای بومی‌سازی، چهار مؤلفه به آن افزوده شده است: اثر بهره‌برداری بنگاه بر منابع آب منطقه، مسئولیت‌های اجتماعی مرتبط با آب، هزینه تمام شده آب و صرفه‌جویی فیزیکی-اقتصادی، و شاخص‌های کارایی برآمده از بیلان عملیاتی و نقشه‌های شبکه آب. همچنین افزودن ردیف «آب تعیین تکلیف نشده» و تهیه بیلان کل مجموعه در کنار بیلان محدوده عملیاتی، باتوجه‌به گستره فعالیت مجتمع‌های صنعتی-معدنی ایران که تا تولید کنسانتره و محصول نهایی ادامه دارد، از دیگر تغییرات ساختاری این چارچوب است.

کاربرد این چارچوب برای صنایع معدنی ایران در چند سطح قابل بحث است. مثال عددی فرضی پژوهش، بنگاهی با تولید

سالانه ۱۲ میلیون تن کنسانتره، مصرف ۱۸ میلیون مترمکعب آب و ۱۲ میلیون مترمکعب آب دریافتی از خارج از سایت را در نظر گرفت. نتیجه نشـــان داد که وابســـتگی به آب انتقالی، اگرچه اســـتمرار تولید را در شـــرایط کم‌آبی ممکن می‌کند، ساختار هزینه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و به یکی از عوامل اصلی هزینه تمام شده محصول بدل می‌شود. چنین تحلیلی تنها با بررسی هم‌زمان جریان‌های فیزیکی و اقتصادی ممکن است و به مدیر کمک می‌کند نقاط پرهزینه را بشناسد، گزینه‌های جایگزین تأمین را بسنجد و ریسک را مدیریت کند. از سوی دیگر، شفاف‌سازی میزان برداشت و اثرگذاری بنگاه بر منابع آب منطقه می‌تواند تنش با جوامع محلی را کاهش دهد و مشروعیت اجتماعی و پاسخ‌گویی را ارتقا بخشد.

محدودیت اصلی پژوهش، ماهیت مفهومی آن است. چارچوب پیشـنهادی بر مرور تحلیلی و یک نمونه عددی فرضـی اسـتوار اسـت و هنوز با داده‌های واقعی آزمون نشـده اسـت. اجرای آن نیز به داده‌های داخلی بنگاه با دقت کافی نیاز دارد، در حالی که در بسـیاری از واحدهای صـنعتی ثبت داده‌های آب ناقص اسـت یا دقت لازم را ندارد. هزینه اسـتقرار زیرسـاخت پایش، نگاه محرمانه به داده‌های آب و نبود اســـتانداردهای بومی گزارشـــگری نیز بر این محـدودیـت می‌افزاینـد. گـام بعـدی پژوهش، آزمون تجربی چارچوب در قالب مطالعات موردی در صـــنایع مختلف با داده‌های واقعی اســـت تا کارایی و قابلیت اجرایی آن ســـنجیده شـــود. توســـعه شـــاخص‌های تکمیلی متناسب با ویژگی هر صنعت، بررسی ارتباط حسابداری آب با عملکرد مالی بنگاه‌ها و تدوین راهنماهای اجرایی بومی نیز از محورهای مهم پژوهش‌های آینده است.

از ســوی دیگر، در ایران نیز مطالعات مرتبط اغلب به مدیریت منابع آب در ســـطح حوضـــه‌های آبریز یا بخش کشـــاورزی پرداخته‌اند و کاربرد حســـابداری آب در صـــنایع بزرگ و پرمصـــرفی همچون معادن کمتر مورد توجه قرار گرفته اســـت. برای نمونـه، در دشـــت رفســـنجـان چـارچوب SEEA-W بومی‌سازی شده و داده‌ها در جداول عرضه و استفاده فیزیکی، عرضـه و اسـتفاده هیبریدی و حساب‌های دارایی سازمان‌دهی شـده‌اند تا شـاخص‌هایی برای سـنجش آسـیب‌پذیری نظام آب در ابعاد منابع آب، اقتصـــادی و اجتماعی به دســـت آید، اما مقیاس تحلیل در این کار دشت بوده و بنگاه نیست (Bagheri و Babaeian، ۲۰۲۰). این محـدودیـت در مطـالعـات تجربی افشـــای ریســـک آب نیز دیده می‌شـــود؛ بررســـی گزارش‌های شش‌ساله ۵۸ شرکت بین‌المللی بخش کالاهای مصرفی نشان داده است که اهداف بهبود اعلام شده معمولاً از دستاوردهای گذشـــته جاه‌طلبانه‌تر نیســـتند، ریســـک آب بیش از آنکه مسئله‌ای عملیاتی باشد سیاسی تلقی می‌شود و برداشت رایج از بهترین رویـه، وضـــع موجود را تثبیـت می‌کنـد (Money، ۲۰۱۴).

منابع

Bagheri, A., & Babaeian, F. (2020). Assessing water security of Rafsanjan Plain, Iran – Adopting the SEEA framework of water accounting. Ecological Indicators, 111, 105959. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105959

Bartelmus, P. (2013). Environmental–Economic Accounting: Progress and Digression in the SEEA Revisions. Review of Income and Wealth, 60(4), 887–904. https://doi.org/10.1111/roiw.12056

Batchelor, C., Hoogeveen, J., Faurès, J.-M., & Peiser, L. (2016). Water Accounting and Auditing: A Sourcebook FAO Water Reports, no. 43. Rome, Italy.

Brooke Barton, C. (2010). Murky Waters? Corporate Reporting on Water Risk. Ceres. Boston, United States.

Burritt, R. L., & Christ, K. L. (2017). The need for monetary information within corporate water accounting. Journal of Environmental Management, 201, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.035

Chalmers, K., Godfrey, J., & Potter, B. (2012). Discipline-Informed Approaches to Water Accounting. Australian Accounting Review, 22(3), 275–285. https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2012.00175.

Chenery, H. B., Robinson, S., & Syrquin, M. (1986). Industrialization and growth: a comparative study. The World bank. Washington. DC, United States.

Cote, C. M., Moran, C. J., Cummings, J., & Ringwood, K. (2009). Developing a water accounting framework for the Australian minerals industry. Mining Technology, 118(3-4), 162–176. https://doi.org/10.1179/174328610X12682159814948

Danoucaras, A., & Woodley, A. (2013). Alignment and differences between the Australian Water Accounting Standard and the Water Accounting Framework for the Minerals Industry. Proceedings of the 2013 Water in Mining Conference, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, AusIMM, Australia.

Industrial Ecology, 5, 37–54. https://doi.org/10.1162/108819801528301 23

Hamilton, R. and Thomas, R. (2017). Practical Guide to Consistent Water Reporting. International Council on Mining & Metals (ICMM). United States.

Schornagel, J., Niele, F., Worrell, E., & Böggemann, M. (2012). Water accounting for (agro)industrial operations and its application to energy pathways. Resources, Conservation and Recycling, 61, 1–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.011

United Nations. (2012). SEEA-Water: System of Environmental-Economic Accounting for Water. UN. United Nations. New York, United States.

Global Reporting Initiative (2013). Sustainability Reporting Guidelines: Reporting Principles and Standards Disclosures. Global Reporting Initiative. Amsterdam, The Netherlands.

The World Economic Forum. The Global Risks Report 2021. (2021). Geneva, Switzerland. https://www.weforum.org/publications/the-global-risks-report-2021/

Vardon, M. J., Le, T. H. L., Martinez-Lagunes, R., Pule, O. B., Schenau, S., May, S., & Grafton, R. Q. (2025). Accounting for water: A global review and indicators of best practice for improved water governance. Ecological Economics. 227, 108396. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108396

World Business Council for Sustainable Development (2012). Water for Business: Initiatives Guiding Sustainable Water Management in the Private Sector. World Business Council for Sustainable Development Washington DC, Unites States.

پی‌نوشت‌ها

1- Global Reporting Initiative

2- International Council on Mining and Metals

3- World Business Council for Sustainable Development

4- International Water Management Institute

5- General Purpose Water Accounting

Fakhari, H., & Asnad, F. (2025). Examining the Simultaneous Relationship Between Corporate Water Reporting and Corporate Reputation: Evidence from Tehran Stock Exchange Listed Companies. Corporate Reputation Review. https://doi.org/10.1057/s41299-025-00226-5

Fonseca, A., McAllister, M. L., & Fitzpatrick, P. (2014). Sustainability reporting among mining corporations: a constructive critique of the GRI approach. Journal of Cleaner Production, 84, 70–83. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.050

Garstone, R., Gill, C., Moliere, D., Yang, D., Bende-Michl, U., & Fiddes, P. (2017). Accounting for water in the minerals industry: Capitalising on regulatory reporting. Water Resources and Industry, 18. 51-59. https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.07.002

Grafton, R. Q. H., K. (2011). Water Resources Planning and Management. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.

Hoekstra, A., & Chapagain, A. (2007). Water Footprints of Nations: Water Use by People as a Function of Their Consumption Pattern. Water Resources Management, 21, 35–48. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5591-1_3

Minerals Council of Australia (MCA). (2022). Minerals Industry Water Accounting Framework: User Guide Version. Minerals Council of Australia (MCA). Sydney, Australia

Molden, D. (1997). Accounting for Water Use and Productivity. International Irrigation Management Institute (IIWMI). Colombo, Sri Lanka.

Molden, D., & Sakthivadivel, R. (1999). Water accounting to assess use and productivity of water. International Journal of Water Resources Development, 15, 55–71. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/07900629948934

Money, A. (2014). Corporate Water Risk: A Critique of Prevailing Best Practice. Journal of Management and Sustainability, 4, 42–42. https://doi.org/10.5539/jms.v4n1p42

Owens, J. (2008). Water Resources in Life-Cycle Impact Assessment: Considerations in Choosing Category Indicators. Journal of

9- Life Cycle Assessment
10- Australian Water Accounting Standard
11- Mineral's Council of Australia Water Accounting Framework

6- Water Accounting +
7- System of Environmental-Economic Accounting for Water
8- Water Footprint Accounting

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 75 to 84

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۷۵ تا ۸۴

Document Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Estimating the Economic Value of Water in the Industrial Sector: A Case Study of the Basic Metals and Non-Metallic Mineral Products Industries

S. Jahangiri[1*], M. R. Nazari[2]

1, 2- M.Sc. Graduate in Environmental Education and Assistant Professor, Department of Resources and Environmental Economics, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran. Iran.

*** Corresponding, Author Email:** Mo_nazari@sbu.ac.ir

Received ▶ 03-02-2026
Revised ▶ 26-07-2026
Accepted ▶ 27-07-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

Given the increasing scarcity of water resources and its vital role as an input in industrial production processes, this study estimates the economic value of water in two industries: the manufacture of basic metals and the manufacture of non-metallic mineral products. The research employs the production function approach based on the panel data econometric framework, using data from the Statistical Center of Iran for industrial establishments with 10 or more employees over the period 2004-2020 across six provinces, namely Khuzestan, Kermanshah, Kurdistan, Lorestan, Markazi, and Hamedan.The results indicate that the economic value of one cubic meter of water in the manufacture of non-metallic mineral products is estimated at 2,882.96 thousand Rials, while in the manufacture of basic metals it is approximately 1,380.2 thousand Rials. In contrast, the production cost of one cubic meter of water is approximately 64.6 thousand Rials, whereas the tariff paid by industrial users is only 27.0 thousand Rials per cubic meter. These figures reveal a substantial gap between the actual economic value of water in the industrial sector, its production cost, and the tariff paid by industries. Specifically, the average ratio of the economic value of water to its production cost in the industrial sector is 33, while the ratio of the water tariff paid to its economic value is less than 1.27%. These findings highlight the necessity of reforming the water pricing system and promoting the efficient use of water resources in order to reduce water consumption and improve water productivity in the industrial sector.

Keywords: Economic Value, Production Function, Water Tariff, Metal and Non-Metal Industries, Iran.

برآورد ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت: مطالعه موردی صنایع تولید فلزات پایه و فرآورده‌های معدنی غیرفلزی

صدف جهانگیری[۱]، محمدرضا نظری[۲*]

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آموزش محیط‌زیست و استادیار گروه اقتصاد منابع و محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** Mo_nazari@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت ◀ ۱۴۰۴/۱۱/۱۴
تاریخ بازنگری ◀ ۱۴۰۵/۰۵/۰۴
تاریخ پذیرش ◀ ۱۴۰۵/۰۵/۰۵
تاریخ انتشار ◀ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

با توجه به کمیابی روزافزون منابع آبی و نقش حیاتی آن به عنوان یک نهاده در فرآیندهای تولید بخش صنعت، در این پژوهش به برآورد ارزش اقتصادی آب در دو صنعت تولید فلزات پایه و فرآورده‌های معدنی غیرفلزی پرداخته شده است. این تحقیق با استفاده از روش تابع تولید و بر اساس رهیافت اقتصادسنجی داده‌های تلفیقی و با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر (دوره زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۹) در سطح ۶ استان کشور شامل خوزستان، کرمانشاه، کردستان، لرستان، مرکزی و همدان انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در صنعت تولید فرآورده‌های معدنی غیرفلزی معادل ۲۸۸۲/۹۶ هزار ریال و در صنعت تولید فلزات پایه حدود ۱۳۸۰/۲ هزار ریال می‌باشد. این در حالی است که بهای تمام‌شده هر مترمکعب آب در حدود ۶۴/۶ هزار ریال و تعرفه پرداختی صنعت برای هر مترمکعب آن تنها ۲۷/۰ هزار ریال می‌باشد. این ارقام نشان‌دهنده وجود یک شکاف قابل‌توجه بین ارزش واقعی اقتصادی آب در بخش صنعت با قیمت تمام شده و همچنین با تعرفه پرداختی توسط صنایع است. به‌طور خاص، میانگین نسبت ارزش اقتصادی آب به بهای تمام‌شده آن در بخش صنعت معادل ۳۳ بوده و نسبت تعرفه پرداختی برای آب به ارزش اقتصادی آن کمتر از ۱/۲۷ درصد می‌باشد. این یافته‌ها بر لزوم اصلاح نظام تعرفه‌گذاری و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی به منظور کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری آن در بخش صنعت تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزش اقتصادی، تابع تولید، تعرفه آب، صنایع فلزی و غیرفلزی، ایران.

How to cite this article:

Jahangiri, S. and Nazari, M. R. (2026). Estimating the Economic Value of Water in the Industrial Sector: A Case Study of the Basic Metals and Non-Metallic Mineral Products Industries. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 75-84. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2. 2602-1496

مقدمه

بحران جهانی کمبود آب، یکی از اساسی‌ترین چالش‌ها در راستای نیل به توسعه اقتصادی-اجتماعی و تحقق اهداف توسعه پایدار شناخته می‌شود (Dolan و همکاران،۲۰۲۱). این بحران در نتیجه رشد سریع جمعیت، افزایش مصرف سرانه، گسترش شهرنشینی و توسعه فعالیت‌های کشاورزی، به یک چالش چندبعدی و پیچیده بدل شده است (Zare و همکاران، ۲۰۲۲) که تحقق توسعه پایدار را به‌طور جدی با تهدید مواجه می‌سازد (Maaboudi و Hasanvand، ۲۰۱۹). از آنجا که آب منبعی چندکارکردی با هزینه‌های بالا و اثرات خارجی گسترده است، مدیریت پایدار آن مستلزم توسعه چارچوب‌های نهادی کارآمد و به‌کارگیری ابزارهای اقتصادی برای بهینه‌سازی تخصیص این منبع کمیاب می‌باشد.

کمیابی منابع آبی و ناتوانی انسان در تولید و جایگزینی آن بر خلاف دیگر نهاده‌ها، موجب شده است که فاصله بین عرضه و تقاضای آب به ویژه در دهه‌های اخیر به شدت زیاد شده و در بیشتر مناطق جهان کمبود عرضه به وجود آید (بلالی و کسبیان، ۱۴۰۱). در این میان، یکی از پرسش‌های کلیدی در سیاست‌گذاری آب آن است که منابع محدود آب چگونه باید میان فعالیت‌های مختلف تولیدی تخصیص یابد تا حداکثر کارایی و منفعت اقتصادی حاصل شود. نیل به این هدف مستلزم آگاهی دقیق از مقدار منابع، الگوهای مصرف (Tobarra-González،۲۰۱۸)، و به‌ویژه اطلاع از ارزش اقتصادی آب در بخش‌های مختلف رقیب در مصرف است؛ دانشی که می‌تواند زیربنای تصمیم‌گیری‌های اثربخش در سطوح بنگاه تا حوضه آبریز را فراهم آورد. با وجود این اهمیت، تصمیم‌گیری‌های گذشته در ایران متاسفانه عمدتاً مبتنی بر اطلاعات ناکافی از ارزش اقتصادی آب بوده‌اند و به‌ویژه در بخش صنعت، خلأ داده‌های دقیق و قابل اعتماد مشهود است.

از این‌رو ارزش‌گذاری اقتصادی آب در بخش صنعت به دلیل تشدید بحران منابع آب و پیش‌بینی تغییر روند تخصیص به نفع بخش‌های شرب و صنعت، اهمیت فزاینده‌ای دارد (Eslami و Rahimi، ۲۰۱۹). این اطلاعات علاوه بر تسهیل تصمیم‌گیری‌های تخصیصی، می‌تواند مبنای علمی و اقتصادی برای سیاست‌گذاری‌های قیمتی نیز فراهم کند (خیابانی و همکاران، ۱۳۹۶)، به‌ویژه آنکه بخش صنعت به دلیل توان مالی بالاتر، ظرفیت به مراتب بالاتری نسبت به بخش‌های کشاورزی و شرب در پذیرش اصلاحات قیمتی دارد. در شرایطی که قیمت‌گذاری کنونی به دلیل اعطای یارانه‌ها (Marston و Cai،۲۰۱۶؛ Abounoori و Mehrali،۲۰۱۲) و نبود تقارن اطلاعاتی، بازتاب‌دهنده ارزش واقعی منابع نیست، استفاده از شاخص‌های دقیق‌تر ضروری می‌نماید. همچنین، کمبود داده‌های معتبر درباره ارزش آب در بخش صنعت، مانعی جدی برای سیاست‌گذاری اثربخش و مشارکت فعال بخش خصوصی در پروژه‌های مدیریت منابع آب ایجاد کرده است (باقری و شوریان ،۱۴۰۴). در این راستا برخی مطالعات نشان می‌دهند که در مدیریت منابع آب صنعتی، توجه به تفاوت‌های بخشی و منطقه‌ای در ارزش و بهره‌وری آب ضروری است. برای مثال در کره جنوبی، نتایج تحلیل ارزش اقتصادی آب در صنایع مختلف بر لزوم تعرفه‌گذاری هدفمند تأکید دارد (Ku و Yoo، ۲۰۱۲). در چین، اثربخشی بالاتر سیاست‌های تشویقی نسبت به محدودیت‌های زیست‌محیطی برجسته شده است (Fei و همکاران، ۲۰۱۹). Mardones و Orellana (۲۰۲۳) با برآورد تابع ترانسلوگ برای صنایع شیلی نشان دادند که کشش قیمتی تقاضای آب در این بخش بالا بوده (۱/۱) و سیاست تعرفه‌گذاری می‌تواند ابزاری مؤثر برای کاهش مصرف آب صنعتی باشد. به‌طور مشابه، Tehami Pour (۲۰۱۷) با برآورد ارزش اقتصادی آب در صنایع شیمیایی ایران، اختلاف معناداری میان ارزش واقعی (۳۷۰۷۱ ریال) و هزینه پرداختی (۵۶۸۵ ریال) گزارش کرده است و بر نقش کلیدی تعرفه‌گذاری هدفمند در مدیریت تقاضای آب صنعتی تأکید شده است. Fahimi و همکاران (۲۰۱۸) با ارزش‌گذاری اقتصادی خدمات بوم‌نظام رودخانه زاینده‌رود، نشان دادند که اختلاف چشم‌گیری میان ارزش واقعی آب و قیمت پرداختی آن، به‌ویژه در بخش کشاورزی، وجود دارد. این مطالعه بر ضرورت اصلاح تدریجی قیمت آب و افزایش بهره‌وری مصرف به‌ویژه در صنایع آب‌بر مانند فولاد تأکید دارد که هدف اصلی آن، بهبود تخصیص منابع آب و ارتقای کارایی در استفاده از آن از طریق سیاست‌گذاری قیمتی است.

برخی مطالعات دیگر نیز در سطح جهانی در رابطه با ارزش‌گذاری اقتصادی آب در صنایع مختلف و به روش‌های متفاوتی انجام شده است که نتایج آن‌ها ضمن تأکید بر نقش نسبی آب در رشد تولید بخش صنعت، ضرورت اصلاح سیاست‌های تعرفه‌گذاری بخش آب را به‌عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری منطقه‌ای و تنظیم ارزش‌محور آب در شرایط کم‌آبی ارائه می‌دهند (Wang و همکاران، ۲۰۲۴؛ Renzetti و Dupont، ۲۰۰۳؛ Jia و همکاران،۲۰۰۶؛ Valdivia Alcalá و همکاران، ۲۰۱۱؛ Vásquez-Lavín و همکاران، ۲۰۲۰؛ Rodríguez و همکاران، ۲۰۲۱). این برآوردها ابزار تحلیلی دقیقی برای سیاست‌گذاران در جهت طراحی تعرفه‌گذاری هوشمند، بهینه‌سازی تخصیص و افزایش بهره‌وری مصرف آب صنعتی فراهم می‌سازد.

پژوهش حاضر با هدف پرکردن این خلأ، به برآورد ارزش اقتصادی آب در مصارف صنعتی فلزات پایه و فراورده‌های معدنی غیرفلزی می‌پردازد. یافته‌های این مطالعه می‌توانند به‌عنوان مبنایی علمی برای تحلیل‌های تخصیص بهینه منابع آب، سیاست‌گذاری در حوزه قیمت‌گذاری در سطح بخشی و منطقه‌ای، و همچنین در توجیه اقتصادی و مالی طرح‌های تأمین آب برای بخش صنعت مورد استفاده قرار گیرند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل شش استان لرستان، همدان، کرمانشاه، کردستان، خوزستان و مرکزی است که در بخش غربی کشور و در منطقه زاگرس میانی واقع شده‌اند (شکل ۱). این ناحیه به دلیل منابع معدنی، صنایع نفت و گاز، پتروشیمی، کشاورزی و صنایع تبدیلی، از قطب‌های صنعتی کشور محسوب می‌شود. از نظر جغرافیایی، این منطقه در دامنه‌های رشته‌کوه زاگرس قرار داشته و با داشتن رودخانه‌های پرآب و مجاور با مرزهای غربی، اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی ویژه‌ای دارد.



شکل ۱- محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

روش شناسی پژوهش

آب به‌عنوان یک نهاده اساسی در فرایندهای تولید صنعتی، نقشی محوری در بهره‌وری و پایداری اقتصادی ایفا می‌کند. افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف و محدودیت منابع تجدیدپذیر آن، ضرورت اتخاذ رویکردهای علمی برای تخصیص بهینه این منبع کمیاب را دوچندان ساخته است. ارزش‌گذاری اقتصادی آب، روشی برای تعیین ارزش واقعی آن در فرایندهای تولید است که می‌تواند به سیاست‌گذاری‌های کارآمدتر و بهبود تخصیص منابع منجر شود (Young، ۲۰۰۵). در میان رویکردهای موجود، رهیافت تابع تولید جایگاه ویژه‌ای دارد؛ زیرا از طریق مدل‌سازی نقش آب به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید در کنار سایر عوامل تولید (مانند نیروی کار و سرمایه)، امکان تحلیل ارتباط میان نهاده‌ها و ستاده‌ها را فراهم می‌سازد (Coelli و همکاران، ۲۰۰۵). این رهیافت با برآورد فرم‌های مختلف، توابع تولید (مانند کاب-داگلاس، ترانسلوگ و فرم‌های درجه دوم) را به‌عنوان مشتق جزئی تابع تولید نسبت به مصرف آب محاسبه می‌کند. محاسبه ارزش سایه‌ای آب بر مبنای این روش، اطلاعات دقیق‌تری در خصوص بهره‌وری اقتصادی نهاده‌ها ارائه می‌دهد و چارچوبی قابل‌اتکا برای تحلیل سیاست‌های صنعتی و مدیریت منابع آب فراهم می‌سازد (Gibbons، ۱۹۸۶).

در این پژوهش، برای ارزش‌گذاری اقتصادی آب در صنایع مورد نظر، از رهیافت تابع تولید استفاده شد. این رهیافت امکان تحلیل نقش آب به‌عنوان یکی از نهاده‌های تولید و محاسبه ارزش سایه‌ای آن را فراهم می‌سازد. برای هر یک از فعالیت صنعتی منتخب در سطح کدهای ISIC دو رقمی، توابع تولید با فرم‌های مختلف تابعی، تصریح و برآورد شده است. در این روش، تابع تولیدی که در آن نهاده آب در کنار سایر نهاده‌های تولید (نیروی کار، سرمایه، انرژی، و نهاده‌های مصرفی) به‌عنوان متغیر مستقل در آن به کار رفته است، تخمین زده می‌شود و ارزش تولید نهایی نهاده آب به عنوان ارزش اقتصادی آن تعیین می‌گردد. فرم ضمنی تابع تولید برای هر فعالیت صنعتی به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$Y = y(X_1, X_2, \dots, X_{n-1}, wat) \qquad (۱)$$

که در آن Y مقدار کل محصول تولید شده، متغیر وابسته y، مقدار ستانده فعالیت‌های صنعتی، و متغیرهای مستقل شامل wat مقدار مصرف آب بر حسب مترمکعب و X_1 تا X_{n-1} دیگر نهاده‌های تولید مورد استفاده در آن صنعت (نیروی کار،انرژی، مواد اولیه، و ..) است. با برآورد تابع تولید مذکور و مشتق‌گیری از این تابع نسبت به نهادهٔ آب، تولید نهایی آب (MP) و با ضرب آن در قیمت هر واحد محصول تولیدی آن صنعت، ارزش تولید نهایی هر مترمکعب آب یا همان ارزش اقتصادی آن برآورد می‌شود (Gibbons، ۱۹۸۶).

برای اینکه یک تابع تولید بتواند نظریه تولید نئوکلاسیک‌ها را نشان دهد، باید از مجموعه ویژگی‌هایی برخوردار باشد. از جمله این ویژگی‌ها، قابلیت دو بار مشتق‌گیری، پیوستگی، محدوده غیرمنفی بودن، و تأمین شروط ضرورت، تقعر و یکنواختی است. بنابراین لازم است برای هر فعالیت صنعتی کلیه اشکال توابع تولید برآورد شوند و سپس از بین این مدل‌ها با انجام آزمون‌های اقتصادسنجی و بررسی برخی معیارهای انتخاب مدل، بهترین فرم تابعی انتخاب گردد. توابع تولیدی که در این پژوهش برای هر یک از دو فعالیت صنعتی مورد مطالعه برآورد گردیده‌اند در جدول (۱) گزارش شده است. برای این منظور پنج فرم تابعی خطی، درجه دوم، درجه دوم تعمیم یافته، کاب-داگلاس و ترانسلوگ برآورد شده است که در زیر، شکل تصریح هر یک از این توابع به‌طور مختصر توضیح داده شده است (جدول ۱). در ادبیات اقتصادسنجی، توابع تولید با درجات متفاوتی از انعطاف‌پذیری جهت مدل‌سازی رابطه نهاده‌ها و ستانده‌ها به‌کار گرفته می‌شوند.

تابع خطی به‌عنوان ساده‌ترین فرم، فرض‌های چون جانشینی کامل بین نهاده‌ها و بازدهی ثابت نسبت به مقیاس را مفروض می‌دارد و عمدتاً در تحلیل‌های مقدماتی کاربرد دارد. توابع درجه دوم و نوع تعمیم‌یافته آن، با لحاظ جملات مربعی و اثرات متقابل، امکان شناسایی اثرات غیرخطی و برآورد بازدهی نهایی متغیرها را فراهم می‌سازند. تابع کاب-داگلاس، به‌دلیل ساختار نیمه‌پارامتریک، کشش جانشینی واحد و قابلیت خطی‌سازی لگاریتمی، در بسیاری از مطالعات تجربی مرجع است. در مقابل، تابع ترانسلوگ به‌عنوان تعمیم انعطاف‌پذیر کاب-داگلاس، ساختار فراپارامتریک داشته و امکان آزمون فرضیات محدودکننده مدل‌های خاص‌تر را فراهم می‌سازد (Debertin، ۲۰۱۲؛ Li و همکاران،۲۰۲۳؛ Pishbahar و Yazdani، ۲۰۰۴).

جدول ۱- معرفی توابع تولید مورد استفاده در برآورد ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت

نام تابع	فرم تابعی	تولید نهایی نهاده i ام
خطی	$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i$	β_i
کاب-داگلاس	$Y = \alpha_0 \prod_{i=2}^{n} X_i^{\beta_i}$	$\alpha\beta_i X_i^{-1} \prod_{i=1}^{n} X_i^{\beta_i}$
درجه دوم	$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{n} \gamma_{ii} X_i^2$	$\beta_i + 2\gamma_{ii}(x_i)$
درجه دوم تعمیم یافته	$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{n} \gamma_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \gamma_{ij} X_i X_j$	$\beta_i + \gamma_{ii}(x_i) + \sum_{j=2}^{n} \gamma_{ij}(x_j)$
ترانسلوگ	$Y = \alpha_0 \prod_{i=1}^{n} X_i^{\beta_i} \prod_{i=1}^{n} X_i^{\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} \gamma_{ij} \ln X_j}$	$(\beta_i + \gamma_{ii}(\ln x_i) + \sum_{j=2}^{n} \gamma_{ij}(\ln x_j))(Y/x_i)$

انتخاب فرم تابع تولید مستلزم تلفیق ملاحظات نظری با معیارهای اقتصادسنجی است، به‌گونه‌ای که ویژگی‌هایی نظیر قابلیت تفسیر اقتصادی، حداقل‌سازی تعداد پارامترها، برازش آماری مناسب، و توان پیش‌بینی درون‌نمونه و برون‌نمونه‌ای به‌طور هم‌زمان تأمین شود. در ساختار مدل‌های آشیانه‌ای، آزمون F چارچوب مناسبی برای ارزیابی توابع متداخل همچون خطی، درجه دوم، و درجه دوم تعمیم‌یافته با هم و کاب-داگلاس و ترانسلوگ با یکدیگر را فراهم می‌سازد:

$$F = \frac{R2_{UR} - R2_R / j}{(1 - R2_{UR})/(N - K)} \qquad (۲)$$

که در آن R_{UR}^2 و R_R^2 به ترتیب ضریب تعیین مدل‌های غیرمقید و مقید، j اختلاف تعداد کل پارامترهای دو مدل مقید و غیرمقید، k تعداد پارامترهای مدل غیرمقید و n تعداد کل مشاهدات می‌باشند.

برای مقایسه مدل‌های غیرآشیانه‌ای که فاقد رابطهٔ تحدیدی هستند، آزمون دیویدسون-مک‌کینون مبنای آزمون معناداری قدرت توضیح‌دهندگی نسبی مدل‌ها را تشکیل می‌دهد. به این صورت که مقادیر پیش‌بینی شده هر مدل (برای مثال درجه دوم) به‌عنوان یک متغیر مستقل اضافی در مدل دیگر (برای مثال ترانسلوگ) گنجانده شده و مدل‌ها به‌طور مجدد برازش می‌شوند. چنانچه ضریب این متغیر اضافی معنی‌دار باشد نشان می‌دهد که مدل اولی بر دومی ارجح است. پس از انتخاب بهترین فرم تابعی، ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب از طریق مشتق‌گیری جزئی از تابع تولید منتخب نسبت به متغیر مقدار مصرف آب محاسبه می شود. این مشتق نشان‌دهنده تأثیر تغییرات یک واحدی در مصرف آب بر ارزش ناخالص تولید صنعت است. هم‌راستایی ضرایب و کشش‌های تخمینی با مبانی نظری نیز نقش مکملی در ارزیابی کفایت نظری تابع تولید ایفا می‌کند. بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی پیشرفته مانند EViews، زمینه را برای برآورد دقیق پارامترها، آزمون فروض و انتخاب ساختار تابعی بهینه بر پایه شواهد تجربی فراهم می‌آورد (Yavari و Iraj Pour، ۲۰۲۳).

برای برآورد تابع تولید در هر یک از این صنایع به اطلاعات سری‌زمانی یا مقطع زمانی از مقدار تولید این صنایع در سطح ۶ استان مورد مطالعه و مقدار نهاده‌های مصرف شده در تولید آن نیاز است. از آنجا که چنین اطلاعاتی مربوط به بنگاه‌های صنعتی وجود ندارد و به اطلاعات گستردهٔ میدانی نیاز دارد (مطالعات گذشته و نظرات کارشناسی نشان می‌دهد مطالعات میدانی در اخذ اطلاعات از صاحبان صنایع موفق نبوده است)، به ناچار از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط مرکز آمار ایران در سطح استانی استفاده شده است. لذا در اینجا تابع تقاضا برای آب در صنایع فلزات پایه و صنعت فراورده‌های معدنی غیرفلزی برای کل شش استان به‌صورت داده‌های تابلویی برآورد شده است. بدیهي است فرض اساسي براي اين برآورد اين است كه تنوع و ماهيت فعاليت‌هاي صنعتي در همهٔ استان‌هاي مورد نظر همگن توزيع شده و تابع برآورد شده در سطح كل استان‌ها، قابل تعميم به هر ۶ استان است. در مجموعه اطلاعات كارگاه‌هاي صنعتي ۱۰ نفر كاركن و بيشتر كه توسط مركز آمار ايران منتشر مي‌شود، اطلاعات مربوط به انباشت سرمايه ثابت براي فعاليت‌هاي صنعتي استان‌ها در دسترس نمي‌باشد، بنابراين ابتدا با استفاده از روش نمايي از داده‌هاي تشكيل سرمايه ثابت، ارزش موجودي سرمايه برآورد شد و سپس با استفاده از فروض در نظر گرفته

شده، نهادهٔ سرمایه از آن استخراج شد. فرمول محاسبه ارزش موجودی سرمایه به‌صورت زیر می‌باشد:

$$k(t)=I(t)+(1-d)*I(t-1)_(1-d)^2*I(t-2)+... \quad (۳)$$

که در آن k(t) موجودی سرمایه در سال t، d نرخ استهلاک سالانه سرمایه (۴ درصد) و I(t) میزان تشکیل سرمایه ثابت ناخالص (سرمایه‌گذاری) در سال t است.

همچنین برای اجتناب از وجود هم خطی بین متغیرهای مستقل و درجه آزادی پایین در برآورد توابع تولید، همه انواع سوخت و انرژی (برق، نفت سفید، گازوئیل، بنزین، مازوت، و ...) بر اساس معادل بشکه نفت خام معادل‌سازی شده‌اند. همچنین با توجه به این‌که برای برخی دیگر از متغیرها از جمله ستانده‌ها، و سایر نهاده‌های مصرفی به مانند سایر نهاده‌های تولید (مثل آب، سوخت، و نیروی کار) ارقام مربوط به مقادیر مصرف دسترس نبوده به ناچار از ارقام ارزشی متناظر با آن‌ها استفاده شده است؛ اما برای اینکه اثر تورم سالانه از این مقادیر ارزش بیرون کشیده شود، ارقام مذکور با استفاده از شاخص‌های قیمت مرکز آمار ایران به قیمت ثابت تعدیل شده‌اند. بنابراین در همه توابع تولید مورد برآورد، متغیر وابسته ارزش ناخالص تولید واحدهای صنعتی (بر حسب میلیارد ریال به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵) بوده و متغیرهای مستقل شامل متغیرهای تعداد نیروی کار (بر حسب نفر)، مقدار مصرف آب (برحسب مترمکعب)، مقدار مصرف انرژی (معادل بشکه نفت خام)، مقدار نهاده سرمایه (بر حسب میلیارد ریال)، و ارزش نهاده‌های مصرفی (بر حسب میلیارد ریال و به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵) می‌باشد. پس از برآورد الگوهای یاد شده، آزمون‌های هم‌خطی، واریانس ناهمسانی، خودهمبستگی و آزمون نرمال بودن جملات خطا برای بررسی نقض فروض کلاسیک انجام شد. بر اساس نتایج، وجود هیچ یک از مشکلات فوق به‌جز فرض نرمال بودن جمله خطا در برخی از مدل‌های مورد برآورد تأیید نشد.

یافته‌های پژوهش

همانطور که پیش‌تر بیان شد در این پژوهش به منظور محاسبه ارزش اقتصادی آب در صنایع مورد بررسی، پنج تابع تولید خطی ساده، درجه دوم، کاب داگلاس، درجه دوم تعمیم یافته، و ترانسلوگ برآورد شدند. پس از برآورد این توابع، به‌منظور انتخاب بهترین شکل تابع تولید، با انجام آزمون‌های آماری مناسب و استفاده از برخی معیارهای رایج انتخاب مدل، برترین فرم تابعی برای هر یک از گروه‌های صنعتی انتخاب شده است. نتایج این برآوردها در این بخش مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

جدول (۲) وضعیت کلی صنایع مورد بررسی را برحسب متغیرهای مقدار مصرف نهاده و میزان تولیدات آنها (میانگین میزان اشتغال صنعتی، ارزش‌افزوده، تشکیل سرمایه، مصرف آب، مصرف انرژی و سایر نهاده‌های مصرفی) نشان می‌دهد. میانگین تعداد شاغلان در صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی و صنعت تولید فلزات پایه به ترتیب ۵۳۱۰ و ۸۸۵ نفر است که نشان‌دهنده تفاوت در ساختار نیروی انسانی آن‌هاست. از نظر ارزش ستانده کل، صنعت فرآورده‌های معدنی غیرفلزی با میانگین ۷۳۴۷ میلیارد ریال در سال از صنعت تولید فلزات پایه با ۳۵۷۰ میلیارد ریال عملکرد اقتصادی قوی‌تری دارد. همچنین، مصرف انرژی و آب در صنعت فرآورده‌های معدنی غیرفلزی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر است (۱۶۶۲۲۵۰ بشکه نفت خام و ۲۵۹۰/۸ هزار مترمکعب آب) که اهمیت راهبردهای بهینه‌سازی مصرف را نشان می‌دهد.

به‌منظور نشان‌دادن تأثیر انتخاب شکل‌های تابعی مختلف بر ارزش اقتصادی آب، در هر صنعت پنج شکل تابعی تولید شامل تابع تولید خطی، کاب داگلاس، درجه دوم، درجه دوم تعمیم یافته و ترانسلوگ انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار Eviews برآورد شده است. نتایج مقایسه آزمون‌های آماری انتخاب مدل از بین توابع مختلف تولید در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است. جدول (۳) نتایج آزمون F را برای انتخاب مدل برتر در میان مدل‌های متداخل توابع تولید صنایع نمایش می‌دهد. در تمامی صنایع، مقدار آماره F نشان‌دهنده‌ی معناداری بالای مدل‌ها بوده و رد فرضیه‌ی صفر بیانگر برتری مدل‌های انعطاف‌پذیرتر نسبت به مدل‌های خطی و کاب-داگلاس است. در هر دو صنعت فرآورده‌های معدنی غیرفلزی و فلزات پایه، مدل درجه دوم تعمیم‌یافته و ترانسلوگ به‌عنوان مدل‌های برتر نسبت به مدل‌های خطی و ترانسلوگ انتخاب شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی غیرخطی قوی بین متغیرهای مورد بررسی است که این موضوع به انعطاف‌پذیری بیشتر این توابع در تحلیل جایگزینی نهاده‌های تولید اشاره دارد. لازم به ذکر است که این آزمون تنها برای مدل‌های متداخل انجام شده و در مراحل بعدی، تابع برتر نهایی از طریق آزمون بین توابع غیرمتداخل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نتایج برآورد تابع تولید ترانسلوگ برای هر دو صنعت در جدول (۵) گزارش شده است. با توجه به انتخاب این تابع به‌عنوان شکل برتر تابعی، این نتایج پایه محاسبات ارزش اقتصادی آب در این صنایع قرار گرفته است. مقدار بالای R^2 (بیش از ۰/۹۸) نشان می‌دهد که الگوی ترانسلوگ برآورد شده توانایی بالایی در توضیح تغییرات متغیر وابسته (ارزش تولیدات صنعتی به قیمت ثابت) دارد. همچنین، مقادیر DW نزدیک به عدد ۲، عدم وجود خودهمبستگی در باقی‌مانده‌ها را تأیید می‌کند. آماره F نیز معناداری کلی مدل‌ها را نشان می‌دهد. همچنین نتیجه آزمون ریشه واحد بر روی باقیمانده‌های مدل نشان داد که جمله اخلال (خطای تصادفی مدل[1]) کلیه رگرسیون‌های برآوردی ایستا می‌باشد. در مجموع، این مدل‌ها از نظر دقت، معناداری آماری و توان تبیین ارزش آب، بهترین گزینه‌ها هستند و انتخاب آن‌ها موجه و قابل استناد است.

جدول (۴) نتایج آزمون J را برای مقایسه و انتخاب بهترین تابع برازش از بین توابع غیرمتداخل در هر صنعت نمایش

می‌دهد. نتیجه در هر دو صنعت، بیانگر برتری مدل ترانسلوگ نسبت به مدل درجه دوم تعمیم یافته است. به عبارت دیگر تابع تولید ترانسلوگ توانایی بیشتری در مقایسه با تابع درجه دوم تعمیم یافته در برازش داده‌ها، بهینه‌سازی تخصیص نهاده‌ها و مدل‌سازی رفتار تولید در هر دو صنعت دارد.

جدول ۲- مقادیر آمارهای توصیفی متغیرهای مورد استفاده در توابع تولید صنایع مورد مطالعه

نام صنعت	متغیر	واحد	آماره ها			
			میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی	تعداد کل شاغلان	نفر	۵۳۱۰	۱۲۵۵۴	۱۶۹۳	۲۸۹۷
	ارزش ستانده کل (قیمت ثابت)	میلیاردریال	۷۳۴۷	۱۹۹۱۴	۱۹۰۰	۵۰۰۵
	ارزش نهاده مصرفی (قیمت ثابت)	میلیاردریال	۳۲۶۵	۹۰۴۵	۷۸۳	۲۲۷۱
	تشکیل سرمایه ثابت (قیمت ثابت)	میلیاردریال	۷۳۱	۶۰۲۰	۶۸/۸۲	۸۳۴
	سوخت مصرفی	معادل بشکه نفت خام	۱۶۶۲۲۵۰	۱۰۶۶۲۶۶۷	۱۴۶۶۸۲/۲	۱۳۸۹۸۹۲
	آب مصرفی	هزارمترمکعب	۲۵۹۰/۸	۱۳۲۳۹/۱	۱۱۲/۰۹	۲۸۸۹/۶
	بهره‌وری اقتصادی آب	هزار ریال بر مترمکعب	۲۸۳۵/۸	-	-	-
صنعت تولید فلزات پایه	تعداد کل شاغلان	نفر	۸۸۵	۱۷۵۶	۵۷	۴۳۳/۴
	ارزش ستانده کل (قیمت ثابت)	میلیاردریال	۳۵۷۰/۰۳	۹۴۶۳/۴	۸۶/۸	۵۹۳/۴
	ارزش نهاده مصرفی (قیمت ثابت)	میلیارد ریال	۲۷۲۱/۸	۷۶۹۴/۶	۵۲/۷	۲۰۴۷/۸
	تشکیل سرمایه ثابت(قیمت ثابت)	میلیارد ریال	۲۶۸/۲	۳۴۱۴/۲	۴/۴	۵۹۳/۴
	سوخت مصرفی	معادل بشکه نفت خام	۲۰۰۲۶۸/۳	۶۶۸۵۶۹/۳	۴۵۶۵/۲	۱۷۱۸۰۶/۲
	آب مصرفی	هزارمترمکعب	۲۲۶/۹	۱۰۸۶/۸	۶/۷	۲۲۰/۶
	بهره‌وری اقتصادی آب	هزار ریال بر مترمکعب	۱۵۷۳۴/۷	-	-	-

جدول ۳- نتیجه آزمون F جهت مقایسه و برازش توابع متداخل برای صنایع

نام صنعت	توابع مورد آزمون*	آماره F	نتیجه آزمون	مدل انتخابی
صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی	درجه دوم-خطی	۱/۱۶	قبول فرضیه صفر	مدل خطی مدل برتر است
	درجه دوم تعمیم یافته-خطی	۳/۶۲	رد فرضیه صفر	مدل درجه دوم تعمیم‌یافته مدل برتر است
	ترانسلوگ-کاب داگلاس	۱/۷۷	رد فرضیه صفر	مدل ترانسلوگ مدل برتر است
صنعت تولید فلزات پایه	درجه دوم-خطی	۰/۶۷	قبول فرضیه صفر	مدل خطی مدل برتر است
	درجه دوم تعمیم یافته-خطی	۲/۱۸	رد فرضیه صفر	مدل درجه دوم تعمیم یافته مدل برتر است
	ترانسلوگ-کاب داگلاس	۲/۱۳	رد فرضیه صفر	مدل ترانسلوگ مدل برتر است

* در همه ردیف‌ها نتیجه آزمون F دو به دو بین مدل‌های مقید و غیرمقید گزارش شده و فرضیه صفر برتری مدل دوم است.

جدول ۴- نتایج آزمون t جهت مقایسه توابع غیرمتداخل و انتخاب تابع برازش در هر صنعت

نام صنعت	توابع مورد آزمون*	آماره t	نتیجه آزمون	مدل انتخابی
صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی	درجه دوم تعمیم‌یافته-ترانسلوگ	۱/۸۱	قبول فرضیه صفر	مدل ترانسلوگ مدل برتر است
صنعت تولید فلزات پایه	ترانسلوگ-درجه دوم تعمیم‌یافته	۳/۹۰	رد فرض صفر	مدل ترانسلوگ مدل برتر است

* فرضیه صفر برتری مدل دوم است.

جدول ۵- نتایج برآورد توابع تولید منتخب برای هر صنعت مورد مطالعه

متغیر	ضرایب برآورد شده در الگو			
	صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی		صنعت تولید فلزات پایه	
	تابع ترانسلوگ		تابع ترانسلوگ	
	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
لگاریتم نیروی کار	-۱/۵۷	-۰/۱۲	۰/۲۹	۱/۱۴
لگاریتم نهاده‌های مصرفی	-۱۰/۰۳	-۱/۹۶	-۰/۱۳	-۲/۰۷
لگاریتم انرژی	۰/۹۲	۰/۱۹	۰/۰۹	۱/۱۶
لگاریتم آب	۶/۴۶	۲/۸۳	۰/۴۳	۲/۹۳
لگاریتم نهاده سرمایه	-۱/۲۱	-۱/۷	۰/۴۶	۱/۷۷
درجه دوم لگاریتم نیروی کار	-۱/۰۱	-۲/۴۹	-۰/۰۹	-۱/۵۷
درجه دوم لگاریتم نهاده مصرفی	۰/۲۲	۱/۸۵	۰/۱۴	۲/۵۲
درجه دوم لگاریتم انرژی مصرفی	-۰/۰۱	-۱/۲۴	۰/۰۱	۱/۴۱
درجه دوم لگاریتم آب مصرفی	۰/۰۴	۱/۷۳	-۰/۰۲	-۲/۱
درجه دوم لگاریتم نهاده سرمایه	۰/۰۰۳	۲/۲۱	۰/۰۰۴	۱/۳۴
لگاریتم نهاده مصرفی *لگاریتم سرمایه	۰/۰۰۴	۱/۴۹	-۰/۱	-۱/۸۹
لگاریتم نهاده مصرفی* لگاریتم نیروی کار	۰/۳۳	۲/۵۱	-۰/۲۳	-۲/۴۲
لگاریتم نهاده مصرفی* لگاریتم انرژی	-۰/۱۳	-۱/۵۲	-۰/۰۷	-۲/۱۳
لگاریتم نهاده مصرفی* لگاریتم آب	-۰/۳۲	-۲/۵۵	۰/۰۲	۱/۶۲
لگاریتم سرمایه* لگاریتم نیروی کار	-۰/۰۶	۱/۷۸	۰/۱۵	۱/۸۱
لگاریتم سرمایه* لگاریتم انرژی	-۰/۰۰۸	-۱/۱۸	۰/۰۱	۱/۲۸
لگاریتم سرمایه* لگاریتم آب	-۰/۰۴	-۱/۲	-۰/۰۱	-۱/۷۵
لگاریتم نیروی کار* لگاریتم انرژی	۰/۳۱	۲/۴۴	۰/۱۶	۰/۹۵
لگاریتم نیروی کار* لگاریتم آب	۰/۲۱	۲/۲	۰/۰۶	۱/۸۳
لگاریتم انرژی* لگاریتم آب	۰/۰۷	۱/۹	-۰/۰۴	-۱/۱۸
مقدار آماره R^2	۰/۹۸۴۰		۰/۹۹۵۴	
مقدار آماره DW	۱/۸۷		۲/۱۶	
مقدار آماره F	۱۶۲/۹۵		۲۰۷/۹۲	

نتایج به‌دست آمده برای ارزش تولید نهایی آب (ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب) در بین این دو صنعت متفاوت بوده به‌طوری‌که مقدار این ارزش برای صنعت فرآورده‌های معدنی غیرفلزی برحسب قیمت‌های سال ۱۴۰۳ حدود ۲۸۸۲۹۶۳ ریال به‌ازای هر مترمکعب آب و برای صنعت تولید فلزات پایه حدود ۱۳۸۰۱۶۱ ریال در هر مترمکعب برآورد شده است. مطابق نتایج به‌دست آمده، میانگین ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در مجموعه این دو صنعت حدود ۲۱۳۱۵۶۲ ریال برآورد شده است که بر اساس نظریه‌های اقتصادی این مبلغ می‌تواند به عنوان قیمت سقف (حد بالایی قیمت) تعرفه آب صنعتی در نظر گرفته شود.

جدول۶- نتایج محاسبات ارزش اقتصادی نهایی هر مترمکعب آب در صنایع مورد مطالعه (ریال بر مترمکعب)

	صنعت تولید سایر فراورده‌هاي معدني غيرفلزي	صنعت تولید فلزات پایه
ارزش اقتصادی آب	۲۸۸۲۹۶۳	۱۳۸۰۱۶۱
میانگین ارزش اقتصادی آب	۲۱۳۱۵۶۲	
بهای تمام شده آب	۶۴۶۴۰	
تعرفه پرداختی آب	۲۷۰۰۰	

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ارزش اقتصادی آب در صنایع مختلف نشان می‌دهد که این نهاده حیاتی سهم قابل‌توجهی در فرآیندهای تولیدی دارد و نقش تعیین‌کننده‌ای در بهره‌وری اقتصادی ایفا می‌کند. با توجه به نتایج ارائه‌شده، ارزش اقتصادی نهایی هر مترمکعب آب در صنعت تولید سایر فرآورده‌های معدنی غیرفلزی بر اساس قیمت‌های سال ۱۴۰۳ معادل ۲۸۸۲۹۶۳

ریال و در صنعت تولید فلزات پایه برابر با ۱۳۸۰۱۶۱ ریال در هر مترمکعب است (میانگین ارزش اقتصادی آب در این دو صنعت ۲۱۳۱۵۶۲ ریال است). مقایسه این ارقام با قیمت تمام شده هر مترمکعب آب صنعتی در سال ۱۴۰۳ (۶۴۶۴۰ ریال) و تعرفه پرداختی توسط صنایع برای هر مترمکعب آب (۲۷۰۰۰ ریال) نشان می‌دهد که نسبت ارزش اقتصادی آب به بهای تمام‌شده آن برابر با ۳۳ می‌باشد؛ بدین معنی که هر مترمکعب آبی که به صنعت تخصیص داده می‌شود، ارزشی که در تولید این صنایع ایجاد می‌کند، ۳۳ برابر قیمت تمام شده آب است و این یعنی تخصیص آب به این بخش بازده اقتصادی بسیار بالایی دارد. با این حال نسبت میانگین ارزش اقتصادی آب به تعرفه پرداختی آن برابر با ۷۹ است که نشان‌دهنده وجود یک فاصله بسیار قابل‌توجه بین قیمت پرداختی صنایع (به‌ازای هر مترمکعب آب) و ارزش واقعی آن در فرآیند تولید است. این نتیجه با یافته‌های تهامی‌پور و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد به‌طوری که در پژوهش آن‌ها نیز نسبت ارزش اقتصادی آب به تعرفه پرداختی توسط صنایع برای سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ بین ۱۳۴ تا ۴۴ برابر (به‌طور میانگین ۷۰ برابر) محاسبه شده است. مطالعه مجبی و همکاران (۱۴۰۱) نیز تأییدکننده نتایج پژوهش حاضر است به‌طوری که آن‌ها نیز با مقایسه ارزش تولید نهایی آب در ۱۱ کد صنعتی استان یزد با تعرفه پرداختی آن‌ها نشان دادند که قیمت پرداختی تمام صنایع به‌طور بسیار قابل توجهی کمتر از میانگین ارزش اقتصادی آب می‌باشد که پیامد آن نادیده انگاشتن عدالت توزیعی (دریافت رانت ویژه توسط برخی صنایع)، مصرف بیش از حد منابع، و توسعه صنایع آب‌بر بوده است. پرداختی صنایع برای آب نه تنها کسر کوچکی از ارزش اقتصادی آن است، بلکه این قیمت در حال حاضر کمتر از نصف قیمت تمام شده آب (حدود ۴۲ درصد) از دیدگاه اقتصاد ملی صرف نظر از هزینه‌های جانبی زیست‌محیطی و اجتماعی آن، است. چنانچه این هزینه‌های جانبی در تعیین هزینه کامل آب منظور شود، شکاف بین تعرفه پرداختی و هزینه کامل به مراتب بیش از ارقام ذکر شده خواهد بود. این شکاف قیمتی منجر به مصرف بیش از حد آب در صنایع و کاهش انگیزه آن‌ها برای اصلاح ساختار صنعتی و استفاده از فن‌آوری‌های آب اندوز و صرفه‌جو در مصرف آب شده است. نسبت بهای تمام‌شده آب به تعرفه پرداختی آن (۲/۴) نشان می‌دهد که هزینه تأمین آب بیش از دو برابر مبلغی است که صنایع برای آن پرداخت می‌کنند. این مسئله دلالت بر وجود یارانه‌های پنهان در تأمین آب دارد که ممکن است در بلندمدت پایداری تأمین منابع آبی را با چالش مواجه کند. این یافته‌ها بر لزوم اصلاح نظام تعرفه‌گذاری و سیاست‌های مدیریتی در بخش آب تأکید دارند تا ضمن حفظ تعادل اقتصادی، از هدررفت منابع جلوگیری شده و پایداری مصرف آب در صنایع تضمین شود.

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که نظام قیمت‌گذاری آب در صنایع ایران دچار چالش‌های جدی است و یارانه پنهان آب موجب مصرف بی‌رویه، کاهش بهره‌وری و فشار بر منابع آبی شده است. بنابراین برای مدیریت پایدار منابع آب و استفاده کاراتر از این منبع کمیاب اصلاحات سیاستی زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. اصلاح نظام تعرفه‌گذاری با واقعی‌سازی قیمت‌ها مبتنی بر ارزش اقتصادی و قیمت تمام‌شده آب.

۲. استفاده از فناوری‌های بازیافت و بازچرخانی آب، جایگزینی منابع غیرمتعارف مانند آب خاکستری، و ارائه مشوق‌های مالی برای صنایع کم‌مصرف.

۳. استقرار سیستم‌های هوشمند پایش مصرف، اعمال استانداردهای مدیریت پایدار و تعیین جریمه برای صنایع پرمصرف متناسب با ارزش اقتصادی آب.

۴. هم‌راستاسازی سیاست‌های صنعتی با مدیریت منابع آب، محدودسازی صنایع پرمصرف در مناطق کم‌آب و تشویق سرمایه‌گذاری در تأمین منابع پایدار.

۵. تخصیص بیشتر منابع کمیاب آب به صنایع با ارزش افزوده بالاتر ولی با دریافت تعرفه‌های بیشتر.

۶. با توجه به وجود یک شکاف بزرگ بین ارزش اقتصادی آب و تعرفه پرداختی صنایع، افزایش تعرفه آب در بخش صنعت می‌تواند انگیزه انتقال آب از بخش کشاورزی به بخش صنعت را از طریق بازار آب تحریک نموده و زمینه ارتقای عدالت توزیعی و تخصیص بهینه بین بخشی منابع آب را فراهم سازد. زیرا تعرفه نازل فعلی با اعطای یارانه پنهان، انگیزه صنایع برای ورود به بازار آب و خرید حقابه از کشاورزان را سرکوب کرده است؛ لذا با واقعی‌سازی تعرفه دولتی، صنایع مجاب می‌شوند تا نیاز آبی خود را از طریق معامله توافقی (بر مبنای تفاوت ارزش نهایی آب در دو بخش) تأمین نمایند. همچنین با توجه به وجود تفاوت قابل توجه ارزش اقتصادی آب در بین صنایع مختلف، به‌کارگیری سیاست قیمت‌گذاری پلکانی و با اعمال تبعیض قیمتی[۲] بین صنایع، می‌تواند قیمت‌ها را به مقادیر بهینه خود نزدیک‌تر نماید. با توجه به سهم اندک آب از کل هزینه بخش صنعت (کمتر از ۰/۵ درصد)، در اثر افزایش قیمت آب، اثرات قابل توجهی بر تولید و اشتغال این بخش قابل تصور نمی‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش صمیمانه از حمایت‌ها و امکانات علمی ارائه شده توسط پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تهران قدردانی می‌نمایند. راهنمایی‌ها و همکاری‌های ارائه شده از سوی این پژوهشکده، سهم به‌سزایی در پیشبرد و تکمیل این پژوهش داشته است.

منابع

باقری، سعید، و شوریان، مجتبی. (۱۴۰۴). حکمرانی آب، چالش‌های اجتماعی، اقتصادی و نهادی در غیاب زیرساخت داده‌ای مناسب. نشریه حفاظت منابع آب و

خـــاک، ۱۵(۴)، ۱۶-۱. https://doi.org/10.83037/wsrcj.2026.1233674

بلالـی، حمیـد، و کسـبیان لعـل، فرزانـه. (۱۴۰۱). ارزش‌گـذاری اقتصادی منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی (مطالعه موردی: دشت همدان-بهار). اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۶(۱)، ۳۷-۴۸. https://doi.org/10.22067/jead.2022.72334.1079

تهامی‌پور، مرتضی، خزائی، علیرضا، کولیوند، فتانه. (۱۳۹۸). تحلیل نظام تعرفه و ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت ایـــــران. نشـــــریه آب و توســـــعه پایـــــدار، ۶(۳)، ۱۹-۳۰. https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i3.76788

خیابـانی، ناصـر، بـاقری، سـروش، و بشـیری‌پور، امیـر. (۱۳۹۶). الزامـات اقتصـادی مـدیریت منـابع آب. آب و فاضـلاب، ۲۸(۱)، ۴۲-۵۶. https://doi.org/10.22093/wwj.2017.39473

محبی، حسن، انصاری سامانی، حبیب، حاج امینی، مهدی، و مرادی، غلامحسین. (۱۴۰۱). برآورد ارزش اقتصادی آب در صـنایع اسـتان یـزد، رهیافـت ارزش تولیـد نهـایی آب. فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، ۱۰(۳۹)، ۱۴۱-۱۱۷. https://doi.org/10.52547/qjfep.10.39.117

Abounoori, A., & Mehrali, A. (2012). The analysis of elimination of subsidy on residential water demand case study: The City of Tehran. Economics Research, 12(45), 1-26.

Coelli, T., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J., & Battese, G.E. (2005). An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. Springer, Boston, MA. https://link.springer.com/book/10.1007/b136381

Debertin, D.L. (2012). Agricultural Production Economics: The Art of Production Theory. Unknown. https://doi.org/10.22004/ag.econ.158320

Dolan, F., Lamontagne, J., Link, R., Hejazi, M., Reed, P., & Edmonds, J. (2021). Evaluating the economic impact of water scarcity in a changing world. Nature Communications, 12(1), 1915. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22194-0

Eslami, R., & Rahimi, A. (2019). Policymaking and Water Crisis in Iran. Journal of Management and Strategic Planning, 7(27), 410–435. https://doi.org/10.32598/JMSP.7.3.5

Fahimi, E., Fattahi Ardakani, A. & Fehresti, M., (2018). A managerial model for economic valuation of water resource functions: Case study of Zayandeh Rud River. Agricultural Economics, 12(1), 79–94. https://doi.org/10.22034/iaes.2018.31375

Xu, W. A. N. G., & Fei, W. A. N. G. (2019). No resource or no motivation? Government subsidies, green innovation and incentive strategy selection. Science Research Management, 40(7), 131-139.

Gibbons, D. C. (1986). The economic value of water. Resources for the Future. [Baltimore]: Distributed by Johns Hopkins University Press, Washington, D.C. https://librarycatalog.ecu.edu/catalog/291789

Iraj Pour, K., & Yavari, G. (2023). The role of structural changes on the economic growth of the country. In: Proceedings of the 7th International Conference on Knowledge and Technology of the Third Millennium in Economics, Management, and Accounting, Tehran, Iran.

Jia, S., Yang, H., Zhang, S., Wang, L. & Xia, J. (2006). Industrial water use Kuznets curve: Evidence from industrialized countries and implications for developing countries. Journal of Water Resources Planning and Management, 132(3), 183–191. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3(183)

Ku, S.J., & Yoo, S.H. (2012). Economic value of water in the Korean manufacturing industry. Water Resource Management, 26,.81–88.https://doi.org/10.1007/s11269-011-9905-z

Li, S., Swartworth, W.J., Takáč, M., Needell, D., & Gower, R.M. (2023). Using quadratic equations for overparametrized models. Order Up! The Benefits of Higher-Order Optimization in Machine Learning. New Orleans, Louisiana, USA, pp. 1–36.

Maaboudi, R., & Hasanvand, D. (2019). Relationship between economic value added and water consumption in agriculture and industry. Journal of Water and Wastewater Engineering, 4(1), 42–51. https://doi.org/10.22112/jwwse.2019.166520.1135

Mardones, C., & Orellana, A. (2023). Estimating production functions to determine the marginal economic value and price elasticity of water in the Chilean industrial sector. Utilities Policy, 85, 101677. https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101677

economic output for the metallic and non-metallic mineral products sector: An empirical analysis at the enterprise level. Advanced Sustainable Systems, 8(11), 2400279. https://doi.org/10.1002/adsu.202400279

Yazdani, S., & Pishbahar, E. (2004). Evaluation of the efficiency of cotton and sugar beet products in Iran using data envelopment analysis (DEA). Journal of Agriculture, 6(1), 57–67.

Young, R.A. (2005). Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods. Resources for the Future, Washington DC. ISBN 1891853988 (pbk.), 374 pp.

Zare, A., Haj Amini, M., & Feyzpour, M.A. (2022). Factors affecting industrial water demand in Iran and future challenges. Water and Sustainable Development, 9(2), 33–46. http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2203.1129

پی‌نوشت‌ها

1- Error Term

۲- منظور از «تبعیض قیمتی» (price discrimination) در ادبیات اقتصادی، تعیین قیمت‌های متفاوت برای یک کالا یا نهاده یکسان برای گروه‌ها یا مصرف‌کنندگان مختلف، با توجه به تفاوت در شرایط اقتصادی، ارزش‌گذاری، توان پرداخت یا سایر ویژگی‌های مرتبط است. در مورد آب صنعتی نیز، از آنجا که نتایج پژوهش نشان داده است ارزش اقتصادی آب در یک صنعت می‌تواند با ارزش اقتصادی آب در صنعت دیگر متفاوت باشد، این یافته می‌تواند این پیام را به سیاستگذار بدهد که تعرفه آب را در بین صنایع به‌صورت متفاوت اعمال کند؛ به‌طوری‌که برای صنایعی که هر مترمکعب آب در آن‌ها ارزش اقتصادی بالاتری ایجاد می‌کند و توان پرداخت بالاتری دارند، قیمت بالاتری نسبت به صنایعی که ارزش اقتصادی آب یا توان پرداخت پایین‌تری دارند، تعیین شود. بنابراین، منظور از تبعیض قیمتی در این مطالعه، تعیین قیمت‌های متفاوت برای آب در صنایع مختلف با توجه به ارزش اقتصادی هر مترمکعب آب در آن صنایع، توان پرداخت و سایر ملاحظات مورد نظر سیاستگذار است.

Marston, L., & Cai, X. (2016). An overview of water reallocation and the barriers to its implementation. WIREs Water, 3(5), 658–677. https://doi.org/10.1002/wat2.1159

Renzetti, S., & Dupont, D.P. (2003). The value of water in manufacturing. CSERGE, Working Paper ECM 03-03. University of East Anglia. Norwich, England.

Rodríguez-Tapia, L., Revollo-Fernández, D. A., Morales-Novelo, J. A., & Medina-Rivas, C. M. (2021). Water in Mexican industry: An economic value study. Applied Economics, 53(41), 4799–4809. https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1908948

Tehami Pour Zarandi, M., 2017. Economic valuation: An approach for managing industrial water demand; case study: Chemical production industries. Journal of Water and Wastewater, 28(1), 74–83. https://doi.org/10.22093/wwj.2017.39476

Tobarra-González, M.Á. (2018). The value of water in the manufacture industry and its implications for water demand policies: The case of Chile. Studies of Applied Economics, 36(3), 945–960.https://doi.org/10.25115/eea.v36i3.2561

Valdivia Alcalá, R., Hernández Ortiz, J., Monroy Hernández, R., Rubiños Panta, J.E., Reyes Reyes, M., & Amaya Pérez, D. (2011). Valoración económica del agua en el sector industrial. Terra Latinoamericana, 29(4), 459–466.

Vásquez-Lavín, F., Vargas, L., Hernández, J.I. & Oliva, R.D.P., 2020. Water demand in the Chilean manufacturing industry: Analysis of the economic value of water and demand elasticities. Water Resources and Economics, 32, p.100159. https://doi.org/10.1016/j.wre.2020.100159

Wang, C., Shuai, C., Chen, X., Sun, J., & Zhao, B. (2024). Nexus between water consumption and

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 85 to 98

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۸۵ تا ۹۸

Document Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Cultural Meanings of Water and the Gap Between Official Policies and Local Practices: An Ethnographic Study of Farmers in Amol County

معانی فرهنگی آب و شکاف سیاست‌های رسمی و کنش‌های محلی: مطالعه‌ای مردم‌نگارانه در کشاورزان شهرستان آمل

S. Gh. Hassani

1- Associate Professor, Department of Anthropology, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** g.hassani@umz.ac.ir

سید قاسم حسنی

دانشیار، گروه مردم شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** g.hassani@umz.ac.ir

Received ▶ 13-02-2026
Revised ▶ 16-06-2026
Accepted ▶ 27-06-2026
Available online ▶ 16-09-2026

تاریخ دریافت ◀ ۱۴۰۴/۱۱/۲۴
تاریخ بازنگری ◀ ۱۴۰۵/۰۳/۲۶
تاریخ پذیرش ◀ ۱۴۰۵/۰۴/۰۶
تاریخ انتشار ◀ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

Abstract

Water scarcity and increasing pressure on groundwater resources have become major environmental and livelihood challenges in agricultural areas of northern Iran. Under such conditions, understanding the social and cultural dimensions of water, as well as the perceptions and practices of local communities regarding water resources, is essential for achieving sustainable water management. Adopting an anthropological perspective on water and employing an ethnographic approach, this study examines the lived experiences, perceptions, and water-use practices of farmers in relation to groundwater resources in Amol County. Data were collected through semi-structured interviews, field observations, and conversations with farmers and local informants, and were analyzed using thematic analysis. The findings indicate that, for farmers, water is not merely a natural resource but is also embedded in livelihood systems, social relations, cultural values, and local identities. Decisions regarding groundwater use are influenced by a combination of economic, social, environmental, and institutional factors. The results further reveal that indigenous knowledge in these communities constitutes a dynamic and continuously evolving system of environmental understanding and experience, shaped through ongoing interactions with ecological conditions and livelihood needs. Accordingly, environmentally unsustainable practices and informal groundwater extraction cannot be directly attributed to indigenous knowledge itself; rather, they emerge from the interaction of livelihood pressures, environmental changes, economic insecurity, and limitations in water governance. The study highlights the importance of simultaneously addressing the cultural, social, and livelihood dimensions of water while incorporating local knowledge and lived experiences into water policy and management.

Keywords: Water Anthropology, Groundwater Resources, Indigenous Knowledge, Livelihood Pressure, Farmers.

چکیده

بحران کم‌آبی و فشار فزاینده بر منابع آب زیرزمینی، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی و معیشتی مناطق کشاورزی شمال ایران تبدیل شده است. در این شرایط، شناخت ابعاد اجتماعی و فرهنگی آب و نحوه ادراک و کنش جوامع محلی برای مدیریت پایدار منابع آب اهمیت دارد. پژوهش حاضر با رویکرد انسان‌شناسی آب و با بهره‌گیری از روش مردم‌نگاری، تجربه زیسته، ادراکات و شیوه‌های بهره‌برداری کشاورزان از منابع آب زیرزمینی در شهرستان آمل را بررسی کرده است. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته، مشاهده میدانی و گفت‌وگو با کشاورزان و مطلعان محلی گردآوری و با روش تحلیل مضمون بررسی شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد آب برای کشاورزان صرفاً یک منبع طبیعی نیست، بلکه در پیوند با معیشت، روابط اجتماعی، ارزش‌های فرهنگی و هویت محلی معنا می‌یابد. همچنین، تصمیم‌گیری درباره بهره‌برداری از منابع آب تحت تأثیر هم‌زمان عوامل اقتصادی، اجتماعی، محیطی و نهادی قرار دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد دانش بومی نظامی پویا از شناخت، تجربه و یادگیری محیطی است که در تعامل با شرایط اکولوژیک و نیازهای معیشتی بازتولید می‌شود. بر این اساس، برداشت‌های غیررسمی و رفتارهای ناسازگار با محیط‌زیست را نمی‌توان مستقیماً ناشی از دانش بومی دانست؛ بلکه این رفتارها حاصل برهم‌کنش فشارهای معیشتی، تغییرات محیطی، ناامنی اقتصادی و ضعف حکمرانی آب هستند. نتایج بر ضرورت توجه هم‌زمان به ابعاد فرهنگی، اجتماعی و معیشتی آب و بهره‌گیری از دانش و تجربه محلی در سیاست‌گذاری و مدیریت منابع آب زیرزمینی تأکید دارد.

واژه‌های کلیدی: انسان‌شناسی آب، منابع آب زیرزمینی، دانش بومی، فشار معیشتی، کشاورزان.

How to cite this article:

Hassani, S. Gh. (2026). Cultural Meanings of Water and the Gap Between Official Policies and Local Practices: An Ethnographic Study of Farmers in Amol County. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 85-98. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2602-1500

مقدمه

ایران در دهه‌های اخیر با یکی از پیچیده‌ترین بحران‌های محیط‌زیستی خود، یعنی بحران در مدیریت منابع آب، مواجه شده است. این بحران نه‌تنها ناشی از کاهش منابع آب سطحی و تغییرات اقلیمی است، بلکه به‌طور فزاینده‌ای با افت شدید منابع آب زیرزمینی، **روند فزاینده و فراتر از ظرفیت تجدیدپذیر مصرف منابع آب** و ضعف حکمرانی آب پیوند خورده است. پژوهش‌های متعددی در سال‌های مختلف نشان می‌دهند که برداشت از منابع آب زیرزمینی در ایران از میزان تغذیه طبیعی آبخوان‌ها فراتر رفته و به پیامدهایی چون فرونشست زمین، شور شدن منابع و کاهش پایداری اکوسیستم‌ها انجامیده است (Madani، ۲۰۱۴؛ Gleeson و همکاران، ۲۰۱۲؛ Famiglietti، ۲۰۱۴؛ Shahbazi و همکاران، ۲۰۰۹).

در میان مؤلفه‌های بحران آب ایران، منابع آب زیرزمینی جایگاهی محوری دارند .هرچند زیست در فلات ایران از دیرباز متکی بر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بوده و این منابع نقش اساسی در تداوم سکونت و کشاورزی ایفا کرده‌اند، اما آنچه وضعیت کنونی را بحرانی ساخته، گذار از الگوهای متعادل سنتی به الگوهای مصرف‌گرایانه و بهره‌برداری فراتر از ظرفیت تجدیدپذیر آبخوان‌ها در دهه‌های اخیر است. طی چند دهه گذشته، حفر گسترده چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، توسعه کشاورزی آبی و نوع خاصی از سیاست‌های خودکفایی غذایی، در چارچوب همین منطق مصرف‌گرایانه، موجب افزایش برداشت از آبخوان‌ها شده است. گزارش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که ایران یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب زیرزمینی در جهان است و افت تراز آبخوان‌ها در بسیاری از دشت‌ها به وضعیت بحرانی رسیده است (FAO، ۲۰۲۲)

با وجود آنکه استان‌های شمالی ایران، به‌ویژه مازندران، به‌طور سنتی به‌عنوان مناطق پربارش و برخوردار از منابع آب سطحی شناخته می‌شوند، در سال‌های اخیر نشانه‌هایی از فشار بر منابع آب زیرزمینی در این مناطق نیز مشاهده شده است. افزایش جمعیت، توسعه گردشگری، گسترش کشاورزی برنج و **تقویت الگوهای مصرف‌گرایانه در بهره‌برداری از منابع آب** موجب افزایش برداشت از منابع زیرزمینی شده و حتی مناطق مرطوب نیز با چالش مدیریت پایدار آب مواجه شده‌اند (Shahbazi و همکاران، ۲۰۰۹).

یکی از مهمترین ابعاد بحران مدیریت منابع آب، شکاف میان سیاست‌گذاری رسمی و عمل اجتماعی است. در سطح سیاست‌گذاری، اسناد متعددی درباره مدیریت یکپارچه منابع آب تدوین شده است؛ **بااین‌حال، این سیاست‌ها خود نیز در مواردی با تعارض‌های درونی مواجه هستند. به‌عنوان‌مثال، تأکید بر الگوهای پرمصرف کشت در قالب سیاست‌های خودکفایی غذایی و نظام خرید تضمینی محصولات کشاورزی، در عمل با اهداف مدیریت پایدار منابع آب در تعارض قرار می‌گیرد. همچنین توسعه زیرساخت‌هایی مانند سدسازی با هدف تأمین آب شرب، در برخی موارد بدون توجه کافی به پویایی‌های حوضه آبریز، با اصول مدیریت یکپارچه منابع آب همخوانی کامل ندارد** .در سطح اجرا نیز، ضعف نظارت، تعارض منافع محلی و فشارهای اقتصادی موجب شده است بسیاری از این سیاست‌ها به‌طور کامل تحقق نیابد (madani، ۲۰۱۴).این شکاف میان سیاست و عمل، **در کنار تعارضات درونی سیاست‌ها**، یکی از عوامل تشدیدکننده بحران آب در ایران محسوب می‌شود.

در چنین شرایطی، توجه به ابعاد اجتماعی و فرهنگی آب و بهره‌گیری از رویکردهای انسان‌شناختی اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. انسان‌شناسی آب نشان می‌دهد که آب صرفاً یک منبع طبیعی نیست، بلکه دارای معانی فرهنگی، نمادین و معیشتی است که در شکل‌دهی به هویت‌ها و روابط اجتماعی نقش دار(Strang، 2004) در ادبیات داخلی نیز، برخی پژوهشگران به ابعاد فرهنگی و اجتماعی مصرف آب در جوامع محلی ایران پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که الگوهای بهره‌برداری از آب به‌شدت متأثر از ساختارهای معیشتی، **دانش بومی به‌عنوان نظامی پویا از شناخت، تجربه و یادگیری محیطی** و نظام‌های ارزشی محلی است (پارسامهر و فلک‌الدین، ۱۳۹۶) . **در این پژوهش، دانش بومی صرفاً معادل دانش سنتی یا میراثی متعلق به گذشته تلقی نمی‌شود، بلکه فرایندی مستمر از تولید، بازتولید و به‌روزرسانی دانش در تعامل با محیط، تحولات اکولوژیک و نیازهای زندگی روزمره جوامع محلی در نظر گرفته شده است** .بااین‌حال، این مطالعات کمتر به‌صورت مردم‌نگارانه و در مقیاس محلیِ مناطق شمالی ایران توسعه یافته‌اند.

از این منظر، مدیریت پایدار آب مستلزم درک معانی و ارزش‌هایی است که جوامع محلی به آب نسبت می‌دهند. همچنین توجه به دانش بومی و تجربه زیسته کشاورزان در مناطق خاصی چون مازندران و آمل، **نه صرفاً به‌عنوان بازمانده نظام‌های سنتی مدیریت آب، بلکه به‌عنوان دانشی زنده و در حال تحول که از تعامل مستمر میان انسان و محیط شکل می‌گیرد،** می‌تواند به غنای تحلیل‌های انسان‌شناختی آب کمک کند .**بر این اساس، هرگونه رفتار ناسازگار با محیط‌زیست را نمی‌توان مستقیماً به دانش بومی نسبت داد؛ بلکه چنین رفتارهایی نیازمند تحلیل در بستر فشارهای معیشتی، تغییرات محیطی و شرایط نهادی مؤثر بر تصمیم‌گیری کنشگران محلی است.**

بااین‌حال، خلأ اصلی در ادبیات موجود، فقدان مطالعات مردم‌نگارانه عمیق درباره چگونگی برهم‌کنش سیاست‌های رسمی مدیریت آب با کنش‌ها، ادراکات و راهبردهای معیشتی کشاورزان در مناطق مرطوب شمال ایران است. بنابراین، مسئله اصلی این پژوهش آن است که چگونه این برهم‌کنش میان سیاست‌های رسمی و واقعیت‌های محلی، به تداوم یا

تشدید برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در منطقه آمل منجر می‌شود.

براین‌اساس، هدف اصلی این پژوهش تحلیل انسان‌شناختی بحران آب زیرزمینی در شمال ایران (منطقه آمل) با تأکید بر شکاف میان سیاست‌های رسمی و کنش‌های محلی بهره‌برداران است. اهداف فرعی شامل: (۱) شناسایی عوامل اجتماعی، فرهنگی و معیشتی مؤثر بر برداشت آب زیرزمینی، (۲) تحلیل ادراکات و معانی فرهنگی آب در میان کشاورزان، و (۳) بررسی نحوه تعامل و تعارض میان سیاست‌های رسمی و شیوه‌های محلی بهره‌برداری از آب می‌باشد.در راستای تحقق این اهداف، سؤال اصلی پژوهش عبارت است از: شکاف میان سیاست‌های رسمی مدیریت آب و کنش‌های محلی کشاورزان چگونه شکل می‌گیرد و چه نقشی در تداوم برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی دارد؟ همچنین سؤالات فرعی شامل:۱. چه عوامل اجتماعی و معیشتی رفتار برداشت آب زیرزمینی را شکل می‌دهند؟ ۲. کشاورزان چه ادراک و معنایی از آب و بهره‌برداری از آن دارند؟ ۳. سیاست‌های رسمی مدیریت آب تا چه حد با واقعیت‌های محلی سازگار هستند؟

پیشینه پژوهش

الف) پیشینه داخلی

مطالعات مرتبط با بحران آب در ایران طی دو دهه اخیر گسترش قابل توجهی یافته است. بخش عمده این پژوهش‌ها بر ابعاد فنی و مدیریتی منابع آب تمرکز داشته‌اند و کمتر به ابعاد فرهنگی و اجتماعی بهره‌برداری از آب زیرزمینی پرداخته شده است .**به‌لحاظ تاریخی، این مطالعات نشان می‌دهد توجه به ابعاد نهادی و مدیریتی بحران آب در ایران از اوایل دهه ۱۳۹۰ شکل گرفته و به‌تدریج به سمت تحلیل‌های اجتماعی و محلی گسترش یافته است.**

مدنی (۱۳۹۳) با تحلیل ساختار مدیریت آب در ایران نشان می‌دهد که سیاست‌های توسعه کشاورزی و ضعف حکمرانی منابع آب موجب برداشت بیش از حد از آبخوان‌ها شده است. در ادامه این روند، احمدی پور و همکاران (۱۳۹۶) شکاف میان سیاست و عمل را از عوامل اصلی گسترش برداشت‌های غیرمجاز از منابع آب زیرزمینی معرفی می‌کنند. در مطالعات جدیدتر،مقاله غلامی (۲۰۲۲) است که مستقیماً افت عمق آب زیرزمینی را در پهنه جنوبی دریای خزر، با داده‌های مربوط به چاه‌های پیزومتری و از جمله داده‌های شرکت آب منطقه‌ای مازندران، بررسی کرده است. پژوهش از ۲۵۰ چاه پیزومتری و داده‌های دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ استفاده کرده است. نتایج نشان داد افت سالانه سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مورد مطالعه بین ۰/۱۵ تا ۴/۴ متر بوده و میانگین افت سالانه در دوره پنج‌ساله ۱/۷ متر گزارش شده است. نویسنده همچنین افزایش برداشت آب، توسعه اراضی کشاورزی و گسترش سکونتگاه‌ها را از عوامل مرتبط با افت سطح آب می‌داند. در سال‌های اخیر، توجه به ابعاد اجتماعی و فرهنگی آب نیز افزایش یافته است. پارسامهر و فلک‌الدین (۱۳۹۶) نشان می‌دهد الگوهای مصرف آب در جوامع روستایی ایران تحت تأثیر ساختارهای معیشتی و ادراکات فرهنگی قرار دارد..

علاوه‌براین، برخی مطالعات انجام شده در مناطق شمالی ایران، به‌ویژه مازندران، به تغییر الگوهای بهره‌برداری از منابع آب و فشارهای ناشی از توسعه کشاورزی و تغییر کاربری اراضی اشاره کرده‌اند، هرچند این مطالعات عمدتاً با رویکردهای کمی و مدیریتی انجام شده و کمتر به تحلیل‌های مردم‌نگارانه و تجربه زیسته کشاورزان پرداخته‌اند (Samani، ۲۰۲۱).

با وجود گسترش مطالعات مرتبط با بحران آب در ایران، به‌ویژه در ابعاد فنی و مدیریتی و نیز برخی بررسی‌های کمی در مناطق شمالی، هنوز تحلیل‌های مردم‌نگارانه‌ای که به‌طور هم‌زمان ادراکات فرهنگی، فشارهای معیشتی و کنش‌های روزمره بهره‌برداران را در پیوند با شکاف میان سیاست‌های رسمی و واقعیت‌های محلی بررسی کند، به‌ویژه در مقیاس محلیِ منطقه آمل، به‌طور جدی مورد توجه قرار نگرفته است؛ ازاین‌رو، مقاله حاضر با بهره‌گیری از رویکرد انسان‌شناسی آب و داده‌های میدانی، می‌کوشد این خلأ را پر کرده و چارچوبی تحلیلی برای فهم اجتماعی-فرهنگی بحران آب زیرزمینی ارائه دهد.

ب) پیشینه خارجی

در سطح بین‌المللی، مطالعات گسترده‌ای درباره انسان‌شناسی آب و حکمرانی منابع مشترک انجام شده است .به‌لحاظ زمانی، این ادبیات از اوایل دهه ۲۰۰۰ با تأکید بر ابعاد فرهنگی آب آغاز شده و به‌تدریج به سمت تحلیل‌های نهادی و حکمرانی منابع مشترک گسترش یافته است. strang (۲۰۰۴) نشان می‌دهد آب دارای ابعاد فرهنگی و نمادین است و مدیریت آن با نظام‌های ارزشی جوامع پیوند دارد .پس از آن shah (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای درباره آب‌های زیرزمینی جنوب آسیا نشان می‌دهد که گسترش چاه‌های خصوصی و برداشت فردی از آب زیرزمینی با فشارهای معیشتی و ضعف حکمرانی مرتبط است. Ostrom (۲۰۱۰) نیز با نظریه حکمرانی چندمرکزی تأکید می‌کند که مدیریت پایدار منابع مشترک نیازمند مشارکت فعال بهره‌برداران محلی است .در ادامه، Fosterو همکاران (۲۰۱۳) بر ضرورت مدیریت یکپارچه آب‌های زیرزمینی با توجه به ابعاد اجتماعی و اقتصادی تأکید دارند.

علاوه‌براین، برخی مطالعات در مناطق با شرایط اقلیمی مرطوب نیز نشان داده‌اند حتی در نواحی پربارش، افزایش فشارهای انسانی، تغییر کاربری زمین و توسعه کشاورزی می‌تواند به وابستگی فزاینده به منابع آب زیرزمینی و بروز چالش‌های مدیریتی منجر شود، هرچند این مطالعات غالباً با رویکردهای هیدرولوژیک و مدیریتی انجام شده و کمتر به تحلیل‌های مردم‌نگارانه پرداخته‌اند.

با وجود این ادبیات گسترده، مطالعات مردم‌نگارانه درباره آب‌های زیرزمینی در مناطق مرطوب نسبتاً محدود است. بنابراین، بررسی مردم‌نگارانه بحران آب زیرزمینی در شمال ایران می‌تواند به غنای ادبیات جهانی انسان‌شناسی آب کمک کند.**براین‌اساس، نوآوری مقاله حاضر نه صرفاً در مطالعه یک مورد محلی، بلکه در ترکیب رویکرد مردم‌نگارانه با تحلیل حکمرانی آب در یک منطقه مرطوب است که کمتر در ادبیات بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور مشخص، این مقاله: ۱) با تمرکز بر مردم‌نگاری آب زیرزمینی در شمال ایران، ۲) تحلیل شکاف میان سیاست‌های رسمی و کنش‌های محلی را در بستر تجربه زیسته کشاورزان ارائه می‌دهد، و (۳) چارچوبی تحلیلی میان‌رشته‌ای برای فهم حکمرانی آب زیرزمینی در زمینه‌های مشابه اقلیمی پیشنهاد می‌کند.**

مباحث نظری

تحلیل بحران آب زیرزمینی در شمال ایران مستلزم چارچوبی میان‌رشته‌ای است که هم ابعاد اجتماعی و فرهنگی و هم ساختارهای نهادی و اقتصادی را در بر گیرد. پژوهش حاضر بر اساس چهار رویکرد نظری مکمل، به جای ارائه یک تحلیل جامع کل‌نگر، به دنبال صورت‌بندی یک چارچوب چندسطحی برای فهم تعامل میان سیاست‌های رسمی، فرهنگ محلی، اقتصاد معیشتی و کنش‌های روزمره کشاورزان است.

انسان‌شناسی محیط‌زیست بر تحلیل تعامل انسان با محیط طبیعی و تأثیر معانی فرهنگی، دانش بومی و ساختارهای اجتماعی بر مدیریت منابع طبیعی تمرکز دارد (strang، ۲۰۱۵). آب در این رویکرد نه‌تنها یک منبع طبیعی بلکه پدیده‌ای نمادین و اجتماعی است که هویت، روابط اجتماعی و نظام‌های ارزشی را شکل می‌دهد. در زمینه بحران آب زیرزمینی مازندران، این رویکرد امکان تحلیل برداشت محلی از آب، ادراکات معنایی کشاورزان و شیوه‌های مدیریت سنتی را فراهم می‌کند.

Ostrom (۲۰۱۰) نشان می‌دهد مدیریت پایدار منابع مشترک تنها از طریق ساختارهای دولتی یا بازار ممکن نیست و نهادهای محلی، قواعد بومی و همکاری جمعی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (Ostrom، ۲۰۱۰). این نظریه به بررسی سازوکارهای خودتنظیمی، حقوق دسترسی و قواعد محلی برای جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه می‌پردازد .**در ادبیات جدید حکمرانی آب در اروپا نیز، به‌ویژه در چارچوب مدیریت یکپارچه حوضه‌های آبریز (IWRM) و حکمرانی چندسطحی (multi-level governance)، بر نقش شبکه‌ای دولت-محلی و مشارکت ذی‌نفعان در مدیریت منابع آب تأکید شده است .**

این ادبیات نشان می‌دهد که تعامل دولت و نهادهای محلی در مدیریت آب، یک فرآیند مشارکتی و شبکه‌ای است نه صرفاً سلسله‌مراتبی.

اقتصاد اخلاقی معیشت بر تصمیم‌گیری اقتصادی جوامع در شرایط محدودیت منابع و فشار معیشتی تمرکز دارد (scott، ۱۹۷۶). بهره‌برداری از آب زیرزمینی در شمال ایران نه صرفاً به عنوان یک انتخاب فنی، بلکه به عنوان پاسخ معیشتی به نیازهای کشاورزان و خانواده‌ها قابل تحلیل است. این رویکرد امکان فهم چرایی گسترش چاه‌های غیرمجاز و راهبردهای محلی برای تأمین امنیت غذایی و اقتصادی را فراهم می‌آورد.

نظریه شکاف دولت-محلی **(State-Local Gap)** بر تضاد میان سیاست‌گذاری رسمی و کنش‌های محلی تمرکز دارد. در ایران، تدوین سیاست‌های مدیریت آب توسط دولت مرکزی با محدودیت‌هایی از جمله ضعف نظارت، تعارض منافع محلی و ظرفیت محدود اجرایی قوانین مواجه است (Rahimi و Ghorbani، ۲۰۲۶). این چارچوب توضیح می‌دهد که چگونه سیاست‌های رسمی ممکن است با واقعیت‌های محلی ناسازگار شده و به برداشت‌های بی‌رویه و تشدید بحران آب منجر شود .**در ادبیات تطبیقی حکمرانی آب در اروپا نیز، مطالعات نشان می‌دهد که فاصله میان سیاست‌گذاری سطح کلان و اجرای محلی، یکی از چالش‌های اصلی در موفقیت سیاست‌های محیط‌زیستی است (Bressers و همکاران، ۲۰۱۳).**

برخلاف رویکردهای کلاسیک تحلیل جامع، این پژوهش از یک چارچوب **چندسطحی و تعاملی** استفاده می‌کند. در این چارچوب:انسان‌شناسی محیط‌زیست و اقتصاد اخلاقی معیشت → سطح کنش و ادراک محلی .حکمرانی چندمرکزی → سطح نهادی و مشارکتی .شکاف دولت-محلی → سطح تعارض سیاست و اجرا. **در این پژوهش، این چهار رویکرد نه به‌صورت لایه‌های مستقل، بلکه در قالب یک رابطه سیال و دیالکتیکی صورت‌بندی می‌شوند. به این معنا که کنش بهره‌برداران محلی (کشاورزان) در نقطه تلاقی چهار نیروی هم‌زمان شکل می‌گیرد: ۱) معانی فرهنگی و ادراکات محیطی (انسان‌شناسی محیط‌زیست)، ۲) الزامات و فشارهای معیشتی (اقتصاد اخلاقی)، ۳) قواعد و سازوکارهای نهادی رسمی و غیررسمی (حکمرانی چندمرکزی) و ۴) میزان انطباق یا تعارض سیاست‌های کلان با واقعیت‌های محلی (شکاف دولت-محلی). در این چارچوب، رابطه میان این سطوح یک‌سویه نیست، بلکه دیالکتیکی است؛ به‌گونه‌ای که: فشارهای معیشتی می‌توانند قواعد نهادی را دور زده یا بازتعریف کنند؛ قواعد نهادی می‌توانند ادراکات و رفتارهای محلی را تغییر دهند؛ سیاست‌های رسمی در صورت ناهماهنگی با فرهنگ و معیشت، به مقاومت یا سازگاری خلاقانه محلی منجر می‌شوند؛ و در مقابل، کنش‌های محلی نیز می‌توانند به بازتولید، تضعیف یا اصلاح سیاست‌ها بی‌انجامند. براین‌اساس، مدل مفهومی پژوهش به‌صورت یک نظام تعاملی چندسطحی قابل صورت‌بندی است که در آن: برداشت از آب زیرزمینی به‌عنوان متغیر کانونی، حاصل برهم‌کنش پویا میان چهار بعد اصلی (فرهنگ، معیشت، نهاد، سیاست) است. این مدل نشان می‌دهد که تداوم برداشت بی‌رویه نه صرفاً نتیجه ضعف یک عامل، بلکه پیامد هم‌افزایی میان فشارهای معیشتی، معانی فرهنگی آب، ناکارآمدی نهادی و شکاف سیاست-اجرا است.**

روش پژوهش

پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و مبتنی بر روش مردم‌نگاری انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش، فهم عمیق تجربه زیسته کشاورزان، ادراکات محلی از منابع آب و تحلیل سازوکارهای اجتماعی و فرهنگی مؤثر بر گسترش برداشت از آب‌های زیرزمینی است. از آنجا که مسئله گسترش چاه‌های آب و تغییر الگوهای بهره‌برداری از منابع زیرزمینی صرفاً پدیده‌ای فنی یا اقتصادی نیست و ابعاد اجتماعی، فرهنگی و نهادی پیچیده‌ای دارد، استفاده از روش مردم‌نگاری امکان بررسی چندلایه این پدیده را فراهم می‌کند. مردم‌نگاری به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا با حضور در میدان، مشاهده مستقیم کنش‌ها و تعاملات و شنیدن روایت‌های محلی، به فهمی درونی از منطق کنش‌های مرتبط با بهره‌برداری از آب دست یابد.

میدان اصلی پژوهش اراضی کشاورزی گسترده در شهرستان آمل در استان مازندران انتخاب شد؛ منطقه‌ای که طی سال‌های اخیر با افزایش چاه‌های غیرمجاز و کاهش منابع آب سطحی مواجه شده است. برای شفاف‌سازی دقیق‌تر میدان مطالعه، پژوهش در **دو محدوده مشخص کشاورزی شامل ۱) اراضی کشاورزی واقع در مسیر جاده شهرستان آمل به شهرستان سرخرود و ۲) اراضی کشاورزی در امتداد جاده شهرستان آمل به رودبار** انجام شد. انتخاب این دو محدوده به دلیل تفاوت نسبی در الگوهای بهره‌برداری از آب، تراکم چاه‌های غیرمجاز و شدت تغییر کاربری اراضی صورت گرفت.این مناطق به دلیل مشاهده میدانی گسترش چاه‌های غیرمجاز، تغییر الگوی تأمین آب و وابستگی روزافزون کشاورزان به آب‌های زیرزمینی به‌عنوان میدان اصلی مطالعه انتخاب شدند.

جامعه مورد مطالعه شامل کشاورزان، مالکان زمین‌های کشاورزی، بهره‌برداران چاه‌های آب، مطلعان محلی، کارشناسان **شرکت آب منطقه‌ای مازندران**، و نیز برخی اعضای **جهاد کشاورزی و شوراهای محلی** بود. افزون بر این، برای تکمیل نگاه فرهنگی-تخصصی، با **چند نفر از نخبگان دانشگاهی حوزه آب (از جمله متخصصان مهندسی منابع آب در دانشگاه‌های استان مازندران)** نیز مصاحبه تکمیلی انجام شد تا تحلیل صرفاً محدود به تجربه کشاورزان نباشد.نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند و نظری انجام شد؛ بدین معنا که افرادی انتخاب شدند که تجربه مستقیم در بهره‌برداری از منابع آب، حفر چاه، مدیریت زمین‌های کشاورزی یا تعامل با نهادهای رسمی آب داشتند. تعداد مشارکت‌کنندگان (بیش از ۳۰ نفر) بر اساس منطق نمونه‌گیری هدفمند و رسیدن به اشباع نظری تعیین شد؛ به‌این‌معنا که فرآیند گردآوری داده‌ها تا زمانی ادامه یافت که مصاحبه‌های جدید دیگر اطلاعات یا مضامین تازه‌ای به الگوهای تحلیلی اضافه نمی‌کردند. بنابراین، حجم نمونه نه به‌صورت از پیش تعیین شده، بلکه بر اساس کفایت داده‌ها و اشباع مفهومی در میدان پژوهش تثبیت شد ..**فرایند جلب اعتماد** در این پژوهش به‌صورت تدریجی و از طریق حضور میدانی مکرر پژوهشگر در روستاها، همراهی با فعالیت‌های روزمره کشاورزان، و معرفی اولیه از طریق دهیاران و افراد معتمد محلی انجام شد. پژوهشگر پیش از انجام مصاحبه‌های رسمی، چندین نوبت گفت‌وگوی غیررسمی در محیط مزرعه و محل زندگی کشاورزان داشته است تا اعتماد اولیه شکل گیرد. **ارتباط پژوهشگر با مصاحبه‌شوندگان صرفاً در چارچوب پژوهشی و با رعایت اصل رضایت آگاهانه بوده و هیچ‌گونه رابطه شغلی یا اجرایی مستقیم با آنان وجود نداشته است.**

مصاحبه‌ها با محورهایی چون تغییرات منابع آب، دلایل حفر چاه، تجربه تعامل با نهادهای رسمی (به‌ویژه شرکت آب منطقه‌ای مازندران و دستگاه‌های اجرایی محلی)، نقش سنت‌های محلی در مدیریت آب و پیامدهای اجتماعی کم‌آبی انجام شد. این مصاحبه‌ها امکان ثبت روایت‌های شخصی و تجربه زیسته کشاورزان را فراهم آورد.تحلیل داده‌ها با استفاده از روش تحلیل مضمون انجام شد. ابتدا مصاحبه‌ها و یادداشت‌های میدانی به‌صورت کامل مرور و کدگذاری اولیه انجام گرفت. سپس کدهای مشابه در قالب مقوله‌های مفهومی دسته‌بندی و در مرحله بعد، مضامین اصلی پژوهش استخراج شد. فرایند تحلیل به‌صورت رفت و برگشتی میان داده‌ها و مفاهیم نظری انجام گرفت تا مضامین نهایی شکل گیرد.برای افزایش اعتبار یافته‌ها، از روش بازبینی مداوم داده‌ها، مقایسه روایت‌ها و استفاده از نقل‌قول‌های مستقیم مشارکت‌کنندگان استفاده شدگ **در نهایت، تلاش شد تجربه و نگاه کنشگران نهادی (از جمله کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای مازندران) در کنار تجربه زیسته کشاورزان قرار گیرد تا از تقلیل مسئله به یک سطح صرفاً محلی یا صرفاً اداری جلوگیری شود.**

معرفی میدان مطالعه و منابع آبی منطقه

میدان اصلی این پژوهش در اراضی کشاورزی شهرستان آمل و در مناطقی متمرکز است که طی سال‌های اخیر با گسترش چاه‌های غیرمجاز و افت منابع آب سطحی مواجه شده است. اراضی کشاورزی در این مناطق در گذشته از چند منبع آبی متنوع تغذیه می‌شدند. نخست، آب‌بندان‌ها که به‌عنوان یکی از مهمترین سازوکارهای ذخیره و تنظیم آب در شمال ایران عمل می‌کردند و نقش کلیدی در تأمین آب شالیزارها داشتند. دوم، چشمه‌های محلی که به‌صورت سنتی آب مورد نیاز بخشی از زمین‌های کشاورزی را فراهم می‌کردند. سوم، جریان‌های سطحی و شاخه‌های فرعی رودخانه هراز که در گذشته منبع اصلی آب برای آبیاری بسیاری از اراضی این منطقه محسوب می‌شد.بااین‌حال، مشاهدات میدانی و مصاحبه با کشاورزان نشان می‌دهد این منابع آبی طی یک دهه اخیر به دلایل مختلفی با کاهش آبدهی مواجه شده‌اند. کاهش بارندگی‌های مؤثر، تغییر الگوی زمانی بارش، کاهش ظرفیت آب‌بندان‌ها، برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و

زیرزمینی و همچنین گسترش ساخت‌وساز و تغییر کاربری اراضی از جمله عواملی است که به کاهش آب این منابع انجامیده است.

در نتیجه **کاهش منابع یا تغییر در شیوه بهره برداری و الگوی استفاده از آب های سطحی**، بسیاری از کشاورزان برای حفظ تولید کشاورزی به حفر چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق ـــ اغلب بدون مجوز رسمی ــ روی آورده‌اند. این چاه‌ها اکنون به یکی از منابع اصلی تأمین آب برای کشت اول و دوم در منطقه تبدیل شده‌اند و به‌تدریج الگوی بهره‌برداری از آب را از نظام سنتی مبتنی بر منابع مشترک به نظامی فردمحور و مبتنی بر استخراج آب زیرزمینی تغییر داده‌اند. بررسی میدانی نشان می‌دهد که تمرکز چاه‌های غیرمجاز در زمین‌های کشاورزی این دو مسیر نسبت به سایر مناطق پیرامونی بیشتر بوده و همین امر این محدوده‌ها را به نمونه‌ای مناسب برای مطالعه مردم‌نگارانه بحران آب زیرزمینی تبدیل کرده است. **لازم به توضیح است که در این پژوهش، به دلیل فقدان دسترسی به آمار رسمی تفکیکی و به‌روز درباره تعداد چاه‌های غیرمجاز در سطح خرد (محدوده مزرعه‌ای)، تشخیص «تمرکز بیشتر» بر اساس ترکیبی از مشاهده مستقیم میدانی، مصاحبه با کشاورزان و مطلعان محلی، و مقایسه نسبی تراکم چاه‌ها در دو مسیر مطالعه انجام شده است. بنابراین، یافته‌ها در این بخش ماهیت کیفی-تفسیری داشته و مبتنی بر ادراک و شواهد میدانی هستند، نه داده‌های آماری رسمی.**

یافته‌ها

نحوه استخراج مضامین از داده‌های میدانی

مضامین شش‌گانه مطرح شده در بخش یافته‌ها حاصل فرایند تحلیل کیفی نظام‌مند داده‌های مردم‌نگارانه و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با مشارکت‌کنندگان محلی است. در این پژوهش، تحلیل داده‌ها بر اساس رویکرد تحلیل تماتیک و با بهره‌گیری از مراحل کدگذاری باز، محوری و انتخابی انجام گرفت.در گام نخست، تمامی مصاحبه‌های انجام شده با کشاورزان، **مدیران محلی (شامل دهیاران به‌عنوان مدیران اجرایی منصوب در سطح روستا)، اعضای شوراهای اسلامی روستا (به‌عنوان نهادهای منتخب مردمی)، و نیز برخی میراب‌های سنتی (در مواردی که هنوز به‌صورت غیررسمی در مدیریت آب نقش داشتند)** و ساکنان قدیمی منطقه به‌صورت کامل ضبط و سپس واژه‌به‌واژه پیاده‌سازی شد .پس از پیاده‌سازی، متن مصاحبه‌ها چندین بار به‌صورت عمیق خوانده شد تا پژوهشگر به درک کلی از الگوهای معنایی و تجربه زیسته کنشگران محلی در زمینه آب و چاه‌های کشاورزی دست یابد. این مرحله که به غوطه‌وری در داده‌ها معروف است، زمینه شناسایی مفاهیم اولیه را فراهم ساخت.

در مرحله دوم، کدگذاری باز انجام شد. در این مرحله، جملات و روایت‌های مرتبط با مسئله آب، چاه، سیاست‌های دولتی، تغییرات اقلیمی، معیشت کشاورزی و ادراک محیط‌زیستی استخراج و به‌صورت کدهای اولیه ثبت شد. برای نمونه، عباراتی مانند "بدون چاه نمی‌توان کشاورزی کرد"، "بارندگی مثل گذشته نیست"، "میراب‌ها دیگر نیستند"، "قانون‌ها شرایط ما را نمی‌فهمد" "آب زیر زمین تمام نمی‌شود" به‌عنوان کدهای اولیه شناسایی شدند. در مجموع، حدود ۴۵ تا ۶۰ کد اولیه از متن مصاحبه‌ها استخراج شد که این فرایند تا رسیدن به اشباع اولیه داده‌ها ادامه یافت و کدهای جدید پس از مرحله‌ای از تحلیل، تکراری شدند و به داده‌های قبلی افزوده نمی‌شدند.

در مرحله سوم، کدهای مشابه و هم‌پوشان در قالب مقوله‌های محوری دسته‌بندی شدند. به‌عنوان‌مثال، کدهایی مانند افزایش هزینه زندگی، نیاز به درآمد بیشتر، کشت دوم برنج و وابستگی معیشت به زمین در مقوله‌ای تحت عنوان فشار معیشتی و گسترش کشت قرار گرفتند. همچنین کدهایی مانند کاهش بارندگی، خشک شدن چشمه‌ها و کم شدن آب رودخانه در مقوله تغییرات اقلیمی و کاهش آب سطحی تجمیع شدند. این مرحله به کاهش پراکندگی داده‌ها و شکل‌گیری الگوهای مفهومی منسجم کمک کرد. **ترکیب مشارکت‌کنندگان پژوهش شامل بیش از ۳۰ نفر بود که از این میان حدود ۲۲ نفر کشاورز فعال (با سابقه ۱۰ تا ۴۰ سال فعالیت کشاورزی)، ۵ نفر از مدیران محلی (دهیاران و اعضای شوراهای اسلامی روستا) و ۳ نفر از مطلعان کلیدی (از جمله افراد آشنا با نظام‌های سنتی مدیریت آب مانند میراب‌ها) را شامل می‌شد. اغلب کشاورزان دارای تحصیلات متوسطه یا پایین‌تر بوده و معیشت اصلی آنان مبتنی بر کشاورزی بوده است. این تنوع در ترکیب نمونه‌ها امکان تحلیل چندسطحی از تجربه زیسته، مدیریت محلی و تحولات نهادی آب را فراهم کرده است.**

در مرحله چهارم، مقوله‌های محوری در سطحی انتزاعی‌تر تحلیل شده و مضامین نهایی پژوهش شکل گرفت. این مضامین بازتاب‌دهنده ساختارهای معنایی و الگوهای تکرارشونده در روایت‌های مشارکت‌کنندگان و نه صرفاً برداشت ذهنی پژوهشگر بودند.. معیار اصلی در تثبیت هر مضمون، تکرارپذیری آن در میان گروه‌های مختلف مصاحبه‌شوندگان (کشاورزان، مدیران محلی و مطلعان کلیدی) و ارتباط مستقیم آن با مسئله افزایش چاه‌های آب بود.

به‌این‌ترتیب، شش مضمون اصلی شامل فشار معیشتی و گسترش کشت‌های دوم، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب سطحی، فروپاشی نظام سنتی مدیریت آب، ضعف حکمرانی آب، فقدان ادراک محیط‌زیستی و توسعه روستایی و تغییر کاربری زمین به‌عنوان الگوهای مسلط در داده‌های میدانی استخراج شد.

اگرچه برخی از این مضامین (نظیر نقش فشار معیشتی یا ضعف حکمرانی) در مطالعات پیشین نیز مطرح شده‌اند، نوآوری این پژوهش در بازخوانی این مفاهیم در بستر فرهنگی-مردم‌نگارانه شمال ایران و نشان دادن نحوه درهم‌تنیدگی آن‌ها در تجربه زیسته کشاورزان است.

به‌عبارت‌دیگر، این پژوهش نه صرفاً بازتولید نتایج پیشین، بلکه تکمیل و بازتفسیر آن‌ها در یک زمینه جغرافیایی و فرهنگی کمتر مطالعه شده (مناطق مرطوب شمال ایران) است و ارتباط میان این عوامل را در قالب یک الگوی مفهومی بومی تبیین می‌کند.

این مضامین نه به‌صورت پیشینی، بلکه به‌طور استقرایی و برآمده از تجربه زیسته و روایت‌های کنشگران محلی شکل گرفت و در مراحل بعدی تحلیل، ارتباط میان آن‌ها در قالب یک مدل مفهومی تبیین شد. برای افزایش اعتبار یافته‌ها، از راهبردهای اعتبارسنجی کیفی شامل بازبینی مکرر داده‌ها، مقایسه مستمر میان مصاحبه‌ها و توجه به اشباع نظری استفاده شد. اشباع نظری زمانی حاصل شد که داده‌های جدید مضمون تازه‌ای به تحلیل نیفزود و الگوهای موجود تثبیت شد. به‌این‌ترتیب، مضامین استخراج شده حاصل فرایندی نظام‌مند، تکرارشونده و مبتنی بر داده‌های میدانی بوده و قابلیت اتکای تحلیلی دارند. بر اساس داده‌های حاصل از مصاحبه‌های میدانی و فرایند تحلیل و کدگذاری داده‌ها، ابتدا کدهای اولیه از اظهارات مشارکت‌کنندگان استخراج و سپس بر اساس ارتباط مفهومی و محتوایی، در قالب مقوله‌های محوری دسته‌بندی شدند. در مرحله بعد، با مقایسه و تلفیق مقوله‌های محوری، مضامین نهایی پژوهش شکل گرفتند. این فرایند امکان شناسایی الگوهای تکرارشونده در تجربه و ادراک مشارکت‌کنندگان درباره وضعیت منابع آب، تغییرات معیشتی، تحولات اقلیمی و عملکرد نهادهای رسمی و محلی را فراهم کرد. جدول (۱) فرایند حرکت از کدهای اولیه به مقوله‌های محوری و در نهایت مضامین نهایی استخراج شده از داده‌های میدانی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- استخراج تم‌ها از داده‌های میدانی پژوهش

کدهای اولیه استخراج شده از مصاحبه‌ها	مقوله‌های محوری (دسته‌بندی تحلیلی)	مضمون نهایی استخراج شده
افزایش هزینه زندگی روستایی؛ وابستگی کامل درآمد به زمین؛ نیاز به درآمد بیشتر؛ کشت دوم برنج و صیفی؛ رقابت برای تولید بیشتر؛ بدون چاه کشاورزی ممکن نیست	فشار اقتصادی بر خانوار کشاورز؛ تشدید وابستگی معیشتی به آب؛ تغییر الگوی کشت به چندکشت	فشار معیشتی و گسترش کشت‌های دوم و پرمصرف
کاهش بارندگی نسبت به گذشته؛ بی‌نظمی بارش‌ها؛ خشک شدن چشمه‌ها؛ کم شدن آب رودخانه‌ها؛ طولانی شدن دوره خشکی؛ نیاز بیشتر به آبیاری مصنوعی	کاهش منابع آب سطحی؛ نااطمینانی اقلیمی؛ افزایش وابستگی به منابع زیرزمینی	تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب سطحی
نبود میراب؛ از بین رفتن تقسیم سنتی آب؛ نبود نظارت محلی بر نهرها؛ اختلاف بین روستاها بر سر آب؛ مدیریت سنتی دیگر کار نمی‌کند	تضعیف نهادهای بومی مدیریت آب؛ حذف کنترل اجتماعی مصرف آب؛ فقدان سازوکار توزیع محلی	فروپاشی نظام سنتی مدیریت آب و حذف نقش میراب‌ها
قوانین چاه سخت است ولی اجرا نمی‌شود؛ دولت شرایط کشاورز را نمی‌فهمد؛ نظارت کم است؛ گرفتن مجوز دشوار؛ هرکس خودش چاه می‌زند؛ شورا دخالت نمی‌کند	شکاف میان سیاست رسمی و واقعیت محلی؛ ضعف نظارت نهادی؛ ناکارآمدی مدیریت دولتی آب	ضعف حکمرانی آب و ناکارآمدی سیاست‌های رسمی
آب زیر زمین تمام نمی‌شود؛ چاه حق کشاورز است؛ نگرانی درباره اینده آب کم است؛ اولویت با معیشت است نه محیط‌زیست؛	ادراک فرهنگی آب به‌عنوان منبع نامحدود؛ غلبه منطق معیشتی بر منطق حفاظتی؛ ضعف آگاهی محیط‌زیستی	فقدان ادراک محیط‌زیستی نسبت به منابع آب زیرزمینی
ساخت ویلا در زمین‌های کشاورزی؛ افزایش جمعیت فصلی؛ چاه برای ویلاها؛ خشک شدن چشمه‌ها؛ تغییر کاربری زمین؛ طرح‌های توسعه روستایی بدون توجه به آب	افزایش تقاضای آب غیرکشاورزی؛ فشار کالبدی بر منابع آب؛ تغییر ساختار فضایی روستا	توسعه روستایی، ویلاسازی و تغییر کاربری زمین

مضمون ۱: فشار معیشتی و گسترش کشت‌های دوم و پرمصرف

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که فشارهای معیشتی کشاورزان نقش محوری در گسترش کشت‌های دوم و محصولات پرمصرف دارد و انگیزه اصلی برای برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی را فراهم می‌کند. کشاورزان تاکید کردند که افزایش هزینه‌های زندگی، تورم، و فشار برای تأمین درآمد خانواده موجب شده است تا کشت دوم و محصولات پرمصرف جایگزین کشت‌های سنتی شوند.

به‌عنوان‌مثال یکی از کشاورزان محور آمل_سرخرود گفت:"اگر آب چاه‌ها نبود، نمی‌توانستیم محصول دوم را بکاریم و درآمد خانواده به شدت کاهش می‌یافت".

مشاهده میدانی نشان داد بسیاری از چاه‌های موجود در مزارع کشت دوم حفر شده‌اند و برخی کشاورزان برای تضمین تأمین آب، اقدام به حفر چاه‌های غیرمجاز جدید می‌کنند. **در مسیر جاده‌ای رودبار، بر اساس مشاهدات میدانی و مقایسه روایت‌های کشاورزان و دهیاران، تراکم چاه‌ها در اراضی دارای کشت دوم نسبت به گذشته افزایش قابل‌توجهی داشته است؛ بااین‌حال، به‌دلیل فقدان آمار رسمی تفکیک شده در مقیاس محلی، از ارائه برآورد کمی دقیق خودداری شده و این نتیجه به‌صورت کیفی و مبتنی بر شواهد میدانی گزارش می‌شود.** همچنین، مصاحبه با دهیاران و اعضای شوراهای روستایی نشان داد که برخی کشاورزان با اطلاع محدود از قواعد محلی یا بدون هماهنگی، اقدام به حفر چاه جدید

کرده‌اند تا بتوانند به‌موقع و بدون تأخیر، کشت دوم خود را آبیاری کنند.

تحلیل تماتیک داده‌ها نشان داد فشارهای معیشتی ناشی از کم‌آبی در تعامل با تجربیات محلی و شیوه‌های دانشی کشاورزان، الگوهای متفاوتی از کنش را در مدیریت آب شکل داده است. **در این پژوهش، دانش بومی نه به عنوان مجموعه‌ای ایستا از دانسته‌های سنتی، بلکه به‌عنوان نظامی پویا از دانش، تجربه و یادگیری مستمر مبتنی بر محیط محلی در نظر گرفته می‌شود که در طول زمان و در مواجهه با شرایط جدید بازتولید و بازتفسیر می‌شود.** یافته‌ها نشان داد بخشی از تجارب و رویه‌های محلی موجود در منطقه در دوره‌هایی شکل گرفته‌اند که دسترسی به منابع آب با محدودیت‌های کنونی مواجه نبوده است. با تشدید بحران آب، این تجارب در بستر شرایط جدید معیشتی و اکولوژیکی به کار گرفته شده و در برخی موارد دچار بازتعریف شده‌اند. **براین‌اساس، رفتارهای بهره‌بردارانه مشاهده شده را نمی‌توان مستقیماً به دانش بومی نسبت داد، زیرا دانش بومی اساساً بر شناخت محیط و سازگاری با آن استوار است. آنچه در این مطالعه مشاهده شد، حاصل تأثیر فشارهای معیشتی، تغییر شرایط اکولوژیکی و محدودیت‌های نهادی بر تصمیم‌گیری کشاورزان است؛ شرایطی که می‌تواند برخی از کارکردهای سازگارکننده دانش بومی را تضعیف یا دگرگون سازد.**

برخی کشاورزان با همسایگان خود ساعات پمپاژ آب را هماهنگ می‌کنند و از سازوکارهای محلی برای کاهش تعارضات بهره می‌گیرند؛ اما در شرایط اضطراری و برای حفظ محصول دوم، به راهکارهایی مانند حفر چاه جدید روی می‌آورند. یکی از کشاورزان محور آمل-رودبار بیان کرد: "ما همیشه سعی می‌کنیم با همسایه‌ها توافق کنیم، اما وقتی محصول دوم در خطر است، چاره‌ای جز حفر چاه جدید نداریم."این یافته‌ها همچنین نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، درک پیامدهای محیط‌زیستی بلندمدت (مانند افت سطح آب زیرزمینی) یا محدود است یا در اولویت تصمیم‌گیری قرار نمی‌گیرد و منطق معیشتی کوتاه‌مدت بر ملاحظات محیط‌زیستی غلبه دارد. **ازاین‌رو، گسترش برداشت‌های غیررسمی آب زیرزمینی را باید نتیجه برهم‌کنش میان فشارهای اقتصادی، الزامات معیشتی، تغییرات محیطی و ضعف سازوکارهای حکمرانی آب نه پیامد مستقیم دانش بومی دانست.** این شواهد نشان می‌دهد فشار اقتصادی و نیاز معیشتی، نه تنها محرک فنی برای حفر چاه است، بلکه در تعامل با سازوکارهای اجتماعی و نهادی، به الگویی پایدار از برداشت غیررسمی آب تبدیل شده است که مدیریت منابع آب زیرزمینی را با چالش مواجه می‌کند. **بنابراین، آنچه مشاهده می‌شود تعارض میان دانش بومی و محیط‌زیست نیست، بلکه کاهش کارآمدی برخی سازوکارهای سازگارکننده دانش بومی و بازآرایی آنها در شرایط بحران آب و ناامنی معیشتی است.** گسترش چاه‌ها در اراضی برای کشت دوم نمونه‌ای بارز از هم‌پوشانی میان نیازهای معیشتی و نقض قوانین رسمی است که بدون درک منطق معیشتی کشاورزان و شرایط ساختاری مؤثر بر تصمیم‌گیری آنان، نمی‌توان سیاست‌های مؤثری برای کنترل برداشت بی‌رویه آب طراحی کرد.

مضمون ۲: تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب سطحی

بنا بر دیدگاه مصاحبه شوندگان یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، از جمله کاهش بارش‌ها، افزایش دما و نوسانات فصلی، موجب کاهش محسوس منابع آب سطحی شده است و کشاورزان را به برداشت بیشتر از آب‌های زیرزمینی سوق می‌دهد. برخی کشاورزان عنوان کردند که روند کاهش بارش زمستانی و بهارهای خشک موجب خشک شدن بخش قابل توجهی از چشمه‌ها و کاهش سطح آب رودخانه‌های کوچک شده است. *به‌عنوان‌مثال یکی از کشاورزان محورجاده ای شهرستان آمل به رودبار اظهار داشت:"چشمه‌ای که هر ساله زمین ما را آبیاری می‌کرد، حالا فقط در نیمه اول بهار جریان دارد و بقیه سال خشک می‌شود که به نظرم ما مقصریم".*

مشاهدات میدانی نیز نشان داد که کانال‌ها و آبراهه‌های سنتی که در گذشته برای تأمین آب سطحی کشاورزی استفاده می‌شدند، به دلیل کاهش روان‌آب‌ها و رسوب‌گذاری، کارایی خود را از دست داده‌اند. در برخی مناطق روستایی رودبار، کشاورزان به طور مستقیم از آب چاه‌های زیرزمینی برای جایگزینی آب سطحی استفاده می‌کنند و این امر موجب افزایش فشار بر منابع زیرزمینی شده است.

مصاحبه‌ها همچنین نشان داد کشاورزان تغییرات اقلیمی و نشانه‌های آن مانند کاهش بارندگی و تغییر الگوی فصل‌ها را در سطح تجربی و روزمره به‌خوبی مشاهده و درک می‌کنند، اما این درک لزوماً به معنای شناخت نظام‌مند از پیامدهای بلندمدت زیست‌محیطی و محدودیت‌های منابع آب زیرزمینی نیست؛ بنابراین برای حفظ کشت‌های دوم و محصولات پرمصرف، ناچار به حفر چاه‌های جدید یا افزایش میزان برداشت از چاه‌های موجود هستند. یک کشاورز در محور آمل_سرخرود بیان کرد:

"دیگر نمی‌توان روی آب رودخانه‌ها حساب کرد؛ چاره‌ای جز استفاده از چاه‌ها برای حفظ محصولاتمان نداریم".

این شواهد نشان می دهند که تغییرات اقلیمی نه تنها شرایط طبیعی را تحت تأثیر قرار داده، بلکه با افزایش وابستگی کشاورزان به منابع آب زیرزمینی و تحریک برداشت‌های غیرمجاز، فشار مضاعفی بر منابع آب ایجاد کرده است. به‌این‌ترتیب، کاهش منابع آب سطحی به یک عامل میانجی برای توضیح الگوهای برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است که بدون در نظر گرفتن تجربه زیسته و ادراک محیطی کشاورزان، نمی‌توان سیاست‌های مؤثر مدیریتی طراحی کرد.

مضمون۳: فروپاشی نظام سنتی مدیریت آب و حذف نقش میراب‌ها

یافته‌های پژوهش نشـان می‌دهد نظام سـنتی مدیریت آب و نقش میراب‌ها، که پیش‌تر تضـمین‌کننده توزیع عادلانه و پایدار منابع آب سطحی در روستاهای استان مازندران بود، در دهه‌های اخیر به شدت تضعیف شده است. این موضوع از طریف مصاحبه های نیمه ساختاریافته و و همچنین مشاهده مستقیم فعالیت‌های میراب‌ها و کانال‌های سنتی بررسی شده است. یادداشت‌های میدانی و روایت‌های محلی نیز نشان داد قدرت و نفوذ میراب‌ها به دلیل سـیاسـت‌های اداری متمرکز و کاهش منابع آب سطحی کاهش یافته است.

یکی از کشـاورزان محور آمل_سـرخرود اظهار داشـت:"قبلاً میراب مسـئول کنترل جریان آب و توزیع آن بین زمین‌ها بود. حالایا نداریم یا اگر باشد بیشتر نقش تشریفاتی دارد و هیچ کنترلی روی برداشت آب ندارد".

مشـاهدات میدانی در روسـتای پیرامون رودبار نشـان داد که بسـیاری از کانال‌های سـنتی که زیر نظر میراب‌ها نگهداری می‌شـد، یا خشـک شـده‌اند یا با ورود آب چاه‌های مجاز و غیرمجاز مختل شـده‌اند. در برخی نقاط، کشـاورزان برای دسترسی به آب مجبور شده‌اند کانال‌های قدیمی را تخریب و مسـیرهای جدید برای هدایت آب ایجاد کنند، اقدامی که پیش‌تر توسط میراب‌ها مدیریت می‌شد.

مصـاحبه‌ها همچنین نشـان داد میراب‌ها به دلیل کاهش اهمیت اجتماعی و حمایت اداری، انگیزه و قدرت تصمیم‌گیری خود را از دست داده‌اند.

یک دهیار محلی بیان کرد:" دیگر کسی به دستور میراب گوش نمی‌دهد، همه به سمت چاه‌های خصوصی و برداشت‌های بدون مجوز رفته‌اند. این باعث شـده نظم سـنتی توزیع آب کاملاً از بین برود".

این فروپاشی نظام سنتی باعث شده است که فشار بر منابع زیرزمینی افزایش یابد و برداشت‌های غیررسمی گسترش پیدا کند. کشـاورزان تجربه زیسـته خود را بیان کردند در غیاب میراب‌ها، تصـمیم‌گیری درباره زمان و مقدار برداشـت آب به صـورت فردی و به نفع زمین‌های با ارزش اقتصـادی بیشـتر انجام می‌شود، که پیامد آن افزایش نابرابری دسترسی به آب و تشـدید بحران منابع زیرزمینی اسـت. به‌این‌ترتیب، یافته‌ها نشـان می‌دهد که حذف نقش میراب‌ها نه تنها موجب تضعیف مدیریت محلی آب سـطحی شـده، بلکه زمینه‌سـاز افزایش برداشت‌های غیرقانونی و فشار بر منابع زیرزمینی شده اسـت. این شـواهد بر اهمیت تلفیق تحلیل فرهنگی و نهادی برای درک رفتارهای محلی و طراحی سـیاسـت‌های مدیریتی متناسب با شرایط محلی تأکید می‌کنند.

مضمون۴: ناکارآمدی نظارت نهادی و سیاست‌های رسمی

یافته‌های میدانی نشان می‌دهد سازوکارهای رسمی مدیریت آب در اسـتان مازندران، به‌ویژه در حوزه چاه‌های زیرزمینی، با ضعف‌های جدی نظارتی و اجرایی مواجه هستند. این موضوع از طریق مصـاحبه‌های نیمه‌سـاختاریافته با ۱۵ کشـاورز، ۵ مسـئول محلی جهاد کشـاورزی و شـرکت آب منطقه‌ای، و نیز مشـاهده مسـتقیم فعالیت‌های مرتبط با صـدور مجوز چاه و نظارت بر برداشـت‌ها جمع‌آوری شـد. یادداشـت‌های میدانی حاکی‌ازآن است که قوانین و مقررات موجود، **در سطح اسنادی چارچوب‌های نسبتاً منسجم برای مدیریت منابع آب زیرزمینی دارند، اما در سـطح اجرا به دلیل کمبود منابع انسـانی، عدم هماهنگی نهادی و ضعف در پایش و اعمال قانون، به‌طور مؤثر محقق نمی‌شـوند.** یک مسـئول محلی جهاد کشـاورزی اشـاره کرد:

"تعداد چاه‌های مجاز و غیرمجاز آن‌قدر زیاد اسـت که توان نظارت مستقیم نداریم. بسیاری از کشاورزان بدون مجوز اقدام به حفر چاه می‌کنند و بازدارندگی قانونی کافی وجود ندارد".

در مشـاهده میدانی، کشـاورزان اقدام به نصـب پمپ‌ها و موتورهـای قـدرتمنـد بر روی چـاه‌هـای غیرمجـاز کردنـد. این اقدامات نشـان می‌دهد که فقدان بازدارندگی و کنترل نهادی، انگیزه کشـاورزان را برای پیروی از قوانین رسـمی کاهش داده است. مصاحبه‌ها همچنین نشان داد که سیاست‌های رسمی مدیریت آب اغلب با واقعیت‌های محلی همخوانی ندارند.یک کشاورز در اراضی کشاورزی آمل_سرخرود بیان کرد:

" ما مجبوریم برای کشت دوم و نیازهای اقتصادی خودمان چاه حفر کنیم، چون سـیاسـت‌های دولت فقط روی کاغذ خوب به نظر می‌آیند و هیچ کمکی برای تأمین نیاز واقعی ما نمی‌کنند".

یادداشـت‌های میدانی در روسـتاهای پیرامون رودبار نیز تأیید می‌کند که عدم هماهنگی میان نهادهای متولی آب، از جمله شـرکت آب منطقه‌ای مازندران و مدیریت‌های محلی جهاد کشـاورزی، همراه با ضـعف در اجرای سـازوکارهای نظارتی و مجازات‌ها باعث شده است که چاه‌های غیرمجاز به‌طور مداوم افزایش یابند.این وضـعیت نشـان می‌دهد مسـئله اصـلی نه لزوماً ضعف در تدوین سیاست‌های رسمی، بلکه شکاف میان چارچوب‌های مصـوب و واقعیت‌های اجرایی و معیشـتی در سـطح محلی اسـت .بنابراین، یافته‌ها حاکی‌ازآن اسـت که ناکارآمدی در اجرای نهادی و عدم انطباق عملی سیاسـت‌ها با شرایط محلی، هم در گسترش برداشت‌های غیرمجاز از منابع زیرزمینی نقش دارد و هم باعث کاهش اعتماد محلی به نظام رسمی مدیریت آب شده است.

مضمون ۵: ضعف ادراک محیط‌زیستی کشاورزان نسبت به پیامدهای برداشت بی‌رویه

تحلیل داده‌های میدانی نشان می‌دهد که بسیاری از کشاورزان منطقه آمل_سـرخرود و آمل_رودبار، کشـاورزان در مورد پیامدهای اضـافه برداشـت ابراز بی اعتنایی کردند و این موضـوع را به عنوان دغدغه اصـلی خود بروز نداند. مشـاهده مسـتقیم وضـعیت چاه‌ها و زمین‌های کشـاورزی، و ثبت یادداشـت‌های میدانی در طول یک دوره شش ماهه به دست آمده است.

یکی از کشاورزان در مصاحبه بیان کرد:" ما هر سال همان مقدار آب را استفاده می‌کنیم و سال بعد هم همین کار را می‌کنیم. اینکه این آب ته بکشد یا نه، فکر نمی‌کنیم؛ مهم درآمد امسال است".

مشاهدات میدانی نیز حاکی‌ازآن است که بسیاری از کشاورزان پمپ‌های قوی بر روی چاه‌های کم‌عمق نصب کرده‌اند و حتی در زمان کاهش سطح آب، برداشت خود را کاهش نمی‌دهند. این رفتار نشان می‌دهد که ادراک محیط‌زیستی آنان بیشتر کوتاه‌مدت و معیشتی است و اثرات اکولوژیک بلندمدت کمتر مد نظر قرار می‌گیرد.

در مصاحبه با یکی از اعضای شورای روستایی ذکر شد:"کشاورزان ما بیشتر به تأمین نیاز خود در همین فصل فکر می‌کنند و کمتر درباره پیامدهای اجتماعی و محیطی طولانی‌مدت فکر می‌کنند. اطلاع‌رسانی و آموزش محیط‌زیستی هم اصلا وجود ندارد".

یادداشت‌های میدانی نشان داد که حتی برخی کشاورزان برداشت‌های خود را با اعتقاد به اینکه آب زیرزمینی تجدیدپذیر است توجیه می‌کنند. این نشان می‌دهد که کمبود دانش محیط‌زیستی و نبود آموزش‌های کاربردی محلی، موجب ضعف ادراک درباره پایایی منابع آب شده است. بنابراین، یافته‌ها تأکید دارند که ضعف ادراک محیط‌زیستی کشاورزان یکی از عوامل مهم گسترش برداشت‌های غیررسمی و فشار بر منابع آب زیرزمینی است و حل این مشکل نیازمند آموزش، مشارکت و ایجاد سازوکارهای اطلاع‌رسانی محلی همراه با سیاست‌های حمایتی است.

مضمون۶: تأثیر گسترش ویلاسازی و تغییر کاربری اراضی بر منابع آب زیرزمینی

تحلیل داده‌های میدانی نشان می‌دهد که افزایش ساخت ویلا و تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی به اراضی مسکونی و تفریحی، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده است. این یافته‌ها بر اساس مشاهدات میدانی، ثبت نمونه‌های موردی از زمین‌های تغییر کاربری یافته و مصاحبه با ۱۵ مالک زمین و محلی جمع‌آوری شده است.

یکی از مالکان زمین در مصاحبه اظهار داشت: "زمین‌های کشاورزی‌ام را به ویلا تبدیل کردم، چون درآمد کشاورزی کافی نبود. حالا مصرف آب خیلی بیشتر شده و بعضی همسایه‌ها مجبور شدند چاه حفر کنند".

مشاهدات میدانی نشان داد که بسیاری از ویلاها دارای استخرهای خصوصی و باغ‌های پرمصرف هستند که در تابستان‌ها میزان برداشت آب را افزایش می‌دهند .همچنین، حفر چاه‌های جدید برای تأمین آب ویلاها موجب افت سطح آب‌های زیرزمینی در روستاها شده است.

در مصاحبه‌ای دیگر، یکی از کشاورزان قدیمی گفت:"چند سال پیش سطح آب چاه‌هایمان بالاتر بود، اما حالا با آمدن ویلاها، مجبور شدیم پمپ‌های قوی بگذاریم و آب کافی نیست و در همین روستا چند سال قبل ۱۵ الی ۱۶ چشمه بود که الان از آن چشمه ها خبری نیست."

یادداشت‌های میدانی و نقشه‌برداری محلی نشان داد که در سال‌های اخیر، گسترش ویلاها و جاده‌کشی‌های مرتبط با آن‌ها در اراضی کشاورزی منطقه افزایش یافته است. **بر اساس ادراک مشارکت‌کنندگان محلی و مشاهدات میدانی پژوهشگر، این تغییرات با کاهش سطوح نفوذپذیر، افزایش سطوح ساخته شده و در نتیجه افزایش رواناب سطحی همراه بوده است؛ بااین‌حال، این یافته در چارچوب پژوهش کیفی حاضر به‌صورت تفسیری و نه به‌عنوان یک برآورد کمی مبتنی بر تحلیل سنجش از دور یا داده‌های هیدرولوژیک گزارش می‌شود.** این امر از دید کنشگران محلی به کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و افزایش فشار بر چاه‌های کشاورزی منجر شده است.

بنابراین، یافته‌ها نشان می‌دهند که گسترش ویلاسازی و تغییر کاربری اراضی **به‌عنوان یک عامل ادراک شده و تجربه شده توسط بهره‌برداران محلی** در افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی شمال ایران نقش دارد و مقابله با آن نیازمند سیاست‌های مدیریت یکپارچه زمین و آب، آموزش محیط‌زیستی و اعمال مقررات محلی برای کنترل برداشت آب است .**بدیهی است سنجش دقیق این اثرات نیازمند مطالعات مکمل کمی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل کاربری اراضی است. شکل (۱) چارچوب مفهومی عوامل مؤثر بر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را نشان می‌دهد .بر اساس این چارچوب، برداشت از منابع آب زیرزمینی حاصل تعامل شش عامل اصلی شامل فشار معیشتی و گسترش کشت‌های دوم، تغییرات اقلیمی و کاهش آب سطحی، ضعف دانش محیط‌زیستی کشاورزان، فروپاشی نظام سنتی مدیریت آب و حذف نقش میراب‌ها، ناکارآمدی نظارت و سیاست‌های رسمی، و گسترش ویلاسازی و تغییر کاربری اراضی است .این عوامل در ارتباط با یکدیگر، الگوهای بهره‌برداری کشاورزان از منابع آب را شکل می‌دهند و ضرورت تحلیل هم‌زمان ابعاد معیشتی، فرهنگی، محیطی و نهادی بحران آب را برجسته می‌کنند.**



شکل ۱- عوامل شش‌گانه موثر بر برداشت بی رویه منابع آب زیرزمینی

بر اساس یافته‌ها و شکل بالا اگرچه یک الگوی غالب در میان اکثر مشارکت‌کنندگان وجود دارد که بر فشار معیشتی و ضرورت حفظ کشت دوم تأکید دارد، اما این همگرایی به معنای یکدستی کامل تجربه‌ها نیست. در برخی موارد، تفاوت‌هایی در شدت وابستگی به چاه، میزان پایبندی به قواعد محلی و نوع مواجهه با محدودیت منابع مشاهده شد. به‌عنوان‌مثال، کشاورزان باسابقه‌تر در مقایسه با کشاورزان جوان‌تر، تمایل بیشتری به استفاده از هماهنگی‌های جمعی و قواعد غیررسمی داشتند، درحالی‌که برخی کشاورزان جوان‌تر بیشتر به راهبردهای فردی و فوری مانند حفر چاه جدید گرایش نشان می‌دادند.

همچنین در سطح منطقه‌ای، تفاوت‌هایی میان دو مسیر مورد مطالعه مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که در مسیر آمل-رودبار، به دلیل تراکم بیشتر فعالیت‌های کشاورزی، فشار بر منابع آب و گرایش به حفر چاه جدید بیشتر بود، درحالی‌که در آمل-سرخرود، همچنان برخی سازوکارهای هماهنگی محلی پایدارتر باقی مانده بود.

در کنار این الگوی غالب، موارد محدودی از مقاومت یا تلاش برای حفظ شیوه‌های سنتی نیز مشاهده شد؛ از جمله تلاش برخی کشاورزان باسابقه برای احیای هماهنگی‌های میرابی و محدود کردن برداشت فردی، هرچند این اقدامات در برابر فشارهای اقتصادی و تغییر ساختار معیشتی، دامنه محدودی داشت.

نتایج و بحث

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، صرفاً پیامد ضعف فنی یا مدیریتی نیست؛ بلکه حاصل برهم‌کنش پیچیده‌ای از عوامل اقتصادی، فرهنگی و نهادی است. وابستگی شدید معیشتی کشاورزان به آب زیرزمینی موجب شده است که هرگونه محدودیت در برداشت آب به‌عنوان تهدیدی مستقیم برای امنیت اقتصادی آنان تلقی شود. **این یافته برآمده از داده‌های میدانی پژوهش حاضر است و در عین حال با نتایج پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد؛ به‌گونه‌ای که** اسکوهی و اسماعیلی (۱۴۰۰) **نیز در مطالعه‌ای مستقل نشان داده‌اند فشارهای معیشتی می‌تواند یکی از عوامل اصلی تخطی بهره‌برداران از مقررات مدیریت آب باشد. در اینجا، ارجاع مذکور نه به‌عنوان تفسیر یافته‌های این پژوهش، بلکه به‌منظور مقایسه و تقویت اعتبار نتایج حاصل از داده‌های میدانی به‌کار رفته است.**

از منظر انسان‌شناسی آب، رفتار بهره‌برداران نسبت به منابع آب را نمی‌توان صرفاً با شاخص‌های اقتصادی تبیین کرد. معانی فرهنگی آب، هویت کشاورزی و احساس مالکیت بر منابع طبیعی در شکل‌دهی به الگوهای مصرف نقش اساسی دارد. در بسیاری از مصاحبه‌ها، کشاورزان آب زیرزمینی را حق طبیعی خود می‌دانستند. بااین‌حال، **یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد این معانی فرهنگی در شرایط فشار شدید معیشتی و وابستگی اقتصادی به کشت دوم، به‌تنهایی قادر به تنظیم رفتار مصرفی نیستند و در عمل در تعامل با ضرورت‌های اقتصادی بازتولید می‌شوند؛ بنابراین کارکرد فرهنگ نه مستقل، بلکه در پیوند با ساختار معیشت قابل فهم است** .چنین ادراکی نشان می‌دهد که سیاست‌های مدیریت آب در صورت بی‌توجهی به نظام‌های معنایی و فرهنگی محلی، با مقاومت اجتماعی مواجه خواهد شد. نتیجه‌ای که با رویکردهای انسان‌شناسی آب نیز همسو است (Linton و Budds، ۲۰۱۴).

همچنین یافته‌ها بیانگر شکاف قابل‌توجه میان سیاست‌های رسمی و واقعیت‌های محلی است. منظور از سیاست‌های رسمی در این پژوهش، مجموعه سیاست‌های وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای از جمله نظام صدور و کنترل مجوز چاه، طرح‌های تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی، سیاست‌های محدودسازی برداشت و همچنین سیاست‌های کلان کشاورزی مانند الگوی کشت و سیاست‌های خودکفایی غذایی است که

در برخی موارد با هم‌افزایی لازم میان بخش آب و کشاورزی همراه نیستند .سیاست‌های متمرکز دولتی که بدون مشارکت بهره‌برداران تدوین می‌شود، اغلب با شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان همخوانی ندارد. این شکاف موجب شکل‌گیری راهبردهای غیررسمی برای دسترسی به آب شده است. نتایج پژوهش‌های بین‌المللی نیز نشان می‌دهد که موفقیت سیاست‌های مدیریت آب در گرو مشارکت فعال جوامع محلی و توجه به دانش بومی است. موضوعی که در ادبیات حکمرانی منابع مشترک نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Ostrom، ۱۹۹۰؛ Shah، ۲۰۰۹).

از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب سطحی فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده است. افزایش دما و کاهش بارش، وابستگی به چاه‌های عمیق را افزایش داده و رقابت بر سر منابع آب را تشدید کرده است. مطالعات جهانی نشان می‌دهد که در بسیاری از مناطق کشاورزی، تغییرات اقلیمی موجب تشدید برداشت از آب‌های زیرزمینی و کاهش پایداری منابع آب شده است (Famiglietti، ۲۰۱۴؛ Gleeson و همکاران، ۲۰۱۲).

فروپاشی نظام‌های سنتی مدیریت آب نیز یکی از عوامل مهم در افزایش برداشت بی‌رویه محسوب می‌شود. در گذشته، قواعد عرفی و سازوکارهای مشارکتی نقش مهمی در تنظیم مصرف آب داشتند؛ اما با خصوصی‌شدن بهره‌برداری و گسترش فناوری‌های پمپاژ، این نظام‌ها تضعیف شده‌اند. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که از بین رفتن نهادهای محلی مدیریت منابع مشترک، احتمال بهره‌برداری بی‌رویه را افزایش می‌دهد (Agrawal، ۲۰۰۱).

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بحران آب زیرزمینی را باید در چارچوبی فراتر از مسائل فنی تحلیل کرد. این بحران حاصل تعامل میان سیاست‌های رسمی، فشارهای معیشتی، تغییرات اقلیمی و معانی فرهنگی آب است. **براین‌اساس، یافته‌ها به‌جای تقابل ساده فرهنگ یا اقتصاد، بر یک رابطه درهم‌تنیده تأکید دارند که در آن فرهنگ در دل ساختار معیشتی بازتعریف می‌شود و سیاست نیز در سطح اجرا با این دو سطح در تعامل یا تعارض قرار می‌گیرد.**

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد انسان‌شناسی محیط‌زیست و تأکید بر تحلیل معانی فرهنگی، ادراکات بومی و کنش‌های روزمره بهره‌برداران در بستر زندگی معیشتی آنان به بررسی علل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در میان کشاورزان منطقه مورد مطالعه در شهرستان آمل پرداخت. در این چارچوب، داده‌های مردم‌نگارانه نه صرفاً به‌عنوان توصیف، بلکه برای فهم منطق کنش، نظام‌های معنایی و شیوه‌های تصمیم‌گیری کشاورزان در مواجهه با محدودیت‌های محیطی تحلیل شدند.

نتایج نشان داد که بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی تنها ناشی از ضعف نظارت یا نبود فناوری‌های مدیریتی نیست؛ بلکه ریشه در ساختارهای معیشتی، ادراکات فرهنگی و شکاف میان سیاست و عمل دارد. وابستگی معیشتی کشاورزان به آب، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آب سطحی، تضعیف نظام‌های سنتی مدیریت آب و عدم مشارکت بهره‌برداران در سیاست‌گذاری از مهم‌ترین عوامل افزایش برداشت از منابع زیرزمینی است. همچنین ادراک فرهنگی آب به‌عنوان حق طبیعی و معیشتی، نقش مهمی در شکل‌گیری رفتارهای بهره‌برداری دارد.

در عین حال، یافته‌ها نشان داد که کشاورزان در سطح تجربی، تغییرات محیطی و کاهش منابع آب را درک می‌کنند و در برخی موارد از سازوکارهای محلی مانند هماهنگی در زمان برداشت آب بهره می‌برند؛ اما این آگاهی لزوماً به رفتارهای پایدار منجر نشده و در شرایط فشار معیشتی، به افزایش برداشت و حتی نقض قواعد رسمی می‌انجامد. این دوگانگی، یکی از ابعاد کلیدی پیچیدگی بحران آب در منطقه است که در تحلیل نهایی لحاظ شد.

براین‌اساس، مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی مستلزم رویکردی میان‌رشته‌ای و مشارکتی است که علاوه بر ابعاد فنی، به ابعاد اجتماعی و فرهنگی نیز توجه کند. **هدف چنین رویکردی نه کاهش یا حذف مصرف آب در کشاورزی، بلکه تنظیم، بهینه‌سازی و سازگار کردن الگوهای بهره‌برداری با ظرفیت‌های محیطی و شرایط معیشتی بهره‌برداران است.** بدون درنظرگرفتن شرایط معیشتی و نظام‌های ارزشی بهره‌برداران، سیاست‌های مدیریت آب با چالش‌های جدی در اجرا مواجه خواهد شد.

پیشنهادها

الف) سطح سیاست‌گذاری کلان

۱.تقویت مشارکت محلی در حکمرانی آب: ایجاد سازوکارهای نهادمند مانند شوراهای محلی آب برای مشارکت نظام‌مند کشاورزان در تصمیم‌گیری، نظارت و تخصیص منابع آب .

۲.سیاست‌گذاری تلفیقی :ایجاد هماهنگی نهادی میان بخش‌های کشاورزی، آب و توسعه روستایی از طریق کارگروه‌های بین‌بخشی در سطح استان، به‌منظور کاهش تعارض سیاست‌ها (مانند الگوی کشت و تخصیص آب) .

ب) سطح اقتصادی–معیشتی

۳. .تنوع‌بخشی به معیشت کشاورزان در کنار تداوم کشاورزی (نه جایگزینی کامل آن) :توسعه فعالیت‌های مکمل مانند کشت‌های کم‌آب‌بر، مشاغل وابسته به زنجیره ارزش کشاورزی و حمایت‌های هدفمند اقتصادی، به‌گونه‌ای که وابستگی مطلق به برداشت آب زیرزمینی کاهش یابد بدون آنکه کشاورزی حذف شود.

۴.تفکیک سیاست‌های معیشتی از مسئله کلان اشتغال منطقه‌ای :طراحی حمایت‌های معیشتی در سطح بهره‌بردار (خرد) هم‌زمان با توجه به سیاست‌های اشتغال در سطح منطقه‌ای (کلان)، به‌منظور جلوگیری از انتقال فشار اقتصادی به منابع آب.

ج) سطح نهادی–محلی

۵. احیای نظام‌های بومی مدیریت آب :نه به‌معنای بازگشت صرف به گذشته، بلکه از طریق بازسازی نهادی؛ شامل مستندسازی قواعد محلی، شناسایی نقش‌های سنتی مانند میراب، و ادغام آن‌ها در چارچوب‌های رسمی مدیریت آب با حمایت قانونی و نظارتی.

۶. ایجاد سازوکارهای ترکیبی (هیبریدی) مدیریت آب :تلفیق قواعد رسمی با قواعد محلی از طریق توافق‌های محلی، نظام‌های خودتنظیمی و نظارت مشترک میان کشاورزان و نهادهای دولتی.

د) سطح اجتماعی–فرهنگی

۷. آموزش و آگاهی‌رسانی :طراحی برنامه‌های آموزشی مشارکتی و مبتنی بر تجربه زیسته کشاورزان (نه صرفاً آموزش‌های یک‌سویه)، با تأکید بر پیامدهای بلندمدت برداشت بی‌رویه و تقویت ادراک محیط‌زیستی.

سپاسگزاری

از کلیه کشاورزان و بهره‌برداران محلی که با مشارکت در مصاحبه‌ها و ارائه تجربه‌های خود امکان انجام این پژوهش را فراهم کردند، قدردانی می‌شود.

منابع

احمدی پور، زهرا، و احمدی، ابراهیم. (۱۳۹۹). تحلیل واکاوانه از عوامل مؤثرِ ناکامی «حکمرانی آب» در ایران . سیاست‌های راهبردی و کلان، 8، ۱۴۰-۱۱۰. Doi: 10.30507/jmsp.2020.102558

اسکوهی، مائده.، و اسماعیلی، کاظم. (۱۴۰۰). تحلیلی بر نظریه‌های حکمرانی و مدیریت منابع آب در ایران .آب و توسعه پایدار، ۸(۱)، ۱-۱۰. https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i1.88216

پارسامهر، مهربان، و فلک الدین، زهرا. (۱۴۰۰). بررسی عوامل اجتماعی فرهنگی مرتبط با مصرف آب در بین شهروندان شهر یزد. اولین همایش ملی مدیریت کیفیت آب و سومین همایش ملی مدیریت مصرف آب. تهران. https://civilica.com/doc/1442876

مدنی، کاوه. (۱۳۹۳). تحلیل بحران آب در ایران: ریشه‌ها و راهبردهای حکمرانی. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف. تهران.

Agrawal, A. (2001). Common property institutions and sustainable governance of resources. World development, 29(10), 1649-1672. Doi: 10.1016/S0305-750X(01)00063-8

Bressers, H., & Kuks, S. (2013). Water governance regimes: Dimensions and dynamics. International Journal of Water Governance, 1(1-2), 133-156. DOI: 10.7564/12-IJWG1

Famiglietti, J. S. (2014). The global groundwater crisis. Nature Climate Change, 4(11), 945–948. https://doi.org/10.1038/nclimate2425

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). The state of land and water resources for food and agriculture in the Near East and North Africa region. Cairo, Egypt. https://www.fao.org/neareast/action-areas/wsi/en

Foster, S., Garduño, H., Tuinhof, A., & Tovey, C. (2010). Groundwater governance: Conceptual framework for assessment of provisions and needs. GW-MATE Strategic Overview Series No. 1. Washington, DC, United States. https://documents.worldbank.org/curated/en/603871468323116801/Groundwater-governance-conceptual-framework-for-assessment-of-provisions-and-needs

Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P., & van Beek, L. P. H. (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. Nature, 488(7410), 197–200. Doi: 10.1038/nature11295

Gholami, V. Spatial modeling of groundwater depth fluctuations using co-active neuro-fuzzy inference system (CANFIS) and geographic information system (GIS). Appl Water Sci 12, 24 (2022). Doi: 10.1007/s13201-022-01572-z

Linton, J., & Budds, J. (2014). The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. Geoforum, 57, 170-180. Doi: 10.1016/j.geoforum.2013.10.008

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of environmental studies and sciences, 4(4), 315-328. https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge University Press. Cambridge, United

Asia. Yale University Press. 1st ed. New Haven, USA.

Shah, T. (2009). Taming the anarchy: Groundwater governance in South Asia. Routledge. 1st ed. London, UK.

Shahbazi, A., & Esmaeili-Sari, A. (2009). Groundwater quality assessment in north of Iran: A case study of the Mazandaran Province. World Applied Sciences Journal, 5 (Special Issue for Environment), 92–97. https://www.idosi.org/wasj/wasj5%28s%29/14.pdf

Strang, V. (2004). The meaning of water: Human culture, knowledge and the water cycle. Berg Publishers. 1st ed. Oxford, UK.

Strang, V. (2015). Water: Nature and culture. Reaktion Books. London, UK.

Kingdom. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763

Ostrom, E. (2010). Beyond markets and states: Polycentric governance of complex economic systems. American economic review, 100(3), 641. DOI: 10.1257/aer.100.3.641

Rahimi, M., & Ghorbani, M. (2026). Tehran's Water Scarcity Dilemma: Insights from a 150-Year Adaptive Cycle Assessment. Water Conservation Science and Engineering, 11(2),75. https://link.springer.com/article/10.1007/s41101-026-00541-w

Samani, S. (2021). Analyzing the groundwater resources sustainability management plan in Iran through comparative studies. Groundwater for Sustainable Development, 12, 100521. Doi: 10.1016/j.gsd.2020.100521

Scott, J. C. (1976). The moral economy of the peasant: Rebellion and subsistence in Southeast

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۹۹ تا ۱۱۰

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 99 to 110

نوع مقاله | پژوهشی کاربردی

Document Type | Applied Research Article

ادراک و معناسازی آب در زیست‌جهان شهروندان برای مدیریت پایدار آب (مورد مطالعه افراد میانسال شهر اردبیل)

حسن بخشی زاده[1*]، رقیه علائی[2]

۱- استادیار، گروه جامعه‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استادیار، گروه آموزش علوم تربیتی، پردیس بنت الهدی صدر، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول: h.bakhshizadeh@uma.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۴/۱۱/۲۵
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۲/۱۹
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

موضوع آب در ایران و جهان فراتر از یک مسئله فنی و مدیریتی، ابعاد عمیق زیستی- اکولوژیک، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و معنایی دارد که درک آن مستلزم توجه به تجربه‌های زیسته کنشگران اجتماعی است. پژوهش حاضر، با رویکرد کیفی و مبتنی بر پدیدارشناسی تفسیری آلفرد شوتس، به بررسی ادراک و معناسازی آب در جهان زندگی شهروندان شهر اردبیل می‌پردازد. هدف مقاله، فهم نحوه معنابخشی شهروندان به آب و بررسی نقش این معناها در شکل‌دهی به نگرش‌ها، رفتارهای مصرفی و کنش‌های محیط‌زیست آنان است. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته گردآوری و با استفاده از ترکیبی از تقلیل پدیدارشناختی، کدگذاری باز و گزینشی تحلیل شدند. طبق یافته‌ها، آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، صرفاً یک منبع طبیعی نیست، بلکه پدیده‌ای چندلایه با بار معنوی، اخلاقی، دینی و هویتی است. برای نسل‌های میانسال و سالمند، معناهای مرتبط با آب ریشه در تجربه کم‌آبی، دشواری دسترسی، زندگی روستایی و آموزه‌های دینی-خانوادگی دارد. این معناها، در قالب مفاهیمی مانند نعمت الهی، امانت، طهارت، برکت و حیات بازنمایی می‌شود و به‌عنوان مکانیزمی درونی در تنظیم رفتار مصرفی و پرهیز از اسراف عمل می‌کند. هم‌زمان، یافته‌ها حاکی از کاهش قداست و معنویت آب در تجربه نسل‌های جوان‌تر است که تحت تأثیر دسترسی آسان، کالایی شدن آب و تضعیف انتقال ارزش‌ها بین نسلی قرار دارد. نتیجه‌گیری پژوهش نشان می‌دهد که نادیده‌گرفتن ابعاد معنایی و فرهنگی آب، اخلاق محیط‌زیستی و اثربخشی سیاست‌های مدیریت آب را تضعیف می‌کند. ازاین‌رو، پیشنهاد ادغام رویکردهای اجتماعی-فرهنگی با سیاست‌گذاری‌ها می‌تواند به مصرف مسئولانه و تحقق توسعه پایدار منابع آب کمک کند.

واژه‌های کلیدی: پدیدارشناسی تفسیری؛ جهان زندگی؛ معنا و ادراک اجتماعی آب؛ اخلاق محیط‌زیستی؛ مصرف پایدار آب.

Perception and Meaning-Making of Water in the Lifeworld of Citizens for Sustainable Water Management (Case Study of Middle-Aged People in Ardabil City)

H. Bakhshizadeh[1*], R. Alaei[2]

1- Assistant Professor, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Educational Sciences, Bint Al-Huda Sadr Campus, Farhangian University, Tehran, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** h.bakhshizadeh@uma.ac.ir

Received ▶ 14-02-2026
Revised ▶ 05-05-2026
Accepted ▶ 09-05-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

The issue of water in Iran and the world is more than a technical and managerial issue; it has profound bio-ecological, economic, social, cultural, and semantic dimensions, the understanding of which requires attention to the lived experiences of social actors. The present study, with a qualitative approach and based on Alfred Schutz's interpretive phenomenology to examine the perception of water and the processes of meaning-making surrounding it in the lifeworld of citizens in Ardabil. The aim of the article is to understand how citizens give meaning to water and to examine the role of these meanings in shaping their attitudes, consumption behaviors, and environmental actions. Data were collected through semi-structured in-depth interviews and analyzed using a combination of phenomenological reduction, open, and selective coding. According to the findings, water in the lived experience of the participants is not simply a natural resource, but a multilayered phenomenon with spiritual, moral, religious, and identity-based burdens. For middle-aged and older generations, meanings associated with water are deeply rooted in experiences of water scarcity, difficulties in accessing water, rural life, and religious and family teachings. These meanings are represented in the form of concepts such as divine blessing, trust, purity, blessing, and life, and act as an internal mechanism in regulating consumption behavior and avoiding waste. At the same time, the findings indicate a decrease in the sanctity and spirituality of water in the experience of younger generations, which is influenced by easy access, commodification of water, and weakening of intergenerational value transmission. The conclusion of the study shows that ignoring the semantic and cultural dimensions of water weakens environmental ethics and the effectiveness of water management policies. Therefore, the proposal to integrate socio-cultural approaches with policymaking can help to consume water responsibly and achieve sustainable development of water resources.

Keywords: Interpretative Phenomenology, Lifeworld, Social Meaning and Perception of Water, Environmental Ethics, Sustainable Water Consumption.

How to cite this article:

Bakhshizadeh, H. and Alaei, R. (2026). Perception and Meaning-Making of Water in the Lifeworld of Citizens for Sustainable Water Management (Case Study of Middle-Aged People in Ardabil City). Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 99-110. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2602-1501

مقدمه

آب در دوران معاصـــر بیش از آن‌که تنها یک منبع طبیعی فیزیکی باشد، به یکی از پیچیده‌ترین و پرتنش‌ترین پدیده‌های اجتماعی تبدیل شده است؛ بحران‌های کمبود، آلودگی و توزیع نابرابر آن نه فقط ناشـــی از عوامل محیطی، بلکه بازتابی از روابط قدرت، ساختارهای نهادی، الگوهای توسعه و منطق‌های اجتماعی (شـیوه و رفتار مصـرفی) مسـلط اسـت. در ایران نیز پژوهش‌های جامعه‌شناختی نشان می‌دهند که مسأله آب در پیوندی تنگاتنگ با توسـعه ناپایدار، تمرکزگرایی نهادی و غلبه برخی نگاه‌های فنی ـــ مهندسی صرف بر مدیریت منابع آب شکل گرفته و به یک مسأله اجتماعی فراگیر بدل شده است (سبزه‌ای و کولیوند، ۱۳۹۶؛ محمودی و همکاران، ۱۴۰۴). در این زمینه، مطالعات اخیر در «تحقیق اجتماعی آب» تأکید دارند که نگرش‌های جامعه‌شناختی به آب به اندازه دیدگاه‌های علم مطالعه آب یا انسان‌شناسی اهمیت دارد (March، ۲۰۱۶).

در ادبیات بین‌المللی، پژوهش‌ها به‌طور فزاینده‌ای بر اجتماعی بودن آب تأکید کرده‌اند. Abdullaev و Mollinga (۲۰۱۰) نشان می‌دهند که مدیریت آب واجد ابعاد اجتماعی ـــ فنی است و آب در شبکه‌ای از زیرساخت‌ها، نهادها و کنشگران انسانی و غیرانسانی جریان دارد؛ شبکه‌ای که تصمیم‌های فنی در آن همواره حامل پیامدهای اجتماعی و سیاسی است. این نگاه در پیوند با نظریه شبکه کنشگر Latour (۲۰۰۵) تقویت می‌شود؛ جایی که آب به‌عنوان «کنشـگر مادی» در شـکل‌دهی به نظم اجتماعی، روابط قدرت و نابرابری‌ها ایفای نقش می‌کند. از این منظر، آب نه یک عنصر منفعل، بلکه عاملی فعال در سازمان اجتماعی و حکمرانی اسـت (Schulz و Gros، ۲۰۲۴). آب صرفاً یک منبع فیزیکی نیست، بلکه در فرایندهای اجتماعی و رفتاری جای گرفته است؛ به‌گونه‌ای که کنش‌های انسانی هم نظام‌های آبی را شـکل می‌دهند و هم از آنها تأثیر می‌پذیرند. ازاین‌رو، توجه به ابعاد اجتماعی روابط انسـان و آب برای فهم شیوه‌های مرتبط با آب و امنیت آبی ضروری است (Conway، ۲۰۲۴).

در سـطح حکمرانی، Woodhouse و Muller (۲۰۱۷) با رویکردی تاریخی نشـان می‌دهند که بحران‌های کنونی آب حاصل مسیرهای خاص نهادی و منطق‌های توسعه‌ای است و بدون توجه به زمینه‌های اجتماعی و تاریخی، اصلاح حکمرانی آب ممکن نخواهد بود. به‌عنوان‌مثال می توان به شـکسـت بسـیاری از برنامه‌های رسـمی برای مدیریت مصـرف یا ابتر ماندن کمپین های غیررسمی و مردمی رفتار صحیح آب اشاره کرد.

به عبارتی، چالش‌های آب را نمی‌توان صرفاً از طریق یک بخش محدود و تخصصی آب حل کرد؛ بلکه این چالش‌ها مستلزم رویکردی میان‌بخشی و جامع هستند که ابعاد به‌هم‌پیوسته اجتماعی، زیسـت‌محیطی و اقتصـادی آب را به رسـمیت بشناسد (Mazzucato و Zaqout، ۲۰۲۴).

این یافته‌ها با ادبیات جامعه‌شناسی ایران (هاشمی، ۱۴۰۱) نیز همخوان اسـت که به طور مشـخص از ابتدای دهه ۱۳۷۰ شمسی این تلاش‌ها شروع شده و در دهه ۱۳۶۰ نیز ردپای این رویکرد وجود دارد. به‌گونه‌ای که مفاهیمی مانند «چرخه هیدرواجتماعی» بر پیوند تنگاتنگ آب، جامعه، نهاد و قدرت تأکید دارند و ضرورت گذار از نگاه صرفاً هیدرولوژیک به درک اجتماعی ـ نهادی آب را برجسته می‌سازند.

در کنار این رویکردهای نهادی و ساختاری، پژوهشگران اخلاق محیط‌زیسـتی و انسـان‌شـناسـی اجتماعی بر ابعاد فرهنگی، دینی و معنوی آب تمرکز کرده‌انـد. Strang (۲۰۲۰) نشـان می‌دهد که رودخانه‌ها و منابع آبی در طول تاریخ نه صـرفاً عناصر طبیعی، بلکه موجودیت‌هایی بوده‌اند که معنا و جایگاه آن‌ها در بستر کنش‌های تاریخی، نهادی، قدرت، زیرساختی و گفتمانی شـکل گرفته اسـت. این معناپردازی‌ها (تقدس و شـخصـیت‌بخشـی به رودخانه‌ها در جوامع پیشـاصـنعتی به صـورت رویکرد غالب و رایج تا تقلیل آن‌ها به «منابع» و «خـدمـات اکوسـیسـتمی» در نظـام‌هـای مـدرن) نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوه تعامل انسـان با آب و در شـکل‌گیری اخلاق محیط‌زیسـتی معاصـر داشـته اسـت. از منظر انسان‌شناختی (Wateau، ۲۰۱۱)، این معناها نه‌تنها هویت‌های جمعی را می‌سـازند، بلکه رفتارهای محیط‌زیسـتی، الگوهای مصـرف و میزان مسـئولیت‌پذیری اجتماعی در قبال آب را نیز جهت می‌دهند.

آب نه‌تنها بر اسـاس مطلوبیت اقتصـادی آن ارزش‌گذاری می‌شـود، بلکه از طریق معانی فرهنگی و اجتماعی نیز ارزش می‌یابد؛ معانی‌ای که بر نحوه درک، اسـتفاده و برقراری رابطه جوامع شـهری با آب تأثیر می‌گذارند(Dieman و همکاران، ۲۰۲۴). باوجوداین، در ایران (به‌ویژه در مناطق دارای بافت فرهنگی و دینی غنی مانند اردبیل) این لایه‌های معنایی آب در پژوهش‌های جامعه‌شـناختی کمتر مورد توجه قرار گرفته اسـت. مطالعات داخلی بیشـتر بر سـطوح کلان بحران آب، از جمله حکمرانی، سـیاسـت‌گذاری و پیامدهای توسـعه‌ای، یا بر مسـائل فنی مانند تخصـیص و کمبود آب تمرکز داشـته‌اند (افسـری و همکاران، ۱۳۹۶؛ رهبرقاضـی و طالعی‌حور، ۱۴۰۳)، درحالی‌که معناهای نمادین آب در زندگی روزمره مردم (نظیر طهارت، برکت، قداسـت و پیوند با امر مقدس) کمتر کاوش شـده‌اند. این کم‌توجهی نظری و تجربی می‌تواند به شـکاف میان سیاست‌های رسمی مدیریت آب و ارزش‌ها و نگرش‌های بومی جوامع محلی بی‌انجامد و تحقق حکمرانی اجتماعی و مشـارکتی آب را با چالش مواجه سـازد (سـبزه‌ای و کولیوند، ۱۳۹۶؛ قاسمی و عبداللهی، ۱۴۰۳؛ شالچی و مهدیار، ۱۳۹۹).

در نتیجه، پرسـش اصـلی این پژوهش چنین صـورت‌بندی می‌شـود: ذهنیت معنوی مردم اردبیل نسـبت به آب چگونه شـکل گرفته اسـت و این معناها چه تأثیری بر رفتار مصـرفی، نگرش محیط‌زیستی و مشارکت اجتماعی آنان دارد؟ هدف این پژوهش آن اسـت که با واکاوی لایه‌های معنوی، فرهنگی و

نمادین آب در تجربه زیسته شهروندان اردبیل، به تبیین نقش این معناها در شکل‌دهی به الگوهای رفتاری، نگرش‌های محیط‌زیستی و شیوه‌های مشارکت اجتماعی در مدیریت منابع آب بپردازد. تحقق این هدف می‌تواند، از یک‌سو، به غنی‌تر شدن ادبیات جامعه‌شناسی آب (به‌ویژه در پیوند میان معنا، فرهنگ و حکمرانی) کمک کند و، از سوی دیگر، برای سیاست‌گذاران و مدیران محلی امکان طراحی و اجرای رویکردهای اجتماعی-مشارکتی مدیریت منابع آب را فراهم آورد که نه صرفاً مبتنی بر راه‌حل‌های فنی بر پایه مدیریت زیست‌بومی، بلکه همسو با ارزش‌ها، باورها و زمینه‌های فرهنگی ـ معنوی جوامع محلی باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و بر مبنای پدیدارشناسی تفسیری آلفرد شوتس انجام شده است. این رویکرد با تمرکز بر تجربه زیسته و معناهای ذهنی کنشگران، واقعیت اجتماعی را نه امری عینی و ایستا، بلکه برساخته‌ای بیناذهنی می‌داند که در بستر زندگی روزمره و «جهان زندگی» شکل می‌گیرد (Schutz، ۱۹۶۷؛ Schutz و Luckmann، ۱۹۷۳؛ Creswell، ۲۰۱۳). بر این اساس، هدف پژوهش تبیین علی رفتار نیست، بلکه فهم تفسیری تجربه زیسته و بازسازی ساختارهای معنایی کنش‌ها در زمینه‌های فرهنگی، اخلاقی و دینی است. معناهای مرتبط با آب در پیوند با تجربه، حافظه جمعی و تعامل اجتماعی (مفهوم «جهان زندگی» Schutz و Luckmann، ۱۹۷۳) تولید می‌شوند و تحلیل باتوجه‌به تمایز انگیزه‌های «از آنِ» و «برای» و مفهوم بیناذهنیت انجام می‌گیرد. داده‌های پژوهش حاضر از طریق مصاحبه‌های عمیق کیفی و گردآوری روایت‌های خودنوشت به دست آمده است. در این پژوهش، در مجموع ۱۶ نفر به‌عنوان مشارکت‌کننده از شهر اردبیل مورد مطالعه قرار گرفتند که با روش نمونه‌گیری هدفمند و نظری انتخاب شدند؛ به‌این‌معنا که افرادی برگزیده شدند که دارای تجربه زیسته غنی، طولانی‌مدت و معنادار در زمینه مورد مطالعه بوده و توانایی بازاندیشی و روایت تجربه‌های خود را داشتند. مشارکت‌کنندگان از نظر جنسیتی شامل ۱۰ مرد (۶۲/۵ درصد) و ۶ زن (۳۷/۵ درصد)، ۲ نفر لیسانس، ۴ نفر دیپلم، ۱۰ نفر زیر دیپلم بودند. از منظر سنی، ۲ نفر (۱۲/۵ درصد) در بازه ۴۰ تا ۴۹ سال (کارمند)، ۷ نفر (۴۳/۷ درصد) در بازه ۵۰ تا ۵۹ سال (شغل آزاد) و ۷ نفر دیگر (۴۳/۷ درصد) در گروه سنی ۶۰ سال و بالاتر(بازنشسته) قرار داشتند؛ به‌گونه‌ای که بیش از ۸۷ درصد نمونه را افراد بالای ۵۰ سال تشکیل می‌دادند و داده‌ها بیشتر بر تجربه‌های زیسته نسل میان‌سال و سالمند استوار است. گردآوری داده‌ها تا رسیدن به اشباع نظری و داده‌ایی صورت گرفت.

روایت‌های خودنوشت به‌عنوان یکی از ابزارهای معتبر در پژوهش‌های پدیدارشناختی، امکان دسترسی عمیق به معناهای ذهنی، احساسات، ادراکات و تفسیرهای کنشگران از تجربه زیسته را فراهم می‌کنند (Van Manen، ۲۰۱۶؛ Riessman، ۲۰۰۸). این روایت‌ها نه‌تنها کنش‌های عینی، بلکه لایه‌های پنهان معنا، انگیزه، داوری‌های ارزشی و ابعاد اخلاقی و معنوی تجربه را آشکار می‌سازند و با تمرکز بر «چگونه تجربه‌شدن» پدیده، با منطق پدیدارشناسی تفسیری هم‌خوان هستند (Smith و همکاران، ۲۰۰۹)

تحلیل داده‌ها در این پژوهش به‌صورت مرحله‌ای و طبق منطق پدیدارشناسی تفسیری (Charmaz، ۲۰۱۴؛ Strauss و Corbin، ۱۹۹۸) انجام شد. در گام نخست، متن مصاحبه‌ها و روایت‌ها به‌طور مکرر خوانده شد تا درک کلی از ساختار تجربه زیسته و افق معنایی مشارکت‌کنندگان حاصل شود. سپس با استخراج واحدهای معنایی و اعمال تقلیل پدیدارشناختی، پیش‌فرض‌های پژوهشگر تعلیق و تمرکز بر تجربه آن‌گونه که زیسته شده است معطوف شد. در مرحله بعد، کدگذاری باز با بهره‌گیری از مفاهیم نزدیک به زبان مشارکت‌کنندگان انجام شد تا اصالت معنا حفظ شود. در ادامه، کدهای هم‌معنا در قالب مقوله‌های مفهومی تجمیع و الگوهای معنایی مشترک شناسایی شد. در نهایت، با کدگذاری گزینشی، یک مقوله هسته‌ای استخراج شد که سایر مقوله‌ها پیرامون آن سازمان یافت و ساختار معنایی تجربه را تبیین کرد.

به‌منظور افزایش اعتبار، اعتمادپذیری و انسجام تحلیل کیفی در این پژوهش، معیارهای پیشنهادی Lincoln و Guba (۱۹۸۵) و نیز رویکرد بازتابی در پدیدارشناسی تفسیری (Finlay، ۲۰۱۱) مدنظر قرار گرفت. در راستای مسأله مقاله که بر فهم تفسیری معناهای معنوی و اجتماعی آب در تجربه زیسته کنشگران محلی تمرکز دارد، فرایند تحلیل به‌گونه‌ای سامان یافت که پیوند میان داده‌ها و تفسیرهای پژوهشگر به‌صورت مستمر حفظ شود. به‌این‌منظور تمامی تفسیرها به‌طور مداوم به متن خام مصاحبه‌ها و روایت‌ها ارجاع داده شد تا تحلیل از زمینه تجربی و جهان زندگی مشارکت‌کنندگان فاصله نگیرد.همچنین، انسجام درونی میان واحدهای معنایی، کدها، مقوله‌ها و مقوله هسته‌ای مرتبط با ذهنیت معنوی آب به‌دقت بررسی و تضمین شد تا ساختار معنایی تجربه مشارکت‌کنندگان به‌صورت منسجم و قابل اتکا بازسازی شود. تحلیل داده‌ها در چارچوب نظری مشخص پدیدارشناسی تفسیری آلفرد شوتس انجام گرفت و از تفسیرهای تقلیل‌گرایانه، صرفاً روان‌شناسانه یا فروکاست تجربه زیسته آب به متغیرهای عینی و فنی پرهیز شد. افزون‌براین، موضع تفسیری پژوهشگر به‌صورت بازتابی مورد خودبازاندیشی مستمر مورد توجه قرار گرفت تا تأثیر پیش‌فرض‌ها، ارزش‌ها و پیش‌داوری‌های پژوهشگر به حداقل برسد.

نتایج و بحث

در چارچوب پدیدارشناسی تفسیری آلفرد شوتس، یافته‌های پژوهش حاضر نه بازنمایی واقعیتی عینی و بیرونی، بلکه بازسازی معناهای زیسته کنشگران در «جهان زندگی» آنان

تلقی می‌شـود. نقطـه عزیمـت تحلیـل، تجربـه زیسـتـه مشـارکت‌کنندگان اسـت و معناهای مرتبط با آب در بسـتری بدیهی، پیشـانظری و روزمره شـکل می‌گیرند؛ بسـتری که کنشـگران بر اسـاس آن کنش‌های خود را معنا می‌کنند و سامان می‌دهند. ازاین‌رو، آنچه در بخش یافته‌ها ارائه می‌شود، توصـیف، تحلیل و تفسـیر نحوه تجربه‌شـدن آب از منظر مشـارکت‌کنندگان اسـت، نه تبیین علّی رفتارها یا داوری هنجاری درباره آن‌ها.

یافته‌های توصـیفی پیش‌رو باتوجه‌به منطق شـوتسـی کنش معنادار و در افق بیناذهنیت ارائه می‌شـوند؛ به‌این‌معنا که تجربه‌های فردی مشـارکت‌کنندگان در زمینه‌ای اجتماعی، فرهنگی و دینی مشـترک فهم‌پذیر می‌شـوند. تحلیل روایت‌ها نشـان می‌دهد که چگونه معناهای شـکل‌گرفته از تجربه‌های گذشـته، در پیوند با کنش‌های کنونی و افق‌های آینده، به سـاختارهای نسـبتاً پایدار معنایی تبدیل شـده‌اند و نقش تنظیم‌کننده‌ای در نگرش‌ها و رفتارهای مرتبط با مصـرف و حفاظت از آب ایفا می‌کنند.

- **بازسازی پدیدارشناختی معنای پاکی و شست‌وشو در جهان زندگی کنشگران: از بدن زیسته تا نظم اخلاقی و بیناذهنی آب**

در این بخش، یافته‌های پژوهش در قالب پنج محور تحلیلی ارائه می‌شود که هر یک به بازسازی یکی از ابعاد تجربه زیسته کنشـگران از آب؛ پاکی و شسـت‌وشـو می‌پردازد. این محورها نشان می‌دهند چگونه معناهای اخلاقی و معنوی آب در جهان زندگی روزمره شـکل می‌گیرند و کنش‌های فردی را سـامان می‌دهند.

۱ .ناپاکی به‌مثابه وضعیت اخلاقی-روانی، نه صرفاً جسمانی

یافته‌ها نشـان می‌دهد که مشـارکت‌کنندگان ناپاکی را تنها به‌صـورت آلودگی فیزیکی تجربه نمی‌کنند، بلکه آن را حالتی اخلاقی و روانی می‌فهمند که با احساس سنگینی، اضطراب و ناآرامی همراه است. در چارچوب شوتس، این تجربه در «جهان زندگی» کنشـگر و بر پایه دانش ذخیره شـده فرهنگی و دینی معنا می‌یابد. بدن در اینجا بدن زیسته است؛ بدنی که حامل معنا اسـت و وضـعیت آن به‌طور مسـتقیم بر تجربه اخلاقی و عاطفی فرد اثر می‌گذارد. بنابراین، ناپاکی به‌عنوان وضـعیتی بدیهی و پیشـانظری تجربه می‌شـود که کنشـگر بدون تأمل نظری آن را ناسازگار با نظم روزمره زندگی تلقی می‌کند.

۲ .شست‌وشو به‌عنوان کنش معنادار اجتماعی

در روایت‌ها، شسـت‌وشـو نه یک رفتار بهداشـتی سـاده، بلکه کنشـی هدفمند و معنادار اسـت که برای بازگرداندن تعادل اخلاقی و روانی انجام می‌شـود. از منظر شـوتس، این کنش با انگیزه‌های «برای» (دسـتیابی به آرامش، رهایی از گناه) معنا می‌یابد، درحالی‌که انگیزه‌های «از آنِ» آن ریشـه در تجربه‌های گذشـته و درونی‌سـازی هنجارهای طهارت دارد. به‌این‌ترتیب، شسـت‌وشـو کنشـی اسـت که پیوند میان گذشـته زیسـته، وضعیت کنونی و افق کنش آینده را برقرار می‌سازد.

۳ .آب به‌عنوان نماد بیناذهنی پاکی و رهایی

آب در تجربه مشارکت‌کنندگان صرفاً یک ماده فیزیکی نیست، بلکه نمادی بیناذهنی از پاکی، تطهیر و تولد دوباره اسـت. این معنا نه فردی و شـخصـی، بلکه ریشـه‌دار در دانش جمعی و فرهنگی اسـت و ازاین‌رو برای دیگران نیز قابل فهم اسـت. در چارچوب شـوتس، همین بیناذهنیت امکان می‌دهد که تجربه فردی به‌مثابه تجربه‌ای اجتماعی تفسـیر شـود. آب در این معنا، واسطه‌ای میان جسم، روان و امر مقدس است و نقش محوری در بازسازی نظم معنایی جهان زندگی ایفا می‌کند.

۴ .زمان‌مندی و فضامندی تجربه پاکی

یافته‌ها نشـان می‌دهد که تجربه پاکی در پیوندی نزدیک با زمان و فضـا شـکل می‌گیرد. شـب و خواب به‌عنوان افق زمانی تجربه، نقطه تثبیت آرامش و رهایی است، و تمایز میان فضای عادی و فضـای مقدس (مانند مسجد) شـدت احسـاس ناپاکی یا پاکی را افزایش می‌دهد. این امر نشـان می‌دهد که کنش شسـت‌وشـو در جهان زندگی کنشـگر، در بسـتری زمان‌مند و فضامند معنا می‌یابد و تجربه زیسته را به ساختاری منسجم تبدیل می‌کند.

۵ .تیپ‌سازی اخلاقی: انسان ناپاک و انسان پاک

مشـارکت‌کنندگان تجربه خود را در قالب تیپ‌های اجتماعی معنا می‌کنند: «انسـان ناپاک» به‌مثابه فردی سـنگین، ناآرام و گناهکار، و «انسـان پاک» به‌عنوان فردی سـبک، آرام و آماده ارتباط با امر مقدس. مطابق نظریه شـوتس و طبق جدول (۱) این موارد حاصـل تعمیم تجربه‌های فردی در چارچوب دانش جمعی‌اند و به کنشگر امکان می‌دهند موقعیت خود را در نظم اجتماعی تشـخیص دهد. از این منظر، پاکی نه فقط یک وضـعیت فردی، بلکه معیاری اجتماعی برای ارزیابی خود و دیگران در جهان زندگی است.

بر اسـاس کدگذاری گزینشـی، روایت تفسـیری زیر به‌دسـت می‌آید: «در تجربه زیسـته مشـارکت‌کننده، ناپاکی بدن و لباس منجر به تنش روانی و احسـاس گناه، به‌ویژه در مواجهه با فضـای مقدس می‌شـود. کنش شسـتشـو با آب، نه صـرفاً به‌عنوان رفتار بهداشتی، بلکه به‌مثابه کنشی معنادار و نمادین عمـل می‌کنـد کـه از طریق آن، فرد بـه آرامش روانی، رهـایی اخلاقی و تعادل وجودی در جهان زندگی خود دست می‌یابد.»

مقوله هسـته‌ای نهایی: «تجربه تطهیر جسـمانی به‌عنوان سازوکار بازسازی آرامش روانی و اخلاقی در جهان زندگی دینی فرد»

جدول ۱- جامع پنج‌مرحله‌ای کدگذاری کیفی به شیوه پدیدارشناسی تفسیری

مرحله ۱: متن خام	مرحله ۲: واحد معنایی	مرحله ۳: کد باز	مرحله ۴: مقوله	مرحله ۵: کد گزینشی / مقوله هسته‌ای
لباس‌هایم کثیف است	آگاهی از کثیفی	آگاهی از ناپاکی ظاهری	تجربه ناپاکی	تطهیر جسمانی به‌مثابه دستیابی به آرامش اخلاقی و روانی
بدنم نیاز به شستشو دارد	ادراک ناپاکی بدن	درک ناپاکی بدن	تجربه ناپاکی	
استحمام نکنم	تعلیق شستشو	تعلیق کنش پاک‌سازی	کنش تطهیر (منفی)	
احساس می‌کنم بار سنگینی بر دوشم است	تجربه فشار روانی	احساس سنگینی روانی	تنش روانی	
باقی ماندن ناخوشایند است	نارضایتی وجودی	نارضایتی از وضعیت	تنش روانی	
حضور در مسجد	مواجهه با امر مقدس	حضور در فضای مقدس	امر مقدس و اخلاق	
احساس گناه درونی	درونی‌سازی قضاوت اخلاقی	گناه‌مندی درونی	امر مقدس و اخلاق	
با آب خود و لباس‌هایم را پاک می‌کنم	کنش شستشو	کنش تطهیر	کنش تطهیر (مثبت)	
آب احساس پاکی می‌دهد	معنا دادن به آب	نمادپردازی آب	نمادپردازی آب	
احساس آرامش به من دست می‌دهد	تغییر حالت روانی	آرامش روانی	پیامدهای تطهیر	
احساس سبک شدن دارم	رهایی وجودی	احساس سبک‌شدگی	پیامدهای تطهیر	
آخر شب می‌خواهم بخوابم	زمان‌مندی تجربه	تثبیت زمانی آرامش	آرامش نهایی	
با احساس خوشایندی می‌خوابم	آرامش پایدار	خواب آرام	آرامش نهایی	

- **معنابخشی دینی–فرهنگی به آب و نقش آن در شکل‌گیری تجربه زیسته، حافظه جمعی و رفتارهای روزمره**

در این بخش، یافته‌ها به بررسی لایه‌های دینی، فرهنگی و معنایی آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان می‌پردازد. تمرکز تحلیل بر این است که چگونه آب در جهان زندگی افراد، از خلال باورها، آیین‌ها، رفتارهای روزمره و روایت‌های جمعی، به پدیده‌ای چندبعدی و هویت‌ساز تبدیل می‌شود.

۱ .جایگاه آب در باورهای دینی، آیینی و فرهنگی افراد

یافته‌ها نشان می‌دهد که آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، جایگاهی فراتر از یک عنصر طبیعی یا مادی دارد و به‌مثابه یک پدیده مقدس، حیاتی و معنادار در جهان زندگی آنان فهم می‌شود. اغلب مصاحبه‌شوندگان، آب را به‌عنوان «نعمت خدا»، «رحمت الهی» و «بنیان حیات» توصیف کرده‌اند. در روایت‌ها، آب نه‌تنها شرط تداوم زندگی جسمانی، بلکه عنصر اساسی در تحقق دینداری روزمره تلقی شده است.

در سطح فرهنگی، آب با آیین‌ها و باورهای سنتی گره خورده است؛ از جمله جاری‌کردن آب پشت سر مسافر برای سفر بی‌خطر، ارزش‌گذاری مکانی خانه‌های نزدیک به چشمه یا قنات، و تلقی آب به‌عنوان نشانه خوش‌یُمنی و برکت در جوامع روستایی. در سطح دینی نیز، آب به‌طور مکرر با مفاهیمی چون طهارت، وضو، غسل و آمادگی برای ورود به فضای مقدس (مسجد، نماز، قرآن) پیوند خورده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که آب در جهان زندگی مشارکت‌کنندگان، واسطه‌ای میان جسم، روح و امر مقدس است.

۲ .پیوند آب با مفاهیم طهارت، برکت، حیات و رزق

تحلیل مصاحبه‌ها حاکی از آن است که میان آب و مفاهیم «طهارت، برکت، حیات و رزق» یک ارتباط مستقیم، بدیهی و غیرقابل‌تفکیک در ذهن مشارکت‌کنندگان وجود دارد. اکثر افراد به‌صراحت بیان کرده‌اند که بدون آب، نه پاکی ممکن است، نه زندگی، نه کشاورزی و نه روزی.

برای گروهی از مشارکت‌کنندگان، آب به‌طور مستقیم با رزق و روزی معنا می‌یابد؛ به‌گونه‌ای که قطع یا کمبود آب معادل قطع برکت و نابودی معیشت تلقی می‌شود. در کنار این نگاه معیشتی، بعد دینی نیز پررنگ است؛ آب به‌عنوان ابزار اصلی طهارت، شرط قبولی عبادت و زمینه‌ساز برکت الهی معرفی می‌شود. برخی مشارکت‌کنندگان حتی به چرخه‌ای معنایی اشاره کرده‌اند که در آن آب، وضو، نماز، دعا و طلب باران به‌صورت پیوسته یکدیگر را بازتولید می‌کنند.

در مجموع، آب در تجربه زیسته افراد، مفهومی چندلایه است که هم‌زمان حیات زیستی، پاکی اخلاقی و برکت الهی را دربرمی‌گیرد.

۳ .تأثیر معانی فرهنگی و مذهبی بر رفتار روزمره نسبت به آب

یافته‌ها نشان می‌دهد که معانی فرهنگی و مذهبی آب، تأثیر مستقیمی بر الگوهای رفتاری روزمره مشارکت‌کنندگان دارد. اغلب افراد، صرفه‌جویی در مصرف آب را نه‌فقط یک ضرورت اقتصادی یا زیست‌محیطی، بلکه یک وظیفه دینی و اخلاقی تلقی می‌کنند. اسراف آب در روایت‌ها به‌کرات به‌عنوان «گناه» توصیف شده و صرفه‌جویی، نشانه ایمان، شکرگزاری و احترام به نعمت الهی دانسته شده است.

بسیاری از مشارکت‌کنندگان به آموزه‌های دینی (مانند وضو با حداقل آب) یا توصیه‌های والدین در دوران کودکی اشاره کرده‌اند که نقش مهمی در شکل‌گیری رفتارهای کنونی آنان داشته است. در عین حال، برخی افراد به ضعف فرهنگ‌سازی رسمی و انتقال ناقص این ارزش‌ها به نسل جدید اشاره کرده‌اند و بر ضرورت آموزش اجتماعی و خانوادگی تأکید داشته‌اند.

در مجموع، رفتارهایی مانند بستن شیر آب، استفاده حداقلی در وضو و شستشو، پرهیز از آلودگی منابع آبی و حساسیت نسبت به خشکسالی، همگی در چارچوب معنابخشی دینی-فرهنگی به آب قابل تفسیر است.

۴ .خاطرات، روایت‌ها و داستان‌های مذهبی-فرهنگی مرتبط با آب

یکی از پررنگ‌ترین یافته‌ها (جدول ۲)، حضور گسترده روایت‌های مذهبی در حافظه جمعی مشارکت‌کنندگان است. داستان کربلا و تشنگی امام حسین (علیه السلام)، حضرت عباس (علیه السلام) و طفلان اهل بیت، پرتکرارترین روایت در میان مصاحبه‌ها بوده و آب در این روایت‌ها به نماد مظلومیت، فداکاری و قداست تبدیل شده است. این خاطرات نه‌تنها جنبه تاریخی دارند، بلکه به‌طور فعال بر احساسات، نگرش‌ها و رفتارهای کنونی افراد نسبت به آب اثر می‌گذارند.

علاوه بر کربلا، روایت‌هایی چون داستان حضرت هاجر و اسماعیل و ظهور آب زمزم، داستان حضرت موسی و شکافته شدن دریا، و ماجرای حضرت نوح نیز در ذهن مشارکت‌کنندگان زنده است. در کنار روایت‌های دینی، خاطرات شخصی و جمعی مانند کمبود آب، خشکسالی، سیل، یا تجربه زندگی در کنار رودخانه و دریاچه (به‌ویژه دریاچه ارومیه) نقش مهمی در شکل‌دهی به معنای آب داشته است.

این یافته نشان می‌دهد که آب در جهان زندگی افراد، نه‌تنها یک واقعیت طبیعی، بلکه یک خاطره زیسته، یک روایت اخلاقی و یک نماد هویتی است.

به‌طورکلی، طبق جدول (۲) و یافته‌ها نشان می‌دهد که آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، عنصری است که در تقاطع مذهب، فرهنگ، معیشت و اخلاق قرار دارد. آب به‌عنوان نماد طهارت، حیات، رزق و رحمت الهی، رفتارهای روزمره افراد را سامان می‌دهد و از طریق روایت‌های مذهبی و خاطرات جمعی، به‌صورت بیناذهنی بازتولید می‌شود. از منظر پدیدارشناسی تفسیری شوتس، این معانی نه تحمیلی، بلکه برخاسته از جهان زندگی و دانش ذخیره‌شده کنشگران است.

مقوله هسته‌ای نهایی: «آب به‌عنوان پدیده‌ای مقدس، حیات‌بخش و اخلاق‌مند که در جهان زندگی دینی-فرهنگی افراد، رفتار، معیشت و کنش‌های روزمره آنان را سامان می‌دهد.»

جدول ۲- جامع پنج‌مرحله‌ای کدگذاری کیفی به شیوه پدیدارشناسی تفسیری

مرحله ۱: داده خام (گزیده اظهارات مشارکت‌کنندگان)	مرحله ۲: واحد معنایی	مرحله ۳: کد باز	مرحله ۴: مقوله	مرحله ۵: مقوله هسته‌ای
«آب برای ما مقدس است»، «نعمت خداست»، «رحمت الهی است»	قداست آب	آب به‌مثابه امر مقدس	قداست و معنویت آب	آب به‌عنوان پدیده‌ای مقدس و بنیادین در جهان زندگی دینی-فرهنگی
«آب نجاست را پاک می‌کند»، «بدون آب دینداری ناقص است»	پیوند آب و طهارت	آب به‌عنوان ابزار طهارت	طهارت دینی	
«وضو و غسل با آب»، «آمادگی برای نماز و مسجد»	آمادگی برای امر مقدس	آب و ورود به فضای مقدس	کارکرد آیینی آب	
«آب یعنی زندگی»، «بدون آب هیچ موجودی زنده نمی‌ماند»	آب و بقا	آب به‌مثابه منبع حیات	حیات زیستی	
«کشاورزی بدون آب ممکن نیست»، «رزق ما به آب وابسته است»	وابستگی معیشت به آب	آب و رزق و روزی	برکت و معیشت	
«باران که می‌آید امید می‌گیریم»	آب و امید	آب به‌عنوان رحمت الهی	برکت الهی	
«اسراف آب گناه است»، «همه در آب سهم دارند»	قضاوت اخلاقی مصرف آب	اسراف آب به‌مثابه گناه	اخلاق مصرف	
«با یک لیوان آب وضو بگیر»، «شیر آب را می‌بندیم»	الگوی مصرف حداقلی	صرفه‌جویی دینی	رفتار دینی-زیست‌محیطی	
«از کودکی به ما گفتند آب را هدر ندهید»	یادگیری بین‌نسلی	انتقال فرهنگی ارزش آب	جامعه‌پذیری دینی	
«داستان تشنگی امام حسین علیه السلام»	روایت مذهبی کربلا	آب به‌مثابه نماد مظلومیت	حافظه مذهبی	
»حضرت عباس علیه السلام و فرات»، «طفلان امام حسین علیه السلام»	رنج ناشی از بی‌آبی	بی‌آبی به‌عنوان ظلم	معنای اخلاقی آب	
«زمزم و حضرت اسماعیل»	نجات از طریق آب	آب به‌مثابه لطف خدا	روایت نجات‌بخش	
«سیل و بی‌آبی را تجربه کرده‌ایم»	خاطره جمعی آب	تجربه زیسته کمبود آب	حافظه جمعی	
«دریاچه ارومیه»، «خشکسالی»	زیست‌بوم و هویت	آب و هویت مکانی	زمینه زیستی-فرهنگی	
«آب را آلوده نکنید»، «قبل نوشیدن بسم‌الله بگویید»	احترام آیینی به آب	آیین‌مندی آب	احترام نمادین	

- **دگرگونی معنای آب در جهان زندگی معاصر: از قداست بیناذهنی تا مصرف ابزاری**

یافته‌های این بخش طبق جدول (۳) نشـان می‌دهد که معنای آب در تجربه زیسـته معاصـران دچار تحولی بنیادین شـده اسـت. تحلیل پدیدارشـناسـانه روایت‌ها آشـکار می‌سـازد که چگونه مدرن شـدن، کالایی شـدن و تضـعیف انتقال فرهنگی، نسـبت انسـان با آب را از رابطه‌ای اخلاقی–معنوی به رابطه‌ای کارکردی و مصرف‌محور سوق داده است.

۱ .کاهش قداست و معنویت آب در تجربه زیسته معاصران

یافته‌ها نشـان می‌دهد که از منظر اغلب مشـارکت‌کنندگان، قداسـت و معنویت آب در جامعه امروز به‌طور محسـوس کاهش یافته اسـت. بسـیاری از افراد، به‌ویژه در مقایسـه با گذشـته، بر این باورند که آب دیگر همچون گذشـته به‌عنوان نعمتی الهی و مقدس درک نمی‌شود، بلکه بیشتر به‌مثابه یک ابزار روزمره برای رفع نیـازهـای مصـرفی تلقی می‌گردد. این کاهش قداسـت، در روایت‌ها اغلب با عباراتی مانند «عادی شـدن آب»، «بی‌توجهی مردم» و «فراموشـی ارزش‌ها» توصـیف شده است.

از منظر مشارکت‌کنندگان، این تحول به‌ویژه در میان نسل‌های جوان‌تر پررنگ‌تر است؛ نسـلی که به دلیل دسـترسـی آسـان و دائمی به آب، تجربه زیسته‌ای از کمبود و سختی دستیابی به آن نداشـته و در نتیجه، رابطه عاطفی و معنوی ضـعیف‌تری با آب برقرار کرده است.

۲. نقش دسـترسـی آسـان و مدرن شـدن زیرسـاخت‌ها در دگرگونی معنا

یکی از یـافتـه‌هـای محوری پژوهش، نقش تعیین کننـده دسـترسـی آسـان، لوله‌کشـی سـراسـری و فناوری‌های مدرن در تغییر معنای آب اسـت. مشـارکت‌کنندگان به‌طور مکرر اشـاره کرده‌اند که در گذشـته، فرآیند دشـوار تأمین آب (از چشـمه، قنات، تلمبه یا تانکر) موجب شـکل‌گیری احسـاس احترام، صـرفه‌جویی و قداسـت نسـبت به آب می‌شـد. در مقابل، سهولت دسترسی امروزی، به کاهش احساس ارزشمندی و در نتیجه، افزایش مصـرف بی‌ملاحظه انجامیده اسـت. در این چارچوب، رابطه مسـتقیم میان «زحمت دسـتیابی» و «ارزش ادراک شده» به‌عنوان یکی از یافته‌های تفسیری مهم پژوهش قابل طرح است.

۳ .کالایی شـدن آب و غلبه «منطق رشـد اقتصـادی و مصـرف پایه»

یافته‌ها نشـان می‌دهد که بسـیاری از مشـارکت کنندگان، پولی شـدن آب را نقطه عطفی در افول معنویت آن می‌دانند. زمانی که آب به‌عنوان کالایی قابل خرید و فروش تعریف می‌شـود، «منطق رشـد اقتصـادی و مصـرف پایه» جایگزین منطق اخلاقی و دینی می‌گردد. عبـاراتی نظیر «پولش را می‌دهیم»، «حق مصـرف داریم» و «هر چقدر بخواهیم اسـتفاده می‌کنیم» در روایت‌ها، بازتاب‌دهنده این تغییر نگرش است.

در این وضـعیت، آب از یک «امانت الهی» به یک «دارایی شـخصـی» تبدیل شـده و این دگرگونی معنایی، زمینه‌سـاز اسـراف، مصـرف‌گرایی و کاهش حسـاسـیت اخلاقی نسـبت به پیامدهای محیط‌زیستی شده است.

۴ .تضعیف انتقال بین‌نسلی ارزش‌ها و نقش نهادها

یکی دیگر از یافته‌های مهم، ضعف در انتقال بین‌نسلی معانی دینی–فرهنگی آب اسـت. از منظر مشـارکت‌کنندگان ، نبود الگوی عملی از سـوی نهادهای رسـمی، باعث شـده پیام‌های فرهنگی و دینی درباره صـرفه‌جویی و احترام به آب، اثرگذاری لازم را نداشته باشد و به دسترسی به نسل‌های بعدی منتقل نشود.

همچنین معتقدند ضعف این نهادها موجب گسست ارزش‌ها در نسل جدید شده است.

۵ .پیامدهای رفتاری و محیط‌زیستی تحول معنا

تحلیل داده‌ها نشـان می‌دهد که تغییر معنای آب، پیامدهای مسـتقیمی بر رفتارهای روزمره و نگرش‌های زیسـت‌محیطی افراد داشته است. مشارکت‌کنندگان از افزایش اسراف، مصرف نمایشـی (مانند اسـتخرهای خانگی)، بی‌تفاوتی نسـبت به آلودگی آب و تخریب منابع طبیعی سـخن گفته‌اند. در این نگاه، آب زمانی که قداسـت خود را از دسـت می‌دهد، تخریب آن نیز از نظر اخلاقی کم‌اهمیت جلوه می‌کنـد. برخی مشـارکت‌کننـدگان تـأکید کرده‌انـد کـه در غیـاب بـاورهـای درونی‌شده، اخلاق زیست‌محیطی تضعیف خواهد شد.

۶ .دوگانگی در نگرش‌ها: تداوم اهمیت کارکردی آب

با وجود تأکید غالب بر کاهش قداست، یافته‌ها نشان می‌دهد که در میان برخی مشارکت‌کنندگان، اهمیت کارکردی و حیاتی آب همچنان پابرجا است. حتی کسانی که قداست معنوی آب را کاهش یافته می‌دانند، بر ضـرورت وجود آب برای زندگی، کشـاورزی و آبادانی تأکید کرده‌اند. این امر نشـان‌دهنده نوعی دوگانگی معنایی اسـت؛ به این معنا که آب از نظر کارکردی همچنان حیاتی اسـت، اما از نظر نمادین و اخلاقی، جایگاه پیشین خود را از دست داده است.

در مجموع همانطور که جدول (۳) نشـان می‌دهد که آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، در بستر مدرنیزاسیون، شهر مصـرفی، مادی‌گرایی و فشـارهای معیشـتی، دچار دگرگونی معنایی عمیق شـده اسـت. این دگرگونی، آب را از یک عنصـر مقدس، اخلاق‌مند و هویت‌ساز به منبعی مصرفی و اقتصادی تقلیل داده و پیامد آن، کاهش مسئولیت‌پذیری فردی و جمعی نسـبت به طبیعت و محیط زیسـت بوده اسـت. از منظر پدیدارشناسی تفسیری شوتس، این تحول بازتاب تغییرات در «جهان زندگی» و نظام بداهت‌های کنشگران است.

مقولـه هسـتـه‌ای نهـایی: «دگرگونی معنـای آب از پدیـده‌ای مقدس و اخلاق‌مند به منبعی کالایی، مصـرفی و اقتصـادی در بستر زندگی مدرن، که به تضـعیف مسئولیت فردی و تخریب رابطه انسان با طبیعت انجامیده است.»

جدول ۳- جامع پنج‌مرحله‌ای کدگذاری کیفی به شیوه پدیدارشناسی تفسیری

مرحله ۱: داده خام (گزیده اظهارات مشارکت‌کنندگان)	مرحله ۲: واحد معنایی	مرحله ۳: کد باز	مرحله ۴: مقوله	مرحله ۵: مقوله هسته‌ای
«قداست آب نسبت به قبل خیلی کمتر شده»	کاهش قداست	افول معنویت آب	کاهش قداست آب	**دگرگونی معنای آب از امر مقدس به منبع مصرفی در جهان زندگی مدرن**
«جوانان دیگر آب را مقدس نمی‌دانند»	شکاف نسلی	فاصله نسلی در معنابخشی	تغییر بین‌نسلی معنا	
«آب همیشه در دسترس است»	دسترسی آسان	آسانی دسترسی به آب	مدرن‌شدن دسترسی	
«قبلاً با زحمت آب می‌آوردیم»	زحمت تهیه آب	تجربه سختی دستیابی	تجربه زیسته گذشته	
«چون زحمتش کم شده احترامش هم کم شده»	رابطه زحمت–ارزش	کاهش ارزش به‌دلیل سهولت	زوال ارزش نمادین	
«آب پولی شده»	کالایی‌شدن	تبدیل آب به کالا	کالایی‌شدن آب	
«می‌گویند پولش را می‌دهیم»	«منطق رشد اقتصادی و مصرف پایه»	غلبه منطق پولی	اقتصادمحوری	
«همه‌چیز با پول سنجیده می‌شود»	مادی‌گرایی	غلبه مادی‌گرایی	مادی‌گرایی اجتماعی	
«معنویت در جامعه کم شده»	افول دینداری	کاهش معنویت اجتماعی	تضعیف باور دینی	
«دولت خودش رعایت نمی‌کند»	الگوی نهادی	بی‌اعتمادی نهادی	نقش ساختارها	
«زندگی آنقدر سخت شده که به این چیزها فکر نمی‌کنیم»	فشار معیشتی	اولویت معیشت بر معنا	فشار زندگی مدرن	
«آب فقط رفع نیاز است»	کارکرد ابزاری	نگاه ابزاری به آب	تقلیل کارکردی آب	
«صرفه‌جویی نمی‌کنند»	پیامد رفتاری	بی‌توجهی در مصرف	پیامدهای رفتاری	
«هدر دادن آب عادی شده»	عادی‌شدن اسراف	اسراف نهادینه	مصرف‌گرایی	
«طبیعت را هم تخریب می‌کنند»	سرایت نگرش	بی‌توجهی به طبیعت	تخریب محیط زیست	
«آب هم مثل بقیه کالاها شده»	هم‌ارزی کالایی	همسان‌سازی با کالا	ازبین‌رفتن تمایز نمادین	
«داشتن استخر نشانه طبقه بالا است»	مصرف نمایشی	مصرف برای خودنمایی	مصرف نمادین مدرن	
«قبلاً کنار آب بودن لذت داشت»	تغییر تجربه زیسته	زوال تجربه عاطفی	تغییر رابطه عاطفی با طبیعت	
«اگر قانون نباشد همه چیز نابود می‌شود»	فقدان مسئولیت درونی	وابستگی به اجبار بیرونی	ضعف اخلاق درونی	

- **پیوند معنویت، اخلاق و تجربه زیسته در شکل‌گیری رفتار مسئولانه نسبت به آب**

یافته‌های این بخش نشان می‌دهد که رفتارهای زیست‌محیطی مرتبط با آب، در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، ریشه در شبکه‌ای از معانی معنوی، اخلاقی، فطری و تجربی دارد. تحلیل پدیدارشناسانه آشکار می‌سازد که چگونه دین، وجدان، تجربه کم‌آبی و فرآیندهای اجتماعی، به‌طور هم‌زمان در تنظیم مصرف آب نقش و کاهش قداست آب نقش ایفا می‌کنند.

۱ . درک معنوی آب به‌مثابه عامل بازدارنده اسراف

یافته‌ها نشان می‌دهد که اکثریت مشارکت‌کنندگان بر این باورند که درک معنوی و قدسی از آب، نقش مستقیم و تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری رفتارهای مسئولانه مصرفی دارد .آب زمانی که به‌عنوان «نعمت خداوند» یا «امانت الهی» درک می‌شود، به‌طور طبیعی با حساسیت اخلاقی بیشتری مصرف می‌شود. در این چارچوب، اسراف نه‌تنها رفتاری نادرست، بلکه نوعی گناه، ناسپاسی و تخطی اخلاقی تلقی می‌شود. بسیاری از مشارکت‌کنندگان تأکید کرده‌اند که اگر این باورها درونی شده باشد، فرد حتی در غیاب نظارت بیرونی نیز به‌صورت خودکنترلی رفتار می‌کند.

۲. ایمان دینی به‌عنوان چارچوب تنظیم رفتار محیط‌زیستی

بخش قابل توجهی از پاسخ‌ها نشان می‌دهد ایمان دینی، چارچوبی هنجاری برای رفتار محیط‌زیستی افراد فراهم می‌کند. از نگاه این گروه، آموزه‌های دینی درباره پرهیز از اسراف، حفظ نعمت‌ها و امانت‌داری انسان در برابر مخلوقات خداوند، مستقیمً بر نحوه مصرف آب و نگرش به محیط زیست اثرگذار است. در این دیدگاه، حفظ آب نه صرفاً یک عمل عقلانی، بلکه نوعی عبادت و انجام تکلیف دینی محسوب می‌شود که فرد را به رفتار مسئولانه سوق می‌دهد.

۳. نقش وجدان و فطرت

یافته‌ها نشان می‌دهد در کنار دیدگاه دینی، برخی مشارکت‌کنندگان منشأ رفتار مسئولانه را بیشتر در وجدان، فطرت انسانی و انسانیت می‌دانند. این افراد اگرچه به دین باور دارند، اما تأکید می‌کنند که آب را همه باید درست مصرف کنند. این یافته نشان‌دهنده تبیین رفتار محیط‌زیستی از لحاظ دینی و وجدان انسانی است.

۴. تجربه زیسته کم‌آبی به‌عنوان بیدارگر معنوی و اخلاقی

تقریباً تمام مشارکت‌کنندگان، تجربه شخصی کم‌آبی، خشکسالی، قطع آب یا مشاهده تخریب منابع آبی را عاملی عمیقاً تأثیرگذار بر نگرش و احساسات معنوی خود دانسته‌اند.

این تجربه‌ها احساساتی چون: عذاب وجدان؛ ترس از آینده؛ احساس ناسپاسی؛ غم، اندوه و دلهره؛ تصور قهر الهی یا آزمون الهی را در افراد برانگیخته است. این یافته نشان می‌دهد که اثرات کم‌آبی، آگاهی اخلاقی و معنوی افراد را فعال می‌کند و آنان را به بازاندیشی در رفتارهای گذشته و اصلاح شیوه مصرف سوق می‌دهد.

۵. خشکسالی به‌عنوان تهدید هویتی و فرهنگی

در برخی روایت‌ها، به‌ویژه درباره خشک شدن دریاچه‌ها و سدها، آب نه‌تنها یک منبع طبیعی، بلکه بخشی از هویت، فرهنگ و احساس تعلق مکانی تلقی شده است. خشک شدن این منابع، برای مشارکت‌کنندگان به‌مثابه از دست رفتن بخشی از زندگی، زیبایی و حتی رابطه با خداوند تعبیر شده است. این نگاه نشان می‌دهد که بحران آب می‌تواند پیامدهای فراتر از بُعد محیط‌زیستی داشته و ابعاد فرهنگی، معنوی و هویتی را نیز تحت تأثیر قرار دهد.

۶. نقش آموزش، خانواده و نهادهای اجتماعی

یافته‌ها طبق جدول (۴) تأکید می‌کند که آموزش معنوی و اخلاقی از دوران کودکی نقش اساسی در شکل‌گیری رفتارهای مسئولانه نسبت به آب دارد. مشارکت‌کنندگان به نقش خانواده، مدرسه، مسجد و رسانه‌ها در نهادینه‌سازی احترام به آب اشاره کرده‌اند. آموزش، از دید آنان، زمانی اثربخش است که با الگوی عملی، تجربه زیسته و باورهای درونی شده همراه باشد.

در مجموع، یافته‌های این محور طبق جدول (۴) نشان می‌دهد که معنویت، ایمان دینی، وجدان اخلاقی و تجربه زیسته آب درهم‌تنیده‌اند و به‌صورت شبکه‌ای، رفتارهای اجتماعی افراد در مصرف و حفاظت از آب را شکل می‌دهند. آب زمانی که از یک کالای مصرفی به یک نعمت مقدس و امانت اخلاقی تبدیل می‌شود، زمینه‌ساز مسئولیت‌پذیری فردی و جمعی خواهد بود.

مقوله هسته‌ای نهایی: «درک معنوی، دینی و اخلاقی از آب– چه مبتنی بر مذهب و چه بر وجدان و فطرت انسانی–نقش محوری در شکل‌گیری رفتارهای مسئولانه اجتماعی نسبت به مصرف و حفاظت از منابع آبی دارد.»

جدول ٤- جامع پنج‌مرحله‌ای کدگذاری کیفی به شیوه پدیدارشناسی تفسیری

مرحله ۱: داده خام (گزیده اظهارات مشارکت‌کنندگان)	مرحله ۲: واحد معنایی	مرحله ۳: کد باز (Open Code)	مرحله ۴: مقوله (Category)	مرحله ۵: مقوله هسته‌ای (Selective Code)
«اگر آب را نعمت خدا بدانیم در نگهداری از آن کوتاهی نمی‌کنیم»	آب به‌عنوان نعمت الهی	نعمت الهی بودن آب	ایمان دینی و رفتار زیست‌محیطی	**درک معنوی آب به‌عنوان تنظیم‌کننده رفتار اجتماعی**
«به خدا و نعمت‌هایش معتقد باشی، آب را هدر نمی‌دهی»	پیوند ایمان و مصرف آب	ایمان بازدارنده اسراف	ایمان دینی و اخلاق مصرف	
«هر قطره آب ارزش دارد، این درک ما را وادار به حفظ منابع می‌کند»	ارزشمندی ذاتی آب	قداست و ارزش هر قطره آب	معنویت و مسئولیت‌پذیری	
«وقتی پای وجدان وسط می‌آید، بدون فکر از آب استفاده نمی‌کنیم»	نقش وجدان در مصرف	وجدان اخلاقی	اخلاق فردی و فطرت	
«دین ما را به اسراف نکردن توصیه کرده است»	آموزه‌های دینی	نهی دینی از اسراف	چارچوب هنجاری دین	
«من رفتارم نسبت به آب به انسانیت ربط دارد نه دین»	استقلال اخلاق از دین	فطرت و انسانیت	اخلاق فطری	
«اگر کسی بی‌آبی کشیده باشد، رفتارش تغییر می‌کند»	تجربه کم‌آبی	تجربه زیسته تشنگی	تجربه زیسته و آگاهی اخلاقی	
«خشکسالی آدم را به توبه و اصلاح رفتار می‌کشاند»	کم‌آبی به‌مثابه هشدار	احساس تقصیر و توبه	بیداری اخلاقی–معنوی	
«خشک شدن دریاچه باعث می‌شود احساس کنیم خدا قهر کرده»	تفسیر معنوی بحران	قهر الهی	معنابخشی دینی به بحران	
«وقتی آب قطع می‌شود، قدرش را بیشتر می‌دانیم»	فقدان آب	آگاهی در فقدان	تجربه زیسته کم‌آبی	
«باید از بچگی در مدرسه آموزش داده شود»	نقش آموزش	آموزش معنوی	جامعه‌پذیری ارزشی	
«در خانواده به ما می‌گفتند آب نعمت خداست»	انتقال بین‌نسلی ارزش‌ها	آموزش خانوادگی	نهاد خانواده	
«حفظ آب نوعی عبادت است»	رفتار دینی	عبادت بودن حفاظت آب	معنویت عملی	
«اگر ایمان قوی باشد، رفتار زیست‌محیطی هم خوب است»	رابطه ایمان و عمل	ایمان و مسئولیت	پیوند باور و کنش	
«اسراف آب خدا را خوش نمی‌آید»	قضاوت اخلاقی–دینی	گناه اسراف	اخلاق دینی	

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با اتکا بر رویکرد پدیدارشناسی تفسیری آلفرد شوتس، کوشید معنای آب را نه به‌مثابه یک واقعیت عینی و صرفاً فیزیکی، بلکه به‌عنوان پدیده‌ای زیسته، معنامند و بیناذهنی در جهان زندگی کنشگران اجتماعی بازسازی کند. این رویکرد، همسو با تأکید شوتس بر «جهان زندگی» و «دانش

ذخیره شـــده روزمره»، امکان فهم آب را در بســـتر تجربه‌های بدیهی، فرهنگی و اخلاقی افراد فراهم می‌سازد.

در این چارچوب، آب نه صـــرفاً یک منبع طبیعی یا کالای زیستی، بلکه عنصری است که در تقاطع بدن زیسته، اخلاق، دین، حافظه جمعی، تجربه‌های تاریخی و ســـاختارهای اجتماعی معنا می‌یابد؛ امری که با تأکید پژوهش‌های جامعه‌شناسی و انسان‌شناسی آب بر چندبعدی بودن این پدیده تطابق دارد. یافته‌ها نشـــان می‌دهد که معناهای نسبت‌داده‌شده به آب، نقشی بنیادین در تنظیم کنش‌های فردی و جمعی مرتبط با مصرف، حفاظت و مواجهه اخلاقی با محیط‌زیســـت ایفا می‌کنند؛ نکته‌ای که در ادبیات نوین مدیریت آب نیز به‌عنوان پیوند میان ابعاد فنی، اجتماعی و فرهنگی مدیریت منابع آبی مورد تأکید قرار گرفته است.

نخستین سطح از نتایج پژوهش، به بازسازی پدیدارشناختی تجربه پاکی، ناپاکی و شست‌وشو اختصاص داشت. تحلیل‌ها نشان داد که ناپاکی در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، صرفاً وضعیتی جسمانی یا بهداشتی نیست، بلکه حالتی اخلاقی-روانی اســـت که با احســـاس ســـنگینی، اضـــطراب، گناه و ناهماهنگی با نظم روزمره زندگی همراه می‌شود. این برداشت با تأکید پدیدارشناسی بر بدن به‌مثابه «بدن زیسته» همخوان اســـت. بدنی که حامل معنا اســـت و وضـــعیت آن مســـتقیماً تجربه اخلاقی و عاطفی فرد را شکل می‌دهد. از منظر شوتس، این تجربه‌ها در سطح بداهت‌های جهان زندگی رخ می‌دهند و کنشگر بدون تأمل نظری، آن‌ها را به‌عنوان وضعیتی «نابهنجار» یا «ناهمساز» درک می‌کند.

در ادامه، شـــســـت‌وشـــو با آب در روایت‌ها به‌عنوان کنشـــی معنادار، هدفمند و اجتماعی ظاهر شـــد؛ کنشـــی که نه‌تنها پاســـخی به آلودگی جســـمانی، بلکه ســـازوکاری برای بازســـازی آرامش روانی، رهایی اخلاقی و بازگشـــت به تعادل وجودی اســـت. این یافته با تمایز شـــوتس میان انگیزه‌های «از آنِ» و «برای» قابل تبیین است؛ به‌گونه‌ای که شســـت‌وشـــو ریشـــه در تجربه‌های پیشـــین، درونی‌ســـازی هنجارهای دینی و فرهنگی و دانش ذخیره‌شـــده دارد و هم‌زمان معطوف به دســـتیابی به آرامش، خواب مطلوب و آمادگی برای مواجهه با امر مقدس است.

در این میـــان، آب بـــه‌عنوان عنصـــر محوری تجربـــه تطهیر، جـــایگـــاهی نمـــادین و بینـــاذهنی می‌یـــابـــد. آب در تجربـــه مشـــارکت‌کنندگان صـــرفاً ماده‌ای فیزیکی نیســـت، بلکه نماد مشـــترک پاکی، تطهیر، تولد دوباره و رهایی اســـت؛ نمادی که معنای آن نه فردی، بلکه ریشـــه‌دار در دانش جمعی و فرهنگی اســـت و ازاین‌رو برای دیگران نیز قـــابـــل فهم و انتقـــال‌پـــذیر می‌باشـــد. این ویژگی، دقیقاً همان «بیناذهنیت» مورد نظر شـــوتس اســـت که امکان اشـــتراک معنا در جهان اجتماعی را فراهم می‌کند. یافته‌های روان‌شـــناســـی محیطی درباره اثرات آرام‌بخش و ترمیمی آب نیز این تجربه زیسته را تأیید می‌کنند. یافته‌ها همچنین نشان داد که تجربه پاکی و ناپاکی در پیوندی تنگاتنگ با زمان‌مندی و فضـــامندی شـــکل می‌گیرد. شـــب و خواب به‌عنوان افق زمانی تجربه، نقطه تثبیت آرامش و رهایی است و فضـــاهای مقدس مانند مسجد، شدت تجربه اخلاقی ناپاکی یا ضـــرورت تطهیر را افزایش می‌دهند. این امر با تأکید پدیدارشـــنـــاســـی بر زمان‌مندی و مکان‌مندی تجربه زیســـتـــه همسو است.

در ســـطحی گســـترده‌تر، پژوهش نشـــان داد که آب در تجربه زیسته مشارکت‌کنندگان، جایگاهی بنیادین در باورهای دینی، آیینی و فرهنگی دارد. آب بـــه‌عنوان «نعمـــت خـــدا»، «رحمـــت الهی» و «بنیان حیات» فهم می‌شـــود و واســـطه‌ای میان جســـم، روح و امر مقدس تلقی می‌گردد. این معناها در قالب دانش فرهنگی و دینی انباشـــتـــه شـــده و از طریق آیین‌ها، خانواده و نهادهای اجتماعی بازتولید می‌شـــوند؛ امری که با یافته‌های مطالعات انسان‌شناسی و جامعه‌شناسی آب هم‌راستا است.

نقش حافظه جمعی و روایت‌های مذهبی در این میان بســـیار برجســـته اســـت. داســـتان‌هایی چون تشـــنگی کربلا، حضـــرت عباس(علیه الســـلام)، زمزم و روایات قرآنی، آب را به نمادی اخلاقی و هویتی تبدیل کرده‌اند که فراتر از زمان تاریخی، در زندگی روزمره کنشگران حضور فعال دارد. این روایت‌ها، مطابق با رویکردهای روایت‌محور در پژوهش‌های کیفی، احســـاســـات، نگرش‌ها و رفتارهای کنونی افراد را شکل می‌دهند.

با این حال، یکی از مهمترین نتایج پژوهش، آشـــکارســـازی دگرگونی معنای آب در جهان زندگی معاصـــر اســـت. یافته‌ها نشـــان می‌دهد که در بســـتر مدرنیزاســـیون، شـــهر مصـــرفی، دسترسی آسان، کالایی شدن و فشارهای معیشتی، قداست و معنویت آب به‌طور محسوسی کاهش یافته است. آب از یک امانت الهی و عنصر اخلاق‌مند، به منبعی مصرفی و اقتصادی تقلیل یافته اســـت؛ وضـــعیتی که در ادبیات «هیدرومدرنیته» و «قدرت مایع» نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

رابطه مستقیم میان سهولت دسترسی و کاهش ارزش ادراک شـــده آب، با یافته‌های پژوهش‌های شـــهری و اجتماعی آب همخوان است؛ به‌گونه‌ای که فاصله گرفتن افراد از فرایند تولید و تأمین آب، حســـاســـیت اخلاقی نســـبت به مصـــرف را کاهش می‌دهد. در این وضـــعیت، «منطق رشـــد اقتصـــادی و مصـــرف پایه» جایگزین منطق اخلاقی می‌شود و آب از «امانت مشترک» به «دارایی شخصی» تبدیل می‌شود.

در عین حال، یافته‌ها نوعی دوگانگی معنایی را نیز آشـــکار می‌کند. حتی در شـــرایط افول قداســـت، اهمیت زیســـتی و حیاتی آب همچنان پابرجا است؛ اما این اهمیت الزاماً به رفتار مسئولانه منجر نمی‌شود. این شکاف میان «اهمیت کارکردی» و «معنای اخلاقی» یکی از چالش‌های اصـــلی مدیریت پایدار آب در ایران و ســـایر جوامع معاصـــراســـت. در نهایت، طبق جدول (۵) نتایج نشـــان داد که رفتارهای مســـئولانه نســـبت به آب، در تجربه زیســـته مشـــارکت‌کنندگان، حاصـــل شـــبکه‌ای درهم تنیده از معنویت، ایمـــان دینی، وجـــدان اخلاقی، فطرت انسانی و تجربه زیسته کم‌آبی است. درک معنوی آب به‌عنوان نعمت الهی یا امانت اخلاقی، نقش بازدارنده‌ای در برابر اسراف ایفا می‌کند و نوعی خودکنترلی درونی ایجاد می‌نماید؛ یافته‌ای

که با پژوهش‌های رفتاری و روان‌شـــناختی حوزه امنیت آب همســو اســت. تجربه زیســته کم‌آبی و خشـکســالی، به‌عنوان بیدارگر اخلاقی و معنوی، نقش مهمی در بازاندیشـی نگرش‌ها و اصلاح رفتارها دارد. این یافته با پژوهش‌های جامعه‌شناختی بحران آب در ایران همخوان اســت که بحران را نه فقط فنی، بلکه فرهنگی، نهادی و اخلاقی می‌دانند. در جمع‌بندی نهایی طبق جدول (۵) می‌توان گفت آب در جهان زندگی کنشـــگران در شـهر اردبیل، پدیده‌ای چندلایه و معنادار اسـت که فهم آن بدون توجه به تجربه زیســـته، دانش فرهنگی، روایت‌هـا و سـاختارهای اجتماعی ممکن نیسـت. از منظر پدیدارشـناسـی تفسـیری شـوتس، هرگونه سـیاسـت‌گذاری و حکمرانی آب، اگر از درک جهان زندگی کنشـگران غفلت کند، با شـکسـت مواجه خواهد شـد؛ امری که ادبیات نوین حکمرانی اجتماعی آب نیز بر آن تأکید دارد.

جدول ۵- جمع‌بندی جامع یافته‌ها، مقوله‌های هسته‌ای و دلالت‌های تفسیری

محور تحلیلی	پیامد رفتاری-اجتماعی	دلالت تفسیری شوتسی	مقوله هسته‌ای	معنای زیسته اصلی
بدن، ناپاکی و شست‌وشو	گرایش به شست‌وشوی معنادار	بدن زیسته و بداهت‌های فرهنگی	تطهیر به‌عنوان بازسازی آرامش	ناپاکی به‌مثابه وضعیت اخلاقی-روانی
آب و نمادپردازی	پیوند جسم، روان و امر مقدس	معناهای مشترک فرهنگی	آبِ بیناذهنی	آب به‌عنوان نماد پاکی و رهایی
دین و فرهنگ	رفتار دینی-اخلاقی در مصرف	دانش ذخیره‌شده دینی-فرهنگی	آب مقدس و حیات‌بخش	آب به‌مثابه نعمت الهی
حافظه جمعی	حساسیت اخلاقی به بی‌آبی	بیناذهنیت و تیپ‌سازی	آبِ هویتی	روایت‌های مذهبی و تاریخی
مدرنیته	اسراف و مصرف‌گرایی	تغییر جهان زندگی	تقلیل معنای آب	افول قداست و کالایی‌شدن
اخلاق و رفتار	حفاظت مسئولانه از آب	خودکنترلی درونی	معنویت تنظیم‌کننده کنش	ایمان، وجدان و تجربه کم‌آبی

بر اساس یافته‌های این پژوهش و باتوجه‌به فهم پدیدارشناسانه معنای آب در جهان زندگی کنشـگران، می‌توان پیشـنهادها و جهت‌گیری‌های سیاستی زیر را ارائه کرد:

- بازمعنابخشـی فرهنگی و اخلاقی آب در سـیاسـت‌گذاری عمومی شهر اردبیل (سیاست‌های آب باید فراتر از رویکردهای موجود، بر احیای معنای اخلاقی، فرهنگی و دینی آب تمرکز کنند. بهره‌گیری آگاهانه از مفاهیمی مانند امانت‌داری، نعمت الهی و مسئولیت بین‌نسلی می‌تواند به درونی‌شدن رفتارهای مسئولانه کمک کند.)
- تقویت آموزش مبتنی بر تجربه زیسـته و روایت‌های فرهنگی-دینی در شهر اردبیل (برنامه‌های آموزشی در مدرسه، رسـانه و نهادهای دینی باید از آموزش‌های انتزاعی فاصـله گرفته و با استفاده از روایت‌ها، خاطرات تاریخی (سوابق تمدنی در سـرزمین و تجارب متاخر در دهه‌های گذشـته در ایران و جهان)، تجربه‌های کم‌آبی و مثال‌های زیسـته، پیوند عاطفی و اخلاقی نسل جدید با آب را تقویت کنند.)
- هم‌سوسـازی سـیاسـت‌های اقتصـادی با ارزش‌های اخلاقی (ضروری است سیاست‌ها و مدیریت مصرف به‌گونه‌ای طراحی شـوند که «منطق رشـد اقتصـادی و مصـرف پایه» در تعارض با منطق اخلاقی قرار نگیرد و پیامد آن، عادی‌سـازی اسـراف نباشد.)
- تقویت الگوی حکمرانی اجتماعی و مشـارکتی آب (مشـارکت فعال شـهروندان، جوامع محلی و نهادهای مدنی شـهر اردبیل در تصـمیم‌گیری‌های آبی، می‌تواند اعتماد اجتماعی را افزایش داده و مسـئولیت‌پذیری جمعی نسـبت به حفاظت از آب را تقویت کند.)

سپاسگزاری

مقاله مسـتخرج از طرح پژوهشـی دانشـگاه محقق اردبیلی (شماره: ۱۴۰۴/د/۹/۲۶۴۷۷ به تاریخ: ۱۴۰۴/۱۱/۲۰) است.

منابع

افسری، عبدالحمید، حاجی ناصری، سعید، فاضلی، محمد و فیرحی، داود. (۱۳۹۶). مدلِ داده‌بنیاد بررسـی جامعه‌شـناختی حکمرانی آب در بحرانِ دریاچه‌ی ارومیه. مطالعات راهبردی سـیاسـتگذاری عمومی، ۷ (۲۵)، ۵۳-۷۲.
https://sspp.iranjournals.ir/article_29726.html

سـبزه‌ای، محمدتقی، و کولیوند، شـکیبا. (۱۳۹۶). بررسـی جامعه شـناختی مسـاله اجتماعی آب در ایران با نگرش توسـعه پایدار. فصـلـنـامـه عـلـوم اجـتـمـاعـی، ۲۴، ۴۰۴-۴۳۳.
https://doi.org/10.22054/qjss.2017.7924

محمودی، مریم، میرزایی، حسـین، یوسـفی، علی، و فاضـلی، محمد. (۱۴۰۴). بررسـی جامعه شـناختی بحران آب در ایران: رویکردی تاریخی نهادی به علل ورود دولت به مدیریت منابع آب ایران در دوران معاصـر. فصـلنامه آب و توسـعه پایدار. ۱۲ (۲)، ۱۹-۳۴.
https://doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2412-1388

هاشـمی، سـید مختار. (۱۴۰۱). اصـول هیدرواجتماعی: ارتقاء از چرخه هیدرولوژی به چرخه هیدرواجتماعی. فصـلنامه آب و توسـعه پـایـدار، ۹ (۱)، ۱۴۵-۱۴۸.
https://jwsd.um.ac.ir/article_42616.html

قاسـمی، محمود و عبداللهی، عظیمه السـادات. (۱۴۰۳). واکاوی همزیسـتی جمعی و حکمرانی اجتماعی آب (مطالعه شـهروندان سـمیرمی). پژوهش‌های راهبردی مسـائل اجتماعی، ۱۳ (۱)، ۱۰۱-۱۳۰.
https://doi.org/10.22108/srspi.2024.139147.1939

رهبرقاضـی، محمودرضـا، و طالعی حور، رهبر. (۱۴۰۳). دلایل و پیامدهای بحران آب در ایران: ارائه یک روش نظریه‌پردازی داده بنـیـاد. فصـلـنـامـه عـلـمـی راهـبـرد، ۳۳ (۳)، ۴۸۳-۵۰۸.
https://doi.org/10.22034/rahbord.2024.472687.1709

شالچی، وحید، و مهدیار، میثم. (۱۳۹۹). بازتاب مقولات محیط‌زیستی در رویکردهای نظری جامعه شـناسـیِ ایران و نسـبت آن با ریشه‌های بحران آب در ایران. دو فصلنامه دانش‌های بومی ایران، ۷ (۱۳)، ۱۰۷-۵۳.
https://doi.org/10.22054/qjik.2021.55653.1231

Abdullaev, I., & Mollinga, P. P. (2010). The socio-technical aspects of water management: Emerging trends at the intersection of engineering and social sciences. Water Alternatives, 3(2), 266–280. https://doi.org/10.3390/w2010085

Charmaz, K. (2014). Grounded Theory in Global Perspective: Reviews by International Researchers: Reviews by International Researchers. Qualitative Inquiry, 20(9), 1074-1084. https://doi.org/10.1177/1077800414545235

Conway, D. (2024). Water on the mind: Mapping behavioral and psychological research on water security. WIREs Water, 11(6), Article e1755. https://doi.org/10.1002/wat2.1755

Creswell, J. W. (2013). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (3rd ed.). Sage Publications. 3rd ed. Thousand Oaks, California, USA. https://www.google.com/books/edition/Qualitative_Inquiry_and_Research_Design/Ykruxor10cYC?hl=en

Dieman, J., Smith, L., & van der Meer, E. (2024). The paradox of water value: Cultural, social and economic dimensions of urban water use. Water International, 49(1), 35–52. https://share.google/I1TgqqBLpHefmThI1

Finlay, L. (2011). Phenomenology for therapists: Researching the lived world. Wiley-Blackwell. First edition. Chichester, UK. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119975144

Latour, B. (2005). Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory. Oxford University Press. First edition. Oxford, UK. https://academic.oup.com/book/52349

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). Naturalistic inquiry. Sage Publications. First edition. Beverly Hills, California, USA. https://www.google.com/books/edition/Naturalistic_Inquiry/2oA9aWlNeooC?hl=en

March, H. (2016). Liquid power: contested hydro-modernities in twentieth-century Spain by Erik Swyngedouw. Area, 48(2), 254-255. https://hdl.handle.net/10609/85246

Mazzucato, M., & Zaqout, M. (2024). Rethinking the global water challenge through a common good lens. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2024-06). London, UK. https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/publications/2024/mar/rethinking-global-water-challenge-through-common-good-lens

Riessman, C. K. (2008). Narrative methods for the human sciences. Sage Publications. Thousand Oaks, California, USA. https://books.google.com/books?id=DfAgxwF0GnQC&newbks=0&hl=en&source=newbks_fb

Schulz, P., & Gros, A. (2024). Toward a Sociology of Water: Reconstructing the Missing “Big Picture” of Social Water Research. Water, 16 (13), 1792 – https://doi.org/10.3390/w16131792

Schutz, A. (1967). The phenomenology of the social world (G. Walsh & F. Lehnert, Trans.). Northwestern University Press. First edition. Evanston, Illinois, USA. https://bccibank-insights.com/sites/default/files/uploads/files/The%20Phenomenology%20of%20the%20Social%20World_0.pdf

Schutz, A., & Luckmann, T. (1973). The structures of the life-world, Vol. 1. Northwestern University Press. Reprint edition. Evanston, Illinois, USA. https://nupress.northwestern.edu/9780810108332/the-structures-of-the-life-world/

Smith, J. A., Flowers, P., & Larkin, M. (2009). Interpretative phenomenological analysis: Theory, method and research. Sage Publications. London, UK. https://doi.org/10.1080/14780880903340091

Strang, V. (2020). Re-imagining the river: New environmental ethics in human engagements with water. One Earth, 2(3), 204–206. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.011

Strauss, A., & Corbin, J. (1998). Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (2nd ed.). Sage Publications. Thousand Oaks, California, USA. https://methods.sagepub.com/book/mono/basics-of-qualitative-research/toc#_

Van Manen, M. (2016). Researching lived experience: Human science for an action-sensitive pedagogy (2nd ed.). Routledge. London and New York, UK and USA. https://www.routledge.com/Researching-Lived-Experience-Human-Science-for-an-Action-Sensitive-Pedagogy/vanManen/p/book/9781629584164

Wateau, F. (2011). Water, societies and sustainability: A few anthropological examples of non-market water values. Policy and Society, 30(4), 257–265. https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2011.10.004

Woodhouse, P., & Muller, M. (2017). Water governance–An historical perspective on current debates. World Development, 92, 225–241. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.11.014

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۱۱ تا ۱۲۰

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). pages 111 to 120

CC BY

نوع مقاله: پژوهشی کاربردی

Document Type: Applied Research Article

مقایسه بهره‌وری آب در سه سامانه کشت عمودی در شرایط غیرگلخانه‌ای در یک منطقه شهری نیمه‌خشک

مهدی حسین‌زاده[۱]، حسین انصاری[۲*]، ابوالفضل مساعدی[۲]، جواد شباهنگ[۳]

۱، ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانش آموخته دکتری بوم‌شناسی کشاورزی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: ansary@um.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۴/۱۱/۲۹
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۲/۱۲
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

با تشدید بحران آب، گذار به سامانه‌های کشاورزی با بهره‌وری بالا یک ضرورت راهبردی برای ایران است؛ اما کشت عمودی به دلیل نبود داده‌های مقایسه‌ای میدانی از عملکرد سامانه‌های مختلف در شرایط واقعی، با مانع اجرا مواجه است. هدف این پژوهش، تحلیل کمّی بهره‌وری آب سه سامانه رایج کشت عمودی سیلندری در اقلیم نیمه‌خشک و فضای باز بود. این تحقیق به‌صورت میدانی در مشهد و در قالب طرح فاکتوریل سه‌عاملی (سامانه کشت × گونه گیاهی × سطح ارتفاعی) با پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در دو سال اجرا شد. کاهو، ریحان و تربچه در سازه‌های عمودی کشت و مدیریت آبیاری و تغذیه در همه سامانه‌ها یکسان‌سازی شد. نتایج مدل اثرات مختلط نشان داد؛ اثر اصلی سامانه کشت بر بهره‌وری آب معنی‌دار است. سامانه هیدروپونیک با بهره‌وری ۷/٤٦ گرم بر لیتر و کشت خاکی با ۷/۲۳ گرم بر لیتر در گروه آماری برتر قرار گرفتند و سامانه غیرخاکی با بهره‌وری ۵/۳۱ گرم بر لیتر عملکرد ضعیف‌تری داشت. گونه گیاهی قوی‌ترین عامل تأثیرگذار بود و بهره‌وری بر اساس وزن تر برای تربچه ۹/۰٤، ریحان ۵/۹٦ و کاهو ٤/۹۷ گرم بر لیتر به‌دست آمد. تربچه در بستر خاکی به حداکثر بهره‌وری رسید. همچنین گیاهان در سطوح میانی و پایینی سازه عملکرد بهتری از سطح فوقانی داشتند. یافته‌ها نشان می‌دهد اگرچه سامانه هیدروپونیک از نظر بهره وری مصرف آب کارآمدترین گزینه است، اما سامانه کشت عمودی خاکی با بهره‌وری بسیار نزدیک به هیدروپونیک، هزینه کمتر و سازگاری بالاتر با شرایط، راهکار عملی‌تر و قابل‌ترویج‌تری برای ایران محسوب می‌شود. انتخاب گونه مناسب و مدیریت ارتفاع کشت نیز برای بهینه‌سازی عملکرد ضروری است.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی عمودی، بهره‌وری آب، هیدروپونیک، کشت غیرخاکی، کشت عمودی خاکی.

Comparison of Water Use Efficiency in Three Vertical Farming Systems under Non-Greenhouse Conditions in a Semi-Arid Urban Area

M. Hosseinzadeh[1], H. Ansari[2*], A. Mosaedi[2], J. Shabahang[3]

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

3- Ph.D. in Agricultural Ecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** ansary@um.ac.ir

Received ▶ 18-02-2026
Revised ▶ 11-04-2026
Accepted ▶ 02-05-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

With the intensification of the water crisis, transitioning to high-efficiency agricultural systems is a strategic necessity for Iran. However, vertical farming faces implementation barriers due to the lack of comparative field data on different systems under real-world conditions. This study provides a quantitative analysis of water use efficiency (WUE) in three common cylindrical vertical farming systems under semi-arid open-field conditions. The field research was conducted in Mashhad using a three-factor factorial design (cultivation system × plant species × vertical level) based on randomized complete blocks over two years. Lettuce, basil, and radish were cultivated in vertical structures, with irrigation and nutrition management standardized. Results from the mixed-effects model showed that the main effect of cultivation system on WUE was significant. The hydroponic system (7.46 g/L) and soil-based system (7.23 g/L) were in the same superior statistical group, while the soilless system (5.31 g/L) showed lower performance. Plant species was the strongest factor, with WUE based on fresh weight for radish (9.04 g/L), basil (5.96 g/L), and lettuce (4.97 g/L). Radish achieved maximum efficiency in the soil-based medium. Plants at the middle and lower levels performed better than those at the upper level. The findings indicate that although the hydroponic system is the most efficient option in terms of water use efficiency, the soil-based vertical farming system, with its close efficiency, lower cost, and compatibility with local conditions, represents a more practical solution for Iran. Selecting appropriate species and managing cultivation height are essential for optimizing performance.

Keywords: Vertical Farming, Water Use Efficiency, Hydroponics, Soilless Cultivation, Soil-Based Vertical Cultivation.

How to cite this article:

Hosseinzadeh, M., Ansari, H., Mosaedi, A. and Shabahang, J. (2026). Comparison of Water Use Efficiency in Three Vertical Farming Systems under Non-Greenhouse Conditions in a Semi-Arid Urban Area. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 111-120. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2602-1505

مقدمه

تأمین امنیت غذایی در شـرایط بحران آب و تغییرات اقلیمی، از اصـلی‌ترین دغدغه‌های کشـاورزی پایدار در ایران اسـت. با سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۴۰۰ مترمکعب در سال، کشور در مرز تنش آبی شدید قرار گرفته و بخش کشاورزی به عنوان مصـرف‌کننده بیش از ۹۰ درصـد منابع آب، نیازمند تحولی بنیادین در الگوی مصـرف اسـت (Karandish و همکاران، ۲۰۲۲). هم‌زمان، گسـترش فیزیکی شـهرها به تغییر کاربری و کاهش اراضـی مسـتعد کشـاورزی در حاشـیه مناطق شـهری منجر شده است؛ روندی که می‌تواند ظرفیت تولید محلی غذا را محدود کند (Ahmadi Nadoushan و همکاران، ۲۰۲۳). این چالش دوگانه، ضـرورت توسـعه سـامانه‌های تولیدی با دو ویژگی کلیدی را آشکار می‌سازد: الف) بهره‌وری بسیار بالای آب و ب) قابلیت اسـتقرار در داخل یا مجاورت مراکز شـهری. در این راسـتا، کشـاورزی عمودی به عنوان یک پارادایم نوین، با چیدمان طبقات کشت در ارتفاع و خلق محیط‌های کنترل‌شده یـا نیمـه‌کنترل، وعـده تحقق هر دو ویژگی را می‌دهـد (Despommier، ۲۰۱۰). برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که سامانه‌های کشت عمودی مبتنی بر هیدروپونیک و بازچرخانی محلول غذایی، بسـته به نوع سـامانه و محصـول، می‌توانند مصـرف آب را به‌طور قابل‌توجهی نسـبت به کشـت متعارف کاهش دهند (Barbosa و همکاران، ۲۰۱۵).

با وجود این پتانسـیل انکارناپذیر، مسیر بومی‌سازی و توسعه مقیاس‌پذیر کشـت عمودی در ایران با مانعی جدی فقدان داده‌های مقایسـه‌ای معتبر از عملکرد سـامانه‌های مختلف در شرایط واقعی محیطی کشور مواجه است. مرور منابع داخلی نشـان می‌دهد تمرکز پژوهش‌های پیشـین عمدتاً بر دو حوزه متمرکز بوده اسـت: نخسـت، مطالعات نظری و امکان‌سـنجی کلان و دوم، گزارش عملکرد یـک سـامانـه خـاص (عمـدتـاً هیدروپونیک) در محیط‌هـای کـاملاً کنترل‌شـده گلخـانه‌ای هسـتند. با وجود توجه پژوهش‌های اخیر به امکان‌سـنجی کشاورزی عمودی در ایران، مقایسه تجربی عملکرد سامانه‌های مختلف کشـت عمودی در شـرایط محیطی واقعی کشـور همچنان به بررسـی بیشـتری نیاز دارد (Akbari و همکاران، ۲۰۲۴) . اگرچه این مطالعات ارزشـمند هسـتند، اما شـکاف عملیاتی آشـکاری را نمایان می‌سـازند: مدل‌های اقتصـادی پایدار و قابل ترویج برای کشـاورزان خرده‌پا یا کسـب‌وکارهای کوچک، اغلب ناگزیر به کار در فضـاهای باز یا نیمه‌باز با حداقلی از تجهیزات کنترل محیط هسـتند. در این شـرایط، مقایسه مستقیم و هم‌زمان سامانه‌های جایگزین- از پیشرفته (هیدروپونیک) و میانه (غیرخاکی) تا سـاده و کم‌هزینه (کشـت خاکی) - بر مبنای شـاخص‌های کلیدی مانند بهره‌وری آب، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

این شـکاف دانشـی، پیامدهای اجرایی مسـتقیمی دارد. تصمیم‌گیری بدون داده‌های مقایسـه‌ای ممکن است منجر به انتخاب نامتوازن سامانه شود. ممکن است یک پروژه صرفاً بر اسـاس ادعای بهره‌وری بالای هیدروپونیک، متحمل هزینه سـرمایه‌گذاری و عملیاتی سـنگینی شـود که در شـرایط واقعی بازدهی متناسـبی ندارد؛ یا بالعکس، از سـامانه سـاده‌تر خاکی چشـم‌پوشـی شـود درحالی‌که می‌تواند با هزینه‌ای به مراتب کمتر، بخش عمده‌ای از اهداف صـرفه‌جویی آب را محقق کند. افزون بر این، دو متغیر مهم دیگر نیز در موفقیت عملی یک سامانه کشت عمودی تأثیر به‌سزایی دارند که در مقایسه‌های سـاده‌شـده غالباً نادیده گرفته می‌شـوند. اول، واکنش ویژه ژنوتیپ‌های گیاهی مختلف به محیط ریشـه در هر بسـتر که می‌تواند بر عملکرد و بهره‌وری آب تأثیر قاطعی بگذارد (Kozai و همکاران، ۲۰۱۵) . این مسئله به‌ویژه در اقلیم‌های مدیترانه‌ای و نیمه‌خشـک اهمیت بیشـتری دارد (Savvas و Gruda، ۲۰۱۸). دوم، ایجاد ناهمگنی‌های ریزاقلیمی، به‌ویژه در توزیع نور و شـرایط محیطی در سـاختار عمودی سـامانه، می‌تواند موجب تفاوت در شـرایط رشـد و عملکرد گیاهان در سـطوح ارتفاعی مختلف شـود (Kamenchuk و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، یک ارزیابی واقع‌بینانه و کاربردی نمی‌تواند تنها به مقایسـه سـامانه‌ها محدود شـود، بلکه باید این ارزیابی را در قالب یک طرح چندعاملی که اثرات اصـلی و متقابل نوع سـامانه، گونه گیاهی و سـطح ارتفاعی را یکجا مورد سـنجش قرار دهد، انجام پذیرد.

بر این اسـاس، هدف اصـلی این پژوهش طراحی و اجرای یک آزمایش میدانی فاکتوریل کامل برای ارائه پاسـخی کمّی و مبتنی بر شـواهد به این پرسـش کلیدی است که «در شـرایط اقلیمی نیمه‌خشـک و فضـای باز، کدام سـامانه کشـت عمودی (هیـدروپونیـک، غیرخـاکی یـا خـاکی) از نظر بهره‌وری آب و عملکرد، برتری دارد، و این برتری چگونه تحت تأثیر انتخاب گونه گیاهی (کاهو، ریحان، تربچه) و موقعیت ارتفاعی گیاه در سـازه قرار می‌گیرد؟» سـؤالات ویژه پژوهش عبارتند از: ۱) آیا تفاوت معنی‌داری در شـاخص بهره‌وری آب بین سـه سـامانه مورد مطالعه وجود دارد؟ ۲) اثر متقابل سـامانه کشـت و گونه گیاهی بر عملکرد و بهره‌وری آب چگونه اسـت؟ ۳) گیاهان در کدام یک از سـطوح ارتفاعی (بالا، میانه، پایین) سـازه عملکرد بهتری دارند و آیا این الگو برای همه گونه‌ها یکسـان است؟ ۴) در نهایـت، بـا تلفیق یـافتـه‌هـای فنی و ملاحظـات عملیـاتی (پیچیدگی، قابلیت ترویج)، چه اولویت‌بندی برای کاربرد این سامانه‌ها در شرایط مشابه ایران قابل پیشنهاد است؟ نوآوری این مطالعه در رویکرد یکپارچه آن است که برای نخستین بار در کشور، این سه فاکتور مؤثر را به صورت هم‌زمان در شرایط غیرکنترل‌شـده میدانی مورد آزمون قرار می‌دهد. خروجی این تحقیق، فراتر از مقایسـه فنی، یک چارچوب تصـمیم‌گیری سیسـتمی ارائه می‌دهد که می‌تواند مبنای علمی مستحکمی برای برنامه‌ریزی، سـرمایه‌گذاری و توسـعه قاعده‌مند کشـت عمودی در ایران به منظور بالابردن بهروری آب باشد.

مواد و روش‌ها

۱- محل و زمان اجرای پژوهش

این تحقیق به‌صورت میدانی و در دو سال متوالی (بهار سال‌های ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴) در فضای باز پشت‌بام یک ساختمان مسکونی واقع در شهر مشهد اجرا شد. مختصات جغرافیایی محل آزمایش ۳۶ درجه، ۲۸ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی و ۵۹ درجه، ۳۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۹۹۵ متر می‌باشد. شهر مشهد دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارش سالانه ۲۵۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد است. داده‌های اقلیمی تفصیلی منطقه در جدول (۱) ارائه شده است. انتخاب این محل، شرایط واقعی مواجهه سامانه‌های کشت عمودی با عوامل محیطی طبیعی از جمله تابش مستقیم خورشید، نوسان دمای روزانه، وزش باد و رطوبت نسبی پایین را تضمین می‌نمود.

جدول۱- مقادیر دراز مدت متغیرهای آب و هوایی شهر مشهد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۲)

پارامتر	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	میانگین
بارش (mm)	۵۰	۴	۷۸	۱۲۳	۲۵۶
دما (°C)	۱۴/۱	۲۴	۱۹/۶	۴/۶	۱۵/۷
رطوبت نسبی (%)	۶۲/۵	۳۵/۶	۴۹/۹	۷۳	۵۰/۴
تعداد روزهای یخبندان	۳۵	۰	۱	۵۴	۹۰

۲- طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل سه عاملی اجرا گردید. فصل به عنوان بلوک در نظر گرفته شد تا از اثرات فصل و سال بتوان به عنوان عامل مزاحم چشم‌پوشی نمود. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از:

فاکتور اول (A): نوع سامانه کشت در سه سطح: ۱- هیدروپونیک، ۲-کشت غیرخاکی و ۳- کشت خاکی.

فاکتور دوم (B): گونه گیاهی در سه سطح: ۱- کاهو فرانسوی قرمز، ۲- ریحان سبز و ۳- تربچه.

فاکتور سوم (C): سطح ارتفاعی در سه سطح: ۱- سطح بالا (۶۷ سانتی متر بالا)، ۲-سطح میانی (۶۷ سانتی متر میانی) و ۳-سطح پایین (۶۷ سانتی متر پایین).

هر یک از ۲۷ ترکیب تیماری (۳×۳×۳) با ۵ تکرار و در دو سال (در نظر گرفته شده به عنوان بلوک برای کنترل اثرات فصلی) مورد ارزیابی قرار گرفتند که در مجموع منجر به ایجاد ۲۷۰ واحد آزمایشی مستقل شد.

۳- مشخصات و طراحی سازه کشت عمودی

سازه اصلی: برای تمامی تیمارها از سازه‌ای یکسان متشکل از ۹ ستون عمودی از جنس لوله PVC با قطر ۹۰ میلی‌متر و ارتفاع ۲ متر استفاده شد (شکل ۱-الف). ستون‌ها به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر و همانند رویکرد مورد استفاده در پژوهش‌های مشابه با جهت‌گیری شمالی-جنوبی نصب شدند تا حداکثر دریافت نور یکنواخت فراهم شود (Pennisi، ۲۰۲۰). بر روی هر ستون، ۱۵ حفره به فاصله ۱۳ سانتی‌متر برای استقرار گیاهان ایجاد شد. هر ستون به سه بخش مساوی (هر بخش حدود ۶۶ سانتی‌متر) تقسیم شد که به ترتیب از بالا به پایین به عنوان سطوح ارتفاعی بالا، میانی و پایین در نظر گرفته شدند. در مجموع، هر سطح ارتفاعی شامل ۵ گیاه بود. برای بررسی دقیق‌تر سازه، شکل (۱-ب) نمای شماتیک از چیدمان ستون‌ها، سیستم آبیاری و نحوه قرارگیری گیاهان را نشان می‌دهد. این طراحی امکان بررسی اثر ارتفاع و مقایسه مستقل سامانه‌ها را فراهم می‌کرد.

۴- آماده‌سازی سامانه‌های کشت

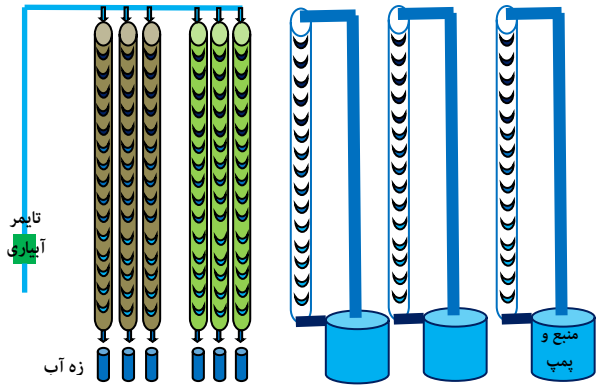
سامانه هیدروپونیک: در این ستون‌ها از بستر جامدی استفاده نشد. گیاهان درون سبدهای کشت کوچک حاوی پرلیت درشت قرار گرفته و ریشه‌های آنان در فضای داخلی ستون آویزان شد. یک سیستم چرخش آب و مواد غذایی مستقل برای هر گیاه (مخزن ۲۰ لیتری، پمپ، تایمر) طراحی شد. محلول غذایی هوگلند، استاندارد (EC=2 dS/m, pH=5.8-6) نگه داشته شد، و در چرخه‌ای ۵ دقیقه روشن و ۱۵ دقیقه خاموش به بالای ستون پمپاژ شد و به صورت ثقلی از روی ریشه‌ها عبور داده می‌شد. آب خروجی از پایین ستون جمع‌آوری و به مخزن بازگردانده می‌شد.

سامانه غیرخاکی: بستر کشت از مخلوط ۷۰ درصد کوکوپیت و ۳۰ درصد پرلیت (حجمی/حجمی) تشکیل شد. مشخصات فیزیکی-شیمیایی این بستر پیش از کشت تعیین گردید (جدول ۲). آبیاری با استفاده از یک سیستم قطره‌چکان مستقل برای هر ستون انجام شد. بر روی لوله داخلی در مرکز هر ستون، ۴ قطره‌چکان فشارثابت با دبی ۲ لیتر بر ساعت در فواصل ۴۰ سانتی‌متری نصب شد. زمان آبیاری روزانه با تایمر تنظیم می‌گردید.

سامانه خاکی: بستر کشت از ترکیب ۶۰ درصد خاک لومی زراعی، ۲۰ درصد خاک‌برگ پوسیده، ۱۰ درصد کوکوپیت و ۱۰ درصد پرلیت (حجمی/حجمی) تهیه شد. مشخصات این بستر در جدول (۲) ارائه شده است. سیستم آبیاری در این سامانه کاملاً مشابه سامانه غیرخاکی بود.



الف



ب

شکل ۱- الف) تصویر سازه طراحی و استفاده شده ب) نمای شماتیک از سازه

جدول ۲- مشخصات بسترهای کشت مورد استفاده در طرح

بخش	پارامتر	بستر خاکی	بستر غیرخاکی	واحد
ترکیب بستر	خاک زراعی	۶۰	-	%
	خاک‌برگ	۲۰	-	%
	کوکوپیت	۱۰	۷۰	%
	پرلیت	۱۰	۳۰	%
خصوصیات فیزیکی	ظرفیت نگهداری آب	۴۵-۵۰	۶۵-۷۵	%
	وزن مخصوص ظاهری	۹/۸-۰/۰	۲۵/۱۵-۰/۰	g/cm2
خصوصیات شیمیایی	pH	۵-۷/۶	۵/۵.۵-۶	-
	هدایت الکتریکی	۵/۱-۱	۰/۵-۱/۰	dS/m
	ماده آلی	4-5	-	%
	نیتروژن کل	۱۸/۱۲-۰/۰	-	%
	فسفر قابل جذب	۱۵-۲۰	-	mg/kg
	پتاسیم قابل جذب	۱۵۰-۲۰۰	-	mg/kg

جدول ۳- ویژگی منبع آب مصرفی در طرح

پارامتر	مقدار اندازه‌گیری‌شده	واحد اندازه‌گیری
pH	۲/۷	-
کدورت	۵/۱	NTU
شوری	۸۵۰	µS/cm
سختی کل	۲۸۰	mg/L
نیترات (NO3)	۲۵	mg/L
نیتریت (NO2)	۱/۰	mg/L
سرب (Pb)	۲	µg/L
آرسنیک (As)	۳	µg/L
کلیفرم کلی	صفر	CFU/100ml

۵- مدیریت کشت، آبیاری و تغذیه

منبع آب و کیفیت آن: آب مورد استفاده از شبکه آبرسانی شهری مشهد تأمین شد. مشخصات آب مصرفی در جدول (۳) آمده است.

تهیه بذر و کشت: بذرهای همه گیاهان با قوه نامیه بالای ۹۵٪ تهیه شدند. بذرها پیش از کشت به مدت ۱۵ دقیقه در محلول ۱٪ هیپوکلرید سدیم ضدعفونی شده و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. بذرها در سینی‌های نشا حاوی پرلیت و کوکوپیت کشت شدند. پس از رسیدن نشاها به مرحله ۴-۲ برگی حقیقی، به ستون‌های عمودی منتقل شدند. دوره رشد از زمان انتقال نشا تا برداشت برای تربچه ۳۰ روز، برای کاهو ۴۵ روز و برای ریحان ۵۵ روز به طول انجامید.

مدیریت یکپارچه تغذیه: برای حذف اثر متغیر تغذیه، یک رژیم غذایی تحمیلی یکسان بر هر سه بستر اعمال گردید.

تمامی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان منحصراً از طریق محلول غذایی هوگلند (Hoagland و Arnon، ۱۹۳۸) که مستقیماً به آب آبیاری تزریق می‌شد، تأمین گردید. غلظت این محلول با در نظر گرفتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر و احتمال آزادسازی تدریجی عناصر از خاک، برای بستر خاکی (EC=1.0 dS/m) پایین‌تر از بستر غیرخاکی EC=1.5 (dS/m) تنظیم شد. هدف این بود که غلظت نهایی و در دسترس عناصر غذایی در محیط ریشه هر سه ستون تا حد امکان یکسان باشد.

یکنواختی رطوبت: به منظور ایجاد شرایط رطوبتی قابل مقایسه در تمام سیستم‌های کشت، رویکرد آبیاری به گونه‌ای طراحی شد که در هر سه سیستم، گیاهان دسترسی یکنواخت و پایدار به رطوبت داشته باشند. در سیستم هیدروپونیک، این امر از طریق چرخش مداوم محلول غذایی محقق شد. برای ایجاد شرایط مشابه در سیستم‌های خاکی و غیرخاکی، آبیاری به میزانی انجام گردید که پس از هر دور آبیاری در هر بستر تخلیه زه‌آب انجام گیرد و این کار روزانه تکرار می‌شد، در این شرایط پس از تخلیه زه‌آب رطوبت یکنواختی در اختیار گیاهان قرار می‌گیرد. این رویکرد امکان مقایسه عملکرد سیستم‌های مختلف را تحت شرایط رطوبتی مشابه فراهم می‌سازد.

مدیریت آبیاری: حجم آب مصرفی در هر سامانه به دقت اندازه‌گیری شد. در سامانه هیدروپونیک، حجم آب ورودی به سیستم به صورت روزانه ثبت گردید. در سامانه‌های خاکی و غیرخاکی، حجم آب ورودی توسط تایمر نصب‌شده روی خط اصلی کنترل و حجم زه‌آب خروجی از هر ستون در ظروف توزین جمع‌آوری و اندازه‌گیری روزانه شد. مصرف آب خالص برای هر واحد آزمایشی از رابطه (حجم آب ورودی منهای حجم زه‌آب) محاسبه گردید.

۶- اندازه‌گیری‌ها و صفات مورد ارزیابی

در پایان دوره رشد و در زمان رسیدگی تجاری هر گیاه، عملکرد وزن تر و خشک کلیه اندام قابل مصرف از هر گیاه اندازه‌گیری شد. وزن تر بلافاصله با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱گرم اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفته تا به وزن ثابت رسیدند و وزن خشک آن‌ها ثبت گردید.

مصرف آب: کل آب مصرفی خالص هر واحد آزمایشی از ابتدای دوره رشد تا زمان برداشت، از جمع‌آوری داده‌های روزانه محاسبه شد.

شاخص بهره‌وری آب برای هر گیاه و بر اساس هر دو وزن تر و خشک، به صورت مستقل از روابط زیر محاسبه شد:

بهره‌وری آب با وزن تر(WUEW) (گرم بر لیتر) = عملکرد وزن تر گیاه (گرم) / آب مصرفی خالص همان گیاه (لیتر)

بهره‌وری آب با وزن خشک (WUED) (گرم بر لیتر) = عملکرد وزن خشک گیاه (گرم) / آب مصرفی خالص همان گیاه (لیتر)

۷- تجزیه و تحلیل آماری

پس از اطمینان از برقراری مفروضات نرمالیته (آزمون شاپیرو-ویلک) و همگنی واریانس‌ها (آزمون لوین)، داده‌ها با استفاده از رویه مدل مختلط در نرم‌افزار SPSS تحلیل ند. در این مدل، اثرات سه فاکتور اصلی (سامانه کشت، گونه گیاهی، سطح ارتفاعی) و تمامی اثرات متقابل دو و سه‌گانه آنها به عنوان اثرات ثابت، و اثر بلوک (فصل) به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و همچنین مقایسه میانگین‌های سطوح هر فاکتور در سطوح فاکتورهای دیگر (بررسی اثرات متقابل ساده) در صورت معنی‌دار بودن اثرات، با استفاده از آزمون تعقیبی انجام گرفت. همچنین، اندازه اثر (η^2 - Eta Squared) برای تعیین سهم هر فاکتور در تبیین واریانس کل محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل آماری

۱- بررسی فرضیات آماری و انتخاب مدل

پیش از تحلیل نهایی، فرضیات بنیادین مدل‌های پارامتریک بررسی شد. با توجه به حجم نمونه مناسب (n=270) و تاب‌آوری قضیه حد مرکزی در برابر انحراف از نرمالیتی، استفاده از روش‌های پارامتریک موجه تشخیص داده شد. با این حال، آزمون لوین نشان داد که فرض همگنی واریانس‌ها برای داده‌های بهره‌وری آب در حالت وزن تر (p=0/007) و وزن خشک (p=0/001) نقض شده است. همچنین، حضور یک عامل تصادفی مؤثر (بلوک یا فصل) در طرح آزمایشی محرز بود. به همین دلایل، برای برآورد دقیق‌تر پارامترها و کنترل این ناهمگنی‌ها، از مدل اثرات مختلط (Mixed Model) با در نظر گرفتن «فصل» به عنوان اثر تصادفی استفاده شد. این رویکرد، قابلیت اطمینان و اعتبار نتایج استنباطی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

۲- تجزیه واریانس و اندازه اثر

نتایج حاصل از مدل اثرات مختلط در جدول (۴) ارائه شده است. تمامی اثرات اصلی و تعاملی مورد بررسی، در سطح احتمال p≤۰/۰۵ معنی‌دار بودند. مقدار F برای اثر اصلی سامانه کشت بر بهره‌وری آب وزن تر ۳۹/۴۹ و برای گونه گیاهی ۱۶۰/۳۳ به دست آمد که نشان از تأثیر بسیار قوی این فاکتورها بر شاخص بهره‌وری آب دارد. اثر اصلی سطح ارتفاعی نیز با مقدار F=۷/۹۱ معنی‌دار بود. بر اساس محاسبه اندازه اثر (η^2)، فاکتور گونه گیاهی با تبیین ۵۱/۵ درصد از واریانس بهره‌وری آب وزن تر، بیشترین سهم را در تغییرات این شاخص داشت. پس از آن، فاکتور سامانه کشت با ۲۴/۷ درصد و فاکتور سطح ارتفاعی با ۵ درصد قرار گرفتند.

جدول ٤ - نتایج تجزیه واریانس حاصل از مدل اثرات مختلط برای شاخص‌های بهره‌وری آب

منبع تغییرات	درجه آزادی	بهره‌وری آب وزن تر			بهره‌وری آب وزن خشک		
		مقدار F	سطح معنی‌داری (p)	اندازه اثر (η^2)	مقدار F	سطح معنی‌داری (p)	اندازه اثر(η^2)
سامانه کشت (A)	۲	۳۹/۴۹	<۰/۰۰۱	۰/۵۱۵	۳/۸۳۷	<۰/۰۰۱	۰/۳۵۳
گونه گیاهی (B)	۲	۱۶۰/۳۳	<۰/۰۰۱	۰/۲۴۷	۸۵/۰۹	<۰/۰۰۱	۰/۳۴۸
سطح ارتفاعی (C)	۲	۷/۹۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۵۰	۳/۷۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲
B × A	۴	۱۳/۸۳	<۰/۰۰۱	-	۴۰/۵۱	<۰/۰۰۱	-
C × A	۴	۲/۵۳	۰/۰۴۱	-	۵/۱۴	<۰/۰۰۱	-
C × B	۴	۹/۸۳	<۰/۰۰۱	-	۱۱/۰۸	<۰/۰۰۱	-
B × C × A	۸	۲/۹۸	۰/۰۰۳	-	۲/۳۱	۰/۰۲۱	-

۳- مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی

میانگین‌های سطوح مختلف فاکتورهای اصلی در جدول (۵) ارائه شده‌اند. مقایسه این میانگین‌ها با آزمون تعقیبی بونفرونی (برای کنترل خطای نوع اول در مقایسه‌های چندگانه) نشان داد که سامانه‌های هیدروپونیک (۷/۴۵ گرم بر لیتر) و خاکی (۷/۲۲ گرم بر لیتر) از نظر بهره‌وری آب برای وزن تر در یک گروه آماری قرار داشتند و عملکرد آن‌ها به طور معنی‌داری بالاتر از سامانه غیرخاکی (۵/۳۱ گرم بر لیتر) بود. در میان گونه‌های گیاهی، تربچه با ۹/۰۴ گرم بر لیتر بالاترین و کاهو با ۴/۹۷ گرم بر لیتر پایین‌ترین بهره‌وری آب در حالت وزن تر را داشتند. گیاهان واقع در سطوح میانی (۶/۹۵ گرم بر لیتر) و پایین (۶/۹۱ گرم بر لیتر) سازه نیز به طور معنی‌داری از گیاهان سطح بالا (۶/۱۲ گرم بر لیتر) کارآمدتر بودند. الگوی مشابهی برای شاخص بهره‌وری آب در حالت وزن خشک مشاهده شد. فقط در این حالت از نظر گونه گیاهی ریحان بالاتر از تربچه است و تربچه و کاهو تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۵).

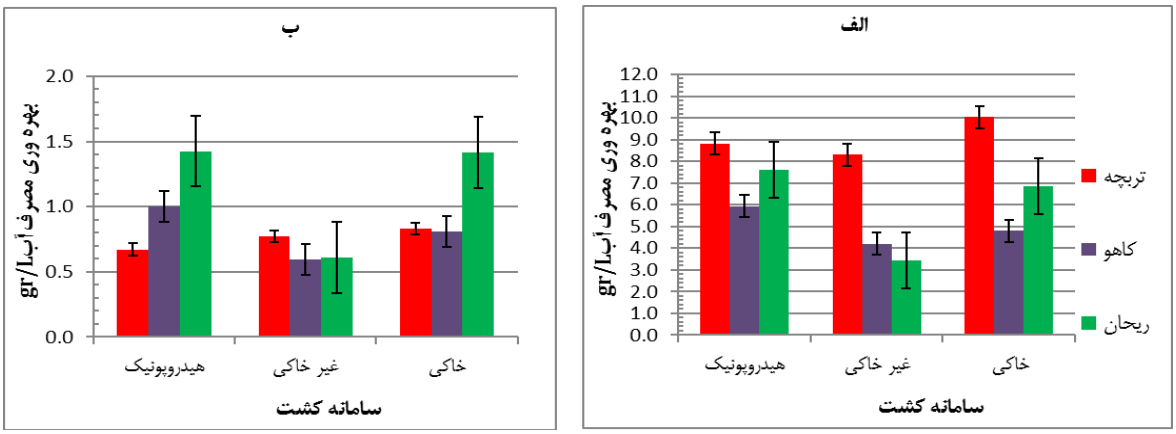
جدول ۵- مقایسه میانگین‌های شاخص بهره‌وری مصرف آب

فاکتور	سطح	WUEW (gr/L) (معیار انحراف ± میانگین)	گروه آماری**	WUED (gr/L) (انحراف معیار ± میانگین)	گروه آماری**
سامانه کشت	هیدروپونیک	۷/۴۵۶ ± ۲/۲۲	a	۱/۰۳۳ ± ۰/۴۳	a
	خاکی	۷/۲۲۶ ± ۳/۰۲	a	۱/۰۲۰ ± ۰/۳۹	a
	غیرخاکی	۵/۳۱۰ ± ۲/۷۸	b	۰/۶۵۸ ± ۰/۲۶	b
گونه گیاهی	تربچه	۹/۰۴۷ ± ۲/۶۳	a	۰/۷۵۸ ± ۰/۲۶	b
	ریحان	۵/۹۶۶ ± ۲/۳۶	b	۱/۱۵۰ ± ۰/۴۸	a
	کاهو	۴/۹۷۹ ± ۱/۷۳	c	۰/۸۰۳ ± ۰/۳۳	b
سطح ارتفاعی	میانی	۶/۹۵۷ ± ۳/۱۱	a	۰/۹۳۵ ± ۰/۳۴	a
	پایین	۶/۹۱۵ ± ۲/۹۲	a	۰/۹۲۴ ± ۰/۴۱	a
	بالا	۶/۱۲۰ ± ۲/۴۳	b	۰/۸۵۲ ± ۰/۴۶	b

**میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ هستند (آزمون LSD).

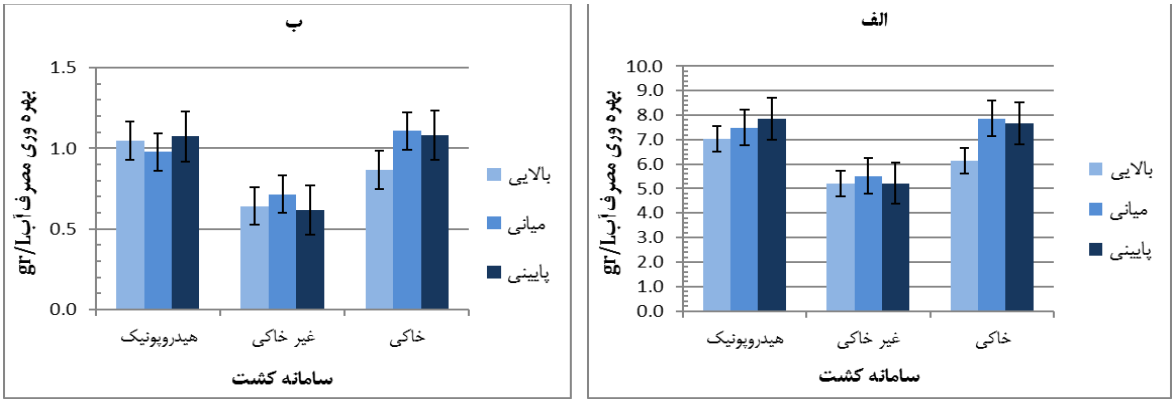
۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل

بررسی نمودار اثر متقابل سامانه کشت در گونه گیاهی نشان داد که الگوی واکنش بهره‌وری آب به نوع سامانه، برای هر گیاه، منحصربه‌فرد است (شکل ۲). بیشترین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر با میانگین ۱۰/۳ گرم بر لیتر در تیمار کشت خاکی توأم با گیاه تربچه حاصل شد. پس از آن، تیمار هیدروپونیک توأم با تربچه با میانگین ۸/۹ گرم بر لیتر قرار داشت. در مقابل، کمترین بهره وری با میانگین ۳/۵ گرم بر لیتر متعلق به تیمار کشت غیرخاکی توأم با ریحان بود. در شاخص وزن خشک، بیشترین بهره‌وری با میانگین ۱/۴ گرم بر لیتر به تیمار هیدروپونیک توأم با ریحان تعلق گرفت.



شکل ۲- اثر متقابل سامانه کشت × گونه گیاهی بر بهره‌وری آب الف) وزن تر ب) وزن خشک

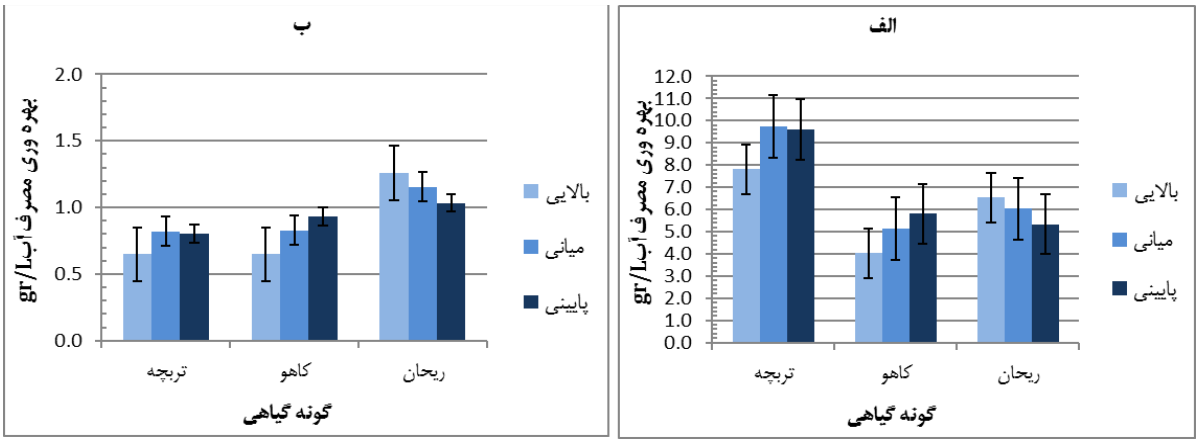
اثر متقابل سامانه کشت در سطح ارتفاعی حاکی از آن بود که اگرچه در بیشتر سامانه‌ها عملکرد در سطوح میانی و پایینی بر سطح بالایی برتری داشت، اما میزان این برتری تحت تأثیر نوع سامانه قرار داشت. به‌طور مشخص، کاهش عملکرد در سطح بالایی سازه در سامانه کشت خاکی محسوس‌تر از سامانه هیدروپونیک بود (شکل ۳).



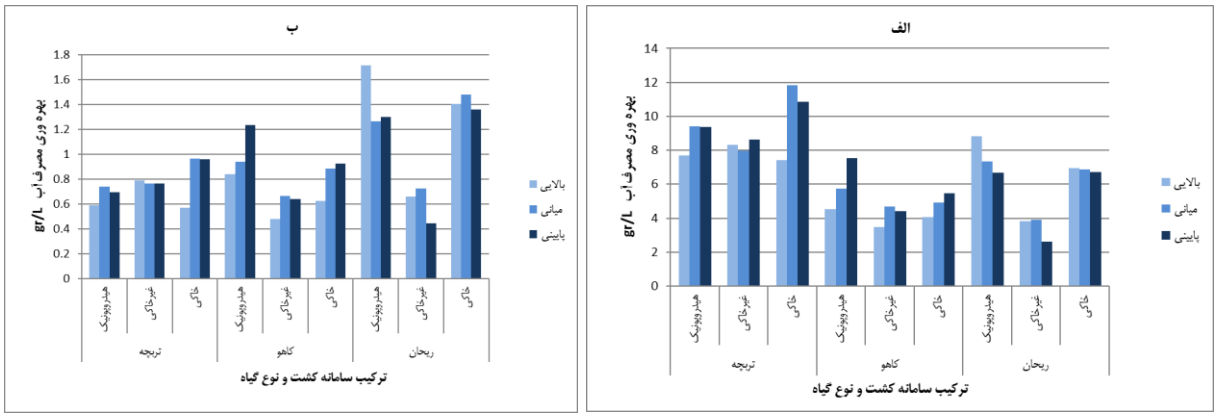
شکل ۳- اثر متقابل سامانه کشت × سطح ارتفاعی بر بهره‌وری آب الف)وزن تر ب)وزن خشک

در بررسی اثر متقابل گونه گیاهی در سطح ارتفاعی مشخص شد که حساسیت به تغییرات ارتفاع در گونه‌های مختلف یکسان نبود. گیاه کاهو بیشترین کاهش عملکرد را در سطح بالایی از خود نشان داد، درحالی‌که گیاهان تربچه و ریحان به طور معنی‌داری پایداری نسبی بیشتری در سطوح مختلف ارتفاعی داشتند (شکل ۴).

نهایتاً، معنی‌دار بودن اثر متقابل سه‌گانه سامانه کشت در گونه گیاهی و سطح ارتفاعی نشان داد که الگوی پاسخ گیاهان به تغییرات ارتفاع، وابسته به سامانه کشت انتخابی است (شکل ۵). به عنوان نمونه، برتری سطوح پایینی نسبت به بالایی برای گیاه تربچه در سامانه خاکی بسیار بارزتر از همان گیاه در سامانه هیدروپونیک بود.



شکل ٤- اثر متقابل گونه گیاهی × سطح ارتفاعی بر بهره‌وری آب الف)وزن تر ب)وزن خشک



شکل ۵- اثر متقابل سامانه کشت × گونه گیاهی × سطح ارتفاعی بر شاخص بهره‌وری آب الف)وزن تر ب)وزن خشک

بحث

۱- بهره‌وری سامانه‌های کشت: اولویت فنی در مقابل ملاحظات عملی

مطابق با انتظار و همسو با ادبیات جهانی (Al-Kodmany، ۲۰۱۸؛ Hasan و همکاران، ۲۰۲۵) سامانه هیدروپونیک با ثبت بالاترین میانگین بهره‌وری مصرف آب در حالت وزن تر (۷/۴۶ گرم بر لیتر) به عنوان کارآمدترین سامانه از نظر فنی شناسایی شد. پژوهش‌های اخیر نیز عملکرد برتر سیستم‌های هیدروپونیک را برای سبزیجات برگی تأیید کرده‌اند (Hutchinson و همکاران، ۲۰۲۵). این برتری را می‌توان به دسترسی مستقیم، یکنواخت و هوادهی‌شده ریشه به آب و مواد غذایی نسبت داد که منجر به جذب بهینه و کاهش تلفات می‌گردد (Resh، ۲۰۲۲). نکته قابل تأمل برای کاربرد در شرایط ایران، عملکرد بسیار نزدیک و آماری هم‌گروه سامانه خاکی (۷/۲۳ گرم بر لیتر) بود. این نتیجه نشان می‌دهد که با مدیریت صحیح می‌توان بهره‌وری آب در کشت خاکی عمودی را تا سطحی نزدیک به سیستم‌های پیشرفته افزایش داد. عملکرد ضعیف‌تر سامانه غیرخاکی احتمالاً ناشی از عدم تعادل رطوبتی و تهویه‌ای در شرایط آب و هوایی خشک است که با گزارش گرودا در مورد چالش‌های بسترهای سبک در اقلیم‌های خشک مطابقت دارد (Gruda، ۲۰۱۹).

۲- نقش تعیین‌کننده گونه گیاهی و تعامل آن با سامانه کشت

قوی‌ترین عامل تأثیرگذار در حالت تر در این پژوهش، گونه گیاهی بود که بیش از ۵۰٪ از تغییرات بهره‌وری آب را تبیین کرد. برتری تربچه در بهره‌وری آب در حالت وزن تر منطبق با ویژگی‌های فیزیولوژیک آن از جمله دوره رشد کوتاه، سیستم ریشه‌ای فشرده و بهره‌وری بالای انتقال فتوسنتزی است (Kozai و همکاران، ۲۰۱۵). تعامل معنی‌دار گونه و سامانه (مثلاً عملکرد عالی تربچه در خاک) نشان می‌دهد که سازگاری مورفولوژیک ریشه با ساختار بستر عاملی کلیدی است. این یافته با نتایج پژوهش‌های جدید در مورد برتری سیستم‌های بستری برای برخی محصولات همخوانی دارد (Hutchinson و همکاران، ۲۰۲۵). موفقیت ریحان در تولید ماده خشک در سیستم هیدروپونیک نیز می‌تواند ناشی از تأمین پایدار عناصر غذایی برای تولید متابولیت‌های ثانویه باشد (Sardare و Admane، ۲۰۱۳). این یافته‌ها بر لزوم انتخاب گونه‌های هدفمند برای هر سامانه تأکید می‌کنند.

۳- مدیریت ارتفاع: بهره‌برداری از گرادیان‌های ریزاقلیمی

برتری پایدار سطوح میانی و پایینی سازه بر سطح فوقانی، بازتاب واضحی از تشکیل گرادیان‌های ریزاقلیمی نامطلوب (دما و تابش بیشتر، رطوبت کمتر) در ارتفاع بالاتر است

(Kamenchuk و همکاران، ۲۰۲۳؛ Benke و Tomkins، ۲۰۱۷). کاهش کمتر عملکرد در سطح بالای سازه‌های هیدروپونیک، ظرفیت تعدیل‌کنندگی محیط ریشه در این سیستم‌ها را نشان می‌دهد (Kozai و همکاران ، ۲۰۱۵). این امر برای طراحی سازه‌ها حیاتی است. به این منظور می‌توان از کشت گونه‌های متحمل (مانند ریحان) در طبقات بالا استفاده نمود و یا اینکه تمهیدات سایه‌اندازی و خنک‌کنندگی برای طبقات بالا در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با رویکردی نظام‌مند و در شرایط واقعی میدانی، به مقایسه کمی بهره‌وری آب سه سامانه کشت عمودی رایج در اقلیم نیمه‌خشک پرداخت. یافته‌ها نشان می‌دهد که انتخاب سامانه بهینه نیازمند نگاه چندبعدی به شاخص‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است (Pennisi و همکاران ، ۲۰۲۵) و در پاسخ به بحران آب و نیاز به تولید غذای پایدار، کشت عمودی در فضای باز می‌تواند یک راهکار عملی و با بهره وری بالا باشد، مشروط بر آن که انتخاب و مدیریت سامانه مبتنی بر شواهد و متناسب با شرایط بومی انجام پذیرد.

از نظر حداکثر بهره‌وری فنی مصرف آب، سامانه هیدروپونیک با اختلاف قابل توجهی نسبت به سامانه غیرخاکی و با برتری اندکی نسبت به سامانه خاکی، گزینه بهینه است. این برتری ناشی از کنترل دقیق‌تر محیط ریشه و کاهش اتلاف آب می‌باشد.

با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، فنی و قابلیت ترویج، سامانه کشت عمودی خاکی به عنوان راهکار برتر عملیاتی برای توسعه در مقیاس گسترده در ایران معرفی می‌شود. دلیل این امر، دستیابی به بهره‌وری آبی بسیار نزدیک به هیدروپونیک، همراه با هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی پایین‌تر، نیاز به دانش فنی کمتر و سازگاری بیشتر با ساختار کشاورزی موجود است.

گونه گیاهی قوی‌ترین عامل تعیین‌کننده بهره‌وری سیستم است. تربچه برای تولید سریع ماده تر و ریحان برای تولید ماده خشک و متابولیت‌های ثانویه، گونه‌های سازگار و کارآمد شناسایی شدند.

گرادیان نامطلوب ریزاقلیم در ارتفاع یک چالش واقعی است که با انتخاب گونه‌های متحمل برای سطوح بالا (مانند ریحان) و اولویت‌دهی به کشت‌های حساس در سطوح میانی و پایین (مانند کاهو) قابل مدیریت است.

به طور خلاصه، در شرایط نیمه‌خشک و فضای باز، سامانه هیدروپونیک از نظر فنی کارآمدترین گزینه است، اما سامانه کشت عمودی خاکی با بهره‌وری قابل قبول و نزدیک به آن، به دلیل هزینه کمتر، پیچیدگی پایین‌تر و سازگاری با دانش بومی، گزینه عملی‌تر و قابل ترویج‌تری برای توسعه در مقیاس وسیع‌تر در ایران محسوب می‌شود. موفقیت نهایی در گرو انتخاب سه‌گانه هوشمندانه است: ۱) سامانه کشت متناسب با بودجه و دانش فنی، ۲) گونه گیاهی سازگار با آن سامانه و بازار هدف، و ۳) مدیریت ارتفاع با اولویت‌دهی به سطوح میانی و پایین برای کشت‌های حساس.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش پیشنهاد می شود که برنامه‌های حمایتی و آموزشی برای ترویج سامانه کشت عمودی خاکی به عنوان نقطه آغاز مقرون‌به‌صرفه و کم‌ریسک برای کشاورزان و کسب‌وکارهای کوچک توسعه یابد. ضمن آنکه سازه‌ها با در نظر گرفتن مدیریت ریزاقلیم (مانند استفاده از سایه‌بان جزئی برای طبقات فوقانی) می‌بایست طراحی شوند. علاوه بر موارد بیان شده، موارد زیر برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شوند.

- بررسی اقتصادی دقیق (تحلیل هزینه-فایده) هر یک از سامانه‌ها در مقیاس نیمه‌تجاری، با توجه به نقدهای اخیر در مورد ردپای کربن این سامانه‌ها.
- آزمون این سامانه‌ها با گونه‌های باارزش‌تر و پرمصرف (مانند توت فرنگی، سبزیجات برگی خاص) و مقایسه نتایج با پژوهش‌های مشابه داخلی.
- مطالعه تأثیر اصلاح‌کننده‌های مختلف بستر (مانند هیدروژل‌ها) بر پایداری رطوبت و بهره‌وری آب در سامانه خاکی.
- ادغام سامانه‌های کشت عمودی با سیستم‌های بازیافت آب خاکستری برای پایداری بیشتر.
- تغییر ابعاد سازه مانند اندازه سیلندر، فاصله استقرار و سایر پارامترها.

منابع

سازمان هواشناسی کشور. ۱۴۰۲. آمارنامه اقلیمی استان خراسان رضوی: دوره آماری ۳۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۷۰). معاونت توسعه و پیش‌بینی سازمان هواشناسی کشور. https://www.irimo.ir/fa/climate

Ahmadi Nadoushan, M., Soffianian, A., Fakheran, S., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2023). Measuring the extent and impact of urban expansion in an agricultural-urbanized landscape in Central Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 195, 1113. https://doi.org/10.1007/s10661-023-11730-8

Akbari, Z., Yari Hesar, A., Siamian, N., Fürst, C., Värnik, R., & Azadi, H. (2024). Feasibility of using vertical farming in northern Iran: A multiple necessity. Journal of Environmental Management, 354, 120232. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120232?utm_source=chatgpt.com

efficiencies. HortScience, 60(4), 601–612. https://doi.org/10.21273/HORTSCI18391-24

Kamenchuk, V., Rumiantsev, B., Dzhatdoeva, S., Sadykhov, E., & Kochkarov, A. (2023). Analysis of Cross-Influence of Microclimate, Lighting, and Soil Parameters in the Vertical Farm. Agronomy, 13(8), 2174. https://doi.org/10.3390/agronomy13082174

Karandish, F., Nouri, H., & Schyns, J. F. (2022). Agricultural adaptation to reconcile food security and water sustainability under climate change: The case of cereals in Iran. Earth's Future, 10(9), e2021EF002095. https://doi.org/10.1029/2021EF002095

Kozai, T., Niu, G., & Takagaki, M. (2015). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. Academic Press, Cambridge.

Pennisi, G. 2020. Resource use efficiency in a vertical farm: A case study on lettuce. Biosystems Engineering, 197, 183–96.

Pennisi, G., Gianquinto, G., Marcelis, L. F. M., Martin, M., & Orsini, F. (2025). Vertical farming: productivity, environmental impact, and resource use. A review. Agronomy for Sustainable Development, 45, Article 57. https://doi.org/10.1007/s13593-025-01055-w

Resh, H. M. (2022). Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower (8th ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003133254

Sardare, M. D., & Admane, S. V. (2013). A review on plant without soil–Hydroponics. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(3), 299–304. https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0203013

Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. European Journal of Horticultural Science, 83(5), 280–293. https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2

Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. Buildings, 8(2), 24. https://doi.org/10.3390/buildings8020024

Barbosa, G. L., Gadelha, F. D. A., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. International Journal of Environmental Research and Public Health, 12(6), 6879–6891. https://doi.org/10.3390/ijerph120606879?utm_source=chatgpt.com

Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: Vertical farming and controlled-environment agriculture. Sustainability: Science, Practice and Policy, 13(1), 13–26. https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054

Despommier, D. D. (۲۰۱۰). The Vertical Farm: Feeding the World in the ۲۱st Century. New York: Thomas Dunne Books/St. Martin's Press.

Gruda, N. S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. Agronomy, 9(6), 298. https://doi.org/10.3390/agronomy9060298

Hasan, M., Bhat, A.G., Kumar, V., et al. (2025). IoT-Based Smart Fertigation Scheduling and Wireless Microclimate Monitoring for a Greenhouse Dutch Bucket Hydroponic System. Irrigation and Drainage, 74(5), 1889–1903. https://doi.org/10.1002/ird.70012

Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1938). The water-culture method for growing plants without soil. University of California, College of Agriculture. Agricultural Experiment Station. Berkeley, California. Circular 347.

Hutchinson, G. K., Ames, Z. R., Nemali, K., & Ferrarezi, R. S. (2025). Arugula and lettuce responses to greenhouse hydroponic systems: An analysis of yield and resource use

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). pages 121 to 134

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۴

Document Type: Technical Paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Quantitative Assessment of Meteorological and Hydrological Drought Propagation in the Zayandehroud Basin Using SPI, SRI, and Severity–Area–Frequency (SAF) Curves

Gh. Bahman[1], M. Tabashiri[2*], M. A. Alijanian[3]

1, 2- Ph.D. Student and Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** mahditabashiri.mt1379@trn.ui.ac.ir

Received ▶ 19-02-2026
Revised ▶ 17-05-2026
Accepted ▶ 15-06-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

This study quantitatively assesses the propagation of meteorological and hydrological drought in the Zayandehroud Basin using the Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Runoff Index (SRI), and Severity–Area–Frequency (SAF) curves. The primary objective is to investigate the relationships between drought patterns across three critical sections of the basin: the upstream source region, the Zayandehroud Dam, and the downstream demand region. Using monthly precipitation and river flow data for the period 1988–2018, the indices were calculated at 3-, 6-, and 12-month time scales. The results indicate that meteorological droughts occur more frequently and with greater severity in the downstream region than in the upstream region. Hydrological droughts emerge with a time lag and greater severity relative to meteorological droughts, indicating the propagation of drought impacts through the basin's hydrological system. The SAF analysis shows that Zayandehroud Dam moderates the severity of hydrological drought at its outlet, particularly at medium- and long-term time scales; however, this buffering effect weakens during prolonged drought events. In addition, the downstream region exhibits greater vulnerability to spatially extensive droughts. This integrated assessment provides a comprehensive framework for understanding drought propagation in regulated river basins and offers insights into developing drought-adaptive management strategies and reservoir operation policies in the Zayandehroud Basin.

Keywords: Meteorological Drought, Hydrological Drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Runoff Index (SRI), Severity–Area–Frequency (SAF) Curves, Zayandehroud Basin.

ارزیابی کمی انتشار خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های SPI، SRI و منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF)

غزاله بهمن[۱]، مهدی تباشیری[۲*]، محمدعلی علیجانیان[۳]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** mahditabashiri.mt1379@trn.ui.ac.ir

تاریخ دریافت ◀ ۱۴۰۵/۱۱/۳۰
تاریخ بازنگری ◀ ۱۴۰۵/۰۲/۲۷
تاریخ پذیرش ◀ ۱۴۰۵/۰۳/۲۵
تاریخ انتشار ◀ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

این مطالعه با کاربرد شاخص استانداردشده بارش (SPI)، شاخص استانداردشده رواناب (SRI) و منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF)، به ارزیابی کمّی انتشار خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌ی زاینده‌رود پرداخته است. هدف اصلی، بررسی ارتباط بین الگوهای خشکسالی در سه بخش حیاتی حوضه شامل منطقه منبع بالادست، سد زاینده‌رود، و منطقه مصرف پایین‌دست است. با استفاده از داده‌های ماهانه بارش و جریان رودخانه در بازه‌ی ۱۹۸۸-۲۰۱۸، شاخص‌ها در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهد که خشکسالی‌های هواشناسی در منطقه پایین‌دست در مقایسه با بالادست، شدیدتر و مکررتر رخ می‌دهند و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی و شدت بیشتری نسبت به خشکسالی هواشناسی ظاهر می‌شوند که بیانگر فرآیند انتقال اثر خشکسالی در سیستم هیدرولوژیکی حوضه است. تحلیل منحنی‌های SAF نشان می‌دهد که سد زاینده‌رود شدت خشکسالی هیدرولوژیکی را در خروجی خود، به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی متوسط و بلندمدت، تعدیل می‌کند؛ اما این اثر حائلی در دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت کاهش می‌یابد. افزون بر این، منطقه پایین‌دست آسیب‌پذیری بیشتری در برابر خشکسالی‌های گسترده نشان می‌دهد. این ارزیابی یکپارچه، چارچوبی جامع برای درک انتقال خشکسالی در حوضه‌های تنظیم‌شده فراهم می‌کند و بینش‌هایی برای توسعه راهبردهای مدیریتی سازگار با خشکسالی و سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن در حوضه‌ی زاینده‌رود ارائه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص استاندارد بارش (SPI)، شاخص استاندارد رواناب (SRI)، منحنی شدت-مساحت-فراوانی (SAF)، حوضه زاینده‌رود.

How to cite this article:

Bahman, Gh., Tabashiri, M. and Alijanian, M.A. (2026). Quantitative Assessment of Meteorological and Hydrological Drought Propagation in the Zayandehroud Basin Using SPI, SRI, and Severity–Area–Frequency (SAF) Curves. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 121-134. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2602-1506

مقدمه

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، چالشی فزاینده در قرن بیست‌ویکم محسوب می‌شود (Wilhite، ۲۰۰۰). بر اساس گزارش‌های اخیر سازمان ملل، خسارات اقتصادی ناشی از خشکسالی در دو دهه گذشته از ۱۲۴ میلیارد دلار فراتر رفته و بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار داده است (UNCCD، ۲۰۲۲). ایران که در کمربند خشک جهان قرار دارد، به دلیل تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع آب با مخاطرات مضاعف مواجه است (Madani و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات نشان داده‌اند که هم فراوانی و هم شدت رویدادهای خشکسالی در ایران طی سه دهه گذشته به طور قابل توجهی افزایش یافته است (Sharafi و همکاران، ۲۰۲۲).

حوضه‌ی رودخانه زاینده‌رود، به عنوان یک سیستم هیدرولوژیکی حیاتی در فلات مرکزی ایران، نقش کلیدی در تأمین آب، غذا و امنیت اقتصادی برای بیش از ۵ میلیون نفر ایفا کرده و بخش‌های صنعتی مهمی را پشتیبانی می‌کند (Safavi و همکاران، ۲۰۱۴). این حوضه با مساحتی حدود ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع، از کوهستان‌های مرکزی زاگرس سرچشمه گرفته و در تالاب بین‌المللی گاوخونی در شرق اصفهان به پایان می‌رسد (Jalili Pirani و Modaress، ۲۰۲۰). با این حال، تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های مکرر و روش‌های مدیریت ناپایدار آب، این اکوسیستم حیاتی را به سوی بحرانی شدید سوق داده‌اند (Morid و همکاران، ۲۰۰۶).

پژوهش‌های موجود در مورد خشکسالی در حوضه زاینده‌رود را می‌توان در چند موضوع دسته‌بندی کرد. یک گروه از مطالعات بر تحلیل روند بارش و دما متمرکز شده‌اند (Tabari و Talaee، ۲۰۱۱؛ Modarres و Silva، ۲۰۰۷). به عنوان مثال، Modarres و Silva (۲۰۰۷) به بررسی روندهای بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پرداخته است. این مطالعه بازه زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰ را به عنوان دوره مورد مطالعه انتخاب کرده است. این بازه زمانی به دلیل دسترسی به داده‌های بارش معتبر و مداوم از ایستگاه‌های هواشناسی در سراسر ایران، انتخاب شده است. نتایج نشان داد که بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران ، به‌ویژه در مناطق جنوبی و شرقی کشور، روند کاهشی در بارش را تجربه کرده‌اند.گروه دیگری از شاخص‌های متعارف هواشناسی و هیدرولوژیکی برای پایش خشکسالی استفاده کرده‌اند، مانند ارزیابی تطبیقی هفت شاخص خشکسالی در ایران. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص SPI (به ویژه در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه) به دلیل سادگی محاسبه، پایداری زمانی و تطبیق خوب با شرایط اقلیمی ایران، بهترین عملکرد را در پایش خشکسالی داشته است، در حالی که PDSI به دلیل نیاز به داده‌های دما و تبخیر-تعریق، در ایران کمتر قابل اعتماد بود (Morid و همکاران، ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر، رویکردهای سنجش از دور نیز معرفی شده‌اند؛ Alijanian و Dehghani (۲۰۲۳) دقت داده‌های ماهواره‌ای CHIRPS را برای پایش خشکسالی با استفاده از ۱۷ ایستگاه ارزیابی کردند. در پژوهشی دیگر محصولات بارشی مبتنی بر ماهواره را در سراسر ایران مورد سنجش قرار دادند. نتایج نشان داد که CHIRPS به طور کلی دقت قابل قبولی در پیش‌بینی بارش در مناطق مختلف ایران دارد، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک، اما در مناطق کوهستانی و دارای تغییرات اقلیمی شدید، دقت آن کمتر است (Ghozat و همکاران، ۲۰۲۱).

علی‌رغم این پیشرفت‌ها، شکاف قابل توجهی در درک چگونگی گسترش خشکسالی در طول حوضه آبریز و انتقال خشکسالی از بالادست به پایین‌دست، با لحاظ صریح نقش تنظیمی سد زاینده‌رود، باقی مانده است. مطالعات معدودی به صورت کمّی، اخطار خشکسالی را در سیستم یکپارچه‌ی تأمین طبیعی (بالادست)، تنظیم زیرساختی (سد) و تقاضای انسانی (پایین‌دست) ارزیابی کرده‌اند. این مطالعه با ارائه یک تحلیل سیستماتیک و کمّی از ویژگی‌های خشکسالی در بخش‌های کلیدی حوضه با استفاده از SPI، SRI و منحنی‌های SAF، به پرکردن این شکاف می‌پردازد. اهداف اصلی این پژوهش عبارتند از: (۱) مقایسه شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در مناطق بالادست، ورودی/خروجی سد و پایین‌دست؛ (۲) ارزیابی نقش سد در تغییر خشکسالی هیدرولوژیکی؛ و (۳) بررسی آسیب‌پذیری فضایی از طریق منحنی‌های SAF. یافته‌ها در جستجوی ارائه مبنای علمی مستحکمی برای راهبردهای مدیریت خشکسالی و بهره‌برداری سازگار از مخازن در حوضه‌های تنظیم‌شده هستند.

منطقه مطالعه

حوضه آبریز زاینده‌رود با مختصات جغرافیایی ´۵۰ °۳۰ تا ´۱۵ °۵۵ شرقی و ´۴۶ °۳۱ تا ´۳۳ °۰۰ شمالی، مهم‌ترین حوضه آبریز فلات مرکزی ایران با وسعت تقریبی ۴۱٫۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). این حوضه بر اساس عملکرد هیدرولوژیکی به چهار واحد تحلیلی مجزا تقسیم شد تا اثرات تفکیک‌شده خشکسالی ارزیابی شود:

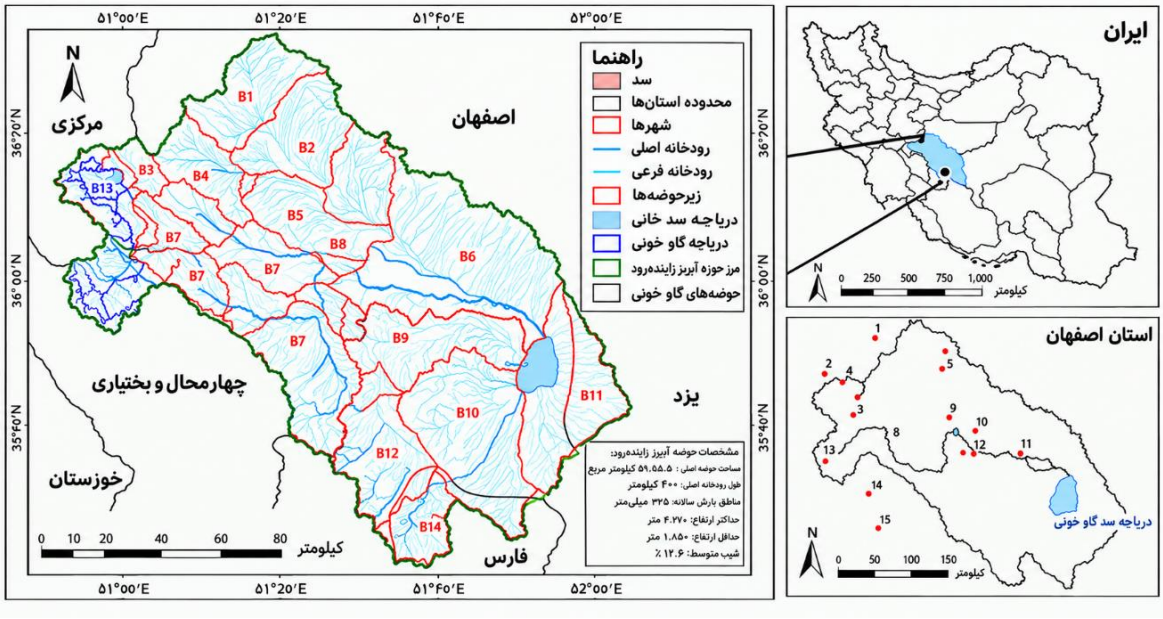
۱) منطقه بالادست سد: ۹ ایستگاه باران‌سنجی در ارتفاعات زاگرس با میانگین بارش سالانه ۴۵۰-۶۵۰ میلی‌متر که ۸۵٪ از جریان سطحی حوضه را تولید می‌کنند.

۲) ورودی به مخزن سد: داده‌های هیدرومتری ماهانه ورودی به مخزن سد زاینده‌رود که نمایانگر خروجی هیدرولوژیکی منطقه بالادست است.

۳) خروجی از سد: داده‌های رهاسازی تنظیم‌شده سد که نشان‌دهنده تأمین آب مدیریت‌شده برای پایین‌دست است.

۴) منطقه پایین‌دست سد: ۸ ایستگاه باران‌سنجی در دشت‌های کشاورزی با میانگین بارش ۱۰۰-۱۵۰ میلی‌متر که ۹۵٪ از مصارف آب حوضه را به خود اختصاص می‌دهند.

این طبقه‌بندی چهارگانه امکان بررسی دقیق‌تر انتشار خشکسالی از منابع طبیعی (بالادست) تا مصارف انسانی (پایین‌دست) با در نظر گرفتن نقش واسطه‌ای سد را فراهم می‌سازد. جدول (۱) موقعیت مکانی ۱۷ ایستگاه را مشخص نموده است.



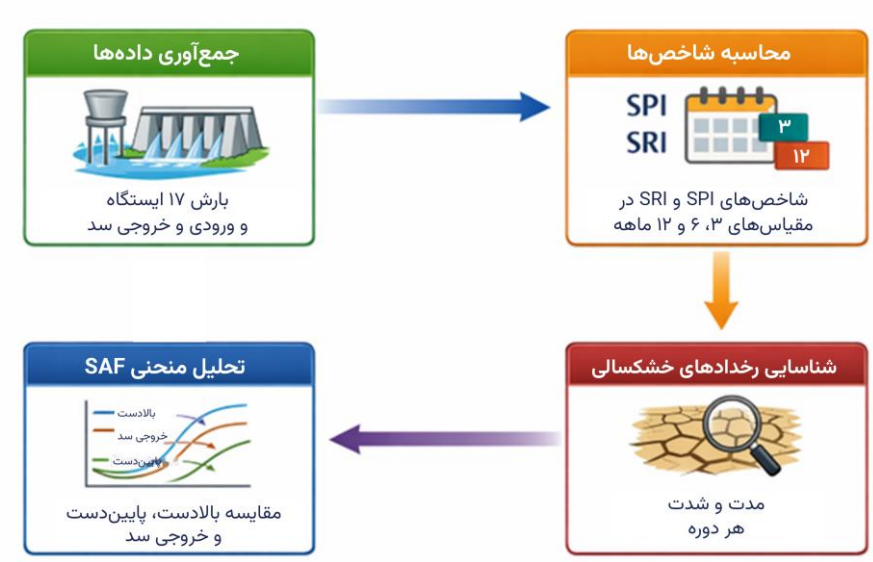
شکل ۱- موقعیت حوضه زاینده‌رود و ایستگاه‌ها

جدول ۱- موقعیت ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی حوضه زاینده‌رود (Islamic Republic of Iran Meteorological Organization [IRIMO], 2018)

شناسه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	موقعیت ایستگاه
۱	آزنوله	50°07′12″	33°10′48″	بالادست
۲	کلب علی	50°43′12″	33°34′48″	بالادست
۳	رزوه چادگان	50°34′12″	33°01′48″	بالادست
۴	سراوان	50°22′12″	33°07′12″	بالادست
۵	یانچشمه	50°43′12″	32°07′12″	بالادست
۶	کوهرنگ	50°07′48″	32°27′36″	بالادست
۷	جونقان	50°38′60″	32°07′12″	بالادست
۸	کردعلیا	50°02′00″	33°32′60″	بالادست
۹	مرغملک	50°28′48″	32°53′60″	بالادست
۱۰	خمینی‌شهر	51°31′48″	32°46′12″	پایین دست
۱۱	پیکان	51°10′12″	32°28′12″	پایین دست
۱۲	تاد	51°31′12″	33°13′48″	پایین دست
۱۳	اصفهان	51°42′36″	32°31′12″	پایین دست
۱۴	اصفهان (فرودگاه)	51°51′36″	32°44′24″	پایین دست
۱۵	کبوترآباد	51°49′48″	32°31′12″	پایین دست
۱۶	فلاورجان	51°31′12″	33°23′60″	پایین دست
۱۷	کلیشاد رخ	51°04′48″	33°36′00″	پایین دست

مواد و روش‌ها

چارچوب روش‌شناختی این پژوهش که در شکل (۲) ارائه شده است، شامل مراحل متوالی و به هم پیوسته‌ای می‌باشد. پس از جمع‌آوری و کنترل کیفیت داده‌ها، شاخص‌های خشکسالی SPIو SRI برای چهار بخش مورد مطالعه محاسبه شد. سپس ویژگی‌های کلیدی خشکسالی شامل شدت، مدت و فراوانی با استفاده از نظریه Run استخراج شد. در مرحله بعد، تحلیل روند زمانی و مقایسه آماری بین واحدهای مختلف انجام گرفت. در نهایت، تحلیل فضایی برای نمایش الگوی مکانی خشکسالی در حوضه به کار رفت.



شکل ۲- نمودار روش‌شناسی تحقیق (گردآوری داده‌ها، محاسبه شاخص، شناسایی رخداد خشکسالی، تحلیل منحنی SAF)

۱. مجموعه داده‌ها و کنترل کیفیت

سه منبع داده اصلی استفاده شد: (۱) داده‌های ماهانه بارش (۱۹۸۸-۲۰۱۸) از ۱۷ ایستگاه باران‌سنجی (سازمان هواشناسی ایران)؛ (۲) داده‌های ماهانه ورودی و خروجی سد زاینده‌رود (شرکت آب منطقه‌ای اصفهان)؛ و (۳) سری‌های زمانی ماهانه دبی جریان در سه نقطه هیدرومتری. یک رویه چندمرحله‌ای کنترل کیفیت اعمال شد: تحلیل منحنی جرم مضاعف برای شناسایی ناهمگنی‌ها (Searcy و Hardison، ۱۹۶۰)، آزمون پتیت برای تشخیص نقاط تغییر ناگهانی (Pettitt، ۱۹۷۹) و پرکردن داده‌های مفقود با روش نسبت نرمال اصلاح‌شده با در نظرگیری همبستگی فضایی و ارتفاع (Teegavarapu و همکاران، ۲۰۱۹). این مراحل برای اطمینان از کیفیت داده‌ها قبل از تحلیل‌های بعدی (مثل تحلیل خشکسالی) انجام می‌شود تا نتایج قابل اعتماد باشند.

۲. شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده

- شاخص استاندارد شده بارش (Standardized Precipitation Index - SPI)

SPI که توسط McKee و همکاران (۱۹۹۳) توسعه یافت، مبتنی بر این اصل است که کمبود بارش مهم‌ترین علت خشکسالی هواشناسی است. الگوریتم محاسبه SPI در این پژوهش شامل مراحل زیر بود:

۱) برازش توزیع گاما: توزیع گاما بهترین برازش را داشت بنابراین، برای هر ماه تقویمی (ژانویه تا دسامبر) در هر ایستگاه، توزیع گاما دوپارامتره به داده‌های بارندگی تاریخی برازش داده شد:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{\frac{-x}{\beta}} \qquad X > 0$$

که در آن α پارامتر شکل و β پارامتر مقیاس است.

۲) تبدیل به احتمال تجمعی: احتمال تجمعی برای هر مقدار بارندگی مشاهده‌شده محاسبه شد.

۳) استانداردسازی نرمال: با استفاده از تبدیل معکوس توزیع نرمال استاندارد، مقادیر SPI به دست آمد:

$$SPI = \phi^{-1}(F(x))$$

ϕ^{-1} معکوس توزیع نرمال استاندارد و F(x) تابع توزیع تجمعی گاما است.

- شاخص استانداردشده جریان (Standardized Runoff Index - SRI)

برای تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در نقاط ورودی و خروجی سد، از شاخص SRI استفاده شد که توسط Shukla و Wood (۲۰۰۸) توسعه یافت. SRI از لحاظ مفهومی مشابه SPIاست، اما به جای بارندگی، بر داده‌های رواناب سطحی اعمال می‌شود. مراحل محاسبه SRI در این مطالعه شامل:

۱) محاسبه جریان ماهانه: تبدیل داده‌های روزانه به مقادیر ماهانه با حفظ پیوستگی زمانی.

۲) برازش توزیع لجستیک تعمیم‌یافته (Generalized Logistic Distribution): این توزیع به دلیل انعطاف‌پذیری در توصیف رفتار جریان‌های سطحی انتخاب شد.
۳) استانداردسازی: مشابه SPI ، مقادیر جریان به مقادیر استاندارد تبدیل شدند.

۳. طبقه‌بندی شدت خشکسالی

مقادیر SPI و SRI بر اساس طبقه‌بندی استاندارد جدول (۲) تفسیر شدند (Yevjevich ، ۱۹۶۷).

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیرSPI/SRI

طبقه خشکسالی	مقدارSPI/SRI
خشکسالی خفیف	۰ تا ۰/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۲-

۴. استخراج ویژگی‌های خشکسالی

برای هر دوره خشک شناسایی‌شده، سه ویژگی کلیدی استخراج گردید: شدت به‌عنوان مجموع مقادیر منفی شاخص در طول دوره، مدت به‌عنوان تعداد ماه‌های متوالی خشکسالی، و بزرگ‌ترین کسری به‌عنوان بیشترین مقدار منفی شاخص در طول دوره. تحلیل‌های آماری شامل آزمون روند من-کندال برای شناسایی روندهای معنادار در سری‌های زمانی شاخص‌ها (Mann ، ۱۹۴۵) و تخمین‌گر سِن برای محاسبه شیب روند خطی (Sen، ۱۹۶۸) بود. همچنین، برای مقایسه همزمان ویژگی‌های خشکسالی بین چهار واحد تحلیلی، تحلیل واریانس چندمتغیره انجام شد. در ادامه، منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF) برای بررسی رابطه بین شدت خشکسالی، میزان پوشش منطقه‌ای و دوره بازگشت ترسیم شدند (شکل ۷). در تحلیل SAF، مؤلفه مساحت بر اساس پوشش ایستگاه‌های مورد بررسی در حوضه تعیین شد و برای سطوح مختلف پوشش، شدت متناظر با دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردید.

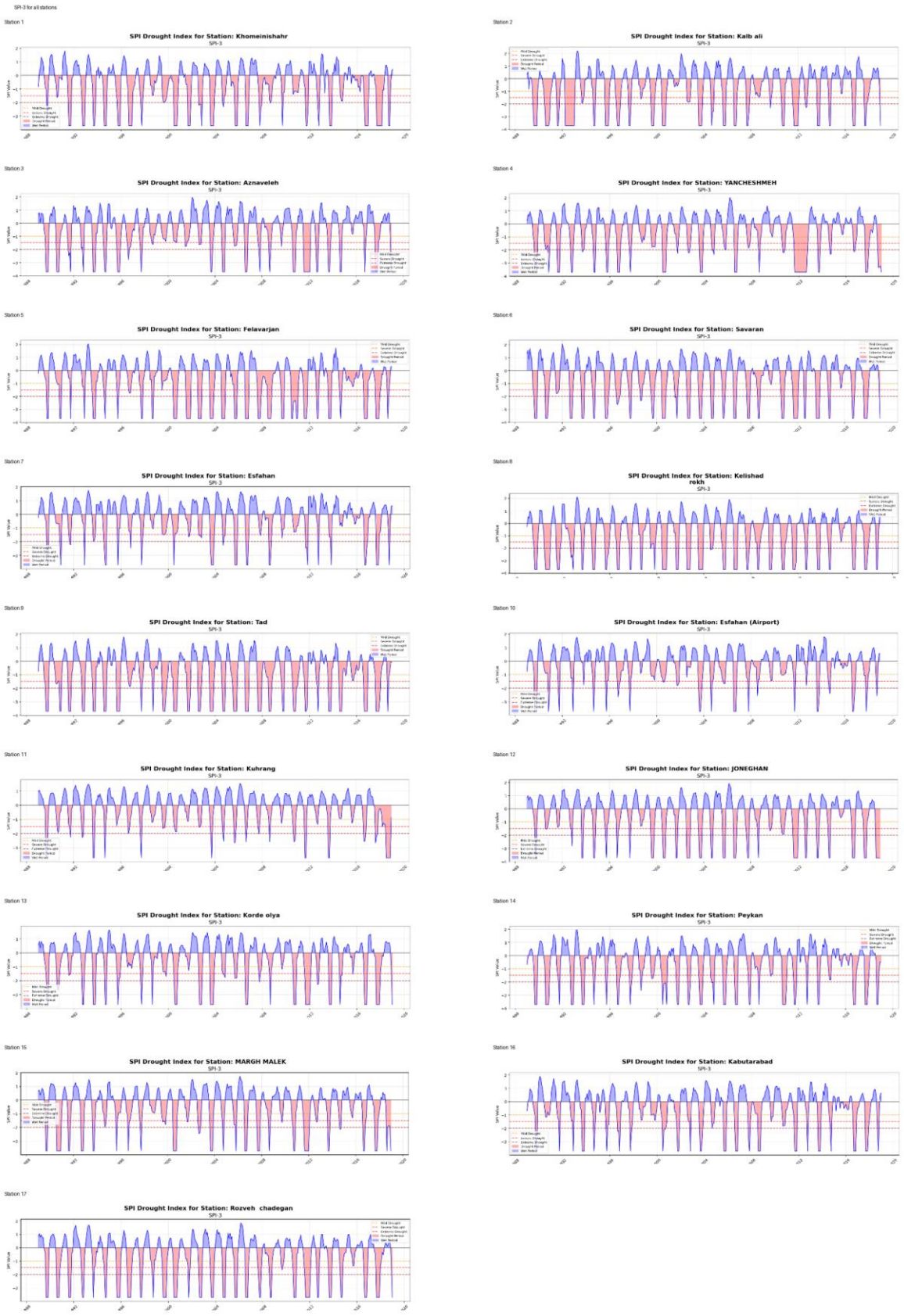
نتایج

۱. محاسبه شاخص‌های خشکسالی

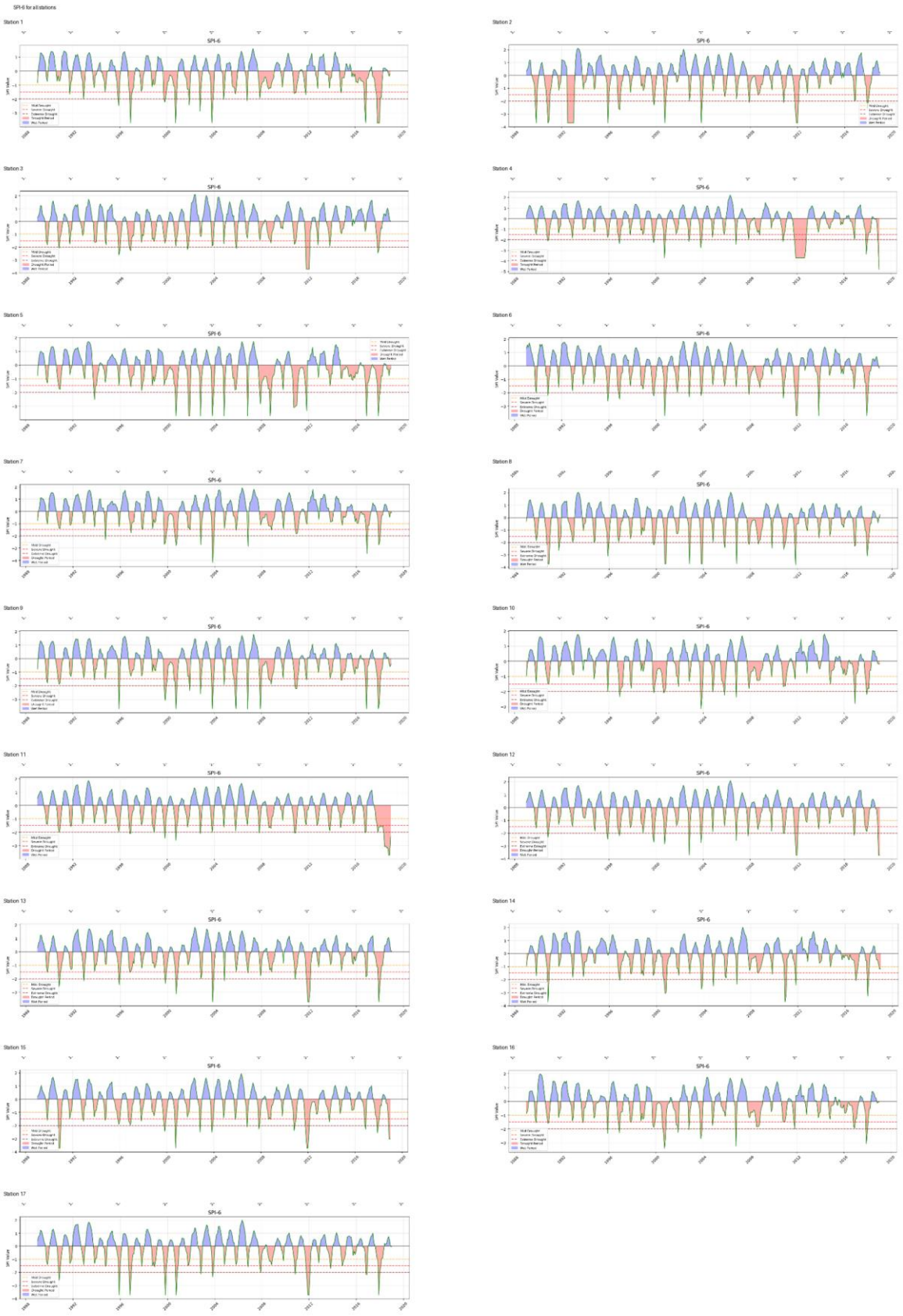
در این پژوهش، شاخص SPI برای سه مقیاس زمانی مختلف محاسبه شد: مقیاس سه ماهه که به تغییرات فصلی و خشکسالی‌های کوتاه‌مدت کشاورزی حساس است، مقیاس شش ماهه که شرایط میان‌مدت و تأثیر بر منابع آب سطحی را نشان می‌دهد، و مقیاس دوازده ماهه که بیانگر خشکسالی‌های بلندمدت و اثرات هیدرولوژیکی می‌باشد. نمودار زمانی شاخص SPI در سه دوره زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای هر ۱۷ ایستگاه رسم شد و دوره‌های خشکسالی تعیین گردید. در شکل (۳) نمودار SPI_3,6,12 برای هر ۱۷ ایستگاه، از بالادست و پایین‌دست نمایش داده شده است. نمودار زمانی شاخص SRI نیز در سه دوره زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای ورودی و خروجی سد زاینده رود رسم شد و دوره‌های خشکسالی تعیین گردید. در شکل (۴) و (۵) نمودار شاخص SRI_3,6,12 به ترتیب برای ورودی و خروجی سد مشخص شده است.

۲. تحلیل منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF)

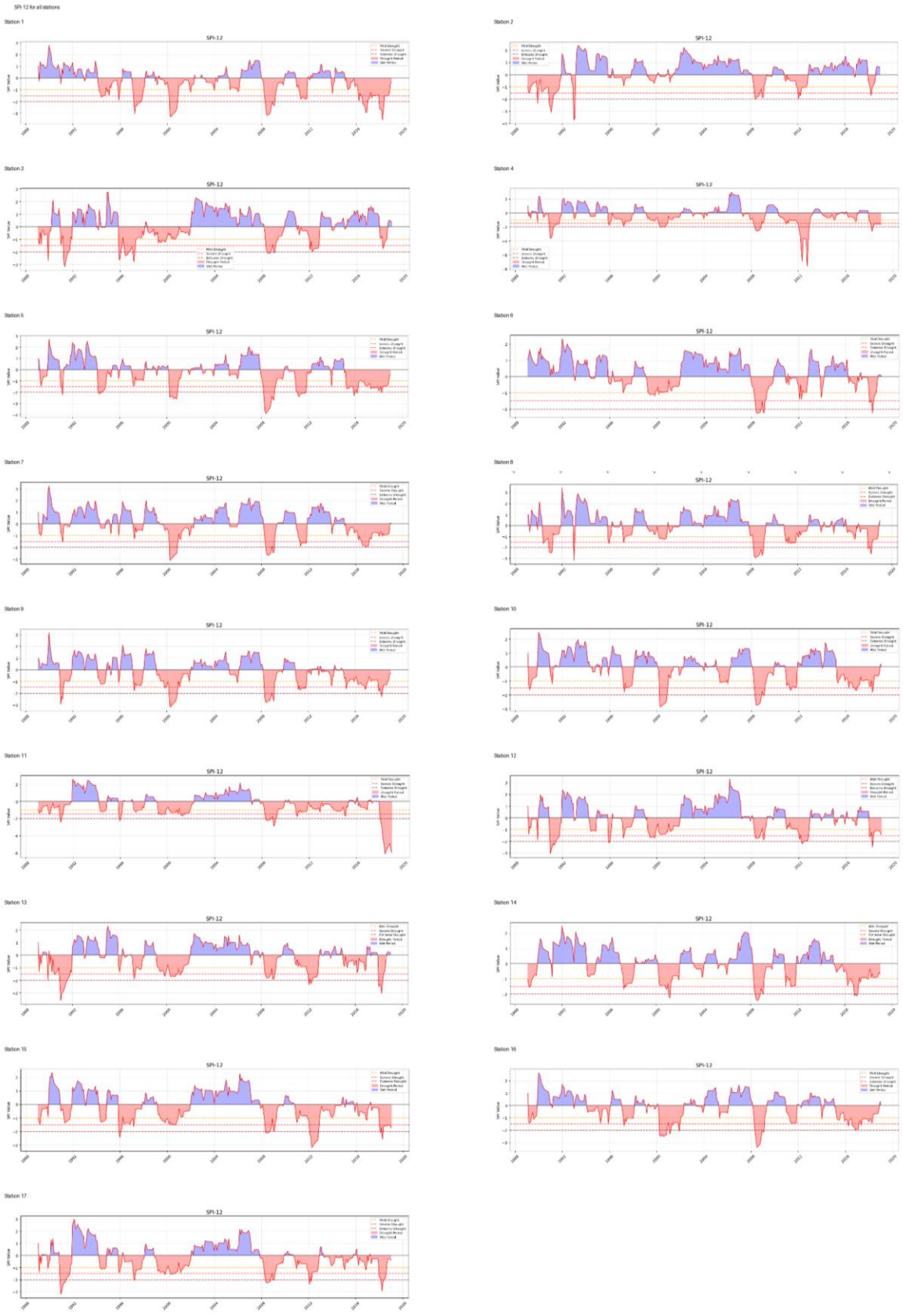
برای ایستگاه‌های باران‌سنجی، گستره مکانی خشکسالی به‌صورت درصد ایستگاه‌هایی که به‌طور هم‌زمان در وضعیت خشکسالی قرار دارند تعریف شد. نتایج حاصل از نمودارهای شکل (۶) و (۷) به ترتیب در بالادست و پایین‌دست که رابطه بین درصد مساحت تحت تأثیر خشکسالی (percent area) و مقادیر شاخص SPI را برای دوره‌های بازگشت مختلف (T=5, 10, 20, 50) نشان می‌دهند، روند کلی مشابهی را در هر دو بخش حوضه آشکار می‌سازد. در تمامی نمودارها، مشاهده می‌شود که با افزایش"percent area"، مقادیر شاخص‌های SPI-3، SPI-6 و SPI-12 کاهش می‌یابند. این روند بیانگر آن است که هرچه گستردگی مناطق تحت تأثیر خشکسالی افزایش یابد، شدت خشکسالی (بر اساس SPI) در کل حوضه، اعم از بالادست و پایین‌دست، افزایش می‌یابد. تفاوت‌های جزئی در رفتار سری‌های مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف (T) مشاهده می‌شود. به طور کلی، سری‌های با دوره بازگشت طولانی‌تر مانند (T=50) تمایل به نشان دادن مقادیر پایین‌تر SPI یا کاهش سریع‌تر آن با افزایش "percent area" دارند، که این امر بر تأثیر عمیق‌تر و ماندگارتر خشکسالی‌های بلندمدت تأکید دارد.


SPI-3 for all stations
Station 1
SPI Drought Index for Station: Khomeinishahr
SPI-3
Station 2
SPI Drought Index for Station: Kalb ali
SPI-3
Station 3
SPI Drought Index for Station: Aznaveleh
SPI-3
Station 4
SPI Drought Index for Station: YANCHESHMEH
SPI-3
Station 5
SPI Drought Index for Station: Felavarjan
SPI-3
Station 6
SPI Drought Index for Station: Savaran
SPI-3
Station 7
SPI Drought Index for Station: Esfahan
SPI-3
Station 8
SPI Drought Index for Station: Kelishad rokh
SPI-3
Station 9
SPI Drought Index for Station: Tad
SPI-3
Station 10
SPI Drought Index for Station: Esfahan (Airport)
SPI-3
Station 11
SPI Drought Index for Station: Kuhrang
SPI-3
Station 12
SPI Drought Index for Station: JONEGHAN
SPI-3
Station 13
SPI Drought Index for Station: Korde olya
SPI-3
Station 14
SPI Drought Index for Station: Peykan
SPI-3
Station 15
SPI Drought Index for Station: MARGH MALEK
SPI-3
Station 16
SPI Drought Index for Station: Kabutarabad
SPI-3
Station 17
SPI Drought Index for Station: Rozveh chadegan
SPI-3

(الف)

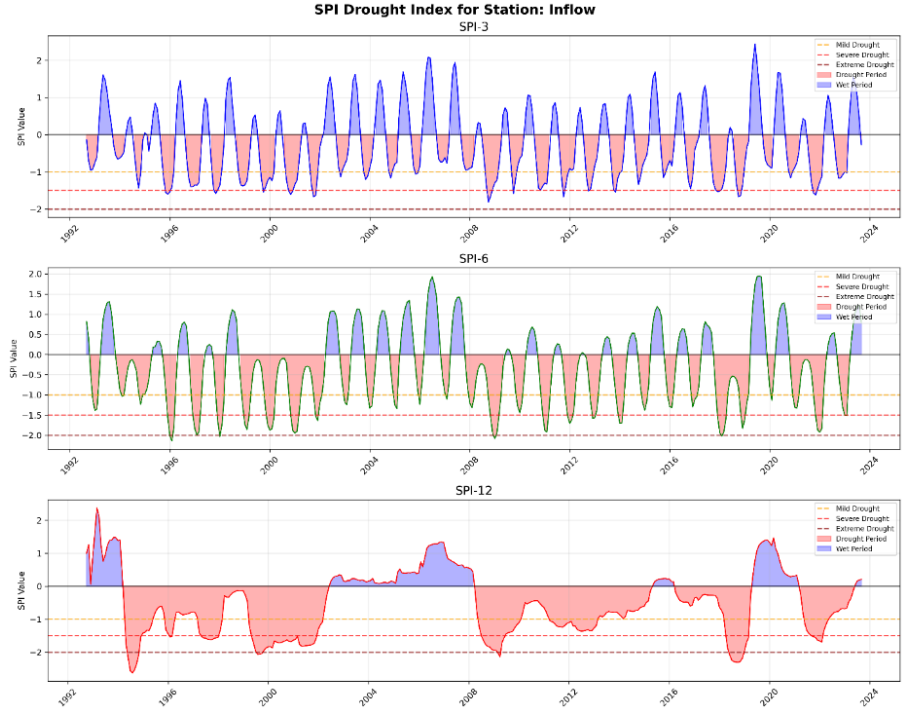

SPI-6 for all stations
Station 1
Station 2
Station 3
Station 4
Station 5
Station 6
Station 7
Station 8
Station 9
Station 10
Station 11
Station 12
Station 13
Station 14
Station 15
Station 16
Station 17
SPI-6

(ب)

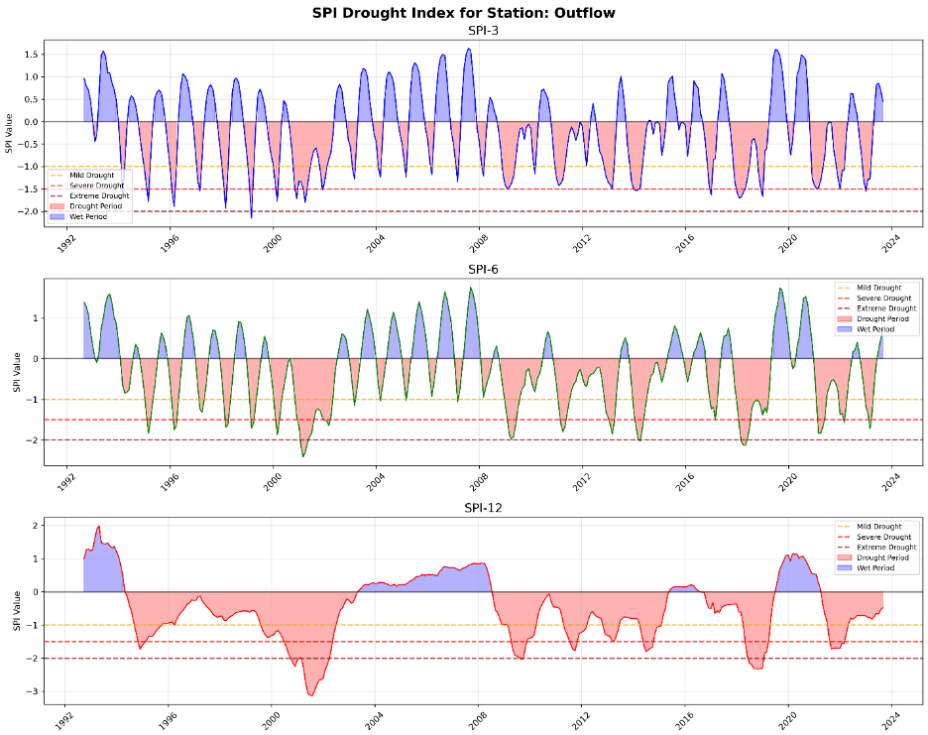


(ج)

شکل ۳- تغییرات شدت و تداوم خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مختلف براساس شاخص‌های استاندارد بارش (الف: SPI-3، ب: SPI-6 و ج: SPI-12) در ۱۷ ایستگاه مورد مطالعه طی دوره آماری تحقیق



شکل ۴- شاخص SRI_3,6,12 ورودی سد زاینده‌رود



شکل ۵- شاخص SRI_3,6,12 خروجی سد زاینده‌رود

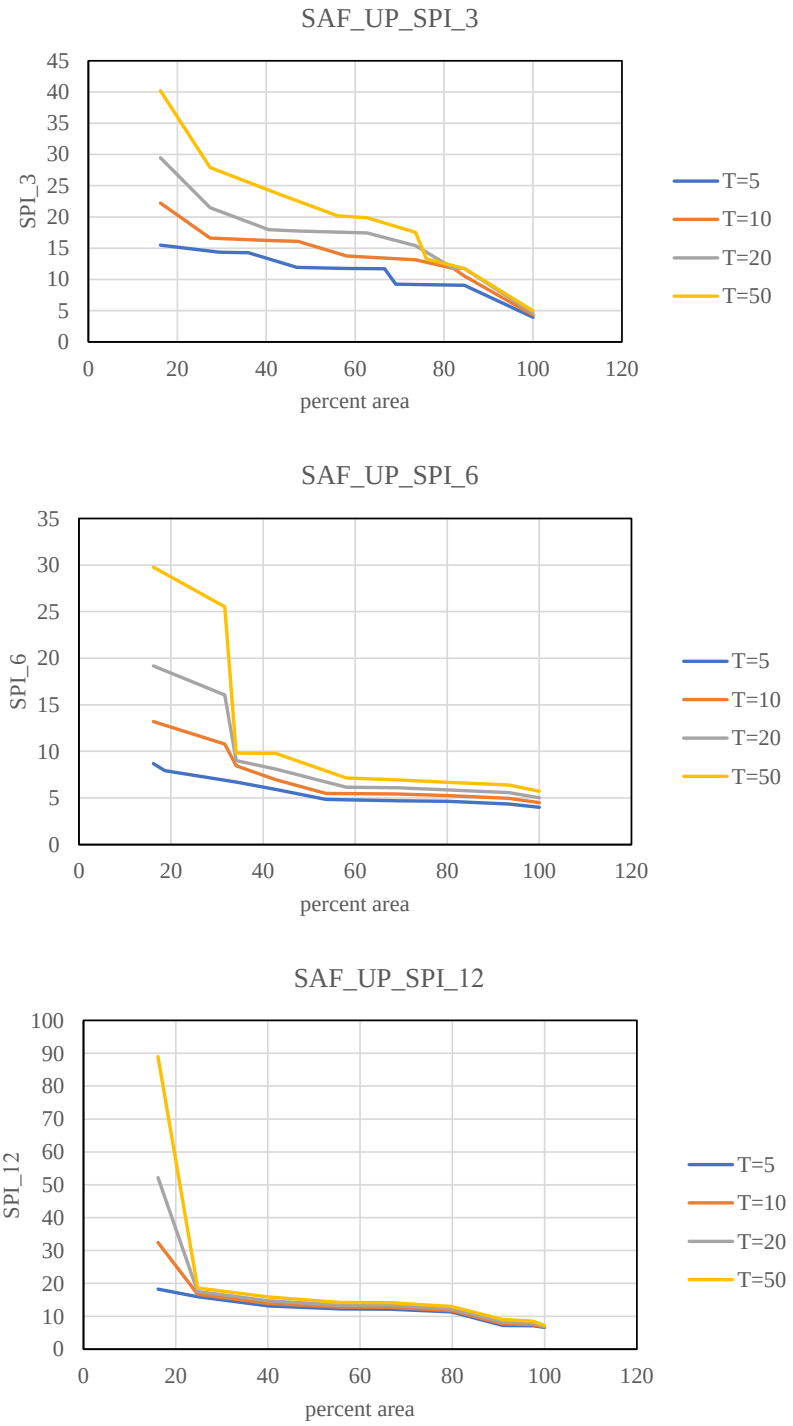
یک نکته قابل توجه در نمودار SAF_DOWN_SPI_12 (پایین‌دست)، افزایش شیب کاهش شاخص در محدوده ۷۰٪ تا ۹۰٪ "percent area" است که می‌تواند نشان‌دهنده یک آستانه بحرانی در تأثیر خشکسالی‌های بلندمدت بر این منطقه باشد.

برای تحلیل نقش سد، منحنی‌های SAF به‌طور جداگانه برای دبی ورودی و خروجی سد استخراج و مقایسه شدند (جدول ۳). تحلیل داده‌های دبی ورودی و خروجی سد در دوره‌های بازگشت مختلف (T=5 تا ۵۰ سال) نشان می‌دهد که سد نقشی کلیدی در تعدیل شاخص خشکسالی (SRI) ایفا

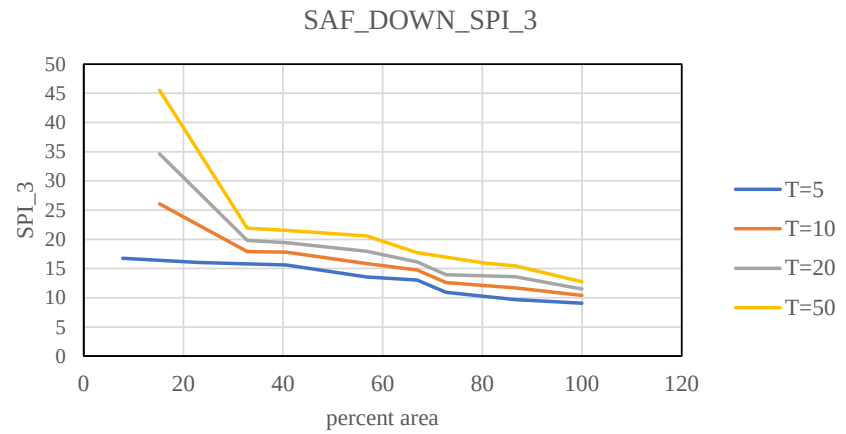
می‌کند. در سطوح خشکسالی خفیف تا متوسط (SRI=3 و ۶)، سد با آزادسازی تدریجی ذخایر، دبی خروجی را نسبت به ورودی افزایش می‌دهد و این اثر با افزایش دوره بازگشت تشدید می‌شود. این امر به حفظ جریان در دوره‌های طولانی‌تر کم‌آبی کمک می‌کند. اما در خشکسالی‌های شدید (SRI=12)، سد ابتدا با کاهش دبی خروجی (در T=5 سال) نقش کنترلی ایفا کرده و سپس با افزایش دوره بازگشت (T>5)، به سمت آزادسازی بیشتر ذخایر حرکت می‌کند تا جریان پایدارتری را تأمین نماید. در اوج خشکسالی (T=50 سال)، سد با افزایش چشمگیر دبی خروجی، حداکثر توان خود را در حفظ جریان به کار می‌گیرد. این رفتار انعطاف‌پذیر سد، آن را به عنصری حیاتی در مدیریت منابع آبی و کاهش اثرات خشکسالی در حوضه تبدیل کرده است.

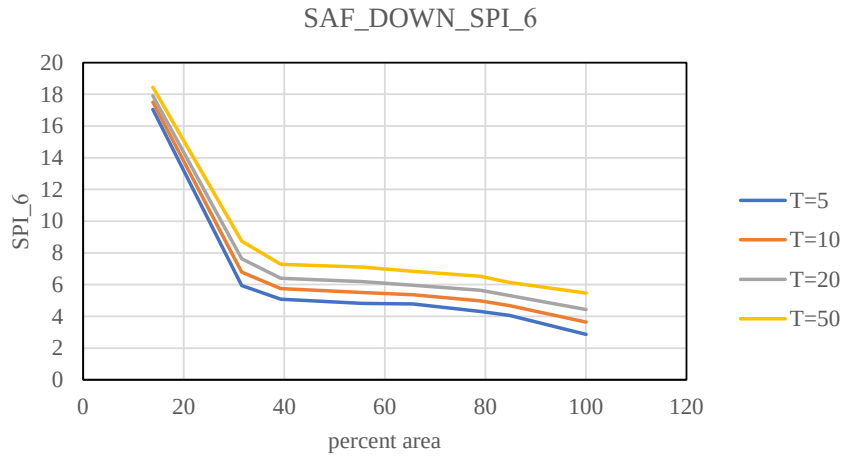
۳. مقایسه SPI و SRI برای حوضه و مخزن

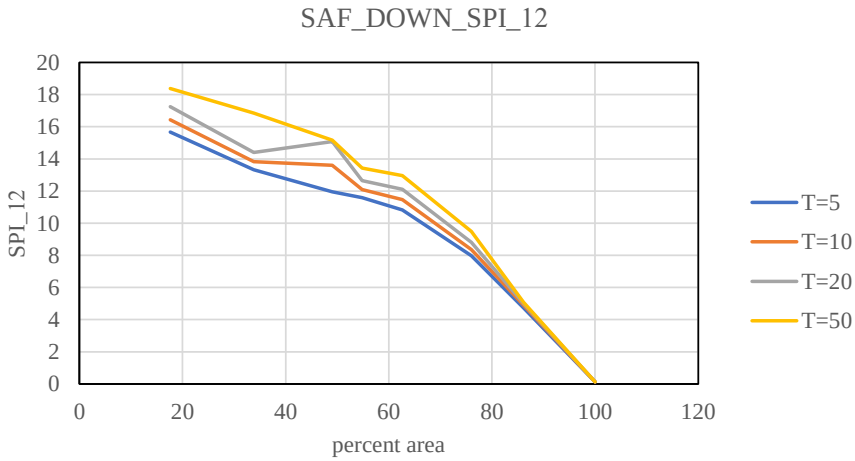
در شکل (۸)، SPI میانگین فضای بالادست با SRI در ورودی سد برای بررسی انتشار خشکسالی مقایسه شد.



شکل ٦- منحنی SAF برای ایستگاه‌های بالادست در مقیاس‌های SPI-3، SPI-6، SPI-12



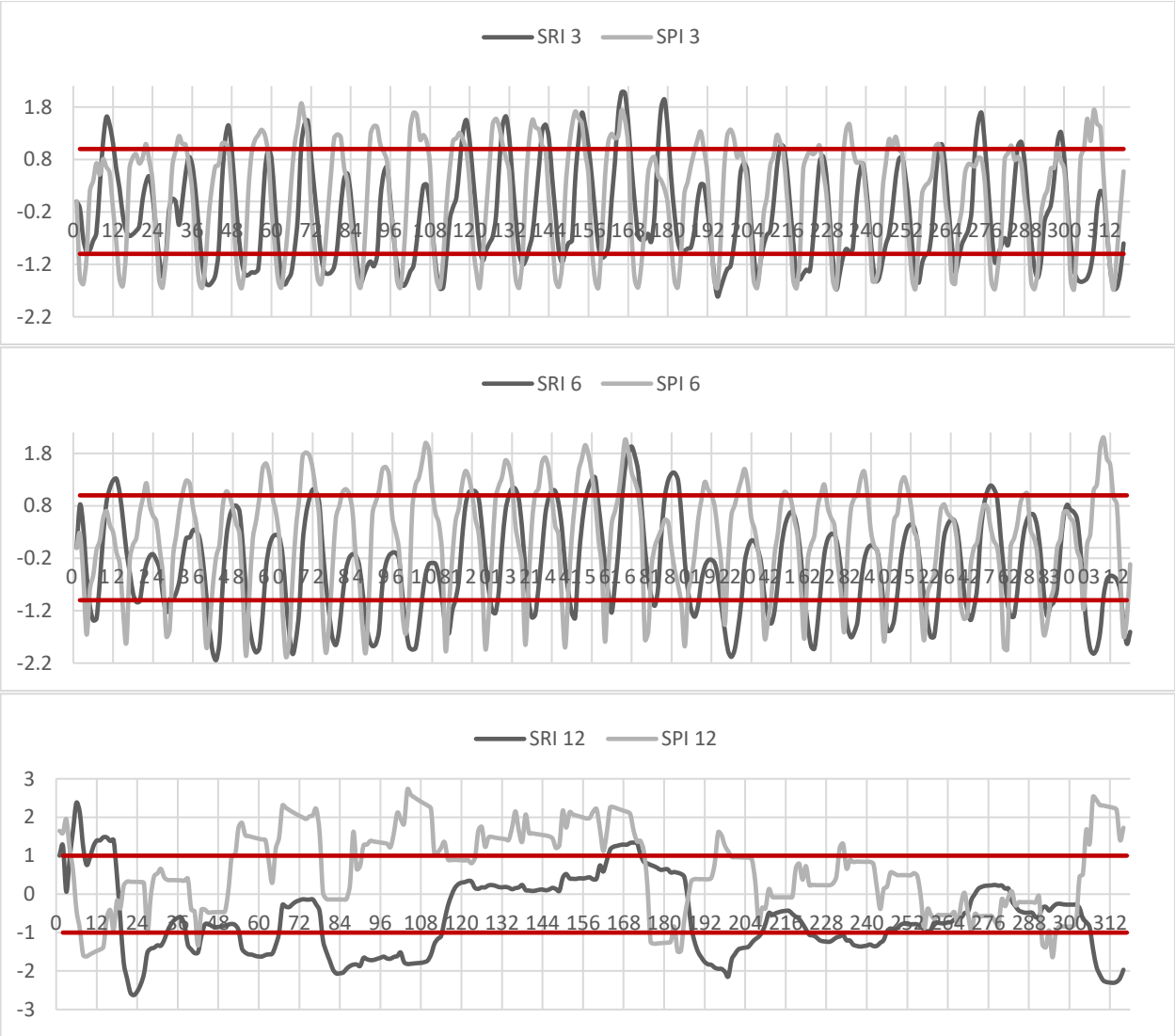




شکل ۷- منحنی SAF برای ایستگاه‌های پایین‌دست در مقیاس‌های SPI-3، SPI-6، SPI-12

جدول ۳- مقایسه SAF ورودی و خروجی سد در مقیاس‌های SRI-3، SRI-6، SRI-12

SRI	نوع جریان	T=5 سال	T=10سال	T=20سال	T=50سال
۳ ماهه	ورودی	۶/۸۸۸	۷/۸۳۵۷۳	۸/۶۱۸۳	۹/۴۹۹۲
	خروجی	۶/۹۹۶	۸/۸۳۹	۱۰/۸۰۱۸۷	۱۳/۶۲۷۹۷
۶ ماهه	ورودی	۶/۹۵۲	۸/۶۹۷۷۳	۱۰/۵۰۳	۱۳/۰۳
	خروجی	۱۱/۲۰۹	۱۶/۰۴۷	۲۲/۱۹۰۲۵	۳۲/۶۹۳۴
۱۲ ماهه	ورودی	۳۹/۰۳	۴۷/۶۲۶۹	۵۴/۷۲۶	۶۲/۷۱۶
	خروجی	۲۸/۷۸۶	۴۱/۲۹۳	۵۷/۵۷۵۰۲	۸۶/۱۰۱۱۷



شکل ۸- مقایسه SPI (بالادست) و SRI (جریان ورودی سد) در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۱۲ ماهه

تحلیل شاخص‌های خشکسالی در حوضه زاینده‌رود نتایج مشخصی را در ابعاد مختلف آشکار کرد. همانطور که انتظار می‌رود، بر اساس شاخص استاندارد بارش (SPI)، خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت نوسان بیشتری نشان می‌دهند، درحالی‌که در مقیاس‌های بلندمدت تداوم بالاتری دارند. همچنین، ایستگاه‌های واقع در مناطق پایین‌دست به‌طور مداوم خشکسالی‌های شدیدتر و مکررتری را نسبت به ایستگاه‌های بالادست تجربه کرده‌اند که حاصل ترکیب دو عامل بارش کمتر و تقاضای آبی بالاتر در دشت‌های کشاورزی است.

از سوی دیگر، شاخص استاندارد رواناب (SRI) نشان داد که خشکسالی‌های هیدرولوژیکی نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی، هم شدیدتر و هم طولانی‌تر هستند و با تأخیر زمانی واضحی پس از آنها ظاهر می‌شوند. این تأخیر، بیانگر فرآیند انتشار خشکسالی در سیستم هیدرولوژیکی حوضه است، به‌طوریکه کمبود بارش به تدریج و با گذشت زمان به کاهش جریان سطحی تبدیل می‌گردد.

بررسی منحنی‌های شدت-مساحت-فراوانی (SAF) نیز نشان می‌دهد که با افزایش وسعت جغرافیایی خشکسالی، شدت آن برای یک دوره بازگشت معین کاهش می‌یابد. شیب تندتر این منحنی‌ها در منطقه پایین‌دست در مقایسه با بالادست، حاکی از آسیب‌پذیری بیشتر این ناحیه در برابر خشکسالی‌های گسترده است.

در خصوص نقش سد زاینده‌رود، مقایسه منحنی‌های SAF ورودی و خروجی نشان می‌دهد که این سازه به‌ویژه در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه، موفق به تعدیل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در پایین‌دست شده است. با این وجود، ظرفیت تعدیل‌کنندگی سد در دوره‌های خشکسالی طولانی و ممتد کاهش می‌یابد. این مشاهده، که بر اساس دوره‌های بازگشت کوتاه‌تر و میان‌مدت تحلیل شده است، گویای محدودیت ذخیره مخزن در مقابله با خشکسالی‌های پایدار و فراگیر است.

بحث

یافته‌های این مطالعه چندین نکته کلیدی برای بحث ارائه می‌دهد. نخست، تفاوت فضایی مشاهده‌شده در شدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی بین بالادست و پایین‌دست، شاخص SPI، بیانگر تفاوت در الگوی زمانی و مکانی کمبود بارش در این دو ناحیه است. با این حال، از آنجا که SPI مستقیماً بر اساس بارش محاسبه می‌شود، این تفاوت را نمی‌توان به‌طور مستقیم به فعالیت‌های کشاورزی یا تقاضای بالای آب نسبت داد. در مقابل، مقایسه هم‌زمان ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌تواند شواهد بیشتری درباره نقش عوامل انسانی در تعدیل یا تشدید انتقال خشکسالی از شرایط جوی به سامانه‌های جریان فراهم کند. در این چارچوب، تفاوت میان الگوهای SPI و SRI، به‌ویژه در شدت، فراوانی، مدت و زمان انتقال خشکسالی، می‌تواند نشان‌دهنده اثر عوامل مؤثر بر پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، از جمله برداشت آب و فعالیت‌های انسانی باشد؛ هرچند برای انتساب قطعی این تفاوت‌ها به مصرف آب، بررسی مستقل داده‌های برداشت، کاربری اراضی و سایر مؤلفه‌های انسانی ضروری است.

دوم، مشاهده تأخیر زمانی و تشدید خشکسالی هیدرولوژیکی نسبت به خشکسالی هواشناسی، مطابق با نظریه انتشار خشکسالی است (Shukla و Wood، ۲۰۰۸). این پیامد مهمی برای هشدار زودهنگام خشکسالی دارد: پایش خشکسالی هواشناسی در بالادست می‌تواند پنجره زمانی ارزشمندی برای پیش‌بینی و آمادگی در برابر خشکسالی هیدرولوژیکی در پایین‌دست فراهم آورد.

سوم، نقش دوگانه سد زاینده‌رود به عنوان یک تعدیل‌کننده در شرایط عادی و یک محدودیت در خشکسالی‌های ممتد، نشان‌دهنده ظرفیت محدود ذخیره مخازن در رویارویی با خشکسالی‌های بلندمدت و گسترده است. این یافته با مطالعات مشابه در سایر حوضه‌های تنظیم‌شده همخوانی دارد و بر اهمیت رویکردهای مدیریت توأم منابع آب سطحی و زیرزمینی و مدیریت تقاضا در کنار بهره‌برداری از مخزن تأکید می‌کند (Madani و همکاران، ۲۰۱۶).

چهارم، نتایج تحلیل منحنی‌های SAF که آسیب‌پذیری بالاتر پایین‌دست در برابر خشکسالی‌های با گستره وسیع را نشان می‌دهد، می‌تواند مبنایی برای اولویت‌بندی تخصیص منابع و اجرای برنامه‌های کاهش ریسک در این مناطق باشد.

در نهایت، ضعیف‌تر بودن ارتباط بین SPI و SRI در مقیاس ۱۲ ماهه و قوی بودن آن در مقیاس‌های کوتاه‌تر، حاکی از آن است که شاخص‌های بلندمدت به دلیل هموارسازی بیش از حد و حساسیت به اثرات ذخیره و مدیریت، ممکن است برای پایش خشکسالی مخزن در زمان واقعی چندان مناسب نباشند. بنابراین، استفاده از شاخص‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت (۳ تا ۶ ماهه) برای درک پویایی‌های خشکسالی و ارتباط بالادست مخزن در این سیستم تنظیم‌شده مؤثرتر به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان می‌دهد که ارزیابی خشکسالی در حوضه‌های تنظیم‌شده‌ای مانند زاینده‌رود نیازمند رویکردی یکپارچه و چندبعدی است که ابعاد زمانی، مکانی و احتمالی را پوشش دهد. نتایج کلیدی به شرح زیر است:

الف) خشکسالی‌های هواشناسی در پایین‌دست به دلیل عوامل اقلیمی شدیدتر و با تواتر بیشتری رخ می‌دهند.

ب) خشکسالی‌های هیدرولوژیکی با تأخیر زمانی منتشر شده و نسبت به خشکسالی‌های هواشناسی تشدید می‌شوند.

ج) سد زاینده‌رود شدت خشکسالی هیدرولوژیکی را تعدیل می‌کند اما توانایی آن در کاهش اثرات خشکسالی‌های طولانی‌مدت محدود است.

د) مناطق پایین‌دست آسیب‌پذیری فضایی بیشتری نشان می‌دهند که توسط شیب تندتر منحنی‌های SAF تأیید می‌شود.

ه) شاخص‌های خشکسالی کوتاه‌مدت و میان‌مدت (۳ تا ۶ ماهه) نسبت به شاخص‌های بلندمدت برای پایش خشکسالی مخزن مؤثرتر هستند.

و) این بینش‌ها می‌توانند مبنایی برای مدیریت تطبیقی آب، شامل عملیات بهینه مخزن، سیاست‌های متمایز برای بالادست و پایین‌دست و ارتقای آمادگی در برابر خشکسالی باشد. پژوهش‌های آتی می‌توانند با تلفیق مدل‌سازی هیدرولوژیکی-عملیاتی و سناریوهای تغییر اقلیم، تاب‌آوری بلندمدت این حوضه را در برابر رژیم‌های تشدیدشده خشکسالی ارزیابی کنند.

منابع

Alijanian, M., & Dehghani, F. (2023). Evaluation of CHIRPS in dry and wet spell assessment utilizing copula-based severity–duration–frequency curves. Hydrological Sciences Journal, 68(14), 2075–2088. doi: 10.1080/02626667.2023.2248971

Ghozat, A., Sharafati, A., & Hosseini, S. A. (2021). Long-term spatiotemporal evaluation of CHIRPS satellite precipitation product over different climatic regions of Iran. Theoretical and Applied Climatology, 143, 211–225. doi: 10.1007/s00704-020-03428-5

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). (2018). Precipitation data

Government Printing Office, Washington, USA. doi: 10.3133/wsp1541B

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379–1389. doi: 10.1080/01621459.1968.10480934

Sharafi, S., Ghaleni, M. M., & Sadeghi, S. (2022). Spatial and temporal analysis of drought in various climates across Iran using the Standardized Precipitation Index (SPI). Arabian Journal of Geosciences, 15(14), 1279. doi: 10.1007/s12517-022-10489-5

Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. Geophysical Research Letters, 35(2), L02405. doi: 10.1029/2007GL032487

Tabari, H., & Talaee, P. H. (2011). Temporal variability of rainfall over Iran: 1966–2005. Journal of Hydrology, 396(3–4), 313–320. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.11.034

Teegavarapu, R. S., Salas, J. D., & Stedinger, J. R. (Eds.). (2019). Statistical Analysis of Hydrologic Variables: Methods and Applications. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.

United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2022). Drought in numbers 2022: Restoration for readiness and resilience. Bonn, Germany. Retrieved from https://coilink.org/20.500.12592/s5mhnb, accessed 04 Oct. 2026.

Wilhite, D. A. (2000). Drought: A global assessment. Chapter: Drought as a natural hazard: Concepts and definitions (pp. 3–18). D. A. Wilhite (Ed.). Routledge, London, UK.

Yevjevich, V. M. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. Hydrology Paper No. 23. Colorado State University, Fort Collins, USA.

and meteorological station locations in the Zayandehroud Basin. Isfahan, Iran.

Jalili Pirani, F., & Modarres, R. (2020). Geostatistical and deterministic methods for rainfall interpolation in the Zayandeh Rud basin, Iran. Hydrological Sciences Journal, 65(16), 2678–2692. doi: 10.1080/02626667.2020.1833014

Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: Challenges of a water-bankrupt nation. Iranian Studies, 49(6), 997–1016. doi: 10.1080/00210862.2016.1259286

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13(3), 245–259. doi: 10.2307/1907187

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 Jan. 1993 (Vol. 17, No. 22, pp. 179–183). American Meteorological Society, Boston, USA.

Modarres, R., & da Silva, V. D. P. R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Arid Environments, 70(2), 344–355. doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.12.024

Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. International Journal of Climatology, 26(7), 971–985. doi: 10.1002/joc.1264

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics), 28(2), 126–135. doi: 10.2307/2346729

Safavi, H. R., Esfahani, M. K., & Zamani, A. R. (2014). Integrated index for assessment of vulnerability to drought, case study: Zayandehrood River Basin, Iran. Water Resources Management, 28(6), 1671–1688. doi: 10.1007/s11269-014-0576-4

Searcy, J. K., & Hardison, C. H. (1960). Double-mass curves, with a section fitting curves to cyclic data. Water Supply Paper 1541-B, pp. 31–66. U.S.

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 135 to 150

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۳۵ تا ۱۵۰

Document Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Studying and Investigating the Pattern of Rainfall Changes in the Western Watersheds of Mazandaran Province and Its Impact on the Regional Climate Change Phenomenon

مطالعه و بررسی الگوی تغییرات روند بارندگی حوضه‌های آبخیز غرب استان مازندران و تاثیر آن بر پدیده تغییر اقلیم منطقه‌ای

A. Gholami

Assistant Professor, Faculty of Engineering and Technology, Shomal University, Amol, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** Gholami@shomal.ac.ir

Received ▶ 31-03-2026
Revised ▶ 22-07-2026
Accepted ▶ 27-07-2026
Available online ▶ 16-09-2026

عباس غلامی

استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شمال، آمل، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** Gholami@shomal.ac.ir

تاریخ دریافت ◀ ۱۴۰۵/۰۱/۱۱
تاریخ بازنگری ◀ ۱۴۰۵/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش ◀ ۱۴۰۵/۰۵/۰۵
تاریخ انتشار ◀ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

Abstract

Examining the pattern of precipitation changes as one of the important meteorological parameters in the sustainable management of water resources and the agricultural sector in each region is of considerable importance. In this research, in order to study the fluctuations of rainfall cycles in selected stations in the west of Mazandaran province, Mann-Kendall and Sen Slope tests were used on monthly, seasonal, and annual scales. Based on this, 10 river stations that have average of 40 years rainfall statistics and lack of years with no statistics were selected throughout the study area. The results of this study have been calculated and analyzed for each station in the form of 17 time series and a total of 170 rainfall time series for 10 selected stations. In a general summary of the study on the results of this research, it is clear that the annual, seasonal, and monthly rainfall trend of the investigated stations has high fluctuations and certain climatic anomaly. This study shows the effect of precipitation fluctuations on the hydrological cycles of this area located in the west of Mazandaran province. Considering that rainfall fluctuations are one of the important factors in regional ecology and agricultural activities, it is expected that the growth of forest plants will undergo negative regional changes, and can also affect agricultural activities and the supply of fodder to the pastures of the region. face serious challenges in times of drought. On the other hand, the possible sudden increase in seasonal rains can intensify these regional water challenges if the runoff is not controlled and the watershed management is not properly managed. Considering the issues raised, the correct management of water resources and planning in order to adapt to this change in rainfall conditions, we can expect better conditions in the agricultural and pasture areas of the region. Considering the population pressures of the last century and taking into account that this area is completely tourism-friendly, which can naturally increase the pressure on the river ecosystem, the issue of regional watershed planning is very vital and important.

Keywords: Rainfall Changes, Mann-Kendall Test, Sen Slope, West of Mazandaran Province.

چکیده

بررسی الگوی تغییرات بارش یکی از متغیرهای مهم هواشناسی در مدیریت پایدار منابع آب و بخش کشاورزی هر منطقه می‌باشد که اهمیت شایان توجهی دارد. جهت مطالعه نوسانات چرخه‌های بارشی در این پژوهش از آزمون‌های من‌کندال و شیب سن در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه‌های منتخب غرب استان مازندران استفاده شده است. بر این اساس ۱۰ ایستگاه رودخانه‌ای که دارای آمار بارشی میانگین ۴۰ سال و فقدان سال‌های فاقد آمار بوده‌اند، در سرتاسر ناحیه مورد مطالعه، انتخاب شدند. نتایج این مطالعه برای هر ایستگاه به صورت ۱۷ سری زمانی و در مجموع برای ۱۰ ایستگاه منتخب بررسی شده و ۱۷۰ سری زمانی بارشی مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است. جمع بندی کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد روند بارشی سالانه، فصلی و ماهانه ایستگاه‌های بررسی شده نوسانات زیاد و بی‌نظمی‌های اقلیمی مشخصی دارد. این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر نوسانات روند بارش بر چرخه‌های هیدرولوژیک این ناحیه واقع در غرب استان مازندران می‌باشد. با توجه به اینکه نوسانات بارشی یکی از عوامل مهم در اکولوژی ناحیه‌ای و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد انتظار می‌رود رشد گیاهان جنگلی به خاطر این تغییرات دستخوش تحولات منفی ناحیه‌ای شود؛ همچنین این تغییرات می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی و تأمین علوفه دام مراتع ناحیه را در مواقع خشکسالی با چالش‌های جدی روبرو سازد. از طرفی دیگر افزایش احتمالی ناگهانی بارش‌های فصلی نیز در صورت عدم مهار هرزآب‌ها و مدیریت صحیح آبخیزداری می‌تواند این چالش‌های کم آبی یا سیلاب ناحیه‌ای را تشدید نماید. با توجه به این مسائل، در صورت مدیریت صحیح منابع آبی یعنی برنامه‌ریزی به منظور سازگارشدن با این تغییر شرایط بارش، می‌توان انتظار شرایط بهتری را در حوضه‌های کشاورزی و مرتعداری ناحیه‌ای داشت. نظر به فشارهای جمعیتی سده اخیر و با توجه به اینکه این ناحیه کاملاً گردش‌گرپذیر می‌باشد، که طبعاً می‌تواند موجب تشدید فشار بر اکوسیستم رودخانه‌ای شود، موضوع برنامه‌ریزی ناحیه‌ای آبخیزداری بسیار حیاتی و مهم جلوه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تغییرات بارندگی، آزمون من کندال، شیب سن، غرب استان مازندران.

How to cite this article:

Gholami, A. (2026). Studying and Investigating the Pattern of Rainfall Changes in the Western Watersheds of Mazandaran Province and Its Impact on the Regional Climate Change Phenomenon. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 135-150. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2603-1509

مقدمه

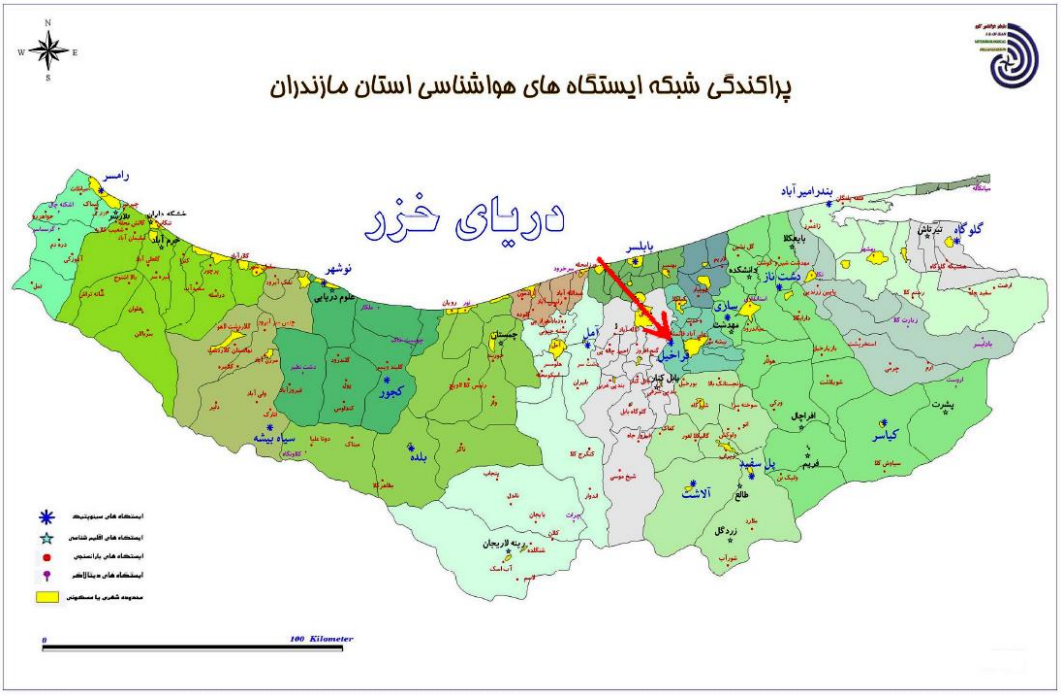
مطالعات مختلف در خصوص پدیده تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که مقدار غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو از زمان قبل از دهه صنعتی تاکنون افزایش بسیار زیادی داشته است، به طوری‌که میزان این تغییرات از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴ میلادی در حدود ۷۰٪ رشد نشان داده است. به صورت آشکاری میزان فعالیت‌های انسانی یکی از علل اصلی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی از سال ۱۹۷۰ تاکنون بوده است (Yang و همکاران، ۲۰۱۲). در گزارشات هیئت بین الدول تغییر اقلیم اشاره شده است که اقلیم جهانی با نرخ ۰/۲ درجه سانتی‌گراد در هر دهه گرمتر خواهد شد. حتی اگر میزان گازهای گلخانه ای در حد سال ۲۰۰۰ میلادی ثابت باقی بماند، باز هم دمای کلی زمین در حدود ۰/۱ درجه سانتیگراد در هر دهه افزایش خواهد یافت. این عوامل بیان‌کننده این است که تغییر اقلیم کنونی و آینده به عنوان موضوعی بسیار مهم در علم اقلیم‌شناسی محسوب می‌شود (Yang و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی دیگر بررسی تغییرات سیلاب یک تحلیل اولیه برای برنامه‌ریزی منابع آب (Adib و همکاران، ۲۰۱۲؛Ahmadianfar و همکاران، ۲۰۱۵)، طراحی‌های هیدرولوژیکی (Zhang و Singh، ۲۰۰۶) و مدیریت زیست‌محیطی (Tharme، ۲۰۰۳) است. مطالعات بررسی تغییرات سیلاب، تحلیل روند سیلاب را به عنوان یک ابزار اولیه در نظر می‌گیرد که به‌طور معمول در این زمینه تغییرات دبی اوج سیلاب بررسی می‌شود. یکی از ابزارهای معمول مورد استفاده برای تشخیص تغییرات در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی تجزیه و تحلیل روند است (Khaled وRao، ۱۹۹۸). آزمون‌های ناپارامتریک خصوصاً برای سری‌های که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از آزمون‌های پارامتریک می‌باشد (Bihrat وMehmetic، ۲۰۰۳). دو آزمون من‌کندال[1] و شیب تخمین‌گر سن[2] جزء متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی آب و هواشناسی به شمار می‌روند. در مطالعات هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده شده است. دلیل اصلی آن این واقعیت است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هائی که توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا دارای داده‌های مفقود هستند، مناسب‌تر میباشند. این آزمون‌ها برخلاف روش‌های پارامتری به داده‌های خارج از محدوده، حساسیت زیادی نشان نمی‌دهند. روند در سری‌های زمانی آب و هواشناسی می‌تواند ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و یا تغییر اقلیم باشد. در مورد موضوع این پژوهش مطالعات متعددی توسط محققین در ایران و سایر نقاط دنیا انجام شده است که در اینجا به مواردی از این مطالعات اشاره می‌شود: Yang و همکاران (۲۰۱۲) روند دما و بارش میانگین ماهانه ۵۳ ساله در حوضه رودخانه ژانگوینان و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن را با استفاده از آزمون من‌کندال بررسی کردند و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند افزایشی دما را در فصل‌های تابستان و بهار گزارش نمودند. Martinez و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات روند متوسط دما در ایالت فلوریدای آمریکا را در دو دوره زمانی ۲۰۰۹- ۱۸۹۵ و ۲۰۰۹-۱۹۷۰ با استفاده از آزمون من‌کندال بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو دوره مورد مطالعه، دما روند صعودی را در این ایالت تجربه کرده است (Martinez و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی تعدادی از محققان روند تغییرت سالانه دما و بارش را در طی پنجاه سال برای منطقه لوئس پلاتیو در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در پنجاه سال گذشته میانگین سالانه درجه حرارت منطقه مورد مطالعه ۱/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و میزان بارندگی به مقدار ۲۹/۱۱ میلی‌متر در طی ۵۰ سال کاهش یافته است (Wangو همکاران، ۲۰۱۲). پژوهشگرانی دیگر روند کمینه، بیشینه و متوسط درجه حرارت را در منطقه مودنا در ایتالیا بررسی کرده و نشان دادند که درجه حرارت کمینه و بیشینه روند معنی‌داری نداشته و به ترتیب در هر دهه ۰/۱ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (Boccolari و Malmusi، ۲۰۱۳). محققانی نیز روند تغییرات دمای فصلی و سالانه سیبری را با استفاده از آزمون من‌کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که درجه حرارت فصلی و سالانه روند صعودی معنی‌دار دارد (Gocic و Trajkovic، ۲۰۱۳). رحیم‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک استان هرمزگان، میانگین‌های فصلی و سالانه دما و بارش به همراه مقادیر حدی آنها را بررسی نمودند. ایشان نتیجه گرفتند که در این منطقه افزایش دما و کاهش بارش به همراه افزایش نوسانات شدید بارش و مقادیر حدی دما رخ داده است. در ایران پژوهشگرانی دیگر روند دمای بیشینه و کمینه سالانه، فصلی و ماهانه را در ۱۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از آزمون من‌کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که درجه حرارت بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۴۴۴ در دهه افزایش داشته است (Tabari و Hosseinzade، ۲۰۱۱). پژوهشگرانی نیز تغییرات درجه حرارت بیشینه را در ۳۲ ایستگاه سینوپتیک ایران در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج، حاکی از آن است که در ماه‌ها و فصل‌های گرم سال، درجه حرارت بیشینه روند افزایشی معنی‌دار در کل کشور تجربه کرده است و به‌طورکلی در مقیاس سالانه تقریباً پنجاه درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بودند (Kousari و همکاران، ۲۰۱۳) فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون من‌کندال بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند (Dinpashoh و همکاران، ۲۰۱۴). چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون من‌کندال

وجود روند را در این سری نشان دهد افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. درحالی‌که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (میرعباسی و دین‌پژوه، ۱۳۸۹). خودهمبستگی در داده‌های دمای ماهانه و فصلی احتمالاً موجود است. برای داده‌های بارش کمتر مشاهده می‌شود. به هر ترتیب می‌توان بررسی نمود و اثرش را حذف کرد یا از Modified Mann-Kendall استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه‌های ساحلی دریای خزر بخشی از دامنه‌ها و کوهپایه‌های شمالی البرز مرکزی بوده و از دو قسمت کاملاً متمایز تشکیل گردیده است. بخش کوهستانی آن که قسمت عمده ارتفاعات البرز را شامل می‌شود در امتداد دریای خزر گسترش داشته و عرض آن در مناطق مرکزی از ۱۰۰ کیلومتر و در مناطق شرقی از ۶۰ کیلومتر تجاوز می‌کند. دیواره مرتفع و عملاً بدون بریدگی البرز در این حوضه در مجاورت پهنه گسترده آب‌های خزری یکی از شگرف‌ترین مرزهای اقلیمی جهان را به‌وجود آورده است، به صورتی‌که همبستگی بین عوامل هیدروکلیماتولوژی ایستگاه‌های مناطق شمال کشور در عبور از این دیواره، حتی در فواصل کم، ناگهان تنزل می‌نماید که در خیلی از موارد معنی‌دار است. به این اعتبار سلسله جبال البرز یك مرز انفصال اقلیمی است که نظایر آن در دنیا چندان متعدد نمی‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در حوضه مطالعاتی از ۱۴۰۰ میلی‌متر در نواحی ساحلی تا کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در دره رودخانه نمارستاق[3] متغیر است و تغییرات آن در سال شبه‌مدیترانه ای است. میانگین منطقه‌ای حداقل بارش در خرداد و تیر در حدود ۴/۵ درصد کل بارندگی سالانه این منطقه را تأمین می‌کند و حداکثر بارش که تقریباً ۱۳/۵ درصد را در بر می‌گیرد در مهر ماه حادث می‌شود. میانگین سالانه دمای متوسط روزانه در حوزه مطالعاتی از حدود ۱۶ درجه در مناطق پست ساحلی تا کمتر از ۲/۵ درجه در ارتفاعات دماوند متغیر است. اقالیم حوزه آبریز ساحلی به شدت متأثر از ارتفاع می‌باشد. رودخانه‌های این حوضه با توجه به وضع توپوگرافی شرایط متفاوتی دارند. در بخش غربی و نیز قسمت‌هائی از بخش میانی که بین رودخانه‌های چالوس و هراز قرار گرفته‌اند رودخانه‌ها طول کمی داشته و غالباً از یك یا چند دره کوچك در امتداد شمال به جنوب تشکیل شده‌اند که تعداد کمی دره‌های کوچکتر ممکن است به آنها بپیوندند. حوزه آبخیز این رودخانه ها غالباً از جنگل پوشیده شده است. در بخش مرکزی و شرقی حوضه رودخانه‌ها عموماً حوزه آبخیز وسیعی داشته و تقریباً عرض رشته کوه البرز را شامل می‌شوند. این رودخانه‌ها از غرب به شرق عبارت از چالوس، هراز، طالار، تجن می‌باشند. شکل (۱) پراکندگی شبکه ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که محدوده این پژوهش غرب استان مازندران از محدوده شهرستان نور تا رامسر بوده است.



شکل ۱- پراکندگی شبکه ایستگاه‌های هواشناسی استان مازندران

روش انجام پژوهش

آزمون ناپارامتری من‌کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شده است. این روش به‌طور متداول و گسترده در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب‌بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون نیز بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نمایند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی‌بودن و عدم وجود روند در سری داده‌هاست و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. برای این منظور آماره آزمون Z به کمک روابط (۱) تا (۴) استخراج می‌شود.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & if\ s > 0 \\ 0 & if\ s = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{var(s)}} & if\ s < 0 \end{cases} \quad (۱)$$

$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (۲)$$

$$s = \sum_{k=1}^{n=1} \sum_{j=k+1}^{n} sgn(x_i - x_k) \quad (۳)$$

$$sgn(x) \begin{cases} +1 & if\ (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & if\ (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & if\ s < (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

که درآن α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z آماره توزیع نرمال در سطح استاندارد می‌باشد که .باتوجه‌به دو دامنه‌بودن آزمون از α/۲ استفاده شده است. در این تحقیق آزمون من‌کندال برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به کار گرفته شده است که مقدار $Z_{\alpha/2}$ به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۶۵ می‌باشد. اگر $Z \leq Z_{\alpha/2}$ باشد فرض صفر پذیرفته می‌شود. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند صعودی و در صورت منفی‌بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (رضائی یژند و جانفدا، ۱۳۹۲).

آزمون من‌کندال را ابتدا Man در ۱۹۴۵ ارائه نمود و سپس، Kendal در ۱۹۷۵ بسط و توسعه داد (Serrano و همکاران، ۱۹۹۹) و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شد (Mitchell و همکاران، ۱۹۶۶). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند اشاره نمود (Turgay و Ercan، ۲۰۰۵). فرض صفر این آزمون مبین تصادفی‌بودن و عدم وجود روند در سری و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌هاست.

روش برآوردگر سن مانند روش من‌کندال براساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری زمانی محاسبه شده و میانه سری شیب‌های به دست آمده استخراج می‌گردد، سپس در مورد معنی‌داری شیب نهایی داوری می‌شود.

نتایج و بحث

جهت دستیابی به اهداف این پژوهش در ابتدا آمار بارندگی ایستگاه‌های موجود در حوضه‌های آبخیز غرب استان مازندران از معاونت مطالعات منابع آب سازمان آب منطقه‌ای مازندران تهیه شد. در انتخاب ایستگاه‌های مورد پژوهش، پیوسته بودن آمار و عدم وجود سال‌های فاقد آمار مورد توجه قرار گرفته است. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده در رودخانه‌ی غرب حوزه آبخیز ساحلی شمال (تحت پوشش استان مازندران) را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخاب شده جهت انجام پژوهش

شماره ردیف	کد ایستگاه	نام رودخانه	نام ایستگاه	سال آبی شروع آمار مورد استفاده	سال آبی پایان آمار مورد استفاده	تعداد سال‌های آماری مورد بررسی
۱	۱۴۰۲۱۲۰۲۸	کاظم‌رود	عباس‌آباد تنکابن	۱۳۴۴-۴۵	۱۳۸۸-۸۹	۴۵ سال
۲	۱۴۰۲۱۱۰۴۰	چالوس	پل ذغال	۱۳۳۲-۳۳	۱۳۸۸-۸۹	۵۷ سال
۳	۱۴۰۲۱۳۱۱۲	چالکرود	چالکرود	۱۳۴۴-۴۵	۱۳۸۸-۸۹	۴۵ سال
۴	۱۴۰۲۱۳۰۱۴	شیرود	پل شیرود	۱۳۴۴-۴۵	۱۳۷۹-۸۰	۳۶ سال
۵	۱۴۰۲۱۳۰۱۸	چشمه کیله	هرات‌بر	۱۳۴۷-۴۸	۱۳۸۸-۸۹	۴۲سال
۶	۱۴۰۲۱۳۰۲۷	آزادرود	دینارسرا	۱۳۵۴-۵۵	۱۳۸۸-۸۹	۳۵ سال
۷	۱۴۰۲۱۳۰۳۳	پلنگ آبرود	کلارآباد	۱۳۴۴-۴۵	۱۳۸۸-۸۹	۴۵ سال
۸	۱۴۰۳۱۲۰۰۱	کورکورسر	نوشهر	۱۳۴۴-۴۵	۱۳۸۸-۸۹	۴۵سال
۹	۱۴۰۳۱۱۰۱۱	وازرود	چمستان	۱۳۵۲-۵۳	۱۳۸۸-۸۹	۳۷ سال
۱۰	۱۴۰۳۱۳۰۱۰	لاویج	تنگه لاویج	۱۳۳۷-۳۸	۱۳۷۷-۷۸	۴۱ سال

تغییرات روند نوسانات بارشی ایستگاه‌های منتخب، در چهار فصل بهار، تابستان، پائیز و زمستان و در مقیاس سالانه با آزمون ناپارامتری من‌کندال مورد مطالعه قرار گرفت و برای مشخص نمودن بزرگی روند نیز از آزمون سن استفاده شد. محاسبات در ۱۰ ایستگاه منتخب و برای ۱۲ ماه و ۴ فصل و همچنین در مقیاس سالانه انجام شده است که نتایج آن برای هر ایستگاه به صورت ۱۷ سری زمانی بررسی شده و در مجموع ۱۷۰ سری زمانی بارشی محاسبه شده است.

مقایسه شیب روند بارش نیز برای ماه‌های مختلف سال محاسبه شده است (جدول ۲) و نتایج آن برای مقیاس‌های فصلی و سالانه نیز در نمودارهای ذیل آمده است.

جدول ۲- روند بارشی ماه‌های مختلف سال در ایستگاه‌های منتخب غرب استان مازندران

ماه	نام ایستگاه / نام رودخانه										
	عباس‌آباد تنکابن/کاظم‌رود	پل ذغال/ چالوس	چالکرود/ گانگسر	شیرود/پل شیرود	چشمه کیله/ هراتبر	آزادرود/ دینارسرا	پلنگ آبرود/ کلارآباد	نوشهر/ کورکورسر	چمستان/ وازرود	لاویج/ تنگه لاویج
فروردین	فاقد روند	روند نزولی*	فاقد روند	فاقد روند	روند صعودی**	روند صعودی*	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی*
اردیبهشت	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند صعودی**	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
خرداد	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی*
تیر	فاقد روند	روند صعودی*	فاقد روند	فاقد روند	روند صعودی*	فاقد روند	روند صعودی*	فاقد روند	فاقد روند	روند صعودی*
مرداد	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی**	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
شهریور	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی*	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
مهر	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی**	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
آبان	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی **
آذر	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روندصعودی **
دی	فاقد روند	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
بهمن	روند نزولی **	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند
اسفند	فاقد روند	روند نزولی *	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند	روند صعودی	فاقد روند	فاقد روند	فاقد روند

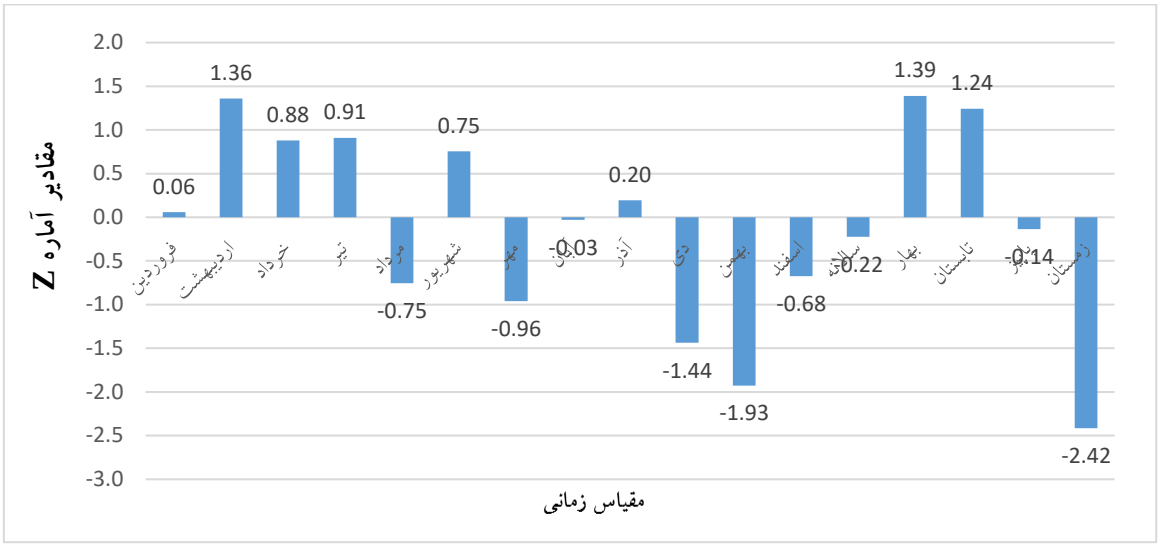
* سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ ** سطح اطمینان ۹۵ درصد

با توجه به محدوده معنی‌داربودن آماره Z در آزمون من‌کندال، ایستگاه رودخانه‌ای عباس‌آباد تنکابن واقع بر روی رودخانه کاظم‌رود، فاقد روند مشخص فصلی در فصول بهار، پائیز و تابستان بوده است و تنها در فصل زمستان دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و همچنین فاقد روند مشخص در مقیاس سالانه بوده است (شکل‌های ۲ و ۳).

در مقیاس ماهانه تنها در آمار بارشی ماه بهمن در این ایستگاه روند نزولی بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده می‌شود و در سایر مواقع سال روند مشخصی وجود نداشته است.

در ایستگاه پل‌ذغال چالوس که در ارتفاع ۳۵۰ متری منطقه قرار دارد و از قدیمی‌ترین ایستگاه‌های هیدرومتری غرب مازندران است و بیشترین طول آماری (۵۷ سال) را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی دارد، نتایج تغییرات روند بارش فصلی و سالانه به صورت ذیل است: در این ایستگاه روند مشخص فصلی در فصل بهار وجود داشته است ولی در فصل تابستان فاقد روند مشخص است. در فصول پائیز و زمستان نیز روند معنی‌دار منفی در سطح اطمینان ۹۹ درصد در داده‌های بارشی این ایستگاه وجود داشته است (شکل‌های ۴ و ۵).

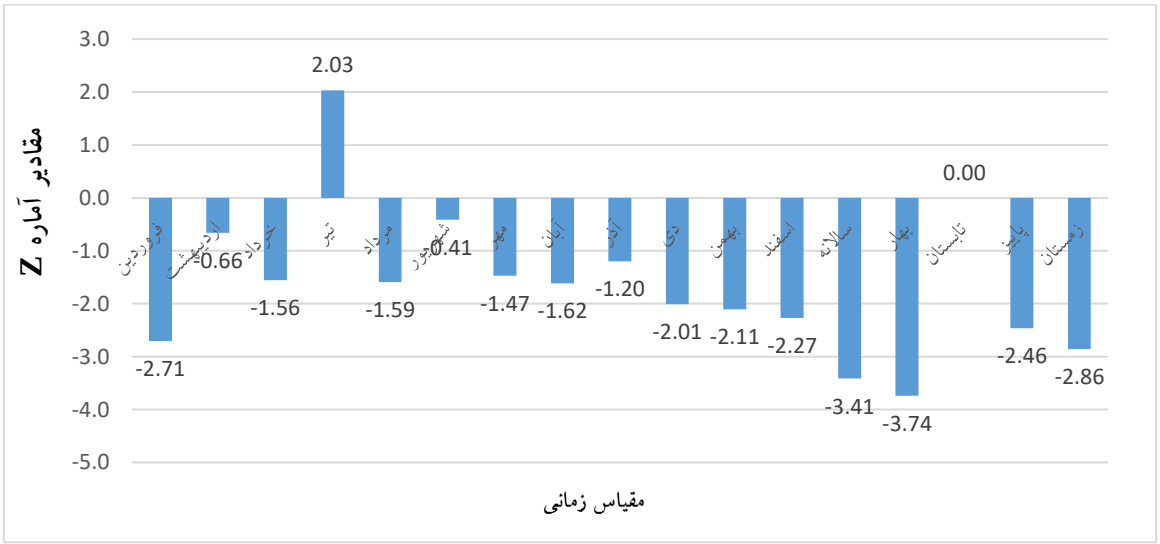
مطالعه تغییرات روند بارشی ماهانه نیز نشان‌دهنده تفاوت‌های زیادی بین ماه‌های مختلف سال بوده است. تغییرات روند بارش ماهانه با استفاده از آزمون سن برای ماه‌های فروردین، دی، بهمن و اسفند در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه پل‌ذغال چالوس برای حدود اطمینان ۹۹ درصد نشان‌دهنده روند منفی بارش در این ماه‌ها می‌باشد و تنها در ماه تیر دارای روند صعودی بوده و در سایر ماه‌های سال نیز روند مشخصی وجود نداشته است (جدول ۲).



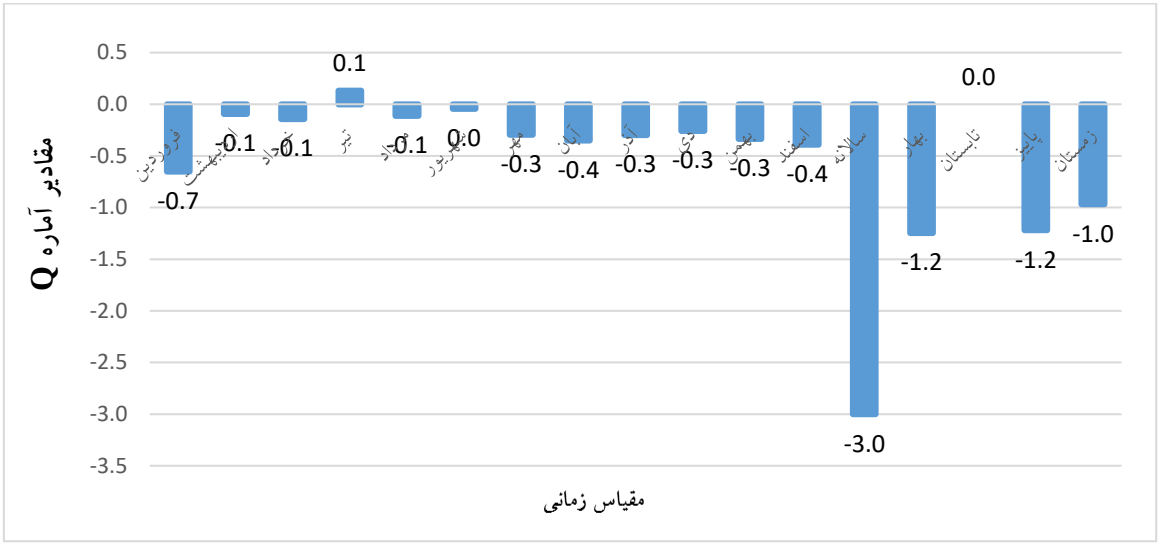
شکل ۲- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه کاظم‌رود عباس‌آباد تنکابن



شکل ۳- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه کاظم‌رود عباس‌آباد تنکابن



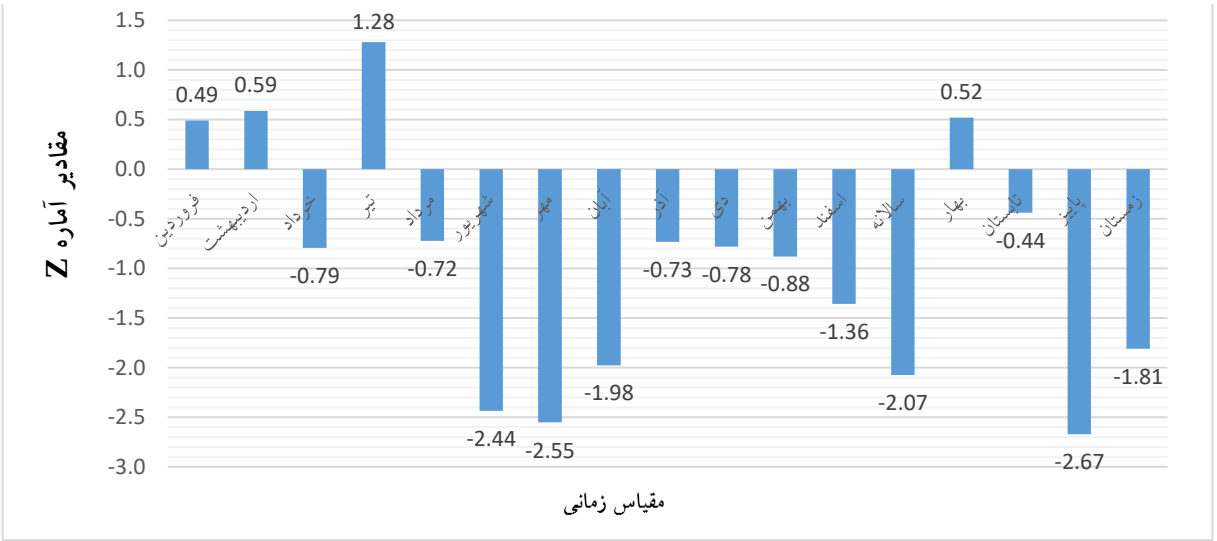
شکل ٤- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه پل‌ذغال چالوس



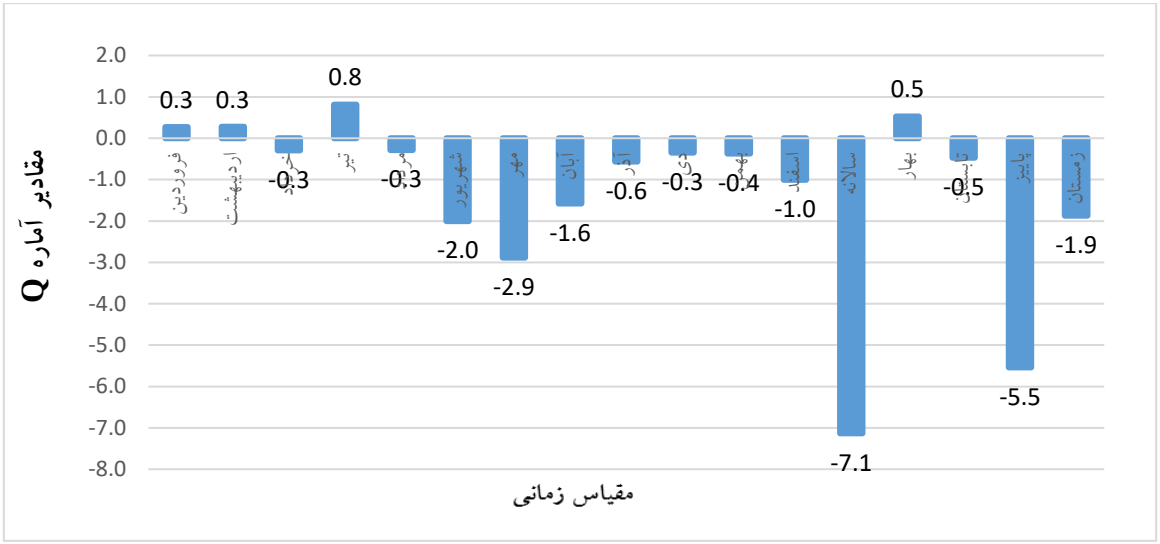
شکل ۵- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه پل‌ذغال چالوس

بررسی های صورت گرفته بر روی روند بارشی ایستگاه رودخانه‌ای چالکرود گانگسر در فصول مختلف سال نشان‌دهنده وجود روند نزولی در مقیاس سالانه و فصول پائیز و زمستان این ایستگاه در طول مدت ۴۵ سال آماری مورد بررسی بوده است. ولی در فصول بهار و تابستان روند مشخصی وجود نداشته است (شکل‌های ۶ و ۷). بررسی روند ماهانه بارش در این ایستگاه نیز نشان می‌دهد که ماه‌های شهریور و مهر دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ماه آبان نیز دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است و در بقیه ماه‌های سال روند مشخصی در داده‌های بارشی این ایستگاه مشاهده نشد (جدول ۲).

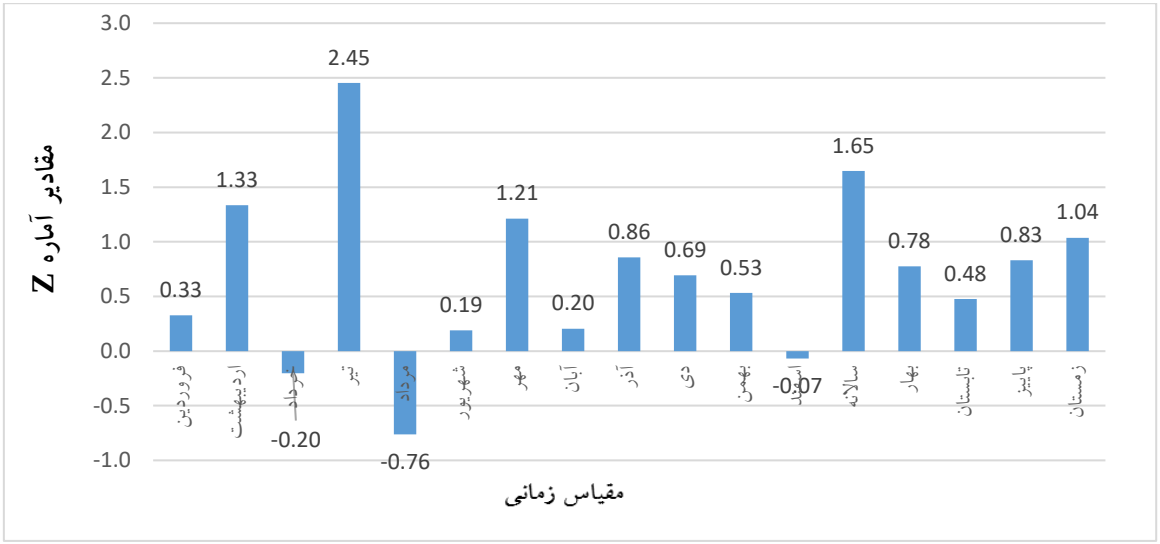
نتایج آماره z آزمون من‌کندال و آماره Q شیب سن در ایستگاه شیرود - پل شیرود که ۳۶ سال آمار دارد، نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه روند صعودی دارد و در سایر فصول سال روند مشخصی در تغییرات بارشی این ایستگاه در طی سال‌های مطالعاتی وجود نداشته است.(شکل‌های ۸ و ۹). بررسی تغییرات روند ماهانه بارش در این ایستگاه (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد که تنها ماه تیر دارای روند مثبت در سطح اعتماد ۹۹ درصد بوده است و در سایر ماه‌های سال روند مشخصی در تغییرات بارشی این ایستگاه وجود نداشته است که نشان‌دهنده نوعی ثبات موقتی در تغییرات بارشی این ایستگاه رودخانه‌ای بوده است.



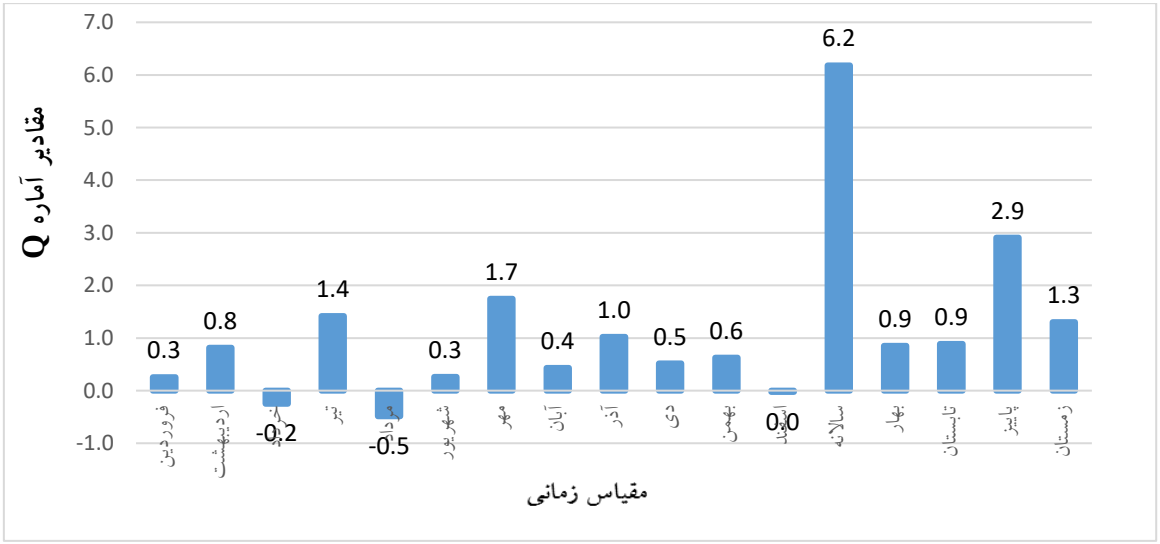
شکل ٦- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چالکرود گانگسر



شکل ۷- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چالکرود گانگسر



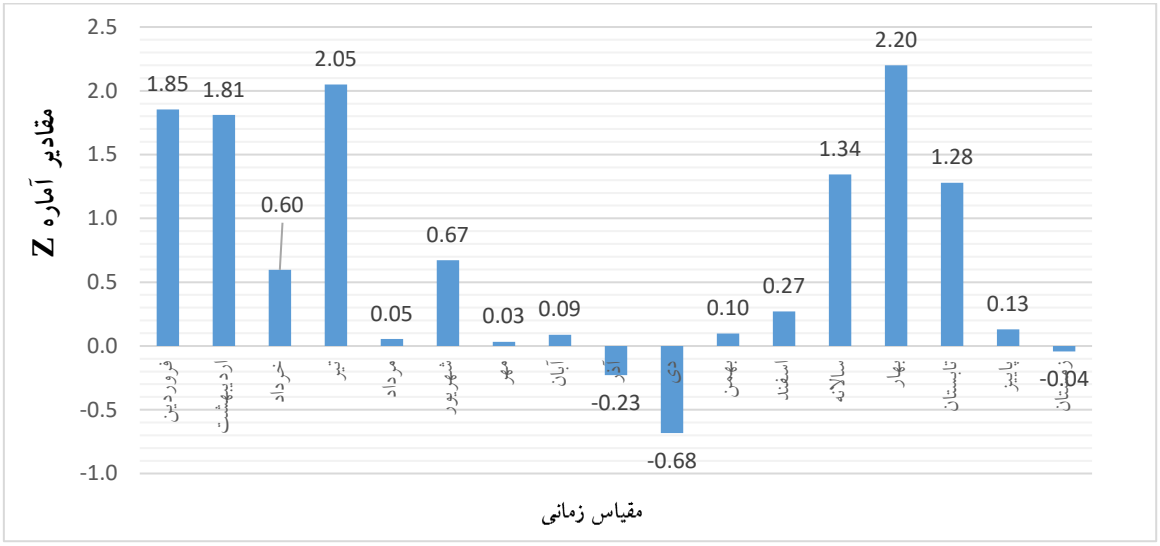
شکل ۸- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه شیرود- پل شیرود



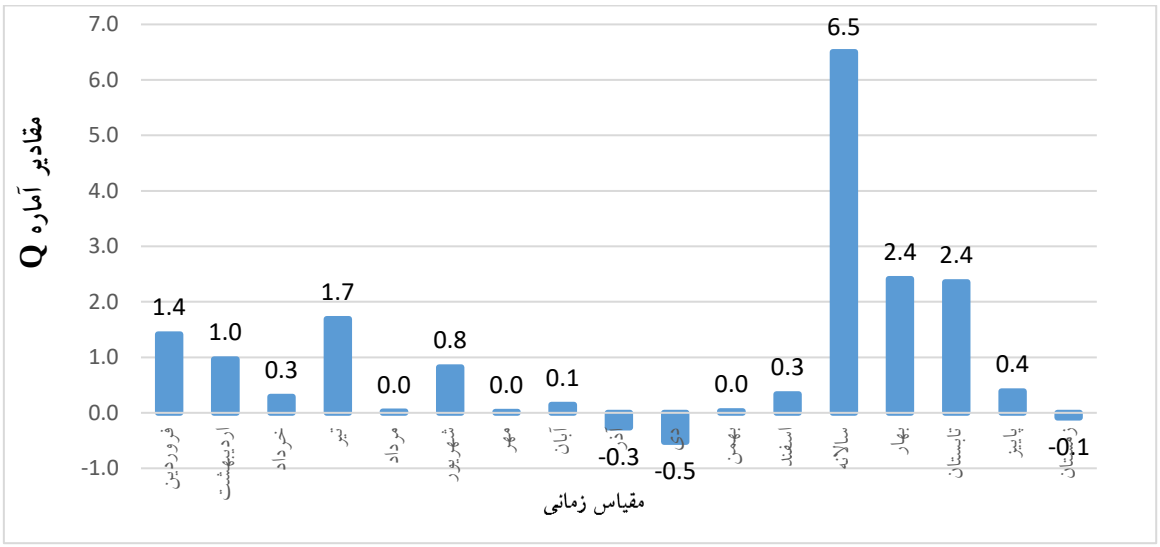
شکل ۹- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه شیرود- پل شیرود

بررسی انجام شده در مورد تغییرات روند بارشی ایستگاه چشمه کیله هرات‌بر در مقیاس فصلی نشان‌دهنده آن می‌باشد که تنها فصل تابستان دارای روند صعودی در سطح اطمینان ۹۹ درصد است و سایر فصول و همچنین در مقیاس سالانه، آمار بارشی این ایستگاه فاقد روند بوده است (شکل‌های۱۰ و ۱۱). در مورد تغییرات روند بارشی ماهانه این ایستگاه نیز ماه‌های فروردین و اردیبهشت مربوط به فصل بهار دارای دارای روند مثبت صعودی در سطح اعتماد ۹۵ درصد و ماه تیر دارای روند صعودی در سطح اعتماد ۹۹ درصد می‌باشند (جدول ۲).

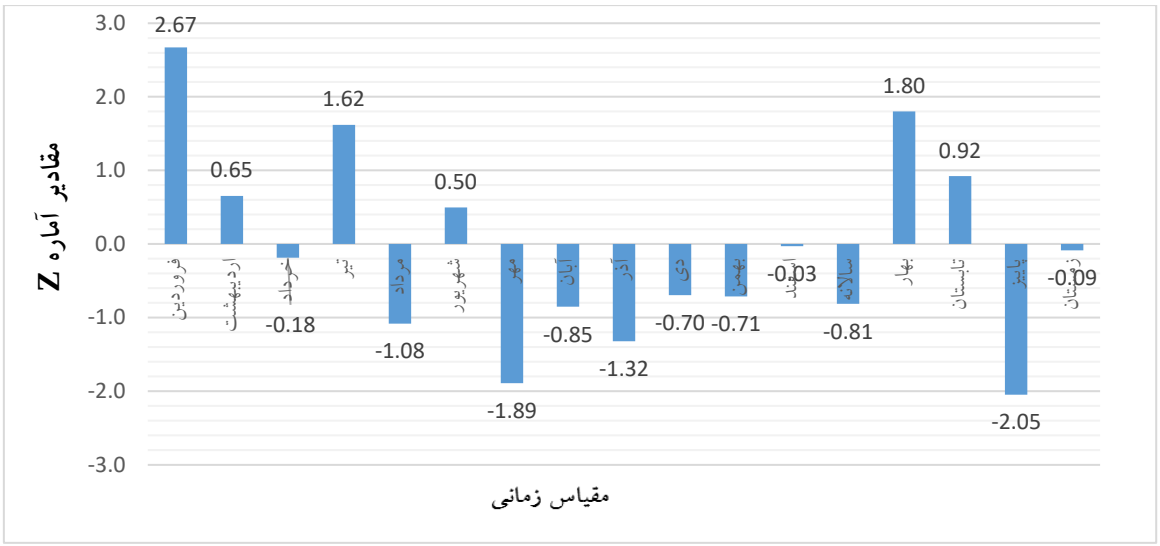
تغییرات بارشی فصلی و سالانه ایستگاه رودخانه‌ای آزادرود دینارسرا نشان‌دهنده روند بارشی بهاره صعودی در سطح اطمینان ۹۵ درصد و همچنین روند پائیزه نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد در این ایستگاه بوده است و در فصول تابستان و زمستان و همچنین در مقیاس سالانه روند مشخصی در داده‌های بارشی این ایستگاه در طی دوره مطالعاتی وجود نداشته است (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). در مقیاس ماهانه نیز این ایستگاه دارای روند صعودی مشخصی در ماه فروردین و روند نزولی در ماه مهر بوده است (جدول ۲).



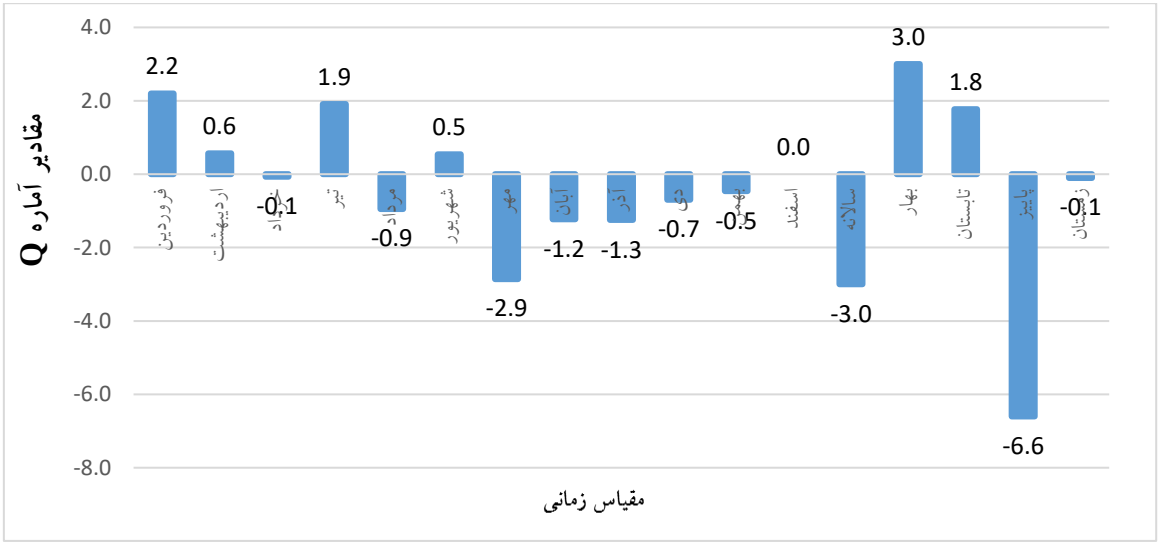
شکل ۱۰- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چشمه کیله هرات‌بر



شکل ۱۱- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چشمه کیله هرات‌بر

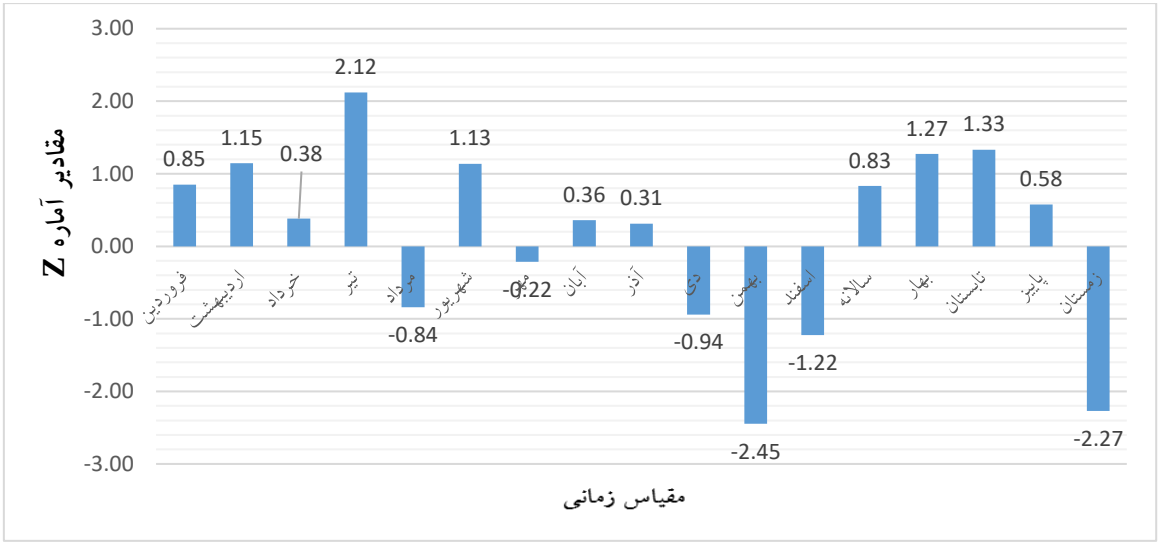


شکل ۱۲- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه آزادرود دینارسرا

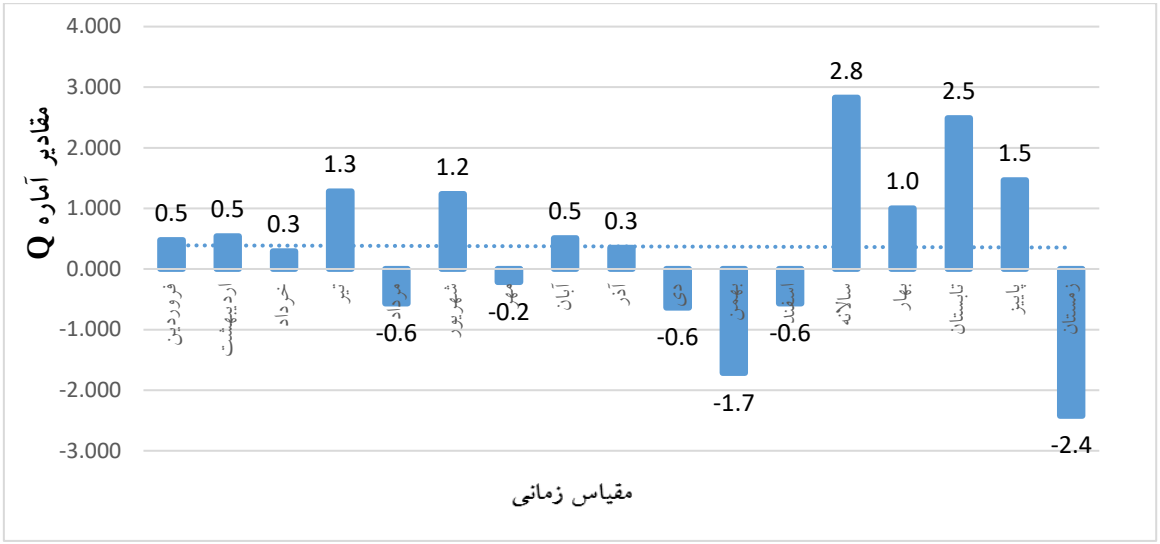


شکل ۱۳- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه آزادرود دینارسرا

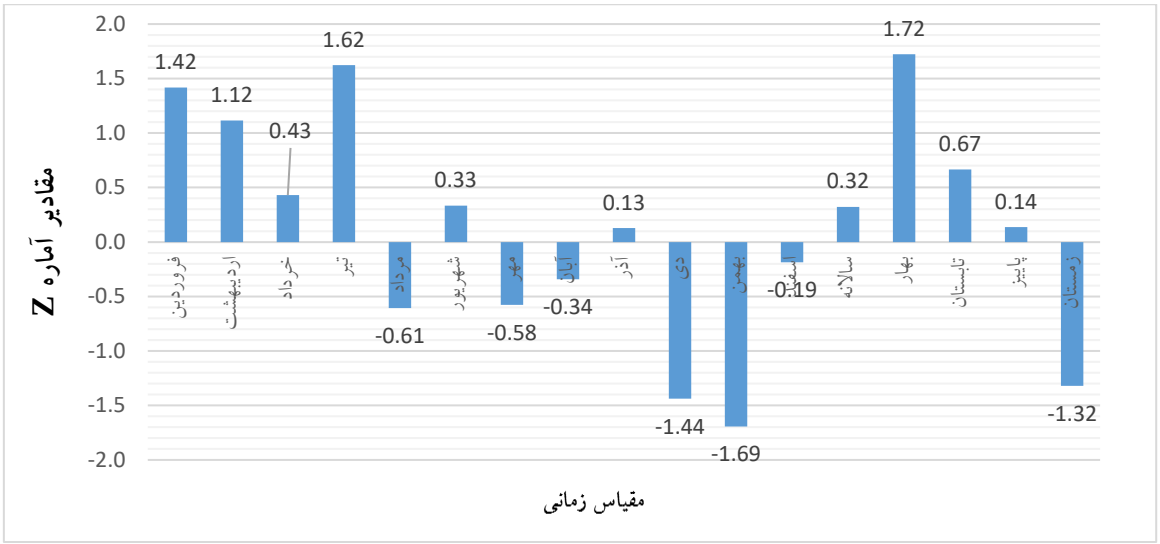
بررسی انجام شده در ایستگاه رودخانه‌ای پلنگ آبرود کلارآباد نشان می‌دهد که در مقیاس‌های فصلی و سالانه تنها فصل زمستان دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد بوده است (شکل‌های ۱۴و ۱۵) و در مقیاس ماهانه نیز ماه تیر دارای روند صعودی بارشی در سطح اطمینان۹۹ درصد و ماه بهمن دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد بوده است و سایر ماه‌های سال فاقد روند مشخصی بوده است (جدول ۲). نتایج آزمون من‌کندال و شیب سن ایستگاه نوشهر- کورکورسر نشان‌دهنده این موضوع است که تنها در فصل بهار روند بارشی این ایستگاه رودخانه‌ای دارای روند صعودی در سطح اطمینان ۹۹ درصد بوده است و در سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه روند مشخصی مشاهده نشده است (شکل‌های ۱۶ و ۱۷).در مورد تغییرات روند بارشی ماهانه این ایستگاه نیز در هیچ یک از ماه‌های سال روند مشخصی در مقدار بارش مشاهده نشد که نشان از ثبات نسبی مقادیر بارشی ثبت شده این ایستگاه است (جدول ۲).



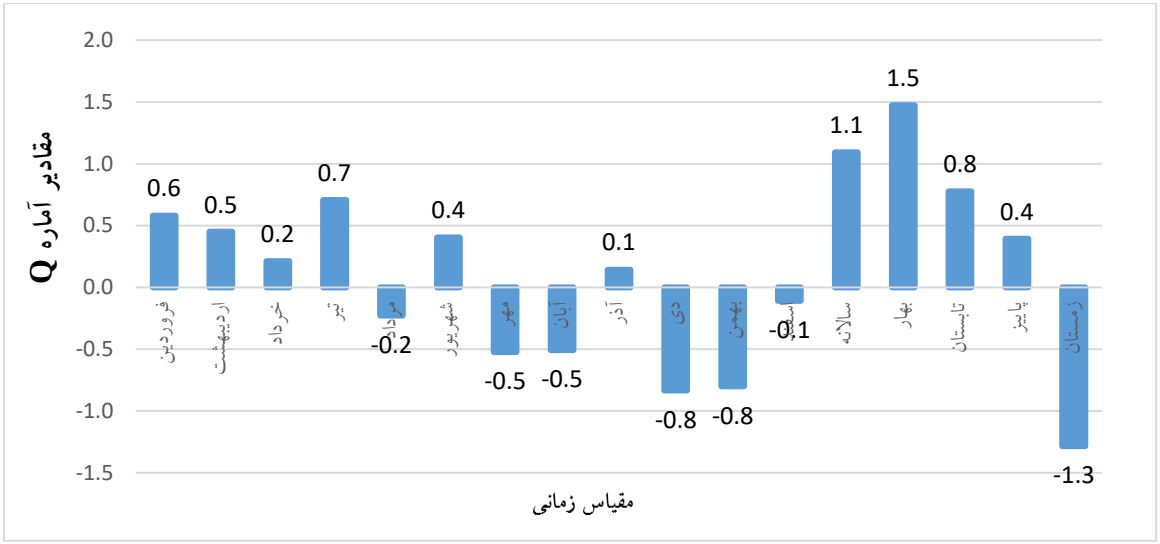
شکل ۱۴– روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه پلنگ آبرود کلارآباد



شکل ۱۵– شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه پلنگ آبرود کلارآباد



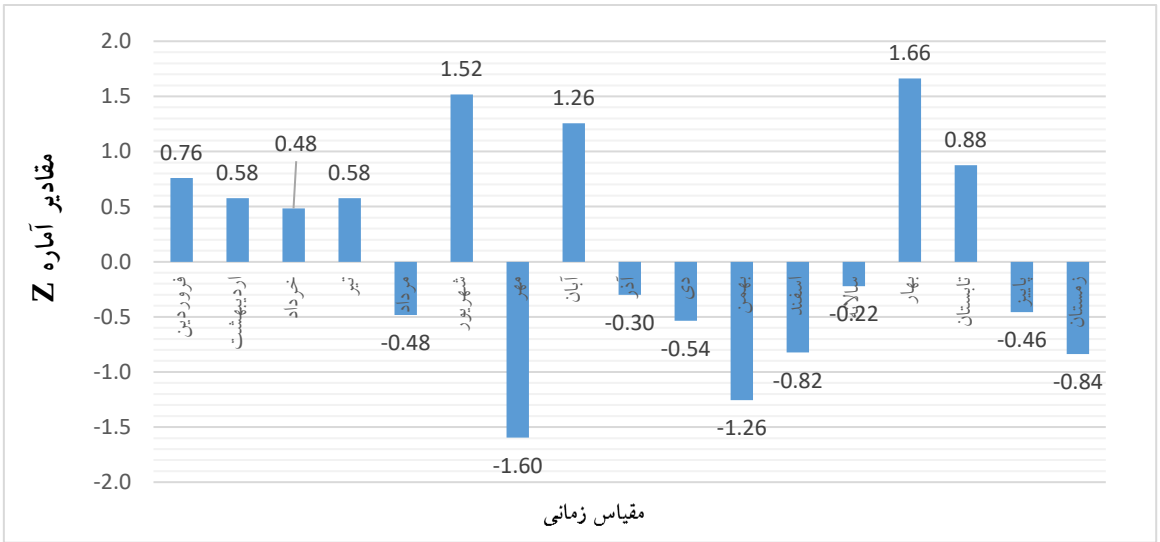
شکل ۱۶– روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه نوشهر کورکورسر



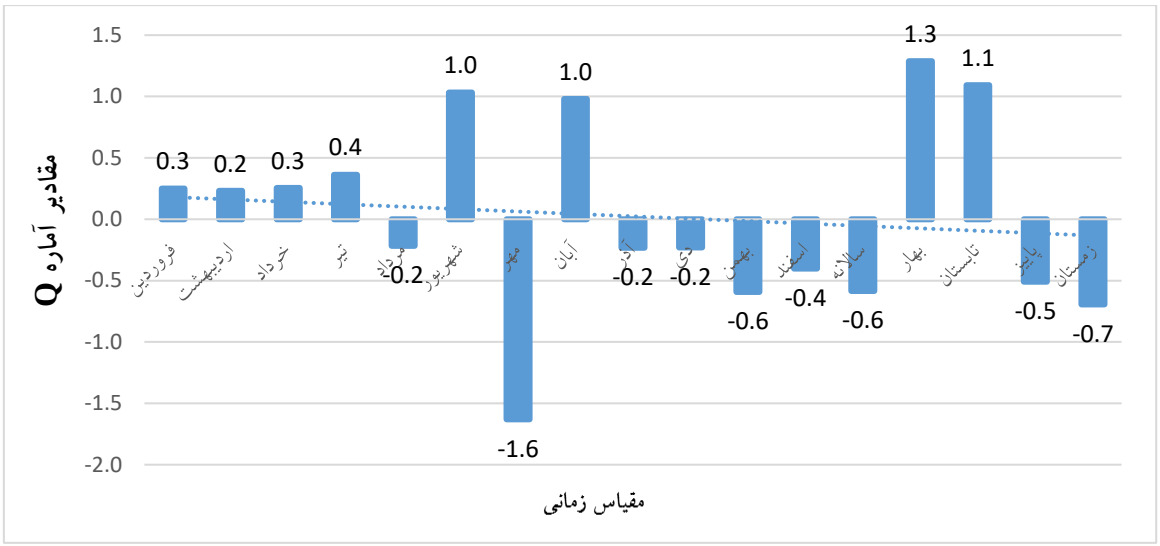
شکل ۱۷- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه نوشهر کورکورسر

نتایج روند بارشی دو ایستگاه دیگر مورد بررسی یعنی ایستگاه رودخانه‌ای چمستان وازرود و ایستگاه رودخانه‌ای لاویج- تنگه لاویج که در انتهائی‌ترین بخش شـــرقی محدوده مورد مطالعه قرار دارد به شرح ذیل بوده است:

در حوزه رودخانه‌ای چمســـتان وازرود نتایج بررســـی تغییرات روند بارشی سالانه و فصلی نشان‌دهنده این موضوع است که تنها فصل بهار دارای روند بارشی صعودی در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد و سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه فاقد روند می‌باشد (شکل‌های ۱۸و ۱۹). در مورد روند ماهانه این ایستگاه نیز با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شده است که ماه‌های اردیبهشت و خرداد از فصل بهار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ماه آبان از فصل پائیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند نزولی بوده‌اند. همچنین ماه تیر از فصل تابستان دارای روند صعودی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ماه آذر از فصل پائیز دارای روند صعودی در سطح اعتماد ۹۵ درصد بوده است (جدول ۲).

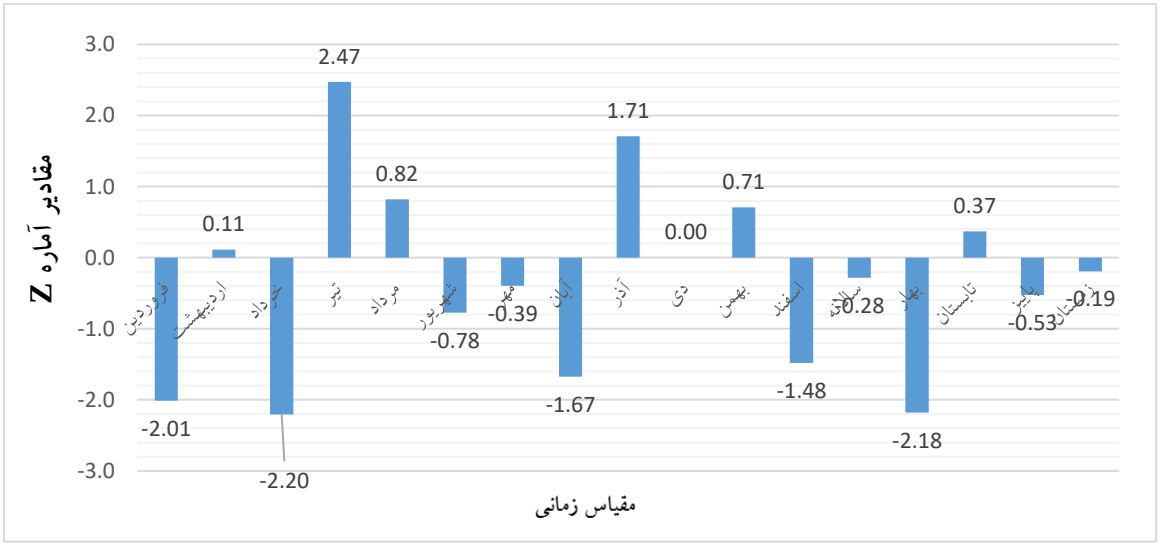


شکل ۱۸- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چمستان وازرود

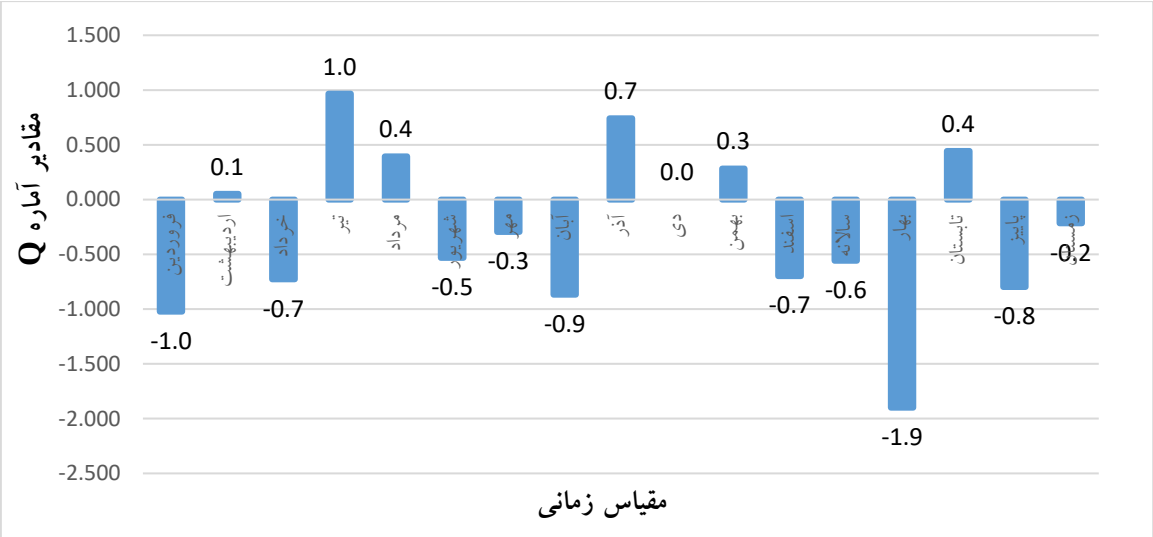


شکل ۱۹- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه چمستان وازرود

آخرین ایستگاه مورد بررسی روند بارشی در منتهی‌الیه شرقی محدوده مطالعاتی ایستگاه رودخانه‌ای لاویج-تنگه لاویج بوده است که نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که در مقیاس‌های فصلی و سالانه تنها فصل بهار دارای روند نزولی بوده است و سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه روندی مشاهده نشد (شکل‌های۲۰ و ۲۱). در مقیاس ماهانه نیز ماه‌های فروردین و خرداد از فصل بهار دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ماه آبان از فصل پائیز نیز دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است. همچنین روند صعودی نیز در ماه‌های تیر از فصل تابستان در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ماه آذر از فصل پائیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شده است (جدول ۲).



شکل ۲۰- روند تغییرات آماره z آزمون من‌کندال در محدوده دوره آماری بررسی شده ایستگاه لاویج تنگه لاویج



شکل ۲۱- شیب روند بارش براساس آزمون سن در محدوده دوره آماری بررسی ایستگاه لاویج تنگه لاویج

نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده تغییرات روند بارشی و بی‌نظمی‌های اقلیمی در آب و هوای ناحیه می‌باشد که می‌تواند ناشی از اثرات تغییرات اقلیمی آب و هوائی و انسان انگیخته در این ناحیه باشد. در ایستگاه عباس‌آباد تنکابن نوسانات بارشی تنها در فصل زمستان روند نزولی دارد که این نتایج در مقیاس ماهانه این ایستگاه نیز قابل مشاهده است که نشان‌دهنده کاهش آبی فصل زمستان در این ایستگاه رودخانه‌ای است. با توجه به چرخه‌های بارشی و نوسانات اقلیمی که بر این منطقه نیز تاثیرگذار بوده است، می‌توان به درک آشکارتری از شرایط آب و هوائی موجود در منطقه دست یافت. در ایستگاه پل ذغال چالوس که در منطقه کوهستانی شهرستان چالوس قرار دارد و دارای بیشترین طول دوره آماری مورد بررسی است، نتایج روند در سه فصل بهار، پائیز و زمستان و همچنین در مقیاس سالانه دارای روند نزولی در سطح اطمینان ۹۹ درصد یعنی با احتمال بیشتری بوده است و تنها در فصل تابستان در این ایستگاه روند مشخصی وجود نداشت که این موضوع از مطالعه تغییرات روند ماهانه این ایستگاه نیز آشکارتر می‌شود و در کل نشان‌دهنده این موضوع است که روند تغییرات بارشی این ایستگاه در اکثر مواقع سال دارای روند منفی بوده که قابل مطالعه و پژوهش است. در ایستگاه چالکرود گانگسر نیز در فصول پائیز و زمستان و همچنین در مقیاس سالانه دارای روند منفی با سطوح احتمال مختلف بوده است. کاهش آب‌های بارشی ماه‌های فصل پائیز و زمستان این ایستگاه می‌تواند مشکلات ناحیه‌ای ناشی از کمبود آب در این منطقه را تسریع نماید که نیاز به برنامه‌ریزی بیشتر و استفاده مفیدتر از منابع آبی را طلب می‌نماید. نتایج تغییرات روند بارشی ایستگاه شیرود – پل شیرود نیز تنها در مقیاس سالانه دارای روند صعودی بوده است و در فصول مختلف سال روند مشخصی مشاهده نشد که این نتایج با نوسانات اندکی در مطالعات روند بارشی ماهانه نیز قابل دریافت است. با توجه به اینکه بررسی روند نوسانات بارشی نیاز به مطالعه آمار طولانی مدت دارد، لذا ممکن است که همین ثبات نسبی موقتی در مقادیر بارشی این ایستگاه در آینده دچار نوساناتی شود که نیاز به آمادگی برای برنامه‌ریزی مدیریت مواقع کم‌آبی و پرآبی را طلب نماید. نتایج بررسی نوسانات بارشی ایستگاه چشمه کیله هرات‌بر در بازه زمانی ۴۲ ساله نشان‌دهنده روند افزایشی بارش فصل بهار در این ایستگاه بوده است و در سایر فصول سال، همچنین در مقیاس سالانه روند مشخصی وجود نداشت. با توجه به اینکه بارش‌های بهاره می‌تواند باعث پدیده سیل در منطقه شود، آمادگی برای مقابله با سیل و انجام امور آبخیزداری در این حوضه می‌تواند راهگشا باشد. در ایستگاه رودخانه‌ای آزادرود دینارسرا نیز از مطالعه تغییرات روند بارشی فصلی و سالانه این ایستگاه مشاهده می‌شود که فصل تابستان دارای روند صعودی، فصل پائیز دارای روند نزولی و در سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه فاقد روند مشخصی بوده است. افزایش روند تابستانه نیز درصورتی‌که این بارش‌ها به صورت رگبارهای با مدت زمان کم باشد می‌تواند باعث پدیده سیل‌خیزی ناحیه شود که نیاز به مطالعه بیشتری دارد. ایستگاه پلنگ آبرود کلارآباد نیز تنها در فصل زمستان دارای روند نزولی در سطح اعتماد ۹۹ درصد بوده است و در سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه روند مشخصی مشاهده نشد. در این ایستگاه نیز کمبود منابع آبی زمستانه ناشی از چرخه‌های بارشی ناحیه‌ای مشاهده می‌شود که نشان از اثرات تغییر اقلیم ناحیه‌ای در این منطقه می‌باشد. ایستگاه کورکورسر نوشهر نیز تنها در ماه بهار روند صعودی دارد که نتایج آن تقریباً مشابه ایستگاه آزادرود دینارسرا است؛ به‌طوری‌که افزایش روند تابستانه نیز درصورتی‌که این بارش‌ها به صورت رگبارهای با مدت زمان کم باشد، می‌تواند باعث پدیده سیل‌خیزی ناحیه شود که انجام مطالعات بیشتری را ضروری می‌سازد. همین نتایج با تغییرات اندکی برای ایستگاه چمستان وازرود نیز وجود دارد به‌طوری‌که افزایش روند

صعودی بهاره را در روند بارشی این ناحیه نیز مشاهده می‌کنیم. باتوجه‌به اینکه این منطقه کاملاً کوهستانی است روند افزایشی ماه بهار درصورتی‌که به صورت برف باشد و درصورت افزایش ریزش باران با توجه‌به اثرات تغییرات اقلیمی آتی و اثر آن بر افزایش دمای ناحیه‌ای و زیادشدن دبی تجمعی ناشی از باران و برف، می‌تواند در رخداد احتمالی سیل ناحیه تأثیرگذار باشد که آمادگی برای این رخداد را ضروری می‌سازد. نتایج روند بارشی در ایستگاه لاویج -تنگه لاویج نیز نشان‌دهنده روند کاهشی بهاره و عدم وجود روند در سایر فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه بوده است. وضعیت کاهشی روند آب ناحیه‌ای در فصل بهار که کشاورزان منطقه نیاز به آب دارند، می‌تواند باعث تأثیرات خشکسالی ناحیه‌ای شود که این امر نیز نیاز به مدیریت صحیح منابع آبی این حوضه را ضروری می‌سازد. در یک نتیجه‌گیری کلی آشکار می‌شود که الگوی آب و هوائی موجود در منطقه نشان‌دهنده اثرات تغییرات اقلیمی و نوسانات شرایط بارشی بر حوزه مورد مطالعه است و این چرخه‌های اقلیمی می‌توانند باعث ناهنجاری‌های اقلیمی بیشتری گردد، به‌صورتی‌که در مواقعی از سال باعث ایجاد سیلاب و در مواقع دیگر موجب خشکسالی گردد و این موضوع می‌تواند بر ساختار کشاورزی و زیست محیطی منطقه تأثیر بگذارد. نتایج گرفته شده از این پژوهش در غرب استان مازندران از منطقه رامسر تا نور نشان‌دهنده تغییرات جزئی و یا عمده در وضعیت روند بارشی این حوضه می‌باشد. از بررسی ایستگاههای مناطق کوهستانی و جلگه‌ای این منطقه می‌توان به یک نتیجه‌گیری کلی از تغییرات روند بارشی این حوضه دست یافت. این تغییرات در روند بارشی نیز تأییدکننده تأثیر تغییرات اقلیمی بر شرایط بارشی این منطقه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر نوسانات روند بارش بر چرخه‌های هیدرولوژیک این ناحیه واقع در غرب استان مازندران می‌باشد. نوسانات بارشی یکی از عوامل مهم در اکولوژی ناحیه‌ای و فعالیت‌های کشاورزی است. رشد گیاهان جنگلی و مرتعی می‌توانند به خاطر این تغییرات دستخوش تحولات ناحیه‌ای شود که می‌تواند فعالیت‌های کشاورزی و تأمین علوفه دام را در مواقع خشکسالی با چالش‌های جدی روبرو سازد. از طرف دیگر، افزایش ناگهانی آب‌های فصلی نیز در صورت عدم مهار هرزآب‌ها و مدیریت صحیح آبخیزداری می‌تواند این چالش‌های آبی ناحیه‌ای را تشدید نماید. با توجه به مسائل مطرح شده، در صورت مدیریت صحیح منابع آبی و برنامه‌ریزی به منظور سازگارشدن با این تغییر شرایط بارش می‌توان انتظار شرایط بهتری را در حوزه کشاورزی ناحیه‌ای داشت. به‌صورتی‌که در فصول پرآبی بتوان آب‌های اضافی را با روش‌های آبخیزداری ذخیره‌سازی نمود و از آن در مواقع خشکسالی استفاده کرد. نظر به فشارهای جمعیتی سده اخیر و با توجه اینکه این ناحیه کاملاً گردش‌گرپذیر می‌باشد و افزایش فشار بر اکوسیستم رودخانه‌ای، موضوع برنامه ریزی آبخیزداری در این منطقه بسیار حیاتی و مهم ستت. در صورت فقدان یک برنامه مدیریت منسجم منابع آبی و برنامه‌ریزی صحیح برای حوضه‌های کشاورزی و مرتعداری و همچنین دامداری ناحیه که از مصرف‌کنندگان آب می‌باشند، می‌توان شاهد افزایش روند خشکسالی‌ها در مواقع کم آبی بود که تأثیر بلندمدت خود را بر تولید محصولات ناحیه و خطرات احتمالی آتش‌سوزی جنگل‌ها در مواقع خشکسالی باقی خواهد گذاشت. همچنین می‌توان شاهد افزایش روند سیل و رانش زمین و خطرات طبیعی ناشی از تغییرات اقلیمی در مواقع پرآبی بود. با توجه به مسائل مطرح شده، راهکارهای مدیریتی آبخیزداری در این موارد می‌تواند بسیار کارآمد و مفید واقع گردد.

منابع

رضائی‌پژند، حجت، و جانفدا، مجید. (۱۳۹۲). کاربرد رگرسیون مارس در برآورد بار معلق مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز خراسان رضوی. تحقیقات منابع آب ایران، ۹(۳)، ۸۸-۹۳.

رحیم زاده، فاطمه، هدایت دزفولی، اکرم، و پوراصغریان، آرزو. (۱۳۹۰). ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان. جغرافیا و توسعه، ۹(۲۱)، ۱۱۶-۹۷. https://doi.org/10.22111/GDIJ.2011.583

میرعباسی، رسول، و دین‌پژوه، یعقوب. (۱۳۸۹). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. آب و خاک، ۲۴(۴)، ۷۶۸-۷۵۷. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3901

Adib, A., Ahmadeanfar, I., Salarijazi, M., Labibzadeh, M., & Vaghefi, M. (2012). Optimization of released water from the Dez dam for supply of water demands in the downstream of dam. Applied Mechanics and Materials, 147, 187-190. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.147.187

Ahmadianfar, I., Adib, A., & Salarijazi, M. (2015). Optimizing multireservoir operation: Hybrid of bat algorithm and differential evolution. J. Water Resour. Plan. Manage, 142(2), 05015010. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000606

Bihrat, O., & Mehmetcik, B. (2003). The Power of Statistical tests for Trend Detection. Journal Turkish Engineering of Environment Science, 27, 247-25.

Boccolari, M. & Malmusi, S. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. Atmospheric Research, 122, 16-31. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.10.022.

Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Zare Abianeh, H., & Mostafaeipour, A. (2014). Effect of short term and long term persistence on identification of temporal trends. Journal of Hydrologic Engineering, 19(3), 617-625. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000819

Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. Global and Planetary Change, 100, 172-182. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014

Khaled, H. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. Journal of Hydrology, 204, 182-196. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

Kousari, M.R., Ahani, H., & Hendi-Zadeh, R. (2013). Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960–2005. Global and Planetary Change, 111, 97-110. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.08.011

Martinez, C., Maleski, J. & Miller, F. (2012). Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. Journal of Hydrology, 453, 259-281. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.066

Mitchell, J. M., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hoftneyr, W.L., Lamb, H. H., Rao, K.N., & Wallen, C.C. (1966). Climat Change, WMO Technical Not No 79, World Meteorological Organization.

Serrano, A., Mateos, V.L., & Garcia, J.A. (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. phys. Chem. EARTH (B), 24(1-2), 85-90. https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00016-1

Tabari, H., & Hosseinzadeh-Talaee, P. (2011). Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. Atmospheric Research, 79, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.07.008

Tharme, R.E. (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River research and applications, 19, 5-6. 397-441. https://doi.org/10.1002/rra.736

Turgay, P., & Ercan, K. (2006). Trend Analysis in Turkish Precipitation data. Hydrological processes, 20, 2011-2026. Published online 23 December 2005 in wiley Interscienc (www.Interscience.wiley.com). https://doi.org/10.1002/hyp.5993

Wang, Q., Fan, X., Qin, Z., & Wang, M. (2012). Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. Global and Planetary Change, 93, 138-147. https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2012.05.010

Yang, X.L., Xu, L.R., Li, C.h., Hu, J. & Xia, X.H. (2012). Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan River basin during last 53 years. Procedia Environmental Sciences, 13, 1966-1974. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.222

Zhang, L., & Singh, V.P. (2006). Bivariate flood frequency analysis using the copula method. J. Hydrol. Engin, 11(2), 150-164. http://dx.doi.org/10.1061

پی‌نوشت‌ها

1- Mann-Kendall

2- Sen's Estimator

۳-رودخانه نمارستاق یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه هراز می‌باشد.

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۴

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). pages 151 to 164

نوع مقاله: پژوهشی کاربردی

Document Type: Applied Research Article

نقش تسهیل‌گری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در پروژه انتقال آب به دشت سیستان

The Role of Social Facilitation in Empowering Local Communities to Participate in Water Transfer Project to the Sistan Plain

ام‌البنین خواجه[۱]، عنایت عباسی[۲*]، همایون فرهادیان[۳]

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

***رایانامه نویسنده مسئول:** enayat.abbasi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت ◄ ۱۴۰۵/۰۱/۲۶
تاریخ بازنگری ◄ ۱۴۰۵/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش ◄ ۱۴۰۵/۰۴/۲۸
تاریخ انتشار ◄ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

طرح آبیاری ٤٦ هزار هکتاری دشت سیستان در سال ۱۳۹۳ به‌عنوان یکی از مهمترین طرح‌های آب‌رسانی در کشور به‌صورت اجرایی آغاز شده است. تسهیلگران اجتماعی به عنوان افرادی توانمند، آگاه و آشنا به مسائل و روابط اجتماعی خاص در منطقه سیستان نقش مهمی در جلب مشارکت مردم در طرح داشتند. هدف از این پژوهش بررسی نقش تسهیل‌گری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در طرح انتقال آب به دشت سیستان بود. پژوهش از نوع توصیفی ـ همبستگی و علّی ـ مقایسه‌ای است که به‌صورت میدانی انجام شده است. جامعه آماری شامل کلیه کشاورزان مشمول طرح انتقال آب (N=٥٦٦٣٩) بودند که ۳۸۱ نفر از آن‌ها با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب انتخاب شدند. ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، پرسشنامه‌ای بود که روایی آن توسط اساتید و متخصصان به تأیید رسید و پایایی با استفاده از محاسبه ضریب آلفای کرونباخ محقق شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار $SPSS_{26}$ و از آزمون‌های آماری مرتبط استفاده شد. یافته‌ها نشان داد متغیرهای اعتمادسازی، آگاهی‌بخشی، نهادسازی و جریان‌سازی، ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی و دانش و مهارت فنی با متغیر توانمندسازی مردم محلی رابطه معنی‌داری داشتند. همچنین یافته‌ها نشان داد بین متغیر توانمندسازی با مشارکت مردم در انجام طرح، رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. نتایج تحلیل علّی حاکی از آن بود که متغیر توانمندسازی بیشترین اثر علی کل بر روی متغیر مشارکت را دارد. متغیرهای اعتمادسازی، نهادسازی و جریان‌سازی، دانش و مهارت فنی، ویژگی‌های شخصیتی و آگاهی‌بخشی در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: طرح‌های انتقال آب، تسهیل‌گری اجتماعی، اعتمادسازی، توانمندسازی، نهادسازی.

Abstract

The 46,000-hectare Sistan plain irrigation project was launched in 2014 as one of the most important water-supply projects in the country. Social facilitators, as capable, aware individuals familiar with the specific social issues and relationships in the Sistan region, played a key role in gaining public support and participation in the project. The aim of this research was to examine the role of social facilitation in empowering local communities to participate in the Sistan plain water transfer project. The research was descriptive-correlational, and causal-comparative conducted as field research. The statistical population included all farmers covered by the water-transfer project (N = 56,639), of whom 381 were selected as the sample using stratified random sampling with proportional allocation. The data collection tool was a questionnaire, its validity was confirmed by experts and its reliability was achieved using Cronbach's alpha coefficient. SPSS 26 software and correlational and comparative statistical tests were used to analyze the data. The findings indicated that the variables of trust-building, awareness-raising, institution-building and mainstreaming, as well as personality and psychological characteristics, and technical knowledge and skills, had a significant relationship with the empowerment variable of local people. Furthermore, the findings revealed a positive and significant relationship between the empowerment variable and public participation implementation of the project. The results of the causal analysis indicated that the empowerment variable had the greatest overall causal effect on the participation variable. The variables of trust-building, institution-building and mainstreaming, technical knowledge and skills, personality characteristics, and awareness-raising were in the next ranks.

Keywords: Water Transfer Projects, Social Facilitation, Trust-Building, Empowerment, Institution- Building.

O. Khajeh[1], E. Abassi[2*], H. Farhadian[3]

1, 2, 3- M.Sc. Graduated, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*** Corresponding, Author Email:** enayat.abbasi@modares.ac.ir

Received ▶ 15-04-2026
Revised ▶ 14-06-2026
Accepted ▶ 19-07-2026
Available online ▶ 16-09-2026

How to cite this article:

Khajeh, O., Abbasi, E. and Farhadian, H. (2026). The Role of Social Facilitation in Empowering Local Communities to Participate in Water Transfer Project to the Sistan Plain. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 151-164. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2604-1512

مقدمه

بحران آب در ایران سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود و استفاده نادرست از منابع آب در کشور است. کمبود آب می‌تواند نتیجه دو مکانیسم متفاوت باشد: کمبود آب فیزیکی (مطلق) و کمبود آب اقتصادی. منظور از کمبود آب فیزیکی عدم وجود منابع کافی آب طبیعی برای تأمین تقاضای یک منطقه است و کمبود آب اقتصادی نتیجه مدیریت ضعیف منابع آب کافی موجود است. نگرانی‌های اصلی ایران در مورد بحران آب شامل: تغییرپذیری اقلیمی زیاد، توزیع نامناسب آب و اولویت‌بندی توسعه اقتصادی است. ایران در حال تجربه مشکلات جدی آب است. خشکسالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش از حد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از زیرساخت‌های هیدرولیکی و چاه‌های عمیق، وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از نشانه‌های این وضعیت خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، کاهش کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گردوغبار است (قائدی و همکاران، ۱۳۹۴). گذشت زمان، رشد شهرها و افزایش جمعیت، افزایش تولید محصولات مختلف کشاورزی را ضرورت بخشیده است (خدابخشی و خدابخشی، ۱۳۸۵). بازده مصرف آب در ایران چیزی کمتر از ۴۰ درصد برآورد می شود که از حد استاندارد جهانی پایین تر است (نوری‌پور و نوری، ۱۳۹۲). دشت سیستان واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان با مساحتي بالغ بر ۳۵۰ هزار هکتار، دشت سیلابي رودخانه هیرمند و يكي از حاصلخیزترین دشت‌های استان می‌باشد. میانگین آورد طبیعی سالانه رودخانه هیرمند در حوضه بالادست (پیش از احداث سدهای بزرگ) حدود ۹/۳ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است، اما در سال‌های اخیر، میانگین آورد واقعی به طور محسوسی کاهش یافته است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰).

با تغییرات اقلیمی دو دهه اخیر و به‌تبع آن بحرانی شدن خشکسالی در منطقه سیستان و کاهش آب ورودی به چاه‌نیمه‌ها که تنها مخازن تأمین آب در دشت سیستان می‌باشند و به خطر افتادن کشاورزی منطقه که شغل اکثریت جامعه روستایی سیستان است، لزوم چاره‌اندیشی برای کنترل، مدیریت و افزایش بهره‌وری در مصرف آب بالأخص در بخش کشاورزی ضروری شد (همایون‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵). با بحران خشکسالی در منطقه سیستان هرچند دیر، بالاخره دولتمردان و مسؤولین را به فکر چاره‌اندیشی در این خصوص‌انداخت و با بررسی‌های انجام شده توسط کارشناسان و متخصصین، طرح انتقال آب به اراضی کشاورزی دشت سیستان به‌عنوان راهی جهت مدیریت بهینه منابع محدود آب در منطقه، تدوین و مصوب شد.

طرح آبیاری ۴۶ هزار هکتاری دشت سیستان در سال ۱۳۹۳ به‌عنوان یکی از مهمترین طرح‌های آبرسانی در کشور به‌صورت اجرایی آغاز شد. اعتبار این طرح در مرحله نخست اجرا، از محل منابع صندوق ملی به مبلغ ۵۰۰ میلیون دلار و پس از پیشرفت مراحل اجرایی در مرحله دوم به مبلغ ۳۵۰ میلیون دلار بود. فاز اول این طرح در سال ۱۳۹۹ به بهره‌برداری رسید و در این مرحله کشاورزان برخی از مناطق که این طرح در آن‌ها پیاده‌سازی شده بود به اجرای عملیات آبیاری با استفاده از سامانه‌های آبیاری نوین اقدام نمودند (سالاریور و همکاران، ۱۴۰۰).

باتوجه‌به اینکه طرح آبیاری مزارع دشت سیستان جهت اجرایی شدن نیاز به همکاری مردم منطقه بخصوص کشاورزان داشت و از آنجایی که عبور خط انتقال آب در بیشتر موارد در زمین‌های زراعی انجام می‌شود، لذا همکاری و مشارکت کشاورزان با مجریان طرح ضروری بود. از سوی دیگر، عدم شناخت صحیح از روند اجرا و مزایا و معایب احتمالی برای بهره‌برداران به عنوان یک چالش جدی مطرح بود. در این بین نیاز به افرادی توانمند، آگاه و آشنا به مسائل و روابط اجتماعی خاص در منطقه سیستان احساس می‌شد که تسهیل‌گران به عنوان یکی از جوامعی که در این خصوص از تخصص و آگاهی کافی برخوردار بودند، می‌توانستند موجب جلب حمایت و مشارکت مردم در طرح شوند. لذا این گروه به عنوان یک گروه پیشگام وارد عمل شدند. تعداد تسهیل‌گران در این طرح حدود ۴۰ نفر بودند که وظیفه توانمندسازی و جلب مشارکت بهره‌برداران از طریق برگزاری جلسات منظم و جلب نظر مردم و حتی انتقال موارد و مشکلات کشاورزان در زمینه اجرای طرح را به مجریان بر عهده دارند.

یکی از مشکلاتی که برای پذیرش بهره‌برداران وجود دارد، بعد اجتماعی این طرح می‌باشد. بهره‌برداران از طرح مذکور شناخت کافی نداشته و به‌طور ذاتی دارای نااطمینانی به تغییرات هستند. تسهیل‌گران به‌عنوان مداخله‌گران در خط مقدم اجرای طرح‌ها با همکاری رهبران و معتمدین محلی طرح را به کشاورزان معرفی نموده و موجب تسهیل در فرایند اجرا و پذیرش آن می‌شوند. تسهیل‌گر با به‌کارگیری ظرفیت‌های خود فرایندهای پذیرش طرح را تسهیل نموده و در دستیابی جوامع به اهداف آن‌ها که منجر به کاهش مشکلات اجتماعی و بهبود معیشت آن‌ها می‌شود، کمک شایانی می‌نماید. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش تسهیل‌گری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی روستایی و کشاورزی برای مشارکت در پروژه طرح انتقال آب به دشت سیستان انجام شده است. در همین راستا، پژوهش‌های مختلفی انجام شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است.

هاشمی (۱۴۰۱) با تحلیل ابعاد نهادی حکمرانی محلی آب در ایران، بر این نکته تأکید کرد که نبود هماهنگی سیاستی و ضعف در شفافیت اطلاعات از مهمترین موانع مشارکت واقعی ذی‌نفعان در تصمیم گیری‌های آبی است. محمدی‌دینانی و

همکاران (۱۴۰۱) در بررسی جایگاه اصل مشارکت عمومی در مدیریت منابع آب از منظر حقوق داخلی و حقوق بین‌الملل آب، به این نتیجه رسیدند که عوامل اساسی مانند رفع نواقص ساختاری و قانونی، الزام به تعامل با بهره‌برداران در اجرای هر گونه طرح حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب و همچنین الزام به انجام مطالعات ارزیابی اثرات محیط‌زیستی طرحهای توسعه منابع آب منجر به تقویت مشارکت بهره‌برداران در مدیریت عرضه و تقاضای آب می‌شوند.

پارسیانی و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای با عنوان «نقش تسهیل‌گران در پیشبرد کارآفرینی زنان روستایی: دلالت‌هایی برای آموزش تسهیل‌گری» به این نتیجه رسیدند که شکلگیری جریان پایدار کارآفرینی در بین زنان روستایی نیازمند بهره‌گیری از تسهیل‌گرانی است که از قابلیت لازم برخوردار بوده و کارکرد خود را برای حمایت از زنان در فرآیند کارآفرینی به صورت هدفمند به انجام برسانند. ازاینرو، تلفیق و تقویت آموزش تسهیل‌گری در برنامه‌ها و دوره‌های آموزش ترویج کشاورزی برای پرورش و ارتقای قابلیت‌های مورد نظر در مسیر توسعه حرفهای کارگزاران ترویجی، ضروری به نظر می‌رسد. ظفری (۱۳۹۹) در پژوهشی نقش گروه‌های تسهیل‌گر اجتماعی در توسعه شهر رشت را بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند گروه‌های مردم‌نهاد، گروه‌های خصوصی و داوطلبانه تسهیل‌گران اجتماعی را تشکیل می‌دهند. همکاری بین این گروه‌ها با دولت همسو با توسعه شهر بسیار تأثیرگذار می‌باشد. نقش و حضور مردم در تصمیم‌سازی‌ها و تصمیم‌گیری‌ها از طریق این گروه‌های میانجی پررنگ‌تر خواهد بود. سواری و اسکندریدامنه (۱۳۹۸) در مقاله‌ای با عنوان «نقش مدیریت مشارکتی در توانمندسازی جوامع محلی در مقابله با خشکسالی در جنوب استان کرمان» به این نتیجه رسیدند که بین شاخص‌های مدیریت مشارکتی با توانمندسازی جوامع محلی رابطه مثبت و معناداری وجود دارد؛ یعنی هر چه میزان مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های مقابله با خشکسالی بیشتر شود، سطح توانمندی جوامع روستایی بالا می‌رود و توان مقابله‌ی آنان افزایش می‌یابد. محدثحسینی (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان «نقش تسهیل‌گری در مشارکت روستاییان جهت پروژه‌های آبخیزداری» به این نتیجه رسید که تسهیلگری گروهی در جلب مشارکت روستاییان در طرح ساماندهی روستایی دهستان بلهرات نیشابور موفق بوده است.

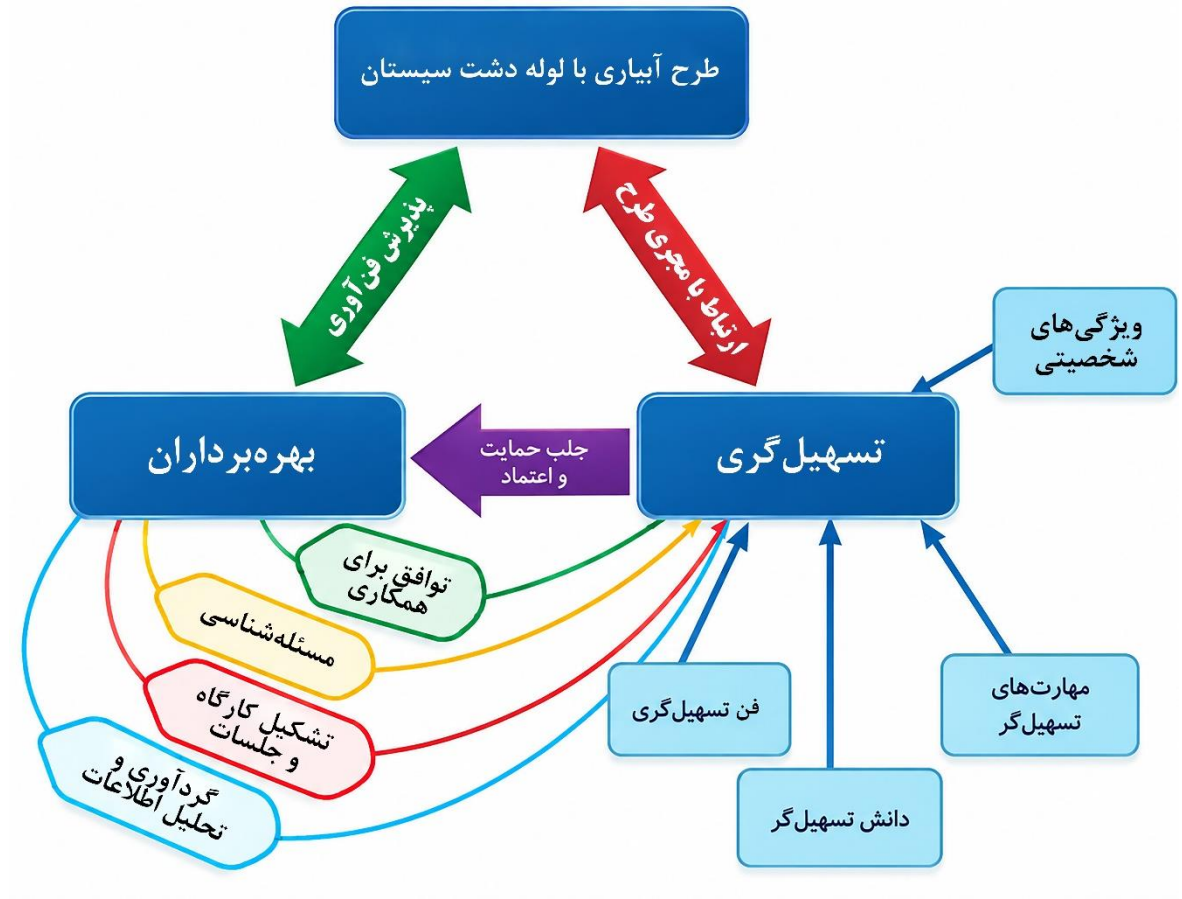
پورکند و معتمد (۱۳۹۰) در پژوهشی به بررسی نقش تسهیل‌گران زن در ایجاد گروه‌های مستقل زنان روستایی راه‌کاری در جهت توسعه پایدار روستایی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد از میان عوامل مورد بررسی، بین موفقیت تسهیل‌گران در ایجاد و تداوم فعالیت گروه‌های مستقل زنان با میزان پذیرش تسهیل‌گر از سوی زنان، زمینه‌های تماس وی با کارشناسان ترویج و آشنایی وی با مفهوم سازمان‌های غیردولتی ارتباط وجود دارد.

Aniah و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان «توانمندسازی معیشت در مقابله با تغییرات اقلیمی» به این نتیجه رسیدند که تعیین استراتژی‌های معیشت، برای بهبود توانمندی جوامع محلی بدون مشارکت آنان امکان پذیر نیست و بین این دو مقوله رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد. When & Almomani (۲۰۱۹) در بررسی مشوق‌ها و موانع مشارکت در نظام‌های اطلاعاتی و نظارتی محیطزیستی اجتماع‌محور از پیامدهای منفی مورد انتظار، عدم تأیید اجتماعی و فرصتهای از دست رفته به عنوان موانع مشارکت نام بردند. Powlen & Jones (۲۰۱۹) در پژوهشی پیرامون شناسایی عوامل تعیین کننده و موانع مشارکت بهره‌برداران در احیای جنگل در کاستاریکا مشخص کردند نبود مهارت‌های فنی برای کاشت درختان، تجارب ناموفق گذشته، ضعف در سیاست‌گذاری، عدم اعتقاد سازمان‌های ذی‌ربط به اهمیت و لزوم مشارکت دادن بهره‌برداران در برنامه‌ها، عدم اعتماد مردم محلی به سازمان‌های بیرونی و بالا بودن هزینه‌های اولیه احیا جنگل از موانع اصلی مشارکت بودند.

Ejaz Ali Khan (۲۰۱۵) در مقاله‌ای با عنوان «عوامل مؤثر بر فقر خانوارهای روستایی: نقش توانمندسازی اقتصادی اجتماعی خانواده» به این نتیجه رسید که توانمندسازی اجتماعی و اقتصادی تأثیر قابل توجهی بر کاهش فقر روستایی دارد. Cristóvão و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی نقش سیستم‌های ترویج و تسهیل برای توسعه کشاورزی و روستایی پرداختند. آن‌ها بر تغییر نقش عوامل ترویج به‌عنوان تسهیل‌کننده‌های یادگیری، نوآوری و تغییر تأکید کردند.

از مجموع تحقیقات ارائه شده چنین برمی‌آید که مشارکت مردم محلی پیش‌نیاز اجرای موفق پروژه‌های مختلف می‌باشد. از طرف دیگر، مشارکت کشاورزان و روستاییان نیازمند توانمندسازی آن‌ها در ابعاد گوناگون است. در این میان تسهیل‌گران نقش مهمی در توانمندسازی و جلب مشارکت‌های محلی ایفا می‌کنند. تسهیلگران به عنوان رابط بین مردم و مجریان طرح جهت انجام وظایف تسهیل‌گری نیاز به داشتن مهارت‌های تسهیل‌گری و دانش و فنون تسهیل‌گری متناسب با شرایط اجتماعی منطقه دارند. از طرفی، ویژگی‌های شخصیتی و نحوه برقراری ارتباط با جوامع محلی در موفقیت آن‌ها اهمیت زیادی دارد که زمینه‌ساز جلب مشارکت و اعتماد جامعه محلی خواهد شد. برای انجام این وظایف تسهیل‌گران ابتدا باید توافق و همکاری بین مردم و معتمدین را جلب نموده و نسبت به شناسایی مسائل بهره‌برداران در خصوص طرح، اقدام لازم را به‌عمل آورند که این امر با تشکیل جلسات و کارگاه‌های مرتبط با این زمینه تحقق می‌پذیرد. در پایان تسهیل‌گران با گردآوری و تحلیل اطلاعات مربوطه به رفع موانع و تسهیل در روند اجرای طرح اقدام نموده که باعث برقراری یک منفعت دو طرفه بین مجریان (به لحاظ عدم برخورد با موانع اجتماعی و اجرایی) و بهره‌برداران (به لحاظ بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی) خواهد شد (نگاره ۱). همان‌طور که بیان شد و در نگاره (۱) نیز نشان داده شده است

ویژگی اصلی (نوآوری) پژوهش حاضر در مقایسه با پژوهش‌های پیشین، که بیشتر نگاهی تک‌بعدی به نقش تسهیلگران، داشتند، بررسی نقش تسهیلگران اجتماعی در قالب فرآیندی از ارتباط با بهره‌برداران به منظور جلب حمایت و اعتماد آنان از یک‌طرف و ارتباط با مجریان طرح انتقال آب از طرف دیگر می‌باشد. بنابراین در این پژوهش نقش تسهیلگران اجتماعی در قالب یک پروژه خاص/ موردی متناسب با اهداف و کارکردهای خاص آن پروژه و پرهیز از نگاه کلی‌گرایانه بررسی شده است.



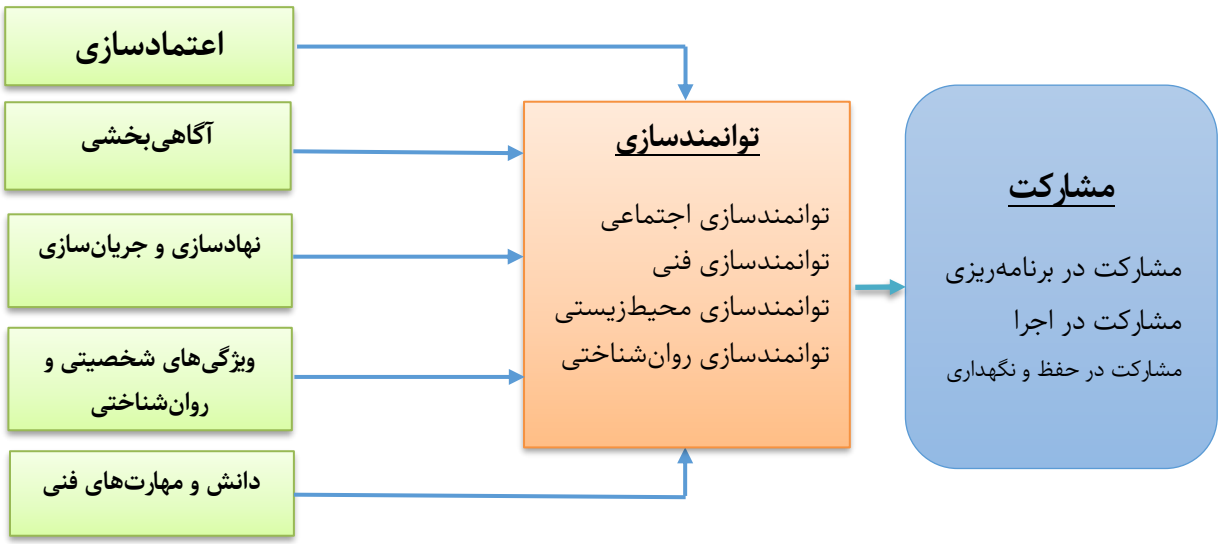
شکل ۱- روند مشارکت تسهیلگران در طرح آبیاری با لوله در دشت سیستان

بنابراین تسهیلگران باید تلاش کنند تا با تکیه بر دانش و مهارت‌های فنی خود و ارتباط و تعامل با مردم و دولتمردان و متولیان طرح، ضمن ارتقای آگاهی‌های مردم محلی، اعتماد مردم را به این قبیل پروژه‌ها جلب کنند. این امر منجر به بهبود توانمندی مردم در ابعاد مختلف اجتماعی، فنی، محیط‌زیستی و روان‌شناختی و در نهایت جلب مشارکت آنان در فرآیند برنامه‌ریزی، اجرا و حفظ و نگهداری پروژه خواهد شد.

در ادامه، بر اساس هدف کلی پژوهش، پیشینه ارائه شده و با بهره‌گیری از روند مشارکت تسهیلگران در طرح آبیاری با لوله در دشت سیستان (شکل ۱)، چارچوب مفهومی پژوهش با تأکید بر نقش تسهیلگران در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در پروژه انتقال آب در دشت سیستان به‌صورت شکل (۲) ارائه شده است.

باتوجه‌به چارچوب مفهومی تحقیق فرضیه‌های تحقیق به شرح زیر ارائه شده است.

- بین اعتمادسازی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.
- بین آگاهی‌بخشی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.
- بین نهادسازی و جریان‌سازی، و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.
- بین ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.
- بین دانش و مهارت‌های فنی تسهیلگران و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.
- بین توانمندسازی روستاییان و مشارکت آنان در پروژه انتقال آب به دشت سیستان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.



شکل ۲- چارچوب مفهومی تحقیق

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به لحاظ ماهیت کمی و از لحاظ هدف، از نوع پژوهش‌های کاربردی است. همچین پژوهش حاضر، به جهت توزیع نظام‌مند و دقیق خصوصیات جامعه مورد نظر، توصیف ویژگی‌های فردی پاسخگویان و تحلیل میزان ارتباط متغیرهای مستقل با متغیر وابسته توصیفی ـ همبستگی، علی ـ رابطه‌ای و علی – مقایسه‌ای است. علاوه‌براین، پژوهش از منظر میزان کنترل متغیرها از نوع غیرآزمایشی و از نظر زمانی گذشته‌نگر است. جامعه آماری کلیه کشاورزان مشمول طرح انتقال آب به تعداد ۵۶۶۳۹ نفر می‌باشند. جهت تعیین حداقل حجم نمونه لازم، از فرمول کوکران (رابطه ۱) استفاده شد.

(۱)

$$n = \frac{N\,t^2\,pq}{N\,d^2 + t^2 pq}$$

که در آن:

n = حداقل حجم نمونه لازم

N= حجم جامعه آماري

p= نسبت توزیع صفت در جامعه

q = مقدار احتمال عدم اعتماد به شمار می‌رود و معمولا برابر با ۰/۵ در نظرگرفته می‌شود.

t= مقدار به دست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد (در این پژوهش و با در نظر گرفتن مقدار خطاي ۰/۰۵، مقدار به دست آمده از جدول توزیع نرمال استاندارد ۱/۹۶ مي‌باشد).

d= خطاي پذیرفته شده توسط پژوهشگر یا بازه قابل تحمل از برآورد پارامتر مورد نظر (معمولاً در علوم اجتماعي برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته مي‌شود)

در جدول (۱) باتوجه‌به شهرستان‌های منطقه سیستان و نواحی آن‌ها و روستاهایی که طرح انتقال آب در آن‌ها انجام شده است، تعداد نمونه در هر شهرستان مشخص شده است.

باتوجه‌به فرمول فوق در سطح اطمینان ۹۵ درصد و دقت ۰/۰۵ حداقل حجم نمونه برابر با ۳۸۱ نفر تعیین شد.

پرسشنامه ابزار اصلی جمع‌آوری داده‌ها بود که از چهار بخش نقش‌های تسهیلگران در طرح انتقال آب، توانمندسازی مردم محلی، مشارکت مردم محلی و ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای کشاورزان و روستاییان شامل سن، تحصیلات، تعداد اعضای خانوار، سابقه کشاورزی و میزان زمین کشاورزی تشکیل شده بود. نقش تسهیلگران در طرح انتقال آب توسط پنج متغیر اعتمادسازی (برای نمونه: پرهیز از دادن وعده‌های بدون پشتوانه به کشاورزان)، آگاهی‌بخشی (برای نمونه: تشریح جزییات طرح برای کشاورزان و روستاییان) ، نهادسازی و جریان‌سازی (برای نمونه: مشارکت در تشکیل گروه‌های هم آب)، ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی (برای نمونه: صداقت در توضیح و تشریح طرح) و دانش و مهارت فنی (برای نمونه: شناخت و تسلط تسهیل‌گران بر طرح) سنجیده شده است. توانمندسازی مردم محلی در قالب چهار متغیر توانمندسازی اجتماعی (برای نمونه: بهبود همدلی و یکرنگی بین اهالی روستا در ارتباط با طرح توسط تسهیل‌گران)، توانمندسازی فنی (برای نمونه: استفاده بهینه از منابع تولید (آب، خاک و زمین) ، توانمندسازی محیط‌زیستی (برای نمونه: توصیه به حذف کشت محصولات با مصرف زیاد آب) و توانمندسازی روانشناختی (برای نمونه: احساس کارآمدی در انجام وظایف مرتبط با طرح) مورد سنجش قرار گرفته است. مؤلفه مشارکت نیز در سه مرحله مشارکت در برنامه‌ریزی (برای نمونه: مشخص کردن زمینهایی که مناسب کشاورزی هستند و نیاز به آبیاری دارند)، مشارکت در اجرا (برای نمونه: اجازه عبور لوله‌های آب از زمین‌های خود) و مشارکت در حفظ و نگهداری (برای نمونه: مشارکت در حفظ و نگهداری لوله‌های آبیاری) سنجیده شده است. همه متغیرهای اصلی در قالب طیف لیکرت پنج قسمتی از خیلی کم (۱) تا خیلی زیاد (۵) اندازه‌گیری شده است.

جدول ۱- تعداد نمونه در هر شهرستان

شهرستان	ناحیه	نام روستا	تعداد خانوار	تعداد پرسشنامه
نیمروز	ناحیه۱	شرکت، ادیره، رضا	۲۳۲۵	۱۶
	ناحیه۲	ساختمان، غلامعلی، بالاخانه	۳۴۹۶	۲۴
	ناحیه۳	گلخانی، لورگ باغ، سه‌قلعه	۲۲۶۳	۱۵
زابل	ناحیه۱	ژاله‌ای، کول، بنجار	۵۰۲۶	۳۴
	ناحیه۲	شاهوزهی، رسول خان، حاجی‌صفر	۳۷۴۹	۲۶
زهک	ناحیه۱	عباس‌آباد،کهک،کود	۲۲۵۰	۱۵
	ناحیه۲	جزینک، قلعه‌نو، قلعه کهنه	۲۴۴۶	۱۶
	ناحیه۳	گوری، خمک، نوری	۷۴۰۳	۵۰
هیرمند	ناحیه۱	قرقری، اکبرآباد، خاک‌سفیدی	۱۶۸۴	۱۱
	ناحیه۲	میلک، نادر، کوم	۳۱۴۰	۲۱
	ناحیه۳	کول، اسماعیل علی، اکبرآباد	۲۰۹۶	۱۴
	ناحیه۴	آل‌گرگ، خمر، لاغری شهریاری	۲۹۱۹	۲۰
هامون	ناحیه۱	لوتک، دولت آباد، حمزه‌آباد	۴۳۴۸	۲۹
	ناحیه۲	بدیل،کیخا، تیمورآباد	۵۱۲۴	۳۴
	ناحیه۳	باغک، پل‌اسبی، چهارخمی	۳۹۴۰	۲۶
	ناحیه۴	آس، قلعه‌کنگ، ابراهیم‌آباد	۴۴۳۰	۳۰
جمع			۵۶۶۳۹	۳۸۱

جهت سنجش میزان روایی، پرسشنامه در اختیار پانلی متشکل از ۱۰ نفر از اساتید با تخصص‌های ترویج و آموزش کشاورزی و مدیریت منابع آب و همچنین کارشناسان مرتبط در بخش اجرا قرار داده شد و باتوجه‌به نظرات آنان اصلاحات لازم در پرسشنامه صورت گرفت. پایایی پرسشنامه نیز با انجام پیش آزمون به‌دست آمد. در این مرحله تعداد ۳۰ پرسشنامه توسط روستاییان پنج شهرستان سیستان (زابل، زهک، نیمروز، هیرمند و هامون) تکمیل و میزان آلفای کرونباخ برای هر یک از مؤلفه‌های مورد بررسی محاسبه گردید. نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- تعدادگویه‌ها و مقادیرآلفای کرونباخ برای بخش‌های مختلف پرسشنامه

متغیر		تعداد گویه	آلفای کرونباخ
مؤلفه	اعتمادسازی	۵	۰/۷۷۸
	آگاهی‌بخشی	۴	۰/۷۲۱
	نهادسازی و جریان‌سازی	۵	۰/۷۸۲
نقش تسهیل‌گران در طرح انتقال آب	ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی	۶	۰/۸۰۶
	دانش و مهارت فنی	۴	۰/۷۱۱
توانمندسازی مردم محلی	توانمندسازی اجتماعی	۱۵	۰/۹۱۴
	توانمندسازی فنی	۷	۰/۸۴۱
	توانمندسازی محیط‌زیستی	۴	۰/۷۱۹
	توانمندسازی روانشناختی	۱۲	۰/۹۰۶
مشارکت مردم محلی	مشارکت در برنامه‌ریزی	۴	۰/۷۲۲
	مشارکت در اجرا	۴	۰/۷۱۷
	مشارکت در حفظ و نگهداری	۳	۰/۷۰۳

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار آلفای کرونباخ مربوط به تمام بخش‌های پرسشنامه بالاتر از میزان قابل قبول (۰/۷۰) می‌باشد که حاکی از مناسب بودن ابزار جمع‌آوری اطلاعات می‌باشد.

در این مرحله پژوهشگر با مراجعه حضوری به روستاهای مورد مطالعه اقدام به توزیع و تکمیل پرسشنامه نمود و تعداد ۳۸۱ پرسشنامه از این طریق جمع‌آوری شد. در این پژوهش جهت تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شده است. در این راستا از آمارهای مختلفی مانند ضریب همبستگی پیرسون، آزمون تی تک‌نمونه‌ای و آزمون F برای آزمون فرضیه‌ها و از تحلیل مسیر به عنوان یکی از تکنیک‌های چندمتغیره برای بررسی اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر

متغیر وابسته (میزان مشارکت جوامع محلی در طرح انتقال آب به دشت سیستان) استفاده شده است. تحلیل مسیر یکی از رویکردهای توسعه‌یافته رگرسیون است و ماهیت آن بر پایه تبیین روابط علی بین متغیرها استوار است. در این روش، پژوهشگر پیش از هر چیز باید یک مدل نظری صریح و مبتنی بر مبانی علمی طراحی کند که در ان مسیرهای اثرگذاری مستقیم و غیرمستقیم مشخص شده باشند (کلانتری، ۱۳۹۵)

یافته‌ها

یافته‌های توصیفی مربوط به متغیرهای مهم پژوهش در جدول (۳) ارائه شده است. بر این اساس، سطح تحصیلات دیپلم، گروه سنی ۵۰-۴۱ سال، تعداداعضای خانوار۶-۴ نفر و سابقه کار کشاورزی ۲۵ - ۱۶ سال به ترتیب دارای بیشترین درصد متغیرهای سطح تحصیلات، سن، تعداد اعضای خانوار و سابقه کار کشاورزی بودند.

جدول ۳- .ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد	درصد تجمعی
تحصیلات	ابتدایی	۵۷	۱۴/۹	۱۴/۹
	راهنمایی	۹۳	۲۴/۶	۳۹/۴
	دیپلم	۱۳۴	۳۴/۸	۷۵/۵
	کارشناسی و بالاتر	۹۷	۲۵/۷	۱۰۰
سن (سال)	۳۰-۲۰	۷۸	۲۰/۵	۲۰/۵
	۴۰-۳۱	۶۷	۱۷/۵	۳۸/۱
	۵۰-۴۱	۷۹	۲۰/۷	۵۸/۸
	۶۰-۵۱	۶۳	۱۶/۵	۷۵/۳
	۷۰-۶۱	۵۵	۱۴/۴	۸۸/۷
	بیشتر از ۷۱	۳۹	۱۰/۲	۱۰۰
تعداد اعضای خانواده (نفر)	۳-۱	۷۹	۲۰/۸	۲۰/۸
	۶-۴	۲۶۰	۶۸/۲	۸۹
	۹-۷	۴۲	۱۱	۱۰۰
سابقه کار کشاورزی (سال)	۱۵-۵	۱۱۰	۲۸/۸	۲۸/۸
	۲۵-۱۶	۱۲۴	۳۲/۷	۶۰/۵
	۳۵-۲۶	۱۲۰	۳۱/۴	۹۲/۷
	بیشتر از ۳۶	۲۷	۷/۱	۱۰۰

رتبه‌بندی کلی متغیرهای پژوهش

همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود باتوجه‌به میانگین کلی مؤلفه‌های تحقیق مؤلفه ویژگی‌های تسهیلگران با میانگین ۳/۸۷ در رتبه اول، مؤلفه توانمندسازی با میانگین ۳/۸۶در رتبه دوم و مؤلفه مشارکت با میانگین ۳/۸۳ در رتبه سوم قرار دارد.

جدول ٤- رتبه‌بندی مؤلفه‌های پژوهش

ابعاد	مؤلفه	میانگین	انحراف معیار	رتبه
ویژگی‌های تسهیلگران	اعتمادسازی	۳/۸۴	۰/۸۸۷	۴
	آگاهی‌بخشی	۳/۸۷	۰/۸۶۳	۳
	نهادسازی و جریان‌سازی	۳/۸۳	۰/۹۰۵	۵
	ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی	۳/۸۸	۰/۸۶۵	۲
	دانش و مهارت فنی	۳/۹۵	۰/۸۵۲	۱
میانگین کلی				۳/۸۷
توانمندسازی	توانمندسازی اجتماعی	۳/۸۷	۰/۹۴۰	۲
	توانمندسازی فنی	۳/۸۵	۰/۸۹۰	۴
	توانمندسازی محیط‌زیستی	۳/۸۶	۰/۸۶۲	۳
	توانمندسازی روان‌شناختی	۳/۸۷	۰/۸۹۲	۱
میانگین کلی				۳/۸۶
مشارکت	مشارکت در برنامه‌ریزی	۳/۸۸	۰/۸۹۶	۱
	مشارکت در اجرا	۳/۸۱	۰/۹۱۷	۲
	مشارکت در حفظ و نگهداری	۳/۸۱	۰/۹۲۳	۳
میانگین کلی				۳/۸۳

آزمون فرضیه‌های پژوهش

نتایج مربوط به آزمون فرضیه‌های پژوهش در جدول (۵) آورده شده است. باتوجه‌به نتایج، بین متغیرهای اعتمادسازی، آگاهی‌بخشی، نهادسازی و جریان‌سازی، ویژگی‌های شخصیتی و روان‌شناختی، و دانش و مهارت فنی تسهیلگران با توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح متوسط وجود دارد. از طرف دیگر، بین توانمندسازی روستاییان در ابعاد مختلف اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و روانشناختی و مشارکت آنان در برنامه‌ریزی، اجرا و حفظ و نگهداری کانال‌های آبیاری رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح متوسط وجود دارد.

بررسی رابطه بین برخی از مهمترین ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای روستاییان و کشاورزان و مشارکت آنان در طرح انتقال آب حاکی از آن است که بین متغیرهای سن، میزان مراجعه تسهیل‌گران به روستا و میزان دسترسی به تسهیل‌گران و مشارکت در طرح انتقال آب رابطه‌ای وجود ندارد. ولی، بین مساحت اراضی تحت پوشش و مشارکت در طرح انتقال آب رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۵- آزمون‌های بیان رابطه بین متغیرهای پژوهش

ردیف	فرضیه	متغیر اول	متغیر دوم	ضریب همبستگی	سطح معناداری
۱	بین اعتمادسازی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.	اعتمادسازی	توانمندسازی	۰/۶۱۱	۰/۰۰۰
۲	بین آگاهی‌بخشی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.	آگاهی‌بخشی	توانمندسازی	۰/۵۴۷	۰/۰۰۰
۳	بین نهادسازی و جریان‌سازی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.	نهادسازی و جریان‌سازی	توانمندسازی	۰/۵۴۲	۰/۰۰۰
۴	بین ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.	ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی	توانمندسازی	۰/۵۲۲	۰/۰۰۰
۵	بین دانش و مهارت فنی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.	دانش و مهارت فنی	توانمندسازی	۰/۵۲۸	۰/۰۰۰
۶	بین توانمندسازی اجتماعی روستاییان و مشارکت آن‌ها در پروژه انتقال آب به دشت سیستان رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.	توانمندسازی اجتماعی	مشارکت	۰/۶۲۱	۰/۰۰۰
۷	بین توانمندسازی فنی روستاییان و مشارکت آن‌ها در پروژه انتقال آب به دشت سیستان رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.	توانمندسازی فنی	مشارکت	۰/۵۵۲	۰/۰۰۰
۸	بین توانمندسازی محیط‌زیستی روستاییان و مشارکت آن‌ها در پروژه انتقال آب به دشت سیستان رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.	توانمندسازی محیط‌زیستی	مشارکت	۰/۴۲۴	۰/۰۰۰
۹	بین توانمندسازی روانشناختی روستاییان و مشارکت آن‌ها در پروژه انتقال آب به دشت سیستان رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.	توانمندسازی روانشناختی	مشارکت	۰/۶۱۷	۰/۰۰۰
۱۰	بین سن کشاورزان و میزان مشارکت آن‌ها در طرح انتقال آب رابطه وجود دارد.	سن کشاورزان	مشارکت	۰/۰۲۳	۰/۶۶۰
۱۱	بین مساحت اراضی تحت پوشش و مشارکت در طرح انتقال آب رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد.	مساحت اراضی تحت پوشش	مشارکت	-۰/۱۳۵	۰/۰۰۹
۱۲	بین میزان مراجعه تسهیل‌گران به روستا و مشارکت در طرح انتقال آب رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد.	میزان مراجعه تسهیل‌گران	مشارکت	۰/۰۸۹	۰/۰۸۵
۱۳	بین میزان دسترسی به تسهیل‌گران و مشارکت در طرح انتقال آب رابطه مثبت و معنی‌دار وجود دارد.	میزان دسترسی به تسهیل‌گران	مشارکت	۰/۰۴۴	۰/۳۸۷

به منظور تعیین میزان تفاوت بین گروه‌های مختلف سنی، میزان زمین و کشاورزان با سابقه کشاورزی متفاوت و میزان مشارکت در طرح انتقال آب، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و برای تعیین میزان اختلاف بین گروه‌ها، باتوجه‌به اینکه واریانس‌ها یکسان می‌باشند، از آزمون دانکن استفاده شد. باتوجه‌به میانگین‌های به دست آمده و همچنین آزمون دانکن مشخص شد که بین گروه‌های مختلف سنی کشاورزان به لحاظ میزان مشارکت در طرح انتقال آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به این صورت که هرچه سن کشاورزان پایین‌تر باشد به همان نسبت میزان مشارکت آن‌ها بیشتر خواهد بود و برعکس. همچنین با توجه به میانگین‌های به دست آمده و آزمون دانکن مشخص شد میان گروه‌های مختلف دارای زمین به لحاظ میزان مشارکت در طرح انتقال آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به این صورت که هرچه کشاورزان زمین کمتری داشته باشند، به همان نسبت میزان مشارکت آن‌ها بیشتر خواهد بود و برعکس. همچنین باتوجه‌به میانگین‌های به دست آمده و همچنین آزمون دانکن مشخص شد میان گروه‌های مختلف دارای سابقه کشاورزی به لحاظ میزان مشارکت در طرح انتقال آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به این صورت که هرچه کشاورزان دارای سابقه کمتر کشاورزی باشند، به همان نسبت میزان مشارکت آن‌ها بیشتر خواهد بود و برعکس (جدول‌های ۶ و۷).

در شکل (۳) بر اساس چارچوب مفهومی پژوهش و به منظور تحلیل علی اثر متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته از تحلیل مسیر استفاده شد. متغیر توانمندسازی به صورت مستقیم بر مشارکت روستاییان و کشاورزان در انجام طرح تأثیر دارد. متغیرهای اعتمادسازی، آگاهی‌بخشی، نهادسازی و جریان‌سازی، ویژگی‌های شخصیتی و دانش و مهارت فنی بر متغیر مشارکت روستاییان و کشاورزان در انجام طرح اثر غیرمستقیم دارند. اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر وابسته (مشارکت روستاییان و کشاورزان در انجام طرح) در جدول (۸) ارائه شده است. نتایج تحلیل مسیر نشان داد که الگوی علّی پژوهش، سهم قابل توجهی از تغییرات واریانس مشارکت روستاییان و کشاورزان را تبیین می‌کند (R^2_{Adj} =۰/۵۶۴). باتوجه‌به نتایج متغیر توانمندسازی دارای بیشترین اثر علّی کل (۰/۷۱۲) و متغیر آگاهی‌بخشی دارای کمترین اثر علی کل (۰/۱۵۴) بر متغیر مشارکت می‌باشد (نگاره ۳).

جدول ٦- مقایسه میزان مشارکت مردم محلی در طرح انتقال آب بر حسب سن، مقدار زمین و سابقه کشاورزی

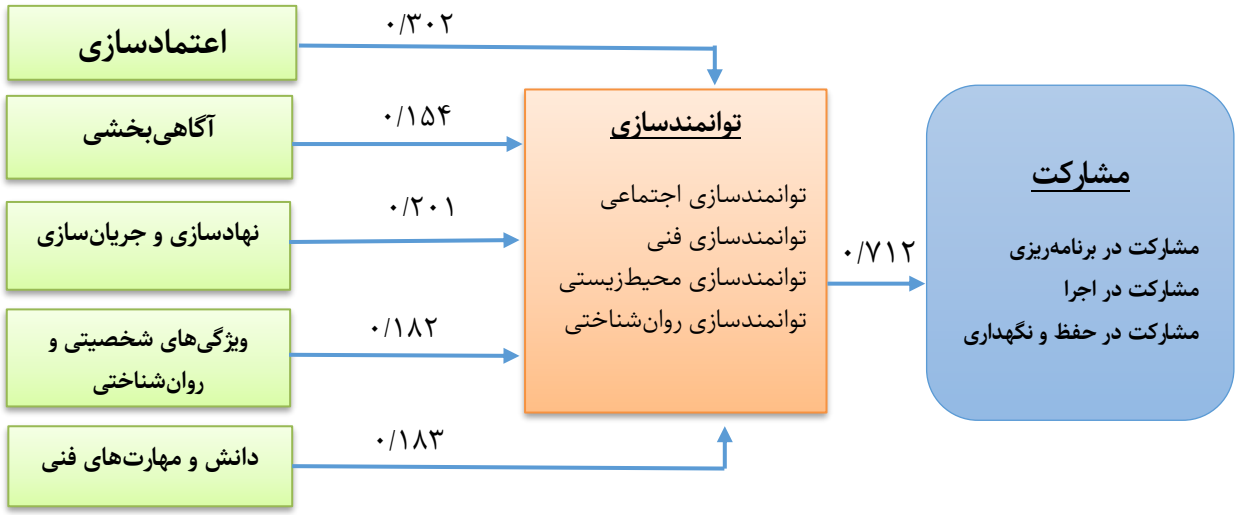
متغیر	سطوح متغیر	تعداد	میانگین	انحراف معیار	درجه آزادی	مقدار F	معنی‌داری
سن کشاورزان (سال)	۲۰-۳۰	۷۸	۴۶/۱۰۲	۳/۲۶۱	۵	۹۵/۶۶۰	۰/۰۰۰
	۳۱-۴۰	۶۷	۴۴/۸۵۰	۳/۷۰۱			
	۴۱-۵۰	۷۹	۴۵/۴۴۳	۳/۵۸۶			
	۵۱-۶۰	۶۲	۳۸/۸۲۲	۴/۰۵۱			
	۶۱-۷۰	۵۱	۳۷/۹۲۱	۳/۰۷۱			
	۷۱ و بیشتر	۴۳	۳۵/۴۴۱	۳/۶۶۶			
میزان زمین (هکتار)	۱-۱۰	۳۱	۴۵/۹۶۷	۲/۷۶۲	۶	۶۶/۷۳۶	۰/۰۰۰
	۱۱-۲۰	۷۸	۴۶/۰۰۰	۳/۵۴۹			
	۲۱-۳۰	۶۶	۴۵/۲۵۷	۳/۵۰۰			
	۳۱-۴۰	۸۳	۴۲/۶۱۴	۴/۸۲۳			
	۴۱-۵۰	۳۵	۳۸/۰۵۷	۳/۱۸۰			
	۵۱-۶۰	۵۱	۳۷/۶۷۴	۳/۰۰۵			
	۶۱ و بیشتر	۳۶	۳۵/۱۹۴	۳/۹۱۹			
سابقه کشاورزی (سال)	۵-۱۵	۱۱۰	۴۵/۹۹۰	۳/۳۱۶	۳	۱۳۳/۱۲۳	۰/۰۰۰
	۱۶-۲۵	۱۲۱	۴۴/۶۲۸	۳/۹۵۲			
	۲۶-۳۵	۱۲۲	۳۷/۹۴۲	۳/۸۲۷			
	۳۶ و بیشتر	۲۷	۳۵/۸۵۱	۴/۰۱۶			

جدول ۷- نتایج آزمون تعقیبی دانکن

متغیر	سطوح متغیر	گروه۱	گروه۲	گروه۳	گروه۴
سن (سال)	۲۰-۳۰			۴۶/۱۰۲	
	۳۱-۴۰			۴۴/۸۵۰	
	۴۱-۵۰			۴۵/۴۴۳	
	۵۱-۶۰		۳۸/۸۲۲		
	۶۱-۷۰		۳۷/۹۲۱		
	۷۱ و بیشتر	۳۵/۴۴۱			
مساحت زمین (هکتار)	۱-۱۰				۴۵/۹۶۷
	۱۱-۲۰				۴۶/۰۰۰
	۲۱-۳۰				۴۵/۲۵۷
	۳۱-۴۰			۴۲/۶۱۴	
	۴۱-۵۰		۳۸/۰۵۷		
	۵۱-۶۰		۳۷/۶۴۷		
	۶۱ و بیشتر	۳۵/۱۹۴			
سابقه کشاورزی (سال)	۵-۱۵				۴۵/۹۹۰
	۱۶-۲۵			۴۴/۶۲۸	
	۲۶-۳۵		۳۷/۹۴۲		
	۳۶ و بیشتر	۳۵/۸۵۱			

جدول ۸- تحلیل اثرات مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر مشارکت روستاییان و کشاورزان در انجام طرح

متغیر	اثر مستقیم	اثر غیرمستقیم	اثر علّی کل	ضریب همبستگی	اثر غیرعلی	انطباق مدل با چارچوب مفهومی
توانمندسازی	۰/۷۱۲	.....	۰/۷۱۲	۰/۷۱۲	۰	دارد
اعتمادسازی	.....	۰/۳۰۲	۰/۳۰۲	۰/۵۷۹	۰/۲۷۷	دارد
آگاهی‌بخشی	.....	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۰/۵۰۵	./۳۵۱	دارد
نهادسازی و جریان‌سازی	.....	۰/۲۰۱	۰/۲۰۱	۰/۵۰۷	./۳۰۶	دارد
ویژگی‌های شخصیتی	....	۰/۱۸۲	۰/۱۸۲	۰/۴۲۴	۰/۲۴۲	دارد
دانش و مهارت فنی	....	۰/۱۸۳	۰/۱۸۳	۰/۴۸۵	۰/۳۰۲	دارد



شکل ۳- الگوی علی رابطه متغیرهای پژوهش و مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب به دشت سیستان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف کلی بررسی نقش تسهیلگری اجتماعی در توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت در طرح انتقال آب به دشت سیستان و اهداف اختصاصی استخراج شاخص‌های تسهیلگری اجتماعی در راستای توانمندسازی مردم محلی و بررسی میزان کاربست مهارت‌های مربوط به تسهیلگری توسط تسهیلگران اجتماعی در طرح انتقال آب به اراضی دشت سیستان از دیدگاه بهره‌برداران در راستای جلب مشارکت آنان در پروژه انتقال آب می‌باشد.

باتوجه‌به نتایج به‌دست آمده ازآزمون همبستگی، بین سن کشاورزان و میزان مشارکت آنها در طرح انتقال آب رابطه معنی‌داری وجود ندارد. اما نتایج آزمون بیان تفاوت بیانگر این مطلب است که بین گروه‌های مختلف سنی کشاورزان به لحاظ میزان مشارکت در طرح انتقال آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد. گروه‌های سنی با سن کمتر مشارکت بیشتری در طرح دارند. در این رابطه گروه سنی ۲۰ تا ۳۰ سال بیشترین مشارکت را دارند. به این دلیل که افراد با سن کمتر ریسک‌پذیری بیشتری دارند و ترجیح می‌دهند روش‌های سنتی که سخت هم می‌باشد را دنبال نکنند. در مقابل افراد با سن بیشتر اهل ریسک‌پذیری نیستند و ترجیح می‌دهند همان روش‌های سنتی را دنبال کنند و متقاعد کردن آنها برای کنار گذاشتن این روش‌ها سخت و زمان‌بر است. در این رابطه باید با برگزاری دوره‌های ترویجی و آگاه کردن کشاورزان با میانگین سنی بیشتر نسبت به مزایای طرح باعث افزایش مشارکت آنها شد. این یافته با نتایج پژوهش سالارپور و همکاران (۱۴۰۰) همسو می‌باشد.

در تحقیق ایشان نیز سن یکی از متغیرهای مهم و تأثیرگذار بر پذیرش فناوری‌های آبیاری تحت فشار در دشت سیستان بوده است. در این پژوهش نیز سن به‌طور منفی و معنی‌داری پذیرش آبیاری تحت فشار را پیشبینی می‌کند، به‌این‌معنی که افزایش سن موجب کاهش پذیرش فن‌آوری آبیاری تحت فشار شده و برعکس آن نیز صادق است که کاهش سن موجب افزایش پذیرش آبیاری تحت فشار می‌شود.

یافته‌های پژوهش نشان داد اراضی تحت پوشش طرح از یک هکتار تا بیشتر از ۶۰ هکتار بوده است. نتایج آزمون همبستگی حاکی از بیان رابطه منفی بین مساحت اراضی تحت پوشش و مشارکت در طرح انتقال آب می‌باشد. علاوه‌براین، نتایج آزمون بیان تفاوت بیانگر تفاوت معنی‌دار بین گروه‌های مختلف دارای میزان زمین کشاورزی بود. بر مبنای این یافته، هر چه میزان اراضی کشاورزی بیشتر باشد، مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب به دشت سیستان کمتر می‌شود. در دشت سیستان در مورد مالکیت زمین سه نوع زمین وجود دارد؛ شخصی، تصرفی و بهره‌بردار. در مورد زمین‌های شخصی که معمولا وسعت آنها زیاد نیست، باتوجه‌به مقدار زمین، میزان آب برای آن مشخص می‌شود. زمین‌های تصرفی معمولا به زمین‌های رها شده توسط مالک این زمین‌ها به دلایل مختلف مثل مهاجرت گفته می‌شود. افراد دیگر این زمین‌ها را به تصرف خود درآورده‌اند. در این طرح دولت به زمین‌های تصرفی آب نمی‌دهد. زمین‌های بهره‌بردار نیز به این صورت می‌باشد که زمین متعلق به دولت است و به کشاورزانی که کشاورزی می‌کنند، داده می‌شود. مقدار آبی که به این قبیل زمین‌ها تعلق می‌گیرد کمتر از زمین‌های شخصی می‌باشد، در نتیجه مالکان زمین‌های تصرفی و بهره‌بردار راضی به اجرای این طرح نمی‌باشند. این یافته با نتایج پژوهش سالارپور و همکاران (۱۴۰۰) ناهمسو می‌باشد. در پژوهش سالارپور و همکاران با عنوان بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقهٔ سیستان، هر اندازه مساحت اراضی کشاورزان بیشتر باشد، پذیرش فناوری آبیاری تحت فشار بیشتر است.

باتوجه‌به بخش دیگری از یافته‌های پژوهش، میان گروه‌های مختلف دارای سابقه کشاورزی به لحاظ میزان مشارکت در طرح انتقال آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد. در این زمینه کشاورزان با سابقه کاری کمتر میزان مشارکت بیشتری در طرح انتقال آب دارند. در اینجا نیز کشاورزان با سابقه کاری کمتر معمولا سن کمتری دارند و باتوجه‌به آنچه در بالا بیان شد (رابطه سن و میزان مشارکت) معمولا میزان مشارکت آن‌ها بیشتر است. از جمله یافته‌های مهم پژوهش عدم وجود رابطه معنی‌دار بین میزان مراجعه تسهیلگران به روستا و همچنین میزان دسترسی به تسهیلگران با مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب می‌باشد. در بعضی روستاها مراجعه تسهیلگران به روستا به دلیل کمبود تعداد تسهیلگر کم می‌باشد. عدم استقبال از تسهیلگران توسط کشاورزان در برخی دیگر از روستاها از دیگر دلایل نبود رابطه معنی‌دار بین مراجعه و دسترسی به تسهیلگر و مشارکت در طرح می‌باشد. در بعضی دیگر نیز تسهیلگران نتوانستند وظایف خود را در راستای افزایش مشارکت کشاورزان به‌درستی انجام دهند. در این زمینه لازم است تا مجریان طرح علاوه بر انجام اقدامات لازم در راستای توانمندسازی تسهیلگران، زمینه تغییر نگرش همه روستاییان و کشاورزان نسبت به این افراد را نیز فراهم آورند.

یکی از اقدامات انجام شده توسط تسهیلگران، اعتمادسازی می‌باشد. باتوجه‌به آزمون همبستگی بین اعتمادسازی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. به‌این‌معنا که افزایش اعتمادسازی در بین روستاییان توسط تسهیلگران باعث توانمندسازی آنها می‌شود. همچنین نتایج تحلیل مسیر بیانگر این مطلب است که اعتمادسازی به عنوان یک متغیر مستقل دارای بیشترین اثر بر توانمندسازی و بیشترین اثر علی کل بر مشارکت روستاییان و کشاورزان در طرح انتقال آب می‌باشد. در این زمینه لازم است تا با پرهیز از دادن وعده‌های بدون پشتوانه به کشاورزان، مشارکت آنها را در انجام طرح تقویت گردد. علاوه‌این، توجه

جدی به حل موضوع حق‌آبه عرفی بهره‌برداران از طریق مشورت با کشاورزان، ریش‌سفیدان و معتمدین محلی در ایجاد و تقویت اعتماد مردم مؤثر است. آگاهی‌بخشی وظیفه دیگر تسهیلگران در طرح می‌باشد. باتوجه آزمون همبستگی، بین آگاهی‌بخشی و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. به این معنا که افزایش آگاهی در بین روستاییان توسط تسهیلگران باعث توانمندسازی آنها می‌شود. بر اساس نتایج تحلیل مسیر، میزان اثر مستقیم آگاهی‌بخشی بر توانمندسازی و اثر غیرمستقیم این متغیر بر میزان مشارکت کشاورزان به یک میزان (۰/۱۵۴) می‌باشد. در این رابطه می‌توان پیشنهاد داد که تسهیلگران می‌توانند با باز کردن تمامی زوایای طرح و محاسن آن و مشارکت در برگزاری دوره‌های ترویجی، کشاورزان را نسبت به مزایای طرح آبرسانی آگاه سازند که این امر باعث افزایش مشارکت روستاییان در انجام طرح می‌شود.

نهادسازی و جریان‌سازی اقدام دیگر تسهیلگران در طرح می‌باشد. آزمون همبستگی بیانگر ارتباط خوبی بین نهادسازی و جریان‌سازی در بین روستاییان و توانمندسازی آنها می‌باشد. همچنین باتوجه‌به نتایج تحلیل مسیر، نهادسازی و جریان‌سازی در مرتبه دوم از میان متغیرهای مستقل دارای اثر علی بر توانمندسازی و مشارکت روستاییان قرار دارد. تشکیل و تقویت گروه‌های هم‌آب و مورد قبول روستاییان علاوه بر توانمندسازی روستاییان و کشاورزان زمینه مشارکت آنها در طرح و به ویژه در حفظ و نگهداری زیرساخت‌های طرح و کاهش اختلافات احتمالی بر سر آب و زمین را فراهم می‌آورد. ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی تسهیلگران عامل مهم دیگری در راستای توانمندسازی و مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب می‌باشد. نتایج آزمون همبستگی و تحلیل مسیر بیانگر ارتباط مؤثر بین ویژگی‌های شخصیتی و روانشناختی تسهیلگران و توانمندسازی روستاییان و کشاورزان برای مشارکت در طرح انتقال آب می‌باشد. در این رابطه می‌توان گفت که هر چه یک تسهیلگر دارای ویژگی‌های شخصیتی از قبیل توانایی جلب اعتماد مردم محلی، حس مسؤولیت‌پذیری، علاقه‌مندی و تعهد به طرح، قدرت بیان مناسب و توانایی توجیه مردم داشته باشد به همان نسبت مشارکت روستاییان در پذیرش طرح انتقال آب افزایش خواهد یافت. برای رسیدن به این مهم لازم است تا به طور مرتب تسهیلگران در دوره‌های بازآموزی مربوط به طرح شرکت کرده و به دوره‌های آموزشی و ترویجی که در ابتدای شروع طرح شرکت کرده‌اند، بسنده نشود. دانش و مهارت فنی تسهیلگران عامل مهم دیگری در راستای توانمندسازی و جلب مشارکت مردم می‌باشد. نتایج آزمون همبستگی حاکی از همبستگی مثبت و مؤثر بین این متغیر و متغیرهای توانمندسازی و مشارکت روستاییان می‌باشد. باتوجه‌به نتایج تحلیل مسیر این متغیر نیز همانند سایر متغیرها بر مشارکت مردم در طرح انتقال آب اثر علی قابل قبولی دارد. شناخت و تسلط کامل نسبت به زوایای مختلف طرح و مهارتهای مرتبط در رابطه با انجام آن از قبیل آشنایی با GIS و GPS از جمله عوامل اثرگذار بر موفقیت تسهیلگران برای جلب مشارکت کشاورزان در طرح انتقال آب می‌باشد.

متغیرهای بیان شده با میانجیگری متغیر توانمندسازی بر مشارکت در طرح انتقال آب تأثیر می‌گذارند. این متغیر در این پژوهش دارای ابعاد چهارگانه اجتماعی، فنی، محیط‌زیستی و روانشناختی است. میانگین ابعاد مختلف توانمندسازی روستاییان و کشاورزان حاکی از آن است که توانمندسازی اجتماعی با میانگین ۳/۸۷۴ در رتبه اول و پس از آن توانمندسازی روانشناختی با میانگین ۳/۸۷۰، توانمندسازی محیط‌زیستی با میانگین ۳/۸۶۲ و توانمندسازی فنی روستاییان با میانگین ۳/۸۵۷ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. میانگین‌های به‌دست آمده بیانگر اثر یکسان تسهیلگران بر ابعاد مختلف توانمندسازی می‌باشد. نکته جالب آن است که باوجود بیان کشاورزان به دارا بودن مهارت فنی توسط تسهیلگران، و کسب رتبه اول این متغیر (مهارتهای فنی تسهیلگر) در میان سایر متغیرهای مستقل، در مقابل نقش تسهیلگران در توانمندسازی فنی مردم در رتبه آخر قرار دارد. این یافته با نتایج ارائه شده در پژوهش سواری و اسکندری‌دامنه (۱۳۹۸) همسو می‌باشد. در پژوهش سواری و اسکندری‌دامنه در جنوب استان کرمان اشاره شده است هر چه میزان مشارکت جوامع محلی در برنامه‌های مقابله با خشکسالی بیشتر شود، سطح توانمندی جوامع روستایی بالا می‌رود و توان مقابله‌ی آنان افزایش می‌یابد. اگر چه همان‌طور که گفته شد تفاوت بین میانگین ابعاد مختلف توانمندسازی تفاوت محسوسی نیست، ولی تلاش تسهیلگران برای ارتقای توان فنی و مهارتی کشاورزان در مورد طرح ضروری است.

متغیر توانمندسازی دارای ضریب همبستگی بالایی (۰/۷۱۲) با متغیر مشارکت می‌باشد. بر اساس نتایج تحلیل مسیر، این متغیر دارای بیشترین اثر علی کل (۰/۷۱۲) بر میزان مشارکت می‌باشد. نکته قابل توجه این است که ارتباط بین این دو متغیر هیچ گونه اثر غیرعلی کل نداشته و تمام مقادیر همبستگی بین این دو متغیر توسط اثرات علی تبیین شده است. این به معنی اهمیت توانمندسازی کشاورزان در راستای جلب مشارکت آنان در طرح انتقال آب به دشت سیستان می‌باشد. مشارکت روستاییان در طرح آب‌رسانی به دشت سیستان در قالب سه نشانگر مشارکت در برنامه‌ریزی، مشارکت در اجرا و مشارکت در حفظ و نگهداری مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است. باتوجه‌به میانگین‌های به‌دست آمده، بیشترین میزان مشارکت روستاییان مربوط به مشارکت در برنامه‌ریزی با میانگین ۳/۸۸۲ می‌باشد. حفظ و نگهداری با میانگین ۳/۸۱۸ و مشارکت در اجرا با میانگین ۳/۸۱۵ در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارد. همان‌طور که از مقادیر میانگین مشخص است، بین مشارکت در ابعاد سه‌گانه تفاوت محسوسی وجود ندارد. البته لازم است تا با راه‌کارهایی مانند آگاه‌سازی روستاییان از فواید مشارکت در زمینه‌های مختلف، فرهنگ‌سازی، ایجاد و تقویت رویکرد مشارکتی و تحرک

اجتماعی، تشکیل و تقویت نهادهای غیردولتی، تشکل‌های مردمی و محلی برای مشارکت بیشتر در توسعه محلی به افزایش مشارکت در اجرای طرح نیز کمک کرد. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های محدث‌حسینی (۱۳۹۴) و نوری‌پور و نوری (۱۳۹۲) هم‌راستا است. در هر دوی این پژوهش‌ها به نقش مثبت تسهیلگری اجتماعی و ارتقای سرمایه اجتماعی مردم محلی در جلب مشارکت کشاورزان و روستائیان در مدیریت شبکه‌های آبیاری و آبخیزداری اشاره شده است.

همانند همه پژوهش‌ها این پژوهش نیز با محدودیت‌هایی مواجه بود. ادبیات نظری ناکافی در زمینه نقش تسهیل‌گران درخصوص پروژه‌های مرتبط با مدیریت منابع آب، عدم دسترسی به همه روستاییان به علت نبود زمان کافی، وسعت زیاد محدوده مورد مطالعه و همکاری نکردن روستاییان از جمله مهمترین این محدودیت‌ها می‌باشند.

منابع

پارسیانی، سارا، شریف‌زاده، محمدشریف، محبوبی، محمدرضا، عبداله‌زاده، غلامحسین و شریفی، مهنوش. (۱۴۰۰). نقش تسهیل‌گران در پیشبرد کارآفرینی زنان روستایی: دلالت‌هایی برای آموزش تسهیل‌گری، فصلنامه علمی پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، ۱۳ (۵۷)، ۲۸-۵۳.
https://doi.org/10.22092/jaear.2021.355520.1847

پورکند، شیوا، و معتمد، محمد کریم. (۱۳۹۰). نقش تسهیل‌گران زن در ایجاد گروه‌های مستقل زنان روستایی راهکاری در جهت توسعه پایدار روستایی، اولین کنفرانس بین‌المللی توسعه روستایی، تجارب و آینده‌نگری در توسعه محلی، زاهدان.
https://civilica.com/doc/400169

خدابخشی، بهناز و خدابخشی، فرناز. (۱۳۸۵). انتقال بین حوضه‌ای آب، رویکردی پایدار در مدیریت منابع آب کشور، برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
https://civilica.com/doc/13431

سالارپور، ماشاالله، داورپناه، مجتبی، و زارع، قدسیه. (۱۴۰۰). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فن‌آوری‌های نوین آبیاری در بین کشاورزان منطقه سیستان، آب و توسعه پایدار، ۸ (۴)، ۲۳-۳۲.
https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2107.1064

سواری، مسلم، و اسکندری‌دامنه، حامد. (۱۳۹۸). نقش مدیریت مشارکتی در توانمندسازی جوامع محلی در مقابله با خشکسالی در جنوب استان کرمان، فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۳(۲)، ۱۷۱-۱۲۳.
Doi:20.1001.1.16059689.1398.23.2.5.8

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان (۱۴۰۰). آمارنامه آب استان سیستان و بلوچستان، دفتر آمار و فناوری اطلاعات. زاهدان، سیستان و بلوچستان.

ظفری، مجید. (۱۳۹۹). نقش گروه‌های تسهیل‌گر اجتماعی در توسعه شهر رشت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور، رشت، ایران.
https://iranlibs.ir/dl/search/default.aspx?Term=161736&Field=0&DTC=34

قائدی، سعید، افراسیاب، پیمان، لیاقت، عبدالمجید، و خمري، عیسی. (۱۳۹۴). استفاده تلفیقی از آب شور و غیر شور در کشت سورگوم و آفتابگردان در دشت سیستان. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۲، ۱۸۲-۱۷۳.
https://journals.ut.ac.ir/article_55923_0.html

کلانتری، خلیل. (۱۳۹۵). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی-اقتصادی. انتشارات فرهنگ صبا. تهران.

محدث‌حسینی، سیداحمد. (۱۳۹۴). نقش تسهیل گری در مشارکت روستاییان جهت پروژه‌ها آبخیزداری (ابعاد اقتصادی اجتماعی). چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، مشهد.
https://sid.ir/paper/868877/fa

محمدی‌دینایی، منصور، مولایی، یوسف، و بنی‌حبیب، محمدابراهیم. (۱۴۰۱). جایگاه اصل مشارکت عمومی در مدیریت منابع آب از منظر حقوق داخلی و حقوق بین‌الملل آب. مجله پایداری، توسعه و محیطزیست،۳ (۳)،۱۵-۲۷.Doi:20.1001.1.24233846.1401.3.3.2.4

نوری‌پور، مهدی، و نوری، مرتضی. (۱۳۹۲). تحلیل نقش سرمایه اجتماعی در مشارکت حاملان آب در شبکه آبیاري و زهکشی دشت لیشتر، مجله علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۸ (۱)، ۷۰-۵۰.
https://civilica.com/doc/1534232

هاشمی، سیدمختار. (1401). حکمرانی محلی آب در ایران: پیامدها و توصیه های سیاستی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱۳۵-۱۴۴.

همایون‌نژاد، ایمان، امیریان، پریا، و پیری، عیسی. (۱۳۹۵). ارزیابی کیفیت آب مخازن چاه‌نیمه زابل از نقطه نظر شرب و کشاورزی (با تکیه بر نمودارهای شولر و ویلکوکس). علوم و تکنولوژی محیطزیست، ۱۸، ۱-۱۲.
https://www.magiran.com/p1596588

Aniah, Ph., Katherine, M., & Ayemobilla, J. (2019). Smallholder farmers' livelihood adaptation to climate variability and ecological changes in the savanna agro -ecological zone of Ghana. Heliyon, 5(4), 145.
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01492

Cristóvão, A., Koutsouris, A., & Kügler, M. (2012). Extension systems and change facilitation for

Powlen, K., A., & Jones, K. W. (2019). Identifying the deter minants of and barriers to landowner participation in reforestation in Costa Rica. Land use policy, 84, 216-225. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.02.021

When, U. & Almomani, A. (219). Incentives and barriers for participation in community-based environmental monitoring and information systems: A critical analysis and integration of the literature. Environmental Science & Policy, 101, 341-357. DOI: 10.1016/j.envsci.2019.09.002.

agricultural and rural development. In: farming systems research into the 21st century: the new dynamic, Springer, Dordrecht. 201-227. DOI: 10.1007/978-94-007-4503-2_10

Ejaz Ali Khan, R., Rehman, H. & Abrar-ul-Haq, M. (2015). Determinants of Rural Household Poverty: The Role of Household Socioeconomic Empowerment, American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 15 (1), 93-98. DOI: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.1.1050

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). Pages 165 to 178

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۶۵ تا ۱۷۸

Document Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Moral Hazard in Agricultural Insurance and Its Implications for Sustainable Water Resource Use: Evidence From Selected Crops in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province

A. Biniaz

Assistant Professor in Agricultural Economics, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.

Email: abiniaz@pnu.ac.ir

Received ▶ 25-04-2026
Revised ▶ 29-07-2026
Accepted ▶ 31-07-2026
Available online ▶ 16-09-2026

Abstract

This study investigates the effect of agricultural insurance on the intensity of water consumption and examines the phenomenon of moral hazard in the agricultural sector. The analysis is based on cross-sectional data collected from 180 farmers producing selected crops, including wheat, apples, walnuts, and grapes, in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. To analyze the data and control for potential selection bias, a combination of econometric methods was employed, including Ordinary Least Squares (OLS), the Logit model, Propensity Score Matching (PSM), and Endogenous Switching Regression (ESR). The OLS results indicate that agricultural insurance coverage is associated with an average increase of 842 m^3/ha/year in water consumption. The PSM results also indicate a positive and statistically significant association between insurance coverage and water consumption after controlling for observable differences between insured and uninsured farmers. The ESR estimates suggest that insured farmers would have consumed, on average, 1,445 m^3/ha/year less water in the counterfactual absence of insurance coverage. This finding is consistent with the hypothesis of moral hazard in agricultural water-use behavior. Crop-specific comparisons further indicate that the largest relative differences in water consumption between insured and uninsured farmers are observed for walnut (21.4%) and apple (20.7%) production. Furthermore, improvements in the water resource management index and the adoption of modern irrigation methods are associated with statistically significant reductions in water consumption, whereas the effect of water costs on farmers' water consumption was not statistically significant. Overall, the findings suggest that agricultural insurance, despite its supportive role in reducing production risks, may increase pressure on water resources by altering farmers' behavioral incentives. Therefore, designing agricultural insurance schemes that incorporate water-use efficiency criteria and aligning insurance policies with sustainable water resource management objectives are essential.

Keywords: Agricultural Insurance, Moral Hazard, Water Consumption, Endogenous Switching Regression, Propensity Score Matching, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad.

خطر اخلاقی در بیمه کشاورزی و پیامدهای آن برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب: شواهدی از محصولات منتخب استان کهگیلویه و بویراحمد

ارسلان بی نیاز

استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

رایانامه: abiniaz@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت ◀ ۱۴۰۵/۰۲/۰۵
تاریخ بازنگری ◀ ۱۴۰۵/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش ◀ ۱۴۰۵/۰۵/۰۹
تاریخ انتشار ◀ ۱۴۰۵/۰۶/۲۵

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر بیمه کشاورزی بر شدت مصرف آب و تحلیل پدیده خطر اخلاقی در بخش کشاورزی انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات مقطعی ۱۸۰ کشاورز تولیدکننده محصولات منتخب (گندم، سیب، گردو و انگور) در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. به‌منظور تحلیل داده‌ها و کنترل تورش انتخاب، از ترکیبی از روش‌های اقتصادسنجی شامل مدل حداقل مربعات معمولی (OLS)، مدل لاجیت، روش تطبیق نمره تمایل (PSM) و رگرسیون سوئیچینگ درونزا (ESR) استفاده شده است. نتایج مدل OLS نشان داد که برخورداری از بیمه کشاورزی با افزایش متوسط ۸۴۲ مترمکعبی مصرف آب در هر هکتار در سال همراه است. نتایج روش تطبیق نمره تمایل نیز ارتباط مثبت و معنادار برخورداری از بیمه کشاورزی با میزان مصرف آب را پس از کنترل تفاوت‌های مشاهده‌پذیر میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده تأیید کرد. برآوردهای مدل ESR نشان داد که کشاورزان بیمه‌شده در وضعیت فرضی عدم برخورداری از بیمه، به‌طور متوسط ۱۴۴۵ مترمکعب در هکتار در سال آب کمتری مصرف می‌کردند. این یافته با فرضیه وجود خطر اخلاقی در رفتار مصرف آب کشاورزان سازگار است. بررسی نتایج به تفکیک محصول نیز نشان داد که بیشترین اختلاف نسبی مصرف آب میان بهره‌برداران بیمه‌شده و غیربیمه‌شده مربوط به محصولات گردو (۲۱/۴ درصد) و سیب (۲۰/۷ درصد) است. همچنین بهبود شاخص مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های نوین آبیاری با کاهش معنادار مصرف آب همراه بود؛ درحالی‌که اثر هزینه آب بر مصرف آب کشاورزان از نظر آماری معنادار نبود. در مجموع، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که بیمه کشاورزی، با وجود نقش حمایتی در کاهش ریسک تولید، ممکن است از طریق تغییر انگیزه‌های رفتاری بهره‌برداران، فشار بر منابع آب را افزایش دهد. بنابراین، طراحی سازوکارهای بیمه‌ای مبتنی بر بهره‌وری مصرف آب و هماهنگ‌سازی سیاست‌های بیمه کشاورزی با اهداف مدیریت پایدار منابع آب ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بیمه کشاورزی، خطر اخلاقی، مصرف آب، رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا، تطبیق نمره تمایل، کهگیلویه و بویراحمد.

How to cite this article:

Biniaz, A. (2026). Moral Hazard in Agricultural Insurance and Its Implications for Sustainable Water Resource Use: Evidence From Selected Crops in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. Journal of Water and Sustainable Development, 13(2), 165-178. https://doi.org/10.22067/jwsd.v13i2.2604-1515

مقدمه و اهمیت موضوع

بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از ارکان اساسی امنیت غذایی، رشد اقتصادی و توسعه پایدار، وابستگی قابل توجهی به منابع طبیعی، به‌ویژه آب، دارد. این بخش در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، از جمله ایران، یکی از مهم‌ترین مصرف‌کنندگان منابع آب تجدیدپذیر محسوب می‌شود و نقش تعیین‌کننده‌ای در فشار بر منابع آب سطحی و زیرزمینی ایفا می‌کند بر اساس اطلاعات سامانه جهانی آب و کشاورزی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، بخش کشاورزی حدود ۶۹ درصد از برداشت جهانی آب شیرین را به خود اختصاص می‌دهد (FAO، ۲۰۲۱) در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت، تغییر الگوهای مصرف مواد غذایی، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و تشدید تغییرات اقلیمی، چالش‌های مدیریت منابع آب را افزایش داده‌اند. در چنین شرایطی، مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی به یکی از محورهای اساسی سیاست‌گذاری تبدیل شده است و هرگونه مداخله اقتصادی و حمایتی در این بخش می‌تواند پیامدهای مستقیمی بر الگوی بهره‌برداری از منابع آب داشته باشد. در ایران نیز افت سطح آبخوان‌ها، محدودیت منابع آب تجدیدپذیر و افزایش رقابت میان بخش‌های مصرف‌کننده، ضرورت توجه به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی را بیش از پیش آشکار ساخته است.

در چنین شرایطی، سیاست‌های حمایتی بخش کشاورزی علاوه بر آثار اقتصادی، ممکن است پیامدهای مهمی برای منابع طبیعی و محیط‌زیست داشته باشند. یکی از مهم‌ترین این سیاست‌ها، بیمه کشاورزی است که با هدف کاهش نااطمینانی تولید، جبران خسارت‌های ناشی از مخاطرات طبیعی و کمک به تثبیت درآمد کشاورزان توسعه یافته است. بیمه کشاورزی از طریق انتقال بخشی از ریسک تولید به نهاد بیمه‌گر می‌تواند ظرفیت مالی و تاب‌آوری اقتصادی بهره‌برداران را در برابر مخاطرات اقلیمی افزایش دهد. بااین‌حال، از منظر اقتصاد اطلاعات، پوشش بیمه‌ای ممکن است انگیزه‌های رفتاری تولیدکنندگان را نیز تغییر دهد. بر اساس مبانی نظری عدم تقارن اطلاعات (Akerlof، ۱۹۷۰) و تحلیل اقتصادی تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان (Arrow، ۱۹۶۳) تغییر در توزیع ریسک و پیامدهای مالی تصمیم‌ها می‌تواند بر رفتار اقتصادی افراد تأثیر بگذارد. در بازار بیمه، هنگامی که بخشی از پیامدهای مالی خسارت به بیمه‌گر منتقل می‌شود و رفتار بیمه‌گذار به‌طور کامل قابل مشاهده یا کنترل نیست، امکان تغییر رفتار پس از انعقاد قرارداد و بروز پدیده خطر اخلاقی فراهم می‌شود.

از دیدگاه نظری، خطر اخلاقی زمانی مطرح می‌شود که برخورداری از پوشش بیمه‌ای انگیزه بیمه‌گذار را برای انجام اقدامات پیشگیرانه یا مدیریت بهینه نهاده‌های تولید تغییر دهد. در بخش کشاورزی، این تغییر می‌تواند در قالب کاهش مراقبت از محصول، تغییر در میزان استفاده از نهاده‌ها، تغییر الگوی کشت یا اتخاذ تصمیم‌های تولیدی متفاوت بروز کند. بااین‌حال، جهت اثر بیمه بر مصرف نهاده‌های تولید الزاماً یکسان نیست. در برخی شرایط، کاهش ریسک مالی ممکن است انگیزه انجام اقدامات پرهزینه برای جلوگیری از خسارت را کاهش دهد و موجب کاهش مصرف برخی نهاده‌ها شود؛ درحالی‌که در شرایط دیگر، برخورداری از پوشش بیمه‌ای ممکن است زمینه تغییر الگوی تولید، افزایش سطح فعالیت یا استفاده بیشتر از نهاده‌های تولید را فراهم کند. بنابراین، بررسی پیامدهای رفتاری بیمه مستلزم توجه هم‌زمان به ویژگی‌های قرارداد بیمه، شرایط تولید، ساختار هزینه‌ها و محدودیت‌های منابع است.

در این میان، آب به‌عنوان یکی از نهاده‌های حیاتی تولید کشاورزی، جایگاه ویژه‌ای دارد. برخلاف بسیاری از نهاده‌های تولید، مصرف آب علاوه بر تأثیر بر عملکرد محصول و درآمد کشاورز، با پایداری منابع طبیعی و منافع سایر بهره‌برداران نیز ارتباط مستقیم دارد. ازاین‌رو، تغییر رفتار مصرف آب در نتیجه سیاست‌های بیمه‌ای ممکن است پیامدهایی فراتر از سطح مزرعه ایجاد کند. از منظر اقتصادی، برخورداری از بیمه می‌تواند از دو مسیر متفاوت بر مصرف آب تأثیر بگذارد. از یک‌سو، اطمینان از جبران بخشی از خسارت احتمالی ممکن است انگیزه کشاورز را برای انجام آبیاری تکمیلی پرهزینه در شرایط کم‌آبی کاهش دهد. از سوی دیگر، کاهش ریسک درآمدی و تغییر تصمیم‌های تولیدی ممکن است به افزایش سطح فعالیت کشاورزی یا مصرف آب در برخی واحدهای تولیدی منجر شود. در نتیجه، جهت و شدت تأثیر بیمه بر مصرف آب از پیش قطعی نیست و شناسایی آن نیازمند بررسی تجربی است.

مطالعات متعددی در سطح بین‌المللی به بررسی پیامدهای رفتاری بیمه کشاورزی و نقش آن در تصمیم‌گیری تولیدکنندگان پرداخته‌اند. Smith و Goodwin (۱۹۹۶) با بررسی رابطه میان بیمه محصولات کشاورزی، خطر اخلاقی و مصرف نهاده‌های شیمیایی در مزارع گندم دیم ایالت کانزاس آمریکا نشان دادند که کشاورزان برخوردار از بیمه تمایل به استفاده کمتر از برخی نهاده‌های شیمیایی دارند. این یافته بیانگر آن است که پوشش بیمه‌ای می‌تواند از طریق تغییر انگیزه‌های اقتصادی تولیدکنندگان، رفتار استفاده از نهاده‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و لزوماً موجب افزایش مصرف آن‌ها نشود. Coble و همکاران (۱۹۹۷) نیز با ارائه رویکردی مبتنی بر غرامت مورد انتظار، به بررسی خطر اخلاقی در بیمه محصولات کشاورزی پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که شواهد خطر اخلاقی در سال‌های نامساعد تولید مشاهده می‌شود، درحالی‌که در سال‌های برخوردار از شرایط مساعد تولید، چنین اثری از نظر آماری معنادار نیست. این یافته‌ها بر اهمیت شرایط تولید و ماهیت مخاطرات در بروز رفتارهای مرتبط با خطر اخلاقی تأکید دارند.

در ادامه، Finger و Lehmann (۲۰۱۲) با بررسی تصمیم‌های کشاورزان سوئیسی درباره استفاده از بیمه تگرگ نشان دادند که پرداخت‌های مستقیم و سیاست‌های حمایتی کشاورزی می‌توانند بر انگیزه مشارکت در برنامه‌های بیمه‌ای تأثیر بگذارند. این مطالعه بر ضرورت توجه به ارتباط میان سیاست‌های حمایتی و ابزارهای مدیریت ریسک در تحلیل رفتار بهره‌برداران تأکید دارد. Di Falco و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیمه کشاورزی را به‌عنوان یکی از ابزارهای سازگاری با تغییرات اقلیمی بررسی کردند و بر نقش آن در مدیریت ریسک و کاهش آسیب‌پذیری اقتصادی تولیدکنندگان تأکید داشتند. همچنین، Miao و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی آثار یارانه‌های بیمه محصولات کشاورزی بر تغییر کاربری زمین نشان دادند که حمایت‌های بیمه‌ای می‌توانند از طریق تغییر انگیزه‌های اقتصادی، بر تصمیم‌های مربوط به تبدیل اراضی به فعالیت‌های زراعی تأثیر بگذارند. مجموعه این مطالعات نشان می‌دهد که سیاست‌های بیمه‌ای و حمایتی ممکن است علاوه بر کاهش ریسک درآمدی، تصمیم‌های تولیدی و نحوه تخصیص منابع را نیز تغییر دهند.

در حوزه مدیریت منابع آب کشاورزی، پژوهش‌ها بر اهمیت هم‌زمان عوامل فنی، اقتصادی و مدیریتی در تعیین الگوی استفاده از آب تأکید دارند. Masseroni و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی موضوع برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب برای آبیاری، بر ظرفیت سامانه‌های هوشمند آبیاری و فناوری‌های نوین در بهبود مدیریت مصرف آب و پایداری فعالیت‌های کشاورزی تأکید کردند. این رویکرد نشان می‌دهد که رفتار مصرف آب تنها به نیاز فیزیولوژیک گیاه یا محدودیت‌های فیزیکی منابع وابسته نیست، بلکه کیفیت مدیریت مزرعه، فناوری آبیاری و شرایط نهادی نیز در آن نقش دارند. از سوی دیگر، تأثیر سیاست‌های بیمه‌ای بر میزان مصرف آب ممکن است با اثر این سیاست‌ها بر سایر نهاده‌ها متفاوت باشد؛ زیرا آب علاوه بر نقش تولیدی، دارای محدودیت‌های دسترسی، هزینه‌های تأمین و پیامدهای زیست‌محیطی است. بنابراین، تعمیم مستقیم نتایج مطالعات مربوط به مصرف کود، سموم یا تصمیم‌های کاربری زمین به رفتار مصرف آب، بدون بررسی تجربی مستقل، از نظر علمی قابل اتکا نیست.

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی به بررسی ابعاد مختلف بیمه کشاورزی، عوامل مؤثر بر پذیرش آن و پیامدهای رفتاری پوشش بیمه‌ای پرداخته‌اند. دوراندیش و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی مخاطرات اخلاقی و انتخاب نامناسب در بیمه گندم آبی استان خراسان رضوی و استفاده از مدل سیستم معادلات هم‌زمان، به تحلیل رفتار کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده در شرایط اقلیمی متفاوت پرداختند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که رفتار بهره‌برداران در مواجهه با پوشش بیمه‌ای در مناطق مختلف اقلیمی یکسان نیست و شرایط تولید می‌تواند در شدت و جهت واکنش آنان نقش داشته باشد. اهمیت این مطالعه در آن است که شناسایی خطر اخلاقی را به بررسی رفتار واقعی تولیدکنندگان و شرایط تولید مرتبط می‌سازد و نشان می‌دهد که نمی‌توان برای تمامی مناطق و بهره‌برداران، واکنش رفتاری یکسانی نسبت به بیمه فرض کرد. در حوزه ارزیابی عملکرد بیمه و عوامل مؤثر بر مشارکت کشاورزان، نجفی و احمدپور برازجانی (۱۳۸۰) به ارزیابی عملکرد برنامه بیمه محصولات کشاورزی پرداختند. همچنین، شاهنوشی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی عوامل ساختاری و عملکردی مؤثر بر رضایت بیمه‌گذاران محصولات کشاورزی در استان خراسان رضوی، به تحلیل ابعاد مؤثر بر ارزیابی کشاورزان از خدمات بیمه‌ای پرداختند. این دسته از پژوهش‌ها اهمیت ویژگی‌های فردی بهره‌برداران و ساختار اجرایی نظام بیمه را در عملکرد برنامه‌های حمایتی کشاورزی برجسته می‌سازند.

حسین‌بر و همکاران (۱۴۰۲) نیز با استفاده از الگوی لاجیت ترتیبی تعمیم‌یافته، عوامل مؤثر بر پذیرش بیمه محصول خرما را از دیدگاه کارگزاران صدور بیمه‌نامه و با تأکید بر عملکرد صندوق بیمه کشاورزی بررسی کردند. این پژوهش با تمرکز بر عوامل مؤثر بر پذیرش بیمه، اهمیت ابعاد نهادی و اجرایی برنامه‌های بیمه‌ای را در توسعه پوشش بیمه محصولات کشاورزی مورد توجه قرار داد. چنین مطالعاتی نشان می‌دهند که مشارکت در بیمه کشاورزی فرایندی کاملاً تصادفی نیست و می‌تواند تحت تأثیر ویژگی‌های فردی، اقتصادی، نهادی و شرایط فعالیت بهره‌برداران قرار گیرد. این موضوع در پژوهش‌هایی که به دنبال برآورد اثر بیمه بر رفتار تولیدکنندگان هستند، اهمیت روش‌شناختی ویژه‌ای دارد؛ زیرا تفاوت‌های اولیه میان گروه‌های بیمه‌شده و غیربیمه‌شده ممکن است بر نتایج مقایسه‌ای تأثیر بگذارند.

مرور مطالعات خارجی و داخلی نشان می‌دهد که بیمه کشاورزی علاوه بر نقش حمایتی در مدیریت ریسک تولید، می‌تواند از طریق تغییر انگیزه‌های اقتصادی و تصمیم‌های تولیدی، رفتار بهره‌برداران را تحت تأثیر قرار دهد. بااین‌حال، نتایج پژوهش‌های پیشین درباره جهت و شدت آثار رفتاری بیمه یکسان نیست و تفاوت در شرایط تولید، ویژگی‌های قرارداد بیمه، نوع محصول و ساختار نهادی می‌تواند به واکنش‌های متفاوت منجر شود. در مطالعات خارجی بررسی‌شده، بخش مهمی از توجه پژوهشگران به مصرف نهاده‌های شیمیایی، تصمیم‌های بیمه‌ای، تغییر کاربری اراضی و مدیریت ریسک معطوف بوده است؛ درحالی‌که مطالعات داخلی بیشتر بر پذیرش بیمه، عملکرد نظام بیمه‌ای، رضایت بیمه‌گذاران و شناسایی مخاطرات اخلاقی در استفاده از نهاده‌های تولید تمرکز داشته‌اند. با وجود اهمیت این پژوهش‌ها، در مطالعات بررسی‌شده، رابطه میان برخورداری از بیمه کشاورزی و میزان مصرف آب بهره‌برداران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به‌ویژه، بررسی این رابطه با درنظرگرفتن تفاوت‌های مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده و مقایسه آن در محصولات زراعی و باغی، از موضوعاتی است که شواهد تجربی محدودی درباره

آن وجود دارد.این خلأ پژوهشی در مناطق دارای محدودیت منابع آب اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا تغییر رفتار مصرف آب می‌تواند علاوه بر عملکرد اقتصادی مزرعه، بر پایداری منابع آب و منافع سایر بهره‌برداران نیز اثر بگذارد.

استان کهگیلویه و بویراحمد به دلیل تنوع اقلیمی، وابستگی فعالیت‌های کشاورزی به منابع آب و وجود هم‌زمان محصولات زراعی و باغی، زمینه مناسبی برای بررسی این موضوع فراهم می‌کند. در این استان، گندم به‌عنوان محصول زراعی مورد مطالعه و سیب، گردو و انگور به‌عنوان محصولات باغی منتخب، از نظر نیاز آبی، ارزش اقتصادی، ویژگی‌های تولید و حساسیت به مخاطرات اقلیمی تفاوت دارند. این تفاوت‌ها می‌توانند موجب ناهمگنی در نحوه واکنش کشاورزان به پوشش بیمه‌ای شوند. همچنین، تفاوت بهره‌برداران از نظر ویژگی‌های فردی، سطح اراضی، روش آبیاری، کیفیت مدیریت مزرعه و دسترسی به خدمات کشاورزی، ضرورت استفاده از روش‌های اقتصادسنجی مناسب برای تفکیک رابطه بیمه و مصرف آب از سایر عوامل تأثیرگذار را برجسته می‌سازد.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر برخورداری از بیمه کشاورزی بر میزان مصرف آب بهره‌برداران و ارزیابی شواهد مرتبط با خطر اخلاقی در استان کهگیلویه و بویراحمد است. از منظر نظری، تأثیر بیمه بر مصرف آب می‌تواند مثبت یا منفی باشد؛ زیرا از یک‌سو، اطمینان از جبران بخشی از خسارت احتمالی ممکن است انگیزه انجام آبیاری تکمیلی پرهزینه را کاهش دهد و از سوی دیگر، کاهش ریسک درآمدی و تغییر تصمیم‌های تولیدی ممکن است زمینه استفاده بیشتر از نهاده آب را فراهم کند. بنابراین، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به دو پرسش اساسی است: نخست، برخورداری از بیمه کشاورزی چه تأثیری بر میزان مصرف آب بهره‌برداران دارد؟ دوم، آیا جهت و شدت این تأثیر در محصولات زراعی و باغی متفاوت است؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها، از ترکیبی از روش‌های اقتصادسنجی شامل حداقل مربعات معمولی (OLS)[1] ، مدل لاجیت، تطبیق نمره تمایل (PSM)[2] و رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا (ESR)[3] استفاده شده است. همچنین، فاصله تا نزدیک‌ترین مرکز خدمات کشاورزی به‌عنوان متغیر شناسایی‌کننده در معادله انتخاب بیمه در نظر گرفته شده است. نوآوری پژوهش حاضر در تمرکز مستقیم بر مصرف آب به‌عنوان یکی از نهاده‌های راهبردی تولید کشاورزی، بررسی تفاوت رابطه بیمه و مصرف آب میان محصولات زراعی و باغی منتخب و استفاده از روش‌های اقتصادسنجی برای لحاظ مسئله تورش انتخاب است. نتایج این پژوهش می‌تواند شواهد تجربی مفیدی برای شناخت پیامدهای احتمالی سیاست‌های بیمه‌ای بر رفتار مصرف آب و تدوین سازوکارهای حمایتی سازگار با اهداف بهره‌وری آب و مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی فراهم سازد.

مواد و روش تحقیق

پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت، کمی-تحلیلی است و با رویکرد اقتصادسنجی خرد و مبتنی بر داده‌های مقطعی انجام می‌شود. چارچوب نظری تحقیق بر پایه اقتصاد اطلاعات، نظریه انتخاب در شرایط عدم قطعیت و مفهوم «خطر اخلاقی» در بازار بیمه استوار است. هدف اصلی پژوهش بررسی اثر بیمه کشاورزی بر شدت مصرف آب کشاورزان و تحلیل نقش آن در تشدید یا تغییر الگوی برداشت آب از منابع آبی می‌باشد. در این چارچوب، فرض اساسی آن است که بیمه کشاورزی می‌تواند از طریق کاهش ریسک ادراک‌شده، رفتار بهره‌برداران را در استفاده از نهاده حیاتی آب تحت تأثیر قرار دهد.

منطقه مورد مطالعه استان کهگیلویه و بویراحمد است که به دلیل تنوع اقلیمی شامل مناطق سردسیری و گرمسیری، وجود منابع آب سطحی و زیرزمینی و تنوع الگوی کشت، بستر مناسبی برای تحلیل رفتار کشاورزان فراهم می‌کند. این استان دارای ساختار کشاورزی مبتنی بر خرده‌مالکی بوده و محصولات اصلی مورد بررسی شامل گندم به‌عنوان محصول غالب زراعی و محصولات باغی شامل سیب، گردو و انگور است. این محصولات از نظر ارزش اقتصادی، نیاز آبی و سطح ریسک تولید ناهمگن بوده و همین ناهمگنی زمینه مناسبی برای تحلیل اثرات تفکیکی بیمه بر رفتار مصرف آب فراهم می‌سازد.

جامعه آماری پژوهش شامل کلیه کشاورزان بهره‌بردار این چهار محصول در استان است. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران برابر با ۱۸۰ نفر تعیین گردید. نمونه‌گیری به روش طبقه‌بندی‌شده تصادفی انجام شده تا نمایندگی مناسب از چهار گروه محصول (گندم، سیب، گردو و انگور) در داده‌ها تضمین شود. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه ساختاریافته در سطح بهره‌بردار و اطلاعات تکمیلی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای جمع‌آوری شد.

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های روش‌شناسی این پژوهش، نحوه محاسبه دقیق متغیر مصرف آب است. برای افزایش دقت و قابلیت بازتولید نتایج، مصرف آب به‌صورت محاسباتی و با استفاده از فرمول استاندارد زیر برآورد شده است. داده‌های مربوط به‌دفعات آبیاری (تعداد دفعات آبیاری در کل فصل کشت) و مدت آبیاری (مدت هر نوبت آبیاری بر حسب ساعت) از طریق مصاحبه رو در رو با کشاورزان و بررسی دفاتر آبیاری (در صورت وجود) گردآوری شده است. همچنین دبی منبع آب (نرخ جریان آب خروجی از چاه، قنات یا کانال بر حسب لیتر بر ثانیه) با همکاری شرکت آب منطقه‌ای استان و اندازه‌گیری میدانی در ۳۰ درصد مزارع نمونه (به‌عنوان مبنای واسنجی) تعیین گردید. فرمول محاسبه مصرف آب به‌صورت زیر است:

$$WATER_USE = (IRR_FREQ \times IRR_TIME \times FLOW_RATE \times 3.6) / LAND \quad (1)$$

در این فرمول، WATER_USE بیانگر مصرف آب بر حسب مترمکعب در هکتار در سال، IRR_FREQ نشان‌دهنده دفعات آبیاری در کل فصل کشت، IRR_TIME معرف مدت هر نوبت آبیاری (ساعت)، FLOW_RATE دبی منبع آب (لیتر بر ثانیه) و LAND سطح زمین کشاورزی (هکتار) می‌باشد. ضریب ۳/۶ برای تبدیل واحدها به کار رفته است (تبدیل لیتر بر ثانیه به مترمکعب در ساعت و سپس تنظیم بر حسب هکتار). برای کشاورزانی که از چند منبع آبی مختلف استفاده می‌کنند، میانگین وزنی دبی بر اساس سهم هر منبع محاسبه شده است.

تابع تقاضای آب کشاورز در سطح مفهومی، به‌صورت یک تابع عمومی از وضعیت بیمه، قیمت آب، ویژگی‌های فردی، ویژگی‌های مزرعه، نوع محصول، روش آبیاری و شاخص مدیریتی تعریف می‌شود. مدل پایه تحقیق به شکل زیر تصریح می‌گردد:

$$WATER_USE_i = \beta_0 + \beta_1 INS_i + \beta_2 WATER_COST_i + \beta_3 X_i + \beta_4 Z_i + \beta_5 CROP_TYPE_i + \beta_6 IRR_METHOD_i + \beta_7 MH_i + \varepsilon_i \quad (۲)$$

در این مدل، $WATER_USE_i$ میزان مصرف آب کشاورز i (بر حسب مترمکعب در هکتار در سال)، INS_i وضعیت بیمه (۱= بیمه‌شده، ۰= غیربیمه‌شده)، $WATER_COST_i$ هزینه پرداختی آب در فصل کشت (هزار ریال)، X_i بردار ویژگی‌های فردی شامل سن، تحصیلات و تجربه، Z_i بردار ویژگی‌های مزرعه شامل سطح زمین و وضعیت مالکیت، $CROP_TYPE_i$ نوع محصول (۱= باغی، ۰= زراعی)، IRR_METHOD_i روش آبیاری (۱= مدرن شامل قطره‌ای و بارانی، ۰= سنتی شامل غرقابی و کرتی)، MH_i شاخص مدیریت منابع آب (در مقیاس ۱ تا ۵) و ε_i جمله خطا می‌باشد. ضریب β_1 بیانگر رابطه میان برخورداری از بیمه کشاورزی و میزان مصرف آب، پس از کنترل متغیرهای توضیحی واردشده به مدل است. با توجه به اینکه پوشش بیمه‌ای می‌تواند از مسیرهای مختلف بر تصمیم‌های تولیدی و انگیزه‌های مدیریت آب تأثیر بگذارد، علامت این ضریب از پیش مثبت یا منفی فرض نمی‌شود و جهت و شدت رابطه بر اساس نتایج برآورد تجربی تعیین خواهد شد.

با توجه به اینکه تصمیم به بیمه شدن کشاورزان تصادفی نیست و تحت تأثیر ویژگی‌های فردی، مزرعه‌ای و نهادی قرار دارد، برای کنترل تورش انتخاب، از ترکیبی از روش‌های اقتصادسنجی استفاده شده است. در گام اول، از مدل لاجیت برای برآورد احتمال بیمه شدن استفاده می‌شود. مدل لاجیت به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$P(INS_i = 1) = e^{(Z_i\gamma)} / (1 + e^{(Z_i\gamma)}) \quad (۳)$$

در این رابطه، $P(INS_i = 1)$ احتمال بیمه شدن کشاورز i، Z_i بردار متغیرهای توضیح‌دهنده (شامل سن، تحصیلات، تجربه، سطح زمین، مالکیت، هزینه آب، شاخص مدیریتی، نوع محصول، روش آبیاری و فاصله تا مرکز خدمات کشاورزی) و γ بردار پارامترهای مجهول است.

در گام دوم، برای برآورد اثر خالص بیمه بر مصرف آب و کنترل تورش انتخاب ناشی از متغیرهای مشاهده‌پذیر، از روش تطبیق نمره تمایل (PSM) استفاده می‌شود. در این روش، اثر متوسط درمان بر گروه درمان (ATT)[۴] به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$ATT = E(WATER_USE_1 - WATER_USE_0 \mid INS = 1) \quad (۴)$$

در این پژوهش، منظور از «درمان» در روش تطبیق نمره تمایل، برخورداری کشاورز از پوشش بیمه کشاورزی است؛ بنابراین کشاورزان بیمه‌شده به‌عنوان گروه درمان و کشاورزان غیربیمه‌شده به‌عنوان گروه کنترل در نظر گرفته می‌شوند. اثر متوسط درمان بر گروه درمان (ATT) بیانگر تفاوت میان میزان مصرف آب کشاورزان بیمه‌شده در وضعیت برخورداری از بیمه و میزان مصرف آب همان کشاورزان در وضعیت فرضی عدم برخورداری از بیمه است. در این رابطه، $WATER_USE_1$ مصرف آب در وضعیت بیمه‌شده و $WATER_USE_0$ مصرف آب در وضعیت غیربیمه‌شده را نشان می‌دهد.

در گام تکمیلی، برای کنترل همزمان تورش انتخاب ناشی از متغیرهای مشاهده‌پذیر و نامشاهده، از مدل رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا (ESR) استفاده می‌شود. این مدل شامل دو معادله است: معادله انتخاب بیمه و معادلات نتیجه برای دو وضعیت بیمه‌شده و غیربیمه‌شده. معادله انتخاب بیمه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$INS_i^* = Z_i\alpha + u_i \quad (۵)$$

در این رابطه، INS_i^* متغیر نهفته تمایل کشاورز i به برخورداری از بیمه کشاورزی است. Z_i بردار متغیرهای توضیح‌دهنده تصمیم بیمه‌شدن شامل ویژگی‌های فردی، اقتصادی، مزرعه‌ای و نهادی کشاورز، α بردار ضرایب مجهول معادله انتخاب و u_i جمله اخلال تصادفی است. بر این اساس، اگر مقدار متغیر نهفته INS_i^* مثبت باشد، کشاورز در گروه بیمه‌شده قرار گرفته و INS_i برابر یک خواهد بود؛ در غیر این صورت، INS_i برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.

معادلات نتیجه (مصرف آب) برای دو وضعیت به شکل زیر هستند:

وضعیت بیمه‌شده: $$WATER_USE_{1i} = X_{1i}\beta_1 + \varepsilon_{1i} \quad (۶)$$

وضعیت غیربیمه‌شده: $$WATER_USE_{0i} = X_{0i}\beta_0 + \varepsilon_{0i} \quad (۷)$$

برای شناسایی مدل و اطمینان از اعتبار برآوردها، از یک متغیر ابزاری معتبر استفاده شده است. متغیر فاصله تا نزدیک‌ترین مرکز خدمات کشاورزی (DIST_EXT)[۵] به‌عنوان ابزار در معادله انتخاب وارد شده است. این متغیر بر احتمال بیمه شدن تأثیر دارد (هر چه فاصله بیشتر باشد، دسترسی به اطلاعات و تسهیلات بیمه کاهش می‌یابد)، اما تأثیر مستقیمی بر مصرف آب ندارد. اعتبار این ابزار با استفاده از آزمون سارگان[۶] و قدرت آن با آماره F بررسی شده است.

شاخص مدیریت منابع آب (MH)[7]به‌عنوان یکی از متغیرهای کلیدی این پژوهش، یک متغیر ترکیبی است که برای اندازه‌گیری سطح دانش، نگرش و رفتار مدیریتی کشاورز در مصرف آب طراحی شده است. این شاخص در مقیاس ۱ تا ۵ (۱= بسیار ضعیف، ۵= بسیار عالی) از مجموع پنج مؤلفه زیر محاسبه شده است: (۱) نوع سیستم آبیاری (قطره‌ای، بارانی، کرتی، غرقابی)، (۲) زمان‌بندی آبیاری بر اساس نیاز واقعی گیاه و رطوبت خاک، (۳) استفاده از پیشبینی‌های هواشناسی برای تنظیم برنامه آبیاری، (۴) وجود برنامه مدون آبیاری (دفترچه یا برنامه نوشته شده) و (۵) نصب کنتور هوشمند آب. فرمول نهایی محاسبه این شاخص به صورت زیر است:

$$MH = ۱ + [۵ / (\text{جمع امتیازات پنج مؤلفه}) \times ۴] \quad (۸)$$

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Stata انجام شده است. در اجرای مدل PSM، آزمون منطقه پشتیبانی مشترک[8] و آزمون تعادل[9] انجام شده است. همچنین برای اطمینان از استحکام نتایج، تحلیل حساسیت با حذف مشاهدات پرت[10] و استفاده از روش‌های مختلف تطبیق (Nearest Neighbor، Kernel و Radius Matching) صورت گرفته است.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرهای پژوهش (تعداد کل مشاهدات: ۱۸۰ نفر)

متغیر	واحد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
سن	سال	۴۴/۶	۱۱/۲	۲۵	۷۰
تحصیلات	کد (۰ تا ۴)[1]	۲/۱	۱/۱	۰	۴
سابقه کشاورزی	سال	۲۲/۴	۹/۸	۱	۴۰
سطح اراضی	هکتار	۶/۵	۳/۲	۰/۵۶	۱۱/۹۹
وضعیت مالکیت	کد (۱ تا ۳)[2]	۲/۱	۰/۹	۱	۳
نوع محصول	کد (۰=زراعی، ۱=باغی)	۰/۵۶	۰/۴۹	۰	۱
روش آبیاری	کد (۰=سنتی، ۱=مدرن)[3]	۰/۴۱	۰/۴۹	۰	۱
دفعات آبیاری	نوبت در فصل	۹/۸	۲/۸	۴	۱۵
مدت هر نوبت آبیاری	ساعت	۲/۷	۱/۲	۱	۶
مصرف آب	مترمکعب در هکتار در سال ($m^3/ha/yr$)	۴۶۲۰	۱۵۴۰	۱۸۰۰	۹۰۰۰
هزینه آب	هزار ریال در فصل	۲۲۴/۶	۱۴۸/۳	۳۰	۷۲۳
وضعیت بیمه	کد (۰=خیر، ۱=بله)	۰/۷۱	۰/۴۵	۰	۱
شاخص مدیریت منابع آب	امتیاز (۱ تا ۵)[4]	۳/۳	۱/۱	۱	۵
فاصله تا مرکز خدمات کشاورزی	کیلومتر	۱۲/۴	۷/۸	۱	۳۵

۱. متغیر تحصیلات: صفر = بی‌سواد، یک = ابتدایی، دو = راهنمایی یا متوسطه ، سه = دیپلم، چهار = تحصیلات دانشگاهی.
۲. نوع مالکیت اراضی کشاورزی:یک = اراضی ملکی (مالکیت شخصی بهره‌بردار) ، دو = اراضی غیرملکی (اجاره‌ای) سه =سهم بری یا زمین زراعی استیجاری/مشارکتی
۳. روش آبیاری: صفر برای روش‌های نوین (قطره‌ای و بارانی) و یک برای روش‌های سنتی (غرقابی و کرتی)
۴. شاخص مدیریت منابع آب (MH): در دامنه صفر تا پنج قرار دارد و بر اساس پنج مؤلفه شامل نوع سامانه آبیاری، زمان‌بندی آبیاری، استفاده از اطلاعات هواشناسی، وجود برنامه مدون آبیاری و استفاده از کنتور هوشمند آب محاسبه می‌شود. مقدار بالاتر این شاخص نشان‌دهنده وضعیت مطلوب‌تر مدیریت منابع آب است.

تجزیه تحلیل داده‌ها

نتایج آمار توصیفی (جدول ۱) نشان می‌دهد که میانگین مصرف آب در میان بهره‌برداران مورد مطالعه برابر با ۴۶۲۰ مترمکعب در هکتار در سال است که از حداقل ۱۸۰۰ تا حداکثر ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال تغییر می‌کند. دامنه گسترده مصرف آب بیانگر وجود ناهمگنی قابل توجه در رفتار آبیاری کشاورزان و تفاوت در نوع محصول، شرایط مزرعه و شیوه‌های مدیریتی است. انحراف معیار نسبتاً بالای این متغیر نیز نشان می‌دهد که الگوهای مصرف آب در منطقه مورد مطالعه یکنواخت نبوده و بهره‌برداران از راهبردهای متفاوتی در مدیریت آب استفاده می‌کنند.

میانگین سنی کشاورزان برابر با ۴۴/۶ سال و میانگین سابقه فعالیت کشاورزی حدود ۲۲ سال است که بیانگر برخورداری تجربه عملی قابل توجه در فعالیت‌های کشاورزی بخش عمده‌ای از نمونه است. با این حال، میانگین تحصیلات برابر با ۲/۱ در مقیاس صفر تا چهار نشان می‌دهد که سطح سرمایه انسانی و آموزش رسمی در میان بهره‌برداران در حد متوسط قرار دارد. از منظر ویژگی‌های مزرعه، میانگین سطح زمین ۶/۵ هکتار است که نشان‌دهنده غالب بودن نظام خرده‌مالکی و

واحدهای تولیدی کوچک و متوسط در منطقه مورد مطالعه است.

حدود ۷۱ درصد از کشاورزان تحت پوشش بیمه کشاورزی قرار دارند که نشان‌دهنده نفوذ نسبتاً بالای این ابزار حمایتی در استان کهگیلویه و بویراحمد است. همچنین میانگین شاخص مدیریتی برابر با ۳/۳ از ۵ بوده که وضعیت مدیریت مزرعه را در سطح متوسط ارزیابی می‌کند. متغیر فاصله تا نزدیک‌ترین مرکز خدمات کشاورزی نیز به‌طور متوسط ۱۲/۴ کیلومتر است که می‌تواند بر دسترسی کشاورزان به اطلاعات، خدمات ترویجی و برنامه‌های بیمه‌ای اثرگذار باشد. در مجموع، نتایج جدول (۱) وجود تنوع قابل توجه در ویژگی‌های فردی، مزرعه‌ای و مدیریتی کشاورزان را نشان می‌دهد که ضرورت کنترل این عوامل در مدل‌های اقتصادسنجی بعدی را توجیه می‌کند.

به‌منظور بررسی تفاوت ویژگی‌های فردی، اقتصادی، مزرعه‌ای و مدیریتی میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده، میانگین متغیرهای کلیدی دو گروه با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج این مقایسه در جدول (۲) ارائه می‌شود.

جدول ۲- مقایسه میانگین متغیرهای کلیدی بین کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده (تعداد کل مشاهدات: ۱۸۰ نفر)

متغیر	بیمه‌شده (n=۱۲۸)	غیربیمه‌شده (n=۵۲)	اختلاف میانگین	معناداری
مصرف آب (مترمکعب در هکتار در سال)	۵۰۲۰	۳۶۳۰	۱۳۹۰	***
هزینه آب (هزار ریال در فصل)	۲۴۸	۱۶۸	۸۰	***
دفعات آبیاری (نوبت در فصل)	۱۰/۷	۷/۸	۲/۹	***
مدت آبیاری (ساعت)	۳/۱	۲/۱	۱	***
سن (سال)	۴۵/۱	۴۳/۲	۱/۹	n.s
تحصیلات (۰ تا ۴)	۲/۲	۱/۹	۰/۳	n.s
تجربه (سال)	۲۳/۴	۲۰/۱	۳/۳	*
سطح زمین (هکتار)	۷/۱	۵	۲/۱	***
شاخص مدیریتی (۰ تا ۵)	۳/۱	۳/۸	-۰/۷	***
سهم محصولات باغی (%)	۷۱	۳۸	۳۳	***
استفاده از آبیاری مدرن (%)	۳۵	۵۷	-۲۲	***

*** معنادار در سطح ۱٪ ** معنادار در سطح ۵٪ * معنادار در سطح ۱۰٪

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که میانگین مصرف آب و برخی ویژگی‌های فردی، مزرعه‌ای و مدیریتی در میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده متفاوت است. بااین‌حال، اختلاف مشاهده‌شده در میزان مصرف آب را نمی‌توان به‌تنهایی ناشی از برخورداری از بیمه کشاورزی دانست؛ زیرا عواملی مانند سطح تحصیلات، تجربه کشاورزی، سطح اراضی، نوع محصول، روش آبیاری و میزان دسترسی به منابع آب نیز می‌توانند بر رفتار مصرف آب تأثیرگذار باشند. بنابراین، نتایج مقایسه میانگین‌ها صرفاً بیانگر تفاوت اولیه دو گروه است و برای بررسی رابطه بیمه و مصرف آب با کنترل عوامل مؤثر، استفاده از روش‌های اقتصادسنجی تکمیلی ضرورت دارد.

از سوی دیگر، میانگین شاخص مدیریت منابع آب در گروه بیمه‌شده کمتر از گروه غیربیمه‌شده است. این تفاوت نشان‌دهنده پایین‌تر بودن امتیاز شاخص مدیریتی در گروه بیمه‌شده است و لزوماً به معنای کمتر بودن عملکرد تولید یا بهره‌وری محصول نیست. همچنین، بدون کنترل سایر ویژگی‌های بهره‌برداران نمی‌توان این تفاوت را به برخورداری از بیمه نسبت داد.

تفاوت در ساختار تولید نیز قابل توجه است؛ به‌طوری‌که ۷۱ درصد کشاورزان بیمه‌شده دارای محصولات باغی هستند، درحالی‌که این نسبت در میان غیر بیمه‌شده‌ها تنها ۳۸ درصد است. علاوه بر این، سهم استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن در گروه غیر بیمه‌شده بیشتر است. این نتایج نشان می‌دهد که انتخاب بیمه کاملاً تصادفی نبوده و کشاورزان دو گروه از نظر ویژگی‌های ساختاری تفاوت دارند؛ بنابراین اختلاف مشاهده‌شده در مصرف آب نمی‌تواند صرفاً به بیمه نسبت داده شود و لازم است اثر خالص بیمه با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی پیشرفته مانند PSM و ESR برآورد شود.

به‌منظور بررسی رابطه بیمه کشاورزی و سایر عوامل توضیحی با میزان مصرف آب، مدل رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS)برآورد شده است که نتایج آن در جدول (۳) ارائه می‌شود.

نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد که بیمه کشاورزی اثر مثبت و معناداری بر مصرف آب دارد (ضریب ۸۴۲ معنادار در سطح ۱ درصد). این یافته ممکن است در نگاه اول با منطق اقتصادی در تناقض به نظر رسد؛ چگونه بیمه‌ای که برای کاهش ریسک طراحی شده است، می‌تواند مصرف یک نهاده را افزایش دهد؟ پاسخ در تغییر رفتار پس از دریافت پوشش بیمه نهفته است. در شرایط بدون بیمه، کشاورز برای حفظ منابع آب زیرزمینی و کاهش هزینه‌های پمپاژ، مصرف آب را محدود می‌کند؛ اما پس از بیمه شدن، ریسک ناشی از کم‌آبی و خشک‌سالی تا حدی به بیمه‌گر منتقل می‌شود. در نتیجه، کشاورز انگیزه کمتری

برای صرفه‌جویی دارد و آب بیشتری مصرف می‌کند تا عملکرد خود را در سطح حداکثر تثبیت نماید. این رفتار در ادبیات اقتصادی با عنوان «خطر اخلاقی» شناخته می‌شود. نکته مهم دیگر، ضریب منفی و معنادار متغیر روش آبیاری (۴/۸۶-) است؛ کشاورزانی که از آبیاری مدرن استفاده می‌کنند به‌طور متوسط حدود ۴۸۶ مترمکعب در هکتار در سال آب کمتری مصرف می‌کنند. همچنین ضریب مثبت و معنادار نوع محصول (۶۲۴) نشان می‌دهد که محصولات باغی نسبت به گندم مصرف آب بسیار بالاتری دارند (حدود ۶۲۴ مترمکعب بیشتر). شاخص مدیریتی با ضریب منفی (۱/۹۲-) نشان‌دهنده نقش کلیدی مدیریت صحیح در کاهش مصرف آب است. ضریب هزینه آب غیرمعنادار برآورد شده است (۰/۰۱۲-) که نشان می‌دهد نظام قیمت‌گذاری فعلی آب سیگنال مؤثری برای صرفه‌جویی ارسال نمی‌کند. این یافته حاکی از آن است که افزایش قیمت آب به‌تنهایی نمی‌تواند رفتار مصرف کشاورزان را اصلاح کند و نیاز به سیاست‌های مکمل مانند نظارت بر برداشت و فرهنگ‌سازی دارد. مقدار R^2 برابر ۰/۷۴ نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی خوب مدل است. در مجموع، اثر مثبت بیمه بر مصرف آب نه‌تنها غیرمنطقی نیست، بلکه دقیقاً همان پدیده خطر اخلاقی را نشان می‌دهد که در نظریه‌های اقتصادی پیش‌بینی شده است. با این حال، به دلیل وجود تورش انتخاب (که در جدول ۲ مشاهده شد)، برای برآورد اثر خالص بیمه باید در گام‌های بعدی از روش‌های پیشرفته PSM و ESR استفاده کرد.

جدول ۳- نتایج برآورد مدل اقتصادسنجی اثر بیمه بر مصرف آب (OLS)

متغیر وابسته: مصرف آب (مترمکعب در هکتار در سال)

متغیر	واحد	ضریب برآوردی	خطای استاندارد	آماره t
بیمه کشاورزی	متغیر مجازی (۰و۱)	۸۴۲	۱۰۸	***۷/۸۰
هزینه آب	(هزار ریال در فصل)	۰/۱۲-	۰/۰۸	۱/۵۰-
سن	(سال)	۸/۲-	۵	۱/۶۴-
تحصیلات	سطح (۰ تا ۴)	۸۸	۴۰	**۲/۲۰
سابقه کشاورزی	(سال)	۱۶	۷	**۲/۲۹
سطح زمین	(هکتار)	۱۳۸	۲۸	***۴/۹۳
نوع مالکیت	کد (۱ تا ۳)	۶۸	۳۲	**۲/۱۳
شاخص مدیریت منابع آب	امتیاز (۱ تا ۵)	۱۹۲-	۵۱	***۳/۷۶-
نوع محصول	کد (۰=زراعی، ۱=باغی)	۶۲۴	۱۱۵	***۵/۴۳
روش آبیاری	کد (۰=سنتی، ۱=مدرن)	۴۸۶-	۱۲۲	***۳/۹۸-
عرض از مبدأ		۱۴۳۲-	۴۱۵	***۳/۴۵-
شاخص‌های برازش مدل		مقدار		
ضریب تعیین (R^2)		۰/۷۴		
آماره F		***۵۲/۶		
تعداد مشاهدات		۱۸۰		

*** معنادار در سطح ۱ درصد ** معنادار در سطح ۵ درصد * معنادار در سطح ۱۰ درصد

به‌منظور شناسایی عوامل مؤثر بر احتمال برخورداری کشاورزان از بیمه کشاورزی، مدل لاجیت برآورد شده است. ضرایب برآوردی و اثرات حاشیه‌ای متغیرهای توضیحی در جدول (۴) ارائه شده است.

نتایج مدل لاجیت در جدول (۴) نشان می‌دهد که احتمال بیمه شدن کشاورزان تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل فردی، ساختاری و نهادی قرار دارد. سطح تحصیلات با ضریب ۰/۲۲۱ و اثر حاشیه‌ای ۵/۱ درصد بیشترین تأثیر مثبت را بر احتمال بیمه شدن دارد که نشان می‌دهد آگاهی و دانش نقش کلیدی در پذیرش بیمه ایفا می‌کند. سطح زمین نیز با ضریب ۰/۱۴۸ اثر مثبت و معناداری دارد، به این معنا که کشاورزان بزرگ‌مقیاس تمایل بیشتری به بیمه شدن دارند. شاخص مدیریتی با ضریب ۰/۲۴۱- و اثر حاشیه‌ای ۵/۵- درصد نشان می‌دهد که کشاورزانی که مدیریت بهتری بر منابع آب دارند، نیاز کمتری به بیمه احساس می‌کنند. این یافته با نتایج جدول (۲) (میانگین پایین‌تر در بیمه‌شده‌ها) کاملاً همسو است. از نظر ترکیب محصولات، متغیر نوع محصول با ضریب ۰/۵۸۲ و اثر حاشیه‌ای ۱۳/۴ درصد نشان می‌دهد که کشاورزان تولیدکننده محصولات باغی (گردو و سیب) به دلیل ارزش اقتصادی بالاتر و ریسک تولید بیشتر، تمایل بسیار بیشتری به بیمه شدن دارند. در مقابل، روش آبیاری مدرن با ضریب منفی ۰/۳۴۲- نشان می‌دهد که کشاورزانی که از آبیاری قطره‌ای یا بارانی استفاده می‌کنند، کمتر تمایل به بیمه دارند؛ زیرا این فناوری‌ها خود نوعی کاهش ریسک محسوب می‌شوند. متغیر فاصله تا مرکز خدمات کشاورزی با ضریب منفی ۰/۰۸۹- و اثر حاشیه‌ای ۲- درصد نشان می‌دهد که هر چه فاصله بیشتر باشد، دسترسی به اطلاعات و تسهیلات بیمه کاهش می‌یابد. این متغیر به‌عنوان ابزار در مدل ESR (جدول ۶) استفاده خواهد شد. مقدار Pseudo R^2 برابر ۰/۴۶ نشان‌دهنده قدرت توضیح‌دهندگی خوب مدل است. در مجموع، نتایج جدول (۴) تأیید می‌کند که انتخاب بیمه تصادفی نیست و تحت تأثیر عوامل مشاهده‌پذیر قرار دارد.

جدول ٤- نتایج مدل لاجیت تعیین‌کننده احتمال بیمه شدن کشاورزان (تعداد کل مشاهدات: ۱۸۰ نفر)

متغیر وابسته: وضعیت بیمه (۱=بیمه‌شده، ۰=غیربیمه‌شده)

متغیر	واحد	ضریب برآوردی	خطای استاندارد	z-value	سطح معناداری	اثر حاشیه‌ای
سن	سال	۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۲/۱۱	**	۰/۰۰۴
تحصیلات	کد (۰تا ۴)	۰/۲۲۱	۰/۰۸۳	۲/۶۶	***	۰/۰۵۱
تجربه	سال	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲	۲/۷۵	***	۰/۰۰۷
سطح زمین	هکتار	۰/۱۴۸	۰/۰۵۶	۲/۶۴	***	۰/۰۳۴
هزینه آب	هزار ریال در فصل کشت	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۲/۵	**	۰/۰۰۱
مالکیت	کد (۱ تا ۳)	۰/۱۶۲	۰/۰۹	۱/۸	*	۰/۰۳۷
شاخص مدیریتی	کد (۱ تا ۵)	-۰/۲۴۱	۰/۱۰۲	-۲/۳۶	**	-۰/۰۵۵
نوع محصول	کد (۰ و ۱)	۰/۵۸۲	۰/۱۴۵	۴/۰۱	***	۰/۱۳۴
روش آبیاری	کد (۰ و ۱)	-۰/۳۴۲	۰/۱۳۸	-۲/۴۸	**	-۰/۰۷۹
فاصله تا مرکز خدمات (متغیر ابزاری)	کیلومتر	-۰/۰۸۹	۰/۰۲۲	-۴/۰۵	***	-۰/۰۲۰
ثابت		-۲/۸۹۱	۰/۹۴۵	-۳/۰۶	***	-
Pseudo R^2 = 0.46 | Log-likelihood = -92.4 | Chi-square = 78.3*** | N = 180						

*** معنادار در سطح ۱ درصد ** معنادار در سطح ۵ درصد * معنادار در سطح ۱۰ درصد

به‌منظور بررسی رابطه برخورداری از بیمه کشاورزی با میزان مصرف آب پس از لحاظ تفاوت‌های مشاهده‌پذیر میان بهره‌برداران بیمه‌شده و غیربیمه‌شده، از روش تطبیق نمره تمایل استفاده شده است. نتایج مقایسه اولیه گروه‌ها، برآورد اثر متوسط بیمه بر گروه بیمه‌شده و آزمون‌های تشخیصی این روش در جدول (۵) ارائه شده است.

نتایج روش تطبیق نمره تمایل در جدول (۵) نشان می‌دهد که پس از لحاظ تفاوت‌های مشاهده‌پذیر بین کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده، برآورد اثر بیمه بر مصرف آب همچنان مثبت باقی می‌ماند. مقدار اثر متوسط درمان بر گروه درمان (ATT) در روش‌های مختلف بین ۱۰۱۲ تا ۱۰۴۵ مترمکعب در هکتار در سال متغیر است. این مقدار از اختلاف خام (۱۳۹۰ مترمکعب در هکتار در سال) کمتر است که نشان می‌دهد بخشی از اختلاف اولیه (حدود ۳۴۵ تا ۳۷۸ مترمکعب در هکتار در سال) می‌تواند ناشی از تفاوت در ویژگی‌های مشاهده‌پذیر دو گروه باشد؛ اما همچنان یک اثر مثبت برآوردی قابل توجه باقی می‌ماند. نزدیکی نتایج در سه روش مختلف تطبیق نشان‌دهنده ثبات نسبی یافته‌ها نسبت به روش تطبیق است. بر اساس شاخص‌های تشخیصی گزارش‌شده در جدول، ۹۴/۸۰ درصد مشاهدات در ناحیه پشتیبانی مشترک قرار دارند. در مجموع، یافته‌های جدول (۵) نشان می‌دهد که رابطه مثبت بیمه کشاورزی با مصرف آب صرفاً با تفاوت ویژگی‌های مشاهده‌پذیر کنترل‌شده توضیح داده نمی‌شود و نتایج با فرضیه خطر اخلاقی در بیمه کشاورزی سازگار است. بااین‌حال، این یافته‌ها به‌تنهایی وقوع خطر اخلاقی را اثبات نمی‌کنند؛ زیرا روش PSM فقط تورش انتخاب ناشی از متغیرهای مشاهده‌پذیر را تحت مفروضات مربوط کنترل می‌کند.

جدول ۵- نتایج برآورد اثر بیمه کشاورزی بر مصرف آب با استفاده از روش تطبیق نمره تمایل (PSM)

متغیر وابسته: مصرف آب (مترمکعب در هکتار در سال) | تعداد مشاهدات: ۱۸۰

بخش الف: مقایسه میانگین مصرف آب کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده پیش از تطبیق				
شاخص				مقدار
میانگین مصرف آب بیمه‌شده (مترمکعب در هکتار در سال)				۵۰۲۰
میانگین مصرف آب غیر بیمه‌شده (مترمکعب در هکتار در سال)				۳۶۳۰
اختلاف خام (مترمکعب در هکتار در سال)				۱۳۹۰
بخش ب: نتایج برآورد اثر متوسط بیمه بر گروه بیمه‌شده (ATT)				
روش تطبیق	ATT (m^3/ha/yr)	خطای استاندارد	t-value	معناداری
Nearest Neighbor	۱۰۴۵	۲۱۸	۴/۷۹	***
Kernel Matching	۱۰۱۲	۲۰۵	۴/۹۴	***
Radius Matching	۱۰۳۱	۲۱۱	۴/۸۹	***
بخش ج: آزمون‌های تشخیصی تطبیق نمره تمایل				
شاخص				مقدار
Common Support				[۰/۱۴ و ۰/۹۶]
درصد مشاهدات در ناحیه مشترک				۹۴٪/۸۰
میانگین تفاوت استانداردشده بعد از تطبیق				<۵ %
نسبت واریانس				۰/۸۶ – ۱/۱۴

برای بررسی تورش ناشی از عوامل مشاهده‌نشده، از مدل رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا (ESR) استفاده می‌شود که در جدول (۶) ارائه شده است.

نتایج مدل رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا نشان می‌دهد که تصمیم کشاورزان برای مشارکت در بیمه کشاورزی یک فرآیند تصادفی نیست و تحت تأثیر عوامل فردی، ساختاری و نهادی قرار دارد. در معادله انتخاب، متغیر فاصله تا مرکز خدمات کشاورزی دارای اثر منفی و معنادار است؛ به این معنا که افزایش فاصله دسترسی به خدمات ترویجی و بیمه‌ای، احتمال مشارکت در برنامه‌های بیمه را کاهش می‌دهد. معناداری این متغیر و واردنشدن آن به معادلات مصرف آب، در چارچوب تصریح مدل، به شناسایی معادله انتخاب و لحاظ مسئله درون‌زایی ناشی از انتخاب غیرتصادفی کشاورزان برای برخورداری از بیمه کمک می‌کند.

در معادلات نتیجه، متغیر هزینه آب دارای ضریب منفی و غیرمعنادار است. این نتیجه با نظریه اقتصادی سازگار بوده و نشان می‌دهد که اگرچه افزایش هزینه آب تمایل به کاهش مصرف را ایجاد می‌کند، اما نظام قیمت‌گذاری فعلی آب در بخش کشاورزی آن‌قدر ضعیف است که اثر بازدارندگی معناداری بر رفتار بهره‌برداران ندارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که اثر دفعات آبیاری و مدت آبیاری در گروه بیمه‌شده به‌مراتب بزرگ‌تر از گروه غیر بیمه‌شده است. به‌بیان‌دیگر، هر واحد افزایش در دفعات یا مدت آبیاری در میان کشاورزان بیمه‌شده منجر به افزایش بیشتری در مصرف آب می‌شود. این موضوع بیانگر وابستگی بیشتر تولید در واحدهای بیمه‌شده به نهاده آب و تمایل بالاتر این گروه به استفاده از آب برای تثبیت عملکرد است.

ضریب منفی شاخص مدیریتی در هر دو گروه نشان می‌دهد که بهبود مدیریت مزرعه با کاهش مصرف آب همراه است. بااین‌حال، قدر مطلق این ضریب در گروه بیمه‌شده (حدود ۲۱۴-) بزرگ‌تر از گروه غیربیمه‌شده (حدود ۵-) است که نشان می‌دهد ارتباط کاهنده شاخص مدیریتی با مصرف آب در گروه بیمه‌شده از نظر اندازه ضریب قوی‌تر است. بنابراین، برخلاف برداشت اولیه، نتایج این بخش نشان‌دهنده تضعیف نقش مدیریت منابع آب در گروه بیمه‌شده نیست.

مهم‌ترین یافته مدل ESR مربوط به اثر متوسط درمان بر گروه بیمه‌شده (ATT) است. نتایج نشان می‌دهد که اگر کشاورزان بیمه‌شده تحت پوشش بیمه قرار نمی‌گرفتند، مصرف آب آن‌ها به‌طور متوسط حدود ۱۴۴۵ مترمکعب در هکتار در سال کمتر بود. این مقدار بزرگ‌تر از برآوردهای متعارف OLS و نزدیک به نتایج روش PSM است و نشان می‌دهد که بخشی از افزایش مصرف آب ناشی از عوامل نامشاهده بوده است؛ بنابراین، پس از کنترل همزمان تورش انتخاب ناشی از متغیرهای مشاهده‌پذیر و نامشاهده، شواهد محکمی در حمایت از وجود پدیده خطر اخلاقی در بیمه کشاورزی به دست می‌آید.

در نهایت، معناداری ضرایب ρ و λ و همچنین نتایج آزمون والد نشان می‌دهد که فروض استقلال معادلات رد شده و استفاده از مدل ESR نسبت به مدل‌های ساده‌تر کاملاً توجیه‌پذیر است. از این رو، نتایج جدول (۶) معتبرترین برآورد اثر بیمه بر رفتار مصرف آب کشاورزان در این پژوهش محسوب می‌شود.

به‌منظور بررسی تفاوت الگوی مصرف آب میان محصولات منتخب و مقایسه وضعیت بهره‌برداران بیمه‌شده و غیربیمه‌شده، میزان مصرف آب گندم، سیب، گردو و انگور به تفکیک وضعیت بیمه بررسی شده است. نتایج این مقایسه، همراه با نیاز آبی استاندارد و اختلاف مصرف آب میان دو گروه، در جدول (۷) ارائه شده است.

نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد که اختلاف مصرف آب میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده در محصولات مختلف یکسان نیست و میزان این اختلاف در میان محصولات منتخب، ناهمگنی قابل توجهی دارد. بیشترین اختلاف مصرف آب بین کشاورزان بیمه‌شده و غیر بیمه‌شده مربوط به محصولات باغی به‌ویژه گردو و سیب می‌باشد. برای محصول گردو، اختلاف مصرف حدود ۱۳۰۰ مترمکعب در هکتار در سال (معادل ۲۱/۴ درصد افزایش) و برای سیب حدود ۱۱۲۰ مترمکعب در هکتار در سال (۲۰/۷ درصد افزایش) برآورد شده است. در مقابل، این اختلاف برای محصولات زراعی مانند گندم به‌مراتب کمتر (۵۶۰ مترمکعب، معادل ۱۵/۱ درصد افزایش) و برای انگور نیز نسبتاً پایین‌تر (۶۴۰ مترمکعب، معادل ۱۳/۷ درصد افزایش) است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کشاورزان در محصولات با ارزش اقتصادی بالاتر (گردو و سیب) و حساسیت بیشتر به تنش آبی، در صورت برخورداری از بیمه، تمایل بیشتری به افزایش مصرف آب دارند؛ به‌عبارت‌دیگر، بیمه کشاورزی در این محصولات منجر به تشدید پدیده خطر اخلاقی شده است. دلیل این پدیده را می‌توان در ساختار اقتصادی محصولات جستجو کرد؛ درختان گردو و سیب سرمایه‌گذاری بلندمدتی هستند و هرگونه کاهش عملکرد به دلیل کم‌آبی، خسارت جبران‌ناپذیری به سرمایه کشاورز وارد می‌کند. بیمه با کاهش ریسک ادراک‌شده، به کشاورز این اطمینان را می‌دهد که در صورت بروز خسارت، جبران خواهد شد. در نتیجه، کشاورزان از آب به‌عنوان نهاده برای تثبیت عملکرد حداکثری استفاده می‌کنند، حتی اگر مصرف آب فراتر از نیاز بهینه گیاه باشد. نکته قابل توجه اینکه مصرف آب بیمه‌شده‌ها در همه محصولات از نیاز آبی استاندارد فراتر نرفته و در محدوده قابل قبول قرار دارد، اما اختلاف معنادار با گروه غیر بیمه‌شده نشان‌دهنده تغییر رفتار ناشی از بیمه است. در مجموع، این یافته از نظر سیاستگذاری بسیار مهم است و نشان می‌دهد که سیاست‌های یکسان بیمه‌ای برای همه محصولات نمی‌تواند کارآمد باشد و طراحی بیمه باید به‌صورت محصول-محور و با توجه به ارزش اقتصادی و نیاز آبی هر محصول انجام شود.

جدول ٦- نتایج مدل رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا (ESR)

متغیر وابسته: مصرف آب (مترمکعب در هکتار در سال) | تعداد مشاهدات: ۱۸۰

بخش الف: معادله انتخاب بیمه (Selection Equation)

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره z	معناداری
سن	۰/۰۲۱	۰/۰۰۹	۲/۳۳	**
تحصیلات	۰/۲۳۸	۰/۰۸۸	۲/۷	***
سابقه کشاورزی	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲	۲/۵۸	**
سطح اراضی	۰/۱۵۲	۰/۰۵۹	۲/۵۸	***
شاخص مدیریت منابع آب	-۰/۲۴۷	۰/۱۰۱	-۲/۴۵	**
نوع محصول	۰/۶۱۸	۰/۱۴۹	۴/۱۵	***
روش آبیاری	-۰/۳۶۶	۰/۱۴۱	-۲/۶	***
متغیر ابزار (فاصله)	-۰/۰۹۱	۰/۰۲۳	-۳/۹۶	***
ثابت	-۲/۸۷۴	۰/۹۳۱	-۳/۰۹	***

بخش ب: معادله مصرف آب – بیمه‌شده‌ها (Regime 1)

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	t-value	معناداری
هزینه آب	-۰/۱۸۴	۰/۱۲۲	-۱/۵۱	n.s.
سطح زمین	۹۶/۴	۱۸/۵	۵/۲۱	***
دفعات آبیاری	۱۷۸/۲	۲۱/۴	۸/۳۳	***
مدت هر نوبت آبیاری	۲۴۲/۸	۳۷/۵	۶/۴۷	***
شاخص مدیریت منابع آب	-۲۱۴/۶	۵۴/۱	-۳/۹۷	***
ثابت	۱۶۷۸	۴۱۵	۴/۰۴	***

بخش ج: معادله مصرف آب – غیر بیمه‌شده‌ها (Regime 2)

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	t-value	معناداری
هزینه آب	-۰/۱۲۶	۰/۰۹۴	-۱/۳۴	n.s.
سطح زمین	۴/۱۶	۱۷/۲	۷۱/۵	***
دفعات آبیاری	۶/۲۱	۱۹/۶	۱۲۱/۸	***
مدت هر نوبت آبیاری	۵/۴۳	۳۴/۱	۱۸۵/۳	***
شاخص مدیریت منابع آب	-۵/۰۱	۵۹/۲	-۲۹۶/۷	***
ثابت	۳/۳۹	۳۸۲	۱۲۹۴	***

بخش د: اثرات ضد واقعی و اثر خالص بیمه

شاخص	مقدار ($m^3/ha/yr$)
مصرف مشاهده‌شده بیمه‌شده‌ها	۵۰۲۰
مصرف ضد واقعی بیمه‌شده‌ها در صورت عدم بیمه	۳۵۷۵
ATT	*۱۴۴۵
مصرف مشاهده‌شده غیر بیمه‌شده‌ها	۳۶۳۰
مصرف ضد واقعی غیر بیمه‌شده‌ها در صورت بیمه	۴۷۷۰
ATU	*۱۱۴۰

بخش ه: پارامترهای کلیدی مدل و آزمون‌های تشخیص

شاخص	مقدار	تفسیر
ρ_1	۰/۴۱***	انتخاب مثبت
ρ_0	-۰/۳۲**	انتخاب منفی
λ_1	۱/۸۲***	وجود تورش انتخاب
λ_0	-۱/۲۶**	وجود تورش انتخاب
Wald χ^2	۲۱/۸۴***	رد استقلال معادلات
Fابزار	۱۶/۹۱	ابزار قوی
p-valueآزمون اعتبار ابزار	۰/۳۸	ابزار معتبر

* معناداری آماری در سطح ۱۰ درصد، ** معناداری در سطح ۵ درصد، *** معناداری در سطح ۱ درصد

جدول ۷- مقایسه مصرف آب محصولات منتخب بر حسب نوع محصول و وضعیت بیمه کشاورزی (واحد اعداد: مترمکعب در هکتار در سال)

محصول	نوع محصول	نیاز آبی استاندارد	مصرف آب (بیمه‌شده)	مصرف آب (غیربیمه‌شده)	اختلاف مطلق	اختلاف درصدی	سطح معناداری
گندم	زراعی	۴۵۰۰-۵۵۰۰	۴۲۸۰	۳۷۲۰	۵۶۰	%۱۵/۱۰	**
سیب	باغی	۶۰۰۰-۸۰۰۰	۶۵۴۰	۵۴۲۰	۱۱۲۰	%۲۰/۷۰	***
گردو	باغی	۷۰۰۰-۹۰۰۰	۷۳۸۰	۶۰۸۰	۱۳۰۰	%۲۱/۴۰	***
انگور	باغی	۵۰۰۰-۷۰۰۰	۵۳۲۰	۴۶۸۰	۶۴۰	%۱۳/۷۰	**

* معناداری آماری در سطح ۱۰ درصد، ** معناداری در سطح ۵ درصد، *** بیانگر معناداری در سطح ۱ درصد

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بیمه کشاورزی علاوه بر ایفای نقش حمایتی در کاهش ریسک تولید، می‌تواند پیامدهای رفتاری ناخواسته‌ای نیز در پی داشته باشد. یافته‌های حاصل از آمار توصیفی و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کشاورزان بیمه‌شده به‌طور متوسط مصرف آب بیشتری نسبت به کشاورزان غیر بیمه‌شده دارند. این تفاوت در مرحله نخست می‌توانست ناشی از تفاوت‌های ساختاری دو گروه باشد، زیرا کشاورزان بیمه‌شده عمدتاً دارای اراضی بزرگ‌تر بوده و سهم بیشتری از محصولات باغی را تولید می‌کنند. با این حال، نتایج مدل‌های اقتصادسنجی نشان داد که حتی پس از کنترل این تفاوت‌ها نیز اثر مثبت بیمه بر مصرف آب همچنان باقی می‌ماند.

برآورد مدل OLS نشان داد که برخورداری از بیمه کشاورزی با افزایش متوسط حدود ۸۴۲ مترمکعب مصرف آب در هکتار در سال ارتباط دارد.هرچند این مدل نخستین شواهد از وجود ارتباط میان بیمه و مصرف آب را ارائه می‌دهد، اما به دلیل احتمال تورش انتخاب نمی‌توان آن را به‌عنوان اثر خالص بیمه تفسیر کرد. از این‌رو در ادامه از روش‌های تطبیق نمره تمایل (PSM)و رگرسیون سوئیچینگ درون‌زا (ESR) استفاده شد تا اثر واقعی بیمه از سایر عوامل مؤثر تفکیک شود.

نتایج مدل PSM نشان داد که پس از تطبیق کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده بر اساس ویژگی‌های مشاهده‌پذیر، مقدار اثر متوسط بیمه بر مصرف آب در روش‌های مختلف تطبیق مثبت بوده و بین ۱۰۱۲ تا ۱۰۴۵ مترمکعب در هکتار در سال برآورد شده است.پایداری نتایج در روش‌های مختلف تطبیق نشان می‌دهد که یافته‌ها از استحکام مناسبی برخوردار بوده و نسبت به روش برآورد حساسیت بالایی ندارند. این موضوع نشان می‌دهد که پس از لحاظ تفاوت‌های مشاهده‌پذیر در فرآیند تطبیق، رابطه مثبت میان بیمه کشاورزی و مصرف آب همچنان باقی می‌ماند؛ هرچند احتمال تأثیر عوامل مشاهده‌نشده را نمی‌توان منتفی دانست.

مهم‌ترین یافته پژوهش از مدل ESR حاصل شد. بر اساس برآوردهای ضدواقعی، اگر کشاورزان بیمه‌شده تحت پوشش بیمه قرار نمی‌گرفتند، مصرف آب آن‌ها به‌طور متوسط حدود ۱۴۴۵ مترمکعب در هکتار در سال کمتر بود. علاوه بر این، معناداری ضرایب λ و ρ و همچنین آزمون Wald χ^2 وجود تورش انتخاب را تأیید کرد و نشان داد استفاده از مدل ESR نسبت به مدل‌های متعارف ضروری بوده است. همچنین، متغیر «فاصله تا نزدیک‌ترین مرکز خدمات و ترویج کشاورزی» به‌عنوان متغیر شناسایی‌کننده در معادله انتخاب بیمه وارد شده است. نتایج این مدل، با فرض برقرار بودن شرایط شناسایی، شواهد تکمیلی درباره رابطه مثبت بیمه کشاورزی و مصرف آب فراهم می‌کند.

از منظر اقتصاد اطلاعات، این یافته‌ها مصداق روشنی از پدیده خطر اخلاقی محسوب می‌شوند. بیمه با انتقال بخشی از ریسک تولید از کشاورز به شرکت بیمه، هزینه مورد انتظار خسارت را کاهش می‌دهد و در نتیجه انگیزه بهره‌بردار برای کنترل مصرف برخی نهاده‌ها کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی، کشاورزان ممکن است برای اطمینان بیشتر از حفظ عملکرد محصول، از آب بیشتری استفاده کنند؛ بنابراین بیمه اگرچه ریسک درآمدی را کاهش می‌دهد، اما در نبود سازوکارهای کنترلی می‌تواند منجر به افزایش فشار بر منابع آب شود.

یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که شدت این رفتار در میان محصولات مختلف یکسان نیست. نتایج جدول مقایسه‌ای محصولات نشان داد که بیشترین اختلاف مصرف آب میان کشاورزان بیمه‌شده و غیربیمه‌شده مربوط به گردو و سیب است؛ به‌گونه‌ای که این اختلاف به ترتیب حدود ۲۱/۴ و ۲۰/۷ درصد برآورد شد. در مقابل، این اختلاف برای گندم و انگور کمتر بود. این نتیجه نشان می‌دهد که شدت خطر اخلاقی با ارزش اقتصادی محصول ارتباط مستقیم دارد. در محصولات باغی با ارزش اقتصادی بالاتر، کشاورزان انگیزه بیشتری برای جلوگیری از افت عملکرد دارند و در نتیجه تمایل بیشتری به افزایش مصرف آب پس از دریافت پوشش بیمه‌ای نشان می‌دهند.

یکی دیگر از یافته‌های مهم پژوهش نقش عوامل مدیریتی در کنترل مصرف آب بود. نتایج نشان داد شاخص مدیریتی در تمامی مدل‌ها دارای ضریب منفی و معنادار است. این موضوع بیانگر آن است که ارتقای دانش مدیریتی و مهارت بهره‌برداران می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن ایفا کند. جالب آن‌که اثر کاهنده مدیریت در گروه غیر بیمه‌شده قوی‌تر از گروه بیمه‌شده مشاهده شد که می‌تواند نشانه‌ای از تضعیف نسبی انگیزه‌های مدیریتی در شرایط وجود پوشش بیمه‌ای باشد.

همچنین ضریب متغیر روش آبیاری مدرن منفی و معنادار بود که اهمیت فناوری‌های نوین آبیاری را در کاهش مصرف آب تأیید می‌کند. این نتیجه با ادبیات گسترده مدیریت تقاضای آب سازگار است و نشان می‌دهد که سیاست‌های فنی و فناوری همچنان یکی از مؤثرترین ابزارهای کاهش برداشت آب در بخش کشاورزی محسوب می‌شوند.

در خصوص متغیر هزینه آب نیز نتایج نشان داد که ضریب این متغیر در تمامی مدل‌ها منفی است اما از نظر آماری معنادار نیست. منفی بودن علامت ضریب با مبانی نظری اقتصاد و قانون تقاضا سازگار است و نشان می‌دهد با افزایش هزینه تأمین آب، تمایل به مصرف کاهش می‌یابد. با این حال، غیرمعنادار بودن ضریب بیانگر آن است که سطح فعلی هزینه آب در بخش کشاورزی ایران هنوز به‌اندازه‌ای نیست که رفتار مصرفی کشاورزان را به‌طور مؤثر تغییر دهد. این یافته تأیید می‌کند که مدیریت تقاضای آب صرفاً از طریق ابزار قیمت امکان‌پذیر نیست و نیازمند ترکیبی از سیاست‌های اقتصادی، نهادی و فناورانه است.

نتایج این پژوهش با مباحث مطرح‌شده در مطالعات Coble و همکاران (۱۹۹۷)، Finger و Lehmann (۲۰۱۲) و Miao و همکاران (۲۰۱۶) درباره ارتباط سیاست‌های بیمه‌ای و حمایتی با تصمیم‌های تولیدی کشاورزان قابل مقایسه است. همچنین، مبانی نظری ارائه‌شده در Just و همکاران (۲۰۰۴) درباره تحلیل اقتصادی سیاست‌های عمومی، چارچوبی برای تفسیر پیامدهای سیاست‌های حمایتی بر رفتار اقتصادی بهره‌برداران فراهم می‌کند. بااین‌حال، تفاوت مهم پژوهش حاضر با مطالعات پیشین در آن است که اغلب تحقیقات قبلی بر عملکرد، درآمد یا مصرف سایر نهاده‌ها تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که پژوهش حاضر به‌طور مستقیم مصرف آب را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های محدودکننده تولید در شرایط تنش آبی ایران بررسی کرده است.

در مقایسه با مطالعات داخلی نیز مشاهده می‌شود که بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در ایران آثار بیمه را بر درآمد، عملکرد محصول یا کاهش ریسک تولید بررسی کرده‌اند و کمتر به پیامدهای زیست‌محیطی آن پرداخته‌اند. از این رو، یافته‌های این مطالعه بُعد جدیدی از آثار سیاست‌های حمایتی را آشکار می‌سازد و نشان می‌دهد که موفقیت اقتصادی یک سیاست، لزوماً به معنای پایداری زیست‌محیطی آن نیست.

نوآوری اصلی این پژوهش در چهار محور قابل بیان است. نخست، این مطالعه از نخستین پژوهش‌های داخلی است که رابطه میان بیمه کشاورزی و مصرف آب را در چارچوب نظریه خطر اخلاقی بررسی می‌کند. دوم، با استفاده همزمان از مدل‌های OLS، PSM و ESR امکان کنترل تورش‌های مشاهده‌پذیر و مشاهده‌ناپذیر فراهم شده است. سوم، ناهمگنی اثر بیمه در محصولات مختلف کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. چهارم، پژوهش حاضر خلأ موجود در ادبیات داخلی درباره پیامدهای زیست‌محیطی سیاست‌های بیمه‌ای را پوشش داده و نشان داده است که سیاست‌های حمایتی می‌توانند آثار جانبی مهمی بر پایداری منابع آب داشته باشند.

در مجموع، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه بیمه کشاورزی ابزاری ضروری برای حمایت از تولیدکنندگان است، اما طراحی کنونی آن ممکن است به شکل ناخواسته موجب افزایش فشار بر منابع آب شود؛ بنابراین سیاست‌گذاران باید در طراحی برنامه‌های بیمه‌ای، ملاحظات بهره‌وری آب و پایداری محیط‌زیستی را نیز لحاظ کنند تا ضمن حفظ کارکرد حمایتی بیمه، از تشدید برداشت آب و افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی جلوگیری شود.

پیشنهادهای سیاستی

بر اساس یافته‌های پژوهش و با توجه به شواهد به‌دست‌آمده از مدل‌های OLS، PSM و ESR، پیشنهادهای سیاستی زیر ارائه می‌شود:

۱- طراحی بیمه‌های کشاورزی مبتنی بر نوع محصول: نتایج نشان داد اثر بیمه بر افزایش مصرف آب در محصولات باغی به‌مراتب بیشتر از محصولات زراعی است. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود سیاست‌های بیمه‌ای متناسب با ویژگی‌های هر محصول طراحی شود. برای محصولات آب‌بر و با ارزش اقتصادی بالا نظیر سیب و گردو، افزایش سهم بیمه‌گذار از خسارت و کنترل دقیق‌تر مصرف آب می‌تواند از تشدید رفتارهای ناشی از خطر اخلاقی جلوگیری کند.

۲- مشروط‌سازی حمایت‌های بیمه‌ای به عملکرد مدیریتی بهره‌برداران: با توجه به اثر منفی و معنادار شاخص مدیریتی بر مصرف آب در تمامی مدل‌های برآوردی، پیشنهاد می‌شود سطح حمایت بیمه‌ای و میزان تخفیف حق بیمه به رعایت اصول مدیریت بهینه آب وابسته شود. استفاده از سامانه‌های آبیاری کارآمد، برنامه‌ریزی آبیاری و رعایت الگوهای بهره‌وری آب می‌تواند به‌عنوان معیارهای ارزیابی در قراردادهای بیمه لحاظ شود.

۳- توسعه بیمه‌های شاخصی مبتنی بر بهره‌وری آب: نتایج پژوهش وجود خطر اخلاقی و افزایش مصرف آب در میان کشاورزان بیمه‌شده را تأیید کرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌تدریج بیمه‌های سنتی خسارت‌محور با بیمه‌های شاخصی جایگزین شوند؛ به‌گونه‌ای که بخشی از پرداخت خسارت بر اساس شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد واقعی مزرعه تعیین گردد. این رویکرد انگیزه مصرف بی‌رویه آب را کاهش خواهد داد.

۴- استقرار نظام پایش هوشمند مصرف آب در واحدهای بیمه‌شده: با توجه به اثر مثبت و معنادار بیمه بر مصرف آب، تجهیز مزارع و باغات بیمه‌شده به سامانه‌های اندازه‌گیری و پایش هوشمند مصرف آب ضروری است. این سامانه‌ها امکان نظارت مستمر بر برداشت آب، شناسایی الگوهای غیرمتعارف مصرف و ارزیابی دقیق‌تر عملکرد بهره‌برداران را فراهم می‌کنند.

۵- اصلاح سازوکار مدیریت تقاضای آب به جای اتکای صرف به قیمت‌گذاری: نتایج نشان داد متغیر هزینه آب اثر معناداری

بر مصـــرف آب نـدارد؛ بنـابراین افزایش قیمـت آب بـه‌تنهـایی نمی‌تواند رفتار مصرف‌کنندگان را اصلاح کند. پیشنهاد می‌شود ســیاســت‌های مدیریت تقاضــا شــامل آموزش بهره‌برداران، توسعه خدمات ترویجی، کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی و حمایت از فناوری‌های صـرفه‌جویانه، در کنار اصـلاح تدریجی نظام قیمت‌گذاری آب اجرا شود.

منابع

حسین‌بر، نسرین، دادرس‌مقدم، امیر، حسینی، سیدمهدی، و صـــفـدری، مهـدی. (۱۴۰۲). عوامـل مؤثر بر پذیرش بیمـه محصـول خرما از دیدگاه کارگزاران صـدور بیمه‌نامه خرما با تأکید بر عملکرد صـــندوق بیمه کشـــاورزی. فصـــلنامه تـحـقـیـقـات اقـتـصـــاد کشـــاورزی، ۱۵ (۳)، ۷۰-۸۴. https://doi.org/10.30495/jae.2023.28649.2279

دوراندیش، آرش، کارگر زرندی، سـارا، و قربانی، محمد. (۱۴۰۲). شـنـاسـایی مخاطرات اخلاقی و انتخاب نامناسـب در بیمه گندم آبی اسـتان خراسـان رضـوی. تحقیقات اقتصـاد کشـــــــــاورزی، ۱۵(۱)، ۲۶-۴۲. https://doi.org/10.30495/JAE.2023.25037.2171

شـــاهنوشـــی، ناصـــر، رفیعی دارایی، هادی، و عدالتیان، علی. (۱۳۹۰). بررســـی عوامل ســـاختاری و عمل‌کردی موثر بر رضـــایت بیمه‌گذاران از بیمه‌ی محصـــولات کشـــاورزی: مطالعه‌ی موردی اســـتان خراســـان رضـــوی. فصـــلنامه تـحـقـیـقـات اقـتـصـــاد کشـــاورزی، ۵(۱)، ۱۲۱-۱۰۳. https://sid.ir/paper/124336/fa

نجفی، بهـاءالـدین، و احمـدپور برازجـانی، محمود. (۱۳۸۰). ارزیابی عملکرد برنامه بیمه محصولات کشاورزی. اقتصاد کشـــــاورزی و تـــوســـــعـــه، ۹(۳)، ۱۰۷-۷۹. https://doi.org/10.30490/aead.2001.132342

Akerlof, G. A. (1970). The market for “lemons”: Quality uncertainty and the market mechanism. The Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488–500. https://doi.org/10.2307/1879431

Arrow, K. J. (1963). Uncertainty and the welfare economics of medical care. *The American* Economic Review, 53(5), 941–973.

Coble, K. H., Knight, T. O., Pope, R. D., & Williams, J. R. (1997*).* An expected-indemnity approach to the measurement of moral hazard in crop insurance. American Journal of Agricultural Economics, 79(1), 216–226. https://doi.org/10.2307/1243955

Di Falco, S., Adinolfi, F., Bozzola, M., & Capitanio, F. (2014). Crop insurance as a strategy for adapting to climate change. Journal of Agricultural Economics, 65(2), 485–504. https://doi.org/10.1111/1477-9552.12053

Finger, R., & Lehmann, N. (2012). The influence of direct payments on farmers’ hail insurance decisions. Agricultural Economics, 43(3), 343–354. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2012.00587.x

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2021). *Water use*. AQUASTAT. https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use/

Just, R. E., Hueth, D. L., & Schmitz, A. (2004). The welfare economics of public policy: A practical approach to project and policy evaluation. Northampton, Cheltenham, UK; Edward Elgar Publishing, MA, USA.

Masseroni, D., Arbat, G., & de Lima, I. P. (2020). Editorial–Managing and planning water resources for irrigation: Smart-irrigation systems for providing sustainable agriculture and maintaining ecosystem services. Water, 12(1), Article 263. https://doi.org/10.3390/w12010263

Miao, R., Hennessy, D. A., & Feng, H. (2016). The effects of crop insurance subsidies and Sodsaver on land-use change. Journal of Agricultural and Resource Economics, 41(2), 247–265. https://doi.org/10.22004/ag.econ.235189

Smith, V. H., & Goodwin, B. K. (1996). Crop insurance, moral hazard, and agricultural chemical use. American Journal of Agricultural Economics, 78(2), 428–438. https://doi.org/10.2307/1243714

پی‌نوشت‌ها

1- Ordinary Least Squares
2- Propensity Score Matching
3- Endogenous Switching Regression
4- Average Treatment Effect on the Treated
5- Distance to Extension Center
6- Sargan
7- Management Index
8- Common Support
9- Balancing Test
10-outliers

نشریه آب و توسعه پایدار. شهریور ماه ۱۴۰۵
سال سیزدهم. شماره دوم (پیاپی ۴۰). صفحات ۱۷۹ تا ۱۸۵

آب و توسعه پایدار

Journal of Water and Sustainable Development. September 2026
Volume 13. Issue 2 (Serial No. 40). pages 179 to 185

CC BY

یادداشت تحلیلی

چالش‌های حقوقی مشارکت بخش خصوصی در تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها (رواناب باران) در ایران

سجاد مقدس[1*]، سید محسن قائمی خرق[2]

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد و استادیار گروه حقوق بشر و محیط‌زیست، دانشکده حقوق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: sa.moghadas@mail.sbu.ac.ir

چکیده

باتوجه‌به فضای پرتنش آبی کشور و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی همراه با افزایش برداشت‌ها در دشت‌ها که بسیاری از آنها به وضعیت بسیار بحرانی رسیده، ضرورت بازشناسی راهکارهای احیاء و تعادل‌بخشی شدت یافته است. در این میان، تغذیه مصنوعی آبخوان و استفاده از رواناب‌های باران برای تغذیه آبخوان به‌خصوص در نقاطی که پراکنش بارندگی مناسب است، الزامی راهبردی بر اساس برنامه هفتم بر عهده دولت است. حال از منظر حقوقی، پس از جمع‌آوری و انتقال رواناب باران به آبخوان، وضعیت مالکیت و بهره‌برداری از این آب مورد سؤال است؛ زیرا با انتقال به آبخوان آب بلافاصله به‌صورت مشترکات و ثروت عمومی درآمده و «تغییر ظرف» در عمل «تغییر مالکیت» را پدید می‌آورد. در این بستر، یادداشت حاضر به تحلیل چالش حقوقی امکان‌سنجی مشارکت‌بخش خصوصی در تزریق رواناب باران به آبخوان‌ها می‌پردازد؛ به این معنا که آیا بخش خصوصی می‌تواند نسبت به حجمی که به آبخوان منتقل نموده است حق بهره‌برداری قطعی یا سهمی معین مطالبه کند، یا اینکه تنها مسیر تفاهم با وزارت نیرو یا دریافت پرداخت از دولت برای انجام فرایند مجاز است.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، مالکیت عمومی آب، حیازت آب باران، حق بهره‌برداری از منابع آب، مشارکت‌بخش خصوصی

مقدمه

ایران به‌عنوان کشوری واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهانی، به طور تاریخی با محدودیت منابع آب تجدیدپذیر مواجه بوده است (زارعی و همکاران،۱۳۹۷). الگوی نامتوازن مکانی و زمانی بارش، تبخیر بالا و فشار فزاینده ناشی از رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و گسترش فعالیت‌های صنعتی، موجب شده است که اتکای نظام تأمین آب کشور به منابع آب زیرزمینی به‌تدریج افزایش یابد (هادی و همکاران، ۱۳۹۶). در دهه‌های اخیر، این اتکا از سطح یک راهکار مکمل فراتر رفته و در بسیاری از مناطق کشور به منبع اصلی تأمین آب تبدیل شده است. امری که به دلیل برداشت بی‌رویه و مستمر از آب‌های زیرزمینی، بدون تناسب با ظرفیت تغذیه طبیعی آبخوان‌ها، موجب برهم‌خوردن تراز آبی دشت‌های کشور شده (پایاب و امیری، ۱۴۰۴) و بخش قابل‌توجهی از دشت‌های ایران در حال حاضر در وضعیت «بحرانی» و «فوق‌بحرانی» قرار دارند (مظاهری و عبدالمنافی، ۱۳۹۸) و افت سطح ایستابی، کاهش ذخایر استاتیک و دینامیک آبخوان‌ها (فرزانه و همکاران، ۱۳۹۶) و ازدست‌رفتن کیفیت منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین نشانه‌های این وضعیت محسوب می‌شود (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۴).این شرایط، علاوه بر خسارات مستقیم به اراضی کشاورزی، شبکه‌های حمل‌ونقل و تأسیسات شهری، به‌عنوان تهدیدی جدی برای زیست‌پذیری سکونتگاه‌ها مطرح است (مظاهری و عبدالمنافی، ۱۳۹۸). در چنین شرایطی، تمرکز صرف بر کنترل برداشت، بدون توجه هم‌زمان به افزایش تغذیه آبخوان‌ها، نمی‌تواند به احیای پایدار منابع آب زیرزمینی منجر شود (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱).

در پاسخ به این وضعیت، یکی از رویکردهای تعادل‌بخشی آبخوان‌ها، تغذیه مصنوعی آبخوان‌هاست که باهدف جبران کسری مخزن و افزایش ذخایر آب زیرزمینی، از طریق هدایت کنترل‌شده آب‌های سطحی به درون آبخوان‌ها انجام می‌شود (رامک و زیدعلی نژاد، ۱۴۰۰) و رواناب باران که در بسیاری از مناطق کشور یا به‌صورت سیلاب‌های مخرب ظاهر می‌شود یا بدون بهره‌برداری مؤثر از دسترس خارج می‌شود، از منظر فنی و محیط‌زیستی می‌تواند ظرفیت بالقوه‌ای برای تقویت آبخوان‌ها فراهم آورد (نظری و کنعانی، ۱۴۰۴). البته این ظرفیت به‌شدت وابسته به شرایط اقلیمی، پراکنش بارندگی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و توان نفوذپذیری آبخوان‌ها است و تعمیم آن به کل کشور امکان‌پذیر نیست (کوتاهی، ۱۳۵۴). باوجود اهمیت فنی تغذیه مصنوعی آبخوان از طریق رواناب باران، چالش اصلی در ایران صرفاً ماهیت فنی این فرایند نیست، بلکه ابعاد حقوقی و نهادی آن نقشی تعیین‌کننده در امکان‌پذیری اجرا ایفا می‌کند. نظام حقوقی آب در ایران، بر مبنای اصل عمومی بودن منابع آب و تلقی آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌عنوان انفال و ثروت عمومی شکل‌گرفته است (فعلی و غمامی، ۱۴۰۲). براین‌اساس، به‌محض آنکه آب به آبخوان منتقل می‌شود، در زمره مشترکات قرار می‌گیرد و تحت حاکمیت دولت قرار می‌گیرد (جعفری ندوشن، ۱۴۰۱ الف). این قاعده، اگرچه در راستای حفاظت از منافع عمومی قابل‌توجیه است، اما در عمل پرسش‌های جدی درباره امکان مشارکت‌بخش خصوصی در فرایند تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها ایجاد می‌کند.

در ادبیات حقوقی ایران، آب باران در مرحله پراکنده و پیش از پیوستن به مجاری طبیعی یا سفره‌های آب زیرزمینی، به‌عنوان مال مباح تلقی شده که در صورت تحقق حیازت، امکان تملک عملیاتی فراهم می‌شود (جعفری ندوشن، ۱۴۰۱ ب). بااین‌حال، هرگاه آب جمع‌آوری شده به آبخوان یا مجرای طبیعی منتقل شود، بر اساس قاعده عمومی انفال و نظام مقرراتی حاکم بر منابع آب، ماهیت آن تغییریافته و در زمره منافع عمومی قرار می‌گیرد و بهره‌برداری آتی از آن منوط به اخذ مجوزهای قانونی از مراجع ذی‌صلاح خواهد بود (بدیسار و احمدی، ۱۳۹۵). مسئله زمانی پیچیده‌تر می‌شود که استحصال رواناب باران که پیش از ورود به آبخوان واجد ماهیتی مباح و بالقوه قابل تملک است با هزینه و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی انجام گیرد، اما به‌محض انتقال به آبخوان، مالکیت و بهره‌برداری از آن از قلمرو اختیار سرمایه‌گذار خارج شود (فعلی و غمامی، ۱۴۰۲). در چنین وضعیتی، انگیزه اقتصادی برای ورود بخش خصوصی به این حوزه به‌طورجدی تضعیف می‌شود، زیرا منافع حاصل از سرمایه‌گذاری یا به‌کلی از میان می‌رود یا تحقق آن به تصمیمات بعدی دولت و دستگاه متولی وابسته می‌شود؛ همچنان که طرح ملی جمع‌آوری آب باران (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۲) به دلیل تمرکز بر نقش دولت و فقدان سازوکار مؤثر برای مشارکت‌بخش خصوصی، به نتیجه عملی نرسید.

وضعیت بارش، منابع آب تجدیدپذیر و وابستگی فزاینده به آب‌های زیرزمینی در ایران

ایران از حیث جغرافیایی کشوری پهناور با مساحت حدود ۱٫۶۴۸ میلیون کیلومترمربع است که در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۲). ویژگی شاخص اقلیم ایران، ناهمگونی شدید مکانی و زمانی بارش است. به‌گونه‌ای که میانگین بلندمدت بارش سالانه کشور در حدود ۲۴۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر برآورد می‌شود، اما این میانگین به‌هیچ‌وجه بازتاب‌دهنده واقعیت توزیع بارندگی در سطح کشور نیست (صادقی و آسایش، ۱۳۹۵). در نواحی شمالی و به‌ویژه حاشیه دریای خزر، میزان بارش سالانه در برخی نقاط به ۱٬۵۰۰ تا حتی ۲٬۰۰۰ میلی‌متر می‌رسد، درحالی‌که در بخش‌های وسیعی از فلات مرکزی، شرق و جنوب شرق کشور، بارش سالانه کمتر از ۵۰ میلی‌متر است (میان‌آبادی و داوری، ۱۴۰۲). این عدم

تعادل ساختاری موجب شده است ظرفیت تأمین آب از منابع سطحی و امکان بهره‌گیری از بارش، از حوضه‌ای به حوضه دیگر به‌شدت متفاوت باشد.

از نظر حجمی، مجموع نزولات جوی سالانه در ایران حدود ۴۰۰ تا ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود (تیموری و بذرافشان، ۱۳۹۶). بااین‌حال، بخش عمده‌ای از این حجم عظیم به دلیل تبخیر و تعرق بالا، رواناب‌های سریع و خروج از دسترس، در عمل قابل‌استفاده مستقیم نیست. برآوردهای متعارف نشان می‌دهد که تنها حدود یک‌سوم این مقدار می‌تواند به‌صورت نظری به‌عنوان منابع آب تجدیدپذیر مطرح شود (سرباز و آقامیری، ۱۴۰۲). در دهه‌های گذشته، میزان منابع آب تجدیدپذیر کشور در حدود ۱۲۰ تا ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می‌شد، اما شواهد جدید حاکی از آن است که تحت‌تأثیر تغییر اقلیم، تداوم خشکسالی‌های پی‌درپی و برداشت بیش از ظرفیت طبیعی، این رقم کاهش‌یافته و در برخی برآوردها به محدوده‌ای بین ۸۰ تا ۱۰۵ میلیارد مترمکعب رسیده است (اسدی و همکاران، ۱۴۰۰).

کاهش منابع آب تجدیدپذیر در کنار رشد جمعیت، توسعه کشاورزی و گسترش فعالیت‌های صنعتی و شهری، موجب افزایش وابستگی کشور به منابع آب زیرزمینی شده است (نظری و کنعانی، ۱۴۰۴). در بسیاری از دشت‌های ایران، آبخوان‌ها به منبع اصلی تأمین آب تبدیل شده‌اند و برداشت از آنها از حد تغذیه طبیعی فراتر رفته است. پیامد مستقیم این وضعیت، افت مستمر سطح آب زیرزمینی، افزایش عمق چاه‌ها و بالارفتن هزینه‌های استخراج آب بوده است. افزون بر این، کاهش سطح آبخوان‌ها در بسیاری از مناطق با پدیده فرونشست زمین همراه شده است (مظاهری و عبدالمنافی، ۱۳۹۸). پدیده‌ای که امروزه به یکی از جدی‌ترین مخاطرات محیط‌زیستی و زیرساختی کشور تبدیل شده و آثار آن بر اراضی کشاورزی، شبکه‌های حمل‌ونقل و سکونتگاه‌های انسانی آشکار است. در چنین شرایطی، هر سیاست یا راهبردی که بتواند به احیاء، تقویت یا تثبیت ذخایر آب زیرزمینی کمک کند، از منظر مدیریت پایدار منابع آب اهمیتی بنیادین دارد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۸)

تغذیه مصنوعی آبخوان و امکان بهره‌گیری از رواناب باران

تغذیه مصنوعی آبخوان که در ادبیات بین‌المللی با عنوان Managed Aquifer Recharge (MAR)شناخته می‌شود، به مجموعه اقداماتی اطلاق می‌شود که با مداخله هدفمند انسانی، ورود آب به سفره‌های زیرزمینی را افزایش می‌دهد (Dillon و همکاران، ۲۰۲۲) هدف از این اقدامات، ذخیره‌سازی آب در دوره‌های ترسالی، تعدیل نوسانات زمانی منابع آب، افزایش پایداری تأمین آب و در برخی موارد بهبود کیفیت آب زیرزمینی است. وصف «مصنوعی» ناظر بر آن است که این فرایند فراتر از نفوذ طبیعی آب انجام می‌شود و با استفاده از سازه‌ها، تأسیسات و مدیریت انسانی تقویت می‌شود (Gale، ۲۰۲۲).

روش‌های متداول تغذیه مصنوعی متنوع هستند و شامل ایجاد حوضچه‌ها و پهنه‌های نفوذی، توسعه کانال‌ها و سطوح پخش آب، استفاده از چاه‌های تزریق و نیز ترکیب سازه‌های کنترل سیلاب با مسیرهای نفوذ به آبخوان می‌شوند. انتخاب هر روش تابع شرایط هیدروژئولوژیک منطقه، از جمله نوع خاک، عمق آبخوان، نرخ نفوذپذیری و کیفیت آب ورودی است (Dillon و همکاران، ۲۰۲۲). از این منظر، تغذیه مصنوعی، ابزاری مکمل است که تنها در صورت انطباق با شرایط طبیعی و مدیریتی هر حوضه می‌تواند اثربخش باشد (Gale، ۲۰۲۲) و معمولاً شامل مراحل گردآوری رواناب، پیش‌تصفیه اولیه برای حذف رسوبات و آلودگی‌های سطحی، انتقال به محل‌های مناسب نفوذ یا تزریق، و در نهایت پایش مداوم اثرات کمی و کیفی بر آبخوان است (نوری و زارع چاهوکی، ۱۳۹۷).

بااین‌حال بهره‌گیری از این راهبرد، مستلزم ارزیابی هزینه - فایده است؛ به این معنا که بهره‌گیری از رواناب باران برای تغذیه مصنوعی، بااینکه می‌تواند از هدررفت آب در دوره‌های پرآبی جلوگیری کند، به کنترل سیلاب‌های موقتی کمک نماید و در برخی مناطق به‌ویژه در نواحی کوهپایه‌ای و حوضه‌هایی با خاک نفوذپذیر، جایگزینی کم‌هزینه‌تر نسبت به انتقال آب بین‌حوضه‌ای یا احداث سدهای بزرگ باشد (طباطبایی یزدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ آبشناسان و همکاران، ۱۳۹۴)؛ اما پراکندگی مکانی و زمانی بارش سبب می‌شود که طرح‌های مبتنی بر رواناب باران در همه مناطق کشور توجیه فنی و اقتصادی نداشته باشند. همچنین کیفیت رواناب به‌ویژه در مناطق شهری و کشاورزی ممکن است حاوی آلاینده‌هایی باشد که در صورت عدم پیش‌تصفیه، خطر آلودگی آبخوان را به دنبال دارد (Gale، ۲۰۲۲). افزون بر این، در برخی سازندهای زمین‌شناختی با نفوذپذیری پایین، میزان نفوذ آب محدود است و اجرای سازه‌های تکمیلی هزینه‌ها را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، موفقیت تغذیه مصنوعی آبخوان با رواناب باران مستلزم مطالعات دقیق مکان‌محور، طراحی مناسب فنی و وجود نظام پایش و مدیریت مستمر است (رامک و زیدعلی نژاد، ۱۴۰۰).

اصل مالکیت عمومی آب و بررسی قاعده «انفال» در قانون اساسی

بر اساس اصل ۴۵ قانون اساسی، آب‌های جاری، آب‌های زیرزمینی، چشمه‌سارها، دریاچه‌ها و سایر منابع آبی جزو مشترکات عمومی شناخته شده و «در اختیار حکومت اسلامی» قرار گرفته است و «مسئولیت حفظ و اجازه و نظارت به بهره‌برداری» از این منابع به دولت محول شده است؛ بنابراین، آب در مقام یک منبع عمومی، تابع قواعد مدیریت عمومی و مصلحت‌های جمعی است تا تصاحب خصوصی مطلق (فرزانه و همکاران، ۱۳۹۶). قانون توزیع عادلانه آب و مقررات اجرایی پسین نیز ساختار حقوقی را به‌گونه‌ای تنظیم کرده است که اختیار تخصیص و اداره منابع آب در عمل در چارچوب مدیریت دولتی متمرکز شود (اسلامی و رحیمی،

۱۳۹۸). باوجود امکان تخصیص حقوق استفاده در قالب پروانه یا مجوز و توجه ویژه به ملاحظات عدالت توزیعی، در راستای صیانت از منافع جمعی و حفظ ذخایر ملی، اختیار نهایی تعیین چارچوب بهره‌برداری، تعیین قواعد سیاست تخصیص با دولت خواهد بود (کاوه فیروز و اسماعیلی‌فرد، ۱۳۹۵)

تفکیک مالکیت از حق بهره‌برداری اختیارات دولت و محدودیت‌های مشارکت خصوصی

حقوق آب ایران یک تفکیک اصولی و کارکردی میان «مالکیت منبع» و «حق بهره‌برداری» برقرار کرده است. مالکیت منبع آب در قالب انفال و ثروت عمومی باقی می‌ماند، اما دولت می‌تواند تحت قواعد مقرر، «حق انتفاع» یا مجوز استفاده معقول را به اشخاص حقیقی یا حقوقی اعطا کند (فصیحی هرندی، ۱۳۹۷). حق انتفاع مفهومی است که در این حوزه به معنای یک حق انتفاعی محدود و مشروط قانونی است که ذی‌نفع را مجاز می‌سازد از منافع منبع بهره‌برداری کند، بدون اینکه مالکیت منبع منتقل شود (الشریف و جلالی، ۱۳۹۹)؛ این حق معمولاً تابع شرایطی مانند سقف برداشت، مکان مصرف، مدت اعتبار و تکالیف گزارش‌دهی و نصب ابزارهای اندازه‌گیری است (اسماعیلی‌نژاد و داوری، ۱۳۹۹). اختیارات دولت در این نظام شامل مجموعه‌ای وسیع از اقدامات تخصیصی و کنترلی مانند تعیین ضوابط صدور پروانه، تعیین «مصرف معقول»، وضع آیین‌نامه‌های نظارتی، نصب ابزار پایش و اندازه‌گیری، وضع تعرفه‌ها و دریافت وجوه مرتبط با برداشت و نیز اعمال اقدامات انتظامی و جزایی در برابر برداشت غیرمجاز است (بدیسار و احمدی، ۱۳۹۵). این اختیارات ابزار عملی دولت برای حفظ توازن منافع عمومی و مدیریت پایدار منابع آبی به شمار آمده و نشان می‌دهد که هرگونه تخصیص حقی برای استفاده باید در چارچوب این اختیارات و بر اساس ضوابط قانونی و آیین‌نامه‌ای صورت گیرد (جعفری ندوشن، ۱۴۰۱ ب).

امکان واگذاری حقوق بهره‌برداری بدون انتقال مالکیت، از این منظر به‌عنوان یک ابزار سیاستی قابل‌اتکا است. دولت می‌تواند از طریق قراردادها، پروانه‌ها یا اجازات موقّت حقوق استفاده را به بخش خصوصی اعطا کند (برای مثال تخصیص سهم برداشت معین یا خرید خدمات تغذیه مصنوعی)، بی‌آنکه مالکیت عمومی منبع را مخدوش سازد. بااین‌حال، تضمین حقوق سرمایه‌گذار در چنین سازوکاری موضوعی پیچیده و مستلزم تضمین‌های قراردادی، سازوکارهای تصدیق فنی (برای مثال تعیین حجم مؤثر آب افزوده) و قواعد شفاف نظارتی است تا امکان بازپس‌گیری حقوق یا افزایش برداشت نامحدود توسط ذی‌نفع فراهم نشود (قربانیان کردآبادی و همکاران، ۱۳۹۸)

در نهایت باید محدودیت‌های بنیادینی را که مشارکت خصوصی را در حوزه منابع آب تنظیم می‌کند، موردتوجه قرار داد. نخستین محدودیت، ممنوعیت تملک منابع آب در برابر منافع خصوصی بوده و حتی سرمایه‌گذاری عظیم نیز به‌خودی‌خود موجب تبدیل مالکیت عمومی منبع به مالکیت خصوصی نخواهد شد. دومین محدودیت، قاعده تقدم منافع عمومی بر منافع اقتصادی خصوصی است و هر سازوکار واگذاری حق استفاده باید صوری فراهم آورد که منافع عامّ، مانند ثبات منابع، حفاظت از حقابه‌ها و جلوگیری از فرونشست، بر منافع اقتصادی منفرد چیره بماند. در نتیجه، طراحی هر سیاست تشویقی مشارکت خصوصی در بخش آب باید هم‌زمان تضمین منفعت عمومی، شفافیت مقرراتی و تضمین فنی و قراردادی برای سرمایه‌گذار را لحاظ نماید تا از یک‌سو انگیزه ورود بخش خصوصی حفظ شود و ازسوی‌دیگر از مخاطرات انحراف بهره‌برداری و تضعیف منافع عمومی جلوگیری به عمل آید.

وضعیت حقوقی آب حاصل از تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها: از حیازت رواناب تا چالش (تغییر ظرف)

ماهیت حقوقی آب تغذیه شده: تعارض میان حیازت و انفال در نظام حقوقی ایران، وضعیت حقوقی آب پیش‌وپس از تزریق به آبخوان به طور معناداری متفاوت است. مطابق قواعد کلی حقوق مدنی و فقهی، آب باران تا زمانی که به‌صورت پراکنده در طبیعت جریان دارد و در مجاری عمومی یا منابع مشترک مستقر نشده است، در زمره «مباحات» قرار می‌گیرد. براین‌اساس، هر شخصی که با قصد تملک و از طریق حیازت، آن را جمع‌آوری و مهار کند، می‌تواند مالک آن شود؛ بنابراین، بخش خصوصی که با احداث سازه‌هایی مانند حوضچه‌های پخش سیلاب یا سامانه‌های جمع‌آوری رواناب، آب باران را استحصال می‌کند، در این مرحله مالک مشروع آب به شمار می‌آید (جعفری ندوشن، ۱۴۰۱ الف).

چالش اصلی از لحظه‌ای آغاز می‌شود که این آب تحت مالکیت خصوصی، به آبخوان تزریق می‌شود. بر اساس اصل ۴۵ قانون اساسی و ماده ۱ قانون توزیع عادلانه آب، آب‌های زیرزمینی از مصادیق «مشترکات عمومی» و در دسته انفال محسوب می‌شوند و در اختیار حکومت قرار دارند (روح‌الامینی، ۱۳۹۷). در تحلیل‌های حقوقی، آبخوان به‌مثابه یک «ظرف عمومی» تلقی می‌شود. ظرفی که ماهیت آن به‌گونه‌ای است که هر آبی با ورود به آن، تابع رژیم حقوقی منابع عمومی می‌شود. از این منظر، زمانی که «مظروف» (آب حیازت شده و خصوصی) وارد این «ظرف» می‌شود، قاعده اختلاط و استهلاک در منبع عمومی اعمال می‌شود و تغییر ظرف، به تغییر وضعیت حقوقی می‌انجامد. به‌عبارت‌دیگر، با تزریق آب به آبخوان، مالکیت خصوصی بر عین آب از میان می‌رود و آب تابع احکام انفال و مدیریت عمومی می‌شود.

سکوت قانون‌گذار و پیامدهای حقوقی خلأ تقنینی

قوانین موجود آب در ایران، به‌ویژه قانون توزیع عادلانه آب بیشتر ناظر بر کنترل برداشت، ساماندهی منابع موجود و صدور پروانه بهره‌برداری هستند و سناریوی «خلق آب یا

افزایش مؤثر ذخیره آبخوان توسط بخش خصوصی» را پیش‌بینی نکرده است. این قانون بیش از آنکه به انگیزش کنشگران غیردولتی بیندیشد، بر مهار مصرف تمرکز دارد. سکوت قانون‌گذار در خصوص وضعیت حقوقی آب تزریق شده توسط بخش خصوصی، زمینه‌ساز تفاسیر انقباضی و محافظه‌کارانه از سوی دستگاه متولی، به‌ویژه وزارت نیرو، شده است.

پیامد عملی این خلأ آن است که سرمایه‌گذار خصوصی هیچ تضمین حقوقی روشنی برای بازگشت سرمایه خود ندارد؛ او آب را به سفره تزریق می‌کند، اما مرجع دولتی می‌تواند با استناد به عمومی بودن آبخوان، اجازه برداشت متناظر یا مازاد را صادر نکند یا آن را مشمول نظام تخصیص‌های جدید بداند. این وضعیت، ریسک حقوقی سرمایه‌گذاری را به حدی افزایش می‌دهد که ورود بخش خصوصی به پروژه‌های تغذیه مصنوعی را غیراقتصادی می‌سازد. حال‌آنکه تجربه‌های تقنینی گذشته نشان داده است به‌رسمیت‌شناختن رفتارهای مخرب (مانند تعیین تکلیف چاه‌های غیرمجاز) ممکن شده، اما برای یک اقدام احیایی و نجات‌بخش، چارچوب حمایتی پیش‌بینی نشده است.

آثار حقوقی ورود آب به آبخوان: زوال مالکیت یا امکان بقای حق انتفاع؟

با ورود آب به آبخوان، ادعای مالکیت بر «عین» آب با دشواری جدی مواجه می‌شود، زیرا آب تزریق شده با آب موجود مخلوط شده و قابلیت تفکیک فیزیکی ندارد. در این نقطه، دو رویکرد حقوقی قابل‌تصور است. رویکرد نخست، دیدگاه سنتی و غالب دولتی است که بر اساس آن، هر آبی که وارد آبخوان شود، به طور کامل تحت حاکمیت دولت قرار می‌گیرد و تزریق‌کننده تنها خدمتی عمومی انجام داده است. این رویکرد، اگرچه با ظاهر قواعد انفال سازگار است، اما انگیزه اقتصادی هرگونه سرمایه‌گذاری خصوصی را از میان می‌برد.

در برابر آن، رویکرد نوین‌تری قابل‌طرح است که میان «مالکیت عین آب» و «حق انتفاع» تفکیک قائل می‌شود. بر اساس این تحلیل، اگرچه مالکیت فیزیکی آب ممکن است به‌واسطهٔ اختلاط زائل شود، اما منشأ آب و ارزش اقتصادی افزوده شده به آبخوان قابل‌شناسایی است. مطابق منطق عدالت معاوضی و قاعده «من له الغنم فعلیه الغرم»، کسی که هزینه تزریق را متحمل شده، باید از منافع آن بهره‌مند شود. در نتیجه، می‌توان از بقای «حق بهره‌برداری قطعی و محدود» برای تزریق‌کننده دفاع کرد، بی‌آنکه مالکیت عمومی آبخوان مخدوش شود.

گذار از مالکیت به حق بهره‌برداری قطعی: راهکارهای حقوقی

برای حل پارادوکس «تغییر ظرف»، لازم است از دوگانه مطلق مالکیت خصوصی یا سلب کامل حقوق عبور کرد. راهکار منطقی، حرکت به‌سوی شناسایی حقوق انتفاعی معتبر و تضمین شده است. در این چارچوب، دو الگوی مکمل قابل‌طرح است.

نخست، مدل «بانک آب» یا تهاتر آب که در آن آبخوان به‌مثابه یک حساب اعتباری عمل می‌کند (آقایی و همکاران، ۱۳۹۸). بخش خصوصی حجم معینی آب را تزریق می‌کند و در مقابل، اعتبار برداشت مشخصی (مثلاً ۵۰ تا ۷۰ درصد حجم تزریق شده، با لحاظ تلفات و ملاحظات پایداری) به‌صورت قطعی و قابل‌اتکا دریافت می‌نماید. این اعتبار می‌تواند در زمان و مکان مشخص و تحت نظارت دولت اعمال شود (قربانیان کردآبادی و همکاران، ۱۳۹۸).

دوم، مدل «خرید خدمت» یا پرداخت در ازای خدمات اکوسیستمی است. در شرایطی که برداشت اضافی به دلایل فنی یا محیط‌زیستی ممکن نیست، دولت می‌تواند به‌جای اعطای حق برداشت، هزینه تزریق آب را به‌عنوان خدمتی در راستای تعادل‌بخشی آبخوان‌ها پرداخت کند. این رویکرد نیز با وظایف حاکمیتی دولت در حفاظت از منابع آب هماهنگ است، هرچند از منظر انگیزه اقتصادی، معمولاً اثرگذاری کمتری نسبت به مدل اول دارد.

در نهایت، می‌توان گفت که تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها بدون بازتعریف حقوقی رابطه میان «حیازت رواناب» و «انفال بودن آبخوان» به بن‌بست می‌رسد. اگر تغییر ظرف همواره به معنای زوال مطلق حقوق سرمایه‌گذار تفسیر شود، مشارکت‌بخش خصوصی تحقق نخواهد یافت. راه‌حل، نه در نفی مالکیت عمومی آب، بلکه در شناسایی حقوق بهره‌برداری قطعی، محدود و مبتنی بر حجم تزریق شده نهفته است؛ تفسیری که می‌تواند هم منافع عمومی را حفظ کند و هم موتور سرمایه‌گذاری برای احیای آبخوان‌های کشور را به حرکت درآورد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بحران آب‌های زیرزمینی در ایران از مرحله تنش عبور کرده و به وضعیت فرونشست و زوال برگشت‌ناپذیر رسیده است. در این شرایط، راهکارهای سازه‌ای یا اقدامات سلبی و انضباطی دولت مانند انسداد چاه‌ها، اگرچه لازم بوده‌اند، اما برای جبران کسری مخزن انباشته کافی نیستند. تغذیه مصنوعی آبخوان با استفاده از رواناب‌های باران، ظرفیت بالایی برای تعادل‌بخشی داشته؛ ولی اجرای مؤثر آن در گرو مشارکت‌بخش خصوصی است. البته مانع اصلی در این مسیر، نه کمبود دانش فنی، بلکه یک پارادوکس حقوقی است؛ آب باران تا زمانی که توسط بخش خصوصی استحصال می‌شود، قابلیت تملک دارد، اما به‌محض تزریق به آبخوان، با «تغییر ظرف» مواجه شده و در «ظرف عمومی» (آبخوان) مستهلک می‌شود. این تغییر ماهیت، موجب سیطره قواعد «انفال» و «مشترکات عمومی» بر آب تزریق شده می‌شود و عملاً حق مالکیت یا بهره‌برداری سرمایه‌گذار را با ابهام مواجه می‌سازد.

ناکارآمدی مدل فعلی و خلأ قانونی نظام حقوقی حاکم بر منابع آب ایران، به‌ویژه قانون توزیع عادلانه آب، با رویکردی

متمرکز بر «توزیع و کنترل» تدوین شده و فاقد سازوکارهای لازم برای «تولید و تزریق» منابع جدید توسط بخش غیردولتی است. سکوت قانون‌گذار در خصوص حقوق تزریق‌کنندگان آب و واگذاری تمام اختیارات به تصمیمات موردی و سلیقه‌ای وزارت نیرو، فضایی از ناامنی حقوقی را ایجاد کرده است. در مدل فعلی، سرمایه‌گذار با ریسک سلب حق برداشت مواجه است و دولت نیز به دلیل محدودیت‌های بودجه‌ای، توان خرید تضمینی خدمات تغذیه مصنوعی را ندارد. شکست طرح‌های پیشین و عدم تحقق اهداف برنامه‌های توسعه در بخش آب، گواهی بر این واقعیت است که تکیه صرف بر منابع مالی و مدیریتی دولت برای نجات آبخوان‌ها، راهبردی ناکارآمد است و بدون ایجاد انگیزه اقتصادی تضمین شده برای بخش خصوصی، احیای دشت‌های بحرانی ممکن نخواهد بود و گذار از حکمرانی دولتی صرف به حکمرانی مشارکتی در بخش آب و شناسایی حقوق مکتسبه ناشی از تزریق آب باقاعده «العدل و الانصاف» و ضرورت حفظ حیات جمعی سازگارتر است. البته باید توجه داشت که تسهیل مشارکت‌بخش خصوصی نباید به معنای کالایی‌سازی بی‌ضابطه آب یا تهدید پایداری آبخوان‌ها تفسیر شود. نظام پیشنهادی باید بر دو اصل بنیادین پایداری آبخوان و نظارت حاکمیتی استوار باشد؛ به این معنا که همواره درصدی از آب تزریق شده (مثلاً ۳۰ درصد) باید به‌عنوان سهم طبیعت و برای جبران کسری مخزن و جلوگیری از فرونشست در سفره باقی و غیرقابل‌برداشت باشد. دولت نیز باید همچنان نقش ناظر عالی را ایفا کند تا از کیفیت آب تزریق‌شده اطمینان حاصل کرده و از بروز آثار منفی محیط‌زیستی جلوگیری نماید.

منابع

آبشناسان، زهره، خداشناس، سعیدرضا، علیزاده، امین، داوری، کامران، و اکبری، مرتضی. (۱۳۹۴). تعیین مکان مناسب جهت جمع‌آوری رواناب باران در یک حوضه؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز دوآبی کلات. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۵(۳)، ۹۴-۱۰۸.

آقایی، وحید، علیزاده، حسین، افشار، عباس، و احتیاط، مجید. (۱۳۹۸). بررسی اثرات بازخرید آب توسط بانک آب با استفاده از مدل‌سازی عامل - بنیان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۳)، ۲۹۴-۳۰۳ https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.3.23.4 .

اسدی، مراد، مظاهری، مهدی، و عبدالمنافی جهرمی، نرجس السادات. (۱۴۰۰). بررسی تحلیلی شرایط موجود و تبیین وضعیت آینده بحران آب در کشور. ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۲۹(۱۱)، e9047

اسلامی، روح‌الله، و رحیمی، احمد. (۱۳۹۸). سیاست‌گذاری و بحران آب در ایران. سیاست‌های راهبردی و کلان، ۷(۲۷)، ۴۱۰-۴۳۵. https://doi.org/10.32598/JMSP.7.3.5

اسماعیلی‌نژاد، ابراهیم، و داوری، کامران. (۱۳۹۹). مدیریت تخصیص آب در ایران، بیراهه‌ای در گذر زمان. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۷(۲)، ۲۳-۳۲. https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i2.85262

الشریف، محمدمهدی، و جلالی، مریم. (۱۳۹۹). کنکاشی در ماهیت حق انتفاع و اسباب ایجاد آن. مطالعات حقوق خصوصی، ۵۰(۱)، ۱-۲۰. https://doi.org/10.22059/jlq.2020.271524.1007148

بدیسار، سید ناصرالدین، و احمدی، سید محمدصادق. (۱۳۹۵). بررسی صلاحیت‌های کمیسیون آب‌های زیرزمینی در حقوق آب ایران. مطالعات حقوق انرژی، ۲(۲)، ۲۱۳-۲۲۸. https://doi.org/10.22059/jrels.2016.62721

پایاب، مهسا، و امیری، سیامک. (۱۴۰۴). اظهارنظر کارشناسی درباره: «طرح کنترل فرونشست زمین و کاهش اثرات آن در کشور». (۲۱۲۲۳e). ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۳۳(۱۰) . https://doi.org/10.22034/mrc.report.21223

تیموری، فاطمه، و بذرافشان، ام‌البنین. (۱۳۹۶). تحلیل توزیع زمانی بارش در ایران طی چهار دهه گذشته. مجله جغرافیا و توسعه، ۱۵(۴۸)، ۱۷۱-۱۸۸. https://doi.org/10.22111/gdij.2017.3367

جعفری ندوشن، علی‌اکبر. (۱۴۰۱ الف). بررسی نظام حقوقی حاکم بر منابع آب در ایران. حقوق اسلامی، ۱۹(۷۳)، ۱۸۳-۲۰۹.

جعفری ندوشن، علی‌اکبر. (۱۴۰۱ ب). بررسی ماهیت فقهی و حقوقی حق بهره‌برداری از منابع آب در حقوق ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۸(۳)، ۶۳-۷۱. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1401.18.3.5.7

حبیبی، علی، و حسام، موسی، و قربانی، خلیل، و مفتاح هلقی، مهدی. (۱۳۹۱)، تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری. ایران

رامک، زهره، و زیدعلی نژاد، نجات. (۱۴۰۰). مروری بر تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به‌عنوان فرایندی در مقابل تنش‌های وارد بر آب‌های زیرزمینی. سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۹(۲)، ۳۵-۵۶. http://jircsa.ir/article-1-414-fa.html

روح‌الامینی، محمود. (۱۳۹۷). آسیب‌شناسی قوانین ایران در قبال صیانت و حفظ منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی. مطالعات حقوق انرژی، ۴(۱)، ۶۱-۹۰. https://doi.org/10.22059/jrels.2018.224991.99

زارعی، امیر، زارعی، سیروان، نکوئی اصفهانی، آزاده، میرشکاران، یحیی، کاکاپور، وحید، طالبی، صادق، و کنعانی، بهاره. (۱۳۹۷). مکان‌یابی اراضی مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های منطقه‌ای و تصاویر ماهواره‌های در استان یزد. مطالعات علوم محیط‌زیست، ۳(۴)، ۸۴۰-۸۵۰.

سرباز، حسین، و آقامیری، محمد. (۱۴۰۲). سیاست‌گذاری و مدیریت فرابخشی حل معضل پدیده فرونشست در ایران. پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۹(۲)، ۱۴۷-۱۰۶.

صادقی، حسین، و آسایش، حمید. (۱۳۹۵). تشکیل بازار آب از دیدگاه اقتصاد اسلامی. نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی، ۵(۱۵)، ۷۱-۹۲.

طباطبایی یزدی، جواد، قدسی، مسعود، حقایقی، سید ابوالقاسم، و رهنورد، محمدرضا. (۱۳۸۵). استحصال آب باران، روشی برای مدیریت بر بارندگی در مناطق خشک. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان، ایران.

فرزانه، محمدرضا، باقری، علی، و رمضانی قوام‌آبادی، محمدحسین. (۱۳۹۶). بنیان‌های نهادی بحران در مدیریت منابع آب زیرزمینی ایران. پژوهش‌نامه اقتصادی، ۱۷(۶۴)، ۵۷-۹۴. https://doi.org/10.22054/joer.2017.7668

فصیحی هرندی، مهدی. (۱۳۹۷). ارزیابی ساختاری مصوبه تشکیل کارگروه سازگاری با کم‌آبی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۴)، ۲۵۷-۲۶۲.

فعلی، حمید، و غمامی، سید محمد مهدی. (۱۴۰۳). چالش‌های فقهی و حقوقی حقابه در آب‌های عمومی. حقوق اسلامی، ۲۱(۸۱)، ۱۲۷-۱۶۵. https://doi.org/10.22034/ilaw.2023.708596

قربانیان کردآبادی، محمد، فصیحی هرندی، مهدی، و لیاقت، عبدالمجید. (۱۳۹۸). «بانکداری اجتماعی آب»، بازتعریف رژیم‌های حکمرانی آب. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵(۴)، ۴۲۵-۴۳۷ https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.4.29.2 .

کاوه فیروز، حسن، و اسماعیلی‌فرد، مریم. (۱۳۹۵). آسیب‌شناسی سیاست‌گذاری آب در ایران. راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۵(۴)، ۱۶۹-۱۹۷. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517081.1.395.5.4.8.9

کوتاهی، دکتر سیروس چاه. (۱۳۵۴). تغذیه مصنوعی آب‌های زیر زمینی. (۱۴۸۹۱e). محیط‌شناسی، ۵(۵)، ۱۴۸۹۱e. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10258620.1354.5.5.12.6

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۸۴). اظهارنظر کارشناسی درباره مصوبه عدم دریافت حق‌النظاره آب از فعالیت‌های کشاورزی. تهران، ایران.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۲). اظهارنظر کارشناسی درباره: «طرح ملی جمع‌آوری آب باران. (e5029).«ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۲۱(۷) e5029

مظاهری، مهدی و عبدالمنافی، نرجس السادات. (۱۳۹۸). ارزیابی اثربخشی قانونگذاری بر وضعیت منابع آب زیرزمینی. (e7956). ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۲۷(۹) e7956.

میان‌آبادی، آمنه، و داوری، کامران. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات مقدار و توزیع بارش و دما در ایران و اثرات آن‌ها بر رخدادهای حدی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۲)، ۱۳-۲۶. https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2301-1203

نظری، بیژن، و کنعانی، الهه. (۱۴۰۴). استحصال آب باران در بخش کشاورزی و مناطق روستایی؛ اهمیت راهبردی و الزامات قانونی. (۲۰۸۱۳e). ماهنامه گزارش‌های کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۳۳(۴). https://doi.org/10.22034/report.mrc.2025.1404.33.4.20813

نوری، زهرا، و زارع چاهوکی، محمدعلی. (۱۳۹۷). استفاده بهینه از آب باران راهکاری برای مقابله با کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۵(۱)، ۱۱۵-۱۲۲. https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.62964

هادی، فریبا، فرزانه، محمدرضا، نادری کردوان، سیده چمن و نجفی بیرگانی، مریم. (۱۳۹۶). بررسی نقش مؤلفه قانونی نهاد آب زیرزمینی از منظر مشارکت و مناقشات آبی در ایران. آبخوان و قنات، ۱(۱)، ۶۱-۷۳. https://doi.org/10.22077/jaaq.2017.641

Dillon, P., Alley, W., Zheng, Y., & Vanderzalm, J. (Eds.). (2022). Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance. IAH Special Publication. International Association of Hydrogeologists. https://recharge.iah.org/. ISBN 978-1-3999-2814-4

Gale, I. (2005). Strategies for managed aquifer recharge (MAR) in semi-arid areas. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris, France.

کنکاشی در تبیین جایگاه و کاربرد فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب در ایران

تابستان ۱۴۰۵

به سفارش

نشریه آب و توسعه پایدار و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

با همکاری

پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد



گردآورندگان: محمد فشایی دانش‌آموخته دکترای علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

مرجان قوچانیان دانش‌آموخته دکترای علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

سارا عطاران دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد

شامل:

مقدمه

بخش اول: رهیافت های ملی و بین المللی در کاربرد فناوری ها در مدیریت عرضه و تقاضا و کاربرد آب و پساب

بخش دوم: نگاهی به جایگاه ایران در کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت آب

بخش سوم: دیدگاه خبرگان پیرامون کاربرد فناوری‌ها در مدیریت آب در ایران

بخش چهارم: نتیجه گیری

کنکاشی در تبیین جایگاه و کاربرد فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب در ایران

محمد فشایی[1*]، مرجان قوچانیان[1]، سارا عطاران[2]

۱- دانش آموخته دکترای علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول: am.fashaee@gmail.com

مقدمه

در ادبیات معاصر مدیریت منابع آب، فناوری را نمی‌توان صرفاً مجموعه‌ای از تجهیزات، سامانه‌های اندازه‌گیری یا ابزارهای محاسباتی تلقی کرد. فناوری، در معنای مدیریتی و حکمرانی، ظرفیت یک نظام برای تبدیل دانش و داده به تصمیم‌های به موقع، قابل‌اتکا و قابل اجرا و سپس تبدیل نتایج تصمیم به یادگیری و اصلاح مستمر است. از این منظر، فناوری زمانی در مدیریت آب معنا پیدا می‌کند که بتواند کیفیت تصمیم‌گیری درباره منابع و مصارف آب را ارتقا دهد، عدم‌قطعیت را کاهش دهد، هزینه خطا را کنترل کند و امکان مقایسه و ارزیابی گزینه‌های مختلف را برای تصمیم‌گیران فراهم سازد. بنابراین مسئله اصلی در کاربرد فناوری‌های آب، صرفاً «چه فناوری‌ای در دسترس است؟» نیست؛ بلکه پرسش بنیادی‌تر این است که «کدام مسئله مدیریتی را، در چه مقیاس و با چه سازوکار تصمیم‌گیری، می‌توان به کمک فناوری بهتر حل کرد؟»

اهمیت این تمایز در مدیریت آب از آنجا ناشی می‌شود که آب یک منبع صرفاً فنی نیست، بلکه یک منبع محدود، متحرک، مشترک و چندکارکردی است که میان مصارف شرب، کشاورزی، صنعت، محیط‌زیست و سایر کارکردهای اجتماعی رقابت ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی، هر تصمیم درباره برداشت، تخصیص، انتقال، ذخیره‌سازی یا مصرف آب، پیامدهایی فراتر از محل اجرای آن دارد و می‌تواند بر سایر کاربران، اکوسیستم‌ها، اقتصاد منطقه‌ای و پایداری بلندمدت منابع اثر بگذارد. ازاین‌رو، فناوری در مدیریت آب باید در خدمت حل مسئله تخصیص و مصرف باشد، نه اینکه خود به هدف سیاست‌گذاری تبدیل شود. یک سامانه پایش پیشرفته، یک مدل پیچیده یا یک شبکه هوشمند زمانی ارزش مدیریتی دارد که بتواند در یک زنجیره روشن از «داده ـ تحلیل ـ تصمیم ـ اقدام ـ ارزیابی» قرار گیرد و خروجی آن در تصمیم‌های واقعی منعکس شود.

در این چارچوب، **نخستین کارکرد فناوری، ارتقای کیفیت شناخت و کاهش عدم‌قطعیت در مورد منابع و مصارف آب است.** مدیریت آب بدون شناخت معتبر از بارش، رواناب، ذخایر سطحی و زیرزمینی، کیفیت منابع، برداشت‌ها، الگوی مصرف و تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها، ناگزیر بر برآوردهای ناقص و قضاوت‌های موردی متکی خواهد بود. فناوری‌های نوین می‌توانند با یکپارچه‌سازی داده‌های هیدرولوژیک، هواشناختی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی، تصویر منسجم‌تری از وضعیت حوضه ارائه کنند؛ اما ارزش واقعی این تحول در خودِ انباشت داده نیست. داده هنگامی به دارایی مدیریتی تبدیل می‌شود که از نظر صحت، سازگاری، مقیاس زمانی و مکانی، تداوم و قابلیت دسترسی استاندارد شده باشد و مسئولیت تولید، اعتبارسنجی، نگهداری و استفاده از آن نیز مشخص باشد. تجربه‌های بررسی شده از پایش آبخوان‌ها و محاسبه تراز منابع آب تا مدیریت شبکه‌های شهری نشان می‌دهد که گذار از داده‌های پراکنده به نظام اطلاعاتی یکپارچه، یکی از پایه‌های اصلی مدیریت تطبیقی آب است.

کارکرد دوم فناوری، بهبود کیفیت تصمیم‌سازی و امکان ارزیابی هم‌زمان گزینه‌های مدیریتی است. در یک نظام پیچیده آبی، تصمیم‌گیرنده با یک پاسخ قطعی و واحد مواجه نیست؛ بلکه میان سناریوهای مختلف تخصیص، محدودیت برداشت، تغییر الگوی مصرف، بازچرخانی، مدیریت تقاضا، کنترل سیلاب و سازگاری با خشکسالی انتخاب می‌کند. مدل‌سازی، شبیه‌سازی، روش‌های بهینه‌سازی و تحلیل‌های پیش‌بینانه در این سطح نه برای جایگزینی مدیر، بلکه برای افزایش ظرفیت استدلال مدیریتی به کار می‌روند. مزیت اصلی این رویکرد آن است که پیامدهای تصمیم‌های مختلف را پیش از اجرای واقعی مقایسه می‌کند و هزینه فرصت انتخاب‌ها را آشکار می‌سازد. در این معنا، هوش مصنوعی نیز زمانی برای مدیریت آب ارزشمند است که به یک مسئله مشخص تصمیم‌گیری متصل باشد؛ به‌عنوان‌مثال، پیش‌بینی رفتار آبخوان، تشخیص تغییرات غیرعادی در مصرف یا پشتیبانی از تصمیم‌های تخصیصی. مدل پیچیده‌ای که داده معتبر، مسئله تصمیم روشن و سازوکار استفاده از خروجی نداشته باشد، لزوماً فناوری مدیریتی مؤثری محسوب نمی‌شود.

سومین کارکرد فناوری، ایجاد امکان مدیریت تطبیقی و واکنش به‌موقع به تغییرات است. مدیریت سنتی آب بیشتر بر برنامه‌های ثابت، دوره‌های ارزیابی طولانی و تصمیم‌های مبتنی بر میانگین‌های تاریخی استوار بوده است؛ حال آنکه افزایش نوسان اقلیمی، تکرار خشکسالی‌ها، رخدادهای حدی و تغییر سریع الگوهای مصرف، نیازمند نظامی است که بتواند بر اساس اطلاعات جدید، تصمیم‌های خود را بازبینی کند. پایش برخط، هشدار زودهنگام، تحلیل روند و سناریونویسی به مدیر امکان می‌دهد که فاصله میان وقوع تغییر و واکنش مدیریتی را کاهش دهد. در مدیریت سیلاب، نمونه‌های مورد

بررسی نشان می‌دهد که فناوری می‌تواند زمان هشدار و کیفیت تصمیم را بهبود دهد؛ در مدیریت آب زیرزمینی نیز پایش مستمر می‌تواند از فاصله طولانی میان وقوع افت و شناسایی آن بکاهد. بااین حال، مدیریت تطبیقی زمانی شکل می‌گیرد که اختیار اصلاح تصمیم، قواعد واکنش و مسئولیت نهادی از پیش تعریف شده باشد؛ در غیر این صورت، پایش مستمر صرفاً به تولید اطلاعات بیشتر منجر خواهد شد.

چهارمین کارکرد فناوری، افزایش بهره‌وری و عقلانیت در سمت تقاضای آب است. در کشاورزی، فناوری‌های نوین آبیاری، سنجش وضعیت خاک و گیاه، مدیریت مزرعه و روش‌های تولید کنترل شده می‌توانند تصمیم‌گیری درباره زمان، مقدار و محل مصرف آب را دقیق‌تر کنند؛ اما کاهش مصرف در سطح مزرعه الزاماً به معنای کاهش برداشت در مقیاس حوضه نیست. اگر آب صرفه‌جویی شده در نتیجه افزایش بهره‌وری مجدداً به توسعه سطح زیرکشت یا افزایش برداشت اختصاص یابد، ممکن است اثر مورد انتظار بر تراز منابع آب تحقق پیدا نکند. بنابراین فناوری‌های افزایش بهره‌وری باید در چارچوب حسابداری آب، سقف برداشت، الگوی کشت و قواعد تخصیص در مقیاس حوضه‌ای قرار گیرد. همین منطق در بازچرخانی پساب، نمک‌زدایی و کاهش هدررفت شبکه‌های شهری نیز صادق است: افزایش عرضه یا کاهش تلفات، زمانی به پایداری منابع کمک می‌کند که جایگاه آن در تراز آب و نظام تخصیص مشخص باشد. به بیان دیگر، فناوری باید با «مدیریت مصرف» و «تنظیم برداشت» پیوند بخورد، نه اینکه صرفاً به افزایش کارایی فنی یک فرایند محدود شود.

پنجمین کارکرد فناوری، تقویت حکمرانی آب از طریق افزایش شفافیت، پاسخگویی و قابلیت ارزیابی است. حکمرانی آب زمانی کارآمد است که مشخص باشد چه کسی تصمیم می‌گیرد، بر مبنای چه داده‌ای تصمیم می‌گیرد، مسئولیت اجرای تصمیم با چه نهادی است و عملکرد چگونه سنجیده می‌شود. نظام‌های فناورانه می‌توانند امکان ردیابی برداشت‌ها، ثبت تصمیم‌ها، پایش عملکرد، انتشار اطلاعات و مقایسه شاخص‌های عملکرد را فراهم کنند و از این طریق زمینه را برای کاهش تصمیم‌گیری‌های سلیقه‌ای و افزایش پاسخگویی فراهم آورند. از سوی دیگر، تمرکز شدید داده و تصمیم در یک سطح مرکزی می‌تواند حتی با وجود فناوری‌های پیشرفته، انعطاف‌پذیری مدیریت محلی را کاهش دهد. بنابراین فناوری باید هم‌زمان با بازطراحی فرایندهای سازمانی، تفویض اختیار، تعریف مسئولیت‌ها و سازوکارهای نظارت عمومی و تخصصی توسعه یابد. تجربه‌های بین‌المللی نیز نشان می‌دهد موفقیت فناوری در بسیاری از موارد نتیجه یک بسته نهادی شامل قانون، تنظیم‌گری، مشوق اقتصادی، داده معتبر و ظرفیت اجرایی بوده است؛ نه نتیجه ورود یک ابزار منفرد.

این ملاحظات برای ایران اهمیت مضاعف دارد. ساختار منابع آب کشور، وابستگی قابل‌توجه به آبخوان‌ها، نابرابری مکانی و زمانی بارش، توسعه نامتوازن مصارف، فرسودگی بخشی از زیرساخت‌ها و تشدید فشارهای اقلیمی، مدیریت آب را به مسئله‌ای چندمقیاسی و میان‌بخشی تبدیل کرده است. در چنین شرایطی، تداوم رویکرد عرضه‌محور و اتکای بیش از حد به پروژه‌های تأمین آب، بدون تقویت سازوکارهای مدیریت تقاضا، تخصیص و حفاظت، ظرفیت فناوری را نیز محدود می‌کند. ایران از نظر دانش تخصصی، نیروی انسانی و تجربه به‌کارگیری بسیاری از فناوری‌های نوین در وضعیت فاقد ظرفیت نیست؛ بلکه مسئله مهم‌تر، نحوه قرار گرفتن این ظرفیت‌ها در ساختار تصمیم‌گیری و حکمرانی آب است. پراکندگی داده‌ها، ضعف هماهنگی میان نهادهای متولی، فاصله میان دانشگاه و عرصه اجرا، مقررات و فرایندهای اداری نامتناسب با نوآوری، محدودیت‌های ارتباطی و اقتصادی و نیز ضعف سازوکارهای انگیزشی، همگی می‌توانند ارزش مدیریتی فناوری را کاهش دهند.

از این منظر، فناوری در حکمرانی آب ایران باید به‌عنوان یک «ظرفیت نهادی برای خردورزی» بازتعریف شود. خردورزی فناورانه به معنای انتخاب سنجیده ابزارها بر اساس مسئله، مقیاس، هزینه فرصت، پیامدهای اجتماعی و محیط‌زیستی و قابلیت اجرایی است؛ نه مسابقه برای دستیابی به جدیدترین تجهیزات یا سامانه‌ها. در حوزه منابع آب زیرزمینی، اولویت باید ایجاد زنجیره‌ای معتبر از پایش، برآورد برداشت از آبخوان، محاسبه تراز سطح آب، تعیین سقف بهره‌برداری، اعمال قواعد و ارزیابی پیامد باشد. در کشاورزی، فناوری باید به الگوی کشت، اقتصاد تولید، حقوق آب و اهداف حوضه پیوند بخورد. در شهرها، مدیریت هوشمند شبکه باید در خدمت کاهش هدررفت، تنظیم فشار، مدیریت تقاضا و افزایش تاب‌آوری باشد. در مدیریت سیلاب نیز فناوری باید در کنار رویکردهای سازگار با طبیعت، برنامه‌ریزی فضایی و نظام هشدار و آمادگی قرار گیرد. بنابراین معیار موفقیت فناوری، تعداد سامانه‌های نصب شده یا حجم سرمایه‌گذاری فناورانه نیست؛ بلکه میزان بهبود قابل‌اندازه‌گیری در کیفیت تصمیم، بهره‌وری واقعی آب، کاهش ریسک، حفاظت از منابع و پاسخگویی نهادی است.

بر این اساس، فناوری صرفا یک کالا یا خدمت قابل خرید نیست بلکه سازوکارهایی است که نتایج حاصل از برونداد سخت افزاری را به تصمیم مدیریتی مؤثر تبدیل می‌کند. نمونه‌هایی مانند پایش هوشمند آبخوان‌ها، مدیریت داده‌محور آبیاری، بازارهای آب، مدیریت سیلاب با رویکرد سازگار با طبیعت، بازچرخانی پیشرفته آب و شبکه‌های هوشمند شهری، هر یک زمانی موفق بوده‌اند که فناوری با قواعد تخصیص، تنظیم‌گری، انگیزه‌های اقتصادی، مسئولیت‌پذیری نهادی و مشارکت ذی‌نفعان همراه شده است. از این منظر، مهمترین درس برای ایران آن است که تحول فناورانه آب، پیش از آنکه یک پروژه تجهیزاتی باشد، یک پروژه حکمرانی است؛ پروژه‌ای که باید از سطح تعریف مسئله و تولید داده تا سیاست‌گذاری، اجرا، ارزیابی و اصلاح مستمر تصمیم امتداد یابد.

در همین چارچوب، «راهنمای جامع توانمندسازی مدیران آبیاری در مدیریت آب با فناوری‌های نوین» که توسط Zemadim و همکاران (۲۰۲۶) در مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) و با همکاری FAO تهیه شده است، یک نکته مهم را از منظر مدیریتی برجسته می‌کند: عملکرد فناوری‌های نوین آبیاری را نمی‌توان صرفاً از روی مشخصات فنی تجهیزات یا میزان سرمایه‌گذاری سنجید. این راهنما، ضعف عملکرد بسیاری از سامانه‌های آبیاری را در کنار محدودیت‌های فنی، به ضعف بهره‌برداری و نگهداری، کمبود ظرفیت انسانی و کاستی‌های حکمرانی نهادی مرتبط می‌داند. از این منظر، گذار از «تحویل زیرساخت» به «مدیریت عملکردمحور و ظرفیت‌محور» یکی از شروط اصلی بهره‌گیری پایدار از فناوری است (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

اهمیت این دیدگاه برای بحث فناوری در مدیریت آب آن است که مرز میان «فناوری به‌عنوان ابزار» و «فناوری به‌عنوان ظرفیت مدیریتی» را روشن می‌کند. در راهنمای IWMI، فناوری زمانی می‌تواند در خدمت مدیریت قرار گیرد که همزمان با ارتقای دانش و مهارت مدیران، رویه‌های عملیاتی، ساختارهای نهادی، تأمین مالی، سازوکارهای مشارکت و نظام‌های یادگیری نیز تقویت شوند. حتی در مورد فناوری‌های دیجیتال و داده‌محور، مسئله فقط دسترسی به حسگر، سامانه ارتباطی یا نرم‌افزار نیست؛ توانایی تفسیر داده، تبدیل آن به تصمیم، پایش نتیجه و اصلاح رویه نیز بخشی از ظرفیت فناورانه محسوب می‌شود (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

راهنمای مذکور همچنین بر یک اصل قابل تعمیم در مدیریت آب تأکید دارد: هیچ فناوری واحدی را نمی‌توان مستقل از زمینه بوم‌شناختی، هیدرولوژیک، اقتصادی و نهادی، به‌عنوان گزینه برتر برای همه شرایط در نظر گرفت. انتخاب فناوری باید بر اساس مسئله، مقیاس، منبع آب، شرایط اقلیمی و خاک، نوع محصول، دسترسی به انرژی، ظرفیت مدیریتی و امکان تأمین مالی انجام شود. بنابراین، «نوین‌تر بودن» یک فناوری به‌خودی‌خود معیار مناسبی برای انتخاب آن نیست؛ تناسب فناوری با مسئله و ظرفیت بهره‌برداری از آن اهمیت بنیادی دارد (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

این منطق با رویکرد اصلی این گزارش هم‌راستا است. در مدیریت منابع آب، مسئله صرفاً یافتن فناوری کارآمد نیست، بلکه طراحی زنجیره‌ای است که در آن مسئله مدیریتی به داده معتبر، تحلیل مناسب، تصمیم قابل اجرا، اقدام و سپس ارزیابی و یادگیری متصل شود. به همین دلیل، بررسی فناوری‌های نوین باید همزمان سه سطح را دربرگیرد: سطح فنی و داده‌ای، سطح سازمانی و انسانی، و سطح سیاستی و حکمرانی. تجربه‌های بررسی شده در این گزارش و شواهد ارائه‌شده در راهنمای IWMI نشان می‌دهند که گسست میان این سطوح می‌تواند حتی فناوری‌های پیشرفته را به پروژه‌هایی کم‌اثر یا ناپایدار تبدیل کند.

باتوجه‌به آنچه بیان شد، مسئله اصلی این گزارش، چگونگی بهره‌گیری اثربخش از فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب و الزامات فنی، مدیریتی و نهادی تحقق آن در ایران است. با وجود توسعه فناوری‌های نوین در حوزه آب و گسترش تجربه‌های کاربردی در کشورهای مختلف، همچنان فاصله‌ای میان ظرفیت‌های فنی این فناوری‌ها و به‌کارگیری مؤثر آن‌ها در فرایندهای تصمیم‌گیری و مدیریت آب وجود دارد. در ایران نیز، با وجود برخورداری از دانش تخصصی و تجربه‌های اجرایی در برخی حوزه‌های فناورانه، چالش‌هایی مانند پراکندگی داده‌ها، ضعف هماهنگی نهادی و محدودیت ارتباط میان پژوهش و عرصه اجرا، بهره‌گیری از این ظرفیت‌ها را با دشواری مواجه کرده است. ازاین‌رو، هدف گزارش حاضر، تبیین جایگاه و کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت منابع و مصارف آب، بررسی نمونه‌های کاربردی در ایران و سایر کشورها و شناسایی فرصت‌ها و موانع بهره‌گیری از این فناوری‌ها است. برای دستیابی به این هدف، گزارش با رویکردی توصیفی ـ تحلیلی، ضمن مرور منابع و تجربه‌های منتخب داخلی و بین‌المللی، کاربرد فناوری‌ها را در حوزه‌های مختلف مدیریت آب بررسی می‌کند و از دیدگاه‌های خبرگان مرتبط با بخش آب، کشاورزی و فناوری اطلاعات، از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته، بهره می‌گیرد. در نهایت، تلاش می‌شود با تلفیق شواهد و دیدگاه‌های تخصصی، تصویری از ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و الزامات توسعه و به‌کارگیری فناوری در مدیریت آب ایران ارائه شود.

توجه: با وجود آنکه هدف نهایی این مجموعه، بررسی نقش فناوری در ارتقای حکمرانی آب و تبیین الزامات مدیریتی، نهادی و سیاست‌گذاری بهره‌گیری اثربخش از فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب است، در شماره حاضر تمرکز اصلی بر شناخت و مرور جنبه‌های کاربردی فناوری، نمونه‌های سخت‌افزاری و راهکارهای فناورانه در مقیاس‌های مختلف، به‌ویژه در سطح مزرعه، شبکه و بهره‌برداری، قرار گرفته است. این رویکرد از یک‌سو امکان ارائه تصویری عینی‌تر از وضعیت موجود فناوری‌های آبی در ایران و سایر کشورها و از سوی دیگر بهره‌گیری از دیدگاه‌های خبرگان درباره تجربه‌های عملی و موانع کاربرد فناوری را فراهم می‌کند. محدود ماندن بحث حکمرانی و مدیریت در این شماره، صرفاً یک انتخاب ساختاری نیست؛ بلکه تا حد زیادی ناشی از آن است که در ایران، تجربه‌های مستند، مطالعات نظام‌مند و الگوهای اجرایی تثبیت شده درباره پیوند فناوری با سطوح مدیریتی، نهادی و سیاست‌گذاری آب هنوز محدود است و بخش قابل توجهی از تجربه‌های موجود نیز در قالب پروژه‌های موردی و پراکنده باقی مانده‌اند. ازاین‌رو، ورود گسترده به این سطح، بدون برخورداری از پشتوانه تجربی و داده‌های کافی، می‌تواند بحث را از تحلیل مبتنی بر شواهد به سوی گزاره‌های کلی و انتزاعی سوق دهد. با این حال، اثربخشی فناوری‌ها در نهایت نه صرفاً به قابلیت فنی تجهیزات، بلکه به کیفیت تصمیم‌گیری، ساختارهای نهادی، سازوکارهای تخصیص و

تنظیم‌گری، نظام داده و اطلاعات، ظرفیت‌های انسانی و نحوه پیوند فناوری با نظام حکمرانی آب وابسته است. ازاین‌رو، بررسی عمیق‌تر این ابعاد و واکاوی فناوری از زوایای مدیریتی، سیاست‌گذاری، نهادی و حکمرانی، با اتکا به تجارب و شواهد قابل استناد، به‌عنوان محورهای مکمل در شماره‌های آتی این مجموعه دنبال خواهد شد.

بخش اول: رهیافت‌های ملی و بین‌المللی در کاربرد فناوری‌ها در مدیریت عرضه و تقاضا و کاربرد آب و پساب

فناوری‌های نوین در کشاورزی و آبیاری

۱. آبیاری هوشیار مبتنی بر حسگر Smart Irrigation Sensors

با رشد جمعیت، افزایش تقاضای غذایی و تشدید ناپایداری‌های اقلیمی، مدیریت کارآمد آب در کشاورزی به یک ضرورت جهانی تبدیل شده است. مروری بر پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد گذار از آبیاری سنتی به سامانه‌های هوشیار مبتنی بر حسگر، نقش مهمی در ارتقای بهره‌وری آب، کاهش تلفات و بهبود عملکرد محصول دارد. این فناوری‌ها با اتکا به داده‌های لحظه‌ای خاک، گیاه و هوا، امکان تصمیم‌گیری دقیق و پایدار را فراهم می‌کنند. "نمونه‌های بین‌المللی این بخش بر اساس ارتباط فناوری با مسائل مدیریت آب، وجود تجربه‌های اجرایی مستند و قابلیت استخراج درس‌های مدیریتی برای شرایط ایران انتخاب شده‌اند".

۱٫۱. اسپانیا: اسپانیا به عنوان یکی از پیشگامان مدیریت آب در بخش کشاورزی در اروپا، گذار به سمت کشاورزی هوشیار (Smart Farming) را به عنوان راهبردی کلیدی برای مقابله با تنش‌های هیدرولیکی برگزیده است. دولت اسپانیا از طریق طرح‌هایی مانند PERTE Agroalimentario (برنامه بازیابی و تحول اقتصادی)، بودجه‌های دولتی قابل‌توجهی را برای دیجیتالی کردن بخش کشاورزی اختصاص داده است که نشان‌دهنده نقش حاکمیت در تسهیل نفوذ فناوری‌های نوین است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، به‌کارگیری حسگرهای رطوبت خاک و ایستگاه‌های هواشناسی متصل به اینترنت اشیاء (IoT) در این کشور، امکان پایش لحظه‌ای تبخیر، تعرق و نیاز آبی گیاه را فراهم آورده است (Agroinvest Spain، ۲۰۲۴).

خلاصه‌ای از دستاوردهای عملیاتی این فناوری در تجربه اسپانیا عبارت است از:

در یک مطالعه میدانی در شرق اسپانیا، استفاده از راهبرد زمان‌بندی آبیاری مبتنی بر داده‌های حسگرهای رطوبت خاک در باغ مرکبات، موجب کاهش ۲۶ درصدی حجم آب آبیاری نسبت به روش مرجع FAO-56 شد؛ این کاهش بدون تفاوت معنادار در عملکرد محصول حاصل شد و بهره‌وری آب را نیز ۳۳ درصد افزایش داد (Martínez-Gimeno، ۲۰۲۰).

مدیریت داده‌محور: (Data-Driven) استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های دریافتی از حسگرها، اجازه می‌دهد تا برنامه‌ریزی آبیاری نه بر اساس تقویم ثابت، بلکه بر اساس تقاضای واقعی اتمسفر و خاک انجام شود.

۲٫۱. آمریکا: در ایالات متحده آمریکا، فشارهای ناشی از خشکسالی‌های مکرر، بهای بالای آب و نیاز به کاهش اتلاف در بخش کشاورزی و فضای سبز، زمینه‌ساز گسترش سامانه‌های آبیاری هوشیار شده است. مروری بر پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد آمریکا یکی از پیشگامان توسعه و به‌کارگیری فناوری‌های مبتنی بر حسگر، اینترنت اشیا و کنترل خودکار در آبیاری است؛ به‌گونه‌ای که این فناوری‌ها در چارچوب «کشاورزی دقیق» و با هدف افزایش بهره‌وری آب و کاهش اثرات محیط‌زیستی ترویج می‌شوند (Ali و همکاران، ۲۰۲۵). در بخش فضای سبز شهری و تجاری نیز نمونه‌های مستند نشان می‌دهد استفاده از سامانه‌های هوشیار می‌تواند کاهش چشمگیری در مصرف آب ایجاد کند؛ به‌عنوان‌مثال، یک مجتمع مسکونی چندخانواری در آمریکای شمالی با اجرای برنامه بازتوانی سیستم آبیاری و نصب حسگرهای هوشیار، توانست ۴۳ درصد کاهش در مصرف آب فضای سبز ثبت کند (Husqvarna، ۲۰۲۴). در یکی از مطالعات موردی، یک بانک بزرگ آمریکایی با استفاده از سامانه هوشمند آبیاری ETwater و بدون نیاز به تغییر یا تعویض زیرساخت‌های موجود، توانست مصرف آب محوطه‌سازی خود را تا ۵۰ درصد کاهش دهد (Husqvarna، ۲۰۲۴). این نمونه‌ها نشان می‌دهد در آمریکا، انتخاب فناوری آبیاری هوشمند نه‌تنها پاسخی به بحران کم‌آبی و هزینه‌های اقتصادی است، بلکه در چارچوب سیاست‌های کلان کشاورزی دیجیتال و مدیریت پایدار منابع آب نیز قرار می‌گیرد.

۳٫۱. استرالیا: استرالیا به‌عنوان یکی از خشک‌ترین قاره‌های جهان، سال‌ها با خشکسالی‌های شدید و نوسانات اقلیمی روبه‌رو است؛ به همین دلیل، توسعه و به‌کارگیری سامانه‌های آبیاری هوشمند در سیاست‌های ملی این کشور جایگاه ویژه‌ای یافته است. برنامه‌های دولتی مانند Climate-Smart Agriculture Program با هدف افزایش تاب‌آوری کشاورزی و کاهش مصرف آب، کشاورزان را به استفاده از حسگرهای رطوبت خاک، سامانه‌های IoT و ابزارهای پایش لحظه‌ای تشویق می‌کنند (DAFF، ۲۰۲۴). همچنین پروژه‌های تحقیقاتی CSIRO نشان می‌دهد ابزارهایی مانند Chameleon Sensor و داشبوردهای هوشمند مدیریت آب، امکان تصمیم‌گیری دقیق و کاهش مصرف آب را برای کشاورزان فراهم کرده‌اند (CSIRO، ۲۰۲۱). این سیاست‌ها و فناوری‌ها در مجموع پاسخی مستقیم به بحران کم‌آبی و نیاز به افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی استرالیا است.

۲. گلخانه‌های کم‌مصرف

گلخانه‌های کم‌مصرف به‌عنوان یکی از مهمترین نوآوری‌ها برای تولید پایدار در مناطق خشک مطرح شده‌اند. این فناوری‌ها با کاهش چشمگیر مصرف آب، کنترل دقیق اقلیم و افزایش بهره‌وری، به کشورهایی که با کمبود منابع آب روبه‌رو هستند کمک می‌کنند تا امنیت غذایی خود را تقویت کرده و وابستگی به کشاورزی سنتی را کاهش دهند.

۲٫۱. عمان: عمان یکی از کشورهای خشک خاورمیانه است و با محدودیت شدید منابع آب شیرین روبه‌رو است؛ به همین دلیل، توسعه فناوری‌های گلخانه‌ای کم‌مصرف و به‌ویژه «گلخانه آب‌شور» به‌عنوان یک راهبرد ملی برای افزایش امنیت غذایی و کاهش وابستگی به آب شیرین مطرح شده است. پژوهش‌های دانشگاه سلطان قابوس نشان می‌دهد گلخانه آب‌شور با استفاده از تبخیر و تقطیر خورشیدی، امکان تولید آب شیرین و ایجاد یک ریزاقلیم خنک را فراهم می‌کند و مصرف آب کشاورزی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد (Al-Ismaili و Jayasuriya، ۲۰۱۶). این فناوری به‌ویژه در مناطق ساحلی عمان که دسترسی به آب دریا آسان است، نتایج موفقی در تولید سبزیجات و گیاهان مقاوم به شوری داشته است. علاوه‌براین، پروژه‌های جدید مانند Jinan Tech Project با حمایت وزارت انرژی و معادن و شرکت‌های نفتی، گلخانه‌های کنترل شده (CEA) را برای افزایش بهره‌وری آب و انرژی توسعه داده‌اند (Hortidaily، ۲۰۲۴). این اقدامات در چارچوب سیاست‌های ملی عمان برای افزایش خودکفایی غذایی و مدیریت پایدار منابع آب انجام می‌شود.

۲٫۲. امارات متحده عربی: امارات به دلیل اقلیم بسیار گرم و کمبود شدید منابع آب، یکی از پیشگامان خاورمیانه و دنیا در توسعه گلخانه‌های کم‌مصرف و سامانه‌های کشاورزی کنترل شده است. سیاست‌های کلان این کشور، مانند UAE Water Security Strategy 2036، بر کاهش مصرف آب، افزایش بهره‌وری و توسعه فناوری‌های نوین کشاورزی تأکید دارند (UAE Government، ۲۰۲۴). در سال‌های اخیر، پروژه‌هایی مانند AgTech Park در KEZAD با سرمایه‌گذاری ADQ[Error! Reference source not found.]، گلخانه‌های پیشرفته‌ای ایجاد کرده‌اند که از سیستم‌های سرمایش کارآمد، کنترل اقلیم، و آبیاری هوشمند برای کاهش مصرف آب و افزایش تولید سالانه استفاده می‌کنند (AgriNext، ۲۰۲۵). این گلخانه‌ها قادر هستند در شرایط دمایی بسیار بالا، محصولات حساس مانند گوجه‌فرنگی و خیار را با مصرف آب بسیار کمتر نسبت به کشاورزی سنتی تولید کنند

همچنین، به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال و سامانه‌های هوشمند در گلخانه‌های امارات، از جمله اینترنت اشیا(IoT)، حسگرهای محیطی و سامانه‌های کنترل خودکار، امکان پایش مستمر شرایط کشت و مدیریت دقیق‌تر آب و انرژی را فراهم کرده است. برای نمونه، مرکز نوآوری و تحقیق و توسعه کشاورزی Silal در ابوظبی، با بهره‌گیری از حسگرهای اینترنت اشیا، حسگرهای رطوبت خاک، ایستگاه‌های هواشناسی و سامانه‌های آبیاری خودکار، زیرساخت لازم برای پایش و تحلیل شرایط محیطی و مدیریت هوشمند کشت را فراهم کرده است (Silal، ۲۰۲۳). همچنین، مجموعه گلخانه‌ای Armela Farms در ابوظبی با بهره‌گیری از گلخانه نیمه‌بسته، سامانه‌های هیدروپونیک و فناوری‌های کنترل خودکار اقلیم، نمونه‌ای از به‌کارگیری فناوری‌های یکپارچه در تولید محصولات کشاورزی در شرایط اقلیمی خشک به شمار می‌رود (Ludvig Svensson، ۲۰۲۴).

همچنین، توسعه فناوری‌های کشاورزی پیشرفته در امارات متحده عربی در چارچوب راهبرد ملی امنیت غذایی این کشور دنبال می‌شود. راهبرد امنیت غذایی ۲۰۵۱ بر تقویت تولید داخلی از طریق فناوری‌های نوین، توسعه روش‌های کشاورزی پایدار و متنوع‌سازی منابع تأمین مواد غذایی تأکید دارد. در همین راستا، پروژه‌هایی مانند مزرعه عمودی Bustanica و گلخانه پیشرفته AgTech Park در منطقه اقتصادی KEZAD، نمونه‌هایی از به‌کارگیری فناوری‌های کشاورزی در محیط کنترل شده هستند. بر اساس گزارش وزارت تغییرات اقلیمی و محیط‌زیست امارات، مزرعه عمودی Bustanica با استفاده از شرایط بهینه کشت، تا ۹۵ درصد آب کمتری نسبت به روش‌های متعارف مورد مقایسه مصرف می‌کند. همچنین، گلخانه AgTech Park با بهره‌گیری از سامانه‌های کنترل اقلیم و سرمایش کارآمد، با هدف کاهش ردپای آب و کربن و توسعه تولید محصولات کشاورزی در تمام طول سال طراحی شده است (UAE Ministry of Climate Change and Environment، ۲۰۲۳؛ Abu Dhabi Media Office، ۲۰۲۳؛ UAE Government، ۲۰۲۴)

۳. آبیاری زیرسطحی با کنترل فشار (Subsurface Drip Irrigation)

آبیاری زیرسطحی با کنترل فشار یکی از کارآمدترین فناوری‌های نوین آبیاری است که با انتقال مستقیم آب به ناحیه ریشه، تلفات تبخیر را به حداقل می‌رساند و یکنواختی توزیع آب را افزایش می‌دهد. این روش به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که مدیریت دقیق منابع آب ضروری است، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش بهره‌وری آب، بهبود عملکرد محصول و کاهش فشار بر منابع زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است.

۱٫۳. ایالات متحده آمریکا: آمریکا یکی از پیشگامان توسعه و کاربرد آبیاری زیرسطحی با کنترل فشار (SDI) است. این امکان به‌ویژه در ایالت‌هایی مانند کانزاس، تگزاس و کالیفرنیا که با کمبود شدید آب و فشار بر منابع زیرزمینی مواجه‌اند وجود دارد. دلیل اصلی گرایش آمریکا به این فناوری، نیاز به افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی و کاهش تلفات تبخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. پژوهش‌های دانشگاه کانزاس نشان می‌دهد استفاده از SDI می‌تواند مصرف آب را ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش داده و عملکرد محصولاتی مانند ذرت و یونجه را افزایش دهد (Lamm و Trooien، ۲۰۰۳). همچنین، کنترل فشار در این سامانه‌ها باعث توزیع یکنواخت آب و جلوگیری از گرفتگی لوله‌ها می‌شود. در سطح

سیاست‌گذاری، برنامه‌هایی مانند USDA EQIP[۲] کشاورزان را برای استفاده از سامانه‌های آبیاری کارآمد، از جمله SDI، حمایت مالی می‌کند (USDA، ۲۰۲۲).

۲٫۳. استرالیا: استرالیا به‌دلیل اقلیم بسیار خشک و فشار شدید بر منابع آب، یکی از کشورهایی است که به‌طور گسترده از آبیاری زیرسطحی با کنترل فشار استفاده می‌کند. در مناطق کشاورزی ایالت ویکتوریا و نیو ساوت ولز، این فناوری به‌عنوان راهکاری برای کاهش تبخیر، افزایش کارایی آبیاری و بهبود کیفیت خاک معرفی شده است. مطالعات سازمان CSIRO[۳] Error! Reference source not found. نشان می‌دهد SDI در مزارع پنبه و سبزیجات می‌تواند مصرف آب را تا ۴۰ درصد کاهش داده و هم‌زمان عملکرد محصول را افزایش دهد (Montagu و همکاران، ۲۰۰۶). دلیل انتخاب این فناوری در استرالیا، نیاز به سازگاری با خشکسالی‌های مکرر و کاهش برداشت از سفره‌های زیرزمینی است. از نظر سیاستی، برنامه‌های ملی مانند Water for the Future و National Water Initiative کشاورزان را به استفاده از فناوری‌های آبیاری کارآمد، از جمله SDI، تشویق می‌کنند و برای اجرای آن کمک‌هزینه ارائه می‌دهند (Australian Government، ۲۰۱۰). این سیاست‌ها نشان می‌دهد SDI در استرالیا بخشی از یک راهبرد کلان برای افزایش بهره‌وری آب و تاب‌آوری کشاورزی در برابر تغییر اقلیم است.

۴. کشاورزی عمودی Vertical Farming

۱٫۴. ژاپن: ژاپن یکی از نخستین کشورهایی است که کشاورزی عمودی را به‌عنوان پاسخی به چالش‌های ساختاری بخش کشاورزی خود (از جمله کمبود زمین، جمعیت رو به کاهش کشاورزان و نیاز به تولید پایدار) به‌کار گرفته است. شرکت‌هایی مانند Spread با توسعه کارخانه‌های گیاهی تمام‌اتوماتیک، توانسته‌اند هزینه تولید را کاهش داده و پایداری سیستم را افزایش دهند (Indoor Farmer، ۲۰۲۴). نتایج این سیستم‌ها شامل تولید یکنواخت، کاهش مصرف آب تا ۹۸٪ و کاهش وابستگی به شرایط اقلیمی است. از نظر سیاستی، دولت ژاپن از طریق Japan Plant Factory Association (JPFA) و برنامه‌های نوآوری کشاورزی، حمایت مالی و تحقیقاتی گسترده‌ای برای توسعه این فناوری فراهم کرده است (Hortidaily، ۲۰۲۳). این سیاست‌ها نشان می‌دهد که کشاورزی عمودی در ژاپن نه‌تنها یک فناوری، بلکه بخشی از راهبرد ملی برای امنیت غذایی و توسعه کشاورزی هوشمند است.

۲٫۴. هلند: هلند با وجود مساحت محدود، یکی از بزرگترین صادرکنندگان محصولات کشاورزی جهان است و کشاورزی عمودی را به‌عنوان بخشی از راهبرد ملی خود برای تولید پایدار و افزایش بهره‌وری پذیرفته است. شرکت‌های هلندی مانند Growy و مراکز تحقیقاتی دانشگاهی، سیستم‌های پیشرفته‌ای برای تولید در محیط‌های کنترل شده توسعه داده‌اند که مصرف آب را به‌شدت کاهش داده و امکان تولید سالانه صدها تُن سبزیجات را فراهم می‌کند (EDB Singapore، ۲۰۲۳). از نظر سیاستی، هلند از طریق CAP Strategic Plan و برنامه‌های نوآوری کشاورزی اتحادیه اروپا، حمایت مالی و تحقیقاتی گسترده‌ای برای توسعه کشاورزی عمودی ارائه می‌دهد (European Commission، ۲۰۲۴). این سیاست‌ها باعث شده هلند به یکی از مراکز جهانی فناوری‌های AgTech تبدیل شود.

۳٫۴. سنگاپور: سنگاپور به‌دلیل کمبود شدید زمین و وابستگی این کشور به بیش از ۹۰٪ به واردات غذا، کشاورزی عمودی را به‌عنوان ستون اصلی راهبرد امنیت غذایی خود انتخاب کرده است. پروژه‌هایی مانند Greenphyto Vertical Farm که بلندترین مزرعه عمودی جهان محسوب می‌شود، با استفاده از هوش مصنوعی، رباتیک و سیستم‌های هیدروپونیک، تولید سالانه هزاران تُن سبزیجات را ممکن کرده‌اند (Bloomberg، ۲۰۲۶). این فناوری به سنگاپور کمک کرده تا بهره‌وری تولید را تا ۴۵ برابر روش‌های سنتی افزایش دهد. سیاست کلیدی پشت این توسعه، برنامه ملی ۳۰ سنگاپور[۴] است که هدف آن تولید ۳۰٪ نیاز غذایی کشور تا سال ۲۰۳۰ است (Singapore Food Agency، ۲۰۱۹). این سیاست با ارائه یارانه، حمایت مالی و تسهیل سرمایه‌گذاری، زمینه رشد سریع کشاورزی عمودی را فراهم کرده است.

فناوری‌های نوین در مدیریت منابع آب

۱. مدیریت سیلاب‌ها:

۱٫۱. برنامه فضایی برای رودخانه (Room for the River) یکی از موفق‌ترین نمونه‌های جهانی در مدیریت نوین سیلاب است که در هلند با هدف افزایش ایمنی، کاهش خطرات سیلاب و بازگرداندن فضای طبیعی به رودخانه‌ها اجرا شد. این رویکرد برخلاف روش‌های سنتی مبتنی بر ساخت سد و دیوار حفاظتی؛ بر ایجاد پهنه‌های سیلابی، جابه‌جایی خاکریزها، تعریض بستر رودخانه و احیای اکوسیستم‌های طبیعی تمرکز دارد. دلیل اصلی انتخاب این راهبرد، آسیب‌پذیری شدید هلند در برابر سیلاب و وابستگی گسترده کشور به رودخانه‌های راین، موز و اسخلده بوده است. ارزیابی‌های رسمی نشان می‌دهد اجرای این برنامه علاوه بر افزایش ظرفیت عبور سیلاب، موجب بهبود کیفیت مناظر طبیعی، ارتقای تنوع زیستی و افزایش پذیرش اجتماعی مدیریت سیلاب شده است (Rijkswaterstaat، ۲۰۱۶). همچنین اتحادیه اروپا از طریق «چارچوب دستورالعمل سیلاب» (EU Floods Directive) پشتوانه قانونی و سیاستی مهمی برای توسعه این رویکرد فراهم کرده است (European Commission، ۲۰۲۰). این تجربه نشان می‌دهد که مدیریت سیلاب با بازگرداندن فضا به رودخانه، یک راهبرد نوین، پایدار و سازگار با طبیعت است.

۲٫۱. آلمان– پیش‌بینی سیلاب با هوش مصنوعی

پس از وقوع سیلاب‌های ویرانگر سال ۲۰۲۱ در ایالت‌های راینلند-فالتس و نوردراین-وستفالن، آلمان به‌طور گسترده به سمت استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی سیلاب حرکت کرد، مؤسسه German Research Centre for Geosciences (GFZ) با توسعه مدل‌های یادگیری عمیق توانست دقت پیش‌بینی سیلاب‌های ناگهانی را افزایش دهد و هشدارها را چند ساعت زودتر صادر کند (GFZ، ۲۰۲۲). این اقدامات در چارچوب سیاست ملی[۵] German Flood Protection Programme که هدف آن تقویت سامانه‌های هشدار سریع و کاهش خسارات انسانی و اقتصادی است، انجام شد (Federal Ministry for the Environment، ۲۰۲۲).

۳٫۱. هند– مدل‌سازی هوش مصنوعی برای سیلاب‌های شهری

هند به‌دلیل وقوع مکرر سیلاب‌های شهری در کلان‌شهرهایی مانند بمبئی و چنای، از مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی سیلاب‌های سریع استفاده می‌کند. سازمان Indian Institute of Technology (IIT)[۶] با همکاری Google، سامانه‌ای مبتنی بر یادگیری ماشین توسعه داده که سطح آب رودخانه‌ها را پیش‌بینی کرده و هشدارهای دقیق‌تری ارائه می‌دهد (Google Research، ۲۰۲۱). این سامانه در سال‌های اخیر موجب کاهش تلفات و بهبود مدیریت بحران شده است. این پروژه بخشی از سیاست ملی National Disaster Management Plan[۷] است که بر استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای کاهش ریسک بلایا تاکید دارد (NDMA، ۲۰۱۹).

۴٫۱. ایالات متحده آمریکا– پیش‌بینی سیلاب با مدل‌های یادگیری عمیق

در ایالات متحده، سازمان NOAA[۸] و دانشگاه‌های پیشرو از مدل‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های حساس مانند میسیسیپی و کارولینا استفاده می‌کنند، مدل‌های جدید مبتنی بر شبکه‌های عصبی توانسته‌اند دقت پیش‌بینی دبی رودخانه و وقوع سیلاب را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهند (NOAA، ۲۰۲۳). دلیل اصلی انتخاب این فناوری، نیاز به مدیریت بهتر سیلاب‌های شدید ناشی از تغییر اقلیم است. این فعالیت‌ها در چارچوب برنامه ملی National Water Model Modernization Initiative انجام می‌شود که هدف آن ارتقای سامانه‌های هشدار سریع است (USGS، ۲۰۲۲).

۲. سامانه‌های پایش لحظه‌ای آب زیرزمینی

۱٫۲. آمریکا: کالیفرنیا– پایش لحظه‌ای آب زیرزمینی با سنسورهای فشار و کیفیت

کالیفرنیا به‌دلیل برداشت بیش‌ازحد از آبخوان‌ها و بحران‌های مکرر خشکسالی، یکی از پیشروترین مناطق جهان در استفاده از سامانه‌های پایش لحظه‌ای آب زیرزمینی است. در این ایالت، سنسورهای فشار، کیفیت آب و لاگرهای لحظه‌ای در چاه‌ها نصب شده‌اند تا تغییرات سطح آب، هدایت الکتریکی و فشار آبخوان‌ها را به‌صورت پیوسته ثبت کنند. این داده‌ها برای مدیریت تطبیقی و تصمیم‌گیری سریع در شرایط کم‌آبی استفاده می‌شود. اجرای این سامانه‌ها بخشی از سیاست Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)[۹] است که مدیریت پایدار آب زیرزمینی را الزام‌آور کرده است (DWR، ۲۰۲۱؛ USGS، ۲۰۲۲).

۲٫۲. استرالیا– پایش هوشیار آب زیرزمینی در مناطق خشک

استرالیا با اقلیم خشک و وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی، از سامانه‌های پایش لحظه‌ای مبتنی بر سنسورهای فشار، کیفیت و دما برای مدیریت آبخوان‌ها استفاده می‌کند. سازمان Bureau of Meteorology (۲۰۱۰) و CSIRO[۱۰] شبکه‌ای گسترده از چاه‌های مجهز به حسگرهای دیجیتال ایجاد کرده‌اند که داده‌ها را به‌صورت لحظه‌ای به سامانه‌های مرکزی منتقل می‌کند. این اطلاعات برای پیش‌بینی افت سطح آب، مدیریت برداشت و حفاظت از اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی به‌کار می‌رود. این اقدامات در چارچوب سیاست ملی National Groundwater Monitoring Program انجام می‌شود (BOM، ۲۰۲۰؛ CSIRO، ۲۰۲۱).

۳. مدیریت آب زیرزمینی در بستر بازارهای محلی

۱٫۳. استرالیا– بازارهای محلی آب زیرزمینی در موری–دارلینگ

استرالیا یکی از پیشگامان توسعه بازارهای محلی آب زیرزمینی است، به‌ویژه در حوضه Murray-Darling Basin که با فشار شدید بر منابع آب و خشکسالی‌های مکرر روبه‌رو است. در این مناطق، کشاورزان می‌توانند حق برداشت آب زیرزمینی را خریدوفروش کنند و این سازوکار باعث شده تخصیص آب به سمت فعالیت‌های با بهره‌وری بالاتر حرکت کند. مطالعات نشان می‌دهد این بازارها موجب کاهش برداشت بیش‌ازحد و افزایش انعطاف‌پذیری اقتصادی کشاورزان شده‌اند (Grafton و همکاران، ۲۰۱۸). این رویکرد در چارچوب سیاست ملی Water Act 2007[۱۱] و برنامه‌های ایالتی مدیریت پایدار آب زیرزمینی اجرا می‌شود (Australian Government، ۲۰۲۰).

۲٫۳. شیلی– بازارهای حقوق آب و مدیریت آبخوان‌ها

شیلی یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های بازارهای رسمی آب را دارد و از دهه ۱۹۸۰ امکان خریدوفروش حقوق آب، از جمله آب زیرزمینی، در چارچوب Water Code[۱۲] فراهم شده است. این بازارها به‌ویژه در مناطق خشک شمال شیلی، مانند آتاکاما، برای تخصیص کارآمد آب بین معدن، کشاورزی و شهرها استفاده می‌شود. پژوهش‌ها نشان می‌دهد این سازوکار توانسته رقابت‌پذیری اقتصادی را افزایش دهد، اما نیازمند نظارت قوی برای جلوگیری از برداشت بیش‌ازحد است. اصلاحات اخیر دولت نیز بر تقویت حفاظت از آبخوان‌ها و مدیریت پایدار تأکید دارد.

۳٫۳. هند– بازارهای محلی آب زیرزمینی در گجرات:

در ایالت گجرات هند، بازارهای محلی آب زیرزمینی به‌صورت غیررسمی میان کشاورزان شکل گرفته است؛ جایی که مالکان چاه‌های عمیق، آب را از طریق لوله یا پمپ به کشاورزان فاقد چاه می‌فروشند. این بازارها به دلیل کمبود شدید آب و هزینه بالای حفر چاه ایجاد شده‌اند و نقش مهمی در تأمین آب آبیاری برای مزارع کوچک دارند. مطالعات نشان می‌دهد که این سازوکار موجب افزایش بهره‌وری و دسترسی عادلانه‌تر به آب شده است، هرچند نبود نظارت رسمی می‌تواند به افت سطح آبخوان‌ها منجر شود. دولت هند در سال‌های اخیر به دنبال تنظیم‌گری بهتر این بازارها است.

فناوری‌های نوین در تصفیه و تأمین آب

۱. نسل جدید فناوری‌های نمک‌زدایی

۱٫۱. عربستان سعودی– نمک‌زدایی کم‌انرژی با فناوری‌های غشایی پیشرفته:

عربستان به‌دلیل وابستگی شدید به آب‌شیرین‌کن‌ها و مصرف بالای انرژی، به سمت فناوری‌های غشایی کم‌مصرف مانند RO[13] پیشرفته و Forward Osmosis حرکت کرده است. شرکت SWCC پروژه‌هایی را اجرا کرده که مصرف انرژی را تا ۳۰٪ کاهش داده و انتشار کربن را کم کرده‌اند (SWCC، ۲۰۲۳). همچنین برنامه Saudi Vision 2030[14] بر توسعه نمک‌زدایی پایدار و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید دارد. این سیاست‌ها موجب شده عربستان به یکی از مراکز جهانی توسعه فناوری‌های کم‌انرژی در نمک‌زدایی تبدیل شود (World Bank، ۲۰۲۱).

۲٫۱. اسرائیل– نمک‌زدایی غشایی پیشرفته و بازیافت انرژی:

اسرائیل کشوری با کمبود شدید منابع آب طبیعی، از پیشرفته‌ترین فناوری‌های غشایی مانند RO با بازیافت انرژی (ERD) استفاده می‌کند. تأسیسات Sorek و Ashkelon توانسته‌اند مصرف انرژی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده و بیش از ۷۰٪ آب شرب کشور را تأمین کنند (Tal، ۲۰۱۶). دلیل انتخاب این فناوری، نیاز به امنیت آبی و کاهش وابستگی به منابع سطحی است. سیاست ملی Water Authority Reform[15] نیز با حمایت مالی و تنظیم‌گری دقیق، توسعه نمک‌زدایی کم‌انرژی را تسریع کرده است (Israel Water Authority، ۲۰۲۰).

۳٫۱. استرالیا– نمک‌زدایی خورشیدی و فناوری‌های کم‌مصرف:

استرالیا به‌دلیل خشکسالی‌های شدید و فشار بر منابع آب سطحی، به سمت نمک‌زدایی کم‌انرژی با استفاده از فناوری‌های خورشیدی و غشاهای نوین حرکت کرده است. پروژه‌هایی مانند Perth Solar Desalination Trial نشان داده‌اند که ترکیب انرژی خورشیدی با RO می‌تواند مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهد (CSIRO، ۲۰۲۱). دولت استرالیا نیز از طریق National Water Security Plan از توسعه فناوری‌های پایدار نمک‌زدایی حمایت می‌کند.

این رویکرد به افزایش تاب‌آوری آبی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کرده است (Australian Government، ۲۰۲۰).

۲. تصفیه آب با نانوفناوری

۱٫۲. نانوفیلترها: حذف فلزات سنگین با NF:

فناوری نانوفیلتراسیون (NF) به‌طور گسترده برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی به‌کار می‌رود. غشاهای NF با منافذ نانومتری، می‌توانند یون‌های چندظرفیتی مانند سرب، کادمیم و نیکل را با راندمان بالا حذف کنند، درحالی‌که مصرف انرژی آن‌ها کمتر از اسمز معکوس است. مرورهای اخیر نشان داده‌اند که غشاهای پلیمری و کامپوزیتی NF توانسته‌اند در تصفیه پساب صنعتی، کاهش بار آلاینده و بازیافت آب نقش مؤثری ایفا کنند (Covaliu-Mierlă و همکاران، ۲۰۲۳).

۲٫۲. نانوجاذب‌ها: جاذب‌های آهن‌پایه برای حذف آرسنیک:

در تصفیه آب‌های آلوده به آرسنیک، نانوجاذب‌های آهن‌پایه (مانند نانوذرات و نانوکامپوزیت‌های اکسید آهن) به‌عنوان یکی از کارآمدترین گزینه‌ها مطرح شده‌اند. این نانومواد به‌دلیل سطح ویژه بالا و گروه‌های فعال سطحی، توان جذب بسیار زیادی برای آرسنیک دارند و می‌توانند غلظت آن را تا زیر حدود استاندارد شرب کاهش دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهد جاذب‌های آهن‌پایه در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت، عملکرد بسیار خوبی در حذف آرسنیک از آب زیرزمینی داشته‌اند (Hao و همکاران، ۲۰۱۸).

۳. بازیافت فاضلاب برای مصارف شرب

۱٫۳. سنگاپور– NEWater و بازیافت پیشرفته برای مصارف شرب:

سنگاپور یکی از موفق‌ترین نمونه‌های بازیافت فاضلاب برای مصارف شرب است و سیستم NEWater را به‌عنوان بخشی از راهبرد امنیت آبی خود توسعه داده است. NEWater با سه مرحله تصفیه پیشرفته–میکروفیلتراسیون، اسمز معکوس و گندزدایی UV–آب فوق‌العاده خالص تولید می‌کند که بخشی از آن به مخازن آب شرب تزریق می‌شود. این فناوری به سنگاپور کمک کرده وابستگی خود به منابع خارجی را کاهش دهد و تاب‌آوری آبی را افزایش دهد.

۲٫۳. کالیفرنیا– Direct Potable Reuse و چارچوب قانونی جدید:

کالیفرنیا یکی از پیشروترین مناطق جهان در توسعه Direct Potable Reuse (DPR) است. این ایالت پس از سال‌ها پژوهش و ارزیابی سلامت عمومی، در سال ۲۰۲۴ مقررات رسمی DPR را تصویب کرد. این مقررات امکان تزریق مستقیم آب بازیافتی فوق‌تصفیه شده به سامانه آب شرب را فراهم می‌کند. هدف اصلی، افزایش پایداری منابع آبی در برابر خشکسالی‌های شدید و کاهش وابستگی به واردات آب

است. مقررات جدید توسط هیئت کنترل منابع آب ایالت کالیفرنیا (California State Water Resources Control Board، ۲۰۲۴) منتشر شده است.

فناوری‌های نوین در زیرساخت‌های شهری

۱. شبکه‌های هوشیار آب شهری (Smart Water Grids)

۱٫۱. سئول– تشخیص نشت با هوش مصنوعی:

سئول یکی از پیشروترین شهرها در استفاده از شبکه‌های هوشیار آب است و از سامانه‌های مبتنی بر IoT و هوش مصنوعی برای تشخیص نشت و مدیریت فشار استفاده می‌کند. پروژه‌های پایلوت در شهرهایی مانند Seosan نشان داده‌اند که تحلیل داده‌های فشار و دبی می‌تواند نشت‌های کوچک را قبل از تبدیل‌شدن به شکستگی‌های بزرگ شناسایی کند. این سیستم‌ها با کاهش Minimum Night Flow و افزایش راندمان شبکه، مصرف آب را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده‌اند (Koo و همکاران، ۲۰۲۱).

۲٫۱. لندن– شبکه هوشیار آب با تحلیل داده و مدیریت فشار:

لندن با شبکه‌ای بسیار قدیمی، از فناوری‌های هوشیار برای کاهش نشت و مدیریت فشار استفاده می‌کند. شرکت Thames Water سامانه‌های تحلیل داده، حسگرهای فشار و مدل‌های پیش‌بینی را برای شناسایی نشت‌های پنهان به‌کار گرفته است. این سیستم‌ها با تنظیم خودکار فشار در ساعات کم‌مصرف، از شکستگی لوله‌ها جلوگیری می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های دیجیتال و داده‌محور می‌تواند تا ۱۵٪ از نشت‌های شبکه را کاهش دهد (Ramos و همکاران، ۲۰۲۳).

۲. زیرساخت‌های سبز

۱٫۲. بام‌های سبز در نیویورک:

نیویورک از بام‌های سبز به‌عنوان بخشی از برنامه رسمی Green Infrastructure Program برای کاهش رواناب، بهبود کیفیت آب و کاهش فشار بر شبکه فاضلاب استفاده می‌کند. شهرداری نیویورک گزارش می‌دهد بام‌های سبز و سایر زیرساخت‌های سبز، حجم قابل‌توجهی از رواناب را در محل نگه می‌دارند و از ورود آن به سیستم فاضلاب جلوگیری می‌کنند. این اقدامات در چارچوب سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم و مدیریت پایدار آب شهری در نیویورک اجرا می‌شوند (NYC، ۲۰۲۶).

۲٫۲. باغ‌های بارانی (Rain Gardens) در سیاتل:

سیاتل از Rain Gardens به‌عنوان بخشی از برنامه رسمی RainWise[۱۶] برای مدیریت رواناب و کاهش بار شبکه فاضلاب استفاده می‌کند. در این برنامه، شهر و شرکت آب، به ساکنان کمک می‌کنند تا باغ‌های بارانی و سایر زیرساخت‌های سبز را در حیاط و فضاهای شهری ایجاد کنند تا آب باران در محل نفوذ کرده و وارد فاضلاب نشود (Seattle Public Utilities، ۲۰۲۶). همچنین، راهنماها و پروژه‌های نمونه نشان می‌دهند که این سازه‌ها نقش مهمی در کاهش سیلاب‌های محلی و بهبود کیفیت آب دارند (King County، ۲۰۲۶).

بخش دوم: نگاهی به جایگاه ایران در کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت آب

۱. وضعیت کنونی:

در حوزه فناوری‌های نوین در کشاورزی و آبیاری، ایران طی دو دهه اخیر به‌صورت گسترده به سمت سامانه‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای، بارانی، تیپ) حرکت کرده است و در بسیاری از دشت‌های بحرانی، توسعه این سامانه‌ها با یارانه دولتی اجرا شده است. در کنار آن، استفاده از کنتورهای حجمی برای چاه‌های کشاورزی، سامانه‌های سنجش از دور و نقشه‌برداری ماهواره‌ای برای برآورد سطح زیرکشت و نیاز آبی، و طرح‌های پایلوت آبیاری هوشیار مبتنی بر حسگر رطوبت خاک در برخی مزارع تحقیقاتی و گلخانه‌ها در حال اجرا است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰). با این‌حال شکاف قابل‌توجهی بین مزارع پیشرو و بخش عمده کشاورزی سنتی وجود دارد و بسیاری از این فناوری‌ها هنوز در مقیاس ملی نهادینه نشده‌اند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸).

در زمینه فناوری‌های نوین در مدیریت منابع آب، بخش آب ایران به‌طور گسترده از سامانه‌های تله‌متری و SCADA برای پایش لحظه‌ای مخازن سدها، ایستگاه‌های هیدرومتری و شبکه‌های انتقال استفاده می‌کند. شرکت مدیریت منابع آب ایران شبکه‌ای از ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی، بارش و کیفیت آب را به‌صورت برخط توسعه داده و داده‌ها در سامانه‌های متمرکز جمع‌آوری و تحلیل می‌شوند (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۱). در کنار آن، مدل‌های عددی بارش–رواناب، شبیه‌سازی مخازن و سامانه‌های هشدار سیل در حوضه‌هایی مانند کارون، کرخه و تجن به‌کار گرفته شده‌اند. در سطح شهری نیز، شرکت‌های آب و فاضلاب در برخی کلان‌شهرها از سامانه‌های GIS، مدل‌سازی هیدرولیکی شبکه و قرائت خودکار کنتورها برای مدیریت فشار، کاهش هدررفت و برنامه‌ریزی توسعه شبکه استفاده می‌کنند. با این وجود، پوشش این سامانه‌ها در شهرهای کوچک و روستاها هنوز محدود است و داده‌ها در بسیاری از حوضه‌ها پراکنده و ناهمگون باقی مانده‌اند.

در حوزه فناوری‌های نوین در تصفیه و تأمین آب، ایران دارای شبکه گسترده‌ای از تصفیه‌خانه‌های آب شهری با فرآیندهای متعارف (انعقاد، ته‌نشینی، فیلتراسیون و گندزدایی) است و در سال‌های اخیر، در برخی شهرها از فناوری‌های پیشرفته‌تر مانند غشاها و MBR برای تصفیه فاضلاب و بازچرخانی آن برای مصارف صنعتی و آبیاری فضای سبز استفاده شده است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۴۰۱). در سواحل جنوبی، آب‌شیرین‌کن‌های مبتنی بر اسمز معکوس (RO) برای تأمین آب شرب شهرهایی در هرمزگان، بوشهر و سیستان و بلوچستان توسعه یافته‌اند و برنامه‌هایی برای افزایش سهم آب‌شیرین‌کن‌ها در تأمین آب شرب در حال اجرا است. در کنار این‌ها، پروژه‌های بازچرخانی پساب تصفیه شده برای صنایع بزرگ (فولاد، پتروشیمی) و آبیاری کمربند سبز شهری در چند کلان‌شهر در حال بهره‌برداری است، هرچند استانداردسازی و پایش کیفی بلندمدت هنوز چالش‌برانگیز است.

در زمینه فناوری‌های نوین در زیرساخت‌های شهری، تمرکز اصلی بر توسعه شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه‌خانه‌های شهری و به‌تدریج استفاده از رویکردهای نزدیک به زیرساخت سبز است. در برخی شهرها، طرح‌هایی مانند پارک‌های آبخیز، حوضچه‌های تاخیری، کانال‌های نفوذپذیر و توسعه فضاهای سبز شهری با نقش هیدرولوژیک اجرا شده یا در دست مطالعه است (سازمان حفاظت محیط‌زیست، ۱۳۹۹). همچنین، پروژه‌های پایلوت برای استفاده از کف‌پوش‌های نفوذپذیر، جمع‌آوری آب باران از بام‌ها و ذخیره‌سازی محلی در برخی شهرها و شهرک‌ها مطرح شده است. در حوزه شبکه آب شهری، استفاده از کنتورهای هوشیار، سامانه‌های نشت‌یابی و مدیریت فشار در چند شرکت آب و فاضلاب استانی آغاز شده، اما هنوز با مفهوم کامل «شبکه هوشمند آب شهری» فاصله وجود دارد (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۴۰۱). به‌طورکلی می‌توان گفت ایران در بسیاری از این فناوری‌ها وارد مرحله اجرا و بهره‌برداری شده، اما سطح پوشش، یکپارچگی داده‌ها و پیوند با سیاست‌گذاری کلان هنوز نیازمند تقویت جدی است.

۲. فرصت‌ها و چالش‌های ایران در توسعه فناوری‌های نوین مدیریت آب

چالش‌های مدیریت آب در ایران ریشه در ترکیبی از عوامل اقتصادی، اجتماعی، جغرافیایی و سیاسی دارد و همین عوامل تعیین می‌کنند که فناوری‌های نوین تا چه اندازه می‌توانند در کشور به‌کار گرفته شوند. از یک‌سو، ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، کاهش بارندگی و افت شدید آب‌های زیرزمینی مواجه است؛ شرایطی که ضرورت استفاده از فناوری‌های نوین را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، محدودیت‌های مالی، تحریم‌ها، ضعف حکمرانی آب و ناهماهنگی نهادی، سرعت پذیرش و گسترش این فناوری‌ها را کاهش داده‌اند. گزارش‌های ملی و بین‌المللی نشان می‌دهند که ایران در آستانه «بحران ساختاری آب» قرار دارد و بدون تحول فناورانه و اصلاحات نهادی، پایداری منابع آب در معرض تهدید جدی است (Ghomeshi، ۲۰۲۳؛ Fanack Water، ۲۰۲۵)

ایران در حوزه فناوری‌های نوین مدیریت منابع آب فرصت‌های قابل‌توجهی دارد. وجود شبکه گسترده سدها، ایستگاه‌های هیدرومتری و زیرساخت‌های انتقال آب، امکان پیاده‌سازی سامانه‌های هوشیار مانند SCADA، پایش برخط کیفیت آب و مدل‌های پیش‌بینی سیلاب را فراهم می‌کند. بااین‌حال چالش‌های اقتصادی از جمله کمبود سرمایه‌گذاری، هزینه بالای تجهیزات و محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها مانع نوسازی گسترده این زیرساخت‌ها شده است. در مقایسه، ترکیه که اقلیم مشابهی با ایران دارد، توانسته با سرمایه‌گذاری خارجی و مشارکت بخش خصوصی، سامانه‌های هوشیار مدیریت سدها و شبکه‌های انتقال را توسعه دهد. ایران نیز از نظر فنی توانایی اجرای این فناوری‌ها را دارد، اما موانع مالی و سیاسی سرعت این تحول را کاهش داده‌اند.

ایران یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب کشاورزی در منطقه است و همین موضوع فرصت بزرگی برای به‌کارگیری فناوری‌های نوین ایجاد می‌کند. سامانه‌های آبیاری تحت فشار، سنجش از دور، آبیاری هوشیار و مدیریت داده‌محور مزرعه می‌توانند مصرف آب را به‌طور چشم‌گیری کاهش دهند. اما چالش‌های اجتماعی از جمله مقاومت کشاورزان، مالکیت خرد زمین‌ها و نبود انگیزه اقتصادی مانع گسترش این فناوری‌ها شده است. در مقابل، سایر کشورها با اقلیم مشابه و منابع محدود، توانسته‌اند با سیاست‌های حمایتی، آموزش گسترده و قیمت‌گذاری واقعی آب، فناوری‌های آبیاری هوشیار را در سطح ملی پیاده کنند. ایران نیز از نظر علمی و فنی ظرفیت مشابهی دارد، اما نبود سازوکارهای تشویقی و قیمت‌گذاری ناکارآمد آب، مانع اصلی است (Shokri، ۲۰۲۵).

در حوزه تصفیه و تأمین آب، ایران فرصت‌های مهمی در توسعه آب‌شیرین‌کن‌ها، بازچرخانی پساب و فناوری‌های غشایی دارد. سواحل جنوبی کشور ظرفیت بالایی برای توسعه آب‌شیرین‌کن‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی و اسمز معکوس دارند. اما چالش‌های اقتصادی از جمله هزینه بالای انرژی، محدودیت سرمایه‌گذاری خارجی و تحریم‌ها روند توسعه را کند کرده است. در مقایسه، عربستان سعودی با اقلیم مشابه، توانسته است با اتکا به سرمایه‌گذاری عظیم و مشارکت شرکت‌های بین‌المللی، بزرگترین شبکه آب‌شیرین‌کن جهان را ایجاد کند (Fanack Water، ۲۰۲۵). بااین‌حال توسعه بازچرخانی پساب در صنایع فولاد و پتروشیمی ایران نشان می‌دهد که ظرفیت داخلی برای گسترش فناوری‌های پیشرفته وجود دارد.

در زمینه فناوری‌های نوین در زیرساخت‌های شهری، ایران با چالش‌های ساختاری مواجه است. بسیاری از شهرها دارای شبکه‌های فرسوده آب و فاضلاب هستند و نشت آب، هدررفت انرژی و نبود سامانه‌های هوشیار مدیریت فشار، مشکلات جدی ایجاد کرده‌اند. بااین‌حال فرصت‌های مهمی برای توسعه زیرساخت‌های سبز، مدیریت رواناب شهری و استفاده از فناوری‌های هوشیار وجود دارد. تجربه استرالیا که مانند ایران با خشکسالی‌های شدید مواجه است نشان می‌دهد توسعه زیرساخت‌های سبز، جمع‌آوری آب باران و بازچرخانی آب شهری می‌تواند نقش مهمی در تاب‌آوری شهری داشته باشد. در شهرهایی مانند مشهد، اصفهان و تهران پروژه‌های پایلوتی در این زمینه اجرا شده است، اما نبود سیاست‌های یکپارچه و کمبود بودجه مانع گسترش آن‌ها شده است (Hamidifar، ۲۰۲۴).

از منظر فرصت‌های محیط‌زیستی و جغرافیایی، ایران تنوع اقلیمی گسترده، تابش بالای خورشید، سواحل طولانی و ظرفیت بالای انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. این ویژگی‌ها امکان توسعه فناوری‌هایی مانند آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، سامانه‌های برداشت آب از مه، و مدیریت هوشمند منابع آب را فراهم می‌کند. همچنین، وجود دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی فعال در حوزه آب، فرصت مهمی برای توسعه فناوری‌های بومی ایجاد کرده است. اما چالش‌های حکمرانی از جمله ناهماهنگی نهادی، ضعف داده‌های شفاف، و نبود سیاست‌های بلندمدت مانع بهره‌برداری کامل از این فرصت‌ها شده‌اند (Ghomeshi، ۲۰۲۳).

در نهایت، مسیر آینده ایران در توسعه فناوری‌های نوین مدیریت آب، نیازمند ترکیبی از اصلاحات ساختاری، سرمایه‌گذاری هدفمند، همکاری‌های بین‌المللی و مشارکت فعال بخش خصوصی است. تجربه کشورهایی با شرایط مشابه نشان می‌دهد فناوری به‌تنهایی کافی نیست؛ بلکه حکمرانی کارآمد، سیاست‌گذاری پایدار و مشارکت اجتماعی نقش تعیین‌کننده دارند. ایران با وجود چالش‌های جدی، فرصت‌های قابل‌توجهی برای تحول در مدیریت آب دارد و اگر این فرصت‌ها با سیاست‌های درست همراه شوند، می‌توانند مسیر پایداری منابع آب کشور را تضمین کنند.

فناوری آبیاری به‌مثابه یک نظام مدیریتی، نه مجموعه‌ای از تجهیزات

یکی از نکات مهم راهنمای IWMI تعریف ضمنی فناوری آبیاری در قالب یک نظام متشکل از سه عنصر به‌هم‌پیوسته است: سخت‌افزار، نرم‌افزار و اپراتور. سخت‌افزار شامل زیرساخت، تجهیزات، ابزارهای اندازه‌گیری و اجزای انتقال و کنترل آب است؛ نرم‌افزار شامل رویه‌ها، پروتکل‌ها، داده‌ها و ابزارهای پشتیبان تصمیم است؛ و اپراتورها افرادی هستند که مسئولیت مدیریت، بهره‌برداری، نگهداری و پایش سامانه را بر عهده دارند. بر اساس این چارچوب، عملکرد پایدار نه از سخت‌افزار به‌تنهایی، بلکه از هماهنگی میان این سه مؤلفه حاصل می‌شود (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

این تفکیک، برای تحلیل فناوری در مدیریت آب ایران اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا در بسیاری از پروژه‌های فناورانه، توجه اصلی متوجه خرید یا نصب تجهیز است، درحالی‌که سازوکارهای استفاده از داده، تعریف مسئولیت، آموزش بهره‌بردار، نگهداری پیشگیرانه و تأمین قطعات و خدمات پس از فروش کمتر در مرکز طراحی پروژه قرار می‌گیرد. راهنمای IWMI نشان می‌دهد که حتی برای سامانه‌های پیشرفته، تدوین رویه‌های استاندارد عملیاتی (SOP)، ثبت منظم داده‌های

بهره‌برداری و نگهداری، گزارش‌دهی، بازبینی دوره‌ای و بهبود مستمر بخشی از خودِ نظام فناوری محسوب می‌شود، نه فعالیت‌های جانبی پس از اجرای پروژه (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

از این منظر می‌توان یک تغییر مهم در منطق ارزیابی فناوری پیشنهاد کرد: به جای پرسش «آیا تجهیز یا سامانه نصب شده است؟»، باید پرسید «آیا این فناوری در یک فرایند مدیریتی پایدار قرار گرفته است؟». اگر داده تولید شده وارد فرایند تصمیم نشود، اگر مسئولیت نگهداری روشن نباشد، اگر اپراتور مهارت کافی نداشته باشد یا اگر سازمان نتواند بر اساس اطلاعات جدید تصمیم خود را اصلاح کند، وجود فناوری لزوماً به بهبود عملکرد منجر نمی‌شود. این برداشت با تأکید راهنما بر ظرفیت انسانی، نهادی و حکمرانی به‌عنوان زیربنای عملکرد فناوری سازگار است (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

انتخاب فناوری؛ مسئله‌ای چندمعیاره

راهنمای IWMI در فصل انتخاب و برنامه‌ریزی فناوری‌های آبیاری، مجموعه‌ای از عوامل را برای انتخاب فناوری مناسب مطرح می‌کند: شرایط اقلیمی و بوم‌شناختی، کمیت و کیفیت منبع آب، اندازه و شکل مزرعه، نوع و الگوی کشت، دسترسی و هزینه انرژی، ظرفیت نهادی و مدیریتی، و شرایط اقتصادی و تأمین مالی. این چارچوب نشان می‌دهد که انتخاب فناوری یک تصمیم چندمعیاره است و نمی‌توان آن را صرفاً بر مبنای راندمان فنی یا قیمت اولیه تجهیز انجام داد (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

برای مدیریت آب، این نکته فراتر از سطح مزرعه نیز قابل تعمیم است. هر فناوری که در سطح مصرف‌کننده یا شبکه مستقر می‌شود، باید با شرایط و اهداف سطح بالاتر هماهنگ باشد. برای مثال، افزایش بهره‌وری آبیاری در مزرعه، اگر با قواعد برداشت و تخصیص آبخوان یا حوضه هماهنگ نباشد، لزوماً به کاهش فشار بر منبع منجر نمی‌شود. از همین رو، فناوری آبیاری باید در کنار حسابداری آب، قواعد تخصیص، نظام پایش و سازوکارهای نظارتی دیده شود. در راهنمای IWMI نیز درباره سامانه‌های خورشیدی پمپاژ تأکید شده است که بدون تنظیم‌گری و پایش، کاهش هزینه انرژی می‌تواند حتی انگیزه افزایش برداشت از آب زیرزمینی را ایجاد کند؛ بنابراین فناوری و حکمرانی باید هم‌زمان طراحی شوند (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

راهنمای FAO-IWMI در بخش توانمندسازی نیز نکته‌ای دارد که برای سیاست فناوری آب در ایران قابل توجه است: آموزش یک‌باره برای پایدارسازی فناوری کافی نیست. الگوی پیشنهادی بر آموزش مبتنی بر شایستگی، یادگیری مستمر، پیگیری و مربی‌گری، پشتیبانی فنی در دسترس و مشارکت هم‌زمان بازیگران مختلف تأکید می‌کند. این بازیگران فقط بهره‌بردار نهایی نیستند؛ مدیران، کارشناسان ترویج، تکنسین‌ها، تأمین‌کنندگان و تشکل‌های بهره‌برداران نیز باید در نظام ظرفیت‌سازی دیده شوند. در نتیجه، ظرفیت‌سازی از یک فعالیت آموزشی محدود به یک جزء از «زیست‌بوم خدمات و حکمرانی فناوری» تبدیل می‌شود (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

در همین چارچوب، مدل «آموزش مربیان» و نیز یادگیری تجربی و مزرعه‌ای در گزارش IWMI به‌عنوان سازوکارهایی برای گسترش مهارت‌ها معرفی شده‌اند. ارزش این رویکرد برای ایران در آن است که مسئله انتشار فناوری را فقط مسئله اطلاع‌رسانی نمی‌بیند؛ بلکه انتقال مهارت، تجربه عملی، سازگارسازی با شرایط محلی و ایجاد شبکه پشتیبانی را نیز جز فرایند پذیرش فناوری محسوب می‌کند. این نکته با تجربه شکاف میان بهره‌برداران پیشرو و بدنه گسترده کشاورزی در ایران که در بخش‌های دیگر کنکاش نیز به آن اشاره شده، هم‌جهت است. چکیده این الگو در جدول (۱) به صورت نمادین ارائه شده است.

جدول ۱- معیارهای انتخاب فناوری برای کاربری‌های مختلف آب

معیار	پرسش مدیریتی	پیامد برای انتخاب فناوری
اقلیم و شرایط بوم‌شناختی	آیا فناوری با دما، بارش، تبخیر و شرایط خاک سازگار است؟	انتخاب روش متناسب با شرایط محلی، نه صرفاً فناوری پیشرفته‌تر
منبع آب	کمیت، کیفیت و قابلیت اتکای منبع چقدر است؟	تطبیق فناوری با محدودیت واقعی آب و کیفیت آن
مقیاس و ساختار مزرعه	اندازه و شکل اراضی چیست؟	تناسب فناوری با مقیاس و امکان بهره‌برداری
محصول و الگوی کشت	نیاز آبی و ارزش اقتصادی محصول چیست؟	تعیین نوع و دقت کاربرد آب
انرژی	منبع و هزینه انرژی چقدر است؟	توجه هم‌زمان به هزینه چرخه عمر و قابلیت اطمینان
ظرفیت نهادی و انسانی	چه مهارت، پشتیبانی و ساختار مدیریتی وجود دارد؟	پرهیز از فناوری‌هایی که ظرفیت بهره‌برداری از آنها وجود ندارد
اقتصاد و تأمین مالی	هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری چگونه تأمین می‌شود؟	ارزیابی هزینه - فایده و مدل‌های تأمین مالی

بخش سوم: دیدگاه خبرگان پیرامون کاربرد فناوری‌ها در مدیریت آب در ایران

همان‌طور که در بخش مقدمه توضیح داده شد، در این شماره از کنکاش، مصاحبه‌های انفرادی با جمعی از خبرگان مرتبط با موضوع فناوری‌های آبی صورت گرفته است. مصاحبه‌های انفرادی نیمه‌ساختاریافته‌ای یا جمعی از خبرگان مرتبط با فناوری‌های حوزه آب انجام شده است، چهار سوال کلیدی زیر از مصاحبه‌شوندگان پرسش شده است:

۱- توجه به موضوع فناوری در مدیریت آب چه اهمیت و جایگاهی دارد؟

۲- شما کاربرد فناوری‌ها در مدیریت آب را چگونه تجربه کرده‌اید و از دستاوردهای ملی و بین‌المللی در این حوزه چه شناختی دارید؟ چه ظرفیت‌هایی در ایران در حوزه فناوری‌ها وجود دارد و این ظرفیت‌ها چقدر کارآمد هستند؟

۳- در مسیر شناخت، توسعه و کاربرد فناوری‌ها در ایران چه موانع و چالش‌هایی وجود دارد؟

۴- برای بهبود وضعیت کاربرد فناوری در مدیریت آب در ایران چه اقداماتی می‌توان انجام داد و چه توصیه‌هایی دارید؟

مصاحبه‌شوندگان که به نمایندگی از حوزه دانشگاه، کشاورزی و مدیریت آب و همچنین آب و فاضلاب شهری انتخاب شده‌اند به شرح زیر هستند:

۱- **جناب آقای دکتر کامران داوری**؛ استاد گروه علوم و مهندسی آب و رئیس پژوهشکده آب و محیط‌زیست دانشگاه فردوسی مشهد

تجربه مدیریتی و پژوهشی در حوزه فناوری‌های آب و همچنین فعالیت در شرکت‌های مشاوره‌ای، زمینه‌ای برای مواجهه عملی با ابزارهای محاسباتی و سامانه‌های تصمیم‌گیری فراهم کرده است. در کنار فعالیت دانشگاهی، تجربه برگزاری سه دوره جشنواره فناوری‌های آب در ایران نیز در شکل‌گیری دیدگاه ایشان درباره توسعه و کاربرد فناوری‌های آب موثر بوده است.

۲- **جناب آقای دکتر محمود ارجمند شریف**؛ دکترای آب‌های زیرزمینی، مدیر پیشین مطالعات پایه منابع آب و رئیس کنونی گروه تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

ایشان در حدود پانزده سال گذشته به‌صورت مستمر در حوزه مطالعات و مدیریت منابع آب زیرزمینی فعالیت داشته‌اند. سابقه کاری ایشان شامل بیش از یازده سال فعالیت کارشناسی در مدیریت مطالعات آب‌های زیرزمینی، حدود پنج سال و نیم مدیریت همان دفتر، و در سال‌های اخیر ریاست گروه تحقیقات کاربردی در معاونت برنامه‌ریزی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی می‌باشد. تجربه حرفه‌ای ایشان نشان می‌دهد که هم در سطح اجرایی و هم در سطح سیاست‌گذاری و توسعه فناوری در بخش آب نقش فعال داشته‌اند.

۳- **جناب آقای مهندس غلامرضا کلایی**؛ متخصص فناوری اطلاعات و معاون منابع انسانی و تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد

از مدیران باسابقه حوزه آب و فاضلاب مشهد که حدود هشت سال به عنوان معاون منابع انسانی و تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد فعالیت داشته و پیش از آن نیز نزدیک به یک دهه مدیریت حوزه فناوری اطلاعات و شبکه این شرکت را بر عهده داشته‌اند. تخصص اصلی ایشان در حوزه فناوری اطلاعات، سیستم‌های اطلاعاتی و کاربرد فناوری در مدیریت سازمانی است و بخش مهمی از فعالیت‌هایشان بر توسعه زیرساخت‌های هوشیار، سامانه‌های بهره‌برداری، مدیریت منابع انسانی و فناوری‌های مرتبط با مدیریت شبکه آب متمرکز بوده است. به گفته ایشان یکی از عوامل اصلی موفقیت شرکت آب و فاضلاب مشهد، توجه مستمر به فناوری و سرمایه‌گذاری در حوزه تحقیق و توسعه بوده است.

۴- **جناب آقای دکتر ابوالقاسم حقایقی مقدم**؛ متخصص علوم آبیاری و کشاورزی و رئیس دهکده فناوری و نوآوری کشاورزی، منابع طبیعی و صنایع غذایی استان خراسان رضوی

دهکده فناوری در چارچوب مشترک میان پارک علم و فناوری خراسان رضوی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی خراسان رضوی فعالیت می‌کند. این مجموعه از نخستین مراکز رشد تخصصی کشاورزی در کشور به شمار می‌رود و تاکنون میزبان صدها ایده و شرکت فناور در حوزه‌های مختلف کشاورزی، منابع طبیعی و صنایع غذایی بوده است.

۵- **جناب آقای مهندس وحید اردکانیان**؛ کشاورز و باغدار پیشرو تربت جامی و عضو خانه کشاورز خراسان رضوی

از فعالان باسابقه و متخصصان حوزه کشاورزی و باغداری پسته در ایران است که تحصیلات کارشناسی ارشد خود را در رشته زراعت در دانشگاه فردوسی مشهد به پایان رسانده و از اواسط دهه ۱۳۷۰ به‌صورت حرفه‌ای وارد مدیریت مزرعه شده‌اند. وی فعالیت خود را ابتدا در مزرعه خانوادگی آغاز کرد و طی حدود سه دهه، مجموعه‌ای از باغ‌های پسته را از سیستم‌های سنتی زراعی به باغداری مکانیزه و فناورانه تبدیل کرده است. در حال حاضر مدیریت بیش از ۵۰ هکتار باغ پسته را بر عهده دارد و تجربه گسترده‌ای در زمینه توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، اتوماسیون مزرعه، مدیریت داده، و به‌کارگیری فناوری‌های هوشیار در کشاورزی دارد. تجربیات وی از معدود نمونه‌های عملی و پیشرو در حوزه کشاورزی فناورانه در باغات پسته ایران محسوب می‌شود.

در ادامه در پاسخ به هر یک از سوالات فوق، چکیده پاسخ و دیدگاه خبرگان نامبرده ارائه می شود:

الف) اهمیت و جایگاه فناوری در مدیریت آب:

+ کامران داوری: فناوری را مفهومی چندلایه و ترکیبی از ابزارهای سخت و نرم می‌دانم. در این نگاه، فناوری صرفا به تجهیزات فیزیکی محدود نمی‌شود، بلکه از نرم‌افزارهای تحلیلی و سامانه‌های تصمیم‌یار تا ساختارهای اجتماعی و سازوکارهای حکمرانی را نیز در بر می‌گیرد. مسیر فناوری تنها به حمایت از تولیدات موجود محدود نیست، بلکه نیازمند ایجاد بستر برای شکل‌گیری ایده‌های اولیه است. در این چارچوب، مفهوم بلوغ فناوری از مرحله ایده تا تجاری‌سازی و ورود به بازار به‌عنوان یک فرآیند تدریجی مورد توجه قرار دارد، هرچند استمرار این رویکرد با چالش‌های نهادی و سیاستی مواجه است.

در تحلیل نقش فناوری در مدیریت آب، تاکید اصلی بر چندلایه بودن نظام حکمرانی است. مدیریت آب از سطح مزرعه تا سطح ملی در قالب یک زنجیره پیوسته قابل مشاهده است؛ از مدیریت عملیاتی در مزرعه گرفته تا سطوح شهرستان، استان و در نهایت سیاست‌گذاری کلان کشور. در هر یک از این سطوح، نوع فناوری و کارکرد آن متفاوت است. در سطوح پایین‌تر، فناوری بیشتر ماهیت سخت‌افزاری دارد و در خدمت تصمیم‌گیری عملیاتی قرار می‌گیرد؛ مانند تراکتورهای هوشیار، کمباین‌های مجهز به سنجش عملکرد، پهپادهای پایش مزرعه، و حسگرهای رطوبت خاک. این ابزارها امکان جمع‌آوری داده و تصمیم‌گیری سریع در سطح مزرعه را فراهم می‌کنند و مفهوم «مدیریت هوشیار» در همین سطح معنا پیدا می‌کند. در این سطح، تفاوت میان «اتوماسیون» و «هوش مصنوعی» اهمیت پیدا می‌کند. اتوماسیون به معنای اجرای خودکار فرآیندها بر اساس آستانه‌های از پیش تعیین‌شده است، مانند آغاز آبیاری در صورت کاهش رطوبت خاک. اما هوش مصنوعی فراتر از این عمل کرده و با تحلیل الگوها و داده‌های گذشته، توانایی تصمیم‌سازی و پیش‌بینی دارد. به‌عنوان‌مثال، تشخیص الگوی افت فشار در شبکه آب و پیش‌بینی محل احتمالی شکست لوله، نمونه‌ای از کاربرد هوش مبتنی بر الگو است، نه صرفا اجرای دستور از پیش تعیین شده. این تمایز نشان می‌دهد که گذار از اتوماسیون به هوشمندسازی واقعی، نیازمند داده، مدل‌سازی و یادگیری سیستم است.

در سطوح میانی مانند شهرستان و استان، فناوری ماهیت نرم‌تری پیدا می‌کند و بیشتر در قالب سامانه‌های اطلاعاتی، تحلیل اقتصادی و مدیریت تعارضات اجتماعی ظاهر می‌شود. در این سطح، مسائل مربوط به توزیع منابع، تعارض منافع، و هماهنگی بین بخش‌های مختلف اهمیت پیدا می‌کند. داده‌های مزرعه در این مرحله به اطلاعات تجمیعی تبدیل می‌شوند و مبنای تصمیم‌گیری‌های منطقه‌ای قرار می‌گیرند. در سطح استانی، تمرکز بر شاخص‌های اقتصادی مانند تولید ناخالص منطقه‌ای، بهره‌وری آب و ارزیابی عملکرد بخش کشاورزی است.

در سطوح بالاتر، فناوری وارد حوزه سیاست‌گذاری کلان و امنیت غذایی می‌شود. در این مرحله، تصمیم‌ها به موضوعاتی مانند اولویت‌بندی محصولات کشاورزی، تخصیص منابع آب در سطح ملی و طراحی سیاست‌های حمایتی مرتبط است. استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی و سامانه‌های تصمیم‌یار می‌تواند نشان دهد که هر منطقه باتوجه‌به اقلیم، منابع آب و ویژگی‌های خاک چه نوع محصولی باید تولید کند تا بیشترین بازده ملی حاصل شود. در این چارچوب، فناوری به ابزار تحلیل کلان و سیاست‌سازی تبدیل می‌شود، نه صرفاً ابزار اجرایی.

+ محمود ارجمند: به کارگیری فناوری‌های نوین در مدیریت آب، به طور محسوسی باعث افزایش کارآیی و قابلیت‌های فنی، کاهش زمان انجام فرآیندها، افزایش دقت محاسبات و کاهش هزینه‌ها شده است. به طور مثال می‌توان در مطالعات منابع آب به استفاده گسترده از نرم‌افزارهای تخصصی مدل‌سازی منابع آب از گذشته تاکنون اشاره کرد. درحال‌حاضر تمرکز از کاربردهای فردی نرم‌افزارها به سمت طراحی سامانه‌های یکپارچه داده و مدیریت اطلاعات تغییر یافته است.

+ غلامرضا کلایی: فناوری در مدیریت آب دیگر یک ابزار جانبی نیست، بلکه به بخش جدایی‌ناپذیر فرآیند بهره‌برداری و ارائه خدمات تبدیل شده است. بدون استفاده از فناوری اطلاعات، هوش مصنوعی، سامانه‌های تله‌متری و سیستم‌های داده‌محور، مدیریت شبکه گسترده آب‌رسانی مشهد عملا امکان‌پذیر نیست. شهر مشهد به دلیل وسعت زیاد، اختلاف ارتفاع گسترده مناطق شهری، تنوع منابع تامین آب و حضور میلیون‌ها زائر در دوره‌های زمانی خاص، نیازمند مدیریتی کاملا هوشمند و مبتنی بر فناوری است.

+ ابوالقاسم حقایقی مقدم: فناوری حلقه واسط میان پژوهش و عرصه تولید است. ساختار سنتی پژوهش در بخش کشاورزی اگرچه ظرفیت علمی بالایی ایجاد کرده، اما سرعت پاسخ‌گویی آن به مسائل روز بخش تولید محدود است. کشاورز و تولیدکننده انتظار دارد مشکل او در کوتاه‌ترین زمان ممکن حل شود، درحالی‌که فرایندهای رسمی پژوهشی معمولا زمان‌بر هستند. در چنین شرایطی، شرکت‌های فناور و دانش‌بنیان می‌توانند یافته‌های علمی را سریع‌تر به محصول، خدمت یا راهکار اجرایی تبدیل کنند. توسعه فناوری در کشور از اوایل دهه ۱۳۸۰ به‌صورت جدی مورد توجه قرار گرفت و در بخش کشاورزی نیز از اوایل دهه ۱۳۹۰ این رویکرد وارد مرحله اجرایی شد. شکل‌گیری مراکز رشد تخصصی کشاورزی و سپس ایجاد «دهکده‌های فناوری و نوآوری» بخشی از تلاش برای نزدیک کردن تحقیقات دانشگاهی و نیازهای واقعی بخش کشاورزی بوده است. در این چارچوب، دانشگاه و مراکز تحقیقاتی تنها محل تولید دانش تلقی نمی‌شوند، بلکه نقش

آن‌ها در تجاری‌سازی علم و ایجاد ارزش اقتصادی نیز پررنگ شده است.

+ وحید اردکانیان: فناوری و اتوماسیون در مزارع بزرگ‌مقیاس نه‌تنها مفید بلکه ضروری است. در مجموعه‌های وسیع کشاورزی، نظارت انسانی مستقیم بر تمام عملیات عملا غیرممکن بوده و بدون استفاده از سامانه‌های پایش، سنسورها، و اتوماسیون، راندمان تولید به‌شدت کاهش می‌یابد. در مزارع بزرگ، به‌ویژه مجموعه‌های دولتی یا شبه‌دولتی، ضعف نظارت، نبود انگیزه عملکردی، و ناکارآمدی ساختار مدیریتی سبب می‌شود بهره‌وری پایین باقی بماند. در چنین شرایطی، اتوماسیون و سامانه‌های هوشمند می‌توانند بخشی از ضعف‌های مدیریتی را جبران کنند. بااین‌حال، در مزارع کوچک‌مقیاس، به دلیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و محدودیت‌های اقتصادی کشاورزان، توجیه اقتصادی بسیاری از فناوری‌های پیشرفته هنوز محدود است.

ب) تجارب و ظرفیت های برجسته ملی و بین المللی در کاربرد فناوری:

+ کامران داوری: امروزه در دنیا ابزارهایی ابداع می شوند که تنها مربوط به دانشگاه‌ها نیستند. در دنیا دانشگاه‌ها در مسیر اقتصاد عمل می‌کنند اگر جز این باشند حذف می‌شوند. با این وصف در سطح بین‌المللی دانشگاه‌ها فعالیت‌هایی را انجام می‌دهند که در عمل کاربرد، سرمایه گذار و خریدار داشته باشند. در عصر امروز توسعه ابزارهای هوش مصنوعی ابزاری مختص دانشگاه‌ها نیست بلکه در واقع در خدمت سیاست‌گذاران است تا در فرآیند تصمیم‌گیری به اندوخته‌ای از دانش و تجربه بشریت دسترسی داشته باشند. امروز نرم‌افزار به کاربر بینشی می‌دهد که بتواند با هزینه‌ای کمتر سناریوهای مختلف مربوط به آینده را بررسی کند.

دره تنسی در می‌سی‌سی‌پی آمریکا یکی از مصادیق کاربرد فناوری در برنامه‌ریزی آب است. از سال‌ها قبل سامانه‌هایی را راه‌اندازی کرده‌اند که با برآورد مستمر منابع و مصارف، در مورد تخصیص آب تصمیم‌گیری می‌کنند. در استرالیا سازوکار بازار آب مبتنی بر ابزارهای متعدد فناورانه است. در اروپا و آسیا نیز چنین است.

در ایران اگرچه از ظرفیت‌های علمی بسیار خوبی برخوردار هستیم اما در مدیریت آب در ایران سازوکارهایی که در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته وجود ندارد. مداخلات دولتی موجب شده عملا امکان استفاده از فناوری‌های نرم وجود نداشته باشد. در شرایط وجود داده‌های غلط یا فقدان داده‌های پایه نمی‌توان انتظار داشت فناوری مشکلی را حل کند. ما در ایران در سطوح کلان معمولا از فناوری‌ها استفاده نادرست داریم و این باعث شده عملا کاربرد فناوری موجب تحولی اساسی نشود. فساد اداری، اقتصاد ناسالم و همچنین مرکزگرایی دولتی از جمله مهمترین عوامل در بروز این وضعیت هستند.

+ محمود ارجمند: از جمله ابزارهای مورد استفاده می‌توان به نرم‌افزارهای مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مانند GMS و MODFLOWاشاره کرد که برای شبیه‌سازی رفتار آبخوان‌ها کاربرد دارند. همچنین در حوزه آزمون‌های پمپاژ، نرم‌افزارهای تخصصی تحلیل تست پمپاژ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علاوه‌براین، بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور و داده‌های دورسنجی نیز بخش مهمی از ابزارهای فناورانه است که در این حوزه به کار گرفته می‌شود.

یکی از مهمترین دستاوردهای این دوره، توسعه سامانه «سیماب» است. این سامانه شامل یک اپلیکیشن میدانی و یک بانک اطلاعاتی مرکزی بوده و هدف اصلی آن ثبت، پایش و صحت‌سنجی داده‌های برداشت شده در بازدیدهای میدانی است. داده‌ها پس از ثبت توسط کارشناسان، به‌صورت برخط در سامانه نمایش داده شده و پس از کنترل کیفیت، به بانک اطلاعاتی ملی منتقل می‌شوند. این فرآیند موجب کاهش خطاهای انسانی و افزایش سرعت تبادل داده در سطح ملی شده است.

از دیگر تجربه‌های مهم، توسعه سامانه محاسبات هوشیار بیلان منابع آب است. این سامانه با هدف محاسبه سالانه تراز آب‌های زیرزمینی طراحی شده و جایگزینی برای روش‌های سنتی و پنج‌ساله گذشته محسوب می‌شود. در روش سنتی، جمع‌آوری داده‌ها، انتخاب مشاور، تامین اعتبار و پردازش اطلاعات زمان‌بر بود، درحالی‌که در سیستم جدید، داده‌های موجود به‌صورت یکپارچه پردازش شده و خروجی‌های سالانه در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف تولید می‌شود. این تحول باعث افزایش دقت، کاهش وابستگی به فرآیندهای اداری و تسهیل تصمیم‌گیری سریع‌تر در شرایط تغییرات اقلیمی شده است.

در حوزه آب‌های سطحی نیز استفاده از سامانه‌های ارتباطی بین داده‌های روزانه و روابط دبی-اشل مورد اشاره قرار گرفته است. همچنین زیرساخت‌های بانک اطلاعاتی در سطح استان خراسان عمدتا بر پایه سیستم‌های Oracle و در برخی موارد Microsoft Access شکل گرفته‌اند که وظیفه ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های نهایی را بر عهده دارند.

در بخش نوآوری‌های پژوهشی، به توسعه سامانه‌های مبتنی بر Google Earth Engine برای پایش پوشش برف باید اشاره کرد. این سامانه‌ها با هدف حذف فرآیندهای دستی و زمان‌بر طراحی شده‌اند و به‌صورت خودکار تصاویر ماهواره‌ای را فراخوانی، پردازش و تحلیل می‌کنند. این موضوع نمونه‌ای از حرکت به سمت اتوماسیون کامل در تحلیل‌های منابع آب محسوب می‌شود.

همچنین یکی از نوآوری‌های مهم عملیاتی، طراحی و ساخت دستگاه نمونه‌گیر باران با قابلیت جلوگیری از تبخیر است. این دستگاه با هدف حفظ ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های بارش طراحی شده و امکان تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای هیدرولوژیکی را فراهم می‌کند. این فناوری با هزینه‌ای بسیار کمتر از

نمونه‌های خارجی ساخته شده و در حال حاضر در برخی پروژه‌های منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

+ غلامرضا کلایی: شبکه آب مشهد دارای حدود شش هزار کیلومتر خطوط توزیع است و کنترل چنین شبکه‌ای به روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل، شرکت آب و فاضلاب مشهد طی سال‌های گذشته به سمت توسعه سامانه‌های هوشیار پایش و کنترل حرکت کرده است. این سامانه‌ها با دریافت لحظه‌ای داده‌ها از نقاط مختلف شبکه، امکان تصمیم‌گیری سریع درباره تنظیم فشار، انتقال آب، مدیریت مخازن و توزیع عادلانه آب را فراهم می‌کنند. استفاده از این فناوری‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در جلوگیری از جیره‌بندی آب در سال‌های اخیر داشته است؛ به‌گونه‌ای که در شرایط تنش شدید آبی، برخلاف دهه هشتاد، شهر مشهد بدون قطعی گسترده آب مدیریت شده است.

شرکت آب و فاضلاب مشهد با استفاده از داده‌کاوی و تحلیل داده‌های تاریخی، الگوهای مصرف آب را در شرایط مختلف پیش‌بینی می‌کند. این موضوع به‌ویژه در شهری مانند مشهد که در ایام مذهبی و مناسبت‌های خاص با افزایش ناگهانی جمعیت مواجه می‌شود، اهمیت فراوانی دارد. ترکیب داده‌های مربوط به مصرف، شرایط اقلیمی، زمان اوج سفرهای زیارتی و ظرفیت منابع آبی، امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر و مدیریت بهینه شبکه را فراهم کرده است.

همچنین در سال‌های اخیر، برنامه‌هایی در زمینه جانشین‌پروری، شناسایی استعدادها و توانمندسازی کارکنان اجرا شده تا افراد در جایگاه‌های متناسب با توانایی‌های خود قرار گیرند. موفقیت فناوری زمانی حاصل می‌شود که سازمان بتواند میان زیرساخت‌های فنی و منابع انسانی متخصص ارتباط مؤثر ایجاد کند.

+ ابوالقاسم حقایقی مقدم: مهمترین ظرفیت کشور در حوزه فناوری، نیروی انسانی تحصیل‌کرده است. توسعه آموزش عالی در دهه‌های اخیر باعث شده تعداد زیادی فارغ‌التحصیل در رشته‌های مختلف کشاورزی و علوم مرتبط وارد بازار کار شوند. و محدودیت فرصت‌های شغلی دولتی بسیاری از جوانان را به سمت فعالیت‌های فناورانه و کارآفرینی سوق داده است.

بر اساس تجربیات این مرکز، ظرفیت‌های فناورانه در طیف وسیعی از حوزه‌ها شکل گرفته‌اند؛ از تولید بذر، کود و نهاده‌های زیستی گرفته تا ماشین‌آلات کشاورزی، صنایع غذایی، خوراک دام و طیور، فناوری‌های مرتبط با آب کشاورزی و سامانه‌های هوشیار. بخش مهمی از نوآوری‌های جدید در حوزه کودهای زیستی، نانوکودها و روش‌های غیرشیمیایی کنترل آفات، توسط شرکت‌های دانش‌بنیان توسعه یافته‌اند. در حوزه دام و طیور نیز شرکت‌های فناور توانسته‌اند راهکارهایی برای کاهش مصرف خوراک، افزایش بهره‌وری و استفاده از ضایعات کشاورزی ارائه کنند. همچنین در زمینه مکانیزاسیون، ماشین‌آلات نوین کاشت، داشت و برداشت و فناوری‌های پس از برداشت، نمونه‌های موفقی از محصولات بومی در استان و کشور شکل گرفته است.

+ وحید اردکانیان: روند توسعه فناوری در مزرعه خود را از ارتقای تدریجی سامانه‌های آبیاری آغاز کرده‌ام. ابتدا آبیاری بارانی در مزرعه اجرا شد و سپس با وجود تردیدهای رایج درباره کارایی آبیاری قطره‌ای در باغ پسته، این سیستم در باغ‌ها پیاده‌سازی شد. در ادامه، با توسعه باغات جدید، سامانه‌های آبیاری به‌صورت کامل با طراحی نوین اجرا و طی سال‌های اخیر بخش عمده‌ای از باغ‌ها به آبیاری زیرسطحی تبدیل شده‌اند.

اتوماسیون آبیاری در دو سطح کاربرد دارد: نخست، تجهیز زیرساخت‌ها و سامانه‌ها برای افزایش راندمان توزیع و مصرف آب؛ و دوم، دستیابی به مدیریت هوشمند آبیاری بر مبنای داده‌های اقلیمی و سنجش رطوبت خاک، به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیری در خصوص زمان و میزان آبیاری به‌صورت خودکار انجام شود. مزرعه فعلی در مرحله نخست قرار دارد؛ بدین معنا که زیرساخت‌های لازم برای هوشمندسازی فراهم شده اما تصمیم نهایی درباره برنامه آبیاری هنوز توسط مدیر مزرعه اتخاذ می‌شود.

یکی از مهمترین نوآوری‌های اجراشده در این مجموعه، طراحی و پیاده‌سازی سامانه پیشرفته تزریق کود و تغذیه هوشیار است. پس از تجربه‌های متعدد و ناموفق در استفاده از پمپ‌های تزریق متداول، نهایتا یک سامانه تغذیه قابل برنامه‌ریزی مبتنی بر PLC با همکاری یک شرکت داخلی بومی‌سازی و برای استفاده در مقیاس باغ اصلاح شد. این سامانه شامل چندین مخزن ذخیره کود و قابلیت برنامه‌ریزی دقیق برای نوع کود، زمان تزریق، دبی تزریق، مدت تزریق و ترتیب اختلاط کودها است. از طریق این سیستم، کودهای مختلف می‌توانند بدون ایجاد رسوب یا تداخل شیمیایی در زمان‌های از پیش تعیین شده وارد شبکه آبیاری شوند. همچنین این سامانه قابلیت کنترل از راه دور را دارد و مدیر مزرعه می‌تواند از طریق تلفن همراه یا اینترنت عملکرد سیستم را پایش و اصلاح کند.

اگرچه آبیاری زیرسطحی در ادبیات فنی به‌عنوان یکی از روش‌های پیشرفته کاهش تبخیر و افزایش بهره‌وری آب معرفی می‌شود، تجربه عملی من نشان می‌دهد که موفقیت این فناوری به‌شدت وابسته به شرایط خاک و مدیریت بهره‌برداری است. در خاک‌های با بافت شنی، آبیاری زیرسطحی نتایج مورد انتظار را به‌طور کامل محقق نکرده و حتی در برخی شرایط با مشکلاتی مانند اتلاف عمقی آب، محدود شدن توسعه افقی رطوبت و کاهش انعطاف مدیریتی همراه بوده است. بسیاری از برآوردهای ارائه‌شده در منابع علمی درباره صرفه‌جویی آب ناشی از آبیاری زیرسطحی، در عمل برای همه شرایط قابل تعمیم نیست و اجرای این فناوری بدون تحلیل دقیق ویژگی‌های خاک می‌تواند منجر به نتایج نامطلوب شود. استفاده موفق از این سیستم نیازمند پایش

مداوم رطوبت خاک، حفاری‌های دوره‌ای برای ارزیابی توزیع رطوبت و تنظیم مستمر برنامه آبیاری است.
علاوه بر سامانه‌های آبیاری، به سمت دیجیتالی‌سازی سایر بخش‌های مدیریت مزرعه نیز حرکت کرده‌ام. از جمله این اقدامات می‌توان به نصب سامانه‌های GPS بر روی ماشین‌آلات، ثبت دیجیتال عملیات مزرعه، پایش عملکرد کارگران، و مستندسازی دقیق مصرف نهاده‌ها اشاره کرد.
امروز فناوری در کشورهای توسعه یافته پیشرفت قابل توجهی داشته است اما به عنوان یک تجربه بین‌المللی که توجهم را به خود جلب کرد، در سال‌های قبل هنگام بازدید از مجموعه کشاورزی یک باغدار ایرانی در ایالت کالیفرنیا با گروهی از کارشناسان مواجه شدم که به مزرعه مراجعه کرده و متغیرهای مختلفی را در بازه‌های زمانی مشخصی اندازه‌گیری می‌کردند تا بتوانند مبتنی بر این داده ها مشاوره‌های فنی به مدیر مزرعه ارائه کنند.

ج) مسائل و چالش های کاربرد و توسعه فناوری در ایران:

+ کامران داوری: یکی از نکات مهم ضرورت پیوند بین فناوری و اقتصاد است. به‌عنوان‌مثال در بخش کشاورزی الگوی کشت، قیمت‌گذاری محصولات و سیاست‌های حمایتی باید به گونه‌ای طراحی شوند که انگیزه اقتصادی کشاورزان با اهداف کلان کشور همسو شود. در غیر این صورت، تصمیم‌گیری‌ها به سطح اجرایی منتقل نمی‌شوند و فاصله میان سیاست و عمل باقی می‌ماند. در سطح بین‌المللی نیز تجربه نشان می‌دهد که فناوری در کشاورزی و مدیریت آب به شدت در خدمت اقتصاد و بازار کار قرار دارد. در بسیاری از کشورها، مسیر آموزش و انتخاب رشته‌های دانشگاهی تحت تأثیر مستقیم بازار کار و شاخص‌های اقتصادی هدایت می‌شود. همچنین، ارتباط میان دانشگاه، صنعت و نهادهای سیاست‌گذار باعث می‌شود که تولید دانش در راستای نیازهای واقعی اقتصاد شکل بگیرد. در مقابل، ضعف این ارتباط می‌تواند منجر به عدم تطابق میان آموزش، فناوری و نیازهای اجرایی شود.
در مجموع، فناوری در مدیریت آب نه یک ابزار مستقل، بلکه بخشی از یک نظام چندسطحی حکمرانی است که از مزرعه تا سیاست‌گذاری ملی امتداد دارد. اثربخشی آن وابسته به هماهنگی میان داده، تصمیم، اقتصاد و ساختارهای نهادی است. بدون این هماهنگی، حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌ها نیز قادر به ایجاد تحول پایدار در مدیریت منابع آب نخواهند بود.
+ محمود ارجمند: چالش‌های متعددی در مسیر توسعه فناوری در بخش آب مطرح است. مهمترین این چالش‌ها شامل مقاومت فرهنگی در برابر فناوری، کمبود اعتبارات پایدار، تمرکزگرایی در تصمیم‌گیری‌های ملی، محدودیت در واردات تجهیزات پیشرفته، و مشکلات مربوط به نگهداری و امنیت سامانه‌ها است. بخشی از بدنامی فناوری در کشور ناشی از استفاده نادرست از داده‌ها و نبود ساختار صحیح در مدیریت اطلاعات است.
+ غلامرضا کلایی: به دلیل حساسیت زیرساخت‌های آب و ملاحظات امنیتی، اتکا به نرم‌افزارها و تجهیزات خارجی همواره با محدودیت‌هایی همراه بوده است. به همین دلیل، شرکت آب و فاضلاب مشهد طی سال‌های اخیر تلاش کرده بخشی از تجهیزات و سامانه‌های مورد نیاز خود را در داخل کشور توسعه دهد. برخی تجهیزات حوزه تله‌متری و اسکادا که پیش‌تر وابسته به شرکت‌های خارجی بودند، اکنون با همکاری بخش‌های تحقیقاتی و فناورانه در داخل کشور تولید یا بومی‌سازی شده‌اند. حتی برخی قطعات و ابزارهای دقیق نیز هم اکنون در داخل کشور به صورت بومی تولید می‌شود.
+ ابوالقاسم حقایقی مقدم: در کنار کشاورزان پیشرو که عملکردی در سطح استانداردهای جهانی دارند، تعداد زیادی از بهره‌برداران همچنان با روش‌های بسیار سنتی فعالیت می‌کنند. این فاصله که در ادبیات علمی با عنوان «شکاف عملکرد» شناخته می‌شود، در برخی محصولات به دو تا سه برابر و حتی بیشتر می‌رسد. به‌عنوان‌مثال، درحالی‌که برخی کشاورزان استان خراسان رضوی تا ۱۴ تن گندم در هکتار برداشت می‌کنند، برخی دیگر تنها یک تا دو تن تولید دارند. مشکل اصلی صرفا نبود فناوری نیست، بلکه دشواری نفوذ و گسترش آن در بدنه کشاورزی کشور است. شرکت‌های فناور برای توسعه بازار، جذب سرمایه، دریافت مجوز و حتی تأمین نیروی انسانی متخصص با مشکلات متعددی مواجه هستند. بخش مهمی از مشکلات حوزه فناوری به ساختارهای اداری و مقرراتی بازمی‌گردد. تولید هر محصول فناورانه در کشاورزی نیازمند دریافت مجوزهای متعدد از نهادهای مختلف است؛ از مؤسسات ثبت و گواهی بذر گرفته تا سازمان حفظ نباتات، مؤسسات خاک و آب، سازمان دامپزشکی و سازمان غذا و دارو. مسئله اصلی این است که بسیاری از این ساختارها همچنان با منطق و استانداردهای سنتی عمل می‌کنند و شناخت کافی نسبت به فناوری‌های جدید ندارند. در نتیجه، محصولات نوآورانه با مقاومت‌های اداری و فرایندهای طولانی مواجه می‌شوند. چالش دیگر ضعف ارتباط میان دانشگاه، صنعت و زیست‌بوم فناوری است. ارتباط دانشگاه با بخش خصوصی بیشتر به رویدادهای مقطعی محدود شده و فرآیند مستمر کشف استعداد و هدایت نیروی انسانی شکل نگرفته است. در نتیجه، بخشی از فارغ‌التحصیلان مستعد به حوزه‌هایی کاملا نامرتبط می روند و ظرفیت انسانی بخش کشاورزی هدر می‌رود.
+ وحید اردکانیان: مهم‌ترین چالش در بهره‌برداری کامل از این فناوری ها و سامانه‌های نرم افزاری در کشاورزی را می توان دشواری ثبت مستمر و دقیق داده‌ها دانست. حتی پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای مدیریتی نیز بدون نیروی انسانی متخصص برای ورود و ثبت داده‌ها کارایی لازم را ندارند.
همچنین مواردی همچون دسترسی محدود به تجهیزات و فناوری‌های روز دنیا به دلیل موانع وارداتی و تحریم‌ها، ضعف

تولید داخلی در تامین تجهیزات تخصصی و باکیفیت، نبود خدمات پس از فروش و پشتیبانی فنی مناسب، هزینه پایین نسبی نیروی کار که انگیزه سرمایه‌گذاری در فناوری را کاهش می‌دهد، ضعف نظام ترویج و انتقال دانش و ساختارهای ناکارآمد نهادی و مدیریتی در بخش کشاورزی از جمله موانع و چالش‌ها در حوزه کاربرد فناوری‌ها در مدیریت آب کشاورزی است.

د) بایدها و راهکارها در بهبود زیست بوم فناورانه در مدیریت آب در ایران:

+ کامران داوری: علاوه بر آن‌چه در پاسخ به سوالات قبل مطرح شد، باید توجه قانون‌گذاران به موضوع حکمرانی و فناوری‌های آب جلب شود. برخی قوانین قدیمی و زاید هستند و برخی قوانین نیازمند تصویب هستند. در مجموعه وزارت نیرو انتخاب مدیران باید مبتنی بر شاخص‌های بهبود و ملزومات اکوسیستم باشد. این مهم باعث می‌شود مدیران در تلاش برای به‌کارگیری دانش روز و فناوری‌های کارآمد باشند.

+ محمود ارجمند: در حوزه آینده‌پژوهی و کاربرد هوش مصنوعی، طراحی سیستم‌های هوشیار در مدیریت منابع انسانی و حوزه حفاظت اهمیت دارد. این سیستم‌ها قادر خواهند بود فرآیندهایی مانند تحلیل پرونده‌های اداری، تشخیص نیازهای ارباب‌رجوع، ارائه راهنمایی حقوقی اولیه و حتی پیش‌بینی تعارضات و مشکلات احتمالی در حوزه حفاظت منابع آب را انجام دهند. هدف اصلی این سامانه‌ها کاهش بار کاری کارشناسان، افزایش سرعت پاسخگویی و بهبود رضایت مراجعان است.

فناوری حلقه مفقوده مدیریت منابع آب است و بدون توسعه سامانه‌های هوشمند، تصمیم‌گیری دقیق و پایدار در این حوزه امکان‌پذیر نیست. موفقیت فناوری وابسته به تغییر فرهنگ سازمانی، آموزش مستمر، تمرکززدایی از ساختارهای اجرایی و ایجاد بسترهای آزمایشی برای پذیرش تدریجی نوآوری‌ها است.

+ ابوالقاسم حقایقی مقدم: آینده فناوری کشاورزی وابسته به تغییر نگرش مدیریتی و تسهیل مشارکت بخش خصوصی است. اگر زیرساخت‌های لازم برای استقرار بلندمدت شرکت‌های فناور فراهم شود، می‌توان تحول بزرگی در فناوری کشاورزی کشور ایجاد کرد. این شرکت‌ها برای سرمایه‌گذاری و توسعه نیازمند امنیت و ثبات هستند و بدون دسترسی به فضاهای پایدار، امکان رشد بلندمدت ندارند. همچنین سهم شرکت‌های دانش‌بنیان کشاورزی با جایگاه واقعی این بخش در اقتصاد کشور تناسب ندارد. در حالی که کشاورزی سهم قابل‌توجهی در اشتغال و تولید ناخالص داخلی دارد، تنها حدود پنج تا شش درصد شرکت‌های دانش‌بنیان کشور در این حوزه فعال‌اند. از این رو، توسعه فناوری کشاورزی نیازمند حمایت جدی‌تر، تسهیل مقررات، تقویت ارتباط دانشگاه و صنعت، و اعتماد بیشتر به ظرفیت بخش خصوصی و جوانان فناور است.

بخش چهارم: نتیجه‌گیری

این گزارش نشان می‌دهد که فناوری در مدیریت منابع و مصارف آب را نمی‌توان به مجموعه‌ای از تجهیزات، نرم‌افزارها یا سامانه‌های فنی تقلیل داد. در چارچوب این مطالعه، فناوری زمانی واجد ارزش مدیریتی است که بتواند فاصله میان «شناخت مسئله» و «تصمیم مؤثر» را کاهش دهد و تصمیم را به اقدام، ارزیابی و یادگیری مستمر متصل کند. از این منظر، فناوری بخشی از ظرفیت حکمرانی آب است؛ ظرفیتی که از سطح تولید و اعتبارسنجی داده تا تحلیل، تصمیم‌سازی، تخصیص، نظارت و اصلاح سیاست امتداد می‌یابد. شواهد بررسی‌شده در تجربه‌های بین‌المللی و وضعیت ایران نشان می‌دهد که مسئله اصلی کشور بیش از آنکه فقدان دانش یا ابزار فناورانه باشد، ضعف در تبدیل ظرفیت فناورانه موجود به یک فرایند منسجم و پاسخگو برای تصمیم‌گیری آب است.

در سطح منابع، مهمترین ارزش فناوری در افزایش قابلیت مشاهده و فهم‌پذیری سیستم آب است. پایش پیوسته منابع سطحی و زیرزمینی، یکپارچه‌سازی داده‌های بارش، جریان، برداشت و کیفیت، محاسبه منظم تراز منابع و استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، امکان عبور از مدیریت مبتنی بر برآوردهای مقطعی به مدیریت مبتنی بر شواهد را فراهم می‌کند. تجربه‌های مطرح شده در گزارش، از توسعه سامانه‌های ثبت و صحت‌سنجی داده و محاسبه هوشمند تراز آب زیرزمینی تا کاربرد داده‌های برخط در مدیریت شبکه شهری، مؤید همین تغییر است. بااین‌حال، این تحول تنها در صورتی پایدار خواهد بود که داده از یک محصول فنی به یک دارایی حکمرانی تبدیل شود؛ یعنی استاندارد تولید و اعتبارسنجی آن روشن باشد، مسئولیت مالکیت و به‌روزرسانی مشخص شود، دسترسی به داده‌های مورد نیاز نهادهای تصمیم‌گیر امکان‌پذیر باشد و خروجی آن در تصمیم‌های تخصیصی و نظارتی به‌طور واقعی مورد استفاده قرار گیرد.

در سمت مصارف نیز یافته‌های گزارش بر ضرورت عبور از برداشت «فناوری = افزایش راندمان فنی» تأکید دارد. آبیاری هوشمند، سنجش وضعیت مزرعه، مدیریت داده‌محور، بازچرخانی پساب، کاهش هدررفت شبکه و سایر راهکارهای فناورانه زمانی به پایداری منابع کمک می‌کنند که در چارچوب تراز آب و قواعد تخصیص قرار گیرند. افزایش بهره‌وری در واحد مصرف‌کننده، اگر بدون کنترل سقف برداشت و بدون اصلاح انگیزه‌های اقتصادی رخ دهد، لزوماً به کاهش فشار بر منابع منجر نمی‌شود. بنابراین فناوری باید با سیاست‌های الگوی کشت، حقوق و سهم آب، قیمت‌گذاری، مشوق‌ها، محدودیت برداشت و شاخص‌های عملکرد حوضه‌ای پیوند داشته باشد. این نکته یکی از مهمترین تفاوت‌های میان «کاربرد فناوری در سطح کاربر» و «کاربرد فناوری در حکمرانی آب» است.

یکی از یافته‌های اساسی گزارش، وجود فاصله میان ظرفیت علمی و فناورانه کشور و میزان نفوذ آن در فرایندهای واقعی مدیریت آب است. در ایران نمونه‌های موفقی از پایش برخط، تله‌متری، مدل‌سازی، سنجش از دور، بومی‌سازی سامانه‌ها، مدیریت هوشمند شبکه و فناوری‌های نوین کشاورزی وجود دارد؛ اما این تجربه‌ها هنوز در بسیاری موارد به یک نظام یکپارچه و مقیاس‌پذیر تبدیل نشده‌اند. شکاف میان نمونه‌های پیشرو و بدنه اصلی بخش آب و کشاورزی، ضعف نظام ترویج و انتقال دانش، فرایندهای اداری طولانی، فاصله میان دانشگاه و بخش اجرا و ضعف سازوکارهای تجاری‌سازی و سرمایه‌گذاری بلندمدت، از عواملی هستند که مانع انتشار فناوری می‌شوند. بنابراین سیاست فناوری آب باید از حمایت صرف از «محصول فناورانه» به سمت حمایت از «حل مسئله» تغییر جهت دهد؛ یعنی معیار حمایت، میزان اثرگذاری بر یک مسئله مشخص منابع یا مصارف آب و قابلیت استقرار و تکرارپذیری آن باشد.

در همین راستا، تجربه‌های بین‌المللی بررسی شده یک پیام مشترک دارند: فناوری موفق معمولاً در دل یک آرایش نهادی مناسب شکل گرفته است. در مدیریت آب زیرزمینی، پایش و مدل‌سازی زمانی اثرگذارند که با قواعد برداشت و سازوکارهای الزام‌آور مدیریت آبخوان همراه باشند؛ بازار آب زمانی می‌تواند به تخصیص انعطاف‌پذیر کمک کند که حقوق آب روشن، نظام پایش معتبر و تنظیم‌گری مؤثر وجود داشته باشد؛ مدیریت سیلاب با راهکارهای سازگار با طبیعت زمانی موفق است که برنامه‌ریزی فضایی و سیاست‌های کاربری زمین با آن هماهنگ باشند؛ و بازچرخانی آب زمانی می‌تواند بخشی از امنیت آبی باشد که استانداردهای کیفی، اعتماد عمومی و چارچوب حقوقی روشن وجود داشته باشد. بنابراین آنچه برای ایران قابل اقتباس است، پیش از هر چیز منطق نهادی و مدیریتی این تجربه‌هاست، نه نسخه فنی آن‌ها.

در شرایط ایران، اهمیت این موضوع به دلیل ساختار پیچیده و شکننده منابع آب دوچندان است. اتکای قابل‌توجه به آبخوان‌ها، نوسان زیاد زمانی و مکانی بارش، تداوم فشار بر منابع، رقابت میان مصارف و تشدید عدم‌قطعیت اقلیمی، نیازمند ساوزکاری است که بتواند به‌صورت مستمر وضعیت منابع و مصارف را بسنجد، پیامد تصمیم‌ها را پیش‌بینی کند و در صورت تغییر شرایط، سیاست‌ها را اصلاح نماید. چنین نظامی بدون فناوری‌های مناسب امکان‌پذیر نیست، اما فناوری نیز بدون اصلاح قواعد تصمیم‌گیری، شفافیت داده، پاسخگویی نهادی و سازوکارهای اقتصادی هم‌راستا با اهداف

حفاظت از منابع، اثر پایدار ایجاد نخواهد کرد. از این منظر، چالش اصلی ایران را باید نه «فناوری‌گریزی»، بلکه «گسست میان فناوری و حکمرانی» دانست.

براین‌اساس، نخستین اولویت برای توسعه فناوری در مدیریت آب کشور، بازنگری در معماری تصمیم‌گیری و قوانین و مقررات مرتبط با آب است. فناوری باید در نقاطی مستقر شود که بیشترین ارزش تصمیم‌سازی را ایجاد می‌کنند و از تحمیل راهکارهای فناورانه در سطوحی که مسئله اصلی آن‌ها نهادی یا اقتصادی است پرهیز شود. دومین اولویت، ایجاد یک نظام داده‌ای معتبر و یکپارچه برای منابع و مصارف آب است؛ نظامی که داده‌های پایه را استاندارد، قابل ردیابی و قابل استفاده برای سیاست‌گذاری و مدیریت محلی کند. سومین اولویت، پیوند دادن سیاست فناوری با اقتصاد آب است؛ به‌گونه‌ای که قیمت‌ها، یارانه‌ها، الگوی کشت و مشوق‌های سرمایه‌گذاری، رفتار مصرف‌کننده را با اهداف بهره‌وری و حفاظت از منابع هم‌راستا کنند. چهارمین اولویت، تقویت پیوند پایدار دانشگاه، شرکت‌های فناور، بخش خصوصی و دستگاه‌های اجرایی و اصلاح فرایندهای مجوزدهی و خرید دولتی برای پذیرش نوآوری است. پنجمین اولویت، توسعه ظرفیت انسانی و مدیریتی است؛ زیرا حتی پیشرفته‌ترین فناوری بدون مدیر و کارشناس قادر به تبدیل داده به تصمیم نیست.

همچنین لازم است تمرکز سیاست‌گذاری فناوری از «تجهیزمحوری» به «مسئله‌محوری» تغییر کند. در این رویکرد، پیش از انتخاب فناوری باید مسئله، مقیاس اثرگذاری، داده مورد نیاز، گزینه‌های جایگزین، هزینه چرخه عمر، پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی، الزامات نهادی و شاخص سنجش موفقیت مشخص شود. این رویکرد به‌ویژه در شرایط محدودیت منابع مالی و دسترسی بین‌المللی اهمیت دارد؛ زیرا منابع محدود باید به فناوری‌هایی اختصاص یابد که یک گلوگاه واقعی در مدیریت آب را برطرف می‌کنند. بومی‌سازی نیز در همین چارچوب باید به معنای ایجاد ظرفیت حل مسئله و نگهداری و توسعه مستمر باشد، نه صرفاً جایگزینی یک تجهیز وارداتی با نمونه داخلی.

در نهایت، مهمترین نتیجه این کنکاش آن است که آینده فناوری آب در ایران بیش از آنکه به میزان خرید یا تولید تجهیزات وابسته باشد، به کیفیت حکمرانی و خردورزی در انتخاب و به‌کارگیری فناوری وابسته است. ایران از ظرفیت علمی، انسانی و تجربی قابل‌توجهی برای حرکت به سمت مدیریت داده‌محور و تطبیقی آب برخوردار است؛ اما بهره‌گیری از این ظرفیت مستلزم آن است که فناوری از حاشیه پروژه‌های اجرایی به متن فرایند سیاست‌گذاری و مدیریت منتقل شود. فناوری باید به مدیر کمک کند مسئله را دقیق‌تر ببیند، گزینه‌ها را واقع‌بینانه‌تر مقایسه کند، پیامد تصمیم را پیش‌بینی کند، عملکرد را بسنجد و در زمان مناسب تصمیم خود را اصلاح کند. اگر این زنجیره شکل نگیرد، حتی فناوری‌های پیشرفته نیز ممکن است صرفاً به تولید داده، افزایش هزینه و اجرای پروژه‌های منفرد منجر شوند. اما اگر فناوری در بستر حکمرانی شفاف، داده معتبر، اقتصاد سازگار با حفاظت از منابع، مسئولیت‌پذیری نهادی و مشارکت ذی‌نفعان قرار گیرد، می‌تواند از یک ابزار فنی به یکی از پایه‌های تحول در مدیریت منابع و مصارف آب کشور تبدیل شود.

برای تکمیل جمع‌بندی، یافته‌های راهنمای FAO-IWMI یک نکته مهم دیگر را به بحث حاضر اضافه می‌کند: موفقیت فناوری را باید در «عملکرد سامانه» جست‌وجو کرد، نه در میزان ورود تجهیزات. این راهنما بر این اساس، عملکرد پایین برخی سامانه‌های آبیاری را به ترکیبی از ضعف بهره‌برداری و نگهداری، کمبود ظرفیت فنی و ضعف ترتیبات نهادی نسبت می‌دهد و پیشنهاد می‌کند سیاست‌ها از تمرکز محدود بر تحویل زیرساخت به سمت مدیریت عملکردمحور و ظرفیت‌محور حرکت کنند (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶). این نتیجه با یکی از محورهای اصلی کنکاش، یعنی ضرورت عبور از تجهیزمحوری به مسئله‌محوری، هم‌خوان است.

از منظر این گزارش، می‌توان یک معیار سه لایه برای سنجش ارزش مدیریتی فناوری پیشنهاد کرد: نخست، آیا فناوری شناخت و کیفیت داده را بهبود داده است؟ دوم، آیا این داده و تحلیل واقعاً کیفیت تصمیم و اجرای آن را ارتقا داده است؟ و سوم، آیا نتیجه در مقیاس منبع یا حوضه به بهبود قابل‌اندازه‌گیری در بهره‌وری، کاهش ریسک یا حفاظت از منابع منجر شده است؟ این تفکیک اهمیت دارد، زیرا ممکن است یک فناوری در سطح واحد مصرف‌کننده موفق باشد، اما اثر آن در مقیاس حوضه به دلیل نبود قواعد برداشت، تغییر الگوی مصرف یا افزایش تقاضا محدود شود. راهنمای IWMI نیز بر ضرورت پیوند فناوری با ظرفیت نهادی، سازوکارهای تأمین مالی، بازار و حکمرانی تأکید می‌کند (Zemadim و همکاران، ۲۰۲۶).

در نهایت، استفاده از تجربه بین‌المللی برای ایران باید از جنس «اقتباس از منطق مدیریتی» باشد، نه انتقال مستقیم تجهیزات یا نسخه‌های فنی. در راهنمای IWMI، حتی انتخاب میان فناوری‌هایی مانند آبیاری قطره‌ای، بارانی، سنترپیوت، سامانه‌های خورشیدی و فناوری‌های هوشمند به شرایط آب، اقلیم، مقیاس، انرژی، ظرفیت انسانی و ترتیبات نهادی وابسته دانسته شده است. بنابراین، برای ایران نیز سیاست فناوری آب باید از نقطه تعریف مسئله آغاز شود و سپس به انتخاب فناوری، طراحی نهادی، تأمین مالی، ظرفیت‌سازی، بهره‌برداری، پایش و ارزیابی برسد. چنین رویکردی احتمال تبدیل پروژه‌های منفرد به ظرفیت‌های پایدار و قابل تکرار را افزایش می‌دهد.

برآیند این شواهد را می‌توان در یک گزاره خلاصه کرد: «فناوری در مدیریت آب زمانی ارزشمند است که بخشی از نظام تصمیم‌گیری باشد.» سخت‌افزار بدون نیروی انسانی و رویه مناسب، داده بدون سازوکار تصمیم، مدل بدون استفاده در سیاست‌گذاری، و بهره‌وری فنی بدون کنترل برداشت، هر

یک می‌توانند تنها بخشی از مسئله را حل کنند. اما هنگامی که داده معتبر، تحلیل، تصمیم، اقدام، نگهداری، پاسخگویی و یادگیری در یک زنجیره نهادی به هم متصل شوند، فناوری از یک ابزار فنی به ظرفیت حکمرانی تبدیل می‌شود. این برداشت، هم با یافته‌های کنکاش درباره ضرورت خردورزی و بازنگری سیاست‌ها سازگار است و هم با چارچوب FAO–IWMIدرباره پیوند میان فناوری، ظرفیت انسانی، عملیات و نگهداری و حکمرانی.

منابع

شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۴۰۱). گزارش‌های سالانه پایش و بهره‌برداری از منابع آب کشور. تهران.

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. (۱۴۰۱). گزارش عملکرد طرح‌های آب و فاضلاب و بازچرخانی پساب. تهران.

سازمان حفاظت محیط‌زیست. (۱۳۹۹). گزارش ملی زیرساخت‌های سبز و مدیریت جامع سیلاب. تهران.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۸). چالش‌های بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران. تهران.

وزارت جهاد کشاورزی. (۱۴۰۰). گزارش توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در کشور. تهران.

Abu Dhabi Media Office. (2023). ADQ and Safe Haven Solutions partner to develop advanced greenhouse facility at AgTech Park. https://www.mediaoffice.abudhabi/en/economy/adq-and-safe-haven-solutions-partner-to-develop-advanced-greenhouse-facility-at-agtech-park/

AgriNext. (2025). Greenhouse technology in the UAE: A sustainable leap forward. https://agrinextcon.com/greenhouse-technology-in-the-uae-a-sustainable-leap-forward/

AgroInvest Spain. (2024). Smart irrigation technologies 2025: The future of sustainable farming in Spain. https://www.agroinvestspain.com/smart-irrigation-technologies-2025-the-future-of-sustainable-farming-in-spain/

Al-Ismaili, A. M., & Jayasuriya, H. (2016). Seawater greenhouse in Oman: A sustainable technique for freshwater conservation and production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 653–664. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.016.

Ali, A., Hussain, T., & Zahid, A. (2025). Smart irrigation technologies and prospects for enhancing water use efficiency for sustainable agriculture. AgriEngineering, 7(4), 106. https://doi.org/10.3390/agriengineering7040106

Australian Government. (2010). Water for the future: National Water Initiative. Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities. https://www.aph.gov.au

Bloomberg. (2026). World's tallest vertical farm opens in Singapore. https://www.bloomberg.com

Bureau of Meteorology (BOM). (2020). National groundwater monitoring program. Government of Australia. https://www.bom.gov.au

California Department of Water Resources. (DWR). (2021). SGMA monitoring and reporting requirements. https://water.ca.gov

California State Water Resources Control Board. (2024). Direct potable reuse regulations. https://www.waterboards.ca.gov/drinking_water/certlic/drinkingwater/dpr-regs.html

Covaliu-Mierlă, C. I., Păunescu, O., & Iovu, H. (2023). Recent advances in membranes used for nanofiltration to remove heavy metals from wastewater: A review. Membranes, 13(7), 643. https://doi.org/10.3390/membranes13070643

CSIRO. (2021). Solar-powered desalination research in Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Melbourne, Australia.

DAFF. (2024). Annual report for the Department of Agriculture, Fisheries and Forestry for the financial year 2024–25. https://www.agriculture.gov.au

EDB Singapore. (2023). Dutch firm's vertical mega farm to produce up to 500 tonnes of leafy greens in Singapore. https://www.edb.gov.sg

European Commission. (2020). The EU Floods Directive: Implementation and results. https://ec.europa.eu

European Commission. (2024). CAP strategic plan – Netherlands. https://agriculture.ec.europa.eu

Fanack Water. (2025). Iran water report. https://water.fanack.com/iran

King County. (۲۰۲۶). Rain gardens and green stormwater infrastructure. https://kingcounty.gov

Koo, K.-M., Han, K.-H., Jun, K.-S., Lee, G., & Yum, K.-T. (2021). Smart water grid living-lab in Korea. Sustainability, 13(9), 5325. https://doi.org/10.3390/su13095325

Lamm, F. R., & Trooien, T. P. (2003). Subsurface drip irrigation for corn production: A review of 10 years of research in Kansas. Applied Engineering in Agriculture, 19(2), 125–131. https://doi.org/10.1007/s00271-003-0085-3

Ludvig Svensson. (2024). Greenhouse technology helps Armela Farms provide fresh greens and reds in the Abu Dhabi desert. Ludvig Svensson.

Martínez-Gimeno, M.A., Jiménez-Bello, M.A., Lidón, A., Manzano-Juárez, J., Badal, E., Pérez-Pérez, J.G., Bonet, L., Intrigliolo, D.S., & Esteban, A. (2020). Mandarin irrigation scheduling by means of frequency domain reflectometry soil moisture monitoring. Agricultural Water Management 235:106151

Montagu, K. D., Thomas, B., Thomas, G., et al. (2006). Understanding Irrigation Decisions: From Enterprise Planning to the Paddock. Irrigation Insights No. 6. Land & Water Australia, Canberra, ACT, Australia.

NDMA. (2019). National disaster management plan. National Disaster Management Authority, Ministry of Home Affairs, Government of India, New Delhi, India.

NOAA. (2023). Deep learning models for flood prediction. National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.noaa.gov

NYC Department of Environmental Protection. (2026). Green infrastructure. https://www.nyc.gov/site/dep/water/green-infrastructure.page

Ramos, H. M., Kuriqi, A., Besharat, M., Creaco, E., Tasca, E., & Iglesias-Rey, P. (2023). Smart water grids and digital twins for system efficiency. Water, 15(6), 1129. https://doi.org/10.3390/w15061129

Rijkswaterstaat. (2016). Room for the River Programme: Safety and spatial quality. Ministry of Infrastructure and the

Federal Ministry for the Environment. (2022). German flood protection programme. Government of Germany. Germany.

GFZ German Research Centre for Geosciences. (2022). AI-based flood forecasting research. https://www.gfz-potsdam.de

Ghomeshi, M. (2023). The main challenges of Iran's water and future prospects. Iranian Water Engineering Research. https://doi.org/10.22034/ijwer.2025.503881.1058

Google Research. (2021). Flood forecasting initiative in India. https://research.google

Grafton, R. Q., Chu, H., & Wheeler, S. A. (2018). Economics of water recovery in the Murray–Darling Basin, Australia. Annual Review of Resource Economics, 10, 487-510.
https://doi.org/abs/10.1029/2018EF000879

Hao, L., Liu, M., Wang, N., & Li, G. (2018). A critical review on arsenic removal from water using iron-based adsorbents. RSC Advances, 8(72), 39545–39560.
https://doi.org/10.1039/C8RA08512A

Hamidifar, H. (2024). Water crisis in Iran: Causes, consequences, and solutions. Springer Nature.

Hortidaily. (2023). JPFA symposium highlights: Vertical farming's future in Japan and beyond. https://www.hortidaily.com/

Hortidaily. (2024). Oman gets smart greenhouse to boost sustainable production. https://www.hortidaily.com/article/9763697/oman-gets-smart-greenhouse-to-boost-sustainable-production/

Husqvarna. (2024). National retailer case study: Water conservation through smart irrigation. Husqvarna Water Management. https://husqvarna-water.com/wp-content/uploads/2024/04/ETW-NationalRetail-CaseStudy2_Husqvarna.pdf

Indoor Farmer. (2024). Case study: Japan's vertical farming story. https://www.indoorverticalfarm.com

Israel Water Authority. (2020). Water sector reforms and desalination strategy. Government of Israel.

Irrigation Technologies. International Water Management Institute (IWMI). https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/96ac3089-cc60-4081-8704-1f26ba6a5ff2/download

پی‌نوشت‌ها

1-Abu Dhabi Developmental Holding Company

یکی از بزرگترین هولدینگ‌های دولتی امارات (ابوظبی)

۲- برنامه‌ای از وزارت کشاورزی آمریکا است که برای ارتقای بهره‌وری آب و حمایت مالی از کشاورزان در به‌کارگیری فناوری‌های آبیاری کارآمد طراحی شده است.

۳- سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی استرالیا است که در حوزه‌های آب، کشاورزی و فناوری‌های نوین، تحقیقات کاربردی و سیاست‌محور انجام می‌دهد.

۴- برنامه‌ای ملی ۳۰ (30 by 30) که هدف آن افزایش تولید داخلی غذا به ۳۰ درصد تا سال ۲۰۳۰ است و با حمایت مالی، فناوری و سیاست‌گذاری، توسعه کشاورزی نوین را تسریع می‌کند.

۵- German Research Centre for Geosciences (GFZ): یک مرکز دولتی پژوهشی در آلمان که در حوزه علوم زمین، مخاطرات طبیعی و مدل‌سازی پیشرفته مانند پیش‌بینی سیلاب فعالیت می‌کند.

۶- Indian Institute of Technology(IIT): مجموعه‌ای از دانشگاه‌های دولتی و پژوهش‌محور در هند که در حوزه مهندسی، فناوری و پروژه‌های ملی مانند مدل‌سازی سیلاب با هوش مصنوعی فعالیت دارند.

۷- National Disaster Management Plan (NDMP): برنامه ملی و دولتی هند برای مدیریت بحران و کاهش ریسک بلایا که بر استفاده از فناوری‌های نوین مانند مدل‌سازی سیلاب تأکید دارد.

۸- NOAA: سازمان دولتی ایالات متحده در حوزه اقیانوس‌شناسی، هواشناسی و پیش‌بینی مخاطرات طبیعی، از جمله توسعه مدل‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی سیلاب.

۹- Sustainable Groundwater Management Act (SGMA): قانونی دولتی در کالیفرنیا (۲۰۱۴) که مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی را الزامی می‌کند و بر پایش لحظه‌ای، کاهش برداشت و احیای آبخوان‌ها تأکید دارد.

۱۰- CSIRO:سازمان دولتی پژوهش‌های علمی و صنعتی استرالیا که در حوزه‌های آب، کشاورزی، اقلیم و فناوری‌های نوین مدیریت منابع طبیعی فعالیت می‌کند.

۱۱- Water Act: قانونی ملی و دولتی در استرالیاست که چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب، از جمله بازارهای آب، تخصیص پایدار، حفاظت از اکوسیستم‌های آبی و نظارت بر برداشت آب سطحی و زیرزمینی را تعیین می‌کند. این قانون پایه اصلی اصلاحات آب در حوضه موری–دارلینگ است.

Environment, Netherlands. https://www.rijkswaterstaat.nl

Silal. (2023). Silal launches a world-class R&D center to bolster agri-food innovation and industry eco-system. Silal Food & Technology, Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Seattle Public Utilities. (۲۰۲۶.). RainWise program. https://www.seattle.gov/utilities/protecting-our-environment/rainwise

Shokri, N. (2025). Iran's water crisis is driven by bad policies, but tech can help. Thomson Reuters Foundation. https://www.context.news

Singapore Food Agency. (2019). 30 by 30: Singapore's food security strategy. https://www.sfa.gov.sg

SWCC. (2023). Low-energy desalination initiatives in Saudi Arabia. Saline Water Conversion Corporation.

Tal, A. (2016). Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the Drylands. Water Research, 88, 87–94. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.016.

UAE Ministry of Climate Change and Environment. (2023). A Guide to Food Security in the UAE. UAE.

UAE Government. (2024). National Food Security Strategy 2051. UAE.

UAE Government. (2024a). UAE water security strategy 2036. https://u.ae/en/information-and-services/environment-and-energy/water-and-energy/water-

UAE Government. (2024b). National Food Security Strategy 2051. UAE.

USDA. (2022). Environmental Quality Incentives Program (EQIP). United States Department of Agriculture. https://www.usda.gov

USGS. (2022). Real-time groundwater monitoring systems in California. United States Geological Survey. https://www.usgs.gov

World Bank. (2021). Energy-efficient desalination technologies in the Middle East. World Bank Group, Washington, DC, USA.

Zemadim, B., Oke, A., Dirwai, T. L., Admasu, Z., Choruma, D. J., Dickson, J., Nzeyimana, V., & Hafeez, M. (2026). Comprehensive Guidelines for Capacity Building for Irrigation Managers in Water Management within Modern

۱۲- Water Code: قانون ملی و دولتی شیلی که از دهه ۱۹۸۰ نظام حقوق مالکیت آب را تعریف کرده و امکان خریدوفروش حقوق آب، از جمله آب زیرزمینی، را فراهم می‌کند. این قانون پایه شکل‌گیری بازارهای آب در شیلی بوده و در سال‌های اخیر برای حفاظت بیشتر از آبخوان‌ها اصلاح شده است.

۱۳- RO (Reverse Osmosis): مخفف اسمز معکوس است؛ یک فناوری غشایی پیشرفته که با اعمال فشار، نمک و ناخالصی‌ها را از آب جدا می‌کند و یکی از کم‌مصرف‌ترین روش‌های نمک‌زدایی محسوب می‌شود.

۱۴- Saudi Vision 2030: برنامه‌ای ملی و دولتی در عربستان سعودی که با هدف تنوع‌بخشی اقتصادی، توسعه پایدار و بهبود مدیریت منابع آب طراحی شده و بر گسترش فناوری‌های نوین نمک‌زدایی و انرژی‌های تجدیدپذیر تأکید دارد.

۱۵- Water Authority Reform: مجموعه‌ای از اصلاحات دولتی در ساختار مدیریت آب اسرائیل که با هدف افزایش کارایی، تنظیم‌گری یکپارچه و توسعه فناوری‌های کم‌انرژی مانند نمک‌زدایی غشایی اجرا شده است.

۱۶- برنامه‌ای مشترک میان Seattle Public Utilities و King County است که با هدف کاهش رواناب و جلوگیری از ورود آب باران به سیستم فاضلاب ترکیبی اجرا می‌شود. این طرح با ارائه مشوق‌های مالی به ساکنان، ایجاد Rain Gardens و Cisterns را در املاک مسکونی و تجاری ترویج می‌کند.

Water and sustainable development

in the name of God

Volume 13, Issue 2 [Serial No. 40], September 2026

Grantee: College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Manager in Charge: Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor in Chief: Davary, K. Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

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. 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

Guiding Council

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
Ghandhari, A.,Head of Aras, Atrak and Northern Basins, Iran Water Resources Management Company
Shahnooshi Foroushani, N. Manager in Charge
Davary, K. Editor in Chief

Advisory Editors

Noori Esfandiari, A. Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Dehghanisanij, H. Agricultural Engineering Research Institute
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
Arjmandsharif, M. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Publication information

Executive Expert: Shahedi,M. Talebi Hossein Abad (F.i)
Editor: Quchanian,M. Shahedi,M. Talebi Hossein Abad,F. Oskouhi (M.i)
Graphic: Shaikhi,M.R. / **Design:** Asadi, R.
Publisher: Quarterly/Ferdowsi University of Mashhad
ISSN Print/ Online: 2717-3321/2423-5474
Website/ E-Mail: http://jwsd.um.ac.ir / Email: jwsd@um.ac.ir
Address: Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163
Sponsor(journal): Mashhad Water & Wastewater Company
Sponsor(probing inquiry): Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Indexing: ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

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 I.Hydraulic Association of Iran

Journal of
Water and Sustainable Development
Volume 13 -Issue 2 (serial No.40) - September 2026

Articles in issue:

- **The Psychological Factors Influencing Farmers' Decision-Making Regarding Agricultural Water Conservation in the Mahidasht Region of Kermanshah**
  R. Movahedi, M. Shirkhani
- **Designing a Sustainable Revenue Model for Iran's Water Big Data Value Chain: Integrating Economic Analysis, Risk Assessment, and Willingness-to-Pay Evaluation**
  M. Ghotbizadeh, M. Zarghami
- **Application of Modeling and Calibration in Optimization of Industrial Water Distribution Networks: A Case Study of the Kavir Tire Factory**
  A. Nasirian, Z. Zeraatkar, S. A. Mousavi, A. Foadaldini, M. Mardani
- **From Volume to Value: Designing an Integrated Corporate Water Accounting Framework for Iran's Mining Industries Inspired by the MCA-WAF and SEEA-W** Frameworks
  S. M. Rahdar, A. Bagheri, M. Samare Hashemi
- **Estimating the Economic Value of Water in the Industrial Sector: A Case Study of the Basic Metals and Non-Metallic Mineral Products Industries**
  S. Jahangiri, M. R. Nazari
- **Cultural Meanings of Water and the Gap Between Official Policies and Local Practices: An Ethnographic Study of Farmers in Amol County**
  S. Gh. Hassani
- **Perception and Meaning-Making of Water in the Lifeworld of Citizens for Sustainable Water Management (Case Study of Middle-Aged People in Ardabil City)**
  H. Bakhshizadeh, R. Alaei
- **Comparison of Water Use Efficiency in Three Vertical Farming Systems under Non-Greenhouse Conditions in a Semi-Arid Urban Area**
  M. Hosseinzadeh, H. Ansari, A. Mosaedi, J. Shabahang
- **Ouantitative Assessment of Meteorological and Hydrological Drought Propagation in the Zayandehroud Basin Using SPI, SRI, and Severity-Area-Frequency (SAF) Curves**
  Gh. Bahman, M. Tabashiri, M. A. Alijanian
- **Studying and Investigating the Pattern of Rainfall Changes in the Western Watersheds of Mazandaran Province and Its Impact on the Regional Climate Change Phenomenon**
  A. Gholami
- **The Role of Social Facilitation in Empowering Local Communities to Participate in Water Transfer Project to the Sistan Plain**
  O. Khajeh, E. Abassi, H. Farhadian
- **Moral Hazard in Agricultural Insurance and Its Implications for Sustainable Water Resource Use: Evidence From Selected Crops in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province**
  A. Biniaz

ISSN (Print): 2423-5474

«حقوق آب» مجموعه قواعد حقوقی (عمومی و خصوصی) ناظر بر آب‌های سطحی و زیرزمینی در هر حوضه است؛ که در «سطوح بین‌المللی، منطقه‌ای، ملی و محلی»، تنظیم کننده بهره‌برداری از آب (شرب، بهداشت، کشاورزی، شهر و خدمات، صنعت و معدن)، و نیز تبیین کننده چگونگی حفاظت از اکوسیستم‌های آبی، خدمات آب و فاضلاب، و مسئولیت‌ها در مواجهه با سیل و خشکسالی و حتی پدیده تغییر اقلیم است. این حوزه همچنین مباحثی چون حقوق عامه، حقابه و مالکیت، انفال و منابع ملی، حقوق آب‌بران متقدم، مجوزهای برداشت و قواعد عرفی را در بر می‌گیرد.

