

آب و توسعه پایدار

دوره یازدهم . شماره ۴ (پیاپی ۳۴) . اسفندماه ۱۴۰۳

تعادل بخشی و رفع ناترازی منابع آب



فهرست مقالات

- **مروری جامع بر الگوریتم‌های بیلان انرژی تک‌منبعه و دو منبعه برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی**
مریم رضایی
- **برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی شمال ارتفاعات الله اکبر درگز با روش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)**
حسین محمدزاده، محمد غلامکار علی‌آبادی، جعفر هاشمی
- **تأثیر اصلاح فضاها سبز موجود در مقایسه با سایر روش‌های مدیریت سیلاب شهری در کاهش حجم رواناب (مطالعه موردی: حوضه چهارچشمه، مشهد)**
امیرمحمد دانش، ابوالفضل مساعدی، علیرضا فرید حسینی، علی قیامی باجگیرانی
- **قنات کهروم، دریچه‌ای به فن‌آوری بومی و نقش آن در معماری پایدار از دوره صفویه در اصفهان**
علمدار علیان، معصومه طاهری دهکردی
- **رزونانس چارچوب‌های حل مساله رسوبات تالاب انزلی با جامعه دینفنج**
سوسن طهماسبی، محمدجواد زاهدی مازندرانی، صادق صالحی
- **مقایسه تأثیر روش هوادهی سطحی و عمقی در تصفیه خانه فاضلاب شهری بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب خین عرب و پرکندآباد یک) زهره عباس‌نیا، شادی عباس‌نیا، مهدی پهلوانی، مسعود روحبخش، مریم قاسم‌زاده، سعید عامل جامه‌دار**
- **کارایی جاذب‌های مختلف در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری (مطالعه مروری)**
علیرضا رادخواه، سهیل ایگدری، صدیقه آتش‌افرازه
- **بررسی برخی خصوصیات خاک و شاخص‌های آبی و اقتصادی نخود فرنگی تحت تأثیر کشت پلاستیک و بستر کاشت**
مریم ولی‌پور، حسن حیدری، صحبت بهرامی‌نژاد
- **بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران**
احسان بهمنی، علی اصغر میرک‌زاده، شهپر گراوندی، فرانک کریمیان
- **شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام**
فاطمه قاسم‌زاده، رضا موحدی، محسن توکلی
- **بازتاب‌های آبی در آینه ذهن: کاربست پدیدارشناسی در تحلیل بازار آب سمنان**
سید عباس ابراهیمی
- **تأثیر عوامل فردی-اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت همدان-بهار)**
ترانه صرامی‌فروشان، رضا موحدی
- **تدوین الگو افزایش تاب‌آوری اقلیمی سامانه‌های تأمین آب شهری با استفاده از تجارب EPA: ایالت یوتا، آمریکا**
فرید پاپلی‌یزدی، سعید رضا خداشناس، محمد طلعتی



آب و توسعه پایدار

سال یازدهم- شماره چهارم (پیاپی ۳۴) - اسفند ۱۴۰۳

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

دانشگاه فردوسی مشهد

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

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

اعضای هیئت تحریریه

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

شورای سیاست‌گذاری

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

مشاوران هیئت تحریریه

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

کارشناس اجرایی

ویراستاری

صفحه آرایی / طراحی

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپاچاپی / الکترونیکی

تارما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه‌های نمایه شده

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

۲۷۱۷-۳۳۲۱ / ۲۴۲۳-۵۴۷۴

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

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

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

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



- أ
ت
۱
۱۵
۲۵
۳۵
۴۵
۵۵
۶۳
۸۳
۹۹
۱۱۵
۱۲۹
۱۵۷
۱۷۳
۱۸۳
۱۸۴
- سرمقاله: ارزیابی ناترازی طرح احیا و تعادل بخشی / حمیدرضا ناصری
یادداشت کوتاه: تعادل بخشی و رفع ناترازی آب / رضا سرافرازی
- مروری جامع بر الگوریتم‌های بیلان انرژی تک منبعه و دو منبعه برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی
مریم رضایی
- برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی شمال ارتفاعات الله اکبر در گز باروش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)
حسین محمدزاده؛ محمد غلامکار علی آبادی؛ جعفر هاشمی
- تأثیر اصلاح فضاهای سبز موجود در مقایسه با سایر روش‌های مدیریت سیلاب شهری در کاهش حجم رواناب (مطالعه موردی: حوضه چهارچشمه، مشهد)
امیر محمد دانش؛ ابوالفضل مساعدی؛ علیرضا فریدحسینی؛ علی قیامی باجگیرانی
- قنات کهروم، دریچه‌ای به فن آوری بومی و نقش آن در معماری پایدار از دوره صفویه در اصفهان
علمدار علیان؛ معصومه طاهری دهکردی
- رزونانس چارچوب‌های حل مساله رسوبات تالاب انزلی با جامعه ذی نفع
سوسن طهماسبی؛ محمدجواد زاهدی مازندرانی؛ صادق صالحی
- مقایسه تأثیر روش هوادهی سطحی و عمقی در تصفیه خانه فاضلاب شهری بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ‌های هوابرد
زهره عباس‌نیا؛ شادی عباس‌نیا؛ مهدی پهلوانی؛ مسعود روحبخش؛ مریم قاسم‌زاده؛ سعید عامل جامه‌دار
- کارایی جاذب‌های مختلف در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری (مطالعه مروری)
علیرضا رادخواه؛ سهیل ایگدري؛ صدیقه آتش افرازه
- بررسی برخی خصوصیات خاک و شاخص‌های آبی و اقتصادی نخود فرنگی تحت تأثیر کشت پلاستیک و بستر کاشت
مریم ولی پور؛ حسن حیدری؛ صحبت بهرامی نژاد
- بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران
احسان بهمنی؛ علی اصغر میرک زاده؛ شهپر گراوندی؛ فرانک کرمان
- شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام
فاطمه قاسم‌زاده؛ رضا موحدی؛ محسن توکلی
- بازتاب‌های آبی در آینه ذهن: کاربرست پدیدارشناسی در تحلیل بازار آب سمنان
سید عباس ابراهیمی
- تأثیر عوامل فردی-اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت همدان-بهار)
ترانه صرامی فروشانی؛ رضا موحدی
- تدوین الگو افزایش تاب‌آوری اقلیمی سامانه‌های تأمین آب شهری با استفاده از تجارب EPA: ایالت یوتا، آمریکا
فرید پاپلی یزدی؛ سعید رضا خداشناس؛ محمد طلعتی
- یادداشت تحلیلی: قانون برنامه پنجساله هفتم و پساب
سعید مرید
- یادداشت تحلیلی: آشنایی با وجوه مختلف پایایی آب زیرزمینی
هادی کریمی میان‌دوآب؛ سیده محدثه طاهری؛ هاشم درخشان



ارزیابی ناترازی طرح احیا و تعادل بخشی

بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی کشور تأثیر خود را با ۶۸/۸ میلیارد متر مکعب کسری مخزن تا انتهای سال آبی ۸۴-۱۳۸۳ نشان داد. وزارت نیرو در سال ۱۳۸۴ با تعریف «طرح تعادل بخشی، تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب»، برنامه‌های خود در راستای چاره‌اندیشی برای کنترل افت و کسری مخزن آبخوان‌ها را آغاز کرد. طبق این طرح قرار بود طی برنامه‌ای ۲۰ ساله (چهار بازه پنج‌ساله) منابع آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی کشور به تعادل برسد، اما به دلایل مختلف از قبیل رخداد خشکسالی طولانی‌مدت در کشور از سال ۱۳۸۷ به بعد، تصویب و اجرای طرح‌های غیر کارشناسی، همچون قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری در سال ۱۳۸۹، حفر چاه‌های غیرمجاز توسط بهره‌برداران، نبود برنامه‌ریزی لازم در اجرای طرح تعادل بخشی، مشکلات و ابعاد اجتماعی و خلأهای قانونی اجرای طرح و عدم تخصیص اعتبار لازم، باعث شد تا طرح یاد شده تا سال ۱۳۹۲ چندان پیشرفت و نتایج مطلوبی نداشته باشد. این مشکلات باعث شد تا کسری مخزن در انتهای سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ به بیش از ۱۲۴ میلیارد متر مکعب برسد. در سال ۱۳۹۲ با فعال شدن مجدد شورای عالی آب، طرحی با عنوان «طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی کشور» مشتمل بر ۱۵ پروژه تعریف و ابلاغ شد. این طرح نیز تاکنون از پیشرفت چندان مطلوبی برخوردار نبوده است، بطوری‌که از ۶۰۹ محدوده مطالعاتی کشور، ۴۲۴ محدوده، ممنوعه یا ممنوعه بحرانی شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۴۰۲). شایان ذکر است که منابع آب زیرزمینی حدود ۵۷ درصد از نیاز آب شرب شهری، حدود ۸۳ درصد از نیاز آب شرب روستایی و حدود ۵۲ درصد آب کشاورزی کشور را تأمین می‌کنند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰).

شاید بتوان مهمترین پروژه طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی کشور را تقویت گروه‌های گشت و بازرسی دانست که نسبت به بعضی از پروژه‌ها اولویت داشته است (مثل انسداد چاه‌های غیرمجاز و جلوگیری از اضافه برداشت چاه‌های مجاز، نصب و راه‌اندازی کنتورهای هوشمند، و اصلاح و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری). در حال حاضر عنوان این پروژه به حفاظت و نظارت بر بهره‌برداری از منابع و مجاری آبی تغییر یافته است. توجه بیشتر به بحث مهندسی رودخانه

و پایش سواحل، افزایش احجام مساحی اراضی زراعی، تفکیک آبیاری با آب‌های سطحی و زیرزمینی، تمرکز بیشتر در آموزش نیروها، افزایش تعداد کارشناسان متناسب با منابع هر منطقه، بومی‌سازی طرح در هر محدوده مطالعاتی، از مواردی است که طرح جدید به روز شده و ارتقا یافته است.

ناترازی در مفهوم رایج به معنای نبود تعادل، نبود توازن و ناهمگنی است. این اصطلاح در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد و بسته به آن زمینه، معنای دقیق‌تری پیدا می‌کند. به عبارتی ناترازی به هر نوع نبود توازن در یک سیستم گفته می‌شود که می‌تواند پیامدهای منفی به همراه داشته باشد. در مورد طرح احیا و تعادل بخشی، ناترازی به چالش موجود، عدم تحقق اهداف و دستیابی به احجام پیش‌بینی شده در طرح است. عوامل متعددی بر ناترازی در طرح احیا و تعادل بخشی موثر بوده‌اند، که در اینجا برخی از این عوامل به ترتیب اهمیت مورد بحث قرار می‌گیرند.

الف- تعدیل مصرف پروانه‌های بهره‌برداری از چاه‌های آب: اجرای تعدیل مصرف پروانه‌ها و صرفه‌جویی در برداشت‌ها بیشتر به صورت نظری انجام شده است و اقدام متناسبی به لحاظ فنی در اجرای این تعدیل صورت نمی‌گیرد؛ زیرا کاهش برداشت از چاه‌ها، ناشی از اصلاح پروانه‌ها، عمدتاً به علت هزینه‌بر بودن برای کشاورزان، به طور عملی انجام نمی‌شود. به عنوان مثال اگر چاهی که در حال حاضر پروانه برداشت ۱۵ لیتر بر ثانیه دارد، بر اساس شرایط منطقه و الگوی کشت به برداشت ۱۰ لیتر بر ثانیه تعدیل و اصلاح شود، در عمل این کاهش برداشت توسط بهره‌بردار رعایت نمی‌شود، زیرا مستلزم تغییرات فنی و تعویض پمپ، لوله و منصوبات برقی و ادوات سرچاهی است. به علت بار مالی مازادی که این تغییرات برای بهره‌برداران دارد، عمدتاً تعدیل پروانه‌ها عملی نمی‌شود و کاهش برداشت ناشی از آن به مرحله اجرایی نمی‌رسد. بررسی حجم برداشت از چاه‌ها، در مواردی نشان می‌دهد که مجموع برداشت حجم آب مازاد بر پروانه از حجم برداشت از چاه‌های غیر مجاز بیشتر است، زیرا چاه‌های دارای پروانه عمدتاً عمیق هستند و با دبی بالایی بهره‌برداری می‌شوند، ولی چاه‌های غیر مجاز معمولاً کم‌عمق می‌باشند و دبی کمی دارند، از این رو گاهی میزان برداشت در بخش چاه‌های تعدیل نشده، بیش از چاه‌های غیر مجاز است.

ب- نصب کنتور هوشمند: در نصب کنتور هوشمند، کارهای انجام شده از نظر تعداد نصب کنتور و حجم آب صرفه‌جویی شده در طول سال‌های پس از اجرای طرح احیا و تعادل بخشی قابل توجه و مطابق با اهداف پیش‌بینی شده، نیست. هیچ الزام قانونی در نصب کنتور هوشمند برای بهره‌برداران وجود ندارد. در تعداد زیادی از چاه‌ها که کنتور نصب شده است، کنتورها عمدتاً خراب شده‌اند و به علت هزینه تحمیل شده،

کشاورزان به تعمیر آنها نمی‌پردازند. در مواردی نیز کنتورها دستکاری و از عمد خراب شده‌اند. متأسفانه در این مورد نیز هیچ اقدام مقتضی که الزام‌آور باشد، پیش‌بینی نشده است.

ج- پر و مسلوب‌المنفعه کردن چاه‌های غیرمجاز: بررسی آمار و اطلاعات منتشر شده از محدوده‌های مختلف، نشان می‌دهد که اهداف مرتبط با این پروژه از طرح احیا و تعادل‌بخشی نیز محقق نشده است. چاه‌های غیر مجاز عمدتاً کم‌عمق هستند و با ادوات حفاری ابتدایی در بخش کم‌عمق آبخوان‌ها حفر می‌شوند. مصرف آنها اغلب محلی و خانگی است. در بسیاری از موارد شناسایی آنها به علت عدم همکاری مالکان ممکن نیست. تعداد زیادی از چاه‌های غیرمجاز پر و مسلوب‌المنفعه گزارش شده یا متروکه و یا خشک بوده‌اند. در مواردی نیز که چاه‌های غیرمجاز در حال بهره‌برداری شناسایی شده و خطاریه دریافت کرده‌اند، به علت عدم همکاری کامل با نیروی انتظامی و مراجع قضایی، پرونده‌ها مشمول گذر زمان شده‌اند و عملاً اثر خطاریه‌ها بی تأثیر شده است. در مواردی نیز احکام صادر شده به دلایل امنیتی و اجتماعی اجرا نمی‌شوند.

د- گروه‌های حفاظت و نظارت بر بهره‌برداری از منابع و مجاری آب (گروه‌های گشت و بازرسی سابق): مشکلات اساسی در مورد نیروهای حفاظت و نظارت این است که تعداد زیادی از این نیروها در بخش اجرایی شرکت‌های آب منطقه‌ای و امور آب وارد شده، به عنوان کارشناس جذب شده و از این رو از وظایف اصلی خود دور شده‌اند. از طرفی نیروهای حفاظت و نظارت چون نیروی دولت نیستند و تحت حمایت خدمات دولتی قرار ندارند، در موارد حقوقی و ثبت تخلفات با کشاورزان و بهره‌برداران درگیر نمی‌شوند. عدم تناسب دستمزد و حقوق نیروهای حفاظت و نظارت با کارشناسان هم‌پایه دولتی، باعث کم شدن انگیزه در این نیروها می‌شود. علاوه بر آن به دلیل استخدام نیروهای شرکتی ایثارگران در شرکت‌های آب منطقه‌ای که در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ اجرا شد، تعداد زیادی از نیروهای با تجربه از گروه‌های حفاظت و نظارت خارج شدند. بنابراین از نظر توان کارشناسی در اکیپ‌های حفاظت و نظارت ناترازی به وجود آمده است. مسلم است که آموزش و تربیت مجدد نیروهای مجرب، وقت‌گیر است و سبب نقصان در روند اجرای طرح احیا و تعادل‌بخشی می‌شود.

ه- اعتبارات: در حال حاضر رویه واحدی برای تخصیص اعتبارات وجود ندارد، بدین معنی که بخشی از اعتبارات جاری، و بخشی عمرانی است. به نظر می‌رسد که هم اکنون عمده تمرکز شرکت‌های آب منطقه‌ای بر روی بخش درآمدی و جریمه بهره‌برداران از طرح حفاظت و نظارت است و کمتر به تعادل‌بخشی و حفاظت از منابع آبی می‌پردازند. معمولاً در مناقصه‌ها برای قیمت‌دهی به شرکت‌های مشاور، محدودیت‌هایی همچون حداکثر ۳۰

درصد برآورد قیمت پایه اعمال می‌شود که با توجه به مشکلات اقتصادی و هزینه‌های جاری شرکت‌های مهندسی مشاور، مسائل بیمه و مالیات، و تورم سالانه، معمولاً بخش کارشناسی مهندسی مشاور تمایلی به کمک‌های فکری و تحلیلی به شرکت‌های آب منطقه‌ای ندارند. به استثنای سازمان آب و برق خوزستان که ارائه گزارش‌های تحلیلی و کارشناسی از مشاوران را الزامی کرده و با کمک مشاورین زیرساخت‌های خوبی از نظر اجرا و بهنگام‌سازی عملیات سنجش از دور و GIS پیاده کرده است؛ اغلب شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور، با واگذاری مدیریت طرح احیا و تعادل‌بخشی و سازمان‌دهی گروه‌های حفاظت و نظارت به مدیران امورهای آب، نقش اساسی در هدایت این نیروها ندارند.

با جمع‌بندی موارد فوق، می‌توان دریافت طرح احیا و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی با چالش‌های متعددی مواجه است که مانع از دستیابی به اهداف آن شده‌اند. برای بهبود اجرای این طرح، نیاز به ایجاد الزامات قانونی قوی‌تر برای نصب و نگهداری کنتورهای هوشمند و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری، و ارائه تسهیلات مالی و فنی به کشاورزان برای اجرای تغییرات لازم در چاه‌ها و کاهش هزینه‌های تعدیل پروانه‌ها می‌باشد. افزایش تعداد و توان کارشناسی نیروهای حفاظت و نظارت و بهبود شرایط حقوقی و مالی آنها و به موازات آن، افزایش همکاری بین وزارت نیرو، نیروی انتظامی و مراجع قضایی برای اجرای مؤثر طرح‌ها که مستلزم تخصیص منابع مالی کافی و هدفمند برای اجرای پروژه‌های تعادل‌بخشی و حفاظت از منابع آب می‌باشد، می‌تواند به کاهش ناترازی در طرح کمک کند. چالش‌های اجتماعی و قانونی همانند عدم همکاری کشاورزان و بهره‌برداران به دلیل هزینه‌های مالی و فنی تعدیل پروانه‌ها و نصب کنتورهای هوشمند و نبود قوانین الزام‌آور و حمایت قضایی کافی برای اجرای طرح، باعث عدم تحقق اهداف طرح و ادامه روند ناترازی منابع آب‌های زیرزمینی خواهد شد. عبور از وضعیت نامناسب کنونی چندان آسان نیست و نیاز به اصلاحات اساسی در نظام سیاست‌گذاری و حکمرانی متکی بر اصول علمی و دانش‌محور است. مسلم این که بدون اصلاحات اساسی، ناترازی در طرح احیا و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی کشور ادامه خواهد یافت.

منابع

شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۴۰۲). اولین نشریه وضعیت محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه حوضه آبریز کارون بزرگ. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۴۰۰). آثار متقابل دو حوزه علم و سیاست‌گذاری در پایداری منابع آب‌های زیرزمینی. دفتر مطالعات زیربنایی. ایران.



تعالدل بخشی و رفع ناترازی آب

با توجه به نیاز روز افزون به آب جهت توسعه فعالیت‌های اقتصادی در کشور، داشتن اطلاعات کافی و به‌روز از منابع آب موجود و پتانسیل‌های قابل بهره‌برداری، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. برداشت بی‌رویه از منابع آب و تجاوز به حریم کیفی و کمی منابع آب و مدیریت نادرست آن، باعث ایجاد صدمات جبران‌ناپذیری بر این منابع حیاتی شده، به نحوی که بسیاری از منابع آب در دسترس و استراتژیک نابود و یا در معرض خطر قرار گرفته و همچنین روند تغییرات تعداد و تخلیه چاه‌های بهره‌برداری کشور طی سال‌های گذشته موجب شده تا پتانسیل منابع آب زیرزمینی کشور به شدت کاهش یابد، به طوریکه علی‌رغم افزایش تعداد چاه‌ها، آبدهی آنها کاهش محسوسی را نشان می‌دهد.

وابستگی شدید بیشتر مناطق ایران به منابع آب زیرزمینی، رشد جمعیت و نیاز روز افزون به منابع آب از یک طرف و وضعیت اقلیمی و جغرافیایی کشور و همچنین وقوع پدیده خشکسالی در سال‌های اخیر از طرف دیگر، باعث شده طی دهه‌های گذشته فشار زیادی بر آبخوان‌های آب زیرزمینی وارد شود و منجر به افت سطح آب‌های زیرزمینی و افزایش تعداد دشت‌های ممنوعه و بحرانی کشور گردد. از آنجا که بیش از نود درصد محصولات کشاورزی کشور در اراضی آبی تولید می‌شود، لذا اهمیت آب مصرفی بخش کشاورزی در تأمین امنیت غذایی جمعیت روز افزون کشورمان بر کسی پوشیده نیست و تأمین امنیت غذایی گره خورده با مدیریت صحیح منابع آب، بیلان واقعی، آمار و اطلاعات منابع و مصارف آب و آب قابل برنامه‌ریزی است. تدقیق آمار و اطلاعات منابع و مصارف آب کشور به عنوان کلیدی‌ترین گام جهت نیل به برنامه‌ریزی دقیق در سطح استان‌ها و کشور مطرح می‌باشد.

لازمه برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب و توزیع و تخصیص اصولی آن، مستلزم وجود بیلان متقن و دقیق است. متأسفانه در سال‌های گذشته بیلان‌های ارائه شده دارای ابهامات و نواقص فراوان و همواره مورد چالش بوده‌اند. بر اساس آمار وزارت نیرو ۱۶۰ میلیارد مترمکعب کسری مخزن سفره‌های آب زیرزمینی اعلام شده است، در صورتیکه باور بسیاری از کارشناسان و اساتید دانشگاه کسری مخازن تا بیش از ۲۰۰ میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود.

همچنین بررسی سه دوره آماربرداری گذشته نشان می‌دهد که علی‌رغم تمامی فراز و نشیب‌ها در میزان بارش و افزایش دما و برداشت‌ها در هر سه دوره کسری سالانه مخازن حدود ۵-۶ میلیارد

متر مکعب اعلام شده که با مشاهدات در تناقض می‌باشد.

به نظر می‌رسد حاکمیت و حکمران آب که متولی تدقیق آمار و اطلاعات و بیلان صحیح آب کشور است و می‌بایست نسبت به استقرار سیستم پایش کمی و کیفی آب تحویلی به مزارع و مشخص شدن حجم و کیفیت آب تحویلی به بهره‌برداران با نصب کنتورهای هوشمند مناسب، تحویل حجمی آب و ابزارهای دقیق اقدام نماید، بیشتر به فکر اقتصاد و اعمال قدرت با ابزار تخصیص آب است.

اطلاعات ارائه شده ابهامات اساسی و زیادی دارد که به منظور عملیاتی نمودن برنامه‌های آتی از جمله تحویل حجمی آب به بهره‌برداران، همچنین تدوین و اجرای الگوی کشت بهینه ضروری است نسبت به رفع این ابهامات و همسوئی و تعامل بیشتر اقدام شود.

۱- سیاست‌ها و قوانین

اهم سیاست‌ها و قوانین برنامه‌ای در ایجاد تعادل بین منابع و مصارف و جبران کسری مخازن دشت‌های دارای بیلان منفی، شامل سیاست‌های کلی نظام در بخش آب و اصلاح الگوی مصرف کشور (ابلاغی مقام معظم رهبری در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹)، سند فرابخشی مدیریت منابع آب کشور، ضوابط ایجاد تعادل بین منابع و مصارف و طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور بوده که در پانزدهمین جلسه شورای عالی آب (شهریور ۱۳۹۳) با ۱۵ زیرپروژه ارائه و تصویب شد.

در برنامه ششم توسعه نیز مقرر شد تا با اجرای طرح تعادل بخشی تا پایان برنامه، برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی به میزان ۱۱ میلیارد مترمکعب کاهش یابد (ماده ۳۵).

در برنامه هفتم توسعه نیز مقرر شد تا به منظور حفظ منابع آبی، تعادل بخشی و مهار افت سطح آبهای زیرزمینی و جلوگیری از اضافه برداشت از منابع آبی کشور، کلیه مصارف در سقف مجاز اعلامی وزارت نیرو تنظیم گردد (ماده ۴۰).

۲- برنامه احیا و تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی مصوبه پانزدهمین شورای عالی آب

اهمیت صیانت و حفاظت آب‌های زیرزمینی و ضرورت رفع چالش‌های آن به گونه‌ای بوده که شورای عالی آب در پانزدهمین جلسه خود برنامه احیا و تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی را در قالب اقدام تصویب نمود. این طرح شامل ۱۵ پروژه اصلی و ۶ پروژه تکمیلی می‌باشد که عملکرد تعدادی از آن به شرح جدول (۱) است. تجارب سال‌های گذشته نشان داده است که متأسفانه به جای عملیاتی نمودن مهمترین و اولین اولویت‌های اقدام که عبارت بودند از حفر ۵۳۰۰ چاه پیرومتری در دشت‌های کشور و تجهیز آنها، نصب ۲۰۹۰۰ مورد تجهیزات اندازه‌گیری بر روی منابع آب و پیرومترها و چاه‌های اکتشافی، تهیه بیلان و بانک اطلاعاتی ۶۰۹ محدوده مطالعاتی به صورت برخط، تهیه و نصب ۳۶۰۰۰۰ کنتور حجمی و هوشمند آب و برق و اطلاع‌رسانی و ایجاد سامانه پایش و کنترل برداشت از چاه‌ها، قانون تعیین تکلیف چاه‌های آب فاقد پروانه بهره‌برداری،

متأسفانه بر کاهش برداشت آب از چاه‌های مجاز پروانه‌دار به میزان ۳۰ تا ۵۰ درصد اصرار شده است، در صورتی که همانگونه که در بند فوق‌الذکر توضیح داده شد، چنانچه آب غیر مجاز برداشتی از چاه‌های فاقد پروانه و اضافه برداشت چاه‌های پروانه‌دار کنترل شود، نیازی به کاهش پروانه چاه‌های پروانه‌دار نخواهد بود. برابر گزارشات وزارت نیرو، حدود ۴۰۰۰۰ حلقه چاه پروانه‌دار در سطح کشور مجهز به کنتورهای حجمی گردیده که از این مقدار، کمتر از ۱۰ درصد آنها کالیبره و اطلاعات آنها پایش می‌شود.

جدول ۱- عملکرد تعدادی از پروژه‌های برنامه احیا و تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی

شرح پروژه	وضعیت اجرا
تقویت و استقرار ۶۰۰ گروه گشت و بازرسی در سراسر کشور	اجرای موفق
ساماندهی شرکت‌های حفار و نصب ۱۳۰۰ دستگاه GPS بر روی دستگاه‌های حفاری	اجرای موفق
نصب ۲۰۹۰۰ مورد تجهیزات اندازه‌گیری بر روی منابع آب و پی‌زومترها و چاه‌های اکتشافی	اجرای ۵ درصدی
حفر ۵۲۰۰ چاه پی‌زومتری در دشت‌های کشور و تجهیز آنها	اجرای ۲ درصدی
تهیه بیلان و بانک اطلاعاتی ۶۰۹ محدوده مطالعاتی به صورت برخط	عدم اجرا
تهیه و نصب ۳۶۰ هزار کنتور حجمی و هوشمند آب و برق	عدم اجرا
خرید چاه‌های کم‌بازده کشاورزی	عدم اجرا

منبع: گزارش چالش‌های ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در کشور، بررسی شرایط فعلی و بحران فرونشست زمین. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی، اردیبهشت ۱۴۰۲.

۳- کارگروه سازگاری با کم‌آبی

تشکیل کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی به پیشنهاد مشترک وزارتخانه‌های نیرو، جهاد کشاورزی، کشور و صنعت، معدن، تجارت و سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست و برنامه و بودجه کشور و به استناد اصل یکصد و سی و هشتم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران در جلسه مورخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۶ به تصویب هیئت محترم وزیران رسید. هدف از تشکیل این کارگروه، هماهنگی و انسجام در برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی در سطح کشور و متعادل‌سازی منابع و مصارف آب بوده است. از مهم‌ترین وظایف این کارگروه موارد زیر بوده است:

- انسجام و پیگیری اجرای قوانین، مقررات و برنامه‌های مؤثر در تحقق سازگاری با کم‌آبی و متعادل‌سازی منابع و مصارف آب و تعادل بخشی آبخوان‌ها در مناطق مختلف کشور و ارتقای آگاهی دستگاه‌های دولتی استانی و ملی از وضعیت منابع و مصارف آب کشور و ناپایداری‌های موجود در منابع آب

- تحویل حجمی آب به اراضی کشاورزی و اعمال محدودیت در برداشت‌ها
 - کنترل اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی با افزایش تعرفه مصارف مازاد برای دوره محدود
 - پشتیبانی از تدابیر استان‌ها درخصوص جلوگیری از بروز مشکلات و تعارضات اجتماعی
- به منظور تحقق اهداف فوق، کارگروه‌های استانی سازگاری با کم‌آبی در کلیه استان‌های کشور به ریاست استانداران فعال گردید که این امر موجب شد تا با محوریت بالاترین مقام استانی، اشراف کاملی از شرایط منابع و مصارف و وضعیت حال و آتی این منابع برای مقامات تصمیم‌گیر استانی به دست آمده و واقعیات محرز گردد و در مرحله بعد، برنامه‌ها پس از تدوین و تصویب در سطح استان‌ها، برای جمع‌بندی از منظر ملی با نگاه مدیریت یکپارچه منابع و مصارف آب به دبیرخانه ارسال گردد.

براساس آخرین اطلاعات مندرج در برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی استانها، کسری تجمعی و سالانه مخازن آب زیرزمینی کشور، به ترتیب ۱۳۱/۱ و ۵/۲ میلیارد مترمکعب است. حدود ۴۵ درصد کسری سالانه و تجمعی آبخوان‌های کشور مربوط به استانهای واقع بر نوار شرقی کشور است (کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی و خراسان شمالی).

علی‌رغم اینکه اجرای برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی منجر به احیای تعداد قابل توجهی از آبخوان‌های کشور خواهد شد ولی در ۲۳ استان کشور، تعدادی از آبخوانها غیرقابل احیا تشخیص داده شده و کسری تجمعی این آبخوان‌ها از طریق صرفه‌جویی تا سال ۱۴۳۰ قابل بازیابی نیست و پدیده فرونشست منجر به از بین رفتن تدریجی ظرفیت ذخیره آب در این آبخوان‌ها خواهد شد.

برنامه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به میزان ۱۰۱۳ میلیون متر مکعب توسط استانها، پیشنهاد و در کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی مصوب شده است. هدف‌گذاری انجام شده برای صرفه‌جویی برداشت از منابع آب زیرزمینی برای سازگاری با کم‌آبی، ۱۴/۵۱ میلیارد متر مکعب بوده است (۳۰ درصد کل برداشت‌های آب بخش‌های شرب، فضای سبز، صنعت و کشاورزی) که در کارگروه‌های سازگاری با کم‌آبی استان‌ها با صرفه‌جویی و اصلاح مصرف در حد ۹ میلیارد متر مکعب، در فاز اول و تا پایان برنامه هفتم توافق شده است (گزارش برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی، اردیبهشت ۱۴۰۰).

متأسفانه بررسی گزارش‌های ارائه شده توسط کارگروه‌های استانی بیانگر این مهم است که اقدام موثری جهت تدقیق آمار و اطلاعات صورت نمی‌پذیرد و صرفاً آب قابل برنامه‌ریزی ابلاغی که به دلیل فقدان ابزارهای اندازه‌گیری و عدم تحویل حجمی آب و کنترل دقیق برداشت‌های غیرمجاز از دقت کافی برخوردار نیست، ملاک عمل قرار گرفته و تلاش می‌شود آمار و اطلاعات استان مطابق با آن ارائه شود. بر اساس آماربرداری دور دوم منابع آب کشور، کارگروه سازگاری نسبت

به تدوین و ارائه سند منابع و مصارف اقدام نمود و مقرر شد بر اساس آماربرداری دور سوم، سند قبلی به روز شود که تاکنون محقق نشده است.

۴- چالش‌های دستیابی تعادل بخشی منابع و مصارف

• مشخص نبودن بیلان دقیق منابع و مصارف و به تبع آن عدم امکان ارائه آب قابل برنامه‌ریزی متقن در راستای توسعه پایدار با توجه به فقدان ابزارهای مناسب اندازه‌گیری حجم آب تحویلی در اکثر چاه‌ها و نقاط تحویل آب به کشاورزان، حجم آب تحویلی به بخش کشاورزی به صورت دقیق مشخص نبوده و آمار به صورت برآوردی اعلام می‌شود که همواره مورد اختلاف و اعتراض بوده است.

• عدم همگرایی و تشتت آراء دستگاه‌های مختلف در میزان مصارف و برنامه‌های تخصیص (منتج از بند قبل)

• عدم تحویل حجمی آب (نبود کنتورهای حجمی اندازه‌گیری آب در نقاط تحویل آب): تأمین پیش نیازهای مرتبط از جمله، رعایت حقابه کلیه کشاورزان، تشکیل گروه‌های فنی و تسهیل‌گری در سطوح محلی، شهرستان و استان، به‌سازی شبکه، نصب ابزارهای دقیق با امکان تله‌متری برای تعیین حجم آب تحویلی در زمان مورد تقاضا، آموزش و توانمندسازی دست‌اندرکاران و اعضای شرکت‌های تعاونی تولید و سهامی زراعی، توسعه و ایجاد شرکت‌های جدید در صورت نیاز، تدوین دستورالعمل‌ها و اجرای طرح بهره‌برداری از شبکه، اختصاص اعتبارات لازم جهت بهره‌برداری به شرکت‌های تعاونی و سهامی زراعی و مشخص نمودن مختصات مکانی نقاط تحویل، مورد پیگیری است. دستورالعمل تحویل حجمی آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و همچنین دستورالعمل مدیریت مشارکتی آب، تهیه و ابلاغ شده است. مشکل اصلی، تأمین اعتبارات لازم و نصب ابزارهای تحویل حجمی است.

• عدم تعیین تکلیف چاه‌های غیرمجاز کشاورزی: فقدان اطلاعات دقیق در رابطه با تعداد و میزان آب برداشتی چاه‌های غیر مجاز، چالش‌های موجود در نحوه برخورد، تعیین تکلیف و معیشت جایگزین با توجه به سرمایه‌گذاری‌های انجام شده کشاورزان و تبعات اجتماعی و سیاسی در منطقه، عدم محرز بودن تعداد چاه‌های غیر مجاز که برآورد می‌شود بالغ بر ۴۰۰ هزار حلقه چاه باشد. به گونه‌ای که از ابتدای برنامه ششم توسعه میزان آب برداشتی از سفره‌های آب زیرزمینی از ۱/۲ میلیارد میلیارد مترمکعب به ۸ میلیارد در پایان برنامه ششم رسیده است.

• مدیریت صرفاً حاکمیتی آبخوان‌ها و ضعف در مشارکت‌دهی بهره‌برداران

• نگاه اقتصادی در تصدی‌گری منابع آب به عنوان یک منبع درآمد

۵- راهکارهای دستیابی به تعادل بخشی و رفع ناترازی

۱-۵- تقویت ظرفیت‌های قانونی ایجاد شده (کارگروه سازگاری با کم‌آبی) در جهت همسویی اقدامات و رفع تعارضات برنامه‌ای: با توجه به شکل‌گیری این کارگروه در سطح ملی و کارگروه‌های استانی آن به ریاست استانداران، ضروری است تا پیگیری و اجرای احکام فصل

آب برنامه هفتم پیشرفت و توسعه تا حصول نتایج اثربخش ادامه یابد.

۲-۵- تقویت مشارکت بهره‌برداران در مدیریت تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و رفع ناترازی

۳-۵- ارائه برنامه‌های تعادل بخشی منابع آب بر اساس آمار واقعی و متقن و منتج از مدل حسابداری منابع و مصارف

۴-۵- اصلاح قوانین و مقررات: بر اساس راهکارهای اجرایی برنامه سوم توسعه، دولت مکلف به تهیه و ارائه لایحه قانون جامع آب کشور با اصلاح قانون توزیع عادلانه آب، بر اساس جامع‌نگری در جهات و زمینه‌های اصلی از جمله «تأکید بر سیاست‌های بنیانی و دراز مدت کمی و کیفی منابع آب متناسب با اهداف کشاورزی، مشخص کردن ساختار و ساز و کار مدیریت هماهنگ و یکپارچه منابع آب کشور، شفاف‌سازی تعرفه‌های آب و خدمات مرتبط، متناسب با قیمت نهاده‌ها و محصولات کشاورزی، مشروط به پیش‌بینی هزینه‌ها در تعیین قیمت تضمینی و استقرار نظام ملی تخصیص، قانونمند کردن امر اشتراک آب کشاورزی، توسعه و حمایت از ایجاد تشکلهای مصرف‌کنندگان آب کشاورزی و متناسب کردن الگوی کشت با ظرفیت‌های منابع آب در مناطق مختلف» شده است که متأسفانه انجام این مهم از برنامه سوم توسعه مسکوت باقی گذاشته شده و در هاله‌ای از ابهام قرار دارد.

جمع‌بندی

وضعیت اسف‌بار منابع آب زیر زمینی کشور که به نوبه خود منابع آب سطحی و تالاب‌ها و دریاچه‌ها را نیز متأثر نموده است به خوبی بیانگر عدم کارآمدی شیوه‌های فعلی مدیریت منابع آب و به ویژه عدم توانایی ساختارهای اجرایی و نظارتی در پایش و حفاظت منابع آب و خاک کشور است. نگاهی به عملکرد ۳۰ ساله گذشته نشان می‌دهد که علی‌رغم صرف هزینه‌های سنگین و ایجاد ساختارها و تشکیلات متعدد و ایفای نقش پلیسی نه تنها اثرات مثبتی نداشته است، بلکه نظام‌های محلی موجود در صیانت از منابع آب را برهم زده و به جای آن رقابتی سیری‌ناپذیر را برای تاراج این منابع و تعدد حفر چاه‌ها فراهم نموده و هزینه‌های بسیار سنگین را بر همه کشاورزان و بهره‌برداران متحمل نموده و سرمایه‌گذاری‌ها و ثروت آنان را در معرض خطر و نابودی قرار داده است.

در خاتمه با توجه به تکالیف ابلاغی هر وزارتخانه و چالش‌هایی که این موضوع لااقل در بحث تولید محصولات کشاورزی و تغییر ضریب خود اتکالی و خودکفایی محصولات اساسی کشاورزی در سال‌های آتی در پی خواهد داشت، تداوم این امر در تضاد جدی با رسالت نیل به امنیت غذایی و تحقق ضریب خودکفایی بر اساس اسناد بالادستی می‌باشد. در این راستا ضروری است حسابداری آب و استقرار سیستم آنالین و بانک اطلاعاتی مورد تأیید، دقیق و به روز منابع و مصارف آب با دسترسی کلیه ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب و احصاء آمار و مشخصات فنی کلیه چاه‌های مجاز و غیرمجاز اقدام شده و اصلاح اساسی در ساختار و رویکرد حاکمیتی آب کشور صورت پذیرد.

A Comprehensive Overview of Single-Source and Dual-Source Energy Balance Algorithms for Estimating Actual Evapotranspiration

M. Rezaei*

Researcher, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

Email: maryam.rezaei@areeo.ac.ir

Received: 06-07-2024

Revised: 06-09-2024

Accepted: 14-10-2024

Available Online: 28-02-2025

مروری جامع بر الگوریتم‌های بیلان انرژی تک منبعه و دو منبعه برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی

مریم رضائی

محقق بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

E-Mail: maryam.rezaei@areeo.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳

Abstract

Evapotranspiration estimation is one of the most important water balance components and involves various complexities. In general, energy balance models are divided into two categories: single-source and two-source models. Choosing a model to estimate ET from among the existing energy balance models is challenging because each model has strengths and limitations. The goal of the present research is to introduce and compare several evapotranspiration estimation methods, including Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) model, Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration (METRIC) model, Surface Energy Balance System (SEBS) model, Simplified Surface Energy Balance Index (S-SEBI) model, Operational Simplified Surface Energy Balance (SSEBop) model—Two-Source (soil + canopy) (TSM) model and Two-Source Time Integrated (TSTIM) model. Some advantages of the single-source energy balance model S-SEBI include the following: It is possible to implement it using only images without the need for weather data. Therefore, if the number of meteorological stations in the area is low, this method can be utilized. No need for a land use map. One disadvantage of this model is that it can only be used in cases where atmospheric conditions across the entire image are constant. Due to the simplicity and lower complexity of the structure and assumptions of the SSEBop model, it has increased operational capability for calculating actual evapotranspiration over large areas. However, it is not recommended for regions with heterogeneous vegetation cover, mountainous areas, high albedo regions, or high levels of radiation, and in such areas, the TSEB algorithm is recommended. Due to some errors and uncertainties in these surface energy balance models, extensive studies are required to overcome these limitations.

Keywords: Energy Balance, Actual Evapotranspiration, Remote Sensing, Single-Source and Two-Source Models.

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق واقعی به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای بیلان آب، پیچیدگی‌های زیادی دارد. به طور کلی مدل‌های بیلان انرژی به دو دسته مدل‌های تک منبعه و دو منبعه تقسیم می‌شوند. انتخاب یک مدل برای تخمین ET از بین مدل‌های بیلان انرژی موجود چالش برانگیز است، زیرا هر مدل، نقاط قوت و محدودیت‌هایی دارد. هدف از پژوهش حاضر معرفی و مقایسه تعدادی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق شامل الگوریتم بیلان انرژی سبال، الگوریتم پهنه‌بندی تبخیر و تعرق با واسنجی داخلی متریک، سیستم بیلان انرژی سطحی (SEBS)، الگوریتم شاخص بیلان انرژی سطح ساده‌شده، الگوریتم دومنبهه (خاک + تاج پوشش) و الگوریتم یکپارچه زمانی دومنبهه، است. از مزایای الگوریتم بیلان انرژی تک منبعه S-SEBI، می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱- اجرای آن تنها با استفاده از تصاویر و بدون نیاز به داده‌های هواشناسی صورت می‌گیرد. بنابراین اگر تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه کم باشد، می‌توان از این روش بهره گرفت. ۲- نیاز به نقشه کاربری اراضی ندارد. از معایب الگوریتم این است که این روش در مواردی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که شرایط اتمسفری در کل تصویر ثابت باشد. با توجه به پیچیدگی کمتر ساختار و فرضیات الگوریتم (SSEBop)، قابلیت عملیاتی برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی برای مناطق وسیع را دارد، ولی برای مناطق با پوشش گیاهی ناهمگن، مناطق کوهستانی، مناطق دارای آلبیدوی بالا و تابش زیاد توصیه نمی‌شود و در چنین مناطقی الگوریتم TSEB توصیه می‌شود. با توجه به برخی از خطاها و عدم قطعیت‌ها در الگوریتم‌های بیلان انرژی سطحی، لازم است مطالعات بسیاری برای غلبه بر این محدودیت‌ها انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: بیلان انرژی، تبخیر و تعرق واقعی، سنجش از دور، الگوریتم‌های تک منبعه و دو منبعه.

پدیده تبخیر و تعرق^۱ (ET)، یک بخش مهم از چرخه هیدرولوژیکی است (Petković و همکاران، ۲۰۲۰) و این متغیر را می‌توان در برنامه‌ریزی پروژه‌های آبیاری، شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژیکی، بهبود مدیریت مصرف آب و الگوریتم‌های پیش‌بینی خشکسالی استفاده نمود (Dixon و Earls، ۲۰۰۸).

با توجه به میزان کم نزولات جوی در اکثر نقاط و نیز کاهش شدید منابع آب به دلیل کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر و افزایش تقاضا در بخش کشاورزی، برآورد تبخیر و تعرق در مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوزه آبخیز و ارزیابی و طراحی سامانه‌های آبیاری مزرعه، به‌عنوان شاخصی مهم محسوب می‌شود. تعیین دقیق این پارامتر، نیازمند صرف زمان و هزینه زیاد است. بنابراین، استفاده از روش‌های جدید و کم‌هزینه مانند الگوریتم‌های مبتنی بر سنجش از دور برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاهان در سطح منطقه‌ای و گسترده، ضروری به نظر می‌رسد (نظری و کاویانی، ۱۳۹۵).

بسیاری از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مبتنی بر ماهواره، میزان تبخیر و تعرق را بر اساس معادله بیلان انرژی سطحی با استفاده از تابش‌های موج کوتاه و بلند خالص در سطح پوشش گیاهی و یا خاک، میزان گرمای هدایت شده به سمت خاک و میزان گرمای انتقال یافته به هوا، محاسبه می‌نمایند (Kilic و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه با توجه به اهمیت برآورد تبخیر و تعرق واقعی، مطالعات مختلفی در سرتاسر جهان انجام شده است، درحالی‌که فقط تعدادی از روش‌ها تغییرپذیری مکانی تبخیر و تعرق واقعی (AET)^۲، را در نظر گرفته‌اند. اگرچه اخیراً پیشرفت‌های قابل‌توجهی در ارزیابی AET بر اساس سنجش از دور صورت گرفته است، اما هنوز شکاف‌هایی بین تحقیقات علمی و کاربرد عملی آن توسط کاربران وجود دارد. روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی مبتنی بر سنجش از دور به دو دسته مدل‌های تک منبعی و دو منبعی تقسیم می‌شوند که سطح پیچیدگی، تعداد داده‌های ورودی موردنیاز و تعداد پارامترها در الگوریتم‌های مختلف متفاوت است. لذا دستیابی به یک الگوریتم قابل‌درک با پیچیدگی مناسب (نه خیلی ساده و نه خیلی پیچیده)، که بتواند رفتار الگوریتم را توضیح دهد، یک چالش آشکار محسوب می‌شود (Backx و همکاران، ۲۰۱۷) و توجه به پیچیدگی کمتر ساختار و فرضیات الگوریتم، قابلیت اجرایی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی را برای مناطق وسیع بیشتر خواهد یافت و گزینه‌ای امیدبخش برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مطالعات مدیریت منابع آب است. با توجه به مسائل مطرح شده، در این تحقیق تلاش می‌شود تعدادی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی معرفی و مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف صورت پذیرد و همچنین اطلاعاتی در مورد معایب و مزایای استفاده از آن‌ها در اختیار محققان قرار دهد.

مقاله حاضر بررسی و مروری جامع بر الگوریتم‌های بیلان انرژی تک منبعه و دو منبعه برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دنیا را نشان می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر معرفی و مقایسه تعدادی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق شامل الگوریتم بیلان انرژی سبال، الگوریتم پهنه‌بندی تبخیر و تعرق با واسنجی داخلی متریک، سیستم بیلان انرژی سطحی (SEBS)^۳، الگوریتم شاخص بیلان انرژی سطح ساده شده، الگوریتم عملیاتی بیلان انرژی سطح ساده شده (SSEBop)^۴، الگوریتم دومنبهه (خاک + تاج پوشش) و الگوریتم یکپارچه زمانی دومنبهه است. با توجه به اهداف موردنظر در این پژوهش و ماهیت مروری این مقاله، سعی گردید که در ابتدا، جستجوی وسیع مطالعاتی در منابع صورت گیرد. روش تحقیق، به‌صورت مروری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات، اسناد و مدارک در ارتباط با موضوع است. در مرحله اول، معیارهای جستجو و پایگاه داده‌ها تعیین شدند و از پایگاه داده‌های Elsevier، Google Scholar، ScienceDirect و Springer استفاده شد. معیار جستجو، موضوع مقالات بود و کلمات کلیدی بکار رفته شامل «تبخیر و تعرق»، «بیان انرژی»، «سنجش از دور»، «تک منبعه»، «دو منبعه» و ... بودند. در مرحله دوم، مقالات جستجو و دسته‌بندی شدند و مجموع مقالاتی که با هدف پژوهش حاضر همخوانی داشتند، انتخاب شده و مطالعه و بررسی شدند.

به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق، روش‌های نسبتاً پیچیده بر اساس معادله بیلان انرژی سطحی^۵ (Mallick و همکاران، ۲۰۱۴) ایجاد شده‌اند و به آن‌ها، الگوریتم‌های سب^۶ گفته می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۷). الگوریتم‌های مبتنی بر بیلان انرژی سطحی به دو قسمت الگوریتم‌های تک‌منبعه^۷ و دومنبهه^۸ تقسیم می‌شوند. الگوریتم‌های تک‌منبعه، مجموعه خاک و گیاه را به‌عنوان یک منبع واحد در نظر می‌گیرند و تنها از یک مقاومت آیرودینامیکی در فرآیند انتقال آب-گرمای استفاده می‌کنند.

درحالی‌که الگوریتم‌های دومنبهه ضمن تفکیک خاک و گیاه در کلیه فرایندهای الگوریتم‌سازی، از چندین مقاومت مجزا برای خاک و گیاه استفاده می‌کنند. برای شرایطی که پوشش گیاهی کم و یکنواخت در منطقه غالب باشد، ممکن است الگوریتم‌های تک‌منبعه مناسب باشند، اما در نواحی‌ای که پوشش گیاهی به‌طور پراکنده توزیع شده باشند، الگوریتم‌های دومنبهه توصیه می‌شوند (خرسند موفر و سیما، ۱۳۹۸).

الگوریتم‌های بیلان انرژی تک‌منبعه، شامل الگوریتم بیلان انرژی SEBAL^۹، الگوریتم شاخص بیلان انرژی سطح ساده شده (S-SEBI)^{۱۰} (Roerink و همکاران، ۲۰۰۰)، سیستم بیلان انرژی سطحی (SEBS) (Su، ۲۰۰۲)، الگوریتم پهنه‌بندی تبخیر و تعرق با واسنجی داخلی متریک^{۱۱} (Allen و همکاران، ۲۰۰۷) و از جمله

الگوریتم‌های بیلان انرژی دومنبه می‌توان به الگوریتم دومنبه (خاک + تاج پوشش)^{۱۲} (Norman و همکاران، ۱۹۹۵) و الگوریتم یکپارچه زمانی دومنبه^{۱۳} (Anderson و همکاران، ۱۹۹۷)، اشاره نمود. تحقیقات صورت گرفته محققین مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم‌های بیلان انرژی مختلف، SEBS، METRIC و SEBAL، به‌عنوان الگوریتم‌های کارا و قابل اجرا در مقیاس‌های زمانی و مکانی شناخته شده‌اند (Choi و Liaquat، ۲۰۱۵).

• الگوریتم‌های بیلان انرژی تک‌منبه

- الگوریتم بیلان انرژی سبال

الگوریتم سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، که میزان تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌کند و اولین بار Bastiaanssen و همکاران (۱۹۹۸) ارائه نمودند. الگوریتم مذکور را در سال ۲۰۰۲، Allen و همکاران اصلاح نمودند. الگوریتم اصلاحی به الگوریتم توازن انرژی متریک که Allen و همکاران در ۲۰۰۷ ارائه نمودند، شباهت بسیاری دارد. دقت تبخیر و تعرق روزانه برآوردی حاصله از سبال در مقیاس میدانی، ۸۵ درصد و به‌صورت فصلی دقت آن به ۹۵ درصد افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، استفاده از این روش برای برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس‌های بزرگ و دوره‌های بلندمدت نتایج بهتری ارائه می‌دهد (Bastiaanssen و همکاران، ۲۰۰۵).

- الگوریتم متریک

الگوریتم متریک در ابتدا در سال ۲۰۰۵ توسط Allen و همکاران در یک کارگاه آموزشی برای برآورد تبخیر و تعرق به‌منظور مدیریت آب در ایالت‌های غربی آمریکا ارائه شد. سپس Allen و همکاران این الگوریتم را در سال ۲۰۰۷ تحت عنوان پهنه‌بندی تبخیر و تعرق با واسنجی داخلی متریک گسترش دادند.

- برآورد تبخیر و تعرق در الگوریتم‌های متریک و سبال

بر اساس رابطه (۱) در الگوریتم‌های متریک و سبال، انرژی مصرف‌شده برای ET، به‌صورت یک باقی‌مانده از معادله بیلان انرژی محاسبه می‌شود.

$$LE = R_n - G - H \quad (1)$$

که در این معادله، LE برابر شار گرمای نهان، R_n تابش خالص، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس است که همگی برحسب وات بر مترمربع بیان می‌شوند. الگوریتم‌های متریک و سبال در بسیاری از بخش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق مشابه هستند و تنها در تعدادی روابط با هم تفاوت دارند. شار تابش خالص سطحی (R_n)، نمایانگر انرژی تابشی در سطح است که با کم کردن تمامی شارهای تابشی خروجی از تمامی شارهای تابشی ورودی بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} - R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که در آن، $R_{s\downarrow}$ معرف تابش طول‌موج کوتاه ورودی (W/m^2)، α آلودگی سطحی (بدون بعد)، $R_{L\downarrow}$ تابش طول‌موج بلند ورودی (W/m^2)، $R_{L\uparrow}$ تابش طول‌موج بلند خروجی (W/m^2) و ϵ_0 گسیل‌مندی سطحی عریض باند (بدون بعد) است (Mahmoud و Alazba، ۲۰۱۶). با فرض شرایط صاف بودن آسمان، تابش ورودی موج کوتاه^{۱۴} به‌صورت رابطه (۳) برای زمان تصویر، محاسبه می‌گردد.

$$R_{s\downarrow} = (G_{SC} \times \cos \theta_{rel} \times \tau_{SW}) / d^2 \quad (3)$$

که در آن G_{SC} ثابت خورشیدی ($1367 W/m^2$)، τ_{SW} ضریب شفافیت اتمسفری و d^2 مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید است. در هر دو الگوریتم، روش محاسبه کلیه پارامترهای ذکر شده، مشابه است. تنها اختلاف، روش برآورد مقدار ضریب شفافیت اتمسفری یا τ_{SW} است که باعث ایجاد اختلاف در مقادیر خروجی $R_{L\downarrow}$ ، $R_{s\downarrow}$ و در نتیجه مقدار تابش خالص یا R_n می‌شود.

τ_{SW} در الگوریتم متریک با استفاده از تابع ارائه‌شده توسط Allen و همکاران (۲۰۰۵)، به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\tau_{SW} = 0.35 + 0.627 \exp \left[\frac{-0.00146P}{K_t \cos \theta_{hor}} - 0.075 \left(\frac{W}{\cos \theta_{hor}} \right)^{0.4} \right] \quad (4)$$

که در آن P، فشار اتمسفر برحسب W، (kPa) آب موجود در اتمسفر θ_{hor} ، (mm) زاویه زینت خورشیدی از یک سطح افقی و K_t ضریب مه آلودگی که بدون بعد بوده است ($0 < K_t \leq 1$). مقدار $K_t = 1$ برای هوای تمیز و $K_t = 0.5$ برای هوای غباری و بسیار آلوده در نظر گرفته می‌شود (Allen و همکاران، ۱۹۹۸).

در الگوریتم سبال، τ_{SW} با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\tau_{SW} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (5)$$

که در آن z معرف ارتفاع ایستگاه از سطح دریا برحسب متر است. شار گرمای خاک، نرخ ذخیره گرمایی در خاک و پوشش گیاهی است. مقدار G در الگوریتم سبال، با استفاده از یک معادله تجربی و به‌صورت نسبت G/R_n ، به دست می‌آید.

$$G/R_n = (T_s - 273.15)(0.0038 + 0.0074\alpha)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (6)$$

که T_s دمای سطحی ($^{\circ}K$) و α آلودگی سطحی است. سپس G/R_n با ضرب کردن R_n در G/R_n محاسبه می‌شود (Allen و همکاران، ۲۰۰۷). Tasumi (۲۰۰۳) روش دیگری برای محاسبه شار گرمای خاک در الگوریتم متریک پیشنهاد نمود که معادله آن به‌صورت زیر است:

$$G/R_n = 0.05 + 0.18e^{(-0.521LAI)} \quad (LAI \geq 0.5) \quad (7)$$

$$G/R_n = (1.80(T_s - 273.15))/R_n + 0.084 \quad (LAI < 0.5) \quad (8)$$

که LAI شاخص سطح برگ است که برحسب مترمربع بر مترمربع، بیان می‌شود. معادلات (۷) و (۸) در آیداهو، کالیفرنیا و نیومکزیکو به‌کاررفته است.

نحوه محاسبه شار گرمای محسوس، در روش سبال (۱۹۹۸) و متریک متفاوت است، ولی در سبال اصلاح‌شده (Allen و همکاران، ۲۰۰۲)، این اختلاف وجود ندارد.

واقعی با تقسیم LE از رابطه (۱۰) بر گرمای نهان تبخیر محاسبه می‌شود.

$$ET_{inst} = 3600 (LE / \lambda \rho_w) \quad (10)$$

که در آن، ET_{inst} تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، λ گرمای نهان تبخیر (J/kg)، ρ_w چگالی آب (kg/m³) و عدد ۳۶۰۰ ضریب تبدیل زمان از ثانیه به ساعت است. λ از معادله زیر به دست می‌آید.

$$\lambda = (2.501 - 0.00236(T_s - 273.15)) \times 10^6 \quad (11)$$

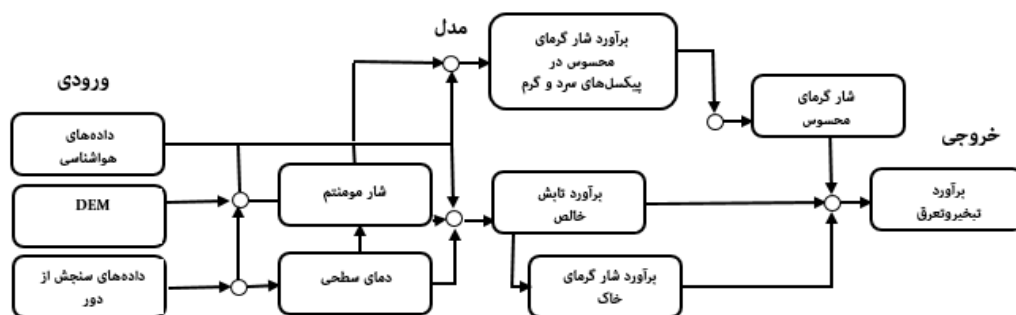
کسر تبخیر و تعرق مرجع ($ET_r F$)، به صورت نسبت تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}) محاسبه شده از هر سلول به تبخیر و تعرق مرجع (ET_r) محاسبه شده از اطلاعات هواشناسی، محاسبه می‌شود.

$$ET_r F = ET_{inst} / ET_r \quad (12)$$

در ادامه تبخیر و تعرق روزانه از طریق رابطه (۱۳) حاصل می‌شود.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r24} \quad (13)$$

که در آن، ET_{r24} میزان تجمعی تبخیر و تعرق مرجع برحسب میلی‌متر در روز است. نمودار جریانی الگوریتم‌های متریک و سبال به نقل از Awada و همکاران (۲۰۲۱) در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- نمودار جریانی الگوریتم سبال

در ابتدا، وقتی بازتابش کم است (یعنی سطح زمین بیشتر انرژی را جذب می‌کند)، دمای سطح زمین تقریباً ثابت می‌ماند. این اتفاق بیشتر در زمین‌های مرطوب، مزارع آبیاری شده و یا سطح آب رخ می‌دهد، زیرا انرژی جذب شده بیشتر برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود. وقتی بازتابش بیشتر می‌شود (یعنی سطح زمین کمتر انرژی جذب می‌کند)، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد. دلیل آن این است که وقتی رطوبت خاک کم می‌شود، تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد و انرژی بیشتری به گرم کردن سطح اختصاص می‌یابد. در نهایت، اگر بازتابش همچنان افزایش یابد، دمای سطح پس از رسیدن به یک حد مشخص، شروع به کاهش می‌کند. این کاهش به این دلیل است که رطوبت خاک به قدری کاهش یافته که دیگر تبخیر و تعرقی صورت نمی‌گیرد و انرژی جذب شده فقط برای گرم کردن سطح به کار می‌رود. با افزایش بازتابش، انرژی در دسترس نیز کاهش می‌یابد و این باعث می‌شود که دما کمتر شود. بنابراین، در ابتدا تبخیر و تعرق دما را کنترل می‌کنند و در مراحل بعدی بازتابش، کنترل دما را به عهده می‌گیرد (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

مؤلفه شار گرمای محسوس (H)، در الگوریتم‌ها از معادله بیلان انرژی به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$H = (\rho_{air} C_p d_T) / r_{ah} \quad (9)$$

که در آن، ρ_{air} چگالی هوا (kg/m³)، C_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت (۱۰۰۴ J/kg/K)، d_T اختلاف دمای بین دو ارتفاع (z_1 و z_2) برحسب درجه کلوین و r_{ah} مقاومت آیرودینامیکی بین دو ارتفاع سطح نزدیک برای انتقال گرما (s/m) است. برای برآورد شار گرمای محسوس، دو سلول آستانه سرد و گرم انتخاب می‌شود.

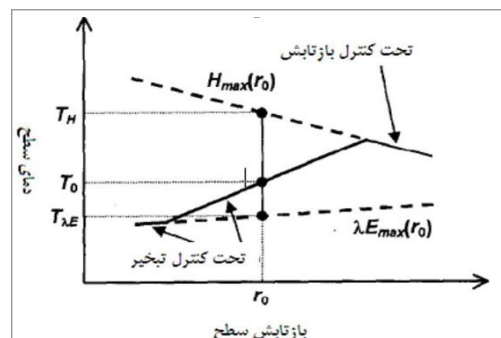
سلول سرد^{۱۵}، از مزارع با پوشش گیاهی کامل انتخاب می‌شود که در آن، دمای سطحی و دمای هوای نزدیک به سطح برابر فرض می‌شوند و سلول گرم^{۱۶}، از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود (Allen و همکاران، ۲۰۰۷).

با وجود یکسان بودن روش محاسبه H ، در هر دو الگوریتم سبال و متریک، به علت استفاده از مقادیر R_n و در روند برآورد H ، نتایج خروجی H ، برای دو الگوریتم متفاوت خواهد شد.

در هر دو الگوریتم، در لحظه تصویر برای هر سلول، تبخیر و تعرق

- معرفی الگوریتم S-SEBI

الگوریتم شاخص بیلان انرژی سطح ساده شده را Roerink و همکاران (۲۰۰۰) ارائه کردند. تفاوت عمده آن با روش سبال در برآورد شار گرمای محسوس است. در این روش با فرض ثابت بودن تابش کلی و دمای هوا، توضیحی قراردادی بین بازتابش سطح و دمای سطح زمین برقرار می‌شود که به نقل از حسن‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- رابطه بین بازتابش سطح و دمای سطح زمین (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۱)

در صورتی که بتوان دو رابطه بین بازتابش و دما را برای $\lambda E_{\max}(r_0)$ و $H_{\max}(r_0)$ مشخص کرد، الگوریتم S-SEBI کسر تبخیری را به صورت زیر محاسبه می‌کند: برای هر سلول، بازتابش سطحی r_0 و دمای سطحی T_0 تعیین می‌شوند؛ جایی که دما با رطوبت خاک و با شارهای انرژی مرتبط است. به همراه دمای وابسته به بازتابش $T_{\lambda E}$ ، که در آن $\lambda E_{\max}(r_0) = R_n - G_0$ و $H = 0$ است و دمای وابسته به بازتابش T_H ، که در آن $H_{\max}(r_0) = R_n - G_0$ است، کسر تبخیری به عنوان نسبت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Lambda = (T_H - T_s) / (T_H - T_{\lambda E}) \quad (14)$$

در روابط زیر، T_H و $T_{\lambda E}$ از تصویر و با استفاده از رابطه خطی بین دما و بازتابش محاسبه می‌شود.

$$T_H = a_H + b_H r_0 \quad (15)$$

$$T_{\lambda E} = a_{\lambda E} + b_{\lambda E} r_0 \quad (16)$$

در روابط بالا، a_H و b_H ضرایب خطی هستند که شیب و عرض از مبدأ خط را تعیین می‌کنند و از داده‌های تجربی یا واسنجی به دست می‌آیند و r_0 یک متغیر مستقل که ممکن است نماینده بازتابش سطح، شاخص پوشش گیاهی، یا دیگر پارامترهای سطحی باشد و $a_{\lambda E}$ و $b_{\lambda E}$ ضرایب خطی هستند که مشخصات خط را تعیین می‌کنند. در صورتی که شرایط اتمسفری در تصویر ثابت بوده و سلول‌های سرد و گرم کافی در طیف بازتابش وجود داشته باشند، ممکن است اجرای این الگوریتم به کمک نمودار پراکندگی دمای سطح زمین در مقابل بازتابش صورت گیرد. همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، در آلبیدوهای پایین، تغییرات دمای سطح زمین به ازای افزایش آلبیدو، کم است. با یافتن روابط موجود این دو حد، می‌توان کسر تبخیر و در نهایت تبخیر و تعرق را محاسبه نمود (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

در نهایت تبخیر و تعرق روزانه از رابطه (۱۷) حاصل می‌شود.

$$ET_{daily} = 24 \times 3600 \times (C_{di} \times \Lambda \times R_{ni} / \lambda) \quad (17)$$

که در آن، ET_{daily} تبخیر و تعرق روزانه (mm/hr)، λ گرمای نهان تبخیر ($2,454 MJ/kg$) است و C_{di} از نسبت بین تابش خالص روزانه (R_{nd}) به تابش خالص لحظه‌ای (R_{ni}) به دست می‌آید (sobrino و همکاران، ۲۰۲۱).

-الگوریتم SEBS

الگوریتم SEBS را Su در سال ۱۹۹۹ ارائه نمود. این الگوریتم شامل ترکیبی از الگوریتم‌ها برای تعیین پارامترها و متغیرهایی از جمله آلبیدو، قابلیت انتشار، دمای سطح زمین و پوشش گیاهی از طریق داده‌های تابش و بازتابش است و در سال ۲۰۰۲ توسط Su بهبود پیدا کرده است. الگوریتم SEBS یکی دیگر از الگوریتم‌های بیلان انرژی فیزیکی پایه است که نیاز به هیچ دانش قبلی در مورد شارهای حرارتی آشفته واقعی ندارد.

این الگوریتم از بیلان انرژی در دو حالت خشک و تر برای محاسبه تبخیر نسبی لحظه‌ای (Λ_r) استفاده می‌کند:

$$\Lambda_r = 1 - [(H - H_{wet}) / (H_{dry} - H_{wet})] \quad (18)$$

که در آن H_{wet} شار حرارتی محسوس است ($W m^{-2}$) تحت شرایط محدودکننده تر که در آن ET رخ می‌دهد و H_{dry} شار حرارتی محسوس ($W m^{-2}$) در شرایط محدودکننده خشک است که در آن ET به دلیل رطوبت محدود خاک، صفر است.

کسر تبخیر روزانه به صورت رابطه (۱۹) فرموله شده است.

$$\Lambda = (\Lambda_r \times LE_{wet}) / (R_n - G) \quad (19)$$

و در نهایت تبخیر و تعرق روزانه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$ET_{24} = (8.64 \times 10^7 \times \Lambda \times (R_{n24} - G_{24})) / (\lambda \times \rho_w) \quad (20)$$

- الگوریتم (SSEB-op)

الگوریتم عملیاتی بیلان انرژی سطح ساده شده (SSEB-op)، ارائه شده Senay و همکاران (۲۰۱۳)، تبخیر و تعرق روزانه را با استفاده از دمای سطح زمین (T_s)، دمای هوای بیشینه (T_a) و تبخیر و تعرق مرجع (ET_0)، برآورد می‌کند. الگوریتم از فرضیات ساده کننده استفاده می‌کند و معادله بیلان انرژی را به صورت دقیق حل نمی‌کند. این فرضیات باعث می‌شود تا محاسبات در زمان نسبتاً کوتاه‌تری انجام شود (رئسی و همکاران، ۱۴۰۲). در الگوریتم SSEBop، نسبت تبخیر و تعرق از رابطه (۲۱) به دست می‌آید.

$$ET_f = (T_h - T_s) / (T_h - T_c) \quad (21)$$

که در این رابطه، T_s دمای سطح زمین ($^{\circ}K$)، T_h دمای سطح زمین در سلول گرم ($^{\circ}K$) و T_c دمای سطح زمین در سلول سرد است.

در ادامه تبخیر و تعرق روزانه از رابطه (۲۲) برآورد می‌شود.

$$ET_{24} = ET_f \times K \times ET_0 \quad (22)$$

که در آن، ET_0 تبخیر و تعرق مرجع برحسب میلی‌متر در روز و K یک ضریب مقیاس است که نیاز است برای هر منطقه واسنجی شود و بین صفر تا یک است (Senay و همکاران، ۲۰۱۳).

• الگوریتم‌های بیلان انرژی دومنبه

الگوریتم TSM را Norman و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای افزایش صحت LE، توسعه دادند. این الگوریتم هم سهم پوشش گیاهی و هم سطح خاک را در نظر می‌گیرد و شار گرمای محسوس (H) را به عنوان جمع شار گرمای محسوس تاج پوشش (H_c) و شار گرمای محسوس خاک (H_s)، در نظر می‌گیرد.

$$H = H_c + H_s \quad (23)$$

$$H_c = \rho_{air} \times C_p \times (T_c - T_a) / R_c \quad (24)$$

$$H_s = \rho_{air} \times C_p \times (T_s - T_a) / R_s \quad (25)$$

که در روابط بالا، T_s و T_c برابر دمای خاک و تاج پوشش، دمای هوا، R_c و R_s برابر مقاومت آئرو دینامیکی خاک و تاج پوشش است.

کسر پوشش گیاهی از رابطه (۲۶) به دست می‌آید.

$$f_c = 1 - \exp[-(0.5 \times \Omega \times LAI) / \cos \theta] \quad (26)$$

که در آن Ω درجه انبوهی و تراکم پوشش گیاهی، LAI شاخص سطح برگ و θ زاویه دید رادیومتر است.

بازنگری‌های زیادی در الگوریتم TSM انجام شده است. از جمله ایجاد الگوریتم یکپارچه زمانی دومنبعه (TSTIM)، توسط Anderson و همکاران (۱۹۹۷)، که این الگوریتم بعداً به نام ALEXI تغییر نام داد. مزیت الگوریتم TSTIM این است که خطای ناشی از تصحیح اتمسفری بسیار کاهش می‌یابد (Aryalekshmi و همکاران، ۲۰۲۱). یکی دیگر از نسخه‌های ساده شده TSM، الگوریتم بیلان انرژی دو منبعه ساده شده (STSEB) است که تعادلی بین تابش موج بلند و موج کوتاه ورودی و خروجی برای به دست آوردن تابش خالص اعمال می‌شود (Häusler و همکاران، ۲۰۱۸).

نتایج و بحث

تعدادی از روش‌های تخمین تبخیر و تعرق به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد که در این بخش مزایا و معایب تعدادی از آن‌ها ذکر خواهد شد.

از جمله روش‌های تخمین نقطه‌ای تبخیر و تعرق واقعی می‌توان به لایسیمتر اشاره نمود که دستیابی به مقدار دقیق تبخیر و تعرق از طریق روش اندازه‌گیری میدانی، توسط آن امکان‌پذیر است که استفاده از آن در عمل به دلیل هزینه‌های زیاد و دشواری کار، کاربردی نیست. علاوه بر این، روش مذکور مقادیر نقطه‌ای تبخیر و تعرق را به دست می‌دهد (Shi و همکاران، ۲۰۰۸). از این رو کاربردشان به گستره‌های کوچک محدود شده و قابلیت تعمیم به حوضه‌های بزرگ را ندارند (Lyons و Li، ۲۰۰۲).

• مزایای الگوریتم بیلان انرژی تک منبعه S_SEBI

۱- می‌توان تنها با استفاده از تصاویر و بدون نیاز به داده‌های هواشناسی به اجرای آن پرداخت. در نتیجه اگر تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه کم و یا از مزرعه دور هستند و یا اطلاعات آن نادقیق است، می‌توان از این روش بهره گرفت.

۲- نیاز به نقشه کاربری اراضی ندارد.

از معایب الگوریتم این است که در مواردی می‌تواند استفاده شود که شرایط اتمسفری در کل تصویر ثابت باشد. بنابراین تنها برای مناطق کوچک قابل کاربرد است. همچنین با توجه به اینکه از چند

سلول استفاده می‌شود، باید دقت داشت که حتماً این سلول‌ها در مناطق کشاورزی باشند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۱).

• مزایای الگوریتم عملیاتی بیلان انرژی سطح ساده شده (SSEBop)

یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌های تک منبعی بیلان انرژی سطحی بر مبنای داده‌های سنجنش‌ازدور است که کارایی مناسب آن در برآورد تبخیر و تعرق واقعی نشان داده شده است. با توجه به اینکه الگوریتم (SSEBop)، نیاز به حداقل داده‌های زمینی دارد و اجرای خودکار آن آسان است، می‌تواند برای استفاده‌های عملیاتی در مدیریت آبیاری و مصارف آب در کشور توصیه شود. همچنین، با توجه به سادگی و پیچیدگی کمتر ساختار و فرضیات الگوریتم، قابلیت عملیاتی برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی برای مناطق وسیع افزایش خواهد یافت و یک گزینه امیدبخش برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مطالعات مدیریت منابع آب است (Dias Lopes و همکاران، ۲۰۱۹).

با این وجود، برای مناطق با پوشش گیاهی ناهمگن، مناطق کوهستانی، مناطق دارای آلبیدو بالا و تابش زیاد توصیه نمی‌شود (Senay و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، یکی از چالش‌های موجود در استفاده از کد اصلی الگوریتم SSEBop، برای مناطقی مانند ایران محدودیت استخراج و استفاده از داده‌های هواشناسی مورد نیاز الگوریتم از پایگاه‌های داده‌های جهانی (به علت عدم پوشش مکانی-زمانی یا محدودیت استفاده از داده‌های جهانی با قدرت تفکیک مکانی کم در مقیاس‌های محلی) است. به عنوان نمونه، پایگاه‌های داده‌های هواشناسی، مانند Daymet در مقیاس یک کیلومتری از ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۱ (Thornton و همکاران، ۲۰۲۱) و GridMET در مقیاس چهار کیلومتری از ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ (Abatzoglou، ۲۰۱۳) که به عنوان ورودی در کد اولیه الگوریتم SSEBop تعریف شده است، از نظر پوشش مکانی، شامل ایران نمی‌شود.

از آنجا که دقت داده‌های ورودی، به شدت روی نتایج تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده بر پایه بیلان انرژی و سنجنش‌ازدور اثرگذار است، استفاده از داده‌های هواشناسی موجود در پایگاه‌های داده جهانی (با قدرت تفکیک مکانی پایین)، با توجه به تراکم کم ایستگاه‌های هواشناسی کشور، می‌تواند منجر به افزایش خطا در خروجی نهایی الگوریتم‌ها شود (رئیزی و همکاران، ۱۴۰۲). مقایسه انواع الگوریتم‌های بیلان انرژی سطحی به نقل از Aryalekshmi و همکاران (۲۰۲۱) در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه انواع الگوریتم‌های بیلان انرژی سطحی (Sharma و Acharya, ۲۰۲۱)

الگوریتم	فرضیات	مزایا	معایب
سیستم بیلان انرژی سطحی (SEBS)	- در حد خشک، خاک لخت و رطوبت حداقل و در نتیجه تبخیر و تعرق صفر است. - در حد مرطوب، تبخیر و تعرق بیشینه است.	- ارزیابی شار تبخیری در مقیاس منطقه‌ای - کاهش عدم قطعیت - دمای سطح زمین - دقت خوب	به تعداد زیادی پارامتر احتیاج دارد.
الگوریتم شاخص بیلان انرژی سطح ساده شده (S-SEBI)	- برای یک آلبیدوی معین، کسر تبخیری با دمای سطح زمین رابطه خطی دارد.	- به داده‌های میدانی احتیاج ندارد.	- دماهای حدی نیاز است.
الگوریتم عملیاتی بیلان انرژی سطح ساده شده (SSEB-op)	- تبخیر و تعرق در سلول گرم، صفر است. - تبخیر و تعرق در سلول سرد بیشینه است.	- اندازه‌گیری‌های زمینی نیاز نیست. - انتخاب دستی سلول گرم و سرد نیاز نیست. - هزینه کمتر دارد.	- شار حرارتی محسوس (H) را محاسبه نمی‌کند. - می‌توان آن را در زمین‌های با عوارض پیچیده به کار برد.
الگوریتم دومنبه خاک + تاج پوشش (TSM)	- هم سهم پوشش گیاهی و هم سطح خاک را در نظر می‌گیرد.	- عدم نیاز به تنظیمات تجربی	- داده‌های زمینی زیادی نیاز است.
الگوریتم بیلان انرژی سبال (SEBAL)	- رابطه خطی بین دمای سطح زمین (LST) و dT وجود دارد. - تبخیر و تعرق در سلول گرم، صفر است.	- داده‌های زمینی کمتری نیاز است. - تصحیح اتمسفری چندان نیاز نیست.	- بیشتر می‌توان آن را در دشت‌ها و مناطق هموار به کار برد. - انتخاب سلول‌های سرد و گرم توسط کاربر انجام می‌شود.
الگوریتم پهنه‌بندی تبخیر و تعرق با واسنجی داخلی متریک (METRIC)	- رابطه خطی بین دمای سطح زمین (LST) و dT وجود دارد. - ETrF در طول روز ثابت است. $ET_{hot}=0 / ET_{cold}=1.05 ET_r$	- داده‌های زمینی کمتری نیاز است. - این الگوریتم را می‌توان برای عوارض پیچیده‌تر استفاده کرد.	- عدم قطعیت در انتخاب سلول‌های سرد و گرم

• مطالعه موردی مقایسه تبخیر و تعرق برآوردی توسط الگوریتم‌های

بیلان انرژی SEBS, SEBAL, METRIC و S-SEBI Sharma و Acharya (۲۰۲۱)، از ۱۹ تصویر Landsat 7-ETM و Landsat 8-OLI و TIRS بدون ابر برای ارزیابی و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های SEBS, SEBAL, METRIC و S-SEBI در سه سطح رویشی (چغندر قند در سال ۲۰۱۷، لوبیا در سال ۲۰۱۸ و جو در سال ۲۰۱۹) در حوزه آبخیز بیگورن در آمریکا برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی استفاده نمودند.

ضرایب آماری تبیین (R^2)، ضریب کارایی نش ساتکلیف (NSE) و خطای جذر میانگین مربعات برای ارزیابی قابلیت الگوریتم پیشنهادی استفاده شد که معادلات آن‌ها به شرح زیر است:

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (Ob_j - \overline{Ob_j}) (Si_j - \overline{Si_j})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (Ob_j - \overline{Ob_j})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^N (Si_j - \overline{Si_j})^2}} \quad (27)$$

$$NSE = \frac{\sum_{j=1}^N (Ob_j - Si_j)^2}{(\sum_{j=1}^N (Ob_j - \overline{Ob_j})^2)} \quad (28)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (Ob_j - Si_j)^2}{N}} \quad (29)$$

که در این معادلات، Ob_j و Si_j مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و $\overline{Ob_j}$ و $\overline{Si_j}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و N،

تعداد داده‌ها است (Gocic و همکاران، ۲۰۱۶). جدول (۲)، مقایسه آماری بین تبخیر و تعرق لحظه‌ای تخمین زده شده با الگوریتم‌ها و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده با روش نسبت باون را ارائه می‌دهند.

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که الگوریتم‌های بیلان انرژی به خوبی تغییرات تبخیر و تعرق لحظه‌ای را برآورد نموده‌اند. دقت این الگوریتم‌ها با R^2 بین ۰/۰۶ تا ۰/۹۵ و RMSD بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۵ میلی‌متر در ساعت بود. داده‌های تجمیع شده از سه نوع سطح پوشش گیاهی طی سه سال تحت شرایط آبیاری نشان داد که الگوریتم متریک با $NSE = 0.9$ در تمام انواع پوشش‌های زمینی عملکرد بهتری داشت و پس از آن SEBS با $NSE = 0.76$ ، S-SEBI با $NSE = 0.73$ و SEBAL با $NSE = 0.65$ قرار گرفتند. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین مقادیر R^2 الگوریتم‌های METRIC و SEBS در مقابل تبخیر و تعرق لحظه‌ای اندازه‌گیری شده توسط BREBS مشاهده نشد، اما NSE RMSD و PBE الگوریتم SEBS به ترتیب ۲۷٪ بیشتر، ۱۸٪ کمتر و ۵۴٪ بیشتر نسبت به الگوریتم METRIC بود. تمامی الگوریتم‌های SEB به جز SEBS، در سال ۲۰۱۷ بر روی چغندر قند، عملکرد ضعیفی داشتند. نمودار پراکندگی بین تبخیر و تعرق لحظه‌ای برآورد شده توسط الگوریتم و اندازه‌گیری شده توسط BREBS نشان داد که R^2 برای METRIC, SEBAL, SEBS و S-SEBI به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۰۶، ۰/۷۱ و

و ۰/۲۱ و NSE به ترتیب ۰/۲، ۰/۹، ۰/۲ و ۰/۲- بود.

مقایسه تبخیر و تعرق لحظه‌ای برآورد شده با الگوریتم‌های SEB در سال ۲۰۱۸ بر روی سطح پوشش گیاهی لوبیای خشک نشان داد که RMSD در الگوریتم‌های SEBAL، METRIC و SEBS و S-SEBI به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۱۴ و ۰/۱۱ میلی‌متر در ساعت بود. مشابه سال ۲۰۱۸، در سال ۲۰۱۹ نیز الگوریتم‌های METRIC و SEBS عملکرد بالاتری نسبت به SEBAL و S-SEBI داشتند.

نتایج داده‌های تلفیقی از سه سطح‌رویشی به مدت سه سال در شرایط آبیاری نشان داد که الگوریتم متریک با $NSE = 0.9$ در تمام انواع پوشش زمین بهتر عمل کرده و به دنبال آن الگوریتم SEBS با $NSE = 0.76$ ، و الگوریتم S-SEBI با $NSE = 0.73$ و سبال با شاخص $NSE = 0.65$ قرار گرفتند. شکل (۴)، شار گرمای محسوس برآوردی الگوریتم‌های بیلان انرژی را در مقابل مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقایسه آماری بین تبخیر و تعرق لحظه‌ای تخمین زده شده با الگوریتم و اندازه‌گیری شده با روش نسبت باون برای فصل رشد در سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ (Acharya و Sharma، ۲۰۲۱)

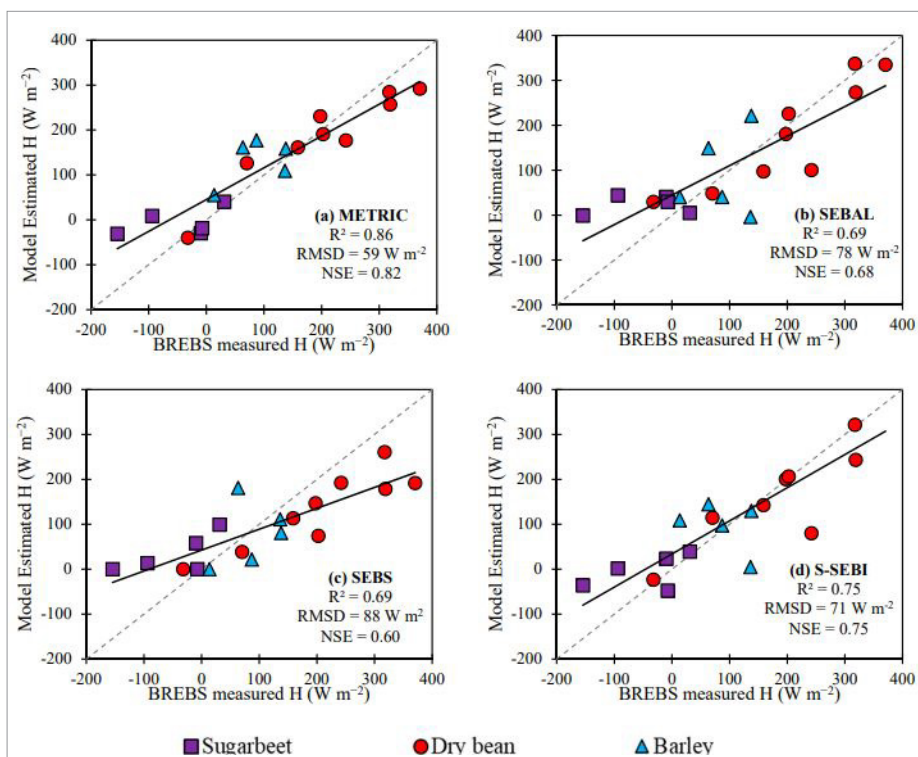
الگوریتم	سال	سطح	تعداد تصویر ماهواره‌ای	R^2	RMSD (mm h^{-1})	NSE
METRIC	۲۰۱۷	چغندر قند	۵	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۲۰
	۲۰۱۸	لوبیا خشک	۹	۰/۹۵	۰/۰۷	۰/۹۰
	۲۰۱۹	جو	۵	۰/۸	۰/۰۸	۰/۶۷
		داده‌های ادغام شده	۱۹	۰/۹۱	۰/۰۸	۰/۹۰
SEBAL	۲۰۱۷	چغندر قند	۵	۰/۰۶	۰/۱۴	-۰/۹۰
	۲۰۱۸	لوبیا خشک	۹	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۶۴
	۲۰۱۹	جو	۵	۰/۶۱	۰/۱۷	-۰/۷۵
		داده‌های ادغام شده	۱۹	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۶۵
SEBS	۲۰۱۷	چغندر قند	۵	۰/۷۱	۰/۰۹	۰/۱۹
	۲۰۱۸	لوبیا خشک	۹	۰/۹۰	۰/۱۴	۰/۵۳
	۲۰۱۹	جو	۵	۰/۸۰	۰/۰۹	۰/۵۷
		داده‌های ادغام شده	۱۹	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۷۶
S_SEBI	۲۰۱۷	چغندر قند	۵	۰/۲۱	۰/۱۱	-۰/۲۱
	۲۰۱۸	لوبیا خشک	۹	۰/۸۱	۰/۱۱	۰/۷۱
	۲۰۱۹	جو	۵	۰/۴۴	۰/۱۵	-۰/۳۸
		داده‌های ادغام شده	۱۹	۰/۷۶	۰/۱۳	۰/۷۳

بیش برآوردی جزئی در H مشتق شده از S-SEBI در شکل (۴) نشان می‌دهد که فرض تبخیر صفر روی لبه خشک ممکن است معتبر نباشد. این واقعیت که H مشتق شده از SEBS تفاوت بیشتری با H مشاهداتی دارد را می‌توان به حساسیت الگوریتم‌های SEBS نسبت به گرادیان دما و ویژگی‌های پوشش گیاهی مرتبط دانست (Liaquat و Choi، ۲۰۱۵). به طور کلی، SEBS به سلول‌های حدی در محاسبه H نیاز ندارد و از محاسبه سلول به سلول با استفاده از روش تکراری با حل روابط برای پروفیل‌های سرعت اصطحاک‌کی و تفاوت بین دمای هوای نزدیک به سطح و دمای سطحی، استفاده می‌کند که قابلیت اطمینان آن را به دلیل عدم دقت در گرادیان دما و طول مقاومت آیرودینامیک می‌توان زیر سوال برد (Liaquat و Choi، ۲۰۱۵؛ yun و همکاران، ۲۰۱۴) و تمایل دارد که تبخیر و تعرق

لحظه‌ای را برای شرایط متراکم و کم‌رویشی به ترتیب کمتر و بیش‌ازحد تخمین بزند، که در این مطالعه نیز مشاهده شده است. این نتایج توسط Liaquat و Choi در سال ۲۰۱۵، نیز تأیید شده است. آن‌ها مشاهده کردند که اختلاف پنج درجه کلون بین دمای مطلق و دمای رادیومتریک می‌تواند به ۱۰۷ درصد بیش برآوردی تبخیر و تعرق لحظه‌ای توسط SEBS در مقایسه با ۳ درصد بیش برآوردی در تبخیر و تعرق لحظه‌ای با استفاده از METRIC منجر گردد. دمای رادیومتریک، به دمای ظاهری یک جسم اشاره دارد که با استفاده از تابش حرارتی که از آن ساطع می‌شود، اندازه‌گیری می‌شود. دمای رادیومتریک در کاربردهای مختلفی مانند پیش‌بینی دمای سطح زمین، برآورد تبخیر و تعرق و مطالعه پدیده‌های جوی، اهمیت دارد. دمای مطلق سطح به دمای فیزیکی واقعی یک سطح

۸۱ میلی‌متر بیشتر از سال ۲۰۱۷ و میانگین دمای هوا به ترتیب ۰/۵۰ و ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد کمتر از سال ۲۰۱۷ بود. الگوریتم METRIC از ETrF استفاده می‌کند، درحالی‌که بقیه الگوریتم‌های SEB از Λ استفاده می‌کنند. مقایسه ETrF در مقابل Λ SEBAL، شاخص مجذور میانگین مربعات خطا را ۰/۱۸ و درصد بایاس را از ۳۷- تا ۷۲ درصد نشان داد. مقایسه مشابه بین ETrF در مقابل Λ S-SEBI دارای $RMSE = 0.2$ و درصد بایاس بین ۰/۱۲ تا ۰/۶۷ درصد بود. به همین ترتیب، ETrF در مقابل Λ SEBS دارای $RMSE$ برابر ۰/۱۳ و درصد بایاس بین ۰/۵۷ تا ۰/۹٪ متغیر بود (Sharma و Acharya، ۲۰۲۱).

گفته می‌شود و نشان‌دهنده انرژی جنبشی واقعی مولکول‌های سطح است. مقادیر منفی H (مشاهده‌شده در سال ۲۰۱۷) برای الگوریتم‌های بیلان انرژی و روش نسبت باون نشان‌دهنده حرکت انرژی از هوا به تاج گیاه است. مزرعه جو که قبلاً برداشت شده است و همچنین مناطق وسیعی از پوشش گیاهی طبیعی که ایستگاه را احاطه کرده است، می‌تواند منبع بالقوه گرمای فرارفتی باشد که باعث بروز مقادیر منفی H گردد. بااین‌حال، در مورد تصاویر ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، بارش بالاتر و دمای هوای پایین‌تر ممکن است اثر گرمای فرارفتی از مناطق اطراف به ایستگاه را کاهش دهد. در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹، به ترتیب میانگین بارش، ۱۹ و

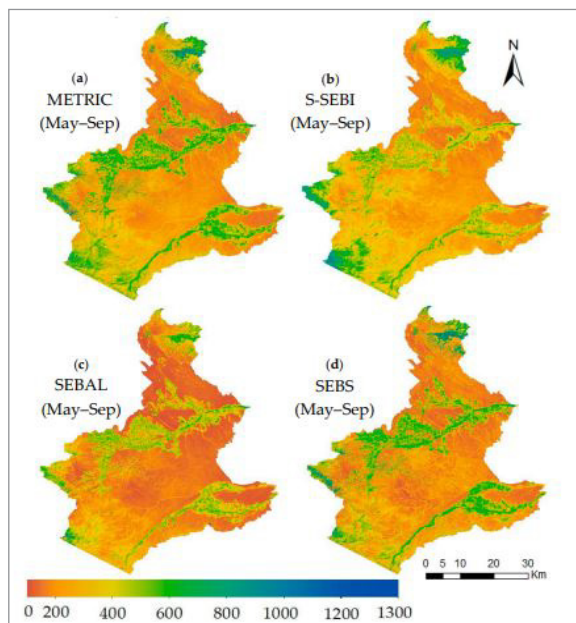


شکل ۴- مقایسه آماری بین شار گرمای محسوس تخمین زده شده با الگوریتم‌های بیلان انرژی (محور عمودی) برحسب وات بر مترمربع (a) METRIC، (b) SEBAL، (c) SEBS، و (d) S-SEBI با شار گرمای محسوس اندازه‌گیری شده با روش نسبت باون (محور افقی) برای سه سطح پوششی (۲۰۲۱، Sharma و Acharya)

فرض یک رابطه خطی بین T_s و albedo برای تعریف لبه سرد و گرم در S-SEBI، می‌تواند باعث بایاس قابل‌توجهی در تخمین نهایی H و ET_{inst} شود. بااین‌حال، بایاس در ET_{inst} و H مشتق شده از SEB، نه تنها ناشی از عدم قطعیت در پارامترهای الگوریتم SEB، بلکه از خطاهای اندازه‌گیری شار نیز است (Acharya و همکاران، ۲۰۲۰). شکل (۵) عملکرد الگوریتم‌های SEB را در تخمین تبخیر و تعرق برای فصل رشد ۲۰۱۸ (از مه تا سپتامبر) در برابر شار متناظر اندازه‌گیری شده با روش نسبت باون پیش‌بینی کرد.

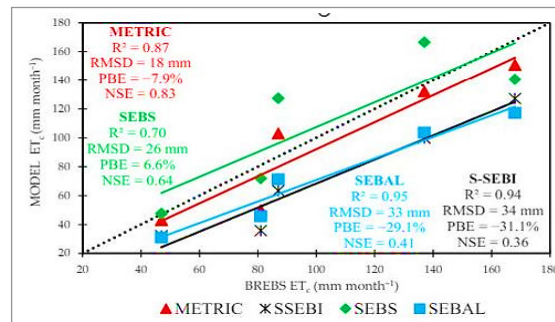
توجه به این نکته مهم است که مفروضات الگوریتم‌های مختلف، مسائل مقیاس بندی، مهارت‌های فنی کاربر و شیوه‌های مدیریتی، می‌تواند منجر به عدم قطعیت‌ها و نادرستی‌های زیادی در مقایسه الگوریتم‌های SEB شود. به‌عنوان مثال انتخاب دستی سلول‌های شاخص برای METRIC و SEBAL می‌تواند از تغییرات T_s سلول‌های سرد و گرم استفاده کند که می‌تواند منجر به بایاس قابل‌توجهی در نتایج ET_{inst} و H شود (Long و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طور مشابه، حساسیت الگوریتم SEBS به برآورد آئرو دینامیکی و زبری سطح (Byun و همکاران، ۲۰۱۴) و

بالاتری را به خود اختصاص دادند. مقایسه بین الگوریتم‌های SEB نشان داد که SEBS تخمین بالاتری از تبخیر و تعرق فصلی برای همه محصولات اصلی داشت. برآوردهای فصلی SEBS به ترتیب ۲۱، ۴ و ۲۲ درصد بیشتر از METRIC، S-SEBI و SEBAL بود (شکل ۶).



شکل ۶- توزیع زمانی-مکانی تبخیر و تعرق فصلی برآوردی با الگوریتم‌های بیلان انرژی در طول فصل رشد ۲۰۱۸ (مه-سپتامبر) (a) METRIC، (b) S-SEBI، (c) SEBAL، و (d) SEBS (Sharma و Acharya، ۲۰۲۱)

نوار راهنمای رنگ موجود در شکل (۶)، تغییرپذیری تبخیر و تعرق برآوردی با الگوریتم‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که شارهای تخمینی در الگوریتم‌های بیلان انرژی (لحظه‌ای و دوره‌ای) تفاوت‌های قابل توجهی دارند. این تفاوت‌ها به این دلیل است که الگوریتم‌های SEB در ساختار، داده‌های ورودی و فرضیات الگوریتم‌ها با یکدیگر متفاوت هستند، که این خود به تنوع در خروجی الگوریتم‌ها منجر شده است. به عنوان مثال، الگوریتم‌های METRIC و SEBAL از روش واسنجی CIMEC در هنگام محاسبه H بهره می‌برند تا اریبی سیستماتیک در تخمین دمای سطح و بازتاب سطح را حذف کنند (Allen و همکاران، ۲۰۰۷) و از سلول‌های خشک و تر، برای واسنجی داخلی استفاده می‌شود. بنابراین، تخمین‌های نهایی تبخیر و تعرق در این الگوریتم‌ها می‌تواند دقیق باشد، حتی اگر سایر اجزای بیلان انرژی با عدم قطعیت مواجه شوند. با این حال، الگوریتم‌هایی مانند SEBS و S-SEBI تحت چنین واسنجی دقیق و ترسیم با استفاده از سلول‌های شاخص و ساعتی قرار نمی‌گیرند و تبخیر و تعرق برآوردی متریک، همبستگی بهتری با مقادیر روش نسبت باون داشت. این عملکرد را می‌توان به طور مستقیم با روش واسنجی داخلی (CIMEC) انجام شده در



شکل ۵- مقایسه آماری بین تبخیر و تعرق ماهانه تخمین زده شده با الگوریتم‌های بیلان انرژی و روش نسبت باون در طول فصل رشد ۲۰۱۸ (Sharma و Acharya، ۲۰۲۱)

برای همه الگوریتم‌ها، همبستگی متوسط تا زیاد بین ET_c اندازه‌گیری شده و برآورد شده با R^2 از ۰/۷۰ تا ۰/۹۵ و RMSD از ۱۸ میلی‌متر برای METRIC تا ۳۴ میلی‌متر برای S-SEBI مشاهده گردید (شکل ۵). به طور کلی، همه الگوریتم‌ها به جز SEBS، تبخیر و تعرق فصلی را کم برآورد کردند. با این حال، METRIC به دلیل RMSD پایین (۱۷/۶ میلی‌متر) و درصد خطای کمتر (۷/۹٪) به عنوان بهترین الگوریتم شناخته شد. تبخیر و تعرق برآوردی ماهانه در مدل متریک ماهانه بین ۰-۳۸ درصد (کم برآورد) در ژوئن تا ۰/۱۸ (بیش برآورد) در اکتبر بود. تبخیر و تعرق ماهانه زمانی دارای بیش برآوردی و کم برآوردی تخمین زده شد که سطح خاک فاقد پوشش فعال سطح برگ بود. به طور مشابه، تخمین بیش از حد (۴۶٪) برای تبخیر و تعرق مشتق شده از SEBS در ماه اکتبر پس از برداشت لوبیا خشک مشاهده شد (Sharma و Acharya، ۲۰۲۱).

- مقایسه تبخیر و تعرق روزانه برآوردی الگوریتم‌های بیلان انرژی در مطالعه Sharma و Acharya (۲۰۲۱)، برای بررسی تفاوت در الگوریتم‌های SEB برای کاربری‌های مختلف زمین، با استفاده از تغییرات مکانی تبخیر و تعرق روزانه و فصلی در طول فصل رشد سال ۲۰۱۸ انجام شد. یک تصویر در ۱۱ اوت ۲۰۱۸ از اواسط فصل رشد انتخاب شد. تنوع مکانی-زمانی در طول فصل رشد نیز تجزیه و تحلیل شد. به طور متوسط، الگوریتم متریک تبخیر و تعرق روزانه را برای زمین‌های زراعی ۴/۷ میلی‌متر در روز، SEBS، ۴/۱ میلی‌متر در روز، S-SEBI، ۳/۸ میلی‌متر در روز و SEBAL، ۴/۱ میلی‌متر در روز، تخمین زد. برای پوشش گیاهی طبیعی (جنگل، بوته‌زار، علفزار و تالاب)، میانگین تبخیر و تعرق روزانه برای همه الگوریتم‌ها به جز S-SEBI که میانگین ET_{24} آن ۱/۶ میلی‌متر در روز بود، کمتر از یک میلی‌متر در روز بود. در مقیاس فصلی، همان‌طور که انتظار می‌رفت، زمین‌های زراعی تبخیر و تعرق بالاتری را در مقایسه با منطقه پوشش گیاهی طبیعی مشاهده کردند. به همین ترتیب، جنگل‌های سوزنی‌برگ (بالا سمت راست و پایین سمت چپ تصویر) در مقایسه با سایر انواع پوشش زمین، تبخیر و تعرق فصلی

الگوریتم متریک مرتبط کرد. برآوردهای تبخیر و تعرق در الگوریتم SEBAL در مقایسه با METRIC کمتر بود که این موضوع ممکن است به دلیل تفاوت در (۱) انتخاب سلول سرد بین METRIC و SEBAL؛ (۲) استفاده از ETrF در مقایسه با Λ برای تبدیل ETinst به ET۲۴ باشد (Senay و Singh، ۲۰۱۶). به همین ترتیب، همه الگوریتم‌های SEB، بیش برآوردی در تبخیر و تعرق لحظه‌ای با درصد اریبی بین ۲/۲ درصد برای SEBAL تا ۱۲/۳ درصد برای SEBS داشتند.

بیش برآوردی مشابه در ETc تخمین زده شده با SEB بین ۸ تا ۳۲ درصد در مطالعه Wagle و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده شد که عملکرد پنج الگوریتم SEB یعنی S-SEBI، SEBS، SEBAL، METRIC و S-SEBI را مقایسه کردند. آن‌ها الگوریتم‌های SEBS را بر اساس چهار معیار آماری رتبه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که S-SEBI و SEBAL بهتر عمل کردند و به دنبال آن، SEBS و METRIC قرار گرفتند. مشابه این مطالعه، عملکرد بالاتر METRIC و SEBS در مطالعه Senay و Singh (۲۰۱۶) مشاهده شد. عملکرد METRIC نیز در مقایسه با SEBS در مطالعه Liaquat و Choi (۲۰۱۵) در شمال شرق آسیا در چهار سطح‌رویشی مختلف بهتر بود. آن‌ها گزارش کردند که واسنجی داخلی در METRIC به کاهش اریبی در تصحیح اتمسفری و سایر پارامترهای ورودی کمک خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

به این نکته در بخش‌های قبل اشاره شد که الگوریتم‌های تک‌منبعه و دو‌منبعه، علاوه بر کارا بودن در برآورد تبخیر و تعرق، دارای مزایا و معایبی هستند. همچنین ذکر گردید که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اندازه‌گیری‌های میدانی، تمام الگوریتم‌های بیلان انرژی، شار حرارتی محسوس، شار گرمای نهان و شار حرارتی خاک را تخمین می‌زنند. در مورد الگوریتم S-SEBI، اگر حداکثر و حداقل دما در دسترس باشد، نیازی به داده‌های اضافی وجود نخواهد داشت. شار گرمای محسوس و نهان در الگوریتم SEBS، با استفاده از کسر تبخیری برای هر سلول محاسبه می‌شود. در الگوریتم‌های متریک و سبال، انتخاب سلول‌های گرم و سرد برای واسنجی داخلی و برآورد شار حرارت محسوس مورد نیاز است. این دو الگوریتم، پرکاربردترین الگوریتم‌های پذیرفته شده در الگوریتم‌های SEB هستند (Aryalekshmi و همکاران، ۲۰۲۱).

در مورد SEBAL، همان‌طور که قبلاً ذکر شد، نمی‌توان آن را برای مناطق کوهستانی بکار کرد و این عدم قطعیت با استفاده از الگوریتم METRIC برطرف می‌شود. با توجه به برخی از خطاها و عدم قطعیت‌ها در این الگوریتم‌های بیلان انرژی سطحی، لازم است مطالعات بسیاری برای غلبه بر این محدودیت‌ها انجام گردد.

فن‌های ترکیب داده‌ها و استفاده از روش‌های ترکیبی را می‌توان در این الگوریتم‌ها گنجانده تا عملکرد آن‌ها را بهبود بخشد، همچنین با توسعه فناوری سنجش‌ازدور، می‌تواند برآورد تبخیر و تعرق واقعی افزایش یابد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Et: Evapotranspiration
- 2-AET: Actual Evapotranspiration
- 3-SEBS: Surface Energy Balance System
- 4-SSEBop: The operational Simplified Surface Energy Balance
- 5-SEB: Surface Energy Balance
- 6-SEB Models
- 7-Single Source
- 8-Two-Source
- 9-SEBAL: Surface Energy Balance Algorithm for Land
- 10-S-SEBI: Simpled Surface Energy Balance Index
- 11-METRIC: Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration
- 12-TSM: Two- Source (soil + canopy) Model
- 13-TSTIM: Two-Source Time Integrated Model
- 14-Incoming broad-band short-wave radiation
- 15-Cold Pixel
- 16-Hot Pixel

منابع

- حسن‌پور، بهاره، میرزایی، فرهاد، ارشد، صالح، و کوثری، هانیه. (۱۳۹۱). مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه کرج. آب و خاک، ۲۶(۶)، ۱۳۶۰-۱۳۷۱. doi: 10.22067/jsw.v0i0.19247
- خرسند موقر، مصطفی، و سیما، سمیه. (۱۳۹۸). مقایسه مدل‌های بیلان انرژی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در برآورد تبخیر از سطح دریاچه‌های شور. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۷(۲)، ۱۷۵-۱۸۵. doi: 10.29252/jgit.7.2.155
- رئیزی، احمد، مظفری، غلامرضا، و غفاریان مالمیری، حمیدرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی و مقایسه میزان برآورد تبخیر و تعرق گیاه گندم با استفاده از الگوریتم سبال و روش پنمن - مانیت در منطقه چاه نیمه‌های سیستان و بلوچستان. جغرافیای طبیعی، ۱۶(۶۰)، ۳۷-۱۷. doi: 20.1001.1.20085656.1402.16.60.1.0
- نظری، رستا، و کاویانی، عباس. (۱۳۹۵). بررسی نتایج تخمین تبخیر

- sensing of environment, 60(2), 195-216. doi: [10.1016/S00344257\(96\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S00344257(96)00215-5)
- Aryalekshmi, B. N., Biradar, R. C., Chandrasekar, K., & Ahamed, J. M. (2021). Analysis of various surface energy balance models for evapotranspiration estimation using satellite data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 1119-1126. doi: [10.1016/j.ejrs.2021.11.007](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2021.11.007)
- Awada, H., Di Prima, S., Sirca, C., Giadrossich, F., Maras, S., Spano, D., & Pirastru, M. (2021). Daily Actual Evapotranspiration Estimation in a Mediterranean Ecosystem from Landsat Observations Using SEBAL Approach. *Forests*, 12(2), 189. doi: [10.3390/f12020189](https://doi.org/10.3390/f12020189)
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, 212, 198-212. doi: [10.1016/S00221694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S00221694(98)00253-4)
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B. P., & Allen, R. G. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(1), 85-93. doi: [10.1016/j.agrformet.2023.109408](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109408)
- Backx, J., Hilberath, C., Messenbock, R., Morieux, Y., & Streubel, H. (2017). Mastering complexity through simplification: Four steps to creating competitive advantage. Boston Consulting Group.
- Byun, K., Liaqat, U.W., & Choi, M. (2014). Dual-model approaches for evapotranspiration analyses over homo- and heterogeneous land surface conditions. *Agricultural and forest meteorology*, 197, 169-187. doi: [10.1016/j.agrformet.2014.07.001](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.07.001)
- Dias Lopes, J., Neiva Rodrigues, L., Acioli Imbuzeiro, H. M., & Falco Pruski, F. (2019). Performance of SSEBop model for estimating wheat actual evapotranspiration in the Brazilian Savannah region. *International Journal of Remote Sensing*, 40(18), 6930-6947. doi: [10.1080/01431161.2019.1597304](https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1597304)
- Earls, J., & Dixon, B. (2008). A comparison of SWAT model-predicted potential evapotranspiration using و تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از مدل‌های متریک و سبال در دشت قزوین. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۲)، ۱۸۷-۱۹۹. doi: [10.22092/jwra.2016.106643](https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106643)
- Abatzoglou, J. T. (2013). Development of gridded surface meteorological data for ecological applications and modelling. *International Journal of Climatology*, 33(1), 121-131. doi: [10.1002/joc.3413](https://doi.org/10.1002/joc.3413)
- Acharya, B., Sharma, V., Heitholt, J., Tekiela, D., & Nippgen, F. (2020). Quantification and Mapping of Satellite Driven Surface Energy Balance Fluxes in Semi-Arid to Arid Inter-Mountain Region. *Remote Sensing*, 12(2), 4019. doi: [10.3390/rs12244019](https://doi.org/10.3390/rs12244019)
- Acharya, B., & Sharma, V. (2021). Comparison of satellite driven surface energy balance models in estimating crop evapotranspiration in semi-arid to arid inter-mountain region. *Remote Sensing*, 13(9), 1822. doi: [10.3390/rs13091822](https://doi.org/10.3390/rs13091822)
- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, D05109.
- Allen, R. G., Morse A., & Tasumi M. (2002). Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. *Proceedings of the International Conference on Irrigation and Drainage, Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions*; Montpellier, France.
- Allen, R. G., Walter, I. A., Elliott, R. L., Howell, T. A., Itenfisu, D., Jensen, M. E., & Snyder, R. L. (2005). The ASCE standard reference evapotranspiration equation: American Society of Civil Engineers. Reston, Va. doi: [10.1061/9780784408056](https://doi.org/10.1061/9780784408056)
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 133(4), 380-394. doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Diak, G. R., Kustas, W. P., & Mecikalski, J. R. (1997). A two-source time-integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. *Remote*

- Mallick, K., Jarvis, A. J., Boegh, E., Fisher, J. B., Drewry, D. T., Tu, K. P., ... & Niyogi, D. (2014). A Surface Temperature Initiated Closure (STIC) for surface energy balance fluxes. *Remote Sensing of Environment*, 141, 243-261. doi: [10.1016/j.rse.2013.10.022](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.10.022)
- Norman, J. M., Kustas, W. P., & Humes, K. S. (1995). Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(3-4), 263-293. doi: [10.1016/01681923\(95\)02265-Y](https://doi.org/10.1016/01681923(95)02265-Y)
- Petković, B., Petković, D., Kuzman, B., Milovančević, M., Wakil, K., Ho, L. S., & Jermsittiparsert, K. (2020). Neuro-fuzzy estimation of reference crop evapotranspiration by neuro fuzzy logic based on weather conditions. *Computers and electronics in Agriculture*, 173, 105358. doi: [10.1016/j.compag.2020.105358](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105358)
- Raissi-Dehkordi, I. Sima, S., & Karimi, N. (2023). Estimation of actual evapotranspiration by neuro fuzzy logic based on weather conditions. *Computers and electronics in Agriculture*, 173, 105358. doi: [10.1016/j.compag.2020.105358](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105358)
- Roerink, G. J., Su, Z., & Menenti, M. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(2), 147-157. doi: [10.1016/S1464-1909\(99\)00128-8](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(99)00128-8)
- Senay, G. B., Bohms, S., Singh, R. K., Gowda, P. H., Velpuri, N. M., Alemu, H., & Verdin, J. P. (2013). Operational evapotranspiration mapping using remote sensing and weather datasets: A new parameterization for the SSEB approach. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 49(3), 577-591. doi: [10.1111/jawr.12057](https://doi.org/10.1111/jawr.12057)
- Senay, G. B., Schauer, M., Friedrichs, M., Velpuri, N. M., & Singh, R. K. (2017). Satellite-based water use dynamics using historical Landsat data (1984–2014) in the southwestern United States. *Remote Sensing of Environment*, 202, 98-112. doi: [10.1016/j.rse.2017.05.005](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.005)
- Singh, R.K., & Senay, G.B. (2016). Comparison of Four Different Energy Balance Models for Estimating real and modeled meteorological data. *Vadose Zone Journal*, 7(2), 570-580. doi: [10.2136/vzj2007.0012](https://doi.org/10.2136/vzj2007.0012)
- Gocic, M., Petković, D., Shamshirband, S. & Kamsin, A. (2016). Comparative analysis of reference evapotranspiration equations modelling by extreme learning machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 56-63. doi: [10.1016/j.compag.2016.05.017](https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.017)
- Häusler, M., Conceição, N., Tezza, L., Sánchez, J. M., Campagnolo, M. L., Häusler, A. J., ... & Ferreira, M. I. (2018). Estimation and partitioning of actual daily evapotranspiration at an intensive olive grove using the STSEB model based on remote sensing. *Agricultural Water Management*, 201, 188-198. doi: [10.1016/j.agwat.2018.01.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.027)
- Kilic, A., Allen, R., Trezza, R., Ratcliffe, I., Kamble, B., Robison, C., & Ozturk, D. (2016). Sensitivity of evapotranspiration retrievals from the METRIC processing algorithm to improved radiometric resolution of Landsat 8 thermal data and to calibration bias in Landsat 7 and 8 surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 185, 198-209. doi: [10.1016/j.rse.2016.07.011](https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.011)
- Li, F., & Lyons, T. J. (2002). Remote estimation of regional evapotranspiration. *Environmental Modelling & Software*, 17(1), 61-75. doi: [10.1016/S13648152\(01\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S13648152(01)00053-6)
- Liaqat, U. W., & Choi, M. (2015). Surface energy fluxes in the Northeast Asia ecosystem: SEBS and METRIC models using Landsat satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 60-79. doi: [10.1016/j.agrformet.2015.08.245](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.08.245)
- Long, D., Singh, V.P., & Li, Z.L. (2011). How sensitive is SEBAL to changes in input variables, domain size and satellite sensor? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, D21107. doi: [10.1029/2011JD016542](https://doi.org/10.1029/2011JD016542)
- Mahmoud, S. H., & Alazba, A. A. (2016). A coupled remote sensing and the Surface Energy Balance based algorithms to estimate actual evapotranspiration over the western and southern regions of Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 124, 269–283. doi: [10.1016/j.jseaes.2016.05.012](https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2016.05.012)

- ing Evapotranspiration in the Midwestern United States. *Water*, 8 (1), 9. doi: [10.3390/w8010009](https://doi.org/10.3390/w8010009)
- Shi, T. T., Guan, D. X., Wu, J. B., Wang, A. Z., Jin, C. J., & Han, S. J. (2008). Comparison of methods for estimating evapotranspiration rate of dry forest canopy: Eddy covariance, Bowen ratio energy balance, and Penman-Monteith equation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D19). doi: [10.1029/2008JD010174](https://doi.org/10.1029/2008JD010174)
- Sobrinho, J. A., Souza da Rocha, N., Skoković, D., Suélen Käfer, P., López-Urrea, R., Jiménez-Muñoz, J. C., & Alves Rolim, S. B. (2021). Evapotranspiration Estimation with the S-SEBI Method from Landsat 8 Data against Lysimeter Measurements at the Barrax Site, Spain. *Remote Sensing*, 13(18), 3686. doi: [10.3390/rs13183686](https://doi.org/10.3390/rs13183686)
- Su, Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and earth system sciences*, 6(1), 85-100. doi: [10.5194/hess-6-85-2002](https://doi.org/10.5194/hess-6-85-2002)
- Tasumi, M. (2003). Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. ProQuest Dissertations And Theses; Thesis (Ph.D.), University of Idaho. Publication Number: AAI3080262; ISBN: 9780496281398.
- Thornton, P. E., Shrestha, R., Thornton, M., Kao, S. C., Wei, Y., & Wilson, B. E. (2021). Gridded daily weather data for North America with comprehensive uncertainty quantification. *Scientific Data*, 8(1), 190. doi: [10.1038/s41597-021-00973-0](https://doi.org/10.1038/s41597-021-00973-0)
- Wagle, P., Bhattarai, N., Gowda, P. H., & Kakani, V. G. (2017). Performance of five surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in high biomass sorghum. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)*, 128, 192-203. doi: [10.1016/j.isprsjprs.2017.03.022](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.022)
- Zhang, B., Chen, H., Xu, D., & Li, F. (2017). Methods to estimate daily evapotranspiration from hourly evapotranspiration. *Biosystems Engineering*, 153, 129-139. doi: [10.1016/j.biosystemseng.2016.11.008](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.008)

Interaction of Alluvial and Karstic Aquifers in North of Allah Akbar Highlands Dargaz Using Vertical Electrical Sounding (VES) Method

H. Mohammadzadeh^{1*}, M. GholamkarAliabadi², J. Hashemi³

1- Professor, Groundwater and Geothermal Research Center (GRC), Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 1, 2, 3- Professor, M.Sc. in Hydrogeology, and M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 01-10-2024

Revised: 30-11-2024

Accepted: 06-12-2024

Available Online: 03-03-2025

برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی شمال ارتفاعات الله اکبر درگز با روش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)

حسین محمدزاده^{۱*}، محمد غلامکار علی‌آبادی^۲، جعفر هاشمی^۳

۱. استاد، گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۱ و ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(ایمانامه نویسنده مسئول، E-Mail: mohammadzadeh@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶

Abstract

Investigating aquifers and determining the alluvial and karst aquifers interaction, especially in the border areas of the country, is very important. With geoelectrical methods (Vertical Electrical Sounding - VES), it is possible to determine the subsurface geological layering, aquifer layers, the depth to bedrock and the apparent resistivity (ρ_a) of the geological layers. In this paper, by performing 40 VES in the northern plain of Dargaz Allah Akbar Heights (DAH), calculating the ρ_a of the layers and interpreting the geoelectrical sections, the aquifers up to the depth of 350 meters and the relationship between alluvial and Tirgan karstic aquifer (TKA) have been investigated. The results show the presence of alluvial aquifers up to 20 meters depth in the south, east and west of Chapeshlo, north and northwest of Daghdar and west of Dargaz industrial town, as well as the presence of deep karstic aquifers in the southeast of Chapeshlo, northeast of Sugandi, north of Gandab, and west of Daghdar. The changes in ρ_a and the depth to bedrock show that there is not much relationship between the alluvial and TKA. Considering the absence of highly discharged springs around DAH and the low thickness of the alluvial aquifer, it can be concluded that most groundwater of the TKA, except in limited places at the foot of the DAH (Cheholmir and Cherlaq areas) has little effect on feeding of alluvial aquifer of Dargaz southern plain, and due to the barrier function of the deeper fine-grained layers, the groundwater flow paths are towards the depths or Dorbadam and Shamkhal valleys.

Keywords: Vertical Electrical Sounding (VES), Alluvial Aquifer, Karst Aquifer, Allah Akbar Heights, Dargaz.

چکیده

بررسی آبخوان‌ها و تعیین برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی، بخصوص در مناطق مرزی کشور، بسیار ضروری و مهم می‌باشد. با روش‌های ژئوالکتریکی (سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم - VES)، می‌توان لایه‌بندی زمین‌شناسی زیرسطحی، لایه‌های آبدار، عمق سنگ کف آبخوان‌ها و مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) لایه‌های زمین‌شناسی را تعیین نمود. در این مقاله، با برداشت ۴۰ سونداژ مقاومت ویژه الکتریکی با روش شلومبرژر در دشت شمال ارتفاعات الله اکبر درگز، و محاسبه ρ_a لایه‌ها و تفسیر مقاطع ژئوالکتریک و لایه‌های آبدار تا عمق حدود ۳۵۰ متری، برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی بررسی شده است. نتایج وجود آبخوان آبرفتی تا عمق ۲۰ متری را در جنوب، شرق و غرب شهر چاپشلو و شمال و شمال‌غربی روستای داغدار و غرب شهرک صنعتی درگز، و همچنین وجود مکان‌های مستعد آبخوان کارستی عمقی در جنوب‌شرقی شهر چاپشلو و شمال‌شرقی روستای سوگندی و شمال روستای گنداب و در غرب روستای داغدار نشان می‌دهد. بررسی تغییرات ρ_a لایه‌ها و عمق سنگ کف، نشان می‌دهد برهمکنش چندانی بین آبخوان آبرفتی با آبخوان کارستی تیرگان وجود ندارد. با توجه به عدم ظهور چشمه‌های پرآب در پیرامون ارتفاعات الله اکبر و کم ضخامت بودن آبخوان آبرفتی، می‌توان نتیجه گرفت بیشتر آب زیرزمینی آبخوان کارستی تیرگان، جز در نقاط محدودی در پای ارتفاعات الله اکبر (محدوده چرلاق، چهلمیر) تاثیر چندانی در تغذیه آبخوان آبرفتی دشت جنوبی درگز نداشته و به دلیل عملکرد سدی لایه‌های دانه‌ریز عمقی، مسیرهای جریان آب زیرزمینی به سمت اعماق و یا دره‌های دربادام و شمخال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)، آبخوان آبرفتی، آبخوان کارستی، ارتفاعات الله اکبر، درگز.

ژئوالکتریکی پراکنده‌ای انجام داده است.

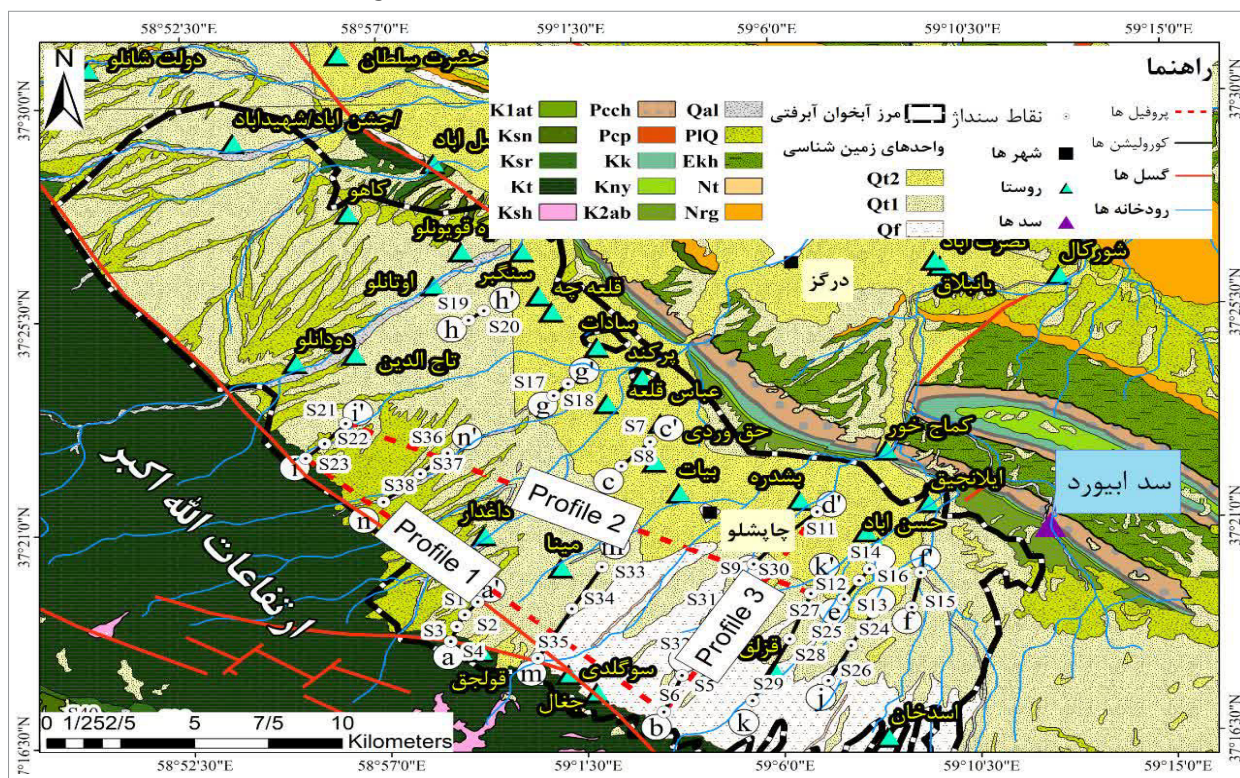
در این مقاله، با برداشت‌های ژئوالکتریکی (سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم (VES)^۱) و محاسبه مقاومت ویژه ظاهری (pa) لایه‌ها و تفسیر برداشت سونداژ ژئوالکتریکی در ۴۰ نقطه از دشت مرزی درگز و دامنه ارتفاعات الله اکبر، ستون‌های زمین‌شناسی^۲، غیرخ‌های ژئوالکتریکی^۳ و مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده و از روی آنها تغییرات ضخامت لایه‌های زمین‌شناسی تحت‌الارضی، عمق و تراز سنگ کف آبخوان دشت درگز، وجود آب‌های زیرزمینی آبرفتی و کارستی، و همچنین عمق گسترش آبخوان کارستی در زیر دشت درگز و برهمکنش آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی با آبخوان کارستی سازند تیرگان ارتفاعات الله اکبر بررسی شده است.

داده‌ها و روش تحقیق

• موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط سونداژهای ژئوالکتریک

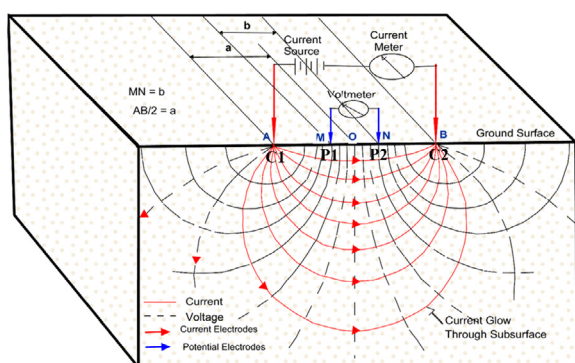
دشت درگز حوضه‌ای مرزی است و در شمال استان خراسان رضوی و در فاصله ۲۲۰ کیلومتری شمال‌غربی شهر مشهد در محدوده جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

مهمترین مسائل در شناخت آبخوان‌ها، فهم دقیق جریان آب‌های زیرزمینی در درون سازندها و تعیین عمق سنگ کف آبخوان، تعیین خصوصیات لایه‌های زمین‌شناسی، تعیین لایه‌های آبدار آبرفتی، تعیین آبخوان‌های کارستی و بررسی برهمکنش بین آبخوان‌ها می‌باشد. برای پی بردن به خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان و بررسی برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی نیاز به بررسی زمین‌شناسی تحت‌الارضی با مطالعات آزمایش پمپاژ و ژئوفیزیکی می‌باشد (Kirsch, ۲۰۰۶; Paillet و Williams, ۲۰۲۳; عزیزی و محمدزاده, ۱۳۹۲). از روی اطلاعات ژئوفیزیکی و حفاری‌های ژئوتکنیکی و پمپاژ می‌توان تا حدودی به لایه‌بندی درون زمین، خصوصیات هیدرودینامیکی و نفوذپذیری آبخوان و جریان آب‌های زیرزمینی در درون سازندها پی برد. از این‌رو، روش‌های ژئوالکتریک برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در جهان و ایران (سوگندی, ۱۳۹۵; Barnie و همکاران, ۲۰۱۴; Jerbi و همکاران, ۲۰۲۲; Seaton و Burbey, ۲۰۲۲; Vereecken و همکاران, ۲۰۰۶; Ishola و Olufemi, ۲۰۲۴; Idowu و Ojo, ۲۰۲۴) استفاده شده است. در منطقه مورد مطالعه نیز شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۳۷۴) و شرکت مهندسين مشاور ست کوپ (۱۳۵۰) به نقل از گزارش شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۳۸۹)، مطالعات



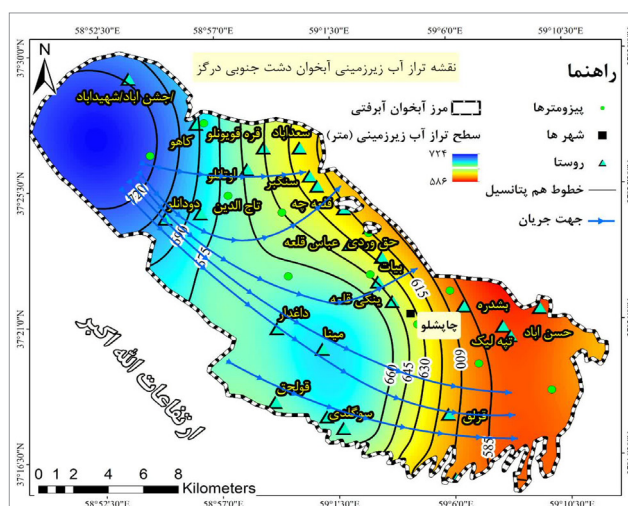
شکل ۱- موقعیت نقاط سونداژهای ژئوالکتریک و راستاهای خطوط برداشت و نیم‌رخ‌های انطباق ستون‌های زمین‌شناسی (راستاهای AA'- به موازات ارتفاعات الله اکبر، BB'- در دشت از شمال غرب به جنوب شرق و CC'- در دشت از جنوب به شمال) در آبخوان جنوبی درگز بر روی نقشه یکصد هزار درگز

در مطالعات اکتشاف منابع آب زیرزمینی و بررسی برهمکنش آبخوان‌های آبرفتی و کارستی معمولاً از روش سوندینگ مقاومت ویژه ظاهری^۴ (ژئوالکتریک) استفاده می‌شود. اساس روش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم، تعیین مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری لایه‌های مختلف زیرسطحی زمین، یعنی مقاومت لایه‌ها در مقابل عبور جریان الکتریکی، می‌باشد. در این روش با تزریق جریان با فرکانس کم در خاک و اندازه‌گیری پتانسیل، می‌توان مقاومت ویژه واقعی سازه‌های پیموده شده را حداکثر تا عمق ۵۰۰ متر، که البته در ۲۵۰ متر سطحی دقت بالاتری را نشان می‌دهد، اندازه‌گیری نمود. بدیهی است که مقاومت ویژه به سنگ‌شناسی، محتوای آب و هوا، اندازه ذرات تشکیل‌دهنده خاک، جنس ذرات تشکیل‌دهنده خاک، تخلخل، غلظت یون‌های منافذ، نمک‌های محلول در آب و ... بستگی دارد. در این مقاله روش شلومپرژره^۵، یکی از کاربردی‌ترین روش‌های ژئوالکتریک در اکتشاف آب‌های زیرزمینی، استفاده شده است که اصول آن بر مبنای القای جریان الکتریکی به درون زمین و ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی می‌باشد. جریان الکتریکی مستقیم یا متناوب با فرکانس پایین (ایجاد شده توسط باتری یا دستگاه مولد از طریق دو الکتروود فولادی (C1, C2) به داخل زمین فرستاده می‌شود (شکل ۳). ولتاژ و پتانسیل حاصل از این جریان در داخل زمین بوسیله دو الکتروود برنجی (P1, P2)، که با فاصله مشخص a قرار دارند ($P1P2=MN=a$)، اندازه‌گیری می‌شود. برای برداشت اعماق زیاد، فواصل الکتروودهای جریان C1 و C2 ($C1C2=AB=L$) در دو جهت مختلف نسبت به الکتروودهای پتانسیل، P1 و P2 افزایش داده می‌شود.



برای رسم نیمرخ‌های ژئوالکتیک و تفسیر داده‌های برداشت شده در هریک از ایستگاه‌ها و به‌دست آوردن مقادیر مقاومت ویژه ظاهری و ضخامت لایه‌ها، از منحنی‌های استاندارد و نرم‌افزار Surfer IPI2WIN

با توجه به نقشه تراز آب زیرزمینی به دست آمده از داده‌های پیزومترهای دشت جنوبی در مهر ماه ۱۴۰۲ (شکل ۲)، در آبخوان دشت جنوبی درگز، بیشترین ارتفاع تراز آب زیرزمینی در پیزومتر محدوده روستای کاهو با حدود ۷۲۵ متر در بخش غربی دشت و کمترین ارتفاع تراز آب زیرزمینی در پیزومتر محدوده روستای قزلق با حدود ۵۸۷ متر در بخش شرقی دشت می‌باشد. بطور کلی جهت جریان آب‌های زیرزمینی از بخش‌های غربی و جنوبی دشت به سمت شمال شرق و شرق می‌باشد (شکل ۲).



برهمکنش آنخوان‌های آبرفتی و کارستی شمال ارتفاعات الله اکبر درگز با روش سوندینگ ...

نتایج و بحث

• بررسی عمق لایه‌های زمین‌شناسی زیرسطحی در محل

سونداژها و تهیه نیمرخ ژئوفیزیکی و مقاطع زمین‌شناسی

با بررسی و تفسیر مقادیر مقاومت‌های ویژه ظاهری (ρ_a) محاسبه شده برای برداشت‌های با فواصل مختلف در محل سونداژهای ژئوالکتریک انجام گرفته در دشت جنوبی درگز (جدول ۱)، ابتدا با توجه به مقادیر مقاومت ویژه لایه‌ها و نمادهای استاندارد لایه‌های زمین‌شناسی (USGS، ۲۰۰۶) و بصورت مدل‌سازی یک بعدی، ستون‌های زمین‌شناسی در هر یک از محل سونداژهای ژئوالکتریکی تهیه شده و سپس با مدل‌سازی دوبعدی، تغییرات جانبی سازندها با تهیه نیمرخ‌ها یا مقاطع زمین‌شناسی در راستاهای مختلف برداشت تا عمق حدود ۴۰۰ متر، مطالعه و تفسیر شده است.

جدول ۱- مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) محاسبه شده برای برداشت‌های با فواصل مختلف در محل هر یک از سونداژها (مقاومت ویژه ظاهری برای کل سونداژها به صورت فایل اکسل تکمیلی مقاله ارائه شده است)

AB/2 (m)	MN/2 (m)	ρ_a (Ωm)					
		S2	S8	S9	S29	S32	S37
۳	۰/۵	۳۴۳	۷۳۱	۷۶	۱۳۱	۷۹۳	۳۴۰
۵	۰/۵	۲۱۲	۴۵۹	۶۱۴	۱۲۸	۴۶۶	۲۱۰
۷	۰/۵	۱۸۲	۲۵۹	۴۵۰	۱۲۳	۳۴۷	۱۷۷
۷	۲	۱۵۳	۱۹۸	۳۲۷	۹۲	۲۶۷	۱۴۸
۱۰	۰/۵	۱۷۲	۱۹۶	۳۳۲	۱۲۰	۳۰۲	۱۷۰
۱۰	۲	۱۴۳	۱۳۸	۲۰۹	۸۸	۲۲۱	۱۳۹
۱۵	۲	۱۲۶	۱۱۷	۱۰۶	۹۰	۱۸۸	۱۲۱
۲۰	۲	۹۳	۱۱۳	۷۰	۹۰	۱۷۰	۹۰
۲۰	۶	۷۹	۱۰۰	۸۶	۸۸	۱۶۱	۷۵
۳۰	۲	۷۴	۱۰۶	۲۸	۹۱	۱۱۸	۷۰
۳۰	۶	۵۹	۹۴	۴۴	۹۱	۱۰۹	۵۵
۵۰	۶	۶۹	۱۰۰	۲۷	۸۱	۶۰	۶۳
۷۰	۶	۸۰	۱۰۹	۲۰	۷۳	۳۰	۷۵
۷۰	۲۰	۸۷	۹۷	۱۷	۶۹	۳۴	۸۰
۱۰۰	۶	۸۵	۷۹	۱۸	۴۹	۲۴	۸۰
۱۰۰	۲۰	۹۳	۷۲	۱۵	۴۶	۲۴	۸۷
۱۵۰	۲۰	۱۰۴	۴۹	۱۳	۲۸	۲۸	۱۰۰
۱۵۰	۵۰	۱۰۴	۴۹	۱۵	۳۷	۲۸	۱۰۰
۲۰۰	۲۰	۱۰۵	۲۹	۱۲	۲۶	۲۵	۱۰۰
۲۰۰	۵۰	۱۰۵	۲۹	۱۳	۳۵	۲۴	۱۰۰
۳۰۰	۵۰	۸۱	۲۴	۱۳	۳۱	۳۳	۷۶
۴۰۰	۵۰	۶۷	۲۰	۱۵	۳۹	۴۰	۶۰
۵۰۰	۵۰	۷۴	۱۸	۱۶	۵۲	۶۴	۷۰

استفاده شده است. با دادن اطلاعات سونداژهای ژئوالکتریک برداشت شده (V/I ، $AB/2$ و MN)، به نرم‌افزار IPI2WIN، نیمرخ لگاریتم ρ_a نسبت به $AB/2$ رسم و توسط نرم‌افزار تعداد، عمق و ضخامت لایه‌ها، و مقاومت ویژه ظاهری لایه‌ها در هر نیمرخ مشخص گردید. در هر سونداژ (برای $AB/2$ و MN مشخص)، دستگاه مقادیر V/I و سپس ضریب K (فاکتور هندسی)، که به نوع آرایش الکترودها بستگی دارد را با استفاده از رابطه (۱) برآورد نموده و مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$K = \pi a^2 / b = [1 - (b^2 / 4a^2)] \quad a \leq 5b \quad (1)$$

$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I \quad (2)$$

که در آن: ρ_a مقاومت ویژه ظاهری؛ ΔV اختلاف پتانسیل اندازه‌گیری شده بین دو الکترود پتانسیل؛ و I شدت جریان ترزریق شده به زمین توسط دو الکترود جریان می‌باشد.

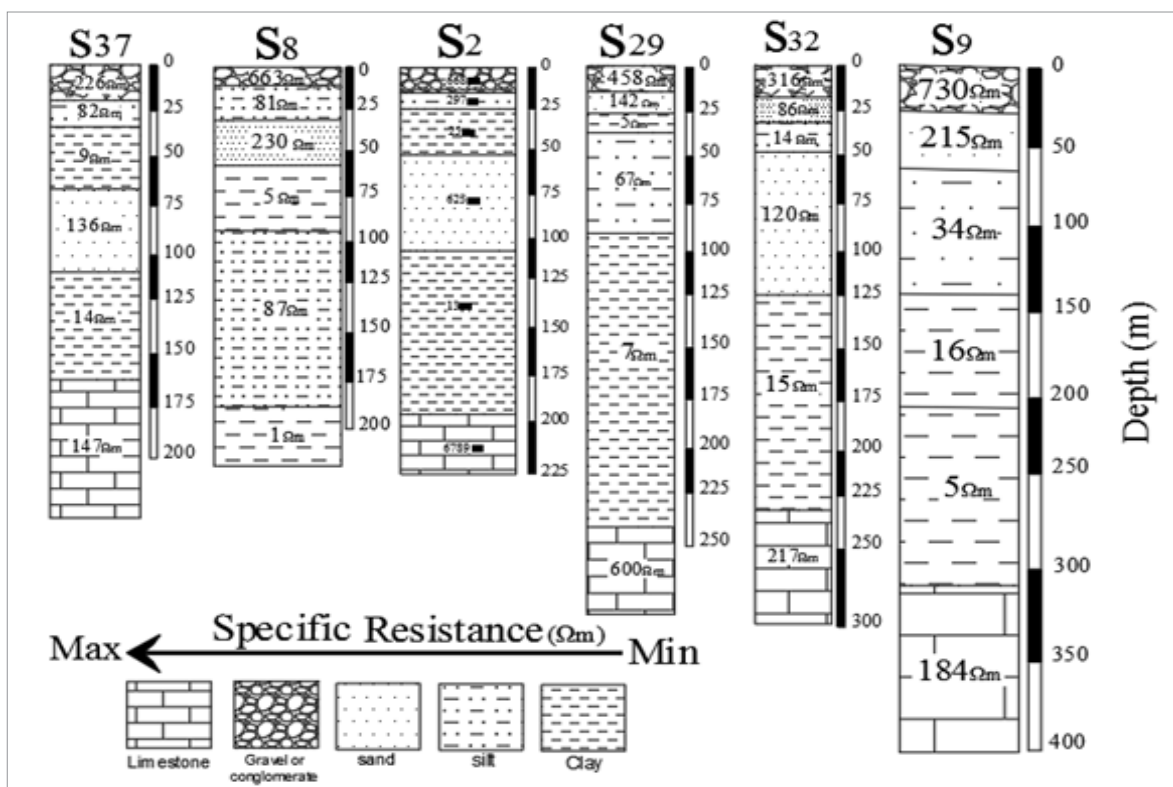
به‌منظور سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم، از دستگاه ژئوالکتریک (پتانسیلومتر) مدل Kgmeter 0.2 (شکل ۴) استفاده و در ۴۰ ایستگاه (شکل ۱) اقدام به سونداژ ژئوالکتریک با طول AB حدود ۱۰۰۰ متر گردید و مقاومت ویژه ظاهری زمین برای اعماق مختلف محاسبه شد. در هر سونداژ ابتدا سیم‌های جریان AB و سیم‌های پتانسیل MN روی زمین پهن و سپس الکترودهای فولادی جریان و الکترودهای برنجی پتانسیل در محل‌های مشخص و با فواصل مشخص درون زمین کوبیده شدند (شکل ۴). بعد از برداشت مقاومت ویژه‌های مختلف مربوط به یک سونداژ ژئوالکتریک، اعداد در جدول مخصوص که بر روی کاغذهای لگاریتمی به نام "برگه‌های سونداژ" آمده است، وارد و منحنی مربوطه رسم شد. به‌منظور تهیه نیمرخ ژئوفیزیکی و مقطع زمین‌شناسی، سونداژهای الکتریکی که در یک خط برداشت شده‌اند بررسی و با هم‌تراز کردن لایه‌های حاصل از تفسیر این سونداژها، نیمرخ لایه‌بندی تا سنگ کف در نرم‌افزار AtuoCAD رسم شد. همچنین با استفاده از داده‌های مقاومت ویژه ظاهری، نقشه‌های پهنه‌بندی عمق و تراز سنگ کف آبخوان آبرفتی دشت جنوبی درگز تهیه گردید.



شکل ۴ - دستگاه ژئوالکتریک (پتانسیلومتر) Kgmeter 0.2 و متعلقات آن (الکترودهای فولادی و برنجی و سیم‌های جریان) برای برداشت‌های سونداژهای ژئوالکتریک و اندازه‌گیری مقاومت ویژه در منطقه

ستون‌های زمین‌شناسی حاصل از تفسیر مقادیر مقاومت ویژه ظاهری به‌دست آمده از تفسیر برداشت‌های سونداژ ژئوالکتریکی در برخی از ایستگاه‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. با تفسیر ستون‌های زمین‌شناسی حاصل می‌توان به لایه‌بندی زیرسطحی و وجود آبخوان پی برد. به‌عنوان مثال لاگ زمین‌شناسی S29 در نیمرخ 'kk نشان می‌دهد، لایه اول دارای مقاومت ویژه ۴۵۸ اهم متر را می‌توان به رسوبات دانه درشت نسبت داد که ضخامت آن حدود ۳ متر می‌باشد. لایه دوم دارای مقاومت ویژه ۱۴۲ اهم متر را می‌توان به رسوبات دانه متوسط نسبت داد که ضخامت آن حدود ۴ متر می‌باشد. لایه سوم دارای مقاومت ویژه ۵ اهم متر را می‌توان به

رسوبات دانه ریز نسبت داد که ضخامت آن حدود ۳ متر می‌باشد. لایه چهارم دارای مقاومت ویژه ۶۷ اهم متر را می‌توان به رسوبات دانه متوسط نسبت داد که ضخامت آن حدود ۱۰ متر می‌باشد. لایه پنجم با مقاومت ویژه ۷ اهم متر را می‌توان به رسوبات دانه ریز و ضخامت آن ۱۳۶ متر می‌باشد. لایه آخر با مقاومت ویژه ۶۰۰ اهم متر است و طبق مقاطع زمین‌شناسی موجود در نقشه زمین‌شناسی منطقه، مربوط به سنگ کف آهکی تیرگان می‌باشد. تفسیر ستون‌های زمین‌شناسی حاصل از برداشت‌های سونداژ ژئوالکتریکی در سایر ایستگاه‌ها (S37، S8، S2، S29 و S32) تغییراتی نشان می‌دهد که در شکل (۵) قابل مشاهده است.



شکل ۵- ستون‌های زمین‌شناسی مربوط به سونداژهای ژئوالکتریک S32 و S9، S37، S8، S29، S2 (اعداد بر حسب اهم متر می‌باشند)

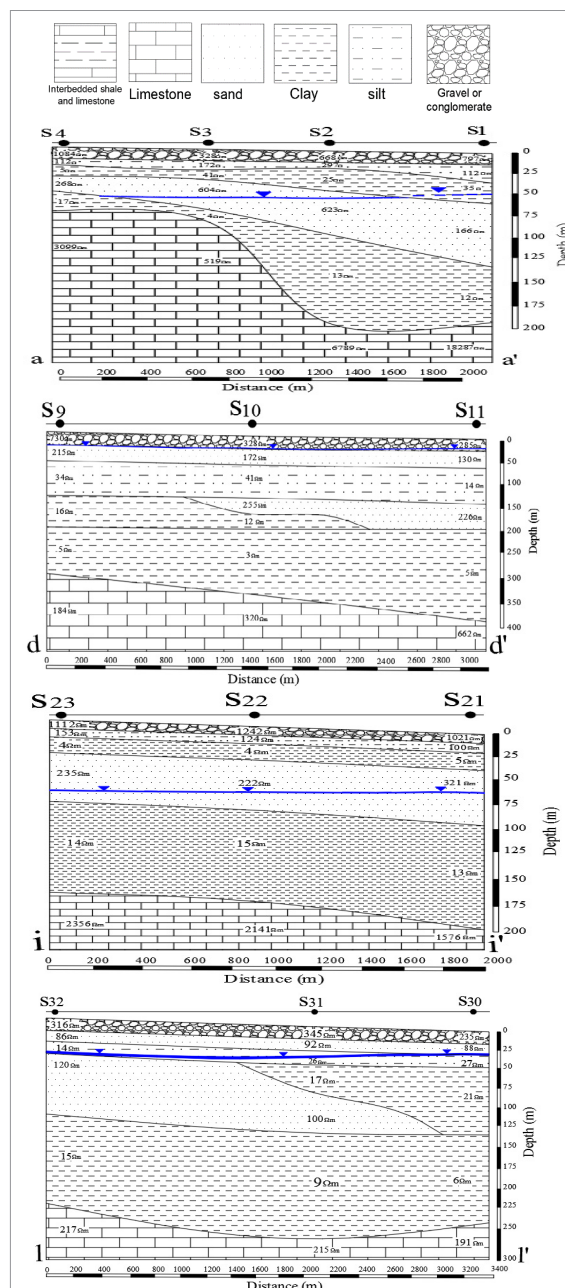
برخی از نیمرخ‌ها و مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده در دشت جنوبی درگز، بخصوص در دامنه ارتفاعات الله اکبر، با استفاده از روش سوندینگ مقاومت ویژه الکتریکی قائم پیوسته (CVES)^۱، یعنی در نظر گرفتن داده‌های تعدادی سونداژ الکتریکی در طول خط برداشت و مدلسازی دوبعدی داده‌ها (Pederson و Muirane، ۱۹۹۹؛ Molano و همکاران، ۱۹۹۰)، در شکل (۶) نشان داده شده است. براساس توصیف تغییرات مقاومت ویژه ظاهری در هر دو جهت قائم و افقی (تغییرات عمودی و جانبی سازندها) در طول خطوط برداشت راستاهای مختلف ('aa'، 'dd'، 'ii' و 'II'، نتایج خصوصیات و مشخصات لایه‌های زمین‌شناسی زیرسطحی دشت درگز در جدول (۲) ارائه شده است. با تفسیر نیمرخ‌ها و

مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده می‌توان تغییرات عمقی و جانبی لایه‌بندی‌های زیرسطحی و گسترش لایه‌ها و آبخوان موجود را مشاهده نمود. به‌عنوان مثال در نیمرخ 'aa' (شکل ۶) در فاصله بین سونداژهای ۱ تا ۴، که در نزدیکی چشمه آبگرم قلجق در پای ارتفاعات الله اکبر زده شده است، بازه مقاومت ویژه ۴ تا ۱۸۲۷۸ اهم متر بوده و در اعماق پایین‌تر، مقاومت ویژه تغییر می‌کند (جدول ۲). بطور کلی، لایه‌های سطحی حاوی آبرفت‌های درشت دانه (مانند گراول و ماسه درشت) و به عمق تناوب رسوبات دانه‌ریز و دانه متوسط دیده می‌شود. از سمت جنوب (ارتفاعات الله اکبر) به سمت شمال (دشت)، ضخامت لایه‌های آبرفتی زیاد شده و سنگ کف آهکی (آهک‌های سازند تیرگان) در اعماق

جدول ۲ - خصوصیات و مشخصات لایه‌بندی تحت‌الارضی دشت درگز با توجه به تغییرات مقاومت ویژه واقعی در طول خطوط برداشت در راستاهای مختلف (aa', dd', ii' و II')

لایه‌ها	ضخامت تقریبی (m)	مقاومت ویژه ظاهری (Ωm)	مشخصات لایه‌های تحت‌الارضی
راستای aa' (در نزدیکی چشمه آبگرم قلجق در پای ارتفاعات الله‌اکبر)			
اول	۲	۳۲۸ تا ۱۰۸۴	آبرفت‌های درشت دانه (گراول و ماسه درشت)
دوم	۲ تا ۱۶	۲۹۷ تا ۱۱۲	رسوبات دانه متوسط
سوم	۸ تا ۱۷	۴۱ تا ۵	رسوبات دانه ریز
چهارم	۱۲ تا ۵۰	۶۲۳ تا ۱۶۶	رسوبات دانه متوسط
پنجم	۱۰ تا ۱۵۰	۱۷ تا ۴	رسوبات دانه ریز
ششم	سنگ‌کف آهکی	۵۱۹ تا ۱۸۲۸۷	لایه آهکی با تراکم زیاد (سازند تیرگان)
راستای dd' (بالای روستای حسن آباد)			
اول	۴	۲۵۸ تا ۷۳۰	رسوبات دانه درشت
دوم	۵ تا ۱۲	۲۱۵ تا ۱۳۰	رسوبات دانه متوسط
سوم	۴ تا ۲۶	۴۱ تا ۱۴	رسوبات دانه ریز
چهارم	۲۶ تا ۱۰۸	۲۲۶ تا ۲۵۵	وجود رسوبات دانه درشت بصورت میان لایه
پنجم	۲۴۳ تا ۳۱۹	۳ تا ۲۵	رسوبات دانه ریز
ششم	سنگ‌کف آهکی	۱۸۴ تا ۶۶۲	آهک تیرگان، احتمال وجود پتانسیل آبی در محل سونداژ ۹
راستای ii' (در نزدیکی چهل‌میر)			
اول	۵ متر	۱۰۲۱ تا ۱۲۴۲	درشت بودن قطر و دانه‌بندی رسوبات
دوم	۲ تا ۱۲	۱۵۳ تا ۱۰۰	رسوبات دانه متوسط
سوم	۶ تا ۱۷	۵ تا ۴	رسوبات دانه ریز
چهارم	۱۱ تا ۵۶	۲۲۲ تا ۲۳۵	رسوبات دانه متوسط
پنجم	۱۷ تا ۱۱۰	۱۳ تا ۱۵	رسوبات دانه ریز
ششم	سنگ‌کف آهکی	۱۵۷۶ تا ۲۳۵۶	آهک تیرگان
راستای II' (بالای روستای اولیا چاپشلو)			
اول	۵ تا ۷	۳۳۵ تا ۳۴۵	درشت بودن قطر و دانه‌بندی رسوبات
دوم	۱۰ تا ۱۹	۸۶ تا ۹۲	رسوبات دانه متوسط
سوم	۵ تا ۲۳	۱۴ تا ۲۷	رسوبات دانه ریز
چهارم	۴۴ تا ۱۵۵	۱۷ تا ۱۲۰	رسوبات دانه ریز و وجود لنز رودخانه مدفون
پنجم	۱۰۵ تا ۱۲۴	۶ تا ۱۵	رسوبات دانه ریز، سنگ کف رسی سازند سرچشمه
ششم	سنگ‌کف آهکی	۱۹۱ تا ۲۱۷	آهک تیرگان و احتمال وجود پتانسیل آبی

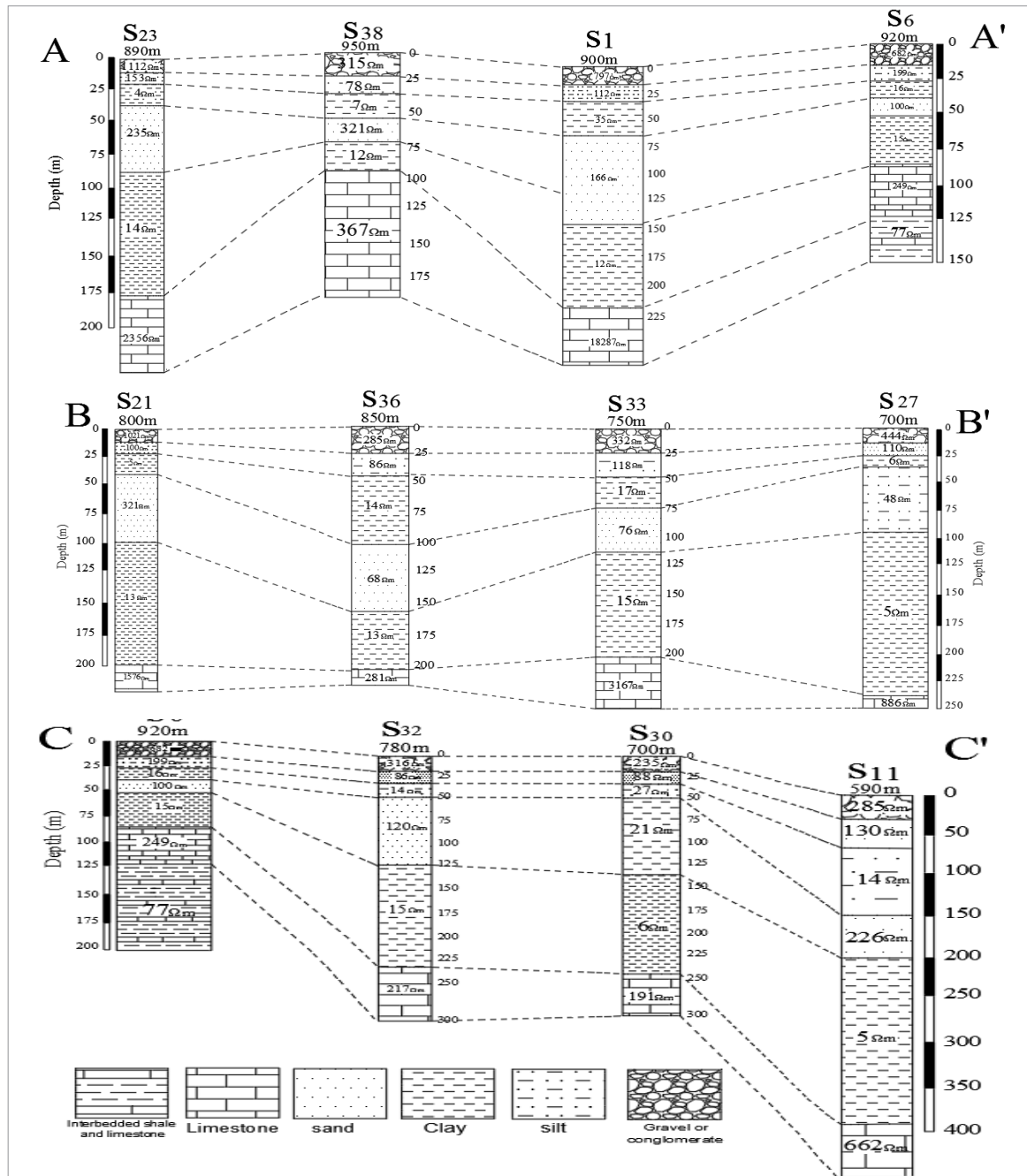
دید می‌شود. به سمت ارتفاعات جنوب میزان مقاومت ویژه ظاهری افزایش می‌یابد که این امر گویای وجود لایه آهکی و تراکم بسیار زیاد آن است. با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری (حداقل ۱۸۴ و ۱۹۱ اهم متر) احتمال وجود پتانسیل آبی در لایه آهکی تیرگان زیرین در راستای II' (بالای روستای چاپشلو) و راستای dd' (بالای روستای حسن آباد) وجود دارد.



شکل ۶- نیم‌رخ‌ها و مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده براساس تغییرات مقاومت ویژه ظاهری (اعداد بر حسب اهم متر می‌باشند) در طول خطوط برداشت راستاهای مختلف (aa', dd', ii' و II') در دشت جنوبی درگز

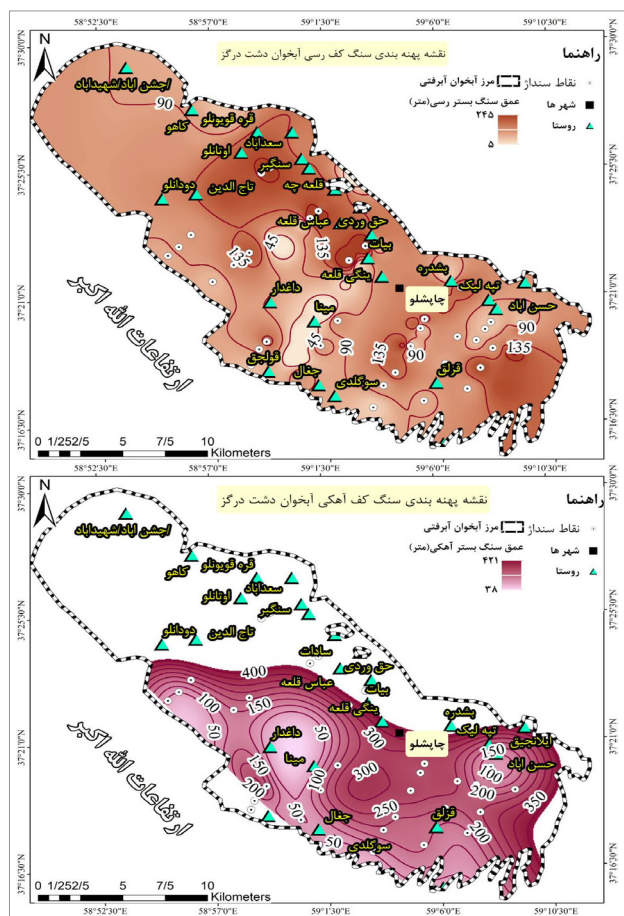
• انطباق ستون‌های زمین‌شناسی و تغییرات کلی لایه‌های زمین‌شناسی تحت‌الارضی از ارتفاعات الله اکبر به سمت دشت هم‌ترازی و انطباق ستون‌های زمین‌شناسی و توالی لایه‌های زمین‌شناسی در سه راستای AA' (به موازات ارتفاعات الله اکبر)، BB' (در دشت از شمال غرب به جنوب شرق) و CC' (در دشت از جنوب به شمال) در شکل (۷) نشان داده شده است. در هر سه راستا عمیق‌ترین لایه، سنگ آهک تیرگان است و آبرفت با دانه‌بندی

مختلف بر روی آن‌ها قرار گرفته‌اند. اما به موازات ارتفاعات الله اکبر (در راستای AA' - شکل ۱) به دلیل نزدیکی به ارتفاعات، آهک تیرگان در عمق کمتری دیده می‌شود. درحالی‌که از شمال غرب به جنوب شرق (در راستای BB') و از جنوب به شمال (در راستای CC') دشت درگز، با توجه به فاصله دار شدن نقاط سونداژ از ارتفاعات، سنگ آهک تیرگان در اعماق پایین‌تر و ضخیم‌تر شدن آبرفت‌ها (با ضخامتی حدود ۴۰۰ متر) دیده می‌شود.



شکل ۷- انطباق ستون‌های زمین‌شناسی و توالی لایه‌های زمین‌شناسی در راستاهای AA' (Profile 1 - به موازات ارتفاعات الله اکبر)، BB' (Profile 2 - از شمال غرب به جنوب شرق) و CC' (Profile 3 - از جنوب به شمال)

جنوبی حوضه افزایش یافته و با افزایش عمق از میزان درز و شکاف و تخلخل ثانویه آن کاسته می‌شود و در عمق به آهک متراکم بدون درز و شکاف تبدیل می‌شود.



شکل ۸- نقشه‌های پهنه‌بندی عمق سنگ کف رسی (بالا) و سنگ کف آهکی (پایین) آبخوان دشت درگز

بررسی مطالعات پیشین ژئوالکتریک در دشت درگز (شرکت مهندسين مشاور ست کوپ (۱۳۵۰) به نقل از گزارش شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی (۱۳۸۹))، نشان می‌دهد آبرفت‌های دشت شمالی درگز، که به دلیل بالاآمدگی سنگ کف نتوژن از دشت جنوبی جدا شده است، با دانه‌بندی شن، ماسه رسی و رس، دارای مقاومت ویژه ظاهری بین ۶۰ تا ۵۰۰ اهم متر و ضخامت لایه مطالعات ژئوالکتریک آبرفتی حاوی آب شیرین، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر متغیر است که آبخوان آبرفتی اصلی محدوده مطالعاتی درگز را تشکیل می‌دهد. رسوبات این ناحیه در اثر فعالیت‌های دراز مدت رودخانه درونگر بر روی سنگ کف میوسن که دارای فرورفتگی می‌باشد، تشکیل شده است. این رسوبات دانه درشت بوده و از نظر ذخیره آب زیرزمینی قابل توجه می‌باشند. براساس نتایج به دست آمده، دامنه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری تقریبی سازندهای مختلف زمین‌شناسی منطقه به صورت جدول (۳) است.

• تهیه نقشه پهنه‌بندی عمق و تراز سنگ کف آبخوان آبرفتی و بررسی میزان گسترش آبخوان کارستی در دشت درگز
از روی نقشه پهنه‌بندی هم‌عمق سنگ کف آبخوان، می‌توان عمیق‌ترین و کم‌عمق‌ترین مناطق آبخوان را شناسایی نمود. با توجه نتایج مقاومت ویژه ظاهری لایه‌های زمین‌شناسی زیرسطحی، می‌توان گفت سنگ کف در مناطق جنوبی دشت، نزدیک ارتفاعات الله اکبر هزار مسجد، آهکی می‌باشد که تا بخش‌هایی از مرکز دشت نیز دیده می‌شوند؛ اما سنگ کف در مرکز دشت رسی است. از این رو، دو نقشه پهنه‌بندی هم‌عمق سنگ کف رسی و سنگ کف آهکی (شکل ۸) برای آبخوان دشت جنوبی درگز تهیه شده است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری برای سنگ کف رسی از ۳ اهم متر تا ۲۰ اهم متر متغیر است و دامنه تغییرات مقاومت ویژه ظاهری برای سنگ کف آهکی از ۷۰ اهم متر تا ۳۵۰۰ اهم متر متغیر است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی هم‌عمق سنگ کف رسی (شکل ۸)، عمیق‌ترین مناطق دشت، قسمت‌های مرکزی و جنوب شرقی دشت (با عمق ۱۸۵ متر تا ۲۲۵ متر) و بدیهی است که به طرف ارتفاعات، عمق کاهش یافته و در حاشیه دشت در مرز بین دشت و کوه، ضخامت آبرفت‌ها صفر می‌باشد. اما سنگ کف آهکی آبخوان به سمت مرکز دشت افزایش یافته و تا ۴۰۰ متر نیز می‌رسد، اما مجدد به سمت مرکز دشت در جهت جنوب شرق سنگ کف بالا می‌آید و در محدوده اروستای حسن آباد به ۱۰۰ متر نیز می‌رسد.

• تعیین لایه‌های آبدار (آبخوان آبرفتی) زیرسطحی دشت جنوبی درگز و تداخل آنها با آبخوان کارستی الله اکبر

براساس نتایج تفسیر برداشت سونداژهای ژئوالکتریکی در ۴۰ نقطه از دشت جنوبی درگز، مقاومت ویژه ظاهری لایه‌های رسوبی زیرسطحی آبخوان دشت جنوبی درگز بسته به دانه‌بندی آن بین ۳ تا ۱۰۰۰ اهم متر متغیر است. لایه آبرفتی دانه درشت و دانه متوسط فوقانی (حداکثر ۲۰ متر) می‌تواند آبخوان آبرفتی مناسبی باشد، اما لایه‌های رسوبی تحتانی به علت دانه‌ریز بودن، آبدهی بسیار کمتری دارند. هر چند لایه با رسوبات دانه متوسط در اعماق پایین‌تر دیده می‌شود، اما به دلیل تغذیه کم، آبخوان مناسبی نیست. در دشت جنوبی درگز، حداکثر ضخامت آبرفت‌ها دانه‌ریز، متوسط و درشت، و لایه‌های مارنی در بالای سنگ کف سازند آهکی تیرگان حدود ۳۰۰ متر (در پایین دشت نزدیک روستای حسن آباد) می‌باشد. سنگ کف آبخوان را می‌توان لایه مارن و کنگلومرای نتوژن (با مقاومت ویژه ظاهری ۳ تا ۲۵ اهم متر) و یا آهک‌های سازند تیرگان، که بسته به میزان آب و تراکم دارای مقاومت ویژه ظاهری بین ۱۸۰ تا ۱۸۰۰۰ اهم متر می‌باشد، در نظر گرفت. ضخامت لایه آبرفتی به طرف ارتفاعات الله اکبر (به طرف جنوب) به دلیل بالاآمدن سنگ کف به کمترین حد ممکن می‌رسد. ضخامت سازند آهکی تیرگان در قسمت‌های

جدول ۳ - مقاومت ویژه ظاهری سازندهای زمین‌شناسی منطقه

سازندها	مقاومت ویژه ظاهری (Ωm)
تیرگان (Kt)	۷۰-۱۰۰۰
سرچشمه (Ksr)	۱۰-۲۵
سنگانه (Ksn)	۱۵-۲۵
آتامیر (Kat)	۵۰-۵۰۰
آبدراز (Kad)	۲۰-۵۰
آب تلخ (Kab)	۱۵-۳۵
نیزار (Kny)	۵۰-۵۰۰
کلات (Kk)	۵-۱۰۰
پسته لیق (Pcp)	۱۰۰-۱۰۰۰
چهل کمان (Pcch)	۴۰-۹۰
خانگیران (Ekx)	۵۰-۱۰۰
لایه‌های قرمز میوسن-پلیوسن (Ncg, Nrg)	۵۰-۵۰۰
واحد کنگلومرا-رس سنگ (PIQ)	۵۰-۱۰۰۰
واحد آبرفت‌های قدیمی (Qt1)	۳۰-۲۰۰
واحد آبرفت‌های جوان (Qt2)	۵۰۰-۵۰
واحد مخروطه افکنه (Qf)	۱۰۰-۱۰۰۰
واحد پرکننده مسیل (Qal)	۱۰۰-۱۰۰۰

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تفسیر سونداژهای ژئوالکتریک انجام شده در دشت جنوبی درگز و بررسی عمقی لایه‌های زمین‌شناسی در محل سونداژها و در راستای نیمرخ‌های ژئوفیزیکی و مقاطع زمین‌شناسی تهیه شده، می‌توان علائمی از وجود لایه‌های آبدار و مکان‌های مستعد آبخوان آبرفتی تا عمق ۲۰ متر در جنوب، شرق و غرب شهر چابشلو و شمال و شمال غربی روستای داغدار و غرب شهرک صنعتی درگز، در محل سونداژهای ۷، ۸، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۳۱، ۳۳ و ۳۶ مشاهده نمود. همچنین می‌توان وجود آبخوان کارستی عمقی را در محل برخی از نیمرخ‌ها (bb' ، dd' ، ll' و nn') تعیین نمود. با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری سنگ کف آهکی، محل سونداژهای ۵، ۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲ و ۳۷ می‌توانند مکان‌های مستعد آبخوان کارستی باشند، که عمق آبخوان کارستی در محل این سونداژها به ترتیب حدود ۱۸۷، ۲۷۲، ۲۵۸، ۲۸۰، ۲۰۶ و ۱۵۰ متر می‌باشد. میزان گسترش آبخوان کارستی بیشتر در محل جنوب شرقی شهر چابشلو و شمال شرقی روستای سوگندی و شمال روستای گنداب است و علائمی هم در قسمت غربی دشت در حدود ۳/۵ کیلومتری غرب روستای داغدار مشاهده شده است. بررسی تغییرات مقاومت ویژه ظاهری (pa) لایه‌ها و

عمق سنگ کف و تفکیک لایه‌های زیرزمینی دشت درگز، نشان می‌دهد برهمکنش چندانی بین آبخوان آبرفتی جنوبی درگز با آبخوان کارستی سازند تیرگان ارتفاعات الله اکبر وجود ندارد. به عبارت دیگر، با توجه به عدم ظهور چشمه‌های پرآب در دامنه شمالی ارتفاعات الله اکبر و کم ضخامت بودن لایه دانه درشت آبرفتی دشت، می‌توان نتیجه گرفت به طور کلی جهت جریان آب‌های زیرزمینی در آبخوان آبرفتی از بخش‌های غربی و جنوبی دشت به سمت شمال شرق و شرق می‌باشد. همچنین بیشتر آب آبخوان کارستی سازند آهکی تیرگان، جز در برخی نقاط محدود در پای ارتفاعات الله اکبر (محدوده چرلاق، چهل‌میر و ...) تأثیر چندانی در تغذیه آبرفت‌های درشت دانه لایه فوقانی دشت جنوبی درگز نداشته و به دلیل موانع طبیعی لایه‌های دانه‌ریز تحتانی، مسیرهای جریان آب زیرزمینی به سمت اعماق و یا دره دربادام و شمخال می‌باشد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و همچنین از دفتر مطالعات شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی و مدیریت امور منابع آب شهرستان درگز بابت همکاری برای اجرایی شدن برداشت‌های صحرایی و در اختیار قرار دادن گزارشات و داده‌های مورد نیاز تشکر می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Vertical Electrical Sounding
- 2-Geological Logs
- 3-Geoelectrical Profiles
- 4-Apparent Resistivity (pa)
- 5-Schlumberger
- 6-Geometric Factor (K)
- 7-U.S. Geological Survey
- 8-Continuous Vertical Electrical Sounding

منابع

سوگندی، رسول. (۱۳۹۵). شناسایی مشخصات لایه‌های زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های ژئوالکتریک و مقایسه نتایج با داده‌های حفاری - مطالعه موردی دشت مشهد، پایان‌نامه، کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۳۷۴). گزارش ژئوفیزیک دشت درگز منطقه نوخندان، مشهد، ایران.

- Muiuane, E.A., & Pederson, L.B. (1999). Automatic 1D interpretation of DC resistivity sounding data. *Journal of Applied Geophysics*, 42(1), 35-45. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(99\)00015-4](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(99)00015-4)
- Kirsch, R. (2006). *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg, Germany. <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-29387-6>
- Seaton, W.J., & Burbey, T.J. (2002). Evaluation of two-dimensional resistivity methods in a fractured crystalline-rock terrane. *Journal of Applied Geophysics*, 51(1), 21-41. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(02\)00212-4](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(02)00212-4)
- U.S. Geological Survey. (2006). FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization, Technical Report FGDC-STD-013-2006, Federal Geographic Data Committee, USGS.
- Vereecken, H., Binley, A., Cassiani, G., Revil, A., & Titov, K. (2006). *Applied Hydrogeophysics*. NATO Science Series, (volume 71). Springer, Dordrecht, Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4912-5_1
- Williams, J.H., & Paillet, F.L. (2023). *Geophysical Logging for Hydrogeology. The Grounwater Project*, Guelph, Ontario, Canada. <https://doi.org/10.21083/UQGA6966>
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۳۸۹). گزارش نهایی بهنگام سازی مطالعات منابع آب حوزه آبریز قره قوم، جلد دوم: بررسی ها و مشخصات عمومی. شرکت مهندسين مشاور طوس آب. مشهد. ايران.
- عزیزی، فرزانه، و محمدزاده، حسین. (۱۳۹۲). تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی با روش‌های ژئوالکتریک و برآورد حجم تقریبی و حجم آب قابل استحصال از آبخوان دشت امامزاده جعفر گچساران. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۱، ۱۷۹-۱۹۵. <https://doi.org/10.22067/geography.v11i21.36344>
- ولایتی، سعدالله. (۱۳۶۲). گزارش مقدماتی منابع آب دشت درگز (حوضه آبریز رودخانه درونگر). امور مطالعات منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، وزارت نیرو.
- Barnie, S., Geophrey, K., Anornu, G.K., & Kortatsi, B.K. (2014). Determination of Shallow Groundwater Aquifer Geometry using Geo-Electrical Techniques in the Atankwidi Sub-Basin of the White Volta Basin, Ghana. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(14), 20-31. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/14499>
- Corvallis, O.R. (2000). D.C. Resistivity methods, Northwest Geophysical Associates, Inc.
- Ishola, S.A., & Olufemi, S.T. (2024). Groundwater Exploration using Geoelectric Technique in Oru-Ijebu, South-West Nigeria. *Nigerian Journal of Theoretical and Environmental Physics*, 2(1), 49-66. <https://doi.org/10.62292/njptep.v2i1.2024.20>
- Idowu, I. O., & Ojo, A. O. (2024). Exploring groundwater resources in southwestern Nigeria: An integrated geophysical approach. *HydroResearch*, 7, 213-224. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.04.002>
- Jerbi, H., Sebai, A., Hamlaoui, I., Hamdi, M., & Hmida, N. (2022). Assessment of aquifer geometry and groundwater storage using three-dimensional hydrostratigraphic modeling and geophysical survey: The case study of Nefza massive dunes (Northern Tunisia). *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1416479/v1>
- Molano, C.E., Salamanca, M., & Van Overmeeren, R.A. (1990). Numerical Modelling of Standard and Continuous Vertical Electrical Soundings. *Geophysical Prospecting*, 38(7), 705-718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1990.tb01870.x>

The Effect of Modifying the Existing Green Spaces Compared to Other Methods of Urban Flood Management in Reducing the Volume of Runoff (Case Study:

Chahar-Cheshme River Basin, Mashhad)

A. M. Danesh^{1*}, A. Mosaedi^{2*}, A. R. Faridhosseini³,
A. Ghiami Bajgirani⁴

1,2,3- M.Sc. Student in Water Resources, Professor and Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 4- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Eqbal Lahoori Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.

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

Received: 22-06-2024

Revised: 06-10-2024

Accepted: 18-10-2024

Available Online: 19-02-2025

تاثیر اصلاح فضاهای سبز موجود در مقایسه با سایر روش‌های مدیریت سیلاب شهری در کاهش حجم رواناب (مطالعه موردی: حوضه چهارچشمه، مشهد)

امیر محمد دانش^{۱*}، ابوالفضل مساعدی^{۲*}، علیرضا فرید حسینی^۳،
علی قیامی باجگیرانی^۴

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، استاد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۴- استادیار، گروه عمران، آموزشگاه عالی اقبال لاهوری، مشهد، ایران.

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

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷

Abstract

Flood is one of the natural events that in recent decades, due to the expansion of urbanization and land use changes, causes many financial and human losses in different regions of the world, annually. Therefore, flood management in cities by low-impact development methods has become crucial. The current research compares the performance of the approaches of rain gardens, storage units, and bio-retention cells to directing surface runoff to green spaces using the SWMM model for the Chahar-Cheshme River basin of Mashhad city. Due to the lack of a hydrometric station in the city, precipitation and peak flow in the channel were measured for 20 rainfall events from April 2023 to May 2024. The evaluation index including RMSE, NS, and KGE shows the appropriate performance of the model for peak flow estimation. The sensitivity analysis of the model showed that impervious area, width, and impervious area's roughness coefficient are the most effective parameters to the peak flood discharge, respectively. In terms of reducing the peak discharge and volume of the flood, bio-retention cells, runoff directing to green space, and rain gardens had the best performance, respectively. However, the bio-retention cells had the best performance, but considering operational and maintenance costs, and other conditions, modifying green spaces to direct surface runoff to these spaces is a better and more logical choice for flood management in the study area.

Keywords: Urban Flooding, Low-Impact Development, Runoff Modeling, SWMM.

چکیده

سیل یکی از وقایع طبیعی است که در دهه‌های اخیر با توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی، سالانه خسارت‌های مالی و جانی بسیاری در مناطق مختلف جهان به همراه دارد. از این رو، مدیریت و کنترل سیلاب در شهرها با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در پژوهش حاضر، به مقایسه عملکرد سه رویکرد استفاده از باغچه باران، مخزن ذخیره و یا حوضچه نگهداشت زیستی با هدایت جریان‌های سطحی به فضاهای سبز موجود بر اساس مدل SWMM در حوضه مسیل چهارچشمه، شهر مشهد پرداخته شده است. به علت عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در سطح شهر، برای ۲۰ رخداد بارش از فروردین ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳، بارش در سطح حوضه اندازه‌گیری و دبی اوج رواناب در کانال اندازه‌گیری شد. معیارهای ارزیابی شامل RMSE، NS و KGE عملکرد مناسب مدل در برآورد دبی اوج را نشان می‌دهد. آنالیز حساسیت مدل نشان داد به ترتیب درصد سطوح نفوذناپذیر، عرض معادل و ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر موثرترین پارامترها بر دبی اوج سیلاب هستند. از نظر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب حوضچه نگهداشت زیستی، هدایت رواناب به فضای سبز و باغچه باران بهترین عملکرد را داشتند. در عین حال، با در نظر گرفتن هزینه‌های تملک، اجرایی، نگهداری و سایر شرایط، اصلاح فضاهای سبز به منظور هدایت رواناب‌های سطحی به این فضاها، انتخاب مناسب‌تری برای مدیریت سیلاب در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب شهری، توسعه کم‌اثر، مدل‌سازی بارش رواناب، SWMM.

سیل یکی از چند مخاطره طبیعی است که خطر وقوع و خسارات آن در طی زمان افزایش یافته است. دلیل این افزایش را می‌توان تغییرات آب و هوایی، گرمایش جهانی و همچنین فعالیت‌های مخرب بشری از جمله تغییر در شرایط طبیعی حوضه، قطع درختان، گسترش شهرسازی در حوضه‌های آبریز و حتی در داخل بستر و حاشیه رودخانه‌ها و آبراهه‌ها عنوان کرد (Fernandez و همکاران، ۲۰۱۶؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۱؛ Nilawar و Waikar، ۲۰۱۹؛ Khan و همکاران، ۲۰۱۰). به دلیل این تغییرات، دبی پیک سیلاب بیشتر و در مدت زمان کمتری نسبت به حالت طبیعی به وقوع می‌پیوندد و دلیل آن افزایش سرعت جریان، افزایش ضریب رواناب، کاهش زمان تمرکز حوضه و افزایش سرعت تجمع جریان می‌باشد (بهیانی، ۱۳۸۸). مطالعات نشان می‌دهد که در اثر افزایش ۳۱/۵ برابری مساحت شهر مشهد از سال ۱۳۲۰ تا سال ۱۳۹۵، دبی پیک سیلاب ۳۰۷ درصد افزایش داشته و زمان تمرکز نیز حدود ۹۰ دقیقه کاهش یافته است (خدشناس و عزیزی، ۱۳۹۸). استفاده از بهترین روش‌های مدیریتی (BMP)^۱ و توسعه کم‌اثر (LID)^۲ راهکارهایی به منظور کاهش حجم، سرعت و آلودگی رواناب‌های شهری از طریق افزایش سطوح نفوذپذیر و ذخیره آب باران می‌باشند (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۶؛ پورصاحبی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پناهی و اسماعیلی، ۱۳۹۷). رویکردهای توسعه کم‌اثر به عنوان یک رویکرد جایگزین برای تقلید بهتر رژیم طبیعی جریان (بازگشت به شرایط قبل از توسعه) در حوضه آبخیز به منظور کنترل رواناب ناشی از رگبار ارائه شده است که شامل رویکردهای آسفالت نفوذپذیر، حوضچه نگهداشت زیستی، باغچه باران، بام سبز، مخزن ذخیره موقت، بشکه باران، برکه نفوذ، توسعه فضای سبز و امثال این‌ها می‌باشد (Damodaram و همکاران، ۲۰۱۰).

مطالعات سیلاب در حوضه‌های شهری به منظور برنامه‌ریزی و کنترل کمیت سیلاب و کاهش خسارات ناشی از آن باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه به انجام می‌رسند (لطفی، ۱۳۹۷). مدل‌سازی رواناب در حوضه‌های شهری به دلیل پیچیدگی‌های فراوان و عدم وجود اطلاعات دقیق با دشواری‌ها و عدم قطعیت‌های زیادی روبه‌رو است. از جمله این پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌ها، می‌توان به تغییرات ضریب نفوذپذیری و یا ضریب مانینگ در سطح حوضه، عدم تعیین دقیق مساحت اراضی نفوذناپذیر و یا تغییرات زمانی و مکانی شدت بارندگی در سطح حوضه و در طول مدت بارندگی اشاره نمود. مدل دینامیک SWMM^۳ به عنوان ابزاری قدرتمند به منظور مدل‌سازی و مدیریت بارش-رواناب می‌باشد و می‌تواند برای یک واقعه سیلاب یا چند واقعه به صورت پیوسته (دبی روزانه، ماهانه و سالانه) کیفیت و کمیت رواناب را شبیه‌سازی نماید. باتوجه به قابلیت‌های این مدل مانند طراحی کانال‌های جمع‌آوری رواناب سطحی، مشخصات کیفی

رواناب، سازه‌های جانبی مانند پمپ و مدل‌سازی هیدرولیک جریان در کانال‌ها، این مدل عموماً در حوضه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل توسط Rossman در سال ۲۰۰۴ انتشار یافته است. از مهمترین مزیت‌های این مدل نسبت به سایر مدل‌ها، توانایی طراحی و تحلیل روش‌های توسعه کم‌اثر (LID) و تاثیر آن‌ها بر حجم رواناب به منظور برنامه‌ریزی شهری می‌باشد (سید کابلی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Rossman، ۲۰۱۰).

تقی‌زاده و رجایی (۱۳۹۸) با استفاده از الگوریتم MOPSO و مدل SWMM یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به منظور شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی منطقه ۲۲ تهران را ارائه نمودند. نتایج ایشان نشان داد با به‌کارگیری چهار سناریو ترانشه نفوذ، مخازن نگهداشت زیستی، روسازی نفوذپذیر (در ۲، ۴ و ۶ درصد از زیرحوضه‌های مطالعاتی) و روش ترکیبی برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ سال، می‌توان دبی اوج سیلاب را کاهش داد. ایشان به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری ترکیب بهینه هر سه رویکرد، منجر به کاهش ۵۱ تا ۵۴ درصد دبی اوج می‌شود. قشقایی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند رویکرد بام سبز نسبت به جوی باغچه و سیستم ماند بیولوژیکی عملکرد بهتری در کاهش میزان حجم سیلاب و کنترل بار آلودگی در بخشی از شهر بندرعباس دارد. ایزانلو و شیخ (۱۳۹۷) با مقایسه ۶ راهکار مدیریتی شامل سیستم نگهداشت بیولوژیکی، بام سبز، ترانشه نفوذ، آسفالت نفوذپذیر، پیاده‌رو نفوذپذیر و بشکه باران در شهر بجنورد، با در نظر گرفتن جنبه‌های هیدرولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی و با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و وزن‌دهی به روش آنالیز شانون به این نتیجه دست یافتند که در صورت تأکید بر معیار اجتماعی، ترانشه نفوذ و در صورت تأکید بر معیار اقتصادی راهکار بشکه باران و در صورت تأکید بر معیار هیدرولوژیکی راهکار بام سبز بهترین انتخاب‌ها می‌باشند. عقیلی‌مهابادی و همکاران (۱۴۰۰) نیز در تحقیقاتی مشابه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS به مقایسه ۶ روش سیستم نگهداشت بیولوژیکی، ترانشه نفوذ، روسازی نفوذپذیر، بشکه باران و روش‌های ترکیبی روسازی نفوذپذیر-ترانشه نفوذ و سیستم نگهداشت بیولوژیکی-بشکه باران در سپاهان شهر استان اصفهان پرداختند. در حالت‌های وزن‌دهی یکسان و تأکید بر معیارهای هیدرولوژیکی و اقتصادی، روش ترکیبی سیستم نگهداشت بیولوژیکی-بشکه باران و در حالت وزن‌دهی آنالیز شانون، بشکه باران به عنوان بهترین روش انتخاب شدند. صلواتی و همکاران (۱۳۹۶) با انجام پژوهشی در شهر تبریز نتیجه گرفتند با طراحی مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی می‌توانند حدود ۴۸ درصد از نیاز آبی فضای سبز شهر را تأمین کنند. ناهید و همکاران (۱۴۰۱) با بررسی عملکرد جداگانه و ترکیبی دو مورد رویکردهای BMP در منطقه ۴ تهران با استفاده از مدل SWMM نتیجه گرفتند سناریو ترکیب طرح‌های جوی باغچه و بام سبز بیشترین تاثیر را در کاهش عمق و دبی جریان در کل شبکه زهکشی خواهد داشت.

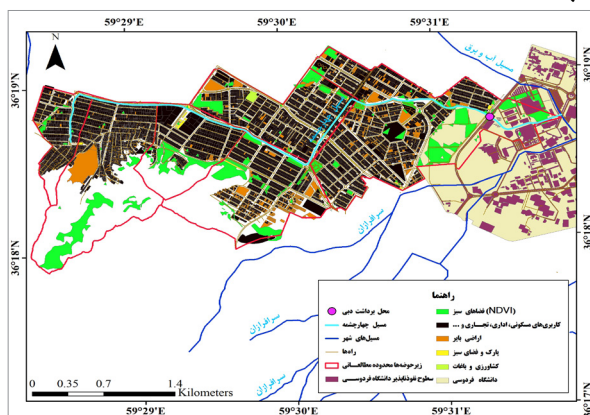
Maniquiz-Redillas و Frias (۲۰۲۱) در پژوهشی در کشور فیلیپین ۸ رویکرد شامل سلول نگهداشت زیستی، ترانسه نفوذ، روسازی نفوذپذیر، بشکه باران، باغچه باران، جوی باغچه، قطع ارتباط بام-ناودان و بام سبز را با استفاده از مدل SWMM (که برای چند سیل تاریخی واسنجی و صحت سنجی شده بود)، ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد سلول نگهداشت زیستی و ترانسه نفوذ بیشترین تأثیر را در کاهش حجم رواناب از میان سایر روش‌ها دارند. Li و همکاران (۲۰۱۷) با مقایسه روش‌های توسعه کم‌اثر (LID) با استفاده از SWMM در شهر Xi'an چین به این نتیجه رسیدند که حوضچه‌های نگهداشت زیستی، جوی باغچه‌ها و بام سبز به ترتیب بیشترین تأثیر را در کاهش دبی پیک و حجم رواناب دارند. پناهی و اسماعیلی (۱۳۹۷) با تفکیک روش‌های مدیریت سیلاب در سه سطح کاربرد؛ فضای سبز و مناظر، ساختمان‌ها و معابر (خیابان و کوچه)، بهترین روش در هر سطح را برای مناطق مختلف کشور بر اساس اقلیم آن منطقه پیشنهاد نمودند. Yang و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با هدف ارزیابی عملکرد روش‌های LID در آلمان، هفت روش را با استفاده از مدل SWMM بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد این روش‌ها به طور قابل توجهی به کاهش رواناب سطحی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کنند و بشکه باران به‌عنوان اقتصادی‌ترین روش و ترکیبی از سناریوهای ترانسه نفوذ، روسازی نفوذپذیر و بشکه باران بهترین عملکرد را در کاهش و کنترل رواناب دارد. Joo و Kim (۲۰۱۸) در پژوهشی به ارزیابی عملکرد روش‌های توسعه کم‌اثر با استفاده از مدل EPA SWMM در یک دوره تک‌واپعه و بلندمدت ۱۱ ساله در کره جنوبی پرداختند. در این پژوهش، ۷ مورد از تجهیزات LID اجرا و مقایسه شدند که مشخص شد به طور میانگین تا ۷۶/۶ درصد دبی اوج را کاهش می‌دهد. Sui و van de Ven (۲۰۲۳) با بررسی تأثیر اجرای LID بر رواناب شهر سن آنتونیو، تگزاس با استفاده از یک چارچوب مدل مفهومی SUPERFLEX نشان دادند که رویکردهای روسازی‌های نفوذپذیر، سلول‌های حفظ زیستی و باغچه‌های گیاهی، دبی اوج رواناب را به میزان قابل توجهی کاهش و وقوع آن را به تعویق می‌اندازند. مطالعات صمیم و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد به‌کارگیری هم‌زمان روش‌های احداث مخازن تأخیری، سیستم نگهداشت زیستی و بشکه باران بزرگ، موجب کاهش ۸۰ درصدی محل‌های آبگرفتگی و کاهش ۷۵ درصدی حجم سیلاب‌های موجود در ناحیه هشتم شهر هرات می‌شود.

Suresh و همکاران (۲۰۲۳) اثر اقدامات LID با طراحی مجدد سیستم زهکشی موجود در شمال شرقی هند با استفاده از مدل SWMM را مقایسه کردند و مشخص شد طراحی مجدد سیستم زهکشی تنها منجر به کاهش ۲/۵ تا ۳/۶ درصدی در عمق رواناب می‌شود، درحالی‌که رویکرد بام سبز به طور میانگین حدود ۴۹ درصد عمق جریان را کاهش می‌دهد. مهری و همکاران (۱۴۰۲) عملکرد سلول نگهداشت زیستی در یک منطقه متراکم در شرق تهران را

بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد این رویکرد برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۵۰ سال به ترتیب باعث افزایش نفوذ ۱۵/۲ تا ۲۷/۵ درصد بارندگی، کاهش حجم کل سیلاب ۷۶/۲ (در دوره بازگشت ۲ سال) تا ۷۰/۲ درصد (در دوره بازگشت ۵ سال) و کاهش دبی اوج ۶۵/۹ (در دوره بازگشت ۲ سال) تا ۳۶/۴ درصد (در دوره بازگشت ۵ سال) می‌شود. محمدحسن‌نژاد و همکاران (۱۴۰۳) با بررسی شبکه جمع‌آوری رواناب شهر باغین در استان کرمان برای دوره‌های بازگشت ۲۵ تا ۱۰۰ سال با استفاده از مدل SWMM به این نتیجه دست یافتند که به کمک رویکرد بام سبز می‌توان میزان خروجی جریان شبکه را تا ۳۰ درصد کاهش داد. Gündel و Önaç (۲۰۲۴) در منطقه‌ای حاشیه نشین در غرب ترکیه که دارای زیرساخت‌های مناسبی نمی‌باشد، کارایی روش‌های توسعه کم‌اثر با استفاده از مدل SWMM را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد در شرایط عادی ۷۰ درصد از بارش در این منطقه به رواناب سطحی تبدیل می‌شود و می‌توان با استفاده از رویکردهای آسفالت نفوذپذیر تا ۱۳ درصد، ترانسه نفوذ تا ۳۰ درصد، سلول نگهداشت زیستی تا ۲۹ درصد، بام سبز تا ۱۹ درصد، کانال سبز تا ۳۳ درصد، باغچه باران تا ۳۰ درصد و بشکه باران تا ۱۹ درصد از حجم رواناب را کاهش داد. امروزه شهرک‌های اسفنجی که زیرساخت آن‌ها بر مبنای تاسیسات توسعه کم‌اثر (LID) ساخته می‌شوند، در افزایش تاب‌آوری و پایداری مناطق شهری برای مدیریت رواناب ناشی از رگبارهای تحت تأثیر تغییرات اقلیم کاربرد دارند. در همین راستا Fei و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از مدل SWMM عملکرد تاسیسات LID در یک نمونه آموزشی از شهرک‌های اسفنجی را در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد علاوه بر کاهش میزان قابل توجهی از دبی اوج و حجم کل رواناب، این تاسیسات به حذف ۷۵ درصد کل مواد جامد معلق (TSS) و حفظ ۱۷۵۲۴ کیلووات ساعت برق سالانه کمک می‌کند. درحالی‌که این شهرک (پردیس) آموزشی تنها ۹/۲ درصد از مساحت منطقه و ۱۵/۱ درصد از سهم کل ذخیره آب ورودی به منطقه را شامل می‌شود. همانطور که نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد، یک روش ثابت به‌عنوان بهترین راهکار برای مدیریت سیلاب وجود ندارد و در هر محدوده مطالعاتی نتیجه عملکرد روش‌های مدیریت سیلاب، متفاوت است. در شهر مشهد فضاهای سبز متنوعی شامل درختکاری‌ها، پارک‌های خطی و آیلندها موجود می‌باشد، اما معمولاً به علت جدول‌گذاری‌ها و قرارگیری سطح این فضاها در بالاتر از تراز آسفالت پیاده‌رو و ماشین‌رو، امکان استفاده از ظرفیت آنها به منظور دریافت رواناب و کاهش حجم سیلاب وجود ندارد. بنابراین، در پژوهش حاضر، علاوه بر بررسی سه مورد از روش‌های متداول مدیریت سیلاب، به شبیه‌سازی هدایت جریان رواناب‌های ناشی از بارش به فضاهای سبز موجود با استفاده از مدل SWMM و مقایسه نتایج آن‌ها و تعیین مناسب‌ترین روش در بین روش‌های مورد بررسی در مدیریت سیلاب حوضه چهار چشمه مشهد پرداخته شده است.

• شبیه‌سازی با استفاده از مدل SWMM

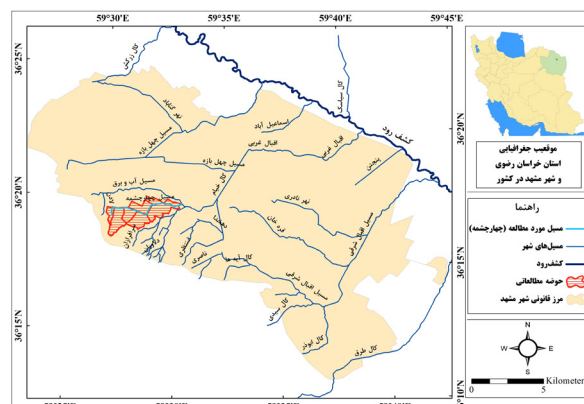
به‌طور کلی پارامترهای ورودی مدل SWMM شامل ۶ نوع اصلی از متغیرهای محیطی می‌باشد: ۱- داده‌های اقلیمی مانند بارش، دما، تبخیر و ...، ۲- مشخصات زمین شامل زیرحوضه‌ها و پارامترهای نفوذ ۳- مشخصات جریان‌های زیرسطحی، ۴- سیستم انتقال شامل لوله‌ها، کانال‌ها، گره‌ها، مخازن ذخیره و...، ۵- پارامترهای مربوط به کیفیت و آلودگی آب و ۶- کنترل‌های توسعه با اثرات کم یا LID. برای هر پروژه‌ای ورود تمامی این اطلاعات به مدل ضروری نمی‌باشد (Niazi و همکاران، ۲۰۱۷) و در برخی از پروژه‌ها مانند این پژوهش فقط داده‌های بارش، سیستم انتقال و مشخصات زمین لازم است. مرز زیرحوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، نقشه مسیر کانال‌ها، مسیل‌های زهکشی و نقشه بلوک‌های ساختمانی تعیین شده است. انواع سطوح هر زیرحوضه در این مدل به دو بخش سطوح نفوذپذیر و سطوح نفوذناپذیر تقسیم می‌شود که سطوح نفوذناپذیر خود به دو قسمت سطوح نفوذناپذیر با چالاب و سطوح نفوذناپذیر بدون چالاب تفکیک شده است. سطوح نفوذپذیر شامل پارک‌ها، بوستان‌ها، زمین‌های بایر و سایر فضاهای سبز شهری می‌باشد، سطوح نفوذناپذیر شامل ساختمان‌ها، منازل، معابر و ... می‌باشند که با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی طرح تفصیلی حوضه جنوب غرب شهر مشهد استخراج شد. البته بسیاری از سطوح نفوذپذیر در نقشه‌های کاربری اراضی دیده نشده است که شامل فضای سبز موجود در محوطه هتل‌ها، فضای سبز موجود در حاشیه و وسط بولوارها (آیلند)، فضای سبز و زمین‌های بایر موجود در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و امثال اینها می‌باشد. به همین منظور با استفاده از تصاویر سنجنده Sentinel 2 در سامانه GEE^۴ شاخص پوشش گیاهی (NDVI)^۵ استخراج شد. در نهایت اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای برای تدقیق میزان سطوح نفوذناپذیر زیرحوضه‌ها استفاده شد که نتیجه آن در شکل (۳) قابل مشاهده است.



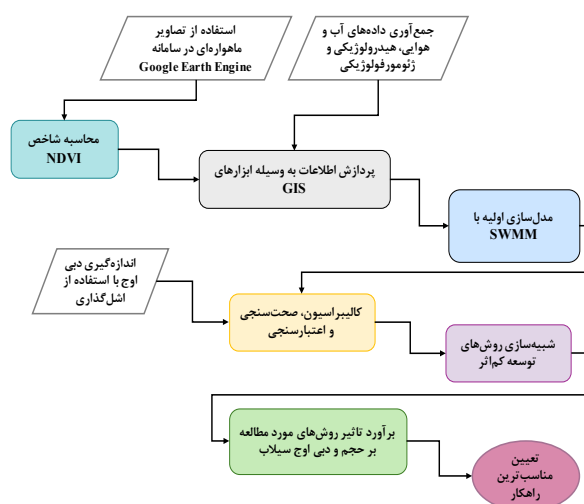
شکل ۳- تعیین سطوح نفوذپذیر در زیرحوضه‌های مطالعاتی

• محدوده مطالعاتی

شهر مشهد با مساحت ۳۲۸ کیلومتر مربع، دومین شهر پهناور ایران پس از تهران است. همچنین براساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، مشهد با ۳۰۱۱۸۴ تن جمعیت، دومین شهر پرجمعیت ایران پس از تهران به‌شمار می‌رود. شهر مشهد در استان خراسان رضوی در حوضه رودخانه کشف‌رود قرار گرفته است. موقعیت شهر مشهد در کشور و مسیل‌های موجود در شهر در شکل (۱) مشخص شده است. مسیل مورد مطالعه از ارتفاعات جنوبی موجود و از محدوده پارک خورشید شهر مشهد سرچشمه گرفته که به مسیل چهارچشمه شناخته شده و با طول ۶۰۵۹ متر که اکثراً سرپوشیده است، تا پردیس دانشگاه فردوسی مشهد امتداد دارد و پس از پیوستن به مسیل آب و برق به سمت مسیل خیام جریان پیدا می‌کند. وسعت حوضه آبریز این مسیل ۶/۴ کیلومتر مربع می‌باشد. در شکل (۲) نیز ساختار کلی مراحل انجام این پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهر مشهد، مسیل‌های موجود و حوضه مطالعاتی



شکل ۲- ساختار کلی و مراحل انجام پژوهش

اردیبهشت ۱۴۰۳) برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

$$Q = 1/n AR^{(2/3)} S^{(1/2)} \quad (1)$$
 در این معادله دبی مشاهداتی (Q)، مساحت سطح مقطع (A)، شعاع هیدرولیکی (R)، شیب کانال (S) و n ضریب زبری کانال است. مساحت و شعاع هیدرولیکی با توجه به ارتفاع آب در کانال محاسبه شد. ضریب زبری مانتینگ (n) به عواملی مانند جنس زمین، نوع کاربری، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر (مستقیم یا مارپیچ) و وجود مانع در جهت جریان بستگی دارد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۹).

• شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل

در این پژوهش برای ارزیابی کمی عملکرد مدل از روابط ریاضی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب ناش-ساتکلیف (NS) و معیار کلینگ-گوپتا (KGE) به منظور بررسی میزان تفاوت مقادیر دبی اوج مشاهداتی و شبیه‌سازی استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{n}} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (3)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2} \quad (4)$$

در این روابط دبی اوج مقادیر مشاهداتی Q_o ، مقادیر شبیه‌سازی Q_s ، میانگین مقادیر مشاهداتی $\bar{Q}_o$ و n تعداد داده‌های مشاهداتی یا شبیه‌سازی می‌باشد. هرچه میزان RMSE، کوچک‌تر باشد، تفاوت میان مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی کمتر بوده و دقت برآورد مدل بیشتر خواهد بود. ضریب ناش-ساتکلیف می‌تواند مثبت یا منفی باشد که بازه تغییرات آن بین $-\infty$ تا یک است. اگر مقدار این ضریب مثبت باشد، نشان‌دهنده دقت بهتر مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به میانگین مقادیر مشاهداتی است و در صورتی که منفی باشد، به این مفهوم است که خروجی مدل با ماهیت سیستم متناظر نیست. کمترین مقدار قابل قبول آن در شبیه‌سازی ۰/۵ است و هر چه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، دقت شبیه‌سازی مدل بیشتر خواهد بود (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰). معیار کلینگ-گوپتا، یکی از جدیدترین معیارها در زمینه ارزیابی مدل‌سازی هیدرولوژیکی است که توسط Gupta و همکاران (۲۰۰۹) معرفی شده است. در فرمول KGE، r ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی، α نسبت انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی به انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و β نسبت میانگین مقادیر شبیه‌سازی به میانگین مقادیر مشاهداتی است. بهترین مقدار برای این معیار عدد یک می‌باشد که نشان از تطابق کامل مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی دارد.

سایر پارامترهای مربوط به مشخصات زمین مانند ضریب زبری سطوح و مقدار ذخیره چالابی سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر بر اساس جداول موجود در راهنمای مدل، برآورد شد. مقدار اولیه عرض زیرحوضه‌ها که به‌عنوان یکی از پارامترهای اصلی کالیبره نمودن مدل SWMM شناخته می‌شود، از تقسیم طول آبراهه بر مساحت زیرحوضه محاسبه شد. با توجه به اینکه در فرایند شبیه‌سازی، شناخت تاثیر متفاوت پارامترهای ورودی به عنوان متغیرهای مستقل بر نتایج خروجی مدل نقش اساسی و مهمی دارد، به منظور بررسی نحوه تغییرات خروجی مدل در مقابل تغییرات پارامترهای ورودی، آنالیز حساسیت انجام شد. تعیین و آگاهی از پارامترهای تاثیرگذارتر با استفاده از آنالیز حساسیت، فرآیند صحت‌سنجی و واسنجی مدل را کوتاه‌تر و بهینه می‌نماید (Simonovic و Cunderlik، ۲۰۰۴). از بین پارامترهای ورودی، ۸ پارامتر مربوط به مشخصات زمین که شامل درصد شیب متوسط زیرحوضه، درصد سطوح نفوذناپذیر، ضریب زبری مانتینگ سطوح نفوذناپذیر و سطوح نفوذپذیر، عرض معادل، چالاب سطوح نفوذناپذیر و سطوح نفوذپذیر و درصد سطوح نفوذناپذیر بدون چالاب انتخاب شدند. با هر مرتبه تغییر در ۸ پارامتر ورودی، مدل اجرا شده و تاثیر آن بر دبی اوج سیلاب ارزیابی شد. نتیجه آنالیز حساسیت به تعدیل یا اصلاح خروجی مدل کمک نمود. واسنجی، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل: به دلیل آنکه در سطح شهر ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد، در یکی از بخش‌های مسیل اشل نصب شده و بیشترین عمق آب ناشی از باران در کانال قرائت شد (شکل ۴).

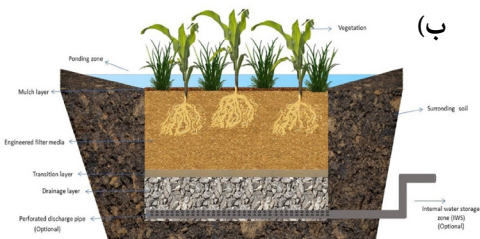


شکل ۴- نمونه‌ای از اندازه‌گیری‌های عمق آب در مسیل چهارچشمه
 الف) بارش ۱۴۰۳/۲/۲۹ ب) بارش ۱۴۰۳/۲/۱۹

این کانال در محل اندازه‌گیری دارای پوشش کف بتنی و دیواره سنگی می‌باشد، همچنین دارای یک مقطع مرکب می‌باشد که مقطع مستطیلی کوچک در وسط کانال به ابعاد ۲۵×۴۰ سانتی‌متر و مقطع بزرگ به ابعاد ۲/۱×۴/۳ متر می‌باشد. شیب کانال در محل اندازه‌گیری حدود ۰/۷ درصد می‌باشد. با استفاده از رابطه مانتینگ مطابق رابطه (۱)، دبی اوج سیلاب ناشی از ۲۰ رخداد بارش از فروردین ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ اندازه‌گیری شد. ۸ رویداد اول برای واسنجی، ۸ رویداد بعدی برای صحت‌سنجی و ۴ رویداد آخر (بارش‌های سیل آسا



(الف)



(ب)



(د)

(ج)

شکل ۵- روش‌های مدیریت سیلاب مورد مطالعه در پژوهش حاضر
(الف) حوضچه ذخیره، (ب) حوضچه نگهداشت زیستی، (ج) باغچه باران،
(د) هدایت رواناب به فضای سبز شهری

نتایج و بحث

• نتایج مدل‌سازی بارش - رواناب

بر اساس نتایج آنالیز حساسیت؛ در بین هشت پارامتر بررسی شده در این مطالعه، به ترتیب درصد سطوح نفوذناپذیر، عرض معادل زیرحوضه و ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر بیشترین تاثیر و ذخیره چالاب سطوح نفوذپذیر و ضریب زبری سطوح نفوذپذیر کمترین تاثیر را بر دبی اوج سیلاب دارند که با نتایج زاهدی خامنه و خدشناس (۱۴۰۰)، یاراحمدی و همکاران (۱۴۰۱) مطابق دارد. پس از اجرای مدل با پارامترهای ورودی اولیه محاسبه شده برای ۸ واقعه بارش از فروردین ۱۴۰۲ تا بهمن همان سال، مشخص شد که مدل کم‌برآورد است؛ در نتیجه نیازمند تغییر در پارامترهای ذکر شده بود. سپس برای پارامترهایی که مقدار اولیه بر اساس پایه

• رویکردهای کنترل سیلاب

به منظور کنترل سیلاب رویکردهای مختلفی وجود دارند که در این پژوهش ۴ رویکرد با تاکید بر فضای سبز شهری مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۵). این ۴ رویکرد به شرح زیر می‌باشند.

(۱) حوضچه یا مخزن ذخیره موقت (Storage Unit):

حوضچه‌های ذخیره، گودی‌های طبیعی یا مصنوعی هستند. حوضچه‌های نگهداشت می‌توانند موقت یا دائم باشند. حوضچه‌های نگهداشت موقت می‌توانند حجمی از رواناب را به طور موقت نگهدارند (فاصله بین دو بارش متوالی). همچنین نگهداشت رواناب در این حوضچه‌ها باعث ته‌نشینی مواد معلق و رسوبات حمل شده می‌شود. حوضچه‌های موقت تنها وظیفه کنترل و کاهش پیک سیلاب را دارد، اما حوضچه‌های دائم گیاهان و موجودات آبی دارند و کاربرد تفریحی، تغذیه آب زیر زمینی، آتش‌نشانی و ... نیز دارند (شکل ۵-الف).

(۲) سیستم نگهداشت زیستی (Bio-Retention Cell):

این روش نیز مشابه باغچه‌های باران می‌باشد، با این تفاوت که در روش نگهداشت زیستی، رواناب‌های نفوذ داده شده با عبور از خاک وارد یک لایه سنگدانه شده و به‌صورت موقت در فضای خالی بین این ذرات ذخیره می‌شود (بدیع‌زادگان، ۱۴۰۰) و غالباً توسط یک لوله زهکشی در داخل این لایه، سیلاب وارد شده به این سیستم پس از پالایش وارد سیستم زهکشی پایینی می‌شود (شکل ۵-ب).

(۳) باغچه باران (Rain Garden):

از نظر ظاهری یک سطح خاکی است که توسط گیاهان پوشیده شده است و همانند باغچه‌های معمولی هستند که با هدایت جریان‌های سطحی به داخل این باغچه‌ها، اجازه نفوذ آب به داخل خاک و ته‌نشینی ذرات معلق و رسوبات روی بستر آن‌ها داده می‌شود. ضمناً بخشی از این رواناب صرف افزایش رطوبت خاک و آبیاری فضای سبز موجود در آن می‌شود (شکل ۵-ج).

(۴) ایجاد ارتباط بین فضای سبز و سطوح نفوذناپذیر (هدایت رواناب به فضای سبز شهری):

در سطح شهر مشهد، غالب فضای سبز شهری، از نظر اصول اجرایی؛ در هدایت، کنترل و نگهداشت رواناب‌های سطحی نقشی زیادی نداشته و دلیل آن نحوه جدول‌گذاری، شیب‌بندی نامناسب و غیرهمسطح بودن معابر نسبت به این فضاها می‌باشد (تراز باغچه‌ها و فضاها سبز شهری بالاتر از تراز معابر قرار دارد) که باعث عدم هدایت رواناب‌ها به داخل این فضاها می‌شود. این رویکرد به عنوان یک روش مرسوم در توسعه با اثرات کم شناخته نمی‌شود، اما یکی از قابلیت‌های مدل SWMM، شبیه‌سازی حرکت جریان (روندیابی) از سطوح نفوذناپذیر به سمت سطوح نفوذپذیر می‌باشد تا بتوان نتیجه این رویکرد را بررسی کرد (شکل ۵-د).

علمی قوی محاسبه نشده، میزان بیشتری از تغییرات اعمال شد. پس از بررسی و شناخت پارامترها، با تغییرات منطقی در چهار پارامتر، خروجی بهینه از مدل به دست آمد که البته این تغییرات اندک، حاصل محاسبه دقیق اولیه پارامترها می باشد. به عنوان مثال اگر به طور پیش فرض درصد اراضی نفوذناپذیر تمامی زیرحوضه ها، ۵۰ درصد تعیین می شد یا ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر و یا عرض معادل یک مقدار ثابت برای تمام زیر حوضه ها در نظر گرفته می شد، مقادیر اولیه پارامترها نیازمند تغییرات بیشتری بود تا نتایج مورد نظر به دست آید.

نتایج آنالیز حساسیت و فرآیند واسنجی مدل، اهمیت پارامترهایی که تاثیر کمتری بر دبی اوج سیلاب دارد را نیز مشخص کرد. در بارش های کم، مانند بارش های روزهای ۱۴۰۲/۲/۱۳ و ۱۴۰۲/۱۰/۱۷ (مقدار بارش حدود ۲/۵ میلی متر) که دبی اوج ناشی از بارش، مقدار کمی می باشد، پارامترهای ذخیره چالاب سطوح نفوذناپذیر و درصد سطوح نفوذناپذیر بدون چالاب نقش اساسی در تنظیم و کالیبره نمودن مقادیر شبیه سازی ایفا می کنند، در حالی که تغییر در این پارامترها در دبی های اوج بیشتر از ۱ مترمکعب بر ثانیه، تاثیر بسیار ناچیزی دارد. در نتیجه ابتدا مقادیر دبی های اوج زیاد با استفاده از تاثیرگذارترین پارامترها، کالیبره شده و پس از آن با استفاده از دو پارامتر ذکر شده برای مقادیر دبی های اوج کم، شبیه سازی بهبود

یافته است. نتایج عملکرد مدل بر اساس شاخص های ذکر شده در مراحل واسنجی، صحت سنجی و اعتبارسنجی مدل در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس، تمامی شاخص ها نشان از عملکرد بسیار خوب مدل در شبیه سازی دارند.

جدول ۱- نتیجه عملکرد مدل SWMM برای برآورد دبی اوج سیلاب در مراحل مختلف بر اساس شاخص های آماری

شاخص	واسنجی	صحت سنجی	اعتبارسنجی
RMSE (m^3/s)	۰/۰۵۹	۰/۱۱۶	۳/۵۰۹
NS	۰/۹۴۶	۰/۹۰۲	۰/۸۴۲
KGE	۰/۹۲۹	۰/۸۸۲	۰/۸۲۷

• ارزیابی روش های مدیریت سیلاب

نتایج شبیه سازی این رویکردها شامل حوضچه های نگهداشت زیستی (۵ درصد از حوضه مطالعاتی)، سه حوضچه ذخیره موقت، باغچه های باران (۵ درصد از حوضه مطالعاتی) و هدایت جریان به فضاهای سبز موجود و تاثیر آن ها بر دبی اوج و حجم سیلاب در سیلاب های رخ داده در ۱۲ رویداد بارش از فروردین ۱۴۰۲ تا فروردین ۱۴۰۳ بررسی شده است. مقایسه عملکرد رویکردهای مورد مطالعه براساس جدول (۲) می باشد.

جدول ۲- مقایسه کلی رویکردهای مدیریت سیلاب مورد بررسی در محدوده مطالعاتی

خصوصیت سیل	بدون LID	هدایت جریان به فضای سبز	حوضچه نگهداشت زیستی	حوضچه ذخیره موقت	باغچه باران
متوسط دبی اوج (m^3/s)	۱/۳۱۲	۰/۶۴۳	۰/۵۹	۱/۰۶۲	۰/۶۸۵
مجموع حجم سیلاب ($10^3 m^3$)	۲۰۰/۳۵۵	۹۹/۹۸۴	۹۵/۲۳۵	۱۴۲/۳۶۴	۱۰۸/۶۵۹
درصد کاهش دبی اوج	-	۵۰/۹	۵۵	۱۹/۱	۴۷/۸
درصد کاهش حجم سیلاب	-	۵۰/۱	۵۲/۵	۲۸/۹	۴۵/۸

در ۱۲ رویداد بارندگی مجموعاً ۷۱/۳ میلی متر بارش اندازه گیری شده که موجب تولید حدود ۲۰۰ هزار مترمکعب رواناب در خروجی حوضه مورد مطالعه شده است. سناریو حوضچه نگهداشت زیستی با بهترین عملکرد بیش از ۵۲ درصد از حجم سیلاب و ۵۵ درصد دبی اوج سیلاب را کاهش داده است. پس از آن، سناریو هدایت رواناب به فضای سبز عملکرد بسیار خوب و مشابهی داشته که حدود ۵۰ درصد از حجم سیلاب و همچنین ۵۱ درصد دبی اوج سیلاب را کاهش داده است. سناریو باغچه باران نیز عملکرد خوبی داشته و در مجموع ۴۷/۸ درصد دبی اوج و ۴۵/۸ درصد حجم سیلاب های رخ داده را کاهش داده است. اما سناریو حوضچه ذخیره موقت عملکردی به خوبی سایر سناریوها نداشته است. حوضچه های ذخیره موقت در بارش های کم عملکرد بسیار خوبی داشته است و تقریباً اکثر رواناب تولیدی را ذخیره می کنند، اما در بارش های زیاد و طولانی مدت، کارایی آن ها کاهش می یابد، به طور کلی این روش

به منظور ذخیره جریان سطحی و استفاده مجدد از آب ذخیره شده کاربرد دارد. برخلاف اینکه سناریو حوضچه نگهداشت زیستی بهترین عملکرد را دارد، اما با در نظر گرفتن ارزش اقتصادی زمین و هزینه های تملک اراضی، اجرایی-عملیاتی و نگهداری و سایر شرایط موجود می توان گفت که سناریو هدایت جریان به سمت فضاهای سبز شهری و آیلندهای موجود که از طریق اصلاح جدول گذاری ها، شیب بندی معابر و ایجاد امکان هدایت رواناب های ناشی از بارش به سمت این فضاها می باشد، می تواند انتخاب منطقی تر و بهتری برای مدیریت سیلاب در حوضه مطالعاتی باشد. البته متأسفانه در رابطه با کیفیت رواناب های شهری اطلاعات بسیار کمی در اختیار است. از این رو، پیشنهاد می شود که نمونه برداری از رواناب های شهر در رابطه با بررسی کیفیت جریان های سطحی از دیدگاه شیمیایی و بیولوژیکی انجام شود تا در صورت هدایت رواناب ها به فضاهای سبز، باعث آسیب به گیاهان و فضای سبز شهری نشود.

مدیریت سیلاب شهر مشهد توسعه داده شود تا با اعمال اثر هر پارامتر و همچنین تاثیر ترکیبی این پارامترها، گزینه بهینه در کنترل و مدیریت سیلاب شهر مشهد، مشخص و تدوین شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله در راستای اجرای طرح پژوهشی به شماره ۳/۶۰۷۱۲ به انجام رسیده است که از حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌شود. از داوران محترم مقاله که در طی مراحل داوری نظرات ارزشمندی را ارائه نموده و اعمال آنها به کیفیت علمی مقاله حاضر کمک نمود، کمال تشکر و قدردانی را دارد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Best Management Practice
- 2-Low Impact Development
- 3-Storm Water Management Model
- 4-Google Earth Engines
- 5-Normalized Difference Vegetation Index
- 6-Root Mean Square Error
- 7-Nash-Sutcliffe
- 8-Kling-Gupta Efficiency

منابع

- ایزائلو، راضیه، و شیخ، واحدبدی. (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سناریوهای مدیریت رواناب سطحی با استفاده از روش TOPSIS در حالت‌های مختلف وزن‌دهی (مطالعه موردی: شهر بجنورد). مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۶)، ۱۵-۲۶. <https://doi.org/10.22093/wwj.2017.81822.2381>
- بدیع‌زادگان، رضا. (۱۴۰۰). ارزیابی عملکرد سیستم‌های نگهداشت و نفوذ بر کنترل سیلاب شهری (مطالعه موردی: قسمتی از حوضه آبریز شهر تهران). رساله دکتری رشته مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- بهبهانی، سید محمد رضا. (۱۳۸۸). هیدرولوژی آب‌های سطحی، جلد ۱. هیدرولوژی آب‌های سطحی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران، ایران.
- پناهی، قاسم، و اسماعیلی، کاظم. (۱۳۹۷). توصیه رویکردهای نوین در مدیریت سیلاب شهری. آب و توسعه پایدار، ۵(۱)، ۹۳-۱۰۰. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v5i1.62583>
- پورصاحبی، عطیه، ذاکری نیری، محمود، و معظمی گودرزی، صابر. (۱۳۹۵). ارزیابی کاربردهای توسعه کم اثر LID و بهترین

در این پژوهش به شبیه‌سازی بارش-رواناب در حوضه مسیل چهارچشمه شهر مشهد با استفاده از مدل SWMM پرداخته شد و با اندازه‌گیری دبی اوج در ۲۰ واقعه بارش از فروردین ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳، کالیبراسیون، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل انجام شد. در نهایت به مقایسه عملکرد برخی از روش‌های رایج مدیریت سیلاب (توسعه کم‌اثر) از جمله باغچه باران، حوضچه نگهداشت زیستی، مخزن ذخیره موقت و امکان هدایت رواناب‌های سطحی به فضاهای سبز شهری موجود پرداخته شد. بخشی از این پژوهش با این فرض که امکان هدایت ۵۰ درصد از جریان ناشی از بارش به سمت فضاهای سبز موجود وجود داشته باشد، انجام شده است. بنابراین احداث فضای سبز جدید و یا تغییر کاربری اراضی مد نظر نبوده است. نتایج شبیه‌سازی، حاکی از عملکرد مشابه هدایت رواناب‌ها به فضاهای سبز با حوضچه نگهداشت زیستی (بهترین عملکرد) در کاهش دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه است. در مجموع می‌توان با ایجاد امکان هدایت رواناب ناشی از بارش به سمت فضای سبز شهری، در بارش‌های کم (کمتر از حدود ۳ میلی‌متر) تقریباً از ایجاد رواناب در سطح شهر جلوگیری نمود و حتی در بارش‌های با شدت متوسط به بالا و یا مقدار بیشتر از ۵ میلی‌متر باز هم دبی اوج سیل و حجم سیل را تا میزان ۵۰ درصد و یا حتی بیشتر از آن کاهش داد. همچنین اگر اصلاح جدول‌گذاری و شیب‌بندی فضاهای سبز در دستور کار قرار گیرد، این بخش از معابر، پیش‌تر به فضاهای سبز شهری اختصاص داده شده و نیاز به هزینه‌های اضافی نمی‌باشد.

یکی از بزرگترین خطراتی که دشت مشهد را تهدید می‌نماید خشک‌شدن آبخوان دشت مشهد می‌باشد که بخش زیادی از مصارف آب شرب این شهر را تامین می‌نماید. از این‌رو، گزینه‌های مناسب برای کنترل سیلاب در شهر مشهد و در استان خراسان رضوی می‌توانند به گونه‌ای طراحی شود که حتی با هزینه بیشتر، بیشترین تغذیه آبخوان را از طریق نفوذ بیشتر تامین نماید. در این پژوهش یک دیدگاه اصلاحی نسبت به فضاهای سبز شهری و آیلندها ارائه شده است تا امکان هدایت رواناب به داخل این فضاها فراهم شود. به عبارت دیگر، به جای هزینه‌های اضافی برای طراحی، اختصاص فضا و زیرساخت مورد نیاز برای اجرای برخی از روش‌های توسعه کم‌اثر، پیشنهاد می‌شود از فضاهای موجود اختصاص داده شده برای فضاهای سبز شهری و ظرفیت موجود در این محدوده‌ها نه تنها برای گirth و نگهداشت رواناب استفاده شود، بلکه با نفوذ آب به داخل خاک علاوه بر تامین بخشی از آب مورد نیاز گیاهان، امکان نفوذ عمقی و تغذیه سفره آب زیرزمینی (هرچند به میزان اندک) فراهم می‌شود. پیشنهاد می‌شود باتوجه به پارامترهای مختلف اثرگذار در ایجاد و کنترل سیل، یک مدل دینامیکی و تصمیم‌یار برای

- ۴۸۹۵-۴۹۱۲. <https://doi.org/10.22060/ceej.2020.18619.6909>. قشقایی زاده، نسیم، مرادی، عباس، ملکیان، آرش، حلی ساز، ارشک، و مهدوی، رسول. (۱۴۰۱). بهبود مدیریت رواناب شهری از لحاظ کمی و کیفی در بندرعباس با کمک رویکرد بهترین گزینه‌های عملیاتی (BMPs). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۱۱ (۳۷)، ۸۵-۹۹. <https://doi.org/10.22052/deej.2023.248013.0>
- قنواتی، رویت، زارع، مریم، میدان شاهی، پارسا و پوست فروش فرد، یاسر. (۱۳۹۶). ارایه راهکاری نوین جهت کنترل و حفظ رواناب سطحی با استفاده از تکنیک مدرن BMP (روکش نفوذپذیر). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- لطفی، مرضیه. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رواناب سطحی در شهر بهارستان با استفاده از مدل کامپیوتری SWMM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران.
- محمدحسن نژاد، زهرا، قائینی حصاروئی، مهناز، و فدائی کرمانی، احسان. (۱۴۰۳). طراحی سیستم جمع‌آوری رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM (مطالعه موردی: شهرک ولی عصر (عج) شهر باغین، کرمان). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۴ (۴)، ۳۳-۵۲. <https://doi.org/10.22125/iwe.2024.420970.1758>
- مهری، میلاد، هاشمی شاهدانی، سید مهدی، جوادی، سامان، موحدی نیا، مریم. (۱۴۰۲). عملکرد واحدهای زیست‌ماند در بازیابی چرخه هیدرولوژیک حوضه‌های متراکم شهری. علوم آب و خاک، ۲۷ (۳)، ۳۲۳-۳۳۵. <https://doi.org/10.47176/jwss.27.3.39234>
- ناهد، مصطفی، زندمقدم، محمدرضا، و کرکه آبادی، زینب. (۱۴۰۰). سنجش و ارزیابی میزان تاب‌آوری در برابر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: منطقه ۴ تهران). نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۷۴ (۱)، ۱۸۹-۲۰۵. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.323575.1589>
- یاراحمدی، یزدان، قضاوی، رضا، و قاسمیه، هدی. (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد شبکه‌ی جمع‌آوری رواناب‌های شهری مناطق نیمه خشک تحت تأثیر تغییر اقلیم. اکوهیدرولوژی، ۹ (۴)، ۷۸۳-۷۹۵. <https://doi.org/10.22059/ije.2022.345568.1661>
- Cunderlik, J., & Simonovic, S. P. (2004). Calibration, verification and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model. Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario. Water Resources Research Report. 11. <https://ir.lib.uwo.ca/wrrr/11>
- Damodaram, C., Giacomoni, M. H., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W., & Zechman, E.
- روش‌های مدیریتی BMP بر کمیت و کیفیت سیلاب شهری مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- تقی‌زاده، سودابه، و رجایی، طاهر. (۱۳۹۸). بررسی عملکرد و بهینه‌سازی جاگمایی روش‌های نوین مدیریتی (LID-BMP) در بهبود کمیت رواناب سطحی شهر تهران- مطالعه موردی منطقه ۲۲. زمین‌شناسی مهندسی، ۱۲ (۴)، ۲۱-۲۱. <https://sid.ir/paper/381460/fa>
- حسینی، سید محمد، و ابریشمی، جلیل. (۱۳۷۹). هیدرولیک کانال‌های باز، جلد ۱. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ نوزدهم. مشهد، ایران.
- خداشناس، سعیدرضا، و عزیز، جواد. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر گسترش شهر مشهد بر سیلاب شهری بین سال‌های ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۳ (۴۵)، ۱۱۸-۱۲۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089554.1398.13.45.14.8>
- زاهدی خامنه، حامد، و خداشناس، سعیدرضا. (۱۴۰۰). بررسی عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر آن (مطالعه مناطق ۱۰ و ۱۱ مشهد). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۵ (۵)، ۱۰۶۷-۱۰۸۰. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1400.15.5.7.5>
- سیدکابلی، حسام، معاضد، هادی، دل‌قندی، مهدی، و همتی، محمد. (۱۳۸۸). پیش‌بینی کمی و کیفی فاضلاب‌های سطحی در حوضه‌های شهری با استفاده از نرم‌افزار EPA SWMM. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ساری، ایران.
- صلواتی، پریسا، فاخری فرد، احمد، اسدی، اسماعیل، و اسدی، سهیل. (۱۳۹۶). تحلیل فرایند بارش- رواناب به منظور طراحی مخازن جمع‌آوری آب‌های سطحی برای توسعه فضای سبز شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز). علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، ۴۰ (۲)، ۱۱۷-۱۰۳. <https://doi.org/10.22055/jise.2017.14365>
- صمیم، صمیم، حاجیان، فرهاد، و معظمی، دانیال. (۱۴۰۰). مدیریت سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان با استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر و ارزیابی آنها با مدل EPA-SWMM. آب و توسعه پایدار، ۸ (۴)، ۱۱۱-۱۱۸. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i4.2108.1076>
- عقیلی مهابادی، نیلوفر، ظریف صناعی، حامد رضا، و هاتفی، سیدمرتضی. (۱۴۰۰). اولویت‌بندی روش‌های توسعه کم‌اثر به منظور مدیریت رواناب سطحی شهری با استفاده از روش TOPSIS و Fuzzy TOPSIS (مطالعه موردی: شهرک سپاهان شهر اصفهان). مهندسی عمران امیرکبیر (امیرکبیر)، ۵۳ (۱۱)،

- Li, J., Deng, C., Li, Y. et al. (2017). Comprehensive Benefit Evaluation System for Low-Impact Development of Urban Stormwater Management Measures. *Water Resour Manage* 31, 4745–4758. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1776-5>
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Niazi, M., Nietch, C., Maghrebi, M., Jackson, N., Bennett, B. R., Tryby, M., & Massoudieh, A. (2017). Storm water management model: Performance review and gap analysis. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 3(2), 04017002. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000817>
- Nilawar, A. P., & Waikar, M. L. (2019). Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of the total environment*, 650, 2685–2696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.334>
- Rossman, L. A. (2010). Storm water management model user's manual, version 5.0. US Environmental Protection Agency. Washington, DC., USA.
- Sui, X., & van de Ven, F. H. (2023). The influence of Low Impact Development (LID) on basin runoff in a half-urbanized catchment: A case study in San Antonio, Texas. *Journal of Hydrology*, 616, 128793. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128793>
- Suresh, A., Pekkat, S., & Subbiah, S. (2023). Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. *Sustainable Cities and Society*, 95, 104601. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104601>
- Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water resources management*, 25, 3465–3484. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>
- Yang, W., Brüggemann, K., Seguya, K. D., Ahmed, E., Kaeseberg, T., Dai, H., Hua P., Zhang J., & Krebs, P. (2020). Measuring performance of low impact development practices for the surface runoff management. *Environmental Science and Ecotechnology*, 1, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.es.2020.100010>
- M. (2010). Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(5), 907–918. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00462.x>
- Fei, Y., Rene, E. R., Shang, Q., & Singh, R. P. (2023). Comprehensive effect evaluation of LID facilities implemented in sponge campuses: A case study. *Ecological Indicators*, 155, 110912. <https://doi.org/10.1016/j.ecol-ind.2023.110912>
- Fernandez, P., Mourato, S., & Moreira, M. (2016). Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1367–1389. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1052021>
- Frias, R. A., & Maniquiz-Redillas, M. (2021). Modelling the applicability of Low Impact Development (LID) technologies in a university campus in the Philippines using Storm Water Management Model (SWMM). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1153, No. 1, p. 012009), 23rd-25th January 2021. IOP Publishing, Johor, Malaysia. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1153/1/012009>
- Gündel, H., & Kalaycı Önaç, A. (2024). Simulating blue and green infrastructure tools via SWMM in order to prevent flood hazard in an urban area. *Natural Hazards*, 57(2), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06868-8>
- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377(1–2), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>
- Khan, S. I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K. K., Gourley, J. J., Adler, R. F., Brakenridge, R., Policelli, F., Habib, S., & Irwin, D. (2010). Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria basin: Implications for hydrologic prediction in ungauged basins. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(1), 85–95. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2010.2057513>
- Kim, J., & Joo, J. (2018). Evaluation of low impact development using EPA SWMM-LID modeling. *EPiC Series Engineering*, 3, 1078–1074. <https://doi.org/10.29007/k8gk>

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

The Kahrom Qanat, A Valve with Indigenous Technology and Its Role in The Stable Architecture from The Safavid Period in Isfahan

A. Alian¹, M. Taheri Dehkordi^{2*}

1- Ph.D. in Archaeology and Head of the Archaeology Department of Cultural Heritage in Isfahan, Iran. 2- Ph.D. Graduate in Archaeology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*(Corresponding Author Email: M.taheri92@basu.ac.ir)

Received: 02-08-2024

Revised: 13-11-2024

Accepted: 11-12-2024

Available Online: 19-02-2025

قنات کهروم، دریچه‌ای به فن‌آوری بومی و نقش آن در معماری پایدار از دوره صفویه در اصفهان

علمدار علیان^۱، معصومه طاهری دهکردی^{۲*}

۱- دکتری باستان‌شناسی و مسئول بخش باستان‌شناسی میراث فرهنگی اصفهان، ایران.
۲- دانش آموخته دکتری باستان‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: M.taheri92@basu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

Abstract

The formation of human communities in the central plateau of Iran due to the ruling system based on the characteristics of geography and arid and semi-arid climate is highly dependent on surface and groundwater resources. The Qanat is a sustainable system for supplying drinking water and irrigation according to the geographical conditions of each region; it is engineered to access groundwater resources in harmony with the environment and climate of a region. The Kahrom Qanat is one of the survivors of this ruling system in the Central Plateau from the Safavid period, which is an example of the development of sustainable architecture, native technology in the Central Plateau, and the focus of water management on sustainable, safe, and cost-effective management methods. This Qanat, in terms of its architectural type, is a continuation of Iran's Dastkand architecture and is made of marble. The research method is descriptive-analytical and collects field and library information. The findings of the research show that the geographical and topographic features of the region are the main factors in choosing the type of architecture of this Qanat. The purpose of this research is to analyze the physical structure and introduce the type of architectural index of the Kahrom Qanat and the optimal use of the potential of this Qanat in directing groundwater, which shows the presentation of an important architectural strategy in economic well-being in order to improve the quality of life. The results indicate that the Kahrom Qanat, in terms of architecture and functionality, is compatible with the indigenous technology and geographical conditions of the region, topography, land slope, and geological characteristics. **Keywords:** Qanat, Lenjan, Groundwater, Climate, Dastkand, Water Management.

چکیده

شکل‌گیری اجتماعات انسانی فلات مرکزی ایران به واسطه نظام حاکم بر اساس ویژگی‌های جغرافیا و اقلیم خشک و نیمه‌خشک، وابستگی بسیاری به منابع آب سطحی و زیرزمینی دارد. قنات به عنوان یک نظام پایدار در شیوه تأمین آب شرب و آبیاری متناسب با شرایط جغرافیایی هر منطقه است؛ که از لحاظ مهندسی جهت دسترسی به منابع آب زیرزمینی بر اساس سازگاری با محیط زیست و اقلیم یک منطقه ایجاد شده است. قنات کهروم یکی از بازماندگان این نظام حاکم در فلات مرکزی از دوره صفویه است، که نمونه توسعه معماری پایدار، فن‌آوری بومی در فلات مرکزی و تمرکز مدیریت آب بر روی شیوه‌های مدیریتی پایدار، ایمن و مقرون‌به‌صرفه است. این قنات به لحاظ نوع معماری، استمرار از معماری دستکند ایران و در سنگ حفر شده است. روش این پژوهش توصیفی-تحلیلی است و جمع‌آوری اطلاعات میدانی و کتابخانه‌ای است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، ویژگی‌های جغرافیایی و توپوگرافی منطقه، عامل اصلی در انتخاب نوع معماری این قنات دستکند است. هدف از این پژوهش، تحلیل ساختار کالبدی و معرفی نوع شاخص معماری دستکند قنات کهروم است؛ همچنین استفاده بهینه از پتانسیل این قنات در هدایت آب‌های زیرزمینی، که نشان از ارائه یک راهبرد مهم معماری در بهره‌مندی اقتصادی جهت ارتقای کیفیت زندگی است. این معماری حاصل برهم کنش‌های، تأثیرات متقابل انسان و محیط پیرامون و اوج هنر معماری در بستر زمین است. نتیجه نشان می‌دهد که قنات کهرم از لحاظ معماری و کارکرد، متناسب با فن‌آوری بومی و جغرافیایی منطقه، توپوگرافی، شیب زمین و ویژگی‌های زمین‌شناسی است. **واژه‌های کلیدی:** قنات، لنجان، آب‌های زیرزمینی، اقلیم، دستکند، مدیریت آب.

میله چاه‌ها و مظهر خروجی است که همچنان نیز فعال است. خروجی‌های منتهی شده از قنات کهروم در گذشته تا حدود ۱۵۰ لیتر در ثانیه بود و امکان آبیاری ۱۵۰ هکتار (۳۷۰ هکتار) زمین کشاورزی را فراهم می‌نمود. اما اکنون دیگر خبری از این حجم آب‌دهی نیست! آب‌دهی قنات در حال حاضر چیزی حدود ۲۵ لیتر در ثانیه است؛ حفر بی‌رویه چاه‌های مختلف در حریم قنات باعث شده که قنات کهروم دیگر مانند گذشته پرآب نباشد، اما هنوز هم جهت مصارف کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قنات در حال حاضر منبع آبیاری باغ شخصی و استخر پرورش ماهی است.

• قنات

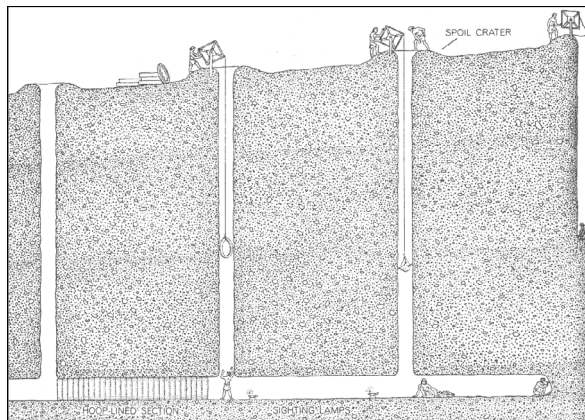
کمی بارش و نوسانات شدید و عدم اطمینان جهت دریافت حداقل بارش، سبب شد که از گذشته‌های دور به منابع آب‌های زیرزمینی توجه خاص شود و روش‌های متنوعی برای استحصال آب ایجاد گردد. مردم ایران نیز با آگاهی از این مسئله، دست به ابتکاری جالب زده‌اند، که آن را قنات یا کاریز نام نهاده‌اند، چرا که انتقال و مدیریت آب به کمک تونل‌ها از حوضه آبریز آب‌های زیرزمینی انجام می‌شود نه از چشمه‌های سطحی و حفر کانال‌های انتقال آب. احداث قنات یکی از روش‌ها برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی جهت رونق بخشیدن به سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های کشاورزی جوامع بوده است (نوری و همکاران، ۱۳۹۵). قنات، مطمئن‌ترین و پایدارترین سازه برای تأمین آب در مناطق روستایی به ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک و عامل نیرومندی برای دستیابی به توسعه پایدار در روستاهاست (حسینی و جهان‌دیده، ۱۳۹۵). قنات برای آب‌رسانی به مناطق کم آب جهت تأمین آب شرب انسان، دام، زراعت، با کار گروهی، مدیریت و برنامه‌ریزی به وجود آمده است (عشقی‌زاده و نورا، ۱۳۸۹). فناوری قنات از طریق ایجاد شیوه اشتراک و مدیریت منابع آب، پاسخی طبیعی به شرایط خشک محیط‌های جغرافیایی است. این فناوری همان نیروی محرکه گسترش جهت افزایش سکونتگاه‌های انسانی در طول زمان، در کنار یک منبع قابل اعتماد آب است (حسینی و جهان‌دیده، ۱۳۹۵). قنات به عنوان شریان حیاتی شهری معرفی می‌گردد که بهره‌گیری از آن در ایجاد زیرساخت‌های شهری قادر بوده تا توسعه افقی شهرسازی و معماری را در فلات مرکزی ایجاد و تحت تأثیر قرار دهد. چنین نقشی ساخت برخی ابنیه عام‌المنفعه که در ارتباط با قنات شکل یافته‌اند، نظیر آب انبار، پایاب، حمام، سقاخانه را پررنگ‌تر نموده است (کلانتری، ۱۳۹۶). قنات را می‌توان مولفه‌ای برآمده از برهم کنش اقلیم، جغرافیا و نیازهای جوامع بشری برای استقرار و سکونت دائم دانست، که بر خلاف چشمه‌ها و آبراه‌ها در تمام طول سال دارای آبی گوارا و سالم هست (میرجانی و همکاران، ۱۳۹۷). قنات‌ها مجموعه‌ای از چند میله و یک کوره است که با

در دره سند در موهنجو-دارو و هاراپا در حدود ۲۶۰۰-۱۹۰۰ قبل از میلاد، سیستم پیچیده برای تأمین آب و فاضلاب ایجاد کردند که تأمین آب به کمک ۷۰۰ چاه هدایت می‌شد و نه تنها نیازهای داخلی را تأمین می‌کرد، بلکه سیستمی از حمام‌های خصوصی و یک حمام بزرگ برای استفاده عمومی را نیز پوشش می‌داد (Jenson, ۱۹۸۹). در بین‌النهرین در شهر سومری نیپور، نیز طی کاوش‌های باستان‌شناسی، لوله‌های سفالی و همچنین اتصالات جهت انتقال آب کشف شد (Adams, ۱۹۸۱)؛ و این فناوری در ایران به قنات معروف شد (Voudouris و همکاران، ۲۰۱۳). قنات یکی از مهمترین اختراعات در بحث استفاده از تکنیک‌های مهندسی تأمین آب در مناطق با شرایط آب و هوای خشک و کم‌آب است. قنات کارکردهای متفاوتی در ابعاد اقتصادی، اجتماعی-فرهنگی و زیست‌محیطی دارد، به گونه‌ای که می‌توان آن را عاملی نیرومند در تحول اقتصاد، فرهنگ، تاریخ و جلوگیری از تخریب سفره‌های آب زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه‌خشک دانست. بنابراین آب به عنوان مهترین ماده حیات و یکی از زیربناهای توسعه پایدار مطرح می‌شود (اشرفی خیرآبادی، ۱۴۰۲) و قرار گرفتن در یک کمربند خشک از نظر بارش‌های جوی سبب شده که ایران با پدیده کم‌آبی به عنوان یک پدیده اقلیمی رو به رو باشد؛ و کم‌بودن شاخص ذخیره آب‌های سطحی، وقوع خشکسالی را بیشتر مهیا کرده است.

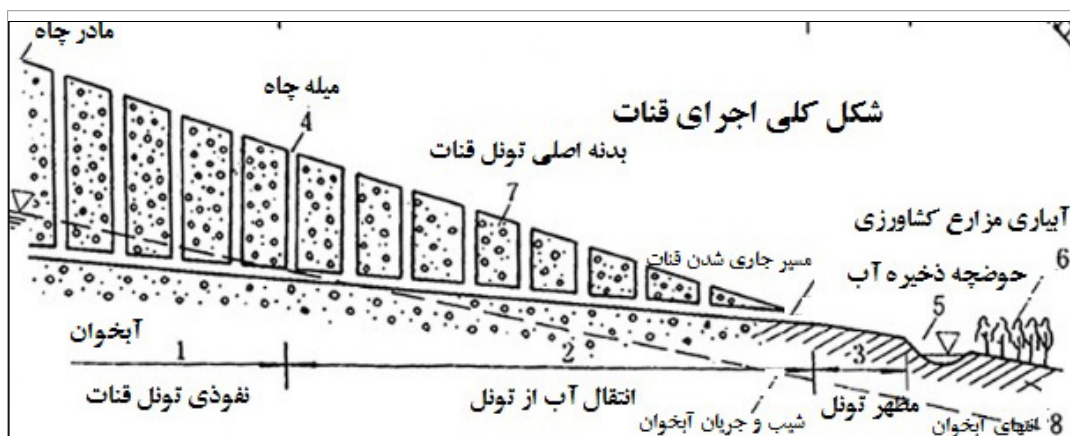
قنات یک رویکرد قدیمی و سنتی بهره‌برداری از منابع آب در شرایط کم‌آبی است (Abbasnejad و همکاران، ۲۰۱۶). خشکسالی از جمله اصلی‌ترین و قدیمی‌ترین بلایایی طبیعی است که انسان از دیرباز با آن آشنا بوده است و روی آوردن به روش‌های سنتی مهار آب، ذخیره و ... از مهمترین راهکارهای مقابله با آن بوده است (نوروزی و محمدی، ۱۳۹۵). میراث جهانی قنات ایرانی در زیست‌بوم و حفاظت از منابع طبیعی ایران به عنوان یک داد و ستد فرهنگی و طبیعی میان انسان و طبیعت از گذشته‌های دور مطرح بوده است (آشتیانی و همکاران، ۱۴۰۲). منطقه لنجان در جنوب‌غربی استان اصفهان، آب مورد نیاز خود برای کشاورزی را از طریق رودخانه زاینده‌رود تأمین می‌کند و در بخش‌های دیگر به علت عدم دسترسی به رودخانه و کم بودن نزولات جوی می‌بایست از آب‌های زیرزمینی به صورت حفر قنات استفاده کند. قنات کهروم یکی از مهم‌ترین قنات‌های ساخته شده در بستر سنگی است که در فهرست آثار ملی ایران به شماره ۳۳۷۷۷ در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۰ به ثبت رسیده است. این قنات در شهرستان لنجان در بخش باغبادران و متعلق به دوره صفویه و به عنوان یکی از قنات‌های نادر در ایران که در یک بستر سنگی ایجاد شده و با مجموعه طولانی از تونل‌ها،

شیبی کمتر از شیب زمین، آب را در لایه‌های آبدار مناطق مرتفع به کمک نیروی ثقل و بدون کار نیروی کشش و هیچ نوع انرژی الکتریکی یا حرارتی با جریان طبیعی، جمع‌آوری و به نقاط پست‌تر می‌رساند. در حقیقت قنات نوعی زهکشی زیرزمینی است که آب جمع‌آوری شده توسط این زهکشی به سطح زمین آورده می‌شود (حسینی و جهان‌دیده، ۱۳۹۵؛ پاپلی یزدی و لباف خانیکی، ۱۳۸۸). پایداری و طول عمر قنات مدیون طراحی آن است. مقنن ابتدا مکان مناسب را به عنوان منبع اولیه آب شناسایی، سپس «چاه مادر» را حفر نموده تا به سطح آب برسند. اگر این چاه یا آبخوان، آب کافی داشت، مقنی شروع به ترسیم مسیر قنات از مادر چاه به سطح نموده، سپس با در نظر گرفتن شیب زمین، جریان آب را ثابت می‌کرد. بنابراین هر قنات از بخش‌هایی تشکیل می‌شود که عبارتند از: ۱- هرنج: کانال کوچک روباز که آب را از مظهر به محل مورد استفاده انتقال می‌دهد (حائری، ۱۳۸۶). ۲- مظهر به عنوان محلی که در ابتدای مسیر کوره قنات، از آنجا که آب در سطح زمین ظاهر می‌شود. ۳- کوره قنات (سوق یا سوقه): زهکش یا مجرای زیرزمینی مظهر تا مادر چاه قنات با سطح مقطع بیضی کف پهن یا تخم مرغی شکل بوده است. وظیفه کوره (مجرای آب)، آبیگری از آبخوان و جمع‌آوری و انتقال آب به مظهر قنات به کمک نیروی ثقل است. ۴- میله چاه: چاه‌هایی است که در طول مسیر کوره قنات

و عمود بر آن حفر شده و از آن برای ورود و خروج گروه مقنن، وسایل و ابزار آلات مورد نیاز، تهویه کوره و در نهایت خارج ساختن مواد لایروبی شده از آنها، استفاده می‌شود. معمولاً عمق چاه‌ها از مظهر به طرف مادرچاه افزایش می‌یابد. جنس بدنه میله چاه‌ها سنگ‌کاری شده یا ساده است (شکل ۱). ۵- مادر چاه: آخرین میله چاه موجود در خلاف جهت جریان آب کوره قنات را، مادر چاه می‌گویند. مادر چاه انتهای مسیر قنات از عمیق‌ترین میله چاه‌ها است (چهری و رحیمی، ۱۴۰۰) (شکل ۲).



شکل ۱- میله چاه و کاربری آن (منبع: <http://waterhistory.org>)



شکل ۲- مراحل حفر قنات (منبع: Abbasnejad و همکاران، ۲۰۱۶؛ اضافات نگارندگان)

قنات‌ها را می‌توان از لحاظ نوع محیط جغرافیایی در سه دسته ۱- کوهستانی ۲- دشتی (آبرفتی) و ۳- آبیگر و رودخانه‌ای تقسیم‌بندی نمود (طباطبائی، ۱۴۰۲). عمق مادر چاه و طول قنات در مناطق کوهستانی کم و دبی آنها متغیر و تابع نزولات جوی است. در این نقاط به دلیل ضخامت کم آبرفت و محدود بودن لایه آبدار و حریم قنات، حفر چاه متداول نبوده و به علت کوتاه بودن طول قنات هزینه نگهداری و احیای این نوع قنات کم است. قنات‌های کوهستانی معمولاً در چهار گروه دسته‌بندی می‌شوند:

۱- قنات‌های که در طول مسیر دره‌ها است به گونه‌ای که قنات بالادست، قنات پایین‌دست را تغذیه می‌کند؛ این قنات‌ها معمولاً طول کوتاه‌تری دارند ۲- قنات‌های دامنه کوه و تپه‌ها که این نوع قنات در دامنه کوه‌ها و مشرف به دشت حفر می‌شود و شامل رسوبات سیلابی و واریزهای کوه و تپه‌ها بوده و منطقه نفوذ آب زیرزمینی و انتقال به سفره آب زیرزمینی است ۳- قنات‌های آبیگر از چشمه زیرزمینی یا چشمه قنات که گاهی در عمق دره‌های مرتبط با کوه‌های آهکی یا حد فاصل این کوه‌ها با دشت و یا در محل شکستگی متعلق به این کوه‌ها، چشمه‌هایی وجود دارد که

روی چشمه‌ها را معمولاً واریزهای کوه‌ها یا آبرفت پوشانده است و با حفر قنات در این محل‌ها می‌توان از آب این چشمه‌ها، بهره برد. ۴- قنات‌های سنگی که این نوع قنات در نواحی کوهستانی حفر می‌شود و معمولاً طول کوتاهی دارند و دبی آنها معمولاً کم و ثابت است (طباطبائی، ۱۴۰۲). قنات کهروم در دسته چهارم از قنات‌های کوهستانی و از نوع قنات‌های سنگی به صورت دستکند است. معماری دستکند گونه خاصی از معماری است که در آن هیچ مصالحی برای تولید فضا استفاده نمی‌شود و بر خلاف اصول معماری متعارف، مسائل ایستایی در این نوع معماری چندان مورد بحث نیست. این نوع معماری را می‌توان به نوعی تولید فضا از طریق ایجاد فضاهای منفی در بستر کوه و سنگ دانست که از ترکیب فضاهای پر و خالی متولد می‌شود و به نوعی پاسخگویی به نیازهای اقلیمی بشر است (محمدی‌فر و همتی، ۱۳۹۵). در حقیقت دستکند فقط با شکل دادن یک فضا در دل سنگ ایجاد می‌شود. این قنات نیز با برداشتن بخش‌های صخره‌ای و سنگی، فضای متفاوت را ایجاد شده است. در حفر این قنات تنها لازم بود با کندن بستر سنگی با کمک ابزارهای مانند کلنگ، چکش و قلم فضای متناسب برای جاری شدن آب را آماده سازند. معماری دستکند همان تلاش انسان جهت هماهنگی با طبیعت

است. دبی این قنات در حال حاضر ۶ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه و بدون نوسان و مناسب برای شرب و کشاورزی است.

• فن‌آوری بومی

با توجه به نقش سازه بومی قنات، ارتباطات گروه‌های انسانی بخش جدایی‌ناپذیر آن است. دانش و فن‌آوری بومی در حفر قنات ثابت کرد که این کار فقط با همکاری گروهی اجرا می‌شود. با توجه به کارکرد قنات، ایجاد سازوکارهای قانونی برای جلوگیری از تجاوز به حریم این سازه، لایروبی، حفاظت‌های کمی و کیفی آب قنات، در حقیقت ارج نهادن به ارزش قنات و حفظ ساختارهای اجتماعی، فرهنگی متأثر از قنات است (جدول ۱). قنات کهروم همان استفاده از دانش و فن‌آوری بومی منطقه است که توانست سودمندترین و سازگارترین شیوه بهره‌برداری جهت استفاده از منابع آب را فراهم آورد. حفر این قنات در سنگ، یک فناوری جدید در انتقال آب بود که با محیط بومی منطقه نیز سازگار است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین آسیبی که امروزه بر سازه و معماری قنات‌ها چه از لحاظ کمی و چه کیفی وارد می‌شود، عدم لایروبی و بازسازی قنات، عدم تعادل در میزان برداشت آب نسبت به آبخوان و نفوذ به حریم قنات است.

جدول ۱- قنات کهروم در توسعه دانش بومی و پایداری معماری

عنوان	توضیحات
دانش بومی	حفر قنات پاسخ به یکی از دغدغه‌های گذشتگان در بهره‌مندی از منبع آب جهت رفع نیاز کشاورزی و آب شرب است. دانشی بومی که برای به ثمر نشستن نیاز به یک پایداری و مشارکت مردمی در ساخت و بهره‌مندی از آن است. شیوه حفر قنات در هر منطقه متناسب با زیست محیط و اقلیم همان جاست و این همان الگوی توسعه پایدار در دانش بومی است. بنابراین از طرح تا اجرا مبتنی بر دانش بومی است.
توسعه اجتماعی	توسعه اجتماعی همان پیشرفت‌ها در یک جامعه، متناسب با سطح زندگی آنان است. پس توسعه اجتماعی به دنبال افزایش سطح رفاه است. یکی از راه‌های رسیدن به توسعه اجتماعی در هر جامعه‌ای مشارکت در انجام فعالیت‌های سودآور از یک منبع مشترک است. بنابراین مشارکت در یک توسعه اجتماعی رسیدن به یک سطح از رفاه نیاز مشترک است.
توسعه پایدار	ساخت قنات در هر منطقه متناسب با زیست محیط پایدار همان منطقه، رسیدن به یک پیشرفت اقتصادی و همکاری‌های اجتماعی است.
حکمرانی مشترک بر منبع آب	حکمرانی مشترک همان حضور همه جانبه از توسعه تا مدیریت منابع آبی مانند قنات است.
خصوصی سازی یک کار مشترک	ایجاد قنات علاوه بر بازدهی اقتصادی، ارائه‌دهنده خدماتی به صورت عمومی در مقابل پرداخت یک حق آبه می‌باشد.
مشارکت	مشارکت مردم بومی هر منطقه در حفر قنات، زیرشاخه یکی از عوامل حکمرانی قرار می‌گیرد. دلیل این مشارکت وجود یک نفع عمومی است که به دنبال آن رضایت عمومی و سریع‌تر انجام دادن تصمیمات است.

روش پژوهش

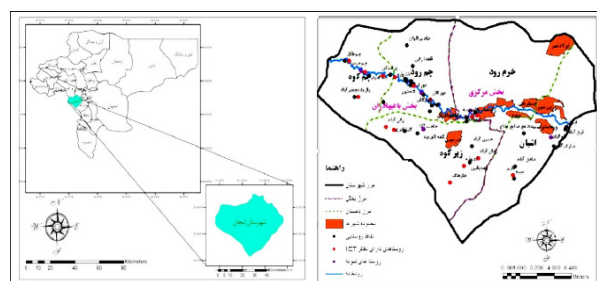
روش پژوهش توصیفی-تحلیلی و از نوع تحقیقات کاربردی است. جمع‌آوری اطلاعات، کتابخانه‌ای و میدانی است.

پیشینه پژوهش

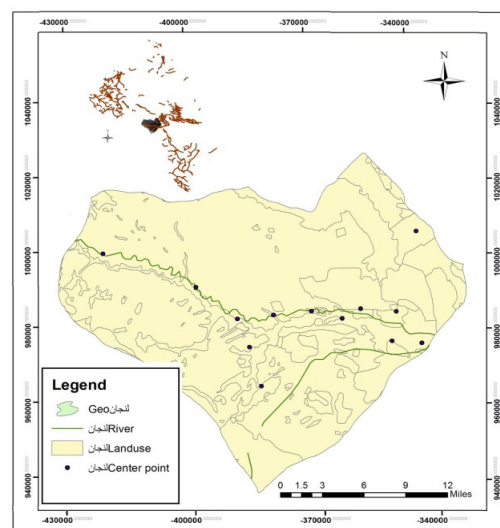
در سال ۱۳۹۷ اولین بازدید از این قنات انجام شده و در سال ۱۳۹۸، دکتر علیرضا جعفری ضمن بازدید از قنات، اولین گزارش از این قنات را ارائه نموده که در آرشیو میراث فرهنگی موجود است. متأسفانه تاکنون هیچ مطالعه‌ای در این زمینه صورت نگرفته است.

• موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

قنات کهروم در استان اصفهان شهرستان لنجان است. شهرستان لنجان با وسعتی در حدود ۱۱۷۲ کیلومتر مربع در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در دره گسترده زاینده رود و در حد فاصل ناحیه خشک و نیمه خشک استان اصفهان و ناحیه مرطوب استان چهارمحال و بختیاری قرار گرفته است. لنجان از شمال به شهرستان نجف آباد، از شرق به دشت های مبارکه و فلاورجان و از جنوب و غرب به استان چهارمحال و بختیاری محدود می شود (شکل ۳). میانگین دمای سالانه منطقه برابر ۱۴/۸ درجه سانتیگراد و سردترین ماه سال (با میانگین ۳ درجه) در دی ماه و گرم ترین ماه سال (با میانگین ۲۶/۵) در تیرماه است (نوروزی و محمدی، ۱۳۹۵). بیشترین استقرارهای انسانی در منطقه لنجان و در زمان حال حاضر، با توجه به اهمیت مسئله آب در کنار رودخانه زاینده رود و سرشاخه های فرعی آن است (شکل ۴).



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی لنجان و منطقه مورد مطالعه (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۷ اضافات: نگارندگان)



شکل ۴- استقرار سکونتگاه ها در کنار منبع آب سطحی در منطقه لنجان

منطقه مورد مطالعه هم از نظر آب های سطحی و هم از نظر منابع آب زیرزمینی، نسبت به دیگر نقاط لنجان، پرآب تر است. منبع آب کشاورزی این شهرستان از منابع سه گانه رودخانه

زاینده رود، چشمه و قنات است. قنات های شهرستان لنجان نیز با توجه به نوع مصرف، جزء آب شرب دسته بندی می گردند (نوری و همکاران، ۱۳۹۵)؛ اما مطالعه روند آبدی قنات ها در لنجان، با توجه به نوسان زیاد در استفاده از مقدار آب خروجی و کاهش سطح آب های زیرزمینی در اکثر قنات های این منطقه در چند سال اخیر، نشان می دهد که با یک افت شدید سطح آب روبه رو هستند (عشق زاده و نورا، ۱۳۸۹).

ارتفاع نسبی لنجان از سطح دریا ۲۲۷۰ متر و دارای آب و هوایی متغیر است. این شهرستان در منطقه ای ناهموار قرار دارد به گونه ای که ارتفاعات «زردمطبخ» و «گاوپیس» به ترتیب با ارتفاع ۲۷۰۰ متر و ۲۲۰۰ متر از رشته کوه های مرکز استان اصفهان در شمال آن و کوه های «بیدکان» و «کوهستان» در غرب آن واقع شده اند میانگین بارش سالانه برابر ۱۵۱/۸۷ میلی متر است. تابستان فصل خشک (۱ درصد بارش) و مرطوب ترین فصل سال (با ۴۶ درصد بارش) زمستان است. بیشترین بارندگی در بخش غربی و در ارتفاعات است و هر چه به شرق نزدیک شویم، از میزان بارش ها کاسته و هوا گرم تر می شود.

• موقعیت، شکل و ویژگی قنات کهروم

قنات کهروم از لحاظ موقعیت جغرافیایی در همسایگی رودخانه زاینده رود و در موقعیت $32^{\circ}23'8.84''N$, $51^{\circ}9'49.45''E$ بخش باغ بهادران و حدود ۶۰۰ متری جنوب روستای چم^۱ پیر قرار گرفته است (شکل ۵). مسیر قنات کهروم در امتداد جهت های جغرافیایی جنوب غربی-شمال شرقی است. طبق بررسی های میدانی بخش های از مسیر قنات و دو حلقه از میله چاه ها عامدانه مسدود و تخریب شده است که این موضوع سبب شد طول دقیق قنات مشخص نشود. حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد از سازه این قنات دچار تخریب شده که شامل پرشدگی و ریزش دیواره های میله های قنات است، به همین علت نیازمند مرمت و لایروبی است (جدول ۲).



شکل ۵- موقعیت جغرافیایی قنات کهروم

عنوان	تصاویر
پرشدگی عمودی برخی از میله‌های قنات	
عدم مشخص بودن میله‌های چاه به کمک تصاویر هوایی به علت پوشیده شدن	
میله‌های سالم قنات	

در امتداد تونل‌های زیرزمینی به وسیله گرانش، چندین کیلومتر هدایت کند؛ چرا که آب قنات، پشتیبان سکونتگاه‌ها و بخش کشاورزی است. طول یک رشته قنات در میزان آبدی آن موثر است، هر چند نسبت به شرایط طبیعی و جغرافیایی هر منطقه متفاوت است.

ارتفاع کار قنات یا همان بخش هرنج در حدود $1/5$ و ۲ متر است. این قنات یک شاخه آب دارد. این قنات بخش خشکه کار ندارد و در تمام طول مسیر اصلی، بخش آبدار یا قسمت آبدی قنات، فعال بوده است. نوع نشست آب و بر جای ماندن رسوبات بر دیواره قنات نشان از عدم لایروبی‌های هر ساله است که هر چقدر از مادر چاه فاصله گرفتیم، میزان نشست آب کمتر و کمتر شد. ایجاد چاه‌های آب، وقوع خشکسالی‌های متناوب، طولانی بودن نوسانات زیاد آب و هوایی، کمبود منابع آب‌های سطحی

با توجه به نبود هیچ داده فرهنگی، نمی‌توان به طور قطع قدمت قنات را مشخص نمود، ولی بر اساس ساختار و نحوه ایجاد قوس‌های سقف، احتمالاً مربوط به دوره صفویه است. به دلیل حفر در بستر سنگی، این قنات نمونه نادری از مهندسی آب در ایران است. موقعیت جغرافیایی منطقه جهت استفاده از آب حاصل از سیلاب‌ها و بارش‌ها در کنار شیب مناسب زمین به خوبی در اجرای قنات در نظر گرفته شده است. مقنی بر اساس حرکت آب باران در بخش‌های کوهپایه‌ای و جریان آب‌های فصلی و رودخانه دائمی زاینده‌رود، ابتدا بهترین ذخیره‌گاه سفره آب زیرزمینی متناسب با شیب زمین منطقه را در نظر گرفته است. مقنی با حفر قنات قابلیت‌های کمی و کیفی این فضای معماری را مشخص می‌کند. مقنی می‌داند که با توجه به مهارتش می‌بایست بتواند با کمک شیب زمین، آب سفره‌های آبرفتی را

و زیرزمینی و برداشت بی رویه آب‌های زیرزمینی، سبب کاهش افت آب آبخوان و کاهش حجم آب شده است. تمامی این موارد سبب آسیب پذیری سازه‌ها و ساختار آبخوان قنات شده است. به لحاظ توپوگرافی، قنات در يك حوضه کوهستانی با شیبی بین ۳۰-۶۰ درصد است. این مقدار شیب کمک می‌کند که آب با همین شیب در تونل قنات جاری شود؛ همین مقدار شیب است که مشخص کننده طول قنات است (Abbasnejad و همکاران، ۲۰۱۶). قنات‌هایی که در مسیر آبراهه‌های کوهستانی احداث می‌شوند، قنات‌های کوتاه و سطحی‌اند و دارای تغییرات آبدی فصلی می‌باشند که به اصطلاح به آن‌ها هواپین^۲ گفته می‌شود. با توجه به رسوبات آبرفتی درشت دانه در این مناطق؛ رابطه نزدیکی بین بارندگی و دبی قنات مشاهده می‌شود، چرا که نزولات جوی به سرعت در رسوبات آبرفتی نفوذ کرده و به جریان‌های آب زیرزمینی می‌پیوندند. همین موضوع سبب می‌شود قسمتی از جریان‌های سطحی به دست آمده از بارش در آبرفت نفوذ کرده و به جریان آب زیرزمینی تبدیل گردد که فقط بخش کمی از آن توسط قنات در کنار آبراهه، زه‌کشی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد و قسمت اعظم آن در طول آبراهه به صورت جریان زیرزمینی به سمت مناطق پایین‌دست حرکت می‌نماید و از دسترس خارج می‌گردد (عشق‌زاده و نورا، ۱۳۸۹). مصالح استفاده شده در میله چاه‌ها، سنگ‌بندهای با ملات و بدون طوق در برخی قسمت‌ها است. سقف‌ها ساده و نیم هلال از سنگ تراش خورده است. نشانه‌هایی از رف‌ها در بدنه میله چاه‌ها هنوز باقی مانده است. این قنات با یک تونل افقی، آب را از یک منبع آب زیرزمینی، از طریق چاه مادر^۳ تا مظهر و هرنج قنات^۴ می‌رساند (جدول ۳). مانند تمامی قنات‌ها ایران، دارای يك دهانه یا هرنج روباز، يك مجرای خروجی آب، يك کوره و چند میله چاه است. طول کلی قنات در حال حاضر حدود ۷۰۰ متر است و ۶ حلقه از میله‌چاه‌های این قنات، قابل تشخیص است. عمق میله چاه^۵ نزدیک مظهر قنات در حدود ۲ متر و دهانه آنان حدود ۹۰ سانتی‌متر است. میله‌چاه‌ها در فواصل منظم در طول مسیر تونل ایجاد شده تا امکان تهویه و انتقال مواد حفاری شده فراهم شود. این میله‌ها به صورت دهانه‌های باز در بالا ظاهر می‌شوند که از خط قنات از منبع آب تا مظهر چاه ادامه دارند. اما این میله‌ها در این قنات از طریق عکس‌های هوایی مشخص نیستند؛ چرا که دارای قطر دهانه کوچک هستند و فاقد خاکریز و طوق اطراف دهانه میله چاه هستند (جدول ۲). به علت قرارگیری قنات در منطقه کوهستانی، لایه خاک در این گونه زمین‌ها کم است. ارتفاع میله چاه‌ها بسیار کوتاه است که در نتیجه این امر سبب شده تا مانند قنات‌های مناطق بیابانی فاقد انباشت خاک به صورت تل بزرگ خاکی اطراف دهانه میله چاه باشد و این موضوع باعث شده تا در عکس‌های هوایی و

حتی نزدیک و از روی زمین هم به راحتی قابل مشاهده نباشند. در منطقه لنجان دهانه قنات را با سنگ می‌پوشانند تا حلقه چاه از تخریب سیلاب در امان بماند. این شیوه پوشش دهانه میله چاه قنات به سنگ و قوج معروف است.

جدول ۳- فضای داخلی قنات کهروم

عنوان	تصاویر
تونل انتقال آب از مادر چاه به مظهر چاه حفرشده بر بستر سنگ	
سقف هلالی قنات	

در بررسی میدانی، هنگام حرکت در داخل تونل قنات، مشخص گردید که این قنات از دو مسیر تشکیل شده و در حال حاضر مسیر دوم کامل مسدود است. این احتمال وجود دارد که بعد از مدتی میزان آب خروجی مسیر اول کم شده و مسیر دوم جایگزین شده است. به علت مسدود شدن بیشتر بخش‌ها، شاخه‌های فرعی، راهروهای دسترسی به آب جهت تعمیر و نگهداری، و همچنین سازه‌های وابسته از جمله مکان‌های استراحت برای کارگران قنات مشخص نیست. به علت خصوصی بودن قنات، سیستم مدیریت اشتراکی سنتی تقسیم آب وجود ندارد. این قنات در سال ۱۳۲۰ بر اثر سیلاب و انباشت گل و لای مسدود می‌شود و تا سال ۱۳۴۹ کاربری خود را از دست می‌دهد. در سال ۱۳۵۰ بخشی از آن توسط مالک لایروبی و دوباره احیاء می‌شود. البته برای بازدهی کلی اثر، نیاز به لایروبی کل مسیر قنات است تا از تمام ظرفیت آن بهره‌برداری شود. در حال حاضر زمین‌های اطراف و حتی زمین روی مسیر قنات تبدیل به باغ شده که ریشه‌های درختان در مسیر قنات رشد کرده و باعث تخریب بعضی از میله چاه‌های قنات شده است. همچنین به علت تغییر کاربری زمین‌های بالادست از بایر به مسکونی، سودجویان در پی پر کردن قنات هستند.

• حفاظت از قنات

- مقاوم سازی بخش های بیرونی و بهسازی فضای داخلی قنات در برابر عوامل محیطی

از مهمترین تهدیدهای مربوط به این قنات، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- عدم وجود واحد مدیریت قنات،
- ۲- آلودگی آب قنات،
- ۳- تجاوز به حریم قنات،
- ۴- حفر چاه های عمیق و غیر عمیق در حریم قنات،
- ۵- افت مستمر سطح آب های زیرزمینی،
- ۶- ریزش و کاهش مقدار آبدهی قنات،
- ۷- خشکسالی های سال های اخیر که مهمترین عامل بر کاهش میزان آب قنات کهروم شده است.
- ۸- عدم لایروبی بدنه قنات و بازسازی بخش های آسیب دیده مانند میله چاه ها،
- ۹- عدم رعایت مسائل فنی مرتبط با قنات و استحکامات مرتبط با آن در استفاده از نوع مصالح و شرایط نامناسب نگهداری آن. متأسفانه اقدامات محافظتی جهت میله چاه ها مانند دورچینی و افزایش طوقی بالاتر از سطح، انجام نشده است.
- ۱۰- بغل تراشی رسوبات ایجاد شده بر بدنه قنات انجام شود (از آنجا که این قنات، قنات آب شیرین است، به دلیل مسیر آب بقایای رسوبات آب هر ساله بر دیواره قنات باقی می ماند و به دلیل عدم لایروبی هر سال، کم کم نفس قنات و مسیر آب بسته شده است. رسوبات حاصل از جریان آب به مرور می تواند حتی مسیر قنات را نیز تغییر دهد).
- ۱۱- عدم برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی از طریق ممنوعیت حفر چاه های عمیق و نیمه عمیق در حریم قنات،
- ۱۲- مراجعه به جهاد کشاورزی جهت محافظت از قنات در رأس برنامه ها قرار داده شود.

نتیجه گیری

از آنجا که آب به عنوان يك عامل زیربنایی، نقش مهمی در توسعه هر منطقه دارد، عاملی مهم در ایجاد پایداری در مناطقی با آب و هوای خشك است؛ همین عامل می تواند باعث رشد کشاورزی شود، پس عامل مهمی در توسعه پایدار در هر منطقه است. آب های زیرزمینی مهمترین منبع مهم آب در مناطق خشك و نیمه خشك اند. قنات ها در هر منطقه یکی از پایداری ترین گزینه ها در استفاده از آب های زیرزمینی هستند. وجود سیستم انتقال آب از طریق قنات بدون صرف هیچ انرژی در بحث اقتصادی، بسیار موثر است. مدیریت آب قبل از هر چیز به ژئومورفولوژی، زمین شناسی، توپوگرافی و شرایط اقلیمی

محیط مرتبط است؛ بنابراین در هر منطقه متناسب با ساختار محیط زیست همان منطقه ایجاد شده و در کم و کیف زندگی بسیار تأثیرگذار است. با تمرکز مدیریت آب بر روی شیوه های مدیریت پایدار، قنات ها حفر شده اند. قنات نشانه ای از يك معماری پایدار بومی در آبرسانی به مناطق خشك برای حمایت از سکونتگاه هاست. قنات یکی دستاوردهای تکنولوژیکی در شکل گیری تمدن ها از گذشته تا امروز است؛ به طوریکه پراکندگی سکونتگاه های اولیه با الگوی پراکندگی سیستم قنات هماهنگ بوده است و این همان تمرکز بر روی مدیریت منابع آب است. قنات آبراهه ای زیرزمینی و ساخته دست انسان است که از راه آن، آب از سفره های آب زیرزمینی در مناطق مرتفع به مناطق کم ارتفاع که به آب سطحی دسترسی ندارند، برای کشاورزی و آشامیدن منتقل می شود. طراحی مسیر و حفر قنات به محاسبات دقیق نیاز دارد. قنات کهروم يك قنات دستکند در سنگ است با يك محور طولی منظم با حلقه چاه های منظم که همگی با یکدیگر در ارتباط اند. کاربری آن صرفاً آبیاری و در مالکیت خصوصی است. قنات ها در مناطق کوهستانی متناسب با میزان بارش ها با تنظیم میزان خروجی آب در فصل پربارش و کم بارش سال می توانند خود را با شرایط سازگار کنند. می توان گفت قنات کهروم در این منطقه يك رابطه معقول با شرایط زیست محیطی منطقه دارد و توانسته با یکسان نگه داشتن وضعیت آبخوان منطقه از تخریب سفره های زیرزمینی جلوگیری کند؛ و با حفظ شرایط طبیعی هیدرولوژیکی آبخوان در مواقع پرابی، بیشترین میزان دبی آب و در مواقع کم آبی با کاهش تخلیه آب با حفظ ذخایر آب زیرزمینی، خود را با شرایط آبخوان سازگار می سازند. با وجود دبی خوب آب قنات، اما تغییرات اقلیمی و عدم برنامه ریزی در ساخت چاه های مدرن نیز در این منطقه یک مشکل جدی است و حتی برخی از قنات ها در این شهرستان نیز در حال خشک شدن هستند. این قنات به لحاظ تاریخی، فرهنگی و ملی بسیار مهم است و فرصت های بسیاری در نحوه استفاده از آن وجود دارد؛ بنابراین یکی از برنامه ریزی های انجام شده می بایست در جهت حفظ بقایای باقی مانده قنات، در کنار حفظ کاربری این قنات باشد. به عبارتی امتناع از ساخت و ساز در اطراف قنات و تخصیص بودجه جهت ایجاد يك طرح جامع با رویکردی که شامل ابزارهایی مانند برنامه ریزی منطقه ای در بحث گردشگری، لایروبی سالانه و معرفی نوع خاص معماری آن است. از مهمترین نقاط قوت می توان به تأثیرگذاری قنات بر زندگی اجتماعی مردم و مشارکت همه آنان در بهره برداری از قنات اشاره نمود. فهرستی از نقاط قوت و ضعف و فرصت ها و تهدیدهای قنات کهروم لنجان در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.

جدول ۴- نقاط قوت و ضعف قنات کهروم لنجان

نقاط قوت	نقاط ضعف
فهنکی	فهنکی- اجتماعی
ارزش تاریخی آن و انتساب آن به دوره صفویه	تخریب شدن عامدانه برخی از میله های چاه
آبدهی بالای قنات با توجه به خشکسالی های	عدم نظارت بر حفظ قنات ها و تهیه نقشه آنان
طبیعی-زیست	مدیریتی-
محیطی	زیرساختی
اخیر در منطقه	ورود به حریم قنات از طریق باغ های خارج از حریم قنات
کیفیت آب قنات	عدم توجه به قنات با توجه به مالکیت خصوصی
میزان بارش ها	عدم پرداخت تسهیلات جهت هزینه های قنات
ایجاد شده در بستر سنگ	طبیعی-
سقف هلالی	زیست
تونل حفرشده انتقال آب از مادر چاه تا مظهر	محیطی
معماری	اجتماعی-
مالکیت خصوصی	اقتصادی
مدیریتی-زیرساختی	عدم آشنایی با شیوه های استفاده از ذخیره و استفاده از آب مازاد قنات در فصل غیر کشاورزی

جدول ۵- فرصت ها و تهدیدهای قنات کهروم لنجان

فرصت ها	تهدیدها
افزایش حضور گردشگر به عنوان منطقه تفرجگاهی	استفاده بی رویه از آب قنات در فصل زمستان
تسهیل دسترسی به قنات جهت بازدید	عدم لایروبی سالانه
حفظ دانش و فن آوری بومی منطقه در حفظ قنات	عدم وجود قوانین در حفظ وضعیت فعلی قنات
تدوین اقدامات لازم جهت احیا و مرمت قنات	کاهش سطح دبی آب در سال های اخیر به سبب خشکسالی ها
معرفی قنات به سبب ارزش معماری آن	آسیب به ساختار معماری قنات به سبب سیلاب ها
اخذ تدابیری جهت استفاده از آب قنات در زمستان	برداشت بی رویه آب در بالادست قنات به سبب حفر چاه
سرمایه گذاری با ایجاد تفرجگاه در نزدیک قنات	عدم هماهنگی های لازم بین مالک و دستگاه های اجرایی جهت لایروبی سالانه قنات

سپاسگزاری

از همکاری اداره کل میراث فرهنگی استان اصفهان صمیمانه سپاسگزاریم.

پی نوشت ها

- ۱- در زبان فارسی پیچ و خم رودخانه را «چم» می نامند. در این منطقه، نیز زاینده رود زیبا و زندگی بخش با صدها پیچ و شکن از لا به لای درّه ها می گذرد و در هر پیچ، روستای زیبایی پدید آورده که نام بسیاری از این روستاها با کلمه ی «چم» ترکیب شده اند و هر کدام از آنها یک بهشت ثانی است. «چم آسمان، چم گردان، چم طاق، چم یوسف علی، و چم چم»
- ۲- دو گروه قنات را شاهدیم: ۱. قنات های که آبدهی آنها در طول سال ثابت و همیشگی است ۲. قنات های که آبدهی

آنها در طول سال بر حسب میزان بارندگی و خشکسالی تغییر می کند، که به آنان قنات هوا بین گویند (شیرزادی و خاشعی سیوکی، ۱۴۰۱). قنات کهروم یک قنات هوا بین است چرا که با تغییر فصول میزان خروجی آب متفاوت است.

۳- این چاه از سطح زمین به سفره آب زیرزمینی در دامنه کوه می رسد. عمق مادر چاه در مناطق مختلف ایران متفاوت است.

۴- محل جوشیدن آب قنات در روستا را مظهر قنات گویند.

۵- زمانی که مقنی تونل را حفر می کند، نیاز به یک هواکش دارد به دو دلیل: ۱. خارج کردن خاک حاصل از حفاری از تونل. ۲. برای تنفس تونل و نیاز به هوا. برای این کار در طول مسیر حفر آبراهه زیرزمینی که کوره نامیده می شود، مقنی های دیگری از روی سطح زمین، چاهی به سمت تونل حفر شده می کنند. عده دیگری با نصب چرخ چاه بر سر این چاه که میله نامیده می شود و با استفاده از طناب هایی محکم و دلو هایی که برای حمل خاک ساخته شده اند، خاک های حفاری را از زیرزمین به روی زمین می آورند.

نوری، سید هدایت‌الله، فتحی، عفت، و مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۵). واکاوی تغییرات کمی آب قنات و تاثیر آن بر سطح زیرکشت زراعت آبی شهرستان لنجان طی سال‌های آبی (۱۳۷۰-۱۳۹۱). فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۵)، ۳۰۹-۲۹۱.

میرجانی ارجنان، محسن، حاجی‌زاده، کریم، زارچی، علیرضا، و رضالو، رضا. (۱۳۹۷). بررسی مولفه‌های جغرافیایی و محیط زیستی در شکل‌گیری شهر میبد از پیش از تاریخ تا دوران اسلامی. نشریه مطالعات شهر ایرانی اسلامی، ۳۳(۳)، ۲۶-۱۹. محمدی‌فر، یعقوب، همتی‌ازندریانی، اسماعیل. (۱۳۹۵). مطالعه و بررسی معماری دستکند ایران. مجله مسکن و توسعه روستا، ۳۵(۱۵۶)، ۹۷-۱۱۰.

Adams, R McC. (1981). Heartland of Cities: Surveys of Ancient Settlements and Land Use on the Central Floodplain of the Euphrates. University of Chicago Press. Chicago.

Abbasnejad, A., Abbasnejad, B., Derakhshani, R., & Sarapardeh, A. (2016). Qanat hazard in Iranian urban areas: explanation and remedies. Environmental Earth Sciences, 75(19), 1-14. <https://doi.org/10.1007/S12665-016-6067-6>

Jenson, M. (1989). Water supply and sewage disposal at mohenjo-daro. World Archaeology, 21(2), 177-192.

Voudouris, K.S., Christodoulakos, Y., Steiakakis, E., Angelakis, A.N. (2013). Hydrogeological Characteristics of Hellenic Aqueducts-Like Qanats. water, 5(3), 1326-1345. <https://doi.org/10.3390/w5031326>

Waterhistory. (2024). <http://www.waterhistory.org/histories/qanats/>. Last access: 2 February 2024.

اشرفی خیرآبادی، حمید. (۱۴۰۲). نقش و کارکرد قنات‌های روستای خیرآباد در توسعه و رشد روستا (مطالعه موردی قنات دهنبره و قنات نو). فصلنامه تاریخ روستا و روستانشینی در ایران و اسلام، ۱(۲)، ۱۱۸-۱۵۲. doi: [10.30479/hvri.2024.19721.1019](https://doi.org/10.30479/hvri.2024.19721.1019). چهری، محمد اقبال، و رحیمی، فتانه. (۱۴۰۰). قنات کهریز چهر، یک سازه آبی نویافته از دوره تاریخی و اسلامی در منطقه بیستون. نشریه مطالعات ایران کهن، ۱(۱)، ۱۰۳-۱۲۲. پاپلی یزدی، محمد حسین، و لباف خانیکی، مجید. (۱۳۸۸). قنات‌های تفت. انتشارات پاپلی. مشهد، ایران. حائری، محمدرضا. (۱۳۸۶). قنات در ایران. چاپ اول. دفتر پژوهش‌های فرهنگی، تهران.

حسینی، سیدحسین، و جهان‌دیده، زهیر. (۱۳۹۵). چالش‌های حمایت‌های کیفی از قنات (مطالعه موردی: قنات قصبه گناباد). نشریه مطالعات حقوق انرژی، ۲(۲)، ۲۷۹-۳۰۴. doi: [10.22059/jrels.2016.62724](https://doi.org/10.22059/jrels.2016.62724)

شیرزادی، فاطمه، و خاشعی سیوکی، عباس. (۱۴۰۱). نگرشی بر اصلاحاتی مدیریتی-ساختاری قنات (منطقه مورد مطالعه: بیرجند، روستای چهکنندود). مجله آبخوان و قنات، ۲(۴)، ۸۸-۷۷. doi: [10.22077/jaaq.2019.2419.1014](https://doi.org/10.22077/jaaq.2019.2419.1014)

طباطبائی، سیدمصطفی. (۱۴۰۲). بررسی روش‌های موفق احیای قنات از طریق حفاظت فیزیکی و تغذیه مصنوعی مطالعه موردی: قنات خمسیان اشکذر، مزرعه نو دهشیر و دیهوک خرائق. نشریه آبخوان و قنات، ۴(۲)، ۶۷-۸۲. doi: [10.22077/jaaq.2024.7340.1065](https://doi.org/10.22077/jaaq.2024.7340.1065)

کلانتری، حسین. (۱۳۹۶). فناوری بومی قنات و نقش آن در معماری ژایدار (بررسی موردی: شهر یزد)، نشریه نقش جهان، ۷(۲)، ۱۱-۲۰. dor: [20.1001.1.23224991.1396.7.2.4.1](https://doi.org/20.1001.1.23224991.1396.7.2.4.1)

عشق‌زاده، مسعود، و نورا، نادر. (۱۳۸۹). تعیین محل مناسب احداث سدزیرمینی بر روی قنات (مطالعه موردی: قنات دهن چنار حوزه آبخیز کلات شهرستان گناباد). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۷(۳)، ۴۵-۶۳. dor: [20.1001.1.2322220.63-45](https://doi.org/20.1001.1.2322220.63-45) 69.1389.17.3.3.4

نوروزی، اصغر، و محمدی، زهرا. (۱۳۹۵). بررسی خشکسالی هیدرولوژیک و آثار آن بر کشاورزی منطقه لنجان. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، ۶(۲)، ۹۷-۱۱۶. doi: [10.22108/sppl.2016.21633](https://doi.org/10.22108/sppl.2016.21633)

نوروزی، اصغر، امینی، زهرا و کیانی، صدیقه. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد و نحوه توزیع فضایی دفاتر ICT روستایی (مطالعه موردی: شهرستان لنجان-استان اصفهان). فصلنامه علمی-برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، ۹(۱)، ۶۱-۸۰. doi: [10.22108/sppl.2019.112501.1272](https://doi.org/10.22108/sppl.2019.112501.1272)

Resonance of Framings for Solving the Anzali Lagoon Sediment Problem with the Stakeholders Community

S. Tahmasebi^{1**}, M.J. Zahedi Mazandarani², S. Salehi³

1, 2- Instructor and Ph.D. Graduate in Sociology, Professor of Sociology, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. 3 - Professor of Sociology, Department of Sociology, Faculty of Social Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

*(Corresponding Author Email: susantahmasebi@pnu.ac.ir)

Received: 26-06-2024

Revised: 20-08-2024

Accepted: 12-10-2024

Available Online: 05-03-2025

رزونانس چارچوب‌های حل مساله رسوبات تالاب انزلی با جامعه ذی نفع

سوسن طهماسبی^{۱*}، محمد جواد زاهدی مازندرانی^۲، صادق صالحی^۳

۱ و ۲- به ترتیب مربی و دانش‌آموخته دکتری جامعه‌شناسی، استاد جامعه‌شناسی، گروه جامعه‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. ۳- استاد جامعه‌شناسی، گروه جامعه‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: susantahmasebi@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

Abstract

To convince people of the existence of problematic environmental conditions, those conditions should be classified and a framework should be built to solve them. Framing is one of the paradigm approaches of social constructionism and includes a set of categories that are created by claimants to define a problem and its solutions. The key factor for the success of the framework is the concept of resonance. One of the important environmental issues in Giulan province is the problem of high sediments in the Anzali lagoon. Different frameworks were presented by the claimants to solve this problem. Among them, there is a plan for mechanical descaling by dredging and a plan for desalination with chemicals called the Biogeme project. The present research examines the degree of coordination of these frameworks with the target society. The qualitative method of thematic analysis has been used for the research. The research data is the result of in-depth semi-structured interviews with 30 environmental activists who are aware of the Anzali lagoon desalination projects. The results showed that the biogeme project was not approved by the stakeholders in the region for reasons such as ambiguity in it and lack of alignment with the interests of the people and policymakers, which led to its halting in the initial stages of implementation. The anti-biodredging movement and the belief in mechanical dredging gained more acceptance among the audience due to its alignment with the interests of the stakeholders and the emphasis on sustainable sedimentation methods.

Keywords: Framing, Resonance, Anzali Lagoon, Biogeme Project, Giulan Province.

چکیده

برای متقاعد کردن افراد جامعه به وجود شرایط مشکل‌زا محیط‌زیستی، باید آن شرایط نوع‌بندی شده و چارچوبی برای حل آنها ساخته شود. چارچوب‌بندی از رویکردهای پارادایم برساخت‌گرایی اجتماعی و شامل مجموعه مقولاتی است که برای تعریف یک مساله و راه‌حل‌های آن توسط مدعیان ساخته می‌شود. چارچوب‌ها کنش‌محور بوده و الهام‌بخش جنبش‌ها و کمپین‌های اجتماعی هستند. عامل کلیدی موفقیت چارچوب، مفهوم رزونانس است که به معنای هماهنگی چارچوب با شرایط زمینه‌ای جامعه است. یکی از مسائل محیط‌زیستی مهم در استان گیلان مساله رسوبات بالا در تالاب انزلی است. برای رفع این معضل، چارچوب‌های مختلفی توسط مدعیان ارائه شد. از جمله آنها طرح رسوب‌زدایی مکانیکی به روش لایروبی و طرح رسوب‌زدایی با مواد شیمیایی با نام پروژه بیوجمی است. در این پژوهش میزان هماهنگی این چارچوب‌ها با جامعه هدف بررسی شده است. از روش کیفی تحلیل مضمون برای پژوهش بهره گرفته شده است. داده‌های پژوهش، حاصل مصاحبه عمیق نیمه‌ساخت‌یافته با ۳۰ نفر از فعالین محیط‌زیستی مطلع از پروژه‌های رسوب‌زدایی تالاب انزلی است. نتایج نشان داد پروژه بیوجمی به دلایلی چون وجود ابهام در آن و همچنین عدم همسویی با منافع مردم و سیاست‌گذاران، مورد تایید مخاطبین در منطقه قرار نگرفت که منجر به توقف آن در مراحل آغازین اجرا شد. جنبش ضدبیوجمی و اعتقاد به لایروبی مکانیکی به دلیل هم‌جهت بودن با مصالح ذی‌نفعان و تاکید بر روش‌های ماندگار رسوب‌زدایی، پذیرش بیشتری بین مخاطبین کسب کرد. **واژه‌های کلیدی:** چارچوب‌بندی، رزونانس، تالاب انزلی، پروژه بیوجمی، استان گیلان.

به دنبال کنش جمعی و مذاکره برای تغییر شرایط مشکل‌زا هستند. رهبران جنبش اجتماعی برای انتشار ایده‌های خود از چارچوب‌بندی استفاده می‌کنند و از این طریق مردم را برای دستیابی به یک هدف بسیج می‌کنند. چارچوب‌های کنش جمعی برای فشرده‌سازی و ساده‌سازی جهان بیرون، بسیج طرفداران بالقوه یک جنبش اجتماعی، جلب حمایت مخاطبان و تضعیف اثربخشی مخالفان به کار می‌روند (Snow و Benford، ۲۰۰۰). مناقشات محیط‌زیستی، مربوط به استراتژی‌های چارچوب‌بندی متفاوتی است که توسط گروه‌های مختلف استفاده می‌شود (Gray و Lewicki، ۲۰۰۳). چارچوب‌ها تفسیر منازعه‌کنندگان از این است که یک اختلاف در مورد چیست و چگونه باید حل و فصل شود. چارچوب‌ها بر موضوعاتی که به صورت برجسته در مناقشه نشان داده می‌شوند، تأثیر می‌گذارند و ترجیحات گروه‌های مختلف را برای برخورد با مشکلات محیط‌زیستی شکل می‌دهند (Gray، ۲۰۰۲).

یک عامل کلیدی در اثربخشی چارچوب، مفهوم رزونانس است. رزونانس با میزان هماهنگی چارچوب با شرایط زمینه‌ای جامعه، دینفعان درگیر و همچنین برجستگی نسبی عناصر تشکیل دهنده آن مرتبط است. هر چقدر ابعاد مختلف چارچوب ارائه شده نزدیکی بیشتری با فرهنگ جامعه محلی و برنامه‌ریزان داشته باشد، رزونانس بالاتری دارد (Benford و Snow، ۲۰۰۰). چارچوب‌های موفق با مضامین فرهنگی، باورها و جهان‌بینی جامعه که وجهه مشترک کل جامعه است، هماهنگ هستند (Jasper و Poulsen، ۱۹۹۵). چارچوب زمانی موفق خواهد بود که سیاست‌گذاران با مدعیان هم‌جهت شده و پیشنهاد آنها را در خط‌مشی یا قانون‌گذاری بگنجانند (Qiaoan، ۲۰۱۸). اینکه سیاست‌گذاران به یک چارچوب واکنش مثبت یا منفی نشان می‌دهند، بستگی به سطح رزونانس آن دارد که به همخوانی چارچوب با جامعه هدف و سطح سودمندی آن برای ذی‌نفعان وابسته است (McDonnell و همکاران، ۲۰۱۷). در صورتی که رهبران جنبش‌ها نمادهای فرهنگی رایج جامعه را در تاکتیک‌های عملی و استراتژی‌های چارچوب‌بندی خود بگنجانند، می‌توانند به رزونانس بالایی از طرف سیاست‌گذاران دست یابند (Saxonbe و Jacobsson، ۲۰۱۶). اگر در جنبش اجتماعی، بین فرهنگ موجود و چارچوب ارائه شده هماهنگی باشد، به پیروزی نزدیک می‌شود. زیرا جنبش‌های اجتماعی هم مصرف‌کننده معانی فرهنگی موجود و هم تولیدکننده معانی جدید هستند (Tarrow، ۱۹۹۲). موفقیت چارچوب‌های ارائه شده به درجه انطباق آنها با وضعیت زندگی و تجربه اعضای جنبش بستگی دارد. اگر با باورهای مخاطبان و تجربیات زندگی آنها سازگاری داشته باشند، به اهداف خود خواهند رسید (Snow و Benford، ۱۹۸۸).

افزایش تهدیدات محیط‌زیستی و به دنبال آن نگرانی افکار عمومی در جهان، زمینه پیدایش جنبش‌های اجتماعی در جهت حفاظت از محیط‌زیست را فراهم آورده (Mertig و Dunlap، ۱۹۹۱) و مناقشات مربوط به مسائل محیط‌زیست در حوزه‌های مختلف زندگی انسان را گسترش داده است (Crompton و Kasser، ۲۰۰۹). اما از آنجاکه در زمینه مسائل محیط‌زیستی، همچون دیگر مسائل اجتماعی اتفاق نظر وجود ندارد، انجام اقدامات موثر در این زمینه اغلب با بن‌بست مواجه می‌شود. «افراد با وجود توافقشان برای قرار دادن مشکلی در فهرست مسائل اجتماعی مهم، ممکن است نظرات مختلفی نسبت به آن داشته باشند» (لوزیک، ۱۳۹۸).

وقتی عبارت مسائل اجتماعی به کار برده می‌شود، از شرایط مشکل‌ساز برای بسیاری از مردم سخن گفته می‌شود. ادعاسازان برای متقاعد کردن مخاطبین بر وجود شرایط مشکل‌زا و نیازمند اقدام، باید آن شرایط را نوع‌بندی کرده و چارچوبی برای حل آن بسازند (Benford، ۱۹۹۳). چارچوب به چگونگی درک رقبا درگیر در مناقشات محیط‌زیستی، از مسائل و بحران‌ها مربوط می‌شود (Gray، ۱۹۹۷). چارچوب‌بندی از رویکردهای پارادایم برساخت‌گرایی اجتماعی بوده و بر فرآیندهای گفت‌وگویی متمرکز است که از طریق آن گروه‌های مختلف بر تفسیرهای خاصی از واقعیت تأکید می‌کنند و اقدامات مناسب برای آن پیشنهاد می‌دهند (Schon و Rein، ۱۹۹۴). مفهوم چارچوب در علوم اجتماعی رواج زیادی داشته و در مطالعه جنبش‌های اجتماعی استفاده می‌شود. این مفهوم از کار اروینگ گافمن گرفته شده است. از نظر گافمن، چارچوب‌ها «طرحواره‌های تفسیر» را نشان می‌دهند و افراد را قادر می‌سازد «مکان‌یابی، درک، شناسایی و برجسته‌گذاری» رخدادها را در فضای زندگی داشته باشند. چارچوب‌ها به سازماندهی تجربه و هدایت کنش منجر می‌شوند. چارچوب‌های کنش جمعی نیز این عملکرد را با ساده‌سازی «دنیای بیرون» انجام می‌دهند (Snow و Benford، ۱۹۸۸).

در حوزه محیط‌زیستی چارچوب‌بندی، تفسیرهای منازعه‌کنندگان از یک مساله محیط‌زیستی و چگونگی حل آن است. این چارچوب‌ها به فرایند ساختن و بازنگایی تفاسیر ما از دنیای اطرافمان اشاره دارند. پنج نقش مهم چارچوب‌بندی در مناقشات محیط‌زیستی عبارت است از: تعریف مسائل؛ شکل دادن به اینکه چه اقداماتی و توسط چه کسانی انجام شود؛ حمایت از مناقشه‌کنندگان؛ توجیه مواضع خاص در مسائل محیطی و بسیج مردم برای انجام یا خودداری از اقدام در مورد مسائل (Gray، ۲۰۰۲). چارچوب‌ها عموماً کنش‌محور بوده و الهام‌بخش جنبش‌ها و کمپین‌های اجتماعی هستند. این نوع چارچوب‌ها

بسیاری از صاحب‌نظران از پژوهش‌های چارچوب‌بندی جنبش‌ها به دلیل عدم توجه به محدودیت‌هایی که فرهنگ بر این چارچوب‌ها تحمیل می‌کند، انتقاد می‌کنند و معتقدند چارچوب‌بندی فرآیندی پویا است که در خلاء ساختاری یا فرهنگی اتفاق نمی‌افتد بلکه تحت تأثیر عناصر بافت اجتماعی- فرهنگی جامعه مثل فرصت‌ها و محدودیت‌های سیاسی و فرهنگی و همچنین مخاطبان هدف قرار می‌گیرد (Benford و Snow، ۲۰۰۰). فرهنگ برای حل مسائل مختلف، راه‌حل‌های مختلفی ارائه می‌دهد. در بسیاری از جوامع، حافظان محیط‌زیست، مدافعان فرهنگ و تغییرات اجتماعی هستند. آنها از مردم می‌خواهند شیوه‌های درک، ارزش‌ها و کاربری‌شان را تغییر دهند (فروتن‌کیا و نواح، ۱۳۹۷).

مرور پیشینه پژوهش، مطالعاتی را در این حوزه نمایان می‌سازد. نتایج ضابطیان و موسوی (۱۴۰۰) در بررسی سازوکارهای بر ساخت مسائل محیط‌زیستی در جنبش تونل بهشت‌آباد نشان می‌دهد، رهبران جنبش با به کارگیری تاکتیک‌ها و چارچوب‌های اقتصادی، محیط‌زیستی، قانونی و بی‌عدالتی توانستند حمایت وسیعی در سطح مسئولان و مردم جلب کنند. Burningham (۱۹۹۸) در مطالعه موردی مساله آلودگی صوتی یک جاده تازه ساخته شده، نشان داد مدعیان در بر ساخت این مساله به مشکلی مثل صدا تاکید می‌کنند که در سال‌های مقارن با جنبش مذکور، به یک نگرانی عمده تبدیل شده و دولت آن را به‌عنوان یک آلاینده محیطی می‌شناخت. بنابراین تمرکز بر این مساله در چارچوب ارائه شده، شانس موفقیت آنها را در منازعات افزایش داد. Schroeder (۲۰۱۵) معتقد است سازمان‌های غیردولتی چینی که روی تغییرات آب و هوا کار می‌کنند، منحصراً از رویکردهای هماهنگ با دولت برای سیاست‌ها و فعالیت‌های خود بهره می‌برند. وی بر سه قانون غیررسمی این سازمان‌ها در ارتباط با دولت اشاره می‌کند: احترام به اقتدار دولت، ایجاد ارتباطات اجتماعی و کسب وجهه بین مقامات دولتی. Hanke و همکاران (۲۰۰۲) در بررسی نقش چارچوب‌بندی در مناقشات محیط‌زیستی بیان می‌کنند مدعیان مختلف با استفاده از چارچوب‌هایی همچون ریسک، مدیریت تضاد، قدرت و نگرش به طبیعت، سعی در متقاعد کردن مردم و پیروزی ادعای خود دارند. از بین این چارچوب‌ها، نگرش به طبیعت که با نگرش اکثریت افراد جامعه هدف و سیاست‌گذاران هماهنگ‌تر است، بیشترین توجه را کسب کرد. Buijs (۲۰۰۹) به بررسی اعتراضات سازمان‌های غیردولتی و مردم محلی هلند به ساخت سد پرداخت. نتایج پژوهش وی نشان داد در مقابل چارچوب امنیت که سازمان مدیریت رودخانه‌ها مطرح می‌کند، سه چارچوب عمده دیگر توسط افراد ذی‌نفع مطرح می‌شود، شامل: چارچوب دلبستگی که به حفظ ظاهر منطقه، چارچوب طبیعت جذاب که به زیبایی منطقه و چارچوب روستایی که به

حفظ روستاهای منطقه تاکید دارند. از بین آنها بیشترین توافق با چارچوب روستایی است که با درصد بزرگتری از ذی‌نفعان هماهنگ است. Qiaoan (۲۰۱۸) در مطالعه نقش هماهنگی در حمایت از سیاست‌های سازمان‌های غیردولتی محیط‌زیستی در چین نشان داد که کاربرد نمادهای فرهنگی مورد قبول دولت توسط این سازمان‌ها، منجر به همسویی دولت با آنها و پذیرش برنامه‌هایشان توسط مخاطبین شده و هماهنگی چارچوب‌ها و تاکتیک‌های آنها با جامعه، کلید موفقیتشان است.

مرور پیشینه داخلی نشان می‌دهد، در ایران پژوهش‌های اجتماعی چندانی در زمینه اهمیت چارچوب‌بندی‌های مدعیان و رزونانس آنها با جامعه هدف، در حل مسائل محیط‌زیستی انجام نشده است. تحقیق حاضر برای پر کردن بخشی از خلاء موجود، به مسائل محیط‌زیستی در استان گیلان با رویکرد چارچوب‌بندی می‌پردازد. یکی از مسائل محیط‌زیستی مهم در استان گیلان مشکلات مربوط به تالاب انزلی است.

تالاب انزلی از تالاب‌های مهم ثبت شده در کنوانسیون بین‌المللی رامسر است. تالاب‌هایی که بنا به عوامل مختلف از جمله مخاطرات طبیعی یا فعالیت‌های انسانی در معرض نابودی قرار می‌گیرند، از فهرست رامسر حذف شده و به فهرست موسوم به مونتر و^۱ وارد می‌شوند. با ورود یک تالاب به این فهرست، غالباً سایر اعضای کنوانسیون رامسر برای بهبود وضع چنین تالابی، اقدامات فوری انجام می‌دهند (طلایی و دریادل، ۱۳۹۴). از سال ۱۹۹۳ میلادی (۱۳۶۹ شمسی) تالاب انزلی در کنواسیون رامسر به‌عنوان تالاب آسیب‌دیده و در معرض خطر (مونتر و) معرفی شده است (صالحی و غلامدوست، ۱۳۹۲).

در حال حاضر، تالاب انزلی دچار مشکلات متعددی است. حجم بالای رسوبات تالاب و در نتیجه کاهش عمق و خشک شدن بخش‌های وسیعی از آن، یکی از معضلات اساسی تالاب انزلی است. بعد از فراخوان سازمان حفاظت محیط‌زیست، طرح‌های مختلفی برای رفع آن ارائه شد. از جمله آنها طرح رسوب‌زدایی مکانیکی به روش لایروبی (از پروژه‌های طرح جامع مدیریت تالاب انزلی که در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ توسط آژانس جاتیکا تهیه شد) و طرح رسوب‌زدایی با مواد شیمیایی با نام بایوجمی است. طرح بایوجمی بعد از پذیرفته شدن در سال ۱۳۹۴، در جریان اجرای مراحل اولیه آزمایشی در بخش‌هایی از تالاب انزلی، به دلیل اعتراضات مخالفین در سال ۱۳۹۸ متوقف شد.

باتوجه‌به آنچه که در مبانی نظری و تجربی بیان شد، پژوهش حاضر به دنبال بررسی میزان هماهنگی طرح بایوجمی با جامعه هدف در مقایسه با چارچوب‌های مبتنی بر شیوه‌های مکانیکی می‌باشد. پرسش اصلی که مقاله به آن جواب می‌دهد این است که رزونانس چارچوب‌های رسوب‌زدایی تالاب انزلی با جامعه هدف چقدر در میزان پذیرش آنها در بین ذی‌نفعان موثر است؟

برای انجام پژوهش حاضر از روش کیفی و رویکرد تحلیل مضمون بهره گرفته شده است. تحلیل مضمون هم روشی برای تحلیل داده‌ها و هم یک روش مستقل برای پژوهش است (Braun و Clarke, 2008). این رویکرد شامل بررسی الگوهای معنایی است که از داده‌ها به دست می‌آید. پس از رونویسی داده‌هایی مثل مصاحبه، آنها بر اساس مضامین و زیرمضامین کدگذاری می‌شوند (Silverman, 1993). مضامین برآمده از فرآیند کدگذاری برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بازتاب چگونگی ارتباط این موضوعات با مبانی نظری استفاده می‌شود.

تحلیل مضمون، روشی است برای: الف- دیدن متن؛ ب- برداشت و درک مناسب از اطلاعات ظاهراً نامرتب؛ ج- تحلیل اطلاعات کیفی؛ د- مشاهده نظام‌مند شخص، تعامل، گروه، موقعیت، سازمان و یا فرهنگ و ه- تبدیل داده‌های کیفی به داده‌های کمی (Boyatzis, 1998). Clarke و Braun (2008) و عابدی جعفری و همکاران (1390) در آثار خود فرایند گام به گام تحلیل مضمون را به وضوح ذکر کرده‌اند. مضامین را می‌توان با روش استقرایی (مبتنی بر داده) و روش قیاسی (مبتنی بر نظریه) شناخت (Patton, 1990). در این پژوهش، مضامین به هر دو روش استخراج شد.

داده‌های پژوهش، حاصل مصاحبه عمیق نیمه‌ساخت‌یافته،

با 30 نفر از فعالین محیط‌زیستی مشارکت‌کننده در جنبش ضدبایوجمی و مطلعین پروژه‌های رسوب‌زدایی تالاب انزلی است. نمونه انتخابی شامل زنان و مردان 30 تا 75 ساله با سطح تحصیلات کارشناسی تا دکتری است که به طور آزاد یا از طریق عضویت در سازمان‌های غیردولتی به فعالیت‌های محیط‌زیستی می‌پردازند. برای انتخاب آنها از نمونه‌گیری هدفمند زنجیره‌ای یا گلوله برفی استفاده می‌شود. در این روش نمونه‌ای از افراد انتخاب می‌شوند که اطلاعات مهمی در زمینه موضوع تحقیق دارند (ایمان، 1391). مصاحبه‌ها در مدت 6 ماه از بهار تا پاییز 1402 به طول انجامید. اطلاعات دقیق از پروژه بایوجمی از طریق اسنادی که در قالب مصاحبه با مجریان و گزارش‌های شیوه اجرای آن موجود بود، به دست آمد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل به کمک جدول، نقل قول‌هایی از مشارکت‌کنندگان و تفسیر آنها ارائه می‌شود.

۱- شبکه مضمونی چارچوب‌های حل رسوبات تالاب انزلی در جدول (۱) تم‌ها و مضامین حاصل از مصاحبه‌ها، که بیانگر چارچوب‌های ارائه شده توسط مدعیان محیط‌زیست برای حل مساله رسوبات تالاب انزلی است، مشاهده می‌شود.

جدول ۱- شبکه مفهومی چارچوب‌های ارائه شده برای مساله رسوبات تالاب انزلی

مفهوم مرتبط	کدهای اولیه	تم پایه	تم سازمان‌دهنده	تم فراگیر
چارچوب‌بندی مساله رسوبات تالاب انزلی	انباشت لجن و رسوبات موجود در تالاب انزلی، ورود سموم و کودهای کشاورزی از مزارع بالادست، طرح پالایش تالاب انزلی تحت عنوان پروژه زیست‌پالایی بایوجمی، کاهش رسوبات و افزایش عمق آب، معلق شدن رسوبات این استخرها در آب و تبدیل به خوراک ماهی‌ها، افزایش 30 سانتیمتر در عمق آب، مواد بایوجمی شامل نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو کلرید نقره، عملکرد رسوب‌زدایی در مجاورت با اشعه ماوراء بنفش نور خورشید، خروج رسوبات از طریق جریان‌های سیلابی به سمت دریا	تعریف مساله، علل و راه‌حل‌های آن	چارچوب‌بندی رسوب‌زدایی به کمک پروژه بایوجمی	چارچوب‌های رسوب‌زدایی
	بحران تالاب انزلی بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسانی و توسعه شهری است، کاهش سطح آب دریای خزر، ورود فاضلاب‌ها و پسماندها و خاک از مناطق بالادست، ورود عمدی یا سهوی گونه‌های بیگانه، برنامه‌های بلندمدت با تأثیرات دائمی، کمک ساکنان و افراد بومی، ترویج رفتارهای محیط‌زیستی در ارتباط با تالاب، لایروبی فیزیکی و کاهش آلاینده‌ها از بالادست، ایجاد تصفیه‌خانه برای تصفیه آب‌های ورودی به تالاب، کمک به بازگشت توان بالقوه زیست‌پالایی تالاب، طراحان داخلی و مطالعه دقیق و عمیق قبل از هر اجرایی، حمایت دولت	تعریف مساله، علل و راه‌حل‌های آن	چارچوب‌بندی ضدبایوجمی و مبتنی بر لایروبی مکانیکی	

۱-۱- چارچوب رسوب‌زدایی به کمک پروژه بایوجمی

مجری بایوجمی مدعی است که با استفاده از تکنولوژی‌های نوین، احیای تالاب تسریع می‌شود.

تعریف مساله، علل و راه‌حل‌های آن: مجریان این طرح عامل اصلی رسوبات در تالاب انزلی را سموم و کودهای کشاورزی وارد شده به تالاب، از مزارع بالادست برشمردند که باعث انباشت لجن در این تالاب شده است. در این پروژه موادی متشکل از نانو دی‌اکسید تیتانیوم و نانو کلرید نقره به حجم ۶۰۰۰۰ لیتر وارد تالاب می‌شود. عملکرد این مواد به این صورت است که در مجاورت با اشعه ماوراءبنفش نور خورشید، رسوبات تالاب تجزیه می‌شوند. بخشی از آن خوراک ماهی‌ها شده و بخش عمده هم با جریان‌های سیلابی وارد دریا می‌شوند. نتیجه این فرایند افزایش عمق تالاب و در نتیجه افزایش خودپالایی آن است. شرکت مجری مدعی است اجرای پایلوت آن در استخرهای پرورش ماهی شیلات موفق بوده و به همین دلیل عمق آب افزایش یافته است.

«مهرماه ۱۳۹۷ مدیر کل وقت محیط‌زیست، طرح احیای تالاب انزلی که فاز اول آن پاک‌سازی رسوبات آلی بود را افشاء کرد. تا مدت‌ها پس از اعلام این خبر هیچ کس از نحوه اجرای این طرح اطلاع نداشت. تا اینکه از لایه‌لای اخبار پای یک شرکت اصفهانی به گیلان باز شد. شرکت نانو صنعت پرشیا استفاده از نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیوم و کلرید نقره موسوم به بایوجمی را برای حل معضل رسوبات تالاب موثر و کلید حل مشکل دانست. سمی بودن نقره آزاد شده در این فرایند در محیط زنده تالاب می‌توانست خطرناک‌تر از دی‌اکسید تیتانیومی باشد که در این مواد یافت می‌شد. طرح، ابتدا به صورت آزمایشی در استخرهای پرورش ماهی شیلات انزلی اجرا شد و در مرحله نهایی قرار شد در ۲۰۰ هکتار از بخش مرکزی سرخانکل در چهار بخش مجزا ۵۰ هکتاری کرت‌بندی شده اجرا شده و بعد از آن نیز در کل تالاب اجرا شود. قرار بود ۶۰ هزار لیتر معلول بایوجمی در تالاب ریخته شود که با دستور قضایی پس از ریخته شدن ۱۲ هزار لیتر، در بخش‌های پایلوت، پروژه متوقف شد.» (صابر، کارشناسی ارشد).

۲-۱- چارچوب ضدبایوجمی و مبتنی بر لایروبی مکانیکی

یکی از فعالیت‌های فعالین محیط‌زیستی، عملکردشان در ارتباط با تالاب انزلی از جمله فرهنگ‌سازی، آموزش و اقدامات عملی برای پاک‌سازی تالاب، است.

تعریف مساله، علل و راه‌حل‌های آن: فعالین محیط‌زیست و جنبش ضدبایوجمی در پاسخ به سوال مربوط به مهمترین بحران‌های تالاب انزلی، اشاره می‌کنند تالاب انزلی بعد از ثبت در کنوانسیون رامسر در سال ۱۳۵۴ (۲۳ ژوئن ۱۹۷۵)، با پیدایش نشانه‌های تخریب از لیست رامسر خارج شده و در فهرست مونتره یعنی تالاب‌های در معرض انقراض قرار گرفت. آنها برای حل مساله رسوبات تالاب و سایر معضلات آن، به برنامه‌های بلندمدت تاکید داشته و معتقد هستند بهترین کار برای کاهش رسوبات، لایروبی فیزیکی و کاهش آلاینده‌هایی است که از بالادست وارد این تالاب می‌شود.

«بخش بزرگی از مشکل رسوبات تالاب انزلی به دلیل ورود آلاینده‌ها از مناطق بالادست است. رسوب‌گذاری بحران بزرگی است که درعین‌حال که خود معلول ورود آلاینده‌ها و استفاده نادرست از آن است، علت ایجاد مشکلات دیگری در این تالاب می‌شود که یکی از مهمترین آنها خشکی تالاب و ایجاد شرایط غیرقابل بقاء برای زیست‌مندان به دلیل کمبود شدید اکسیژن است. برای مبارزه با این بحران و کاهش میزان رسوبات تالاب، بهترین راه حل منع ورود آلاینده‌ها است که بخشی از آن از طریق استفاده صحیح ساکنان از تالاب و نریختن زباله در آن قابل انجام است. ولی بخش عمده از طریق جلوگیری از ورود آلاینده‌هایی مثل فاضلاب‌ها و مواد آلی از بالادست است. راه حل اول اقدامی بلندمدت اما بسیار اثرگذار است که از طریق فرهنگ‌سازی و آموزش انجام می‌شود و بخش دوم از طریق ایجاد چند تصفیه‌خانه برای تصفیه آب‌های ورودی به تالاب است.» (سعید، دکتری)

۲- شبکه مضمونی رزونانس چارچوب‌های ارائه شده

جدول (۲) مضامین مستخرج از داده‌ها را در ارتباط با رزونانس چارچوب‌های حل مساله رسوبات تالاب انزلی نشان می‌دهد.

جدول ۲- شبکه مفهومی هماهنگی چارچوب‌ها با زمینه فرهنگی و اجتماعی و سیاسی جامعه

مفهوم مرتبط	کدهای اولیه	تم پایه	تم سازمان‌دهنده	تم فراگیر
هماهنگی چارچوب‌ها با زمینه فرهنگی و اجتماعی جامعه	پرهزینه بودن طرح، به خطر افتادن معیشت ساکنان منطقه، نابودی گونه‌های جانوری و گیاهی تالاب، بیماری تدریجی در کل منطقه و زیست‌مندان آن، تالاب انزلی در لیست تالاب‌های مونترو، مضر بودن نانوذرات تیتانیوم برای انسان و آبزیان، آلودگی زنجیره غذایی وابسته به تالاب، اجرای پروژه بایوجمی بدون مجوز و ارزیابی محیط‌زیستی	اعتبار اقتصادی، محیط‌زیستی و قانونی	چارچوب‌بندی مبتنی بر اجرای پروژه بایوجمی	رزوانس چارچوب‌ها
	عدم موافقت سازمان‌ها و انجمن‌های محیط‌زیستی ملی و بین‌المللی، مخالفت آژانس بین‌المللی جائیکا و کنوانسیون رامسر، مخالفت فراکسیون محیط‌زیست مجلس، مخالفت اداره محیط‌زیست شهرستان انزلی و چند شهر دیگر در استان گیلان، مخالفت شورای شهر، مخالفت دادستان، مخالفت رئیس قوه قضائیه	پیوند با سیاست‌گذاران		
	مخالفت دانشمندان و اعضای هیات علمی، مخالفت ساکنان منطقه، مخالفت گروه‌ها و سازمان‌های محیط‌زیستی، مخالفت مسئولان محلی و ملی	ارتباط با مخاطبان		
	رفع بحران‌های موجود در تالاب انزلی تنها به کمک افراد آشنا به تالاب و با کمک مردم منطقه، توجه به سلامت ساکنان منطقه و زیست‌مندان، توجه به منبع درآمد مردم جامعه هدف، معیار قرار دادن توجه به تالاب، شهر و منطقه و کل کشور	اعتبار چارچوب	چارچوب‌بندی مبتنی بر لایروبی	
	حمایت دادستان شهرستان انزلی، حمایت امام جمعه انزلی، حمایت رئیس اداره محیط‌زیست، حمایت شورای شهر انزلی و برخی از شهرهای دیگر استان گیلان، حمایت رئیس قوه قضائیه	پیوند با سیاست‌گذاران		
	حمایت دانشمندان و اعضای هیات علمی دانشگاه‌ها، حمایت مردم و ساکنان منطقه، حمایت مسئولان محلی و ملی	ارتباط با مخاطبان		

۱-۲- رزوانس چارچوب پروژه بایوجمی

اعتبار اقتصادی، محیط‌زیستی و قانونی: عموماً طرح‌هایی که به لحاظ سوددهی، قابل توجه نباشند در مرحله سیاست‌گذاری مورد توجه قرار نمی‌گیرند. بنابراین استدلال‌های مالی برای بی‌اعتبار ساختن آنها آوازه بالایی یافته و تاثیرگذاری آنها افزایش می‌یابد.

«طرح جامع حفاظت از تالاب انزلی در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ توسط آژانس جائیکا در ایران تهیه شد. طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ فاز اول طرح مدیریت اکولوژیک تالاب انزلی اجرا و فاز دوم از سال ۲۰۱۵ آغاز و قرار بود تا تابستان ۲۰۱۹ ادامه داشته باشد. اگر چه این طرح به طور کامل اجرایی نشد ولی به نتایج خوبی رسیدند. اما به یکباره در سال ۱۳۹۷ برای اجرای طرح بایوجمی، علی‌رغم اینکه در فاز اول قرارداد ۹۰۰ میلیارد تومانی منعقد شده بود، مدیران شرکت مجری مدعی بودند که نسبت به جائیکا، تکنیک اقتصادی و ارزان قیمتی را برای رسوب‌زدایی تالاب انزلی پیشنهاد داده‌اند.» (ایمان، دکتری)

«تالاب انزلی منبع بزرگ غذایی برای ساکنین و همچنین محلی برای فعالیت‌های اقتصادی و تامین‌کننده وسیله امرار معاش جمعیت زیادی از ساکنین اطراف را تشکیل می‌دهد. با این مواد ناشناخته‌ای که قرار بود در آب خالی کنند و هیچوقت هم دقیقاً اعتراف به آن نکردند، معلوم نیست تا چند سال دیگر چه بلایی بر سر تالاب و ساکنان منطقه می‌آید.» (ریحانه، دکتری)

بی‌اعتباری پروژه بایوجمی از جهت محیط‌زیستی، با اتکاء به سخنان و اسناد علمی صاحب‌نظران محیط‌زیستی داخل و خارج از کشور آشکار شد. این اسناد به غیرمحیط‌زیستی و ضد محیط‌زیستی بودن بایوجمی تاکید داشته و ادعای خود را بر تحقیقات علمی مستند کرده بودند.

«در یکی از اسنادی که جمع‌آوری کردیم به نقل از پروفیسور جلال پوراحمد جکتاجی، مدیر گروه سم‌شناسی دانشکده داروسازی دانشگاه شهید بهشتی درباره اثرات مخرب تیتانیوم که ماده اصلی بایوجمی را تشکیل می‌دهد، آمده: تالاب انزلی زیستگاه گیاهان و آبزیان متعددی است که در معرض مسمومیت این فلز قرار خواهند گرفت. پرنده‌گانی که از آبزیان تالاب تغذیه می‌کنند و انسان‌هایی که از ماهیان آن استفاده می‌کنند، بخشی از زنجیره غذایی وابسته به تالاب هستند.» (محمد، کارشناسی ارشد)

از نظر قوانین محیط‌زیست، اجرای پروژه‌های محیط‌زیستی، باید مجوز و ارزیابی محیط‌زیستی داشته باشد. منتقدین بایوجمی معتقد هستند که این طرح ارزیابی‌ها و مجوزهای قانونی را ندارد.

«طبق اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی، محیط‌زیست متعلق به همگان است و هیچکس حق ندارد تغییرات جبران‌ناپذیری در آن ایجاد

کرده و مسبب آلودگی آن شود. قوانین حفاظت از تالاب‌ها هم به صراحت اعلام کرده که گونه‌های غیربومی و مواد شیمیایی ناشناخته و آلوده‌کننده را نباید درون تالاب‌ها ریخت.» (صابر، کارشناسی ارشد)

پیوند با سیاست‌گذاران: مراکزی چون آژانس بین‌المللی جائیکا و کنوانسیون رامسر طی نامه‌ای به سازمان محیط‌زیست، مخالفت خود را با اجرای بایوجمی اعلام کردند. فراکسیون محیط‌زیست مجلس، اداره محیط‌زیست شهر انزلی و چند شهر دیگر در استان گیلان، شورای شهر، دادستان وقت انزلی و رئیس قوه قضائیه نیز مخالفت خود را با اجرای آن اعلام کرده و خواستار توقف آن شده‌اند.

«دادستان انزلی بر اساس مستندات علمی که دوستان ما در اختیارش قرار دادند، دستور توقف آن را داد. دادستان کل کشور هم اعلام کرد دستگاه قضایی قاطعانه بر این تصمیم خواهد ایستاد و تا زمانی که همه ابعاد مساله روشن نشود، اجازه ادامه پروژه داده نخواهد شد.» (میلاد، کارشناسی)

ارتباط با مخاطبین: یک مساله اجتماعی در وهله اول زمانی خلق می‌شود که مخاطبین آن را باور کرده و بر ساخت شدن آن را حمایت کنند. هانیگان معتقد است حمایت مخاطبان نه تنها نشان‌دهنده خیزش مساله است بلکه منبع ارزشمندی برای جلب توجهات سیاسی به شمار می‌آید. جریان آراء عمومی می‌تواند ادعا را در حد دستور کار سیاسی، ارتقاء دهد (هانیگان، ۱۳۹۸). مخالفان پروژه بایوجمی شامل تعداد زیادی از دانشمندان و اعضای هیات علمی دانشگاه‌ها و همچنین ساکنان منطقه بود که زندگی بخش زیادی از آنها وابسته به تالاب انزلی است.

«مردم عادی و صاحب‌نظران محیط‌زیست از ما حمایت می‌کردند. هرچه افراد بیشتری را با خود همراه می‌کردیم، به موفقیت نزدیکتر می‌شدیم. در بین مردم طرفداران زیادی داشتیم که نامه اعتراض به بایوجمی را امضاء کردند. دادستان نیز برایش خیلی مهم بود که زندگی مردم به مخاطره نیافتد و می‌گفت با تمام توان پشت خواسته مردم می‌ایستد.» (آرمان، کارشناسی ارشد)

۲-۲- رزونانس چارچوب ضدبایوجمی و کاربرد روش‌های مکانیکی

اعتبار چارچوب: کنشگران محیطی مخالف با طرح بایوجمی معتقد هستند رفع بحران‌های موجود در تالاب انزلی، تنها به کمک افراد آشنا به تالاب و مردم منطقه امکان‌پذیر است. یکی از مهمترین نکات مورد تاکید این است که اجرای هر برنامه‌ای در تالاب انزلی نباید زیانی را متوجه ساکنان منطقه و زیست‌مندان تالاب کند. تایید روش‌های مکانیکی و تصفیه آب‌های ورودی توسط متخصصان محیط‌زیستی دلیل دیگری بر اعتبار این چارچوب است.

«از جمله مخالفان اجرای طرح بایوجمی، پژوهشکده علوم‌زیستی دانشگاه

شهید بهشتی بود. دکتر عبدلی، متخصص اکولوژی دریایی، معاون دانشکده و کارشناسان آن معتقد بودند اجرای این طرح باعث صدمه به تالاب خواهد شد. علاوه‌براین تا زمانی که آلاینده‌های تالاب همچنان برقرار است، کارایی ندارد. هنوز تصفیه‌خانه شهرهای رشت و بندرانزلی راه‌اندازی نشده است و در سال بیش از ۴۰ میلیون متر مکعب فاضلاب به تالاب سرازیر می‌شود. برای حل مشکل رسوبات تالاب بهترین کار احداث تصفیه‌خانه در محل‌های ورود آب آلوده به تالاب است. با بودجه‌ای که برای طرح بایوجمی در نظر گرفته شده است، می‌توان به اندازه کافی از این تصفیه‌خانه‌ها احداث کرد و مشکل رسوبات تالاب را ریشه‌ای حل کرد.» (رضا، کارشناسی ارشد)

پیوند با سیاست‌گذاران: کنشگران محیطی مخالف طرح بایوجمی برای آنکه بتوانند مساله مورد ادعای خود را در دستور کار سیاست‌گذاری قرار دهند، لازم است مورد حمایت مقامات و نهادهای صاحب‌نظر در امر سیاست‌گذاری قرار گیرند تا ادعای آنها را در عرصه سیاسی مطرح کرده و از آن دفاع کنند. این مقامات و نهادها که در رویکردهای برساخت‌گرایی مسائل اجتماعی تحت عنوان کارآفرینان سیاست‌گذاری خوانده می‌شوند، در تلاش مدعیان برای دستیابی به سیاست موافق با مساله ادعا شده خود، نقش محوری دارند. در ارتباط با مساله بایوجمی، دو گروه از کارآفرینان سیاست‌گذاری در مناقشات مربوط به تصمیم‌گیری نقش داشتند که عبارتند از: مسئولین محلی و مسئولین ملی و فراملی. دادستان شهرستان انزلی نقش مهمی در رساندن موضوع بایوجمی به دستور کار سیاسی ایفا کرد. امام جمعه انزلی نیز به عنوان شخصیتی کاریزماتیک در جبهه مخالفان بایوجمی قرار داشت و در خطبه‌های نماز جمعه، افراد و مسئولین را به مقابله با بایوجمی فرا می‌خواند. رئیس اداره محیط‌زیست و شورای برخی از شهرهای استان نیز به‌عنوان شخصیت‌های سیاسی تأثیرگذار، از توقف پروژه بایوجمی حمایت می‌کردند. علاوه‌بر مسئولان محلی، برخی از شخصیت‌های تأثیرگذار در سیاست‌گذاری مثل رئیس قوه قضائیه، ستاد نانو کشور و نهادهای بین‌المللی چون انجمن جائیکا و کمیسیون بین‌المللی رامسر نیز مخالف بایوجمی بودند. پیوند با صاحبان قدرت یکی از اهرم‌های اساسی است که مخالفان بایوجمی برای رسیدن به مطالبات خود به کار می‌گیرند. پذیرش پروژه بایوجمی و اجرای آغازین آن در تالاب انزلی نیز به دلیل حمایتی بود که مجری آن از طرف سازمان حفاظت محیط‌زیست دریافت می‌کرد. بنابراین دستیابی به حمایت صاحبان قدرت در سیاست‌گذاری‌ها به مخالفان بایوجمی نیرویی برابر برای مقابله عطا کرد.

«شرکت مجری طرح ادعا می‌کرد که انجمن جائیکا نیز با طرحشان موافق است. درحالی‌که با پیگیری‌های که ما انجام دادیم مشخص شد که مراکز ملی مثل ستاد نانو کشور و مراکز بین‌المللی مثل انجمن جائیکا مخالف بایوجمی بودند و از سال‌ها قبل که مطالعات مقدماتی برای اجرای این طرح انجام می‌شد، این مراکز مخالفت خود را با آن اعلام کرده بودند.» (مهتاب، دکتری)

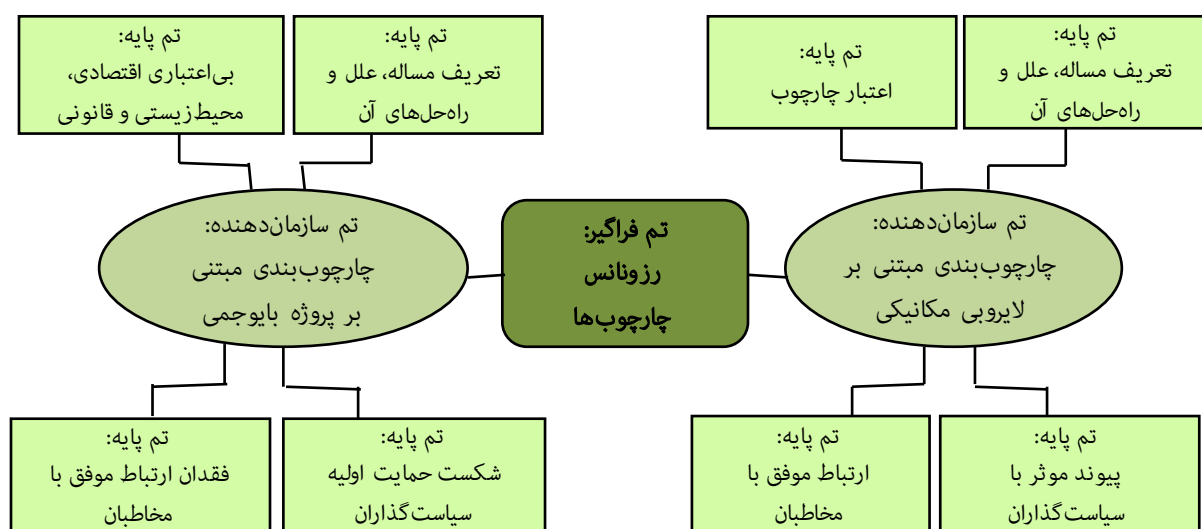
ارتباط با مخاطبان: برقراری تعامل فعالین جنبش ضدبایوجمی با مخاطبین به ویژه در سطح استان از طریق رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی فراهم بود. مخاطبان علاوه بر قدرتشان از لحاظ کمی، از جهت کیفی یعنی توان علمی نیز، بر روی موفقیت ادعا تاثیرگذار بودند.

«در طول سال‌هایی که در ان‌جی‌او فعالیت می‌کنیم اعتماد زیادی در بین مردم کسب کردیم. از هر کسی که می‌خواستیم طومار مخالفت علیه بایوجمی را امضاء کند، بی‌درنگ این کار را می‌کرد. از دوستان علمی خود هم که درخواست می‌کردیم در مناظرات شرکت کنند، همگی می‌پذیرفتند.» (محمود، کارشناسی ارشد)

هانیکان معتقد است برای اینکه ادعاهای محیط‌زیستی توجه مردم را به خود جلب کنند باید چهار ویژگی منحصر به فرد

بودن، مرتبط بودن، آوازه و آشنایی را دارا باشند (هانیکان، ۱۳۹۸). در مورد توقف طرح بایوجمی می‌توان این ویژگی‌ها را مشاهده کرد. ادعا مربوط به تالاب انزلی است که به لحاظ ویژگی‌های زیستی و اکولوژیکی، کاملاً متمایز از تالاب‌های مشابه است. علاوه بر آن عناوینی چون تالاب بین‌المللی و قرار گرفتن در لیست مونتره برای ایجاد یک هویت متمایز به آن چسبیده است. ویژگی مرتبط بودن نیز بیانگر اهمیت بالای تالاب انزلی برای ساکنان منطقه، استان و حتی کشور است. بین‌المللی بودن تالاب انزلی نشان بر آوازه آن و در نهایت ویژگی آشنایی که نشان از شناخته شده بودن یک پدیده در بین مخاطبان است، در آن قابل احراز است.

مضامین مستخرج از یافته‌ها و ارتباط آنها به شکل نقشه مضمونی (شکل ۱) قابل ترسیم است.



شکل ۱- نقشه مضمونی رزونانس چارچوب‌بندی‌های ارائه شده برای رسوب‌زدایی تالاب انزلی

بین ذی‌نفعان به دست نیامد، بلکه به دلیل عدم حمایت از طرف سیاست‌گذاران، در مرحله رقابت‌های منازعاتی از دور خارج شد. دلیل اصلی توقف این طرح عدم هماهنگی و به عبارت بهتر رزونانس آن با جامعه هدف بود. از طرف دیگر جنبش ضدبایوجمی از آنجا که هدف اصلی خود را در وهله اول حفظ سلامت انسان‌ها و سایر موجودات تالاب دانسته و از طرف دیگر بهترین شیوه رسوب‌زدایی تالاب را استفاده از روش‌هایی فیزیکی می‌داند، که نتایج دائمی در رسوب‌زدایی تالاب انزلی به دنبال دارند، پذیرش بیشتری در بین مخاطبین کسب می‌کند. علاوه بر آن برقراری ارتباط با تصمیم‌گیرندگان محیط‌زیستی، اعتبار جنبش ضدبایوجمی را افزایش می‌دهد. درک رزونانس چارچوب‌بندی ارائه شده برای مشکلات تالاب انزلی با جامعه

نتیجه‌گیری

در جنبش توقف طرح بایوجمی، دو نوع چارچوب در ارتباط با رسوبات تالاب انزلی وجود دارد. ادعای رسوب‌زدایی با روش بایوجمی و ادعای ضدبایوجمی به دلیل مخاطراتی که برای تالاب و ساکنان منطقه دارد. پروژه بایوجمی به دلایلی چون غیربومی بودن مجریان آن و عدم شناخت دقیق آنها از منطقه و همچنین وجود ابهاماتی که در زمینه مواد مورد استفاده در این پروژه و مخاطرات آن برای منطقه وجود داشت، مورد تایید و قبول مخاطبین در منطقه قرار نگرفت و مخالفت‌هایی زیادی را به دنبال داشت که در نهایت منجر به توقف آن در مراحل آغازین اجرا شد. چارچوب بایوجمی نه تنها اعتبار کافی را در

هدف، توسط سیاست‌گذاران، در نهایت حمایت آنها را به دنبال داشته است. همواره همراهی قدرت در سطوح کلان با کنش‌های محیط‌زیستی، این نوع کنش‌ها را موثرتر کرده و از این طریق کنشگران موفق به دریافت پاسخ‌های مورد قبول برای مطالبات خود خواهند شد. همانگونه که Jacobsson و Saxonbe (۲۰۱۶) بیان کردند گنجاندن نمادهای فرهنگی و اجتماعی جامعه در استراتژی‌های چارچوب‌بندی توسط رهبران جنبش‌های اجتماعی، حمایت سیاست‌گذاران و صاحبان قدرت تصمیم‌گیری در این زمینه را به دنبال خواهد داشت و این امر در نهایت آنها را به پیروزی در جنبش نزدیک می‌کند.

نتایج پژوهش حاضر و انطباق آن با پیشینه ذکر شده، پاسخی مناسب به سوال آغازین پژوهش است. رزونانس یک چارچوب‌بندی را هماهنگی آن با جامعه و سطح سودمندی آن برای ذی‌نفعان یک مساله محیط‌زیستی تعیین می‌کند و هر چقدر این رزونانس بالاتر باشد، پذیرش چارچوب در جامعه هدف بیشتر خواهد بود و واکنش مثبت سیاست‌گذاران را به دنبال خواهد داشت.

پی‌نوشت‌ها

1-The Montreux Record

منابع

- ایمان، محمدتقی. (۱۳۹۱). روش‌شناسی تحقیقات کیفی. انتشارات پژوهشگاه حوزه و دانشگاه، قم، ایران.
- صالحی، صادق، و غلامدوست اشکیکی، عاطفه. (۱۳۹۲). ارزیابی مدل مدیریت مشارکتی تالاب‌ها از نظر محلی (مطالعه موردی: تالاب انزلی، گیلان). علوم محیطی، ۱۱(۱)، ۱۰۵-۱۱۸.
- ضابطیان، بهرنگ، و موسوی، مرضیه. (۱۴۰۰). بررسی سازوکارهای بر ساخت مسائل محیط‌زیستی (مورد مطالعه: کارزار مردمی توقف تونل بهشت‌آباد). برنامه‌ریزی رفاه توسعه اجتماعی، ۱۲(۴۹)، ۲۱۷-۲۷۴. <https://doi.org/10.22054/qjsd.2021.57194.2077>
- طلایی، فرهاد، و دریادل، احسان. (۱۳۹۴). بررسی چالش‌های تالاب انزلی و راهکارهای رفع آن در چارچوب کنوانسیون رامسر. مجله حقوقی بین‌المللی، ۳۲(۵۲)، ۲۷۷-۳۱۲. <https://doi.org/10.22066/cila-mag.2015.15766>
- عابدی جعفری، حسن، تسلیمی، محمدسعید، فقیهی، ابوالحسن، و شیخ‌زاده، محمد. (۱۳۹۰). تحلیل مضمون و شبکه مضامین: روشی ساده و کارآمد برای تبیین الگوهای موجود در داده‌های کیفی. اندیشه مدیریت راهبردی، ۵(۲)، ۱۵۱-۱۹۸.
- فروتن‌کیا، شهباز، و نواج، عبدالرضا. (۱۳۹۷). جامعه‌شناسی محیط‌زیست. نشر اندیشه. تهران، ایران.
- لوزیک، دانیلین. (۱۳۹۸). نگرشی نو در تحلیل مسائل اجتماعی. مترجم: سعید معیدفر. نشر امیرکبیر. تهران، ایران.
- هانینگن، جان. (۱۳۹۸). جامعه‌شناسی محیط‌زیست. مترجم: صادق صالحی. نشر سمت. تهران، ایران.
- Benford, R. D. (1993). Frame disputes within the Nuclear Disarmament Movement. *Social Forces*, 71 (3), 677-702. <http://dx.doi.org/10.2307/2579890>
- Benford, R.D., & Snow, D.A. (2000). Framing processes and social movements. *Annual Review Of Sociology*, 26, 611-639. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.soc.26.1.611>
- Boyatzis, R. E. (1998). Transforming qualitative information: thematic analysis and code development, Sage Press. London, United Kingdom.
- Braun, V., & Clarke, V. (2008). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <http://dx.doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Buijs, A. E., (2009). Public support for river restoration. A mixed-method study into local residents support for and framing of river management and ecological restoration in the Dutch floodplains. *Journal of Environmental Management*, 90, 2680-2689. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.02.006>
- Burningham, K. (1998). A noisy road or noisy resident?: a demonstration of the utility of social constructionism for analysing environmental problems. *The Sociological Review*, 46(3), 536-563. <https://doi.org/10.1111/1467-954X.00130>
- Crompton, T., & Kasser, T. (2009). Meeting Environmental Challenges: The Role of Human Identity. WWF-Panda House Press. London, United Kingdom.
- Dunlap, R. E., & Mertig, A. G. (1991). The Evolution of the U.S. environmental movement from 1970 to 1990: An Overview. *society & natural resources*, 4(3), 209-218. <http://dx.doi.org/10.1080/08941929109380755>
- Gray, B. (1997). Framing and reframing of intractable environmental disputes. *Research on Negotiation in Organizations*, 6, 163-188.
- Gray, B. (2002). Framing of environmental disputes, In R. Lewicki, B. Gray and M. Elliott (eds.), *Making Sense of Intractable Environmental Conflicts: Frames and Cases*. Island Press. Washington, United States.

- Yale University Press. New Haven, United States.
- Qiaoan, R. (2018). Harmony at play environmental ngos policy advocacy china, Civil Society in East Asian Countries. In L. Didvalis (ed.) Civil society in east Asian countries: Contrubutions to democracy, peace and sustainable development, 28 March. 2018. Centre for Asian Studies. Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania. <https://dx.doi.org/10.7220/978-6094673252>
- Hanke, R., Gray, b., & Putnam, L. (2002). Differential framing of environmental disputes by stakeholder groups. AoM Conflict Management Division 2002 Mtgs, 13171, 1-60. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.320364>
- Jacobsson, K., & Saxonberg, S. (2016). Beyond NGO-ization: the development of social movements in Central and Eastern Europe. Routledge Press. London, United Kingdom.
- Jasper, J. m., & Poulsen, J. D. (1995). Recruiting strangers and friends: Moral shocks and social networks in animal rights and anti-nuclear protests. Social Problems, 42(4), 493-512. <http://dx.doi.org/10.1525/sp.1995.42.4.03x0129y>
- Lewicki, R. J., & Gray, B. (2003). Making Sense of Intractable Environmental Conflicts: Frames and Cases. Island Press. Washington, United States.
- McDonnell, T. E., Bail, C. A., & Tavory, I. (2017). A Theory of Resonance. Sociological Theory, 35(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1177/0735275117692837>
- Patton, M. Q. (1990). Qualitative evaluation and research methods, California: Sage Press. California, United States.
- Schon, D. A., & Rein, M. (1994). Frame Reflection: Toward the Resolution of Intractable Policy Controversies. Basic Books Press. New York, United States.
- Schroeder, P. (2015). Public Participation in Low-carbon Policies: Climate Change and Sustainable Lifestyle Movements. In A. Fulda (Ed.). Civil Society Contributions to Policy Innovation in the PR China. Environment, Social Development and International Cooperation (pp. 103-122). Palgrave Macmillan Press. London, United Kingdom.
- Silverman, D. (1993). Interpreting Qualitative Data: Methods For Analysing Talk, Text and Interaction. Sagh Press. London, United Kingdom.
- Snow, A., & Bedford, R. (1988). Ideology, Frame Resonance, and Participant Mobilization. International Social Movement Research, 1, 197-218.
- Tarrow, S. (1992). Mentalities, political cultures, and collective action frames: Constructing meanings through action. In A. Morris and C. Mueller (eds.). Frontiers in Social Movement Theory, 174-202. CT:

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Comparison of the Effect of Surface and Deep Aeration Methods on Density and Type of Airborne Bacteria and Fungi in Urban Wastewater Treatment Plant (Case study: Khin-Arab and Parkand-Abad 1 Wastewater Treatment Plants)

Z. Abbasnia¹, Sh. Abbasnia^{2*}, M. Pahlevani³, M. Rouhbakhsh⁴,
M. Ghasemzadeh⁵, S. Amel Jamehdar^{6*}

1- Ph.D. Student in Applied Mathematics, Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 2- Immunology Research Center, Inflammation and Inflammatory Diseases Division, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. 3- Director of the Parkand-Abad Wastewater Treatment Plant, Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran. 4- Research expert at the Mashhad Water and Wastewater Company, M.Sc. Student in Civil Engineering-Environmental, Khavaran Higher Education Institute, Mashhad, Iran. 5- M.Sc. Student in Biomathematics, Faculty of Mathematical Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 6- Antibacterial Resistance Research Center, Department of Microbiology and Virology, Faculty of Medicine, Mashhad University of Medical Science, Mashhad, Iran.

* (Corresponding Author Email: AmelJS@mums.ac.ir)

Received: 16-07-2024

Revised: 15-08-2024

Accepted: 17-08-2024

Available Online: 17-02-2025

مقایسه تأثیر روش هوادهی سطحی و عمقی در تصفیه خانه فاضلاب شهری بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ‌های هوا برد (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب خین عرب و پرکندآباد یک)

زهره عباس‌نیا^۱، شادی عباس‌نیا^{۲*}، مهدی پهلوانی^۳، مسعود روحبخش^۴،
مریم قاسم‌زاده^۵، سعید عامل جامه‌دار^{۶*}

۱- دانشجوی دکتری ریاضی کاربردی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲- مرکز تحقیقات ایمنولوژی، بخش التهاب و بیماری‌های التهابی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران. ۳- مدیر تصفیه‌خانه پرکندآباد یک، شرکت آب و فاضلاب مشهد، مشهد، ایران. ۴- کارشناس دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد، دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط‌زیست، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران. ۵- دانشجو کارشناسی ارشد ریاضیات زیستی، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۶- مرکز مقاومت‌های میکروبی، گروه میکروبی‌شناسی و ویروس‌شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

* (نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: AmelJS@mums.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

Abstract

One of the important problems in the field of water and wastewater treatment is the investigation of microbial air pollution and the release of suspended particles due to wastewater treatment. Harmful microorganisms in wastewater include different types of bacteria, fungi, etc. For this purpose, two wastewater treatment plants, Khin-Arab and Parkand-Abad, which use deep and surface aeration processes, were studied. Sampling was conducted seasonally with a minimum distance of one meter from barriers, and at a height of 1.5 meters above ground level at both wastewaters. Nutrient agar, McConkey agar and Subrodextrose agar were used for environmental sampling, total number of samples was 400. Then intercropping was done to identify bacteria and fungi species. Analysis of results was carried out using SPSSMODELER18 and RAWGraphs software. Mean values for the density of bacteria were reported 26.98 CFU/plate at Khin-Arab and 26.11 CFU/plate at Parkand-Abad. Mean values for the density of fungi were reported as 4.71 CFU/plate at the Khin-Arab treatment plant and 4.40 CFU/plate at Parkand-Abad. Bacterial pollution, except during the spring, was higher at Khin-Arab compared to Parkand-Abad. The process of fungal pollution trend was similar between the two treatment plants, with no statistically significant difference observed. The two treatment plants have behaved almost the same in terms of the amount of pollution in the total sampling seasons, which can be influenced by various factors such as the larger size of the Khin-Arab treatment plant, more polluted units in the Khin-Arab treatment plant, and the difference in aeration systems.

Keywords: Wastewater Treatment Plant, Surface Aeration, Deep Aeration, Bioaerosol.

چکیده

یکی از موضوعات مهم در زمینه آب و فاضلاب، بررسی آلودگی میکروبی هوا و انتشار ذرات معلق ناشی از تصفیه فاضلاب است. میکروارگانیسم‌های مضر موجود در فاضلاب شامل انواع مختلفی از باکتری‌ها، قارچ‌ها و... می‌باشند. برای این منظور دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآباد یک که از فرآیند هوادهی عمقی و سطحی استفاده می‌کنند، بررسی شدند. نمونه‌برداری در چهار فصل و با رعایت حداقل فاصله یک متر از موانع و در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین در دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآباد یک انجام شد. برای نمونه‌برداری از محیط کشت نوترینت آگار، مک کانکی آگار و سابرویدکستروز آگار استفاده شد و تعداد کل نمونه‌ها ۴۰۰ نمونه بوده است. سپس کشت افتراقی جهت تشخیص گونه باکتری و قارچ انجام شد. آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزارهای SPSSMODELER18 و RAWGraphs انجام شد. میانگین تراکم باکتری در تصفیه‌خانه خین عرب ۲۶/۹۸ CFU/plate و در پرکندآباد یک ۲۶/۱۱ CFU/plate گزارش شد. میانگین تراکم قارچ در تصفیه‌خانه خین عرب ۴/۷۱ CFU/plate و در پرکندآباد یک ۴/۴۰ CFU/plate گزارش شد. آلودگی باکتری در تمام فصول به استثنا بهار، در تصفیه‌خانه خین عرب، بیشتر از پرکندآباد یک بوده است. روند آلودگی قارچی در دو تصفیه‌خانه تقریباً مشابه بوده و از نظر آماری تفاوت معناداری مشاهده نشد. دو تصفیه‌خانه از نظر میزان آلودگی در مجموع فصول نمونه‌برداری تقریباً رفتار مشابهی داشته‌اند، که عوامل مختلفی مانند وسعت بیشتر تصفیه‌خانه خین عرب، واحدهای آلوده بیشتر در تصفیه‌خانه خین عرب و تفاوت سیستم‌های هوادهی می‌تواند موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه فاضلاب، هوادهی سطحی، هوادهی عمقی، بیوآئروسول.

۶۰۰۰ مترمکعب در مدار بهره‌برداری قرار گرفته‌است. فرآیند تصفیه فاضلاب تصفیه‌خانه خین عرب، فرآیند ASBR است که یکی از متداول‌ترین فرآیندهای مؤثر جهت از بین بردن آلودگی‌های فاضلاب است. در این روش واحد هوادهی مشتمل بر دوازده حوض بیولوژیکی است. تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب، شامل ۱۲ واحد SBR می‌باشد که در آن به استفاده از دیفیوزر عملیات هوادهی و اکسیژن‌رسانی به صورت عمقی انجام می‌پذیرد.

تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد ۱ (شماره ۱ مشهد) در کناره جنوبی رودخانه کشف‌رود در شمال‌غرب مشهد واقع شده‌است. این تصفیه‌خانه در سال ۱۳۷۳ به هدف تصفیه فاضلاب‌های شهری و خانگی غرب مشهد با جمعیت حدود ۱۵۰،۰۰ نفر اجرا شد. این تصفیه‌خانه با دو مدول مجموعاً به ظرفیت ۱۵۰۰ متر مکعب در روز و با فرآیند لاگون هوادهی با اختلاط کامل در مساحتی به وسعت ۲۵ هکتار طراحی و اجرا شده‌است. که در آن با استفاده از هوادهای مکانیکی سطحی، هوادهی به باکتری‌های موجود در فرآیند بیولوژیکی انجام می‌شود.

روش تحقیق

نمونه‌برداری در چهار فصل، زمستان سال ۱۴۰۱، بهار، تابستان و پاییز سال ۱۴۰۲ در دو تصفیه‌خانه خین عرب با سیستم هوادهی عمقی و پرکندآباد یک با سیستم هوادهی سطحی، شهرستان مشهد انجام شد. در هر فصل نمونه‌برداری به مدت ۴ جلسه متوالی و فاصله زمانی هر ۶ روز یکبار (بر اساس توصیه سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا) انجام شد (Kermani و همکاران، ۲۰۱۵؛ Niazi و همکاران، ۲۰۱۵). در مجموع تعداد کل جلسات نمونه برداری ۱۶ جلسه و تعداد کل نمونه‌ها ۴۰۰ عدد (علاوه بر آن نقاط کنترل بالادست و پایین دست جهت باد) بوده است.

نمونه‌برداری در دو تصفیه‌خانه علاوه بر فاصله‌های ۲ و ۲۰ متر از سیستم‌های هوادهی سطحی و عمقی واحدهای مورد مطالعه، در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک از واحد اداری و آزمایشگاه و در تصفیه‌خانه خین عرب از دیو لجن، واحد دانه گیر، واحد لجن، طبقه همکف و طبقه یک واحد اداری نمونه‌برداری، با رعایت حداقل فاصله یک متر از موانع و در ارتفاع ۱٫۵ متری از سطح زمین انجام شد. همچنین مدت زمان نمونه‌برداری ۱ ساعت بود. برای نمونه‌برداری محیط کشت نوترینت آگار، مک کانکی آگار، برای کشت باکتری‌ها و برای کشت قارچ‌ها محیط سابرودکستروز آگار در پلیت هایی آماده شد، و در شرایط استریل به تصفیه‌خانه‌ها منتقل شد (لازم به ذکر است برای جلوگیری از رشد باکتری، به محیط کشت قارچ آنتی بیوتیک کلرامفنیکل و برای جلوگیری از رشد قارچ در محیط کشت باکتری آنتی بیوتیک سیکلوهاگزامید اضافه شد). بعد از نمونه‌برداری از هوا اطراف مکان‌های مورد مطالعه، جهت کشت باکتری و قارچ،

مدیریت منابع آب و فاضلاب یکی از چالش‌های اساسی در جوامع امروزی است و بهره‌مندی از آن در تصفیه آب و فاضلاب اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش رشد جمعیت، تعداد تصفیه‌خانه‌ها افزایش یافته است و بسیاری از آن‌ها در نزدیکی مناطق مسکونی قرار دارند لذا با این قاعده که تصفیه‌خانه‌ها باید خارج از مناطق مسکونی باشند در تضاد است، با این حال با توجه به نقش حیاتی این تصفیه‌خانه‌ها در حفظ بهداشت عمومی و حفاظت از محیط‌زیست، آن‌ها می‌توانند عامل آلودگی محیطی نیز شناخته شوند. منابع اصلی آلودگی‌ها در فرآیند تصفیه فاضلاب عبارت است از باکتری‌های بیماری‌زا، قارچ‌ها، ویروس‌ها و همچنین ذراتی که دارای منشا بیولوژیکی هستند. این آلودگی‌ها به سلامت انسان آسیب می‌رسانند و ممکن است باعث بروز برخی بیماری‌ها و عوارض برای کارکنان و ساکنین اطراف تصفیه‌خانه‌ها شوند. این بیماری‌ها می‌توانند شامل عفونت‌های پوستی و تنفسی، عفونت‌های ویروسی، اختلالات گوارشی و ... باشند. در فرآیندهای هوادهی و اختلاط فاضلاب در تصفیه‌خانه‌ها، بیوائروس‌ها به عنوان منابع اصلی آلودگی عمل می‌کنند (Kowalski و همکاران، ۲۰۱۷).

Wang و همکاران (۲۰۱۹) مخزن هوادهی را به عنوان منبع بیوائروس‌های باکتریایی در تصفیه‌خانه فاضلاب شناسایی کردند (۲۰۱۹) و Heinonen و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند بیشترین غلظت بیوائروس‌ها در دانه‌گیری به روش هوادهی می‌باشد. Heinonen و همکاران (۲۰۰۹) و Li و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند بیشترین میزان آلودگی باکتریایی مربوط به بخش آبگیری لجن و بیشترین میزان آلودگی قارچی مربوط به دانه‌گیر می‌باشد (Li و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج پژوهش Wlazlo و همکاران (۲۰۲۰) بیان می‌کند سیستم‌های هوادهی سبب انتشار بیشترین بیوائروس‌ها در هوای تصفیه‌خانه فاضلاب می‌شوند. شهر مشهد، به عنوان یکی از کلان‌شهرهای ایران، دارای تصفیه‌خانه‌های متعدد برای مدیریت آب و فاضلاب است. تصفیه‌خانه‌های این شهر عمدتاً شامل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های آب شرب می‌باشد. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که مسئولیت تصفیه فاضلاب خانگی و صنعتی را بر عهده دارند مکانیسم تصفیه متفاوتی دارند. این تصفیه‌خانه‌ها معمولاً از فناوری‌های مدرن برای کاهش آلودگی و بازیابی منابع آب استفاده می‌کنند. برای این منظور در این پژوهش دو تصفیه‌خانه با سیستم هوادهی سطحی و عمقی جهت مقایسه تاثیر آن‌ها بر آلودگی باکتری‌ها و قارچ‌های هوا برد در نظر گرفته شده است.

تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب (شماره ۵ مشهد) در شمال مشهد با فاصله از محدوده شهر در حدود ۱۵ کیلومتر در سال ۱۳۹۶ ساخته شده است. این تصفیه‌خانه حدود ۵۳۰ هزار نفر را تحت پوشش قرار می‌دهد. در حال حاضر، تصفیه‌خانه با ظرفیت روزانه حدود

پلیت ها به آزمایشگاه منتقل شد، در آزمایشگاه کشت افتراقی جهت تشخیص نوع و تراکم باکتری ها و قارچ ها انجام شد. انواع محیط های افتراقی برای باکتری ها شامل: TSI Agar، Simmon، Urea Agar، Citrate، SIM و Bile Esclane Agar بود. در صورت رشد در محیط نوترینت آگار و عدم رشد در محیط مک کانکی آگار، باکتری گرم مثبت می باشد که در این مرحله یک اسمیر رنگ آمیزی گرم تهیه شد، سپس مشخص شد، کوکسی یا باسیل گرم مثبت است. در کوکسی های گرم مثبت کاتالاز مثبت (مانند: استافیلوکوک، میکروکوک و...)؛ تست های مانیتول سالت آگار، DNase، کوآگولاز لوله ای، Clumping Factor، حساسیت به باسیتراسین و نوویوسین و تست اوره آز برای تشخیص انواع گونه های این گروه از باکتری ها استفاده شد. در کوکسی های گرم مثبت کاتالاز منفی (انواع استرپتوکوک ها و...)؛ تست های بایل اسکولین، PYR، همولیز در آگار خون دار، حلالیت در صفرا، تست کمپ و حساسیت به اپتوجین و باسیتراسین برای تشخیص انواع گونه های این گروه از باکتری ها استفاده شد. اگر رشد میکروارگانیسم ها روی محیط مک کانکی آگار دیده شد، دلیل بر گرم منفی بودن باکتری بوده و پس از رنگ آمیزی گرم، برای تأیید نهایی، تست های اکسیداز، تخمیر قندهای گلوکز و لاکتوز، تولید H_2S ، تولید گازهای CO_2 و H_2 ، حرکت، تولید اندل، تولید آنزیم اوره آز و مصرف سیترات برای تشخیص انواع گونه های این گروه از باکتری ها استفاده شد. برای تشخیص انواع گونه های قارچ، در آزمایشگاه قارچ شناسی پلیت ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد قرار داده شد و سپس کلنی ها بررسی شد. در این مرحله از تمام کلنی های قارچی رشد یافته در پلیت، نمونه مرطوب با استفاده از محلول لاکتوفنل کانتن بلو تهیه شد. سپس نوع و تعداد کلنی قارچ بر اساس شواهد ماکروسکوپی و میکروسکوپی تعیین شد. سپس آنالیز نتایج با استفاده از نرم افزار SPSSMOD-ELER18، EXCEL و Row Graph انجام شد.

شماره دستورالعمل ها بر اساس آزمایشگاه مرجع سلامت وزارت بهداشت به شرح زیر است:

- کد دستورالعمل آماده سازی، تهیه و کنترل کیفی محیط های کشت (M-01)

- کد دستورالعمل جداول شناسایی میکروارگانیسم ها (M-03)

- کد دستورالعمل راهنمای رنگ آمیزی گرم (M-12)

این دستورالعمل ها به دلیل نقش کلیدی آنها در استانداردسازی فرآیندهای آزمایشگاهی و کنترل کیفیت در تشخیص و ارزیابی میکروارگانیسم ها، در این مقاله گنجانده شده اند.

نتایج

در این بخش توصیفی از نتایج مقایسه آلودگی باکتریایی و قارچی برای دو تصفیه خانه به تفکیک جلسات مختلف نمونه برداری،

تفاوت در نوع منطقه (سرپوشیده و باز) در دو تصفیه خانه، سرعت باد و تغییرات دما آورده شده است. در ادامه برای بررسی دقیق تر از آزمون های آماری مرتبط با فرضیات استفاده شده است؛ برای مقایسه میزان تراکم باکتری و قارچ در دو تصفیه خانه از آزمون T مستقل، برای مقایسه آلودگی باکتری و قارچ در دما و سرعت مختلف از آزمون آنوا استفاده شد.

طبق آزمون های آماری انجام شده میانگین تراکم باکتری در خین عرب $CFU/plate$ ۲۶/۹۸ و در پرکندآباد یک $CFU/plate$ ۲۶/۱۱ است. میانگین تراکم باکتری در خین عرب از میانگین تراکم باکتری در پرکندآباد یک، کمی بیشتر است. همچنین میزان تراکم قارچ در خین عرب $CFU/plate$ ۴/۷۱ و در پرکندآباد یک $CFU/plate$ ۴/۴۰ است. میانگین تراکم قارچ در خین عرب بیشتر از پرکندآباد یک است.

در تصفیه خانه خین عرب، کمترین پراکندگی آلودگی باکتریایی در اردیبهشت ماه مشاهده شد و در تیر و مهر، پراکندگی آلودگی باکتریایی در تمام نقاط تصفیه خانه یکسان بود. در تصفیه خانه پرکندآباد یک نیز، در اسفند ماه کمترین پراکندگی آلودگی باکتریایی ثبت گردید و در سایر ماه ها پراکندگی آلودگی باکتریایی در تمام نقاط تصفیه خانه تقریباً یکسان بود. این نتایج نشان دهنده تأثیر عوامل محیطی، از جمله دما و سرعت باد، بر سطح آلودگی باکتریایی و قارچی در تصفیه خانه ها است (شکل ۱).

مقایسه آلودگی باکتریایی بین دو تصفیه خانه پرکندآباد یک و خین عرب در شانزده جلسه نمونه برداری نشان می دهد که تصفیه خانه خین عرب در جلسه دوم ($1401/12/04$) و تصفیه خانه پرکندآباد یک در جلسه چهارم ($1401/12/18$) بیشترین میزان آلودگی خارج از بازه منطقی را داشته اند. همچنین، تصفیه خانه خین عرب در جلسات اول، هشتم و چهاردهم بیشترین پراکندگی را ثبت کرده و کمترین مقدار پراکندگی را در جلسات سوم و چهارم داشته است. به طور مشابه، تصفیه خانه پرکندآباد یک در جلسه هشتم بیشترین پراکندگی و در جلسات دوم، سوم و چهارم کمترین مقدار پراکندگی را نشان داده است (شکل ۲).

در مقایسه آلودگی قارچی، هر دو تصفیه خانه خین عرب و پرکندآباد یک در جلسه هشتم ($1402/03/08$) بیشترین آلودگی خارج از بازه منطقی را نشان می دهند. با توجه به شکل (۳)، مشخص می شود که در اردیبهشت ماه، هر دو تصفیه خانه نیز دارای بیشترین پراکندگی قارچی بوده و در سایر ماه ها پراکندگی قارچی مشابهی دارند. بیشترین پراکندگی آلودگی در خین عرب در جلسات پنجم، هفتم و هشتم و در پرکندآباد یک در جلسات پنجم و هفتم مشاهده شده است، در حالی که کمترین پراکندگی نیز در چند جلسه بعدی در هر دو تصفیه خانه ثبت گردیده است (شکل ۳ و ۴). با توجه به نتایج آزمون لون و آزمون تی میزان پراکندگی تراکم باکتری و قارچ در دو تصفیه خانه یکسان می باشد و اختلاف معناداری میان تراکم باکتری بین این دو تصفیه خانه وجود ندارد.

تراکم باکتری در پرکنده‌آباد یک در ابتدا پایین‌تر از تراکم باکتری در خین عرب قرار دارد. هر دو روند حرکتی نوسانی را نشان می‌دهند و ابتدا کاهش و سپس افزایش را تجربه می‌کنند. به‌طور مشابه، تراکم قارچ در پرکنده‌آباد یک نیز در ابتدای کار پایین‌تر از تراکم قارچ در خین عرب است، ولی پس از افزایش، به کاهش می‌انجامد و در برخی نقاط به شدت به هم نزدیک می‌شوند. این الگوهای مشابه در تغییرات باکتری و قارچ می‌تواند به تأثیرات محیطی و شرایط عملیاتی مشترک در این دو تصفیه‌خانه اشاره داشته باشد (شکل ۵ و ۶).

نتایج حاصل از آزمون آنوا (آنالیز واریانس) مقایسه آلودگی باکتری و قارچ در تصفیه‌خانه‌های پرکنده‌آباد یک و خین عرب در سرعت باد مختلف، نشان داد، بالاترین میانگین آلودگی باکتری مربوط به سرعت باد بیشتر از ۱۲ km/h و کمترین آن مربوط به سرعت باد کمتر از ۷ km/h می‌باشد. همچنین بالاترین میانگین آلودگی قارچ مربوط به سرعت باد بیشتر از ۱۲ km/h و کمترین آن مربوط به سرعت باد ۷ تا ۱۲ km/h می‌باشد. در نتایج آزمون، سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد و به این معناست که در سرعت باد مختلف در حوضچه‌های هوادهی آلودگی‌های مختلف باکتریایی و قارچی وجود دارد.

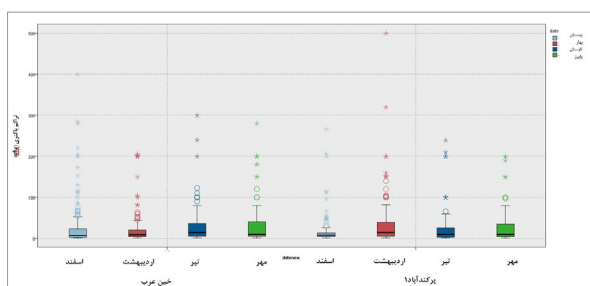
آزمون آنوا مقایسه آلودگی باکتری و قارچ در تصفیه‌خانه‌های پرکنده‌آباد یک و خین عرب در دمای مختلف نشان داد، بالاترین میانگین آلودگی باکتری مربوط به دمای کمتر از ۱۴ درجه سانتیگراد و کمترین آن مربوط به دمای بین ۱۴ و ۲۴ درجه سانتیگراد است. بیشترین میانگین آلودگی قارچی مربوط به دمای بیشتر از ۲۴ درجه سانتیگراد و کمترین آن مربوط به دمای بین ۱۴ و ۲۴ درجه سانتیگراد است. از آنجایی که، سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد آلودگی باکتریایی و قارچی در دماهای مختلف متفاوت می‌باشد. به‌طورکلی، از نظر نوع و فراوانی باکتری، در تصفیه‌خانه خین عرب، GPB با میزان ۱۱۸۴۸ CFU و *Corynebacterium spp* با CFU ۴۳۷۱ بیشترین مقادیر آلودگی را دارند؛ درحالی‌که در تصفیه‌خانه پرکنده‌آباد یک، GPB با CFU ۸۲۰۶ و *Corynebacterium spp* با CFU ۲۱۳۹ بالاترین میزان آلودگی را نشان می‌دهند. همچنین، از نظر قارچ، در خین عرب، *Aspergillus* با CFU ۸۴۴ و *Alternaria* با CFU ۵۶۰ و *spp* با CFU ۵۸۷ و در پرکنده‌آباد یک، *Alternaria* با CFU ۵۶۰ و *Yeast* با CFU ۲۴۹ بیشترین مقادیر آلودگی را دارند.

با توجه به شکل (۱) در تصفیه‌خانه خین عرب اردیبهشت ماه کمترین پراکندگی آلودگی باکتریایی مشاهده شد و در تیر و مهر پراکندگی آلودگی باکتریایی در تمام نقاط تصفیه‌خانه یکسان می‌باشد. در تصفیه‌خانه پرکنده‌آباد یک در اسفند ماه کمترین پراکندگی آلودگی باکتریایی مشاهده شد، و در سایر ماه‌ها پراکندگی آلودگی باکتریایی در تمام نقاط تصفیه‌خانه تقریباً یکسان می‌باشد.

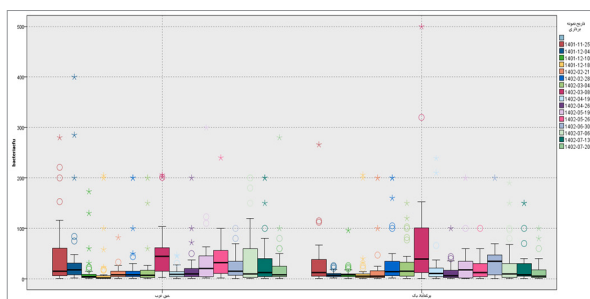
شکل (۲) مربوط به مقایسه آلودگی باکتریایی میان دو تصفیه‌خانه پرکنده‌آباد یک و خین عرب می‌باشد. این مقایسه به تفکیک در

دو تصفیه‌خانه در شانزده جلسه صورت گرفته است. این نمودار نشان می‌دهد تصفیه‌خانه خین عرب در جلسه دوم (۱۴۰۱/۱۲/۰۴) بیشترین میزان آلودگی خارج از بازه منطقی و تصفیه‌خانه پرکنده‌آباد یک نیز در جلسه چهارم (۱۴۰۱/۱۲/۱۸) بیشترین میزان آلودگی خارج از بازه منطقی را داشته است. تصفیه‌خانه خین عرب در جلسات اول (۱۴۰۱/۱۱/۲۵)، هشتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۸) و چهاردهم (۱۴۰۲/۰۷/۰۶) بیشترین میزان پراکندگی را داشته است و در جلسات سوم (۱۴۰۱/۱۲/۱۰) و چهارم (۱۴۰۱/۱۲/۱۸) کمترین میزان پراکندگی را داشته است. همچنین تصفیه‌خانه پرکنده‌آباد یک در جلسه هشتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۸) بیشترین میزان پراکندگی و در جلسات دوم (۱۴۰۱/۱۲/۰۴) و سوم (۱۴۰۱/۱۲/۱۰) و چهارم (۱۴۰۱/۱۲/۱۸) کمترین میزان پراکندگی را داشته است.

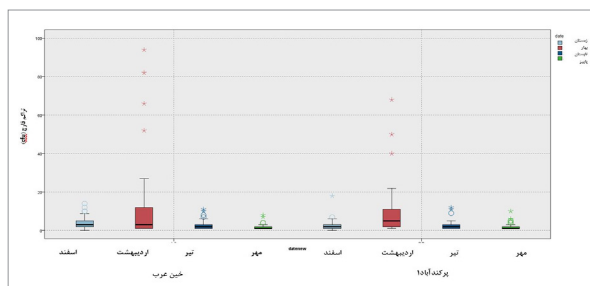
باتوجه به شکل (۳) هر دو تصفیه‌خانه در اردیبهشت ماه بیشترین پراکندگی قارچی و سایر ماه‌ها پراکندگی قارچی مشابهی دارند.



شکل ۱- مقایسه آلودگی باکتریایی به تفکیک ماه‌ها میان دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکنده‌آباد یک

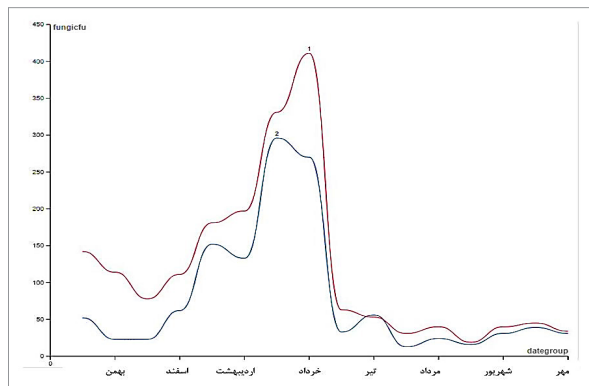


شکل ۲- مقایسه آلودگی باکتریایی به تفکیک جلسات میان دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکنده‌آباد یک



شکل ۳- مقایسه آلودگی قارچی به تفکیک ماه‌ها میان دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکنده‌آباد یک

براساس شکل (۶) در ابتدا منحنی آبی که نشان‌دهنده تراکم قارچ در پرکندآباد یک است پایین‌تر از منحنی قرمز که نشان‌دهنده تراکم قارچ در خین عرب است قرار دارد. هر دو منحنی افزایش و سپس کاهش یافته است و در برخی مواقع بسیار به هم نزدیک شده‌اند.



شکل ۶- روند آلودگی قارچی دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآبادیک
(رنگ قرمز تصفیه‌خانه خین عرب - رنگ آبی تصفیه‌خانه پرکندآبادیک)

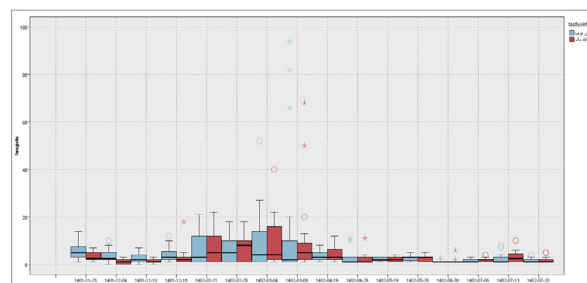
با توجه به شکل (۷) شماره یک تصفیه‌خانه خین عرب و شماره دو تصفیه‌خانه پرکندآبادیک می‌باشد. در این نمودار باکتری GPB با عدد ۱۱۸۴۸ و سپس *Corynebacterium spp* با عدد ۴۳۷۱ مربوط به تصفیه‌خانه خین عرب که به ترتیب بیشترین مقدار را دارد. همچنین باکتری GPB با عدد ۸۲۰۶ و سپس *Corynebacterium spp* با عدد ۲۱۳۹ مربوط به تصفیه‌خانه پرکندآبادیک، بیشترین مقدار را دارد.



شکل ۷- انواع باکتری در دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآبادیک

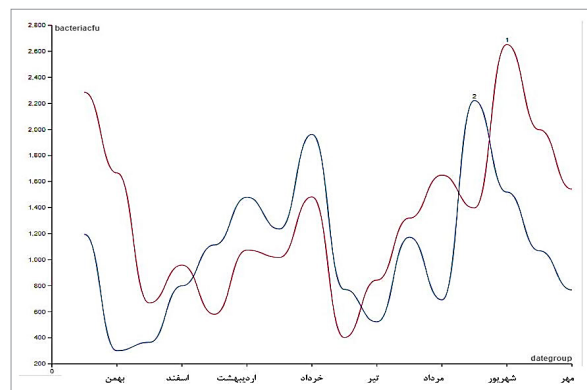
در شکل (۸) شماره یک تصفیه‌خانه خین عرب و شماره دو تصفیه‌خانه پرکندآبادیک می‌باشد. قارچ *Alternaria* با عدد ۸۴۴ و سپس *Aspergillus Spp* با عدد ۵۸۷ در تصفیه‌خانه خین عرب به ترتیب بیشترین مقادیر را دارد. همچنین *Alternaria* با عدد ۵۶۰ و سپس *Yeast* با عدد ۲۴۹ در تصفیه‌خانه پرکندآبادیک به ترتیب بیشترین مقادیر را دارد.

شکل (۴) مربوط به مقایسه آلودگی قارچی میان دو تصفیه‌خانه پرکندآبادیک و خین عرب می‌باشد. این مقایسه به تفکیک در دو تصفیه‌خانه و در شانزده جلسه صورت گرفته است. این نمودار نشان می‌دهد تصفیه‌خانه خین عرب در جلسه هشتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۸) بیشترین میزان آلودگی خارج از بازه منطقی و تصفیه‌خانه پرکندآبادیک یک نیز در جلسه هشتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۸) بیشتری میزان آلودگی خارج از بازه منطقی را داشته است. تصفیه‌خانه خین عرب در جلسات پنجم (۱۴۰۲/۰۲/۲۱)، هفتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۴) و هشتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۸) بیشترین پراکندگی و در جلسات یازدهم (۱۴۰۲/۰۵/۱۹)، دوازدهم (۱۴۰۲/۰۵/۲۶)، سیزدهم (۱۴۰۲/۰۶/۳۰)، چهاردهم (۱۴۰۲/۰۷/۰۶) و شانزدهم (۱۴۰۲/۰۷/۲۰) کمترین پراکندگی را داشته است و تصفیه‌خانه پرکندآبادیک در جلسات پنجم (۱۴۰۲/۰۲/۲۱) و هفتم (۱۴۰۲/۰۳/۰۴) بیشترین پراکندگی و در جلسات سوم (۱۴۰۱/۱۲/۱۰)، چهارم (۱۴۰۱/۱۲/۱۸)، یازدهم (۱۴۰۲/۰۵/۱۹)، سیزدهم (۱۴۰۲/۰۶/۳۰)، چهاردهم (۱۴۰۲/۰۷/۰۶) و شانزدهم (۱۴۰۲/۰۷/۲۰) کمترین پراکندگی را داشته است.



شکل ۴- مقایسه آلودگی قارچی به تفکیک جلسات میان دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآبادیک* (رنگ آبی تصفیه‌خانه خین عرب - رنگ قرمز تصفیه‌خانه پرکندآبادیک)

با توجه به شکل (۵) در ابتدا منحنی آبی که نشان‌دهنده تراکم باکتری در پرکندآبادیک است پایین‌تر از منحنی قرمز که نشان‌دهنده تراکم باکتری در خین عرب است قرار دارد. در حالی که هر دو منحنی در حال کاهش و سپس افزایش بوده و حرکت نوسانی دارند.



شکل ۵- روند آلودگی باکتریایی دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآبادیک
(رنگ قرمز تصفیه‌خانه خین عرب - رنگ آبی تصفیه‌خانه پرکندآبادیک)

در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک می‌تواند تاثیرگذار باشد. لیکن تفاوت‌ها به تفکیک متغیرهای پژوهش قابل بررسی بود، که در ادامه به بحث درباره آن پرداخته خواهد شد.

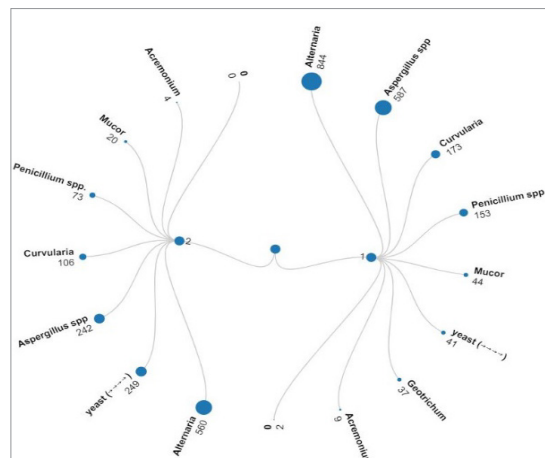
براساس بررسی‌های به عمل آمده، ارتباط معناداری بین تراکم باکتری و قارچ با دما وجود دارد، در دماهای پایین (مثل نمونه برداری در فصل زمستان) تراکم باکتری‌ها بیشتر بوده ولی با افزایش دما، باکتری‌ها رفتار متفاوتی را نشان دادند، که برای این بررسی، دمای روزهای نمونه برداری به سه گروه تقسیم‌بندی شد؛ دمای کمتر از ۱۴ درجه سانتیگراد، بین ۱۴ تا ۲۴ درجه سانتیگراد و دمای بیشتر از ۲۴ درجه سانتیگراد. همانطور که ذکر شد، بیشترین تراکم باکتری مربوط به دمای کمتر از ۱۴ درجه سانتیگراد و کمترین تراکم مربوط به دمای ۱۴ تا ۲۴ درجه سانتیگراد می‌باشد، با توجه به مشاهدات انجام شده در فصل تابستان که دمای هوا بیشترین مقدار را دارد، تراکم باکتری‌های مورد مشاهده از بقیه فصول کمتر مشاهده شد، که می‌تواند به علت عدم توانایی باکتری‌ها به مقاومت در دمای بالا باشد. درخصوص تراکم قارچ، بیشترین میزان آلودگی مربوط به دمای بالاتر از ۲۴ درجه و کمترین میزان آلودگی قارچی مربوط به دمای ۱۴ تا ۲۴ بوده است.

طبق آنالیز آماری، آلودگی باکتری در تمام فصول به استثنای فصل بهار در تصفیه‌خانه خین عرب، بیشتر از پرکندآباد یک بوده است. باتوجه به وسعت بیشتر واحدهای آلوده در تصفیه‌خانه خین عرب این مسئله قابل توجه می‌باشد.

روند آلودگی قارچی در دو تصفیه‌خانه تقریباً مشابه بوده است و از نظر آماری تفاوت معناداری مشاهده نشده است.

همچنین برای تاثیر سیستم‌های هوادهی بر آلودگی محیطی، فواصل نزدیک (۲ و ۲۰ متر) در نظر گرفته شد؛ طبق این بررسی‌ها، تصفیه‌خانه خین عرب آلودگی بیشتری نسبت به تصفیه‌خانه پرکندآباد یک دارد. باوجود سیستم هوادهی سطحی در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک، که ذرات آلوده را بیشتر به محیط اطراف پراکنده می‌کند، ولی با توجه به وجود فضاهای آلوده بیشتر (شامل، واحد لجن، واحد دانه‌گیر، دیو لجن) در تصفیه‌خانه خین عرب و همچنین وسعت بیشتر حوضچه‌های هوادهی این نتیجه قابل توجه می‌باشد. بررسی تراکم آلودگی باکتری و قارچی در تصفیه‌خانه در سرعت باد مختلف، نشان داد تفاوت معناداری میان سرعت باد، با تراکم باکتری و قارچ وجود دارد. تراکم باکتری در سرعت باد بیشتر از ۱۲ کیلومتر بر ساعت، بیشترین میزان و در سرعت باد کمتر از ۷ کیلومتر بر ساعت، کمترین میزان خود را داشته است. درخصوص تراکم قارچ، کمترین میزان آلودگی مربوط به سرعت باد بین ۷ تا ۱۲ کیلومتر بر ساعت بوده است و در سایر سرعت‌های باد رفتار مشابهی از خود نشان داده است.

جهت بررسی ارتباط متغیرهای پژوهش با تراکم باکتری و قارچ آزمون همبستگی اسپیرمن انجام شد و نتایج آن نشان داد تراکم باکتری با فاصله نمونه برداری، سرعت باد، رطوبت، دما و روز



شکل ۸- انواع قارچ در دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآباد یک

بحث

میکروارگانیسم‌های مضر موجود در فاضلاب شامل انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشند. طبق مطالعات مشابه که توسط Fracchia و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نمونه‌گیری‌های ثابت انجام شد، دریافتند که سطح انتشار و پراکندگی بیوائروس‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب با فصل مرتبط است (۴۶). پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که غلظت بیوائروس‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب بستگی به مواردی همچون محل نمونه‌گیری (Breza- Boruta و Paluszak، ۲۰۰۷)، نوع میکروارگانیسم‌ها، روش هوادهی (Kruczalak و Olanczuk-Neyman، ۲۰۰۴)، شرایط آب و هوایی (Malecka-Adamowicz و همکاران، ۲۰۱۱)، سرعت باد و رطوبت نسبی دارد (Carducci و همکاران، ۲۰۰۰؛ Karra و Katsivela، ۲۰۰۷). در این مطالعه با در نظر گرفتن تمامی موارد فوق در فاصله ۲ و ۲۰ متری از حوضچه‌های هوادهی به بررسی و مقایسه آلودگی در دو تصفیه‌خانه خین عرب با سیستم هوادهی عمقی و پرکندآباد یک با سیستم هوادهی سطحی پرداخته شد.

روند آلودگی قارچی و باکتریایی در دو تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآباد یک به گونه‌ای بود که، در جلسات مختلف رفتار متفاوتی مشاهده شد، به طوری که بعضی جلسات آلودگی‌های خارج از بازه منطقی، و در مقابل جلساتی پراکندگی آلودگی‌های باکتریایی و قارچی به شدت کم بود.

به‌طور کلی در میانگین آلودگی تصفیه‌خانه خین عرب با سیستم هوادهی عمقی با تصفیه‌خانه پرکندآباد یک با سیستم هوادهی سطحی تفاوت معناداری مشاهده نشد. به این معنا که دو تصفیه‌خانه از نظر میزان آلودگی در مجموع فصول نمونه برداری تقریباً رفتار مشابهی داشته‌اند، که عوامل مختلفی مانند: وسعت بیشتر حوضچه‌های هوادهی در تصفیه‌خانه خین عرب، واحدهای آلوده بیشتر در تصفیه‌خانه خین عرب و سیستم هوادهی سطحی

نمونه برداری ارتباط معنادار دارد و تراکم قارچ با دما، سرعت باد، رطوبت و روز نمونه برداری ارتباط معناداری دارد.

مطالعات مشابه دیگر مانند مطالعه‌ای که توسط Fernando Gotkowska- (۲۰۰۲)، Puxbaum و Schmid، (۲۰۰۵) و Plachta و همکاران (۲۰۱۳)، Małecka-Adamowicz و همکاران (۲۰۱۱)، Oppliger و همکاران، (۲۰۰۵)، Wlazło و همکاران (۲۰۰۲)، Bauer و همکاران (۲۰۰۲) و Xu و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد، سیستم هوادهی را عامل اصلی انتشار بیوآئروسول‌ها معرفی کردند. اما باتوجه به نتایج متفاوت مطالعه حاضر می‌توان این‌گونه عنوان کرد که عوامل مداخله‌گر می‌توانند تاثیر زیادی در میزان آلودگی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری داشته باشند.

بنابراین در معرض قرار گرفتن کارکنان تصفیه‌خانه مخصوصاً در مرحله هوادهی باید کاهش یابد تا از میزان ابتلای آن‌ها به بیماری‌هایی که بر اثر میکروارگانیسم‌های مضر موجود در تصفیه‌خانه‌ها ناشی می‌شود، کاسته شود. همچنین تسهیلات مناسبی برای بهداشت شخصی از جمله حمام و اتاق‌های تعویض لباس می‌تواند خطر آلودگی را به حداقل برساند (LeChevallier و همکاران، ۲۰۲۰). بیشترین جنس و گونه‌های باکتری‌های مورد مشاهده در دو تصفیه‌خانه شامل، باسیل‌های گرم مثبت و کورینه باکتریوم بود، مطالعات مشابه که توسط Prazmo و همکاران، (۲۰۰۳) و Kaarakainen و همکاران، (۲۰۱۱) و Gangamma و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، نشان داد باکتری‌های گرم مثبت بیشترین میکروارگانیسم‌های موجود در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بوده‌اند. بیشترین گونه‌های قارچی مورد مشاهده در تصفیه‌خانه خین عرب با سیستم هوادهی عمقی آلترناریا و پس از آن اسپرژیلوس بود، در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک با سیستم هوادهی سطحی بیشترین گونه قارچی مورد مشاهده اول آلترناریا و بعد از آن مخمر بوده است.

در رابطه با قارچ‌های مورد مشاهده می‌توان گفت؛ گونه آلترناریا بیشتر در نزدیکی سیستم‌های هوادهی، گونه کورولاریا در مناطق دورتر از حوضچه‌های هوادهی، به ویژه در نواحی خاکی، مشاهده شد. برخی گونه‌ها مانند موکور اصلا در فصل زمستان مشاهده نشد، پنسیلیوم در تمام فصول مشاهده شد ولی تراکم بیشتری در روزهایی که دمای محیط پایین‌تر بود، داشت.

به‌طور کلی، میانگین تراکم باکتری در تصفیه‌خانه خین عرب ۲۶/۹۸ CFU و در پرکند آباد یک ۲۶/۱۱ CFU گزارش شد. میانگین تراکم قارچ در تصفیه‌خانه خین عرب ۴/۷۱ CFU و در پرکندآباد یک ۴/۴۰ CFU گزارش شد.

اما نتیجه‌گیری به تفکیک متغیرهای پژوهش؛ در تصفیه‌خانه خین‌عرب، بیشترین آلودگی باکتریایی از حوضچه یک به سمت حوضچه اندازه‌گیری بای پس و کمترین آن مربوط به سمت هاضم لجن بود. بیشترین آلودگی قارچی مربوط به جهت هاضم لجن و کمترین آن از سمت حوضچه دوازده تا درب ورودی بود. همچنین در

مقایسه با واحدهای سرپوشیده، واحد لجن بیشترین آلودگی را داشت. در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک، بیشترین آلودگی باکتریایی مربوط به جهت نزدیک مقسم و کمترین آن مربوط به سمت ته‌نشینی شرقی بود. بیشترین آلودگی قارچی مربوط به جهت مقسم و کمترین آن مربوط به جهت ته‌نشینی غربی بود. همچنین یکی دیگر از مشاهدات این پژوهش بررسی میزان آلودگی درفضاهای سرپوشیده بود، طبق بررسی‌های انجام شده واحد لجن و آزمایشگاه از نظر باکتری و قارچ آلوده‌ترین مکان‌های بسته بودند. آلوده‌ترین فصل در تصفیه‌خانه خین عرب فصل زمستان و در تصفیه‌خانه پرکندآباد یک فصل بهار گزارش شد. طبق مطالعات مشابه که توسط که Fracchia و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نمونه‌گیری‌های ثابت انجام شد، دریافتند که سطح انتشار و پراکندگی بیوآئروسول‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب با فصل مرتبط است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولین محترم تصفیه‌خانه خین عرب و پرکندآباد یک به دلیل همکاری صمیمانه در طول دوره پژوهش داشتند تشکر و قدردانی نمایند. این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان مقایسه تأثیر روش هوادهی سطحی و عمقی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر تراکم و نوع باکتری‌ها و قارچ‌های هوا برد (مطالعه موردی تصفیه‌خانه فاضلاب خین عرب و پرکندآباد یک)، مصوب سال ۱۴۰۱ به کد ۸۱۳ می‌باشد که با حمایت شرکت آب و فاضلاب مشهد اجرا شده است.

منابع

- Bauer, H., Fuerhacker, M., Zibuschka, F., Schmid, H., & Puxbaum, H. (2002). Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants. *Water Research*, 36(16), 3965-3970.
- Breza-Boruta, B., & Paluszak, Z. (2007). Influence of Water Treatment Plant on Microbiological Composition of Air Bioaerosol. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(5), 663-670.
- Carducci, A., Tozzi, E., Rubulotta, E., Casini, B., Cantiani, L., Rovini, E., & Pacini, R. (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research*, 34(4), 1173-1178.
- Fernando, N. L., & Fedorak, P. M. (2005). Changes at an activated sludge sewage treatment plant alter the numbers of airborne aerobic microorganisms. *Water Research*, 39(19), 4597-4608. doi: [10.1016/j.watres.2005.08.010](https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.08.010)

- LeChevallier, M. W., Mansfield, T. J., & Gibson, J. M. (2020). Protecting wastewater workers from disease risks: Personal protective equipment guidelines. *Water Environment Research*, 92(4), 524-533. doi: [10.1002/wer.1249](https://doi.org/10.1002/wer.1249)
- Li, L., Gao, M., & Liu, J. (2011). Distribution characterization of microbial aerosols emitted from a wastewater treatment plant using the Orbal oxidation ditch process. *Process Biochemistry*, 46(4), 910-915. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.12.016>
- Małecka-Adamowicz, M., Donderski, W., & Dokładna, W. (2011). Microflora of Air in the Sewage Treatment Plant of Kapuściska in Bydgoszcz. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5), 1235-1242.
- Niazi, S., Hassanvand, M. S., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., Nabavi, S., & Moradi-Joo, M. (2015). Assessment of bioaerosol contamination (bacteria and fungi) in the largest urban wastewater treatment plant in the Middle East. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 16014-16021. doi: [10.1007/s11356-015-4793-z](https://doi.org/10.1007/s11356-015-4793-z)
- Oppliger, A., Hilfiker, S., & Vu Duc, T. (2005). Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. *Annals of Occupational Hygiene*, 49(5), 393-400. doi: [10.1093/annhyg/meh108](https://doi.org/10.1093/annhyg/meh108)
- Prazmo, Z., Kryszyska-Traczyk, E., Skorska, C., Sitkowska, J., Cholewa, G., & Dutkiewicz, J. (2003). Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 10(2), 241-8.
- Wang, Y., Li, L., Xiong, R., Guo, X., & Liu, J. (2019). Effects of aeration on microbes and intestinal bacteria in bioaerosols from the BRT of an indoor wastewater treatment facility. *Science of the total environment*, 648, 1453-1461. doi: [10.1016/j.scitotenv.2018.08.244](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.244)
- Wlazło, A., Pastuszka, J. S., & Łudzeń-Izbińska, B. (2002). Assessment of workers' exposure to airborne bacteria at a small wastewater treatment plant. *Medycyna pracy*, 53(2), 109-114.
- Xu, G., Han, Y., Li, L., & Liu, J. (2018). Characterization and source analysis of indoor/outdoor culturable airborne bacteria in a municipal wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Sciences*, 74, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.007>
- Fracchia, L., Pietronave, S., Rinaldi, M., & Martinotti, M. G. (2006). Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Research*, 40(10), 1985-1994. doi: [10.1016/j.watres.2006.03.016](https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.016)
- Gangamma, S., Patil, R., & Mukherji, S. (2011). Characterization and proinflammatory response of airborne biological particles from wastewater treatment plants. *Environmental science & technology*, 45(8), 3282-3287. doi: [10.1021/es103652z](https://doi.org/10.1021/es103652z)
- Gotkowska-Plachta, A., Filipkowska, Z., Korzeniewska, E., Janczukowicz, W., Dixon, B., Gołaś, I., & Szwalgin, D. (2013). Airborne microorganisms emitted from wastewater treatment plant treating domestic wastewater and meat processing industry wastes. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 41(5), 429-436. <https://doi.org/10.1002/clen.201100466>
- Heinonen-Tanski, H., Reponen, T., & Koivunen, J. (2009). Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants. *Water Research*, 43(9), 2558-2566. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.006>
- Kaarakainen, P., Rintala, H., Meklin, T., Kärkkäinen, P., Hyvärinen, A., & Nevalainen, A. (2011). Concentrations and diversity of microbes from four local bioaerosol emission sources in Finland. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(12), 1382-1392. doi: [10.1080/10473289.2011.628902](https://doi.org/10.1080/10473289.2011.628902)
- Karra, S., & Katsivela, E. (2007). Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research*, 41(6), 1355-1365. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.014>
- Kermani, M., Dehghani, A., Farzadkia, M., Nadafi, K., Bahrami Asl, F., & Zeinalzadeh, D. (2015). Investigation of airborne bacteria and fungi in Tehran's Shahrake Ghods WWTP and its association with environmental parameters. *Journal of Health*, 6(1), 57-68. .
- Kowalski, M., Wolany, J., Pastuszka, J., Płaza, G., Wlazło, A., Ulfig, K., & Malina, A. (2017). Characteristics of airborne bacteria and fungi in some Polish wastewater treatment plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 2181-2192. doi: [10.1007/s13762-017-1314-2](https://doi.org/10.1007/s13762-017-1314-2)
- Kruczalak, K., & Olanczuk-Neyman, K. (2004). Microorganisms in the Air Over Wastewater Treatment Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(5), 537-542

Effectiveness of Different Adsorbents in Removing Heavy Metals from Municipal Wastewater: A Review Study

A.R. Radkhah^{1*}, S. Eagderi², S. Atash Afrazah³

1, 2- Ph.D. Graduate and Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 3- Environmental Expert, Faculty of Natural Resources, Birjand University, Birjand, Iran.

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

Received: 12-07-2024

Revised: 07-09-2024

Accepted: 16-09-2024

Available Online: 08-03-2025

کارایی جاذب‌های مختلف در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری (مطالعه مروری)

علیرضا رادخواه^۱، سهیل ایگدری^۲، صدیقه آتش‌افرازه^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و دانشیار، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۳- کارشناس محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

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

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶

Abstract

Today, the removal of heavy metals from industrial and urban wastewater is considered as one of the serious issues and challenges facing humanity. The present study was carried out with the aim of investigating the efficiency of different adsorbents in removing heavy metals from municipal wastewater. In this study, various adsorbents such as natural adsorbents such as forest adsorbents, and wood waste, agricultural waste, fruit and vegetable peels, coal, and biochar were discussed. In addition, the role and application of nanoabsorbents, nanocomposites and carbon nanotubes in urban wastewater treatment were studied. The literature review showed that bioabsorbents are more beneficial for removing heavy metals from urban wastewater due to being economical and environmentally friendly. Natural materials that are usually used as adsorbents have different capacities to remove heavy metals from wastewater. Among the natural adsorbents, the use of agricultural residues, biochars and coal-based adsorbents has received more attention. However, most of the research has been done on a laboratory scale. According to the obtained information, nanoabsorbents can also remove toxic metals from municipal wastewater. Studies showed that the most widely used nanomaterials as adsorbents for removing heavy metals include graphene, iron oxide, magnesium oxide, activated carbon, manganese oxide, zinc oxide, titanium oxide, and carbon nanotubes. Despite the key role of nanomaterials in the removal of heavy metals, considering that these materials are still not cheap compared to traditional materials (such as activated carbon), the use of bioadsorbents can be effective in urban wastewater treatment.

Keywords: Heavy Metals, Natural Adsorbents, Municipal Wastewater, Agricultural Wastes, Nano Adsorbents.

چکیده

در عصر حاضر، حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی و شهری به‌عنوان یکی از مسائل جدی و چالش‌های پیش‌رو بشر به‌شمار می‌رود. پژوهش حاضر باهدف بررسی کارایی جاذب‌های مختلف در حذف فلزات سنگین از پساب شهری به اجرا درآمد. در این پژوهش، جاذب‌های مختلفی از قبیل جاذب‌های طبیعی مانند جاذب‌های جنگلی و ضایعات چوب، پسماندهای کشاورزی، پوست میوه و سبزیجات، زغال‌سنگ و بیوجار مورد بحث قرار گرفت. علاوه‌براین، نقش و کاربرد نانوجاذب‌ها، نانوکامپوزیت‌ها و نانولوله‌های کربنی در تصفیه پساب شهری مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی منابع علمی مختلف نشان داد جاذب‌های زیستی به دلیل اینکه از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه و همچنین دوستدار محیط‌زیست هستند، مطلوبیت بیشتری برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری دارند. مواد طبیعی که معمولاً به‌عنوان جاذب استفاده می‌شوند، دارای ظرفیت‌های متفاوتی برای حذف فلزات سنگین از پساب هستند. در بین جاذب‌های طبیعی، استفاده از پسماندهای کشاورزی، بیوجارها و جاذب‌های مبتنی بر زغال‌سنگ بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، اما بااین‌حال، بیشتر پژوهش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است. بر طبق اطلاعات به‌دست آمده، نانوجاذب‌ها نیز می‌توانند فلزات سمی را از پساب‌های شهری حذف نمایند. بررسی‌ها نشان داد پرمصرف‌ترین نانومواد به‌عنوان جاذب برای حذف فلزات سنگین شامل گرافن، اکسید آهن، اکسید منیزیم، کربن فعال، اکسید منگنز، اکسید روی، اکسید تیتانیوم و نانولوله‌های کربنی می‌باشند. باوجود نقش موثر نانومواد در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری، باتوجه‌به اینکه این مواد در مقایسه با مواد سنتی (مانند کربن فعال) هنوز ارزان نیستند، استفاده از جاذب‌های زیستی می‌تواند کارایی موثری در تصفیه پساب‌های شهری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، جاذب‌های طبیعی، پساب شهری، پسماندهای کشاورزی، نانوجاذب‌ها.

آب یک منبع طبیعی مهم است که حفظ آن در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار بسیار اهمیت دارد. از این رو، جلوگیری از آلوده شدن آب توسط آلاینده‌های مختلف و تصفیه آن در بسیاری از کشورهای جهان اولویت زیادی دارد. با این حال، برخی از فناوری‌های مورد استفاده برای تصفیه آب، آلاینده‌های ثانویه یا محصولات جانبی آزاد می‌کنند که باعث آلودگی بیشتر محیط‌زیست می‌شوند (Kwame Nti و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، دسترسی به فناوری‌های مقرون به صرفه و کارآمد برای تصفیه پساب یک ضرورت مهم محسوب می‌شود.

به طور کلی، جدا از منابع طبیعی و انسانی، دو نوع عمده آلاینده برای پساب وجود دارد که شامل آلاینده‌های آلی و معدنی می‌باشند. آلاینده‌های آلی شامل آفت‌کش‌ها، فنل‌ها، علف‌کش‌ها، نفت، رنگ‌ها، روغن‌ها، بی‌فنیل‌ها، چربی‌ها، پروتئین‌ها، نشاسته‌ها و داروها هستند، در حالی که آلاینده‌های معدنی حاوی کودهای شیمیایی و فلزات سنگین هستند (Elgarahy و همکاران، ۲۰۲۱). پساب حاصل از فعالیت‌های کشاورزی، صنایع و بخش خانگی حاوی مقادیر متفاوتی از آلاینده‌های معدنی به ویژه فلزات سنگین می‌باشد که در صورت انتشار در محیط، خطرات محیط‌زیستی متعددی به دنبال خواهند داشت (Khan و همکاران، ۲۰۰۸). در میان فلزات سنگین، مس (Cu)، جیوه (Hg)، کادمیوم (Cd)، قلع (Sn)، روی (Zn)، سرب (Pb)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نقره (Ag)، کروم (Cr)، کبالت (Co)، آرسنیک (As)، آلومینیوم (Al) و نیکل (Ni) از عناصر سمی به شمار می‌روند (Kolesnikov و همکاران، ۲۰۲۲). پساب‌های حاوی این عناصر بالقوه سمی (PTEs)^۱ به دلیل ماندگاری، تحرک و حلالیت بیشتر، به درستی تصفیه نمی‌شوند و ممکن است به همین صورت وارد محیط‌زیست و منابع آب شیرین شوند (Okoro و همکاران، ۲۰۲۳). این عناصر سمی می‌توانند توسط موجودات آبی، محصولات زراعی و سایر گونه‌های گیاهی جذب شوند و به زنجیره غذایی انسان راه پیدا کنند و در نتیجه اثرات منفی بر سلامت انسان برجای بگذارند (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰ الف، ۱۴۰۰ ب). از این رو، حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی و شهری به عنوان یکی از مسائل جدی و چالش‌های پیش‌رو در عصر حاضر به شمار می‌رود.

تاکنون فناوری‌های متعددی به منظور کاهش خطرات محیط‌زیستی و بهداشتی ناشی از پساب فلزات سنگین استفاده شد که جمله آن‌ها می‌توان به فرآیندهایی مانند فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس، رسوب شیمیایی و جذب سطحی/زیستی اشاره نمود (Nishat و همکاران، ۲۰۲۳). در بین تمام تکنیک‌های ذکر شده، روش جذب با استفاده از مواد مختلف برای تصفیه پساب ساده‌تر و مقرون به صرفه‌تر است. علاوه بر مزایای اولیه، این فرآیند باعث

آلودگی ثانویه ناشی از تولید محصولات جانبی نمی‌شود (Dehghani و همکاران، ۲۰۲۳). مواد معدنی و آلی (مانند خاک رس، کربن فعال، ژئولیت، مواد پلیمری، پسماندهای کشاورزی و غیره) که معمولاً به عنوان جاذب استفاده می‌شوند، ظرفیت‌های متفاوتی برای حذف آلاینده‌های خاص از پساب دارند (Gil و همکاران، ۲۰۲۱).

برخی از پژوهشگران، مواد جاذب را با ترکیب آن‌ها با سایر مواد شیمیایی اصلاح کرده‌اند تا ظرفیت جذب آلاینده‌ها را افزایش دهند (Tamjidi و همکاران، ۲۰۲۱). در پیشرفت‌های اخیر، فناوری نانو تقریباً در تمام زمینه‌های مورد علاقه بشر، از جمله پاک‌سازی محیط، خاک و مدیریت منابع طبیعی، به ویژه تصفیه پساب مورد استفاده قرار گرفته است (Alazaiza و همکاران، ۲۰۲۱). بسیاری از نانوجاذب‌ها برای حذف مواد آلی و معدنی از پساب استفاده می‌شوند و در بسیاری از موارد حتی از جاذب‌های سنتی موثرتر هستند (Anjum و همکاران، ۲۰۱۶). این جاذب‌ها شامل نانوذرات (NPs)^۲ مبتنی بر اکسید فلز، نانولوله‌های کربنی (CNTs)^۳، گرافیت، نانوکامپوزیت‌های گیاهی (NCs)^۴ و غیره هستند (Agasti و همکاران، ۲۰۲۲).

باتوجه به اثرات منفی پساب‌های حاوی فلزات سنگین بر محیط‌زیست و همچنین سلامت انسان، مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی جاذب‌های مختلف در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری در قالب یک مطالعه مروری به اجرا درآمد. در این مطالعه، جاذب‌های مختلفی از قبیل جاذب‌های طبیعی و همچنین، جاذب‌های صنعتی و رویکردهای مبتنی بر فناوری نانو مورد مطالعه قرار گرفتند.

روش‌های حذف فلزات سنگین از پساب

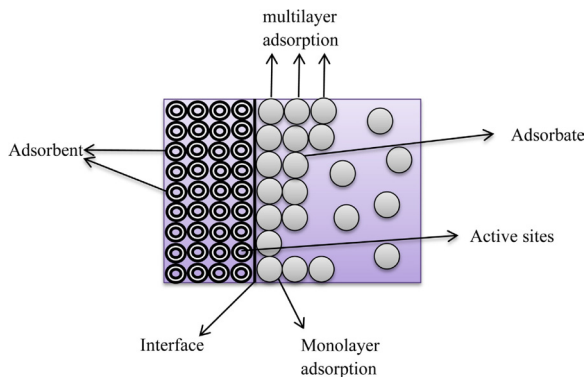
در این بخش، مهمترین روش‌های مورد استفاده برای حذف فلزات سنگین از پساب به صورت مختصر بررسی می‌شود.

۱- اسمز معکوس (RO)

فرآیند اسمز معکوس در حذف ترکیبات آلی و معدنی از پساب موثر است. در این روش، حذف ریزآلاینده‌های معدنی بسته به نوع پلیمر، مواد و شرایط عملیاتی اعمال شده بین ۹۵ تا ۱۰۰ درصد متغیر است (Kasongo و Aziz، ۲۰۲۱). در اسمز معکوس، پساب حاوی فلزات سنگین با فشار به سوی آن سوی قسمت از غشای نیمه‌تراوا که غلظت فلزات کمتر است، هدایت می‌شود. در این حالت، یون‌های فلزی امکان عبور از منافذ کوچک غشای نیمه‌تراوا را پیدا نمی‌کنند و به دام می‌افتند (Birniwa و همکاران، ۲۰۲۴).

۲- تبادل یونی

در سال‌های اخیر، فرآیند تبادل یونی به طور فزاینده برای حذف فلزات سنگین یا بازیافت فلزات گران‌بها استفاده شده است. در این روش، پساب از درون محیطی که به صورت انتخابی یون‌های



شکل ۱- طرح شماتیکی از فرآیند جذب (Soliman و Moustafa، ۲۰۲۰)

اگر فرآیند جذب روی سیستم‌های بیولوژیکی رخ دهد، به آن جذب زیستی (Biosorption) می‌گویند. جذب زیستی هم حذف فلز و هم بازیابی آن را با هم ادغام می‌کند. جذب زیستی به دلیل بازیابی آسان و مقرون به صرفه بودن جاذب موثر است (Rashid و همکاران، ۲۰۱۶). جاذب‌های زیستی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها، زباله‌های صنعتی، ضایعات کشاورزی، پسماندهای طبیعی و سایر مواد بیولوژیکی به طور گسترده برای جذب رنگ‌ها و فلزات سنگین از پساب‌های شهری و صنعتی استفاده می‌شوند (Soliman و همکاران، ۲۰۱۹). این جاذب‌های بیولوژیکی زنده یا مرده می‌توانند پتانسیل‌های مختلفی برای جذب فلزات داشته باشند، اما با این حال، فقط مواد زیستی کم هزینه با ظرفیت انباشتگی بالا، میل ترکیبی و سرعت سریع در جذب فلز می‌توانند به عنوان جاذب زیستی مناسب انتخاب شوند (Priya و همکاران، ۲۰۲۲). به عنوان مثال، قارچ‌ها به دلیل رشد آسان و انبوه و همچنین نیاز آن‌ها به یک بستر ارزان قیمت، می‌توانند گزینه مفیدی در تصفیه پساب باشند. در این رابطه، Aftab و همکاران (۲۰۱۷) از سویه‌های قارچی برای بازیابی یون‌های روی (Zn^{2+}) از پساب استفاده کردند و دریافتند که استفاده از جاذب‌های قارچی برای حذف و بازیابی یون‌های روی (Zn^{2+}) از پساب شهری مفید هستند. همچنین، این پژوهشگران بیان کردند برای بازیابی سایر یون‌های فلزات سنگین از پساب‌های شهری می‌توان از سویه‌های قارچی به عنوان جاذب‌های زیستی استفاده نمود. علاوه بر این، یون‌های فلزی جاذب را می‌توان بازیابی کرد و زیست توده آن را برای تصفیه مداوم پساب بازیافت نمود (Rashid و همکاران، ۲۰۱۶).

۱- سازوکار جذب

پدیده جذب دو پارامتر اصلی را توصیف می‌کند که شامل جاذب (adsorbent) و ماده جذب شونده (adsorbate) می‌باشد (Mortada و همکاران، ۲۰۱۵). در سطح جاذب، اتم‌های سطح بیرونی به طور کامل توسط سایر اتم‌های جاذب احاطه نشده‌اند، بنابراین می‌توانند مولکول‌های حاصل از مواد دیگر را جذب

فلزات سنگین را جذب می‌کند، عبور داده می‌شود. تبدلات یونی بین فلزات سنگین و سطح مواد مبادله کننده یونی (رزین) که در تماس با محلول هستند، موجب جذب فلزات سنگین روی سطح مواد مبادله کننده و تشکیل کمپلکس می‌شود. از روش تبادل یونی معمولاً برای بازیافت فلزات گران بها، کروم، نیکل و عناصر دیگر استفاده می‌شود (Al-Enezi و همکاران، ۲۰۰۴).

۳- رسوب شیمیایی

ته نشینی شیمیایی شامل افزودن مواد شیمیایی به پساب جهت تشکیل رسوبات نامحلول با فلزات سنگین است. از جمله مواد شیمیایی که برای این روش استفاده می‌شوند می‌توان به کلسیم هیدروکسید، سدیم هیدروکسید و کلرید آهن اشاره کرد. این مواد پس از افزودن به پساب موجب تشکیل رسوبات نامحلول با فلزات سنگین می‌شوند که به واسطه فیلتراسیون یا ته نشینی می‌توان آن‌ها را از پساب خارج نمود (Poater و Das، ۲۰۲۱).

۴- فیلتراسیون غشایی

فیلتراسیون غشایی نوعی فناوری جداسازی است که از یک غشاء برای جداسازی مواد هنگام اعمال نیروی محرکه در سراسر غشا استفاده می‌کند. فیلتراسیون غشایی، مواد آلاینده مانند فلزات سنگین را بر اساس اندازه منافذ غشا، غلظت محلول و فشار اعمال شده جدا می‌کند (Xiang و همکاران، ۲۰۲۲). در دهه‌های اخیر، فناوری‌های غشایی توجه فزاینده‌ای را برای تصفیه فلزات سنگین به خود جلب کرده‌اند. این روش به دلیل برخورداری از ویژگی‌های خاصی از جمله سادگی روش، هزینه پایین، نیاز به اشغال فضای اندک و همچنین امکان دستیابی به ضریب آلودگی زدایی بالا در فرآیندهای تصفیه پساب مورد توجه قرار گرفته‌اند (Mulder، ۲۰۰۲).

علاوه بر موارد ذکر شده، روش دیگری نیز برای حذف فلزات سنگین از پساب وجود دارد که شامل جذب سطحی/جذب زیستی می‌باشد. در ادامه، فرآیند جذب و سازوکار آن در حذف فلزات سنگین مورد بحث قرار می‌گیرد.

فرآیند جذب

فرآیند جذب، پدیده‌ای سطحی است که در آن اتم‌ها، یون‌ها یا مولکول‌های گاز، مایع یا جامد محلول به محل فعال جاذب می‌چسبند و از این رو لایه‌ای از ماده جذب شونده روی سطح جاذب ایجاد می‌کنند. همچنین، فرآیند جذب می‌تواند به عنوان حذف ماده از مایع یا گاز توسط یک فاز جامد تعریف شود (Czelej و Kurzydłowski، ۲۰۱۶). فرآیند جذب در سیستم‌های متعددی از جمله سیستم‌های شیمیایی، فیزیکی، طبیعی و بیولوژیکی مشاهده شده است. علاوه بر این، فرآیند مذکور به طور گسترده در کاربردهای صنعتی مانند کاتالیزورهای ناهمگن، چیلرهای جذب و تصفیه آب استفاده می‌شود (Mortada و همکاران، ۲۰۱۵).

کنند. وقوع فرآیند جذب معمولاً به این دلیل است که اتم‌های جاذب که روی سطح قرار می‌گیرند، در مقایسه با اتم‌های واقع در قسمت‌های عمده ماده، در محیط یکسانی نیستند (Soliman و همکاران، ۲۰۱۹). اتم‌های مستقر روی سطح جاذب توسط ذرات مجاور از همه طرف احاطه نشده‌اند، این امر باعث می‌شود که مولکول‌های سطح انرژی بیشتری نسبت به مولکول‌های موجود در قسمت‌های عمده ماده داشته باشند، از این رو، آن‌ها نیروهای جاذبه دارند. این نیروی جاذبه در واحد سطح تعریف می‌شود و تحت عنوان "انرژی سطح" که مسئول جذب یون‌های فلزی روی سطح جاذب می‌باشد، شناخته می‌شود (Moustafa و Soliman، ۲۰۲۰). کارایی فرآیند جذب با افزایش سطح جاذب در فشار و دمای خاص افزایش می‌یابد (Da browski، ۲۰۰۱).

۲- نوع جذب

فرآیند جذب را می‌توان باتوجه به نیروی جاذبه بین جاذب و ماده جذب شونده به دو دسته اصلی تقسیم کرد. هنگامی که ذرات جذب شونده توسط نیروی ضعیف واندروالس به ذرات سطحی جاذب متصل می‌شوند، جذب را جذب فیزیکی (Physisorption) می‌گویند. اگر ذرات جذب شونده با نیروی جاذبه قوی ناشی از پیوندهای شیمیایی کووالانسی یا یونی به جاذب متصل شوند، جذب را جذب شیمیایی (Chemisorption) می‌نامند (Da browski، ۲۰۰۱).

- **جذب فیزیکی (Physisorption):** جذب فیزیکی معمولاً در دمای پایین اتفاق می‌افتد و با افزایش دما طبق اصل لوشاتلیه ($Le-$ Chatelier's principle) کاهش می‌یابد. نیرویی که ذرات جذب

شونده را نگه می‌دارد، نیروی واندروالس (Vander Waal) است که هیچ ترجیحی برای جذب شونده‌های خاص نشان نمی‌دهد. فرآیند فیزیکی با دمای پایین جذب خود نیازی به انرژی فعال‌سازی ندارد و یک لایه چند مولکولی با ماهیت برگشت‌پذیر تشکیل می‌دهد (Soliman و Moustafa، ۲۰۲۰). جذب فیزیکی عمدتاً به مساحت سطح جاذب‌ها بستگی دارد، از این رو سرعت جذب مواد با افزایش سطح جاذب افزایش می‌یابد. در فرآیند فیزیکی، به دلیل نیروی ضعیف جذب، آنتالپی جذب بسیار پایین (۲۰-۴۰ کیلوژول بر مول) است (Da browski، ۲۰۰۱).

- **جذب شیمیایی (Chemisorption):** فرآیند جذب شیمیایی تنها در صورتی مشاهده می‌شود که توانایی ایجاد پیوند شیمیایی بین ماده جذب شونده و جاذب وجود داشته باشد. از نمونه‌های جذب شیمیایی می‌توان به جذب اکسیژن و هیدروژن با فلز به واسطه تشکیل هیدرید اکسیدهای فلزی اشاره کرد. جذب شیمیایی از نوع جذب لایه تک مولکولی با ویژه‌مندی بالا (High specificity) بوده و در دمای بالا رخ می‌دهد و نیاز به انرژی فعال‌سازی و دمای بالای جذب دارد (Rashid و همکاران، ۲۰۱۶). فرآیند جذب شیمیایی شامل تشکیل یک ترکیب جدید است، از این رو ماهیت برگشت‌ناپذیر و ارزش آنتالپی بالایی (۲۴۰-۸۰ کیلوژول بر مول) دارد (Da browski، ۲۰۰۱). فرآیند جذب شیمیایی مانند جذب فیزیکی به سطح جاذب و دمای جذب بستگی دارد، به طوری که با افزایش میزان این دو عامل، جذب شیمیایی افزایش می‌یابد (Soliman و Moustafa، ۲۰۲۰). برای توضیح بیشتر، جدول (۱) مقایسه‌ای بین فرآیند جذب فیزیکی و جذب شیمیایی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه بین فرآیندهای جذب فیزیکی و شیمیایی (Moustafa و Soliman، ۲۰۲۰)

پارامترها	جذب فیزیکی	جذب شیمیایی
نیروی جذب	نیروی ضعیف (نیروهای واندروالس)	نیروهای ویژه، پیوند شیمیایی یونی یا کووالانسی
ویژه‌مندی (Specificity)	غیرویژه (unspecific)	خیلی ویژه (Very specific)
لایه‌های جذب شده	تشکیل لایه‌های چند مولکولی	تشکیل لایه‌های تک مولکولی
ماهیت	ماهیت برگشت‌پذیر	ماهیت برگشت‌ناپذیر
دما	در دمای بالا نامطلوب است و با کاهش دما افزایش می‌یابد.	در دمای بالا مطلوب است و با افزایش دما افزایش می‌یابد.
آنتالپی جذب	آنتالپی پایین (۲۰-۴۰ کیلوژول بر مول)	آنتالپی بالا (۲۴۰-۸۰ کیلوژول بر مول)
مساحت سطح	با افزایش مساحت سطح، افزایش می‌یابد	با افزایش مساحت سطح، افزایش می‌یابد
فشار	با افزایش فشار، افزایش می‌یابد	با افزایش فشار، افزایش می‌یابد
انرژی فعال‌سازی	مورد نیاز نیست	انرژی فعال‌سازی بالا مورد نیاز است

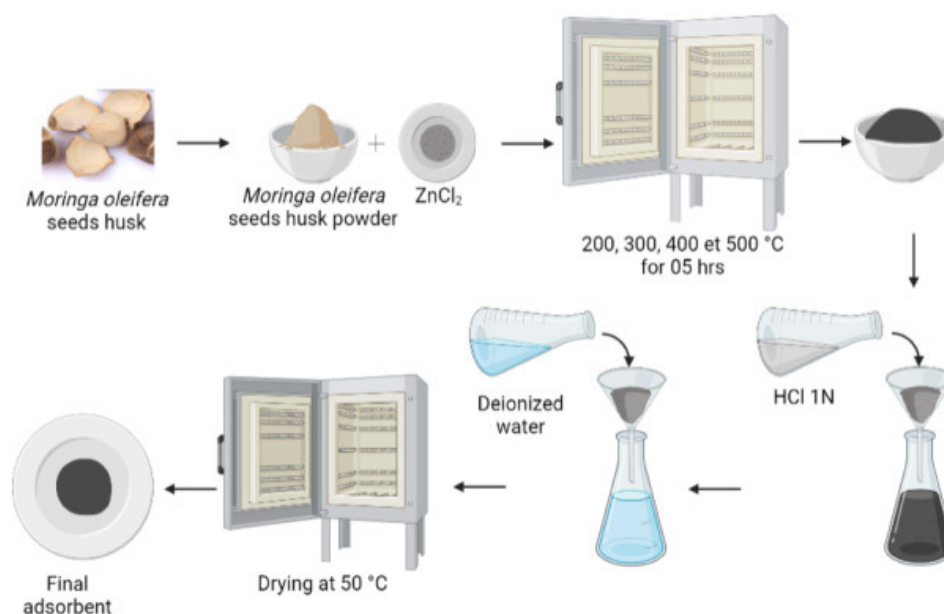
فرآیندهای تهیه جاذب

به طور کلی، پروسه تهیه جاذب‌ها باتوجه به منشأ و منبع آن‌ها متفاوت است. از این رو، مراحل تهیه جاذب‌ها در مطالعات مختلف، متفاوت می‌باشد. در این بخش، فرآیند تهیه جاذب‌ها در برخی از مطالعات

انجام گرفته بررسی می‌شود. در پژوهش Khalfaoui و همکاران (۲۰۲۲)، از پوسته گیاه مورینگا (*Moringa Oleifera*) به عنوان ماده اولیه برای تهیه کربن فعال به منظور حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری استفاده شد. در شکل (۲) مراحل اصلی تهیه این جاذب به صورت شماتیک نشان داده شده است. براساس پژوهش

Khalfaoui و همکاران (۲۰۲۲)، پوسته گیاه مورینگا (*M. Oleifera*) جمع‌آوری شده در آفتاب خشک شده و سپس با استفاده از آسیاب خانگی پودر شدند. ۲۵ گرم از پودر حاصل از پوسته گیاه و ۵۰ گرم از روی کلرید ($ZnCl_2$) به منظور فعال‌سازی شیمیایی در بوتله سرمایی قرار داده شدند. مخلوط به دست آمده به چهار نمونه تقسیم شد و هر نمونه در یک کوره (با دماهای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت

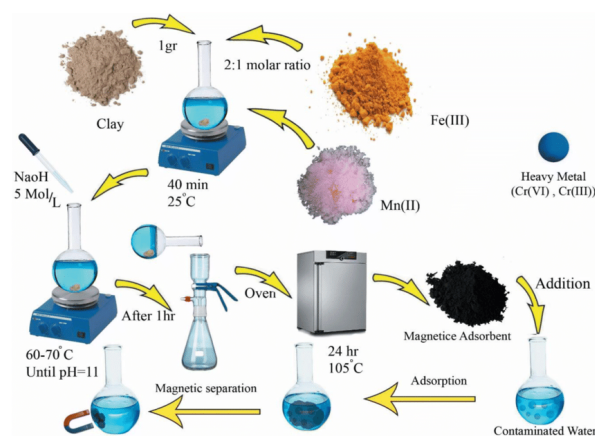
۵ ساعت با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه قرار گرفت. سپس، پوسته‌های گیاه کریونیزه شده، پنج بار با اسید کلریدریک ۱ مولار شستشو شد تا ناخالصی‌های کلرید روی حذف شود. سپس از آب دیونیزه برای شستشوی بیشتر برای حذف هیدروژن کلرید (HCl) استفاده شد. در نهایت، پودر نهایی به دست آمده از پوسته‌های گیاه مورینگا (*M. Oleifera*) به عنوان کربن فعال برای جذب آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین از پساب استفاده می‌شود.



شکل ۲- نمایش شماتیک از مراحل اصلی تهیه جاذب (Khalifaoui و همکاران، ۲۰۲۲)

Ahmadi و همکاران (۲۰۲۰) از بنتونیت خاک رس و کامپوزیت بنتونیت خاک رس با $MnFe_2O_4$ به عنوان جاذب‌های کارآمد برای جذب یون‌های کروم (III) و کروم (VI) از پساب استفاده کردند. بر اساس پژوهش Ahmadi و همکاران (۲۰۲۰)، بنتونیت خاک رس از معادن استان بوشهر (ایران) جمع‌آوری شد و سپس در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد تا آب‌گیری کامل حاصل شود. پس از آن خاک رس خشک شده در آسیاب پودر شد و سپس، در بطری‌های ضد رطوبت در دمای محیط نگهداری شد. برای تهیه جاذب کامپوزیت بنتونیت خاک رس با $MnFe_2O_4$ ، محلول آبی حاوی منگنز (II) و آهن (III) به نسبت مولی ۲:۱ تهیه شد. سپس ۱ گرم از بنتونیت خاک رس تهیه شده به محلول اضافه شد و سپس روی هم‌زن مغناطیسی به مدت ۴۰ دقیقه مخلوط شد تا یون‌های Fe^{+3} و Mg^{+2} روی لایه‌های سطح بنتونیت خاک رس قرار گیرند. پس از آن، قبل از افزودن محلول هیدروکسید سدیم (به میزان ۵ مول بر لیتر) برای تنظیم مقدار pH به ۱۱، دمای محلول به ۶۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. سپس محلول حاصل به مدت ۱ ساعت هم زده شد. پس از آن، کامپوزیت تهیه شده از محلول خارج شد و چندین بار با آب مقطر شسته شد تا کاملاً خنثی

شود. کامپوزیت خنثی شده در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت حرارت داده شد تا کاملاً خشک شود و برای استفاده به عنوان جاذب آماده شود. شکل (۳) روش بیان شده برای تولید جاذب و استفاده از آن برای حذف یون‌های کروم (III) و کروم (VI) از پساب را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مراحل تولید جاذب برای حذف کروم (III) و کروم (VI) از پساب (Ahmadi و همکاران، ۲۰۲۰)

دست می‌آید، استفاده می‌شود (Kuppusamy و همکاران، ۲۰۱۵). لازم‌به‌ذکر است ضایعات جنگلی بالاترین راندمان حذف فلزات سنگین را دارند که در حدود ۲۶۴ میلی‌گرم در گرم از پساب شهری تخمین زده شده است. ضایعات تولید شده از محصولات جنگلی با بازدهی بیش از ۶۹ درصد استفاده شده است (Aghababaei و همکاران، ۲۰۱۷).

۲- پسماندهای کشاورزی به‌عنوان جاذب کارآمد

پسماندهای کشاورزی به دلیل در دسترس بودن و مقرون‌به‌صرفه بودن، اهمیت فوق‌العاده‌ای برای ساخت جاذب‌ها دارند (Sen, ۲۰۲۳). این پسماندها برای اهداف زیادی استفاده می‌شوند که از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به کاربردشان در رشد گیاه، اصلاح خاک، خوراک حیوانات و جاذب‌های زیستی اشاره کرد (شکل ۵).

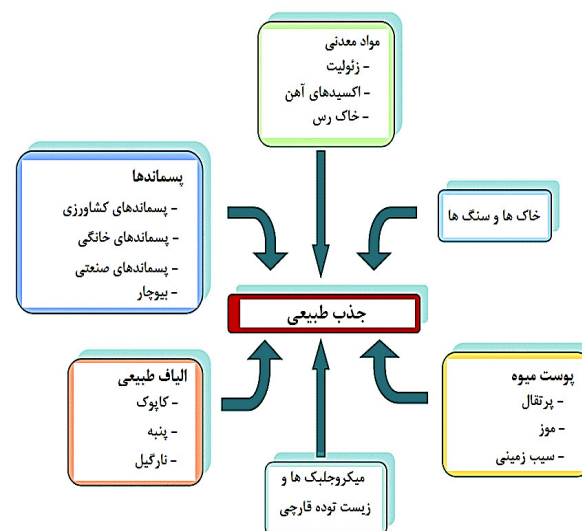


شکل ۵- استفاده از پسماندهای کشاورزی در مسیرهای مختلف

پسماندهای کشاورزی معمولاً از لیگنین و سلولز به‌عنوان اجزای اصلی تشکیل شده‌اند و دارای گروه‌های هیدروکسیل ($-OH$) و کربوکسیل ($-COOH$) می‌باشند (Saberhi Riseh و همکاران، ۲۰۲۳). این گروه‌ها را می‌توان با ایجاد جفت الکترون با یون‌های فلزی ترکیب کرد و کمپلکس‌ها را تشکیل داد (Rudi و همکاران، ۲۰۲۰). پسماندهای کشاورزی مانند بقایای انگور، تفاله‌های چای و قهوه، پوست آجیل، پاپایا و برگ گیاه، دانه‌های زائد، جلبک‌ها، پوست برنج و گیاهان آفتابگردان توسط بسیاری از دانشمندان برای حذف فلزات سنگین مانند آرسنیک (As)، کروم (Cr)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، نیکل (Ni) و کادمیوم (Cd) استفاده شده است (Matei و همکاران، ۲۰۲۱). در جدول (۲) برخی از پسماندهای کشاورزی که برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری و صنعتی استفاده می‌شوند، ارائه شده است.

جاذب‌های حاصل از پسماندهای کشاورزی را می‌توان با پیش‌تصفیه‌های شیمیایی مختلف اصلاح کرد تا پتانسیل گروه‌های

با پیشرفت در شیمی مواد، تمرکز به سمت توسعه جاذب‌های مقرون‌به‌صرفه از منابع طبیعی، در دسترس و ارزان قیمت مانند پوست میوه، پوست برنج، کاه گندم، ضایعات نارگیل و قهوه، باگاس نیشکر، زغال‌سنگ نارس، پسماندهای کشاورزی و پسماندهای خانگی (شکل ۴) تغییر یافته است (Fatima و همکاران، ۲۰۲۱). این ضایعات همراه با پوست میوه و سایر ضایعات آلی از طریق تصفیه با مواد شیمیایی مختلف یا خشک کردن و اصلاح آن‌ها به جاذب‌های مقرون‌به‌صرفه تبدیل می‌شوند (Karić و همکاران، ۲۰۲۲). لازم‌به‌ذکر است با پیشرفت در رویکردهای تحلیلی و فنی، تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی با استفاده از پسماندهای آلی توجه بسیار زیادی را به سوی خود جلب نموده است.



شکل ۴- انواع مختلف جاذب طبیعی (Yeo و همکاران، ۲۰۲۱)

۱- جاذب‌های جنگلی و ضایعات چوب

پسماندهای جنگلی (مانند شاخه‌ها، برگ‌ها و پوست درختان) در مقادیر زیادی به شکل زباله جامد انباشته می‌شوند و می‌توانند به‌عنوان ماده اولیه برای تولید جاذب‌ها برای تصفیه پساب شهری استفاده شوند (Ogbu و همکاران، ۲۰۲۲). پلی‌ساکاریدها (پکتین، سلولز) و کمپلکس‌های پلی‌فنل (فلانوئیدها، تانن‌ها، لیگنین، ترپن‌ها) دارای گروه‌های عملکردی خاص در ترکیب با گروه‌های هیدروکسیل ($-OH$) یا کربوکسیل ($-COOH$) با یون‌های عبوری هستند (Božym و همکاران، ۲۰۲۱). این ضایعات پتانسیل جذب یون فلزی بالایی از طریق فرآیند تبادل یونی یا کیلاسیون دارند. انواع مختلفی از ضایعات جنگلی - مانند پوست درخت، خاک اره، پکتین کاج و سوزن کاج - به‌عنوان جاذب برای حذف PTE استفاده شده است (Sen, ۲۰۲۳). ضایعات جنگلی همچنین برای ساخت بیوچار، یک ماده کربنی جاذب که از طریق پیرولیز آهسته به

عاملی افزایش یابد و در نتیجه ظرفیت جذب جاذب‌ها بهبود پیدا کند (Karić و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعات همچنین نشان داده‌اند که لیگنوسولز به‌دست‌آمده از محصولات مبتنی بر پسماندهای کشاورزی می‌تواند یک ماده کارآمد برای تولید مواد

کربنی مانند بیوچار باشد که مساحت سطح، حجم منافذ و توزیع منافذ بیشتری دارند (Blasi و همکاران، ۲۰۲۳). بیوچار حاصل به‌واسطه ویژگی‌های ذکرشده می‌تواند پتانسیل قابل توجهی در حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری داشته باشد.

جدول ۲- کارایی جاذب‌های حاصل از پسماندهای کشاورزی در حذف فلزات سنگین (Hussain و همکاران، ۲۰۲۱)

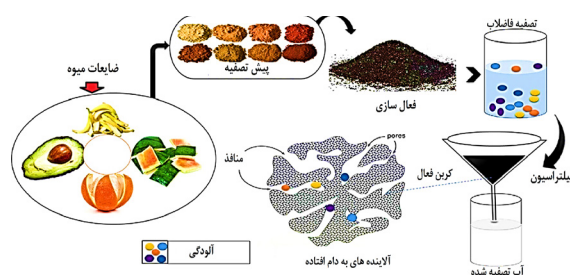
نوع پساب	نوع جاذب	دوز جاذب (g/L)	یون فلزی	مقدار جذب شده (mg/g)	زمان تماس (دقیقه)	دما (درجه سانتیگراد)	pH
پساب بیمارستانی	پوست گیاه مانیوک (Manihot esculenta)	۱۰	Pb ²⁺	۵/۸۰	۲۰-۱۲۰	۳۹/۸	۸
پساب حاوی یون کروم	پودر پوست کدو	۶	Cr ⁶⁺	۱۸/۷	۴۰-۶۰	۲۸	۱
پساب حاوی یون مس	کاه جو	۱	Cu ²⁺	۴/۶۴	۱۲۰	۲۵	۶-۷
پساب حاوی یون نیکل	بادام هندی	۳	Ni ²⁺	۱۸/۸۶	۳۰	۳۰	۵
پساب حاصل از صنعت آبکاری	پوست پرتقال اصلاح شده شیمیایی	۲	Cu ²⁺	۲۸۹	۱۸۰	۳۰	۵
پساب حاوی یون اورانیوم	پوست گریپ فروت	۲	U ⁶⁺	۱۴۰/۸۰	۶۰-۸۰	۲۴/۸۵	۴-۶
پساب حاوی یون کروم	پوست بادام زمینی	۱	Cr ⁶⁺	۴/۳۲	۳۶۰	۳۰	۲
پساب حاوی یون سرب	بیوچار نیشکر و پوست پرتقال	۱	Pb ²⁺	۸۶/۹۶	۳۰	۲۵	۵
پساب حاصل از صنعت آبکاری	پوست انبه	۵	Ni ²⁺	۳۹/۷۵	۱۲۰	۲۵	۶
		۵	Cu ²⁺	۴۶/۰۹			
		۵	Zn ²⁺	۲۸/۲۱			
پساب حاوی یون مس	پوسته گندم	۱۰	Cu ²⁺	۱۷/۴۲	۶۰	۲۵	۷

۳- پوست میوه و سبزیجات

در اغلب پسماندهای آشپزخانه، ضایعات میوه و سبزیجات و پوست بیشترین نسبت را تشکیل می‌دهند. بسیاری از پوست میوه‌ها و سبزیجات در زباله‌ها ریخته می‌شوند یا مستقیماً به دام‌ها داده می‌شوند (Zhu و همکاران، ۲۰۲۳). ضایعات و فرآورده‌های جانبی سبزیجات و میوه‌ها که به مقدار قابل توجهی در طی فرآوری صنعتی/تولید محصولات ثانویه تولید می‌شوند، یک مشکل جدی را تشکیل می‌دهند. آنها به دلیل اثرات مضر محیطی باید مدیریت یا بازیافت شوند (Sharma و همکاران، ۲۰۲۱). پوست میوه و سبزیجات به‌عنوان منبعی از جاذب‌های طبیعی به‌شمار می‌روند که سازگار با محیط‌زیست و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه هستند. این جاذب‌های طبیعی می‌توانند انواع مختلف آلاینده‌های موجود در پساب‌های شهری را حذف نمایند و بار آلودگی را کاهش دهند. از این رو، این مواد منبعی تجدیدپذیر و امیدبخش برای تصفیه پساب‌های شهری به‌شمار می‌روند (Matei و همکاران، ۲۰۲۱). این موضوع توسط بسیاری از پژوهشگران از جمله Yeo و همکاران (۲۰۲۱) مورد تایید قرار گرفته است،

به‌طوری‌که این پژوهشگران اظهار داشتند پوست میوه‌ها (مانند پرتقال، مرکبات، انبه) عملکرد بسیار خوبی در حذف بسیاری از آلاینده‌ها به‌ویژه فلزات سنگین از پساب‌های شهری دارند. در شکل (۶) توسعه جاذب‌های زیستی مشتق شده از ضایعات میوه برای تصفیه پساب نشان داده شده است. پوست‌های میوه (مانند پوست نارگیل) حاوی گروه‌های عاملی از OH- و COOH- موجود در سلولز، همی سلولز و پکتین هستند که در اتصال و حذف کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، آرسنیک (As)، کروم (Cr)، مس (Cu) و نیکل (Ni) نقش دارند (Freitas و همکاران، ۲۰۱۹). Feng و همکاران (۲۰۰۹) کارایی جاذب‌های مبتنی بر پوست میوه را برای حذف مس (II) از پساب شهری بررسی کردند. بر اساس نتایج، در ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه‌های پساب شهری دارای ۱۴/۳۳ میلی‌گرم در لیتر یون مس (II)، کارایی جذب تا ۹۷ درصد ثبت شد. همچنین، پژوهشگران برای ارزیابی مقرون‌به‌صرفه بودن روش، همان فرآیند را برای بررسی قابلیت استفاده مجدد جاذب تکرار کردند و به این نتیجه رسیدند که جاذب می‌تواند چندین بار برای یک فرآیند یکسان استفاده شود (Neisan و همکاران، ۲۰۲۳).

Santhi و Manonmani (۲۰۱۱) بیان کردند ۶ گرم جاذب برای حذف ۹۵-۹۰ درصد کروم (VI) از پساب شهری کافی است. همچنین، این پژوهشگران بیان داشتند سرعت حذف آلایندہ با افزایش زمان تماس افزایش یافت تا پس از ۱۲۰ دقیقه به حالت تعادل برسد. آن‌ها میزان حذف آلایندہ از پوست مرکبات (Citrus nobilis) را ۵۸/۹۷ درصد ثبت کردند. پوست مرکبات همچنین برای حذف فلزات سنگین از ۱۰ نمونه پساب شهری و صنعتی واقع در شهر لوندیرنا (برزیل) استفاده شد. برای همه نمونه‌ها، نرخ پالایش مس (II)، کادمیوم (II) و سرب (II) با جذب زیستی تا ۹۹ درصد ثبت شد (Sahu و Verma، ۲۰۲۱).



شکل ۶- توسعه جاذب‌های زیستی مشتق شده از ضایعات میوه برای تصفیه پساب (Solangi و همکاران، ۲۰۲۱)

۴- جاذب‌های مبتنی بر زغال سنگ

در این بخش کاربردهای اخیر جاذب‌های مبتنی بر زغال سنگ برای حذف آلایندہ‌های مختلف به‌ویژه فلزات سنگین از پساب‌های شهری بررسی می‌شود. به‌طور خاص، این بخش بر استفاده از اشکال مختلف جاذب‌های مبتنی بر زغال سنگ مانند زغال سنگ غیرمعدنی، زغال سنگ سولفونه، زغال سنگ حاوی کلسیم، زغال سنگ دوپ شده با کیتوزان^۶ و خاکستر بادی (Fly ash) زغال سنگ تمرکز دارد (Silva، ۲۰۲۳).

زغال سنگ یک ماده آلی است که حاوی مواد معدنی مختلف نیز می‌باشد. علاوه بر این، مواد آلی معمولاً ۸۵ تا ۹۵ درصد زیست‌توده خشک زغال سنگ را تشکیل می‌دهند. زغال سنگ یک سنگ رسوبی پیچیده است که عمدتاً از محصولات جانبی بقایای گیاهی و مشتقات آنها تشکیل شده است (Schweinfurth، ۲۰۲۲). این ماده منبع کربن است، اگرچه دارای عناصر مختلفی مانند هیدروژن، اکسیژن، گوگرد و نیتروژن است. زغال سنگ و مشتقات آن نه تنها به‌عنوان سوخت، بلکه به‌عنوان مواد گران‌بها در فرآیندهای مختلف حفاظت از محیط‌زیست نیز استفاده می‌شود (Bustin و همکاران، ۱۹۹۳). زغال سنگ ارزان است و به وفور وجود دارد، حتی برخی از کشورها ذخایر متعدد زغال سنگ به‌عنوان معادن دارند. با این حال، خواص ویژه‌ای دارند که آن را به یک ماده جاذب کارآمد برای حذف فلزات سنگین و عناصر بالقوه سمی (PTEs) تبدیل می‌کند (SME، ۲۰۲۳).

زغال سنگ می‌تواند کمپلکس‌های پایداری با فلزات سنگین ایجاد کند زیرا گروه‌های COOH- و گروه‌های فنل متصل به ساختارهای معطر دارند. گروه‌های کربوکسیل یا هیدروکسیل می‌توانند در واکنش‌های تبادل یونی شرکت کنند. Çigdem و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند استفاده از زغال سنگ توانایی زیادی برای حذف موثر یون‌های جیوه، سرب، کادمیوم، مس و روی از پساب شهری دارد. تجزیه و تحلیل زغال سنگ خام و زغال سنگ مبادله شده نشان داد به دلیل توسعه کربوکسیلات‌های فلزی تبادلی، مقدار قابل توجهی از فلزات سنگین حذف شده و روی سطح زغال سنگ دیده شدند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱). در پژوهش‌های زیادی از جمله Anwar و همکاران (۲۰۰۹) نیز حذف کروم (VI) از پساب‌های شهری با استفاده از زغال سنگ تأیید شد.

استفاده از زغال سنگ نارس یا پیت در تصفیه پساب شهری در چند دهه گذشته به دلیل تداخل بالا و ظرفیت جذب آن مورد توجه قرار گرفته است. بسیاری از پژوهشگران زغال سنگ نارس را به چهار گروه طبقه‌بندی می‌کنند: پیت مور، پیت چوب، پیت علفی و پیت رسوبی. دارای خواص غنی، ارزان و همه کاره بودن و قابلیت جذب قوی برای سموم مختلف مانند PTEها و آلایندہ‌های آلی است (Dehghani و همکاران، ۲۰۲۳). زغال سنگ نارس فرآوری نشده حاوی بسیاری از اجزای تشکیل‌دهنده مانند لیگنین، سلولز، اسیدهای فولویک و هیومیک؛ و گروه‌های عاملی قطبی مانند الکل‌ها، آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدهای کربوکسیلیک و هیدروکسیدهای فنل می‌باشد که ظرفیت تبادل کاتیونی قوی‌ای دارند (Vecino و همکاران، ۲۰۱۳). راندمان حذف زغال سنگ نارس یا پیت برای رنگ‌ها در صورت تیمار با اسیدها بیشتر است. بر اساس پژوهش Cheng و همکاران (۲۰۲۳)، زغال سنگ نارس کارایی قابل توجهی در حذف فلز فلزات سنگین شامل مس (Cu)، منگنز (Mn)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg) از پساب‌های شهری و صنعتی نشان داد.

۵- بیوچار

بیوچارهای حاصل از پسماندهای کشاورزی توجه بیشتری را در میان جاذب‌های ارزان و موثر برای تصفیه پساب شهری به خود جلب کرده‌اند (Sundaram و Jagadeesh، ۲۰۲۳). آن‌ها ساختار متخلخل و پایداری دارند و یک ماده جامد نامحلول و غنی از کربن هستند که توسط تجزیه در اثر حرارت (۷۰۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) در شرایط بی‌هوازی تولید می‌شوند. آن‌ها را می‌توان از طیف وسیعی از محصولات زائد کشاورزی و سایر مواد زائد زیست‌توده مانند نی، پوست برنج، مخمر، خاک اره، پسماندهای آشپزخانه، باقی‌مانده چای و بسیاری دیگر تولید کرد (Hasnain و همکاران، ۲۰۲۳). شکل (۷) نمودار شماتیکی از مسیرهای تشکیل بیوچار از مواد اولیه مختلف را نشان می‌دهد.

نانومواد: استفاده بالقوه در تصفیه پساب

فناوری نانو در حوزه علم نانو وجود دارد. نانومواد، ریزترین ساختارهای جهان با قدر چند نانومتر هستند که توسط انسان سنتز شده‌اند. به طور ویژه، نانوذرات (NPs) قطعاتی هستند که یک جزء ساختاری دارند و در ابعادی بیش از ۱۰۰ نانومتر نیستند (Khan و همکاران، ۲۰۱۹). نانوذرات به اشکال متعددی مانند نانوسیم، کلوئیدها، فیلم‌ها، نقاط کوانتومی، ذرات و نانولوله‌ها در حال توسعه هستند. امروزه به منظور تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی، نانوذرات بسیار موثر، سازگار با محیط زیست و ارزان با عملکردهای منحصر به فرد توسعه یافته است (Mbarek و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به خواص منحصر به فرد این مواد، می‌توان آن‌ها را به سه نوع تقسیم کرد که شامل نانوجاذب‌ها، نانوکاتالیست‌ها و نانوفیلیم‌ها می‌باشند. نانوجاذب‌ها را می‌توان با استفاده از اتم‌های این اجزاء که از نظر شیمیایی مؤثر بوده و قابلیت جذب بالایی دارند و بر روی سطوح آن‌ها هستند، تولید کرد (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰b).

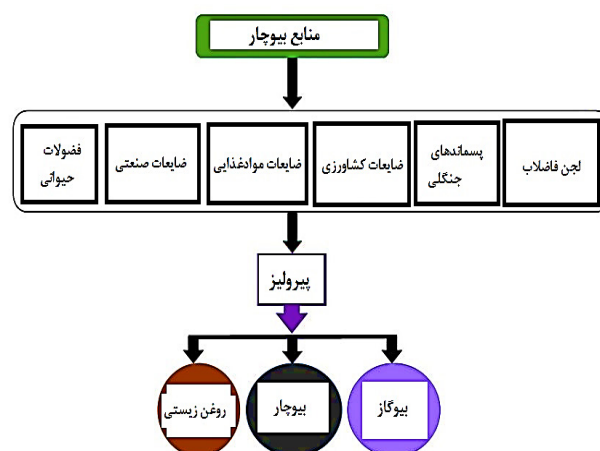
۱- نانوجاذب‌ها

استفاده از نانو جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین در تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی یک رویکرد مثبت به شمار می‌آید. پتانسیل نانو جاذب‌ها در سال‌های اخیر بررسی شده‌اند. اندازه کوچکتر ذرات، فعالیت شیمیایی و ظرفیت جذب آن‌ها را افزایش می‌دهد (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰b). نانوجاذب‌ها به دلیل نقشی که در فرآیند جذب دارند، به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. این مواد شامل نانوذرات فلزی (NPs)، نانوذرات مغناطیسی و نانوذرات اکسید فلز هستند. علاوه بر این، آخرین پیشرفت‌ها شامل نانومواد کربن، نانوذرات کربن و نانوصفحات کربنی است (Anjum و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این، انواع مختلفی از نانوذرات سیلیکونی به عنوان نانولوله‌های سیلیکونی جذب‌کننده، نانوذرات سیلیکونی و نانوصفحات سیلیکونی استفاده می‌شوند (Martínez-Carmona و Vallet-Regí، ۲۰۲۰). در پژوهش‌های مختلف، نانومواد مبتنی بر پلیمر، نانوالیاف و آئروژل‌ها نوعی از نانوذرات فلزی بودند که برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های شهری و صنعتی استفاده شدند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱؛ Maleki و همکاران، ۲۰۲۴).

ترکیب شیمیایی، ساختار، حالیت، شکل، ابعاد فراکتال (Fractal)، اندازه و شیمی سطح عواملی هستند که بر عملکرد نانوذرات مورد استفاده به عنوان جاذب تأثیر می‌گذارند (شکل ۸). فعالیت‌های شیمیایی و همچنین اندازه ذرات دو ویژگی مهم نانوذرات هستند (رادخواه و صادقی‌نژاد ماسوله، ۱۴۰۰). در مقایسه با سایر مواد (مانند دی اکسید تیتانیوم و اکسید آلومینیوم در مقیاس معمولی)، نانوذرات مزایای برجسته‌ای دارند (Altammar، ۲۰۲۳). علاوه بر این،

بیوچار به عنوان یک روش کارآمد برای تصفیه پساب تایید شده است. توانایی آن برای جذب فلزات سنگین در دهه گذشته بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است و نشان می‌دهد که بیوچار ارزان، سازگار با محیط زیست، و حتی از زغال چوب فعال موثرتر است (Wang و همکاران، ۲۰۲۱). خواص شیمیایی سطح بیوچار تحت تأثیر تغییرات پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی در طی پیرولیز قرار می‌گیرد. اگرچه راندمان جذب پایین بیوچار در رابطه با فلزات سنگین، استفاده از آن را در زمینه تصفیه پساب‌های شهری محدود می‌کند، اما با این حال، تصور می‌شود که تخریل پایین، سطح ویژه و محل‌های جذب پایین از عوامل مرتبط با این موضوع باشد (Hasnain و همکاران، ۲۰۲۳).

ساختار داخلی و سطحی بیوچار شامل تلفیقی از درشت منافذ، مزوپورها و میکروپورها است که به موجب آن بیوچار فلزات سنگین را در ساختار منافذ داخلی و سطحی خود حفظ می‌کند (Bolan و همکاران، ۲۰۲۳). پژوهش‌ها نشان داده است گروه‌های عاملی COOH و OH قبل و بعد از جذب به دلیل کمپلکس شدن با سرب و کادمیوم تغییر کرده‌اند. پیوند O -فلز باعث کاهش چگالی الکترونی O_2 می‌شود که انرژی محدود گروه‌های عاملی حاوی O_2 را به شدت کاهش می‌دهد و پایداری آن را بهبود می‌بخشد. برهم‌کنش فلز را می‌توان با تداخل در پیوندهای C-C قطع کرد (Qiu و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، O_2 که شامل گروه‌های عاملی می‌شود، هنگامی که یون‌ها با فلزات سنگین مبادله می‌شوند، H^+ منتشر می‌کند که منجر به کاهش pH محلول می‌شود. پتانسیل pH و شرایط ردوکس^۷ نقش مهمی در حذف عناصر بالقوه سمی (PTEs) مانند فلزات سنگین از پساب‌های شهری دارد (Jin و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۷- یک نمودار شماتیک از مسیرهای تشکیل بیوچار از مواد اولیه مختلف (Srivatsav و همکاران، ۲۰۲۰)

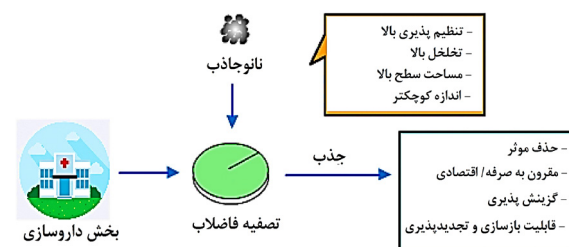
۳- نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی (CNTs) موادی هستند که به‌طور گسترده‌ای مورد پژوهش قرار گرفته‌اند که می‌توانند فلزات سنگین و آلاینده‌های آلی مختلف را از پساب‌های شهری و صنعتی به‌واسطه سازوکار جذب، حذف نمایند. با این حال، مصرف ناکافی، مشکلات ایجاد شده در جداسازی مواد و همچنین، اندازه ریز ذرات از جمله معایب استفاده از نانولوله‌های کربنی به‌عنوان جاذب می‌باشند (Abdollahi و همکاران، ۲۰۲۳). به‌منظور پرداختن به این مسائل، محققان نانولوله‌های کربنی معمولی را به نانولوله‌های کربنی اصلاح شده مانند نانولوله‌های کربنی چند جداره تغییر دادند. نانولوله‌های کربنی مغناطیسی اصلاح شده قابلیت مصرف بالایی دارند و می‌توانند به راحتی از پساب‌های شهری و صنعتی به‌واسطه خاصیت آهن‌ربایی حذف شوند. پژوهش‌های مختلف استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره را برای حذف سرب، منگنز و مس گزارش کردند. Gupta و همکاران (۲۰۱۱) ظرفیت جذب نانولوله‌های کربنی اصلاح شده و اصلاح نشده را برای حذف آلومینیوم (Al) بررسی کردند. بر طبق نتایج به‌دست آمده، نانولوله‌های کربنی پوشش داده شده و اصلاح شده ظرفیت حذف بیشتری نسبت به نانولوله‌های کربنی بدون پوشش و اصلاح نشده نشان دادند.

تغییر سطح نانولوله‌های کربنی می‌تواند فعالیت جذبی آنها را بهبود بخشد. بسیاری از پژوهشگران از تکنیک‌های مختلفی شامل تیمار اسیدی، اشباع فلز و پیوند مولکول/گروه عملکردی به‌منظور اصلاح سطح استفاده کردند. اصلاح خواص نانولوله‌های کربنی روش دیگری برای بهبود کارایی آنها برای حذف آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین است. این امر می‌تواند به روش‌های مختلفی - به‌عنوان مثال، از طریق فناوری پلاسما، تغییرات شیمیایی و امواج مایکروویو - انجام شود. در میان این فناوری‌ها، فناوری پلاسما به دلیل مصرف انرژی کمتر و سازگاری آن با محیط‌زیست یکی از مطلوب‌ترین و مناسب‌ترین فناوری‌ها به‌شمار می‌رود. Chen و همکاران (۲۰۱۲) سودمندی نانولوله‌های کربنی اصلاح شده با گروه‌های عملکردی مختلف برای بهبود کیفیت پساب شهری آلوده به فلزات سنگین را شرح دادند. علاوه بر این، نانولوله‌های کربنی اصلاح شده با فلزات/اکسیدهای فلزی مانند MnO_2 و Al_2O_3 نتایج امیدوارکننده‌ای را برای سازوکار جذب خود نشان داده‌اند.

- سازوکار جذب کربن فعال: جذب مواد مختلف آلی، غیرآلی، آفت کش‌ها، سورفکتانت‌ها، فلزات سنگین و غیره بر روی سطوح جاذب می‌تواند از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله تشکیل پیوندهای هیدروژنی، نیروهای واندروالس، برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی، بارش سطحی، سازوکارهای تبادل یونی، تبادل کاتیونی یا آنیونی، پُرشدن منافذ، برهم‌کنش‌های (فعل و انفعالات) آب‌دوست یا آب‌گریز، فرآیندهای انتشار و غیره صورت گیرد (Alam و همکاران، ۲۰۲۰). حذف آلاینده‌ها با استفاده از جاذب معمولاً از چهار مرحله

این مواد می‌توانند با یک معرف خاص اصلاح شوند تا عملکرد پیش تغلیظ آن‌ها برای یونهای فلزی بهبود یابد. فرآیند جذب به ضریب جذب و بازسازی و توزیع آلاینده‌ها مطابق با شرایط تعادل بستگی دارد. علاوه بر این، یک واکنش ردوکس با آلاینده‌های معدنی پایدار، شروع تغییر ساختار یونی را تسهیل می‌کند (Wysocka، ۲۰۲۳). با این حال، برخی از پژوهشگران معتقد هستند که تغییرات در شرایط ردوکس بر اثرات سمی آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارد (رادخواه و ایگدري، ۱۴۰۲). Ahmaruzzaman (۲۰۱۱) بیان کردند نانوجاذب‌ها می‌توانند فلزات سنگین مانند کروم، جیوه، روی، مس، نیکل و سرب را از پساب‌های شهری و صنعتی حذف نمایند. با این حال، پرمصرف‌ترین نانوذرات به‌عنوان جاذب برای حذف فلزات سنگین شامل گرافن، اکسید آهن، اکسید منیزیم، کربن فعال، اکسید منگنز، اکسید روی، اکسید تیتانیوم و نانولوله‌های کربنی (CNTs) می‌باشند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱؛ Ardakani و Gholikandi، ۲۰۲۰؛ Le Ba و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۸- نانوجاذب‌ها رویکردی موثر برای حذف ترکیبات سمی از پساب (Neha و همکاران، ۲۰۲۱)

۲- نانوکامپوزیت‌ها در تصفیه پساب

نانوکامپوزیت‌ها (NCs) معمولاً مخلوطی از اجزاء (دو یا بیشتر) با خواص مختلف هستند که معمولاً به یک ماده واحد با مجموعه‌ای جامع از خواص پردازش می‌شوند (Ingrosso و همکاران، ۲۰۱۰). مزیت کلیدی استفاده از مواد کامپوزیت، توانایی ترکیب ویژگی‌های دو ماده برای کاربردهای خاص است. در شرایط فعلی، نانوذرات در زمینه‌های مختلف مانند ساخت‌وساز، هوانوردی، وسایل نقلیه و صنایع زیست-پزشکی به محبوبیت قابل توجهی دست یافته‌اند. لازم به ذکر است پژوهشگران بر روی استفاده از این مواد در تصفیه پساب‌های شهری تمرکز کرده‌اند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱).

نانوذرات (NPs) نسبت سطح به حجم بالایی دارند و می‌توانند به‌طور قابل توجهی خواص ماتریس (فلز/ پلیمر/ سرامیک) نانوذرات ساخته شده در آن‌ها را برای تشکیل مواد کامپوزیتی بهبود بخشند. در سال‌های اخیر، نانو ذرات به دلیل مساحت بالای سطح، مقرون به‌صرفه بودن، خواص ضد رسوب، پایداری حرارتی و ویژگی‌های مکانیکی عالی برای حذف ریزآلاینده‌ها استفاده شده‌اند (Gupta و همکاران، ۲۰۱۱؛ رادخواه و صادقی‌نژاد ماسوله، ۱۴۰۰).

بازیابی، احیا و دفع جاذب‌های استفاده شده

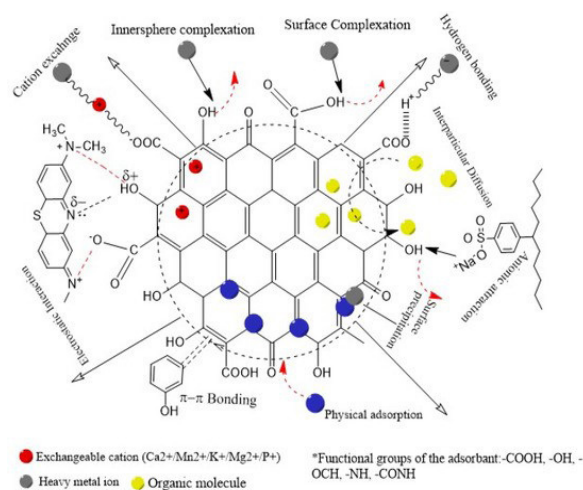
بازیابی و احیا جاذب یکی از معیارهای مهم در انتخاب آن می‌باشد. احیای جاذب می‌تواند کل هزینه‌های فرآیند و وابستگی روش به تامین مداوم منابع را کاهش دهد. موفقیت فرآیند دفع یا واجذب (Desorption process) به نوع سازوکار استفاده شده در حذف آلاینده‌ها و استحکام مکانیکی ماده جاذب بستگی دارد (Baskar و همکاران، ۲۰۲۲). از آنجایی‌که بیشتر جاذب‌های زیستی سیستم تبادل یونی برای عناصر بالقوه سمی مانند فلزات سنگین دارند، شرایط اسیدی برای دفع این عناصر کافی است. بنابراین، استفاده از اسیدها در دفع مفید است، زیرا محلول‌های اسیدی از شایع‌ترین ضایعات در تمام صنایع به‌شمار می‌روند (Ungureanu و همکاران، ۲۰۲۳).

جاذب‌هایی که در تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی استفاده می‌شوند، می‌توانند بازیابی، دفع یا بازیافت شوند. بسیاری از پژوهشگران بیان داشتند که بازیابی آلاینده‌ها (به ویژه فلزات ارزشمند) و درعین‌حال، احیای جاذب برای استفاده مجدد اهمیت ویژه‌ای دارد (Younas و همکاران، ۲۰۲۱). کارایی یک ماده به‌عنوان جاذب نه تنها به قابلیت جذب آن بستگی دارد، بلکه به سهولت بازیابی و بازیافت آن نیز مرتبط می‌باشد (Ngeno و همکاران، ۲۰۲۲). بازیابی و دفع مواد جاذب در چند سال گذشته به طور مفصل بحث شدند تا بتواند خطرات بالقوه این مواد را کاهش دهد. به‌طورکلی، وجود آلاینده‌ها مانند آرسنیک (As) و سایر فلزات سمی در مواد جاذب می‌تواند مشکلات محیط‌زیستی جدی ایجاد کند. بنابراین، دفع جاذب‌ها به‌عنوان یکی از نکات مهم در این زمینه مطرح می‌باشد. از این نظر، تثبیت/جامدسازی (stabilization/solidification) به‌عنوان یک فناوری مناسب برای پاک‌سازی جاذب‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، این گزینه به‌طور گسترده برای دفع جاذب‌های سمی استفاده می‌شود، زیرا می‌تواند این مواد را از طریق روش‌های شیمیایی، فیزیکی یا حرارتی به موادی با سمیت کمتر تبدیل کند (Tchounwou و همکاران، ۲۰۱۲).

یک ماده جاذب فقط با احتراق یا انحلال در اسیدها یا بازهای قوی حذف می‌شود. اگر از یک ماده کم هزینه به‌عنوان جاذب زیستی برای بازیافت فلزات گران‌بها استفاده شود، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است. باین‌حال، تاکنون بر دفع غیرمخرب از جاذب زیستی تمرکز شده است. در بسیاری از موارد، اسیدها یا بازهای آلی رقیق می‌توانند به طور موثر جاذب را دفع کنند، اگرچه ممکن است آسیب ساختاری به خود جاذب وارد کنند که منجر به کاهش ظرفیت جاذب پس از بازیابی می‌شود. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، pH محلول تأثیر قابل توجهی بر جذب آلاینده‌های هدف دارد (Maslova و همکاران، ۲۰۲۱).

مختلف پیروی می‌کند که عبارتند از: (۱) انتقال ماده جذب‌شونده به سطح جاذب، (۲) ایجاد فیلم (لایه) بر روی سطح جاذب، (۳) انتشار ماده جذب‌شونده در داخل منافذ و (۴) برهم‌کنش بین منافذ و سطح جاذب با مولکول‌های ماده جذب‌شونده. این نوع از برهم‌کنش‌ها و فعل و انفعالات می‌تواند قوی، ضعیف یا خاص باشد (Sarkar و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ahmed و همکاران، ۲۰۱۵). در شکل (۹) جاذب‌های متفاوت و سازوکارهای مختلف آن‌ها برای اتصال آلاینده‌ها به کربن فعال نشان داده شده است (Alam و همکاران، ۲۰۲۰).

تبادل کاتیون و آنیون زمانی اتفاق می‌افتد که محل‌های مخالف هم در مولکول‌های جاذب و هم در مولکول‌های ماده جذب‌شونده وجود داشته باشند. در این مورد، ارزش پتانسیل زتای (zeta potential) جاذب بسیار مهم است زیرا نقش حیاتی در ترکیبات یونی مختلف دارد. از این رو، این نوع پیوندها به‌راحتی می‌توانند فرآیند جذب کلی را تشکیل داده و تسریع نمایند. به‌عنوان مثال، حذف متیلن بلو (MB) با جذب سطحی کربن فعال به این دلیل است که متیلن بلو به شکل کاتیونی MB^+ است. فرآیند جذب کلی از چهار مرحله ذکر شده در بالا پیروی می‌کند (Kannan و Meenakshisundaram، ۲۰۰۲). انواع مشابهی از برهم‌کنش‌های آنیونی و کاتیونی می‌تواند بین جاذب و ماده جذب‌شونده رخ دهد. اتم اکسیژن در کربن فعال می‌تواند اثرات قوی بر جذب آلاینده‌ها داشته باشد، به‌ویژه زمانی که در سطح کربن ظاهر می‌شود (Pastor-Villegas و همکاران، ۱۹۹۸). بسیاری از پژوهش‌ها نشان دادند جذب یون به کربن فعال به دلیل تبادل یونی با پروتون‌ها در گروه‌های عملکردی اکسیژن رخ می‌دهد (Nieto-Márquez و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس پژوهش‌های انجام شده، یون‌های فلزی سخت مانند روی (Zn^{2+}) و نیکل (Ni^{2+}) به سطح گروه عاملی (-COOH, -OH) جذب می‌شوند (Alam و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۹- سازوکار جذب انواع مختلف آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین روی سطح کربن فعال (Alam و همکاران، ۲۰۲۰)

بنابراین، از دیدگاه نظری می‌توان به سادگی با کنترل میزان pH در محلول دفع به احیای جاذب‌ها و بازیابی آلاینده‌ها کمک کرد. مزایای احیای جاذب شامل قابلیت استفاده مجدد از این مواد، کاهش هزینه‌های دفع منابع فلزی و عدم نیاز به ضایعات ثانویه می‌باشد (Gkika و همکاران، ۲۰۲۲). تاکنون، محلول‌های مختلفی از جمله HNO_3 ، NaOH ، NaNO_3 ، H_2SO_4 ، HCl ، NaHCO_3 و CH_3COONa برای بازیابی و احیای جاذب‌ها استفاده شدند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱).

روش دیگر استخراج با حلال (استخراج آلی) است که در این روش باید توجه ویژه‌ای به انتخاب حلال و مقرون به صرفه بودن آن نمود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۸). علاوه بر این، مخلوطی از حلال‌های آلی و محلول‌های آبی می‌تواند در موارد خاص اثرات مفیدی داشته باشد (Garcia و همکاران، ۲۰۱۸). با استفاده از معرف‌های فتون، فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته برای فعال‌سازی مجدد حرارتی یا فرآیندهای فوتوکاتالیستی برای بازسازی مواد امکان‌پذیر است (Unuabonah و Taubert، ۲۰۱۴). با این وجود، آن‌ها برای بازسازی نانوکامپوزیت‌ها به منظور حامل‌های آلی مناسب نیستند، زیرا اکسیداسیون می‌تواند باعث تجزیه مواد شود (Younas و همکاران، ۲۰۲۱).

جلبک *Ascophyllum nodosum* مملو از کبالت (Co) که در معرض یک محلول اسیدی قرار می‌گیرد، می‌تواند دفع/واجذب خوبی داشته باشد، اما منجر به کاهش قابل توجه وزن زیست‌توده جلبک می‌شود که بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد. بنابراین، پژوهشگران مواد جاذب دیگری را مورد آزمایش قرار دادند و دریافتند که ۰/۰۵ مولار کلسیم کلرید (در HCl) می‌تواند یک جاذب موثر باشد (Vijayaraghavan و Balasubramanian، ۲۰۱۵). روش‌های دیگر، مانند کمپلکس‌سازی و کیلاسیون نیاز به غربالگری گسترده‌ای از جاذب‌های مؤثر دارند. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که محدود معرف‌های شیمیایی، از جمله اتیلن دی آمین تتراستیک اسید (EDTA)، برای زیست‌توده‌های مختلف موثر و بی‌ضرر هستند (Younas و همکاران، ۲۰۲۱). باتوجه به این موضوع، انتخاب یک جاذب زیستی مناسب برای حذف یون‌های فلزی از پساب‌های شهری و صنعتی امر دشواری است. این انتخاب باید بر اساس معیارهای متعددی باشد که تأثیر مستقیمی بر عملکرد جاذب‌های زیستی دارد.

مقایسه از نظر کارایی و هزینه اقتصادی

دو عامل حیاتی که فرآیند جذب را اقتصادی می‌کند، کارایی (ظرفیت جذب) و هزینه اقتصادی جاذب مورد استفاده است. با این حال، در مقایسه با جاذب‌های استاندارد، ظرفیت جذب نسبی است زیرا در چندین فاکتور متفاوت است که شامل غلظت

اولیه جاذب است (Bassareh و همکاران، ۲۰۲۳). هزینه یک جاذب به عوامل مختلفی از جمله دسترسی، منابع، پردازش مورد نیاز، شرایط پردازش، موقعیت‌های بازیافت و نیمه عمر بستگی دارد. از آنجایی که خاکستر بادی بدون هزینه در نیروگاه‌ها در دسترس است، استفاده از آن اغلب هزینه‌های حمل و نقل را به همراه دارد (Khan و همکاران، ۲۰۲۳). قیمت خاکستر بادی از سرباره ضایعات ۰/۰۰۲ دلار به ازای هر کیلوگرم است. با هزینه حمل و نقل، مواد شیمیایی، انرژی الکتریکی و غیره که در طول فرآیند استفاده می‌شود، هزینه محصول نهایی حدود ۰/۰۰۹ دلار به ازای هر کیلوگرم می‌باشد. پس از خاکستر بادی، هزینه جاذب‌های کربن‌دار (مانند کود) کمتر از ۰/۱ دلار آمریکا به ازای هر کیلوگرم است که آن را به یک ماده مفید تبدیل می‌کند. کربن فعال معمولاً به دلیل ترکیبی از دو عامل، قابلیت جذب و هزینه جاذب، قیمت‌هایی دارد که معمولاً بیش از ۳ دلار است (Younas و همکاران، ۲۰۲۱؛ Mulay و Martsinovich، ۲۰۲۲).

باتوجه به تغییرات تقاضای بازار، کیفیت و کمیت پساب‌های مختلف نیز در حال تغییر است. این امر منجر به تغییر در هزینه‌های تصفیه شده است (Zimmermann و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، اطلاعات کامل در مورد هزینه تصفیه پساب‌های شهری در ارتباط با "روش جذب" به ندرت در منابع علمی ارائه شده است. در نتیجه، ارزیابی کلی هزینه و سودمندی فرآیند جذب برای حذف فلزات سنگین باید با جزئیات بیشتری بررسی شود و برای استفاده در آینده پیشنهاد شود. هزینه‌های نیروی کار در بین کشورهای مختلف، متفاوت است. برای به دست آوردن یک برآورد دقیق از هزینه‌های عملیاتی یک تأسیسات تصفیه پساب شهری، پژوهش‌ها در مقیاس خاصی باید انجام شود. به دلیل شرایط عملیاتی متفاوت، مقایسه مستقیم هزینه‌های تصفیه می‌تواند دشوار باشد (Mahamuni و Adewuyi، ۲۰۱۰). علاوه بر این، کل هزینه‌های تصفیه انواع مختلف پساب‌های شهری به روش مورد استفاده در شرایط محلی بستگی دارد. این موضوع را می‌توان چنین بیان نمود که اکثر صنایع در مناطق تجاری یا صنعتی شهرها واقع شده‌اند. سرعت جریان و ویژگی‌های پساب به طور گسترده‌ای متفاوت است و تخمین دقیق هزینه‌های تصفیه دشوار است. این مسئله، مقایسه فناوری‌های تصفیه را از نظر نسبت هزینه به فایده برای پساب‌های حاوی فلزات سنگین و سایر عناصر سمی (PTEs) دشوار می‌کند (Yin و همکاران، ۲۰۲۰).

در جدول (۳) کارایی جاذب‌های مختلف در حذف یکی از مهمترین فلزات سنگین (آرسنیک: As) به صورت موردی نشان داده شده است. در این جدول، میزان تأثیر و کارایی نانوجاذب‌ها، بیوجارها، جاذب‌های مبتنی بر زغال‌سنگ، مواد معدنی (مانند: زئولیت) و ضایعات میوه و گیاهان بررسی شد.

جدول ۳- کارایی جاذب‌های مختلف در حذف آرسنیک (Yeo و همکاران، ۲۰۲۱)

نوع جاذب	مقدار جاذب (گرم)	مقدار محلول (ml)	غلظت اولیه (mg/L)	حذف (%)	
				As (V)	As (III)
جاذب‌های مبتنی بر زغال سنگ نارس	۰/۵	۴۰	۸-۹۰۴	-	۴۳-۱۰۰
بیوجار اصلاح شده با گل قرمز (RM-BC) ^۱	۰/۱۲	۳۰	۱-۵۰	۳۲-۱۰۰	۴-۵۰
نانوذرات مغناطیسی کیتوزان (MCNP)	۰/۰۵	۱۰۰	۰/۲-۵۰	۶۵-۱۰۰	۶۰-۱۰۰
بیوجار چوب کاج	۰/۰۵	۲۰	۱-۵۰	۲-۲۵	-
زئولیت کلینوپتیلولیت اصلاح شده (MCZ)	۱	۲۰۰	۰/۰۰۵-۰/۰۵	۴۰-۵۵	-
زغال سنگ نارس اصلاح شده با آهن	۰/۵	۴۰	۱۰۰-۲۷۰	۷۰-۱۰۰	-
زیست توده مرکبات لیمتا (۵۰۰-PPAC)	۰/۱۵	۵۰	۰/۰۵-۲/۵	۶۲-۱۰۰	۵۵-۹۳
برگ‌های پودر <i>Pinus roxburghii</i>	۰/۲-۲	۵۰	۱۰	۴-۷۵	-
مونت موریلونیت‌های اصلاح شده با آهن	۰/۲۵-۰/۳	۲۵	۰/۰۰۵	۹۷-۱۰۰	۹۶-۱۰۰
زیست توده گیاه <i>Momordica charantia</i>	۰/۰۵-۰/۲۵	۵۰	۰/۵	-	۶۶-۸۸
زغال استخوان	۰/۰۵-۰/۴	۵۰۰	۰/۵	۳۰-۱۰۰	-

نتیجه‌گیری و رهیافت ترویجی

در شرایط فعلی، فناوری‌های پیشرفته تصفیه آب برای تامین آب با کیفیت بالا و کاهش آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی از ضروریات به‌شمار می‌روند. تاکنون، بیشتر یافته‌های منتشر شده شامل پژوهش‌هایی در مقیاس آزمایشگاهی است. نقطه ضعف اصلی استفاده از جاذب‌های مقرون به صرفه به عنوان جایگزینی برای کربن فعال و همچنین سایر فناوری‌های گران قیمت تصفیه، نبود اطلاعات در این زمینه می‌باشد.

به منظور ترویج استفاده از جاذب‌های غیرمتعارف در مقیاس بزرگ، پژوهش‌های بیشتری لازم است. با این حال، نانوتکنولوژی شامل جذب آلاینده‌ها با استفاده از نانومواد است که یکی از بهترین رویکردها برای تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی می‌باشد. تاکنون، تصفیه بسیاری از پساب‌های شهری با استفاده از نانومواد متعدد با موفقیت انجام شده است. در میان این مواد، نانو جاذب‌ها (بر اساس اکسیدهای Fe، MnO، ZnO، MgO، CNT)، فوتوکاتالیست‌ها و الکتروکاتالیست‌ها قابل بررسی هستند.

هر فناوری مزایا و کارایی خود را در حذف آلاینده‌ها دارد. مطالعه حاضر نشان داد که نانوجاذب‌ها می‌توانند فلزات سنگین مانند کروم، جیوه، روی، مس، نیکل و سرب را از پساب‌های شهری و صنعتی حذف نمایند. علاوه بر این، نانوذرات فتوکاتالیستی نیز می‌توانند برای تصفیه آلاینده‌های سمی مانند فلزات سنگین استفاده شوند. با توجه به اینکه نانومواد در مقایسه با مواد سنتی (مانند کربن فعال) هنوز ارزان نیستند، پژوهش‌های آینده باید روی فرآیندهای موثری متمرکز شود که فقط به غلظت‌های اندکی از نانومواد نیاز دارند. علاوه بر این، پژوهش‌ها و فعالیت‌های

بیشتری برای توسعه روش‌های مقرون به صرفه به منظور سنتز نانومواد و افزایش بازده آزمایش در مقیاس بزرگ مورد نیاز است. به طور کلی، خلأهای پژوهش‌های زیر باید در طی پژوهش‌های آینده برطرف شوند:

- الف) کارایی جاذب‌های مورد بحث، به ویژه جاذب‌های مبتنی بر کربن، باید در ترکیب با سایر روش‌های تصفیه بررسی شود.
- ب) انجام پژوهش‌های در سطح سلولی و مولکولی برای درک بهتر سازوکارهای جاذب در تصفیه پساب‌های شهری لازم است.
- پ) به غیر از پژوهش‌های آزمایشگاهی، باید فعالیت‌های بیشتری روی مطالعات میدانی انجام شود.
- ت) پژوهش‌ها و فعالیت‌های بیشتری برای توسعه روش‌های مقرون به صرفه به منظور سنتز نانومواد و افزایش بازده آزمایش در مقیاس بزرگ مورد نیاز است.
- ث) واکنش‌های میکروبی در محیط‌های آبی باید بررسی شود تا درک جامعی نسبت به اثرات محیط زیستی جاذب‌ها حاصل شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Potential toxic elements (PTEs)
- 2-Nanoparticles
- 3-Carbon nanotubes
- 4-Plant-based nanocomposites
- 5-Biochar
- 6-Chitosan-doped coals
- 7-Redox condition
- 8-Red mud-modified biochar

- Ahmadi, A., Foroutan, R., Esmaili, H., & Tamjidi, S. (2020). The role of bentonite clay and bentonite clay@ MnFe₂O₄ composite and their physico-chemical properties on the removal of Cr(III) and Cr(VI) from aqueous media. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 1-14. doi: [10.1007/s11356-020-07756-x](https://doi.org/10.1007/s11356-020-07756-x)
- Ahmed, M.B., Zhou, J.L., Ngo, H.H., & Guo, W. (2015). Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: Progress and challenges. *Science of The Total Environment*, 532, 112-126. doi: [10.1016/j.scitotenv.2015.05.130](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.130)
- Ahmaruzzaman, M. (2011). Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals. *Advances in Colloid and Interface Science*, 166(1-2), 36-59. doi: [10.1016/j.cis.2011.04.005](https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.04.005)
- Alam, M.M., Hossain, M.A., Hossain, M.D., Johir, M.A.H., Hossen, J., Rahman, M.S., Zhou, J.L., Hasan, A.T.M.K., Karmakar, A.K., & Ahmed, M.B. (2020). The Potentiality of Rice Husk-Derived Activated Carbon: From Synthesis to Application. *Processes*, 8(2), 203. doi: [10.3390/pr8020203](https://doi.org/10.3390/pr8020203)
- Alazaiza, M.Y.D., Albahnasawi, A., Ali, G.A.M., Bashir, M.J.K., Coptly, N.K., Amr, S.S.A., Abushammala, M.F.M., & Al Maskari, T. (2021). Recent Advances of Nanoremediation Technologies for Soil and Groundwater Remediation: A Review. *Water*, 13(16), 2186. doi: [10.3390/w13162186](https://doi.org/10.3390/w13162186)
- Al-Enezi, G., Hamoda, M.F., & Fawzi, N. (2004). Ion exchange extraction of heavy metals from wastewater sludges. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 39(2), 455-464. doi: [10.1081/ese-120027536](https://doi.org/10.1081/ese-120027536)
- Altammar, K.A. (2023). A review on nanoparticles: characteristics, synthesis, applications, and challenges. *Front Microbiol.*, 14, 1155622. doi: [10.3389/fmicb.2023.1155622](https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1155622)
- Anjum, M., Miandad, R., Waqas, M., Gehany, F., & Barakat, M.A. (2016). Remediation of wastewater using various nano-materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 22, 1-15. doi: [10.1016/j.arabjc.2016.10.004](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.10.004)
- رادخواه، علیرضا، ایگدری، سهیل، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰ الف). تجمع فلزات سنگین در ماهیان: تهدیدی جدی برای امنیت غذایی و سلامت جامعه. *مجله طب دریا*، ۳(۴)، ۲۳۶-۲۴۵. doi: [10.30491/3.4.236](https://doi.org/10.30491/3.4.236)
- رادخواه، علیرضا، ایگدری، سهیل، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰ ب). مروری بر فیلتراسیون غشایی و بررسی کارایی آن در بهبود کیفیت آب در سیستم‌های آبی‌پروری مدار بسته (RAS). *آب و توسعه پایدار*، ۸(۳)، ۸۸-۸۱. doi: [10.22067/jwsd.v8i3.2105.1050](https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i3.2105.1050)
- رادخواه، علیرضا، و صادقی‌نژاد ماسوله، اسماعیل. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر عوامل فیزیکی‌کوشیمیایی آب بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبی. *آب و توسعه پایدار*، ۸(۲)، ۷۱-۹۰. doi: [10.22067/jwsd.v8i2.1019](https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i2.1019)
- رادخواه، علیرضا، و ایگدری، سهیل. (۱۴۰۲). کاربرد نانوذرات نقره (Ag-NPs) در میکروبی‌زدایی آب در سیستم‌های پرورش آبزیان و اثرات ناشی از رهائش آن در محیط. *آب و توسعه پایدار*، ۱۰(۲)، ۱۰۹-۱۲۶. doi: [10.22067/jwsd.v10i2.2301-1209](https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i2.2301-1209)
- Abdollahi, S., Raissi, H., & Zaboli, A. (2023). Adsorption Efficiency of Carbon Materials for the Removal of Organic Pollutants: DDT from Aqueous Solution. *Journal of Physical Chemistry B*, 127(49), 10518-10528. doi: [10.1021/acs.jpcc.3c04825](https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c04825)
- Aftab, K., Akhtar, K., Kausar, A., Khaliq, S., Nisar, N., Umbreen, H., & Iqbal, M. (2017). Fungal strains isolation, identification and application for the recovery of Zn(II) ions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 175, 282-290. doi: [10.1016/j.jphoto-biol.2017.08.028](https://doi.org/10.1016/j.jphoto-biol.2017.08.028)
- Agasti, N., Gautam, V., Manju, P., Pandey, N., Genwa, M., Meena, P.L., Tandon, S., & Samantaray, R. (2022). Carbon nanotube based magnetic composites for decontamination of organic chemical pollutants in water: A review. *Applied Surface Science Advances*, 10, 100270. doi: [10.1016/j.apsadv.2022.100270](https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100270)
- Aghababaei, A., Ncibi, M.C., & Sillanpää, M. (2017). Optimized removal of oxytetracycline and cadmium from contaminated waters using chemically-activated and pyrolyzed biochars from forest and wood-processing residues. *Bioresource Technology*, 239, 28-36. doi: [10.1016/j.biortech.2017.04.119](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.119)

- environmental applications. *Science of the Total Environment*, 886, 163968. doi: [10.1016/j.scitotenv.2023.163968](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163968)
- Bożym, M., Gendek, A., Siemiątkowski, G., Aniszewska, M., & Malaćák, J. (2021). Assessment of the Composition of Forest Waste in Terms of Its Further Use. *Materials (Basel)*, 14(4), 973. doi: 10.3390/ma14040973
- Bustin, R.M., Mastalerz, M., & Wilks, K.R. (1993). Direct determination of carbon, oxygen and nitrogen content in coal using the electron microprobe. *Fuel*, 72(2), 181-185. doi: [10.1016/0016-2361\(93\)90395-I](https://doi.org/10.1016/0016-2361(93)90395-I)
- Chen, H., Li, J., Shao, D., Ren, X., & Wang, X. (2012). Poly (acrylic acid) grafted multiwall carbon nanotubes by plasma techniques for Co (II) removal from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*, 210, 475-481. doi: [10.1016/j.cej.2012.08.082](https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.082)
- Cheng, J., Zhang, S., Fang, C., Ma, L., Duan, J., Fang, X., & Li, R. (2023). Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution Using Biotransformed Lignite. *Molecules*, 28(13), 5031. doi: [10.3390/molecules28135031](https://doi.org/10.3390/molecules28135031)
- Çigdem, A., Emel, B., Bektaş, S., Genç, O., & Yürüm, Y. (2000). Cation exchange properties of low rank Turkish coals: removal of Hg, Cd and Pb from waste water. *Fuel Processing Technology*, 68(2), 111-120. doi: [10.1016/S0378-3820\(00\)00126-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(00)00126-0)
- Czelej, K.C., & Kurzydłowski, K.J. (2016). CO₂ stability on the Ni low-index surfaces: van der Waals corrected DFT analysis. *Catal Commun*, 80, 33-38. doi: [10.1016/j.catcom.2016.03.017](https://doi.org/10.1016/j.catcom.2016.03.017)
- Da browski, A. (2001). Adsorption - from theory to practice. *Adv Colloid Interface Science*, 93, 135-224.
- Das, T.K., & Poater, A. (2021). Review on the Use of Heavy Metal Deposits from Water Treatment Waste towards Catalytic Chemical Syntheses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(24), 13383. doi: [10.3390/ijms222413383](https://doi.org/10.3390/ijms222413383)
- Dehghani, M.H., Ahmadi, S., Ghosh, S., Othmani, A., Osagie, C., Meskini, M., Sami, AlKafaas S., Malloum, A., Ahmad Khanday, W., Oluwaseun Jacob, A., Gökuş, Ö., Oroke, A., Martins Chineme, O., Rao Karri, R., & Lima, E.C. (2023). Recent advances on sustainable adsorbents for the remediation of noxious pollutants from water and wastewater: A critical review. *Anwar, J., Shafique, U., Salman, M., Zaman, W., Anwar, S., & Anzano, J.M. (2009). Removal of chromium (III) by using coal as adsorbent. Journal of Hazardous Materials*, 171(1-3), 797-801. doi: [10.1016/j.jhazmat.2009.06.076](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.076)
- Ardakani, M.N., & Gholikandi, G.B. (2020). Microbial fuel cells (MFCs) in integration with anaerobic treatment processes (AnTPs) and membrane bioreactors (MBRs) for simultaneous efficient wastewater/sludge treatment and energy recovery -A state-of-the-art review. *Biomass and Bioenergy*, 141, 5-23.
- Aziz, M., & Kasongo, G. (2021). The Removal of Selected Inorganics from Municipal Membrane Bioreactor Wastewater Using UF/NF/RO Membranes for Water Reuse Application: A Pilot-Scale Study. *Membranes (Basel)*, 11(2), 117. doi: [10.3390/membranes11020117](https://doi.org/10.3390/membranes11020117)
- Baskar, A.V., Bolan, N., Son, A.H., Sooriyakumar, P., Kumar M., & Kadambot, H.M. (2022). Recovery, regeneration and sustainable management of spent adsorbents from wastewater treatment streams: A review. *Science of the Total Environment*, 822, 153555. doi: [10.1016/j.scitotenv.2022.153555](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153555)
- Bassareh, H., Karamzadeh, M., & Movahedirad, S. (2023). Synthesis and characterization of cost-effective and high-efficiency biochar for the adsorption of Pb²⁺ from wastewater. *Scientific Reports*, 13, 15608. doi: [10.1038/s41598-023-42918-0](https://doi.org/10.1038/s41598-023-42918-0)
- Birniwa, A.H., Habibu, S., Sa'ad Abdullahi, S., Edrees Adam Mohammad, R., & Jagaba, A.H. (2024). Membrane technologies for heavy metals removal from water and wastewater: A mini review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100538. doi: [10.1016/j.csee.2023.100538](https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100538)
- Blasi, A., Verardi, A., Lopresto, C.G., Siciliano, S., & Sangiorgio, P. (2023). Lignocellulosic Agricultural Waste Valorization to Obtain Valuable Products: An Overview. *Recycling*, 8(4), 61. doi: [10.3390/recycling8040061](https://doi.org/10.3390/recycling8040061)
- Bolan, S., Hou, D., Wang, L., Hale, L., Egamberdieva, D., Tammeorg, P., Li, R., Wang, B., Xu, J., Wang, T., Sun, H., Padhye, L.P., Wang, H., Siddique, K.H.M., Rinklebe, J., Kirkham, M.B. & Bolan, N. (2023). The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and

- Hasnain, M., Munir, N., Abideen, Z., Zulfikar, F., Werner, Koyro, H., El-Naggar, A., Caçador, I., Duarte, B., Rinklebe, J., & Hong Yong, J.W. (2023). Biochar-plant interaction and detoxification strategies under abiotic stresses for achieving agricultural resilience: A critical review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 249, 114408. doi: [10.1016/j.ecoenv.2022.114408](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114408)
- Hussain, A., Madan, S., & Madan, R. (2021). Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption. *IntechOpen*, 1, 2-22. doi: [10.5772/intechopen.95841](https://doi.org/10.5772/intechopen.95841)
- Ingrosso, C., Panniello, A., Comparelli, R., Curri, M.L., & Striccoli, M. (2010). Colloidal Inorganic Nanocrystal Based Nanocomposites: Functional Materials for Micro and Nanofabrication. *Materials*, 3(2), 1316–1352. doi: [10.3390/ma3021316](https://doi.org/10.3390/ma3021316)
- Jagadeesh, N., & Sundaram, B. (2023). Adsorption of Pollutants from Wastewater by Biochar: A Review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, 100226. doi: [10.1016/j.hazadv.2022.100226](https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100226)
- Jin, H., Capareda, S., Chang, Z., Gao, J., Xu, Y., & Zhang, J. (2014). Biochar pyrolytically produced from municipal solid wastes for aqueous As (V) removal: Adsorption property and its improvement with KOH activation. *Bioresource Technology*, 169, 622–629. doi: [10.1016/j.biortech.2014.06.103](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.103)
- Kannan, N., & Meenakshisundaram, M. (2002). Adsorption of Congo Red on Various Activated Carbons. A Comparative Study. *Water, Air, and Soil Pollution*, 138, 289–305. doi: [10.1023/A:1015551413378](https://doi.org/10.1023/A:1015551413378)
- Karić, N., Alexandra, S., Maia, Teodorović, A., Atanasova, N., Langergraber, G., Crini, G., Ribeiro, A.R.L., & Dolić v. (2022). Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in)organic pollutants in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal Advances*, 9, 100239. doi: [10.1016/j.cej.2021.100239](https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100239)
- Khalfaoui, A., Mahfouf Bouchareb, E., Derbal, K., Boukhaloua, S., Chahbouni, B., & Bouchareb, R. (2022). Uptake of Methyl Red dye from aqueous solution using activated carbons prepared from Moringa Oleifera shells. *Cleaner Chemical Engineering*, 4, 100069. doi: [10.1016/j.cce.2022.100069](https://doi.org/10.1016/j.cce.2022.100069)
- Arabian Journal of Chemistry, 16(12), 105303. doi: [10.1016/j.arabjc.2023.105303](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105303)
- Elgarahy, A.M., Elwakeel, K.Z., Mohammad, S.H., & Elshoubaky, G.A. (2021). A critical review of bio-sorption of dyes, heavy metals and metalloids from wastewater as an efficient and green process. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100209. doi: [10.1016/j.clet.2021.100209](https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100209)
- Fatima, S.S., Borhan, A., Ayoub, M., & Ghani, N.A. (2021). Development and progress of functionalized silica-based adsorbents for CO₂ capture. *Journal of Molecular Liquids*, 338, 116913. doi: [10.1016/j.molliq.2021.116913](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116913)
- Feng, N., Guo, X., & Liang, S. (2009). Adsorption study of copper (II) by chemically modified orange peel. *Journal of Hazard Materials*, 164, 1286–1292. doi: [10.1016/j.jhazmat.2008.09.096](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.096)
- Freitas, J.V., Nogueira, F.G.E., & Farinas, C.S. (2019). Coconut shell activated carbon as an alternative adsorbent of inhibitors from lignocellulosic biomass pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 137, 16–23. doi: [10.1016/j.indcrop.2019.05.018](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.018)
- Garcia, M., Knuutila, H.K., Edwin Aronu, U., & Gu, S. (2018). Influence of substitution of water by organic solvents in amine solutions on absorption of CO₂. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 78, 286–305. doi: [10.1016/j.ijggc.2018.07.029](https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.07.029)
- Gil, A., Santamaría, L., Korili, S.A., Vicente, M.A., Barbosa, L.V., de Souza, S.D., Marçal, L., de Faria, E.H., & Ciuffi, K.J. (2021). A review of organic-inorganic hybrid clay based adsorbents for contaminants removal: Synthesis, perspectives and applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105808. doi: [10.1016/j.jece.2021.105808](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105808)
- Gkika, D.A., Mitropoulos, A.C., & Kyzas, G.Z. (2022). Why reuse spent adsorbents? The latest challenges and limitations. *Science of The Total Environment*, 822, 153612. doi: [10.1016/j.scitotenv.2022.153612](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153612)
- Gupta, V.K., Agarwal, S., & Saleh, T.A. (2011). Synthesis and characterization of alumina-coated carbon nanotubes and their application for lead removal. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 17–23. doi: [10.1016/j.jhazmat.2010.08.053](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.08.053)

- Maleki, F., Razmi, H., Rashidi, M.R., Yousefi, M., & Ghorbani, M. (2024). Recent advances in developing electrochemical (bio) sensing assays by applying natural polymer-based electrospun nanofibers: A comprehensive review. *Microchemical Journal*, 197, 109799. doi: [10.1016/j.microc.2023.109799](https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109799)
- Maslova, M., Mudruk, N., Ivanets, A., Shashkova, I., & Kitikova, N. (2021). The effect of pH on removal of toxic metal ions from aqueous solutions using composite sorbent based on Ti-Ca-Mg phosphates. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101830. doi: [10.1016/j.jwpe.2020.101830](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101830)
- Mahamuni, N.N., & Adewuyi, Y.G. (2010). Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: A review with emphasis on cost estimation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 17(6), 990-1003. doi: [10.1016/j.ultsonch.2009.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.09.005)
- Martínez-Carmona, M., & Vallet-Regí, M. (2020). Advances in Laser Ablation Synthesized Silicon-Based Nanomaterials for the Prevention of Bacterial Infection. *Nanomaterials (Basel)*, 10(8), 1443. doi: [10.3390/nano10081443](https://doi.org/10.3390/nano10081443)
- Matei, E., Râpă, M., Predescu, A.M., Turcanu, A.A., Vidu, R., Predescu, C., Bobirica, C., Bobirica, L., & Orbeci, C. (2021). Valorization of Agri-Food Wastes as Sustainable Eco-Materials for Wastewater Treatment: Current State and New Perspectives. *Materials*, 14(16), 4581. doi: [10.3390/ma14164581](https://doi.org/10.3390/ma14164581)
- Mbarek, W.B., Escoda, L., Saurina, J., Pineda, E., Alminderej, F.M., Khitouni, M., & Suñol, J.J. (2022). Nanomaterials as a Sustainable Choice for Treating Wastewater: A Review. *Materials (Basel)*, 15(23), 8576. doi: [10.3390/ma15238576](https://doi.org/10.3390/ma15238576)
- Mortada, W., Moustafa, A., Ismail, A., Hassanien, M., & Aboud, A. (2015). Microwave assisted decoration of titanium oxide nanotubes with CuFe₂O₄ quantum dots for solid phase extraction of uranium. *RSC Advances*, 5, 62414-62423. doi: [10.1039/C5RA10304E](https://doi.org/10.1039/C5RA10304E)
- Mulay, M.R., & Martsinovich, N. (2022). Water Pollution and Advanced Water Treatment Technologies. In: Brears, R.C. (Eds) *The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures*. Palgrave Macmillan, Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., & Zhu, Y.G. (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152(3), 686-692. doi: [10.1016/j.envpol.2007.06.056](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056)
- Khan, U., Ogbaga, C.C., Omolabake Abiodun, O.A., Adeleke, A.A., Ikubanni, P.P., Okoye, P.U., & Okolie, J.A. (2023). Assessing absorption-based CO₂ capture: Research progress and techno-economic assessment overview. *Carbon Capture Science and Technology*, 8, 100125. doi: [10.1016/j.ccst.2023.100125](https://doi.org/10.1016/j.ccst.2023.100125)
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. doi: [10.1016/j.arab-jc.2017.05.011](https://doi.org/10.1016/j.arab-jc.2017.05.011)
- Kolesnikov, S., Minnikova, T., & Kazeev, K. (2022). Assessment of the Ecotoxicity of Pollution by Potentially Toxic Elements by Biological Indicators of Haplic Chernozem of Southern Russia (Rostov region). *Water, Air, and Soil Pollution*, 233, 18. doi: [10.1007/s11270-021-05496-3](https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3)
- Kuma, N.S. (2023). Smart and innovative nanotechnology applications for water purification. *Hybrid Advances*, 3, 100044. doi: [10.1016/j.hybadv.2023.100044](https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100044)
- Kuppusamy, S., Thavamani, P., Megharaj, M., & Naidu, R. (2015). Bioremediation potential of natural polyphenol rich green wastes: A review of current research and recommendations for future directions. *Environmental Technology and Innovation*, 4, 17-28. doi: [10.1016/j.eti.2015.04.001](https://doi.org/10.1016/j.eti.2015.04.001)
- Kwame Nti, E., Jerry Cobbina, S., Efua Attafuah, E., Dziedzorm Senanu, L., Amenyeku, G., Amoah Gyan, M., Forson, D., & Safo, A.R. (2023). Water pollution control and revitalization using advanced technologies: Uncovering artificial intelligence options towards environmental health protection, sustainability and water security. *Heliyon*, 9(7), e18170. doi: [10.1016/j.heliyon.2023.e18170](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18170)
- Le Ba, T., Mahian, O., & Wongwises, S. (2020). Review on the recent progress in the preparation and stability of graphene-based nanofluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142, 1145-1172. doi: [10.1007/s10973-020-09365-9](https://doi.org/10.1007/s10973-020-09365-9)

- da, C. & Ngila, J.C. (2023). Potentially Toxic Elements in Pharmaceutical Industrial Effluents: A Review on Risk Assessment, Treatment, and Management for Human Health. *Sustainability*, 15(8), 6974. doi: [10.3390/su15086974](https://doi.org/10.3390/su15086974)
- Pastor-Villegas, J., Durán-Valle, C., Valenzuela-Calahorra, C., & Gómez-Serrano, V. (1998). Organic chemical structure and structural shrinkage of chars prepared from rockrose. *Carbon*, 36, 1251-1256. doi: [10.1016/S0008-6223\(97\)00200-5](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(97)00200-5)
- Priya, A.K., Gnanasekaran, L., Dutta, K., Rajendran, S., Balakrishnan, D., & Soto-Moscoso, M. (2022). Biosorption of heavy metals by microorganisms: Evaluation of different underlying mechanisms. *Chemosphere*, 307(Pt 4), 135957. doi: [10.1016/j.chemosphere.2022.135957](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135957)
- Qiu, C., Jiang, L., Gao, Y., & Sheng, L. (2023). Effects of oxygen-containing functional groups on carbon materials in supercapacitors: A review. *Materials and Design*, 230, 111952. doi: [10.1016/j.matdes.2023.111952](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111952)
- Rashid, A., Bhatti, H.N., Iqbal, M., & Noreen S. (2016). Fungal biomass composite with bentonite efficiency for nickel and zinc adsorption: a mechanistic study. *Ecological Engineering*, 91, 459-471. doi: [10.1016/j.ecoeng.2016.03.014](https://doi.org/10.1016/j.ecoeng.2016.03.014)
- Rudi, N.N., Suliza Muhamad, N., Te Chuan, L., Alipal, J., Omar, S., Hamidon, N., Hazren Abdul Hamid, N., Mohamed Sunar, N., Ali, R., & Harun, H. (2020). Evolution of adsorption process for manganese removal in water via agricultural waste adsorbents. *Heliyon*, 6(9), e05049. doi: [10.1016/j.heliyon.2020.e05049](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05049)
- Saberi Riseh, R., Gholizadeh Vazvani, M., Hassanisaadi, M., & Kumar Thakur, V. (2023). Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries. *Industrial Crops and Products*, 208, 117904. doi: [10.1016/j.indcrop.2023.117904](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117904)
- Sahu, P., & Verma, S. (2021). Removal efficiency assessment of adsorbent based on banana peel for methylene blue. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 3(9), 1-9. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/volume_3/is-sue_9_september_2021/16402/final/fin_irjmets1632755481.pdf
- Cham. 220 p. doi: [10.1007/978-3-030-87745-3_189](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87745-3_189)
- Mulder, M. (2002). *Basic Principles of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publishers, Second edition. New York, USA. 1-21.
- Neha, R., Adithya, S., Sai Jayaraman, R., Panchamoorthy Gopinath, K., Pandimadevi, M., Praburaman, L., & Jayaseelan, A. (2021). Nano-adsorbents an effective candidate for removal of toxic pharmaceutical compounds from aqueous environment: A critical review on emerging trends. *Chemosphere*, 27, 129852. doi: [10.1016/j.chemosphere.2021.129852](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129852)
- Neisan, R.S., Saady, N.M.C., Bazan, C., Zendeheboudi, S., & Albayati, T.M. (2023). Adsorption of copper from water using TiO₂-modified activated carbon derived from orange peels and date seeds: Response surface methodology optimization. *Heliyon*, 9(11), e21420. doi: [10.1016/j.heliyon.2023.e21420](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21420)
- Ngeno, E.C., Kinyua, E.M., Chaker Necibi, M., Abushaban, A., & Sillanpää, M. (2022). Sustainable re-utilization of waste materials as adsorbents for water and wastewater treatment in Africa: Recent studies, research gaps, and way forward for emerging economies. *Environmental Advances*, 9, 100282. doi: [10.1016/j.envadv.2022.100282](https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100282)
- Nieto-Márquez, A., Pinedo-Flores, A., Picasso, G., Atanes, E., & Kou, R.S. (2017). Selective adsorption of Pb²⁺, Cr³⁺ and Cd²⁺ mixtures on activated carbons prepared from waste tires. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, 1060-1067. doi: [10.1016/j.jece.2017.01.034](https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.01.034)
- Nishat, A., Yusuf, M., Qadir, A., Ezaier, Y., Vambol, V., Ijaz Khan, M., Ben Moussa, S., Kamyab, H., Sehgal, S.S., Prakash, C., Yang, H.H., Ibrahim, H., & Eldin, S.M. (2023). Wastewater treatment: A short assessment on available techniques. *Alexandria Engineering Journal*, 76, 505-516. doi: [10.1016/j.aej.2023.06.054](https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.06.054)
- Ogbu, C., Twumasi, Y., Ning, Z., Attamah, G., Ezeaku, V., & Oladigbolu, O. (2022). Analysis of Forest Waste Management and Recycling Potential in Nigeria. *Natural Resources*, 13, 191-205. doi: [10.4236/nr.2022.1310013](https://doi.org/10.4236/nr.2022.1310013)
- Okoro, H.K., Orosun, M.M., Oriade, F.A., Momoh-Salami, T.M., Ogunkunle, C.O., Adeniyi, A.G., Zvinowan-

- id waste for heavy metals adsorption features and challenges; a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10235-10253. doi: [10.1016/j.jmrt.2020.07.045](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.045)
- Srivatsav, P., Bhargav, B.S., Shanmugasundaram, V., Arun, J., Gopinath, K.P., & Bhatnagar, A. (2020). Bio-char as an Eco-Friendly and Economical Adsorbent for the Removal of Colorants (Dyes) from Aqueous Environment: A Review. *Water*, 12(12), 3561. doi: [10.3390/w12123561](https://doi.org/10.3390/w12123561)
- Tamjidi, S., Moghadas, B.K., Esmaili, H., Khoo, F.S., Gholami, G., & Ghasemi, M. (2021). Improving the surface properties of adsorbents by surfactants and their role in the removal of toxic metals from wastewater: A review study. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 775-795. doi: [10.1016/j.psep.2021.02.003](https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.02.003)
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., & Sutton, D.J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Experientia Supplementum*, 101, 133-164. doi: [10.1007/978-3-7643-8340-4_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)
- Ungureanu, E.L., Mocanu, A.L., Stroe, C.A., Panciu, C.M., Berca, L., Sionel, R.M., & Mustatea, G. (2023). Agricultural Byproducts Used as Low-Cost Adsorbents for Removal of Potentially Toxic Elements from Wastewater: A Comprehensive Review. *Sustainability*, 15(7), 5999. doi: [10.3390/su15075999](https://doi.org/10.3390/su15075999)
- Unuabonah, E.I., & Taubert, A. (2014). Clay-polymer nanocomposites (CPNs): Adsorbents of the future for water treatment. *Applied Clay Science*, 99, 83-92. doi: [10.1016/j.clay.2014.06.016](https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.06.016)
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., & Cruz, J.M. (2013). Entrapped Peat in Alginate Beads as Green Adsorbent for the Elimination of Dye Compounds from Wastewaters. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224, 1448. doi: [10.1007/s11270-013-1448-x](https://doi.org/10.1007/s11270-013-1448-x)
- Vijayaraghavan, K., & Balasubramanian, R. (2015). Is bio-sorption suitable for decontamination of metal-bearing wastewaters? A critical review on the state-of-the-art of biosorption processes and future directions. *Journal of Environmental Management*, 160, 283-296.
- Wang, S., Zhang, H., Wang, J., & Hou, H. (2021). Application of Biochar for Wastewater Treatment. In: Sarkar, M., Acharya, P.K., & Bhattacharya, B. (2003). Modeling the adsorption kinetics of some priority organic pollutants in water from diffusion and activation energy parameters. *Journal of Colloid and Interface Science*, 266, 28-32. doi: [10.1016/s0021-9797\(03\)00551-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9797(03)00551-4)
- Santhi, T., & Manonmani, S. (2011). Malachite green removal from aqueous solution by the peel of Cucumis sativa fruit. *Clean-SoilAirWater*, 39, 162-170. doi: [10.1002/clen.201000077](https://doi.org/10.1002/clen.201000077)
- Sen, T.K. (2023). Agricultural Solid Wastes Based Adsorbent Materials in the Remediation of Heavy Metal Ions from Water and Wastewater by Adsorption: A Review. *Molecules*, 28(14), 5575. doi: [10.3390/molecules28145575](https://doi.org/10.3390/molecules28145575)
- Schweinfurth, S.P. (2022). Coal—A Complex Natural Resource. An overview of factors affecting coal quality and use in the United States. Available at: <https://pubs.usgs.gov/circ/c1143/html/text.html> (visited 31 May 2022)
- Sharma, M., Usmani, Z., Kumar Gupta, V., & Bhat, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments. *Critical Reviews in Biotechnology*, 22, 1-20. doi: [10.1080/07388551.2021.1873240](https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240)
- Silva, J.A. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(14), 10940. doi: [10.3390/su151410940](https://doi.org/10.3390/su151410940)
- SME. (2023). Society for Mining, Metallurgy & Exploration. Coal's Importance to the World. Available at: <https://www.smenet.org> (visited 22 May 2023)
- Solangi, N.H., Kumar, J., Mazari, S.A., Ahmed, S., Fatima, N., & Mujawar Mubarak, N. (2021). Development of fruit waste derived bio-adsorbents for wastewater treatment: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125848. doi: [10.1016/j.jhazmat.2021.125848](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125848)
- Soliman, N., Mohamed, H.S., Elsayed, R.H., Elmedny, N.M., Elghandour, A.H., & Ahmed, S.A. (2019). Removal of chromium and cadmium ions from aqueous solution using residue of Rumex dentatus L. Plant waste. *Desalination and Water Treatment*, 149, 181-193. doi: [10.5004/dwt.2019.23862](https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23862)
- Soliman, N.K., & Moustafa, A.F. (2020). Industrial sol-

- Thapar Kapoor, R., Treichel, H., Shah, M.P. (eds) Bio-char and its Application in Bioremediation. Springer, Singapor,: 5-50. doi: [10.1007/978-981-16-4059-9_4](https://doi.org/10.1007/978-981-16-4059-9_4)
- Wysocka, I. (2023). Absorption processes in reducing the odor nuisance of wastewater, *MethodsX*, 10, 101996. doi: [10.1016/j.mex.2023.101996](https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.101996)
- Xiang, H., Min, X., Tang, C.J., Sillanpää, M., & Zhao, F. (2022). Recent advances in membrane filtration for heavy metal removal from wastewater: A mini review. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103023. doi: [10.1016/j.jwpe.2022.103023](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103023)
- Yeo, K.F.H., Li, C., Zhang, H., Chen, J., Wang, W., & Dong, Y. (2021). Arsenic Removal from Contaminated Water Using Natural Adsorbents: A Review. *Coatings*, 11(11), 1407. doi: [10.3390/coatings11111407](https://doi.org/10.3390/coatings11111407)
- Yin, G., Lin, Z., Jiang, X., Qiu, M., & Sun, J. (2020). How do the industrial land use intensity and dominant industries guide the urban land use? Evidences from 19 industrial land categories in ten cities of China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101978. doi: [10.1016/j.scs.2019.101978](https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101978)
- Younas, F., Mustafa, A., Farooqi, Z.U.R., Wang, X., Younas, S., Mohy-Ud-Din, W., Ashir Hameed, M., Mohsin Abrar, M., Maitlo, A.A., & Noreen, S. (2021). Current and Emerging Adsorbent Technologies for Wastewater Treatment: Trends, Limitations, and Environmental Implications. *Water*, 13(2), 215. doi: [10.3390/w13020215](https://doi.org/10.3390/w13020215)
- Zhang, Q.W., Lin, L.G., & Ye, W.C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*, 13, 20. doi: [10.1186/s13020-018-0177-x](https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x)
- Zhu, Y., Luan, Y., Zhao, Y., Liu, J., Duan, Z., & Ruan, R. (2023). Current Technologies and Uses for Fruit and Vegetable Wastes in a Sustainable System: A Review. *Foods*, 12(10), 1949. doi: [10.3390/foods12101949](https://doi.org/10.3390/foods12101949)
- Zimmermann, B., Gardian, H., & Rohrig, K. (2018). Cost-Optimal Flexibilization of Drinking Water Pumping and Treatment Plants. *Water*, 10(7), 857. doi: [10.3390/w10070857](https://doi.org/10.3390/w10070857)

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهشی کاربردی

Investigating Some Soil Characteristics and Water and Economic Indicators of Pea under Plasticulture and Planting Bed

M. Valipour¹, H. Heidari^{2*}, S. Bahraminejad³

1, 2, 3- Ph.D. Student, Associate Professor, and Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: h.heidari@razi.ac.ir)

Received: 17-08-2024

Revised: 18-10-2024

Accepted: 22-10-2024

Available Online: 08-03-2025

بررسی برخی خصوصیات خاک و شاخص‌های آبی و اقتصادی نخود فرنگی تحت تاثیر کشت پلاستیک و بستر کاشت

مریم ولی‌پور^۱، حسن حیدری^{۲*}، صحبت بهرامی‌نژاد^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: h.heidari@razi.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

Abstract

Lack of water limits the production of crops. In order to evaluate water and economic indicators and soil characteristics of pea under plasticulture and planting bed, a factorial experiment was conducted at Razi University in 2019 and 2020 crop years. The studied factors included plasticulture (without nylon, nylon on the plant and nylon on the soil) and the method of planting in the bed (flat, half-meter furrow, and one-meter furrow). The results showed that the plots with plastic mulch on the soil with a half-meter furrow had the highest soil moisture due to the retention of soil water in most growth stages. According to the two indicators of net profit per unit of water consumed and net income of pea in two years, the nylon treatment along with ridge and furrow, especially treatment of nylon on soil and half-meter furrow, has increased these two indicators, so this treatment can be recommended to increase the farmer's income and preserve soil water resources. It is recommended to use permanent ridge and furrow to reduce costs in future research.

Keywords: Soil Moisture, Mulch, Ridge and Furrow, Net Income, Net Profit.

چکیده

کم آبی تولید گیاهان زراعی را محدود می‌کند. به منظور ارزیابی شاخص‌های آبی و اقتصادی و خصوصیات خاک نخود فرنگی تحت تاثیر کشت پلاستیک و بستر کاشت، پژوهشی به صورت آزمایش فاکتوریل در دانشگاه رازی در سال‌های زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. عوامل مطالعه شده شامل کشت نایلونی (بدون نایلون، نایلون روی گیاه و نایلون روی خاک) و نحوه کاشت در بستر (مسطح، درون جوی نیم متری و کناره جوی یک متری) بودند. نتایج نشان داد کرت‌های با خاک پوش پلاستیکی روی خاک به همراه بستر جوی و پشته نیم‌متری به علت نگهداری آب خاک در اغلب مراحل رشدی بالاترین رطوبت خاک را داشتند. باتوجه به دو شاخص سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی و درآمد خالص نخود فرنگی در دو سال، تیمارهای نایلون‌کشی به همراه بستر جوی و پشته به خصوص تیمار نایلون روی خاک و جوی و پشته نیم متری باعث افزایش این دو شاخص شده است، لذا می‌توان این تیمار را برای افزایش درآمد کشاورز و حفظ منابع رطوبتی خاک پیشنهاد کرد. استفاده از جوی و پشته‌های دائمی برای کاهش هزینه‌ها برای پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، خاک‌پوش، جوی و پشته، درآمد خالص، سود خالص.

رسیدن به امنیت غذایی و در موازات با آن رسیدن به خود کفایی محصولات کشاورزی باتوجه به محدودیت در منابع آب مشکل است. امنیت غذایی به صورت دسترسی کافی همه افراد یک جامعه به غذای سالم در تمام طول زندگی برای داشتن یک زندگی سالم و فعال تعریف می شود. پس با تکیه بر منابع موجود بایستی غذای بیشتر و سالم تر تولید کرد. این شرایط مدیریت جامع تری نسبت به مدیریت امروز می طلبد تا کارایی های موجود در کشاورزی را افزایش دهد (Etezadi Syeidi و Rezvani Moghdm, ۲۰۱۱).

در بررسی اثر تیمارهای خاک پوشی مختلف شامل پلی اتیلن سیاه، پلی اتیلن شفاف، کلش برنج و بدون خاک پوش بر گیاه نخود فرنگی گزارش شده است که پوشش نایلونی سیاه و شفاف دمای خاک را نسبت به شاهد افزایش داده است. ولی خاک پوش کاه و کلش برنج دمای خاک را کاهش داده است (Awal و همکاران، ۲۰۱۶). خاک پوش انتقال هیدروترمال خاک و تبخیر و تعرق محصول را در پیوستار خاک - گیاه - جو (SPAC) تغییر داده و به طور گسترده در کشاورزی دیم کاری به ویژه در مناطق خشک چین استفاده می شود (Yang و همکاران، ۲۰۱۵). تیمارهای با فیلم پلاستیکی به طور قابل توجهی دمای خاک سطحی مزرعه ذرت را در مقایسه با تیمار غیر نایلون در شرایط دیم افزایش داد (Yuan و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی بر روی گیاه ذرت گزارش شد که از مرحله کاشت تا ساقه رفتن، ساقه رفتن تا ابریشم دهی، ابریشم دهی تا پر شدن دانه و پر شدن دانه تا بلوغ، میانگین دمای روزانه خاک سطحی تحت شرایط تیمار فیلم پلاستیکی ۲/۴، ۱/۱، ۳/۱ و ۱/۳ درجه سانتی گراد بالاتر از تیمار بدون فیلم پلاستیکی در سال ۲۰۱۷ بود. به ترتیب در سال ۲۰۱۸ این مقادیر، ۲/۱، ۰/۳، ۰/۳ و ۰/۵ درجه سانتیگراد افزایش یافت (Niua و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش دما و نور تحت استفاده از خاک پوش های پلاستیکی باعث افزایش راندمان عملکرد می شود، اما در این شرایط باید دما زیر حداکثر آستانه باقی بماند (Condori و همکاران، ۲۰۱۷). تمام تیمارهای خاک پوش شامل پلاستیکی و کلشی آب خاک را به مقدار قابل توجهی افزایش داده اند و ترتیب ذخیره آب از زیاد به کم شامل پلی اتیلن سیاه، پلی اتیلن شفاف، کلش برنج و بدون خاک پوش بوده است (Awal و همکاران، ۲۰۱۶).

در مطالعه اثر خاک پوش پلاستیک و آبیاری قطره ای بر نخود کفتری (*Cajanus cajan*) مشاهده شد خاک پوش پلاستیک باعث افزایش عملکرد دانه، کارایی مصرف آب شد. هزینه کاشت در شرایط خاک پوش پلاستیک بالاتر بود اما نسبت سود به هزینه و درآمد خالص در شرایط استفاده از خاک پوش پلاستیک بالاتر از شاهد (بدون خاک پوش پلاستیک) بود (Ramana و همکاران، ۲۰۱۸). در مطالعه اثر کود زیستی و خاک پوش بر رشد، عملکرد، کیفیت و اقتصاد نخود فرنگی (*Pisum sativum L.*) مشاهده شد، بالاترین نسبت

سود به هزینه با ۵ تن در هکتار کاه و کلش شلتوک به دست آمد که به علت افزایش در عملکرد قابل فروش غلاف نخود فرنگی و قیمت پایین خاک پوش شلتوک برنج بود (Singh و همکاران، ۲۰۲۱). کنترل علف های هرز به وسیله خاک پوش، باعث کاهش هزینه های کارگری و افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش سود اقتصادی می شود (حسینی و نعمتی، ۱۳۹۳). بالاترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد نخود فرنگی در تیمار پوشش نایلونی و کمترین آن در تیمار خاک پوش کلشی و بدون خاک پوش به دست آمد (Awal و همکاران، ۲۰۱۶). پوشش دهی خاک با خاک پوش آلی باعث افزایش تعداد غلاف در بوته و عملکرد غلاف نخود فرنگی شد (Sajid و همکاران، ۲۰۱۳). در پژوهشی طی بررسی بستر کشت روی گیاه سویا گزارش شد سیستم کشت جوی و پشته در مقایسه با سیستم کشت معمولی عملکرد را به میزان ۲۳-۸ درصد افزایش داده است (Basediya و همکاران، ۲۰۱۸). در بررسی یک متا آنالیز با ۴۲ مشاهده گزارش شد کاشت در تیمارهای جوی و پشته پوشیده شده با فیلم پلاستیکی در مقایسه با کاشت مسطح بدون خاک پوش، عملکرد سبب زمینی را ۳۴/۰۱ درصد در استان های گانسو، ۳۲/۹۹ درصد در استان نینگ شیا و ۱۲/۷۸ درصد در استان شانشی چین افزایش داد. عملکرد ذرت در سیستم کشت جوی و پشته لخت ده تن در هکتار بوده ولی این میزان در سیستم کاشت مسطح هشت تن در هکتار بود که تقریباً ۳۳ درصد افزایش در عملکرد ایجاد شد (Mak Mensah و همکاران، ۲۰۲۲). از لحاظ اقتصادی، محصول گیاه نخود فرنگی که همان غلاف های تازه حاوی دانه های سبز است، قیمت نسبتاً بالایی به ویژه در اوایل عرضه این محصول به بازار دارد، بنابراین هر عاملی که باعث زودرسی شود می تواند صرفه اقتصادی خوبی نیز برای کشاورزان داشته باشد. زودرسی حتی بدون افزایش عملکرد کل، عامل مهمی در بالا بردن سود پرورش دهندگان محصولات به حساب می آید (Peksen و همکاران، ۲۰۰۴). خاک پوش ها با افزایش دمای اطراف سایه انداز گیاه، تغییراتی را در حرارت تجمعی و درجه روزهای رشد به وجود می آورند که سبب زودرسی محصول می شوند (Parte و همکاران، ۲۰۲۲؛ Taromi Aliabadi و همکاران، ۲۰۱۹). کمبود آب، منجر به رها سازی بسیاری از اراضی زراعی شده است. استفاده از خاک پوش ها یکی از راه های امیدبخش برای حفظ رطوبت خاک و کاهش مصرف آب است. در کشور ما بارش ها عمدتاً زمستانه و در فصل سرد اتفاق می افتند در این زمان گیاه زراعی به علت دمای پایین قادر به استفاده از این بارش ها نیست. استفاده از پوشش پلاستیک می تواند به افزایش دمای خاک و گیاه کمک کند و استفاده از بارش های زمستانه را مهیا سازد. از بعد استفاده از نایلون وجه تمایز پژوهش حاضر با سایر پژوهش ها، ارزیابی هم زمان سود اقتصادی استفاده از پلاستیک می باشد. باتوجه به مرور بر پژوهش های بیان شده این پژوهش با هدف تعیین برخی خصوصیات خاک و شاخص های آبی و اقتصادی نخود فرنگی تحت تأثیر کشت پلاستیک و نحوه کاشت اجرا شد.

• طرح آزمایشی

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی کرمانشاه در دو سال زراعی ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عوامل مورد پژوهش شامل نایلون‌کشی در سه سطح (بدون نایلون، نایلون روی گیاه، نایلون روی خاک) و روش کاشت در سه سطح (کشت مسطح معمولی، کشت درون جوی‌های نیم‌متری، کشت در کناره جوی‌های یک متری) بودند. در تیمار نایلون روی خاک کل کرت با پلاستیک پوشیده شد و فقط حدود پنج سانتی متر از اطراف ردیف کشت فاقد پوشش پلاستیک بود. نایلون روی خاک به وسیله خاک در زمین ثابت شد. برای نگهداری نایلون روی گیاه از پشته خاکی و چوب تر استفاده شد و به منظور نگهداری آب برای آخر فصل و حداکثر استفاده از پلاستیک، نایلون روی گیاه در مرحله گلدهی درکف جوی‌ها قرار گرفت. برای نفوذ آب باران به زیر نایلون سوراخ‌هایی تعبیه شد. انتخاب روش کشت درون جوی نیم و یک متری به منظور استفاده حداکثری از آب با اندازه‌های مختلف جوی بود. در روش کشت جوی و پشته، پشته به مانند سطح آبخیز عمل کرده و آب را به سمت جوی هدایت می‌کند. نخود فرنگی در ۳۰ آبان ماه کشت شد. فاصله کرت‌های آزمایشی از یکدیگر یک و نیم متر و ابعاد هریک از کرت‌ها به طول و عرض ۲ در ۲ متر مربع در نظر گرفته شد. در هر کرت، ۴ ردیف کشت به فاصله نیم متر و فاصله بوته‌ها در هر ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود. برای اینکه فاصله ردیف گیاه نیم متر حفظ شود، کشت در حاشیه جوی یک متری انجام شد. ولی در جوی نیم متری بذر در وسط جوی کشت شد. پلاستیک مورد استفاده شفاف بود. نایلون‌کشی بعد از یک بارندگی مساعد اعمال شد. جهت نفوذ آب باران به زیر نایلون سوراخ‌هایی در نظر گرفته شد. به منظور نگهداری آب برای آخر فصل و حداکثر استفاده از پلاستیک، نایلون روی گیاه در مرحله گلدهی درکف جوی‌ها قرار گرفت. گیاهان دیم‌کاری شدند. مجموع بارش در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (سال اول کاشت) برابر با ۵۳۷ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ (سال دو کاشت) برابر با ۳۱۲/۵ میلی‌متر بود، اگر ۸۰٪ آن موثر در نظر گرفته شود (خالقی، ۱۳۹۴) بارش موثر در سال اول و دوم به ترتیب معادل ۴۳۰ و ۲۵۰ میلی‌متر بوده است.

• صفات مرتبط با شرایط خاک

دمای خاک در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و با استفاده از دستگاه دماسنج مدل TP101 با دامن دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در روزهای معمولی و آفتابی و در مراحل

رشدی مختلف و بین دو بارندگی و در بازه زمانی نزدیک به بارندگی دوم (حداکثر خشکی) براساس گزارش‌های هواشناسی در مراحل رشدی سه برگه، ده برگه، سی برگه، گلدهی و دانه‌بندی اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که در مراحل سه برگه و ۱۰ برگه فقط دمای عمق ۱۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد چون رشد ریشه در این محدوده بوده است. رطوبت خاک در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و با استفاده دستگاه رطوبت‌سنج و پی اچ سنج خاک مدل پی اچ MOISTURE و هم‌زمان با مراحل دما اندازه‌گیری شد.

• صفات مرتبط با شرایط آبی

- شاخص درآمد به ازای آب مصرفی (BPD^۱): این شاخص در واقع نسبت میزان درآمد در هر هکتار به ازای واحد حجم آب (مترمکعب در هکتار) می‌باشد (رابطه ۱) (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۶).

$$BPD = OV / TWC \quad (1)$$

که در آن BPD درآمد به ازای آب مصرفی، OV مقدار درآمد کل فروش محصول در هکتار (ریال ایران) و TWC حجم آب مصرف‌شده (مترمکعب) است. براساس این شاخص، سیاست مصرف آب باید به گونه‌ای باشد که میزان سود ناخالص به‌دست آمده در واحد آب مصرف شده بیشتر باشد. اما در این روش هزینه تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود.

- شاخص سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی (NBPD^۲): بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی یا NBPD یا سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی می‌باشد که نه تنها سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید، بلکه این شاخص اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک مواجه با محدودیت شدید آب دارد. چرا که از این طریق می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی اختصاص داد که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران نماید. این شاخص توسط رابطه (۲) قابل محاسبه است (کریمی و جلیلی، ۱۳۹۶).

$$NBPD = NI / TWC \quad (2)$$

که در آن NBPD میزان سود خالص به ازای واحد آب مصرفی، NI میزان سود خالص (ریال ایران) در هر هکتار و TWC حجم آب مصرف‌شده (مترمکعب) است.

• صفات مرتبط با ارزیابی اقتصادی

هزینه کل: هزینه‌ها در مزرعه به دو صورت هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغییر تقسیم‌بندی می‌شوند. هزینه‌ها در این پژوهش شامل هزینه کار، پلاستیک، تهیه بستر و بذر و کود بود که در جدول (۱) هزینه‌ها به تفکیک سال آورده شده است. هزینه کود و بذر برای همه کرت‌ها ثابت بود.

جدول ۱- اطلاعات اولیه در مورد نوع هزینه‌ها و تغییرات آن‌ها در دو سال

سال	هزینه کار (وجین، پلاستیک کشی، برداشت محصول) (ریال)	هزینه خرید پلاستیک (ریال)	هزینه تهیه بستر (شخم زدن و کرایه میلگرد) (ریال)	هزینه خرید بذر (ریال)	هزینه خرید کود (ریال)
سال ۱۳۹۸	هر روز کارگری ۸ ساعته ۲۰۰۰۰۰	هر کیلو ۱۳۰۰۰۰	هر ساعت شخم ۱۰۰۰۰۰۰ + کرایه میلگرد ۱۰۰۰۰۰۰	هر کیلو ۶۰۰۰۰۰	هر کیلو ۵۰۰۰۰
سال ۱۳۹۹	هر روز کارگری ۸ ساعته ۳۰۰۰۰۰	هر کیلو ۱۸۰۰۰۰	هر ساعت شخم ۱۲۰۰۰۰۰ + کرایه میلگرد ۱۱۰۰۰۰۰	هر کیلو ۱۰۰۰۰۰۰	هر کیلو ۶۰۰۰۰

هزینه کل با رابطه (۳) بدست آمد.

$$IV = LC + PC + MCC + SFC \quad (3)$$

که در آن IV هزینه کل (ارزش ورودی)، LC هزینه کار، PC هزینه پلاستیک، MCC هزینه کشت ماشینی (تهیه بستر بذر) و SFC هزینه مربوط به بذر و کود است. قابل ذکر است که کل هزینه‌ها برحسب ریال ایران در هکتار محاسبه می‌شود (Zhang و همکاران، ۲۰۱۷).

- درآمد کل: برابر با کل درآمدی که از فروش دانه و کلش محصول بر حسب ریال ایران در هکتار به دست می‌آید (رابطه ۴).

$$OV = (GY \times GP) + (BY \times BP) \quad (4)$$

که در آن OV درآمد (ارزش خروجی)، GY عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)، BY عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار)، GP و BP به ترتیب قیمت محلی دانه نخود و زیست توده است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۷). هر کیلوگرم غلاف نخود سبز در سال اول کشت ۵۰۰۰۰ ریال و در سال دوم با قیمت ۷۰۰۰۰ به فروش رسید. همچنین هر تن زیست توده در سال اول با قیمت یک میلیون تومان و در سال دوم با قیمت یک میلیون و پانصد هزار تومان به فروش رسید.

درآمد خالص: درآمد خالص عبارت است از تفاوت بین درآمد کل و هزینه کل که با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید (Bakhsh و همکاران، ۲۰۱۵):

$$NI = OV - IV \quad (5)$$

که NI درآمد خالص، OV درآمد کل و IV هزینه کل (ریال ایران در هکتار) است.

- درآمد ناخالص: درآمد ناخالص با هدف مقایسه انجام خواهد شد. فرمول مورد استفاده برای درآمد ناخالص به شرح رابطه (۶) است (Bakhsh و همکاران، ۲۰۱۵):

$$GI = OV - CV \quad (6)$$

که GI درآمد ناخالص، OV درآمد کل و CV هزینه‌های متغیر بر حسب ریال ایران در هکتار می‌باشد.

• تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و

مقایسه میانگین تیمارها با روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. پس از انجام آزمایش بارتلت نتایج نشان داد صفات آبی و اقتصادی به جز هزینه کل را می‌توان به صورت تجزیه در هر سال به طور جداگانه تجزیه کرد. دما و رطوبت خاک به علت فراوانی زمان اندازه‌گیری با خطای معیار مقایسه شدند.

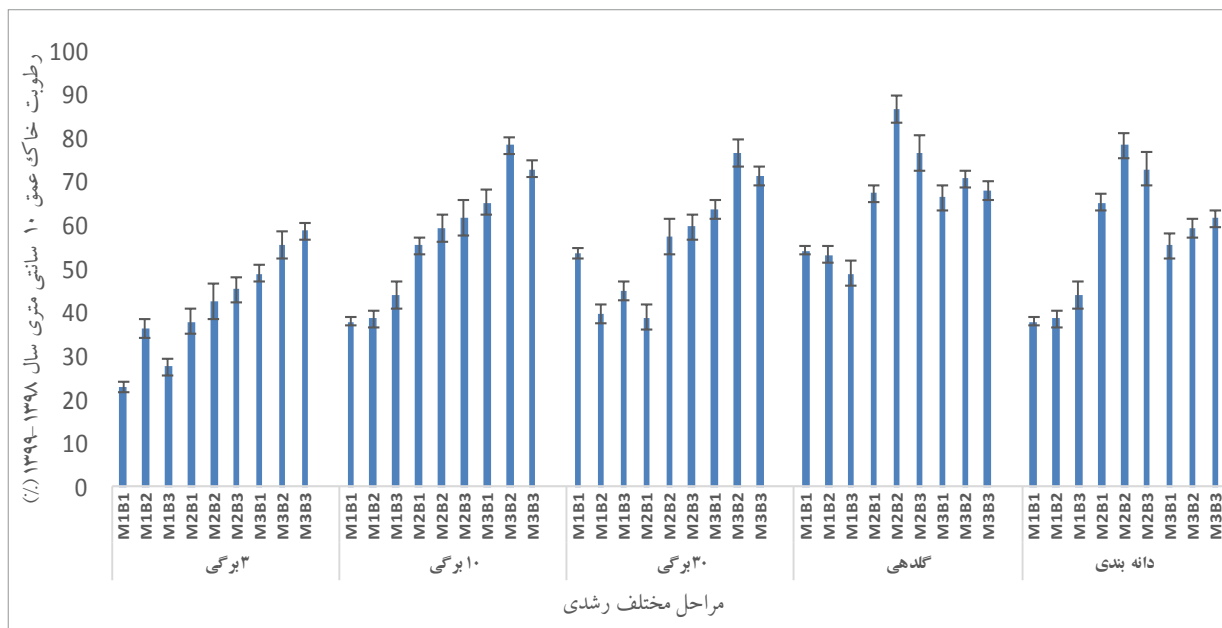
نتایج و بحث

• صفات مرتبط با شرایط خاک

- رطوبت خاک: براساس شکل (۱) که رطوبت عمق ۱۰ سانتی متری خاک را در مراحل مختلف رشد و تحت اثرات متقابل دوگانه نایلون و بستر در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ را نشان می‌دهد. در ابتدای رشد بالاترین رطوبت خاک در تیمار نایلون روی گیاه حاصل شده است اما در مراحل آخر رشد بالاترین میزان رطوبت در تیمار نایلون روی خاک حاصل شده است. در کل دوره کاشت پایین‌ترین میزان رطوبت در تیمار بدون نایلون حاصل شده است. در آخر فصل رشد برتری رطوبتی با تیمار بستر جوی و پشته نیم متری بوده و این حالت در شرایطی که با نایلون روی خاک ترکیب شده مشهودتر است (شکل ۱).

شکل مربوط به رطوبت عمق ۱۰ سانتی متری خاک در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ نشان می‌دهد رطوبت بالا تحت تیمارهای نایلونی اتفاق افتاده و تیمار بدون نایلون رطوبت کمتری داشته است و در آخر فصل رشد تیمار نایلون روی خاک رطوبت را به میزان بیشتر حفظ کرده است. خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری در اکثر مواقع رطوبت بیشتری داشت (شکل ۲).

باتوجه به اینکه در ابتدای دوره رشدی، ریشه گیاه تا عمق ۲۰ سانتی متری خاک نفوذ نمی‌کند نمونه‌برداری از این عمق انجام نگرفته است. در مرحله رشدی ۳۰ برگ نایلون روی گیاه رطوبت خاک بالایی را حاصل کرده است. در مرحله ۳۰ برگی در کرت‌های بدون پلاستیک رطوبت خاک کمترین مقدار را داشت. در مرحله گلدهی اختلاف کمی بین رطوبت خاک در کرت‌های با پلاستیک روی گیاه و روی خاک مشاهده شد اما در مرحله دانه‌بندی پلاستیک روی گیاه بالاترین رطوبت خاک را داشت (شکل ۳).



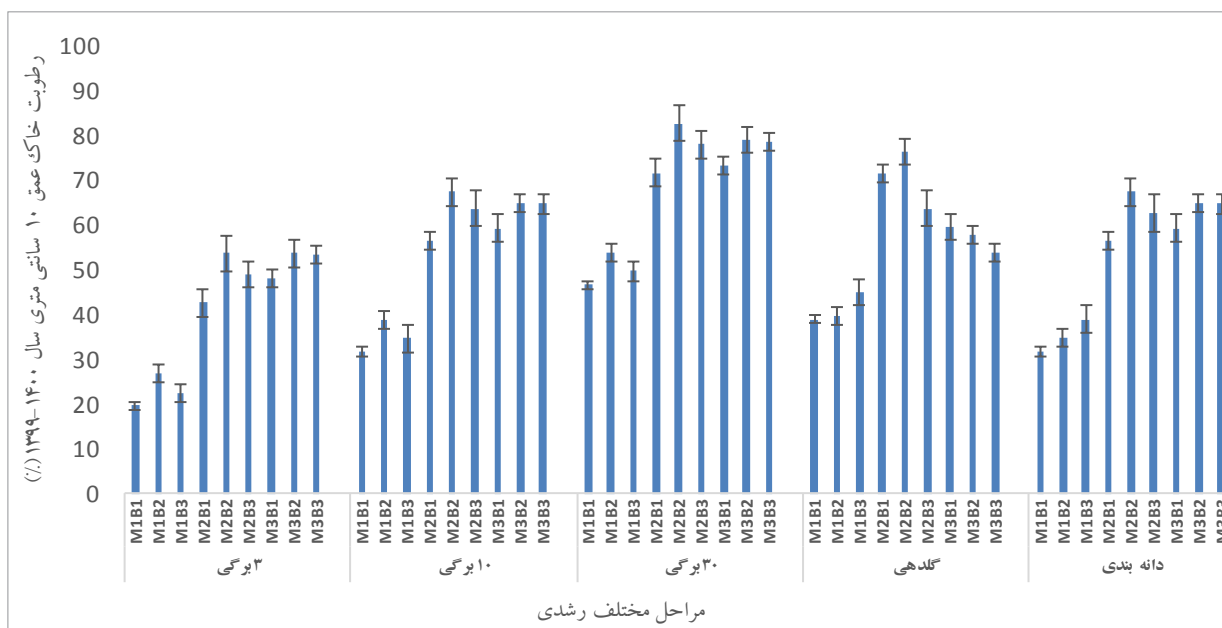
شکل ۱- اثر نایلون و بستر کاشت بر رطوبت خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹

M1B1= بدون خاکپوش و بستر مسطح / M2B1= خاکپوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1= خاکپوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاکپوش و بسترجوی و پشته نیم متری / M2B2= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری / M3B2= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشته نیم متری

M1B3= بدون خاکپوش و بسترجوی و پشته یک متری / M2B3= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشته یک متری / M3B3= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشته یک متری

میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد است.



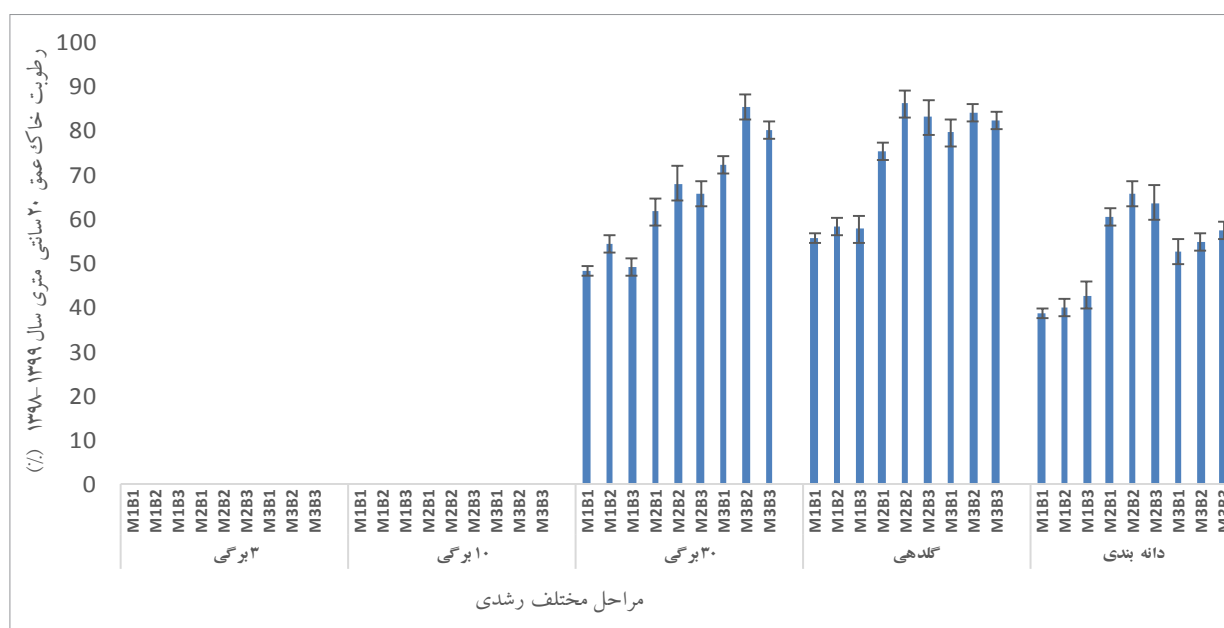
شکل ۲- اثر نایلون و بستر کاشت بر رطوبت خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰

M1B1= بدون مالچ و بستر مسطح / M2B1= خاکپوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1= خاکپوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاکپوش و بسترجوی و پشته نیم متری / M2B2= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری / M3B2= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشته نیم متری

M1B3= بدون خاکپوش و بسترجوی و پشته یک متری / M2B3= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشته یک متری / M3B3= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشته یک متری

میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.



شکل ۳- اثر نایلون و بستر کاشت بر رطوبت خاک در عمق ۲۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹

M1B1 = بدون خاکپوش و بستر مسطح / M2B1 = خاکپوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1 = خاکپوش روی گیاه و بستر مسطح

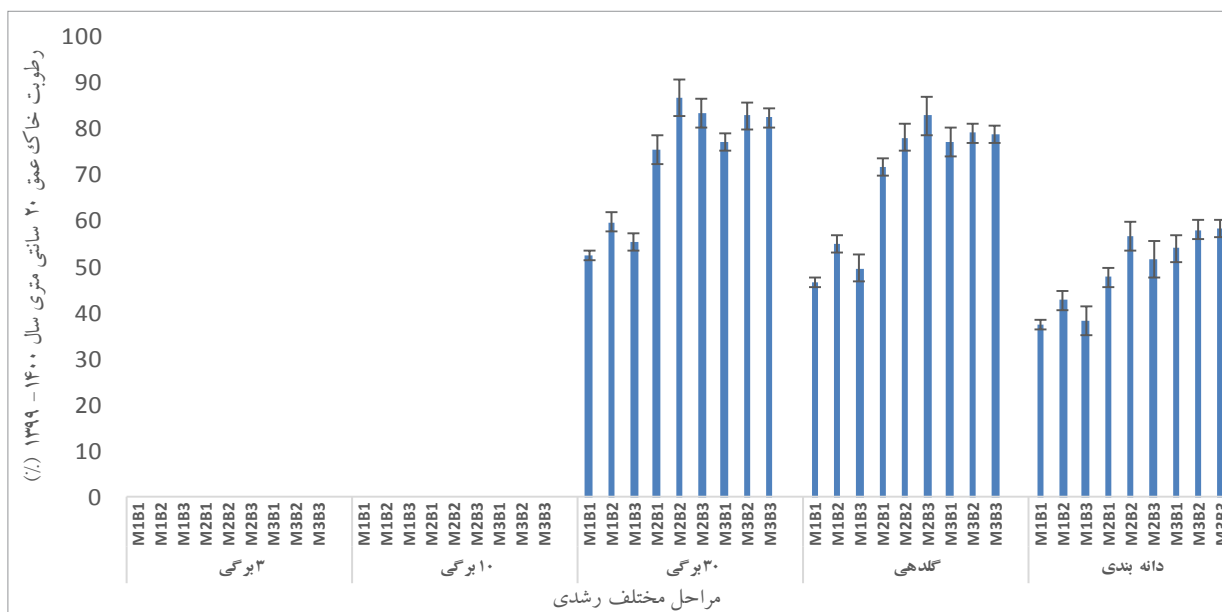
M1B2 = بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت نیم متری / M2B2 = خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت نیم متری / M3B2 = خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت نیم متری
M1B3 = بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت یک متری / M2B3 = خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت یک متری / M3B3 = خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت یک متری
میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.

گاه تیمار نایلون روی خاک و بستر جوی و پشت نیم متری ترکیب شدند بهترین شرایط رطوبتی ایجاد شده و این رطوبت می تواند تمام صفات مرفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد و در نهایت اقتصاد کشاورز را تحت تأثیر قرار دهد.

کرت های با خاکپوش پلاستیکی روی خاک به علت نگهداری آب خاک در اغلب مراحل رشدی به خصوص در عمق ۲۰ سانتی متر بالاترین رطوبت خاک را داشتند. کرت های با خاکپوش روی گیاه بعد از خاکپوش روی خاک رطوبت خاک بیشتری داشتند. بستر کشت جوی و پشت مخصوص جوی و پشت نیم متری در اکثر مراحل رشدی بالاترین رطوبت خاک را داشته که علت ذخیره بیشتر آب در جوی می باشد. در بررسی اثر پوشش پلاستیکی بر میزان انرژی دریافتی خاک و میزان تبخیر و تعرق در ذرت، گزارش شده که کاربرد پوشش پلاستیکی منجر به کاهش تبخیر و تعرق گیاه به واسطه کاهش میزان انرژی دریافتی خورشید شد؛ به طوری که میزان کل تبخیر و تعرق برابر با ۵۲۴ و ۵۵۷ میلی متر در سال ۲۰۱۴ و ۵۵۰ و ۵۷۵ میلی متر در سال ۲۰۱۵ به ترتیب برای تیمارهای دارای پوشش و بدون پوشش پلاستیکی بوده است (Fan و همکاران، ۲۰۱۷). در بررسی اثر جوی و پشت پوشیده با خاکپوش پلاستیکی گزارش شده که این سیستم کشت بر شرایط هیدروترمال خاک اثر گذاشته و عملکرد دانه ذرت را افزایش داده است (Li و همکاران، ۲۰۲۰؛ Liu و همکاران، ۲۰۲۰).

براساس نتایج شکل (۴) که رطوبت عمق ۲۰ سانتی متری خاک در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ را نشان می دهد در تیمار بدون نایلون کمترین میزان رطوبت و در تیمار نایلونی (روی خاک و روی گیاه) بالاترین میزان رطوبت در کل مراحل اندازه گیری حاصل شده است. همچنین بستر جوی و پشت نیم متری از بعد رطوبتی برتری نسبت به دو تیمار بستر کشت داشته است.

باتوجه به اینکه کشت به صورت دیم انجام شده رطوبت خاک تابع عواملی مانند میزان بارش به عنوان ورودی و تبخیر به عنوان خروجی است. علاوه بر بارش، دو عامل مورد بررسی در پژوهش یعنی نایلون و بستر کشت نیز از راه جمع آوری و نگهداری آب بر رطوبت خاک موثر می باشند. در تیمار کشت درون جویچه آب باران از طریق پشته جمع آوری و به سمت جوی هدایت می شود لذا رطوبت بیشتری در پای بوته جمع می شود. در تیمار بدون نایلون چون میزان تبخیر بالاتر از تیمار با نایلون است، معمولاً خاک در کمترین میزان رطوبتی قرار دارد. همچنین این تیمار در معرض نور و باد قرار گرفته و رطوبت آن از دست می رود. در اکثر مراحل رشدی رطوبت تیمار کشت در کف جوی بستر جوی و پشت نیم متری بالا بود چون آب را نگهداری می کند و نفوذ بیشتر می شود. کف جوی کمتر در معرض نور و باد قرار می گیرد و کشت در کناره جوی یک متری رطوبتی بالاتر از کشت مسطح و کمتر از جوی و پشت نیم متری ایجاد کرده است. در نگاه کلی در هر دو سال زراعی هر



شکل ۴- اثر نایلون و بستر کاشت بر رطوبت خاک در عمق ۲۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰

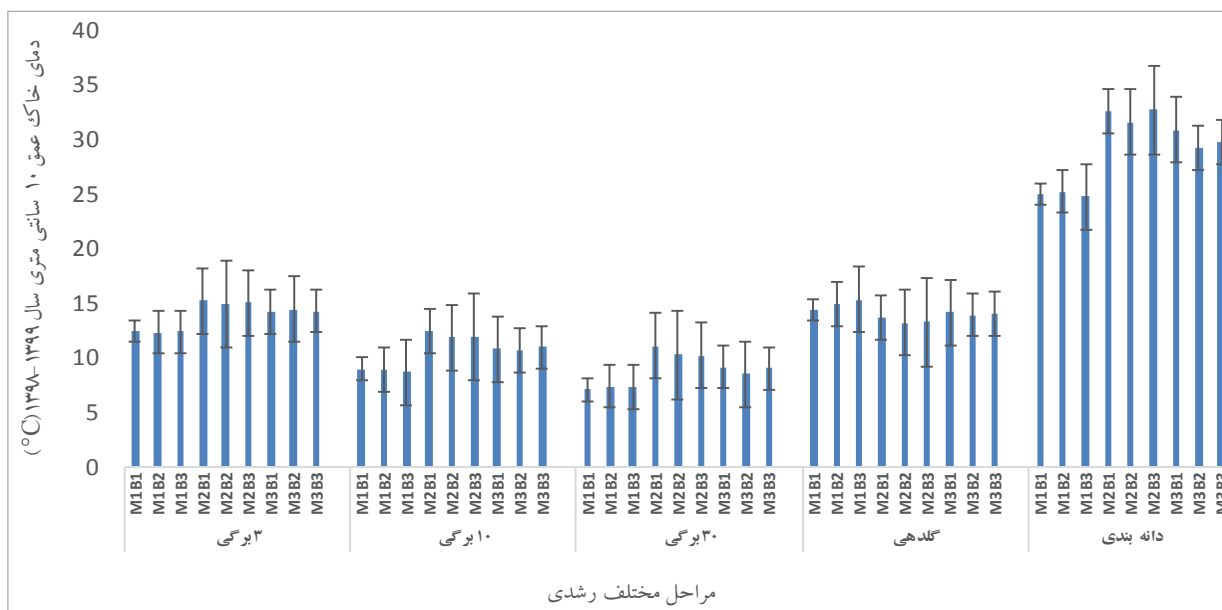
M1B1= بدون خاکپوش و بستر مسطح / M2B1= خاکپوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1= خاکپوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت نیم متری / M2B2= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت نیم متری / M3B2= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت نیم متری

M1B3= بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت یک متری / M2B3= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت یک متری / M3B3= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت یک متری

میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.

- **دمای خاک:** شکل مربوط به تغییرات دمای عمق ۱۰ سانتی متری خاک تحت اثر متقابل نایلون در بستر کاشت در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ نشان می‌دهد که در ابتدا و انتهای فصل رشد دمای خاک بالاتر بوده



شکل ۵- اثر نایلون و بستر کاشت بر دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹

M1B1= بدون خاکپوش و بستر مسطح / M2B1= خاکپوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1= خاکپوش روی گیاه و بستر مسطح

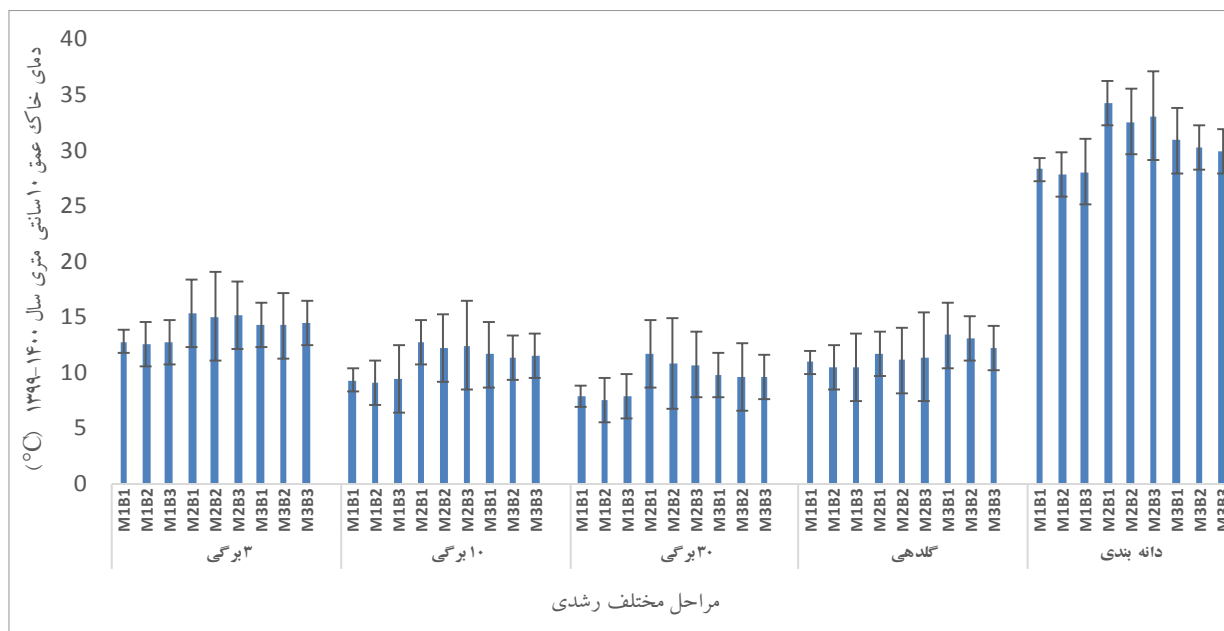
M1B2= بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت نیم متری / M2B2= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت نیم متری / M3B2= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت نیم متری

M1B3= بدون خاکپوش و بستر جوی و پشت یک متری / M2B3= خاکپوش روی خاک و بستر جوی و پشت یک متری / M3B3= خاکپوش روی گیاه و بستر جوی و پشت یک متری

میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.

براساس شکل (۶) مربوط به تغییرات دمایی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ عمق ۱۰ سانتی متر خاک، در مرحله دانه‌بندی تیمار با پوشش نایلونی روی خاک با بستر مسطح نسبت به تیمارهای بدون خاک‌پوش با هر سه بستر کاشت، دمای بالاتری را تجربه کرده است (شکل ۶). براساس شکل (۷) در مرحله ۳۰ برگه و گلدهی تفاوتی از نظر دمای

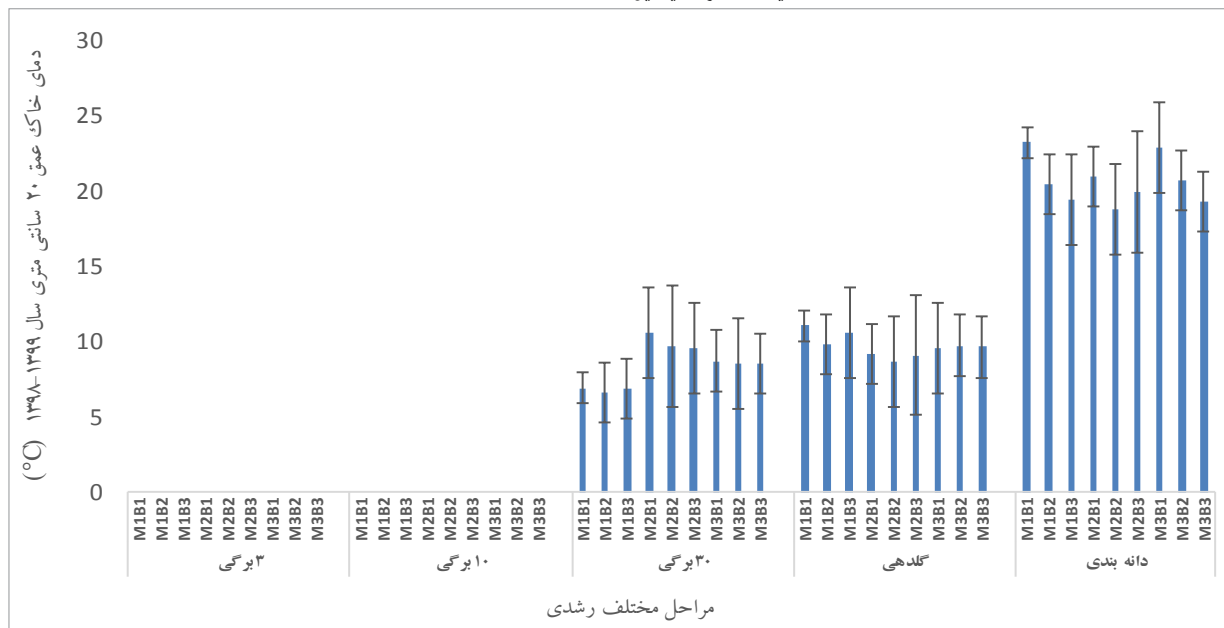
عمق ۲۰ سانتی متری خاک در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ وجود نداشت، اما در مرحله دانه‌بندی، تیمار بدون خاک‌پوش و بستر مسطح (M1B1) نسبت به تیمار خاک‌پوش روی خاک با بستر جوی و پشته نیم متری و تیمار خاک‌پوش روی گیاه با بستر جوی و پشته یک متری بالاتری داشت (شکل ۷).



شکل ۶- اثر نایلون و بستر کاشت بر دمای خاک در عمق ۱۰ سانتی متری در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰

M1B1= بدون خاک‌پوش و بستر مسطح/M2B1= خاک‌پوش روی خاک و بستر مسطح/M3B1= خاک‌پوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته نیم متری/M2B2= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری/M3B2= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته نیم متری
M1B3= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته یک متری/M2B3= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته یک متری/M3B3= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته یک متری
میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.



شکل ۷- اثر نایلون و بستر کاشت بر دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی متری در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹

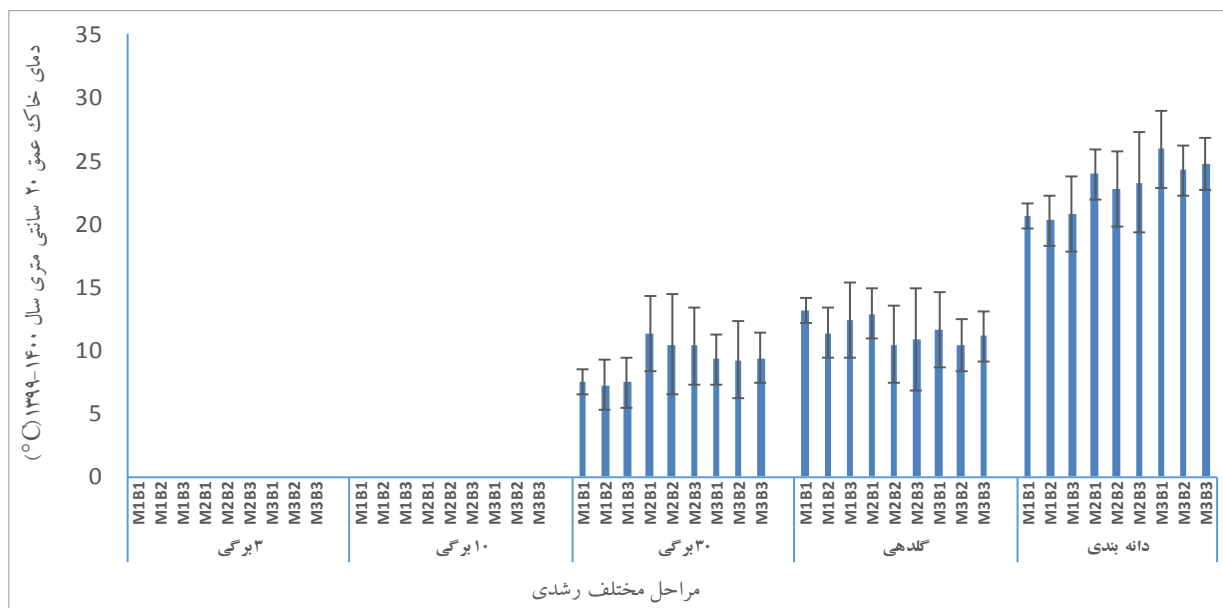
M1B1= بدون خاک‌پوش و بستر مسطح/M2B1= خاک‌پوش روی خاک و بستر مسطح/M3B1= خاک‌پوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته نیم متری/M2B2= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری/M3B2= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته نیم متری
M1B3= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته یک متری/M2B3= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته یک متری/M3B3= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته یک متری
میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.

براساس شکل (۸) که دمای عمق ۲۰ سانتی متری خاک در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ را نشان می‌دهد، در مرحله ۳۰ برگه تفاوتی بین تیمارها از نظر دما دیده نشد اما در مرحله گلدهی تیمار بدون مالچ با بستر مسطح نسبت به تیمار خاک‌پوش روی گیاه با بستر جوی و پشته نیم متری دمای بالاتری داشت. در مرحله دانه‌بندی تیمار خاک‌پوش روی گیاه با بستر مسطح نسبت به تیمار بدون خاک‌پوش و بستر مسطح و تیمار بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته نیم متری دمای بالاتری داشت (شکل ۸).

دمای خاک تابع بارش، تهیه بستر، تیمار نایلونی، زاویه تابش خورشید و وضعیت پریاتنک بودن کانوپی می‌باشد. حضور خاک‌پوش می‌تواند بر دمای خاک موثر باشد. تیمارهای نایلونی شفاف می‌تواند، دمای خاک را افزایش دهد که علت این پدیده می‌تواند به دام انداختن اشعه‌های خورشیدی باشد. در مجموع، در ابتدای فصل رشد و تا مرحله گلدهی در هر دو عمق تقریباً تفاوتی بین تیمارها وجود نداشت، اما در مرحله دانه‌بندی، تفاوت دمایی تیمارها مشخص بود. تیمار بدون خاک‌پوش و بستر مسطح در عمق ۱۰ سانتی متر کمترین دما را داشت ولی در عمق ۲۰ سانتی متر بالاترین دما را داشت. به عبارت دیگر نایلون باعث افزایش ذخیره رطوبتی خاک می‌شود زیرا رطوبت عمقی در مقایسه با رطوبت سطحی تبخیر کمتری دارد. افزایش رطوبت خاک و سایه‌اندازی ناشی از افزایش زیست توده گیاه می‌تواند دلیلی برای کاهش دمای خاک تحت تاثیر نایلون باشد. افزایش دمای خاک در سال دوم نسبت به سال اول احتمالاً به علت تفاوت در میزان بارش است. سال اول بارش بیشتری نسبت به سال دوم اتفاق افتاد. وجود بارش مناسب بهاره که

باعث رطوبت بالای خاک و به تبع از رطوبت، خنکی خاک می‌شود. تقریباً در تمام طول فصل رشد بستر جوی و پشته نیم‌متری دمای کمتری داشته که علت آن کمتر در معرض قرار گرفتن نور خورشید و باد و همچنین حفظ بالاتر آب می‌توان عنوان کرد. تیمارهای خاک‌پوش فیلم به طور قابل توجهی دمای خاک سطحی را در مقایسه با تیمار غیرخاک‌پوش در شرایط دیم افزایش داده است (Yuan و همکاران، ۲۰۱۹). در گیاه نخود فرنگی رشد ریزوبیوم برای تثبیت نیتروژن اتمسفر تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد و با کاهش دما پایین‌تر از دمای بهینه رشد ریزوبیوم مهار می‌شود (Lira Junior و همکاران، ۲۰۰۵). در پژوهشی بر روی گیاه ذرت گزارش شده که از مرحله کاشت تا ساقه رفتن، ساقه رفتن تا ابریشم‌دهی، ابریشم‌دهی تا پر شدن دانه و پر شدن دانه تا بلوغ، میانگین دمای روزانه خاک سطحی تحت شرایط تیمار فیلم پلاستیکی ۲/۴، ۱/۳، ۱/۱ و ۱/۳ درجه سانتی گراد بالاتر از تیمار بدون فیلم پلاستیکی در سال ۲۰۱۷ بوده است. به ترتیب در سال ۲۰۱۸ این مقادیر، ۲/۱، ۳/۰، ۳/۰ و ۵/۰ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (Niu و همکاران، ۲۰۲۰). خاک‌پوش پاشی فیلم پلاستیک با کاشت جوی و پشته باعث افزایش رشد ذرت و زیست توده می‌شود، بنابراین عملکرد محصول را به دلیل افزایش درجه حرارت و رطوبت خاک و کاهش تبخیر خاک افزایش می‌دهد (Mo و همکاران، ۲۰۱۷؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۹). گزارش شده است که خاک‌پوش پلی اتیلنی باعث افزایش ۶ درجه سانتی‌گرادی دما در عمق ۵ سانتی‌متری خاک و ۴ درجه سانتی‌گرادی در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک در مزرعه بادام زمینی می‌شود (Ramakrishna و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۸- اثر نایلون و بستر کاشت بر دمای خاک در مراحل مختلف رشدی نخود فرنگی در عمق ۲۰ متری در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰

M1B1= بدون خاک‌پوش و بستر مسطح / M2B1= خاک‌پوش روی خاک و بستر مسطح / M3B1= خاک‌پوش روی گیاه و بستر مسطح

M1B2= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته نیم متری / M2B2= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری / M3B2= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته نیم متری
M1B3= بدون خاک‌پوش و بستر جوی و پشته یک متری / M2B3= خاک‌پوش روی خاک و بستر جوی و پشته یک متری / M3B3= خاک‌پوش روی گیاه و بستر جوی و پشته یک متری
میلها در نمودار میانگین $\pm$ خطای استاندارد ارور است.

• صفات مرتبط با شرایط آبی

- عملکرد دانه خشک: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در سال اول و دوم کشت این صفت تحت اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول ۲ و ۳). بیشترین میزان این صفت در تیمار نایلون روی خاک و بستر کشت جوی و پشته نیم‌متری و کمترین در تیمار بدون نایلون و بستر مسطح حاصل شده است (جدول ۴). در هر دو سال زراعی تیمار نایلون روی خاک در بهترین وضع موجود قرار گرفته که علت را می‌توان به نفوذ بیشتر آب در زمستان و استفاده از آن در آخر فصل نسبت داد. در تیمار بستر کشت، تیمار جوی و پشته نیم‌متری مناسب‌ترین شرایط رشدی را ایجاد کرده و می‌توان علت را به ذخیره آب در خاک نسبت داد. تأثیر خاک‌پوش پلاستیکی در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۷). تحت تیمار خاک‌پوش تجمع ماده خشک در نخود فرنگی به شدت افزایش یافته است و بیان داشته‌اند که خاک‌پوش

باعث کاهش تبخیر، افزایش دسترسی به مواد مغذی و افزایش فعالیت میکروبی خاک می‌شود، بنابراین منجر به رشد شدید گیاه، تولید ماده خشک و عملکرد می‌شود. تحت خاک‌پوش افزایش رطوبت در خاک، سبز شدن زود هنگام، رشد گیاه سالم، محتوای کلروفیل بیشتر، تکثیر ریشه و افزایش سرعت خالص فتوسنتزی تشویق می‌شود که همگی باعث بهبود سطح برگ، شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، گره‌زایی ریشه و ویژگی‌های عملکردی می‌شوند (Pradosh Kumar و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین گزارش شده عملکرد دانه و ویژگی‌های مؤثر بر عملکرد در گیاه نخود فرنگی مانند تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن دانه در بوته و وزن تک دانه تحت تأثیر خاک‌پوش‌های مختلف قرار گرفته است و بالاترین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمار پوشش نایلونی و کمترین آن در تیمار خاک‌پوش کلشی و بدون خاک‌پوش حاصل شده است (Awal و همکاران، ۲۰۱۶). کشت در زیر خاک‌پوش به طور مؤثر تعداد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد در بوته را افزایش می‌دهد (Hu و همکاران، ۲۰۱۵).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نایلون و بستر کشت بر صفات مرتبط با آب و اقتصادی نخود فرنگی در سال اول کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه خشک	درآمد به ازایی آب مصرفی	سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی	درآمد کل	درآمد خالص	درآمد ناخالص
بلوک	۲	۹۳۴۳۷ns	۸۷۰۰۵۲۶۲ns	۹۷۶۴۳۴۱۵ns	۴/۷۹*	۴/۸۲*	۴/۸۲*
نایلون	۲	۳۴۵۰۹۰۸**	۲۵۱۳۱۹۳۹۳**	۱۴۷۹۲۳۰۲ns	۳/۸۸**	۱/۳۴**	۱/۳۴**
بستر	۲	۳۲۳۶۲۵۳**	۲۹۴۷۶۶۳۴۶۹**	۲۹۹۳۴۳۵۲۶۶**	۹/۵۳**	۹/۰۴**	۹/۰۴**
نایلون × بستر	۴	۶۳۶۸۵۰**	۹۰۲۶۰۷۵۵۲*	۹۶۶۰۵۱۴۴۲*	۸/۴۷ns	۸/۸۳ns	۸/۸۳ns
خطا آزمایش	۱۶	۱۲۳۷۱۰	۲۸۶۰۲۸۶۵۳	۲۸۸۵۲۲۵۱	۱/۲۸	۱/۱۶	۳/۱۸
ضریب تغییرات (%)	-	۱۰/۶۹	۱۱/۲۷	۱۸/۹۴	۵/۰۹	۸/۶۷	۷/۵۰

ns و *، ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال يك و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نایلون و بستر کشت بر صفات مرتبط با آب و اقتصادی نخود فرنگی در سال دوم کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه خشک	درآمد به ازایی آب مصرفی	سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی	درآمد کل	درآمد خالص	درآمد ناخالص
بلوک	۲	۱۰۴۱۱۹ns	۷۲۵۱۹۹۰۱۶۶/۶ns	۱۷۱۶۴۷۴۷۸۰ns	۱/۸۳ns	۳۱/۲ns	۲/۳۱ns
نایلون	۲	۵۰۶۹۲۹۴**	۶۹۸۶۴۰۴۲۴۴۳/۰**	۳۰۰۵۶۴۹۹۴۶۷**	۳/۳۸**	۷/۷۸**	۷/۷۸**
بستر	۲	۱۱۱۵۲۷ns	۳۰۶۴۶۷۵۷۳/۷ns	۳۸۶۲۶۳۷۱۳۲ns	۶/۹۸**	۵/۰۶*	۵/۰۶*
نایلون × بستر	۴	۶۳۹۸۴۸*	۱۰۰۲۹۶۱۷۸۰۷/۰ns	۹۰۷۶۳۰۱۵۴۵ns	۴/۸۱ns	۸/۶۷ns	۸/۶۷ns
خطا آزمایش	۱۶	۱۵۲۷۱۶	۳۶۰۸۲۴۱۶۷۷/۵	۳۵۹۶۷۳۰۶۷۵	۷/۰۵	۱/۰۵	۱/۰۵
ضریب تغییرات (%)	-	۱۷/۱۵	۱۵/۳۵	۲۴/۳۷	۵/۲۱	۱۴/۸۲	۱۰/۰۷

ns و *، ** به ترتیب بیانگر معنی‌دار در سطح احتمال يك و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل نایلون و بستر کاشت بر عملکرد دانه خشک نخود فرنگی در سال اول و دوم

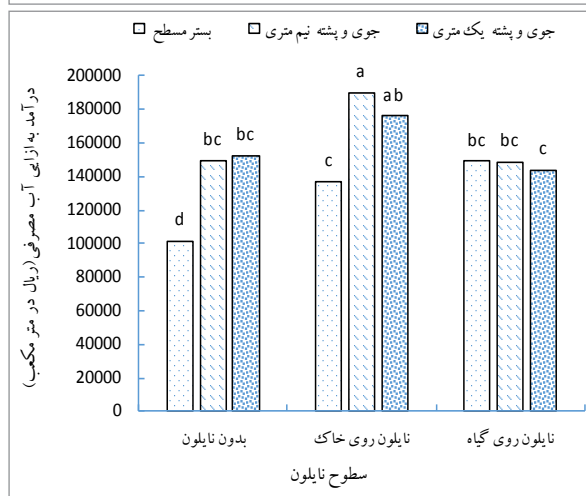
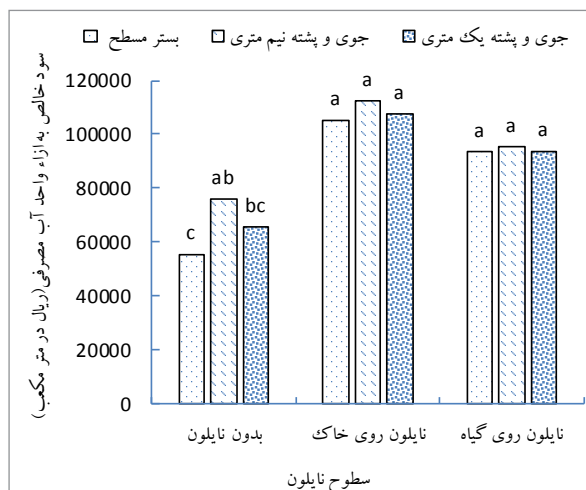
تیمارها	عملکرد دانه خشک (کیلوگرم در هکتار)، سال اول	عملکرد دانه خشک (کیلوگرم در هکتار)، سال دوم
P1N1	۱۸۶۵f	۱۶۱۰c
P2N1	۳۶۷۴bc	۲۱۹۵bc
P3N1	۲۸۹۹e	۱۵۷۱c
P1N2	۳۰۵۴de	۲۷۷۵b
P2N2	۴۴۳۷a	۳۸۲۸a
P3N2	۴۰۴۷ab	۲۷۸۹b
P1N3	۳۲۱۳c-e	۱۹۷۳c
P2N3	۳۶۱۲b-d	۱۷۶۴c
P3N3	۲۷۸۴e	۱۹۸۷c

تیمارهای P1، P2 و P3 به ترتیب بستر کاشت مسطح، کشت در جوی ۵۰ سانتی‌متر و کشت در جوی ۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشند. N1، N2 و N3 به ترتیب بدون خاک‌پوش، خاک‌پوش روی خاک و نایلون روی گیاه می‌باشند. در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند. بارش موثر در سال اول و دوم به ترتیب معادل ۴۳۰ و ۲۵۰ میلی‌متر بوده است.

- شاخص درآمد به ازای آب مصرفی (BPD): در سال اول کشت، این صفت تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول ۲). بالاترین و پایین‌ترین شاخص درآمد به ازای آب مصرفی در تیمار نایلون روی خاک و جوی و پشته نیم متری و بدون نایلون و کشت مسطح حاصل شده است (شکل ۹). در سال دوم کشت شاخص درآمد به ازای آب مصرفی تنها تحت تأثیر اثر ساده نایلون قرار گرفته است (جدول ۳). در تیمار استفاده از نایلون بالاترین میزان این شاخص در تیمارهای نایلون روی خاک و پایین‌ترین میزان در تیمارهای نایلون روی گیاه و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). چون این شاخص، حاصل درآمد به ازای آب مصرفی است آنچه که درآمد فروش یعنی عملکرد غلاف تازه و عملکرد بیولوژیک را تحت تأثیر قرار دهد بر این صفت نیز موثر است. تأثیر خاک‌پوش‌های آلی بر عملکرد، بهره‌وری آب و اقتصاد ارقام نخود باغی نشان داد، خاک‌پوش کاه شلتوک به ترتیب با مقادیر ۸۹/۳۳ کیلوگرم در هکتار، ۵۴/۱۴ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر و ۳/۱۶ از نظر عملکرد غلاف سبز، بهره‌وری آب و نسبت سود به هزینه، هم از خاک‌پوش علف‌های هرز و هم بدون خاک‌پوش علف‌های هرز بهتر عمل کرد. بررسی‌ها نشان داد بهترین استراتژی جایگزین زراعی برای دستیابی به حداکثر بازده محصول نخود باغی، خاک‌پوش کاه شلتوک و به دنبال آن خاک‌پوش علف‌های هرز و غیر خاک‌پوش بود (Pradosh Kumar و همکاران، ۲۰۲۳).

- شاخص سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی (NBPD): طبق جدول تجزیه واریانس داده‌ها این صفت در سال اول تحت تأثیر

اثر متقابل دوگانه نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین بالاترین و پایین‌ترین شاخص سود خالص به‌ازای آب مصرفی در تیمار نایلون روی خاک و بستر جوی و پشته نیم متری و بدون نایلون و بستر مسطح حاصل شده است (شکل ۹). در سال دوم کشت شاخص درآمد به ازای آب مصرفی تنها تحت تأثیر اثر ساده نایلون قرار گرفته است (جدول ۳). تحت استفاده از نایلون بالاترین سود خالص در تیمار نایلون روی خاک و پایین‌ترین میزان در تیمار نایلون روی گیاه و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). هر عاملی که سود خالص را افزایش دهد این شاخص را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مطالعه‌ای بیان شده که خاک‌پوش پلاستیکی علاوه بر افزایش عملکرد محصول توت فرنگی کاهش قابل توجهی در حجم علف‌های هرز را به دنبال داشته است (Devetter و همکاران، ۲۰۱۷). پس از دو راه، افزایش عملکرد و کاهش هزینه کارگری و یا علف‌کش خاک‌پوش می‌تواند سود زارع و همچنین شاخص سود خالص به ازای آب مصرفی را افزایش دهد.



شکل ۹- اثر متقابل نایلون و بستر کشت بر درآمد به ازای آب مصرفی سال اول و سود خالص به ازای آب مصرفی سال اول. بارش موثر در سال اول و دوم به ترتیب معادل ۴۳۰ و ۲۵۰ میلی‌متر بوده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی نایلون بر صفات مرتبط با شرایط آبی و اقتصادی نخود فرنگی در سال اول و دوم

تیمار نایلون ^۱	درآمد کل سال اول (ریال)	درآمد خالص سال اول (ریال) در هکتار	درآمد ناخالص سال اول (ریال) در هکتار	درآمد به ازایی آب مصرفی سال دوم (ریال در متر مکعب)	سود خالص به ازاء واحد سال دوم (ریال در متر مکعب)	درآمد کل سال دوم (ریال در هکتار)	درآمد خالص سال دوم (ریال در هکتار)	درآمد ناخالص سال دوم (ریال در هکتار)
N1	۴۹۹۰۵۲۷۴۴c	۲۵۵۳۸۶۰۷۸c	۳۱۷۱۸۶۰۷۸c	۳۲۶۰۱۴b	۲۳۹۲۸۰b	۴۹۱۲۲۵۸۶۷b	۱۷۷۳۳۱۴۲۲b	۲۵۶۵۱۶۵۵۶b
N2	۹۱۳۳۰۲۴۷۸a	۴۸۸۵۴۶۹۲۲a	۵۵۰۳۴۶۹۲۲a	۴۶۸۵۴۸a	۳۰۶۹۲۲a	۷۶۴۰۱۶۲۲۲a	۳۲۵۲۰۰۶۶۷a	۴۲۸۲۰۰۶۶۷a
N3	۷۳۷۰۶۳۰۷۸b	۴۳۵۵۲۹۷۴۴b	۴۹۷۳۲۹۷۴۴b	۳۰۷۵۵۴b	۱۹۱۹۳۹b	۳۸۱۹۹۷۶۶۷c	۱۵۳۵۱۶۵۵۶b	۲۸۰۳۳۱۴۲۲b

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل يك حرف مشترك بر اساس آزمون دانكن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. ۱ به ترتیب N1، N2 و N3 شامل بدون نایلون، نایلون روی خاک و نایلون روی گیاه است. بارش موثر در سال اول و دوم به ترتیب معادل ۴۳۰ و ۲۵۰ میلی‌متر بوده است.

• صفات مرتبط با ارزیابی اقتصادی

(جدول ۶). در سال دوم کشت نیز این صفت تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول ۳). تحت استفاده از نایلون بالاترین و پایین‌ترین درآمد کل در تیمار نایلون روی خاک و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). همچنین تحت تأثیر بستر کشت بالاترین درآمد کل در تیمارهای جوی و پشته نیم متری و یک متری و پایین‌ترین در تیمار کشت مسطح حاصل شده است (جدول ۶).

- درآمد کل: این صفت در سال اول کشت تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول ۲). تحت استفاده از نایلون بالاترین و پایین‌ترین درآمد کل در تیمار نایلون روی خاک و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). همچنین تحت تأثیر بستر کشت بالاترین درآمد کل در تیمارهای جوی و پشته نیم متری و یک متری و پایین‌ترین در تیمار کشت مسطح حاصل شده است

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی بستر کشت بر شرایط اقتصادی گیاه نخود فرنگی در سال اول و دوم و مرکب

تیمار بستر کشت	درآمد کل سال اول (ریال)	درآمد خالص سال اول (ریال)	درآمد ناخالص سال اول (ریال)	درآمد کل سال دوم (ریال)	درآمد خالص سال دوم (ریال)	درآمد ناخالص سال دوم (ریال)	هزینه کل دو سال (ریال)
بستر مسطح	۶۷۹۴۸۱۴۵۶b	۳۵۶۵۴۸۱۲۲b	۴۱۸۳۴۸۱۲۲b	۵۱۷۴۹۲۹۷۸b	۱۹۱۵۱۴۰۸۹b	۲۳۸۷۳۳۷۸a	۳۲۴۴۵۶۱۱۱ab
بستر جوی و پشته نیم متری	۷۴۰۷۳۵۳۳۳a	۴۱۱۸۲۳۷۳۳a	۴۷۲۸۹۰۸۸۹a	۵۷۱۹۸۸۹۳۳a	۲۳۵۲۷۳۳۷۸a	۳۳۲۲۶۱۱۷۸a	۳۲۱۴۳۷۲۲۲b
بستر جوی و پشته یک متری	۷۲۹۲۰۱۵۱۱a	۴۱۱۰۹۰۸۸۹a	۴۷۳۶۲۳۷۳۳a	۵۵۴۷۵۷۸۴۴a	۲۲۹۲۶۱۱۷۸a	۲۹۴۵۱۴۰۸۹b	۳۳۳۱۸۰۰۰۰a

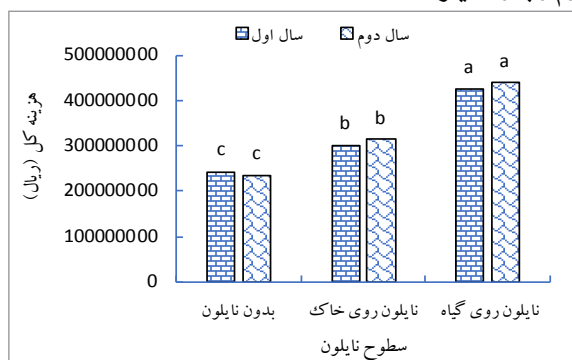
در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل يك حرف مشترك بر اساس آزمون دانكن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارد.

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر نایلون و بستر کشت بر هزینه کل نخود فرنگی در دو سال

منابع تغییرات	درجه آزادی	هزینه کل
سال	۱	۴/۹۸ns
بلوک	۴	۲/۶۲ns
نایلون	۲	۱/۷۰**
بستر	۲	۶/۶۹*
سال×نایلون	۲	۶/۸۹*
سال×بستر	۲	۳/۲۲ns
نایلون×بستر	۴	۱/۷۴ns
سال×نایلون×بستر	۴	۲/۹۹ns
خطا آزمایشی	۳۲	۱/۳۶
ضریب تغییرات (%)	-	۳/۵۸

ns و *، ** به ترتیب بیانگر معنی دار در سطح احتمال يك و پنج درصد و عدم تفاوت

- هزینه کل: طبق جدول دو سال داده‌ها این صفت تحت تأثیر اثر ساده بستر کشت و اثر متقابل دوگانه سال و نایلون قرار گرفته است (جدول ۷). تحت بستر کشت به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین هزینه کل در تیمارهای جوی و پشته یک متری و کشت مسطح حاصل شده است (جدول ۶). همچنین تحت اثر متقابل سال و نایلون بالاترین و پایین‌ترین هزینه کل در تیمارهای سال دوم و نایلون روی گیاه و سال دوم و بدون نایلون حاصل شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر متقابل سال × نایلون بر هزینه کل در دو سال

- **درآمد خالص:** براساس جدول‌های تجزیه واریانس داده‌ها این صفت در هر دو سال زراعی تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول‌های ۲ و ۳). در سال اول و تحت نایلون بالاترین و پایین‌ترین درآمد خالص در تیمار نایلون روی خاک و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). همچنین تحت بستر کشت در این سال زراعی بالاترین درآمد خالص در تیمارهای جوی و پشته نیم متری و یک متری و پایین‌ترین در تیمار بستر کشت مسطح حاصل شده است (جدول ۶). در سال دوم کشت تحت نایلون نیز بالاترین درآمد خالص در تیمار نایلون روی خاک و پایین‌ترین در تیمارهای جوی و پشته نیم متری و یک متری و پایین‌ترین در تیمار بستر کشت مسطح حاصل شده است (جدول ۶).

- **درآمد ناخالص:** براساس جدول‌های تجزیه واریانس داده‌ها این صفت در هر دو سال زراعی تحت تأثیر اثرات ساده نایلون و بستر کشت قرار گرفته است (جدول‌های ۲ و ۳). در سال اول و در تیمار خاک‌پوش نایلونی، بالاترین و پایین‌ترین درآمد ناخالص در تیمار نایلون روی خاک و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵). همچنین تحت بستر کشت در این سال زراعی بالاترین درآمد ناخالص در تیمار بستر جوی و پشته یک متری و نیم متری و پایین‌ترین در تیمار بستر مسطح حاصل شده است (جدول ۶). در سال دوم کشت نیز تحت نایلون بالاترین درآمد ناخالص در تیمار نایلون روی خاک و پایین‌ترین در تیمارهای نایلون روی گیاه و بدون نایلون حاصل شده است (جدول ۵) و تحت بستر کشت بالاترین و پایین‌ترین درآمد ناخالص در تیمارهای جوی و پشته یک متری و نیم متری و پایین‌ترین در تیمار بستر کشت مسطح حاصل شده است (جدول ۶).

درآمد مقدار پولی است که از فروش محصول (دانه و کاه) به‌دست می‌آید. باتوجه‌به اینکه در سال اول محصول بیشتری تولید شده درآمد نیز بالاتر بوده است. تحت تیمار نایلونی، در شرایط نایلون روی خاک باتوجه‌به عملکرد اقتصادی و کلش بالاتر، درآمد بالاتری حاصل شده است. در سال اول تیمار کشت مسطح در سطح پایین درآمدی باتوجه‌به تولید غلاف کمتر قرار گرفته اما در سال دوم کشت تیمار نایلون روی گیاه چون بعد از برداشت آسیب سرمای دیده عملکرد پایین داشته است. هزینه‌ها به ترتیب شامل خرید پلاستیک، کارگر جهت نصب خاک‌پوش، هزینه کرایه میلگرد برای نگهداشتن نایلون (سیستم رایج برای کشت زیر نایلون روی گیاه در منطقه)، شخم زنی، بذر، کود، هزینه وجین و هزینه برداشت محصول بوده است. آنچه مسلم است در سال دوم هزینه‌ها بالاتر از سال اول بوده و نتیجه معقول است. هزینه کل به ترتیب

تحت نایلون از زیاد به کم شامل نایلون روی گیاه، بدون نایلون و نایلون روی خاک است. در کل تحت نایلون روی گیاه هزینه‌ها بالاتر است علت آن نیاز بیشتر این تیمار به پلاستیک، هزینه میلگرد و هزینه وجین در نایلون روی گیاه است. در سیستم تهیه بستر کشت، تهیه بستر جوی و پشته یک متری هزینه بالایی دارد. درآمد خالص به‌عنوان بهترین شاخص برای سنجش ارزش اقتصادی یک محصول است که در هر دو سال زراعی در تیمار نایلون روی خاک و بستر کشت جوی و پشته نیم‌متری در بالاترین حد قرار دارد. درآمد ناخالص از تفاوت بین درآمد کل و هزینه‌های متغیر (خرید و نصب نایلون، اجاره میلگرد، هزینه برداشت و وجین) به‌دست می‌آید. در تیمار کشت نایلون روی گیاه چون هزینه میلگرد، وجین و میزان استفاده از نایلون بیشتر است اگر شرایط رشدی مناسب نداشته باشد و عملکرد بالا نباشد، درآمد ناخالص کمتری نیز دارد. در بررسی اثر تیمارهای خاک‌پوش پلاستیکی نقره‌ای، خاک‌پوش سیاه، خاک‌پوش سیاه سوراخ دار، خاک‌پوش کاه و کلش و بدون خاک‌پوش بر شرایط اقتصادی سیب زمینی گزارش شد که خاک‌پوش نقره‌ای بالاترین نسبت سود به هزینه را داشته است و کمترین سود به هزینه در تیمار بدون خاک‌پوش حاصل شده است. علت افزایش سود در این تیمار را افزایش عملکرد گزارش کرده‌اند و علت افزایش عملکرد را به شرایط دمایی خاک تحت این تیمارها نسبت داده‌اند (Ghimire و همکاران، ۲۰۲۱). در یک متاآنالیز اثرات خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌پوش کاه بر عملکرد محصول، کارایی مصرف آب، ترسیب کربن و مزایای اقتصادی در منطقه فلات لس چین مطالعه شد. نتایج نشان داد خاک‌پوش کاه بدون خاک‌ورزی (NTS) عملکرد گندم و نخود را به ترتیب ۱۴/۳ و ۲۹/۵ درصد نسبت به خاک‌ورزی افزایش داد. NTS می‌تواند حداکثر سود اقتصادی را ارائه دهد (Qin و همکاران، ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

کرت‌های با خاک‌پوش پلاستیکی روی خاک به همراه جوی و پشته نیم‌متری به علت نگهداری آب خاک در اغلب مراحل رشدی بالاترین رطوبت خاک را داشتند. باتوجه‌به دو شاخص سود خالص به ازاء واحد آب مصرفی و درآمد خالص نخود فرنگی در دو سال، تیمارهای نایلون کشی به همراه بستر جوی و پشته به‌خصوص تیمار نایلون روی خاک و جوی و پشته نیم متری باعث افزایش این دو شاخص شده است، لذا می‌توان این تیمار را برای افزایش درآمد کشاورز و حفظ منابع رطوبتی خاک توصیه کرد. استفاده از جوی و پشته‌های دائمی برای کاهش هزینه‌ها برای تحقیقات بعدی پیشنهاد می‌شود.

factors in open and covered raised-bed production. Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 60(5), 1511-1525. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=48465>

- DeVetter, L. W., Zhang, H., Ghimire, S., Watkinson, S., & Miles, C.A. (2017). Plastic Biodegradable Mulches Reduce Weeds and Promote Crop Growth in Day-neutral Strawberry in Western Washington. American Society for Horticultural Science, 52(12), 1700-1706. doi: [10.21273/HORTSCI12422-17](https://doi.org/10.21273/HORTSCI12422-17)
- Etezadi Syeidi M., & Rezvani Moghdm, P. (2011). Study yield, its components and nitrogen use efficiency using of compost mushroom, biological and urea fertilizer in wheat. Journal Agronomy Ecological, 3, 313-323.
- Fan, Y., Ding, R., Kang, S., Hao, X., Du, T., Tong, L., & Li, S. (2017). Plastic mulch decreases available energy and evapotranspiration and improves yield and water use efficiency in an irrigated maize cropland. Agricultural Water Management, 179(1), 122-131. doi: [10.1016/j.agwat.2016.08.019](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.019)
- Ghimire, N., Srivastava, A., Poude, D., & Gaire, K. R. (2021). Yield and Economic Analyses of Different Mulching Materials for Potato Production. International Journal of Horticultural Science and Technology, 8(4), 323-334.
- Hu, Y. J., Wu, S. F. & Feng, H. (2015). Effects of mulching method on soil moisture and yield of summer maize. China Agriculture Meteorology, 36(6), 699-785.
- Li, Y. J., Ma, L. S., Wu, P. T., Zhao, X. N., Chen, X. L., & Gao, X. D. (2020). Yield, yield attributes and photosynthetic physiological characteristics of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.)/maize (*Zea mays* L.) strip intercropping. Field Crops Research, 248, 107656. doi: [10.1016/j.fcr.2019.107656](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107656)
- Lira Junior, M. A., Lima, A. S. T., Arruda, J. R. F., & Smith, D. L. (2005). Effect of root temperature on nodule development of bean lentil and pea. Soil Biology Biochemical, 37, 235-239. doi: [10.1016/j.soilbio.2004.07.032](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.032)

- 1-Benefit Per Drop
- 2-Net Benefit Per Drop

منابع

- خالقی، نوشین. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. آب و توسعه پایدار، ۲(۲)، ۵۱-۵۸. doi: [10.22067/jwsd.v2i2.46823](https://doi.org/10.22067/jwsd.v2i2.46823)
- کریمی، محمد، و جلینی، محمد. (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دست مشهد (یادداشت فنی). نشریه آب و توسعه پایدار، ۴(۱)، ۱۳۳-۱۳۸. doi: [10.22067/jwsd.v4i1.52783](https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.52783)
- حسینی، آزاده، و نعمتی، حسین. (۱۳۹۳). اثر فاصله آبیاری بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمی و کیفی گوجه فرنگی (*Solanum Lycopersicum*. L) در شرایط کاربرد و عدم کاربرد مالچ پلاستیکی. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۶(۳): ۵۵۲-۵۶۰. doi: [10.22067/jag.v6i3.23710](https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.23710)
- Awal, A.M., Dhar, P., & Sultan, M. (2016). Effect of mulching on microclimatic manipulation, weed suppression, and growth and yield of pea (*Pisum sativum* L.). Journal of Agriculture and Ecology Research International, 8(2), 1-12. doi: [10.9734/IAERI/2016/25936](https://doi.org/10.9734/IAERI/2016/25936)
- Bakhsh, A., Ashfaq, M., Ali, A., Hussain, M., Rasool, G., Haider, Z., & Faraz, R.H. (2015). Economic evaluation of different irrigation systems for wheat production in Rechna Doab, Pakistan. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 52(3), 821-828. https://www.researchgate.net/publication/284747453_Economic_evaluation_of_different_irrigation_systems_for_wheat_production_in_Rechna_Doab_PAA
- Basediya, A. L. Mishra, S., Gupta, R., Kumar, P., & Basediya, S. S. (2018). Performance of Ridge and Furrow System on the Growth and Yield Attribution of Soybean in Barwani District of M.P. India. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7, 2319-7706. doi: [10.20546/ijcmas.2018.708.055](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.055)
- Condori, B., Fleisher, D. H., & Lewers, K. (2017). Relationship of strawberry yield with microclimate

- Ramakrishna, A., Tam, H. M., Wani, S. P., & Long, T. D. (2006). Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crops Research*, 95, 115-125. doi: [10.1016/j.fcr.2005.01.030](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.030)
- Qin W., Niu L., You Y., Cui S., Chen C., & Li Z. (2024). Effects of conservation tillage and straw mulching on crop yield, water use efficiency, carbon sequestration and economic benefits in the Loess Plateau region of China: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 238, 106025. doi: [10.1016/j.still.2024.106025](https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106025)
- Ramana, R.K.V., Aherwar, P., Gangwar, S., Soni, K., & Yadav, D. (2018). Growth, yield, economics, water use efficiency and microbial functions of pigeon pea crop influenced by drip irrigation with plastic mulch. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(12), 2284-2290. doi: [10.20546/ijcmas.2018.712.259](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.259)
- Sajid, M., Hussain, I., Ahmad Khan, I., Rab, A., Jan, I., Wahid, F., & Tanveer Shah, S. (2013). Influence of organic mulches on growth and yield components of pea's cultivars. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 3(8), 652-657. doi: [10.15580/GJAS.2013.3.122912351](https://doi.org/10.15580/GJAS.2013.3.122912351)
- Singh, T., Raturi, H.C., & Uniyal, S.P. (2021). Effect of biofertilizer and mulch on growth, yield, quality and economics of pea (*Pisum sativum* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(3), 330-335. doi: [10.18805/IJARc.A-5696](https://doi.org/10.18805/IJARc.A-5696)
- Taromi Aliabadi, B., assandokht, M.R. Etesami, H., Alikhani, H. A., & Dehghanisani, H. (2019). Effect of mulching on some characteristics of tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) under deficit irrigation. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(4), 927-941.
- Yang, N., Sun, Z. X., Feng, L. S., Zheng, M. Z., Chi, D. C., Meng, W. Z., Hou, Z. Y., Bai, W., & Li, K. Y. (2015). Plastic film mulching for water-efficient agricultural applications and degradable films materials development research. *Materials and Manufacturing Processes*, 30(2), 143-154. doi: [10.1080/10426914.2014.930958](https://doi.org/10.1080/10426914.2014.930958)
- Liu, Y., Zhang, X. L., Xi, L. Y., Liao, Y. C., & Han, J. (2020). Ridge-furrow planting promotes wheat grain yield and water productivity in the irrigated sub-humid region of China. *Agricultural Water Management*, 231, 105935. doi: [10.1016/j.agwat.2019.105935](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105935)
- Mak Mensah, E., Yeboah, F. K. Obour, P. B., Usman, S., Essel, E., Bakpa, E. P., Zhang, D., Zhou, X., Zhou, W., Wang, Q., & Ahiakpa, K. A. (2022). Integration of ridge and furrow rainwater harvesting systems and soil amendments improve crop yield under semi arid conditions. *Paddy and Water Environment*, 20, 287-302. doi: [10.1007/s10333-022-00900-y](https://doi.org/10.1007/s10333-022-00900-y)
- Mo, F., Wang, J. Y., Zhou, H. Luo, C. L., Li, X. Y., Li, F. M., Xiong, L. B., Kavagi, L., Nguluu, S. N., Xiong, Y. C., & Zhang, X. F. (2017). Ridge-furrow plastic-mulching with balanced fertilization in rainfed maize (*Zea mays* L.): an adaptive management in east African Plateau. *Agriculture and Forest Meteorology*, 236, 100-112. doi: [10.1016/j.agrformet.2017.01.014](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.014)
- Niua, L., Yanc, Y., Houc, P., Baia W., Zhaod, R., Wangd, Y., Lic, S., Dub, T., Zhaoc, M., Songa, J., & Zhou, W. (2020). Influence of plastic film mulching and planting density on yield, leaf anatomy, and root characteristics of maize on the Loess Plateau. *The Crop Journal*, 8, 548-564. doi: [10.1016/j.cj.2019.12.002](https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.12.002)
- Pradosh Kumar, P., Ray, L.I. P., & Shirisha, K. (2023). Effect of Organic Mulches on Yield, Water Productivity and Economy of Garden Pea Cultivars. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8), 1773-1783. doi: [10.9734/ijec/2023/v13i82131](https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i82131)
- Parte, V., Vishnu K., & Ranawat, J. S. (2022). Mulching: Recent Advances in Mulching and Its Benefits on Agriculture. *Just Agriculture*, 3(2), 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Peksen, E., Peksen, A., Bozoglu, H., & Gulumser, A. (2004). Comparison of fresh pod yield and pod related characteristics in pea (*Pisum sativum* L.) cultivars sown in autumn and spring under samssun ecological conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28, 363-370.

- Yuan, Z. Q., Zhang, R., Wang, B. X., Gao, B. Q., Aya-na, G., Abera, D., Ashraf, M., & Li, F. M. (2019). Film mulch with irrigation and rainfed cultivations improves maize production and water use efficiency in Ethiopia. *Annals of Applied Biology*, 175(2), 215–227. doi: [10.1111/aab.12531](https://doi.org/10.1111/aab.12531)
- Zhang, P., Wei, T., Cai, T., Ali, S., Han, Q., Ren, X., & Jia, Z. (2017). Plastic-film mulching for enhanced water-use efficiency and economic returns from maize fields in semiarid China. *Frontiers in Plant Science*, 8, 512. doi: [10.3389/fpls.2017.00512](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00512)
- Zhang, F., Guo, S.H., Zhang, C.H., & Guo, P. (2019). An interval multiobjective approach considering irrigation canal system conditions for managing irrigation water. *Journal of Cleaner Production*, 211, 293-302. doi: [10.1016/j.jclepro.2018.11.111](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.111)

Investigating Water-Energy-Food Nexus in the Production of Summer Agricultural Products in Dehloran County

E. Bahmani^{1*}, A. A. Mirakzadeh^{2*}, Sh. Geravandi^{3*}, F. Karamian^{4*}

1, 2, 3, 4- Ph.D. Student, Associate Professor, Assistant Professor, and Ph.D. Graduate, Department of Agricultural Extension and Education, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

*(Corresponding Author Email: Mirakzadeh@Razi.ac.ir)

Received: 18-06-2024

Revised: 31-08-2024

Accepted: 18-09-2024

Available Online: 19-02-2025

بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهگلان

احسان بهمنی^۱، علی اصغر میرکزاده^۲، شهر گراندی^۳، فرانک کرمانیان^۴

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار و دانش‌آموخته دکتری، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Mirakzadeh@Razi.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸

Abstract

Agricultural management and climate-adapted policies require an integrated perspective between the three sources of Water-Energy-Food to prevent anomalies and one-dimensional benefits and promote sustainable development. The present study aimed to investigate the Water-Energy-Food Nexus in producing four summer agricultural products in Dehloran County (corn, sesame, mung beans, and watermelon). The required data was collected from farmers through a questionnaire and obtained using the criteria of water and energy consumption, water and energy physical productivity, water and energy economic productivity, and finally the Water-Energy-Food Index (WEFNI) for each crop. The findings indicated that the production of summer products in Dehloran City uses $16714 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ of water; watermelon ($7641 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and sesame ($994 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) had the highest and lowest respective water consumption. The total energy used in product cultivation was $205093 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Maize ($103558.85 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) and sesame ($17306.73 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) had the highest and lowest input energy consumption, respectively. Additionally, the two energy-intensive industries in the agriculture sector are electricity and chemical fertilizers. According to the data, sesame had the highest economic productivity of water ($297000 \text{ Rls} \cdot \text{m}^{-3}$) and energy ($17050 \text{ Rls} \cdot \text{MJ}^{-1}$), while watermelon had the highest physical productivity ($6.67 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$) and energy ($0.90 \text{ Kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$). The most sustainable product in terms of resource consumption was watermelon ($\text{WEFNI} = 0.71$), while the least stable product was mung beans ($\text{WEFNI} = 0.035$), according to correlation index values. The outcomes of this study can support the region's agricultural industry's sustainable growth by implementing appropriate resource management practices and cultivation patterns.

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

چکیده

مدیریت کشاورزی و سیاست‌های سازگار با تغییرات اقلیم نیاز به دیدگاه یکپارچه بین سه منبع آب-انرژی-غذا دارند تا بتوانند از ناهنجاری‌ها و منافع تک بعدی جلوگیری نمایند و توسعه پایدار را به همراه داشته باشند. پژوهش حاضر با هدف بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید چهار محصول کشاورزی تابستانه شهرستان دهگلان (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق پرسشنامه از کشاورزان جمع‌آوری و با استفاده از معیارهای میزان مصرف آب و انرژی، بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی، بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی و در نهایت شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) برای هر محصول به دست آمد. نتایج نشان داد تولید محصولات تابستانه در شهرستان دهگلان $16714 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ آب مصرف می‌کنند، بیشترین و کمترین میزان مصرف آب به ترتیب مربوط به هندوانه ($7641 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) و کنجد ($994 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) بود. کل مصرف انرژی در کشت محصولات $205093 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ بود که بیشترین و کمترین مصرف انرژی ورودی مربوط به ذرت دانه‌ای ($103558.85 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) و کنجد ($17306.73 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) بود. همچنین الکتریسیته و کودهای شیمیایی بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف کردند. بر اساس نتایج، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب ($6.67 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$) و انرژی ($0.90 \text{ Kg} \cdot \text{MJ}^{-1}$) مربوط به هندوانه و بیشترین بهره‌وری اقتصادی آب ($297000 \text{ Rls} \cdot \text{m}^{-3}$) و انرژی ($17050 \text{ Rls} \cdot \text{MJ}^{-1}$) مربوط به کنجد بود. براساس مقادیر شاخص‌های همبست، هندوانه ($\text{WEFNI} = 0.71$) پایدارترین و ماش ($\text{WEFNI} = 0.035$) ناپایدارترین محصول از لحاظ مصرف منابع بودند. نتایج این پژوهش می‌تواند با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از منابع و الگوی مناسب کشت به توسعه پایدار کشاورزی در منطقه کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: همبست آب-انرژی-غذا، توسعه پایدار، محصولات کشاورزی تابستانه، شهرستان دهگلان.

در کشورهای در حال توسعه افزایش جمعیت و بحران‌های اقتصادی در کنار بهره‌برداری ناکارآمد و بی‌توجهی به پایداری منابع، موجب شده است که چالش‌های توسعه پایدار به نقطه حساسی برسد و عدم دسترسی مناسب به منابع، به یکی از موانع جدی توسعه تبدیل شود (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۹؛ زکی و شیرواند، ۱۴۰۰). باتوجه‌به اینکه بخش کشاورزی از یک طرف با محدودیت منابع تولید روبه‌رو است و از سوی دیگر تأمین‌کننده امنیت غذایی جمعیت در حال رشد است، لذا باید تعادل و توازن بین جریان برداشت، بهره‌برداری از منابع تولید و میزان تولید محصولات کشاورزی ایجاد شود. از سویی باتوجه‌به نقش چند جانبه کشاورزی در زندگی انسان و همچنین بخش بزرگ اقتصادی و تأمین امنیت غذایی به خصوص در دستیابی به اهداف هزاره سوم، این بخش در کانون مباحث توسعه پایدار قرار داشته و حصول پایداری در همه ابعاد آن انکارناپذیر است (روحانی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Schindler و همکاران، ۲۰۱۶)، به عبارتی استفاده از منابع تولید بایستی علاوه‌بر رفع نیازهای نسل کنونی به منظور تأمین نیازهای نسل‌های آینده نیز باقی بماند و استفاده از منابع به شکل پایدار باشد (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۰). کشاورزی پایدار با سابقه طولانی ریشه در تاریخچه کشاورزی دارد و بر خلاف کشور ما در کشورهای دیگر، توسعه پایدار کشاورزی از راهبردهای اصلی به شمار می‌رود (روحانی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ به‌طوری‌که در معیارهایی که فائو در راستای توسعه پایدار کشاورزی مد نظر قرار داده است، پایداری، حفظ و ارتقاء عوامل تولید محصولات کشاورزی یعنی آب و انرژی نیز مد نظر قرار گرفته است (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹) و یکی از اولویت‌های اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع پایه تولید محصولات کشاورزی است. اما بررسی اسناد سیاستی برنامه‌های توسعه کشور در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که این بخش از گذشته تا به حال با مسایل ناپایدار مختلفی روبه‌رو بوده که توسعه کشاورزی و امنیت غذایی را در معرض تهدید قرار داده است (مریدالسادات و همکاران، ۱۳۹۷). در ایران به علت عدم در نظر گرفتن اصول صحیح تغذیه گیاه و مدیریت غلط مصرف کود و آب آبیاری، راندمان مصرف آب و کود پایین است و مصرف بیش از حد کودها باعث غیرسالم شدن گیاهان برای سلامتی انسان و آلودگی آب‌های زیرزمینی شده است (جلینی و همکاران، ۱۴۰۰؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۴؛ بیات و همکاران، ۱۳۹۰؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روحانی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین می‌توان گفت بهره‌برداری بیش از حد از منابع کشاورزی و مدیریت غلط مصرف کود و آب‌های زیرزمینی سبب شده است که توسعه پایدار کشاورزی در ایران با چالش جدی مواجه شود.

از طرفی، پایین بودن شاخص پایداری سیاستی در ایران نسبت به سایر شاخص‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های کشور نیز در

راستای پایداری کشاورزی مناسب نبوده است و نیاز به برنامه‌ریزی جدی دارد (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹). به‌عنوان مثال سیاست‌های گذشته از جمله دادن یارانه انرژی به بخش کشاورزی سبب عدم پایداری منابع آب شده و با برقی شدن چاه‌ها و تخصیص یارانه‌های انرژی به کشاورز، استحصال منابع آب زیرزمینی به شدت بیشتری به‌صورت مستمر ادامه یافته است (احتشامی و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات گذشته تنها راه‌حل دستیابی به توسعه پایدار و کاهش اثرات محیط‌زیستی را در گرو مدیریت یکپارچه منابع اصلی آب- انرژی و مواد غذایی می‌دانند (Sadiddin و Elbehri، ۲۰۱۶). بنابراین باتوجه‌به بحث‌های بیان شده، لزوم استفاده از شاخص‌هایی که تمامی جنبه‌های نظام کشاورزی را پوشش می‌دهد، بیشتر نمایان شده است. شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) می‌تواند به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره در برنامه‌ریزی کشاورزی، به ویژه در کشورهای کمتر توسعه یافته که پایداری کشاورزی به‌عنوان یک چالش جدی در نظر گرفته می‌شود، استفاده شود (El-Gafy، ۲۰۱۷). پیوندهای عمیق بین آب، انرژی و غذا و نگرانی‌های فزاینده در مورد پایداری آن‌ها، انگیزه پیدایش مفهوم همبست بود (Chamas و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات نشان می‌دهد که هسته بحث‌های رویکرد همبست نیز کمبود منابع طبیعی از جمله آب، انرژی و مواد غذایی و ارتباط متقابل بین این سه منبع می‌باشد که پایداری محیط‌زیستی و توسعه پایدار را در مرکز خود قرار داده است (Dubar و Oates، ۲۰۱۲)؛ ازاین‌رو مدیریت کشاورزی و سیاست‌های سازگاری با تغییرات اقلیم نیاز به دیدگاه یکپارچه بین سه منبع آب-انرژی-غذا دارند تا بتوانند از ناهنجاری‌ها و منافع تک بعدی جلوگیری نمایند و توسعه پایدار را به همراه داشته باشند (Smith و همکاران، ۲۰۰۹).

همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) برای اولین بار در سال ۲۰۱۱ در بن آلمان پیشنهاد شد (Yu و همکاران، ۲۰۲۰) و همچنان در کنفرانس ریو + ۲۰ سازمان ملل و ششمین اجلاس جهانی آب در سال ۲۰۱۲ مورد بحث قرار گرفت (Lee و همکاران، ۲۰۲۰). WEFNI در دهه گذشته به یک موضوع اصلی تبدیل شده است زیرا در مقایسه با سایر رویکردهای یکپارچه، یک مفهوم کامل برای دستیابی به توسعه پایدار با شناسایی ارتباطات و هم افزایی و آشکارسازی پیامدهای غیرمنتظره است (Ponce-Ortega و Cansino-Loeza، ۲۰۲۱). باتوجه‌به این مهم در این پژوهش به بررسی همبست آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی شهرستان دهلران و برای چهار محصول کشاورزی تابستانه این شهرستان یعنی ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه پرداخته شده است.

تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در کل کشور و از جمله استان ایلام سبب کمبود منابع آب، افزایش مصرف انرژی ناشی از مصرف بی‌رویه کودها، سموم شیمیایی و در نتیجه آن تخریب و فرسودگی خاک و کاهش حاصلخیزی آن شده است. مجموع این عوامل امکان

دستیابی به امنیت غذایی و پایداری کشاورزی را در استان و به خصوص شهرستان دهلران با مشکل مواجه می‌سازد. به طوریکه این استان از لحاظ پایداری کشاورزی در رتبه ۲۳ام کشور قرار دارد (امیرزاده مرادآبادی و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین نتیجه پژوهش کوچکی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد این استان از لحاظ پایداری منابع کشاورزی در شرایط ناپایداری بالا قرار دارد. شهرستان دهلران به عنوان قطب تولید کشاورزی استان ایلام می‌باشد که دارای پتانسیل‌های زیادی برای توسعه کشاورزی است (خیرالهی، ۱۳۹۹). بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهرستان ۳۲۹۴۱ نفر بوده است که از نظر جمعیت دومین شهرستان استان و از نظر مساحت اولین شهرستان استان ایلام است. میانگین بارش سالانه دهلران ۱۴۵ میلیمتر و عمده‌ترین محصولات کشاورزی شهرستان گندم، جو و ذرت می‌باشد که در کشت تابستانه و دوم ذرت دانه‌ای، ماش، کنجد و هندوانه به صورت عمده کشت می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). به طوریکه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱، ۵۴۶۸ هکتار از اراضی کشاورزی شهرستان دهلران به کشت این چهار محصول اختصاص یافته است (سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، ۱۴۰۱). این شهرستان به عنوان یکی از شهرستان‌های استان ایلام با مسائل و مشکلات مشابهی مواجه می‌باشد که سبب شده است این شهرستان از لحاظ شاخص‌های کشاورزی و ضریب توسعه‌یافتگی رتبه چهارم و از لحاظ توسعه محصولات کشاورزی رتبه هفتم را در استان به خود اختصاص دهد (آزادی و بیک محمدی، ۱۳۹۰). باتوجه به اینکه استان ایلام در حوزه کشاورزی در ردیف پنج استان برتر کشور قرار دارد (سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام، ۱۴۰۱) و شهرستان دهلران به عنوان سنبیل کشاورزی استان ایلام شناخته شده است که شغل اصلی بسیاری از روستاییان و حتی افراد ساکن در شهرها کشاورزی است (براساس آمار سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۱ بیش از ۶۰ هزار بهره‌بردار در استان وجود دارد)، لذا لزوم پایداری منابع پایه کشاورزی در این شهرستان و استان احساس

می‌شود؛ درحالی‌که مرور مطالعات مختلف نشان می‌دهد تاکنون در زمینه پایداری کشاورزی در شهرستان دهلران با استفاده از همبست آب-انرژی - غذا (WEFNI)^۱، مطالعاتی صورت نگرفته است. اگرچه در کشور ایران بیات و همکاران (۱۴۰۰)، ارون‌دی و همکاران (۱۴۰۰) و گودرزی و همکاران (۱۳۹۹) مطالعاتی با استفاده از رویکرد WEFNI در بخش کشاورزی شهرهای مختلف ایران انجام داده‌اند، اما نقطه ثقل این مطالعات بیشتر بر منابع آب استوار بوده است. لذا می‌توان گفت استفاده از این رویکرد در کشاورزی ایران در مراحل ابتدایی خود قرار دارد. بنابراین باتوجه به ضعف مطالعاتی در زمینه دیدگاه سیستمی بین سه منبع آب-انرژی - غذا در مدیریت پایدار کشاورزی، همچنین باتوجه به وضعیت نامناسب کشاورزی استان ایلام از لحاظ پایداری منابع کشاورزی و از آنجا که علاوه بر محصولات اصلی در این شهرستان، اکثر کشاورزان در کشت تابستانه و دوم خود اقدام به کشت چهار محصول ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه می‌کنند که می‌تواند بیش از پیش پایداری منابع پایه کشاورزی شهرستان دهلران و استان ایلام را تهدید نماید، در این پژوهش همبست آب - انرژی و غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه این شهرستان یعنی ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه بررسی شد تا از این طریق بتوان در جهت افزایش بهره‌وری آب و انرژی و توسعه پایدار کشاورزی استان گام برداشت. در ارتباط با محاسبه بهره‌وری آب و انرژی و WEFNI محصولات کشاورزی مطالعاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. به عنوان مثال پژوهشگران مختلف بهره‌وری آب در هندوانه (Enyew و همکاران، ۲۰۲۰؛ M.El-Marsafawy و همکاران، ۲۰۱۸؛ Fuentes و همکاران، ۲۰۱۸؛ Sánchez و همکاران، ۲۰۱۵؛ Khalifa، ۲۰۲۰؛ Hama-Aziz و همکاران، ۲۰۲۳)، کنجد (Mohamoud و همکاران، ۲۰۱۹) و ذرت دانه‌ای (Tarkalson و همکاران، ۲۰۲۲؛ Buttinelli و همکاران، ۲۰۲۴) را محاسبه کردند. در جدول (۱) به طور خلاصه به نتایج برخی از مطالعات در سطح ملی و بین‌المللی اشاره شده است.

جدول ۱- مطالعات انجام گرفته در زمینه پژوهش

نام پژوهشگر و سال انجام پژوهش	موضوع	نتیجه
غلامحسینی و همکاران (۱۴۰۱)	تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و نیتروژن در تولید کنجد	میانگین درآمد ناخالص تولید کنجد در سال‌های آزمایش ۶۳/۳ میلیون ریال در هکتار و تحت رژیم‌های آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۹۴/۱ و ۳۳ میلیون ریال در هکتار محاسبه شد. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۱۸ کیلو گرم در متر مکعب آب آبیاری تعیین شد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب تحت تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری به ترتیب ۲۱۳۳۶ و ۱۴۲۲۴ ریال در متر مکعب آب آبیاری برآورد شد.
کریمیان (۱۴۰۰)	توسعه مدل کشاورزی پایدار با رویکرد همبست آب- انرژی - غذا	نتیجه این پژوهش که با هدف ارائه الگوی کشت بهینه در مورد محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی بود، نشان داد که WEFNI برای دو محصول گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی در حد متوسط و برای چهار محصول ذرت دانه‌ای، کلزا، گندم و جو در حد پایین است (گوجه‌فرنگی=۰/۷۸، سیب‌زمینی=۰/۶۷، ذرت دانه‌ای=۰/۳۴، کلزا=۰/۱۵، گندم=۰/۱۰ و جو=۰/۰۵).

نام پژوهشگر و سال انجام پژوهش	موضوع	نتیجه
محمدی و میسمی (۱۴۰۰)	بررسی الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران	متوسط عملکرد ذرت در نقاط مختلف ایران حدود ۶۱۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که به منظور تولید این مقدار دانه ذرت به طور متوسط ۵۵ گیگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز است. همچنین بر مبنای نتایج، در بین نهاده‌های ورودی کود ازته دارای بیشترین سهم (۲۹ درصد)؛ الکتریسیته (۲۸ درصد) و سوخت دیزل (۱۶ درصد) می‌باشد.
صادقی و همکاران (۱۳۹۹)	بررسی کمی همبست آب، انرژی و غذا در مقیاس حوزه آبخیز برای کاربران کشاورزی	بر اساس نتایج در بین محصولات کشاورزی بادام بیشترین مقدار (۰/۷۹) و سیب زمینی و چغندر (۰/۱۷) کمترین مقدار سنجه WEF را به خود اختصاص دادند.
سیدان و متقی (۱۳۹۸)	محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و مدرن برای ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان	در ذرت دانه‌ای، میانگین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در سامانه سنتی به ترتیب معادل ۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب و ۲۸۴۹ ریال بر متر مکعب به‌دست آمد. این مقادیر برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۱۱/۵ کیلوگرم بر متر مکعب و ۷۶۷۸ ریال بر متر مکعب محاسبه شد.
امینی و رونده (۱۳۹۴)	بررسی شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه در شهرستان کنارک استان سیستان و بلوچستان	کل انرژی متوسط نهاده و ستانده به ترتیب برابر ۳۰۹۲۳/۲۹ و ۴۵۶۸۲/۳۳ مگاژول بر هکتار است و بیشترین سهم انرژی ورودی مصرفی مربوط به انرژی‌های سوخت دیزل با ۴۱ درصد و کود نیترژن با ۳۶ درصد و کم‌ترین میزان مصرف انرژی، مربوط به انرژی بذر می‌باشد.
Pekarou Pemi و همکاران (۲۰۲۳)	ارزیابی پیوند آب-انرژی-غذا در مدیریت کشاورزی حوزه رودخانه تاریم و در مورد محصولات اصلی منطقه یعنی گندم، برنج، پنبه و ذرت از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹	محصولات مختلف تفاوت معنی‌داری در مصرف آب و انرژی داشتند. به‌عنوان مثال نیاز آبی ذرت ۴۲۷۱/۸ مترمکعب در هکتار بود. میزان WEFNI ذرت ۰/۴۳ بود.
Vito و همکاران (۲۰۱۷)	شاخص‌سازی برای ارزیابی پایداری روش آبیاری بر اساس چارچوب آب، انرژی و غذا در ایتالیا	در این پژوهش بهره‌وری روش‌های مختلف آبیاری در تولید گوجه فرنگی، انگور و زیتون نشان داد که تولید انگور و گوجه فرنگی هزینه بالایی از لحاظ مصرف آب دارد و زیتون کمترین مصرف آب را دارد. همچنین مشخص شد که در کشت گوجه فرنگی سودآوری اقتصادی بیشتر و زیتون سودآوری اقتصادی متوسطی دارد.
Li و همکاران (۲۰۱۶)	مدل‌سازی مصرف و بهره‌وری آب در محصولات کشاورزی در حوزه رودخانه	کارایی مصرف آب برای تمامی محصولات کشاورزی بزرگتر از یک بوده و در این بین، سبزیجات به ترتیب با ۲/۷۴ و ۳/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳، دارای بالاترین بهره‌وری فیزیکی بوده است. کمترین بهره‌وری فیزیکی نیز مربوط به محصول گندم به ترتیب برابر ۱/۱۹ و ۱/۶۷ کیلوگرم بر متر مکعب برای دو سال یاد شده بوده است.
Umar و Ibrahim (۲۰۱۲)	مقایسه کارایی مصرف انرژی در کودهای شیمیایی و آلی	میزان انرژی مصرفی با استفاده از کودهای آلی نسبت به مصرف کودهای شیمیایی ۲۰ درصد کمتر است. همچنین در این مطالعه، کارایی مصرف انرژی نیز به ترتیب ۵/۸ و ۵ به‌دست آمد.
Al-Said و همکاران (۲۰۱۲)	بررسی بهره‌وری آب در سبزیجات در سیستم آبیاری مدرن	کلم و سیب زمینی دارای بهره‌وری آب بالاتری نسبت به فلفل شیرین و هندوانه بوده به گونه‌ای که میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات کلم و سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۷/۸ و ۱۱/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است.
Liu و همکاران (۲۰۰۸)	محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت برای ۱۲۱ کشور	بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

باتوجه به قرار گرفتن استان ایلام در مناطق خشک و نیمه‌خشک و وجود زمین‌های حاصلخیز فراوان در این استان و به گونه خاص در شهرستان دهلران، محاسبه بهره‌وری منابع اهمیت دوچندان دارد. علاوه بر این، موقعیت محور بودن شیوه‌های ارزیابی پایداری در هر کشوری و نوع داده‌های مورد نیاز در هر منطقه‌ای باعث شده است تا موضوع پایداری همبست منابع کشاورزی مورد توجه اکثر صاحب‌نظران این حوزه قرار گیرد و پژوهش‌های گوناگونی در

باتوجه به مطالعاتی که انجام شده است، می‌توان گفت پایداری منابع یکی از چالش‌های اساسی است که تمامی جهان و از جمله کشور ایران به شدت با آن روبه‌رو است. مطالعات گذشته همچنین نشان می‌دهد که بهره‌وری فیزیکی و به ویژه بهره‌وری اقتصادی منابع بسته به منطقه مورد مطالعه و زمان انجام مطالعه، متفاوت است. افزایش بهره‌وری منابع تولید به ویژه در مناطقی که با کمبود مواجه هستند و خاک حاصلخیزتری دارند، اهمیتی فراوان دارد. لذا،

این زمینه انجام شود. اما اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه محصولات اصلی مانند گندم و برنج بوده است. همچنین در خصوص محصولات ماندنی مانند ذرت، ماش، کنجد و هندوانه و ارزیابی پایداری آن‌ها با استفاده از شاخص WEFN در استان ایلام و شهرستان دهلران مطالعه‌ای انجام نشده است و از این لحاظ این مطالعه برای اولین بار اقدام به محاسبه این شاخص برای این محصولات و همچنین مقایسه شاخص WEFN در سیستم‌های مختلف آبیاری در کشت محصولات مورد مطالعه خواهد نمود.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با رویکرد کمی و با هدف کلی بررسی همبست آب-انرژی-غذا در تولید محصولات کشاورزی تابستانه (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) شهرستان دهلران انجام شد. پژوهش از نظر میزان کنترل متغیرها از نوع غیرآزمایشی می‌باشد، از لحاظ نحوه گردآوری داده‌ها میدانی و باتوجه به اینکه نتایج پژوهش به برنامه‌ریزان و کشاورزان در تصمیم‌گیری به منظور کشت محصولات مناسب تابستانه از لحاظ پایداری کشاورزی کمک می‌کند از لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی محسوب می‌شود. افراد مشارکت کننده در این پژوهش، تعداد ۵۴۸ نفر از کشاورزان شهرستان دهلران در استان ایلام بودند که در تابستان ۱۴۰۲ در کشت تابستانه به عنوان کشت دوم اقدام به کشت چهار محصول ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه نمودند. به منظور تخمین تعداد نمونه، بر اساس جدول Morgan و Krejci (۱۹۷۰) تعداد ۲۲۱ نفر به عنوان نمونه انتخاب شدند. باتوجه به اینکه چهار محصول کنجد، ماش، ذرت دانه‌ای و هندوانه بررسی شده، انتخاب بهره‌برداران این چهار محصول به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای با انتساب متناسب (نوع محصول) انجام شد. ابزار اصلی گردآوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته بود. به منظور طراحی پرسشنامه از مبانی نظری، مشاهدات میدانی و مشورت با افراد صاحب نظر و دارای تجربه در این زمینه استفاده شد که در نهایت منتج به طراحی پرسشنامه‌ای بر اساس اهداف پژوهش شد. جهت اعتباربخشی به پرسشنامه تدوین شده از نظرات متخصصان موضوعی و کارشناسان کشاورزی بهره گرفته شد (افراد بیشتر در زمینه مهندسی آب، اقتصاد کشاورزی و مکانیزاسیون کشاورزی تخصص داشتند). پایایی پرسشنامه با استفاده از مطالعات مختلف همچون مطالعه Fan و همکاران (۲۰۲۰)، Yousefi و همکاران (۲۰۱۶)، Karamian و همکاران (۲۰۲۳) و یوسفی و مهدوی دامغانی (۱۳۹۲) که در زمینه نزدیک به پژوهش حاضر کار کرده‌اند، بررسی شد و علاوه بر موارد مطرح در مبانی نظری و پرسشنامه پژوهشگران مذکور، براساس شرایط و واقعیت‌های منطقه از نظرات متخصصان موضوعی در کشت محصولات مورد مطالعه، استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel انجام شد.

- بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

میزان آب مصرفی در هر هکتار از محصولات مورد مطالعه با استفاده از سه فاکتور اصلی یعنی دبی آب خروجی، مدت زمان آبیاری و تعداد دفعات آبیاری محاسبه شد. با مشخص بودن دبی آب خروجی برحسب لیتر بر ثانیه و تبدیل آن به مترمکعب و برآورد آن برای کل مدت آبیاری (تعداد آبیاری × مدت زمان هر بار آبیاری) حجم آب مصرفی برآورد می‌شود (یوسفی و مهدوی دامغانی، ۱۳۹۲).

- بررسی میزان مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

منظور از مصرف انرژی ($E_{c,t}$)، در واقع میزان انرژی صرف شده برای یک هکتار محصول C در مدت زمان t می‌باشد. جهت محاسبه میزان انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه، ابتدا انرژی ورودی و خروجی محصولات برآورد شد و سپس با استفاده از جدول (۲) به معادل انرژی تبدیل شدند. انرژی‌های محاسبه شده در این پژوهش شامل انرژی‌های مستقیم (کار انسان، سوخت دیزل، الکتریسیته و آب) و انرژی غیرمستقیم (کودها و سموم شیمیایی، بذرها، ماشین آلات) می‌باشد. میزان انرژی صرف شده برای هر محصول در یک هکتار زمین زراعی براساس رابطه (۱) (مفاخری و همکاران، ۱۴۰۰؛ کرمان و همکاران، ۱۴۰۰) محاسبه شد.

$$E_{c,t} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{q_h h_{(c,t)} + q_m m_{(c,t)} + q_d d_{(c,t)} + q_s s_{(c,t)} + q_w w_{(c,t)}}{q_e e_{(c,t)} + q_p p_{(c,t)} + q_{he} h_{e(c,t)} + q_d d_{(c,t)}} \right) \quad (1)$$

که در آن: q_h معادل انرژی لازم برای هر ساعت نیروی کار انسانی (MJ/h)؛ q_m معادل انرژی لازم برای هر ساعت کار ماشین آلات (MJ/h)؛ q_d معادل انرژی لازم برای مصرف هر لیتر سوخت دیزل (MJ/L)؛ q_s معادل انرژی لازم برای تولید هر کیلوگرم بذر (MJ/kg)؛ q_w معادل انرژی لازم برای آبیاری محصول (MJ/m^3)؛ q_e معادل انرژی لازم برای تولید الکتریسیته (MJ/kwh)؛ q_{he} معادل انرژی لازم برای تولید علف‌کش‌ها (MJ/kg)؛ q_d معادل انرژی لازم برای تولید کودها (شیمیایی و دامی) (MJ/kg)؛ برای هر محصول C است. همچنین $h_{(c,t)}$ ساعت کار نیروی انسانی در هر هکتار (ساعت بر هکتار)؛ $m_{(c,t)}$ ساعت کار ماشین آلات در هر هکتار (ساعت بر هکتار)؛ $d_{(c,t)}$ مقدار سوخت دیزل مصرف شده (لیتر بر هکتار)؛ $s_{(c,t)}$ مقدار بذر مصرف شده (ذرت دانه‌ای، کنجد، ماش و هندوانه) در شهرستان دهلران (کیلوگرم بر هکتار)؛ $w_{(c,t)}$ مقدار آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار)؛ $e_{(c,t)}$ الکتریسیته مصرفی برای استخراج آب زیرزمینی (کیلو وات بر هکتار)؛ $p_{(c,t)}$ مقدار آفت‌کش مصرف شده (کیلوگرم بر هکتار)؛ $h_{e(c,t)}$ مقدار علف‌کش مصرف شده (کیلوگرم بر هکتار)؛ $d_{(c,t)}$ مقدار کودهای مصرف شده (شیمیایی و دامی) (کیلوگرم بر هکتار)؛ برای هر محصول C در زمان t است. انرژی لازم برای مصرف الکتریسیته نیز باتوجه به رابطه (۲) محاسبه شد (Ahmad و Khan، ۲۰۰۹).

$$E = p \times t \times c \quad (2)$$

که E انرژی الکتریسیته (MJ)؛ p قدرت پمپ (kwh)؛ t مدت زمان کار پمپ و c معادل انرژی در هر کیلووات ساعت است (1kw = 3/6 MJ).

جدول ۲- معادل‌های انرژی (ورودی‌ها و خروجی‌ها)

برای تولید محصولات مورد مطالعه

ورودی	واحد	معادل انرژی	منبع
نیروی کار	ساعت (h)	۱/۹۶	Fabiani و همکاران (۲۰۲۰)
ماشین‌آلات	ساعت (h)	۶۲/۷	Fabiani و همکاران (۲۰۲۰)
سوخت	لیتر (L)	۵۶/۳۱	Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Erdal و همکاران (۲۰۰۷)
دیزل			
الکتریسیته	کیلووات ساعت (Kwh)	۳/۶	Yousefi و همکاران (۲۰۱۶)
آب آبیاری	متر مکعب (m ³)	۱/۰۲	Jat و همکاران (۲۰۲۰)
علف‌کش	کیلوگرم ماده مؤثره	۲۵۴/۴۵	Jat و همکاران (۲۰۲۰)
آفت‌کش	کیلوگرم ماده مؤثره	۱۸۴/۶۳	Jat و همکاران (۲۰۲۰)
کود پتاسیم	کیلوگرم (kg)	۶/۷	Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Akcaoz و همکاران (۲۰۰۹)
کود فسفات	کیلوگرم (kg)	۱۱/۱۰	Jat و همکاران (۲۰۲۰)
کود نیترژن	کیلوگرم (kg)	۶۰/۶	Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Akcaoz و همکاران (۲۰۰۹)
کود دامی	کیلوگرم (kg)	۰/۳	عزیز پناه و همکاران (۱۳۹۹)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱)
بذر محصولات			
ذرت	کیلوگرم (kg)	۱۴/۷	Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱)
دانه‌ای			
کنجد	کیلوگرم (kg)	۰/۷۹	رحیمی‌کیا و عمادی (۱۳۸۹)
ماش	کیلوگرم (kg)	۱/۸۶	گورویی و همکاران (۱۳۹۹)
بذر هندوانه	کیلوگرم (kg)	۱	بوگری و همکاران (۱۳۹۹)
خروجی			
ذرت	کیلوگرم (kg)	۱۴/۷	Jat و همکاران (۲۰۲۰)؛ Karamian و همکاران (۲۰۲۱)
دانه‌ای			
کنجد	کیلوگرم (kg)	۰/۷۹	رحیمی‌کیا و عمادی (۱۳۸۹)
ماش	کیلوگرم (kg)	۱/۸۶	گورویی و همکاران (۱۳۹۹)
هندوانه	کیلوگرم (kg)	۱/۹	Canakci و همکاران (۲۰۰۵)

- بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در تولید محصولات

کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

بهره‌وری فیزیکی آب به‌صورت نسبت محصول کشاورزی تولید شده به مقدار آب مصرف شده محاسبه می‌شود (رابطه ۳) (Vazifedoust و همکاران، ۲۰۰۸).

$$PWP = Q_i / W_i \quad (3)$$

که در آن: PWP بهره‌وری فیزیکی آب در کشت محصول بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب؛ Q مقدار محصول تولید شده از کشت محصول iام بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ W مقدار آب مصرف شده بر حسب متر مکعب در هکتار برای تولید محصول iام می‌باشد. بهره‌وری فیزیکی انرژی (E_{p,t}) در زمان t، با نسبت بین عملکرد محصول C و مصرف انرژی آن بر اساس رابطه (۴) (El-Gafy، ۲۰۱۷) محاسبه شد.

$$E_{p,t} = Y_{c,t} / E_{c,t} \quad (4)$$

که در آن: E_{p,t} بهره‌وری انرژی نهاده‌ها (نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و دامی، آب آبیاری، الکتریسیته، بذور مصرفی) در زمان t است بر حسب کیلو گرم بر مگاژول؛ Y_{c,t} عملکرد محصول C بر حسب کیلوگرم بر هکتار؛ E_{c,t} مصرف انرژی در یک هکتار محصول C در زمان t، بر حسب مگاژول در هکتار.

- بررسی بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در تولید محصولات

کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

از آنجا که در بهره‌وری فیزیکی، عملکرد محصول لحاظ می‌شود و سود و هزینه در نظر گرفته نمی‌شود لذا بالا بودن بهره‌وری فیزیکی یک محصول دلیلی بر سود اقتصادی بیشتر آن محصول نیست. لذا لازم است به‌منظور قضاوت در این زمینه بهره‌وری اقتصادی محاسبه شود که سود و هزینه تولید محصول در فرمول گنجانده می‌شود (Van Halsema، Vincent و ۲۰۱۷).

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب براساس رابطه (۵) محاسبه شد (Van Halsema و Vincent، ۲۰۱۷).

$$WEP = (N_{c,t} - C_{c,t}) / W_i \quad (5)$$

که در آن: WEP بهره‌وری اقتصادی آب بر حسب ریال در مترمکعب؛ N_{c,t} بازده ناخالص اقتصادی برای محصول c در زمان t در یک هکتار بر حسب ریال در هکتار؛ C_{c,t} مجموع هزینه نهاده‌های مورد استفاده در یک هکتار محصول C در زمان t (بر حسب ریال در هکتار) و W_i مقدار آب مصرف شده برای تولید محصول iام بر حسب متر مکعب در هکتار است.

به منظور محاسبه بهره‌وری اقتصادی انرژی از رابطه (۶) استفاده شد (El-Gafy، ۲۰۱۷).

$$EEP = (N_{c,t} - C_{c,t}) / E_{c,t} \quad (6)$$

که در آن: EEP بهره‌وری اقتصادی انرژی C در زمان t بر حسب ریال در مگاژول؛ E_{c,t} انرژی مصرفی نهاده‌های مورد استفاده (نیروی

جدول ۳- میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار) در کشت چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران

نوع محصول	حجم آب (مترمکعب در هکتار)	میلگین دور آبیاری	میلگین مدت زمان آبیاری (ساعت)	میانگین میزان مصرف آب (مترمکعب در هکتار)
ذرت دانه‌ای	۱۰۷/۲۰	۱۲/۶۴	۴/۸۲	۶۵۳۱/۶۲
هندوانه	۱۰۴/۸۶	۱۳/۱۳	۵/۵۵	۷۶۴۱/۸۸
کنجد	۱۰۰/۴۷	۳	۳/۳۰	۹۹۴/۷۱
ماش	۱۱۰/۲۵	۴/۲۵	۳/۳۰	۱۵۴۶/۲۵

میزان نهاده‌های ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه

بر اساس اطلاعات جدول (۴) در هندوانه (۸۰۷۴/۷۴) کیلو وات ساعت) و ذرت دانه‌ای (۱۵۱۳۴/۸۶) کیلو وات ساعت)، بیشترین میزان نهاده ورودی مربوط به الکتریسیته، می‌باشد. در کشت ماش میزان مصرف تمامی نهاده‌ها به جز نیروی کار بیشتر از کنجد است. اما از لحاظ مصرف کود، در کشت کنجد، نیترژن (۱۷۵ کیلوگرم) بیشتری استفاده می‌شود. در کشت کنجد و ماش، هیچ آفت‌کشی استفاده نمی‌شود، همچنین میزان استفاده از علف‌کش‌ها در کشت کنجد صفر است. اطلاعات مربوط به سایر محصولات در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- مقدار نهاده‌های ورودی و خروجی در کشت یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

ورودی و خروجی	ذرت دانه‌ای	هندوانه	کنجد	ماش
الف) ورودی‌ها				
نیروی کار (h)	۶۳/۲۱	۱۳۲/۳۷	۸۰	۴۹
آب برای آبیاری (m ³)	۶۵۳۱/۶۲	۷۶۴۱/۸۸	۹۹۴/۷۱	۱۵۴۶/۲۵
ماشین‌آلات (h)	۹/۳۲	۴/۱۷	۷/۳۶	۸/۴۸
سوخت دیزل (L)	۶۹/۰۶	۲۸/۸۹	۴۵/۲۷	۶۵/۱۶
بذر محصولات (kg)	۲۴/۶۱	۰/۶۰	۳/۳۳	۲۵/۵
الکتریسیته (Kwh)	۱۵۱۳۴/۸۶	۸۰۷۴/۷۴	۳۲۱۷/۲	۴۰۸۲/۱۱
آفت‌کش (kg)	۰/۸۴	۳/۸۴	-	-
علف‌کش‌ها (kg)	۱	۲	-	۲/۸۷
ب) کودها (kg)				
نیترژن	۳۵۱/۹۲	۲۲۰/۶۸	۱۷۵	۸۱/۲۵
فسفر	۱۱۹/۱۲	۱۲۴/۱۳	۸۷/۵	۸۷/۵
پتاسیم	۸۷/۶۳	۹۶/۱۵	۸۳/۳۳	۸۷/۵
کود دامی	۵۱۴۰	۲۵۸۰	-	-
ب) خروجی (kg)				
عملکرد	۷۵۷۱/۴۲	۵۱۰۳۴/۴۸	۸۱۶/۶۶	۷۵۸/۷۵

کار، ماشین‌آلات، سوخت، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و دامی، آب آبیاری، الکتریسیته، بذور مصرفی) در یک هکتار از محصول C در زمان t (مگاژول در هکتار) است.

- بررسی شاخص همبست آب-انرژی- غذا (WEFNI) در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

در نهایت با ترکیب ۶ معیار به دست آمده برای هر محصول، WEFNI محاسبه شد. از آنجا که هر معیار دارای واحد متفاوتی می‌باشد لذا در پژوهش حاضر، قبل از محاسبه شاخص نهایی، ابتدا نرمال سازی هر معیار با استفاده از رابطه (۷) که توسط Juwana و همکاران (۲۰۱۲) پیشنهاد شده است، صورت گرفت.

$$X_i = (x_i - \text{Min}(x_i)) / (\text{Max}(x_i) - \text{Min}(x_i)) \quad (7)$$

که X_i مقدار نرمال شده هر معیار (۶ معیار)، x_i مقدار واقعی هر معیار، $\text{Max}(x_i)$ حداکثر مقدار معیارها، $\text{Min}(x_i)$ حداقل مقدار معیارها می‌باشد. سرانجام با ترکیب ۶ معیار نرمال شده، WEFNI از طریق رابطه (۸) محاسبه شد (El-Gafy, ۲۰۱۷).

$$WEFNI = \sum_{i=1}^n w_i X_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (8)$$

که w_i وزن به کار رفته برای هر معیار و n تعداد معیارها می‌باشد. از آنجا که معیارها از نظر میزان اهمیت با یکدیگر متفاوت می‌باشند، لذا در پژوهش حاضر برای وزن‌دهی به معیارها از نظر متخصصان (کارشناسان کشاورزی، آب و کارشناسان برق استان ایلام و کشاورزان) بهره گرفته شد. مقدار WEFNI بین عدد ۰ و ۱ است. هر چه مقدار آن در کشت یک محصول به ۱ نزدیکتر باشد نشان دهنده این است که در شرایط کنونی در تولید آن محصول، کشاورزی پایدار بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده عدم توجه به کشاورزی پایدار در کشت محصول می‌باشد (El-Gafy, ۲۰۱۷; Karamian و همکاران، ۲۰۲۱، ۲۰۲۳).

یافته‌ها

-بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

میزان مصرف آب در کشت چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران در جدول (۳) ارائه شده است.

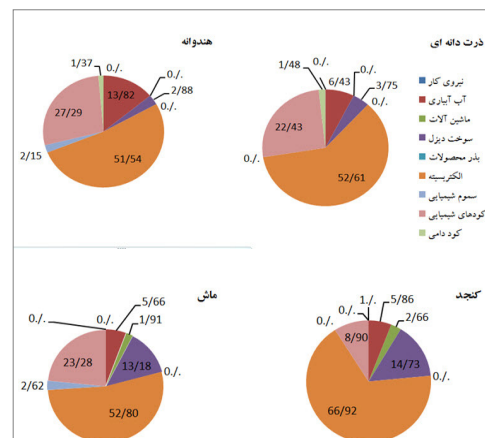
همان‌طور که جدول نشان می‌دهد میزان مصرف آب در کشت ذرت دانه‌ای ۶۵۳۱/۶۲ متر مکعب در هکتار و در کشت هندوانه ۷۶۴۱/۸۸ مترمکعب در هکتار است. همچنین میزان مصرف آب در کشت کنجد و ماش نیز به ترتیب ۹۹۴/۷۱ و ۱۵۴۶/۲۵ مترمکعب در هکتار است. بر این اساس می‌توان گفت بیشترین میزان مصرف آب مربوط به هندوانه و کمترین میزان مصرف آب در بین محصولات تابستانه شهرستان دهلران مربوط به کنجد می‌باشد.

بررسی معیار مصرف انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

اطلاعات جدول (۵) و شکل (۱) نشان می‌دهد در کشت ذرت دانه‌ای و هندوانه بیشترین میزان انرژی ورودی مربوط به الکتریسیته است. همچنین کل انرژی ورودی در ذرت دانه‌ای ۱۰۳۵۵۸/۸۵ مگاژول در هکتار و در هندوانه ۵۶۳۹۹/۱۶ مگاژول در هکتار می‌باشد. در دو محصول کنگد و ماش نیز، میزان انرژی ورودی به ترتیب ۱۷۳۰۶/۷۳ مگاژول در هکتار و ۲۷۸۲۸/۶ مگاژول در هکتار است.

جدول ۵- میزان انرژی ورودی و خروجی در کشت یک هکتار از چهار محصول تابستانه شهرستان دهلران (MJ/ha)

ورودی و خروجی	ذرت دانه‌ای	هندوانه	کنجد	ماش
الف) ورودی‌ها				
نیروی کار (h)	۱۲۳/۸۹	۲۵۹/۴۴	۱۵۶/۸	۹۶/۰۴
آب برای آبیاری (m ^۳)	۶۶۶۲/۲۵	۷۷۹۴/۷۱	۱۰۱۴/۶۰	۱۵۷۷/۱۸
ماشین آلات (h)	۵۸۴/۳۶	۲۶۱/۴۵	۴۶۱/۴۷	۵۳۱/۶۹
سوخت دیزل (L)	۳۸۸۸/۷۶	۱۶۲۶/۷۹	۲۵۴۹/۱۵	۳۶۶۹/۱۵
بذر محصولات (kg)	۳۶۱/۷۶	۰/۶۰	۲/۶۳	۴۷/۴۳
الکتریسیته (Kwh)	۵۴۴۸۵/۴۹	۲۹۰۶۹/۰۶	۱۱۵۸۱/۹۲	۱۴۶۹۵/۵۹
آفت کش (kg)	۱۵۵/۰۸	۷۰۸/۹۷	-	-
علف کش‌ها (kg)	۲۵۴/۴۵	۵۰۸/۹	-	۷۳۰/۲۷
ب) کودها (kg)				
نیتروژن	۲۱۳۲۶/۳۵	۱۳۳۷۳/۲۰	۱۰/۶۰	۴۹۲۳/۷۵
فسفر	۱۳۳۲۲/۲۳	۱۳۷۷/۸۴	۹۷۱/۲۵	۹۷۱/۲۵
پتاسیم	۵۸۷/۱۲	۶۴۴/۲۰	۵۵۸/۳۱	۵۸۶/۲۵
کود دامی	۱۵۴۲	۷۷۴	-	-
کل انرژی ورودی	۱۰۳۵۵۸/۸۵	۵۶۳۹۹/۱۶	۱۷۳۰۶/۷۳	۲۷۸۲۸/۶
ب) خروجی (kg)				
عملکرد	۱۱۱۲۹۹/۵۸	۹۶۹۶۵/۵۱	۶۴۵/۱۶	۱۴۱۱/۲۷



شکل ۱- مقدار انرژی ورودی در محصولات کشت شده در شهرستان دهلران در هر هکتار

بررسی بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

بهره‌وری فیزیکی آب در کشت چهار محصول در جدول (۶) ارائه شده است. بر اساس نتایج، میزان بهره‌وری فیزیکی آب هندوانه، ۶/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. بهره‌وری فیزیکی آب در ذرت دانه‌ای نیز ۱/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. میزان بهره‌وری فیزیکی آب برای ماش ۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب و برای کنگد ۰/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب است. بر این اساس بیشترین و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب به ترتیب مربوط به هندوانه و ماش می‌باشد. بهره‌وری فیزیکی انرژی در کشت هندوانه ۰/۹۰ کیلوگرم بر مگاژول و در کشت ذرت دانه‌ای، ۰/۷۳ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد. میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی در ماش ۰/۲۷ کیلوگرم بر مگاژول و در کنگد ۰/۴۷ است. بیشترین بهره‌وری فیزیکی انرژی مربوط به هندوانه و کمترین بهره‌وری فیزیکی مربوط به ماش می‌باشد.

جدول ۶- بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی در سطح یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

نام محصول	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری فیزیکی انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)
هندوانه	۶/۶۷	۰/۹۰
ذرت دانه‌ای	۱/۱۵	۰/۷۳
کنجد	۰/۸۲	۰/۴۷
ماش	۰/۴۹	۰/۲۷

بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

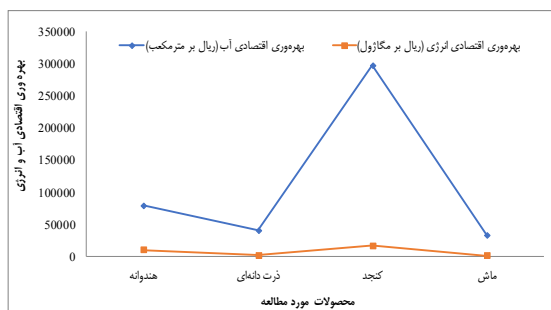
قبل از محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی محصولات لازم است که میانگین هزینه-فایده آنها محاسبه شود. همان‌طور که جدول (۷) نشان می‌دهد بالاترین سود حاصل از کشت محصولات تابستانه در شهرستان دهلران به ترتیب مربوط به کشت هندوانه و کنگد می‌باشد. پس از محاسبه میانگین هزینه-فایده محصولات، بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در آنها محاسبه شد (جدول ۸). بر اساس جدول (۸)، در کشت هندوانه بهره‌وری اقتصادی آب (۷۹۷۵۷ ریال بر متر مکعب) است. میزان بهره‌وری اقتصادی آب در کشت ذرت دانه‌ای نیز ۴۱۲۸۴ ریال بر متر مکعب است. در کشت کنگد بهره‌وری اقتصادی آب ۲۹۷۰۰۰ ریال بر مترمکعب و بیشتر از ماش است (۳۳۰۰۰ ریال بر متر مکعب). در شکل (۲) بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت هندوانه ۱۰۸۰۶ ریال در مگاژول و در کشت ذرت دانه‌ای ۲۶۰۴ ریال در مگاژول است. بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت کنگد، ۱۷۰۵۰ ریال در مگاژول و در کشت ماش ۱۸۱۵ ریال در مگاژول است.

جدول ۷- میانگین هزینه-فایده محصولات مورد مطالعه در سطح یک هکتار و در سال زراعی ۱۴۰۱

محصول	عملکرد در هکتار (کیلوگرم)	قیمت هر کیلوگرم (ریال)	درآمد ناخالص هر محصول (ریال در هکتار)	هزینه تولید هر محصول (ریال در هکتار)	سود هر محصول (ریال در هکتار)
ذرت دانه‌ای	۷۵۷۱/۴۲	۷۱۵۰۰	۵۴۱۳۵۶۵۳۰	۲۷۱۶۸۴۲۵۴	۲۶۹۶۷۲۲۷۶
هندوانه	۵۱۰۳۴/۴۸	۱۸۷۰۰	۹۵۴۳۴۴۷۷۶	۳۴۴۸۴۷۲۵۶	۶۰۹۴۹۷۵۲۰
کنجد	۸۱۷	۵۳۳۵۰۰	۴۳۹۱۳۶۵۰۰	۱۳۸۸۵۳۰۰۰	۳۰۰۲۷۸۰۰۰
ماش	۷۵۹	۲۴۷۵۰۰	۱۸۹۷۵۰۰۰۰	۱۳۸۴۶۸۰۰۰	۵۱۲۷۶۵۰۰

جدول ۸- بهره‌وری اقتصادی آب و انرژی در سطح یک هکتار از محصولات تابستانه شهرستان دهلران

نام محصول	بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب)	بهره‌وری اقتصادی انرژی (ریال بر مگاژول)
هندوانه	۷۹۷۵۷	۱۰۸۰۶
ذرت دانه‌ای	۴۱۲۸۴	۲۶۰۴
کنجد	۲۹۷۰۰۰	۱۷۰۵۰
ماش	۳۳۰۰۰	۱۸۱۵



شکل ۲- بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و انرژی (ریال بر مگاژول) در کشت محصولات تابستانه شهرستان دهلران

متوسط و برای سایر محصولات کمتر از سطح متوسط است. همچنین بر اساس مقادیر شاخص‌های همبست، هندوانه ($WEFNI=0/71$) پایدارترین و ماش ($WEFNI=0/35$) ناپایدارترین محصول است.

جدول ۱۰- مقادیر نرمال شده معیارهای همبست آب-انرژی-غذا

محصول	هندوانه	ذرت دانه‌ای	کنجد	ماش
مصرف آب	۱	۰/۸۳۲	۰	۰/۰۸۳
مصرف انرژی	۰/۴۵۳	۱	۰	۰/۱۲۱
بهره‌وری فیزیکی آب	۱	۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰
بهره‌وری فیزیکی انرژی	۱	۰/۰۵۲	۰/۰۲۲	۰
بهره‌وری اقتصادی آب	۰/۱۷۷	۰/۰۳۱	۱	۰
بهره‌وری اقتصادی انرژی	۰/۵۹۰	۰/۰۵۱	۱	۰
کل	۴/۲۲	۲/۰۷۲	۲/۰۷۵	۰/۲۰۴

- بررسی شاخص همبست آب-انرژی-غذا (WEFNI) در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

به منظور تدوین نهایی شاخص همبست آب-انرژی-غذا در کشت محصولات تابستانه ابتدا نتایج ۶ معیار برای هر محصول ارائه شد (جدول ۹). از آنجاییکه هر معیار واحد متفاوتی دارد، به منظور یکسان‌سازی واحد معیارها، این واحد نرمال‌سازی شد (جدول ۱۰). همچنین باتوجه به اینکه معیارها ارزش متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند، لذا از افراد صاحب نظر (که شامل کشاورزان و کارشناسان بودند) خواسته شد که به هر معیار بر اساس میزان اهمیت آن، وزنی اختصاص دهند. سپس میانگین وزنی هر معیار در مقدار نرمال آن معیار ضرب شد (جدول ۱۱). مقادیر شاخص‌های همبست نیز در جدول (۱۱) ارائه شده است. مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ می‌باشد. همان‌طور که جدول نشان می‌دهد مقادیر شاخص برای هندوانه بالاتر از سطح

جدول ۹- مقادیر واقعی معیارهای همبست آب-انرژی-غذا

محصول	آب (مترمکعب در هکتار)	انرژی (مگاژول در هکتار)	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)	آب (ریال بر مترمکعب)	انرژی (ریال در مگاژول)
هندوانه	۷۶۴۱/۸۸	۵۶۳۹۹/۱۶	۶/۶۷	۰/۹۰	۷۹۷۵۷	۱۰۸۰۶
ذرت دانه‌ای	۶۵۳۱/۶۲	۱۰۳۵۵۸/۸۵	۱/۱۵	۰/۰۷۳	۴۱۲۸۴	۲۶۰۴
کنجد	۹۹۴/۷۱	۱۷۳۰۶/۷۳	۰/۸۲	۰/۰۴۷	۲۹۷۰۰۰	۱۷۰۵۰
ماش	۱۵۴۶/۲۵	۲۷۸۲۸/۶	۰/۴۹	۰/۰۲۷	۳۳۰۰۰	۱۸۱۵

جدول ۱۱- مقادیر وزنی معیارها و WEFNI در تولید محصولات کشاورزی تابستانه در شهرستان دهلران

محصول	هندوانه	ذرت دانه‌ای	کنجد	ماش	وزن
مصرف آب	۹/۶	۷/۹۸	۰/۰۰۰	۰/۷۹	۹/۶
مصرف انرژی	۳/۹۸	۸/۸	۰/۰۰۰	۱/۰۶	۸/۸
بهره‌وری فیزیکی آب	۹/۲	۱/۴۷	۰/۴۸۷	۰/۰۰۰	۹/۲
بهره‌وری فیزیکی انرژی	۸/۶	۰/۴۴۷	۰/۱۸۹	۰/۰۰۰	۸/۶
بهره‌وری اقتصادی آب	۱/۴۸	۰/۲۶۰	۸/۴	۰/۰۰۰	۸/۴
بهره‌وری اقتصادی انرژی	۴/۶۰	۰/۳۹۷	۷/۸	۰/۰۰۰	۷/۸
کل	۳۷/۴۶	۱۹/۳۵	۱۶/۸۷	۱/۸۵	۵۲/۴
شاخص همبست (WEFNI)	۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۳۲	۰/۰۳۵	-

بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه به نقش تعیین‌کننده محصولات زراعی در امنیت غذایی جوامع، در آینده اراضی زراعی بیش از سایر منابع محدودکننده تولید غذا در جهان خواهند بود. لذا بهره‌برداری صحیح از آنها اهمیت ویژه‌ای دارد (Chiu و Hwong، ۲۰۲۰). استان ایلام جزء استان‌های برتر در تولید محصولات کشاورزی در کشور می‌باشد و شهرستان دهلران نیز قطب تولید کشاورزی در استان ایلام و نماد کشاورزی استان می‌باشد. محصولات اصلی که در این استان کشت می‌شود شامل گندم، جو و کلزا است. علاوه بر آن کشاورزان استان در کشت دوم و تابستانه خود اقدام به کشت محصولاتی مانند ذرت دانه‌ای، کنجد، هندوانه و ماش می‌کنند که می‌تواند توسعه پایدار کشاورزی استان را در سنوات آتی با مشکلات حادثتری مواجه سازد. لذا این پژوهش با هدف کلی بررسی پایداری آب و انرژی در تولید محصولات کشاورزی تابستانه شهرستان دهلران در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ انجام شد.

بر اساس نتایج، بیشترین میزان مصرف آب مربوط به هندوانه (۷۶۴۱/۸۸ متر مکعب بر ساعت) است. ذرت دانه‌ای دومین محصول تابستانه شهرستان دهلران با میزان مصرف بالای آب می‌باشد (۶۵۳۱/۶۲ متر مکعب بر ساعت). میزان مصرف آب در کشت کنجد ۹۹۴/۷۱ متر مکعب بر هکتار می‌باشد که کمترین میزان است. بر اساس آمار ارائه شده توسط فائو، ایران در تولید هندوانه مقام سوم جهان را دارد که به معنای کشت یک محصول آب‌بر در سرزمین خشک و نیمه خشک است (امینی و رونده، ۱۳۹۴). به عبارت دیگر کشت دو محصول ذرت دانه‌ای و هندوانه باتوجه به مصرف بالای آب می‌تواند باعث کاهش سفره‌های آب زیر زمینی در شهرستان دهلران و استان ایلام شود و کشاورزی استان و به خصوص از لحاظ کشت سایر محصولات تابستانه را در سال‌های آینده با مشکل مواجه سازد. از آنجا که هندوانه قابلیت کشت در گلخانه را دارد، لذا کشت این محصول آب‌بر در گلخانه، همان‌طور که در برخی نقاط کشور و بسیاری از کشورهای توسعه یافته در گلخانه کشت می‌شود، می‌تواند با حداقل مصرف آب تولید شود. لازمه کشت محصولی

چون هندوانه در گلخانه مدیریت‌های صحیح و مناسب آبیاری است که آبیاری قطره‌ای یکی از این روش‌ها به شمار می‌آید. با استفاده از تکنولوژی‌های دانش بنیان و سیستم‌های جدید در گلخانه و استفاده از کود مناسب به میزان مطلوب، مصرف آب در کشت هندوانه به روش گلخانه‌ای در مقایسه با کشت به روش سنتی به یک پنجم و یا حتی بیشتر کاهش می‌یابد.

بیشترین میزان نهاده مصرفی در کشت محصولات تابستانه مربوط به الکتریسیته (۱۵۱۳۴/۸۶ کیلو وات ساعت) می‌باشد. می‌توان گفت الکتروپمپ‌های دارای بازدهی بالاتر می‌توانند با مصرف انرژی کمتر میزان آب مورد نظر را تامین کنند. در مواردی که نیاز به نصب یا تعویض الکتروپمپ باشد انتخاب الکتروموتور و پمپ دارای بازدهی بالاتر، هزینه‌های برق مصرفی کشاورزان را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. همچنین انتخاب اندازه پمپ باید متناسب با میزان آب مورد نیاز، عمق چاه و دیگر مشخصات بهره‌برداری باشد. در زمان حفر چاه جهت انتخاب پمپ و الکتروموتور و همچنین نحوه لوله‌کشی لازم است از کارشناسان و متخصصان این حوزه استفاده شود و از نظرات افراد غیر متخصص پرهیز شود. علاوه بر آن تهیه برنامه زمان‌بندی و انجام سرویس‌های دوره‌ای الکتروموتورها تا حد قابل توجهی به کارایی، کاهش مصرف برق و آب و افزایش عمر مفید آن‌ها در مدت زمان بهره‌برداری کمک می‌کند. همچنین می‌توان از ترکیبی از موتورهای برقی، هیدرولیکی آبی و روغنی نیز استفاده نمود.

بیشترین میزان ساعت کاری (۱۳۲/۳۷ ساعت نیروی کار) و آب آبیاری (۷۶۴۱/۸۸ متر مکعب مصرف آب) مربوط به کشت هندوانه می‌باشد. باتوجه به اینکه در کشت هندوانه بیشتر عملیات کاشت، داشت و برداشت به وسیله نیروی انسانی انجام می‌شود، لذا کشت این محصول با بالاترین میزان ساعت کاری مربوط به نیروی انسانی همراه بوده است. در ارتباط با میزان آب مصرفی نیز همان‌طور که گفته شد هندوانه یک محصول آب‌بر با بیشترین مصرف آب می‌باشد. به خصوص در روش سنتی و جوی پشته که بیشترین هدر رفت و تبخیر آب در آن صورت می‌پذیرد. کمترین میزان ساعت کاری (۴۹ ساعت نیروی کار) و آب آبیاری (۹۹۴/۷۱۲ مترمکعب) نیز به

ترتیب مربوط به کشت ماش و کنگد می‌باشد. باتوجه‌به اینکه در شهرستان دهلران بیشتر عملیات مربوط به کاشت و برداشت ماش توسط ماشین‌آلات انجام می‌شود، نیاز به نیروی انسانی کمتری دارد. کنگد گیاهی مقاوم به خشکی و گرما است و به جز در مراحل گلدهی می‌تواند نسبت به کم‌آبی مقاوم باشد به همین دلیل کشت آن با شرایط آب و هوایی شهرستان دهلران و به خصوص از لحاظ مصرف آب و مقاومت نسبت به خشکسالی مناسب است. استفاده از ماشین‌آلات در مراحل مختلف کشت محصولات اختلاف چندان زیادی بایکدیگر ندارند و بین ۷ تا ۹ ساعت در نوسان می‌باشد. اما در محصول هندوانه نسبت به سایر روش‌های آبیاری، میزان استفاده از ماشین‌آلات پایین‌تر (چهار ساعت در هکتار) می‌باشد. این مسئله به آن علت است که در کشت هندوانه اکثریت عملیات به وسیله نیروی کار انسان انجام می‌شود.

از لحاظ مصرف انرژی ورودی، برای تولید یک هکتار ذرت دانه‌ای ۱۰۳۵۵/۸۵ مگاژول انرژی مصرف می‌شود که بیشترین میزان انرژی ورودی در بین محصولات کشت شده است. بیشترین سهم انرژی ورودی در کشت ذرت دانه‌ای مربوط به الکتریسیته با ۵۴۴۸۵/۴۹ مگاژول در هکتار (۵۱/۶۲ درصد) و نیتروژن با ۲۱۳۲۶/۳۵ مگاژول در هکتار است. در این راستا محمدی و میسمی (۱۴۰۰) الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران را بررسی کردند. بر اساس نتیجه پژوهش متوسط عملکرد ذرت در نقاط مختلف ایران حدود ۶۱۶۷ کیلوگرم در هکتار می‌باشد که به منظور تولید این مقدار دانه ذرت به طور متوسط ۵۵ گیگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز است. همچنین بر مبنای نتایج، در بین نهاده‌های ورودی، به ترتیب کود ازته (۲۹ درصد)، الکتریسیته (۲۸ درصد) و سوخت دیزل (۱۶ درصد) بیشترین سهم را در تولید محصولات دارند. در این پژوهش میانگین نسبت انرژی خروجی به ورودی برای ذرت دانه‌ای کشور ۲/۹۲ به دست آمده است. همچنین بر مبنای نتایج، میزان انرژی ورودی کنگد ۱۷۳۰۶/۷۳ مگاژول در هکتار است. در کشت کنگد کمترین میزان انرژی ورودی مربوط به بذر محصول (۲/۶۳ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین انرژی ورودی نیز مربوط به الکتریسیته (۱۱۵۸۱/۹۲ مگاژول در هکتار) با سهم ۶۷ درصدی است.

در کشت هندوانه مجموع انرژی ورودی ۵۶۳۹۹/۱۶ مگاژول در هکتار می‌باشد. در ارتباط با انرژی مصرفی در کشت هندوانه، امینی و رونده (۱۳۹۴) در پژوهشی شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه در شهرستان کنارک استان سیستان و بلوچستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند کل انرژی متوسط نهاده و ستانده به ترتیب برابر ۳۰۹۲۳/۲۹ و ۴۵۶۸۲/۳۳ مگاژول بر هکتار است و بیشترین سهم انرژی ورودی مصرفی مربوط به انرژی‌های سوخت دیزل با ۴۱ درصد و کود نیتروژن با ۳۶ درصد و کمترین میزان مصرف انرژی، مربوط به انرژی بذر می‌باشد.

بر مبنای نتایج، بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به هندوانه (۶/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب) است. این نتیجه نشان می‌دهد

در کشت هندوانه به ازای هر واحد آب مصرفی، محصول بیشتری تولید می‌شود. بعد از هندوانه، ذرت دانه‌ای با بهره‌وری فیزیکی ۱/۱۵ در رتبه دوم قرار دارد. پایین‌ترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب نیز مربوط به ماش (۰/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد که این رقم پایین نشان می‌دهد در محصول ماش به ازای هر واحد آب مصرفی محصول کمتری تولید می‌شود. این مسئله می‌تواند ناشی از عدم مدیریت صحیح، تبخیر بالا یا مناسب نبودن شرایط اقلیمی منطقه برای این محصول باشد که لازم است در پژوهش‌های آتی علت دقیق این مسئله بررسی شود. در مطالعه مشابهی Liu و همکاران (۲۰۰۸) بهره‌وری فیزیکی آب در تولید ذرت را برای ۱۲۱ کشور محاسبه و گزارش کردند. بر اساس نتیجه مطالعه، بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آمریکا و چین با بیش از ۱/۵ و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب مربوط به کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد.

بررسی مطالعات مختلف نشان داد میانگین بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات مورد مطالعه در کشورهای مختلف متفاوت است. به عنوان مثال بهره‌وری فیزیکی آب در هندوانه در اتیوپی ۰/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب (Enyew و همکاران، ۲۰۲۰)، مصر ۶ کیلوگرم در مترمکعب (M.El-Marsafawy و همکاران، ۲۰۱۸)، ایالات متحده آمریکا در حالت آبیاری سطحی، قطره‌ای به ترتیب ۱۵ و ۲۳ کیلوگرم در مترمکعب (Fuentes و همکاران، ۲۰۱۸)، اسپانیا در حالت آبیاری قطره‌ای ۳۰-۲۳ کیلوگرم در مترمکعب (Sánchez و همکاران، ۲۰۱۵)، مصر ۵۷-۳۷ کیلوگرم در مترمکعب (Khalifa، ۲۰۲۰) و عراق ۱۵-۷ کیلوگرم در مترمکعب (Hama-Aziz و همکاران، ۲۰۲۳) برآورد شد. همچنین بهره‌وری فیزیکی آب در کنگد در کشور سودان ۰/۱۸ تا ۰/۲۹ کیلوگرم در هکتار بود (Mohamoud و همکاران، ۲۰۱۹). به علاوه بهره‌وری فیزیکی آب در ذرت دانه‌ای در مناطق خشک شمال غربی ایالات متحده ۲/۶-۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود (Tarkalson و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج تحلیل‌ها نشان داد هندوانه دارای بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی می‌باشد (۰/۹۰ کیلوگرم بر مگاژول)، بر این اساس می‌توان گفت در کشت هندوانه نسبت به سایر محصولات به ازای هر واحد انرژی مصرفی، محصول بیشتری تولید می‌شود. در این راستا نتیجه پژوهش Al-Said و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد کلم و سیب زمینی بهره‌وری آب بالاتری نسبت به فلفل شیرین و هندوانه دارند. میزان بهره‌وری فیزیکی انرژی در محصول ماش ۰/۰۲۷ کیلوگرم بر مگاژول است. باتوجه‌به اینکه بهره‌وری فیزیکی آب نیز در تولید محصول ماش پایین بود، بنابراین می‌توان گفت در شهرستان دهلران به ازای هر واحد آب و انرژی مصرفی محصول ماش کمتری تولید می‌شود که دارای ارزش پایین‌تری نیز هست. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که شهرستان دهلران برای محصول ماش بهره‌وری فیزیکی پایین‌تری در نهاده آب و انرژی دارد.

بر اساس نتایج، بالاترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب به ترتیب مربوط به کنجد (۲۹۷۰۰۰ ریال در مترمکعب) و هندوانه (۷۹۷۵۷ ریال در مترمکعب) است. بالا بودن بهره‌وری اقتصادی کنجد نسبت به بهره‌وری فیزیکی آن‌ها می‌تواند ناشی از ارزش (قیمت) بالای این محصولات باشد. همچنین در مورد محصول هندوانه، باتوجه به بالا بودن بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آن می‌توان گفت مناسب کشت در منطقه دهلران می‌باشد. به عبارتی در محصولات کنجد و هندوانه به ازای هر واحد آب مصرفی محصولی با ارزش بیشتر تولید می‌شود. در این راستا سیدان و متقی (۱۳۹۸) با استفاده از یک نمونه ۱۸۲ نفری از کشاورزان، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو سامانه سنتی و مدرن برای ذرت دانه ای و علوفه ای در استان همدان را محاسبه و مقایسه نمودند. در ذرت دانه ای، میانگین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در سامانه سنتی به ترتیب معادل ۰/۸۲ کیلوگرم و ۲۸۴۹ ریال بر متر مکعب به دست آمد. این مقادیر برای ذرت علوفه ای به ترتیب ۱۱/۵ کیلوگرم، ۷۶۷۸ ریال و ۶۷/۶ کیلوگرم و ۱۰۰۶۸ ریال بر مترمکعب محاسبه شد. همچنین طبق مطالعه Buttinelli و همکاران (۲۰۲۴) بهره‌وری اقتصادی آب برای ذرت دانه ای در کشور ایتالیا ۰/۲۰ یورو بر مترمکعب بود. کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب نیز مربوط به ماش است (۳۳۰۰۰ ریال در مترمکعب) که نشان می‌دهد در این محصول به ازای هر واحد آب مصرفی، محصول با ارزش (قیمت) پایین‌تری تولید می‌شود.

همچنین بر مبنای نتایج، بهره‌وری اقتصادی انرژی در کشت کنجد با رقم ۱۷۰۵۰ ریال در مگاژول است که بالاترین میزان را دارد. در مرتبه بعدی هندوانه رقم ۱۰۸۰۶ ریال بر مگاژول قرار دارد. این نتیجه نشان می‌دهد در کنجد و هندوانه به ازای هر واحد انرژی مصرف شده محصولی با ارزش (قیمت) بالاتر تولید می‌شود. به عبارت دیگر عملکرد محصول و درآمد ناشی از آن نسبت به انرژی‌های ورودی که در کشت یک هکتار کنجد و هندوانه مصرف می‌شود، بیشتر است، در نتیجه از لحاظ بهره‌وری اقتصادی انرژی کشت این دو محصول مقرون به صرفه می‌باشد. کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی انرژی نیز مربوط به ماش با رقم ۱۸۱۵ ریال در مگاژول است. این نتیجه نشان می‌دهد در محصول ماش به ازای هر واحد انرژی مصرف شده، محصولی با ارزش (قیمت) پایین‌تر تولید می‌شود. به عبارتی نسبت به انرژی‌های مصرفی ورودی که در کشت ماش مورد استفاده قرار می‌گیرد، عملکرد محصول و ارزش اقتصادی آن کمتر است، لذا از لحاظ بهره‌وری اقتصادی انرژی کشت آن مقرون به صرفه نمی‌باشد.

پس از محاسبه سنجه‌های همبست آب-انرژی و غذا، WEFNI برای محصولات تابستانه شهرستان دهلران یعنی ذرت دانه ای، کنجد، ماش و هندوانه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ محاسبه شد. نتایج نشان داد که WEFNI برای محصولات محاسبه شده از ۰/۳۵ تا ۰/۷۱ متغیر است. مقایسه WEFNI محصولات نشان می‌دهد که محصول هندوانه با دارا بودن بالاترین میزان شاخص همبست

($WEFNI=0.71$) پایدارترین محصول برای کشت در شهرستان دهلران می‌باشد. بعد از هندوانه، در ذرت دانه ای ($WEFNI=0.37$) در رتبه دوم از نظر پایداری قرار می‌گیرد. همچنین، محصول ماش با کمترین میزان WEFNI ($WEFNI=0.35$) ناپایدارترین محصول برای کشت در شهرستان دهلران می‌باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده میزان مصرف آب در هندوانه بالا است، اما قرار گرفتن آن به عنوان اولین محصول پایدار منطقه به علت بالا بودن بهره‌وری اقتصادی انرژی و بهره‌وری فیزیکی آب و انرژی این محصول می‌باشد. همین امر باعث شده که هندوانه دارای بالاترین میزان WEFNI باشد. این نتیجه بر اهمیت محاسبه شاخص چند بعدی همبست تأکید می‌کند. همچنین می‌توان گفت که از نظر پایداری بر اساس WEFNI، مزیت نسبی تولید محصولات در منطقه مورد مطالعه تغییر می‌کند. در این راستا نتایج مطالعه Pekarou Pemi و همکاران (۲۰۲۳) و کرمان (۱۴۰۰) همراستا با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد؛ چراکه این پژوهشگران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که استفاده از WEFNI باعث تغییر در جایگاه محصولات و مزیت نسبی آن خواهد شد.

بر اساس نتایج پژوهش، پیشنهادهای زیر در راستای بهبود الگوی کشت و توسعه پایدار کشاورزی در شهرستان دهلران ارائه می‌شود: - باتوجه به اینکه نتایج WEFNI باعث تغییر جایگاه محصولات از لحاظ پایداری می‌شود لذا پیشنهاد می‌شود شاخص‌های مزیت نسبی تولید از شاخص‌های تک بعدی به شاخص‌های چند بعدی همچون WEFNI تغییر یابد.

- نتایج نشان داد هندوانه از لحاظ پایداری کشت و بر اساس WEFNI در جایگاه نخست قرار دارد، باتوجه به میزان مصرف بالای آب توسط این محصول و نگرانی‌ها از توسعه کشت آن توسط کشاورزان و سیاست‌های دولت در زمینه منع کشت این محصول، بهتر است برنامه‌های تشویقی در راستای تغییر روش آبیاری در این محصول به صورت روش آبیاری نواری با ارائه رایگان تجهیزات آبیاری و یا تسهیلات خرید تجهیزات از سوی دولت صورت پذیرد.

- باتوجه به سودآوری و پایداری کشت هندوانه در شهرستان دهلران، پیشنهاد دیگر این است که برنامه‌ریزی در راستای کشت آن در مناطقی صورت گیرد که مشکل دسترسی به آب و محدودیت منابع آبی حداقل باشد.

- بر اساس نتایج پژوهش بیشترین میزان نهاده مصرفی در کشت محصولات تابستانه مربوط به الکتریسیته می‌باشد که در این راستا می‌توان پیشنهاد کرد کشاورزان پمپ‌ها و موتورهای با راندمان بالا را استفاده نمایند و همچنین به منظور افزایش راندمان به طور مرتب تجهیزات مربوطه را سرویس و تعمیر نمایند. همچنین انتخاب مناسب الکترپمپ‌های کشاورزی باتوجه به دبی استحصال، عمق چاه و ... به منظور استفاده از الکترپمپ‌ها و پمپ در بهترین نقطه راندمان مورد توجه قرار گیرد.

احتشامی، مجید، قدیمی، حامد، و قدیمی، آرش. (۱۳۹۴). راهبرد مدیریت یکپارچه آب و انرژی در تأمین امنیت آبی در شرایط خشکسالی. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۴(۱۵)، ۳۹-۶۴.

dor: [20.1001.1.22517081.1394.4.2.2.2](https://doi.org/10.1001.1.22517081.1394.4.2.2.2)

اروندی، سمانه، زارع، عباس، و افشار اصل، محمد. (۱۴۰۰). همبست آب، غذا و انرژی در سامانه‌های نوین آبیاری. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۹(۴)، ۵۵-۶۶. https://journals.iaui.ir/article_687578.html. اسلامی، زینب، جنت رستمی، سمیه، اشرف زاده، افشین و پورمحمد، یاور. (۱۳۹۹). تأثیر رویکرد همبستگی آب، انرژی و غذا در مدیریت یکپارچه منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۴(۱)، ۱۱-۲۵.

<https://doi.org/10.22067/jsw.v34i1.81897>

امیرزاده مرادآبادی، سمیرا، ضیایی، سامان، مهرابی بشرآبادی، حسین، و کیخا، احمد علی. (۱۳۹۹). تأثیر پایداری کشاورزی بر امنیت غذایی خانوارهای شهری ایران: تحلیل فضایی در سطح استانی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۸(۲)، ۲۵-۴۸. doi: [10.30490/AEAD.2020.262222.1005](https://doi.org/10.30490/AEAD.2020.262222.1005)

امینی، شروین، و رونده، هادی. (۱۳۹۴). بررسی و تعیین شاخص‌های انرژی برای تولید هندوانه و ارائه مناسب‌ترین مزرعه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: شهرستان کنارک. اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی. موسسه عالی علم و صنعت حکیم عرفی، شیراز، ایران.

امینی، عباس، نوری، سیدهدایت‌الله، و اصلانی سنگده، بیتا. (۱۳۹۴). ارزیابی و سنجش پایداری زراعت برنج با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مورد مطالعه: شهرستان رضوانشهر). مجله علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۱(۱)، ۱۰۱-۱۲۶.

dor: [20.1001.1.20081758.1394.11.1.8.2](https://doi.org/10.1001.1.20081758.1394.11.1.8.2)

آزادی، یونس، و بیک محمدی، حسن. (۱۳۹۰). تحلیلی بر شاخص‌های توسعه کشاورزی در شهرستان‌های استان ایلام. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱(۱)، ۴۳-۵۹. https://journals.iaui.ir/article_550436.html

بوگری، عیسی، آسودار، محمدامین، مرزبان، افشین، و کاظمی، نواب. (۱۳۹۹). بررسی کارایی مصرف آب، بهره‌وری انرژی، اقتصادی و عملکرد سیستم‌های مختلف کشت گندم-ذرت در شمال خوزستان. نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰(۴)، ۲۹۵-۳۱۰. <https://civilica.com/doc/1592507>

بیات، ناصر، رستگار، ابراهیم، و عزیزی، فاطمه. (۱۳۹۰). حفاظت محیط‌زیست و مدیریت منابع خاکی روستایی در ایران. فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۲(۲)، ۶۳-۷۸. https://jzpm.marvdasht.iaui.ir/article_962.html

جلینی، محمد، کریمی، محمد، ذوالفقاران، اردلان، و فاضلی کاخکی، سیدفاضل. (۱۴۰۰). بررسی آلودگی خاک به نیترات و تجمع نیترات در محصول سیب‌زمینی و گوجه فرنگی در مزارع

- آموزش کشاورزان به منظور استفاده از سیستم‌های پمپاژ در ساعت‌های غیر پیک مصرف برق، نگهداری و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های پمپاژ و... نیز راهکار دیگری است که می‌تواند منجر به کاهش مصرف الکتریسیته در بخش کشاورزی شود.

- همچنین باتوجه به سهم بالای انرژی‌های ورودی به خصوص سوخت دیزل، الکتریسیته و کودهای شیمیایی، پیشنهاد می‌شود با نوسازی تجهیزات و ماشین‌آلات بخش کشاورزی و اعطای تسهیلات و اعتبارات به کشاورزانی که دارای ماشین‌آلات فرسوده هستند، ضمن کمک به حفظ محیط‌زیست به کاهش هدررفت سوخت و صرفه‌جویی در انرژی‌های ورودی کمک نمود، چرا که به‌عنوان مثال نتیجه مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از تراکتور مناسب می‌تواند تا ۳۰ درصد باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت شود (Alluvione و همکاران، ۲۰۱۱). - باتوجه به بالا بودن انرژی مصرفی سوخت دیزل در کشت ذرت می‌توان با به‌کارگیری سیستم‌های کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش مصرف سوخت در کشت این محصول شد، چرا که بر مبنای نتایج مطالعات به‌کارگیری سیستم‌های کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب تا ۴۳ و ۶۱ لیتر در هکتار باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت می‌شود (بوگری و همکاران، ۱۳۹۹).

- از راهکارهای دیگر که در زمینه افزایش تولید، کاهش هزینه‌ها و بالا بردن کارایی نهاده‌ها مؤثر است، تشویق به افزایش سطح زیر کشت محصولات و به عبارتی کشت در مقیاس بالا است. چرا که آمارها از سطح زیر کشت محصولات تابستانه در شهرستان دهلران نشان می‌دهد کشت اکثر محصولات در مقیاس‌های کوچک صورت می‌پذیرد که این مسئله می‌تواند در افزایش هزینه‌ها و کاهش نسبت سود به هزینه تأثیر داشته باشد.

- تشویق کشاورزان به یکپارچه نمودن اراضی زراعی باتوجه به اینکه اکثر آنها در قطعات کوچک به فعالیت مشغول هستند، می‌تواند راهکار دیگری در کاهش هزینه و انرژی ورودی محصولات و پایداری کشت آن‌ها مؤثر باشد.

- ارائه تسهیلات و اعتبارات به کشاورزان در راستای استفاده از کنتورهای هوشمند آب و برق می‌تواند با صرفه‌جویی و کاهش منابع آب و الکتریسیته منجر به کاهش انرژی نهاده‌های ورودی برای محصولات مختلف از جمله هندوانه و ذرت شود و از این طریق به توسعه پایداری کشت این محصولات در شهرستان دهلران منجر شود.

- همچنین پیشنهاد می‌شود محدوده مجاز و استاندارد از WEFNI برای محصولات کشاورزی مختلف و در سطح محلی، منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی تدوین شود؛ چراکه تاکنون مقدار استاندارد از این شاخص برای محصولات کشاورزی در دسترس نمی‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1-Water-Energy-Food Nexus Index

کشاورزان دشت مشهد. نشریه علمی پژوهش‌های خاک، ۳۵(۲)، ۱۷۲-۱۵۵. doi: 10.22092/ijssr.2021.351417.543

خیرالهی، محبوبه. (۱۳۹۹). تبیین سازوکارهای توسعه کشاورزی چندکارکردی در شهرستان دهلران. رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

رحیمی‌کیا، مرتضی، و عمادی، باقر. (۱۳۸۹). بررسی و تعیین شاخص‌های کارایی انرژی برای تولید کنجد در منطقه جنوب استان فارس (مطالعه موردی: شهرستان لامرد). ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. <https://civilica.com/doc/156053>

روحانی، حسین، قربانی، محمد، و کهنسال، محمدرضا. (۱۴۰۰). تحلیل عوامل مؤثر بر توسعه پایدار کشاورزی در استان خراسان رضوی: کاربرد معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتب. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۱(۵۲)، ۳۳-۵۲. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.308780.668977>

زکی، یاشار، و شیرواند، صادم. (۱۴۰۰). تبیین رویکرد همبست در مناسبات هیدروپلیتیک منطقه آسیای مرکزی. فصلنامه مطالعات آسیای مرکزی و قفقاز، ۲۷(۱۱۴)، ۶۳-۳۴. http://ca.ipisjournals.ir/article_247322.html

سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام. (۱۴۰۱). آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۱ استان ایلام. ایلام، ایران.

سیدان، سیدمحسن، و متقی، مهدی. (۱۳۹۸). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان. آب و توسعه پایدار، ۱(۱)، ۸-۱. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v6i1.69891>

صادقی، سیدحمیدرضا، شریفی مقدم، احسان، دلاور، مجید، و ضرغامی، مهدی. (۱۳۹۹). کاربرد همبست آب، غذا و انرژی در مدیریت منابع آب کشاورزی در حوزه آبخیز شازند. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری در ایران. دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. <https://civilica.com/doc/1011934>

عزیزپناه، امیر، فتحی، رستم، و یوسفی نژاد، شکوفه. (۱۳۹۹). ارزیابی شاخص‌های اقتصادی، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید هندوانه (مطالعه موردی: استان ایلام). نشریه تولید گیاهان زراعی، ۱۳(۲)، ۳۷-۵۰. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.17613.2297>

غلامحسینی، مجید، اسدی، هرمز، و داوودی، محمدحسین. (۱۴۰۱). تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و نیتروژن در تولید کنجد. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۴)، ۸۴۱-۸۵۱. <https://dorisc.ac/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.4.12.5>

کرمان، فرانک. (۱۴۰۰). توسعه مدل کشاورزی ایدار در دهستان میادربند با رویکرد همبست آب-انرژی-غذا. رساله دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

کرمان، فرانک، میرزاده، علی‌اصغر، و آذری، آرش. (۱۴۰۰). تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط‌زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه. نشریه بوم‌شناسی

کشاورزی، ۱۴(۴)، ۷۱۲-۶۹۳. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.67227.0>

کوچکی، علیرضا، نصیری محلاتی، مهدی، مرادی، روح‌الله، و منصوری، حامد. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در ایران و ارائه راهبردهای پایداری. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۳(۴)، ۱۷۹-۱۹۷. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_800.html

گودرزی، محمدرضا، پیریائی، رضا، و موسوی، میررحیم. (۱۳۹۹). درک پیوند آب-غذا-انرژی و مدیریت برای بهره‌وری از منابع آب موجود. نشریه آب و خاک، ۳۴(۲)، ۲۵۵-۲۶۸. <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i2.78589>

گورویی، آرام، آینه بند، امیر، و راهنما، افراسیاب. (۱۳۹۹). تأثیر نظام‌های کشاورزی رایج، پایدار و زیستی بر عملکرد دانه و کارایی استفاده از انرژی در گیاهان کنجد، ماش و ذرت. تولیدات گیاهی، ۴۷(۲)، ۱۷۹-۱۹۳. <https://doi.org/10.22055/ppd.2020.32356.1871>

محمدی، سلیم، و میسمی، محمدعلی. (۱۴۰۰). الگوی مصرف انرژی در تولید ذرت دانه‌ای در ایران. نشریه مکانیزاسیون کشاورزی، ۶(۱)، ۴۹-۵۵. <https://doi.org/10.22034/jam.2021.13121>

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج تفصیلی گزارش آب و هوای ایران. ایلام، ایران.

مریدالسادات، یگانه، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا، پورطاهری، مهدی، و شعبانعلی فمی، حسین. (۱۳۹۷). تحلیل پایداری سیاست‌های کلان و بخشی کشاورزی در برنامه‌های پنج ساله جمهوری اسلامی ایران. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۱(۴۹)، ۴۳-۵۸. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2018.66035>

مفاخری، صلاح، ویسی، هادی، خوشبخت، کورس، و نظری، محمدرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی پایداری پیوند سیستم‌های آب-انرژی-غذا در محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان دهگلان). فصلنامه علوم محیطی، ۱۹(۴)، ۲۸۷-۳۰۶. <https://doi.org/10.52547/envs.2021.222630.1078>

یوسفی، محمد، و مهدوی دامغانی، عبدالمجید. (۱۳۹۲). بررسی بهره‌وری مصرف آب و انرژی در بوم نظام‌های فاریاب استان کرمانشاه. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۲)، ۱۱۳-۱۲۱. <https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24462>

Ahmad, A., & Khan, S. (2009). On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. 18th World IMACS/ MODSIM Congress. Cairns, Australia.

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal of Food Agriculture and Environment, 7, 475-480. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.10.002>

Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., & Grignani, C. (2011). EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a

- the irrigation regime of watermelon at Koga and Rib irrigation schemes in Amhara Region, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1730108, 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1730108>
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32(1), 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007>
- Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R., & Nino, P. (2020). Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. *Environmental Science & Policy*, 104, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008>
- Fan, X., Zhang, W., Chen, W., & Chen, B. (2020). Land-water-energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. *Applied Energy*, 265, 114796, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114796>
- Fuentes, C., Enciso, J., Nelson, S.D., Anciso, J., Setamou, M., & Elsayed-Farag, S. (2018). Yield production and water use efficiency under furrow and drip irrigation systems for watermelon in South Texas. *Subtropical Agriculture and Environments*, 69, 1-7. doi: [10.13140/RG.2.2.19605.42720](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19605.42720)
- Hama-Aziz, Z.Q., Mustafa, R.A., & Neima, H.A. (2023). Water productivity of mulched and drip irrigated watermelon in Kurdistan Region of Iraq. *Research Square*, 4, 1-13. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2887425/v1>
- Jat, H.S., Jat, R.D., Nanwal, R.K., Lohan, S.K., Yadav, A.K., Poonia, T., Sharma, P.C., & Jat, M.L. (2020). Energy use efficiency of crop residue management for sustainable energy and agriculture conservation in NW India. *Renewable Energy*, 155, 1372-1382. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.046>
- Juwana, I., Muttill, N., & Perera, C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment—a review. *Science of The Total Environment*, 438, 357-371. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093>
- Karamian, F., Mirakzadeh, A.A., & Azari, A. (2021). The water-energy-food nexus in farming: Managerial insights for a more efficient consumption of agricultural inputs. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1357-1371. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.008>
- Karamian, F., Mirakzadeh, A.A., & Azari, A. (2023). Application of multi-objective genetic algorithm for optimal combination of resources to achieve sustainable agriculture. *Energy*, 36, 4468-4481. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075>
- Al-Said, F.A., Ashfaq, M., Al-Barhi, M., Hanjra, M.A., & Khan, I. (2012). Water productivity of vegetables under modern irrigation methods in Oman. *Irrigation and Drainage*, 61(4), 477-489. <https://doi.org/10.1002/ird.1644>
- Buttinelli, R., Cortignani, R., & Caracciolo, F. (2024). Irrigation water economic value and productivity: An econometric estimation for maize grain production in Italy. *Agricultural Water Management*, 295, 108757. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108757>
- Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., & Ozmerzi, A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 46(4), 655-666. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008>
- Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J.M. (2021). Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125194>
- Chamas, Z., Abou Najm, M., Al-Hindi, M., Yassine, A., & Khattar, R. (2021). Sustainable resource optimization under water-energy-food-carbon nexus. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123894. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123894>
- Chiun, L.P., & Hwong, W. (2020). Evaluating the environmental impacts of the water-energy-food nexus with a life-cycle approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 157, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104789>
- Dupar, M., & Oates, N. (2012). Getting to grips with the water-energy-food 'nexus'. *Climate and Development Knowledge Network*. London, England.
- Elbehri, A., & Sadiddin, A. (2016). Climate change adaptation solutions for the green sectors of selected zones in the MENA region. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*, 4(3), 39-54. <http://thefutureof-foodjournal.com/index.php/FOF/article/view/79>
- El-Gafy, I. (2017). Water-food-energy nexus index: analysis of water-energy-food nexus of crop's production system applying the indicators approach. *Applied Water Science*, 7, 2857-2868. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0551-3>
- Enyew, A., Tewabe, D., & Tsige, A. (2020). Determining

- Schindler, J., Greaf, F., Konig, H.j., Mchau, D., Paul Saidia, D., & Sieber, S. (2016). Sustainability impact assessment to improve food security of small holders in tanzania. *Environ. Environmental Impact Assessment Review*, 60, 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.04.006>
- Smith, C., Petty, B., & Hill, P. (2009). Work Ethic Characteristics: Perceived work ethics of supervisors and workers, *Journal of STEM Teacher Education*, 42(2), 1210-1228. <https://ir.library.illinoisstate.edu/jste/vol42/iss2/2>
- Tarkalson, D.D., King, B.A., & Bjorneberg, D.L. (2022). Maize grain yield and crop water productivity functions in the arid Northwest U.S. *Agricultural Water Management*, 264, 107513. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107513>
- Umar, H.S., & Ibrahim, H.Y. (2012). Energy use and gross margin analysis for sesame production in organic and inorganic fertilizer user farms in Nigeria. *African Crop Science Journal*, 20(1), 39-45. <https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/78606>
- Van Halsema, G.E., & Vincent, L. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*, 108, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.016>
- Vazifedoust, M., Van Dam, J.C., Feddes, R.A., & Feizi, M. (2008). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95, 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.007>
- Vito, R., Portoghesi, I., Pagano, A., Fratino, U., & Vurro, M. (2017). An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the Water-Energy-Food Nexus framework. *Advances in Water Resources*, 110, 423-436. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.027>
- Yousefi, M., Damghani, A., & Khoramivafa, M. (2016). Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(8), 7390-7397. doi: [10.1007/s11356-015-5964-7](https://doi.org/10.1007/s11356-015-5964-7)
- Yu, L., Xiao, Y., Zeng, X.T., Li, Y.P., & Fan, Y.R. (2020). Planning water-energy-food nexus system management under multi-level and uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119658. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119658>
- agriculture based on the water-energy-food nexus framework. *Science of The Total Environment*, 860, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160419>
- Khalifa, R.M. (2020). Effect of different irrigation water levels and bio-minerals fertilization on fruit yield, quality and water productivity of watermelon grown on sandy soil, Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 60(3), 231-246. <https://doi.org/10.21608/ejss.2020.29343.1355>
- Krejci, R., & Morgan, D. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610. <https://doi.org/10.1177/001316447003000308>
- Lee, S.H., Choi, J.Y., Hur, S.O., Taniguchi, M., Masuhara, N., Kim, K.S., Hyun, S., Choi, E., Sung, J.h., & Yoo, S.H. (2020). Food-centric interlinkages in agricultural food-energy-water nexus under climate change and irrigation management. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105099. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105099>
- Li, Y., Liu, C., Zhang, L., & Luo, S. (2016). How smallholder farmers adapt to agricultural drought in a changing climate: A case study in southern China. *Land Use Policy*, 55, 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.012>
- Liu, J., Zehnder, A.J.B., & Yang, H. (2008). Drops for crops: Modelling crop water productivity on a global scale. *Global Nest Journal*, 10(3), 295-300. <https://doi.org/10.30955/gnj.000486>
- M.El-Marsafawy, S., Swelam, A., & Ghanem, A. (2018). Evolution of crop water productivity in the Nile Delta over three decades (1985-2015). *Water*, 10, 1168. <https://doi.org/10.3390/w10091168>
- Mohamoud, M.A., Abdalla, A.S., Elhag, M.M., & You-sif, L.A. (2019). Estimation of Water Requirement and Water Productivity of Sesame Crop (*Sesamum indicum* L.) in Dryland Areas of Sennar State, Sudan. *Sudan Journal Des. Reserch*, 11(1), 1-16.
- Pekarou Pemi, B.A., Njomo, D., Tchinda, R., Calvin Seutche, J., Zambou Kenfack, A., Babikir, M.H., & Chara-Dackou, V.S. (2023). Sectoral Assessment of Energy, Water, Waste and Land Nexus in the Sustainability of Agricultural Products in Cameroon. *Sustainability*, 16(2), 565, 1-31. <https://doi.org/10.3390/su16020565>
- Sánchez, J.A., Reca, J., & Martínez, J. (2015). Water productivity in a Mediterranean semi-arid greenhouse district. *Water Resources Management*, 29, 5395-5411. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1125-5>

Identifying the Factors Affecting Flood Management in Agricultural Lands of Ilam County

F. Ghasemzadeh^{1*}, R. Movahedi^{2*}, M. Tavakoli^{3*}

1, 2- M.Sc. and Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. 3- Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

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

Received: 05-08-2024

Revised: 09-12-2024

Accepted: 10-12-2024

Available Online: 17-02-2025

شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام

فاطمه قاسم‌زاده^۱، رضا موحدی^۲، محسن توکلی^۳

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران. ۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: r.movahedi@basu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

Abstract

In recent years, our country has witnessed the occurrence of natural disasters, including floods, earthquakes, and severe droughts in most parts. Ilam county has witnessed floods almost every year in the past, so in some years, severe floods have destroyed agricultural lands washed away fertile soils and caused irreparable damage to the agricultural lands of this county. This study was conducted to identify the factors affecting flood management in agricultural lands of Ilam county. In this research, a researcher-made questionnaire was used. The statistical population of this study includes experts from Ilam province and county (152 people) and farmers of Ilam county (140 people) who were in the process and were exposed to flood damage. The statistical sample included 103 farmers and 108 experts through Cochran's formula. The collected data were analyzed using two software SPSS, and PLS software. According to the results obtained from gabion construction, dam construction for flood control, improvement of the capacities of existing structures (dams, embankments, etc.), information dissemination about flood management, preparation and formulation of flood management programs by officials, training farmers on necessary actions after a flood, determining the land areas required for implementing flood control projects, and examining the vulnerability of agricultural lands due to floods are among the priorities for flood management among farmers. There is a significant relationship between technical-structural, educational- extension, and economic-social factors and flood management; therefore, flood management depends on technical-structural, socio-economic, and educational-extension factors, and necessary actions must be taken in all three areas to control floods. Of course, according to beta coefficients, the share of technical-structural factors is greater than that of other factors..

Keywords: Flood, Flood Management, Agricultural Lands, Ilam County.

چکیده

در چند سال اخیر به‌تنایب مخاطرات طبیعی از جمله سیلاب، زلزله و خشکسالی‌های شدید در اکثر نقاط کشور وقوع یافته است. در شهرستان ایلام در بعضی از سال‌ها بروز سیلاب‌های شدید باعث از بین رفتن اراضی کشاورزی و شسته شدن خاک‌های حاصلخیز شده است. این پژوهش با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام و با استفاده از ابزار پرسش‌نامه تهیه شده توسط پژوهشگر انجام گرفته است. جامعه آماری این پژوهش شامل کارشناسان استان و شهرستان ایلام (۱۵۲ نفر) و کشاورزان شهرستان ایلام (۱۴۰ نفر) که در جریان و در معرض خسارت سیل بوده‌اند می‌باشد. نمونه آماری از طریق فرمول کوکران شامل ۱۰۳ کشاورز و ۱۰۸ کارشناس شد. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از دو نرم‌افزار SPSS و PLS تجزیه و تحلیل شد. طبق نتایج به‌دست آمده گابیون‌بندی، احداث سد جهت کنترل سیل، اصلاح ظرفیت‌های بناهای ساخته شده (سدها، بندها و غیره)، اطلاع‌رسانی درباره مدیریت سیل، تهیه و تدوین برنامه‌های مدیریت سیل توسط مسئولین، آموزش کشاورزان درباره اقدامات لازم پس از وقوع سیل، تعیین محدوده اراضی مورد نیاز اجرای طرح‌های مهار سیل و بررسی آسیب‌پذیری اراضی کشاورزی ناشی از سیل از اولویت‌های مدیریت سیل در بین کشاورزان می‌باشند. بین عوامل فنی-سازه‌ای، آموزشی- ترویجی، اقتصادی- اجتماعی با مدیریت سیل رابطه معناداری وجود دارد؛ بنابراین، مدیریت سیل بستگی به عوامل فنی-سازه‌ای، عوامل اجتماعی-اقتصادی، عوامل آموزشی-ترویجی دارد و برای کنترل سیل می‌بایست در هر سه زمینه اقدامات لازم صورت بگیرد که البته برحسب ضرایب بتا، سهم عوامل فنی-سازه‌ای بیشتر از سایر عوامل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سیل، مدیریت سیل، زمین‌های کشاورزی، شهرستان ایلام.

سیل یکی از وقایع طبیعی است که پیوسته مراکز جمعیتی و عرصه‌های فعالیت‌های انسانی را مورد تهدید قرار می‌دهد (Leimgruber, ۲۰۲۳؛ Nuraisyah و Haryono, ۲۰۲۳). سیل رویدادی ناگهانی است که منشأ آن بارندگی بیش‌ازحد، شکسته شدن دیواره سد، خرابی سیل برگردان یا جریان آب بیش‌ازحد طبیعی می‌باشد؛ چنین حالتی در صورتی که جان انسان‌ها و زندگی بشر را به خطر بیندازد بلا به شمار می‌رود (مردانی اصل و امیری، ۱۳۹۵). سیل بیشتر در زمین‌های بدون گیاه، یا جاهایی جاری می‌شود که گیاهان آن منطقه کم و یا نابود شده‌اند و باعث تخریب خاک نیز می‌شود که در نتیجه سالیانه میلیون‌ها تن خاک مرغوب و مناسب برای کشاورزی توسط سیلاب‌ها شسته و حمل می‌شود، از این رو نیز سیل خسارت‌های زیادی به بخش کشاورزی وارد می‌کند (محمدی لیری و پنجی، ۱۳۹۷). بدیهی است پدیده سیل باوجود همه پیچیدگی‌ها قابل بررسی و مطالعه بوده و می‌توان در جهت مهار و کاهش خسارات آن و حتی بهره‌برداری اقتصادی از سیل راه‌حل‌های مناسبی جستجو کرد (غلامی سفیدکوهی وبرزگر آخته خانه، ۱۳۹۳). بر اساس آمار ارائه شده توسط سازمان ملل متحد، در میان بلایای طبیعی، سیل و طوفان بیشترین تلفات و خسارات را به جوامع بشری وارد آورده است، به طوری که تنها در یک دهه میزان خسارات ناشی از سیل و طوفان بالغ بر ۲۱ میلیارد دلار در مقابل ۱۸ میلیارد دلار خسارات ناشی از زلزله بوده است (Hoeppe, ۲۰۱۶)؛ بنابراین می‌توان گفت در عمل سیلاب هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی، مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود (Diaconu و Grecu, ۲۰۲۳). سیل باتوجه به تغییر اقلیم جهانی که در حال وقوع است، همه ساله خسارت شدیدی را در نقاط مختلف کره زمین به خصوص در نواحی روستایی و کشاورزی کشورهای در حال توسعه بر جای می‌گذارد. در ایران خسارت‌های مالی و جانی سیلاب در طی دهه‌های گذشته افزایش یافته که قربانیان این مخاطره طبیعی عموماً روستاییان می‌باشند (غضنفرپور و همکاران، ۱۴۰۱). ایران یکی از کشورهایی است که در معرض مخاطرات طبیعی بسیاری قرار دارد که سیل یکی از جدی‌ترین آن‌ها است. چگونگی پایش و کنترل سوانح، ارزیابی خسارت و امداد رسانی یکی از مهمترین مشکلات دولت و کارشناسان مدیریت بحران است. در صورت داشتن نظارت مستمر قبل از وقوع، ارزیابی دقیق در حین و بعد از وقوع سانحه، می‌توان از دامنه خسارات و هدر رفتن منابع انسانی و مادی جلوگیری کند (عزیزی و مرتضوی، ۱۳۹۶). در استان ایلام بیش از ۳۴ هزار هکتار از اراضی کشاورزی این استان در اثر بارش‌های سیلابی هفته‌های ابتدایی سال ۹۸ دچار خسارت شده است که بررسی این میزان خسارت حائز اهمیت است. هدف

اصلی این مقاله به شناسایی عواملی که بیشترین تأثیر ممکن را در مدیریت سیل دارد، برمی‌گردد و اینکه جنبه‌های مختلفی از قبیل عوامل اقتصادی - اجتماعی، فنی - سازه‌ای، آموزشی - ترویجی چه تأثیری بر مدیریت سیل دارند؟

مدیریت سیل یک تکنیک و استراتژی برای کاهش خطر و خسارت ناشی از سیل می‌باشد و مستلزم ایجاد سیستمی هماهنگ و یکپارچه در مقابله با این رخداد طبیعی است (طاهری و مساعدی، ۱۴۰۲). مدیریت سیلاب، شامل فعالیت‌های مختلف برنامه‌ریزی و مدیریتی به منظور کاهش تأثیرات زیان‌بار سیلاب بر روی انسان‌ها، محیط و اقتصاد در یک منطقه می‌باشد (اورعی زارع و همکاران، ۱۳۹۲). مدیریت سیلاب به فرایندهای فراگیری در مهار سیل گفته می‌شود که گسترش سیلاب و خسارت ناشی از آن را تعدیل می‌کند. بررسی آمار نشان می‌دهد که روند افزایش تعداد وقوع سیل و خسارات جانی و مالی ناشی از آن در کشور وجود دارد که این موضوع زنگ خطری برای مسئولین مدیریت بحران کشور می‌باشد تا هرچه سریع‌تر با ایجاد استراتژی مدیریتی خاص بلای طبیعی را از مدیریت بحران به مدیریت ریسک تغییر داده و وضعیت را بهبود بخشند (زنگویی و همکاران، ۱۳۹۶). مدیریت سیل که به صورت یک علم در دو دهه اخیر مورد استقبال قرار گرفته است با استفاده از اطلاعات و آمار مربوط به ویژگی‌های فیزیوگرافی و شرایط اقلیمی به محاسبات دوره‌های برگشت سیلاب و میزان آن اقدام نموده و بر اساس آن روش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را پیشنهاد می‌نماید (اصغری مقدم، ۱۳۹۱). مدیریت سیل از اهمیت ویژه‌ای در پیش‌بینی انواع خسارت ناشی از سیل از جمله خسارت کشاورزی دارد (شکوهی و گنجی نوروزی، ۱۳۹۲). آسیب‌پذیری مردم در برابر بلایای طبیعی، افزون بر محیط کالبدی، به عوامل اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و محیط سیاسی نیز وابسته است. به عنوان مثال می‌توان از تأثیر عوامل اقتصادی در زندگی مردم فقیر نام برد که مجبور به سکونت در زمین‌های حاشیه‌ای، نظیر پهنه‌های سیل‌گیر، سکونتگاه‌های مکان‌گزینی شده در نقاط حادثه‌خیز ساحلی و تپه‌های شیب‌دار و ناپایدار هستند؛ بنابراین، آسیب‌پذیری جمعیت تنها ناشی از بلایای طبیعی نیست، بلکه به وسیله سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی نیز ساخته و گسترده می‌شود (قدیری و رکن الدین افتخاری، ۱۳۹۲). از جمله این عوامل آگاه‌سازی مردم از خطر، مشارکت در دوره‌های آموزشی و کارگاه‌های آموزشی، بیمه کردن، عضویت نهادهای محلی، مشارکت و همفکری با سایر افراد روستا، آگاهی از مسائل بهداشتی و امداد رسانی هستند (موحدی و همکاران، ۱۴۰۲). اهمیت و ضرورت انجام این مقاله از آن نظر است که می‌تواند با شناسایی عوامل مختلف مؤثر از جمله عوامل فنی - سازه‌ای، آموزشی - ترویجی، اجتماعی - اقتصادی در مدیریت سیل در مناطق کشاورزی شهرستان ایلام کمک نموده و از خسارات و زیان‌های احتمالی آینده جلوگیری نماید.

به‌طورکلی در زمینه سیل و روش‌های مدیریتی سیل مطالعات فراوانی در سطوح جهانی و کشور انجام شده که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. نتایج پژوهش عابدی و سروستانی (۱۴۰۱) در زمینه جنبه‌های حقوقی مدیریت سیل نشان داد رعایت نکردن قوانین و مقررات منابع طبیعی در بروز سیلاب نقش زیادی داشته است و میزان همپوشانی و تداخل وظایف بین متولیان حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها و همچنین تفاوت دیدگاه و نظر در بین متولیان نسبت به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها در حد زیاد است. مهمترین راهکارهای بیان شده برای اصلاح نظام حقوقی و بهبود مدیریت سیل شامل اعمال مجازات سنگین برای تعرض به حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها و اولویت دادن به رسیدگی به پرونده‌های قضایی مربوط به منابع طبیعی می‌باشد. یافته‌های پژوهش طولابی نژاد و همکاران (۱۴۰۱) در زمینه عوامل موثر بر آمادگی فردی در برابر وقوع سیل نشان داد به ترتیب عوامل جامعه شناختی فردی، وضعیت اقتصادی- اجتماعی خانواده، تاثیر جامعه و سازگاری با خطر بیشترین نقش را در آمادگی فردی برابر سیل داشته‌اند. همچنین طبق نتایج آنها به ترتیب: توسعه اقتصاد محلی، توسعه زیرساخت‌های محلی، اعطای اعتبارخرد برای افزایش آمادگی، کمک‌های دولتی و افزایش استراتژی‌های تنوع معیشت خانوارها برجسته ترین الزامات و اقدامات مهم برای افزایش آمادگی در مواجهه با رخداد سیل می‌باشند.

نتایج به‌دست آمده از پژوهش شاکری رستمی و همکاران (۱۴۰۰) نشان دهنده این است که حکمرانی ریسک سیل ایران دارای چالش‌های فراوانی از جمله عدم توجه و اهمیت به رودخانه در شهرسازی و طراحی زیرساخت‌ها، عدم انجام صحیح و به موقع مسئولیت‌های نهادی، تداخل ساختارهای مدیریتی در شرایط بحران، عدم استفاده کارآمد از منابع موجود و تاکید بر مدیریت دولت محور سیل می‌باشد. نتایج پژوهش رضانی و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد عواملی مانند تجربه قبلی سیل، مهارت‌های کسب شده در تقابل با وقوع سیل و درآمد و زیرساخت‌ها، با میزان آمادگی روستاییان در برابر سیل همبستگی معناداری قوی‌تری دارد.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با هدف ارزیابی خسارات اقلیمی با تأکید بر سیل و راهکارهای مدیریت بحران در شهر نکا انجام داده است. نتایج نشان داد با افزایش میزان فضای سبز میزان خسارت کاهش می‌یابد و این راهکار مدیریتی سازمان‌های مربوط به آن برای خسارات ناشی از اقلیم به‌ویژه سیل مؤثر می‌باشد. همچنین می‌توان گفت با افزایش نظارت و حمایت در مقاوم‌سازی ساخت‌وسازها در شهر نکا میزان خسارات اقلیمی به‌ویژه سیل کاهش می‌یابد.

فرنام و همکاران (۱۳۹۸) به راهکارهای مدیریت سیلاب در مهار و کنترل سیل که گسترش سیلاب و خسارات ناشی از آن را تعدیل کند، پرداختند. نتایج آنها نشان داد مهمترین راهکارهای سازهای

مهار سیلاب عبارتند از: احداث سیل بند، احداث سدهای مخزنی، پاک‌سازی مسیر رودخانه‌ها (حذف پیچ و خم‌ها، پاک‌سازی مسیر رودخانه‌ها، تثبیت خاک بستر و کناره‌های رودخانه)، و انحراف سیلاب‌ها. همچنین مهمترین راهکارهای غیر سازهای عبارت بودند از: پیش‌بینی سیلاب، کنترل گسترش سیلاب، بیمه، مقاوم سازی در مقابل سیلاب، آموزش عمومی، مدیریت حوضه آبریز، تصمیم‌گیری، مدیریت سیلاب فصلی در مخازن.

نتایج پژوهش رجبی زاده و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد مهمترین اقدامات لازم برای پیشگیری، بهبود مدیریت و کنترل سیل عبارتند از: تشکیل یک سامانه جامع فراقوه‌ای نظام‌نامه مدیریت و کنترل سیل، توجه لازم به اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری، توجه به اصول مهندسی رودخانه زیستی، وضع قوانینی جدی برای رعایت حد و حریم بستر و در صورت لزوم، بازنگری در قانون مربوطه به منظور افزایش حدود، بازنگری و طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای هر چه بیشتر مسیل‌ها و تالاب‌های طبیعی و رفع تعدی و تجاوزها به آنها، کسب اطلاعات کافی و شناسایی جامع منطقه، افزایش ظرفیت ذخیره سدها و جلوگیری از کاهش ظرفیت ذخیره مخازن، مدیریت و کنترل دقیق‌تر حوضه‌های دارای تعدد سد، تعبیه سامانه‌های هشدار سیل در نواحی سیل‌خیز و انجام اقدامات سازهای اصولی. حیدری (۱۳۹۸)، در پژوهشی تحت عنوان "بازنگری در نظام مدیریت سیلاب شهری با رویکرد مشارکت چندجانبه و تاب‌آوری"، بیان کرد بازنگری در رویکرد سنتی مهندسی سیل، طراحی سیستم‌های زهکشی و سدها، انجام پژوهش‌ها و آزمایش‌ها برای بهبود مدیریت پایدار و انعطاف‌پذیر رواناب ناشی از رگبارها، استفاده بهینه از سرزمین، تامین نیازهای حمل‌ونقل و ارتباطات اجتماعی اقتصادی، و تأمین زیرساخت‌های حیاتی در نظام نوین مدیریت سیلاب ضروری هستند.

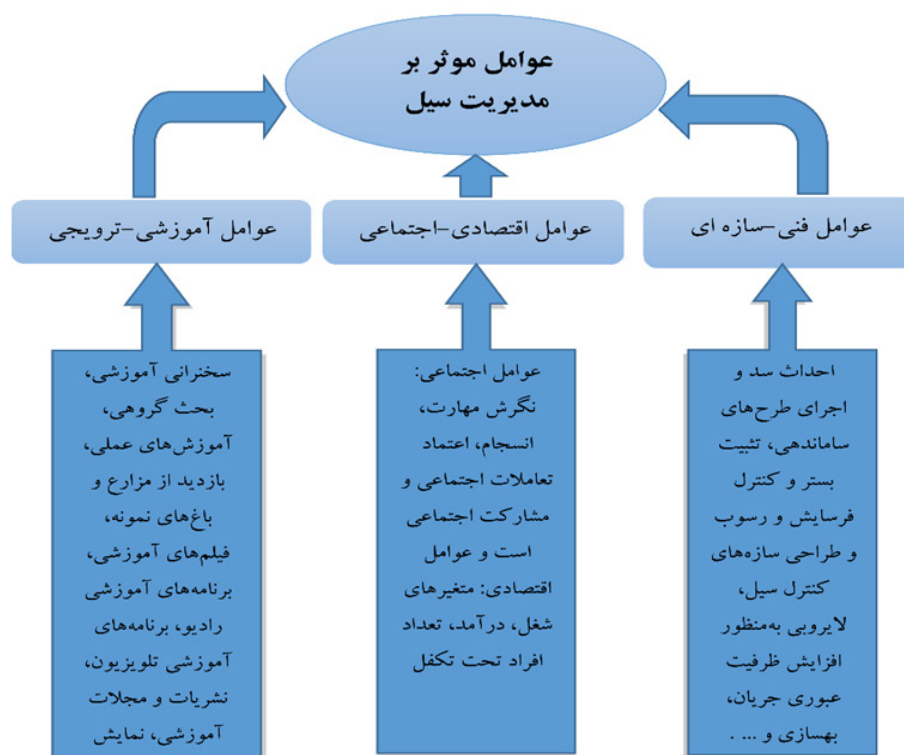
یافته‌های مطیعی لنگرودی و همکاران (۱۳۹۴) نشان می‌دهد از دیدگاه مسئولان به ترتیب زمینه‌های اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی در رتبه اول تا سوم عوامل موثر بر مدیریت سیل را تشکیل می‌دهند درحالی‌که از دیدگاه مردم روستایی، زمینه‌های اجتماعی، زیرساختی و اقتصادی رتبه اول تا سوم را به‌عنوان عوامل موثر بر مدیریت سیل تشکیل می‌دهند.

Bell-Gam (۲۰۲۳) نشان داد علل وقوع سیلاب شامل بارندگی‌های شدید و طولانی، جنگل زدایی، شیوه‌های نامناسب کشاورزی، ساخت و ساز بر روی راه‌های آبی و تخلیه بی رویه زباله‌ها در زهکش‌ها می‌باشد. اثرات سیل شامل تلفات جانی و مالی، وخامت وضعیت بهداشتی به دلیل بیماری‌های منتقل شده از آب می‌باشد. آنها نتیجه گرفتند برخی از برنامه‌های آموزش بزرگسالان می‌تواند در کاهش خطرات سیل موثر باشد.

نتایج پژوهش Hayran (۲۰۲۳) نشان داد هفت عامل شامل

جنسیت، سن، اندازه خانوار، فرزندان، اندازه مزرعه، قصد کشاورزان در بیمه کردن محصولات و تجربه سیل تأثیر قابل توجهی بر درک خطر سیل توسط کشاورزان دارند. Mohtar و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند ارزیابی ریسک سیلاب، شناسایی مناطق بحرانی مستعد، برنامه‌ریزی‌های انعطاف پذیر، نقشه‌های مستعد ایجاد سیل رنگ‌آمیزی شده، بهبود هماهنگی بین آژانس‌ها و نهادهای مربوط به آن در کاهش سیل، و هشدارهای اولیه نقش مهمی در کاهش خطرات سیل دارد. Stevenson و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند ارزیابی خطرات و هدایت تصمیمات در مورد اقدامات حفاظتی در جلوگیری از تلفات جانی در حوادث سیل و کاهش بار اقتصادی جوامع و مناطق پس از سیل، موثر است. Chen و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند برای کاهش خطر احتمالی و فراهم آوردن پشتیبانی از مدیریت سیل، پیشگیری و کاهش سیل زراعی، لازم است رابطه بین خصوصیات سیل و تلفات محصول درک شود. برای اینکار، تصاویر

سنجش از راه دور یکپارچه و روش مدل‌سازی هیدرولیکی دو بعدی برای ارزیابی تأثیر رویداد سیل بر تولید محصول مفید است. Quan (۲۰۱۴) در پژوهشی ویژگی‌های فضایی - زمانی فاجعه سیل و خطرات سیلاب در شانگهای را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان داد اثرات متقابل شهرنشینی، افزایش سطح آب و فرونشست زمین از جمله عوامل افزایش سیل‌خیزی در این مناطق بوده است. Mohamed Sellu (۲۰۱۳) در شهر پکان کشور مالزی تحقیقی در زمینه سیل انجام داده است. نتایج نشان داد سیل برای شهر پکان از طریق رویکرد غیر ساختاری و تأکید بر خط‌مشی‌های کاربری زمین و منطقه‌بندی قابل مدیریت است. وی پیشنهاد می‌کند که نباید باعث تبدیل زمین‌های مستعد سیل به کاربری‌های کشاورزی یا توسعه شهری شد. بر اساس مبانی نظری و پژوهشی بیان شده، مدل مفهومی پژوهش حاضر به صورت شکل (۱) می‌باشد.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان ایلام با مساحتی حدود ۱۹۰۸۶ کیلومترمربع در یک منطقه کوهستانی و مرتفع واقع شده است. این استان در غرب و جنوب غربی کشور در میان رشته‌کوه‌های کبیر کوه از سلسله جبال زاگرس قرار دارد و از شمال به کرمانشاه، از جنوب به خوزستان، از شرق به لرستان و از غرب به کشور عراق محدود شده است.

شهرستان ایلام یکی از شهرهای استان ایلام است که در شمال غربی استان قرار دارد و از بخش‌های مرکزی، سیوان، چوار تشکیل شده است. این شهرستان در شمال غربی استان با مساحت ۱۸۹۶ کیلومتر مربع (۱۰/۶۲ درصد مساحت استان) بین ۳۳ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴۸ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴۱ دقیقه و ۰۷ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی قرار گرفته و با شهرستان‌های ایوان،

شیروان و چرداول، دره شهر، مهران و کشور عراق همسایه است. شهر ایلام در حصار از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی استقرار یافته که دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی با میانگین بارش سالانه ۵۸۰/۸ میلیمتر و میانگین دمای سالانه آن از ۱۳/۶- تا ۴۲ درجه سانتیگراد در تغییر است وجود رشته‌کوه‌های دنباله‌دار کبیر کوه به ارتفاع ۲۷۱۰ متر، مانشت به ارتفاع ۲۶۲۹ متر و جنگلی بودن منطقه و ارتفاع ۱۳۸۰ متری فرودگاه از سطح دریا موجب جذب بهتر ابرهای بارش را در منطقه می‌شود.



شکل ۲- توپوگرافی شهر ایلام

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر هدف اصلی "شناسایی عوامل مؤثر بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام" بود. جامعه آماری این پژوهش شامل کارشناسان در جریان و مطلع از سیل و کشاورزان شهرستان ایلام که در معرض خسارت و آسیب از سیل بوده‌اند می‌باشد. جامعه آماری کشاورزان بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام (۱۳۹۸) به تعداد ۱۴۰ نفر کشاورز خسارت دیده از سیل و جامعه آماری کارشناسان ایلام ۱۵۲ نفر بوده است. جهت برآورد نمونه‌های آماری از فرمول کوکران استفاده شد که در این پژوهش تعداد نمونه‌ها، ۱۰۳ کشاورز و ۱۰۸ کارشناس محاسبه شد. در جدول (۱) جامعه آماری و نمونه‌های پژوهش بیان شده است.

جدول ۱- جامعه آماری و نمونه پژوهش

بخش	جامعه آماری کشاورز خسارت دیده از سیل	جمعیت نمونه کشاورزان	جامعه کارشناسان در جریان خسارت سیل	جمعیت نمونه کارشناسان
مرکزی	۳۶	۲۶	۱۲۶	۸۵
چوار	۱۰۴	۷۷	۲۶	۲۳
مجموع	۱۴۰	۱۰۳	۱۵۲	۱۰۸

باتوجه به حجم جامعه آماری بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام (۱۳۹۸) تعداد ۱۴۰ نفر کشاورز خسارت دیده از سیل و در مجموع تعداد کارشناسان ایلام ۲۲۱ نفر بوده است. نمونه‌ای برابر با ۲۱۱ (کارشناس ۱۰۸، کشاورز ۱۰۳). به‌صورت زیر به دست آمد که باتوجه به پیش‌بینی‌های صورت گرفته در زمینه پرسش‌نامه‌های غیرقابل قبول، در مجموع ۲۵۰ پرسش‌نامه توزیع شده از این تعداد ۲۱۱ پرسش‌نامه به‌صورت قابل قبول برگشت داده شد.

در این پژوهش، به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها، یک پرسش‌نامه ساختارمند متشکل از دو بخش اصلی طراحی شد. بخش اول ویژگی‌های جمعیت شناختی پاسخگویان را از لحاظ پارامترهایی همچون جنسیت، سن و میزان تحصیلات، رشته تحصیلی و سابقه فعالیت تحت عنوان کشاورز و کارشناس بررسی نمود، بخش دوم نیز شامل سؤالاتی بود که وضعیت مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام، تأثیر عوامل فنی-سازه‌ای بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام، تأثیر عوامل آموزشی - ترویجی بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام و تأثیر عوامل اجتماعی - اقتصادی بر مدیریت سیل زمین‌های کشاورزی شهرستان ایلام را سنجش و ارزیابی کرد. پرسش‌نامه مورد استفاده در این پژوهش یک پرسش‌نامه محقق ساخته می‌باشد که گویه‌های آن با بررسی ادبیات موجود در این زمینه تنظیم شده است.

در این پژوهش با بررسی ۲۵ پرسش‌نامه در بین کشاورزان، جهت تعیین میزان پایایی آن با استفاده از آلفای کرونباخ، میزان پایایی برای پرسش‌نامه مذکور در حد ۰/۹۲. ارزیابی شد.

جدول ۲- مقادیر ضریب پایایی متغیرهای پژوهش

متغیر	نوع متغیر	تعداد گویه‌های مربوط به هر متغیر	آلفای کرونباخ هر متغیر	منبع پرسش‌نامه
مدیریت سیل	وابسته	۷	۰/۸۱۲	
فنی - سازه‌ای	مستقل	۲۳	۰/۹۰۹	ساخته
اجتماعی - اقتصادی	مستقل	۲۱	۰/۸۴۴	پژوهشگر
آموزشی - ترویجی	مستقل	۱۹	۰/۹۴۳	

در پژوهش حاضر داده‌های به‌دست آمده در دو بخش آمار توصیفی و آمار استنباطی تجزیه و تحلیل شدند. در سطح توصیفی از شاخص‌هایی همچون فراوانی، درصد فراوانی، میانگین و انحراف معیار جهت توصیف متغیرها استفاده شد و در بخش دوم (استنباطی) نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS Ver23 و نرم‌افزار PLS داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند.

• آمار توصیفی

نتایج نشان داد میانگین سنی کشاورزان مورد بررسی ۴۲/۲۶ و انحراف معیار ۱۰/۵۴ بوده است. میانگین سنی کارشناسان ۳۷/۰۳ و انحراف معیار ۱۰/۱۶ بود. از نظر جنسیت ۷۳ نفر از کشاورزان با ۷۰/۹ درصد فراوانی مرد و ۳۰ نفر با ۲۹/۱ درصد فراوانی زن بودند. از کارشناسان مورد مطالعه ۶۳ نفر با ۵۸/۳ درصد فراوانی مرد و ۴۵ نفر با ۴۱/۷ درصد فراوانی زن بودند. از نظر تحصیلات ۷۸ نفر از کشاورزان (۷۵/۵ درصد) دارای تحصیلات دیپلم یا زیر دیپلم بودند و ۲۵ نفر (۲۴/۵ درصد) دارای تحصیلات دانشگاهی بودند. وضعیت تحصیلات کارشناسان نشان داد ۱۴ نفر آنها (۱۳/۹ درصد)

فوق دیپلم، ۳۰ نفر (۲۸/۴ درصد) لیسانس ۶۳ نفر (۵۷/۷ درصد) فوق لیسانس و بالاتر بودند. توزیع فراوانی کشاورزان برحسب وضعیت تملک زمین نشان می‌دهد ۷۹ نفر با ۷۶/۲۷ درصدی دارای زمین شخصی، ۶ نفر با ۵/۸ درصد در زمین‌های اجاره‌ای و ۱۳ نفر با ۱۲/۶ درصد فراوانی در زمین‌های مشارکتی مشغول به کار بودند.

- مدیریت سیل

نتایج رتبه‌بندی نظرات پاسخگویان در خصوص مدیریت سیل در بین کشاورزان نشان داد مدیریت حوزه آب و آبخیز، وضعیت مدیریت سیل بعد از وقوع سیل در شهرستان ایلام، اجرای پروژه‌ها و عملیات مدیریت سیل طبق قوانین و مقررات مصوب در رتبه اول تا سوم اهمیت قرار داشتند. همچنین نتایج رتبه‌بندی نظرات کارشناسان همین موارد تکرار شدند (جدول ۳).

جدول ۳- رتبه بندی گویه‌های مدیریت سیل در بین کشاورزان (n=۱۰۳) و کارشناسان (n=۱۰۸)

میانگین		انحراف استاندارد		رتبه		مدیریت سیل
کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	
۳/۳۳	۳/۲۹	۰/۷۹۶	۰/۸۹۹	۱	۱	مدیریت حوزه آب و آبخیز
۲/۹۴	۳/۰۱	۰/۷۸۹	۰/۹۲۷	۲	۳	وضعیت مدیریت سیل بعد از وقوع سیل در شهرستان ایلام
۳/۱۵	۳/۲۵	۰/۹۲۶	۰/۹۰۸	۳	۲	اجرای پروژه‌ها و عملیات مدیریت سیل طبق قوانین و مقررات مصوب
۳/۰۳	۳/۰۱	۰/۸۹۵	۰/۹۷۶	۴	۴	وضعیت مدیریت سیل حین وقوع سیل در شهرستان ایلام
۲/۸۶	۲/۸۷	۰/۸۶۳	۱/۰۴	۵	۶	هماهنگی اقدامات دستگاه‌ها در مراحل مختلف مدیریت سیل
۲/۸۵	۲/۷۳	۰/۹۲۲	۱/۰۵	۶	۷	سازمان دهی هرچه بیشتر کشاورزان برای آمادگی و مقابله با سیل توسط دولت
۲/۷۵	۲/۹۰	۰/۹۹۴	۱/۰۲	۷	۵	نحوه مدیریت قبل از وقوع سیل در ایلام

- عوامل فنی - سازه‌ای

نتایج رتبه‌بندی نظرات کشاورزان در خصوص عوامل فنی-سازه‌ای نشان داد چیدن دیواره‌های سنگی و ثابت کردن آن با توری‌های فلزی در اطراف حریم رودخانه یا اراضی کشاورزی (گابیون‌بندی)، احداث سد جهت کنترل سیل، بهبود و اصلاح ظرفیت بناهای ساخته شده (سدها، بندها و غیره) در رتبه اول تا سوم اهمیت

قرار داشت. نتایج رتبه‌بندی نظرات کارشناسان در همین موارد نشان داد که مطالعه و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب، چیدن دیواره‌های سنگی و ثابت کردن آن با توری‌های فلزی در اطراف حریم رودخانه یا اراضی کشاورزی (گابیون‌بندی)، احداث بندهای توری سنگی برای رسوب‌گذاری در مسیر سیلاب در رتبه اول تا سوم اهمیت قرار داشتند (جدول ۴).

جدول ۴- رتبه‌بندی گویه‌های عوامل فنی - سازه‌ای در بین کشاورزان (n=۱۰۳) و کارشناسان (n=۱۰۸)

میانگین		انحراف استاندارد		رتبه		عوامل فنی - سازه‌ای
کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	
۳/۷۶	۳/۶۸	۱/۱۳	۱/۰۹	۱	۲	چیدن دیواره‌های سنگی و ثابت کردن آن با توری‌های فلزی در اطراف حریم رودخانه یا اراضی کشاورزی (گابیون‌بندی)
۳/۴۷	۳/۴۶	۱/۰۶	۱/۱۱	۲	۹	احداث سد جهت کنترل سیل
۳/۴۷	۳/۴۸	۱/۰۸	۱/۰۷	۳	۴	بهبود و اصلاح ظرفیت بناهای ساخته شده (سدها، بندها و غیره)
۳/۲۳	۳/۴۴	۱/۰۱	۰/۹۹۹	۴	۱	مطالعه و اجرای برنامه‌های حفاظت خاک و آب
۳/۶۳	۳/۴۴	۱/۱۷	۱/۲۳	۵	۱۵	تقویت سیستم‌ها و اطلاعات هواشناسی (میزان بارندگی، شدت بارش‌ها)
۳/۳۶	۳/۳۳	۱/۰۹	۱/۱۲	۶	۱۸	پاک‌سازی سیل راه در مناطق بحرانی و خطرآفرین
۳/۳۴	۳/۴۸	۱/۱۰	۱/۰۶	۷	۳	احداث بندهای توری سنگی برای رسوب‌گذاری در مسیر سیلاب
۳/۴۵	۳/۴۵	۱/۱۴	۱/۰۹	۸	۵	ایجاد و حفاظت از دیواره‌های سیل‌گیر

عوامل فنی - سازه‌ای						میانگین		انحراف استاندارد		رتبه	
						کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس
مطالعه و اجرای طرح‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای						۳/۰۹	۳/۲۶	۱/۰۸	۱/۰۴	۹	۸
مقاوم‌سازی پل‌ها برای پیشگیری از خسارت ناشی از فشار آب						۳/۳۵	۳/۳۲	۱/۱۷	۱/۰۵	۱۰	۶
لای‌روبی و آزادسازی مسیرهای رودخانه						۳/۲۳	۳/۳۱	۱/۱۷	۱/۱۱	۱۱	۱۱
احداث کانال‌های جدید برای کم کردن پیچ و خم مسیر حرکت آب‌ها						۳/۱۴	۳/۲۱	۱/۱۸	۱/۰۹	۱۲	۱۳
احداث بندهای تنظیم‌کننده جریان به منظور آبیگری						۳/۰۶	۳/۱۴	۱/۱۷	۱/۰۷	۱۳	۱۴
ایجاد کانال‌های هدایت سیلاب						۳/۲۸	۳/۳۷	۱/۲۶	۱/۱۴	۱۴	۱۲
پلکانی کردن مسیل‌ها و رودخانه‌ها						۳/۱۸	۳/۲۲	۱/۲۳	۱/۰۳	۱۵	۷
طراحی سیستم‌های کارآمد جمع‌آوری آب‌های سطحی						۳/۱۹	۳/۲۹	۱/۲۴	۱/۲۰	۱۶	۱۶
استفاده از امکانات، روش‌ها و فناوری‌های نوین مدیریت سیل						۳/۳۸	۳/۲۴	۱/۳۳	۱/۳۱	۱۷	۲۲
ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل (اطلاع‌رسانی به موقع)						۳/۴۲	۳/۴۲	۱/۳۵	۱/۳۷	۱۸	۲۳
بذرکاری در مناطقی که دارای بارندگی کافی نیست						۲/۹۳	۳/۰۵	۱/۱۵	۱/۱۵	۱۹	۱۹
احداث بندهای چپری در مسیر آبراهه که از تیرهای چوبی و شاخ‌وبرگ درختان ساخته شده‌اند						۲/۸۵	۲/۹۴	۱/۱۳	۱/۱۶	۲۰	۲۱
درخت کاری در اراضی مربوط به حاشیه رودخانه‌ها						۲/۹۱	۳/۲۵	۱/۲۳	۱/۲۶	۲۱	۲۰
ساخت حوضچه‌های تأخیری جهت تعدیل و کاهش حجم سیلاب						۳/۰۹	۳/۲۱	۱/۳۴	۱/۱۹	۲۲	۱۷
احداث خاک ریزه‌ها در مسیر عبور سیل						۲/۹۹	۳/۳۱	۱/۳۰	۱/۱۰	۲۳	۱۰

پس از وقوع سیل در اولویت اول تا سوم اهمیت قرار داشت. نتایج رتبه‌بندی نظرات کارشناسان در این زمینه در مورد رتبه اول و دوم تکرار شد ولی در رتبه سوم، آموزش دهیاران و شوراهای توسط کارشناسان جهاد کشاورزی در زمینه مدیریت سیل قرار داشت (جدول ۵).

عوامل آموزشی - ترویجی

نتایج رتبه‌بندی نظرات کشاورزان در خصوص عوامل آموزشی-ترویجی نشان داد اطلاع‌رسانی به کشاورزان از طریق رسانه‌ها درباره مدیریت سیل، تهیه و تدوین برنامه‌های مدیریت سیل توسط جهاد کشاورزی، آموزش کشاورزان درباره اقدامات لازم

جدول ۵- رتبه بندی گویه‌های عوامل آموزشی ترویجی در بین کشاورزان (n=۱۰۳) و کارشناسان (n=۱۰۸)

عوامل آموزشی - ترویجی						میانگین		انحراف استاندارد		رتبه	
						کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس
اطلاع‌رسانی به کشاورزان از طریق رسانه‌ها درباره مدیریت سیل						۳/۴۶	۳/۲۸	۰/۹۵۸	۱/۰۵	۱	۱
تهیه و تدوین برنامه‌های مدیریت سیل توسط جهاد کشاورزی						۳/۳۳	۳/۳۲	۱/۰۷	۱/۰۸	۲	۲
آموزش کشاورزان درباره اقدامات لازم پس از وقوع سیل						۳/۲۲	۳/۱۸	۱/۰۶	۱/۱۳	۳	۷
آموزش کشاورزان به منظور ارتباط با گروه‌های کمک‌رسان						۳/۱۷	۳/۰۷	۱/۰۶	۱/۱۴	۴	۱۱
توسعه و تقویت برنامه‌های احیاء جنگل						۳/۲۷	۳/۴۹	۱/۱۶	۱/۲۵	۵	۸
ترویج شیوه‌های پشتیبانی از اجتماع‌های در معرض ریسک سیلاب						۳/۰۸	۳/۰۳	۱/۱۱	۱/۱۴	۶	۱۲
آموزش مقامات محلی درباره مدیریت سیل						۲/۹۹	۳/۰۷	۱/۰۸	۱/۲۱	۷	۱۶
تشویق کشاورزان برای شکل‌گیری طرح‌های آبخیزداری						۳/۲۱	۳/۴۱	۱/۱۶	۱/۲۱	۸	۶
به‌کارگیری تجربیات گذشتگان در زمینه مدیریت سیل						۳/۳۵	۳/۳۷	۱/۲۱	۱/۱۸	۹	۵
آموزش کشاورزان برای پایش و مراقبت از سازه‌های مهار سیل						۳/۲۱	۳/۱۸	۱/۲۰	۱/۲۰	۱۰	۱۳
تهیه فیلم، چاپ و انتشار پوستر و برگزاری کارگاه‌های آموزشی مدیریت سیل						۳/۱۳	۳/۱۳	۱/۱۷	۱/۲۰	۱۱	۱۵
آموزش کشاورزان برای کاشت نهال و درخت در حریم رودخانه جهت جلوگیری از فرسایش خاک						۳/۱۵	۳/۳۰	۱/۱۹	۱/۲۵	۱۲	۱۴

عوامل آموزشی - ترویجی					
میانگین		انحراف استاندارد		رتبه	
کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس
۳/۳۰	۳/۳۷	۱/۲۵	۱/۱۸	۱۳	۴
۳/۳۶	۳/۴۲	۱/۲۸	۱/۲۰	۱۴	۹
۳/۳۴	۳/۱۶	۱/۲۸	۱/۲۶	۱۵	۱۹
۳/۲۰	۳/۲۴	۱/۲۴	۱/۱۹	۱۶	۱۰
۳/۰۴	۳/۲۸	۱/۲۰	۱/۰۸	۱۷	۳
۳/۰۱	۲/۹۷	۱/۲۶	۱/۱۸	۱۸	۱۸
۲/۹۲	۳/۱۷	۱/۲۴	۱/۲۵	۱۹	۱۷
۲/۹۱	۳/۲۵	۱/۲۳	۱/۲۶	۲۱	۲۰
۳/۰۹	۳/۲۱	۱/۳۴	۱/۱۹	۲۲	۱۷
۲/۹۹	۳/۳۱	۱/۳۰	۱/۱۰	۲۳	۱۰

افزایش آگاهی کشاورزان از علل طبیعی وقوع سیل
استفاده از نیروهای متخصص در مدیریت سیل
آموزش کشاورزان برای شناخت مناطق سیلگیر کشاورزی
مستندسازی دقیق وقایع به منظور انتقال تجارب گذشته سیل
آموزش دهیاران و شوراهای توسط کارشناسان جهاد
کشاورزی در زمینه مدیریت سیل
استفاده از سازمانهای غیردولتی علاقه مند به
مدیریت سیل برای آموزش کشاورزان
آموزش کشاورزان و تشویق آنها برای کاشت درخت در مسیرهای سیلگیر
درختکاری در اراضی مربوط به حاشیه رودخانهها
ساخت حوضچههای تأخیری جهت تعدیل و کاهش حجم سیلاب
احداث خاک ریزهها در مسیر عبور سیل

تا سوم اهمیت قرار داشت. نتایج رتبه بندی نظرات کارشناسان در همین موارد نشان داد که تعیین محدوده اراضی مورد نیاز اجرای طرحهای مهار سیل مانند (مسیر سیلبندها، سازهها، محدوده آزادسازی بستر و حریم تعیین شده)، تهیه گزارشهای اقتصادی و اجتماعی منطقه مطالعات، اجرای برنامههای ظرفیت سازی در سطوح محلی و اجتماعات در رتبه اول تا سوم اهمیت قرار داشتند (جدول ۶).

- عوامل اجتماعی - اقتصادی

نتایج رتبه بندی نظرات کشاورزان در خصوص عوامل اجتماعی - اقتصادی نشان داد تعیین محدوده اراضی مورد نیاز اجرای طرحهای مهار سیل مانند (مسیر سیلبندها، سازهها، محدوده آزادسازی بستر و حریم تعیین شده)، بررسی آسیب پذیری اراضی کشاورزی ناشی از سیل با استفاده از نقشههای پهنه بندی سیلاب، ایجاد پوشش بیمه سیل برای در رتبه اول

جدول ۶- رتبه بندی گویه های عوامل اجتماعی - اقتصادی در بین کشاورزان (n=۱۰۳) و کارشناسان (n=۱۰۸)

عوامل فنی - سازه ای					
میانگین		انحراف استاندارد		رتبه	
کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس
۳/۳۵	۳/۴۲	۱/۰۴	۱/۰۵	۱	۱
۳/۳۷	۳/۲۸	۱/۰۸	۱/۱۱	۲	۶
۳/۶۲	۳/۳۴	۱/۲۰	۱/۲۳	۳	۱۵
۲/۹۴	۳/۰۴	۱/۰۱	۰/۹۸۹	۴	۳
۳/۲۷	۳/۳۲	۱/۱۳	۱/۱۰	۵	۴
۳/۴۶	۳/۴۲	۱/۲۱	۱/۲۳	۶	۱۰
۳/۱۳	۳/۱۶	۱/۱۰	۱/۱۳	۷	۸
۳/۲۷	۳/۲۵	۱/۱۶	۱/۱۴	۸	۷
۳/۰۱	۳/۱۷	۱/۰۸	۱/۰۶	۹	۵
۳/۱۴	۳/۱۱	۱/۱۳	۱/۱۲	۱۰	۱۲

تعیین محدوده اراضی مورد نیاز اجرای طرحهای
مهار سیل مانند (مسیر سیلبندها، سازهها)
بررسی آسیب پذیری اراضی کشاورزی ناشی از سیل
با استفاده از نقشههای پهنه بندی سیلاب
ایجاد پوشش بیمه سیل برای کشاورزان
اجرای برنامههای ظرفیت سازی در سطوح محلی، اجتماعات
برنامه ریزی و ظرفیت سازی برای آینده بر اساس
تجارب دورههای قبل وقوع سیل
تعیین اعتبارات، امکانات، تجهیزات و نیروی
انسانی مورد نیاز برای مدیریت سیل
توسعه سازمانهای مردم نهاد بین کشاورزان
شناسایی وضعیت کلی اجتماعی و اقتصادی محدوده سیلگیر
تدوین برنامه و ارائه روش برای جلب مشارکت
کشاورزان در طرحهای مهار سیل
همفکری و نشست با روستاهای مجاور در
مورد مشکلات ناشی از وقوع سیل

عوامل فنی - سازه‌ای						میانگین	انحراف استاندارد		رتبه		
						کشاورز	کارشناس	کشاورز	کارشناس		
ارزیابی وضعیت مالکیت اراضی (کشاورزی، باغداری) محدوده‌های سیل‌گیر						۳/۱۴	۳/۱۶	۱/۱۴	۱/۱۵	۱۱	۱۳
کمک‌های مالی و فنی برای پاک‌سازی، بازگرداندن سرمایه زمین و ...						۳/۲۹	۳/۱۸	۱/۲۰	۱/۲۲	۱۲	۱۷
توجه به موضوع حکمرانی محلی (حکمرانی شایسته) و تشکلهای آب‌بران						۳/۱۴	۳/۰۲	۱/۱۷	۱/۱۷	۱۳	۱۸
توسعه منابع انسانی برای ترویج مدیریت ریسک سیلاب						۳/۱۸	۳/۱۶	۱/۲۰	۱/۱۴	۱۵	۱۱
تهیه گزارش‌ها مطالعات اقتصادی و اجتماعی منطقه						۲/۹۱	۳/۱۲	۱/۱۰	۰/۹۹۲	۱۶	۲
تأمین هزینه‌های ویژه مدیریت سیل توسط دولت برای کشاورزان						۳/۴۵	۳/۲۷	۱/۳۷	۱/۲۵	۱۷	۱۶
تعیین ارزش اراضی متأثر از اجرای طرح‌های مهار سیل و پرداخت به کشاورزان بر اساس قیمت‌های روز						۳/۰۹	۳/۰۶	۱/۲۴	۱/۱۹	۱۸	۲۰
سهیم بودن نهادهای مرتبط در هزینه‌های بلندمدت مدیریت سیل						۳/۱۹	۳/۱۵	۱/۳۰	۱/۲۷	۱۹	۲۱
توسعه شبکه‌های اجتماعی مجازی بین کشاورزان						۳/۱۶	۳/۱۵	۱/۲۹	۱/۲۲	۲۰	۱۹
افزایش تعامل مثبت میان مدیران شهری و کشاورزان از طریق حفظ و تقویت مناسک جمعی، مذهبی و...						۲/۹۸	۳/۱۷	۱/۲۲	۱/۱۶	۲۱	۱۴
درخت‌کاری در اراضی مربوط به حاشیه رودخانه‌ها						۲/۹۱	۳/۲۵	۱/۲۳	۱/۲۶	۲۱	۲۰
ساخت حوضچه‌های تأخیری جهت تعدیل و کاهش حجم سیلاب						۳/۰۹	۳/۲۱	۱/۳۴	۱/۱۹	۲۲	۱۷
احداث خاک‌ریزه‌ها در مسیر عبور سیل						۲/۹۹	۳/۳۱	۱/۳۰	۱/۱۰	۲۳	۱۰

در سطحی بسیار بالاتر از آن قرار دارند. بنا به نظر Chin (۱۹۹۸) شاخص میانگین واریانس استخراج شده (AVE) شاخص مناسب برای تعیین روایی همگرایی سازه‌های پژوهش می‌باشد. حداقل میزان قابل قبول برای این ضریب از نظر نویسنده مذکور برابر با ۰/۵ می‌باشد. بررسی این شاخص بین سازه‌های این پژوهش نشان می‌دهد در تمام سازه‌های پژوهش امتیاز این ضریب بسیار بالاتر از حد آستانه مذکور می‌باشد و بنابراین سازه‌ها از نظر روایی همگرا در حد بسیار قابل خوبی می‌باشند. این بررسی به طور کامل در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷- شاخص‌های پایایی ترکیبی سازه‌های پژوهش

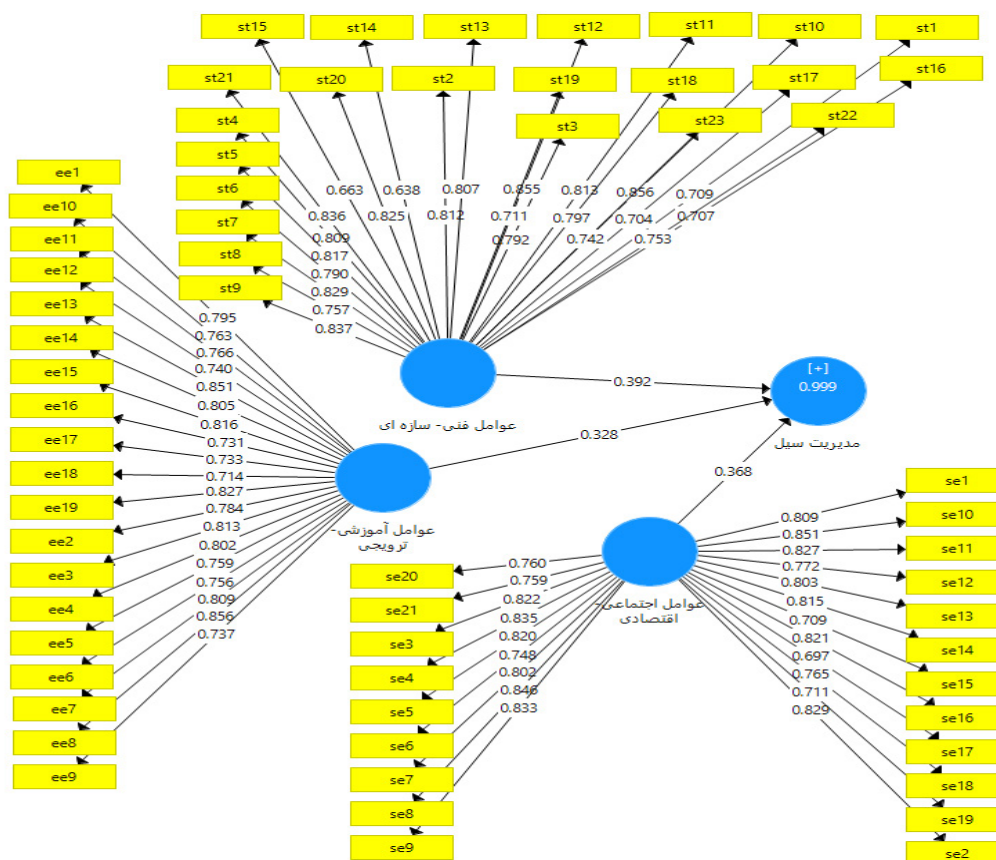
عنوان	آلفای کرونباخ	آلفای ترکیبی	شاخص میانگین واریانس استخراج شده (AVE)
عوامل آموزشی - ترویجی	۰/۹۴۳	۰/۹۵۱	۰/۶۱۸
عوامل فنی - سازه‌ای	۰/۸۴۴	۰/۹۶۳	۰/۶۴۵
عوامل اجتماعی - اقتصادی	۰/۹۰۹	۰/۹۸۴	۰/۶۳۹
مدیریت سیل	۰/۸۱۲	۰/۹۰۱	۰/۵۸۷

• نتایج استنباطی

- آزمون فرضیات بر اساس مدل معادلات ساختاری

در این پژوهش برای کسب نتایج دقیق‌تر، برای آزمون مدل مفهومی پژوهش، از روش معادلات ساختاری که یک تکنیک مدل‌سازی مسیر واریانس محور است و امکان بررسی نظریه و سنجه‌ها را به طور هم‌زمان فراهم می‌سازد، استفاده شد. در این روش دو مدل بررسی می‌شود: ۱- مدل بیرونی که برای بررسی روابط میان شاخص‌ها (سؤالات پژوهش) با متغیرهای اصلی مربوط به خود استفاده می‌شود که در واقع معادل همان مدل اندازه‌گیری در روش‌های کوواریانس محور است. ۲- مدل درونی که بخش ساختاری مدل را می‌سند و برای بررسی روابط میان متغیرهای پنهان (متغیرهای اصلی) که فرضیات پژوهش از روابط میان آنها شکل می‌گیرد، به کار می‌رود. در شکل (۳) مقادیر مربوط به روابط میان شاخص‌ها (سؤالات پژوهش) با متغیرهای اصلی یا همان بارهای عاملی نشان داده شده است.

نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد بار عاملی برای تمامی سنجه‌ها بالاتر از ۰/۵ می‌باشد؛ لذا وجود این سؤالات در مدل پژوهش منجر به ایجاد شاخص‌های روایی سازه می‌شود و مورد تأیید خواهد بود. در روش‌های مدلیابی معادلات ساختاری، جهت ارزیابی پایایی سازه‌های مورد بررسی در مدل پژوهش، از دو شاخص: ۱. آلفای کرونباخ و ۲. پایایی ترکیبی استفاده می‌شود. چنان‌که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، تمامی سازه‌های پژوهش این شرایط حداقلی را برای پایایی ترکیبی (حداقل ۰/۷) برآورده نموده و حتی



شکل ۳- خروجی مدل اندازه‌گیری برای مدل پژوهش در نرم‌افزار PLS

آن برازش مناسبی دارد؛ بنابراین مدل نهایی توانسته است به گونه مناسبی روابط بین سؤالات توصیف‌کننده متغیر را بیان کنند. در مرحله بعد مقادیر (t) محاسبه شد که نتایج نشان‌دهنده معنی‌داری متغیرهای اصلی فرضیات هستند.

جدول ۸- معیار Fornell-Larcker

مدیریت سیل	عوامل فنی - سازه‌ای	عوامل اجتماعی - اقتصادی	عوامل آموزشی - ترویجی
عوامل آموزشی - ترویجی	۰/۸۵۱		
عوامل اجتماعی - اقتصادی	۰/۷۴۷	۰/۷۱۴	
عوامل فنی - سازه‌ای	۰/۷۳۶	۰/۳۱۶	۰/۷۵۱
مدیریت سیل	۰/۲۷۹	۰/۲۱۳	۰/۳۴۸

پژوهشگر برای اثبات این نکته که سازه‌ای به‌خصوص، دارای واریانس مشترک بالاتری با سنجه‌های خود نسبت به سایر سازه‌های مدل است، باید روایی و اگر برای سازه‌های پژوهش را اثبات کند. به عبارت دیگر، سنجه‌های انتخاب شده برای توضیح این متغیر، تنها آن را توضیح دهند. به این منظور جذر میانگین واریانس‌های استخراج شده برای هر سازه با ضرایب همبستگی بین سازه‌ها مقایسه می‌شود (داوری و رضازاده، ۱۳۹۳). برای سازه‌های پژوهش حاضر، این مقایسه در جدول (۸) ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، در بررسی معیار فورنل لاکر نشان داده شده است که مقادیر موجود در روی قطر اصلی ماتریس ریشه دوم مقادیر واریانس شرح داده شده (AVE)، از کلیه مقادیر موجود در سطر و ستون مربوطه بزرگ‌تر می‌باشند. این امر نیز نشان‌دهنده همبستگی شاخص‌ها با سازه وابسته به آنها است.

باتوجه به نتایج به‌دست آمده از مدل اندازه‌گیری در نرم‌افزار Smart PLS که در بررسی روایی و پیاپی مدل نشان داده شد و باتوجه به توضیحات مربوط به قبولی برای شاخص‌های مذکور در جدول (۹)، تمام نتایج به‌دست آمده در مدل اندازه‌گیری را مورد تأیید قرار می‌دهند؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت مدل و متغیرهای تشکیل‌دهنده

بر اساس نتایج استنباط شده مشخص می‌شود، مقدار آماره (t) در مسیر عوامل آموزشی-ترویجی و مدیریت سیل (27/55 = t) بیشتر از 1/96 می‌باشد، می‌توان چنین بیان کرد که در سطح اطمینان 99 درصد عوامل آموزشی-ترویجی بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی تأثیر دارد. مقدار آماره (t) در مسیر عوامل فنی-سازه‌ای (2/192 = t) بیشتر از 1/96 می‌باشد،

همچنین می‌توان چنین بیان کرد در سطح اطمینان 95 درصد عوامل فنی - سازه‌ای بر مدیریت سیل در زمین‌های کشاورزی تأثیر معنادار دارد. مقدار آماره (t) در مسیر عوامل اجتماعی-اقتصادی و مدیریت سیل (36/89 = t) بیشتر از 2/57 می‌باشد، می‌توان چنین بیان کرد که در سطح اطمینان 99 درصد عوامل اجتماعی-اقتصادی بر مدیریت سیل تأثیر دارد.

جدول 9- ضریب مسیر سازه‌های پژوهش

معنی‌دار بودن / نبودن مسیرها	ضریب مسیر (β)	آماره (t)	مسیر
مثبت و معنی‌دار	0/328**	27/55	عوامل آموزشی - ترویجی -> مدیریت سیل
مثبت و معنی‌دار	0/393**	32/82	عوامل فنی - سازه‌ای -> مدیریت سیل
مثبت و معنی‌دار	0/368	36/89	عوامل اجتماعی - اقتصادی -> مدیریت سیل

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد بین عوامل اجتماعی-اقتصادی، فنی-سازه‌ای، آموزشی-ترویجی با مدیریت سیل رابطه معنادار و مثبتی وجود دارد که نشان از این دارد تمام عوامل مورد بررسی با مدیریت سیل ارتباط مثبت و معنادار دارند. رابطه بین عوامل اجتماعی-اقتصادی بر مدیریت سیل با پژوهش اورعی زارع و همکاران (1392) همچنین رابطه بین عوامل آموزشی-ترویجی، بر مدیریت سیل با پژوهش‌های فیض اربابی و همکاران (1391) رابطه بین عوامل فنی-سازه‌ای با مدیریت سیل با پژوهش‌های فرنام و همکاران (1398) مشابهت دارد. بنابراین نتیجه می‌شود که مدیریت سیل بستگی به عوامل فنی-سازه‌ای، عوامل اجتماعی-اقتصادی، عوامل آموزشی-ترویجی دارد که سهم عوامل فنی-سازه‌ای بیشتر از سایر عوامل است. همچنین با در نظر گرفتن این نکته که خسارات جانی و مالی سیل در طول زمان افزایشی بوده است، توصیه می‌شود که با ایجاد استراتژی‌های مدیریتی خطرات سیل را از مدیریت بحران به مدیریت ریسک تغییر داده شود تا شرایط بهبود یابد. در زمینه راهکارهای مدیریت سیلاب و راهکارهای مهار و کنترل سیلاب، یکی از راهکارها می‌تواند آبخیزداری برای نگهداشت بخشی از سیلاب و کاهش ضریب جریان سیلاب باشد. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر مدیریت سیل ایجاد یک سیستم سنجش از راه دور و برآورد شدت سیل در سرشاخه‌های حوضه آبریز و مخا‌بره شدت سیل در پایاب حوضه می‌باشد. از این طریق می‌توان با آگاه‌سازی و اطلاع رسانی نسبت به پیشگیری و هشدار شدت سیلاب از تلفات انسانی و یا خسارت‌های مالی جلوگیری کرد. براساس یافته‌های به‌دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می‌شود باتوجه‌به شرایط اقلیمی استان ایلام بررسی نقش گابیون‌بندی در مهار سیل و تأثیر مثبت آن بر مدیریت سیل صورت گیرد. در

خصوص اطلاع‌رسانی به‌موقع (ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل) که در سطح پایینی در شهرستان ایلام براساس نتایج این پژوهش قرار داشت پیشنهاد می‌شود به‌عنوان یک پژوهش بررسی شود. در شهرستان ایلام مسئله سدسازی چندان مورد توجه مسئولین قرار نگرفته که لازم به ذکر است تأثیر سد در مهار سیلاب در شهرستان ایلام به‌صورت جدی مورد واکاوی قرار گیرد. همچنین زمینه آموزش و ترویج اطلاع‌رسانی به کشاورزان از طریق رسانه‌ها در مورد مدیریت سیل نیاز به بررسی مجدد دارد. آموزش کشاورزان برای شناخت مناطق سیل‌گیر کشاورزی و آموزش و تشویق کشاورزان برای کاشت درخت در مسیرهای سیل گیر طبق یافته‌های این پژوهش تقریباً نادیده گرفته شده که پیشنهاد می‌شود در این خصوص در حریم رودخانه تحت شرایط کاهش فرسایش خاک و به‌منظور توسعه فضای سبز نسبت به کاشت گیاهان علفی خشبی اقدام نمود. طبق یافته‌های این پژوهش سازمان‌های غیردولتی و علاقه‌مند به مدیریت سیل برای آموزش کشاورزان در شهرستان ایلام عملکرد مناسبی نداشته و در این زمینه ورود نکرده‌اند که پیشنهاد می‌شود ظرفیت سازمان‌های غیردولتی و نقش آنها بر مدیریت مورد پژوهش قرار گیرد. افزایش تعامل مثبت میان مدیران شهری و کشاورزان از طریق حفظ تقویت مناسک جمعی و مذهبی باتوجه‌به سبک زندگی سنتی مردمان ایلام می‌بایست تقویت شود و راهکارهای پیشنهادی در این زمینه به‌صورت تخصصی بررسی شود. پیشنهاد می‌شود باتوجه‌به دنیای ارتباطات و پیشرفت فناوری توسعه شبکه‌های اجتماعی مجازی بین کشاورزان و تأثیر آن بر مدیریت سیل شهرستان با یک عنوان مجزا بررسی شود. اولین اقدام ممکن بعد از فروکش کردن سیلاب‌ها، لای‌روبی و تعمیق بستر رودها و برداشتن و کاهش موانعی است که سرعت تخلیه رواناب‌ها را کند می‌کند. بدون تردید اگر مدیریت حوضه‌های استان علمی و با تدبیر و آینده‌نگری صورت گیرد، حتی با بارش‌های زیاد،

مقدار خسارت‌ها زیاد نخواهد شد. طرح‌هایی از قبیل ایجاد و تقویت پوشش گیاهی در حوضه‌های آبخیز، کاشت نهال و مبارزه با بیابان‌زایی، طرح‌های حفاظت خاک و ... باید در قلمرو سکونت ساکنان حوضه‌ها صورت گیرند. تا ساکنان با ابعاد و مزایای این طرح‌ها و تأثیرات مثبت اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی آن‌ها بر زندگی خود اعتقاد و اطمینان پیدا نکنند، همکاری نخواهند کرد. در این پژوهش نیز مانند اغلب پژوهش‌ها پژوهشگر با محدودیت‌هایی مواجه بوده و تا آنجا که امکان‌پذیر بوده سعی در کاهش اثرات این متغیرها داشته است. از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر عبارت‌اند از:

۱- هم‌پوشی و اشتراک بعضی از متغیرهای مربوط به هریک از عوامل چندگانه از دیگر محدودیت‌های پژوهش بوده و تفکیک متغیرهای مربوط به هر عامل کار دشواری بوده است. همچنین فرصت بررسی تمام متغیرهای مؤثر در مدیریت سیل وجود نداشته و فقط تعدادی به‌عنوان متغیرهای مهم مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- پراکندگی نواحی کشاورزی در شهرستان ایلام و دسترسی به کشاورزان در این نواحی بسیار زمان‌بر و وقت‌گیر بوده است، همچنین باتوجه‌به متفاوت بودن سطح آموزش کشاورزان در روستا و شیوه‌های مختلف پیشگیری از سیل در روستاهای شهرستان ایلام دیدگاه‌ها متفاوت بوده است.

منابع

اصغری مقدم، محمدرضا. (۱۳۹۱). سیل و مدیریت سیلاب. فصلنامه جغرافیا، ۲۰(۲)، ۴۳-۶۰.

اورعی زارع، صادق، ثقفیان، بهرام، و شمسایی، ابوالفضل. (۱۳۹۲). تبیین راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای جهت کنترل خسارت‌های ناشی از سیل در حوضه‌های شهری باتوجه‌به محدودیت‌ها و خصوصیات راهکارها. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، دبیرخانه دائمی کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران، ایران.

حسین‌زاده، جواد، عزیزی، فرشید، جاهدی، حبیب اله، و کیانوش، مهدی. (۱۳۹۹). ارزیابی خسارات اقلیم و راهکارهای مدیریت بحران با تأکید بر بحران سیلاب در شهر نکا. هفتمین همایش ملی مطالعات و تحقیقات نوین در حوزه علوم انسانی، مدیریت و کارآفرینی ایران، موسسه آموزش عالی آل طه و مرکز بین‌المللی همایش‌ها و سمینارهای توسعه پایدار علوم جهان اسلام، تهران، ایران.

حیدری، مهدی. (۱۳۹۸). بازنگری در نظام مدیریت سیلاب شهری با رویکرد مشارکت چندجانبه و تاب‌آوری. هفتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، دبیرخانه دائمی کنفرانس، تهران، ایران.

داوری، علی، و رضازاده، آرش. (۱۳۹۳). مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS. انتشارات جهاد دانشگاهی. تهران.

رجبی زاده، یوسف، ایوب زاده، سید علی، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۸). بررسی سیل استان خوزستان طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ارائه راهکارهای کنترل و مدیریت آن در آینده. مجله اکو هیدرولوژی، ۶(۴)، ۱۰۶۹-۱۰۸۴. doi: 10.22059/IJE.2020.285854.1166

رمضانی، محمدابراهیم، خداپناه، کیومرث، و مجنونی توتاخانه، علی. (۱۴۰۰). بررسی و تحلیل عوامل انسانی و محیطی مؤثر بر آسیب‌پذیری روستاها در برابر سیل سال ۱۳۹۶ شهرستان عجب شیر، فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۴(۱۱)، ۵۲-۷۰. doi: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.1.5

زنگویی، محمدرضا، و افضل‌نیا، سیدمهدی (۱۳۹۶). نقش مدیریت بحران در تخمین احتمال وقوع سیل با ارتباط با جوامع محلی مستقر در مکان‌های بحرانی، چهارمین کنفرانس جامع مدیریت بحران و HSE. دبیرخانه دائمی کنفرانس، تهران، ایران.

سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام. (۱۳۹۸). آمارنامه کشاورزی. ایلام.

شاکری رستمی، حسین، باقری، علی، و سعدالدین، امیر. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت حکمرانی ریسک سیل در ایران بر اساس رویکرد تدابیر سیاستی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۳)، ۶۵-۱۰۳. doi: 20.1001.1.17352347.1400.17.3.4.9

شکوهی، علیرضا، و گنجی نوروزی، زهرا. (۱۳۹۲). مدیریت غیر سازه‌ای سیلاب‌دشت‌ها با استفاده از پیش‌بینی خسارت کشاورزی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۳(۴)، ۸۳-۹۴.

طاهری، سیده محدثه، و مساعدی، ابوالفضل. (۱۴۰۲). مروری بر راهبردهای مدیریت ریسک سیل و چالش‌های قانونی و عملی، نشریه آب و توسعه پایدار، ۱۰(۳)، ۳۵-۵۰. doi: 10.22067/IWSD.V10I3.2309-127

طهماسبی، قباد، عزیزی کاوه، علی، و فرجی، میلاد. (۱۳۹۶). مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در ایلام، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، موسسه معماری و شهرسازی سفیران راه مهرازی، شیراز.

طولابی نژاد، مهرشاد، حاجی نژاد، علی، و طولابی نژاد، میثم. (۱۴۰۱). عوامل مؤثر بر آمادگی فردی در برابر وقوع سیل در روستاهای کوهستانی مستعد طغیان سیل شهرستان پلدختر، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۴۱)، ۱۱۷-۱۳۹. doi: 10.22067/geoch.2021.70828.1074

عابدی سروستانی، احمد. (۱۴۰۱). ارزیابی دیدگاه کارشناسان و مدیران ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان نسبت به جنبه‌های حقوقی و قانونی مدیریت سیل، مجله

- ولایتی، سعد الله، جهانی، مهدی، و رامش، آزاده. (۱۳۸۴). اهمیت مدیریت ریسک سیلاب در برنامه‌ریزی روستایی، (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارده). نشریه علوم جغرافیایی، ۴(۵)، ۸۷-۶۹.
- Bell-Gam, R. S. (2023). Environmental Adult Education Programmes for Flooding and Flood Risks Reduction in Selected Local Government Areas of Rivers State. *Journal of Education in Developing Areas*, 31(3), 156-165.
- Chen, H., Liang, Z., Liu, Y., Liang, Q., & Xie, S. (2017). Integrated remote sensing imagery and two-dimensional hydraulic modeling approach for impact evaluation of flood on crop yields. *Journal of Hydrology*, 553, 262-275. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.08.001>
- Chin, W. W. (1998). Commentary: Issues and opinion on structural equation modeling. *MIS quarterly*, (22:1), 7-16.
- Diaconu, D.C., & Grecu, A. (2023). Conflicts and Natural Disasters, Sources of Migration in the Twenty-First Century. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978_2023_972
- Hayran, S. (2023). Farmers' Flood Risk Perception in Turkey: The Case of Mersin Province. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 5, 481-487. doi: [10.9755/ejfa.2023.v35.i5.3101](https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i5.3101)
- Hoeppe, P. (2016). Trends in weather related disasters—Consequences for insurers and society. *Weather and climate extremes*, 11, 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.10.002>
- Leimgruber, W. (2023). Environmental Unsustainability or the Cost of Civilization. In *Nature, Society, and Marginality: Case Studies from Nepal, Southeast Asia and other regions*. (pp. 9-31). Cham: Springer International Publishing. New York City. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21325-0_2
- Mohtar, W. H. M. W., Abdullah, J., Maulud, K. N. A., & Muhammad, N. S. (2020). Urban flash flood index based on historical rainfall events. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102088.
- Nuraisyah, N., & Haryono, D. (2023). Post Flood Di-
- مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۲۰-۱. doi: [10.22111/JNEH.2021.36389.1723](https://doi.org/10.22111/JNEH.2021.36389.1723)
- عزیزی، مهسا، و مرتضوی، علی‌اصغر. (۱۳۹۶). مروری بر آسیب‌پذیری سیل در زمین‌های کشاورزی، چهارمین کنفرانس و نمایشگاه محیط‌زیست. شرکت مهندسی ماه دانش عطران، تهران، ایران.
- غضنفرپور، حسین، حسینی خواه، حسین، و کمالی باغراهی، اسماعیل. (۱۴۰۱). تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری لرزه‌ای سکونتگاه‌های انسانی شهرستان باشت با استفاده از مدل دیماتل فازی و Gis. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۵)، ۲۱-۳۶. doi: [10.22111/JNEH.2022.39945.1845](https://doi.org/10.22111/JNEH.2022.39945.1845)
- فرنام، سینا، مختار پور، اکبر، قشقایی، امیرحسین، و نژادنیک، پویا. (۱۳۹۸). مدیریت سیلاب و راهکارهای مقابله با آن. *هجدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران*. <https://998859https://civilica.com/doc>
- فیض اربابی، سمیرا، میردامادی، سید مهدی، و امیدی نجف‌آبادی، مریم. (۱۳۹۱). بررسی عوامل ترویجی و آموزشی مؤثر در به‌کارگیری مدیریت تلفیقی محصول توسط کشاورزان شهر کرج، *مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی*، ۵(۱)، ۱۴-۱.
- قدیری، محمود، و رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا. (۱۳۹۲). رابطه ساخت اجتماعی شهرها و میزان آسیب‌پذیری در برابر خطر زلزله مطالعه موردی: محلات کلانشهر تهران جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۴(۲)، ۱۷۴-۱۵۳. doi: [20.1001.1.2008.5362.1392.24.2.12.9](https://doi.org/10.1001.1.2008.5362.1392.24.2.12.9)
- محمدی لیری، فاطمه، و پنجی، عطیه. (۱۳۹۷). بررسی پدیده زیست‌محیطی سیل، مدیریت و کاهش خسارات ناشی از آن (بررسی موردی شهر راز). *سومین اجلاس ملی رویکردهای نوین در آموزش و پژوهش، محمودآباد*. <http://www.civilica.com/doc/830023>
- مردانی اصل، سید ابوالفضل، و امیری، محمد. (۱۳۹۵). مدیریت خشکسالی و سیل در زمین‌های کشاورزی. سازمان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد. *نشریه ترویجی شماره ۴۹۵۲۴*.
- مطیعی لنگرودی، سیدحسن، قدیری معصوم، مجتبی، اسکندری چوبقلو، حافظ، طورانی، علی، و خسروی مهر، حمیده. (۱۳۹۴). بررسی نقش مدیریت مشارکتی در کاهش آثار سیل (مطالعه موردی: روستاهای حوضه رودخانه زنگمار ماکو). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۱)، ۳۱۱-۳۳۹.
- موحدی، رضا، پویا، مهرداد، و زلیخایی سیار، لیلا. (۱۴۰۲). تحلیل قابلیت‌های دهیاری‌ها در مدیریت بحران (مطالعه موردی استان همدان). *نشریه مدیریت شهری*، ۲۲(۱)، ۷۵-۵۵. <http://ijurm.imo.org.ir/article-1-3358-fa.html>

- saster Infrastructure Development Management In Masamba District, North Luwu Regency. International Journal of Social Science, Education, Communication and Economics (SINOMICS JOURNAL), 1(6), 869-874. <https://doi.org/10.54443/sj.v1i6.98>
- Quan, R. (2014). Risk assessment of flood disaster in Shanghai based on spatial-temporal characteristics analysis from 251 to 2000. Environmental Earth Sciences, 72, 4627-4638. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3360-0>
- Stevenson, E. G. (2019). Water access transformations: Metrics, infrastructure, and inequities. Water security, 8, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100047>
- Mohtar, W. H. M. W., Abdullah, J., Maulud, K. N. A., & Muhammad, N. S. (2020). Urban flash flood index based on historical rainfall events. Sustainable Cities and Society, 56, 102088.

Water Reflections in the Mirror of the Mind: A Phenomenological Analysis of the Semnan Water Market

S. A. Ebrahimi^{*}

Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Management, and Administrative Sciences, Semnan University, Semnan, Iran.

Email: a.ebrahimi@semnan.ac.ir

Received: 06-08-2024

Revised: 29-12-2024

Accepted: 09-01-2025

Available Online: 18-03-2025

بازتاب‌های آبی در آینه ذهن: کاربست پدیدارشناسی در تحلیل بازار آب سمنان

سید عباس ابراهیمی

دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اداری دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

E-Mail: a.ebrahimi@semnan.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

Abstract

The implementation of a water market scheme in Semnan province, as a novel approach to water resource management, has provided unique opportunities to enhance efficiency and create balance in water resource utilization. However, despite the short time since its launch, the scheme has not garnered significant adoption. This research, employing a phenomenological approach, delves into the lived experiences of key stakeholders in Semnan province to gain a comprehensive understanding of the challenges and opportunities within the water market. A phenomenological analysis of data obtained from in-depth interviews with 24 key stakeholders led to the identification of 764 initial codes and semantic units, which were subsequently categorized into 126 primary themes. These primary themes were ultimately grouped into five core themes: motivations and factors influencing the formation and development of the water market, vulnerabilities and obstacles to sustainable water market development, requirements for inclusive water governance in the market era, innovative mechanisms and solutions for improving water market performance, and the consequences and outcomes of the water market. The findings include 29 motivators and drivers for the water market launch, categorized into 5 groups; approximately 23 challenges, obstacles, and vulnerabilities of the Semnan water market; 25 items related to reforming the governance system at the provincial level, encompassing dimensions such as stakeholder participation, capacity, financing, about 15 mechanisms to overcome existing challenges and obstacles; and finally, 19 positive and 15 negative consequences of the water market launch, which are analyzed in the presented model and findings section.

Keywords: Water Crisis, Water Governance, Water Market, Water Supply and Demand, Semnan Provincet.

چکیده

اجرای طرح بازار آب در استان سمنان به‌عنوان یک تجربه نوین در مدیریت منابع آب، فرصت‌های بی‌نظیری را برای بهبود بهره‌وری و ایجاد تعادل در استفاده از منابع آبی فراهم کرده است. با وجود گذشت زمان اندک از راه‌اندازی این بازار، استقبال چندانی از این طرح صورت نگرفته است. این پژوهش با رویکرد پدیدارشناسی، به بررسی عمیق تجربیات زیسته ذی‌نفعان کلیدی در استان سمنان پرداخته است تا درک جامع‌تری از چالش‌ها و فرصت‌های بازار آب در این استان حاصل شود. تحلیل پدیدارشناسانه داده‌های حاصل از مصاحبه‌های عمیق با ۲۴ نفر از ذی‌نفعان کلیدی منجر به شناسایی ۷۶۴ کد اولیه و واحد معنایی شد که پس از طبقه‌بندی، به ۱۲۶ مضمون اولیه تبدیل شدند. این مضامین اولیه در نهایت به پنج مضمون محوری دسته‌بندی شدند: انگیزه‌ها و عوامل موثر بر شکل‌گیری و توسعه بازار آب، آسیب‌پذیری‌ها و موانع پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب، الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار، سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب، و پیامدها و رهاوردهای بازار آب. یافته‌ها شامل ۲۹ انگیزاننده و محرک راه‌اندازی بازار آب در قالب ۵ دسته؛ حدود ۲۳ چالش، مانع و نقاط آسیب‌پذیر بازار آب سمنان و ۲۵ مورد مربوط به اصلاح نظام حکمرانی در سطح استانی در قالب ابعادی همچون، مشارکت ذی‌نفعان، ظرفیت، تامین مالی و حدود ۱۵ سازوکار برای غلبه بر چالش‌ها و موانع موجود و در نهایت ۱۹ پیامد مثبت راه‌اندازی بازار آب و ۱۵ پیامد منفی شناسایی شده است که در مدل ارائه شده و قسمت یافته‌ها تحلیل شده است.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، حکمرانی آب، بازار آب، عرضه و تقاضای آب، استان سمنان.

کم آبی به عنوان یکی از سه چالش اساسی استان سمنان (در کنار چالش جمعیت و تصادفات)، نیازمند رویکردهای نوآورانه در مدیریت منابع آب است. امروزه سیاست گذاران، مدیران و برنامه ریزان منابع آب در کشور و استان سمنان، همانند بسیاری از نقاط جهان به این درک مشترک رسیده اند که دیگر تکیه صرف بر سیاست های طرف عرضه منابع آب، قادر به پرکردن شکاف بین عرضه و تقاضا نیست و باید بر برنامه ریزی یکپارچه منابع آب که در آن گزینه های مختلفی از مدیریت منابع آب دیده شده باشد، تکیه کرد (Lazarova و همکاران، ۲۰۰۱). یکی از مفاهیمی که در این خصوص مطرح شده است و تلاش دارد به الگویی بهینه برای تخصیص منابع آبی دست یابد، بازار آب است. بازار آب اشاره به الگویی از حکمرانی آب دارد که در آن نقش دولت کم رنگ است و قواعد بازار که مبتنی بر عرضه و تقاضا است، بر تخصیص و توزیع منابع آب حکم فرمایی می کند. در شرایط بازار، منافع اقتصادی بر تصمیمات مدیریت آب تسلط می یابند و نقش خریداران و فروشندگان پررنگ می شود. براساس پیش بینی های علم اقتصاد، شکل گیری بازار اساساً می تواند بسیاری از ناکارآمدی های نظام بوروکراتیک را برطرف سازد و به شکلی پویا با معضلاتی که مانع از پیشرفت اقتصاد شده اند، برخورد کند. به تبعیت از علم اقتصاد، در زمینه مدیریت آب نیز چنین ایده های ازسوی برخی از متخصصان مطرح شده است که با راه اندازی بازار آب (مبادله آب با هدف ارتقاء کارایی اقتصادی) می توان کاستی های عملکردی در نظام مدیریت آب را برطرف کرد و به ارتقای بهره وری فیزیکی، اقتصادی رسید (میرنظامی، ۱۳۹۸).

استان سمنان، به عنوان یکی از استان های خشک و نیمه خشک ایران، با چالش جدی کمبود آب مواجه است. کاهش بارندگی ها، افزایش جمعیت و توسعه صنایع، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی این استان وارد کرده است. در پاسخ به این بحران، اجرای طرح بازار آب در سمنان به عنوان یک راهکار نوین برای مدیریت بهینه منابع آب مطرح شده است، اجرای طرح بازار آب در سمنان به عنوان یکی از پنج استان پایلوت در کشور (علاوه بر دشت خواف استان خراسان رضوی در حال حاضر این طرح در برخی دشت های بحرانی در ۵ استان کشور و در مناطق محدودی از استان های یزد، اصفهان، البرز، قزوین و هرمزگان و سمنان به صورت پایلوت در حال اجرا است)، به صورت آزمایشی آغاز شده است. در مرحله پایلوت، بازار آب در آبخوان دشت سمنان در دو منطقه شرق و غرب رودخانه آبگرم سمنان با مساحتی بالغ بر ۵۴۳ کیلومتر مربع و تعداد ۳۷۸ چاه آب اجرا شده است. هدف از اجرای بازار آب در این دشت، ایجاد تعادل در بهره برداری از آبخوان از طریق افزایش بهره وری کشاورزی و توانمندسازی کشاورزان با فروش آب صرفه جویی شده خود، به صنایع است. با اجرای بازار آب، کشاورزان می توانند با بهبود روش های آبیاری و استفاده از الگوی کشت مناسب،

بهره وری خود را افزایش داده و آب مازاد خود را به فروش برسانند. از سوی دیگر، صنایع نیز می توانند با خرید آب از کشاورزان، به نیاز آبی خود پاسخ دهند. در واقع هدف اصلی بازار آب، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و حفظ آبخوان ها است که با ترغیب کشاورزان به کاهش مصرف آب و افزایش بهره وری دست یافت.

اگر چه زمان زیادی از راه اندازی بازار آب در استان سمنان نمی گذرد و رسماً نخستین آیین تبادل سهم آب در قالب بازار آب سمنان در تاریخ ۱۶ بهمن ۱۴۰۲ انجام شده است؛ اما استقبال از این طرح در این زمان محدود بسیار اندک و تقریباً صفر بوده است و این نشان می دهد که بازار آب سمنان با چالش های پیچیده ای مواجه است که نیازمند بررسی عمیق و ارائه راهکارهای نوآورانه جهت ارتقا عملکرد این بازار می باشد. پژوهش حاضر که با هدف بررسی چالش ها و فرصت های ایجاد شده در پی اجرای بازار آب در سمنان و تحلیل اثرات آن بر حکمرانی آب در این استان انجام شده است. ضمن توجه به شرایط خاص استان سمنان، از جمله وابستگی شدید بخش کشاورزی به منابع آب زیرزمینی و وجود نهادهای متعدد دخیل در مدیریت آب، به دنبال یافتن راهکارهایی برای بهبود عملکرد بازار آب و تضمین پایداری منابع آب در بلندمدت است.

مرور پیشینه پژوهش نیز نشان می دهد در سه دهه - گذشته پژوهش ها و مطالعات مختلفی در حوزه بازار آب در داخل و خارج کشور انجام شده است. این موضوع به ویژه در سال های اخیر در سطح جهان مورد توجه خاصی قرار گرفته و پژوهشگران ابعاد مختلف و زوایای گوناگون این پدیده را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند. برخی پژوهشگران همچون Prieto (۲۰۱۶)، Wheeler و همکاران (۲۰۱۷) و Petterini (۲۰۱۸)، امکان پذیری معرفی بازار آب و ارزیابی چارچوب آن^۱ را مورد مطالعه قرار دادند و امکان ایجاد و اجرای بازار آب در مناطق مختلف را بررسی کرده و چارچوب مناسب برای اینکار را پیشنهاد دادند. پژوهشگران دیگری همچون Wheeler (۲۰۱۴)، Wheeler و همکاران (۲۰۱۴) و Leonard و همکاران (۲۰۱۹) عملکرد بازار آب^۲ را مورد مطالعه قرار دادند و عملکرد واقعی بازارهای آب را هم از نظر کمی (مثلاً با استفاده از داده های اقتصادی) و هم از نظر کیفی (مثلاً با استفاده از نظرسنجی از کشاورزان) سنجیدند. خصوصی سازی و بازسازی بخش آب^۳ محور پژوهش برخی دیگر از پژوهشگران (Madden و Borzutzky، ۲۰۱۳؛ Glennon و همکاران، ۲۰۱۶) بوده که به بررسی تأثیرات خصوصی سازی و بازسازی در بخش آب می پردازد. ارزیابی خط مشی های بازار آب^۴ که سیاست های مختلف مرتبط با بازار آب را ارزیابی می کنند (Aylward و Garrick، ۲۰۱۲؛ Garrick و همکاران، ۲۰۱۳؛ Jamshidi و همکاران، ۲۰۱۶)؛ تحلیل تقاضا و قیمت آب^۵ که به بررسی رابطه بین تقاضا برای آب و قیمت آن می پردازد (Wheeler و همکاران، ۲۰۰۸؛ Zuo و همکاران، ۲۰۱۹؛ Schwabe و همکاران، ۲۰۲۰)؛ تمایل کشاورزان به پرداخت برای آب یا مشارکت در بازار آب^۶ که به بررسی تمایل کشاورزان به

خرید و فروش آب در بازار آب می‌پردازد (Giannoccaro و همکاران، ۲۰۱۵؛ Venkatachalam، ۲۰۱۵؛ Jaghdani و Brümmer، ۲۰۱۶) رفتار انسانی در بازارهای آب^۷ که در این دسته از مطالعات به صورت تجربی و کمی، رفتار افراد در بازارهای آب بررسی می‌شود و از آزمایش‌ها و مدل‌های کمی برای تحلیل تصمیم‌گیری‌ها و انگیزه‌های افراد در این بازارها استفاده می‌شود (Broadbent و همکاران، ۲۰۱۴؛ Hansen و همکاران، ۲۰۱۴؛ Nauges و همکاران، ۲۰۱۶)؛ چیدمان نهادی و هزینه‌های معاملات^۸ که هم از روش‌های کیفی (مانند مصاحبه و مطالعه اسناد) و هم کمی (مانند تحلیل داده‌های آماری) برای بررسی چگونگی شکل‌گیری و عملکرد نهادهای بازار آب و هزینه‌های مرتبط با معاملات در این بازارها استفاده می‌کنند (Erfani و همکاران، ۲۰۱۴؛ Breviglieri و همکاران، ۲۰۱۸؛ Loch و همکاران، ۲۰۱۸)؛ مطالعات موردی موفقیت‌ها و شکست‌های بازار آب^۹ که به صورت کیفی و کمی، به بررسی موارد موفق و ناموفق اجرای بازار آب در مناطق مختلف می‌پردازند (Bauer، ۲۰۱۰؛ Zavalloni و همکاران، ۲۰۱۴؛ Bauer، ۲۰۱۵)؛ مدل‌سازی تجارت آب^{۱۰} که به صورت کمی، با استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری، به شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار بازار آب می‌پردازند (Wheeler و همکاران، ۲۰۰۸a؛ wheeler و همکاران، ۲۰۰۸b؛ Zuo و همکاران، ۲۰۱۹)؛ طراحی حقوق آب^{۱۱} که به بررسی طراحی و ساختار حقوق آب می‌پردازند و شامل مطالعاتی در مورد انواع مختلف حقوق آب، نحوه تخصیص و انتقال آن‌ها، و اثرات آن‌ها بر بهره‌وری و عدالت در استفاده از آب است (Lefebvre و همکاران، ۲۰۱۲؛ Jamshidi و همکاران، ۲۰۱۹)؛ حکمرانی آب بین‌المللی^{۱۲} که به بررسی چگونگی مدیریت و حاکمیت منابع آب در سطح بین‌المللی می‌پردازند و شامل مطالعاتی در مورد توافقات بین‌المللی، همکاری‌های بین‌المللی در حوزه آب، و چالش‌های موجود در این زمینه است (Wheeler، ۲۰۱۴)؛ کارایی استفاده از آب^{۱۳} که به بررسی کارایی استفاده از آب می‌پردازند و شامل مطالعاتی در جدول ۱- خلاصه مطالعات داخلی انجام شده پیرامون موضوع بازار آب

مورد اندازه‌گیری کارایی، عوامل موثر بر کارایی، و راه‌های بهبود کارایی است (Manjunatha و همکاران، ۲۰۱۱؛ Razzaq و همکاران، ۲۰۱۹)؛ تأثیرات محیط‌زیستی^{۱۴} این دسته از مطالعات، به صورت کمی، به بررسی تأثیرات بازارهای آب بر محیط‌زیست می‌پردازند و شامل مطالعاتی در مورد اثرات بازارهای آب بر کیفیت آب، تنوع زیستی، و اکوسیستم‌های آبی است (Lee و همکاران، ۲۰۰۷؛ Rambonilaza و Neang، ۲۰۱۹)؛ تأثیرات تغییرات اقلیمی بر بازارهای آب^{۱۵} که به صورت کیفی و کمی، به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر بازارهای آب می‌پردازند و شامل مطالعاتی در مورد سازگاری بازارهای آب با تغییرات اقلیمی، ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی در بازارهای آب و سیاست‌های مقابله با این ریسک‌ها است (Kahil و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ghosh، ۲۰۱۹؛ Zuo و همکاران، ۲۰۱۹)؛ حقوق آب بومیان و بازارها^{۱۶} که به صورت کیفی و کمی، به بررسی حقوق آب بومیان و تعامل آن با بازارهای آب می‌پردازد و شامل مطالعاتی در مورد شناسایی و حفاظت از حقوق آب بومیان، تأثیر بازارهای آب بر حقوق بومیان و راه‌های تلفیق حقوق بومیان با بازارهای آب است (Nikolakis و Grafton، ۲۰۱۵؛ Taylor و همکاران، ۲۰۱۶)؛ تجارت کیفیت آب^{۱۷} که به بررسی تجارت کیفیت آب می‌پردازد و شامل مطالعاتی در مورد بازارهای آب با کیفیت بالا، استانداردهای کیفیت آب و انگیزه‌های اقتصادی برای بهبود کیفیت آب است (Uchida و همکاران، ۲۰۱۸؛ Leonard و همکاران، ۲۰۱۹) و بازارهای آب غیررسمی^{۱۸} که به بررسی بازارهای آب غیررسمی می‌پردازند و شامل مطالعاتی در مورد ویژگی‌ها، عملکرد و نقش بازارهای آب غیررسمی در مدیریت منابع آب است (Jaghdani و Brümmer، ۲۰۱۶؛ Razzaq و همکاران، ۲۰۱۹)، از دیگر موضوعات و عناوین مورد توجه پژوهشگران در سال‌های اخیر بوده است. در داخل کشور نیز با محوریت بازار آب مطالعات ارزشمندی انجام شده است که جدول (۱) به طور خلاصه برخی از مهمترین مطالعات داخلی انجام شده را نشان می‌دهد.

عنوان مقاله	نویسندگان (سال)	نکات برجسته پژوهش
ارزیابی تأثیر ایجاد بازار آب بر ارتقای بهره‌وری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی (مطالعه موردی: حوضه آبریز تجن)	زارعی قورخودی و شاهنظری (۱۴۰۳)	هدف از این مطالعه بررسی اثرات تشکیل بازارهای آب بر ارتقای بهره‌وری آب در حوضه آبریز تجن بوده و در این پژوهش پس از شبیه‌سازی تشکیل بازار آب در نرم‌افزار متلب، تأثیر آن بر شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دو گروه شامل مزارع بدون محدودیت آب (گروه A) و مزارع با محدودیت آب (گروه B) ارزیابی شد. براساس نتایج، تشکیل بازار آب منجر به افزایش ۱۳ درصد سود در گروه A و ۳۰ درصد سود در گروه B می‌شود.
امکان‌سنجی طراحی بازار آب با رویکرد ارزش‌گذاری مشروط (مطالعه موردی: دشت هشتگرد استان البرز)	شعبانی روچی و همکاران (۱۴۰۱)	بررسی‌های این پژوهش نشان می‌دهد در منطقه که شامل شهرستان‌های ساوجبلاغ، نظرآباد و طالقان است، ارزش اقتصادی نهاده آب و تابع تقاضا و قیمت تعادلی نهاده آب محاسبه و پس از مقایسه با نتایج ارزش‌گذاری مشروط، تشکیل بازار بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در صورت وجود زیرساخت‌های فیزیکی لازم و همچنین وضع قوانین مربوط به آن، امکان تشکیل بازار آب بین منطقه‌ای در شرایطی که شهرستان نظرآباد خریدار و شهرستان‌های طالقان و ساوجبلاغ فروشنده منابع آبی مازاد خود باشند، وجود دارد. در این شرایط، هم خریداران (به علت خرید ارزان‌تر آب نسبت به تمایل به پرداخت خود) و هم فروشندگان (به علت فروش گران آب نسبت به تمایل به دریافت خود) از تشکیل بازار منتفع خواهند شد. ولیکن باتوجه به بیشتر بودن قیمت تعادلی از ارزش اقتصادی آب در شهرستان‌های طالقان و ساوجبلاغ، احتمال شکست بازار آب و انتقال آب به سایر بخش‌ها، وجود خواهد داشت.

عنوان مقاله	نویسندگان (سال)	نکات برجسته پژوهش
مروری بر نقش بازار آب به عنوان رویکردی برای مدیریت منابع با تأکید بر شرایط ایران	زارعتی نیشابوری و خزیمه نژاد (۱۴۰۱)	مقاله با رویکرد مروری- تحلیلی ضمن معرفی رویکرد جدید مدیریت آب مبتنی بر طرف تقاضا، به تبیین مبانی نظری بازار آب، مفاهیم و ویژگی‌های آن پرداخته و با تشریح الزامات پیاده‌سازی آن، تجربیات گذشته بازار آب در ایران و جهان را مورد واکاوی قرار داده و مزایا و چالش‌های آن را به تصویر می‌کشد و بر این اساس پیشنهادهای راه‌حلی برای اصلاح با تأکید بر شرایط اقتصادی، اجتماعی و حقوقی حاکم بر مدیریت منابع آب کشور ارائه می‌کند.
ارزیابی آثار بالقوه استقرار بازار آب محلی در شرایط روبرویی با خشکسالی و کم آبی در استان تهران	پرهیزکاری و همکاران (۱۴۰۰)	پژوهشگران معتقد هستند با استقرار بازار آب محلی و تعادل بخشی داد و ستد آب کشاورزی بین حوضه‌های مطالعاتی استان تهران، پیامدهای منفی پدیده خشکسالی در بهره‌برداری از منابع آبی موجود تا حدود ۷/۱۲ درصد نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. افزون بر این، استقرار بازار آب محلی به عنوان یک نهاد عرفی و حقوقی در سطح استان تهران با وجود انتقال منابع آبی مازاد حوضه‌های شرقی و شمالی به حوضه‌های جنوب غربی استان تهران، سبب افزایش ضریب اطمینان دسترسی کشاورزان به آب آبیاری شده و از کاهش محصولات زراعی سودآور (گوجه‌فرنگی، ذرت دانه‌ای، هندوانه و آفتابگردان) در الگوهای بهینه کشت ممانعت می‌کند.
بررسی کارایی بازار آب و مقایسه آن با شیوه های مختلف تخصیص در شرایط کم آبی	هاشمی و همکاران (۱۴۰۰)	بر اساس نتایج این پژوهش، چنانچه شرایط رقابت کامل بر بازار حاکم و هزینه‌های مبادله صفر باشد، تخصیص بهینه و تشکیل بازار آب منجر به تخصیص نهایی مشابه حقوق آب و منافع آبیاری برای کل جامعه می‌شوند و از قوانین سهمیه‌بندی ثابت و متناسب کارآمدتر هستند؛ همچنین، با کاهش دسترسی به منابع آب، منافع حاصل از تجارت آب افزایش و با افزایش هزینه‌های مبادله، حجم آب مبادله شده و منافع حاصل از تجارت آب کاهش می‌یابد.
بررسی نقش بازار در تخصیص بهینه آب در دشت شازند	کارخانه و همکاران (۱۳۹۹)	نتایج این پژوهش نشان می‌دهد برقراری بازار آب، تأثیر مثبت ۴/۳۳ درصدی در سود ناخالص کشاورزان منطقه شازند خواهد داشت. براساس نتایج، پیشنهاد می‌شود جهت مدیریت بهینه تقاضای آب در اراضی شازند، بستر لازم برای شکل‌گیری بازار آب فراهم شود و کشاورزان منطقه باید محصولات صادرات‌گرا و تجاری مانند لوبیای چیتی، لوبیای سفید، نخود و عدس و ... را که سودآوری بیش‌تری دارد را جایگزین محصولات با مصرف بالای آب و سود پایین کنند.
بررسی بازارهای محلی آب در استان خراسان شمالی (مطالعه موردی اراضی پایین دست سد بارزو شیروان)	کرامت زاده و عربی (۱۳۹۹)	نتایج این مطالعه نشان می‌دهد مبادلات غیر رسمی و پراکنده آب در بین بهره‌برداران وجود دارد و بیش از ۴۵ درصد بهره‌برداران مصاحبه شده اقدام به مبادله آب نموده‌اند که حدود ۷۰ درصد آنها به عنوان خریدار و ۳۸ درصد به عنوان فروشنده در بازار مشارکت داشته‌اند. همچنین در مجموع بیش از ۹۱ درصد بهره‌برداران منطقه تمایل به ایجاد بازار آب دارند. بر این اساس توصیه می‌شود جهت استفاده بهینه منابع آب و جلوگیری از شدت بحران آب در منطقه، بازارهای محلی آب مشابه نمونه موفق آن در منطقه مجن شاهرود ایجاد و تقویت شود.
بررسی عملکرد بازار غیررسمی آب در مقایسه با یک نمونه بازار رسمی؛ مطالعه موردی منطقه مجن	متین جو و علیزاده (۱۳۹۹)	نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد بر اثر وجود بازار غیررسمی در منطقه و گسترش روابط تعاملی بین زارعین و باغداران، میانگین تعداد افرادی که قادر به تأمین کامل نیاز آبی خود نبوده‌اند، از ۸ نفر به ۵۵ نفر در سال، کاهش یافته است. همچنین، این نتیجه به دست آمد که با رفع برخی چالش‌ها و مهیاسازی محیطی تعاملی برای زارعین و باغداران، یک بازار غیررسمی آب می‌تواند، بدون نیاز به تبدیل شدن به یک بازار رسمی، عملکردی نزدیک به ۸۰ درصد یک بازار رسمی را داشته باشد. این مسئله بیانگر اهمیت والای بازارهای آب غیررسمی است. عدم کاهش سطح زیر کشت به شکل چشم‌گیر، در مواقع کاهش بارش سالیانه، به واسطه‌ی وجود بازار آب، از دیگر نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است.
توسعه یک مدل عامل‌بنیان هیدرولوژیکی-اقتصادی برای شبیه‌سازی بازار آب منطقه مجن	متین جو و علیزاده (۱۳۹۹ ب)	این پژوهش به بررسی چگونگی تخصیص و مبادله آب بین کشاورزان منطقه مجن می‌پردازد. نتایج مدل نشان می‌دهد با تلاش در جهت ترفیع مشکلات و فراهم آوردن محیطی مناسب برای مبادله آب، می‌توان تا حدود مطلوبی از این نوع بازارهای آب بهره برد. با برقراری بیشتر تعاملات مناسب بین کشاورزان و همکاری شرکت آبیاری مجن، بازار آب می‌تواند شامل نتایج سودبخشی باشد. به نحوی که با افزایش این تعاملات بین کشاورزان، میانگین تعداد کشاورزان زیر خط فقر می‌تواند تا ۲۵ درصد کاهش یابد. عملکرد بازار پیرامون جلوگیری از کاهش سطح زیرکشت در سال‌های نسبتاً کم‌باران نیز مورد توجه واقع شده است؛ به‌صورتی که در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷، با کاهش چشم‌گیر بارش، کاهش سطح زیرکشت اندک بوده است.

عنوان مقاله	نویسندگان (سال)	نکات برجسته پژوهش
نقش تشکیل بازار آب در میزان استفاده از منابع آبی در بخش کشاورزی (مطالعه موردی دشت مشهد)	ابوالحسنی و همکاران (۱۳۹۸)	نتایج پژوهش نشان داد با تشکیل بازار آب در منطقه مورد بررسی، الگوی کشت به سمت محصولات با سوددهی بالاتر سوق پیدا می‌کند. همچنین در استفاده از آب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در منطقه شکل می‌گیرد به نحوی که پس از تشکیل بازار آب در شهرستان‌های مشهد، چناران و طرقبه - شاندیز میزان مصرف آب به ترتیب با کاهش ۳۷، ۲۳/۸۵ و ۲۹/۰۹ درصدی مواجه می‌شود که نشان‌دهنده مفید بودن تشکیل بازار آب در راستای کاهش استفاده از منابع آبی در منطقه است. پژوهشگران معتقد هستند که در صورت وجود یک سیستم حقوق مالکیت خصوصی با قابلیت انتقال منابع آبی، ایجاد و توسعه بازار آب سبب افزایش ضریب اطمینان دسترسی به آب و کاهش ریسک کشاورزان می‌شود و به نحو مطلوبی مدیریت و تخصیص بهینه آب را منعکس می‌کند.
مطالعه تطبیقی تجربه‌های بین‌المللی بازار آب	واحدی زاده و همکاران (۱۳۹۷)	باتوجه به تجربیات ناچیز بازار آب در ایران، در این مقاله مروری تلاش شده است تا با بررسی ساختار بازار آب کشورهای استرالیا، آمریکا، شیلی، اسپانیا و چین و مقایسه عملکرد آن‌ها از جنبه‌های مختلف، به تحلیل عوامل مؤثر بر بازدهی این ابزارها پرداخته شود.
اثرات تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای بر تعادل بخشی عرضه و تقاضای آب آبیاری در منطقه سیستان	بدیع برزین و همکاران (۱۳۹۷)	نتایج این پژوهش نشان می‌دهد با برقراری بازارهای آب منطقه‌ای در سطح منطقه سیستان، افزون بر ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب آبیاری و متعادل شدن داد و ستد آب بین مناطق مورد مطالعه، سطح زیرکشت محصولات گندم و جو آبی نسبت به شرایط عدم وجود بازار آب افزایش و سطح زیرکشت یونجه، پیاز، هندوانه و خربزه کاهش می‌یابد. همچنین در این پژوهش باتوجه به نقش حمایتی و سازنده بازارهای آب منطقه‌ای، مهیا کردن زمینه لازم برای برقراری و استفاده بهینه از این نوع سازوکارها در منطقه سیستان و سایر مناطقی از کشور که دارای منابع آبی مشترک هستند، پیشنهاد شده است.
توسعه چارچوب بازار آب بین بخشی برای ارتقای بازدهی اقتصادی مصرف آب زیرزمینی	ذوالفقاری پور و همکاران (۱۳۹۹)	در این مقاله یک چارچوب کارآمد برای تخصیص بهینه منابع آب زیرزمینی در محدوده فعالیت بازار آب محلی موجود در دشت اصفهان-برخورار ارائه شده است. چارچوب پیشنهادی این قابلیت را دارد که علاوه بر تسهیل در اجرای سیاست کاهش مجوزهای آب زیرزمینی، بازدهی اقتصادی استفاده از این مجوزها را نیز بهبود دهد.
بازار آب و وعده‌های آن برای مدیریت تقاضای آب	طهماسبی و عسکری بزایه (۱۳۹۶)	این پژوهش با رویکرد مروری-تحلیلی ضمن معرفی پارادایم جدید مدیریت منابع آب-مدیریت مبتنی بر تقاضا- بر مدیریت تقاضای مبتنی بر بازار آب، مفاهیم و ویژگی‌های آن و ارائه چشم‌اندازی از پتانسیل این رهیافت برای مقابله با چالش‌های کمیابی آب تمرکز نموده است. پژوهشگران معتقد هستند، تقویت و تحریک صرفه‌جویی در آب؛ افزایش دسترسی به آب؛ بهبود انعطاف‌پذیری در جامعه؛ بهبود بهره‌وری آب و بهره‌وری تخصیص؛ بازگرداندن آب به طبیعت؛ و بهبود حسابداری برای استفاده و دسترسی‌پذیری آب از جمله وعده‌ها و مزایای رهیافت بازار آب برای مدیریت تقاضای آن و مقابله با چالش‌های کمیابی موجود هست.
بازار آب در تئوری و عمل: شکست بازار و سیاست عمومی	نظری، ۱۳۹۵	پژوهشگر معتقد است توانایی بازار برای تخصیص کارآ و بهینه آب بدون محدودیت نبوده و در آن ریسک‌هایی وجود دارد که ممکن است طراحی نامناسب ساختار بازار به شکست آن منجر شود در این پژوهش مواردی که منجر به ناکارآمدی بازار و شکست بازار می‌شود تبیین شده است.
ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبیاری مهیار	احمدی و همکاران (۱۳۹۵)	نتایج پژوهش نشان داد بازده برنامه‌ای کشاورزان پس از ایجاد بازار به میزان ۲۸ درصد نسبت به حالت پایه افزایش می‌یابد. همچنین حجم آب مبادله شده در بازار ۴۷ درصد از حجم آب مصرفی است که نشان‌دهنده مشارکت بالای کشاورزان در بازار، جهت تخصیص بهینه‌تر آب است.
چالش‌ها و ملاحظات حقوق بازار آب محلی، مطالعه موردی: دشت اصفهان-برخورار	احمدی و همکاران (۱۳۹۷)	در این پژوهش با بررسی وضعیت مبادلات موجود در محدوده پالوت دشت برخوار، چالش‌ها و ملاحظات که برای موفقیت این بازار وجود دارد، مشخص شده است. براساس بازدیدهای میدانی صورت گرفته در منطقه، عموماً مبادلات بین بخشی مورد توجه است. به طوری که صنایع وابسته به بخش کشاورزی و صنایع ساختمانی به صورت بالقوه و بالفعل، تمایل به خرید آب از چاه‌های کشاورزی دارند. نتایج نشان می‌دهد برای تشکیل بازار آب کارآمد لازم است با تقویت قوانین تشویقی و اصلاح قوانین بازدارنده، مواردی همچون صدور سند جداگانه و مستقل از زمین برای برداشت‌ها، اصلاح و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری، تجهیز چاه‌های منطقه به کنتورهای هوشمند و ایجاد تشکلهای آب‌بران زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد.

عنوان مقاله	نویسندگان (سال)	نکات برجسته پژوهش
توسعه ساختار جدید بهره‌برداری- اقتصادی در شبکه‌های آبیاری فاقد بازار آب	حسنی و همکاران (۱۳۹۹)	این پژوهش به معرفی رویکرد بهره‌برداری- اقتصادی به عنوان راهبرد جدیدی در بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری پرداخته است. برای رسیدن به این مهم، دو مدل مجزای اقتصادی و بهره‌برداری با هم تلفیق شدند. هدف کلی از تلفیق این مدل‌ها در قالب ساختار توسعه یافته واحد، تحویل و توزیع بهینه آب به واحدهای زراعی شبکه آبیاری بر اساس متوسط ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی واقع در الگوی کشت موجود آنهاست.
بررسی پیامدهای اقتصادی بازارهای محلی آب (بررسی موردی شهرستان اردبیل)	کیانی و باقری (۱۳۹۵)	بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که آب در بازارهای محلی بر اساس ارزش اقتصادی آن تخصیص می‌یابد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد خرید آب به قیمت بازار نه فقط سبب کاهش درآمد زارعین نشده بلکه به دلیل ارزش اقتصادی بالای آب سبب افزایش درآمد زارعین بین ۱/۸ تا ۲۳/۹ درصد نیز شده است. بر این اساس بازارهای محلی آب می‌تواند به عنوان سازوکار مناسب برای جبران مازاد تقاضا، تخصیص بهینه و افزایش بهره‌وری مصرف آب و کاهش هزینه‌های دولت استفاده شود.
نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب و عوامل موثر بر کارایی بازار آب	کیانی (۱۳۹۵)	در این پژوهش برخی از مهمترین عوامل موثر در کارایی بازار آب از جمله تعریف شفاف حقایقها، تفکیک مالکیت آب از زمین، تضمین مبادلات، کاهش هزینه‌های اداری، تبادل شفاف اطلاعات، بهره‌گیری از سازوکار مناسب تخصیص اولیه حقایقها و معرفی شده است.
ارزش اقتصادی، رویکردی برای مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی مطالعه موردی: صنایع تولید مواد شیمیایی	تهامی پور زرنندی (۱۳۹۶)	این مطالعه با هدف برآورد ارزش اقتصادی آب برای صنایع تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت که حدود ۱۴ درصد مصرف آب را در بین فعالیتهای صنعتی کشور را به خود اختصاص داده است، انجام شده است. نتایج نشان داد هزینه آب در فرایند تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت حدود ۱/۳ درصد کل هزینه‌های تولید را شامل می‌شود. بر اساس یافته‌های به دست آمده، پژوهشگر نتیجه می‌گیرد امکان افزایش تعرفه آب در قالب سیاست تبعیض قیمت بین کدهای صنعتی در راستای مدیریت تقاضای آب وجود دارد. همچنین اطلاعات فراهم شده در این مطالعه می‌تواند برای بهینه‌سازی درآمد شرکت‌های متولی آب و امکان‌سنجی طرح‌های توسعه منابع آب در بخش صنعت مفید باشد.
امکان‌سنجی و زمینه‌های تشکیل بازار آب	کانونی و همکاران (۱۳۹۵)	در این پژوهش، پژوهشگران ضمن ارائه مفهوم بازار آب از دیدگاه اقتصادی به اهمیت این نهاد در بازتخصیص آب در میان مصرف کنندگان پرداخته شده است. پژوهشگران معتقد هستند محدودیت در منابع آب موجود، اختلاف در ارزش استفاده از آب بین مصرف کنندگان مختلف و امکان ایجاد ارتباط و تسهیلات نهادی از زمینه‌های تشکیل بازار آب به شمار می‌روند که با وجود چنین زمینه‌هایی می‌توان به تشکیل بازار آب اقدام نمود. آنچه که عملکرد یک بازار آب را تقویت و مسیر موفقیت آن را تسهیل می‌کند مشخصات فنی مورد نیاز بازار آب است که از آن جمله می‌توان به زیرساخت‌های فیزیکی انتقال و تحویل آب و همچنین ابزارهای اندازه‌گیری آب تحویلی اشاره نمود.
تشکیل بازار آب از دیدگاه اقتصاد اسلامی	صادقی و آسایش (۱۳۹۵)	یکی از راهکارهای جلوگیری از شرایط حاد آبی کشور امکان تشکیل بازار آب است که این موضوع در این تحقیق هم از بعد فنی و هم از بعد اسلامی بررسی می‌شود. که باتوجه به عملکرد امروزه امکان تشکیل بازار محلی آب وجود دارد که باید در این بازار، قواعد و اصول فقه از قبیل لاضرر، عدم اتلاف و اسراف نفی عسر و حرج و ... رعایت شود.
بررسی آثار رفاهی تخصیص بازاری منابع آب در اقتصاد ایران	یوسفی و همکاران (۱۳۹۳)	این پژوهشگران معتقد هستند ارزش واقعی آب در سیستم حسابداری ملی و چرخه پولی اقتصاد در نظر گرفته نمی‌شود و از مهمترین راهکارهای مقابله با کم آبی تخصیص بهینه بر اساس ایجاد بالاترین ارزش است. هدف این مطالعه ارزیابی آثار رفاهی تغییر روش تخصیص منابع آب از دستوری به بازاری در اقتصاد کشور بوده است. باتوجه به ارتباطات پسین و پیشین بخش آب با سایر بخش‌ها؛ در این مطالعه از مدل تعادل عمومی استفاده شده است. نتایج ایجاد بازار آب در شرایط کم آبی نشان می‌دهد رفاه خانوارهای شهری و روستایی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین رفاه دهک‌های بالای روستایی در مقایسه با دهک‌های پایین افزایش چشمگیری دارد که نشانگر آن است که دهک‌های بالاتر سهم بیشتری از مالکیت زمین‌های دارای حقایقها را دارند.
بررسی نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب	جفره و علیزاده (۱۳۸۸)	پژوهشگران پیشنهاد می‌دهند به منظور افزایش کارایی مصرف آب، افزایش درآمد زارعین، کاهش ریسک درآمد زارعین، افزایش سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در صنعت آب کشور، افزایش مشارکت مردم در مدیریت منابع آب و کاهش هزینه‌های دولت در مدیریت و توزیع منابع آب، تشکیل و تقویت بازارهای آب مورد توجه سیاست‌گذاران صنعت آب و بخش کشاورزی قرار گیرد.

عنوان مقاله	نویسندگان (سال)	نکات برجسته پژوهش
رویکرد بازار آب و الزامات آن	جعفری (۱۳۸۳)	این مقاله تقویت و تشکیل بازارهای آب را یکی از رویکردهای محوری در مدیریت منابع آب معرفی می کند. در این پژوهش الزامات تشکیل بازارهای آب به اصلاحات در ساختار قوانین و حقوق آب، اصلاحات نهادی و سازمانی و توسعه شبکه های انتقال و آبرسانی طبقه بندی می شود. همچنین عواملی همچون تصریح حقوق آب، بازبینی در قوانین آب با رسمی شمردن مبادله و خرید و فروش آب، آزادی ورود و خروج به بازار، تشکیل نهادهای ناظر، بانک های آب و مراجع و نهادهای محلی حل اختلاف از جمله برنامه های اولویت دار در تشکیل این بازارها معرفی شده است.

۴. چگونه و با استفاده از چه راهکارهایی می توان برای رفع چالش ها و تقویت فرصت های بازار آب در استان سمنان اقدام کرد؟
۵. پیامد و رهاوردهای مثبت و منفی بازار آب برای استان سمنان کدامند؟

مواد و روش ها

پژوهش حاضر از حیث هدف در دسته پژوهش های کاربردی قرار دارد و از حیث نوع پژوهش کمی، کیفی؛ یک پژوهش کیفی به شمار می آید. از حیث نحوه گردآوری اطلاعات، پژوهشی پیمایشی است. ابزار گردآوری اطلاعات در این پژوهش شامل دو دسته مطالعات کتابخانه ای (مرور اسناد، کتب، مقالات و متون منتشر شده در خصوص بازار آب) و مطالعات میدانی است که در این بخش از ابزار مصاحبه عمیق نیمه ساختار یافته استفاده شده است. به منظور اینکه ارزیابی جامع و کامل باشد و ملاحظات تمامی ذی نفعان و ذی مدخلان در حوزه آب در این ارزیابی لحاظ شود مطابق توصیه سازمان همکاری های اقتصادی و توسعه^{۱۸} (OECD، ۲۰۱۸)، مشارکت کنندگان پژوهش شامل کلیه کاربران (داخلی، صنعت، آبیاری و دیگران)؛ بازیگران راهبردی و خط مشی (نهادهای فراملی، دولت ملی؛ دولت منطقه ای، دولت محلی، موسسات آبخیزداری و تنظیم کنندگان)؛ اپراتورها (ارائه کنندگان خدمات و انجمن های آنها)؛ گروه های ذی نفع و گروه های تاثیر گذار (جامعه مدنی، انجمن بهره برداران، اتحادیه کارگری، رسانه، علم و نهاد دانشگاه)؛ بازیگران مالی (نهادهای مالی، واقفان و اهدا کنندگان) و بازیگران کمتر دیده شده (زنان، جوانان، کشاورزان امرار و معاش، فقرا، حاشیه نشینان، انجمن های خارج از حوزه آب که در مسائل حکمرانی نقش دارند، زاغه نشینان و طبیعت) بود که متن ۲۴ مصاحبه انجام شده با مشارکت کنندگان (جدول ۲) در قالب رویکرد پدیدار شناسی تجزیه و تحلیل شد. هدف پژوهش پدیدارشناسی، توصیف صریح و شناسایی پدیده ها است، آنگونه که در موقعیتی خاص از سوی افراد ادراک می شوند (اعرابی و بودلایی، ۱۳۹۰). در واقع پدیدارشناسی به توصیف معانی یک مفهوم یا پدیده از دیدگاه عده ای از مردم و برحسب تجارب زیسته^{۲۰} آنان در آن مورد می پردازد (اعرابی و بودلایی، ۱۳۹۰). پدیدارشناسی به عنوان روشی برای درک عمیق از تجربه زیسته افراد، ابزاری قدرتمند برای مطالعه پیچیدگی های طرح

با وجود اهمیت موضوع و اجرای آزمایشی طرح بازار آب در سمنان، پژوهش های جامع و عمیقی که به صورت اختصاصی به بررسی چالش ها و فرصت های این طرح در استان سمنان پرداخته باشند، بسیار محدود است. به صورت کلی مرور پژوهش های انجام شده در داخل و خارج وجود شکاف نظری در موارد زیر را نمایان می کند.

- **تمرکز بر سطح ملی:** بسیاری از پژوهش های انجام شده در حوزه بازار آب، به بررسی کلیات این طرح در سطح ملی و مقایسه آن با سایر کشورها پرداخته اند. درحالی که شرایط هر استان و ویژگی های خاص منابع آب آن، نیازمند بررسی های دقیق تر و محلی است.
- **تاکید بر تجربه زیسته:** مطالعات پیشین در این حوزه اغلب بر ابعاد کمی و عینی شکاف نظری تمرکز داشته اند و کمتر به تجربه زیسته افراد و ابعاد کیفی و معنایی این شکاف پرداخته اند و رویکرد پدیدارشناسی مورد استفاده در پژوهش حاضر با تمرکز بر تجربه زیسته افراد، امکان درک عمیق تر از دلایل و پیامدهای شکاف نظری را فراهم می کند.
- **عدم توجه به ابعاد اجتماعی و فرهنگی:** اغلب پژوهش ها به ابعاد فنی و اقتصادی بازار آب پرداخته اند و کمتر به ابعاد اجتماعی و اثرات آن بر جوامع محلی توجه کرده اند. علاوه بر ابعاد فنی و اقتصادی، این پژوهش به ابعاد اجتماعی، فرهنگی و نهادی بازار آب نیز توجه دارد.
- **کمبود مطالعات موردی:** مطالعات موردی دقیق و عمیق در مورد اجرای طرح بازار آب در استان های مختلف، بسیار محدود است. درحالی که مطالعات موردی می توانند درک عمیق تری از چالش ها و فرصت های این طرح فراهم آورند.

با وجود اجرای طرح بازار آب در چندین استان ایران، پژوهشی که به بررسی دقیق چالش ها و فرصت های این طرح در هر استان به صورت جداگانه پرداخته باشد وجود ندارد. بر این اساس پژوهش حاضر با تمرکز بر استان سمنان به عنوان یکی از استان های پایلوت اجرای طرح بازار آب، تلاش می کند تا به سوالات زیر پاسخ دهد:

۱. چه انگیزاننده ها و محرک هایی برای راه اندازی بازار آب در استان سمنان وجود دارد؟
۲. چه چالش ها و موانعی بر سر راه اجرای طرح بازار آب در استان سمنان وجود دارد؟
۳. چگونه اصلاح حکمرانی آب در استان سمنان می تواند بر کارایی و اثربخشی بازار آب تاثیر گذار باشد؟

بازار آب در استان سمنان است. با تمرکز بر معنا و مفهوم که افراد به این طرح می‌دهند، پدیدارشناسی این امکان را می‌دهد تا فراتر از آمار و ارقام، به دلایل و انگیزه‌های پشت رفتارهای افراد دست پیدا کرد. در این پژوهش خاص، پدیدارشناسی کمک می‌کند تا: تجربه‌های چند وجهی ذی‌نفعان مختلف را درک کرد و به تفاوت‌های دیدگاه‌ها و نگرانی‌های آبی آن‌ها پی برد؛ چالش‌ها و فرصت‌های بازار آب از منظر افرادی که مستقیماً درگیر این طرح هستند، بررسی نمود و

به درک عمیق‌تری از این موضوع دست پیدا کرد؛ اثرات اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی طرح بازار آب را بر زندگی روزمره مردم ارزیابی کرد؛ موانع و تسهیل‌کننده‌های اجرای موفق طرح بازار آب را شناسایی کرد و پیشنهادهایی برای بهبود طرح و افزایش مشارکت مردم ارائه داد. با استفاده از پدیدارشناسی، می‌توان به یک درک جامع و چند بعدی از طرح بازار آب در استان سمنان دست پیدا کرد و نتایج پژوهش را برای بهبود سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در این حوزه به کار برد.

جدول ۲- مشارکت کنندگان در پژوهش

دسته	سمت- جایگاه	تعداد
بهره‌برداران (U)	کشاورز فعال، مدیر شرکت صنعتی مستقر در شهرک صنعتی، کارشناس شرکت صنعتی مستقر در شهرک صنعتی	۷
بازیگران راهبردی و خط‌مشی (PA)	مرکز پژوهش‌های مجلس (اندیشکده حکمرانی و قانون‌گذاری استان سمنان)، مدیران و کارشناسان استانداری، مدیران و کارشناسان سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، مدیران و کارشناسان جهاد کشاورزی استان، مدیران و کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان، مدیران و کارشناس اداره کل محیط‌زیست استان	۶
اپراتورها و ارائه دهندگان خدمات (O)	مدیران و کارشناسان شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان	۶
گروه‌های ذی‌نفع و گروه‌های تأثیرگذار (St)	اتحادیه صنف کشاورزان استان، پژوهشگران و اعضای هیات علمی فعال در حوزه آب، روزنامه نگار و فعال رسانه، فعال جامعه مدنی، عضو سازمان مردم نهاد مرتبط	۲
بازیگران مالی (Fi)	مدیران و کارشناسان حوزه اقتصادی استان (استانداری، سازمان مدیریت، سازمان امور مالیاتی)، پیمانکاران و سرمایه‌گذاران	۱
بازیگران کمتر دیده شده (NA)	کشاورزان معیشتی با سطح درآمدی کم، زنان، جوانان	۲

یافته‌های پژوهش

مصاحبه‌های عمیق یکی از مهمترین ابزارهای جمع‌آوری داده در پدیدارشناسی است. در این پژوهش، از سوالات باز و گسترده‌ای همچون "چه تجربیاتی از چالش‌های تدوین و اجرای طرح بازار آب در استان سمنان دارید و چگونه این چالش‌ها بر فعالیت‌های شما تأثیر گذاشته است؟ چه دلایلی در استقبال کم بازار آب موثر است؟ در طول تدوین و آماده کردن مقدمات بازار آب و اجرای طرح بازار آب، چه تغییراتی در نحوه حکمرانی آب در استان سمنان مشاهده کرده‌اید؟ این تغییرات چه تأثیری بر تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات شما داشته است؟ به نظر شما، چه راهکارهایی برای رفع چالش‌های موجود و تقویت فرصت‌های بازار آب در استان سمنان پیشنهاد می‌شود؟" استفاده شده

است تا به شرکت کنندگان اجازه داده شود تا آزادانه درباره تجربیات خود صحبت کنند. جهت پیاده‌سازی استراتژی پژوهش ابتدا داده‌های جمع‌آوری شده (صوتی، نوشتاری و متنی) به متن تبدیل شد سپس اقدام به استخراج کدها و افقی‌سازی کدها (به این معنی که یعنی آنکه پژوهشگر با همه گزاره‌های معنادار یکسان برخورد کند) شد که آغاز تحلیل داده‌های پژوهش در تحقیق پدیدارشناسی به شمار می‌رود. در این مرحله توضیحات کلامی هر شرکت‌کننده در پژوهش، در ارتباط با موضوع بازار آب، کاملاً تحلیل شد. همه اظهارات و توضیحات، اهمیت و ارتباط یکسانی دارند. گزاره‌های مهم به دست آمده واحدهای معنایی آشکاری را برای شرکت کنندگان در تحقیق تشکیل می‌دهند. در افقی‌سازی براساس انتزاع تجارب مشارکت کنندگان براساس الگوی زیر انجام می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- نمونه کدگذاری و افقی‌سازی تجارب مشارکت کنندگان

کد مصاحبه	قسمتی از متن مصاحبه (گزاره‌های معنادار)	بازنویسی معنا	مضمون‌های اولیه دارای ارزش یکسان	مضامین اصلی
U01	"من عمرمو پای این زمین‌ها گذاشتم و آب و خاک این زمین برام از جونم عزیزتره. حالا در مورد این بازار آب که میگن، راستش تا چند وقت پیش زیاد چیزی در موردش نمی‌دونستم. ولی کم‌کم حرفاش بین کشاورزا پیچیده. می‌گن قراره یه سیستمی راه بندازن که بتونیم یه بخشی از آب زمینمون رو که اضافه‌می‌آد، به کارخونه‌ها و صنایع بفروشیم. البته این حرفا تازه تازه داره بینمون جامی افته و خیلی‌ها هنوز بهش اعتماد ندارن..."	آب برای کشاورز اهمیت حیاتی دارد	تعبص به خاک، آب	نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
		عدم آگاهی یا عدم اطلاع (اطلاع محدود) از طرح بازار آب	آگاهی بخشی و اطلاع رسانی	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش روی توسعه پایدار بازار آب

کد مصاحبه	قسمتی از متن مصاحبه (گزاره‌های معنادار)	بازنویسی معنا	مضمون‌های اولیه دارای ارزش یکسان	مضامین اصلی
U01	"آب کجا بود؟ اصلاً آب کفاف ما رو نمیده، انتظار داری این آب اضافه بیاد و من اضافه‌اش رو بفروشم؟ اگر اضافه اومد چشم دو دستی به شما تقدیم می‌کنم"	جدی نگرفتن طرح از جانب کشاورزان	عدم وجود اراده از جانب فروشندگان	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب
	"چطور این همه سال نیومدن از ما آب بخرن؟ الان که کفگیر به ته دیگ خورده میخوان آب ما رو بخرن؟ ما واقعا مشکل داریم هیچکی هم براش مهم نیست ما چی می‌گیم"	بی اعتمادی به بازار آب و سیاست‌های آب وجود دارد	ضعف اعتماد عمومی	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
	"آره، همینطوره، آب که کم میاد، زمین تشنه می‌مونه، بعد یهو میگن بیاین آب زمینتون رو بفروشین! آدم شک می‌کنه، مگه میشه به این طرح اعتماد کرد؟ مگه معلومه این طرح دووم بیاره یا نه؟"	منطقه با کم آبی مفرط مواجه است	آمادگی هیدرولوژیکی برای اجرای بازار آب	نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
	اصلاً این طرح خیلی پیچیده است. ما کشاورزا که سرمان به کار خودمان گرم است، نمی‌فهمیم این همه قانون و مقرره برای چی است. می‌ترسم این طرح فقط به نفع یه عده خاص باشه و ما ضرر کنیم. ما به جای این همه طرح و برنامه، دنبال یه راهکار ساده و عملی هستیم. راهکاری که هم آب زمین‌های ما تأمین بشه و هم زندگی‌مون بهتر بشه"	کشاورز به طرح بازار آب مشکوک است و خوشبین نیست	ضعف اعتماد عمومی	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
	"ببینید، این طرح بازار آب یه موضوع خیلی پیچیده است و همه جوابان اون هنوز برای ما کشاورزا روشن نیست. ما نگران این هستیم که این طرح به جای اینکه به نفع ما باشه، باعث بشه بیشتر از قبل زمین‌هایمون خشک بشه و مجبور بشیم کشاورزی رو رها کنیم خیلی از کشاورزا سواد کافی ندارن و از پیچیدگی‌های این طرح سر در نمیارن. ممکنه بهشون اطلاعات نادرست داده بشه و در نهایت به ضررشون تمام بشه."	در خصوص آینده بازار آب ابهامات زیادی وجود دارد	عدم استمرار طرح	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب
	"این بازار آب که شما راه انداختید، انگار می‌خواد ما کشاورزا رو از زمین و آهون جدا کنه. ما به این زمین‌ها وابسته‌ایم و نمی‌تونیم ازشون دل بکنیم."	افراد احساس پیچیده بودن طرح بازار آب دارند.	آگاهی بخشی و اطلاع‌رسانی	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
	"می‌گن با فروش آب به کارخونه‌ها، وضعیتمون بهتر میشه، اما من که چیزی نفهمیدم. فقط می‌بینم که آهون خشک می‌شه و زمین‌هایمون داره ترک می‌خوره."	باید زمینه چینی برای اجرای طرح اتفاق بیافتد	آماده کردن افکار عمومی	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
	"این همه سال زحمت کشیدیم تا این زمین‌ها رو آباد کنیم. حالا می‌خوان با یه طرحی همه زحمتمون به باد بره؟"	احساس تبعیض وجود دارد	تبعیض درک شده	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب
	"ما کشاورزا سواد زیادی نداریم و نمی‌تونیم خودمون رو با این همه قانون و مقررات وفق بدیم. کی قراره به فکر ما باشه؟"	قوانین و مقررات زیاد و تا حدودی پیچیده کشاورز را سردرگم کرده است.	زبان ساده	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب؛ سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب
	"این طرح بازار آب، بیشتر به نفع کارخونه‌ها و صنعتگراست تا ما کشاورزا. ما فقط ابزار شدیم برای اینکه اونا به آب بیشتری دسترسی پیدا کنن."			

کد مصاحبه	قسمتی از متن مصاحبه (گزاره‌های معنادار)	بازنویسی معنا	مضمون‌های اولیه دارای ارزش یکسان	مضامین اصلی
U11	"به طور کلی صنعت ما برای تولید به آب فراوانی نیاز دارد و باتوجه‌به شرایط اقلیمی منطقه و کاهش بارندگی‌ها، تامین این آب به یکی از دغدغه‌های اصلی ما تبدیل شده به نظرم این طرح بازار آب برای صنعتگر استان به‌خصوص صنعتگری که تازه می‌خواهد کسب و کارشو راه بندازه فرصت‌های زیادی ایجاد می‌کند با خرید آب از کشاورزان می‌توانم اطمینان حاصل کنم که همیشه به میزان کافی آب برای تولید محصولاتم دسترسی داره. با خرید آب از کشاورزان می‌توانم هزینه‌های تولید را کاهش دهم، چون هزینه‌های حفر چاه و تصفیه آب زیاده و استفاده از پساب هم که حالا حالا ها شدنی به نظر نمی‌رسد حتی اگه مجوز حفر چاه هم به صنعتگر بدهند، از طرفی با دسترسی به آب کافی، قاعدتا ظرفیت تولید کارخانه افزایش داده و به بازارهای جدیدتری به دست میاد. خرید آب به نفع خود کشاورز هم هست، با خرید آب از کشاورزان، می‌تونیم به بهبود وضعیت اقتصادی آن‌ها کمک کنم و به توسعه پایدار منطقه کمک کنیم. البته این نگرانی وجود داره که قیمت آب به مرور زمان افزایش پیدا کنه و هزینه‌های تولید را برای صنعتگر افزایش بده؛ نگرانم که این طرح در درازمدت موفق نباشد و ما مجبور شویم دوباره به دنبال منابع آبی دیگری باشیم. باید اطمینان حاصل شه که با اجرای این طرح، حق آبه‌های کشاورزان تضمین شود و در آینده با کمبود آب روبرو نشویم." "به عنوان یک صنعتگر، از مسئولین درخواست دارم قوانین و مقررات مربوط به بازار آب رو به صورت شفاف و واضح برای همه فعالان اقتصادی توضیح بده. به نظرم برای اجرای موفق این طرح، باید زیرساخت‌های لازم مانند سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند فراهم شه، باید از کشاورزان حمایت بشه تا آن‌ها بتونن با خیال راحت بخشی از آب خود را به صنایع بفروشند، بر کیفیت آبی که به صنایع فروخته میشه هم باید نظارت کنیم" "طرح بازار آب، اگرچه فرصت‌های زیادی برای صنایع ایجاد می‌کند، اما نیازمند یک نظارت دقیق و مداوم است. باید از ایجاد انحصار در بازار آب جلوگیری شود و همه صنایع بتوانند به طور برابر به این منبع حیاتی دسترسی داشته باشند."	استان به توسعه صنعتی نیازمند است	تقاضای آب در بخش صنعت	پیامدها و رهاآوردهای بازار آب؛ نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
		نیاز صنایع جدید استان به آب	کاهش هزینه‌های تولید	پیامدها و رهاآوردهای بازار آب؛ نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
		دسترسی به تولید بیشتر	افزایش بهره‌وری	پیامدها و رهاآوردهای بازار آب؛ نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
		خرید آب از کشاورز به مثابه مسئولیت اجتماعی شرکت	مسئولیت اجتماعی شرکت	پیامدها و رهاآوردهای بازار آب
		مبهم بودن شیوه تعیین قیمت‌ها	قیمت آب	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیشروی توسعه پایدار بازار آب
		مدنظر قرار دادن قیمت متناسب با کیفیت آب	کیفیت آب	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیشروی توسعه پایدار بازار آب
		ابهام در آینده و تداوم داشتن بازار آب	تداوم و استمرار بازار آب	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیشروی توسعه پایدار بازار آب
		اطمینان دادن به طرفین معامله	تضمین تامین آب در آینده	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب
		تصریح قانون	شفاف‌سازی قوانین و مقررات	الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
		نیاز طرح به زیرساخت‌های خاص	تامین زیرساخت‌ها	الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
توجه به معیشت کشاورز	حمایت از کشاورزان	نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب		
مدنظر قرار دادن قیمت متناسب با کیفیت آب	نظارت بر کیفیت آب	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب		

کد مصاحبه	قسمتی از متن مصاحبه (گزاره‌های معنادار)	بازنویسی معنا	مضمون‌های اولیه دارای ارزش یکسان	مضامین اصلی
PA01	"طرح بازار آب، ابتکاری نوین و رو به رشدیه که می‌تواند تحولی شگرف در مدیریت منابع آب استان سمنان ایجاد کنه. این طرح به دنبال ایجاد یک سازوکار کارآمد برای تخصیص بهینه آب بین بخش‌های مختلف، از جمله کشاورزی، صنعت است."	طرح بازار آب یک روش جدید و مؤثر برای مدیریت بهتر آب در استان است که به توزیع عادلانه آب بین بخش‌های مختلف کمک می‌کند.	نواوری، تخصیص بهینه آب، مدیریت منابع آب	الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار؛ نیروهای محرکه، عوامل مؤثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
	"استان واقعا با کمبود آب، افزایش تقاضا برای آب در بخش صنعت و حتی خدمات مواجه است، و لزوم بهبود بهره‌وری در مصرف آب جدیست. با ایجاد بازار آب، انگیزه‌های لازم برای صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده بهینه از این منبع ارزشمند فراهم می‌شه. همچنین، این طرح می‌تواند به افزایش درآمد کشاورزان و رونق اقتصادی منطقه کمک شایانی کند"	استان با مشکل کمبود آب روبه‌رو است و باید در مصرف آب صرفه‌جویی کنیم. بازار آب می‌تواند به بهبود بهره‌وری و افزایش درآمد کشاورزان کمک کند.	کمبود آب، بهره‌وری، افزایش درآمد، کشاورزان، رونق اقتصادی	نیروهای محرکه، عوامل مؤثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب، پیامدها و رهاوردهای بازار آب
	"برای بهبود عملکرد بازار آب، همه باید پای کار بیان، یک سامانه اطلاعاتی جامع و شفاف می‌خواهیم، طراحی ابزارهای مالی مناسب، و حمایت از شرکت‌های کارگزار آب، از جمله این راهکارها هستند"	برای موفقیت بازار آب، نیاز به همکاری همه و ایجاد یک سیستم اطلاعاتی دقیق و ابزارهای مالی مناسب است.	همکاری، سیستم اطلاعاتی، ابزارهای مالی، حمایت از شرکت‌های کارگزاری	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
	"باید به مشارکت فعال همه ذی‌نفعان، از جمله کشاورزان، صنعتگران و نهادهای دولتی، در تصمیم‌گیری و اجرای این طرح توجه ویژه داشته باشیم. با اجرای موفق طرح بازار آب، می‌توانیم به اهداف توسعه پایدار دست پیدا کنیم و استان سمنان را به یک الگو در مدیریت منابع آب تبدیل کنیم. من خیلی به این طرح خوشبینم این طرح دو سویه است نه تنها به حل مشکل کمبود آب کمک می‌کنه، بلکه می‌تواند به بهبود وضعیت اقتصادی استان و ایجاد اشتغال نیز منجر میشه."	مشارکت همه افراد درگیر در طرح، برای موفقیت آن ضروری است. بازار آب می‌تواند به توسعه پایدار و بهبود وضعیت اقتصادی استان کمک کند.	مشارکت همه، ذی‌نفعان، توسعه پایدار، بهبود وضعیت اقتصادی، ایجاد اشتغال	الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار؛ پیامدها و رهاوردهای بازار آب
O01	"شما با دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه در سال چقدر درآمد دارین؟ یک میلیارد تومان؟ در بازار آب اینکارو می‌کنیم به کشاورز می‌گیم ۵ لیتر رو بده صنعت همون اول هم یک میلیاردتو بگیر یک قرارداد یک ساله ببند با این پول برو کشاورزیتو مکانیزه کن اینجوری سال بعد برای همون کشاورزی آب کمتری مصرف میکنه چون تجهیزاتش بهتر شده البته در عمل بحث واقعا پیچیده است چرا که بالاخره یک طرف آبی هست در استان حالا این آب را من مصرف کنم یا شما به ظاهر در اصل قضیه توفیری نداره و آب مصرف شده ولی خوبیش اینه که آب از جایی که بهره‌وریش پایین‌تره به جایی که بهره‌وریش بیشتره منتقل شده"	با ایجاد بازار آب، کشاورزان می‌توانند آب اضافی خود را به صنایع بفروشند و با درآمد حاصل تجهیزات کشاورزی خود را بهبود بخشند و در نتیجه مصرف آب را کاهش دهند.	بازار آب، انتقال آب از بخش کشاورزی به صنعت، مکانیزاسیون کشاورزی، افزایش بهره‌وری آب	نیروهای محرکه، عوامل مؤثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب، رهاوردهای بازار آب
	"الان چرا برخی سازمان‌ها چوب لای چرخ طرح بازار آب می‌زنن؟ آیا علتی به جز تعارض منافع است؟ با کشاورز صحبت می‌کنن و از بازار آب مترسونشون! ما تا این تعارضات را حل نکنیم این طرح هم مثله بقیه طرح‌ها شکست می‌خوره و بعد چند وقت تعطیلش می‌کنیم."	برخی سازمان‌ها با طرح بازار آب مخالفت می‌کنند و کشاورزان را از آن می‌ترسانند.	مقاومت در برابر تغییر، تعارض منافع، آگاهی‌رسانی نادرست	نیروهای محرکه، عوامل مؤثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب
		برای موفقیت طرح بازار آب، باید موانع و مخالفت‌ها برطرف شود.	اهمیت حل تعارضات، موفقیت طرح	آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب؛ سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب

کد مصاحبه	قسمتی از متن مصاحبه (گزاره‌های معنادار)	بازنویسی معنا	مضمون‌های اولیه دارای ارزش یکسان	مضامین اصلی
		برای اجرای موفق طرح بازار آب، باید صنعتگران را متقاعد کرد که آب مورد نیاز خود را از کشاورزان خریداری کنند و یک نهاد مسئول تعیین کند که کدام چاه‌ها مجاز به فروش آب هستند.	اقتناع سازی، نقش نهاد تنظیم گر، تعیین چاه‌های مجاز	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
O02	"باید اقتناع‌سازی صورت بگیرد، صنعتگر باید آب را از مالکان چاه بخرد، متولی تعیین می‌کند چه چاهی می‌تواند آب را بفروشد. متولی باید قیمت‌گذاری کند چون اگر دست کشاورز باشد قیمت را بالا می‌برد و صنعتگر ورشکست می‌شود؛ نمی‌شود یک نفر ۲۰۰ میلیارد هزینه کنه و بعد کشاورز هر سال گلوشو فشار بده، متولی باید تعیین کننده باشد. هم نوع مصرف و هم قیمت را متولی باید مشخص کند وگرنه هرکسی دیگری را نابود می‌کند. آب منطقه‌ای باید سروسامان بدهد"	برای جلوگیری از افزایش بی‌رویه قیمت آب توسط کشاورزان، باید یک نهاد مسئول قیمت‌گذاری آب را انجام دهد.	قیمت‌گذاری، جلوگیری از افزایش بی‌رویه قیمت، حمایت از صنعت	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب
		یک نهاد مسئول باید بر همه جنبه‌های بازار آب نظارت داشته باشد و از رقابت ناسالم جلوگیری کند.	نقش نهاد تنظیم گر، نظارت بر بازار آب، جلوگیری از رقابت ناسالم	سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار
		شرکت آب منطقه‌ای باید از اختیار تام برخوردار باشد	نقش‌ها و مسئولیت‌های شفاف و صریح	الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار

نتایج تحلیل کلیه مصاحبه‌ها منجر به پیدایش حدود ۷۶۴ کد اولیه و واحد معنایی بود که در گام بعدی کدهای مشابه و هم‌راستا در طبقات و مقوله‌های متناسب دسته‌بندی شد و حدود ۱۲۶ مضمون اولیه شکل گرفت که این مضامین اولیه ۵ مضمون محوری به شرح زیر را شکل دادند: مضمون اول: نیروهای محرکه، عوامل موثر و انگیزه‌های شکل‌گیری و توسعه بازار آب؛ مضمون دوم: آسیب‌پذیری‌ها، موانع و چالش‌های پیش‌روی توسعه پایدار بازار آب؛ مضمون سوم: الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار؛ مضمون چهارم: سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب؛ مضمون پنجم: پیامدها و رهاورد‌های بازار آب. شکل (۱) به صورت شماتیک، یافته‌های حاصل از تفسیر پدیدارشناسانه مصاحبه‌های عمیق انجام شده پیرامون بازار آب سمنان را نشان می‌دهد.

• اعتباریابی نتایج

اعتبار و روایی در پژوهش پدیدارشناسی دارای اهمیت فراوان است. باین‌حال در بین پدیدارشناسان تفاهم نظری چندانی بر سر مسائل مرتبط با این دو معیار وجود ندارد، کولایزی اعتبار پایانی یا نهایی

که با مراجعه به هر یک از مطلعین صورت می‌گیرد را بیان می‌کند. وی اعتباریابی توصیف‌های جامع از پدیده مورد مطالعه را از سوی خود مشارکت‌کنندگان مهم‌ترین معیار ارزیابی یافته‌های پژوهش پدیدار شناختی تلقی می‌کند (به نقل از حسنقلی پور و همکاران، ۱۳۹۳). برای ارزیابی روایی یافته‌های این پژوهش پدیدارشناختی که بر تجربه مشارکت‌کنندگان در بازار آب استان سمنان متمرکز داشت، از رویکرد اعتبار پایانی یا نهایی بهره گرفته شد. بر این اساس، پس از تحلیل داده‌ها، یافته‌های اولیه با مشارکت‌کنندگان در میان گذاشته شد تا نظر آن‌ها در خصوص انعکاس دقیق تجربه‌هایشان در این یافته‌ها جویا شود. به این صورت که، از ۳ نفر از مشارکت‌کنندگان کلیدی و آگاه که دست‌اندرکار بازار آب بوده‌اند و همچنین از دو عضو هیات علمی دانشگاه سمنان که آگاه به روش پدیدارشناسی بودند خواسته شد تا صحت و جامعیت توصیفات ارائه شده در پژوهش را تأیید یا اصلاح نمایند. این فرآیند به عنوان یک چرخه بازخورد، به بهبود کیفیت داده‌ها و اطمینان از روایی یافته‌های نهایی کمک شایانی نمود. به این ترتیب، می‌توان ادعا کرد که یافته‌های این پژوهش، باتوجه‌به تأیید مشارکت‌کنندگان، از روایی بالایی برخوردار هستند.

تغییر الگوی کشت		نوسانات قیمت													
وابستگی به منابع آبی	افزایش هزینه تولید	عدم تحقق اهداف	حمایت سیاسی دولت	وجود تجربه تاریخی	تشکیل شورای آب	درستکاری									
دشت های بحرانی	اشتغالزایی	وجود تجربه تاریخی	سیاسی دولت	طرح احیا و تعادل بخشی	ایجاد شکل آبربران	حاکمیت قانون									
فروشنست	تامین مالی طرح های	رشد جمعیت و مهاجرت	طرح احیا و تعادل بخشی	تحقیقات علمی	تصمیم گیری مشارکتی	تبادل دانش و تجربه	پاسخگویی نهادهای مسئول								
خشکسالی مکرر	تولید ارزش افزاثر	تغییر نگرش کشاورزان	ایفای تعهدات سند سازگاری	مطالعه تجربیات	تسهیل ارتباطات	زبان ساده	تدوین قوانین شفاف	استفاده از ابزارهای نوین	ترغیب نوآوری						
احیا و تعادل بخشی	کاهش ارزش افزوده	مطالبات اجتماعی	قوانین و مقررات حمایتی	توسعه سیستمی اطلاعاتی	ایجاد فرصت مشارکت	توسعه ظرفیت جامعه محلی	پلتفرم های اطلاعاتی	حمایت از سرمایه گذاری	پلتفرم های آنلاین مشارکت						
کمبود منابع آبی	افزایش تقاضای آب صنعت	افزایش آگاهی عمومی	اسناد بالادستی	کنترل هوشمند	جامعایی دقیق ذینفعان	توسعه ظرفیت نهادها	دسترسی به اطلاعات	منابع مالی پایدار	فناوری های نوین						



الزامات حکمرانی آب در عصر بازار

محرک ها؛ انگیزه ها و عوامل موثر بر استقرار و توسعه بازار آب

بازار آب									
پیامدها و رهاوردهای بازار آب			سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد			آسیب پذیری ها، چالش ها و موانع استقرار و توسعه بازار آب			
پیامدهای منفی	پیامدهای مثبت	فناوری	شفاف سازی	راهکارهای ارتقا	چالش ها	موانع	آسیب پذیری ها		
اولویت نداشتن حفظ	بهبود بهره وری	استفاده از فناوری های نو ظهور	سنجش آب قابل برنامه	همانگی جهاد و آب	کشف قیمت	اصلاح و تعدیل پروانه	نوسانات آب و هوایی		
لبه تاریک رشد صنعتی	جلوگیری از حفر چاه چیلد		پذیرش میزان مجوز برداشت	جرم انگاری اضافه	توزیع عادلانه آب	ذینفعان ذینفوذ	آلودگی منابع آب		
افزایش هزینه های تولید	اصلاح الگوی کشت		سنجش دقیق میزان مصرف	ترغیب سرمایه گذاری	ساختار مالکیت زمین	عدم وجود زیرساخت	الگوی مصرف		
تخریب محیط زیست	افزایش تنش های		آموزش و آگاهی بخشی		چالش تنظیم گری	عدم شفافیت در اطلاعات	عدم اطمینان از آینده		
کاهش اعتماد عمومی	سفته بازی و دستکاری بازار		مشارکت جوامع محلی		دکترین اقتصاد آزاد	موانع اجتماعی	نگاه کوتاه مدت مدیران		
نگاه کوتاه مدت	تقویت اقتصاد محلی		تقویت نهادهای		چالش های فقهی و دینی	ضعف نهادهای			
اثرات شخص ثالث	تخصیص عادلانه آب		توسعه شکلهای		فقدان طرح انجام شده مشابه	مسائل حقوقی			
آثار رفاهی نامتوازن	افزایش آگاهی		متنوع سازی قراردادهای			هزینه ها			
	ارتقا امنیت		همکاری بین بخشی			موانع سیاسی			

شکل ۱- یافته های حاصل از تفسیر پدیدارشناسانه بازار آب سمنان

یافته‌های این پژوهش نشان داد بازار آب در استان سمنان با چالش‌های متعددی مواجه است، اما با این وجود فرصت‌های مهمی را نیز برای بهبود مدیریت منابع آب فراهم می‌کند. در ادامه، به تحلیل عمیق‌تر هر یک از این چالش‌ها و فرصت‌ها پرداخته می‌شود و پیشنهادهای برای بهبود عملکرد بازار آب ارائه خواهد شد. نتایج این پژوهش می‌تواند به خط مشی‌گذاران و سیاست‌گذاران در تدوین خط‌مشی‌های مناسب برای مدیریت پایدار منابع آب کمک کند. یافته‌های حاصل از تحلیل پدیدارشناسانه بازار آب در سمنان در قالب ۵ مضمون قابل بحث است:

مضمون اول: انگیزه‌ها، نیروهای محرک و عوامل موثر در شکل‌گیری و توسعه بازار آب

با توجه به تحلیل انجام شده، می‌توان گفت که شکل‌گیری و نیاز به توسعه بازار آب در سمنان نتیجه ترکیبی از محرک‌های اقتصادی، محیط‌زیستی، اجتماعی، فرهنگی، قانونی، سیاستی و فنی است:

• محرک‌های آبی، اقلیمی و محیط‌زیستی:

کمبود منابع آب زیرزمینی: "سطح آبخوان‌ها در سمنان به طور میانگین سالانه ۷۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد؛ استان سمنان سالانه ۱۳۳ میلیون متر مکعب کسری آب‌های زیرزمینی و سه و ۲ دهم میلیارد متر مکعب کسری مخزن انباشته دارد." کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق، ضرورت مدیریت بهینه آب را افزایش داده است. جایی که آب کمیاب است، حقوق قابل معامله آب می‌تواند انگیزه حفظ آب را ایجاد کند و آب بیشتری را برای تجارت در دسترس قرار دهد (شرکت آب منطقه‌ای سمنان، ۱۴۰۲؛ اکبری و همکاران، ۱۳۹۸). قرار دادن مصرف آب استان در راستای طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی: "مهمترین هدف شرکت آب منطقه‌ای سمنان در این طرح این است که مصرف آب‌های زیرزمینی را در راستای طرح احیا و تعادل بخشی قرار دهد و این موضوع بسیار مهمی است" مثلاً "صنعتی که ۱۵ لیتر آب نیاز دارد شرکت آب منطقه‌ای ۱۰ لیتر را تامین می‌کند و ۵ لیتر دیگر را از کشاورز خریداری می‌کند و این فشار بر آبخوان را کمتر می‌کند".

- خشکسالی‌های مکرر: وقوع خشکسالی‌های پی در پی، فشار بر منابع آبی را تشدید کرده و نیاز به مدیریت جامع منابع آب را ضروری ساخته است.

- فرونشست زمین: فرونشست زمین به عنوان یکی از پیامدهای برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، تهدیدی جدی برای زیرساخت‌ها و محیط‌زیست است (اکبری و همکاران، ۱۳۹۸؛ دهقانی بیگدلی و همکاران، ۱۳۹۹). از سال‌های گذشته تاکنون همواره فرونشست زمین به عنوان یکی از بحران‌های مهم استان سمنان مطرح بوده است. مشابه یافته‌های پژوهش محمدی (۱۴۰۲) در این پژوهش نیز مشخص شد، فرونشست زمین در مناطق جنوبی شهرستان سمنان باعث به خطر

افتادن خط‌ریل راه آهن استان شده است "همچنین" بر اثر فرونشست زمین ما شاهد تخریب چاه‌های پی‌زومتریکی شده ایم" و "حتی بر اثر فرونشست برخی قنات‌ها هم در قسمت‌هایی تخریب شده است". - دشت‌های بحرانی: کسری مخازن آب زیرزمینی و بیلان منفی آب در بسیاری از دشت‌های استان باعث شده است از ۲۸ محدوده مطالعاتی مورد بررسی کارشناسان آب منطقه‌ای در استان سمنان حدود ۱۵ محدوده ممنوعه و ممنوعه بحرانی تشخیص داده شده است و هرگونه برداشت آب در این دشت‌ها ممنوع است (شرکت آب منطقه‌ای سمنان، ۱۴۰۲).

وابستگی به منابع آب زیر زمینی: حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی استان سمنان ۷۹۳ میلیون متر مکعب است؛ که ۵۱۸ میلیون متر آن از محل منابع آب زیرزمینی (۸۳ درصد) تامین می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای سمنان، ۱۴۰۲ ب).

• محرک‌های اقتصادی:

- افزایش تقاضای آب در بخش صنعت: در استان سمنان از سوی مسئولان استانی حفظ و حمایت از سرمایه‌گذاران فعلی به عنوان مهمترین اولویت این استان در سال رشد تولید و مهار تورم و در حوزه اشتغال و تولید بیان شده است به عنوان مثال در مصاحبه‌ها اشاره شده است که در سال ۱۴۰۲ سرمایه‌گذاری در بخش صنعت استان حدود ۱۷ درصد نسبت به سال قبل رشد داشته و لذا توسعه صنایع استان و نیاز آن‌ها به آب، یکی از انگیزه‌های مدیران استانی جهت شکل‌گیری و اجرای بازار آب در استان است.

- کاهش ارزش افزوده کشاورزی: "پرتی آب در حوزه کشاورزی زیاد است". حدود ۱۹۸ هزار هکتار اراضی کشاورزی در استان سمنان وجود دارد که در نهایت ۴۰ هزار هکتار آن تحت کشت آبیاری نوین است و این یعنی همچنان بخش عمده‌ای از کشاورزی استان سمنان غرقابی و سنتی اداره می‌شود و هدر رفت آب در آن از یک سو و تبخیر از سوی دیگر، سبب می‌شود تا کشاورزی مصرف‌گرای استان، بازده آن‌چنانی هم نداشته باشد. لذا به نظر می‌رسد کاهش سودآوری در بخش کشاورزی به دلیل کمبود آب، کشاورزان را به سمت بازار آب و فروش آب مازاد سوق می‌دهد.

- تولید ارزش افزوده: یکی از مهمترین دغدغه‌های کشور و به تبع آن انتقال آب از بخش با ارزش افزوده کم به تولید ارزش افزوده بوده لذا یکی از مهمترین محرک‌های شکل‌گیری بحث بازار آب در کشور و استان سمنان انتقال مصرف آب از بخش کمتر بهره‌ور به بخش بهره‌ورتر با صرفه اقتصادی بیشتر می‌باشد. کاربران کشاورزی آب ممکن است برای توجیه و حفظ تخصیص آب فعلی خود، عمدتاً آب را برای محصولات کم ارزش یا محصولات پربار به کار ببرند؛ بنابراین، حقوق قابل معامله می‌تواند تولید محصولات کشاورزی با ارزش‌تر یا محصولات کم آب تر را نیز ترغیب کند.

- تامین مالی طرح‌های توسعه‌ای کشاورزی: فروش آب مازاد می‌تواند به عنوان یک منبع درآمد برای کشاورزان و تامین مالی

طرح‌های بهره‌ورانه و توسعه‌ای آن‌ها استفاده شود. "بازار آب به کشاورز استان این امکان را می‌دهد که از محل درآمد حاصل از فروش ۱۰ درصد سهمیه خود به صنعت؛ اقدام به خرید، بازسازی و تجهیز سیستم‌های نوین آبیاری در مزرعه خود کند".

- اشتغال‌زایی: اشتغال و ارتباط مستقیم آن با کاهش آسیب‌های اجتماعی و نقش تولید کنندگان و سرمایه‌گذاران صنعتی استان در ایجاد اشتغال و کاهش آسیب‌های اجتماعی و مشکلات جامعه حائز اهمیت بوده و در استان سمنان بار اصلی ایجاد اشتغال بر عهده صنایع استان بوده لذا بازار آب می‌تواند بخشی از اهداف اشتغال‌زایی استان را برآورده کند.

- افزایش هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی: باتوجه به کاهش منابع آب و افزایش هزینه‌های استخراج و پمپاژ آب، هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی افزایش یافته است. این امر کشاورزان را به دنبال راهکارهایی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد خود سوق داده است که یکی از آن‌ها فروش آب مازاد است.

- نوسانات قیمت محصولات کشاورزی: نوسانات قیمت محصولات کشاورزی و عدم اطمینان از درآمد آینده، کشاورزان را به سمت ایجاد منابع درآمدی جایگزین مانند فروش آب سوق می‌دهد. با فروش آب می‌تواند بخشی از ریسک ناشی از نوسانات قیمت محصولات را کاهش دهند.

- تغییر الگوی کشت: تغییر در الگوی کشت و اجرای الگوی کشت مصوب و جایگزینی محصولات کم آب‌بر با محصولات پرآب‌بر، نیاز به مدیریت بهینه منابع آب را افزایش داده است. ۱۹۸ هزار هکتار از وسعت اراضی استان سمنان را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهد که از این وسعت ۵۴ هزار هکتار باغ، ۱۱۰ هزار هکتار زراعت و بقیه در مرحله آیش است و حدود ۴۵ هزار بهره‌بردار در بخش کشاورزی فعال هستند. "کاهش ۷۰ درصدی وسعت کشت جالیز که نسبت به کشت‌های دیگر آب‌بر است، یکی از ارزشمندترین اقدامات در استان سمنان برای مدیریت مصرف آب است".

• عوامل اجتماعی، فرهنگی:

- افزایش آگاهی عمومی: افزایش آگاهی عمومی در مورد اهمیت آب و ضرورت مدیریت آن، باعث شده است که مردم به دنبال راهکارهای جدید برای مدیریت منابع آب باشند و از مسئولان مطالبه کنند که برای مدیریت بهتر منابع آب اقدام کنند.

مطالبات اجتماعی: زمانی که جامعه با چالش‌های جدی کم‌آبی مواجه می‌شود، فشار برای یافتن راهکارهای نوین مدیریت منابع آب افزایش می‌یابد. "از سوی گروه‌های مختلفی مانند کشاورزان، صنایع، طرفداران محیط‌زیست و عموم مردم فشارهای زیادی به استانداری، فرمانداری، جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای و سایر دستگاه‌های مرتبط اعمال شود". نابرابری در دسترسی به آب بین مناطق مختلف و گروه‌های اجتماعی مختلف، گاه‌گاه باعث نارضایتی و اعتراضات اجتماعی در استان شده است. "به‌عنوان مثال اعتراض

کشاورزان کالپوش یا کشاورزان گرمساری در زمینه حقابه اختصاص یافته شأن از سد غرود و اعتراضات دیگر در سطح استان".

- تغییر نگرش کشاورزان: تغییر نگرش کشاورزان از مصرف‌کننده صرف آب به تولیدکننده و فروشنده آب، یکی از محرک‌های مهم اجرای طرح بازار آب است.

- رشد جمعیت و مهاجرت: هرچند در سال‌های اخیر نرخ رشد جمعیت در استان بسیار کم و بحرانی شده است اما "به‌طور کلی افزایش جمعیت و مهاجرت جمعیتی از استان‌های همجوار به استان، باعث افزایش تقاضا برای آب شده است و فشار بر منابع آب زیرزمینی را تشدید کرده است".

- وجود تجربه تاریخی در استان (بازار آب مجن): شهر مجن از توابع شهرستان شاهرود است که کشاورزان آن با تشکیل شرکت سهامی آبیاری، حدود ۵۰ سال است از طریق بازار آب مجن، تخصیص منابع آب را به‌طور مؤثر و کارآمد فعالیت انجام می‌دهند (متین‌جو و عزیزاده، ۱۳۹۹).

- عدم تحقق اهداف برنامه‌ها و راه‌حل‌های کاهش مشکلات آبی: دولت‌ها طی یک دهه اخیر سه رویکرد را در قبال کاهش مشکلات کم‌آبی در استان سمنان اتخاذ کرده‌اند، راهکارهای کوتاه‌مدت شامل لایروبی قنوات و چاه‌ها، میان مدت شامل توجه به مجموعه‌های آبرسانی و مؤسسات، حفر چاه‌ها و در نهایت راهکار بلند مدت نیز شامل سد سازی، انتقال آب بین حوضه‌ای (شامل فینسک، کالپوش و...) که بسیاری شأن در گیر و دار مسائل اجتماعی متوقف مانده است. به نظر می‌رسد آنچه توجه مسئولان را به بازار آب معطوف کرده اجباری است که در خصوص به بن‌بست رسیدن اغلب راه‌حل‌های کاهش مشکلات آب استان داشته‌اند.

• عوامل قانونی و سیاستی:

- اسناد بالادستی: ایجاد بازار آب در کشور از برنامه سوم توسعه مطرح بوده و در قوانین، آیین‌نامه‌ها و مصوبات شورای عالی آب به آن پرداخته شده است. در نهایت در سال ۱۴۰۰ با توجه به مصوبات جلسه چهل و سوم شورای عالی آب، ایجاد این بازار شکل جدی به خود گرفت و با بخشنامه وزیر نیرو در سال ۱۴۰۱ اجرایی شد.

- قوانین و مقررات حمایتی: تصویب قوانین و مقررات حمایتی از بازار آب، زمینه را برای اجرای این طرح فراهم کرده است (قانون توزیع عادلانه آب (مصوب ۱۳۶۱ / ۱۲ / ۱۶)؛ مصوبه پانزدهمین جلسه شورای عالی آب؛ مصوبه چهل و سومین جلسه شورای عالی آب؛ نظامنامه ساماندهی و توسعه بازارهای محلی آب؛ دستورالعمل شناسایی، احراز اجازه برداشت و صدور پروانه بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی؛ دستورالعمل اصلاحی ماده ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب). "اخیراً هم وزارت نیرو با همه شرکت‌های آب منطقه‌ای (علاوه بر استان‌های پایلوت) جهت اجرای بازار آب مکاتبه کرده است و دستورات لازم را داده است لذا باید به سمت ایجاد و راه‌اندازی بازار آب حرکت کنند".

- ایفای تعهدات سند سازگاری با کم آبی: کار گروه ملی سازگاری با کم آبی صرفه جویی حدود ۱۷۸ میلیون مترمکعبی آب در سند سازگاری با کم آبی استان تا سال ۱۴۰۵ را هدف گذاری کرده که از این مقدار ۱۷۱/۷ سهم بخش کشاورزی و ۳/۱ میلیون متر مکعب سهم صنعت خواهد بود (وزارت نیرو، ۱۴۰۰).

- طرح احیا و تعادل بخشی: در بین ۱۵ طرح این سند؛ ایجاد و استقرار بازار محلی آب در کشور پیش بینی شده است.

- حمایت سیاسی دولت: "حمایت های سیاسی دولت مردان و مقامات استانی همچون استاندار و معاونین استاندار و ... از طرح های بازار آب نقش مهمی در ایجاد و استقرار این بازار در استان داشته است".

• عوامل فنی:

- کنتورهای هوشمند: نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه ها، امکان اندازه گیری دقیق مصرف آب و مدیریت بهتر منابع آب را فراهم کرده است. سنجش حجم مبادله آب تنها از طریق کنتور امکان پذیر است. "در استان سمنان حدود ۹۰ درصد حدود ۳۰۰۰ چاه آب مجهز به کنتور هوشمند هستند"

- توسعه سیستم های اطلاعاتی: توسعه سیستم های اطلاعاتی برای مدیریت بازار آب و ثبت معاملات، به شفافیت و کارایی بازار آب کمک خواهد کرد.

- مطالعات و تجربیات موفق در سایر نقاط دنیا: بازار آب تجربه ای است که در کشورهای مختلف همچون امریکا، استرالیا، چین، شیلی و ... با هدف ارتقای بهره وری کشاورزی یا تأمین مالی اجرا شده و اغلب نیز تجربه موفق داشته اند. این طرح که شباهت هایی به طرح کشورهای پیشرفته نیز دارد، "برای بهره ورتر کردن ساختار کشاورزی استان سمنان همانند مناطق دیگر؛ بازار آب می تواند مفید باشد".

- تحقیقات علمی: همانطور که در قسمت پیشینه تجربی پژوهش نیز ذکر شد، بسیاری از تحقیقات علمی نشان داده اند که بازار آب می تواند به عنوان یک ابزار مؤثر برای مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گیرد.

مضمون دوم: آسیب پذیری ها، موانع و چالش های پیش روی توسعه پایدار بازار آب

توسعه بازار آب، به عنوان یک ابزار مهم برای مدیریت بهینه منابع آب، با وجود مزایای فراوان، با چالش ها و موانع جدی روبه رو است. این چالش ها می توانند از عوامل مختلفی ناشی شوند و در صورت عدم توجه به آن ها، ممکن است به شکست این طرح ها منجر شوند. در ادامه به برخی از مهمترین آسیب پذیری ها، موانع و چالش های پیش روی توسعه پایدار بازار آب اشاره می شود:

• آسیب پذیری ها:

نوسانات آب و هوایی: تغییرات اقلیمی و نوسانات شدید آب و هوایی می توانند بر عرضه و تقاضای آب تأثیر گذاشته و پایداری بازار آب را به خطر اندازند.

- آلودگی منابع آب: آلودگی منابع آب می تواند کیفیت آب را کاهش

داده و هزینه های تصفیه و پالایش آب را افزایش دهد. این موضوع می تواند به نوبه خود بر قیمت آب و رقابت در بازار تأثیر بگذارد. تغییرات در الگوی مصرف آب: تغییر در الگوی مصرف آب در بخش های مختلف اقتصاد، مانند کشاورزی، صنعت و خدمات، می تواند به عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب منجر شود.

- عدم اطمینان در مورد آینده: عدم اطمینان در مورد آینده، مانند تغییرات در سیاست های دولت یا تغییرات در فناوری، می تواند سرمایه گذاری در بخش بازار آب را با ریسک همراه کند. عمده مشارکت کنندگان در پژوهش نسبت به آینده بازار آب سمنان احساس اطمینان نداشتند.

- نگاه کوتاه مدت مدیران: "عمر و دوره کوتاه مدیریتی باعث شده است نگاه مدیران به طرح ها و برنامه ها نگاهی کوتاه مدت باشد این موضوع در طرح های آبی مثل بازار آب که بسیاری از پیامدهای آن در بلندمدت خود را نشان می دهند، بیشتر آسیب رسان است".

• موانع:

- اصلاح و تعدیل پروانه چاه های کشاورزی: "به نظر می رسد دلیل اصلی عدم استقبال از بازار آب در پایلوت دشت سمنان و همچنین استقبال از بازار آب در برخی پایلوت های دیگر پیش فرض بودن اصلاح و تعدیل پروانه چاه های کشاورزی باشد". در پایلوت سمنان بر خلاف پایلوت های دیگر از جمله دشت اردکان یزد؛ کشاورزی می تواند وارد بازار آب شود که پروانه چاه آن اصلاح و تعدیل شده باشد. "اصلاح و تعدیل دست کشاورز را بسته است و تا حدودی باعث بی اعتمادی کشاورز هم شده است".

- ذی نفعان ذی نفوذ: وجود بهره برداران با نفوذ یکی از موانع جدی در به نتیجه نرسیدن و استقبال کم از بازار آب در سمنان است. "برخی از بهره برداران با نفوذ که قدرت بیشتری از مالکان هم دارند بر بسیاری از تصمیمات فروشندگان آب و حتی دستگاه ها و نهادهای مرتبط تأثیر زیادی دارند و چون مالک نیستند، عملاً بازار آب به ضررشان نیز هست".

- عدم وجود زیرساخت های مناسب: نبود زیرساخت های مناسب برای انتقال، توزیع و اندازه گیری آب، یکی از مهمترین موانع در راه توسعه بازار آب است. در ابتدای امر "دیدگاه ها و رویه موجود در بازار آب سمنان به این شکل است که با هدف حفظ آبخوان؛ فردی که مجوز برداشت آب خود را در یک چاه می فروشد، فقط کافی است آن آب را مصرف نکند، آبخوان همانند منبعی خواهد بود که آن آب را به فرد خریدار که در اینجا صنعت است در چاه دیگری برداشت می نماید". قطعاً به لحاظ فنی و پیچیدگی های زمین شناسی این موضوع شدنی و عملیاتی نیست. با این پیش فرض که اگر بازار آب موثر واقع شود و بهره برداران از آن استقبال کنند؛ بازارهای محلی کوچک افزایش پیدا می کند و حالت های دیگر مبادله از جمله مبادله کشاورز با کشاورز و ... مطالبه می شود و اگر این بازارهای محلی به هم برسند، کمک بازار آب به آبخوان ها زیر سوال می رود. البته این

ایده هم که ابتدا به تأسیسات توزیع و انتقال نیاز است که در آن محدوده بازار ایجاد شود چون یکی از اهداف و پیامدهای راه‌اندازی بازار در استان توسعه تجهیزات نوین و شبکه توزیع و تأسیسات آن است که در اثر افزایش بهره‌وری اتفاق خواهد افتاد.

- عدم شفافیت در اطلاعات: عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و شفاف در مورد منابع آب، کیفیت آب و تقاضای آب، می‌تواند به عدم اطمینان در بازار و کاهش مشارکت سرمایه‌گذاران منجر شود. یکی از موانع بزرگ، نبود شفافیت در مورد منابع و مصارف آب است. "در استان سمنان حدود ۹ مدل کنتور نصب شده آن هم به روش‌های متنوع؛ این کنتورها قابلیت آنلاین شدن ندارند و روندهای تعریف شده برای اندازه‌گیری، عموماً مکانیکی و وابسته به متصدیان است، تجهیزات اندازه‌گیری هم قدیمی و ناکافی است و معمولاً یک سال طول می‌کشد که آمارها نهایی شود". برای اطلاعات موجود بسیار مخدوش و ابزارهای برداشت قدیمی است و آماربرداری و تحلیل اطلاعات با ابهامات اساسی مواجه است. برای بازارهای محلی آب نیاز به آمارهای دقیقی با مقیاس بسیار کوچک‌تر از یک دشت است که هم اکنون موجود نیست. بهره‌برداران نیز به این آمارها اعتماد ندارند. اعتبارات تأمین تجهیزات آماربرداری بسیار محدود و اندک است و تخصیص همین مقدار اندک نیز سالها است که کامل محقق نمی‌شود.

- موانع اجتماعی، فرهنگی: مقاومت جوامع محلی و کشاورزان سنتی در برابر تغییرات در نظام سنتی مدیریت آب، می‌تواند اجرای طرح‌های بازار آب را با مشکل مواجه کند. "در استان سمنان هنوز مصرف بهینه فرهنگ‌سازی نشده است، نه در بین شهروندان نه کشاورزان". از طرفی "آیا تخصیص آب بر اساس بازار آب منجر به برقراری عدالت اجتماعی در استان می‌شود؟" مرور تجربیات نشان می‌دهد که عمده بازارهای آب در اقتصادهای سرمایه‌داری شکل گرفته‌اند و سوالی که مطرح می‌شود این است که در ایران و به‌خصوص استان سمنان که دولت برای در دسترس قرار دادن آب برای افرادی که توانایی پرداخت قیمت واقعی آن را ندارند (که عملاً شامل اکثریت بهره‌برداران می‌شود) یارانه و خدمات رایگان می‌دهد، مشابه پژوهش Olmstead (۲۰۱۰) نتایج این پژوهش نشان داد راه‌اندازی بازار آب می‌تواند به برقراری برابری و عدالت اجتماعی در استان کمک کند.

- موانع محیط‌زیستی: اگر در عمل بازار آب منجر به حفظ آبخوان نشود و حقایق آبخوان و محیط‌زیست رعایت نشود، باتوجه‌به مجموعه گروه‌های اجتماعی به‌خصوص انجمن‌های حامی محیط‌زیست؛ مقاومت در برابر استفاده غیر مصرفی از آب اجتناب‌ناپذیر است.

- ضعف نهادهای نظارتی: ضعف نهادهای نظارتی قوی و شفاف برای نظارت بر اجرای قوانین و مقررات بازار آب، می‌تواند به عدم کارآمدی بازار و سوء استفاده از منابع آب منجر شود.

- مسائل حقوقی و قانونی: پیچیدگی‌های حقوقی و قانونی مربوط به مالکیت آب، انتقال آب و حقایقها، می‌تواند اجرای طرح‌های بازار آب را با چالش مواجه کند. از حیث قانونی شاید بتوان گفت بزرگ‌ترین مانع مبادله رسمی در حال حاضر ماده ۲۷ و ۲۸ قانون توزیع عادلانه آب است. مشکلات حقوقی و نداشتن قانون پشتیبان برای رعایت حق و حقوق انتقال؛ فقدان اسناد رسمی برای حقایقها که امکان استفاده از آن در مبادلات بازار آب وجود داشته باشد؛ محدودیت‌های مدیریتی و فنی؛ شفاف نبودن ساختار و تشکلهای سازمانی بازار آب در سطوح مختلف وزارت نیرو و جایگاه قانونی نهادهای تبادل آب در بدنه وزارت نیرو؛ عدم امکان نظارت کافی به بازار آب باتوجه‌به عدم وجود تجهیزات منابع به وسایل اندازه‌گیری؛ عدم امکان کنترل حجم برداشت شده توسط بهره‌برداران متعدد سایر مسائل حقوقی و قانونی پیش‌روی بازار آب می‌باشد.

- هزینه‌ها: جهت انجام مبادلات بازار آب الزامات نهادی و تشکیلاتی گسترده‌ای نیاز است که باعث افزایش هزینه‌های این طرح می‌شود. در راه‌اندازی این بازارها به هزینه‌هایی همچون هزینه‌های دستیابی به اطلاعات، هزینه‌های مربوط به بازاریابی، تبلیغات و اطلاع‌رسانی، هزینه‌های کارگزاری؛ هزینه‌های تسهیل‌گری اجتماعی و ... که گسترده‌تر شدن محدوده بازار آب و تعداد سهام‌داران دخیل باعث افزایش هزینه مبادلاتی می‌شود. مشابه یافته‌های پژوهش Freebairn و Quiggin (۲۰۰۶)، در این پژوهش نیز تأکید شد "در برآورد نسبت فایده به هزینه راه‌اندازی بازار آب باید به هزینه‌های پنهانی همچون هزینه مبادلاتی نظام پایش و اندازه‌گیری توجه داشت".

- موانع سیاسی: "باید همه مسئولان دستگاه‌های دخیل در حوزه آب استان با محوریت شرکت آب منطقه‌ای سمنان از حیث سیاسی از طرح بازار آب حمایت کنند و به اصلاح کارشکنی نکنند". در برخی موارد به دلایل مختلف بین دستگاه‌های اجرایی تعارضات سیاسی به وجود می‌آید که دستیابی به بازار آب کارآمد را دشوار می‌سازد. - تعارض منافع: "منافع برخی از سازمان‌ها و شرکت‌های وابسته به آنها با راه‌اندازی و تقویت بازارهای آب در استان به خطر افتاده و به دلیل تعارض منافع از توسعه بازار آب استقبال نمی‌کنند". هماهنگی بین بخش‌های مختلف دولت، مانند وزارت نیرو، وزارت کشاورزی و سازمان حفاظت محیط‌زیست، برای اجرای موفق طرح‌های بازار آب ضروری است.

• چالش‌ها:

- کشف قیمت در بازار آب: تعیین قیمت مناسب برای آب یکی از چالش‌های اصلی در بازار آب است. قیمت آب باید به گونه‌ای تعیین شود که هم به تولیدکنندگان انگیزه دهد تا از آب به صورت بهینه استفاده کنند و هم به مصرف‌کنندگان امکان دسترسی به آب را بدهد. "آیا قرار است قیمت تعادلی را بازار یعنی همان سازوکار عرضه و تقاضا مشخص کند یا قیمت‌گذاری دستوری خواهد بود؟". مشابه یافته‌های پژوهش Howe و Goemans (۲۰۰۳)، یافته‌های

این پژوهش نشان داد علاوه بر قیمت گذاری، چالش همیشگی ارزش گذاری آب در این بازار هم مطرح است و اغلب حجم معاملات ممکن است بیانگر کل موارد مرتبط با کارایی و اهمیت یک بازار آب، نباشد. "چه قیمت گذاری دستوری اتفاق بیافتد و چه توافقی، هر دو حالت چالش های خاص خود را دارد".

- توزیع عادلانه آب: اطمینان از توزیع عادلانه آب بین همه کاربران، از جمله کشاورزان، صنایع و کسب و کارهای کوچک و متوسط و شهروندان یکی دیگر از چالش های مهم است.

- چالش ساختار مالکیت زمین و آب: پراکندگی مالکیت زمین و وجود قطعات کوچک کشاورزی، هماهنگی و همکاری بین کشاورزان را برای اجرای طرح های بازار آب دشوار می کند (حدود ۴۵ هزار بهره بردار در بخش کشاورزی استان فعال هستند). "پیش شرط راه اندازی بازار آب، جدایی مالکیت زمین از آب است که با آن زمینه مبادله فراهم می شود". "برای استانی همچون سمنان که با مشکل اضافه برداشت مواجه است این موضوع می تواند وضعیت را بدتر کند و موجب فشار بیشتر به آبخوان، تضعیف عدالت و حقوق برخی از بهره برداران شود".

- چالش تنظیم گری در بازار: بازارها و به تبع آن بازار آب عموماً از اصول اقتصاد آزاد و عاری از دخالت دولت تبعیت می کنند. هر قانون و مقرراتی که از جانب دولت برای این بازار وضع شود بدون تردید بازار در مقابل آن مقاومت خواهد کرد.

- دکتین اقتصاد آزاد: عمده بازارهای آب موفق در جهان (اگر چه ممکن است از لحاظ اقلیمی مشابه ایران باشند) بازارهایی هستند که در کشورهای با اقتصاد لیبرال اداره می شوند و دکتین غالب در آنجا، اقتصاد آزاد است. در این کشورها (مثل استرالیا) کشاورزی صادرات محور بوده و تقریباً دولت هیچگونه یارانه ای به بخش کشاورزی نمی دهد. در اقتصادی که عمده سازوکارهای آن در سیطره دولت است، بازار آب با چالش بزرگی مواجه خواهد شد.

- اصول و قواعد فقهی و دینی: در تشکیل بازار آب و انجام معاملات آبی باید اصول و قواعد فقهی از قبیل لاضرر، عدم اتلاف و اسراف، نفی عسر و حرج و ... رعایت شود (صادقی و آسایش، ۱۳۹۵). "علاوه بر این موضوعاتی همچون ذکات و خمس که کشاورز پرداخت می کند هم باید مد نظر قرار گیرد".

- فقدان طرح انجام شده مشابه: "استان سمنان جزء ۵ استان پایلوت اجرای بازار آب در ایران است لذا اولین ها امکان بنچ مارک و درس آموزی از تجربه های قبلی را ندارند" و این چالش جدی در حوزه یادگیری سازمانی است.

مضمون سوم: الزامات حکمرانی فراگیر آب در عصر بازار

حکمرانی فراگیر آب، چارچوبی است که برای مدیریت پایدار منابع آب و تضمین دسترسی عادلانه به آب برای همه طراحی شده است. در عصر بازار، این چارچوب اهمیت زیادی می یابد، زیرا بازار آب تنها در صورتی می تواند کارآمد و پایدار باشد که بر پایه

اصول حکمرانی فراگیر بنا شده باشد. بر اساس اصول و شاخص های حکمرانی آب سازمان همکاری های اقتصادی و توسعه (OECD)، ۲۰۱۸) مهمترین الزامات حکمرانی آب برای تحقق اهداف بازار آب در استان سمنان به شرح زیر است^{۲۱}:

• مشارکت و یاریگری همه ذی نفعان:

- جاهایی دقیق ذی نفعان: شناسایی همه افرادی که به نوعی از منابع آب متأثر می شوند، از جمله کشاورزان، صنایع، شهروندان، سازمان های غیردولتی، دولت، زنان، جوانان و

- ایجاد فرصت برابر مشارکت: فراهم آوردن فرصت های برابر برای همه ذی نفعان جهت مشارکت در تصمیم گیری های مربوط به مدیریت منابع آب و بازار آب. به نقل از یکی از مشارکت کنندگان "ما در بحث بازار آب کجا نظر کشاورزان را جویا شدیم؟ کشاورز در این فرآیند چه نقشی داشته است؟"

- تسهیل ارتباطات: ایجاد سازوکارهای ارتباطی مؤثر برای تسهیل تبادل اطلاعات و نظرات بین همه ذی نفعان و ایجاد کانال های ارتباطی دوطرفه برای تبادل نظرات و ایده ها بین طرفین.

- تصمیم گیری مشارکتی: مشارکت فعال ذی نفعان در فرآیند تصمیم گیری در مورد مدیریت منابع آب.

- ایجاد تشکلهای آب بران: ایجاد انجمن های آب بران برای مشارکت کشاورزان در تصمیم گیری های مربوط به مدیریت منابع آب و بازار آب ضروری است. براساس نظر مشارکت کنندگان "در استان سمنان تشکلهای آب بر به دلایل مختلفی شکل نگرفته است، البته در گرمسار یک تشکل ساختار یافته وجود دارد اما در کل استان استقبالی از جانب خود کشاورزان، مسئولان و تصمیم گیرندگان و سازمان های مرتبط برای تشکیل این انجمن ها وجود ندارد به گونه ای که کشاورز منفعت خود را در نبود تشکل آب بر می بیند". مشابه یافته های پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۷)، یافته های این پژوهش نشان داد ایجاد تشکلهای آب بران برای موفقیت بازار آب ضروری است. - تشکیل شوراهای آب: تشکیل شوراهای آب محلی با حضور نمایندگان همه ذی نفعان برای حل اختلافات و تصمیم گیری های جمعی.

• توسعه ظرفیت ها:

- توسعه ظرفیت های نهادها: "ظرفیت های سازمان ها و نهادهای درگیر در حوزه آب باید تقویت شود؛ هم شرکت آب منطقه ای و هم جهاد کشاورزی از استخدام نیروی انسانی با مهارت و متخصص گرفته تا انتخاب مدیران بر اساس شایستگی های مدیریتی و آموزش و بهسازی نیروی انسانی نیازمند تقویت جدی هستند" علاوه بر این در بحث بازار آب کارگزاری ها و نهادهای مسئول هم نیازمند ارتقا ظرفیت هستند.

- توسعه ظرفیت های جامعه محلی: برگزاری دوره ها و کارگاه های آموزشی، جلسات عمومی با موضوع بازار آب و تهیه مستندات آموزشی برای عموم مردم به ویژه کشاورزان در ارتقا عملکرد و توسعه بازار آب مؤثر خواهد بود.

- توسعه ظرفیت‌های نهادهای مدنی: آموزش و آگاهی‌بخشی به نهادهای مدنی در خصوص اهمیت بازار آب و پیامدهای مثبت آن در مدیریت.

- تبادل دانش و تجربه: "تسهیل تبادل دانش و تجربه بین مناطق مختلفی که طرح بازار آب در آنجا در حال اجرا است (قزوین، خواف، اردکان) می‌تواند در زمینه اداره بازار آب کمک شایانی به سمنان کند."

• شفافیت، پاسخگویی، درستکاری:

- دسترسی به اطلاعات: فراهم کردن دسترسی آزاد به اطلاعات مربوط به منابع آب، کیفیت آب، سیاست‌های آبی و تصمیم‌گیری‌های مربوط به آن و دسترسی آزاد و آسان همه ذی‌نفعان به اطلاعات دقیق و به‌روز در مورد وضعیت منابع آب، کیفیت آب، سیاست‌های آبی و نتایج مطالعات مرتبط از مهمترین مولفه‌های تاثیر گذار در حکمرانی بهتر آب و به تبع آن بازار آب است.

- پلتفرم‌های اطلاعاتی: ایجاد پلتفرم‌های آنلاین برای انتشار اطلاعات و تسهیل تعامل بین ذی‌نفعان. "در بحث شفاف سازی شرکت آب منطقه‌ای سمنان با مشاور قرارداد بسته و قرار است بحث جمع‌آوری داده‌ها و داشبورد مدیریتی را انجام دهد."

- زبان ساده: ارائه اطلاعات به زبانی ساده و قابل فهم برای عموم مردم منجر به رفع بسیاری از ابهامات ایجاد شده در خصوص بازار آب می‌شود. برخی از مشارکت کنندگان (خاصاً کشاورزان) پژوهش اظهار کرده‌اند که "بازار آب بحث پیچیده‌ای است و برای کشاورز ابعاد آن نامفهوم و پیچیده است"

- پاسخگویی نهادهای مسئول: الزام نهادهای مسئول به پاسخگویی در برابر تصمیمات و اقدامات خود در حوزه مدیریت منابع آب به‌خصوص عملکرد بازار آب به اعتمادسازی و ترغیب مشارکت کشاورزان در بازار آب کمک می‌کند. "ایجاد سازوکارهای نظارتی قوی برای اطمینان از اجرای صحیح قوانین و مقررات مربوط به بازار آب ضروری است."

- حاکمیت قانون: تدوین قوانین و مقررات صریح، شفاف و جامع برای بازار آب و ایجاد سازوکارهای نظارتی قوی برای اطمینان از اجرای دقیق قوانین و مقررات در کنار الزام نهادهای دولتی به پاسخگویی در برابر تصمیمات و اقدامات خود یکی از مهمترین الزامات حکمرانی آب در راه اندازی و توسعه بازار آب استان است. - درست‌کاری: اطلاع‌رسانی عمومی و شفاف در مورد وضعیت منابع آب، سیاست‌های آبی و تصمیمات اتخاذ شده، ایجاد سازوکارهای قوی برای مبارزه با فساد و شفافیت در فرآیندهای تصمیم‌گیری، در ایجاد حس مسئولیت‌پذیری در همه ذی‌نفعان برای حفظ منابع آب ضروری است.

• نقش‌ها و مسئولیت‌های روشن:

- تعیین دقیق نقش هر نهاد: هر یک از نهادهای درگیر در بازار آب سمنان (جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه‌ای سمنان، کشاورزان، صنایع و...) باید نقش و مسئولیت‌های خود را به طور دقیق بشناسند و به آن‌ها عمل کنند. وظایف نظارتی، اجرایی و حمایتی باید به طور

واضح بین نهادهای مختلف تقسیم شود و هر نهادی باید در قبال تصمیمات و اقدامات خود پاسخگو باشد.

- تنظیم‌گری و تسهیلگری شرکت آب منطقه‌ای سمنان: "شرکت آب منطقه‌ای باید متولی اصلی کار باشد متولی باید در این بازار همه کاره باشد، قیمت تعیین کند، مشخص کند چه کسی می‌تواند آب بفروشد و چه کسی نمی‌تواند آب بفروشد". در استان سمنان با محوریت شرکت آب منطقه‌ای برای برخی از طرح‌ها خدمات تسهیلگری به شرکت‌های بیرونی واگذار شده است.

- تدوین قوانین و مقررات شفاف: دولت و شرکت آب منطقه‌ای سمنان باید بر اجرا و ایفای نقش‌ها و مسئولیت‌های مرتبط با مدیریت بازار آب نظارت کنند و از رعایت آن‌ها توسط همه ذی‌نفعان اطمینان حاصل کنند. یافته پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش کیانی (۱۳۹۵) هم‌راستا است.

• تامین مالی:

- منابع مالی پایدار: برای تامین مالی طرح‌های توسعه بازار آب، نیاز به شناسایی منابع پایدار مالی است.

- حمایت از سرمایه‌گذاری: دولت و شرکت آب منطقه‌ای سمنان باید از سرمایه‌گذاری در بخش آب حمایت کنند و محیطی مناسب برای جذب سرمایه‌گذاران بخش خصوصی ایجاد و سازوکارهای مناسب برای مشارکت آن‌ها را در تامین مالی بازار آب را تدارک ببینند.

- استفاده از ابزارهای مالی نوین: استفاده از ابزارهای مالی نوین مانند اوراق قرضه آب و بیمه آب و ... برای جذب سرمایه و توسعه بازار آب می‌تواند مفید باشد.

• حکمرانی نوآورانه:

- استفاده از فناوری‌های نوین: استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، بلاک چین و اینترنت اشیا برای بهبود مدیریت بازار آب.

- ایجاد پلتفرم‌های آنلاین: ایجاد پلتفرم‌های آنلاین برای تبادل اطلاعات، انجام معاملات و شفافیت در بازار آب مفید است.

- ترغیب نوآوری: ایجاد محیطی مناسب برای نوآوری و توسعه فناوری‌های جدید در زمینه مدیریت بازار آب و استقبال از طرح‌های نوآورانه با همکاری مراکز دانشگاهی، پارک‌های علم و فناوری و مراکز تحقیقاتی استان.

مضمون چهارم: سازوکارها و راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد بازار آب

باتوجه به اهمیت آب در توسعه پایدار استان سمنان و چالش‌های موجود در بازار آب این استان، ارائه راهکارهای نوآورانه برای بهبود عملکرد این بازار ضروری است. در ادامه به برخی از این راهکارها اشاره می‌شود:

• شفاف‌سازی:

- سنجش آب قابل برنامه‌ریزی و توافق بر سر آن: "ما باید آبی را به فروش بگذاریم که وجود داشته باشد". وقتی در استان سمنان حجم

منابع آبی استان در مجموع ۸۷۱ میلیون متر مکعب در سال شامل ۷۰۵ میلیون متر مکعب آب‌های زیرزمینی و ۱۶۶ میلیون متر مکعب آب‌های سطحی است. لذا برای ورود به بحث بازار و در تمام مراحل توسعه بازار آب باید مقدار آب قابل فروش برای هرکس مشخص شود. پذیرش میزان مجوزهای برداشت آب توسط بهره‌برداران و به رسمیت شناختن آن: مشابه یافته‌های پژوهش جعفری (۱۳۸۳)، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد در بحث مجوزهای برداشت آب باید در منطقه و ظرف خود تحلیل انجام شود. به عنوان مثال در یک منطقه سمنان زمین کیفیت مناسب ندارد ولی آب مناسبی دارد و ممکن است مالکان آن حاضر باشند سهم آب خود را نصف کند، ولی به او این مجوز داده شود که آب را بر سر باغ دیگری که شرایط مناسب‌تری دارد برود. به عبارتی جدایی مالکیت زمین از آب به رسمیت شناخته شود. باید حقوق آب تصریح شود و بازبینی در قوانین آب با رسمی شمردن مبادله و خرید و فروش آب اتفاق بیافتد.

- سنجش دقیق میزان مصرف آب به تفکیک بهره‌برداران: در استان سمنان باید شبکه پایش منابع و شبکه پایش مصارف به صورت جدی پیگیری شود؛ در حوزه پایش مصرف در استان اقدامات خوبی انجام شده است و "بیش از ۹۰ درصد حدود ۳۰۰۰ چاه استان به کنتور هوشمند مجهز شده‌اند و تقریباً در استان چاه غیر مجاز وجود ندارد" ولی "در حوزه نصب کنتور به ۹۰ درصد کنتور نصب کرده‌ایم و عملاً این کنتورها قابلیت آنلاین شدن ندارند" بنابراین کالیبره شدن و اتصال آن به سامانه مرکزی پایش برداشت‌ها انجام نشده است. در خصوص شبکه پایش منابع نیز در استان در وهله اول نیاز است تا کلیه چاه‌های پیژومتریکی فعال در استان که حدود ۴۰۰ ایستگاه است آنلاین شوند و به تجهیزات نوین و دیتالاگرها تجهیز شود تا ضمن ارسال آنلاین داده‌ها به یک مرکز پردازش داده، مدل آب زیرزمینی و تغییرات آبخوان دقیقاً قابل پایش باشد، وجود چنین شبکه‌ای جهت برنامه‌ریزی در خصوص بازار آب ضروری بوده و همچنین افزایش اعتماد عمومی به ارائه آمارها را افزایش می‌دهد.

- اصلاح و تعدیل پروانه‌ها: "اصلاح و تعدیل پروانه‌های آب همانند شمشیر دو لبه عمل می‌کند"، به عنوان یکی از ابزارهای مدیریت منابع آب، تأثیر به‌سزایی بر شکل‌گیری و عملکرد بازار آب دارد. این اقدامات با هدف ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب، بهبود بهره‌وری در مصرف آب و جلوگیری از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی انجام می‌شود. با تعیین سقف مشخص برای هر پروانه، شفافیت در بازار آب افزایش یافته و کاربران آب از میزان آبی که می‌توانند برداشت کنند، آگاه می‌شوند. با محدود شدن مقدار آب قابل برداشت، هزینه فرصت استفاده از آب افزایش یافته و کاربران به سمت استفاده بهینه از آب سوق داده می‌شوند. در نهایت برای افزایش بهره‌وری در مصرف آب، کاربران به سمت استفاده از فناوری‌های نوین آبیاری و روش‌های مدیریت بهینه آب سوق داده می‌شوند. این یافته‌ها با یافته‌های پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۷) همراستا است.

• فناوری:

- استفاده از فناوری‌های نوظهور: فناوری‌های نوظهوری مانند بلاک چین و اینترنت اشیا، تحولات شگرفی را در مدیریت منابع آب ایجاد کرده‌اند. این فناوری‌ها با ارائه راهکارهای نوین و هوشمند، به بهبود بهره‌وری، شفافیت و پایداری در بخش آب کمک می‌کنند. با به کارگیری بلاک چین در بازار آب و مدیریت منابع آب، هرگونه تغییر در حقایقها و انتقال آن بین کاربران به صورت شفاف و قابل ردیابی در بلاک چین ثبت می‌شود؛ مصرف آب هر کاربر به صورت دقیق ثبت شده و قابل مشاهده برای همه ذی‌نفعان می‌شود و با شفافیت کامل در فرآیند تخصیص و مصرف آب، امکان فساد و سوءاستفاده به حداقل می‌رسد. با ایجاد شفافیت، امنیت و قابلیت ردیابی، بلاک چین می‌تواند به ایجاد یک سیستم مدیریت آب عادلانه، کارآمد و پایدار کمک کند. سنسورهای متصل به اینترنت اشیا نیز می‌توانند داده‌های زیادی در مورد کیفیت آب، سطح آب در مخازن، وضعیت لوله‌ها و سایر پارامترهای مرتبط جمع‌آوری کنند. با استفاده از این داده‌ها، می‌توان سیستم‌های آبیاری، تصفیه آب و توزیع آب را به صورت هوشمند کنترل کرد. هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز فناوری‌های نوظهور هستند که برای پیش‌بینی تقاضای آب، بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع و مدیریت هوشمند منابع آب کاربرد دارند.

• راهکارهای ارتقا:

- هماهنگی سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای: "اجرای موفق طرح بازار آب به شدت بستگی به هماهنگی و همکاری دو نهاد جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای دارد. تا زمانی که این دو نهاد با هم هماهنگ نباشند و در یک راستا فعالیت نکنند، بسیاری از امور از جمله بازار آب به نتیجه نمی‌رسد".

- جرم‌انگاری از اضافه برداشت: "باید به لحاظ قضایی برخورد جدی‌تری با اضافه برداشت‌ها و متخلفان صورت بگیرد". تا زمانی که مجازات متناسب با جرم نباشد احتمال بروز آن بیشتر می‌شود. "باید قیمت آب بازار آب از آب اضافه برداشت شده بیشتر باشد تا کشاورز به جای اضافه برداشت به سراغ بازار آب بیاید".

- ترغیب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی: باید مشوق‌هایی را برای سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ورود و توسعه بازار آب در نظر گرفت. ارائه تسهیلات مالی و اعتباری به سرمایه‌گذاران بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در بخش آب؛ تضمین بازده سرمایه‌گذاری جهت ایجاد سازوکارهای تضمین بازده سرمایه‌گذاری برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در بخش آب و ساده‌سازی فرآیندهای اداری و صدور مجوزها برای سرمایه‌گذاران می‌تواند در توسعه طرح‌های آبی از جمله بازار آب موثر باشد.

- آموزش و آگاهی‌بخشی: آموزش کشاورزان؛ آگاهی‌بخشی عمومی به کشاورزان به خصوص مالکان؛ ارتقا دانش مدیران و کارشناسان بخش آب از طریق برگزاری کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی باید در دستور کار شرکت آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی و سایر نهادهای مرتبط قرار گیرد.

- مشارکت جوامع محلی: ایجاد انجمن‌های آب‌بران برای مشارکت کشاورزان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به بازار آب؛ تشکیل شوراهای آب با حضور نمایندگان همه ذی‌نفعان برای حل اختلافات و تصمیم‌گیری‌های جمعی؛ حمایت از سازمان‌های مردم‌نهاد فعال در حوزه آب برای افزایش آگاهی عمومی و مشارکت مردم و اختصاص بخشی از بودجه‌های مربوط به آب به طرح‌های پیشنهادی جوامع محلی می‌تواند در توسعه بازارهای آب موثر باشد.

- تقویت نهادهای نظارتی: تقویت نهادهای نظارتی برای نظارت بر اجرای قوانین و مقررات مربوط به آب در کنار شفافیت در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با بازار آب و الزام نهادهای مسئول به پاسخگویی در برابر تصمیمات و اقدامات خود می‌تواند در توسعه بازار آب استان تاثیر گذار باشد. مشابه یافته‌های پژوهش جعفری (۱۳۸۳)، نتایج این پژوهش نشان داد تشکیل نهادهای ناظر و مراجع و نهادهای محلی حل اختلاف می‌تواند در موفقیت استقرار بازار آب مفید باشد.

- توسعه شکل‌های دیگر بازار آب در استان: بر اساس دستورالعمل‌های موجود در حال حاضر در دشت سمنان تنها مبادله بین کشاورز و صنعت به رسمیت شناخته شده و توسعه شکل‌های دیگر معامله از جمله کشاورزی با کشاورزی؛ کشاورزی با شرب و ... می‌تواند در توسعه بازار آب سمنان موثر باشد.

- متنوع‌سازی قراردادهای بازار آب: از حیث مدت زمان قرارداد؛ تحویل آب به طور حجمی و ... می‌توان خرید و فروش آب را متنوع‌تر کرد. - مکاری بین‌بخشی: علاوه بر هماهنگی ضروری جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای که شرط لازم برای ارتقا عملکرد بازار آب در استان است؛ ایجاد هماهنگی بین سایر دستگاه‌های اجرایی درگیر در مدیریت منابع آب و بازار آب ضروری است. همانطور که مشارکت کنندگان هم‌اظهار کردند "تعارض منافع و ناهماهنگی بین دستگاه‌های درگیر یکی مهمترین عامل رشد نکردن بازار آب استان است".

- تشکیل کارگروه‌های تخصصی: تشکیل کارگروه‌های تخصصی متشکل از ذی‌نفعان کلیدی (بهره‌برداران، غیر بهره‌برداران) برای بررسی مسائل مختلف مربوط به بازار آب.

- تشکیل بازار ثانویه: کشاورزانی که سهمیه آب دارند اما توان یا دانش استفاده یا خاک نامناسب دارند، می‌توانند بخشی از سهم آب خود را به کشاورزان متقاضی واگذار نمایند. خریداران نیز ملزم هستند سهم خریداری شده را در چرخه تولید برای افزایش محصول مورد استفاده قرار دهند.

- نذر آب: "سامانه‌ای برای نذر آب ایجاد شود تا مردمی که قصد نذر آب دارند، آب را از کشاورز به نفع آبخوان خریداری کنند هرچند که در سمنان بیشتر خریدار آب وجود دارد تا فروشنده آب".

مضمون پنجم: پیامدها و رهاوردهای بازار آب

اجرای طرح بازار آب در استان سمنان، با وجود چالش‌هایی که ممکن است پیش‌رو داشته باشد، می‌تواند منجر به دستاوردهای مثبت و منفی مهمی برای این استان شود. در ادامه با توجه به اظهار نظر

مشارکت کنندگان پژوهش و تحلیل مصاحبه‌ها به برخی از مهمترین پیامدها و رهاوردهای مثبت و منفی این طرح اشاره می‌شود:

الف) پیامدها و رهاوردهای مثبت بازار آب برای سمنان:

بهبود بهره‌وری اقتصادی در مصرف آب: راه‌اندازی و استقرار بازار آب در پایلوت دشت سمنان با حدود ۳۷۸ چاه آب، بهبود بهره‌وری در مصرف آب و انتقال آب از بخش کمتر بهره‌ور (کشاورزی) به بخش با بهره‌وری بیشتر (صنعت) در پی دارد. این یافته پژوهش مشابه یافته‌های پژوهش طهماسبی و عسگری (۱۳۹۶)، کیانی و باقری (۱۳۹۵) و جفرو و علیزاده (۱۳۸۸) است.

- حفاظت از آبخوان‌ها و تعادل بخشی به منابع آب زیر زمینی: "هدف اصلی شرکت آب منطقه‌ای سمنان تعادل بخشی و حرکت به سمت آن است". هدف نهایی بازار آب، کاهش برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی از طریق افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی و اختصاص بخشی از آب صرفه‌جویی شده به حوزه صنعت است. مشابه یافته‌های پژوهش طهماسبی و عسگری (۱۳۹۶)، در این پژوهش هم مشارکت کنندگان تاکید کردند: "کشاورز می‌تواند با درآمد حاصل از فروش آب خود تجهیزات آبیاری خود را به روز کند و این خود می‌تواند عاملی برای صرفه‌جویی در مصرف آب در سال‌های آتی باشد".

- جلوگیری از حفر چاه جدید: با راه‌اندازی بازار آب در دشت سمنان، صناعی که نیاز به آب دارند اجازه حفر چاه نداشته و آب مورد نیاز خود را از بازار آب تهیه می‌کنند.

- ترغیب به صرفه‌جویی: با ایجاد انگیزه‌های اقتصادی برای کشاورزان و صنایع، مصرف آب بهینه می‌شود.

- اصلاح الگوی کشت: یک پیامد مهم راه‌اندازی بازار آب ایجاد انگیزه برای اصلاح الگوی کشت و کشت محصولات کم‌آب‌بر است. این یافته پژوهشی حاضر مشابه یافته‌های پژوهش پرهیزکاری و همکاران (۱۴۰۰) و ابوالحسنی و همکاران (۱۳۹۸) است.

- افزایش و تنوع بخشی درآمد کشاورزان: کشاورزانی که با بهبود روش‌های آبیاری و توسعه زیرساخت‌های آبی و افزایش راندمان، آب مازاد دارند، می‌توانند آن را به فروش برسانند و درآمد خود را افزایش دهند. این یافته پژوهشی حاضر مشابه یافته‌های پژوهش زارعی قورخودی و شاهنظری (۱۴۰۳) و کارخانه و همکاران (۱۳۹۹) است. - افزایش ضریب تبدیل آب به درآمد: با راه‌اندازی بازار آب و مبادله آب از کشاورزی به صنعت، امکان درآمد زایی از هر لیتر آب بیشتر خواهد شد.

- توسعه کشاورزی پایدار: یافته‌های پژوهش حاضر همانند یافته‌های پژوهش متین‌جو و علیزاده (۱۳۹۹) نشان داد در استان سمنان به علت شرایط اقلیمی امکان توسعه بخش کشاورزی در سطح نیست و باید افزایش تولید از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح انجام شود که کشاورزان با توسعه سیستم‌های نوین آبیاری و تغییر الگوی کشت و کشت محصولات کم‌آب‌بر می‌توانند به آن دست یابند.

- تعیین قیمت واقعی آب: با ایجاد بازار آب ارزش آب واقعی می‌شود، قیمت واقعی آب مشخص می‌شود و ارزش واقعی هر لیتر آب تا حدودی مشخص می‌شود.

- افزایش اعتماد عمومی: اگر شفافیت در بازار آب وجود داشته باشد و یک بازار رقابتی کامل شکل بگیرد، این امر اعتماد عمومی به سیستم مدیریت آب استان را افزایش می‌دهد.

- تقویت اقتصاد محلی و رونق اقتصادی: با بهبود بهره‌وری در بخش کشاورزی و توسعه صنایع وابسته به آب، تولید و اشتغال در استان افزایش می‌یابد و در نتیجه می‌توان گفت بهبود عملکرد بازار آب می‌تواند به رونق اقتصادی منطقه کمک کند. این یافته پژوهشی مشابه یافته‌های پژوهش ذوالفقاری پور و همکاران (۱۳۹۹) است.

- بهبود حکمرانی آب: مشابه یافته‌های پژوهش جفره و علیزاده (۱۳۸۸)، این پژوهش نشان داد با ایجاد بازار آب، مشارکت مردم در مدیریت منابع آب افزایش می‌یابد و مردم محلی و ذی‌نفعان مختلف می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت منابع آب مشارکت فعال داشته باشند.

- تخصیص عادلانه آب: با ایجاد بازار آب، آب به صورت عادلانه‌تر بین کاربران (کشاورزی و صنعت) مختلف توزیع می‌شود.

- کاهش اختلافات بر سر آب: با شفافیت در تخصیص آب، اختلافات بین کاربران کاهش می‌یابد.

- افزایش آگاهی عمومی: با ایجاد بازار آب، آگاهی عمومی در مورد اهمیت آب و چالش‌های مرتبط با آن افزایش می‌یابد.

- بهبود محیط‌زیست: با حفاظت از منابع آبی، کیفیت محیط‌زیست بهبود می‌یابد. این یافته پژوهشی همراستا با یافته‌های پژوهش پرهیزکاری و همکاران (۱۴۰۰) است.

- تقویت امنیت ملی: با ایجاد یک سیستم مدیریت آب عادلانه و شفاف، تنش‌های آبی بین مناطق شهرها و استان‌ها کاهش می‌یابد. - افزایش امنیت غذایی: با تامین پایدار آب برای کشاورزی، امنیت غذایی کشور تقویت می‌شود. بر اساس اظهار نظر مسئولان استانی "یکی از مراقبت‌هایی که در طرح «بازار آب» باید توجه شود، این است که فعالیت کشاورزی، تولید محصولات و امنیت غذایی مورد تهدید قرار نگرفته و کاهش نیابد؛ در واقع طرح «بازار آب» باید فرصتی را فراهم کند تا کشاورزی سنتی به سمت کشاورزی مدرن سوق پیدا کرده و اجرای طرح منجر به توقف کشاورزی با تولید محصولات سودمند و راهبردی نشود."

- تغییر نگرش کشاورزان: تغییر نگرش کشاورزان از مصرف‌کننده صرف آب به تولیدکننده و فروشنده آب، یکی از نتایج مهم اجرای طرح بازار آب است.

ب) پیامدها و رهاورد‌های منفی بازار آب برای سمنان:

یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد با وجود مزایای متعدد اجرای بازار آب، این طرح نیز همچون هر طرح دیگری با چالش‌ها و پیامدهای منفی احتمالی روبه‌رو است. در ادامه به برخی از این

پیامدها اشاره می‌شود:

- در اولویت نبودن حفظ منابع آبی زیرزمینی: "در کدام کشور بازار آب اولویت اول حفظ منابع آبی بوده است؟" در بسیاری از طرح‌های بازار آب، افزایش بهره‌وری اقتصادی به عنوان هدف اصلی دنبال می‌شود، این طرح‌ها می‌توانند به طور غیرمستقیم به بهبود وضعیت محیط‌زیستی نیز کمک کنند. با این حال، برای اطمینان از اینکه بازار آب به عنوان ابزاری برای دستیابی به پایداری محیط‌زیستی اکوسیستم‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد، نیاز به طراحی دقیق سازوکارها و سیاست‌های حمایتی است.

- ریسک مبادله آب‌های زیرزمینی: اغلب بازارهای آب موجود در دنیا جهت مبادله آب‌های سطحی هستند و راه‌اندازی بازاری که به مبادله آب زیرزمینی بپردازد (به صورت بازار رسمی) با خطر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی برای فروش در بازار، کاهش سطح آبخوان‌ها، شور شدن آب و تخریب‌های آبی همراه است.

- لبه تاریک توسعه صنعتی: چرخه معیوب رشد صنایع، مهاجرت نیروی کار، نیاز آب جدید در حوزه شرب و صنعت؛ آلاینده‌گی و آلودگی هوا و ... جنبه تاریک توسعه صنایع در استان سمنان است. در سمت روشن توسعه صنعتی استان این حقیقت وجود دارد که مطابق اعلام مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، استان سمنان رتبه نخست کشور را در شاخص ملی امنیت سرمایه‌گذاری به خود اختصاص داد و امن‌ترین استان برای سرمایه‌گذاری شناخته شد و با نرخ رشد اقتصادی پنج و ۲ دهم درصد، جزو سه استان کشور در شاخص پویایی اقتصادی در سال ۱۴۰۱ معرفی شده است به نحوی که استان پایه برای تبدیل شدن به الگو توسعه صنعتی و معدنی استان‌های کشور مدنظر قرار گرفته شده است. اما در سمت دیگر افزایش جمعیت، افزایش مشترکین خانگی آب شرب، افزایش تعداد کارخانه‌ها و معادن نیازمند به آب و فشار روز افزون به منابع آب زیرزمینی استان دیده می‌شود. - تبعیض و افزایش نابرابری: در صورت عدم نظارت کافی، ممکن است صنعتگر (و در آینده کشاورز) کوچک و کم‌درآمد توانایی رقابت در بازار آب را نداشته باشند و در نتیجه به آب دسترسی کمتری پیدا کنند. و منافع حاصل از مبادله آب در دست عده‌ای خاص متمرکز شود.

- افزایش هزینه‌های تولید و افزایش قیمت محصولات: با راه‌اندازی بازار آب به دلیل اینکه قیمت آب تا حدودی به قیمت واقعی آن نزدیک می‌شود نسبت به قیمت فعلی آب رشد چشمگیری خواهد داشت لذا این افزایش قیمت آب می‌تواند هزینه‌های تولید را برای صنایع و حتی برای کشاورزان افزایش داده و در نتیجه محصولات صنعتی و کشاورزی با قیمت بالاتری به بازار عرضه شود.

- چالش‌های تغییر الگوی کشت: کشاورزان ممکن است به دلیل افزایش هزینه‌های تولید، به سمت کشت محصولات کم‌آب‌بر و کم‌درآمد حرکت کنند که این امر می‌تواند بر امنیت غذایی تأثیر بگذارد. برخی از مشارکت‌کنندگان معتقد هستند "تغییر الگوی

کشت یعنی اینکه به جای کاشت محصول استراتژیک گندم، نعنای فلفلی کاشت شود!، از طرفی عنوان شده است "در بازار آب سمنان قرار نیست کشت محصولات استراتژیک مثل گندم و جو تغییر کند، هیچ تغییری در کشت این محصول ایجاد نمی‌شود".

تخریب محیط‌زیست: در صورت عدم مدیریت صحیح، ممکن است برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی افزایش یافته و به تخریب محیط‌زیست و آلودگی منابع آب منجر شود.

- افزایش تنش‌های اجتماعی: افزایش قیمت آب و واقعی‌تر شدن ارزش آب و همچنین رقابتی شدن قیمت آب پیامد قطعی استقرار بازار آب خواهد بود (چه در حالت قیمت‌گذاری دستوری و چه در حالت قیمت‌گذاری بر اساس تعادل عرضه و تقاضا) این امر در کنار سایر محرک‌های قبلی درگیری و اختلافات آبی قرار خواهد گرفت و ممکن است تنش‌های اجتماعی آبی را افزایش دهد.

- کاهش اعتماد عمومی: در صورت عدم شفافیت و عدالت در توزیع آب، و شکست احتمالی طرح بازار آب، این تجربه در کنار تجربه‌های شکست خورده دیگر موجب سرخوردگی جامعه و تضعیف اعتماد عمومی به سیستم مدیریت آب می‌شود.

- سفته‌بازی، دست‌کاری بازار و رانت‌جویی: امکان سوءاستفاده از بازار آب و دست‌کاری قیمت‌ها توسط برخی افراد وجود دارد. بازیگران بزرگ ممکن است قدرت بازار پیدا کرده و قیمت‌ها را به نفع خود دست‌کاری کنند یا در تلاش برای بهره‌مندی از رانت باشند. - تمرکز بر کوتاه‌مدت: بازار آب ممکن است به منافع کوتاه‌مدت توجه کرده و از منافع بلندمدت غافل شوند. در بازارهای رقابتی، شرکت‌ها و افراد تمایل دارند به دنبال حداکثر سود در کوتاه‌مدت باشند و ممکن است برای دستیابی به این هدف، از منابع آبی به صورت پایدار استفاده نکنند.

- نادیده گرفتن هزینه‌های اجتماعی و محیط‌زیستی: بازارها اغلب هزینه‌های اجتماعی و محیط‌زیستی ناشی از برداشت بیش از حد آب را در نظر نمی‌گیرند. این هزینه‌ها ممکن است شامل کاهش کیفیت آب، تخریب اکوسیستم‌ها و افزایش هزینه‌های تصفیه آب در آینده باشد.

- اثرات شخص ثالث: شخص ثالث در این زمینه می‌تواند به هر فرد، سازمان یا نهادی اشاره کند که به طور مستقیم در فرآیند تولید، توزیع یا مصرف آب دخیل نیست، اما می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر این فرآیندها داشته باشد. بانک‌ها و موسسات مالی، صاحبان صنایع، فعالان محیط‌زیست، مقامات سیاسی و مذهبی و ... از این دسته هستند.

- افزایش دامنه اختلافات و تعارض بین سازمانی: "بازار آب و اختلاف نظرهای موجود پیرامون آن، دامنه تعارض منافع، اختلاف نظرها و تا حدودی درگیری‌های بین دستگاه‌های مجری را گسترده‌تر می‌کند و خود می‌تواند عامل ایجاد اختلاف نظر و درگیری در کنار عوامل دیگر باشد.

- آثار رفاهی نامتوازن: بازارها عموماً در خدمت منافع طبقه مرفه جامعه هستند. با راه‌اندازی بازار آب رفاه جامعه روستایی افزایش و رفاه جوامع متوسط شهری کاهش می‌یابد. در جامعه روستایی هم رفاه دهک‌های بالای جامعه افزایش و رفاه دهک‌های پایین کمتر می‌شود چون عموماً دهک‌های بالاتر سهم بیشتری از مالکیت زمین‌های دارای حقابه را دارند. این یافته پژوهشی همراستا با یافته‌های پژوهش یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بازار آب طرح جدیدی است که در چند استان به‌صورت پایلوت در حال اجرا است و بازار آب سمنان هم سومین محدوده مطالعاتی است که مقدمات اجرای آن فراهم شده است. به نظر می‌رسد از جانب نهادهای بالادستی از جمله وزارت نیرو راه‌اندازی بازار آب در استان‌های مختلف به زودی تکلیف می‌شود و شرکت‌های آب منطقه‌ای موظف به راه‌اندازی بازار آب در دشت‌های منتخب خواهند شد. باید توجه کرد کم‌آبی موضوعی انکارناپذیر است و لازم است خط‌مشی‌های آبی به سمت و سویی جریان پیدا کند تا در کنار افزایش بهره‌وری کشاورزی و رونق تولید کشاورزی و صنایع، فشار به آبخوان‌ها را هم کاهش دهد. همانطور که ذکر شد تا کنون استقبال قابل توجهی از بازار آب در دشت سمنان نشده است که عوامل مختلفی در این عدم استقبال تأثیر دارند مهمترین عوامل می‌تواند به کاهش حجم و میزان آب قابل‌برداشت کشاورزان به‌واسطه اصلاح پروانه متناسب با پتانسیل چاه و تعدیل پروانه متناسب با ضریب اعلامی طرح احیاء و تعادل بخشی، تحویل حجمی آب و اعمال ساعت کارکرد با نصب کنتورها، اعمال کاهش برداشت آب در جابه‌جایی و کف‌شکنی چاه‌ها اشاره نمود؛ در چنین شرایطی می‌توان گفت کشاورزان آب‌مازادی نخواهند داشت تا وارد بازار آب کنند و تنها باید تلاش کنند تا با مدیریت همین آب موجود کشاورزی خود را حفظ کنند. عامل اثرگذار دیگر بحث عدم اعتماد می‌تواند باشد؛ مزایای بازار برای کشاورزان تبیین نشده است. همچنین شرایط ورود به بازار هم عاملی تأثیرگذار است؛ به‌عنوان مثال کنتور چاه باید دارای مودم و قطع‌کن باشد و یا اینکه کشاورزان درخواست افزایش شارژ نداشته باشند. علاوه‌براین توافق بین همه مالکین چاه برای ورود به بازار به دلیل تعداد زیاد آن‌ها مشکل است. عوامل مذکور از جمله عواملی است که موجب شده تا به امروز از بازار آب استقبال نشود. باتوجه‌به تحلیل جامعی که از بازار آب استان سمنان ارائه شده است، و بر اساس نتایج و یافته‌های این پژوهش، پیشنهادات زیر برای بهبود عملکرد و توسعه پایدار بازار آب در استان سمنان ارائه می‌شود. این پیشنهادات، با تمرکز بر شرایط خاص سمنان و چالش‌های شناسایی شده در این منطقه تدوین شده‌اند.

مطابق با یافته‌های پژوهش، بخشی از زمین‌های کشاورزی سمنان

در اختیار بهره‌برداران قرار دارد که لزوماً مالک زمین نیستند. از این رو، ضروری است مالکان زمین‌ها درباره مزایای بازار آب آگاه شوند و با اعتمادسازی، آنان نیز انگیزه لازم برای مشارکت در این طرح را داشته باشند. همچنین، ساختار مالکیت مشترک در بسیاری از چاه‌های آب، چالشی مهم در مسیر توسعه بازار آب ایجاد کرده است. در چنین مواردی، بهره‌برداران این چاه‌ها، که اغلب فروشندگان اصلی آب هستند، به شیوه‌های مختلف از جمله ترساندن یا اقناع سایر مالکان، از ورود آن‌ها به بازار رسمی جلوگیری می‌کنند. حتی در برخی موارد، این افراد آب را به صورت غیررسمی از فروشندگان خریداری می‌نمایند و به این ترتیب مانع از شکل‌گیری بازار شفاف و کارآمد می‌شوند.

برای رفع این موانع، نخستین اقدام، اجرای برنامه‌های گسترده آگاهی‌بخشی است تا تمامی ذی‌نفعان، از جمله مالکان و بهره‌برداران، از مزایا و سازوکارهای بازار آب مطلع شوند. این برنامه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که مقاومت‌های اولیه نسبت به طرح کاهش یابد و پذیرش عمومی نسبت به بازار آب افزایش پیدا کند. دوم، لازم است گروه‌هایی که با فشار و تهدید، سایر مالکان را از مشارکت در بازار بازمی‌دارند، شناسایی شوند. برای این منظور، نظارت دقیق بر معاملات غیررسمی و ایجاد سازوکارهای حقوقی و قانونی برای برخورد با این گروه‌ها ضروری است. این اقدامات باید با همکاری نهادهای محلی و ذی‌نفعان انجام شود تا ضمن جلوگیری از انحصارطلبی، بازار به شکلی عادلانه برای همه فعالان قابل دسترس باشد.

همچنین، توسعه زیرساخت‌های اطلاعاتی و سامانه‌ای شفاف برای ثبت و نظارت بر معاملات بازار آب، به کاهش سوءاستفاده‌ها و تقویت اعتماد بین طرفین معامله کمک می‌کند. از سوی دیگر، طراحی مشوق‌های مالی برای مالکان و بهره‌برداران، نظیر تسهیلات جهت بهبود تجهیزات کشاورزی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین آبیاری، می‌تواند به افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف بی‌رویه آب منجر شود.

علاوه بر پیشنهادات فوق، جهت ارتقا اثر بخشی و بهبود کارکرد بازار آب سمنان مبتنی بر یافته‌ای پژوهش سایر پیشنهادات عملیاتی و سیاستی به شرح زیر بیان می‌شود:

- توسعه الگوهای متنوع مبادله در بازار آب: علاوه بر مبادله آب از کشاورز به صنعت، امکان‌سنجی و راه‌اندازی حالت‌های دیگر مبادله مانند کشاورز به کشاورز، صنعت به صنعت، و مشارکت‌های بین‌بخشی برای استفاده بهینه‌تر از منابع آبی.

- گسترش بازار آب به دشت‌های دیگر استان سمنان: با توجه به اجرای پایلوت طرح در دشت سمنان و محدود بودن آن به حدود ۴۰۰ چاه، پیشنهاد می‌شود بازار آب به دشت‌های دیگر استان که وضعیت نسبتاً بهتری دارند و احتمال استقبال بیشتر از طرح وجود دارد، توسعه یابد. این گسترش می‌تواند به تعمیم مزایای بازار و تقویت اثر بخشی آن در سطح استان کمک کند.

- افزایش آگاهی مالکان و بهره‌برداران زمین‌های کشاورزی: اجرای برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی درباره مزایای اقتصادی و اجتماعی

بازار آب برای جلب اعتماد و مشارکت گسترده‌تر.

- ایجاد سامانه شفاف برای ثبت معاملات آب: توسعه یک سامانه اطلاعاتی برای نظارت و شفافیت در معاملات بازار آب، با هدف کاهش معاملات غیررسمی و تضمین حقوق ذی‌نفعان.

- کنترل فشارهای اجتماعی در معاملات بازار آب: شناسایی گروه‌هایی که با تهدید یا اقناع، مالکان را از ورود به بازار آب بازمی‌دارند، و تدوین سازوکارهای حقوقی و اجرایی برای جلوگیری از این رفتارها. تشویق بهره‌برداران به مکانیزاسیون کشاورزی: ارائه تسهیلات مالی و یارانه برای تجهیز زمین‌های کشاورزی به فناوری‌های نوین آبیاری، به منظور کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری.

- اصلاح ساختار حقوق مالکیت آب: تعیین قوانین شفاف برای مالکیت آب، حقایق‌ها و نحوه توزیع آب بین مالکان و بهره‌برداران زمین‌های کشاورزی.

- بهبود اعتماد عمومی به بازار آب: ایجاد سازوکارهایی برای تضمین تأمین آب در آینده و جلوگیری از ایجاد انحصار توسط گروه‌های خاص در بازار آب.

- تقویت نقش دولت در نظارت بر بازار آب: نظارت دقیق بر معاملات بازار آب، از جمله تعیین قیمت‌های عادلانه و تضمین دسترسی عادلانه به منابع آبی برای تمامی ذی‌نفعان.

- تأمین زیرساخت‌های فنی و تجهیزاتی: نصب کنتورهای هوشمند، ارتقای سیستم‌های آبیاری و توسعه شبکه‌های انتقال آب برای مدیریت بهتر منابع آبی.

- تدوین مشوق‌های مالی برای ورود به بازار آب: ارائه مشوق‌هایی مانند تخفیف مالیاتی یا تسهیلات بانکی به کشاورزان و مالکان که آب مازاد خود را در بازار آب به فروش می‌رسانند.

- تقویت فرهنگ مشارکت عمومی در مدیریت آب: با تأکید بر شرایط خاص اقلیمی و اجتماعی استان سمنان، ترویج فرهنگ استفاده بهینه از منابع آبی و جلب همکاری فعال تمامی ذی‌نفعان در توسعه بازار آب

- ایجاد یک نهاد مستقل: تشکیل یک سازمان یا نهاد مستقل مسئول نظارت بر بازار آب و حل اختلافات بین بازیگران مختلف.

- بهبود هماهنگی بین دستگاه‌ها: تقویت همکاری بین سازمان‌های مرتبط با آب مانند آب منطقه‌ای، جهاد کشاورزی، محیط زیست و سایر نهادهای مرتبط.

- تقویت نقش انجمن‌های آب‌بران: حمایت از تشکیل و تقویت انجمن‌های آب‌بران برای افزایش مشارکت کشاورزان در تصمیم‌گیری‌ها.

- برگزاری جلسات مشورتی: برگزاری جلسات منظم با کشاورزان، صنایع، سازمان‌های مردم نهاد و سایر ذی‌نفعان برای جمع‌آوری نظرات و پیشنهادات.

- آموزش و ظرفیت‌سازی: برگزاری دوره‌های آموزشی برای افزایش آگاهی و دانش ذی‌نفعان در مورد بازار آب.

- ایجاد سازوکارهای مشارکت: ایجاد سازوکارهایی برای مشارکت فعال ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌های مربوط به بازار آب. تمامی این پیشنهادات، بر پایه یافته‌های پژوهش حاضر و شرایط منحصر به فرد استان سمنان ارائه شده‌اند و هدف آن‌ها ایجاد بازاری شفاف، کارآمد و پایدار است که در آن تمامی ذی‌نفعان به صورت عادلانه از منابع آبی بهره‌مند شوند و منابع ارزشمند آب زیرزمینی این استان برای نسل‌های آینده حفظ شود.

سیاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از طرح تحقیقاتی مشترک بین شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان و دانشگاه سمنان با عنوان "مسائل اجتماعی و مشارکت عمومی در بخش آب (مورد مطالعه: شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان)" می‌باشد. لذا از مدیران، مسئولان و کلیه کارشناسان شرکت سهامی آب منطقه‌ای سمنان بابت حمایت از این طرح و این مقاله، تقدیر و تشکر می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Feasibility of introducing water market(s) and framework assessment
- 2-Water market performance
- 3-Privatisation and marketisation of the water sector
- 4-Water market policy evaluation
- 5-Water demand and price analysis
- 6-Farmers' willingness to pay for water or participate in water market
- 7-Human behaviour in water markets
- 8-Institutional arrangements and transaction costs
- 9-Case studies: water market successes and failures
- 10-Water trade modelling
- 11-Design of water rights
- 12-Inter-state water governance
- 13-Water use efficiency
- 14-Environmental impacts
- 15-Climate impacts on water markets
- 16-Indigenous water rights/markets
- 17-Water quality trade
- 18-Informal water markets
- 19-Organization for Economic Co-operation and Development
- 20-lived experiences

۲۱- برگرفته از مقاله نویسنده با عنوان "واکاوی سیاست‌گذاری آب در سطح محلی در ایران: درس‌هایی از ارزیابی حکمرانی آب استان سمنان" که در ویژه‌نامه سیاست‌گذاری آب مجله مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی در حال انتشار است.

منابع

- ابوالحسنی، لیلی، شاهنوشی، ناصر، رهنما، علی، اعظم رحمتی، الهه، و حیران، فاطمه. (۱۳۹۸). نقش تشکیل بازار آب در میزان استفاده از منابع آبی در بخش کشاورزی (مطالعه موردی دشت مشهد). اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۷(۲)، ۱-۲۹. doi: 10.30490/aead.2019.95367
- احمدی، آزاده، ذوالفقاری‌پور، محمدامین، نیکویی، علی‌رضا، و درعلی، محمدیاسر. (۱۳۹۵). ارزیابی اقتصادی پیاده‌سازی بستر فنی بازار آب کشاورزی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبیاری مهیار. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۳)، ۳۵-۴۹.
- احمدی، آزاده، ذوالفقاری‌پور، محمدامین، و ابراهیمی، بابک. (۱۳۹۷). چالش‌ها و ملاحظات حقوق بازار آب محلی، مطالعه موردی: دشت اصفهان-برخوار. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۵)، ۱۴۶-۱۵۹.
- اعرابی، سید محمد، و بودلایی، حسن. (۱۳۹۰). استراتژی تحقیق پدیدارشناسی. فصلنامه روش‌شناسی علوم انسانی، ۱۷(۶۸)، ۳۱-۵۸.
- اکبری اریمی، حسین، مومنی، علی‌اکبر، و خراسانی، الهام. (۱۳۹۸). بررسی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت آب زیرزمینی. یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ۱۳(۲۶)، ۹۶-۱۱۰. doi: 10.22084/nfag.2019.18699.1365
- بدیع برزین، حسین، خمیری، عیسی، غفاری، زهره، و پرهیزکاری، ابودر. (۱۳۹۷). اثرات تشکیل بازارهای آب منطقه‌ای بر تعادل بخشی عرضه و تقاضای آب آبیاری در منطقه سیستان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۳)، ۲۵۳-۲۵۶.
- پرهیزکاری، ابودر، یآوری، غلامرضا، محمودی، ابوالفضل، و بخشی خانیکی، غلامرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی آثار بالقوه استقرار بازار آب محلی در شرایط رویارویی با خشکسالی و کم‌آبی در استان تهران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۴)، ۱۹۲-۲۱۰. doi: 20.1001.1.1735.2347.1400.17.4.12.9
- تهامی‌پور زرنندی، مرتضی. (۱۳۹۶). ارزش اقتصادی، رویکردی برای مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی (مطالعه موردی: صنایع تولید مواد شیمیایی). مجله آب و فاضلاب، ۲۸(۱)، ۷۴-۸۳. doi: 10.22093/wwj.2017.39476
- جعفری، سیدعباس. (۱۳۸۳). رویکرد بازار آب و الزامات آن. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۲(۴۸)، ۷۵-۱۰۳.
- جفره، منوچهر، و علیزاده، سعیده. (۱۳۸۸). بررسی نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب. اقتصاد مالی (اقتصاد مالی و توسعه)، ۲(۸)، ۷۹-۹۵. doi: 20.1001.1.25383833.1388.3.8.4.9
- حسینی یوسف، هاشمی شاهدانی سید مهدی، و زهرایی بنفشه.

(۱۳۹۹). توسعه ساختار جدید بهره‌برداری-اقتصادی در شبکه‌های آبیاری فاقد بازار آب. علوم آب و خاک، ۲۴(۱)، ۲۷-۴۳. doi: [10.47176/jwss.24.1.39232](https://doi.org/10.47176/jwss.24.1.39232)

حسنقلی‌پور، طهمورث، روحانی، امیررضا، و قدس‌الهی، احمد. (۱۳۹۳). پدیدارشناسی در پژوهش‌های مصرف‌کننده. فصلنامه تحقیقات بازاریابی نوین، ۳(۱۴)، ۱۰۷-۱۳۲.

دهقانی بیدگلی، رضا، کوهبنانی، حمیدرضا، و یزدانی، محمدرضا. (۱۳۹۹). بهینه‌بندی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری و تصاویر Sentinel-1A. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۳)، ۱۷۵-۱۸۷. doi: [10.22125/iwe.2020.107100](https://doi.org/10.22125/iwe.2020.107100)

ذوالفقاری‌پور، محمدامین، احمدی، آزاده، و نیکویی، علیرضا. (۱۳۹۹). توسعه چارچوب بازار آب بین‌بخشی برای ارتقای بازدهی اقتصادی مصرف آب زیرزمینی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۱)، ۳۳۲-۳۴۶. doi: [20.1001.1.17352347.1399.16.1.22.6](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1399.16.1.22.6)

زارعی قورخودی، علیرضا، و شاهنظری، علی. (۱۴۰۳). ارزیابی تأثیر ایجاد بازار آب بر ارتقای بهره‌وری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی (مطالعه موردی: حوضه آبریز تجن). مدیریت آب و آبیاری، ۱۴(۱)، ۲۰۷-۲۲۱. doi: [10.22059/jwim.2024.366554.1110](https://doi.org/10.22059/jwim.2024.366554.1110)

زراعتی نیشابوری، سپیده، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۴۰۱). مروری بر نقش بازار آب به‌عنوان رویکردی برای مدیریت منابع با تأکید بر شرایط ایران. مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۴)، ۹۰۷-۹۳۴. doi: [10.22059/jwim.2022.343656.996](https://doi.org/10.22059/jwim.2022.343656.996)

شرکت آب منطقه‌ای سمنان (۱۴۰۲). آخرین وضعیت ممنوعیت دشت‌های استان سمنان. بازیابی شده از <https://www.smrwir/st/198>

شرکت آب منطقه‌ای سمنان. (۱۴۰۲). اجرای طرح‌های احیا و تعادل‌بخشی روند افت سفره‌های آب زیرزمینی را کند کرده است. بازیابی شده از: <https://news.smrwir/SC.php?type=component§ions&sid=118&sid=2183>

شعبانی روچی، زهره، یزدانی، سعید، و مقدسی، رضا. (۱۴۰۱). امکان‌سنجی طراحی بازار آب با رویکرد ارزش‌گذاری مشروط (مطالعه موردی: دشت هشتگرد استان البرز). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۱)، ۱۵۹-۱۶۹. doi: [10.22059/ijswr.2022.335908.669166](https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.335908.669166)

صادقی، حسین، و آسایش، حمید. (۱۳۹۵). تشکیل بازار آب از دیدگاه اقتصاد اسلامی. نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی، ۵(۱۵)، ۷۱-۹۲.

طهماسبی، اصغر، و عسکری بزایه، فاطمه. (۱۳۹۶). بازار آب و وعده‌های آن برای مدیریت تقاضای آب. مدیریت آب در کشاورزی، ۴(۲)، ۴۵-۵۲. doi: [20.1001.1.24764531.1396.4.2.5.3](https://doi.org/10.1001.1.24764531.1396.4.2.5.3)

کارخانه، مجید، سرلک، احمد، و هژبر کیانی، کامبیز. (۱۳۹۹). نقش بازار در تخصیص بهینه آب در دشت شازند. مدیریت آب و آبیاری، ۱۰(۲)، ۳۴۷-۳۶۳. doi: [10.22059/jwim.2020.307574.812](https://doi.org/10.22059/jwim.2020.307574.812)

وزارت نیرو (۱۴۰۰). سند ملی سازگاری با کم‌آبی. کارگروه ملی سازگاری با کم‌آبی. انتشارات وزارت نیرو، تهران، ایران.

کانونی، امین، حسینی، یوسف، و دیندارسوها، اسداله. (۱۳۹۵).

امکان‌سنجی و زمینه‌های تشکیل بازار آب. کنگره ملی آبیاری و زهکشی. تهران، ایران.

کرامت‌زاده، علی، و عربی، مصطفی. (۱۳۹۹). بررسی بازارهای محلی آب در استان خراسان شمالی (مطالعه موردی اراضی پایین‌دست سد بارزو شیروان). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۲)، ۳۳۴-۳۴۵. doi: [20.1001.1.17352347.1399.16.2.23.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1399.16.2.23.9)

کیانی، غلامحسین. (۱۳۹۵). نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب و عوامل مؤثر بر کارایی بازار آب. آب و توسعه پایدار، ۳(۱)، ۹۳-۱۰۲. doi: [10.22067/jwsd.v3i1.59447](https://doi.org/10.22067/jwsd.v3i1.59447)

کیانی، غلامحسین، و باقری، اصغر. (۱۳۹۵). بررسی پیامدهای اقتصادی بازارهای محلی آب (بررسی موردی شهرستان اردبیل). پژوهش آب ایران، ۱۰(۱)، ۱۶۳-۱۶۹.

متین‌جو، محمدحسین، و علیزاده، حسین. (۱۳۹۹). بررسی عملکرد بازار غیررسمی آب در مقایسه با یک نمونه بازار رسمی؛ مطالعه موردی منطقه مجن. مدیریت آب در کشاورزی، ۷(۱)، ۹۵-۱۰۸. doi: [20.1001.1.24764531.1399.7.1.9.6](https://doi.org/10.1001.1.24764531.1399.7.1.9.6)

متین‌جو، محمدحسین، و علیزاده، حسین. (۱۳۹۹). توسعه یک مدل عامل‌بنیان هیدرولوژیکی-اقتصادی برای شبیه‌سازی بازار آب منطقه مجن. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۴)، ۱۲۷-۱۴۲. doi: [20.1001.1.17352347.1399.16.4.9.9](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1399.16.4.9.9)

محمدی، مجید. (۱۴۰۲). ارزیابی حساسیت‌پذیری فرونشست زمین در دشت سمنان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۷(۶۳)، ۸۴-۹۰.

میرنظامی، سید جلال‌الدین. (۱۳۹۸). چارچوبی هدفمند برای کاهش مصرف آب: پیشنهادی جایگزین برای بازار آب (گزارش شماره: ۱۶۹۲۳). مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. تهران، ایران.

نظری، محمدرضا. (۱۳۹۵). بازار آب در تئوری و عمل: شکست بازار و سیاست عمومی. آب و توسعه پایدار، ۳(۱)، ۱۰۳-۱۱۴. doi: [10.22067/jwsd.v3i1.59448](https://doi.org/10.22067/jwsd.v3i1.59448)

هاشمی ثمره، خدیجه، کیخا، احمدعلی، مهرابی بشرآبادی، حسین، مردانی نجف‌آبادی، مصطفی، و ضیائی، سامان. (۱۴۰۰). بررسی کارایی بازار آب و مقایسه آن با شیوه‌های مختلف تخصیص در شرایط کم‌آبی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۹(۱۱۴)، ۲۹-۵۳. doi: [10.30495/jae.2023.26653.2214](https://doi.org/10.30495/jae.2023.26653.2214)

واحدی‌زاده، سجاد، فروهر، لیلا، و کراچیان، رضا. (۱۳۹۷). مطالعه تطبیقی تجربه‌های بین‌المللی بازار آب. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۴(۴)، ۱۹۴-۲۰۵.

یوسفی، علی، حسن‌زاده، محمد، و کرامت‌زاده، علی. (۱۳۹۳). بررسی آثار رفاهی تخصیص بازاری منابع آب در اقتصاد ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰(۱)، ۱۵-۲۵.

Bauer, C. (2010). Market approaches to water allocation: lessons from Latin America. Journal of Contemporary Water Research and Education, 144(1), 44-49. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2010.00073.x>

Bauer, C.J. (2015). Water conflicts and entrenched gover-

- Hansen, K., Kaplan, J., & Kroll, S. (2014). Valuing options in water markets: a laboratory investigation. *Environmental and Resource Economics*, 57(1), 59-80. <https://doi.org/10.1007/s10640-013-9659-6>
- Howe, W.C & Goemans, c. (2003). Water Transfers And Their Impacts: Lessons From Three Colorado Water Markets. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1055-1065. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03692.x>
- Jaghdani, T., & Brümmer, B. (2016). Determinants of willingness to pay for groundwater: insights from informal water markets in Rafsanjan, Iran. *International Journal of Water Resources Development*, 32(6), 944-960. <https://doi.org/10.1080/07900627.2015.1133405>
- Jamshidi, S., Ardestani, M., & Hossein Niksokhan, M. (2016). A seasonal waste load allocation policy in an integrated discharge permit and reclaimed water market. *Water Policy*, 18(1), 235-250. <https://doi.org/10.2166/wp.2015.301>
- Kahil, M.T., Dinar, A., & Albiac, J. (2015). Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. *Journal of Hydrology*, 522, 95-S109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.042>
- Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M., & Brissaud, F. (2001) Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, 43(10), 25-33. <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0571>
- Lee, L.Y., Ancey, T., & Vervoort, W. (2007). Environmental and economic impacts of water scarcity and market reform on the Mooki catchment. *Environmentalist*, 27(1), 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9011-1>
- Lefebvre, M., Gangadharan, L., & Thoyer, S. (2012). Do security-differentiated water rights improve the performance of water markets? *American Journal of Agricultural Economics*, 94(5), 1113-1135. <https://doi.org/10.1093/ajae/aas060>
- Leonard, B., Costello, C., & Libecap, G.D. (2019). Expanding water markets in the western United States: barriers and lessons from other natural resource markets. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(1), 43-61.
- Loch, A., Wheeler, S.A., & Settre, C. (2018). Private transaction costs of water trade in the Murray-Darling Basin. *Ecological Economics*, 146, 560-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.004>
- nance problems in Chile's market model. *Water Alternatives*, 8(2), 147-172.
- Borzutzky, S., & Madden, E.F. (2013). Markets awash: the privatization of Chilean water markets. *Journal of International Development*, 25(2), 251-275. <https://doi.org/10.1002/jid.1802>
- Breviglieri, G.V., do Sol Osório, G.I., & Puppim de Oliveira, J.A. (2018). Understanding the emergence of water market institutions: learning from functioning water markets in three countries. *Water Policy*, 20(6), 1075-1091. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.119>
- Broadbent, C.D., Brookshire, D.S., Coursey, D., & Tidwell, V. (2014). An experimental analysis of water leasing markets focusing on the agricultural sector. *Agricultural Water Management*, 142, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.022>
- Erfani, T., Binions, O., & Harou, J. J. (2014). Simulating water markets with transaction costs. *Water Resources Research*, 50(6), 4726-4745. <https://doi.org/10.1002/2013WR014493>
- Freebairn, J., & Quiggin, J. (2006). Water rights for variable supplies. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 50(3), 295-312. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2006.00341.x>
- Garrick, D., & Aylward, B. (2012). Transaction costs and institutional performance in market-based environmental water allocation. *Land Economics*, 88(3), 536-560. <https://doi.org/10.3368/le.88.3.536>
- Garrick, D., Whitten, S.M., & Coggan, A. (2013). Understanding the evolution and performance of water markets and allocation policy: a transaction costs analysis framework. *Ecological Economics*, 88, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.12.010>
- Ghosh, S. (2019). Droughts and water trading in the western United States: recent economic evidence. *International Journal of Water Resources Development*, 35(1), 145-159. <https://doi.org/10.1080/07900627.2017.1411252>
- Giannoccaro, G., Castillo, M., & Berbel, J. (2015). An assessment of farmers' willingness to participate in water trading in southern Spain. *Water Policy*, 17(3), 520-537. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.092>
- Grafton, R.Q., Horne, J., & Wheeler, S.A. (2016). On the marketisation of water: evidence from the Murray-Darling Basin, Australia. *Water Resources Management*, 30(3), 913-926. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1199-0>

- Water Resources, 20(2), 132-147. <https://doi.org/10.1080/13241583.2017.1348887>
- Uchida, E., Swallow, S.K., Gold, A.J., Opaluch, J., Kafle, A., Merrill, Nathaniel, H., Michaud, C., & Gill, C.A. (2018). Integrating watershed hydrology and economics to establish a local market for water quality improvement: a field experiment. *Ecological Economics*, 146, 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.003>
- Venkatachalam, L. (2015). Informal water markets and willingness to pay for water: a case study of the urban poor in Chennai City, India. *International Journal of Water Resources Development*, 31(1), 134-145. <https://doi.org/10.1080/07900627.2014.920680>
- Wheeler, S., Bjornlund, H., Shanahan, M., & Zuo, A. (2008a). Price elasticity of water allocations demand in the Goulburn-Murray Irrigation District. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 52(1), 37-55. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2008.00416.x>
- Wheeler, S.A., Bjornlund, H., Shanahan, M., & Zuo, A. (2008b). Factors influencing water allocation and entitlement prices in the Greater Goulburn Area of Australia. *Sustainable Irrigation Management*, 112(1), 63-79. <https://doi.org/10.2495/SI080071>
- Wheeler, S.A. (2014). Insights, lessons and benefits from improved regional water security and integration in Australia. *Water Resources and Economics*, 8, 57-78. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2014.05.006>
- Wheeler, S.A., Loch, A., Zuo, A., & Bjornlund, H. (2014). Reviewing the adoption and impact of water markets in the Murray-Darling Basin, Australia. *Journal of Hydrology*, 518, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.019>
- Wheeler, S.A., Loch, A., Crase, L., Young, M., & Grafton, R.Q. (2017). Developing a water market readiness assessment framework. *Journal of Hydrology*, 552, 807-820. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.010>
- Zavalloni, M., Raggi, M., & Viaggi, D. (2014). Water harvesting reservoirs with internal water reallocation: a case study in Emilia Romagna, Italy. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 63(6), 489-496. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.133>
- Zuo, A., Qiu, F., & Wheeler, S. (2019). Examining volatility dynamics, spillovers and government water recovery in Murray-Darling Basin water markets. *Resource and Energy Economics*, 58, 13-16. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2019.101113>
- Manjunatha, A.V., Speelman, S., Chandrakanth, M.G., & Van Huylenbroeck, G. (2011). Impact of groundwater markets in India on water use efficiency: a data envelopment analysis approach. *Journal of Environmental Management*, 92(11), 2924-2929. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.001>
- Nauges, C., Wheeler, S.A., & Zuo, A. (2016). Elicitation of irrigators' risk preferences from observed behaviour. *Australian Journal of Agricultural Resource Economics*, 60(3), 442-458. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12134>
- Nikolakis, W., & Grafton, R.Q. (2015). Putting Indigenous water rights to work: the Sustainable Livelihoods Framework as a lens for remote development. *Community Development*, 46(2), 149-163. <https://doi.org/10.1080/15575330.2015.1009922>
- OECD. (2018). Implementing the OECD Principles on Water Governance: Indicator Framework and Evolving Practices. OECD Publishing. Paris, France. <https://doi.org/10.1787/9789264292659-en>
- Olmstead, M. (2010). The Economics of Managing Scarce Water Resources. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4 (2), 179-198.
- Petterini, F.C. (2018). The possibility of a water market in Brazil. *Economia*, 19(2), 187-200. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2018.03.002>
- Prieto, M. (2016). Bringing water markets down to Chile's Atacama Desert. *Water International*, 41(2), 191-212. <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1107400>
- Rambonilaza, T., & Neang, M. (2019). Exploring the potential of local market in remunerating water ecosystem services in Cambodia: an application for endogenous attribute non-attendance modelling. *Water Resources and Economics*, 25, 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2018.07.001>
- Razzaq, A., Qing, P., Abid, M., Anwar, M., & Javed, I. (2019). Can the informal groundwater markets improve water use efficiency and equity? Evidence from a semi-arid region of Pakistan. *Science of The Total Environment*, 666, 849-857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.266>
- Schwabe, K., Nemati, M., Landry, C., & Zimmerman, G. (2020). Water markets in the western United States: trends and opportunities. *Water*, 12(233), 1-15. <https://doi.org/10.3390/w12010233>
- Taylor, K.S., Moggridge, B.J., & Poelina, A. (2016). Australian Indigenous water policy and the impacts of the ever-changing political cycle. *Australasian Journal of*

The Impact of Individual-Social Factors on the Management and Governance of Groundwater Resources in Hamedan-Bahar Plain

T. Sarami-Foroushani^{1*}, R. Movahedi²

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

*(Corresponding Author Email: t.sarami@alumni.basu.ac.ir)

Received: 24-08-2024

Revised: 12-11-2024

Accepted: 24-11-2024

Available Online: 05-03-2025

تأثیر عوامل فردی - اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت همدان-بهار)

ترانه صرامی فروشانی^۱، رضا موحدی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دکتری توسعه کشاورزی و استاد تمام، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

*(رایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: t.sarami@alumni.basu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴

Abstract

Management of groundwater resources is a necessary condition to achieve governance of water resources. Although governance principles have been developed in various fields, their availability for water resource governance has been neglected so far. Groundwater management is a challenge that is influenced by various personal, social, environmental, etc. dimensions. Therefore, in this study, the individual and social aspects of the management and governance of groundwater resources in the Hamadan-Bahar plain have been investigated. For this purpose, the indicators of knowledge and awareness, attitude, social capital, and water resources management were used in the governance of water resources of the OECD organization. The statistical population of the research included 254 farmers of the Hamadan-Bahar plain. The method of data collection was done using the field method and questionnaire tool, and the data were analyzed using SPSS and Smart PLS.3 software. The result of the overall model fit based on the GOF criterion was 0.65, which shows the excellent and acceptable fit of the model. The results obtained from the t-test statistic and path coefficients (β) also showed that the constructs of social capital, knowledge and awareness, and attitude, through the mediation of water resource management, have the highest and strongest impact on the governance of groundwater resources in the Hamadan-Bahar plain, with values of 0.64, 0.16, and 0.12, respectively. Therefore, by paying attention to and strengthening the social capital of individuals and local communities through the promotion of social skills, organizational capabilities, participatory empowerment, and increasing community awareness about water issues and management methods, it is possible to achieve a suitable and effective governance cycle.

Keywords: Knowledge, Attitude, Social Capital, Water Resource Management, Sustainable Governance.

چکیده

مدیریت منابع آب زیرزمینی یک شرط لازم و حیاتی برای دستیابی به حکمرانی منابع آب می‌باشد. اگرچه اصول حکمرانی در زمینه‌های مختلف توسعه یافته است، اما دسترسی به آنها برای حکمرانی منابع آب تاکنون مورد کوتاهی و بی توجهی قرار گرفته است. مدیریت آب‌های زیرزمینی چالشی است که تحت تأثیر ابعاد مختلف فردی، اجتماعی، محیط‌زیستی و... قرار می‌گیرد. این مطالعه به بررسی ابعاد فردی و اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی در دشت همدان-بهار می‌پردازد. برای این منظور از شاخص‌های دانش و آگاهی، نگرش، سرمایه اجتماعی و مدیریت منابع آب بر حکمرانی منابع آب سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی (OECD) استفاده شد. جامعه آماری پژوهش شامل ۲۵۴ نفر از کشاورزان دشت همدان-بهار بودند. روش جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از روش میدانی و ابزار پرسشنامه انجام پذیرفت و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Smart PLS.3 تجزیه و تحلیل شدند. نتیجه برازش مدل کلی براساس معیار GOF عدد ۰/۶۵ به دست آمد که نشان از برازش بسیار عالی و قابل قبول مدل می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آماره آزمون t و ضرایب مسیر (β) نشان داد سازه‌های سرمایه اجتماعی، دانش و آگاهی و نگرش از طریق میانجی‌گری مدیریت منابع آب، به ترتیب با مقادیر ۰/۶۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۲ بیشترین و قوی‌ترین تأثیر را بر حکمرانی منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار دارند. بنابراین، با توجه و تقویت سرمایه اجتماعی افراد و جوامع محلی از طریق ارتقاء مهارت‌های اجتماعی، توانمندی‌های سازمانی، توانمندسازی مشارکتی و افزایش آگاهی جامعه درباره مسائل آب و روش‌های مدیریت، می‌توان به ایجاد یک چرخه حکمرانی مناسب و موثر دست یافت.

واژه‌های کلیدی: دانش، نگرش، سرمایه اجتماعی، مدیریت منابع آب، حکمرانی پایدار.

رفاه اقتصادی و اجتماعی بدون به خطر انداختن اکوسیستم‌ها، حیاتی است. در زمینه حکمرانی آب، به ویژه در مورد ناامنی آب توسط مردم بومی، تلاقی بین سیاست‌های نظارتی و حقوق آب بومی بسیار مهم می‌شود (Wilson و همکاران، ۲۰۲۱). حکمرانی و مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی در حفظ تعادل و کیفیت منابع آب امری حیاتی در تأمین پایدار این منبع طبیعی می‌باشد و حکمرانی منابع آب زیرزمینی شامل مجموعه‌ای از سیاست‌ها، قوانین، مقررات و فرآیندهای مدیریتی است که به منظور بهره‌برداری بهینه از این منابع و توزیع عادلانه آنها بین بهره‌برداران مختلف طراحی شده است (صرامی و همکاران، ۱۴۰۱). هدف اصلی در حکمرانی منابع آب زیرزمینی، حفظ تعادل بین استخراج و تجدیدپذیری منابع آب و تضمین تأمین پایدار آب برای نیازهای زندگی و توسعه جوامع می‌باشد (OECD، ۲۰۱۵). از سوی دیگر، مدیریت و حکمرانی مؤثر مستلزم شناخت همه جانبه عوامل مختلف از جمله دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی است. این سه مؤلفه می‌توانند به طور قابل توجهی بر نتایج مدیریت و حکمرانی منابع آب تأثیرگذار باشند. درک اجرای عملی و ارتباط متقابل این مؤلفه‌ها برای تقویت تلاش‌ها برای بهبود حکمرانی آب ضروری است.

دانش و آگاهی در مدیریت منابع آب

یکی از مؤلفه‌های اساسی و مؤثر در مدیریت منابع آب، دانش و آگاهی است. آگاهی و درک کشاورزان از مسائل مربوط به آب مانند کیفیت آب، کمبود آب و تکنیک‌های آبیاری کارآمد می‌تواند به طور قابل توجهی به استفاده پایدار از منابع آب کمک کند (Alotaibi و Kassem، ۲۰۲۱؛ قنبری برزیان و همکاران، ۱۴۰۱). کشاورزان با اتخاذ شیوه‌ها و فناوری‌های کشاورزی مدرن می‌توانند هدر رفت آب را به حداقل رسانده و مصرف آب را بهینه سازند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹). هنگامی که افراد و جوامع دانش دقیق و به روزی در حوزه منابع آب داشته باشند، برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد حفاظت و استفاده از آنها آماده و مجهزتر می‌شوند (House-Peters و Chang، ۲۰۱۱). علاوه بر این، آگاهی درباره اهمیت منابع آب و پیامدهای بالقوه سوء مدیریت می‌تواند افراد را به سمت اتخاذ شیوه‌های مصرف مسئولانه آب سوق دهد. به عنوان مثال دانش در مورد اثرات آلودگی آب، افراد را به اجرای اقداماتی برای کاهش آلودگی مانند دفع مناسب زباله و شیوه‌های کشاورزی دوست‌دار محیط‌زیست تشویق نماید (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱). از این رو، بدون دانش مناسب، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان ممکن است برای اتخاذ سیاست‌های مؤثر، تخصیص کارآمد منابع آب و رسیدگی به چالش‌های نوظهور ناتوان شوند.

منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهمترین منابع آبی جهان، نقش حیاتی در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و اکوسیستم‌های طبیعی دارند. منابع آب زیرزمینی شامل آب‌هایی هستند که در لایه‌های زیرزمینی خاک و سنگ ذخیره می‌شوند. این آب‌ها معمولاً از بارندگی‌ها و رواناب‌های سطحی نفوذ می‌کنند و در تراوش خاک و صخره‌ها ذخیره می‌شوند. به دلیل قدرت نفوذ بالای آب به لایه‌های زیرزمینی و نگهداری طولانی مدت آنها، به عنوان یک منبع آبی قابل اعتماد و پایدار محسوب می‌شوند (امینی پارسا و همکاران، ۱۳۹۹). با افزایش جمعیت و توسعه صنعتی، فشار بر منابع آب زیرزمینی نیز به طور چشمگیری افزایش یافته است. هرچند استفاده از منابع آب زیرزمینی برای تأمین نیازهای بشر ضروری است، اما استفاده نادرست و بی‌رویه منجر به مشکلات جدی اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی شده است. مدیریت منابع آب یک راهبرد پیچیده است که نیاز به تعیین اولویت‌ها برای پاسخ به نیازهای اجتماعی و محیط‌زیستی دارد، که علاوه بر این، تحت تأثیر رقابت در تأمین و دسترسی به منابع محدود، تغییرات آب و هوایی و آلودگی می‌باشد (Parveen و همکاران، ۲۰۲۳). مدیریت منابع آب زیرزمینی شامل فعالیت‌های مختلفی می‌شود که به منظور بهره‌برداری پایدار از این منابع و حفاظت از آنها صورت می‌گیرد. دانش سیستم‌های منابع آب زیرزمینی محلی برای مدیریت مؤثر و درک تأثیرات اقدامات مدیریتی ضروری است (Loukas و Garrote، ۲۰۲۲). کشورهای در حال توسعه به دلیل خطرات آلودگی و بهره‌برداری بیش از حد در حکمرانی پایدار آب زیرزمینی با مشکلات زیادی مواجه شده‌اند (Villholth و Closas، ۲۰۱۹). ارزیابی حکمرانی آب زیرزمینی تحت تنش‌های مختلف و بسیار مهمی است که نیاز به یک چارچوب چند بعدی برای ارزیابی وضعیت موجود حکمرانی و شناسایی مناطق برای بهبود دارد (Voudouris و Polemio، ۲۰۲۲). از این رو، توجه به اهمیت اقتصادی و اجتماعی حوزه‌های آب زیرزمینی به عنوان مهمترین منابع آب شیرین، طراحی و تدوین سیاست‌های اجرایی و حکمرانی شفاف این منابع اهمیت فراوانی دارد. مدیریت و حکمرانی منابع آب برای توسعه پایدار، به ویژه در مواجهه با چالش‌های فزاینده‌ای مانند تغییرات آب و هوایی و ناامنی آب، حیاتی است. مدیریت منابع آب پدیده‌ای است که از عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فرهنگی و فنی تأثیر می‌پذیرد (صبوری و نوری‌امام زاده، ۱۳۹۴). مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) به عنوان یک رویکرد کلیدی برای رسیدگی به این چالش‌ها و تضمین استفاده پایدار و عادلانه از منابع آب ظاهر شده است (Dey و همکاران، ۲۰۲۴). این رویکرد شامل توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و منابع مرتبط در سطح حوضه رودخانه برای به حداکثر رساندن

علاوه بر دانش، نگرش و ادراک کشاورزان نسبت به منابع آب در مدیریت و حکمرانی پایدار نقش به سزایی دارد. به طور مثال، نگرش مثبت نسبت به شیوه های آبیاری کارآمد و شیوه های نوین در حفظ و پایداری منابع آب در افزایش بهره وری کشاورزی و در نتیجه به مدیریت بهتر و بهبود حکمرانی در منابع آب منجر شود. از سوی دیگر، نگرش های منفی، مانند هدر رفتن آب یا عدم توجه به کیفیت آب، می تواند مانع از تلاش برای دستیابی به نتایج پایدار شود (Boz و همکاران، ۲۰۱۵؛ Aydogdu و همکاران، ۲۰۲۰). این نگرش ها می تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند اعتقادات فرهنگی، انگیزه های اقتصادی و شیوه های آموزشی اصلاح و بهبود یابد (Sarmadi و Shamsi Papkiade، ۲۰۱۹). از این رو، کشاورزانی که آگاهی محیط زیستی قوی دارند به احتمال زیاد شیوه های مدیریت آب پایدار را اتخاذ می کنند و فعالانه در طرح های حکمرانی آب شرکت می کنند.

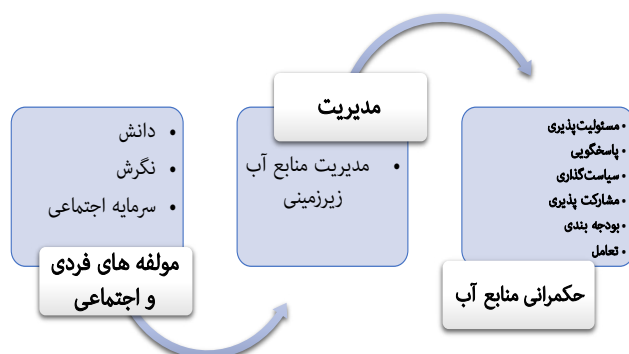
سرمایه اجتماعی در مدیریت منابع آب

سرمایه اجتماعی که به شبکه ها، روابط و هنجارهای درون یک جامعه اشاره دارد، یکی دیگر از عوامل مهمی است که بر مدیریت و حکمرانی منابع آب تأثیر می گذارد. سرمایه اجتماعی قوی می تواند همکاری، اقدام جمعی و اعتماد را در میان ذی نفعان تقویت کند و توانایی آنها را برای همکاری با یکدیگر برای مقابله با چالش های مرتبط با آب افزایش دهد (Mirzaei و همکاران، ۲۰۲۰). شبکه های اجتماعی قوی کشاورزان را قادر می سازد تا با هم همکاری کنند و به طور جمعی به چالش های مرتبط با آب مانند تخصیص آب و حل تعارض رسیدگی کنند. جوامع با سطوح بالای سرمایه اجتماعی به احتمال زیاد در فرآیندهای تصمیم گیری مشارکتی شرکت می کنند که منجر به نتایج فراگیرتر و عادلانه تر حکمرانی آب می شود (Vos و همکاران، ۲۰۲۰؛ Rojas و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، سرمایه اجتماعی با ترویج شفافیت، پاسخگویی و مشارکت، اثربخشی نهادهای حاکمیت آب را افزایش می دهد (پویافر و محمدزاده، ۱۴۰۲). در نتیجه جوامع با سطوح بالای سرمایه اجتماعی بیشتر درگیر فرآیندهای تصمیم گیری مشترک و اجرای استراتژی های مدیریت آب، می شوند (Kobayashi و همکاران، ۲۰۱۴). که این نیز، می تواند شامل اشتراک گذاری دانش و منابع در مورد توافقنامه های تخصیص آب و رسیدگی به چالش هایی مانند خشکسالی یا کمبود آب باشد.

ادغام دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی در مدیریت و حکمرانی منابع آب می تواند اثرات مثبت بسیاری داشته باشد. ترکیب دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب می تواند

بر: ۱- تصمیم گیری مبتنی بر شواهد را امکان پذیر ساخته و اطمینان می دهد که سیاست ها و شیوه ها ریشه در درک علمی و بهترین راه حل ها دارند. این امر می تواند به تخصیص کارآمدتر آب، افزایش امنیت آب و بهبود پایداری محیطی منجر شود (Woodhouse و Muller، ۲۰۱۷؛ Akhmouch و Correia، ۲۰۱۶). ۲- پرورش نگرش مثبت نسبت به منابع آب می تواند تغییر رفتار را در سطح فردی و جمعی تشویق کند، که می تواند شامل ترویج شیوه های حفاظت از آب، افزایش آگاهی در مورد اهمیت کیفیت آب و به حداقل رساندن منابع آلودگی باشد. چنین نگرش هایی می تواند منجر به کاهش تقاضای آب، بهبود کارایی مصرف آب و حفاظت بهتر از اکوسیستم های آبی شود. ۳- سرمایه اجتماعی قوی، امکان همکاری و مشارکت میان ذی نفعان مختلف درگیر در مدیریت و حکمرانی منابع آب را فراهم سازد. سرمایه اجتماعی با ایجاد بستری برای تعامل، همکاری و به اشتراک گذاری دانش می تواند فرآیندهای تصمیم گیری فراگیرتر و مشارکتی را تقویت کند (آستانه و همکاران، ۱۳۹۸). این می تواند منجر به تصمیماتی شود که بیشتر نماینده دیدگاه های مختلف است، تضادها را کاهش می دهد و مشروعیت و پذیرش طرح های حکمرانی آب را افزایش می دهد.

در نتیجه، دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی سه عامل به هم پیوسته ای هستند که به طور قابل توجهی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب تأثیر می گذارند. گنجاندن این عناصر در سیاست ها و اقدامات می تواند اثربخشی، پایداری و برابری رویکردهای مدیریت آب را افزایش دهد (Medema و همکاران، ۲۰۱۷؛ Gillins، ۲۰۱۵). در نهایت، این مطالعه می تواند به درک ما کمک کند که چگونه انسان ها و عوامل اجتماعی می توانند به مدیریت بهینه، مستدام و موثر بر منابع آب زیرزمینی کمک کنند. همچنین، برای تصمیم گیران و ذی نفعان، سرمایه گذاری در ایجاد دانش، ترویج نگرش های مثبت و پرورش سرمایه اجتماعی برای اطمینان از استفاده و تخصیص پایدار درازمدت از منابع آب بسیار مهم است. لذا در این مقاله، مولفه های دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی در دشت همدان - بهار مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

مطالعات بسیار در زمینه حکمرانی بیانگر گسترش روزافزون پژوهش‌های مرتبط با این مقوله در ابعاد مختلف بوده و حجم قابل توجهی از بررسی‌های علمی در سراسر جهان روی این موضوع نوین متمرکز شده‌اند (Pahl-Wostl, 2017).

براساس پژوهش Pedregal و همکاران (2015)، دو موضوع اصلی برای بهبود حکمرانی آب در آینده‌ای نزدیک وجود دارد: موضوع نخست، شیوه‌های جدید تولید و توزیع اطلاعات برای مدیریت آب و موضوع دوم نیز ایجاد چارچوب‌های نهادی و شبکه‌های اجتماعی است. به نظر می‌رسد امکانات فناوری اطلاعات و ارتباطات به عنوان ابزار تحول و بازسازی در شرایطی که تصمیم‌گیری انجام می‌شود، می‌تواند به فرایند دموکراتیک منجر شود. یافته‌های Mirzaei و همکاران (2020) در مصاحبه با ذی‌نفعان کلیدی و محلی در زمینه نقش سرمایه اجتماعی، از جمله اعتماد، همکاری، انسجام شبکه‌های اجتماعی، نقش رهبری و حل‌منازعه، در حکمرانی مخازن آب در شمال ایران نشان دادند، مهمترین مؤلفه سرمایه اجتماعی در حل تعارضات برای مدیریت آب می‌باشد و رهبران محلی جامعه نقش مهمی در همکاری و حل تعارضات در زمینه منابع آب دارند. یافته‌های Kunjuzwa و همکاران (2023) در بررسی تأثیرگذاری دانش بر نگرش‌ها و رفتار شهروندان در مورد پایداری آب نشان دادند، دانش ارتباط نزدیکی با نگرش و شیوه‌های شهروندان در مدیریت پایدار منابع آب دارد. مطالعه Landriani و همکاران (2022)، در بررسی نقش دانش در ایجاد خدمات آب و اهمیت آن در توسعه موفقیت‌آمیز حکمرانی در بخش آب نشان دادند، دانش عنصر تعیین‌کننده‌ای برای توسعه سیاست‌های مدیریت منابع آب می‌باشد. یافته‌های Xu و همکاران (2019) در بررسی تأثیر دانش بر رفتار شهروندان در استفاده از آب، نشان داد، دانش آب، احساسات و مسئولیت‌پذیری تأثیر قابل توجهی بر رفتار شهروندان دارد. Person و همکاران (2017) در ارزیابی تأثیر سرمایه اجتماعی بر حکمرانی پایدار آب در روستاهای اتیوپی نشان دادند، سرمایه اجتماعی بر توانایی جامعه در مدیریت منابع آب تأثیرگذار می‌باشد و بین سرمایه اجتماعی، اطلاعات و ارتباطات ارتباط مثبت و معنی‌داری با حکمرانی پایدار منابع آب وجود دارد. Varua و همکاران (2017) در بررسی رفتار و نگرش‌ها کشاورزان هندی در مدیریت و حفاظت از آب‌های زیرزمینی نشان دادند، عوامل مؤثر شامل اندازه زمین، سطح تحصیل، درآمد خارج از مزرعه و ارزش‌های محیط‌زیستی بر رفتارهای حفاظتی تأثیرگذار می‌باشند. به‌طورکلی کشاورزان هندی نگرش مثبتی نسبت به حفظ آب زیرزمینی و شیوه‌های صرفه‌جویی در آب دارند. Curtis و همکاران (2016) تأثیر سرمایه اجتماعی بر شبکه‌های درون جامعه را که چگونه بر حکمرانی منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار است، بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد برای

حکمرانی منابع آب زیرزمینی باید اصول و روش‌های علوم اجتماعی تقویت شود چرا که مشارکت ذی‌نفعان و اثرات اجتماعی آنها بر حکمرانی منابع آب تأثیرگذار می‌باشد. صالحی و ابراهیم‌خانی (1397) در مطالعه رابطه سرمایه اجتماعی و رفتار کشاورزان در حفاظت از آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت قزوین) نشان دادند مشارکت در راهکارهای حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی در کشاورزان مستلزم وجود زمینه اجتماعی است. این امر، به نوع تعامل درون‌گروهی و برون‌گروهی کشاورزان بستگی دارد. همچنین نتایج آن‌ها نشان دادند میان سرمایه اجتماعی و حمایت کشاورزان از سیاست‌های حفاظت از منابع زیرزمینی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

López-Gunn (2012) در مطالعه حکمرانی منابع آب زیرزمینی و سرمایه اجتماعی در اسپانیا نشان داد که سرمایه اجتماعی ماهیتی پویا در تشویق کنش جمعی بهره‌برداران دارد که علاوه بر این سرمایه اجتماعی تأثیر مثبتی بر خود حکمرانی مدیریت منابع آب زیرزمینی دارا می‌باشد.

براساس بررسی مطالعات و اقدامات انجام گرفته در زمینه تحلیل شکاف‌ها و تشخیص خلاءها و براساس مدل‌های مفهومی، مدل مفهومی و چارچوب ارائه شده توسط سازمان همکاری‌های توسعه اقتصادی OECD در زمینه حکمرانی منابع آب زیرزمینی، از نگرش نظام یافته‌تر و جهان شمول‌تری برخوردار می‌باشد. در این پژوهش از آخرین چارچوب ارائه شده توسط OECD (2015) که براساس تجربیات چندین ساله در کشورها و قاره‌ها جمع‌آوری و تدوین شده است، استفاده شد.

سوال اصلی که این پژوهش به دنبال پاسخگویی به آن می‌باشد این است که: وضعیت حکمرانی آب‌های زیرزمینی در دشت همدان - بهار برپایه اصول ارائه شده از سوی OECD چگونه است؟ چه خلاءهای اصلی در مقایسه با شرایط حکمرانی موثر وجود دارد؟ برای پاسخ به این پرسش نیازمند یک ارزیابی مقدماتی از وضعیت موجود حکمرانی و انجام تحلیل شکاف‌ها و تعیین خلاءهای اصلی جهت شناسایی وضعیت موجود حکمرانی آب در منطقه می‌باشد. باتوجه به این موضوع که حکمرانی آب در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری انجام شده است (Durán-Sánchez و همکاران، 2019)، اولین گام در این مسیر، استفاده از دانش و تجربیات بین‌المللی درباره ارزیابی حکمرانی آب و سپس استفاده از چارچوب مفهومی به منظور ارزیابی و تحلیل شرایط و وضعیت موجود می‌باشد. در این راستا، 12 اصل سازمان همکاری اقتصادی و توسعه در زمینه حاکمیت آب، چارچوبی است که توسط OECD¹ شرح داده شده است: "باید برای دولت‌ها طراحی و اجرای سیاست‌های موثر، کارآمد و فراگیر آب انجام شود" (OECD، 2019). چارچوب حکمرانی OECD (2015) به 3 بخش اصلی بهره‌وری، کارایی و اثربخشی، اعتماد و مشارکت و 12 رده فرعی

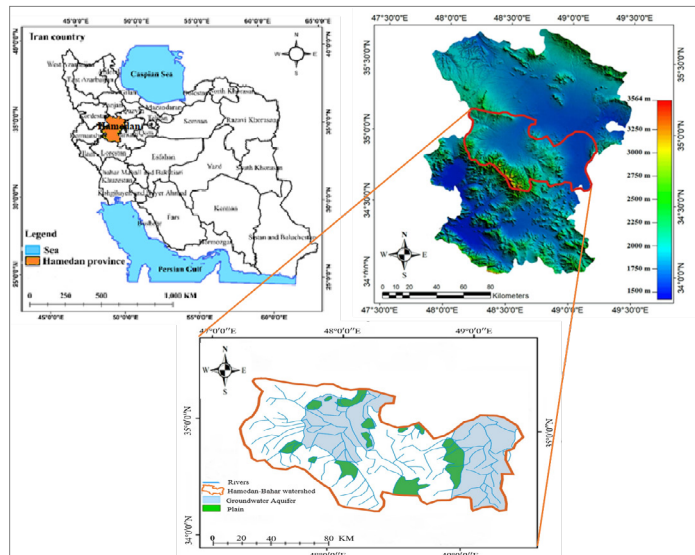
و "اعتماد و تعامل" در جدول (۲) و شکل (۲) ذکر شده است. اصول OECD با یک ابزار ارزیابی شامل شاخص‌های مربوط به هر اصل همراه است (OECD, ۲۰۱۸a). اصول OECD در توصیف شورای OECD در مورد آب درج شده است (OECD, ۲۰۱۸b).

باتوجه به مطالعات و یافته‌های به دست آمده در زمینه تاثیر مولفه‌های دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی بر مدیریت و حکمرانی پایدار منابع آب، در ادامه به بررسی نتایج این مطالعه پرداخته شده است.



منطقه مطالعاتی

این اصول OECD (۲۰۱۵) برای بهبود "چرخه حکمرانی آب"، از تصور سیاست تا اجرای آن، مبتنی بر سه بعد: "اثر بخشی"، "بهره‌وری"،



شکل ۳ - منطقه مطالعاتی دشت همدان-بهار (ص.امی فروشانی و همکاران، ۱۴۰۱)

جدول ۱- سیلان آب زیر زمینی دشت همدان- بهار (مطالعات برنامه آمایش استان همدان، ۱۳۹۰)

تغذیه (میلیون مترمکعب)		تخلیه (میلیون مترمکعب)		تغییرات	
نفوذ مستقیم	نفوذ جریان‌های	آب برگشتی	آب برگشتی	جریان ورودی	برداشت از
بارندگی	سطحی	زراعی	شرب و صنعت	زیرزمینی	سفره (چاه‌ها)
۱۷/۷	۵۳	۷۴	۳۷/۵	۴۰/۱۶	۲۲۲/۳۶
جمع	جمع	جمع	جمع	جمع	جمع
۲۹۰	۳	۲/۳	۲۸۸	۲۹۰	۲۹۰

در منطقه مورد مطالعه رودخانه دائمی وجود ندارد و به دلیل میانگین کم بارش و توزیع زمانی غیرقابل پیش بینی آن، آب‌های سطحی نقش کم‌اهمیتی در تامین آب بخش کشاورزی ایفا می‌کنند. بنابراین منابع آب زیرزمینی منبع اصلی بیش از ۸۰ درصد آب کشاورزی است. افزایش کشت، کاهش نزولات جوی، بهره‌برداری بی‌رویه و تغذیه ناکافی آبخوان در سال‌های اخیر باعث شده است که سطح آب‌های زیرزمینی این دشت به شدت کاهش یابد و با خطر جدی تخریب و فرونشست سطحی مواجه شود. در این مدت، سیاست‌گذاران محلی تلاش کرده‌اند تا کاهش شدید آب‌های زیرزمینی را کنترل کنند، هرچند تلاش‌های آنها به دلیل ادامه بهره‌برداری غیرقانونی و افت بیش از ۱۱ متری سطح سفره‌های زیرزمینی در دو دهه گذشته با شکست مواجه شده است. بحران آب در این منطقه پیامدهایی برای مهاجرت، بیکاری و مشکلات محیط‌زیستی مانند رانش زمین دارد که به تهدیدی جدی برای کشاورزان تبدیل شده است و مسئولان و ذی‌نفعان محلی را به خطر انداخته است (Noori و همکاران، ۲۰۲۱؛ Akhavan و همکاران، ۲۰۱۱).

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و براساس روش گردآوری داده‌ها، توصیفی و از نوع پیمایشی است. قلمرو مکانی دشت همدان - بهار و گروه مطالعاتی این پژوهش شامل کشاورزان دشت همدان - بهار می‌باشد. داده‌های مورد نیاز برای این پژوهش با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده و حجم نمونه با جامعه آماری (۱۱۰۰ نفر) با استفاده از جدول کرجسی و مورگان ۲۵۴ نفر تعیین شد. روش تحلیل و مدل‌سازی داده‌ها و اطلاعات رویکردهای مختلفی در رابطه با مدل‌سازی معادلات ساختاری وجود دارد. به این معنا که مدل‌سازی معادلات ساختاری را می‌توان بر پایه روش‌های آماری متفاوتی، متناسب با نوع متغیرها و ویژگی‌های نمونه آماری پژوهش انجام داد. یکی از روش‌های آماری نرم‌افزارهایی است که از مدل‌سازی معادلات ساختاری بر پایه روش حداقل مربعات جزئی ساخته شده و ساختار واریانس متغیرها را تجزیه و تحلیل می‌کند. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار Smart PLS.3 که در زمینه مدل‌سازی معادلات ساختاری بر پایه روش حداقل مربعات جزئی، نرم‌افزاری پرکاربرد و مفید می‌باشد، استفاده شده است. در روش SEM-PLS، مدل‌های متغیر پنهان سلسله مراتبی از محبوبیت فزاینده و روند رو به رشدی در تحقیقات سال‌های اخیر داشته است (Lu و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از مدل مولفه‌های سلسله مراتبی در PLS، می‌تواند خطای ناشی از مسائل هم خطی بودن را کاهش داده و مشکلات احتمالی اعتبار را نیز از بین برد (Hair و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین روش pls می‌تواند با تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و رگرسیون در دستیابی به اهداف پژوهش کمک کند. به عنوان مثال، شاخص پاسخگویی

با سوالات و گویه‌های پرسشنامه ارتباط انعکاسی دارد که با روش انعکاسی اندازه‌گیری می‌شوند. این مدل طراحی با پژوهش‌ها (Hair و همکاران، ۲۰۱۳؛ Li و Wen، ۲۰۱۹) مطابقت دارد.

به منظور اندازه‌گیری و بررسی وضعیت حکمرانی منابع آب زیرزمینی از اصول ۱۲ گانه سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی OECD استفاده شد (جدول ۲) و از پرسشنامه پژوهش ساخته که شامل سه بخش "اثربخشی" (شاخص شفافیت و پاسخگویی با ۶ گویه، شاخص استفاده بهینه از منابع با ۸ گویه، شاخص سیاست‌گذاری با ۷ گویه، شاخص ظرفیت‌سازی با ۵ گویه)، بخش "بهره‌وری" (شاخص اطلاعات و داده با ۶ گویه، بودجه و تامین مالی با ۵ گویه، شاخص قانون‌گذاری با ۶ گویه، اقدامات نوآورانه با ۵ گویه)، بخش "اعتماد و مشارکت" (شاخص مسئولیت‌پذیری با ۱۰ گویه، شاخص مشارکت‌پذیری با ۷ گویه، شاخص داد و ستد با ۵ گویه، شاخص نظارت و ارزشیابی با ۵ گویه) در قالب مقیاس امتیازدهی ۰ تا ۱۰ تدوین و استفاده شد. همچنین در بخش مولفه‌های فردی و اجتماعی از پرسشنامه استاندارد نگرش با ۲۱ گویه، دانش با ۸ گویه و سرمایه اجتماعی با ۱۱ گویه و مدیریت منابع آب با ۱۰ گویه استفاده شد. به منظور سنجش روایی محتوی پرسشنامه، از نظرات کارشناسان و اساتید دانشگاه استفاده شد و به منظور بررسی پایایی ۳۰ پرسشنامه اولیه با استفاده از Spss V.22 بررسی شد، پایایی کلی پرسشنامه ۰/۹۸ به دست آمد.

جدول ۲- اصول OECD در حکمرانی منابع آب (OECD، ۲۰۱۵)

ابعاد	اصول
اثربخشی	شفافیت و پاسخگویی
	استفاده بهینه
	سیاست‌گذاری
حکمرانی منابع آب زیرزمینی	ظرفیت‌سازی
	اطلاعات و داده
	بودجه‌بندی
مشارکت و اعتماد	قانون‌گذاری
	اقدامات نوآورانه
	مسئولیت‌پذیری
نظارت و ارزشیابی	مشارکت‌پذیری
	مشارکت
	اعتماد
	داد و ستد

• ارزیابی مدل اندازه‌گیری

آزمون اعتبارعاملی پرسشنامه با کمک تحلیل عاملی تاییدی و استفاده از نرم‌افزار Smart PLS.3 انجام گرفته است. همچنین برای سنجش روایی از روایی همگرا و روایی واگرا توسط نرم‌افزار Smart PLS.3 بهره گرفته شد. براساس نظر Fornell و Larcker (۱۹۸۱)، معیار روایی همگرا بودن این است که میانگین واریانس‌های

خروجی (AVE) بیشتر از ۰/۵ باشد. باتوجه به اعداد آلفای کرونباخ و پایایی مرکب گزارش شده در جدول (۳) تمام سازه‌های انعکاسی مدل ساختاری این پژوهش دارای پایایی سازگاری درونی مطلوبی است. معیار مهمی که با روایی واگرا مشخص می‌شود، میزان رابطه سازه با شاخص‌هایش در مقایسه رابطه آن سازه با سایر

سازه‌ها است؛ به گونه‌ای که روایی واگرای قابل قبول یک مدل حاکی از آن است که یک سازه در مدل تعامل بیشتری با شاخص‌های خود تا با سازه‌های دیگر دارد (Rezazadeh و Davari، ۲۰۱۴؛ Choua و Chen، ۲۰۰۹). نتایج بررسی روایی واگرا و همگرا در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳ - ماتریس سنجش روایی واگرا به روش فورنل و لارکر

اطلاعات و داده	بهینه سازی	بودجه	حکمرانی منابع آب زیرزمینی	داد و ستد	دانش و آگاهی	سرمایه اجتماعی	سیاست گذاری	ظرفیت سازی	قانون گذاری	مدیریت منابع آب زیرزمینی	مسئولیت پذیری	مشارکت پذیری	نوآوری	نگرش	پاسخگویی	کنترل و نظارت
اطلاعات و داده	۰/۸۲															
بهینه سازی	۰/۵۹	۰/۸۵														
بودجه	۰/۳۷	۰/۶۴	۰/۸۲													
حکمرانی منابع آب زیرزمینی	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۹												
داد و ستد	۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۵۲	۰/۶۲	۰/۸۵											
دانش و آگاهی	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۳۱	۰/۷۵										
سرمایه اجتماعی	۰/۲۸	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۶۴	۰/۷۶									
سیاست گذاری	۰/۵۶	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۸۴								
ظرفیت سازی	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۶۱	۰/۷۲	۰/۵۸	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۸۴							
قانون گذاری	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۵۴	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۸۰						
مدیریت منابع آب زیرزمینی	۰/۳۰	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۳۲	۰/۶۶	۰/۸۳	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۷۵					
مسئولیت پذیری	۰/۶۶	۰/۵۳	۰/۳۱	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۱۷	۰/۷۹					
مشارکت پذیری	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۵۰	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۷۲	۰/۸۴				
نوآوری	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۸۶			
نگرش	۰/۲۶	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۳۵	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۷۱	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۰۱	۰/۶۸		
پاسخگویی	۰/۴۸	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۷۳	۰/۶۶	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/۳۸	۰/۱۰	۰/۳۸	۰/۸۰	
کنترل و نظارت	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۶۴	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۷۳	۰/۲۸	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۰۹	۰/۳۰	۰/۷۲

جهت برازش پایایی از ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی استفاده شده است. پایایی کلی پرسشنامه (۰/۹۶) به دست آمد، باتوجه به بیشتر بدون مقدار آن از ۰/۷ حاکی از مناسب بودن پایایی مناسب پرسشنامه می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که پایایی ترکیبی در مدل سازی معادلات ساختاری معیار بهتری از آلفای کرونباخ به شمار می‌رود. به دلیل اینکه در محاسبه ضریب آلفای کرونباخ در مورد هر سازه، تمامی شاخص‌ها با اهمیت مساوی در محاسبات وارد می‌شوند. درحالی که برای محاسبه CR، شاخص‌ها با بار عاملی بیشتر، اهمیت زیادتری دارند. این موضوع موجب این می‌شود که مقادیر CR سازه‌ها معیار واقعی‌تر و دقیق‌تری نسبت به آلفای کرونباخ آن‌ها باشد (داوری و رضازاده، ۱۳۹۷).

نتایج بررسی آلفای کرونباخ جزئی پرسشنامه و نتایج پایایی ترکیبی در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد. حال به بررسی ضرایب آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی پرداخته و سپس برای بررسی روایی همگرا از ضرایب میانگین واریانس استخراج شده هر سازه استفاده می‌شود. مقدار ملاک برای این شاخص مقدار بالای ۰/۵ است. در جدول (۴) خلاصه این آماره‌ها ذکر شده است.

سه شاخص تعیین کننده برای ارزیابی مناسب بودن نحوه سنجش متغیرها در مدل‌های PLS که عبارتند از: میانگین واریانس استخراج شده، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی نیز اشاره شده است. براساس جدول (۴) تمامی شاخص‌ها برای متغیرها در سطح مناسب قرار دارند.

جدول ۴- نتایج پایایی، روایی همگرا و کیفیت شاخص‌های مدل

شاخص (متغیرهای مکنون)	آلفا کرونباخ Cronbach's Alpha	پایایی پایایی اشتراکی Community	پایایی ترکیبی Composite Reliability (CR)	روایی همگرا	
				Average Variance Extracted (AVE)	CR>AVE
اطلاعات و داده	۰/۸۸۰	۰/۸۸۳	۰/۹۱۳	۰/۶۷۶	OK
بهینه‌سازی	۰/۸۹۵	۰/۸۹۹	۰/۹۱۷	۰/۶۱۳	OK
بودجه	۰/۸۳۹	۰/۸۳۹	۰/۸۹۲	۰/۶۷۴	OK
داد و ستد	۰/۹۰۸	۰/۹۱۵	۰/۹۳۲	۰/۷۳۳	OK
دانش و آگاهی	۰/۸۹۱	۰/۸۹۸	۰/۹۱۴	۰/۵۷۵	OK
سرمایه اجتماعی	۰/۹۲۶	۰/۹۳۶	۰/۹۳۷	۰/۵۸۰	OK
سیاست‌گذاری	۰/۹۳۳	۰/۹۳۵	۰/۹۴۶	۰/۷۱۵	OK
ظرفیت‌سازی	۰/۹۳۲	۰/۹۳۳	۰/۹۴۵	۰/۷۱۲	OK
قانون‌گذاری	۰/۰۸۹	۰/۸۹۰	۰/۹۱۶	۰/۶۴۷	OK
مدیریت منابع آب	۰/۹۱۶	۰/۹۱۸	۰/۹۳۰	۰/۵۶۹	OK
مسئولیت‌پذیری	۰/۹۰۴	۰/۹۲۰	۰/۹۲۲	۰/۶۳۰	OK
مشارکت‌پذیری	۰/۹۳۱	۰/۹۳۳	۰/۹۴۵	۰/۷۰۹	OK
نوآوری	۰/۹۲۲	۰/۹۳۴	۰/۹۳۴	۰/۷۴۱	OK
نگرش	۰/۹۴۱	۰/۹۴۹	۰/۹۴۷	۰/۵۶۵	OK
پاسخگویی	۰/۹۳۴	۰/۹۳۵	۰/۹۴۵	۰/۶۵۵	OK
کنترل و نظارت	۰/۹۰۲	۰/۹۰۲	۰/۹۳۷	۰/۷۱۹	OK

نتایج و بحث

• ویژگی‌های فردی کشاورزان

به‌منظور بررسی ویژگی‌های فردی کشاورزان از متغیرهای سن، جنسیت، تحصیلات، عضویت، مالکیت زمین، مالکیت آب مطالعه شد.

از نظر ویژگی سن، ۱۵/۴ درصد (۳۹ نفر) از پاسخگویان در فاصله سنی ۲۰ تا ۳۰ سال، ۲۳/۶ درصد (۶۰ نفر) در فاصله سنی ۳۱ تا ۴۰ سال و ۲۸ درصد (۷۱ نفر) در فاصله سنی ۴۱ تا ۵۰ سال و ۳۳/۱ درصد (۸۴ نفر) بالاتر از ۵۱ سال سن داشتند و میانگین سنی پاسخگویان ۴۶ سال می‌باشد. از نظر جنسیت تمامی پاسخگویان ۲۵۴ نفر مرد می‌باشند. از نظر ویژگی تحصیلات ۱۰/۶ درصد (۲۷ نفر) بی‌سواد، ۳۷/۴ درصد (۹۵ نفر) ابتدایی، ۱۳/۴ درصد

(۳۴ نفر) و ۳۸/۶ درصد (۹۸ نفر) دارای تحصیلات دیپلم و بالاتر می‌باشند. از نظر وضعیت عضویت، ۱۸/۵ درصد (۴۷ نفر) از پاسخگویان عضو کانون مساجد، ۱۷/۳ درصد (۴۴ نفر) عضو شورای روستا، ۲۳/۶ درصد (۶۰ نفر) عضو کلاس‌های آموزشی، ۴۰/۶ درصد (۱۰۳ نفر) عضو تعاونی می‌باشند. از نظر مالکیت آب، ۵۸/۷ درصد (۱۴۹ نفر) مالکیت خصوصی، ۱۸/۵ درصد (۴۷ نفر) مالکیت استیجاری و ۲۲/۸ درصد (۵۸ نفر) مالکیت حقایقه را دارند. نحوه تامین آب ۱۶ درصد (۴۷ نفر) استفاده از قنات، ۷۰ درصد (۱۷۵ نفر) استفاده از چاه، ۱۴ درصد (۳۲ نفر) از چشمه به‌منظور تامین آب استفاده می‌کنند. از نظر روش آبیاری ۴۳/۱ درصد (۹۱ نفر) از روش آبیاری بارانی، ۹/۵ درصد (۲۴ نفر) از روش آبیاری قطره‌ای، ۵۴/۷ درصد (۱۳۹ نفر) از روش کرتی به‌منظور آبیاری مزارع خود استفاده می‌کنند (جدول ۵).

جدول ۵ - ویژگی‌های فردی کشاورزان

عضویت		متغیر	تحصیلات		متغیر	سن		متغیر
درصد	فراوانی		درصد	فراوانی		درصد	فراوانی	
۱۸/۵	۴۷	مساجد	۱۰۶	۲۷	بی‌سواد	۱۵/۴	۳۹	۲۰ تا ۳۰ سال
۱۷/۳	۴۴	شورا روستا	۳۷/۴	۹۵	ابتدایی	۲۳/۶	۶۰	۳۱ تا ۴۰ سال
۲۳/۶	۶۰	کلاس آموزشی	۱۳/۴	۳۴	راهنمایی	۲۸/۰	۷۱	۴۱ تا ۵۰ سال
۴۰/۶	۱۰۳	تعاونی	۳۸/۶	۹۸	دیپلم و بالاتر	۳۳/۱	۸۴	۵۱ سال و بالاتر
۱۰۰	۲۵۴	مجموع	۱۰۰	۲۵۴	مجموع	۱۰۰	۲۵۴	مجموع
روش آبیاری		متغیر	تامین آب		متغیر	مالکیت آب		متغیر
درصد	فراوانی		درصد	فراوانی		درصد	فراوانی	
۴۳/۱	۹۱	بارانی	۱۶	۴۷	قنات	۵۸/۷	۱۴۹	خصوصی
۹/۵	۲۴	قطره‌ای	۷۰	۱۷۵	چاه	۱۸/۵	۴۷	استیجاری
۵۴/۷	۱۳۹	کرتی	۱۴	۳۲	چشمه	۲۲/۸	۵۸	حقله
۱۰۰	۲۵۴	مجموع	۱۰۰	۲۵۴	مجموع	۱۰۰	۲۵۴	مجموع

• تحلیل مدل ساختاری حکمرانی منابع آب زیرزمینی با مولفه‌های

مدیریت، دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی

برآوردی‌های روایی و پایایی مدل اندازه‌گیری اجازه ارزیابی مدل ساختاری را میسر می‌سازد. در ادامه با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری حداقل مربعات جزئی به بررسی مدل مفهومی پژوهش پرداخته شده است تا با استفاده از نتایج آزمون به بررسی روابط بین متغیرهای پژوهش، ضرایب اعتبار و پایایی و کیفیت مدل پرداخته می‌شود (شکل ۴). مدل مربوط به ضرایب بتا و پس از آن مدل مربوط به مقادیر t گزارش شده است (شکل ۵).

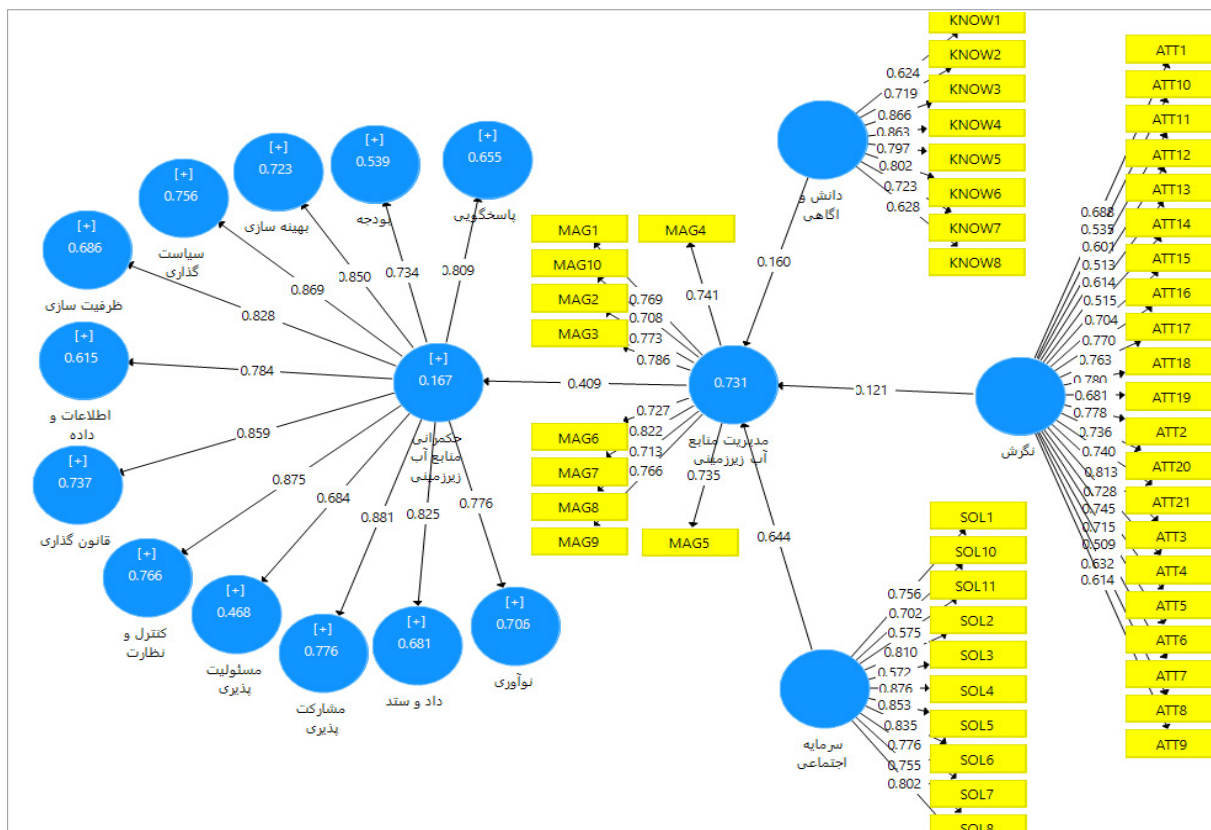
شکل (۵) خروجی دستور پی ال اس الگوریتم را نشان می‌دهد. این دستور برای استخراج ضرایب بارهای بیرونی و ضرایب بتا کاربرد دارد. همانطور که از روی شکل نیز مشخص است مقادیر بتا مشخص و بارهای عاملی گویه‌های پژوهش دارای بارهای بیرونی بالای ۰/۷. و معنی‌دار می‌باشند و در شکل (۴) آورده شده و نیازی به حذف گویه ندارد.

• ضرایب معناداری z (مقادیر t -value)

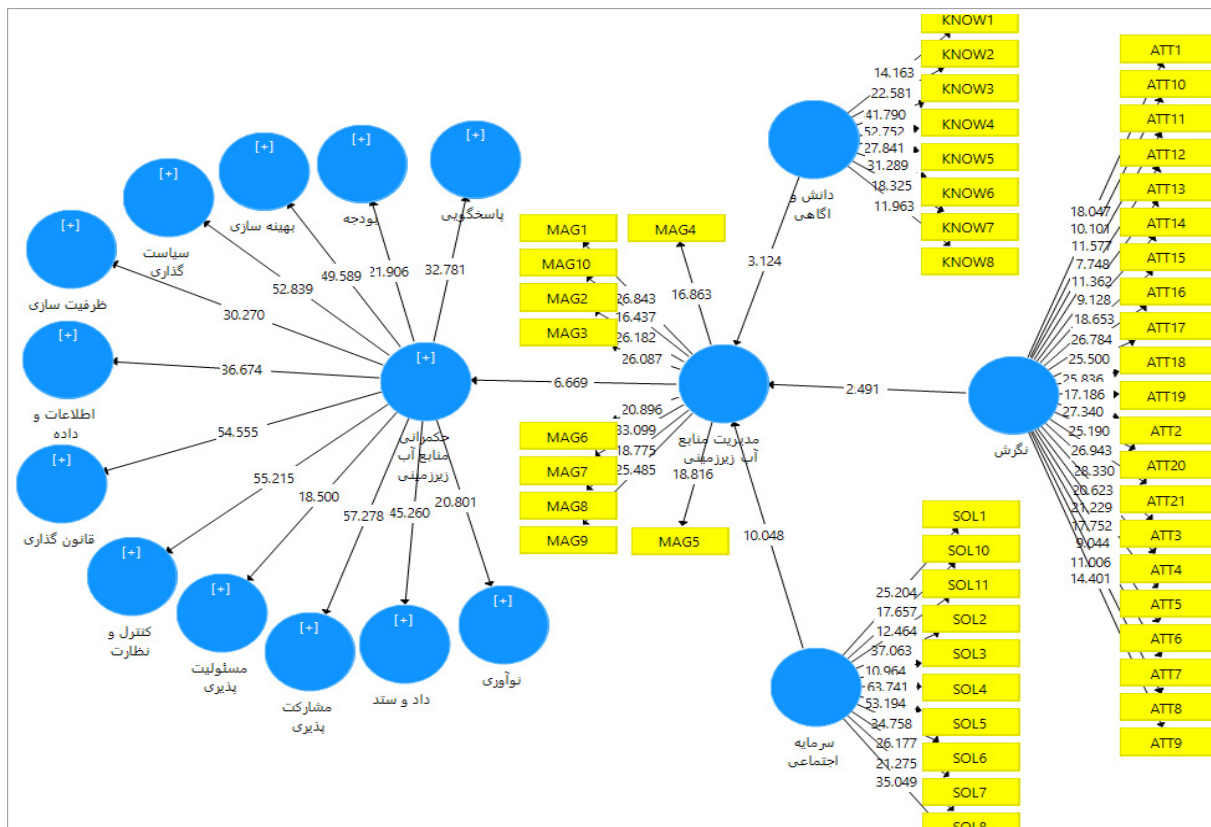
معیار اول از بررسی برازش مدل ساختاری ضرایب معناداری z است که همانگونه که در شکل (۵) ارائه شده است، از طریق فرمان بوت استرپینگ قابل دستیابی است.

مطابق شکل (۵)، تمامی ضرایب معناداری z از ۱/۹۶ بیشتر هستند که این امر معنادار بودن تمامی سوالات یا گویه‌ها و روابط میان متغیرها را در سطح ۰/۱ درصد نشان می‌دهد.

به بررسی حکمرانی منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار از شاخص‌های حکمرانی منابع آب سازمان توسعه و همکاری اقتصادی OECD استفاده شد. این شاخص دارای ۳ بخش (اثربخشی، بهره‌وری، اعتماد و مشارکت) و ۱۲ زیربخش (شفافیت و پاسخگویی، استفاده بهینه، سیاست‌گذاری، ظرفیت‌سازی، اطلاعات و داده، بودجه‌بندی، نظارت و ارزشیابی، اقدامات نوآورانه، مسئولیت‌پذیری، مشارکت‌پذیری، داد و ستد، نظارت و ارزشیابی)؛ همچنین به منظور بررسی تاثیر مولفه‌های نگرش (۲۱ گویه)، دانش و آگاهی (۸ گویه)، سرمایه اجتماعی (۱۱ گویه) و مدیریت منابع آب (۱۰ گویه) استفاده شد. به منظور وضعیت حکمرانی منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار هریک از شاخص‌های تعیین شده از نظر کشاورزان منطقه مطالعه شد. در ادامه هریک از بخش‌ها و زیر بخش‌ها به تفکیک ارزیابی و بررسی شد. ملاک مناسب بودن مقادیر برای ضرایب بارهای عاملی در Smart PLS، ۰/۷ و بالاتر می‌باشد (Hair و همکاران، ۲۰۱۳؛ Gefen و Straub، ۲۰۰۵). در این نرم‌افزار هرچه بارعاملی ۰/۷ و بالاتر در نظر گرفته شود دقت مدل را بیشتر نشان می‌دهد که نشان دهنده برازش بسیار عالی مدل‌های اندازه‌گیری از حیث بارهای بیرونی می‌باشد. مطابق شکل (۳) تمامی گویه‌های مربوط به ۱۲ اصل و مولفه‌های نگرش، دانش و آگاهی، سرمایه اجتماعی و مدیریت منابع آب بارهای عاملی قابل قبول و مورد تایید واقع شدند، لذا همگن بودن و برازش مدل اندازه‌گیری و تایید شد.



شکل ۴- مقادیر بارهای عاملی و ضرایب مسیر مدل



شکل ۵- مقادیر t-value

• اندازه اثر f^2

$$GOF = \sqrt{(R^2 \times communality)}$$

$$GOF = \sqrt{(0/676 \times 0/625)} = \sqrt{(0/4225)} = 0/65$$

باتوجه به مقدار معیار GOF برابر با ۰/۶۵ که این عدد باتوجه به سه مقدار ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ به عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای GOF، نشان از برازش قوی کلی مدل دارد.

• تحلیل ضرایب مسیر مدل حکمرانی منابع آب

در تحلیل مسیر روابط بین متغیرها در یک جهت جریان می یابند و به عنوان مسیرهای متمایز در نظر گرفته می شوند، مفاهیم تحلیل مسیر در بهترین صورت از طریق ویژگی عمده آن، یعنی نمودار مسیر که پیوندهای سببی (علت و معلولی) احتمالی بین متغیرها را آشکار می سازد، تبیین می شوند. برای بررسی فرضیه های پژوهش لازم است مدل کلی زیر برازش شود. به منظور بررسی اینکه کدام شاخص از شاخص های حکمرانی بر حکمرانی منابع آب زیرزمینی بیشترین تاثیر را دارد و از کدام سازه بیشترین تاثیر را می پذیرد از آزمون t استفاده شد (جدول ۶).

همانطور که نتایج آزمون مشاهده می شود، مولفه های دانش و آگاهی، نگرش، سرمایه اجتماعی کشاورزان به ترتیب با ضرایب ۰/۱۶، ۰/۱۲، ۰/۶۴ و مقادیر آزمون t: ۳/۱۲ و ۲/۴۹ و ۱۰/۰۴ در سطح ۹۹ درصد معنی دار و بیشترین تاثیر را بر مدیریت منابع آب زیرزمینی، و مولفه مدیریت منابع آب با ضریب ۰/۴۰ و مقدار t=۶/۶۶ در سطح ۹۹ درصد معنی دار می باشد و بر حکمرانی منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار تاثیرگذار می باشند (جدول ۵).

جدول ۶- نتایج ضرایب مسیر

مسیر مستقیم	ضرایب	آماره آزمون t	معناداری	نتیجه
از دانش و آگاهی به مدیریت منابع آب زیرزمینی	۰/۱۶	۳/۱۲	۰/۰۰	تایید
از نگرش به مدیریت منابع آب زیرزمینی	۰/۱۲	۲/۴۹	۰/۰۰	تایید
از سرمایه اجتماعی به مدیریت منابع آب زیرزمینی	۰/۶۴	۱۰/۰۴	۰/۰۰	تایید
از مدیریت منابع آب به حکمرانی منابع آب زیرزمینی	۰/۴۰	۶/۶۶	۰/۰۰	تایید

نتیجه گیری

در این مطالعه تاثیر شاخص های دانش، نگرش، سرمایه اجتماعی کشاورزان، بر مدیریت و حکمرانی منابع آب زیرزمینی، بررسی شد. همانطور که نتایج نشان داد شاخص های دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی بر مدیریت منابع آب در منطقه مورد مطالعه تاثیرگذار بودند. همچنین، مدیریت منابع آب عامل مهم و تاثیرگذار بر حکمرانی منابع آب زیرزمینی شناخته شد. بنابراین می توان نتیجه گرفت در کل ادغام دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی در مدیریت و حکمرانی منابع آب می تواند اثرات مثبت بسیاری داشته باشد. بنابراین، مدیریت و حکمرانی مؤثر بر منابع

آب مستلزم در نظر گرفتن عوامل مختلفی از جمله دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی است. نتایج به دست آمده در منطقه دشت همدان - بهار از جنبه های زیر قابل بسط به سایر نقاط کشور می باشد: ضرورت تدوین تفصیلی مولفه های حکمرانی در منابع آب هر منطقه، همچنین توجه به شاخص های دانش، نگرش و سرمایه اجتماعی در هنگام برنامه ریزی و مدیریت منابع آب زیرزمینی در مناطق دیگر.

همانطور که، نتایج پژوهش نشان داد، دانش و آگاهی کشاورزان ۰/۱۶ درصد از واریانس مدیریت منابع آب را تبیین کرده است. این نتیجه بیانگر آن است که دانش و آگاهی بهره برداران در مورد مفاهیم، اصول و روش های مدیریت منابع آب به آنها کمک می کند

تا در استفاده از آب، حفاظت از منابع آب و ارتقای بهره‌وری آب در فعالیت‌های کشاورزی موفق‌تر و کارآمدتر عمل کنند. در این راستا مطالعات مختلفی انجام شده است که به نوعی بیانگر تأثیر دانش و آگاهی بر مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج پژوهش یعقوبی و مولان‌نژاد (۱۳۹۶) نشان داد بین متغیرهای دانش و آگاهی کشاورزان در مدیریت منابع آب کشاورزی رابطه معنی‌دار وجود دارد. همچنین، نتایج پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، نشان داد، دانش و اطلاعات کشاورزان بر مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی تأثیرگذار می‌باشد.

در بخش نگرش، نتایج پژوهش نشان داد، نگرش کشاورزان ۰/۱۲ درصد از واریانس مدیریت منابع آب را تبیین کرده است. بنابراین نتیجه می‌شود اگر کشاورزان نگرش مثبت به مدیریت منابع آب داشته باشند، این نگرش به انجام رفتارهای مطلوبی منجر خواهد شد. نتایج مطالعه حسنی و همکاران (۱۳۹۶) با این یافته مطابقت دارد. همچنین، نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب در شهرستان کمیجان، نشان داد بین نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب، رابطه معنی‌داری وجود دارد (افشاری و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج پژوهش عیدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز نشان داد عوامل تعیین‌کننده نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی عوامل اقتصادی و برنامه‌ها و فعالیت‌های ترویجی می‌باشد. لازم به ذکر است هرچند نگرش‌های مثبت کشاورزان در مدیریت منابع آب تأثیرگذار می‌باشد ولی در برخی موارد دیگر، ممکن است به دلایلی مانند عدم دسترسی به دانش و فناوری‌های مدیریت آب، محدودیت‌های مالی، ضرورت‌های اقتصادی و اجتماعی، کشاورزان نگرش متفاوتی داشته باشند.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد سرمایه اجتماعی قادر است ۰/۶۴ درصد از واریانس مدیریت منابع آب را تبیین نماید. که نشان از تأثیر مهم و قابل توجه این مولفه بر منابع آب می‌باشد. سرمایه اجتماعی در مدیریت منابع آب نقش به‌سزایی دارد و از طریق ایجاد همکاری، اعتماد، شبکه‌سازی، تقویت قدرت افراد و تأثیرگذاری بر نظام‌های ارزشی می‌تواند بهبود مدیریت منابع آب را تسهیل کند و به حفظ و حفاظت از این منابع ارزشمند کمک کند. توسعه سرمایه اجتماعی در میان ذی‌نفعان محلی برای مدیریت موثر آب ضروری است. نتایج پژوهش Tang و همکاران (۲۰۱۳) در میان بهره‌برداران چینی، نشان داد سطوح بالای سرمایه اجتماعی در جامعه بهره‌برداران موجب تقویت حس تعهد و مسئولیت بیشتری شده است. همچنین نتایج صالحی و خانی (۱۳۹۷) در بررسی سرمایه اجتماعی بر حفاظت از منابع آب زیرزمینی نشان داد سرمایه اجتماعی به‌عنوان عنصر قوی تأثیرگذار به شمار می‌رود که نقش بسیار مهمی در برانگیختن کنش‌های جمعی دارد و عامل گسترش فعالیت‌های داوطلبانه از جمله حمایت و حفاظت از

منابع زیرزمینی است و موجب کارایی بیشتر سیاست‌ها می‌شود و نتایج این پژوهش ارتباط و همبستگی سرمایه اجتماعی با رفتار مشارکتی کشاورزان در منابع زیرزمینی را نشان می‌دهد. Watson و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه رسیدند که سرمایه اجتماعی از طریق گردش اطلاعات بین افراد را بهبود می‌بخشد و باعث می‌شود دانش و آگاهی فعالیت‌ها به گونه‌ای مناسب‌تر به کار بسته شود و به عنوان یک چارچوب برای همکاری بیشتر در آینده عمل می‌کند.

باتوجه به اهمیت دانش و آگاهی، نگرش و سرمایه اجتماعی در حکمرانی منابع آب زیرزمینی و مدیریت صحیح آن، این حکمرانی باید براساس اطلاعات دقیق و علمی، همراه با شناخت ویژگی‌های فردی (دانش و نگرش) و اجتماعی (سرمایه اجتماعی) صورت پذیرد. دانش را می‌توان از طریق منابع مختلف از جمله کارگاه‌های آموزشی، برنامه‌های آموزشی و دسترسی به پژوهش‌های علمی به دست آورد. دانش و آگاهی افراد و جوامع را برای تصمیم‌گیری آگاهانه و اتخاذ شیوه‌های مصرف مسئولانه آب توانمند می‌سازد. نگرش مثبت نسبت به حفاظت از آب و پایداری برای ایجاد تغییرات رفتاری که به حکمرانی مؤثر کمک می‌کند، ضروری است. علاوه بر این، سرمایه اجتماعی قوی، همکاری و اقدام جمعی را به سمت مدیریت پایدار منابع آب ترویج می‌کند. با شناخت تأثیر این مؤلفه‌ها، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان می‌توانند استراتژی‌هایی را توسعه دهند که پایداری بلند مدت منابع آب را ارتقا دهد. لذا با توجه به ظرفیت‌ها، فرصت‌ها و مزیت‌های فراوانی که از نظر منابع انسانی و سرمایه طبیعی که در منطقه وجود دارد، پتانسیل فراوانی برای دستیابی به توسعه همگانی و دستیابی به حکمرانی پایدار می‌ها و فراهم می‌باشد. از طریق اجماع و همفکری خبگان و کارشناسان می‌توان چالش‌ها و ضعف‌های موجود شناسایی و با اصلاح قواعد و ساختارهای موجود و اتخاذ راهبردهای موثر در جهت تقویت بخش خصوصی، دولت و جامعه در بهبود و ارتقا حکمرانی منابع آب گام‌ها و اقدامات موثری در این زمینه برداشته شود. براساس یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود از طریق تقویت مشارکت سازمان‌های دولتی و بخش خصوصی، مشارکت جامعه و به ویژه کشاورزان در مدیریت آب و اجرای فناوری‌های نوآورانه در جهت حفاظت از منابع را افزایش دهند و همچنین، با تقویت برنامه‌های آموزشی و افزایش آگاهی، افراد را قادر سازند تا تصمیمات آگاهانه‌ای در مدیریت و مصرف آب داشته باشند. علاوه بر این، با ایجاد مقررات و مشوق‌های روشن برای حفاظت از آب می‌توان کشاورزان و فعالیت‌های کشاورزی مرتبط با منابع آب را به اتخاذ شیوه‌های پایداری سوق دهد و در نهایت منجر به یک سیستم مدیریت آب انعطاف‌پذیرتر شود. از سوی دیگر، تقویت همکاری بین ذی‌نفعان مختلف، از جمله جوامع

1-Organization for Economic Co-operation and Development

2-Convergent validity

2-Divergent validity

منابع

احمدی، منیژه، عباسی، فریبا، و سلطانی، مینا. (۱۳۹۴). ارزیابی عوامل موثر بر مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی در مناطق روستایی مطالعه موردی: روستای اندآباد علیا شهرستان زنجان. دومین همایش ملی حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل.

آستانه، مهسا، تقی‌پور، فائزه، و دوازده امامی، حمید. (۱۳۹۸). تدوین الگو به منظور ظرفیت‌سازی اجتماعی و جامعه‌پذیری بحران آب. پژوهش‌های راهبردی مسائل اجتماعی ایران، ۸(۲)، ۱۰۷-۱۳۸. doi: [10.22108/srsp.2020.121105.1492](https://doi.org/10.22108/srsp.2020.121105.1492)

افشاری، سمیرا، رضایی، روح‌اله، قلی‌زاده، حیدر، و شعبانعلی فمی، حسین. (۱۳۹۶). تحلیل عوامل تبیینی مرتبط با مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی شهرستان کامیجان. مجله کشاورزی علم و تولید پایدار، ۲۸(۱)، ۲۶۷-۲۸۵.

امینی پارسا، وحید، عزیزی، علی، ملک محمدی، بهرام، و خیاط رستمی، بابک. (۱۳۹۹). بررسی همبستگی فضایی-زمانی میان روند تغییرات کاربری زمین و نوسانات کمی آب زیرزمینی در دشت اردبیل. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۷)، ۳۰۱-۳۱۷. doi: [10.22034/jest.2018.15331.2380](https://doi.org/10.22034/jest.2018.15331.2380)

پویافر، محمدرضا، و محمدزاده، زینب. (۱۴۰۲). چالش تنظیم‌گری در حکمرانی امر خیر و داوطلبانه. پژوهشنامه مطالعات وقف و امور خیریه، ۱(۲)، ۲۲۳-۲۴۰. doi: [10.22108/ecs.2023.136581.1043](https://doi.org/10.22108/ecs.2023.136581.1043)

حسینی، نعمت، یدالهی، پیام، و مرتضوی، علی اصغر. (۱۳۹۶). بررسی عوامل مؤثر بر رفتارهای مدیریت منابع آب کشاورزان (مطالعه‌ی موردی: دشت همدان-بهار). فصلنامه علمی مهندسی منابع آب، ۱۰(۳۴)، ۱-۱۰.

داوری، علی، و رضازاده، آرش. (۱۳۹۷). مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS. انتشارات جهاد دانشگاهی. تهران. شرکت آب منطقه‌ای همدان. (۱۳۹۳). گزارش توجیهی تمديد ممنوعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی همدان-بهار، دفتر مطالعات پایه منابع آب. همدان.

صالحی، صادق، و ابراهیم خانی، فاطمه. (۱۳۹۷). رابطه سرمایه اجتماعی و رفتار کشاورزان در حفاظت از آب زیرزمینی (مطالعه

محلی، دولت و بخش خصوصی، می‌تواند اثربخشی استراتژی‌های مدیریت آب را افزایش دهد و اطمینان حاصل کند که دیدگاه‌های متنوع در فرآیندهای تصمیم‌گیری مورد توجه قرار می‌گیرند. این رویکردهای مشارکتی علاوه بر تقویت نوآوری، انعطاف‌پذیری در برابر چالش‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی و رشد جمعیت نیز فراهم می‌کند. این دیدگاه جامع و چندجانبه موجب تشویق شیوه‌های پایدار و استفاده کارآمدتر از آب و حفاظت از آن می‌شود. این رویکرد جامع‌نگر، همکاری بین ذی‌نفعان را تقویت و اطمینان حاصل می‌کند که منابع به طور موثر تخصیص داده می‌شوند و اهداف پایداری طولانی مدت برآورده می‌شوند.

پیشنهادهای اجرایی برای تقویت مدیریت پایدار و ارتقای حکمرانی در حوزه منابع آب زیرزمینی به شرح زیر می‌باشد: ۱- از طریق ایجاد یک سیستم پایش و ارزیابی مدیریت آب: ایجاد سیستمی برای نظارت و ارزیابی مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، و تحلیل منظم داده‌های آب برای شناسایی الگوهای مصرف و نقاط بحرانی. این سیستم می‌تواند از فناوری‌های دیجیتال برای نظارت آنلاین و داده‌پردازی استفاده کند.

۲- راه‌اندازی برنامه‌های آموزشی جامع و مداوم برای کشاورزان و مدیران محلی از طریق طراحی و برگزاری کارگاه‌های آموزشی و دوره‌های آنلاین که در آنها به کشاورزان و دیگر ذی‌نفعان روش‌های نوین مدیریت آب، از جمله روش‌های آبیاری کارآمد و استفاده بهینه از آب، آموزش داده شود.

۳- ایجاد و افزایش همکاری‌های بین‌بخشی: ایجاد کارگروه‌هایی که نمایندگان دولت، بخش خصوصی، جوامع محلی، و نهادهای علمی و غیردولتی در آن حضور داشته باشند تا همکاری و هماهنگی در سیاست‌گذاری و اجرای راهکارها تقویت شود. این چارچوب می‌تواند به صورت یک پلتفرم هماهنگی یا کمیته‌های منطقه‌ای شکل بگیرد.

۵- ایجاد مشوق‌های مالی و یارانه‌های هدفمند برای کشاورزان: برای تشویق کشاورزان به استفاده از فناوری‌های کارآمد آب و پذیرش شیوه‌های کشاورزی پایدار، یارانه‌ها و وام‌های کم بهره به آنها اختصاص داده شود. این مشوق‌ها می‌توانند شامل کاهش مالیات‌ها یا پاداش‌های عملکردی نیز باشند.

۶- تدوین مقررات قوی‌تر و شفاف‌تر برای حفاظت از منابع آب: قوانین مشخص و شفاف در رابطه با بهره‌برداری از منابع آب، همراه با جریمه‌ها و تشویق‌ها برای رفتارهای پایدار، تدوین گردد. این قوانین باید توسط نهادهای دولتی نظارت شده و در اجرا قاطعانه عمل شود.

این پیشنهادات می‌تواند به تقویت پایداری و کارایی در مدیریت منابع آب و افزایش آگاهی و مشارکت در جامعه کمک می‌کند و بستر مناسبی برای اجرای راهکارهای پایدار و انعطاف‌پذیر در مقابل تغییرات اقلیمی و نیازهای آتی فراهم می‌سازد.

- tainable water management practices among farmers in Saudi Arabia. *Sustainability*, 13(20), 11260. <https://doi.org/10.3390/su132011260>
- Aydogdu, M. H., Karli, B., & Aydogdu, M. (2015). Evaluation of attitude of stakeholders for irrigation water management: A case study of Harran Plain, Turkey. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences (JEAS)*, 4, 42-47.
- Boz, Z., Korhonen, V., & Koelsch Sand, C. (2020). Consumer considerations for the implementation of sustainable packaging: A review. *Sustainability*, 12(6), 2192. <https://doi.org/10.3390/su12062192>
- Choua, S. W., & Chen, P. Y. (2009). The influence of individual differences on continuance intentions of enterprise resource planning (ERP). *Int. Journal Human Computer Studies*, 67(6), 484-496. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.01.001>
- Closas, A., & Villholth, K. G. (2019). Groundwater governance: Addressing core concepts and challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1), e1392. doi: [10.1002/wat2.1392](https://doi.org/10.1002/wat2.1392)
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (second edition). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Taylor and Francis Group. New York. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Curtis, A., Mitchell, M., & Mendham, E. (2016). Social science contributions to groundwater governance. *Integrated groundwater management: Concepts, approaches and challenges*. Springer Nature, 477-492. doi: [10.1007/978-3-319-23576-9_29](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_29)
- Dey, S., Santra, M., Ghosh, A. R., & Samanta, P. (2024). Global solutions for integrated water resources management in cities throughout the world. *Developments in Environmental Science*, 16, 351-385. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23665-5.00015-6>
- Durán-Sánchez, A., Del Río-Rama, M. D. L., Álvarez-García, J., & Castellano-Álvarez, F. J. (2019). Scientific Coverage in Water Governance: Systematic Analysis. *Water*, 11(1), 177. doi: [10.3390/w11010177](https://doi.org/10.3390/w11010177)
- Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50. doi: [10.2307/3150830](https://doi.org/10.2307/3150830)
- موردی: دشت قزوین). راهبردهای توسعه روستایی، ۵(۳)، ۳۶۳-۳۸۲. doi: [10.22048/rdsj.2019.110206.1689](https://doi.org/10.22048/rdsj.2019.110206.1689)
- صبوری، محمدصادق و نوری امامزاده، علی. (۱۳۹۴). بررسی عوامل ترویجی مؤثر بر پذیرش فناوریهای حفاظت آب در استان سمنان، تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴۶(۳)، ۶۴۴-۶۳۳.
- صرامی فروشانی، ترانه، بلالی، حمید، و موحدی، رضا. (۱۴۰۰). ارزیابی شاخصهای حکمرانی منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی ایران: کاربرد چارچوب حکمرانی سازمان همکاری و توسعه اقتصادی در دشت همدان - بهار. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۵۲(۳)، ۵۹۱-۶۱۵. doi: [10.22059/ijaedr.2021.313265.668972](https://doi.org/10.22059/ijaedr.2021.313265.668972)
- صرامی فروشانی، ترانه، بلالی، حمید، و موحدی، رضا. (۱۴۰۱). شناسایی و ارزیابی گروداران در حکمرانی منابع آب زیرزمینی (مورد مطالعه: دشت همدان-بهار). آب و توسعه پایدار، ۱۹(۱)، ۲۵-۳۸. doi: [10.22067/jwsd.v9i1.2111.1099](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i1.2111.1099)
- عیدی، اسماء، کاظمیه، فاطمه، و ظریفیان، شاپور. (۱۴۰۰). واکاوی عوامل مؤثر بر نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی گندمکاران روستاهای شهرستان مراغه). دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۲)، ۳۶۱-۳۷۵. doi: [10.22034/saps.2021.13118](https://doi.org/10.22034/saps.2021.13118)
- قنبری برزیان، علی، رحیمی، داریوش، و سراج همدانی، علی. (۱۴۰۱). تبیین جامعه‌شناختی عوامل مؤثر بر عملکرد مطلوب گروه‌های حفاظت و بهره‌برداری از منابع آب استان اصفهان. برنامه‌ریزی فضایی، ۱۲(۴)، ۸۱-۱۰۰. doi: [10.22108/sppl.2023.136624.1700](https://doi.org/10.22108/sppl.2023.136624.1700)
- مطالعات برنامه آمایش استان همدان. (۱۳۹۰). تحلیل حوضه و زیرحوضه‌های آبریز. معاونت برنامه‌ریزی استانداری همدان دفتر برنامه‌ریزی و بودجه، فروست: ۵۹۵، چاپ اول. ۷-۱۰.
- یعقوبی، جعفر، و مولان نژاد، لقمان. (۱۳۹۶). بررسی نگرش کشاورزان شهرستان میاندوآب نسبت به مشارکت در فرایند حفظ و احیای دریاچه ارومیه و عوامل مرتبط با آن علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۳(۱)، ۴۷-۵۸.
- Akhavan, S., Mousavi, S. F., Abedi-Koupai, J., & Abbaspour, K. C. (2011). Conditioning DRASTIC model to simulate nitrate pollution case study: Hamadan-Bahar plain. *Environmental Earth Sciences*, 63, 1155-1167.
- Akhmouch, A., & Correia, F. N. (2016). The 12 OECD principles on water governance-When science meets policy. *Utilities policy*, 43, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.06.004>
- Alotaibi, B. A., & Kassem, H. S. (2021). Adoption of sus-

- Lu, X.S., Liu, T.L., Huang, H.J. (2015). Pricing and mode choice based on nested logit model with trip-chain costs. *Transp. Policy*, 44, 76–88. doi: [10.1016/j.tranpol.2015.06.014](https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.06.014)
- Manuel, J; Francisco, J. & Félix, A. (2009). Exploring The Impact of Individualism And Uncertainty Avoidance in Web-Based Electronic Learning: An Empirical Analysis in European Higher Education. *Computers & Education*, 52(3), 588- 598. doi: [10.1016/j.compedu.2008.11.006](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.006)
- Medema, W., Adamowski, J., Orr, C., Furber, A., Wals, A., & Milot, N. (2017). Building a foundation for knowledge co-creation in collaborative water governance: Dimensions of stakeholder networks facilitated through bridging organizations. *Water*, 9(1), 60. doi: [10.3390/w9010060](https://doi.org/10.3390/w9010060)
- Mirzaei, A., Knierim, A., Fealy Nahavand, S., & Shemshad, M. (2020). The Role of Social Capital in Water Reservoirs Governance: Evidence from Northern Iran. *Human Ecology*, 48(4), 491–503. doi: [10.1007/s10745-020-00168-y](https://doi.org/10.1007/s10745-020-00168-y)
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4), 490. doi: [10.3390/w13040490](https://doi.org/10.3390/w13040490)
- Noori, R., Maghrebi, M., Mirchi, A., Tang, Q., Bhattarai, R., Sadegh, M., Noury, M., Haghighi, A.T., Kløve, B., & Madani, K. (2021). Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(25), e2024221118. doi: [10.1073/pnas.2024221118](https://doi.org/10.1073/pnas.2024221118)
- OECD. (2015). Principles on water governance. OECD Water Governance Programme. Retrieved from <https://www.oecd.org/governance/oecdprinciples-on-water-governance.htm#Principles>
- OECD. (2018a). Organisation for Economic Co-operation and Development OECD Water Governance Indicator Framework 2018. Available online: <http://www.oecd.org/regional/OECDWater-Governance-Indicator-Framework.pdf> (accessed on 25 November 2018).
- OECD. (2018b). Organisation for Economic Co-operation and Development OECD Council Recommendation, 39–50. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Gefen, D., & Straub, D.W. (2005). A Practical Guide to Factorial Validity Using PLS-Graph: Tutorial and Annotated Example. *Communications of AIS*, 16(1), 91-109. doi: [10.17705/1CAIS.01605](https://doi.org/10.17705/1CAIS.01605)
- Gillins, J. (2015). Bridging the gap between knowledge and behavior: Understanding what factor promotes water conservation (Doctoral dissertation, Southern Utah University. Department of Communication. <https://www.suu.edu/search>
- Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarteedt, M. (2013). A Primer on Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). SAGE Publications, Incorporated. 1st edition, London, 307 pp.
- House-Peters, L. A., & Chang, H. (2011). Urban water demand modeling: Review of concepts, methods, and organizing principles. *Water Resources Research*, 47(5), W05401. doi: [10.1029/2010WR009624](https://doi.org/10.1029/2010WR009624)
- Kobayashi, K., Ari, I. R. D., Escobar, I. C., & Schaefer, A. (2014). Community based water management and social capital. IWA Publishing. 1st edition, London, 252 pp.
- Kunjuzwa, D., Scholtz, B.M., & Fashoro, I. (2023). The Importance of Knowledge for Influencing Citizens' Attitudes and Practices of Water Sustainability: The Case of the Eastern Cape. In: Ndayizigamiye, P., Twinomurinzi, H., Kalema, B., Bwalya, K., Bembe, M. (eds) *Digital-for-Development: Enabling Transformation, Inclusion and Sustainability Through ICTs*. IDIA 2022. Communications in Computer and Information Science, 1774. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28472-4_7
- Landriani, L., Agrifoglio, R., Metallo, C., & Lepore, L. (2022). The role of knowledge in water service coproduction and policy implications. *Utilities Policy*, 79, 101439. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101439>
- López-Gunn, E. (2012). Groundwater governance and social capital. *Geoforum*, 43(6), 1140-1151. doi: [10.1016/j.geoforum.2012.06.013](https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2012.06.013)
- Loukas, A., & Garrote, L. (2022). Feature Papers of Water Resources Management, Policy and Governance. *Water*, 14(14), 2191. <https://doi.org/10.3390/w14142191>

- Varua, M. E., MAHESHWARI, B., Ward, J., & Dave, S. (2017). Groundwater conservation attitudes, behaviour and water management: the case of farmers in rural India. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 220, 141-150. doi: [10.2495/WRM170141](https://doi.org/10.2495/WRM170141)
- Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., & Wang, H. (2010). Handbook of Partial Least Squares Concepts, Methods and Applications. In Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8_16
- Vos, J., Boelens, R., Venot, J. P., & Kuper, M. (2020). Rooted water collectives: Towards an analytical framework. *Ecological Economics*, 173, 106651. doi: [10.1016/j.ecolecon.2020.106651](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106651)
- Watson, R., Wilson, H. N., Smart, P., & Macdonald, E. K. (2018). Harnessing difference: a capability-based framework for stakeholder engagement in environmental innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 35(2), 254-279. doi: [10.1111/jpim.12394](https://doi.org/10.1111/jpim.12394)
- Wen, L., & Li, Z. (2019). Driving forces of national and regional CO2 emissions in China combined IPATE and PLS-SEM model. *Science of the Total Environment*, 690(6), 2. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.06.370](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.370)
- Wilson, N.J., Montoya, T., Arseneault, R., & Curley, A. (2021). Governing water insecurity: navigating indigenous water rights and regulatory politics in settler colonial states. *Water International*, 46, 783-801. <https://doi.org/10.1080/02508060.2021.1928972>
- 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>
- Xu, R., Wang, W., Wang, Y., & Zhang, B. (2019). Can Water Knowledge Change Citizens' Water Behavior? A Case Study in Zhengzhou, China. *Ekoloji Dergisi*, 28(107), 1019-1027.
- Zhang, B., Fu, Z., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Farmers' adoption of water-saving irrigation technology alleviates water scarcity in metropolis suburbs: A case study of Beijing, China. *Agricultural Water Management*, 212, 349-357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.021>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2019). Principles on Water Governance. Available online: <http://www.oecd.org/governance/oecd-principles-on-water-governance.htm> (accessed on 1 September 2017).
- Pedregal, B., Cabello, V., Hernandez-Mora, N., Limones, N., & Del Moral, L. (2015). Information and knowledge for water governance in the networked society. *Water Alternatives*, 8(2), 1-19.
- Parveen, S., Praveen, B., & Akram, V. (2023). A Systematic Review on Groundwater Management: Opportunities and Challenges. In: Shukla, P., Singh, P., Singh, R.M. (eds) *Environmental Processes and Management*. Water Science and Technology Library, 120. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20208-7_5
- Person, M. T., Delea, M. G., Garn, J. V., Alexander, K., Abaire, B., & Freeman, M. C. (2017). Assessing the influence of social capital on water point sustainability in rural Ethiopia. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(4), 611-622. doi: [10.2166/washdev.2017.167](https://doi.org/10.2166/washdev.2017.167)
- Polemio, M., & Voudouris, K. (2022). Groundwater Resources Management: Reconciling Demand, High Quality Resources and Sustainability. *Water*, 14(13), 2107. doi: [10.3390/w14132107](https://doi.org/10.3390/w14132107)
- Rojas, R., Bennison, G., Gálvez, V., Claro, E., & Castellblanco, G. (2020). Advancing collaborative water governance: Unravelling stakeholders' relationships and influences in contentious river basins. *Water*, 12(12), 3316. doi: [10.3390/w12123316](https://doi.org/10.3390/w12123316)
- Shamsi Papkiade, S. Z., & Sarmadi, M. S. (2019). Internalization of environmental values in the education system. *Human & Environment*, 17(2), 65-78.
- Tang, J., Folmer, H. & Xue, J. (2013). Estimation of awareness and perception of water scarcity among farmers in the Guanzhong Plain, China, by means of a structural equation model. *Journal of environmental management*, 126, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.051>

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Production of Biosorbents from Citrus Wastes for Adsorption of Pollutants and Salt from Wastewaters

F. Papoli Yazdi¹, S. R. Khodashenas^{2*}, M. Talati^{3*}

1, 2, 3- M.Sc. Student, Professor, and Ph.D. Student in Water Structures, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 30-06-2024

Revised: 09-11-2024

Accepted: 11-11-2024

Available Online: 19-02-2025

تدوین الگو افزایش تاب‌آوری اقلیمی سامانه‌های تأمین آب شهری با استفاده از تجارب EPA: ایالت یوتا، آمریکا

فرید پاپلی یزدی^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، محمد طلعتی^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، استاد و دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(ارایانامه نویسنده مسئول، E-Mail: khodashenas@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱

Abstract

Water and wastewater companies must conduct risk assessments and develop management plans to mitigate risks and enhance resilience. This process involves identifying vulnerable assets, associated threats, and the potential consequences for the company and society. Financially justified countermeasures are then proposed to reduce risk and increase resilience. The result of the risk assessment is the development of a risk management plan model. Climate change has significantly impacted water supply systems, particularly in countries like Iran. By monetizing risk impacts, and comparing costs of current risks with those under managed adaptation programs, the operational resilience of a water supply system can be determined. This research examines the current resilience of the JVWCD facility, which serves 220,000 people, using the US Environmental Protection Agency's Climate Resilience Assessment Tool (CREAT). Climate projections for the region were made for 2060 and 2070. Assets and threats were identified, and their financial risks were assessed. Feasible long-term adaptation scenarios were extracted from the CREAT library, and two models, GWM and AIMD-P, were evaluated as adaptation plans until 2060. The evaluations indicated that implementing the GWM model would increase resilience by 68 percent compared to the current situation. If both models are implemented, resilience will increase to 92 percent of the current level, resulting in a financial optimization of 93 million dollars.

Keywords: Resilience, Climate Change, Sustainability, EPA, Water Supply.

چکیده

شرکت‌های آب و فاضلاب باید ارزیابی‌های ریسک را انجام دهند و برنامه‌های مدیریتی را برای کاهش خطرات و افزایش انعطاف‌پذیری توسعه دهند. این فرآیند شامل شناسایی دارایی‌های آسیب‌پذیر، تهدیدات مرتبط و پیامدهای بالقوه برای شرکت و جامعه است. سپس اقدامات متقابل توجیه شده مالی برای کاهش ریسک و افزایش انعطاف‌پذیری پیشنهاد می‌شود. نتیجه ارزیابی ریسک، توسعه یک مدل طرح مدیریت ریسک است. تغییرات اقلیمی به طور قابل توجهی بر سیستم‌های تأمین آب به‌ویژه در کشورهایی مانند ایران تأثیر گذاشته است. با پولی‌سازی اثرات ریسک، مقایسه هزینه‌های ریسک‌های فعلی با ریسک‌های تحت برنامه‌های سازگاری مدیریت شده، انعطاف‌پذیری عملیاتی یک سیستم تأمین آب را می‌توان تعیین کرد. این پژوهش انعطاف‌پذیری فعلی ناحیه تأسیساتی جُردَن ولی را که به ۲۲۰۰۰۰ نفر خدمات رسانی می‌کند، با استفاده از ابزار بررسی تاب‌آوری اقلیمی آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (CREAT) بررسی می‌کند. پیش‌بینی‌های اقلیمی برای این منطقه برای سال‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ انجام شد. دارایی‌ها و تهدیدها شناسایی شدند و ریسک‌های مالی آنها ارزیابی شد. سناریوهای سازگاری بلندمدت امکان‌پذیر از کتابخانه CREAT استخراج شد و دو مدل GWM و AIMD-P به عنوان برنامه‌های انطباق تا سال ۲۰۶۰ ارزیابی شدند. ارزیابی‌ها نشان داد اجرای مدل GWM تاب‌آوری را تا ۶۸ درصد در مقایسه با وضعیت فعلی افزایش می‌دهد. اگر هر دو مدل پیاده‌سازی شوند، انعطاف‌پذیری به ۹۲ درصد سطح فعلی افزایش می‌یابد که منجر به بهینه‌سازی مالی ۹۳ میلیون دلار می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تاب‌آوری، تغییر اقلیم، پایداری، EPA، تأمین و توزیع آب.

زیادی دارد. تعداد زیادی از روش‌های ارزیابی ریسک برای زیرساخت‌های حیاتی، شامل مراحل مانند شناسایی و طبقه‌بندی تهدیدات، شناسایی آسیب‌پذیری‌ها و ارزیابی تأثیر آن‌ها وجود دارد (Rodrigues و همکاران، ۲۰۲۰).

در پژوهشی با عنوان «انتخاب شاخص‌های قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری برای ارزیابی ریسک سامانه‌های منابع آب»، Rosbjerg و Kjeldsen (۲۰۰۴) رفتار غیریکنواخت شاخص‌ها را بررسی کردند که منجر به بررسی دوره بازگشت مورد نیاز شده است. براساس بررسی‌های آنان، طول سری‌های زمانی مورد استفاده برای تخمین تاب‌آوری و آسیب‌پذیری باید حداقل ۱۰۰۰ سال باشد. Liu و همکارانش (۲۰۱۲) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی تاب‌آوری سامانه منابع آب» به چرخه تطبیقی سامانه‌های منابع آب پرداخته‌اند که چارچوبی را برای توصیف روابط بین اجزای یک سامانه منابع آب و مدیریت تطبیقی و پایدار منابع آب فراهم کرده است. این مطالعه یک روش عملی برای برآورد تاب‌آوری سامانه منابع آب را توسعه داده و در نهایت، کاربرد تخمین‌های تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب هر شهر در استان ژجیانگ کشور چین را بررسی کرده‌اند. در پژوهشی با نام «تجزیه و تحلیل شبکه و تصویرسازی زیرساخت منابع آب در کالیفرنیا: پیوند اتصال و تاب‌آوری» Porse و Lund (۲۰۱۶) از آنالیز شبکه برای توصیف اتصال در شبکه زیرساخت آب ایالت کالیفرنیا استفاده کردند. این پژوهش، سامانه زیرساخت‌های محلی، ایالتی و فدرال را برای اتصال منابع آب در بخش‌های شمالی و شرقی ایالت کالیفرنیا با مصرف‌کنندگان نهایی در مناطق مرکزی، جنوبی و ساحلی بررسی کرده است. Mehran و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان «چارچوب دوگانه ارزیابی خشکسالی اجتماعی-اقتصادی: پیوند تنوع آب‌وهوا، تاب‌آوری محلی و تقاضا» انجام دادند. آن‌ها در این مطالعه از یک رویکرد چند متغیره برای ارزیابی خشکسالی اقتصادی-اجتماعی استفاده کردند که به دو شاخص یگانه (تک‌متغیره) وابسته است. ابتدا، یک چارچوب زمانی بر اساس نوع سامانه مخزن (در سال یا بیش از یک سال) تعریف کرده و سپس دو شاخص جدید را، شاخص تاب‌آوری ذخیره‌سازی آب و شاخص قابلیت اطمینان ورودی-تقاضا، معرفی کردند.

در پژوهشی با عنوان «تغییرات تاب‌آوری در سامانه‌های حوضه آبریز: دیدگاهی جدید برای تعیین کمیت تغییرات هیدرولوژیکی بلندمدت تحت اختلالات» که توسط Qi و همکاران (۲۰۱۶) انجام شده، بررسی شده است که در سامانه‌های آبی، متغیرهای نشانگر وضعیت سامانه به آرامی از اغتشاشات کوچک در نزدیکی انتقال بین دو حوزه مجاور بازیابی می‌شوند. این پژوهش نشان می‌دهد که در یک سامانه تاب‌آوری پایین، داده‌های میانی بیشتری که در حالت تاب‌آوری بالا نادیده گرفته می‌شوند، می‌توانند ثبت شوند. این رویکرد می‌تواند برای پیش‌بینی انتقال‌های بحرانی در یک سامانه پیچیده در حوزه استفاده شود.

با افزایش ناپایداری‌های محیطی و شدت یافتن تغییرات اقلیمی، سامانه‌های تأمین آب شهری در بسیاری از نقاط جهان با چالش‌های بزرگی روبه‌رو شده است. تاب‌آوری این سیستم‌ها در برابر حوادث طبیعی و انسان ساخت، از جمله خشکسالی‌ها، سیل‌ها و آلودگی‌های صنعتی، به یکی از دغدغه‌های اصلی مدیریت شهری تبدیل شده است (Li و همکاران، ۲۰۲۲).

در پرتو تغییرات اقلیمی و افزایش مخاطرات محیطی، سامانه‌های تأمین آب با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه هستند که نیازمند رویکردهای نوآورانه در مدیریت ریسک می‌باشند. تغییرات اقلیمی به طور خاص، با تشدید خشکسالی‌ها و تغییر الگوهای بارش، دینامیک منابع آب را مختل کرده و برنامه‌ریزی‌های مبتنی بر فرضیات گذشته را نامعتبر ساخته است. تجارب اخیر از بلایای طبیعی و مرتبط با آب ناشی از دخالت‌های انسانی نشان می‌دهد که سامانه‌ها و زیرساخت‌های فعلی تأمین آب نمی‌توانند از همه رویدادهای مخرب محافظت و جلوگیری کنند و ممکن است به دلیل عدم قطعیت بالای اختلالات، وابستگی متقابل پیچیده سامانه‌های زیرساختی و خرابی‌های تصادفی ناشی از غیرقابل پیش‌بینی بودن رخدادها، عملکرد غیرقابل اعتمادی داشته باشند (Richard، ۲۰۰۲). در چند سال گذشته، توجه بیشتر به سمت ابزارها و استراتژی‌های مبتنی بر تاب‌آوری مانند گزینه‌های تسکین و بازیابی معطوف شده است که سامانه‌های زیرساختی حیاتی (از جمله سامانه‌های آب) را به طور سازگارانه قابل اعتمادتر می‌سازد (Hosseini و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از این ابزارها، ابزار ارزیابی تاب‌آوری و آگاهی از تغییرات اقلیمی (CREAT)^۱ توسعه یافته توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا است که به سامانه‌های آبی کمک می‌کند تا پتانسیل تأثیرات تغییرات اقلیمی بر زیرساخت‌های خود را شناسایی و به مدیریت ریسک‌های مرتبط بپردازند (U.S.E.P.A، ۲۰۱۸). Cimellaro و همکارانش (۲۰۱۶) یک شاخص تاب‌آوری برای سامانه‌های تأمین و توزیع آب ارائه کردند که از ترکیب سه شاخص اصلی، شامل تعداد مشترکین آب دائمی، سطح آب در مخزن و کیفیت آب تشکیل شده است. این شاخص تاب‌آوری که در مطالعه آنان محاسبه شده است، مناسب برای برنامه‌ریزان و مهندسان سامانه‌های توزیع آب به شمار می‌رود. علاوه بر آن اطمینان‌پذیری همراه با مدیریت ریسک به عنوان معیار اصلی در مهندسی و مدیریت سامانه‌های زیرساختی آب مورد تأکید قرار گرفته است (Gheisi و همکاران، ۲۰۱۶).

برنامه‌های موفق حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، نیازمند ارزیابی ریسک مؤثر است. برای این منظور، شناسایی تهدیدات، ارزیابی آسیب‌پذیری‌ها و تأثیرات آن‌ها بر دارایی‌ها، زیرساخت‌ها یا سامانه‌ها با در نظر گرفتن احتمال وقوع یک تهدید، اهمیت

Amarasinghe و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان «ارزیابی کمی تاب‌آوری یک سامانه آبرسانی تحت کاهش بارندگی ناشی از تغییرات آب‌وهوایی»، سه شاخص برای ارزیابی تاب‌آوری یک سامانه تأمین آب معرفی کردند. این پژوهش نوآورانه بوده و رویکرد استفاده شده برای ارزیابی تاب‌آوری، نوعی ارزیابی کمی از آن را ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد کاربرد مفهوم تاب‌آوری می‌تواند شرایط بحرانی مانند کاهش بارندگی را شناسایی کرده و در طول عملیات سامانه تأمین آب به حفظ عملکرد آن کمک کند. Watts و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای با عنوان «آزمایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب در برابر خشکسالی‌های طولانی»، رویکردی جدید برای آزمایش طرح‌های مدیریت خشکسالی را مطرح کردند که از دیدگاه مهندسی سنتی فراتر می‌رود و مدیران تأمین آب و قانون‌گذاران در این فرآیند مشارکت می‌کند (افرادی که در طول یک دوره خشکسالی مسئول تصمیم‌گیری هستند). این رویکرد سامانه تأمین آب را که شامل محیط طبیعی، زیرساخت‌های فیزیکی، مؤسسات و مدیران، و همچنین مصرف‌کنندگان آب است، در کنار یکدیگر ارزیابی می‌کند. این چارچوب گسترده، امکان توسعه درک گسترده‌تری از نقاط قوت چارچوب برنامه‌ریزی خشکسالی را فراهم می‌کند و مناطقی را که ممکن است بهبود تاب‌آوری داشته باشند، برجسته می‌کند. Diao و همکاران (۲۰۱۶) در یک مقاله، یک روش جدید برای ارزیابی تاب‌آوری جهانی (GRA) را معرفی کردند و آن را در سیستم‌های توزیع آب استفاده کردند. در این پژوهش، GRA استفاده شده، تاب‌آوری سیستم‌ها را در سه حالت مختلف خرابی، از جمله خرابی لوله، تقاضای اضافی (مانند حوادث آتش‌نشانی) و نفوذ مواد، ارزیابی می‌کند. حالت خرابی در اینجا شامل تمام سناریوهایی است که سیستم تحت استرس یک خرابی خاص قرار می‌گیرد؛ نتایج ارزیابی GRA در قالب نمودارهایی ارائه شدند که ارتباط بین میزان تنش و شاخص‌های چندگانه کرنش را نشان می‌دهند

Li و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی و راهبرد ارتقای تاب‌آوری سیستم آبرسانی شهری در برابر بلایای سیل و خشکسالی»، یک روش تحلیل همبستگی و یک روش تحلیل عاملی را برای ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌های تأمین آب شهری با ترکیب هر زیرسیستم و به‌کارگیری نظریه سیستم خاکستری (که در آن بخشی از اطلاعات شناخته شده و بخشی از اطلاعات ناشناخته است) پیشنهاد دادند. این روش چهار بعد فرآیند تأمین آب (منبع آب، نیروگاه آب، شبکه تأمین و توزیع و استفاده‌کنندگان) و پنج بعد سیستم مدیریت شهری (جامعه، محیط طبیعی، اقتصاد، فیزیک و سازمان) را انعکاس داده است.

Crozier و همکاران (۲۰۲۴) پژوهشی با عنوان «چارچوب تاب‌آوری برای برنامه‌ریزی سیستم‌های تأمین آب شهری» منتشر کردند که یک چارچوب انعطاف‌پذیر را برای برنامه‌ریزی سیستم‌های تأمین آب شهری در مدت گذار به سمت مدیریت یکپارچه منابع آب ارائه می‌کند. بر اساس ترکیبی از ادبیات در سراسر علوم مهندسی،

اکولوژیکی و اجتماعی، عملکرد سیستم تاب‌آور با استفاده از عبور از آستانه‌های ایمن شکست و شکست ایمن به‌عنوان شاخص‌های کلیدی تعریف می‌شود.

باتوجه به اهمیت موضوع تاب‌آوری در سیستم‌های تأمین و توزیع آب هدف از این پژوهش، تدوین الگویی مناسب جهت افزایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب است که از تجارب آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) بهره می‌گیرد. آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا با توسعه ابزار CREAT یک چارچوب عملیاتی را برای ارزیابی ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی و توسعه برنامه‌های مدیریتی پیشنهاد داده است (U.S.E.P.A, ۲۰۱۸).

این پژوهش به دنبال آن است که با ارزیابی مقدار تاب‌آوری از طریق رویکردهای پایدار و بررسی سناریوهای مختلف سازگاری، افزایش تاب‌آوری در سامانه‌های تأمین آب شهری را ممکن سازد. مدل‌های پیشنهادی و استراتژی‌های جایگزین که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند، می‌توانند به بهبود قابلیت انطباق و کاهش آسیب‌پذیری سیستم‌ها در برابر مخاطرات طبیعی کمک کنند. ایالت یوتا در آمریکا، باتوجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خود، مستعد تجربه خشکسالی‌ها و نوسانات منابع آبی است. هدف از این پژوهش بررسی ادغام داده‌های محلی با ابزارهای تحلیلی مدرن است که چگونه می‌تواند به افزایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب در برابر تغییرات اقلیمی کمک کند.

روش تحقیق

این پژوهش با تمرکز بر مطالعه موردی ایالت یوتا، ایالات متحده، با استفاده از تجربیات و روش‌های آژانس حفاظت از محیط‌زیست (EPA)، از یک رویکرد سیستماتیک برای ارزیابی انعطاف‌پذیری سیستم‌های تأمین آب استفاده می‌کند.

• معرفی ابزار CREAT

در این پژوهش وضعیت انعطاف‌پذیری فعلی ایالت یوتا با استفاده از ابزار ارزیابی و آگاهی تاب‌آوری آب‌وهوا (CREAT) توسعه یافته توسط EPA ارزیابی شد. این ابزار به‌عنوان ابزاری محوری برای ارزیابی انعطاف‌پذیری سیستم‌های تأمین آب عمل می‌کند. CREAT یک پلت فرم جامع و کاربرپسند است که برای کمک به سهام‌داران در ارزیابی اثرات تغییرات آب‌وهوا و افزایش انعطاف‌پذیری در بخش‌های مختلف از جمله مدیریت منابع آب طراحی شده است.

این ابزار با استفاده از ماژول‌های مختلف به موارد زیر می‌پردازد:

آگاهی از اقلیم (ماژول ۱): پیش‌بینی‌های آب و هوا برای ایالت یوتا با استفاده از تکنیک‌های مدل سازی آب و هوا، گسترش پیش‌بینی‌ها تا دهه‌های ۲۰۶۰ و ۲۰۷۰ به دست آمد. این تجزیه و تحلیل به پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده و ارزیابی تأثیر آنها بر انعطاف‌پذیری

سیستم تأمین آب کمک می‌کند.

توسعه سناریو (ماژول ۲): این ماژول به کاربران اجازه می‌دهد تا از طریق توسعه و ارزیابی سناریوهای مختلف، پیش‌بینی تغییرات آبی در شرایط اقلیمی را انجام دهند و برنامه‌های سازگاری متناسب را طراحی کنند. داده‌های دریافت شده توسط CREAT در این پژوهش عبارتند از: اقلیم منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های هیدرولیکی، تغییرات مشاهده شده و پیش‌بینی شده در میانگین دما، تغییرات برف، رواناب و رطوبت خاک، میانگین سالانه موج گرمایی و موج سرمایی برای جنوب غربی ایالات متحده و پیش‌بینی کاهش میانگین بارندگی سالانه در سراسر ایالت‌های جنوب غرب آمریکا.

پیامدها و دارایی‌ها (ماژول ۳): این ماژول اثرات تغییرات اقلیمی بر دارایی‌ها و عملکردهای سازمانی را تحلیل می‌کند و از کاربران خواسته می‌شود که پیامدهای احتمالی را شناسایی و ارزیابی کنند. دارایی‌های کلیدی ایالت یوتا از جمله زیرساخت‌ها، منابع طبیعی و عناصر اجتماعی-اقتصادی، شناسایی شده‌اند. تهدیدهای بالقوه برای این دارایی‌ها، مانند خطرات مربوط به تغییرات آب و هوایی، نیز از طریق مشاوره با سهامداران و نظرات کارشناسان تعیین شد. **برنامه‌ریزی سازگاری (ماژول ۴):** این ماژول به کاربران امکان می‌دهد تا بر اساس اطلاعات به دست آمده از ماژول‌های قبلی، برنامه‌های سازگاری را برای مواجهه با تهدیدات اقلیمی و کاهش آثار آنها طراحی و اجرا کنند.

ارزیابی ریسک (ماژول ۵): ریسک‌های مالی مرتبط با هر دارایی و تهدید شناسایی شده و به صورت کمی ارزیابی شده‌اند. این شامل برآورد هزینه‌های بالقوه وقوع ریسک در شرایط فعلی و مقایسه آنها با سناریوهایی بود که در آن استراتژی‌های انطباق و مدیریت اجرا می‌شوند. کاهش ریسک پولی^۲ (MRR) تغییر در ریسک ارزیابی شده بر اساس افزایش قابلیت دارایی‌ها برای مقاومت در برابر اثرات تهدیدات، پس از اجرای یک طرح سازگاری است (طلعتی و همکاران، ۱۴۰۲) (رابطه ۱):

$$MRR = (\text{Max Impact}_{(PL, \text{Category})} - \text{Min Impact}_{(CM, \text{Category})}) \text{ to } (\text{Max Impact}_{(CM, \text{Category})} - \text{Min Impact}_{(PL, \text{Category})}) \quad (1)$$

• مشخصات محدوده مورد مطالعه

ایالت یوتا در میان رشته‌کوه‌های راکی واقع شده است. این ایالت از سوی شرق به رشته‌کوه‌های پوشیده از برف راکی و از سوی غرب به نمک‌زار و دریاچه‌های خشکیده نمک می‌رسد. شهر سالت‌لیک‌سیتی مرکز این ایالت دارای آب‌وهوای گرم و خشک در تابستان و سرد و برفی در زمستان و بارش‌های فصلی متوسط تا کم است. تغییرات آب‌وهوایی این منطقه شامل افزایش دما، کاهش بارش زمستانی و احتمال افزایش خطر سیل در نواحی کمتر برفی می‌باشد. این تغییرات می‌توانند منجر به خشکسالی‌های گرم‌تر و شدیدتری نسبت به گذشته شوند (Cayan و همکاران، ۲۰۱۲).

بر اساس تحلیل‌های شورای اقلیم ایالات متحده، کاهش قابل توجه در میزان آب برفی، جریانات آب و رطوبت خاک در منطقه قابل مشاهده است. این تغییرات می‌توانند تأثیرات جدی روی سامانه‌های تأمین آب داشته باشند، از جمله تلفات عمده در مقدار آب حاصل از برفی که رودخانه‌های غربی را پر می‌کند، کاهش رواناب در مناطق مختلف از جمله کالیفرنیا، آریزونا و کوه‌های راکی مرکزی و کاهش رطوبت خاک در سراسر منطقه. این شرایط نشان‌دهنده افزایش خطر کمبود آب در آینده در سامانه‌های تأمین است؛ بنابراین اقداماتی جهت مدیریت منابع آب و تطبیق با این تغییرات اساسی می‌تواند حیاتی باشد (National Science Council, ۲۰۱۵).

تناوب امواج گرمایی به‌طور کلی در دهه‌های اخیر افزایش یافته است و از نظر آماری روند صعودی قابل توجهی دارد. پیش‌بینی می‌شود که وقایع امواج گرمایی شدیدتر و طولانی‌تر در قرن حاضر رخ دهد. یک روند نزولی کلی در وقوع امواج سرمایی نیز وجود دارد که از نظر آماری معنادار است (Kenneth و همکاران، ۲۰۱۳). تغییرات پیش‌بینی شده در بارش سالانه برای سال ۲۰۶۰ با استفاده از داده‌های الگو EPA (CREAT) نشان می‌دهد که شرایط برای کل منطقه جنوب غربی ایالات متحده خشک‌تر باشد و در برخی از بخش‌های جنوب غربی، میانگین بارندگی سالانه بین ۲۵ تا ۳۰ درصد نسبت به شرایط فعلی کاهش یابد. افزایش حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی سالانه، تا ۲۶ روز بالاتر از مقادیر کنونی، برای بخش‌هایی از کالیفرنیا جنوبی و آریزونا نیز انتظار می‌رود. این پیش‌بینی‌های بارش، احتمال افزایش خشکسالی‌های شدیدتر برای اقلیم منطقه را منجر خواهند شد (جدول ۱).

جدول ۱- نگرانی‌های فعلی مرتبط با محدوده مطالعاتی

بخش مرتبط	نگرانی‌های فعلی
مدیریت و تأمین آب	خشکسالی
	ذخیره برف/ مخازن طبیعی
	ورود رواناب به مخازن طبیعی
چالش‌های کیفیت آب	نقص در تصفیه
	نفوذ آب شور
	ایجاد کدورت در مخازن آب
بلایا و سوانح طبیعی	شکوفه‌های جلبکی
	آتش‌سوزی
	سیل
تغییرات جمعیتی	گردبادها
	طوفان‌های یخی و یخ‌بندان
	تراکم مصرف‌کنندگان
در دسترس بودن نیروی کار	کاربری زمین‌ها
	تغییرات جمعیتی

ماتریس پیامدهای اقتصادی برای افزایش تاب‌آوری سامانه تأمین آب با استفاده از الگو CREAT و اطلاعاتی از جمعیت مشترکین، وضعیت مالی، نوع سامانه تأمین آب و جریان کلی، تهیه شد. در تدوین الگوی افزایش تاب‌آوری سامانه تأمین آب، ارزیابی پیامدهای اقتصادی منطقه‌ای ناشی از قطع خدمات سامانه تأمین آب شرکت مورد نظر انجام شد. برای این ارزیابی، از رویکرد کارآمد "ابزار تحلیل اقتصادی و سلامت آب سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (WHEAT)" استفاده شد. با در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به شرکت، از جمله گستره خدماتی آن (only, water and Wastewater utility) و وضعیت مالی، «تعداد روزهای عدم سرویس‌دهی» و «درصد مشترکین تحت تأثیر» مشخص شدند. سپس با استفاده از مقادیر شاخص پولی، تهدیدات مرتبط با سناریوهای شرایط اقلیمی به ماتریس پیامدهای اقتصادی اضافه شدند. دارایی‌های متأثر از تهدیدات به دو دسته دارایی‌های حیاتی و غیرحیاتی تقسیم شدند. با توجه به اینکه منابع تأمین آب یوتا از سه بخش اصلی دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چاه‌ها می‌باشد، سه دسته اصلی از دارایی‌های غیرحیاتی با توجه به خصوصیات مورد نیاز تعریف شدند. این دسته‌ها شامل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها (با مثال رودخانه کلرادو)، مخازن و دریاچه‌ها (مثال دریاچه Great Salt) و سفره‌های آب زیرزمینی (مانند فلات کلرادو و حوضه آبریز و رشته‌کوه‌های مرکزی کلرادو) هستند. پس از اجرای الگو CREAT و ورود داده‌های دریافتی از ایستگاه‌های Jordan river، در نهایت نتایج سناریو پایه به شرح جدول (۲) گزارش شد.

جدول ۲- داده‌های الگو CREAT در سناریو پایه

مقدار در سناریو پایه	شاخص
۷/۳۹	میانگین دمای سالانه (سانتیگراد)
--	تغییر درجه حرارت سالانه (سانتیگراد)
۱۸	تعداد روزهای گرم سالانه بیش از ۳۲ درجه (سانتیگراد)
۲	تعداد روزهای گرم سالانه بیش از ۳۵ درجه (سانتیگراد)
۰	تعداد سالانه روزهای گرم بیش از ۳۷/۸ درجه (سانتیگراد)
۷۰۸	کل بارندگی سالانه (میلی‌متر)
--	تغییرات سالانه بارندگی (درصد)
۸۰۱	شدت بارندگی ۱۰۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۱۰۸	شدت بارندگی ۱۰۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۷۳	شدت بارندگی ۵۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۹۸	شدت بارندگی ۵۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۳/۹۴	جریان میانگین متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)
۱/۳۷	جریان کمینه متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)
۶/۲۴	جریان بیشینه متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)

با توجه به پیامدهای پیش‌بینی شده سناریو تغییر اقلیم در سال ۲۰۶۰ (جدول ۳) برای افزایش تاب‌آوری، اقدامات سازگاری به شرح زیر و به صورت گسترده مورد توجه قرار گرفت:

۱. انعطاف‌پذیری عملیاتی گسترش یافته شرکت‌های تأمین‌کننده آب در مواجهه با تهدیدات تغییر اقلیمی
۲. ظرفیت از پیش افزایش یافته سامانه‌های تأمین آب
۳. استراتژی‌های جایگزین برای افزایش انعطاف‌پذیری و سرمایه‌گذاری‌های بیشتر برای گسترش ظرفیت سامانه برای مقابله با اثرات اقلیمی

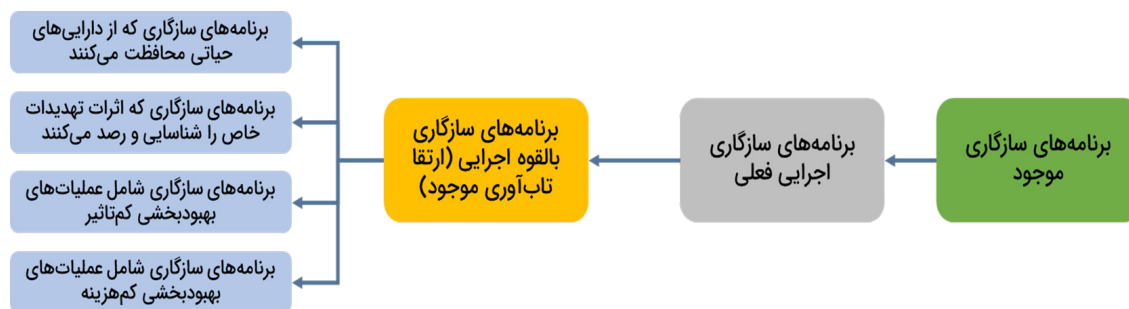
جدول ۳- پیامدهای پیش‌بینی شده سناریو تغییر اقلیم در سال ۲۰۶۰ میلادی

مقدار در سناریو پایه	شاخص
--	میانگین دمای سالانه (سانتیگراد)
۱۴/۱	تغییر درجه حرارت سالانه (سانتیگراد)
۶۶	تعداد روزهای گرم سالانه بیش از ۳۲ درجه (سانتیگراد)
۳۱	تعداد روزهای گرم سالانه بیش از ۳۵ درجه (سانتیگراد)
۶	تعداد سالانه روزهای گرم بیش از ۳۷/۸ درجه (سانتیگراد)
--	کل بارندگی سالانه (میلی‌متر)
۱/۷۱	تغییرات سالانه بارندگی (درصد)
۸۰/۵	شدت بارندگی ۱۰۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۱۰۸/۵	شدت بارندگی ۱۰۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۷۲/۶	شدت بارندگی ۵۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۹۷/۸	شدت بارندگی ۵۰ ساله (میلی‌متر/ساعت)
۳/۳۴	جریان میانگین متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)
۱/۳	جریان کمینه متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)
۵	جریان بیشینه متوسط سالانه (مترمکعب/ثانیه)

تفاوت اصلی بین اقدامات موجود و اقدامات بالقوه:

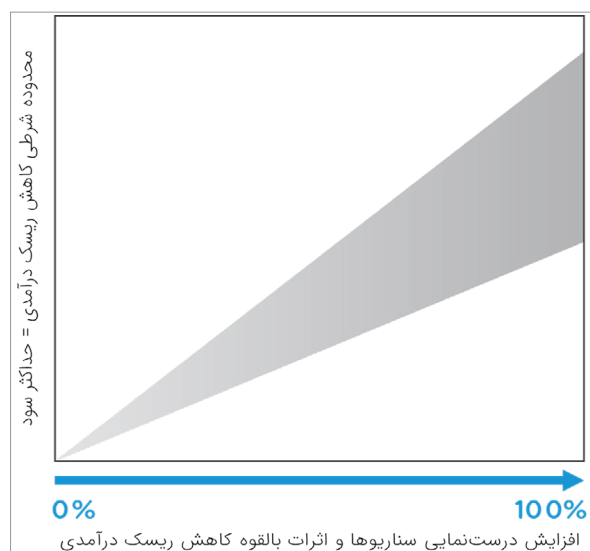
اقدامات موجود، اقداماتی هستند که یک شرکت از قبل طراحی کرده و سطحی از محافظت در برابر تهدیدات اقلیمی را فراهم می‌کنند اقدامات بالقوه، اقداماتی هستند که ممکن است بهبود اقدامات موجود را فراهم کنند یا به طور کامل نوآوری شوند. هر یک از این اقدامات بالقوه می‌تواند به عنوان بخشی از برنامه‌های سازگاری در طول ارزیابی ریسک در نظر گرفته شود که در نهایت منجر به افزایش تاب‌آوری خواهد شد. شکل (۱) بیانگر موضوع فوق می‌باشد.

در مرحله بعدی افزایش تاب‌آوری سامانه تأمین آب، گزینه‌های مختلفی در چارچوب مشخصی تعریف شدند. این گزینه‌ها شامل نام و توضیح اقدامات براساس شرایط، هزینه اجرای آنها، ارتباط با تهدیدات مورد ارزیابی و سایر جزئیات بودند. سپس اقدامات سازگاری موجود و پیش‌بینی شده بر اساس الگو CREAT شناسایی شدند.

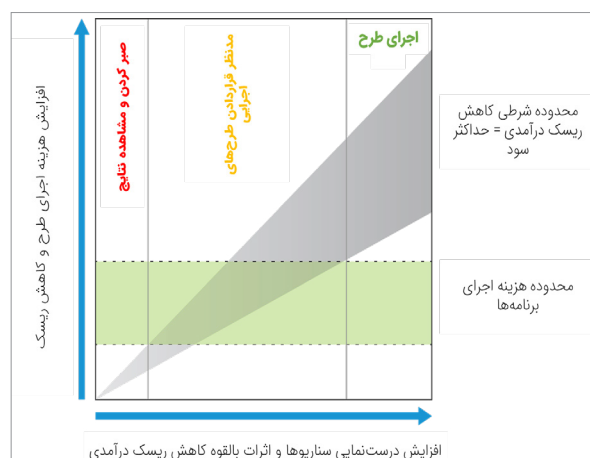


شکل ۱- تفاوت اقدامات فعلی موجود و اقدامات بالقوه و تأثیر آن در ارتقا میزان تاب‌آوری

نادر با درست‌نمایی کمتر باشد، طرح به‌عنوان یک سرمایه‌گذاری غیرعقلانه در نظر گرفته شد. اما زمانی که کاهش ریسک از هزینه بیشتر شد، در مواردی که احتمال وقوع سناریو وجود داشت، طرح به‌عنوان یک سرمایه‌گذاری محتاطانه در نظر گرفته شد.



شکل ۳- میزان کاهش ریسک پولی (درآمدی) بر اساس احتمال وقوع سناریوها



شکل ۴- میزان کاهش ریسک پولی (درآمدی) بر اساس احتمال وقوع سناریوها در بازه‌های محدوده شرطی

خروجی‌ها نشان دادند هر اقدام چگونه با تهدیدات مختلف ارتباط دارد و هزینه اجرایی آن چقدر است. ارزیابی پیامدها توسط الگو CREAT در ماژول پیامدها و دارایی‌ها باعث کاهش ریسک تخمینی پولی شد. هدف این مرحله، شناسایی و برنامه‌ریزی برای اجرای اقدامات سازگاری بود که به کاهش ریسک کمک می‌کرد. نتایج ارزیابی ریسک برای اطلاع از فرآیندهای تصمیم‌گیری یا کمک به توجیه بودجه مالی برای انتخاب گزینه‌های سازگاری مورد استفاده قرار گرفت. پس از ارزیابی توانایی‌های فعلی و شرایط مشابه، CREAT ارزش ریسک پولی را برای هر ارزیابی محاسبه کرد و تفاوت بین کل ریسک پولی برای هر طرح سازگاری و ریسک فعلی را به‌عنوان کاهش ریسک پولی گزارش داد. نتایج این ارزیابی نشان داد انجام اقدامات سازگاری می‌تواند به کاهش پیامدهای تهدیدات مربوط به تغییرات اقلیمی و تاب‌آوری کمک کند (شکل ۲).



شکل ۲- نمای نهایی پلان اجرای اقدامات افزایش تاب‌آوری

درست‌نمایی سناریو برای نتایج اعمال شد، در نتیجه ارزیابی‌ها، ریسک برای آن سناریو کاهش یافت و پتانسیل کمتری برای وقوع تهدید گزارش شد. مقایسه هزینه‌های طرح سازگاری با کاهش ریسک پولی برای درست‌نمایی همه سناریوها، از ۰ تا ۱۰۰٪ نمایش داده شد (شکل ۳). انتخاب هر ترکیبی از طرح و سناریو سازگاری و میزان کاهش هزینه و ریسک به‌عنوان تابعی از احتمال مقایسه شد. در شکل (۴) چندین محل تقاطع وجود داشت که آستانه‌هایی را نشان می‌دادند که مقادیر درست‌نمایی بالاتر یا پایین‌تر از آن‌ها می‌توانست تصمیمات اجرایی متفاوتی را ارزیابی کند. در صورتی که هزینه از کاهش ریسک بیشتر شد، اگر سناریو واقعی یک شرایط

در مطالعه موردی، دو طرح اصلی برای افزایش تاب‌آوری بررسی شدند. طرح اول مربوط به اجرای الگو AIDM-P^۴ بود و نتایج آن به شرح زیر است:

- پیامدهای اقتصادی: اقدام فعلی بیش از ۹,۷۰۰,۰۱۶ دلار بوده است، درحالی‌که اقدام برنامه‌ریزی شده بین ۶,۴۵۶,۴۰۹ تا ۲۳,۱۷۵,۸۲۳ دلار تغییر کرده است.

- پیامدهای اقتصادی منطقه‌ای: میزان پیامد اقدام موجود حدود ۸۴,۸۹۸,۸۹۲ دلار بوده است که با اجرای طرح برنامه‌ریزی شده به حدود ۱۶۹,۷۹۷,۷۸۴ دلار افزایش می‌یابد.

- اثرات اقتصادی منطقه‌ای: با اقدام موجود ۳۰ روز بدون خدمت و ۱۵ درصد مشترکین دچار قطعی آب بوده‌اند، درحالی‌که با اجرای طرح برنامه‌ریزی شده به ۱۵ روز بدون خدمت و ۱۰ درصد مشترکین دچار قطعی آب، کاهش می‌یابد.

- پیامدهای سلامت عمومی و اثرات بهداشت عمومی: هر دو طرح برابر بوده و هیچ تلفات جانی یا مصدومیتی گزارش نشده است.

در سناریو فعلی سازگاری در ایالت سالت‌لیک‌سیتی، در شرایط شدیدترین حالت، با تأثیرات تغییرات اقلیم مواجه شده و اقدامات برنامه‌ریزی شده به نظر می‌رسد قصد داشته قطع خدمات را به مقدار ۵ درصد کاهش دهد. ارزیابی پیامدهای سلامت و بهداشت عمومی برای این سناریو به مقدار صفر دلار و بدون تلفات جانی و مصدومیت در نظر گرفته شده است.

نتایج ارزیابی‌های مختلف مرتبط با الگوی افزایش تاب‌آوری با اجرای طرح AIDM-P به شرح زیر بوده است:

- پیامدهای اقتصادی: میزان اقدام فعلی بین ۲,۶۲۱,۳۱۲ تا ۱۶,۲۰۵,۵۱۱ دلار و میزان اقدام برنامه‌ریزی شده بین ۱,۰۴۲,۶۵۶ تا ۱۴,۲۵۲,۵۶۱ دلار تغییر کرده است.

- پیامدهای اقتصادی منطقه‌ای: میزان پیامد اقدام فعلی حدود ۳۹,۶۱۹,۴۸۳ دلار بوده و با اجرای طرح برنامه‌ریزی شده به حدود ۵۶,۵۹۹,۲۶۱ دلار افزایش می‌یابد.

- اثرات اقتصادی منطقه‌ای: با اقدام فعلی ۱۰ روز بدون خدمت و ۱۰ درصد مشترکین دچار قطعی آب بوده و با اجرای طرح برنامه‌ریزی شده به ۷ روز بدون خدمت و ۱۰ درصد مشترکین دچار قطعی آب کاهش می‌یابد.

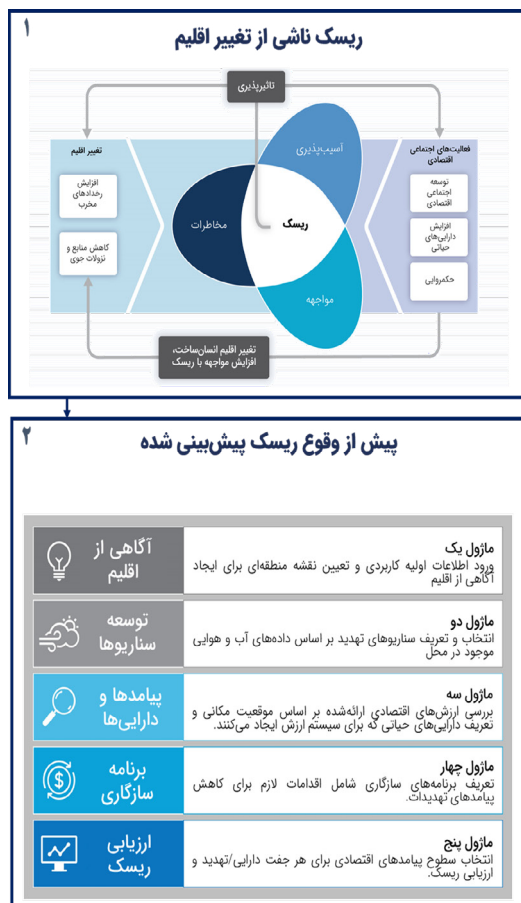
- پیامدهای سلامت عمومی و اثرات بهداشت عمومی: هر دو طرح برابر بوده و هیچ تلفات جانی یا مصدومیتی گزارش نشده است.

در سناریو افزایش تاب‌آوری و سازگاری در ایالت سالت‌لیک‌سیتی، ارزیابی‌هایی برای دو طرح مختلف انجام شد. برای طرح اول که از الگو AIDM-P استفاده می‌کند، در شرایط شدیدترین حالت، قطعی خدمات به میزان ۳ درصد کاهش پیدا می‌کند. اما ارزیابی پیامدهای سلامت و بهداشت عمومی برای این سناریو صفر دلار و بدون تلفات جانی و مصدومیت نشان می‌دهد.

طرح دوم که از الگو GWM^۵ استفاده می‌کند، در شرایط سخت‌تر،

آسیب‌پذیری کمتری دارد و قطعی خدمات به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین، ارزیابی پیامدهای سلامت و بهداشت عمومی نیز برای این طرح به صفر دلار و بدون تلفات جانی و مصدومیت می‌رسد. اجرای طرح GWM در شرایط سخت‌تر به یک سامانه تأمین آب پایدار منجر می‌شود و قطع خدمات به مشترکین را به صفر کاهش می‌دهد. همچنین، ارزیابی پیامدهای سلامت و بهداشت عمومی نیز بدون هزینه و بدون تلفات جانی و مصدومیت انجام شده است. چارچوب نهایی الگو بر اساس گزارش‌های IPCC بر اساس شکل (۵) ارائه گردید.

جدول (۴) نشان می‌دهد اجرای طرح‌های AIDM-P و GWM برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب سالت‌لیک‌سیتی، از نظر هزینه نهایی و کاهش ریسک پولی بسیار مؤثر بوده است. باتوجه‌به اطلاعات موجود، اولویت اجرایی طرح AIDM-P در وضعیت "صبر کردن و مشاهده نتایج" با احتمال وقوع ۱۰۰ درصد قرار دارد، درحالی‌که در وضعیت "مدنظر قراردادن طرح‌های اجرایی" احتمال وقوع ریسک مالی تا ۷/۳۹ درصد می‌باشد. اما برای طرح GWM، اولویت اجرایی در ورود به فاز "مدنظر قراردادن طرح‌های اجرایی" تا ۱۶/۰۵ درصد و در نهایت "اجرای طرح" است. درحالی‌که این طرح در وضعیت "صبر کردن و مشاهده نتایج" با احتمال وقوع ریسک پیش‌بینی شده تا ۲/۳۶ درصد می‌باشد.



شکل ۵- چارچوب نهایی الگو بر اساس گزارش‌های IPCC ۲۰۱۴

جدول ۴- مقایسه کاهش ریسک پولی در سناریوهای الگو CREAT پس از اجرای دو طرح AIDM-P و GWM

نام طرح	هزینه نهایی	سناریو پایه	سناریو افزایش تاب آوری
AIDM-P	\$1,000,000 - \$40,000,000	\$1,688,950 >	\$264,000 - \$3,267,606
GWM	\$1,000,000 - \$6,400,000	\$86,587,842 >	\$39,883,483 - \$42,351,089

• نتایج ارزیابی تاب آوری و ارزیابی سناریو شهرستان سالت لیک، یوتا

ارزیابی تاب آوری و ارزیابی سناریو در شهرستان سالت لیک ناحیه تأسیساتی آبرسانی دره جردن انجام شد. این ناحیه به حدود ۲۲۰ هزار نفر که عمدتاً در شهرها و مناطقی در شهرستان سالت لیک یوتا واقع شده‌اند، آب آشامیدنی و خدمات خرده‌فروشی آب را ارائه می‌دهد. دره جردن تقریباً ۹۰ درصد از آب ناحیه خود را به صورت عمده فروشی به شهرها و ۱۰ درصد دیگر را به مناطق صنعتی تحویل می‌دهد.

از چالش‌های عمده‌ای که این منطقه با آن روبه‌روست تأثیرات شرایط خشکسالی و کاهش کیفیت آب است که بر عرضه و تقاضای آب تأثیرگذار است. خشکسالی و کاهش مقدار برف در منطقه بر تأمین آب دره جردن تأثیرگذار است؛ زیرا بیش از نیمی از آب آن در یک بازه زمانی سه ماهه تحویل داده می‌شود. همچنین تأثیر بالقوه شکوفه‌های جلبکی می‌تواند بر کیفیت آب منابع دره تأثیر منفی بگذارد.

• استراتژی‌ها و اولویت‌های تاب آوری

با استفاده از نتایج ارزیابی CREAT، عملکرد و هزینه‌های چندین استراتژی بالقوه مدیریت خشکسالی و کاهش کیفیت آب ارزیابی شد که در صورت اجرا، می‌تواند انعطاف‌پذیری عملیاتی سیستم را بیشتر تقویت کند (جدول ۵).

این پژوهش به مسئله اصلی تأثیر تغییرات اقلیمی بر سامانه‌های تأمین آب و راهکارهای افزایش تاب آوری پرداخته است. از آنجاکه تغییر اقلیم می‌تواند عواقب جدی بر سامانه‌های تأمین آب داشته باشد، ارزیابی و محاسبه تاب آوری این سامانه‌ها در برابر ریسک و تهدیدات اقلیمی امری حیاتی است. در این پژوهش، از ابزار CREAT آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا بهره گرفته شد تا تأثیرات تغییرات اقلیمی را بر سامانه‌های تأمین آب در ایالت یوتا بررسی کند. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعه موردی، مشخص شد افزایش تاب آوری سامانه‌های تأمین آب از طریق اجرای طرح‌های سازگاری و مدیریت ریسک اقتصادی و مالی می‌تواند تأثیر مثبتی بر عملکرد و پایداری این سامانه‌ها داشته باشد.

اثرات نامطلوب تغییرات آب‌وهوایی فقط محدود به جنبه‌های عملیاتی سیستم‌های آب نیست، بلکه به شاخص‌های هیدرولیکی مانند تغییرات نرخ جریان، فشار و ظرفیت ذخیره‌سازی آب نیز بستگی دارد. یکی از اهداف این پژوهش ارزیابی تأثیر سناریوهای پیش‌بینی شده اقلیمی تا سال ۲۰۶۰ با استفاده از مدل CREAT

بود. نتایج نشان داد تحت تأثیر این سناریوها، انتظار می‌رود میانگین بارندگی سالانه تقریباً ۱٫۷۱ درصد کاهش یابد، در حالی که میانگین دمای سالانه ممکن است حدود ۶٫۶۲ درجه فارنهایت افزایش یابد.

جدول ۵- نتایج ارزیابی CREAT، برای تقویت تاب آوری عملیاتی سیستم در دره جردن (U.S.E.P.A، ۲۰۱۸)

نوع	استراتژی‌های تاب آوری
اقدامات زیر	- پیاده‌سازی ارتقای AMI شامل بازخورد مشتریان
	- اجرای ارتقای AMI شامل بازخورد مشتری
	- ارتقای سیستم اسکادا (SCADA)
	- ساخت مخزن تصفیه‌خانه آب دره جردن
اقدامات تطبیقی بالقوه	- تدوین طرح مدیریت تغییر اقلیم
	- اجرای طرح‌های حفاظت از آب (۱۹۹۷-۲۰۱۰ و ۲۰۱۰-۲۰۱۷)
	- تنظیم دقیق زمان حقایقه‌ها
	- بهبود وضعیت چشمه‌های کاستو و درای کریک برای تأمین آب اضافی
اقدامات تطبیقی بالقوه	- تنوع بخشیدن به سبد تأمین آب
	- اجرای اقدامات حفاظتی برای کاهش ۲۵ درصد تقاضا تا سال ۲۰۲۵
	- ایجاد طرح آمادگی برای خشکسالی
	- افزایش بهره‌برداری از منابع آب رودخانه‌ای
اقدامات تطبیقی بالقوه	- استفاده مجدد از آب‌های خاکستری
	- افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب تا ۵ درصد
	- حمایت از تلاش‌ها برای حفظ دریاچه یوتا به عنوان منبع ثانویه آب شهری و صنعتی
	- توسعه پروژه تأمین آب رودخانه بیبر برای دستیابی به منابع آب سطحی

این مطالعه همچنین شامل تجزیه و تحلیل دارایی کامل از سیستم تأمین آب دره جردن در سالت لیک سیتی، یوتا، برای تعیین پیامدهای مالی تغییرات آب‌وهوایی بر روی هر دارایی بود. ارزش مالی هر دارایی و زیان‌های پولی خاص برای نتایج پیش‌بینی شده به دقت فهرست‌بندی شد و در نهایت نسبت پوشش بدهی (DCR) را برای سناریوهای جاری و پیش‌بینی شده تعریف کرد. یافته‌ها بر افزایش قابل توجه تاب آوری که می‌توان با ادغام استراتژی‌های سازگاری با اقدامات موجود به دست آورد، تأکید می‌کنند.

استفاده از مدل سازگاری GWM در این پژوهش نشان داد که تاب آوری می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یابد. به طور خاص، این مدل تأخیر اقدام فوری را تسهیل می‌کند و امکان افزایش ۲٫۳۶

درصدی انعطاف‌پذیری را در سناریوهای پایه فعلی و تا ۱۶,۰۵ درصد افزایش در سناریوهایی را فراهم می‌کند که برنامه‌ریزی فعال قبل از وقوع خطر را در نظر می‌گیرند. علاوه‌براین، هزینه‌های اقتصادی به دو گروه اصلی: هزینه‌های اجرای طرح‌های انطباق و نتایج مالی ناشی از این طرح‌ها طبقه‌بندی شدند. این مبلغ برای اولی بین ۱ تا ۶,۴ میلیون دلار و برای دومی بین ۷,۵ تا ۳۷,۴ میلیون دلار تخمین زده شد. پیامدهای مالی بالقوه تهدیدات آب‌وهوایی حدود ۱۳۶,۸ میلیون دلار است.

با به‌کارگیری الگوهای سازگاری مانند GWM، توانایی سامانه‌های تأمین آب در مقابل تهدیدات اقلیمی به شکل چشمگیری افزایش می‌یابد و همچنین بهینه‌سازی اقتصادی و مالی اجرای طرح‌های سازگاری می‌تواند به مقدار قابل توجهی هزینه‌های اقتصادی را کاهش دهد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط Amarasingh و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد.

با در نظر گرفتن تمام سازگاری‌های برنامه‌ریزی شده و اثرات مالی آنها، بهینه‌سازی اقتصادی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در هزینه از ۱۲۶,۴ میلیون دلار در شرایط حداقل هزینه تا ۹۳ میلیون دلار در شرایط حداکثر هزینه شود که نشان دهنده افزایش انعطاف‌پذیری سیستم به میزان ۶۸-۹۲٪ است. این مطالعه نقش حیاتی اقدامات انطباق استراتژیک را در افزایش قابل توجه انعطاف‌پذیری سیستم‌های تأمین آب در برابر پس زمینه شرایط آب و هوایی در حال تحول برجسته می‌کند.

باتوجه‌به یافته‌های حاصل از این مقاله، می‌توان به تحلیل تطبیقی نتایج با سایر مطالعات و مدل‌ها پرداخت. در مطالعات گذشته نیز، الگوهای مختلفی برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های توزیع و تأمین آب پیشنهاد شده است. باتوجه‌به نتایج این پژوهش، مشخص شد طرح‌های AIDM-P و GWM به طور مؤثری می‌توانند بهبود تاب‌آوری سامانه‌های توزیع و تأمین آب را فراهم کنند. این الگوها نه تنها منجر به کاهش خسارات اقتصادی و مالی در صورت وقوع حوادث و تهدیدات اقلیمی می‌شوند، بلکه باعث کاهش ریسک‌های مرتبط با این تهدیدات می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده توسط Cimellaro و همکاران (۲۰۱۶) نیز این مسئله را نشان می‌دهد.

در تفسیر نتایج، مشخص شد اجرای طرح AIDM-P باعث کاهش قابل توجهی در میزان قطع خدمات و پیامدهای اقتصادی و منطقه‌ای مرتبط با آن می‌شود. همچنین، طرح GWM نشان داد در شرایط سخت‌تر، به‌عنوان یک سامانه تأمین آب پایدار عمل می‌کند و اثرات مثبتی بر ریسک‌های مرتبط با تهدیدات اقلیمی دارد.

در این مقاله، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که می‌تواند بر تفسیر و کلیت نتایج تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، محدودیت‌های مربوط به داده‌ها، مدل‌های استفاده شده و شرایط محیطی خاص منطقه مورد بررسی قابل ذکر است. برای پژوهش‌های آینده، توصیه می‌شود که به این محدودیت‌ها توجه بیشتری شود و از روش‌های بهبودی برای

حل آن‌ها استفاده شود. همچنین، اجرای آزمایش‌های بیشتر و اعمال مدل‌های دیگر نیز می‌تواند به توسعه دانش در این حوزه کمک کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که تحلیل و ارزیابی دقیق تأثیرات تغییرات اقلیمی و اجرای طرح‌های سازگاری می‌تواند ابزار مؤثری برای افزایش تاب‌آوری سامانه‌های تأمین آب باشد و به مدیران و تصمیم‌گیران در این زمینه کمک کند. این روش یک رویکرد سیستماتیک و دقیق را برای ارزیابی انعطاف‌پذیری سیستم آب، باتکیه بر تخصص و ابزارهای ارائه شده توسط EPA و تطبیق آنها با زمینه خاص در یوتا، ایالات متحده تضمین می‌کند و می‌تواند الگویی برای مناطق با شرایط مشابه باشد.

عمده‌ترین محدودیت پژوهش، به‌خصوص در ایران عدم وجود و یا دستیابی به داده‌های معتبر و به روز است. از طرفی نیاز است تا فعالیت گسترده‌ای برای آشنا کردن مدیران و کارشناسان با استانداردهای جدید تاب‌آوری و همچنین بومی‌سازی آنها انجام شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool
- 2-Global Resilience Analysis
- 3-Monetized Risk Reduction
- 4-Agricultural and Irrigation Demand Management (Partners)
- 5-Groundwater Models For Drought, Service Demand And Use
- 6-JVWCD

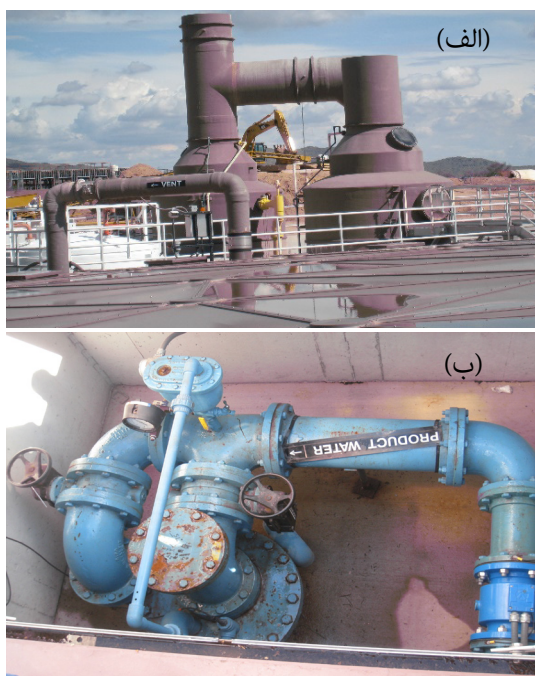
منابع

- طلعتی، محمد، خداشناس، سعیدرضا، و پاپلی یزدی، فرید. (۱۴۰۲). ارزیابی سناریوها و آگاهی از تاب‌آوری اقلیمی با استفاده از مدل CREAT. مطالعه موردی کالیفرنیا. سومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
- Amarasinghe, P., Liu, A., Egodawatta, P., Barnes, P., McGree, J., & Goonetilleke. (2016). Quantitative assessment of resilience of a water supply system under rainfall reduction due to climate change. *Journal of Hydrology*, 540, 1043-1052. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.021>

- Li, Z., Zhao, H., Liu, J. Zhang, J. (2022). Evaluation and promotion strategy of resilience of urban water supply system under flood and drought disasters. *Scientific Reports*, 12, 7404. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11436-w>
- Liu, D., Chen, X., & Nakato, T. (2012). Resilience assessment of water resources system. *springer*, 2, 3743–3755. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0100-7>
- Mehran, A., Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(15), 7520–7533. <https://doi.org/10.1002/2015JD023147>
- Porse, E., & Lund, J.R. (2016). Network Analysis and Visualizations of Water Resources Infrastructure in California: Linking Connectivity and Resilience. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142. 04015041. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000556)
- Qi, M., Feng, M., Sun, T., & Yang, W. (2016). Resilience changes in watershed systems: A new perspective to quantify long-term hydrological shifts under perturbations. *Journal of Hydrology*, 539, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.039>
- Richard, G. L. (2002). Controlling Cascading Failure: Understanding the Vulnerabilities of Interconnected Infrastructures. *Journal of Urban Technology*, 9(1), 109–123. <https://doi.org/10.1080/106307302317379855>
- Rodrigues, F., Borges, M., & Rodrigues, H. (2020). Risk management in water supply networks: Aveiro case study. *springer*, 27(7), 4598–4611. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05797-5>
- U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water (USEPA). (2018). Case study: Water and wastewater utilities planning for resilience: Jordan Valley Water Conservancy District (JVWCD), Salt Lake County, Utah, (EPA 800-F-18-002).
- Watts, G., Christerson, B. v., Hannaford, J., & Lonsdale, K. (2012). Testing the resilience of water supply systems to long droughts. *Journal of Hydrology*, 414–415(January), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.038>
- Cayan, D., Tyree, M., Pierce, D., & Das, T. (2012). Climate Change and Sea Level Rise Scenarios for California Vulnerability and Adaptation Assessment. California Energy Commission, 1–28. <http://www.energy.ca.gov/2012publications/CEC-500-2012-008/CEC-500-2012-008.pdf>
- Cimellaro, G. P., Tinebra, A., Renschler, C., & Fragiadakis, M. (2016). New Resilience Index for Urban Water Distribution Networks. *Journal of Structural Engineering*, 142(8), 4015014–4015011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001433)
- National Science Council. (2015). Our Changing Planet: The U. S. Global Change Research Program for Fiscal Year 2015 CreateSpace Independent Publishing Platform. <https://www.globalchange.gov/reports/our-changing-planet-us-global-change-research-program-fiscal-year-2015>
- Crozier, A., Lence, B. J., & Weijs, S. V. (2024). Resilience framework for urban water supply systems planning. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 9(4), 386–406. <https://doi.org/10.1080/23789689.2024.2340378>
- Diao, K., Sweetapple, C., Farmani, R., Fu, G., Ward, S., & Butler, D. (2016). Global resilience analysis of water distribution systems. *IWA Water Research*, 106(12), 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.011>
- Gheisi, A., Forsyth, M., & Naser, G. (2016). Water Distribution Systems Reliability: A Review of Research Literature. *American Society of Civil Engineers*, 142(11), 04016047. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000690](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000690)
- Hosseini, S., KashBarke, & E. Ramirez-Marquez, J. (2016). A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, 145, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.08.006>
- Kenneth E, K., Thomas R, K., David R, E., Kelly, R., John, Y., Xungang, Y., & Paula, H. (2013). Probable maximum precipitation and climate change. *Geophysical Research Letters*, 40(7), 1402–1408. <https://doi.org/10.1002/grl.50334>
- Kjeldsen, T., Rosbjerg, D. (2004). Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 755–767 <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.755.55136>



شکل ۱- بخشی از اقدامات «خشک‌منظر» در دانشگاه صنعتی اصفهان



شکل ۲- الف) بخشی از تأسیسات تصفیه فاضلاب Scottsdale
ب) تزریق آب تصفیه شده به سفره آب زیرزمینی

براساس آنچه اشاره شد، «پساب» را نباید ابتدا به عنوان یک منبع آب جدید دید، بلکه آنچه در بهره‌برداری از آن رخ می‌دهد یک «بازتخصیص» است. بهره‌برداری جدید از آن ظرفیت‌هایی دارد که متأسفانه هنوز در برنامه‌ریزی منابع آب کشور نهادینه نشده است. قطعاً «حسابداری آب» یکی از اصلی‌ترین ابزارها می‌باشد که به استناد آن مجوز تخصیص «پساب» صادر می‌گردد.

منابع:

خبرگزاری ایرنا. (۱۴۰۰). بازار گرم فروش پساب در وانفسای فرونشست اصفهان. کد خبر ۸۴۵۶۸۰۵۰

در قانون برنامه پنج‌ساله هفتم، پساب جایگاه ویژه‌ای را پیدا کرده است. این موضوع ذیل ماده ۳۹ و در بندهای متفاوتی مانند بند «ب» برای تأمین آب فضای سبز و «ث» برای تأمین آب صنایع، مورد توجه می‌باشد. پساب از منظر مدیریت منابع آب بخشی از یک سیستم آبی است و نگاه انتزاعی به آن می‌تواند بسیار خسارت‌بار باشد. با چنین نگاهی در هرگونه بهره‌برداری از این منبع، ابتدا لازم است، سوالات مهمی پاسخ داده شود، مانند آنکه: ۱) کارکرد قبلی پساب‌ها در این سیستم چه بوده است؟ ۲) در صورت تغییر کاربری این منبع تبعات آن روی کارکرد قبلی چه خواهد شد؟ ۳) آیا بهره‌برداری از پساب، افزایش مصرف آب را هم به دنبال دارد؟ و سؤالاتی دیگر از این سنخ.

جهت تشریح بهتر مطالب بالا، ذکر تجربه اصفهان می‌تواند مفید باشد. مدیرکل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی اصفهان، کارکرد پساب در این منطقه را «حقابه زمین» تعریف می‌کند. وی با اشاره به اینکه ۶۰ تا ۷۰ درصد آب شرب، پساب تلقی می‌شود، اذعان می‌دارد که آب توسط صنعت خریداری می‌شود و عملاً این حقابه حذف (و درکنار سایر بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی) موجب فرونشست گسترده در این استان شده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۴۰۰). بدین ترتیب و به استناد این مرجع، پاسخ به ۳ سوال فوق در مورد اصفهان اینگونه خواهد بود: ۱) «پساب» بخشی از «حقابه زمین» است، ۲) حذف آن موجب تشدید فرونشست خواهد شود و ۳) برای آن مصرف جدیدی که صنعت می‌باشد، تعریف می‌شود (به انتقال این آب هم اشاره شده است).

بهره‌برداری از پساب برای فضای سبز نیز همین مسیر را دارد. اصل عدم استفاده از آب شرب برای فضای سبز مورد تأیید است، ولی سازوکارهای اولویت‌دار دیگری باید در دستور کار قرار گیرند. در رأس آنها حذف چمن از منظر شهری می‌باشد، مگر در موارد خاص. هم‌اکنون تجربیات موفق در سطح کشور و خارج از آن (مانند فینیکس در ایالات آریزونا آمریکا) وجود دارد که با رویکرد توسعه «خشک‌منظر» (Xeriscape) هم انتظارات بیننده را تأمین کرده و هم در کاهش مصرف آب نقش آفرینی داشته است. یکی از نمونه‌های موفق آن در داخل کشور نیز منظر پردیس دانشگاه صنعتی اصفهان می‌باشد (شکل ۱) که طی یک کار کاملاً علمی، این مهم را عملیاتی کرده‌اند.

متناسب با شرایط کشور و در شرایطی که فرونشست دشت‌ها و تراز منفی سفره‌های آب زیرزمینی به تهدیدی جدی برای امنیت ملی تبدیل شده است، استفاده از پساب قبل از آنکه بخواهد مورد توجه برای مصرف جدید باشد، می‌بایست به تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و جلوگیری از فرونشست‌ها تخصیص یابد. نمونه آن یکی از سامانه‌های تصفیه فاضلاب شهری (Scottsdale water campus) در ایالت آریزونا است که آب تصفیه شده مجدداً به صرف تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌رسد و به درون آن تزریق می‌شود (شکل ۲).

باتوجه به ارتباط تنگاتنگ میان سیستم‌های هیدرولوژی، اکولوژی و اجتماعی-اقتصادی با پایای آب زیرزمینی، به‌منظور اجرای سیاست‌ها، قوانین و دستورالعمل‌های مدیریتی مفاهیم پایایی در راستای کاهش وخامت اوضاع منابع آبی و اکوسیستم، تبیین مدیریت یکپارچه در مدیریت منابع آب ضرورت می‌یابد. موفقیت راهبردی، در گروی فعالیت مشترک و هماهنگ دستگاه‌های اجرایی در حرکت به سوی چشم‌انداز است؛ به‌گونه‌ای که هیچ امری وانهاده و بدون متولی نمانده باشد. چالش تحقق اهداف چشم‌اندازهای بلند مدت در راستای حفظ و حراست پایدار منابع ناشی از فعالیت‌های تفکیک یافته و صرفاً منطبق با منافع سازمانی دستگاه‌ها و از دیگر جهت نبود زنجیره‌ای پیوسته بین عملیات اجرایی با اصول تبیین شده بالادستی و فقدان تفکر سیستمی می‌باشد. در نتیجه شکاف گسترده‌تری بین کنشگران آب، پژوهشگران و جامعه برای تعریف و دستیابی به پایایی آب زیرزمینی ایجاد می‌شود. در این پژوهش وجوه مختلف مفهوم پایایی آب زیرزمینی بررسی شده و این مفهوم را مبتنی بر اصول هیدرولوژیکی برای رویکردهای مشارکتی و یکپارچه‌تر در راستای دستیابی به امنیت آب تشریح شد و با هدف شناسایی ارزش‌های اجتماعی متنوع و مرتبط با پایایی آب زیرزمینی، روش‌شناسی عوامل کارایی آبخوان و عوامل حکمرانی انجام شد. اجرای موثر سیاست‌های آب زیرزمینی نیازمند تبیین مدیریت یکپارچه و فرآیند مشارکتی بین سیستم‌های آب سطحی، آب زیرزمینی، اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های بشری، با احتساب تحلیل عدم قطعیت و مدیریت تطبیقی و دانش بومی و ترجیحات اجتماعی و شرایط منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایای آب زیرزمینی، خدمات اکوسیستم، عدم قطعیت، مشارکت، آبخوان.

مقدمه

یکی از ضروری‌ترین نیازهای جهانی، تضمین امنیت آب در مواجهه با رشد جمعیت انسانی، گسترش کشاورزی و تغییر اقلیم است (Wheater و Guber، ۲۰۱۵). آب زیرزمینی گسترده‌ترین و مهمترین منبع آب شرب در سراسر دنیا بوده، حفظ پایایی اکوسیستم‌ها و افزایش سازگاری جوامع بشری با تغییر اقلیم در گروی آن است (Taylor و همکاران، ۲۰۱۳). بیش از ۵۰ درصد از آب شرب مردم جهان و بیش از ۴۳ درصد نیاز کشاورزی فاریاب از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین می‌شود بنابراین مدیریت پایای آب زیرزمینی بسیار اهمیت دارد (Siebert و همکاران، ۲۰۱۰). با وجود اینکه، آب زیرزمینی منبع مشترک جهت پایایی انسان‌ها و اکوسیستم‌ها می‌باشد، اما اغلب در بسیار از مناطق جهان با بهره‌برداری بیش از حد، در معرض اضمحلال و نابودی قرار گرفته است (Wada و Bierkens، ۲۰۱۹). این امر می‌تواند با افزایش تقاضا برای غذا نیز افزایش یابد (McLaughlin و Kinzelbach، ۲۰۱۵). بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی علاوه بر تهدیدات محیط‌زیستی و خطرات جغرافیایی (Wada و Bierkens، ۲۰۱۹)، تهدیدهایی مانند نفوذ آب شور و فرونشست زمین را در برخی مناطق به نگرانی‌های جدی تبدیل کرده است (Michael و همکاران، ۲۰۱۷).

علاوه‌براین، ظهور این تهدیدات برای آب زیرزمینی اغلب بر قشر آسیب‌پذیر تأثیرگذار خواهد بود (Baguma و همکاران، ۲۰۱۷). برای سازش با این تهدیدات، و افزایش استفاده مفید از این منبع

حیاتی، ادبیات پایایی، شامل مفاهیم آبدی مطنن، آبدی پایا، توسعه پایای آب زیرزمینی و مدیریت پایای آب زیرزمینی مطرح شده است. پایایی آب زیرزمینی به محیط‌زیست بستگی دارد و این مفهوم در سطح جهانی از مناطق خشک تا مناطق مرطوب بسیار متفاوت است و بر این اساس ترجیحات اجتماعی از کمیت به کیفیت تغییر می‌کند (Cuthbert و همکاران، ۲۰۱۹).

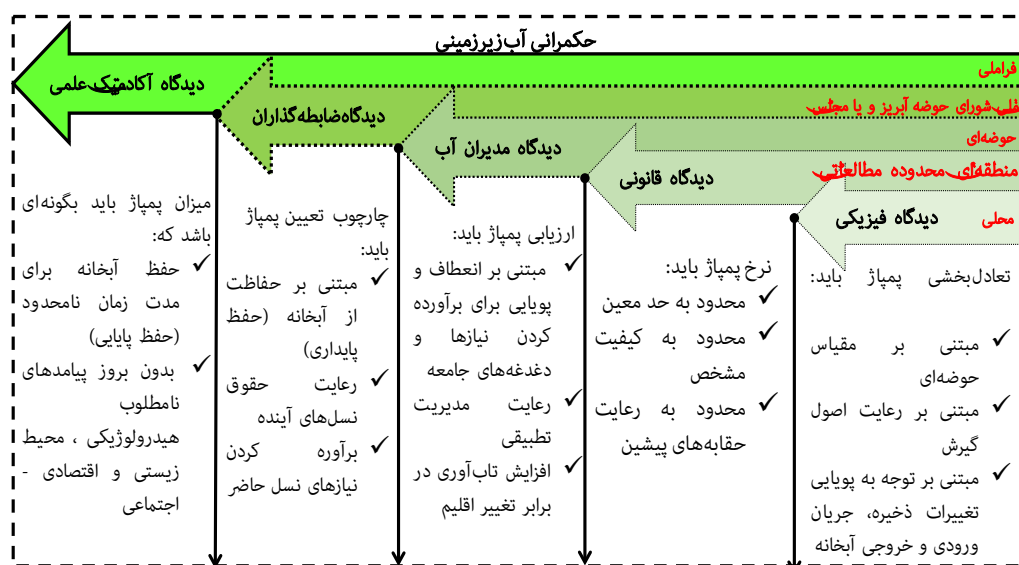
پایای آب زیرزمینی به‌طور فزاینده‌ای در سیاست‌ها، قوانین و مقررات آب زیرزمینی در تعدادی از نقاط جهان مانند: استرالیا (Quevauviller و همکاران، ۲۰۱۶)، بریتیش کلمبیا (Ohdedar، ۲۰۱۸) کالیفرنیا (Owen و همکاران، ۲۰۱۹)، فرانسه (Rinaudo و همکاران، ۲۰۱۶)، آلمان (Knüppe و همکاران، ۲۰۱۶)، هلند (Lijzen و همکاران، ۲۰۱۴) و آفریقای جنوبی (Seward، ۲۰۱۰) و در سایر نقاط دیگر (Woolley و Kalf، ۲۰۰۵) مورد توجه جدی قرار گرفته است. فقدان شفافیت تأثیر عمیقی در برهم‌کنش و اجرای سیاست‌های پایایی آب زیرزمینی دارد (Unver و همکاران، ۲۰۱۷). باوجوداینکه ابزارهای سیاستی بسیاری در چندین قانون و دستورالعمل آب مورد توجه قرار گرفته است، عملیاتی کردن سیاست پایایی آب زیرزمینی به‌صورت پویا و به هم پیوسته چالش جدی برای مدیران آب زیرزمینی و همچنین جامعه علمی است. دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا کمک چندانی به بهبود پایداری آب زیرزمینی، بدون مدیریت کاربردی آب زیرزمینی در سطح اجرایی محلی نخواهد نمود (Rejman، ۲۰۰۷). حتی با وجودی که دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا، این امکان را فراهم نموده بود که در حوضه موری-دارلینگ، جایی که

Lee (۱۹۱۴) در درک مفهوم پایایی آب زیرزمینی، از اصلاح «آبدی مطمن» استفاده نمود که به عنوان «محدودیت در مقدار کمیّت آبی که می‌توان به طور منظم و دائمی بدون کاهش خطرناک ذخیره رزرو (استاتیک) آبخوان برداشت شود» تعریف شده است. در این تعریف اولیه، مفهوم آبدی مطمن به عنوان هر میزان پمپاژ آب که کمتر یا برابر با نرخ تغذیه در شرایط پایدار و بدون توجه به نقش تخلیه از آب از آبخوان، تعریف شد و به پارامترهای قابل سنجش در هیدرولوژی آب زیرزمینی پایبند بود. اما این مفهوم با قانون بقای جرم مخالف است و به عنوان «افسانه بیلان آب» اشاره می‌شود (Devlin و Sophocleous, ۲۰۰۵). Theis (۱۹۴۰) بیان می‌دارد که پمپاژ آب زیرزمینی، منجر به کاهش میزان آب در منطقه‌ای دیگر می‌شود زیرا این برداشت ناشی از بهره‌برداری از ذخایر قبلی و یا حجم تغذیه یافته آبخوان و یا هر دوی آنها بوده است. در پی آن تغییری در استفاده از مفهوم «پایا» به جای آبدی «مطمن» صورت گرفته است (Alley و Leake, ۲۰۰۴). و تغییر ایجاد شده بر این اصل که سیستم آب زیرزمینی، سیستم هیدرولوژیکی گسترده‌تری را در بر گرفته است، تاکید دارد (Alley و همکاران، ۱۹۹۹). حکمرانی آب رفتار کنترل‌کننده‌ای است که از طریق اقدامات مدیریتی و یا با وضع مقررات آب (در طیف وسیعی از سیستم‌های سیاسی، اجتماعی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اداری) به کار گرفته می‌شود و در نهایت منجر به تنظیم «تخصیص و بهره‌برداری» از آب می‌شود. حکمرانی آب مشخص می‌کند که «چه کسی و در چه شرایطی به آب دسترسی دارد»؛ «حفاظت کمی و کیفی از آب چگونه است»؛ «قاعده مدیریت آب چیست و نقش مشارکت گرداران در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری تا کجاست»؛ «سیاست‌های بهره‌وری و صرفه‌جویی در مصارف آب کدامند»؛ «دوری اختلافات و تعارض‌ها به دست کیست»؛ و نقطه تمرکز آن بر سه رکن قرار دارد: «تصمیمات چگونه اخذ می‌شوند»، «چه کسی می‌تواند آب را مصرف کند» و «چگونه از پایداری منابع آب حفاظت می‌شود». امروزه باید بپذیریم که در حکمرانی آب دولت تنها کنشگر نیست. «حکمرانی مؤثر آب» و «مدیریت به هم پیوسته آب» لازم و ملزوم یکدیگر هستند. حکمرانی مؤثر آب را می‌توان حداقل به چهار مشخصه مقید نمود: ۱) رهبری اخلاق‌مدار با تمرکز بر اقشار تهی دست و آسیب‌پذیر؛ ۲) دسترسی به اطلاعات به هنگام، موثق و کافی به عنوان مقدمه هر تصمیم‌گیری و لازمه پاسخگویی؛ ۳) ایجاد سازوکارهایی برای بحث، گفت‌وگو و حل و فصل مناقشات با حضور جامعه مدنی؛ و ۴) تمرکززدایی و در عین حال حفظ به هم پیوستگی مدیریت آب (مشارکت گرداران و به‌ویژه آب‌بران در فرآیند تصمیم‌سازی). در عین حال پایداری تصمیمات تابع مقبولیت آنها نزد عموم گرداران و آبخیزنشینان خواهد بود. این مقبولیت به

دستورالعمل اصلاحات آب استرالیا با موفقیت توانسته است سیستم آبخوان‌هایی که مورد بهره‌برداری بیش از حد قرار گرفته بودند را به سطوح برداشت پایا از نظر محیط‌زیستی باز گرداند، اما باز هم تعدادی از جوامع محلی به طرح‌های آب یا فرآیندهای آن اعتماد کامل ندارند (Jackson و همکاران، ۲۰۱۲). عملیاتی‌سازی سیاست‌های آب زیرزمینی مرتبط با پایایی مستلزم ایجاد یک پایه مفهومی محکم برای انتقال دانش علمی به تصمیم‌سازان در اجتماع است (Pierce و همکاران، ۲۰۱۳). لذا ضروری است بررسی دقیق پیرامون سه چالش اصلی زیر صورت پذیرد: ۱- علم پایایی آب زیرزمینی، شامل علوم طبیعی و علوم اجتماعی می‌باشد، لذا علمی پیچیده محسوب می‌شود. مدیریت آب زیرزمینی، در برگیرنده ترکیبی از سیستم‌های بیوفیزیکی، اجتماعی-اقتصادی است، که به طور کامل در نظر گرفتن همه این ابعاد در چارچوب مدل‌سازی آب زیرزمینی امری دشوار است. درک و مدل‌های تکمیلی اجتماعی با سیستم‌های منابع آب، اکوسیستم‌ها و چگونگی تعامل میان آن‌ها با محدودیت‌های مشخص، چالشی پیچیده و فرارشته‌ای است که جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی-اقتصادی، فناوری و نهادی را در بر می‌گیرد. اگرچه اخیراً در موارد بسیار زیادی به این برهم‌کنش‌ها در برنامه‌های پایایی آب توجه شده است (Brown و همکاران، ۲۰۱۵). ۲- مدل‌های یکپارچه که هر دو جنبه طبیعی و انسانی سیستم‌های آب را در نظر می‌گیرد، به عنوان سیستم‌های پیچیده و پویا محسوب شده و دارای عدم قطعیت بسیار زیاد هستند (Gober و Wheeler, ۲۰۱۵). ۳- اغلب یک شکاف ارتباطی بین جامعه دانشگاهی، تصمیم‌گیرندگان و مجریان حوزه‌های مرتبط با آب وجود دارد که باعث می‌شود خروجی‌های علمی مورد تقاضا قرار نداشته باشند (Castilla-Rho, ۲۰۱۷). در پاسخ به سه چالش مزبور، برای عملیاتی کردن مؤثر سیاست پایایی آب زیرزمینی، ایجاد رابطه علم-سیاست که مبتنی بر مشارکت مردمی با در نظر گرفتن مصارف بشری و اکوسیستم‌ها و احتساب عدم قطعیت‌ها، پیشنهاد می‌شود. این مقاله با تکیه بر مطالعات موردی، جزئیاتی را در مورد فرارشته‌ای بودن فرآیندهای مدیریت آب زیرزمینی، برای بهره‌برداری پایا از آب زیرزمینی ارائه می‌کند و همچنین دانش شناسایی شکاف‌ها/گپ‌ها را در اختیار خواننده می‌گذارد. ادامه این مقاله تلاش برای تعریف پایایی آب زیرزمینی با نشان دادن ابعاد هم‌تکاملی این مفهوم با علم و سیاست مورد بحث قرار می‌گیرد. سپس ارزیابی علمی پایایی آب زیرزمینی را با تمرکز مدل‌سازی سه فرآیندی (۱- مدل‌سازی هیدرولوژیکی، ۲- مدل‌سازی خدمات اکوسیستم و ۳- مدل‌سازی فعالیت‌های انسانی) بررسی می‌کند. همچنین، تحلیل عدم قطعیت و مشارکت مورد بحث قرار می‌گیرد و در نهایت بر اساس چالش‌ها و گپ‌هایی که در مرور ادبیات بررسی شده، جهت‌گیری‌ها مورد بحث قرار داده می‌شود.

دیدگاه‌های مختلف فراملی، ملی، حوضه‌ای، منطقه‌ای و محلی مورد بررسی قرار می‌دهد.

نوبه خود، نیازمند رعایت عدالت و انصاف در حکمرانی می‌باشد (سند تدبیر آب مشهد). شکل (۱) حکمرانی آب زیرزمینی را از

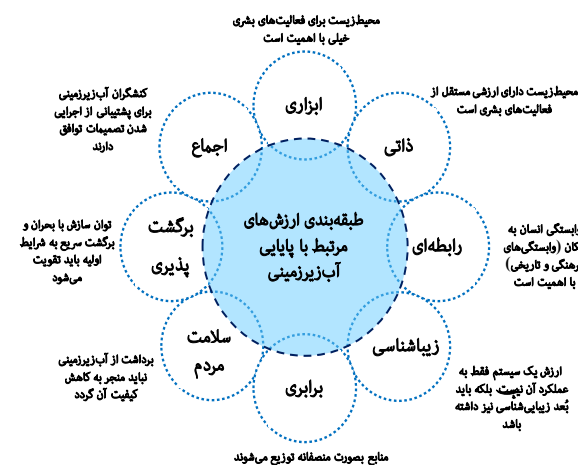


شکل ۱- طبقه‌بندی دیدگاه‌های مختلف پایایی آب زیرزمینی

پایایی منابع را در عمل دشوار می‌شود. این واقعیت عمدتاً به دلیل وجود دیدگاه‌های مختلف در مورد پایایی آب زیرزمینی توسط کنشگران مختلف، و تفسیرهای مختلف از مطلوبیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی از طریق ارزش‌های اجتماعی، مختلف است. به هم پیوستگی هیدرولوژیکی و موقعیت‌های کمیاب منابع آب، تخصیص آب را به یک بازی که همواره حاصل جمع صفر آن باشد (در کل برآیند منافع و مضررات خنثی را در پی دارد)، تبدیل می‌کند. سود یک استفاده کننده در اینجا احتمالاً هزینه استفاده کننده دیگری را در جای دیگر در پی خواهد داشت. ترجیح استفاده کوتاه مدت در اینجا با استفاده نسل‌های آتی از همین منابع آب زیرزمینی مشترک تضاد دارد. آنچه برای یک استفاده کننده قابل اطمینان محسوب می‌شود برای استفاده کننده دیگر ناامن محسوب می‌شود. برخی از خسارات ممکن است از دیدگاه یک بخش بسیار ناچیز به نظر برسد، اما همان خسارات ممکن است که از دیدگاه بخش دیگر این گونه نباشد. به عبارت دیگر، به دلیل ماهیت سیال آب، استفاده کنندگان، حقایق، چشم‌انداز یا ارزش‌های یک بخش مستقل از سایر مردمی نیست که به همان اندازه به رژیم هیدرولوژیکی مرتبط هستند. به نظر می‌رسد استفاده از آب زیرزمینی به طور پیچیده‌ای با این چرخه گسترده مرتبط است و ناگزیر است تا به مسائل حقوقی، برابری، کارایی اقتصادی و ارزش‌های محیط‌زیستی توجه کند. بررسی‌ها نشان داده است که توافق برای دستیابی به مدیریت پایایی آب زیرزمینی در حال ظهور است که نیازمند یک رویکرد ذی‌نفع محور بوده که به هر دو جنبه سیاست و علم توجه نماید (Gleeson و همکاران، ۲۰۲۰).

مفهوم گیش^۱ یک مفهوم کلیدی در شناخت آبدهی پایا است (Derakhshan و همکاران، ۲۰۲۳). مفهوم آبدهی پایا، پیوند میان آب زیرزمینی و سایر مؤلفه‌های مدیریتی تکامل یافت تا امکان‌سنجی اقتصادی، تخریب کیفیت آب، حقایق‌ها و سایر عوامل را شامل شود (Alley و Leake، ۲۰۰۴). به عنوان مثال، در مورد کالیفرنیا، تغییر استفاده از عبارت «آبدهی مطمئن» به افزایش استفاده از «آبدهی پایا» و «مدیریت پایای آب زیرزمینی» در این ایالت نشان‌دهنده تغییر رویکرد به سمت دیدگاه یکپارچه و نگاه کلان به سیستم آب زیرزمینی می‌باشد (Kretsinger Grabert و Narasimhan، ۲۰۰۶). سیستم آب زیرزمینی پایا سیستمی است که در آن پمپاژ می‌تواند به طور مطمئن و در مدت نامحدودی ادامه یابد، در صورتی که مدیران آب راهکارهای استفاده پایا از آب زیرزمینی را شناسایی کنند که امکان پمپاژ طولانی مدت را با در نظر گرفتن تمام محدودیت‌های لجستیکی، محیط‌زیستی، قانونی، اجتماعی، اقتصادی و فیزیکی برآورده سازد و همچنین ضرورت درک کاملی از سیستم هیدرولوژیکی آینده، اثرات برداشت طولانی مدت از منابع سطحی، تغییرات تغذیه آبخوان و روند کیفی آب، در نظر گرفته شود (Zheng و Gorelick، ۲۰۱۵). این انتقال از سطح آکادمیک و سطوح مختلف قوانین و سیاست‌ها، مانند دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا (WFD، ۲۰۰۰؛ GWD، ۲۰۰۶)، قانون مدیریت پایایی آب زیرزمینی در کالیفرنیا و قانون پایایی آب در بریتیش کلمبیا (Gleeson و همکاران، ۲۰۲۰) رخ داده است. Bredehoeft و Alley (۲۰۱۴) بیان کردند که چگونه واقعیت‌های عملی در مرحله اجرای نمودن مدیریت آب زیرزمینی، برآورد واقعی از دسترسی به

کیفیت‌های زیبایی‌شناختی مکان تمرکز می‌کنند تا شرایط اجتماعی و روان‌شناختی که ساکنان با مکان‌ها درگیر می‌شوند. به عنوان مثال، Fernald و همکاران (۲۰۱۵)، نشان می‌دهد انسجام جامعه در دره‌های شمال نیومکزیکو با ارزش دلبستگی به مکان و فرهنگ کشاورزی بومی و آبیاری سنتی حفظ می‌شود و این به نوبه خود تغذیه آب زیرزمینی را حفظ می‌کند که برای اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی مهم است. Rudestam و Langridge (۲۰۱۴) پیشنهاد می‌کنند که بحث در مورد ارزش‌های رابطه‌ای، درک عمیق‌تری از اینکه چرا شیوه‌های مدیریت آب زیرزمینی خاص رخ می‌دهد، فراهم می‌کند. چنین درک می‌تواند، به عنوان مثال، به شکل دادن به تلاش‌های پایایی آینده و در اجرای شیوه‌های حفاظت از آب زیرزمینی مرتبط با سازگاری با تغییرات اقلیمی کمک کند (Curtis و Sanderson، ۲۰۱۶).



شکل ۲- طبقه‌بندی ارزش‌های مرتبط با پایایی آب زیرزمینی

در فرآیند سیاست‌گذاری، درباره ارزش‌های اصلی انسانی و معانی آنها صحبت می‌شود (Gober و همکاران، ۲۰۱۵). این بحث توسط یک دیدگاه جامعه اینگونه فرموله شده است: «چگونه هم‌افزایی و مبادله بین اهداف اجتماعی مرتبط با مدیریت آب می‌توان ایجاد نمود؟» (Blöschl و همکاران، ۲۰۱۹). طبقه‌بندی ارزش‌های مربوط به پایایی آب زیرزمینی در شکل (۲) نشان داده شده است و جدول (۱) شرح و اهداف این پایایی را در برمی‌گیرد. ارزش ابزاری بر اهمیت تأثیر محیط‌زیست بر فعالیت‌های بشری می‌پردازد و ارزش‌های ذاتی، ارزش‌های مستقل محیط‌زیستی را شامل می‌شود. ارزش رابطه‌ای به هویت فردی و جمعی، دلبستگی‌ها و مسئولیت‌ها نسبت به یک مکان مربوط می‌شود و متأثر از هنجارها، فضائل، رفاه اجتماعی، دانش بومی، اصول و مکاتب محلی و ارزش‌های اصلی منطقه‌ای می‌باشد (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰).

ارزش‌های رابطه‌ای همچنین حقوق مردم و جوامع بومی را که در تعریف امنیت آب اغلب مبتنی بر ارزش‌های سنتی یا معنوی است، در بر می‌گیرد (Wheater و Gober، ۲۰۱۵). Rudestam و همکاران (۲۰۱۸) تأکید داشتند که در نظر گرفتن خصوصیات و شرایط مکانی برای مدیریت پایایی آب زیرزمینی ضروری است و به منظور توضیح نظریه‌های انسان‌گرایانه یک مکان، بیان می‌کنند که ارزش‌های رابطه‌ای فراتر از نظریه‌های مادی‌گرایانه آن مکان هستند، که به درک بهتر حفاظت از آب‌های زیرزمینی می‌انجامد. همچنین تأکید می‌کنند که معیارهای مورد استفاده توسط مدیران آب و سازمان‌های دولتی معمولاً بر جنبه‌های اقتصادی و

جدول ۱- ارتباط ارزش‌ها با پایایی آب زیرزمینی (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰).

نوع ارزش معیار	ارزش‌های ابزاری	ارزش‌های ذاتی	ارزش رابطه‌ای	ارزش‌های زیبایی شناسانه	برابری	سلامتی مردم	برگشت‌پذیری	اجماع
هدف ارزش در ارتباط با پایایی آب زیرزمینی	بهبود بقاء اقتصاد محلی و کیفیت زندگی ساکنان	حفظ و بهبود کیفیت محیط‌زیست	حفظ فرهنگ و تعاملات اجتماعی محلی	حفظ و بهبود زیبایی‌شناسی و زیبایی منظره محیط پیرامون	توجه توأم به حقوق نسل‌های حاضر و آینده	کنترل ریسک و کاهش آسیب به سلامت مردم	افزودن برگشت‌پذیری به برنامه مدیریت بحران	پشتیبانی از تصمیمات مبتنی بر منفعت جوامع محلی
شرح ارزش در ارتباط با پایایی آب زیرزمینی	پمپاژ از آب زیرزمینی برای فعالیت‌های بشری (کشاورزی، صنعت، ...)	پمپاژ از آب زیرزمینی به حدی باشد که تخلیه برای اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی حفظ شود	پمپاژ آب زیرزمینی نباید برای فرهنگ و تعاملات اجتماعی خسارت‌آمیز باشد	برداشت آب زیرزمینی به‌طور مستقیم با مباحث زیبایی‌شناسی و زیبایی منظره مرتبط است	برداشت از آب زیرزمینی باید به پیامدهای اجتماعی و نسل‌های آینده توجه کند	برداشت از آب زیرزمینی نباید موجب جابه‌جایی فلزات سنگین و آلودگی شود	برداشت از آب زیرزمینی نباید موجب فرونشست، شوری، نفوذ آب شور، و خشکسالی شود	برداشت از آب زیرزمینی نباید موجب ایجاد تعارض میان کنشگران و یا تعرض به پیشنهاد شود

در ارزش‌های زیبایی‌شناسانه، حفظ و بهبود زیبایی‌شناسی و زیبایی منظره محیط پیرامون لحاظ می‌شود (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰). دسته پنجم ارزش‌های برابری است که حول محور تخصیص عادلانه منابع آب زیرزمینی باتوجه به منافع هر بخش می‌باشد (Farhadi و همکاران، ۲۰۱۶).

Rinaudo و همکاران (۲۰۱۶) به عدالت اجتماعی در رابطه با این موضوع می‌پردازند. تغییرات و تهدیدات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی به طور نامناسب بر قشر ضعیف تأثیرگذار خواهد بود و بهبود دسترسی به آب زیرزمینی می‌تواند مزایای مختلفی را برای فقرا به همراه داشته باشد (Baguma و همکاران، ۲۰۱۷). به‌طور کلی دو نوع برابری در طراحی سیاست آب در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از حقوق نسل حاضر و نسل آینده. اقدامات سیاستی خاص مانند یارانه‌های آب زیرزمینی که برای نسل فعلی مفید است می‌تواند برای نسل‌های آینده مضر باشد (Zagonari، ۲۰۱۰). بنابراین، نسل‌های آینده باید به روشنی و اعمال جدیت جهت دفاع از منافع نسل آینده در فرآیند حاکمیت آب نماینده داشته باشند (Wiek و Larson، ۲۰۱۲).

ارزش میان نسلی ارزش‌های پیچیده‌تری برای بحث دارد. این عمدتاً به این دلیل است که ادغام دیدگاه بین نسلی مستلزم یک چارچوب زمانی بین ۵۰ تا ۱۰۰ سال است که اغلب طولانی‌تر از بازه زمانی سیاست (کمتر از ۵۰ سال)، اما کوتاه‌تر از زمان تجدیدپذیری در آب زیرزمینی است (Gleeson و همکاران، ۲۰۱۲). باید در نظر داشت که زمان تجدیدپذیری در آب زیرزمینی به زمان مورد نیاز برای رسیدن سیستم آبخوان به حالت پایای دیگر اشاره دارد و از ده‌ها تا میلیون‌ها سال متغیر است. Lapworth و همکاران (۲۰۱۹) به تشریح مدیریت منابع آب زیرزمینی برای حفاظت و بهبود سلامت عمومی پرداخته‌اند و Lele (۲۰۱۷) سلامت جامعه بشری را تحلیل کرده است.

برگشت‌پذیری، دسته‌ی دیگری از ارزش‌ها با ماهیت عمل‌گرایانه است (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰)، که به منظور دستیابی به پایایی آب زیرزمینی، شرایط مقابله با عوامل خارجی و بحران‌ها و همچنین بازگشت به وضعیت قبل از وقوع بحران را با اتخاذ اقدامات پیشگیرانه برای کاهش بحران در نظر می‌گیرد بحران‌های مربوط به آب زیرزمینی شامل افزایش سطح دریا (Ha، ۲۰۱۸)، خشکسالی شدید (Ranjan، ۲۰۱۳) و فرونشست و فروچاله (Wang و همکاران، ۲۰۱۸) می‌شود. درحالی‌که تاب‌آوری به‌طور کلی یک نگرانی عمده برای ذی‌نفعان است، تبادل میان عملکرد اقتصادی و تاب‌آوری می‌تواند منجر به تضاد شود (Tortajada و همکاران، ۲۰۱۷).

ارزش اصلی دیگر اجماع/توافق است که بسیاری از سیاست‌های آب (مانند دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا، قانون آب فدرال ایالات متحده، قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی در کالیفرنیا، برنامه اصلاحات آب استرالیا، قانون پایایی آب در بریتیش کلمبیا و غیره) بر آن تأکید دارند. در مورد حوضه‌های فرامرزی، ایجاد اجماع می‌تواند

چندین کشور همسایه و ذی‌نفعان را نیز شامل شود، که این امر مستلزم بحث درباره موضوعات حساس ملی و تعامل با کسانی است که ممکن است ایده‌های متفاوتی داشته باشند (Gleeson و همکاران، ۲۰۲۰). یکی دیگر از اجزای مهم ایجاد اجماع، حقوق بومی است. اعلامیه سال ۲۰۰۷ سازمان ملل متحد در مورد حقوق مردمان بومی، حق تعیین سرنوشت منطقه‌ای را تعیین می‌کند، که شامل حق مردم بومی در سراسر جهان برای تعیین آزادانه وضعیت سیاسی خود و پیگیری آزادانه توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خود می‌شود. احترام به حقوق مردم بومی برای اعمال اختیارات مستلزم اصلاح سیاست و تلاش‌های اجتماعی فراتر از فرآیند مشارکتی سنتی است (Wheater و Gober، ۲۰۱۵). باتوجه به این تعدد ارزش‌ها، تدوین و اجرای سیاست پایایی آب زیرزمینی فرصتی برای متحد کردن کنشگران با ارزش‌های محیطی و اجتماعی متفاوت است. پایایی آبخوان یک موضوع صرفاً علمی و فنی نیست، بلکه نتیجه ترجیحات و تصمیمات اجتماعی است (Custodio و همکاران، ۲۰۱۹) و به صراحت در سیاست‌های پایایی آب زیرزمینی بیان شده است. برای مثال، کمیته ملی آب زیرزمینی استرالیا (NGC) کارایی پایایی آب زیرزمینی را تحت عنوان «رژیم استحصال آب زیرزمینی در چارچوب زمانی مشخص و برنامه‌ریزی شده تحت سطوح بحران قابل قبول که محافظ ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی وابسته باشد» تعریف می‌کند. جهت پایای آب زیرزمینی در مدیریت منابع آب زیرسطحی، بررسی ارزش‌های اجتماعی ضروری است (Bremer و همکاران، ۲۰۱۸).

تفکیک عوامل پایایی آب زیرزمینی

ارزیابی علمی پایایی آب زیرزمینی مشخص کرده است که فاکتورهای کارایی و حکمرانی آبخوان بسیار متعدد است. بحث در مورد پایایی آب زیرزمینی حول درک اصول هیدرولوژیکی متمرکز است، درحالی‌که باید به رابطه علم-سیاست توجه شود (Tan و همکاران، ۲۰۱۲). عوامل پایای آب زیرزمینی، قابل تعریف، اندازه‌گیری و ارزیابی هستند. Pierce و همکاران (۲۰۱۳) در یک تفکیک مفهومی شش عامل کلیدی برای شناسایی آبدی آبخوان معرفی نمودند (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰: ۱) بررسی وضعیت ذخایر آب زیرزمینی و تغذیه آبخوان، (۲) بررسی وضعیت کیفی آبخوان، (۳) بررسی نرخ جریان‌های ورودی و خروجی و مرتبط با جریان‌های محیط‌زیستی، (۴) محدودیت‌های قانونی، (۵) بررسی‌های اقتصادی و (۶) برابری.

شکل (۳) هشت عامل پایایی آب زیرزمینی را ارائه می‌نماید که از شش عامل آبدی پایا توسط Pierce و همکاران (۲۰۱۳) شناسایی شده است که رابطه کارایی و حکمرانی آبخوان را نشان می‌دهند. اولین عامل نرخ تغذیه و شرایط هیدرودینامیکی آبخوان بوده، که شامل تأثیرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر تغذیه آبخوان،

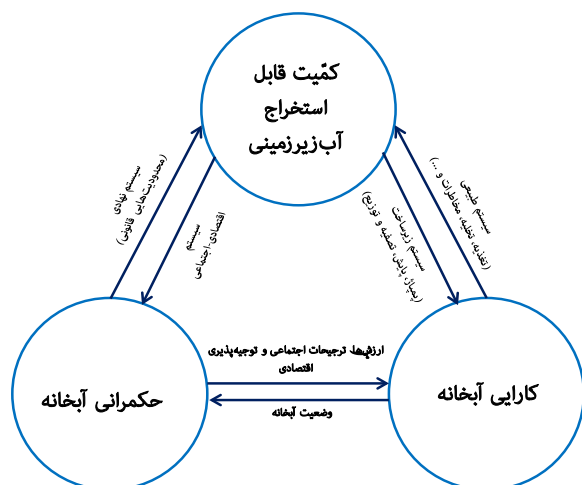
افت آبخوان و کاهش (گاهاً غیرقابل برگشت) ذخایر استراتژیک آبخوان می‌باشد؛ همچنین تغییرات نرخ شار تغذیه با تغییر فناوری‌ها و شیوه‌های کشاورزی را نیز در بردارد (Qin و همکاران، ۲۰۱۳). کیفیت آب، دومین عامل است که شامل آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای منبع، نفوذ غیرمنطقی آب شور و ورود فلزات سنگین مانند آرسنیک به آبخوان است. سومین عامل به نرخ تخلیه و جریان‌های محیط‌زیستی مربوط می‌شود که شامل برداشت آب زیرزمینی از پیکره‌ی آب سطحی، تخلیه به چشمه‌ها، و تخلیه آب زیرزمینی به دریا برای جلوگیری از نفوذ آب شور و دیگر کاربردهای مفید مرتبط با آنها است. کارایی آبخوان در ارتباط با مخاطرات طبیعی مانند فرونشست زمین، فروچاله‌ها، زمین لرزه‌ها، افزایش سطح آب دریا و خشکسالی شدید عامل مضاعفی بر شش عامل ذکر شده است (Pierce و همکاران، ۲۰۱۳). خشکسالی شدید بر خلاف مدیریت سفره زیرزمینی در شرایط ایستا، اثرات خارجی غیر ساکن را به دنبال دارد (Milly و همکاران، ۲۰۰۸).

زیرساخت‌های مرتبط با آب زیرزمینی که پمپاژ، تغذیه مصنوعی، پایش، تصفیه و توزیع را امکان‌پذیر می‌کنند، مستقیماً با کارایی آبخوان مرتبط هستند. این عامل همچنین شامل امکانات و فناوری‌هایی است که می‌تواند کارایی آبخوان‌ها را بهبود بخشد، مانند پروژه‌های انتقال آب (Shu و همکاران، ۲۰۱۲)، برای افزایش رزرو در شرایط خشکسالی (Daniels و Langridge، ۲۰۱۷)، حفاظت از جریان‌های احیاکننده محیط‌زیستی (Shi و همکاران، ۲۰۱۲)، شیرین‌سازی و بازچرخانی آب (Daniels و Langridge، ۲۰۱۷)، مدیریت تغذیه آبخوان (Badiuzzaman و همکاران، ۲۰۱۷). حکمرانی آبخوان سه عامل اصلی است که در شکل (۳) نشان داده شده است. حکمرانی آب فرایندهای تصمیم‌گیری در مورد اهداف منابع و قوانین و اقدامات عملی تعریف شده برای دستیابی به این اهداف است (Gleeson و همکاران، ۲۰۲۰)، نظام حقوقی و نهادی جزء اصلی در حکمرانی آب زیرزمینی است. مروری بر ساختار و نقش چارچوب‌های مؤثر قانونی و نهادی حکمرانی آب زیرزمینی برای ارتقای پایایی آب زیرزمینی در چندین مطالعه و گزارش ارائه شده است (سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل، ۲۰۱۷؛ Foster و همکاران، ۲۰۱۰).

در اینجا چند محدودیت قانونی و نهادی مورد بحث قرار می‌گیرد که می‌تواند مستقیماً با ارزیابی آب زیرزمینی برای عملیاتی کردن سیاست مرتبط باشد. محدودیت‌های قانونی و نهادی شامل حبابه‌ها مانند حبابه‌های محیط‌زیستی، تخصیص قبلی، منابع مشترک، حقوق بومی و ... است. به عنوان نمونه، Sophocleous (۲۰۱۲) بیان می‌دارد که بهبود چارچوب سهم تخصیص یافته‌های پیشین و گسترش «استفاده بهینه» در قانون تخصیص منابع آب کانزاس در سال ۱۹۴۵ یک گام ضروری به سمت پایایی آب زیرزمینی است. همچنین Llamas و همکاران (۲۰۱۵)، نشان می‌دهند که باتوجه به اجرای دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه اروپا ۲۰۰۰

در اسپانیا، مدیریت کلی آب زیرزمینی هنوز آشفته است چرا که آب زیرزمینی به جای اینکه در مالکیت عمومی باشند در حیطه بخش خصوصی باقی مانده است و برنامه‌ریزی آب بر آن متکی است. محدودیت‌های قانونی و نهادی همچنین شامل محدودیت در مکان و عمق چاه‌های استحصالی (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶) یا نوع کاربری مانند استفاده از آب زیرزمینی جهت آبیاری است (Piscopo و همکاران، ۲۰۱۹). این عامل همچنین شامل مقررات مربوط به بهره‌وری و صرفه‌جویی آب مانند تعرفه‌ها (Piscopo و همکاران، ۲۰۱۹) و ارتباط بین آب‌های سطحی و زیرزمینی (Owen و همکاران، ۲۰۱۹) است. محدودیت‌های قانونی و نهادی نیز شامل پایایی آب زیرزمینی، عدم اضافه برداشت و سیاست‌های مرتبط با مدیریت آبخوان است. لازم به ذکر است اضافه برداشت از آب زیرزمینی نوعی بهره‌برداری بیش‌ازحد است که باعث اضمحلال آب زیرزمینی می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که برداشت از تغذیه طبیعی سفره زیرزمینی در طول دوره طولانی مدت فراتر رود (Lund و Harou، ۲۰۰۸). کاهش ذخایر آب زیرزمینی زمانی اتفاق می‌افتد که استخراج طولانی مدت (چند سالانه) باعث کاهش آب تجدیدپذیر آبخوان و یا استخراج از بخش‌های فسیلی آبخوان شود که منجر به کاهش حجم کل آبخوان شده و ذخیره آب شیرین آبخوان به شدت کاهش می‌یابد (Konikow و Keady، ۲۰۰۵).

سیستم اجتماعی-اقتصادی شامل دو عامل اصلی مربوط به حکمرانی آبخوان است که در شکل (۳) نشان داده شده است. ارزش‌ها و ترجیحات اجتماعی شامل مبادله بین ارزش‌های اصلی است. در نهایت، امکان‌سنجی اقتصادی شامل هزینه پمپاژ، هزینه جایگزینی آب زیرزمینی (به عنوان مثال با نمک‌زدایی یا آب‌های سطحی تصفیه شده)، هزینه تغذیه مصنوعی و سایر هزینه‌های مربوط به توسعه برداشت از آب زیرزمینی است. این عامل از آنجا که امکان مقایسه مزایای محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی استراتژی‌های مدیریتی را جهت انتخاب گزینه برتر در دستیابی به پایایی آب زیرزمینی فراهم می‌کند، اهمیت ویژه خواهد داشت (Shi و همکاران، ۲۰۱۲).



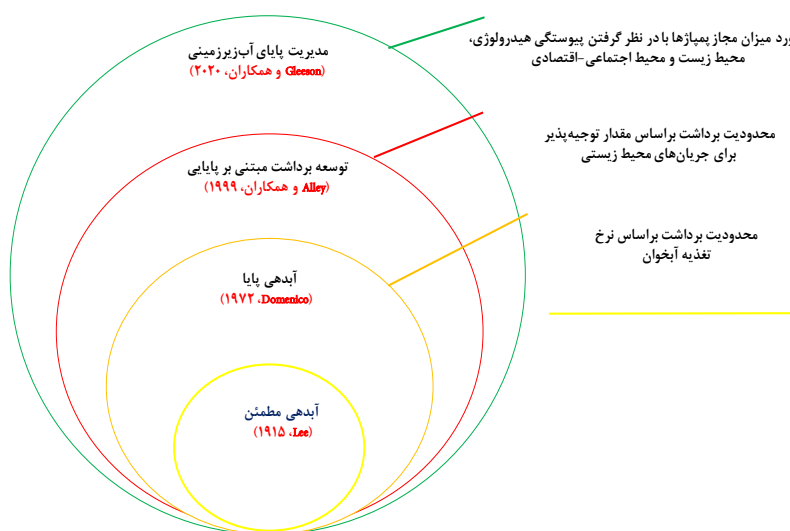
شکل ۳- ارتباط کارایی و حکمرانی آبخوان با کمیّت قابل استخراج آب زیرزمینی

تعریف پایایی آب زیرزمینی

آبدهی مطمئن، یک روش معمول مبتنی بر استفاده از نرخ تغذیه آبخوان به عنوان معیاری برای مشخص نمودن سیاست‌های پایایی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت، در این صورت توسعه برداشت از منابع آب زیرزمینی هنگامی مطمئن تلقی می‌شد که نرخ پمپاژ از نرخ تغذیه طبیعی آبخوان تجاوز نکند. در یک دوره طولانی مدت، نرخ پمپاژ می‌تواند برابر با نرخ تغذیه آبخوان بدون ایجاد پیامدهای منفی، به عنوان «افسانه بیلان آب» تعریف شود (Sophocleous و Devlin, ۲۰۰۵). مبتنی بر مفهوم آبدهی پایا، سایر پژوهشگران به برداشت بخشی از تغذیه آبخوان به عنوان مبنای مفهومی برای استفاده پایا از آب زیرزمینی اشاره کردند. این میزان برداشت آب از آبخوان به عنوان مجموع افزایش نرخ تغذیه و کاهش تخلیه از منابع آب زیرزمینی تعریف می‌شود (Barlow و همکاران، ۲۰۱۸).

آبدهی مطمئن به مقدار برداشت سالانه آب از آب زیرزمینی بدون وقوع پیامدهای نامطلوب برای آب زیرزمینی (Todd و Mays, ۲۰۰۴) و اجتناب از افت سطح آب آبخوان در یک دوره

مدیریت پایای آب زیرزمینی با مشارکت گرداران و حکمرانی تطبیقی (سازگاری با تغییر اقلیم) در آمیخته است



شکل ۴- انتقال سیاست و مدیریت از سطح آبدهی مطمئن به سطح آبدهی پایا و سپس سطح توسعه و مدیریت پایایی آب زیرزمینی (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰)

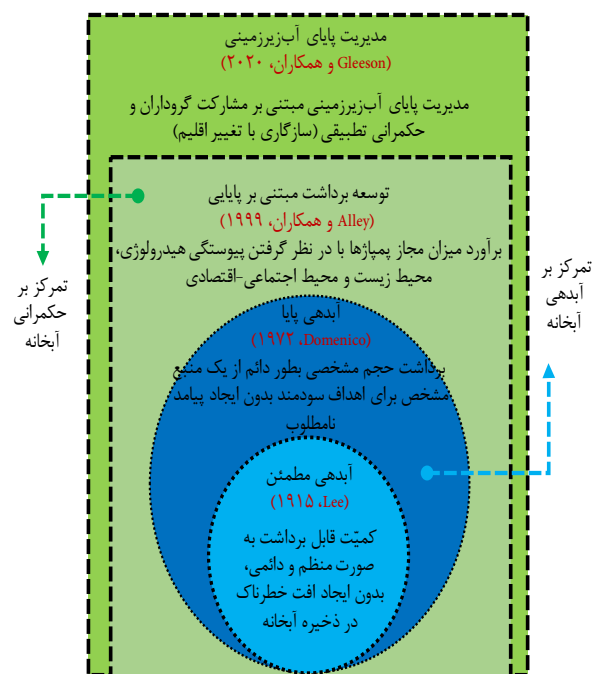
Seward (۲۰۱۰) خاطرنشان می‌کند که آبدهی پایا به میزان مشارکت و پیامدهای قابل قبول وابسته است برای روشن شدن این نکته، Pierce و همکاران (۲۰۱۳) مفهوم آبدهی آبخوان را ارائه کردند، تداوم آبدهی آبخوان برای ارزیابی علمی پایای آب زیرزمینی در بحث اجماع و توافق مورد تعریف واقع می‌شود (شکل ۵) نمای سیستماتیک و یکپارچه از در دسترس بودن آب زیرزمینی،

طولانی مدت لحاظ می‌شود و آبدهی پایا به وضعیت اجتماع و اکوسیستم وابسته بوده و دو مفهوم پیامدهای نامطلوب و اهداف مدیریت آب زیرزمینی را به هم آمیخته است. هدف اصلی برنامه پایایی آب زیرزمینی مبتنی بر آبدهی پایا و مدیریت میزان برداشت و تلاش برای حفاظت آبدهی مطمئن برای نسل حاضر و آینده می‌باشد (شکل ۴).

میزان کل برداشت یک عامل مهم در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی است زیرا بر بیلان آب، کاهش ذخیره استراتژیک آبخانه، خدمات اکوسیستم تأثیر می‌گذارد (Konikow و Leake, ۲۰۱۴). اندازه‌گیری‌های تغذیه ضروری هستند، زیرا پایایی بسیار گسترده‌تر از پمپاژ پایا می‌باشد، به طوری که نرخ تغذیه اثرات بلند مدتی بر کیفیت آب، عوامل اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی خواهد داشت (Barlebo و Henriksen, ۲۰۰۸). بنابراین می‌توان فرض کرد تغذیه طبیعی آبخوان و توجه به پویایی سیستم در برداشت آب، می‌تواند پایایی آب زیرزمینی یک حوضه را تعیین کند (Zhou, ۲۰۰۹). یک رویکرد دقیق می‌تواند مربوط به مکان و مشکل خاص باشد و باید همه ورودی‌های سطحی و زیرسطحی در سیستم را شامل شود. پایایی آب زیرزمینی تابع عوامل کارایی و حکمرانی آبخوان می‌باشد.

کارایی آبخوان و حکمرانی آبخوان را نشان داده است. Pierce و همکاران (۲۰۱۳) آبدهی پایا را به عنوان محدوده از مقادیر تعریف می‌کنند، که از پایین توسط ذخایر پایای آب زیرزمینی و از بالا به حداکثر آبدهی پایا محدود می‌کنند که مقدار آبی است که می‌توان به‌طور مداوم بدون ایجاد افت مزمن در آب زیرزمینی برداشت نمود. این محدوده بین مجاز و حداکثر پایایی نشان می‌دهد که

آب زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان یک سیستم دینامیکی پویا در نظر گرفت (Pierce و همکاران، ۲۰۱۳). به این ترتیب، Gleeson و همکاران (۲۰۲۰)، پایایی فیزیکی را به این صورت تعریف می‌کنند: «آب زیرزمینی تجدیدپذیر ممکن است هر آب زیرزمینی باشد که بتواند به صورت دینامیکی در طی پمپاژ جذب شود که منجر به تعادل پویا جدید در سطوح آب زیرزمینی در بازه‌های زمانی انسانی (تقریباً ۱۰۰ سال) شود» علاوه بر مفاهیم آبدی پایا و تجدیدپذیری، میزان تخلیه و استرس، مفاهیم اضافی برای تعریف پایایی فیزیکی هستند. اصطلاح فراگیرتر از پایایی فیزیکی، توسعه پایای آب زیرزمینی است که فعالیت‌های انسانی را به عنوان یک جنبه تأثیرگذار در مدیریت آب زیرزمینی می‌شناسد (Sikdar، ۲۰۱۹). این یک انتقال از «آبدی پایا» به یک اصطلاح کلی‌تر به نام «پایایی آب زیرزمینی» است به این ترتیب، پایایی آب زیرزمینی را به عنوان «توسعه و استفاده از آب زیرزمینی به شیوه‌ای که می‌توان برای مدت نامحدودی بدون ایجاد پیامدهای نامطلوب محیط‌زیستی، اقتصادی-اجتماعی» تعریف نمود.



شکل ۵- مفاهیم مرتبط با کارایی و حکمرانی آبخوان

تعاریف پایایی فیزیکی، یا توسعه پایای آب زیرزمینی همانطور که توضیح داده شد، تنها شامل عوامل حکمرانی آبخوان نمی‌شود. پایایی آب زیرزمینی نه تنها تابعی از کارایی آبخوان است، بلکه تابعی از فرآیندهای بزرگتر حکمرانی مشارکتی و تطبیقی است. این امر در سیاست‌های مدرنی مانند قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی در کالیفرنیا که بین آبدی پایا و مدیریت پایای آب زیرزمینی تفاوت قائل می‌شود، منعکس شده است. دو عبارت مرتبط با آبدی را

تعریف می‌کند: آبدی عملیاتی که راه‌حل‌های انتخابی برای اجرای عملیاتی و فنی سیاست‌ها توصیف می‌کند. بازده اجماع که اجتماع را از طریق مشارکت و یا فرآیندهای حکمرانی تطبیقی را مورد توجه قرار می‌دهد. این مفهوم از زنجیره عملکرد آبخوان هر دو جنبه ارزیابی فنی و اجزای مشارکت در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی را به هم مرتبط می‌کند. علاوه بر این، برای ارزیابی ظرفیت تولید آبخانه می‌توان یک حاشیه مطمئن به این شرایط عملکرد اضافه کرد. که این مفهوم را «عملکرد مدیریت شده» تعریف شده است. همچنین حفظ خدمات اکوسیستم و فاکتورهای آن مورد توسعه قرار گرفت. بر اساس اصل پیشگیری، باتوجه به عدم قطعیت در تنوع آب‌وهوایی و تغییرات مکرر در استراتژی‌های آبیاری، آبدی مطمئن با یک حاشیه اطمینانی برآورد می‌شود که از وارد شدن خسارات برگشت‌ناپذیر به اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی جلوگیری شود (Gallardo و همکاران، ۲۰۰۹).

برخی از سفره‌های آب در مقیاس زمانی جامعه انسانی تجدیدناپذیر هستند (Bierkens و Wada، ۲۰۱۹) و به احتمال بسیار زیاد آبخوان‌های محصور و بسیار عمیق و همچنین آبخوان‌هایی که در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند تجدیدناپذیر هستند (Klove و همکاران، ۲۰۱۴). به‌عنوان مثال، سیستم آبخوان نوبی در شمال آفریقا، بزرگترین آبخوان بین مرزی و غیر قابل تجدید جهان، حاوی حجم زیادی از آب زیرزمینی با کیفیت بالا است که میلیون‌ها سال قدمت دارد، اما تغذیه ناچیز دریافت می‌کند (Soliman و Voss، ۲۰۱۴). جهت استفاده پایای آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، باید مفهوم «برداشت هوشمندانه» آب تجدیدناپذیر» با هدف استفاده از منابع آب زیرزمینی به کارآمدترین روش توسعه یابد. این برداشت آب از ذخایر استراتژیک تجدیدناپذیر صورت می‌پذیرد، برخی از حوضه‌ها ممکن است در حال حاضر تجدیدپذیر به نظر برسند، اما به دلیل تغییرات هیدرولوژیکی در مقیاس بزرگ نمی‌توان آنها را در دوره‌های زمانی طولانی تجدیدپذیر به حساب آورد. برای جلوگیری از بهره‌برداری بیش از حد با دوره‌های طولانی مدت از ذخایر تجدیدناپذیر آبخوان مانند آبخوان نوبی و دشت‌ها و بسیاری دیگر از آبخوان‌ها، باید اهداف پایایی بلندمدت برای کیفیت و کمیت آب در یک افق زمانی چند نسلی ۵۰ تا ۱۰۰ ساله تعیین شود و با تصدیق تأثیرات بلندمدت، از طریق مشارکت جامعه پیاده‌سازی شود. بهره‌برداری بیش از حد از آب زیرزمینی یک عبارت کلی است که به هرگونه توسعه آب زیرزمینی که پیامد نامطلوب ایجاد کند اشاره دارد (Derakhshan و همکاران، ۲۰۲۳). در بحث پایایی آب زیرزمینی، مقیاس زمانی و افق برنامه‌ریزی جهت دستیابی به پایایی باید لحاظ شود که این مهم تابعی از کارایی و نحوه حکمرانی آبخوان می‌باشد. در رابطه با ارزیابی پایایی آب زیرزمینی، ارتباط پایایی آب زیرزمینی با رعایت حقوق نسل‌های آینده، پایایی آب زیرزمینی از دید

کنشگران مختلف و اهداف متنوع ارزیابی پایایی آب زیرزمینی در یک دوره طولانی مدت و با مدل سازی پویا در دوره های کوتاه تعیین می شود و نشان می دهد که چگونه پایایی آب زیرزمینی بر این اساس تغییر می کند.

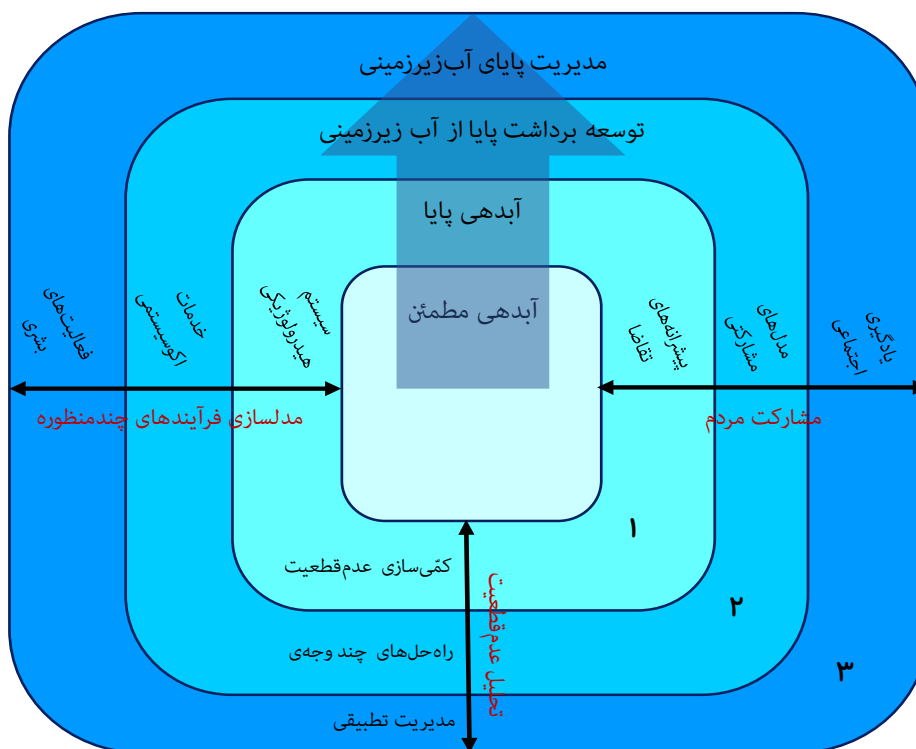
مشارکت ذی نفعان به طور فزاینده ای به عنوان یک جزء مهم سیاست پایایی آب زیرزمینی محسوب می شود. پژوهش در مورد حقایق دارن کشاورزی آب زیرزمینی در فرانسه، نشان دهنده نیاز به ارائه مشروعیت شناختی در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی از طریق ارتباط بهتر نتایج علمی با استفاده کنندگان از آب زیرزمینی است (Rinaudo و همکاران، ۲۰۱۶). فرآیند طرح ریزی برای پایایی آب زیرزمینی مستلزم درک صحیح ساختارهای سازمانی، مشارکت گروه داران و همچنین پشتیبانی به وسیله مدل سازی از شرایط واقعی است (Quevauviller و همکاران، ۲۰۱۶). انگیزه های عمومی برای روند رو به رشد توسعه و پشتیبانی تصمیم گیری برگرفته از علم موجود و تحقیقات علمی مبتنی بر جلب مشارکت ذی نفعان برای اطمینان از اجرای موثر سیاست های پایایی آب زیرزمینی در حال توسعه می باشد. در شکل (۶) مشخص می شود که در هنگام تعیین پایایی آب زیرزمینی، مفاهیمی مانند خدمات اکوسیستم و فعالیت های انسانی باید در نظر گرفته شود و آب های سطحی و زیرزمینی به عنوان یک واحد یکپارچه محسوب شده و پایای آب زیرزمینی فراتر از یک فرآیند برنامه ریزی آب مبتنی بر مشارکت اجماع می باشد.

در چندین مقاله مروری در مورد ارزیابی علمی پایایی آب زیرزمینی برای پیاده سازی سیاست آب زیرزمینی در محدوده های جغرافیایی مختلف مانند: استرالیا (Tan و همکاران، ۲۰۱۲)، کالیفرنیا (Owen و همکاران، ۲۰۱۹)، چین (Wang و همکاران، ۲۰۱۸)، فلوراید (Bierkens و Wada، ۲۰۱۹)، فلوریدا (Asefa و همکاران، ۲۰۱۴)، هند (Saha و Ray، ۲۰۱۹)، کانزاس (Gleeson و همکاران، ۲۰۱۲)، هلند (Griffioen و همکاران، ۲۰۱۴)، آفریقای جنوبی (Seward و همکاران، ۲۰۰۶)، جنوب شرقی آسیا (Sikdar، ۲۰۱۹)، تگزاس (Sheng، ۲۰۱۳)، اسپانیا (Llamas و همکاران، ۲۰۱۵)، آمریکا (Sophocleous، ۲۰۱۰) و مقالات دیگر دیدگاه هایی را در مورد هم تکاملی هم زمان سیاست، فعالیت های انسانی و پایایی آب زیرزمینی در چین (Han و همکاران، ۲۰۱۷)، منطقه مدیترانه (Leduc و همکاران، ۲۰۱۷)، پاکستان (Archer و همکاران،

۲۰۱۰)، اسپانیا (Custodio و همکاران، ۲۰۱۹)، زیمبابوه (Muchingami و همکاران، ۲۰۱۹) ارائه می دهند.

نکته نظرات کلی منعکس شده از این مطالعات در سه چالش کلی خلاصه شده است: اول، درک و مدل سازی هم تکاملی جوامع با سیستم های منابع آب، اکوسیستم ها و تعامل آنها با اقلیم یک مشکل فرارشته ای است که جنبه های فیزیکی، اجتماعی-اقتصادی، فناوری و نهادی را در برمی گیرد. دوم، مدل های یکپارچه ای که هم جنبه های طبیعی و هم جنبه های انسانی سیستم های پیچیده و پویای منابع آب را در برمی گیرند، دارای عدم قطعیت های عمیق هستند. سوم، اغلب یک شکاف ارتباطی بین جامعه علمی دانشگاهی، سیاست گذاران و مدیران آب وجود دارد که می تواند تقاضا برای خروجی های علمی را کاهش دهد. بنابراین، درخواست های فزاینده ای برای نقش مهم مشارکت برای افزودن مقبولیت، اعتبار و برجستگی به ارزیابی های علمی وجود دارد. این می تواند منجر به این امر شود که تقاضا و تاثیر خروجی های علمی بیشتر شود این خروجی ها برای تصمیم گیران مدیریت آب به راحتی قابل پذیرش شود. نمایش تلفیق علوم طبیعی و اجتماعی برای توسعه و عملیاتی کردن سیاست پایایی آب زیرزمینی به منظور جهت گیری های گسترده امنیت و پایای آینده آب در این پژوهش ترسیم شده است با این هدف استدلال شد که یک فرآیند علمی برای اجرای بهتر سیاست پایای آب زیرزمینی باید به شرح زیر صورت پذیرد (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰):

۱) تجزیه و تحلیل روابط و تأثیرات متقابل سناریوهای سیستم های آب سطحی، اکوسیستم ها و فعالیت های انسانی
۲) تفسیر تحلیل عدم قطعیت های چندمدلی با مدیریت تطبیقی به منظور بررسی بیان "آنچه شناخته شده است، آنچه ممکن است، آنچه ناشناخته است" (Ferré، ۲۰۱۷)
۳) اجرای مشارکت دوسویه بین جوامع مدیریتی و سیاست گذاری پیشنهاد می شود دستور اولیه برای ارزیابی پایایی آب زیرزمینی موثر، ارائه و گسترش دانش علمی با عدم قطعیت آن براساس ترجیحات اجتماعی در یک فرآیند مشارکتی بیان شود. شکل (۶) نشان می دهد چگونه این سه مؤلفه اصلی (یعنی مدل سازی چند فرآیندی، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و مشارکت) سطوح در حال تحول مشارکت و ادغام دارند. این شکل به بررسی پیشرفت های صورت گرفته در جهت ادغام این سه مؤلفه در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی می پردازد.



شکل ۶- مدل‌سازی چند فرآیندی، آنالیز عدم قطعیت و مشارکت اساسی‌ترین مفاهیم برای ارزیابی پایایی آب زیرزمینی (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰)

آنالیز عدم قطعیت در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی

هدف این بخش بررسی ادبیاتی است که تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی گنجانده است تا نشان دهد این یک جزء ضروری در ترفیع پایدار آب زیرزمینی برای تسهیل اطلاعات قابل اعتماد است.

دو مؤلفه در یک تحلیل عدم قطعیت موفق مورد بحث قرار می‌گیرد که عبارتند از تحلیل عدم قطعیت چند مدلی و مدیریت تطبیقی. تحلیل عدم قطعیت چندمدلی موضوع سخنرانی داری ۲۰۱۶ است (Ferre, ۲۰۱۷) و مدیریت تطبیقی یک جزء سیاست جدایی‌ناپذیر در چندین قانون آب است. عدم قطعیت پارامتری به یک متغیر پیوسته یا گسسته اشاره دارد که پارامترهای مدل هستند. عدم قطعیت مفهومی یا مدل‌سازی به روش‌های جایگزین، ساختارهای ریاضی، مفهوم‌سازی‌ها، مفروضات، و غیره اشاره دارد. مثلاً تغذیه مجدد را می‌توان به عنوان یک پارامتر مدل با توزیع احتمال پیوسته با استفاده از ضریب تغذیه مجدد نشان داد. به طور متناوب، مدل‌های مفهومی متعددی را می‌توان توسعه داد و کالبره کرد تا مفاهیم مختلف در مورد تغذیه مجدد را نشان دهد و سناریوهای متعددی را می‌توان برای نشان دادن تغذیه مجدد احتمالی در آینده ایجاد کرد. همچنین از اصطلاح تحلیل عدم قطعیت به‌طور کلی برای اشاره به بحث، شناسایی، توصیف، حل و فصل، اولویت‌بندی، کمی‌سازی، کاهش یا برقراری ارتباط عدم قطعیت استفاده شد.

ماهیت دانش علمی، نامشخص بودن آن است و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت ضروری است تا کمک کند تا سیاست‌های آب زیرزمینی‌ای انتخاب شود که منعکس‌کننده دانسته‌ها جهت مدیریت ریسک باشد. در عمل این امر «با ایده‌های ریشه‌دار، آموزش ناکافی و منابع ناکافی با مشکل مواجه شده است» و در نتیجه، این موضوع به‌طور کلی مورد توجه کافی قرار نمی‌گیرد. در واقع مواجهه با برخی آژانس‌های محلی که اعلام می‌دارند، پژوهشگران از بیان عدم قطعیت به آنها یا در جلسات عمومی خودداری کنند، غیر معمول نیست. هرگونه عدم قطعیت پیرامون دانش علمی عواقبی هم برای مقامات و هم برای ذی‌نفعان دارد. در بدترین حالت، ممکن است به عنوان فقدان دانش تعبیر شود و از آن برای به تأخیر انداختن کارهای اصلاحی که ممکن است از نظر مالی یا انتخاباتی پرهزینه باشد، استفاده شود. به‌طور کلی، مدیران آب با پیچیدگی و شکنندگی فزاینده سیستم‌های هیدروسیستم اجتماعی مواجه هستند، درحالی‌که اطلاعات قابل اعتماد اغلب به سختی به دست می‌آید، مدیران آب نیاز به طراحی استراتژی‌های بلند مدت برای حفاظت از منافع جمعی و پایداری منابع آب زیرزمینی دارند و تحلیل عدم قطعیت در مدیریت آب زیرزمینی رایج است (Leduc و همکاران، ۲۰۱۷).

انگیزه‌های انجام تحلیل عدم قطعیت در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی

انجام تحلیل عدم قطعیت در ارزیابی پایایی آب زیرزمینی حداقل به پنج دلیل مورد نیاز است. دلیل اول این است که تحلیل عدم قطعیت یک ابزار یادگیری مفید است. دوم، تحلیل عدم قطعیت جزء ضروری یک مدل علمی قابل دفاع است. این امر به ویژه زمانی ضروری و مفید است که مدل‌ها یا نتایج مدل‌سازی توسط گروداران یا در پرونده‌های دادگاه مورد اعتراض قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه، نقش تجزیه و تحلیل عدم قطعیت را به منظور تأیید شبیه‌سازی مونت کارلو و ارائه طیفی از نتایج به جای یک مقدار عددی واحد بدون تفسیر به نظری بودن داده‌ها، در دادگاه‌های ایالات متحده بررسی شد (Womble, 2017). در هر صورت، مونت کارلو اطمینان بیشتری نسبت به گزینه‌های اصلی ارائه می‌دهد. سوم، درک و پرداختن به عدم قطعیت یک الزام خط‌مشی برای چارچوب‌های سیاستی است که مفهوم مدیریت تطبیقی را اتخاذ می‌کند. به عنوان مثال، چارچوب مدیریت تطبیقی استرالیا با قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی کالیفرنیا مطابقت دارد زیرا هر دو سازمان‌های محلی را ملزم می‌کنند که شکاف‌های دانش و عدم قطعیت‌ها را از طریق کسب اطلاعات جدید با نظارت بر برنامه‌ها و اصلاح اقدامات برنامه‌ریزی و مدیریت هماهنگ کنند (Rohde و همکاران، 2017). چهارم، برقراری ارتباط، بحث، حل و فصل و تصمیم‌گیری استراتژیک در مورد عدم اطمینان با کنشگران می‌تواند یک ابزار مشارکت بسیار موثر باشد. این امر مشروعیت مدل‌ها، نتایج مدل‌سازی و تصمیمات اتخاذ شده با استفاده از مدل‌ها را افزایش می‌دهد. در نهایت، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یک جزء ضروری در ارزیابی پایدار آب زیرزمینی موثر است.

اهداف انجام تحلیل عدم قطعیت در مرور ادبیات پایایی آب زیرزمینی

• بررسی محدودیت‌های مدل‌ها

مدل‌سازی فرآیندی است که از طریق آن دانش خود در مورد سیستم انتقال قرار داده می‌شود و تحلیل عدم قطعیت فرآیندی است که به وسیله آن دانش ناقص خود را در مورد سیستم به اشتراک گذاشته می‌شود. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یک ابزار عالی برای مدل‌سازان برای درک و ارتباط عدم قطعیت و محدودیت‌های مدل است. به عنوان مثال، پیسکوپو منابع عدم قطعیت را شناسایی می‌کند تا هشدار دهد که یک طرح مدیریت آب زیرزمینی پیشنهادی مقدماتی است (Piscopo و همکاران، 2019) زیرا عدم قطعیت‌های سیستم هنوز به سختی قابل اندازه‌گیری است. همچنین، برقراری ارتباط با کاربران نهایی و توانایی‌های مدل، ریسک کاربرد نادرست

از مدل را کاهش می‌دهد. حتی اگر عدم قطعیت اندازه‌گیری نشود، تحلیل کیفی عدم قطعیت می‌تواند آموزنده و برای کاهش عدم قطعیت مفید باشد. به عنوان مثال، دو مدل مفهومی که نشان‌دهنده مفهوم‌سازی‌های تغذیه محلی یا جریان درون حوضه است پیشنهاد شد و محدودیت‌های این دو مدل با مفاهیمی بر پایداری آبخوان مورد بحث قرار داده شد (Gillespie و همکاران، 2012). به عنوان مثال، گالاردو همچنین محدودیت‌های مدل توسط گالاردو مورد بحث قرار گرفت و ضریب ایمنی 20٪ برای توضیح عدم قطعیت پیشنهاد شد.

• سناریوپردازی برای ارتقا مباحث

ایجاد سناریوهای مختلف پیش‌بینی، اکتشافی و هنجاری ساده‌ترین و رایج‌ترین رویکردها برای تحلیل عدم قطعیت هستند (Börjeson و همکاران، 2006). در زمینه پایداری آب زیرزمینی، شامل سناریوهای پمپاژ، سناریوهای تغذیه مجدد، سناریوهای افزایش سطح دریا، سناریوهای صادرات^۷، سناریوهای استفاده از زمین، سناریوهای انگیزه و اولویت‌های گروداران و سناریوهای سیاست‌گذاری و غیره است. درحالی‌که سناریوها را می‌توان برای اهداف چندگانه تولید کرد، همانطور که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد، ابتدا ساده‌ترین حالت تولید سناریو مورد بحث قرار گرفته است که نشان دادن احتمالات آینده و ایجاد آن مورد توجه بوده است. به عنوان مثال، (El Kadi و همکاران، 2014) پژوهشی را در جزیره ججو، کره جنوبی انجام دادند تا نشان دهند اگر خشکسالی تاریخی در آینده رخ دهد، آبدهی مطمئن را تا 16 درصد کاهش می‌دهد، دبی چشمه را تا 28 درصد کاهش می‌دهد و 27 درصد چشمه‌ها در مقایسه با حالت پایه خشک می‌شود. چندین مطالعه سناریوهایی را برای حمایت از نیاز به اقدامات سازگاران/ تطبیقی و سیاست‌های جدید ایجاد می‌کنند همچنین سناریوهای تغذیه ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و سناریوهای پمپاژ به دلیل افزایش جمعیت و سایر فعالیت‌ها در صحرای آتاکاما در شمال شیلی ارائه شد تا نیاز به استفاده از منابع آب جایگزین مانند نمک‌زدایی را برای به حداقل رساندن اثرات ترکیبی رشد اقتصادی و تغییرات آب و هوایی بر روی آبخوان نشان دهند (Urrutia و همکاران، 2018). به طور مشابه، تأثیر ترکیبی تغییرات آب و هوا و افزایش تقاضای آب، بر تخلیه آبخوان و خطر تخریب اکولوژیکی در آلگاروه، پرتغال بررسی شد و برای تعیین نیاز کنشگران به آماده‌سازی ابزارهای اجتماعی و فنی برای کاهش این اثرات و گسترش تعاریف فعلی پایایی در منطقه مورد مطالعه است (Stigter و همکاران، 2009). پژوهش‌های دیگر علاوه بر این از نیاز به رویکردهای جدید برای پشتیبانی تصمیم در شرایط عدم اطمینان حمایت می‌کنند. به عنوان مثال Passarello و همکاران (2014) سناریوهای تغییر کاربری زمین را برای یک منطقه شهری در تگزاس توسعه دادند

تا به ذی‌نفعان تأثیر شهرنشینی و پیامدهای این عدم قطعیت‌های علمی را بر تصمیمات سیاست و مدیریت آب شهری نشان دهند به طور مشابه، (Gober و همکاران، ۲۰۱۰) عدم قطعیت تغییرات آب و هوا را در تجزیه و تحلیل تصمیم رسمی برای برنامه‌ریزی آب ادغام کردند تا بینش‌هایی را در مورد برنامه‌ریزی آب در فینیکس، آریزونا ارائه دهند و نیاز به رویکردهای جدید برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت را نشان دهند.

• برآوردهای کمی در مورد عدم قطعیت

برای کمی‌سازی تأثیر عدم قطعیت پارامتری، مدل و سناریو پیش‌بینی مدل رایج‌ترین کار در تحلیل عدم قطعیت است. به عنوان نمونه، کل منابع آب زیرزمینی قابل بهره‌برداری دانمارک 1×10^9 متر مکعب در سال تخمین زده شد و تخمین عدم قطعیت برای برآورد منطقه‌ای ارائه شد که از $10 \pm$ تا $40 \pm$ ٪ متغیر بود (Henriksen و همکاران، ۲۰۰۸). عدم قطعیت در مدل‌های مدیریتی برای ارزیابی پایایی آب زیرزمینی همه‌جا وجود دارد. مدل‌سازان آب زیرزمینی معمولاً با (۱) ناهم‌گونی پیچیده زیرسطحی، (۲) متغیرهای حالت و پارامترهایی که وابسته به مقیاس، مکانی و زمانی هستند، (۳) کمبود داده در مورد زمین‌شناسی زیرسطحی، (۴) عدم اطمینان در مورد تغذیه و (۵) مدل‌های عددی فشرده محاسباتی که عموماً مانع از کمی‌سازی عدم قطعیت می‌شوند، مواجه هستند. با وجود این چالش‌ها، بررسی سیستماتیک در مورد کمی‌سازی عدم قطعیت و تأثیر آن بر پشتیبانی تصمیم‌گیری در هیدرولوژی آب زیرزمینی محدود شده است. این امر به ویژه در ادبیات پایایی آب زیرزمینی صادق است. پیشرفت‌ها در کمی‌سازی عدم قطعیت در هیدرولوژی زیرسطحی برای یکپارچه‌سازی داده‌های مدل، عدم قطعیت خصوصیات زیرسطحی و عدم قطعیت مفهومی بررسی و بحث شدند. با این حال، تکنیک‌ها و ابزارهای برجسته شده در این پژوهش‌ها به طور گسترده در مطالعات مدل‌سازی عددی پایایی آب زیرزمینی استفاده نمی‌شوند. مدل‌های قطعی آب زیرزمینی اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند و کمی‌سازی عدم قطعیت در خروجی‌های مدل به طور کلی با استفاده از تحلیل حساسیت، و مدل‌های مفهومی قطعی متعدد زیرسطحی ارزیابی می‌شود. همچنین، از یک مدل جایگزین در چارچوب بهینه‌سازی برای پرداختن به عدم قطعیت پارامتری هدایت هیدرولیکی و تخلخل استفاده می‌شود. منابع عدم قطعیت مورد بحث در این پژوهش‌ها در مورد عدم قطعیت پارامتری و مفهومی شامل زمین‌شناسی زیرسطحی، هدایت هیدرولیکی، نسبت ناهمسانگردی، تغذیه مجدد، شرایط مرزی، نرخ‌ها و مکان‌های پمپاژ، هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه، تخلخل خاک می‌باشد. مدل‌های آب زیرزمینی تنها یک لایه عدم قطعیت در مدل‌های آب-اکولوژی-انسانی هستند. تحلیل عدم قطعیت در سیستم‌های آب-اکولوژی-انسان کمتر

مورد توجه قرار گرفته است. درحالی‌که چندین مقاله در مورد عدم قطعیت سیستم‌های انسانی-آب، اکوسیستم‌ها، اکوسیستم‌های آبی، سناریوهای آینده و پشتیبانی تصمیم‌گیری بحث کرده‌اند، در ادبیات پایایی آب زیرزمینی کار زیادی انجام نشده است. چالش‌ها و راه‌حل‌های کمی‌سازی عدم قطعیت در خدمات اکوسیستم مورد بحث قرار گرفته است و می‌تواند برای مدل‌های اکوسیستم آب در هیدرولوژی مفید باشد. منابع مورد بررسی در تعیین عدم قطعیت شامل، شامل عوامل آب و هوا، عوامل اقتصادی، پارامترهای بهره‌وری عامل و رفتارهای انسانی است. با استفاده از یک مدل پدیدارشناسی، یک تحلیل عدم قطعیت از یک مدل اقتصادی-آب زیرزمینی برای ارزیابی پایایی آب زیرزمینی انجام می‌شود. منابع عدم قطعیت در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل سیاست‌های تخصیص در برنامه‌ریزی‌های آینده، تنوع بارندگی، توزیع مکانی پمپاژ، قابلیت انتقال و ذخیره آبخوان، شیوه‌های آبیاری، پارامترهای عملکرد محصول است. عدم قطعیت خروجی مدل‌ها نشان می‌دهد که چگونه انواع عدم قطعیت‌ها در چنین مدلی را می‌توان با تعدادی از روش‌ها از جمله تبیین سناریوها و محدودیت‌های پارامترها، مدل‌های متعدد، نمونه‌برداری از سری زمانی و رگرسیون خطی قوی برای کالیبراسیون مدل در نظر گرفت.

• شناسایی و اولویت‌بندی منابع عدم قطعیت

تحلیل عدم قطعیت یک ابزار تشخیصی مدل است. برای نمونه، یک روش میانگین‌گیری مدل بیزی^۱ سلسله مراتبی که اجزای مدل نامشخص را جدا می‌کند توسعه یافته است (Elshall و Tsai، ۲۰۱۴). این برای ارزیابی نسبی گزاره‌های هر جزء مدل نامشخص و درک سهم هر جزء مدل نامشخص در پیش‌بینی و واریانس مدل و اولویت‌بندی سهم هر جزء مدل نامطمئن در عدم قطعیت کلی مدل است. به طور مشابه (Dai و همکاران، ۲۰۱۵) تجزیه و تحلیل حساسیت سلسله مراتبی را برای شناسایی فرآیندهای مهم سیستم تحت عدم قطعیت مفهومی و پارامتری توسعه دادند این روش‌ها و روش‌های مشابه به عنوان ابزار یادگیری برای پیشبرد دانش در مورد مدل عمل می‌کنند. این روش‌ها عمدتاً شامل طراحی ترکیبی برای نمایش اجزای مدل نامشخص هستند. به عنوان مثال، در ادبیات پایایی آب زیرزمینی، (Calderhead و همکاران، ۲۰۱۲)، از سناریوهای متعدد با طراحی ترکیبی برای نشان دادن چندین مؤلفه مدل نامشخص استفاده می‌کنند و نشان می‌دهند که تأثیر تغییرات آب و هوایی بر تغذیه تنها نقش جزئی در وقوع فرونشست در شهر مکزیک در مقایسه با سناریوهای پمپاژ و صادرات آب زیرزمینی^۲ دارد همچنین در شمال شرقی تایلند نشان داده شد که عمق و ضخامت متغیر آبخوان نسبت به شرایط مرزی مدل تأثیر بیشتری بر تخمین عملکرد آبدی پایا دارد (Pholkern و همکاران، ۲۰۱۹). تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای بین نتایج مؤلفه‌های حاصله از مدل،

بدون در نظر گرفتن احتمالات، عدم قطعیت‌ها و تعاملات بین مؤلفه‌ها از محدودیت‌های این پژوهش‌ها به حساب می‌آید. Feng و همکاران (۲۰۱۸) از یک رویکرد انتساب برای مطالعه تعامل بین تأثیرات آب و هوایی و انسانی بر پایداری آب زیرزمینی برای یک آبخوان ساحلی در شمال چین استفاده می‌کنند که منجر به چندین بینش مرتبط با عملکرد آبخوان می‌شود که نیازمند مقررات سخت‌گیرانه در پمپاژ آب زیرزمینی است.

• تحلیل ارزش داده^{۱۱}

منابع مهم عدم قطعیت شناسایی شده ممکن است برای تسهیل تجزیه و تحلیل ارزش داده استفاده شود، که هدف آن طراحی برنامه‌های جمع‌آوری داده‌ها به گونه‌ای است که سود مورد انتظار اطلاعات جدید از هزینه آن بیشتر شود. در هیدرولوژی، این معمولاً با استفاده از چارچوب بیزی^{۱۲} برای شناسایی مکان‌ها یا انواع داده‌های جدید انجام می‌شود. Peralta و Timani (۲۰۱۵) از یک رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی چند مدلی برای تطبیق دو مدل مفهومی متفاوت که در بین ذی‌نفعان مورد بحث هستند، استفاده می‌کنند و حدود ۲۵ درصد تفاوت حداکثر عملکرد چند ساله را نشان می‌دهند و با روش بهینه‌سازی شبیه‌سازی برای دو مدل متفاوت، داده‌های میدانی را شناسایی می‌کنند که برای حل این تضاد بیشتر مورد نیاز است علاوه بر این، Lee و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از یک مدل عددی آب زیرزمینی با بازنمایی‌های مختلف اطلاعات در مورد آبخوان و خطر آلودگی آن، ارزش داده را به تجزیه و تحلیل ارزش اطلاعات گسترش دادند و اثربخشی اطلاعات پایش آبخوان را در دستیابی به استفاده پایدارتر ارزیابی می‌کنند و نشان می‌دهند که نرخ پمپاژ زمانی متفاوت است که اطلاعات ریسک که داده‌های مربوط به شرایط آبخوان را ترکیب می‌کند در اختیار کاربران قرار می‌گیرد و سطح اطلاعات در مورد وضعیت آبخوان‌ها بر چگونگی رفتار استخراجی نیز تأثیر می‌گذارد. این مطالعه اهمیت داده‌های آلودگی را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که پمپاژ در آزمایش‌هایی که آلودگی امکان‌پذیر است در مقایسه با آزمایش‌هایی که هزینه پمپاژ تنها عامل منع استفاده از آب زیرزمینی است، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

• شناسایی عدم قطعیت طرح‌ها

در صورت افزایش بروز عدم قطعیت، قابلیت اطمینان یک طرح تغییر خواهد نمود. به عنوان مثال، در یک مطالعه، برنامه‌ریزی مبتنی بر احتمال با میانگین‌گیری مدل بیزی ترکیب شد تا تأثیر عدم قطعیت ساختار زمین‌شناسی در طراحی کنترل کیفیت آب زیرزمینی در مقایسه با برنامه‌ریزی محدود و احتمال‌دهی سنتی ارزیابی شود، مطالعه نشان داد، در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامتری به تنهایی قابلیت اطمینان طراحی را بیش از حد برآورد می‌کند. تجزیه و تحلیل

عدم قطعیت می‌تواند به شناسایی برنامه‌های قوی با توجه به عدم اطمینان کمک کند (chitsazan و همکاران، ۲۰۱۵). تحلیل عدم قطعیت پاسخی به این سؤال ارائه می‌دهد که اگر یک فرض مدل اشتباه باشد، چه می‌شود و از این رو به ذی‌نفعان اجازه می‌دهد تا سیاستی را با درک تأثیرات نامطلوب احتمالی انتخاب کنند، یا اینکه نتیجه مطلوب را ارائه دهد در ادبیات پایداری آب زیرزمینی، چنانچه شرایط فرض بهینه و ایده‌آل تغییر کند، چندین مطالعه تحلیل عدم قطعیت را برای شناسایی طرح‌های قوی با توجه به عدم قطعیت در نظر می‌گیرند (Joseph و همکاران، ۲۰۱۲). به عنوان نمونه از یک رویکرد بهینه‌سازی شبیه‌سازی فازی برای شناسایی یک سیاست بهتر برای مقابله با عدم قطعیت در مورد تعیین شرایط مطلوب آینده به دلیل درک ناقص از دینامیک آبخوان در جنوب تگزاس استفاده می‌کنند. این رویکرد فازی تخمین‌های کمتری از در دسترس بودن آب زیرزمینی در مقایسه با طرح بهینه‌سازی واضح به همراه داشت، زیرا عدم قطعیت سهام‌داران را به حساب می‌آورد (Uddameri و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین Mulligan و همکاران (۲۰۱۴) دو سیاست استفاده از آب زیرزمینی در کالیفرنیا را تحت چارچوب عدم قطعیت بهره‌وری مقایسه کردند و از دو رویکرد مدل‌سازی برای کشف تأثیر مفروضات مدل‌سازی بر عملکرد پیش‌بینی شده این سیاست‌ها استفاده کردند

• شناسایی مدل‌های مهم و یا سناریوپردازی عدم قطعیت

تحقق (های) پارامتر مدل بحرانی، مدل (های) بحرانی یا سناریو (های) بحرانی به مواردی گفته می‌شود که بسته به سطح قابلیت اطمینان مورد نظر، بیشترین تأثیر را بر راه حل دارند. در ادبیات پایداری آب زیرزمینی، تحلیلی از انعطاف‌پذیری هیدرولوژیکی یک اکوسیستم خشک محدود در آب در شمال مکزیک، تحت سناریوهای پمپاژ آینده و شرایط آب و هوایی در حال تغییر ارائه شد (Wurl و همکاران، ۲۰۱۸) هدف این مطالعه شناسایی سناریوهای ناامن آب و تعریف اقدامات مناسب برای استفاده پایدارتر از آب زیرزمینی از طریق مشارکت ذی‌نفعان محلی است. سپس سناریو یا مدل بحرانی شناسایی شده را می‌توان برای تحلیل بیشتر استفاده کرد. به عنوان مثال Ostad-Ali-Askari و همکاران (۲۰۱۹) چندین استراتژی پمپاژ و عمل کشاورزی را برای بازیابی پایداری آبخوان در منطقه مورد مطالعه، با توجه به سناریوی بحرانی شناسایی شده تغییر اقلیم ارزیابی کردند باید در نظر داشت شناسایی مدل مفهومی مورد بررسی باید با مشورت همه ذی‌نفعان انجام شود (Seward و همکاران، ۲۰۰۶).

• عمیق شدن در فهم مسئله

در حالی که اکثر مطالعات ذکر شده در بالا از تحلیل عدم قطعیت به عنوان یک ابزار یادگیری برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد مدل،

راه حل مدل و مشکل پرداخته شده توسط مدل استفاده می کنند، سایر روش های تجزیه و تحلیل عدم قطعیت به طور خاص برای ارائه بینش عمیق تر در مورد مشکلی که مدل به آن می پردازد، طراحی شده است. به عنوان مثال Sušnik و همکاران (۲۰۱۳) مدل سازی دینامیک سیستم و مدل سازی شبکه های بیزی شیء گرا را برای حمایت از تصمیم مدیریت آب زیرزمینی در سیستم آبخوان کایروان، تونس مقایسه می کنند. مدل سازی دینامیک سیستم به طور ضمنی عدم قطعیت را محاسبه می کند (و عدم قطعیت احتمالی را می توان در آن گنجانده)، در حالی که شبکه های بیزی عمدتاً یک چارچوب احتمالی هستند. با مقایسه این دو پارادایم مدل سازی، نشان داده شد مدل سازی دینامیک سیستم یک رویکرد چرخه ای است که به کاربر اجازه می دهد تا پویایی های بالقوه پنهان در یک سیستم را با شبیه سازی فرآیندهای بازخورد غیرخطی کشف کند، در حالی که شبکه های بیزی یک رویکرد غیر چرخه ای است که تنوع و عدم قطعیت را در هر متغیر با خروجی های احتمالی برای متغیرهای کلیدی ترکیب می کند. در این مدل سازی پویایی پنهان به عنوان رفتاری تعریف می شود که به دلیل تعامل اجزای مدل، ظاهر می شود که لزوماً از مطالعه هر عنصر مدل به طور مستقل مشخص نیست. این مطالعه نشان می دهد تحلیل های هر دو مدل موافق هستند، که نشان دهنده بهره برداری بیش از حد فعلی از آبخوان است و کاهش پمپاژ بهترین راه حل برای پایان دادن به بهره برداری بیش از حد آبخوان را ارائه می دهد. با این حال، این مطالعه بیان می کند که مدل سازی دینامیک سیستم پتانسیل همکاری با ذی نفعان را دارد، در حالی که شبکه های بیزی می توانند بیش از حد پیچیده باشند زیرا درک توزیع های احتمالی ممکن است برای ذی نفعان ساده نباشد (Sušnik و همکاران، ۲۰۱۳).

• راه حل های چند روایتی

دیدگاه مدل سازی معرفتی تصدیق می کند که مدل ها دانش ناقصی درباره طبیعت را توصیف می کنند و بر ترکیب دانش تمرکز می کنند. Reichert و همکاران (۲۰۱۵) تفاسیر معرفتی را به عنوان استفاده از «احتمال ها برای تعیین کمیت دانش یا باور انسان» در مقابل تفاسیر عینی که «از احتمالات برای توصیف ویژگی های جهان مادی مستقل از انسان استفاده می کنند» تعریف می کنند علاوه بر این، تصدیق دانش ناقص مستلزم وجود فرضیه های جایگزین معتبر دیگری است. بنابراین، یک دیدگاه معرفتی به طور طبیعی چارچوب مدل سازی چند فرضیه ای احتمالی را اتخاذ می کند که از احتمال به عنوان ابزاری برای استدلال استقرایی در حضور عدم قطعیت استفاده می کند.

• مدیریت تطبیقی

مدیریت تطبیقی تنها رویکرد قابل دوام برای مقابله با عدم قطعیت دانش و تنوع نگرش های جامعه نسبت به منابع آب زیرزمینی

است. علاوه بر این، آگاهی از محدودیت ها و عدم قطعیت های دانش می تواند رویکرد سیستم های به هم پیوسته را برای مدیریت آب زیرزمینی پیش ببرد. مدیریت تطبیقی یک ابزار خط مشی برای رسیدگی به عدم قطعیت است و می توان برای کاهش عدم اطمینان از قبل برنامه ریزی کرد. گردش کار شامل مشارکت ذی نفعان، توسعه یک طرح یکپارچه مشروط به بررسی سالانه همراه با به روزرسانی مداوم مدل عددی و سیستم نظارت بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی برای به روزرسانی مدل، اعتبارسنجی، و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت است. ترکیب نظارت و مدل سازی به مدیران منابع آب و ذی نفعان این امکان را می دهد تا سیاست مدیریت را بر اساس آنچه در مورد سیستم شناخته شده و ناشناخته است، بررسی کنند و هر تصمیمی را به طور پویا با شرایط متغیر اجتماعی-اقتصادی و محیطی تطبیق دهند (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰). به طور مشابه، Seward و همکاران (۲۰۰۶) استدلال می کنند که توانایی برای پیش بینی اثرات پمپاژ آب زیرزمینی بر آب های سطحی و سیستم های اکولوژیکی بسیار ناقص است و پیشنهاد می کند که راه رو به جلو پذیرش ویژگی های پیچیده و دشوار پیش بینی سیستم های آبخوان است و ایجاد استراتژی های مدیریتی حول آن ویژگی هایی که به جای مدیریت فرمان و کنترل سفت و سخت، تطبیقی هستند این عمل در سطوح مختلف در بسیاری از نقاط جهان اجرا می شود.

ارزیابی علمی پایایی آب زیرزمینی: مشارکت^{۱۲}

• مشارکت و پایایی آب زیرزمینی

مشارکت ذی نفعان می تواند برجستگی، اعتبار و مشروعیت را به ارزیابی های علمی بیافزاید، که ممکن است منجر به تصمیم های مدیریت آب مؤثرتر و آسان تر شود. برجستگی مستلزم علم مبتنی بر تقاضا است که آنچه را در آن زمان و مکان مورد نیاز است فراهم می کند. اعتبار از شایستگی های فنی و کیفیت علم ناشی می شود که عموماً توسط بررسی همتا و خارجی همراه با اجماع کارشناسان ارزیابی می شود. مشروعیت به فرآیندی فراگیر، جامع و منصفانه اشاره دارد. برای اینکه محصولات علم برای اجرای سیاست مشروعیت پیدا کنند، باید از تبادل تکراری، مشارکتی و دوسویه بین ذینفعان بیرون بیایند. علاوه بر این، مشارکت برای بهبود اعتبار و برجسته بودن محصولات علمی نشان داده شده است که می تواند منجر به شناسایی و اتخاذ راه حل های مؤثرتر شود. این عمدتاً به این دلیل است که مشارکت در برگیرنده دانش بنیادی و بومی، منطقه ایی بوده و تبادل تجربیات را شامل می شود.

• سطوح مشارکت

اگرچه شناسایی ذی نفعان و تعریف راه های مشارکت آب بران در سه سطح تعامل در نظر گرفته شود. اولین سطح، تولید علوم

کاربردی مبتنی بر نیاز و تقاضا در رفع مشکلات واقعی در منطقه و جامعه است. این اطمینان حاصل می‌کند که محصولات علمی مانند موارد مدیریتی و سناریوهای آینده باتوجه به نیازها و اولویت‌های کاربران طراحی می‌شوند. در این سطح از مشارکت، ذی‌نفعان می‌توانند از تحقیق در حال انجام آگاه یا ناآگاه باشند و می‌توانند به تحقیق علاقه‌مند یا بی‌علاقه باشند. سطح دوم مشارکت ذی‌نفعان با توسعه مدل‌های مشارکتی است. ضمن شناسایی سطوحی از مشارکت بین محققان و سهام‌داران را برای توسعه مدل یا طرح مورد بحث قرار دادند، اغلب در ادبیات به عنوان مدل‌سازی ارزیابی مشارکتی یا مدل‌سازی یادگیری مشارکتی از آن یاد می‌شود. با استفاده از طبقه‌بندی Basco-Carrera و همکاران (۲۰۱۷)، شکل (۸) سطح مشارکت اجرا شده یا درخواست شده را نشان می‌دهد. علاوه بر این، شکل (۷) نشان می‌دهد که هیچ شکلی از مدل‌سازی یادگیری مشارکتی یا مدل‌سازی ارزیابی مشارکتی را به منظور تصویرسازی شامل نمی‌شود (Alcalá و همکاران، ۲۰۱۵؛ Sheng، ۲۰۱۳). پژوهش‌های نشان داده شده در شکل (۷) یا مطالعات موردی خاص یا مطالعات موردی متقابل

هستند. همکاری و مدل‌سازی مشارکتی در ارزیابی پایداری آب زیرزمینی مهم است. درحالی‌که مطالعات عمدتاً بر ذی‌نفعان کلیدی مانند مدیران و تنظیم‌کننده‌های آب تمرکز می‌کنند، سایر مطالعات سهام‌داران را گسترش می‌دهند تا مشارکت عمومی را در بگیرند و به سمت هدف دستیابی به یادگیری اجتماعی است. از آنجایی که مدیریت پایدار آب زیرزمینی با فرآیندهای سیستم‌های متعدد و عدم اطمینان متعاقب ناشی از چنین پیچیدگی در تعامل است، یادگیری اجتماعی در تقاطع مشارکت عمومی، ارزیابی‌های علمی و تصمیم‌گیری قرار دارد. ضروری است که جامعه به‌طور کلی در تدوین سیاست‌ها و در قضاوت در مورد آنچه که باید حفظ شود، شرکت کند. برای بهبود درک ماهیت، پیچیدگی و تنوع منابع آب زیرزمینی و تأکید بر اینکه چگونه این درک باید مبنایی برای شرایط و محدودیت‌های عملیاتی باشد، به برنامه‌های آموزشی قوی و اطلاع‌رسانی عمومی نیاز است. این تنها راه برای تأثیرگذاری مثبت در بلندمدت بر نگرش‌های ذی‌نفعان مختلف است و فشار جامعه برای مدیریت بهتر منابع طبیعی، نیروی محرکه اصلی اکثر تغییرات خواهد بود.



شکل ۷- ارتباط بین سطوح مشارکت با در پژوهش‌های انجام شده تا ۲۰۱۷ (Elshall و همکاران، ۲۰۲۰)

مدیریت پایای آب زیرزمینی بدون شهروندان آگاه و مسئول امکان‌پذیر نیست، شهروندانی که از ارزش منابع آبی و قوت، ضعف، استفاده و تهدیدات بالقوه آنها آگاه هستند. یادگیری اجتماعی وسیله‌ای جهت ایجاد ظرفیت یادگیری و پاسخ به مشکلات مداوم و پیچیده سیستم‌های آب است. به طور معمول، مصرف‌کنندگان آب بر ذی‌نفعان کلیدی مانند تنظیم‌کننده‌ها و مدیران آب فشار می‌آورند و ذی‌نفعان کلیدی این نگرانی‌ها را به محققان اعلام می‌کنند. برای دستیابی بهتر به یادگیری اجتماعی، محققان می‌توانند در تبادل اطلاعات دوجانبه با سهام‌داران کلیدی، اعضای جامعه یا هر دو شرکت کنند، وقتی مدل‌سازی مشارکتی فراتر از ذی‌نفعان کلیدی است، انتخاب سهام‌داران یک کار بی‌اهمیت نیست.

• روش‌ها و ابزارهای مشارکت

برای ارزیابی علمی مؤثر پایداری آب زیرزمینی، تدوین رویکردهای ساختارمندتر برای مشارکت عمومی مورد نیاز است. به دلیل ناهمگونی افراد و علایق و ادراکات آنها، مقابله با ترجیحات اجتماعی دشوارتر از ترجیحات فردی است. این می‌تواند چالش برانگیزتر باشد، زمانی که مناطق آبی بسیار وسیع هستند، منافع فردی بیش‌ازحد واگرا هستند، وقتی افراد و شرکت‌هایی وجود دارند که از منابع برای سود کوتاه‌مدت بهره‌برداری می‌کنند و زمانی که سود فردی بر نیاز به حفظ یک منبع مشترک غالب است. برانگیختن ترجیحات اجتماعی را می‌توان از طریق نظرسنجی، نظر و رأی عمومی، مصاحبه و ابزارهای مشابه انجام داد. سپس خلاصه ارزیابی‌ها می‌توانند به مدل‌های مبتنی بر عامل، که مدل‌هایی از رفتار محلی هستند، وارد شوند.

بررسی سیستماتیک نشان می‌دهد تعداد فزاینده‌ای از پژوهش‌ها در مورد مشارکت ذی‌نفعان در زمینه پایداری آب زیرزمینی بحث می‌کنند. مطالعات موردی بیشتری در مورد مشارکت ذی‌نفعان که مستقیماً با توسعه و پیش‌بینی مدل مرتبط هستند، به‌ویژه مورد نیاز است. مطالعات موردی بیشتری که چارچوب‌های مفهومی اخیراً توسعه یافته را اجرا برای ادغام مشارکت با مدل‌سازی آب زیرزمینی برای اثبات مفهوم مورد نیاز است. از تجزیه و تحلیل انتقادی، نتیجه می‌شود که بسیاری از ادبیات شناسایی شده فاقد یک نظریه بنیادی غیراجتماعی کافی است یا بر اساس روش‌های تحقیق معتبر نبوده است. بنابراین باید در استفاده از روش‌های مشارکت دقت کرد و از طریق تعامل با دانشمندان علوم اجتماعی در نظریه اجتماعی پایه‌گذاری شود.

نتیجه‌گیری

به عنوان یک ابزار سیاستی پویا، مدیریت پایای آب زیرزمینی، مصرف و توسعه آب را با جامعه، محیط‌زیست و اقلیم در حال

تغییر متعادل می‌کند. این مقاله یک رویکرد جامعی برای توسعه و اجرای سیاست پایای آب زیرزمینی را مورد بحث قرار داد و بررسی نمود که علم به تنهایی به ندرت منجر به نتایج مستقیم سیاست می‌شود به‌ویژه در جایی که یافته‌های علمی مورد اعتراض قرار می‌گیرد. حتی در مواجهه با بحث‌های قوی، علم می‌تواند به اطلاع‌رسانی خط‌مشی کمک کند، مشروط بر اینکه مطالعات برای چالش سیاست برجسته باشند و تصمیم‌گیرندگان در فرآیند علمی مشارکت داده شوند و نتایج به‌طور مؤثری مخابره شود و معتبر تلقی شوند. این مقاله نشان می‌دهد که حتی زمانی که یک خط‌مشی به‌خوبی طراحی شده است، علم مورد نیاز برای درک پویایی و پیچیدگی هیدروژئولوژی و سیستم‌های اکولوژیکی و انسانی وابسته به آن، تازه شروع به ایجاد می‌کند. با این وجود، رویکردهای مدیریت یکپارچه فرارشته‌ای آب زیرزمینی که علم را به سیاست (یا بالعکس) نزدیک می‌کند، به سرعت در حال ظهور هستند. با این حال، نیاز آشکاری به پژوهش‌های فرارشته‌ای و مطالعات موردی برای پرداختن به توسعه و اجرای مؤثر سیاست پایداری آب زیرزمینی بر اساس مدل‌سازی چند فرآیندی، راه‌حل چند روایتی و مشارکت وجود دارد.

پرداختن به مدل‌سازی چند فرآیندی مستلزم بهبود مستمر چارچوب‌های مدل‌سازی آب زیرزمینی موجود است تا خدمات اکوسیستم و فعالیت‌های انسانی را بهتر در برگیرد. علاوه بر این، مستلزم ایجاد چارچوب‌های جدید آب زیرزمینی است که با فراخوان‌های نوظهور در جامعه هیدروژئولوژی همسو باشد تا امنیت و پایایی آب را فراتر از کانون‌های کیفیت و کمیت آب برای درک بهتر سناریوهای احتمالی در حال تکامل ایجاد کند. برای رسیدگی به پایداری آب زیرزمینی بین سیستم‌های آبی، اکوسیستم‌ها و جامعه، ابزار در سطوح مختلف مورد نیاز است و در مجموع هیچ راه‌حل واحد قابل تعمیم به کل وجود ندارد. صرف‌نظر از چارچوب مدل‌سازی، این مقاله نشان می‌دهد ادغام سیستم‌های طبیعی، مهندسی، اجتماعی و نهادی در چارچوب مدل‌سازی یکپارچه به تدریج در ادبیات پایداری آب زیرزمینی تکامل می‌یابد تا با سیاست‌های نوظهوری که این ادغام‌ها را می‌طلبند همگام شود. دو رویکرد مدل‌سازی هیدروژئولوژیکی برای تخمین پایداری آب زیرزمینی بررسی شد، که به بحث در مورد قابلیت اطمینان نسبی مدل‌های پدیدارشناسی در مقایسه با مدل‌های عددی می‌پردازد. انتخاب رویکرد مدل‌سازی مناسب به صورت موردی خاص است و به داده‌های موجود، نوع آبخوان، عوامل پایداری مورد علاقه بستگی دارد و باید توسط قانون صرفه‌جویی هدایت شود. درحالی‌که مدل‌های عددی مفیدتر و دقیق‌تر هستند، مدل‌های پدیدارشناختی ساده زمانی می‌توانند مفید باشند که داده‌های کافی مربوط به مکان برای ایجاد یک مدل عددی با اطمینان بالا و واقع‌گرایی ریاضی و زمین‌شناختی وجود

از راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر داوری در تدوین ساختار مقاله، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Capture
- 2-Managed yield
- 3-Smart mining
- 4-Nubian and High Plains aquifers
- 5-Ingrained ideas
- 6-Sea-level Rise Scenarios
- 7-Water Export Scenarios
- 8-Bayesian Model
- 9-Groundwater Export
- 10-Data-worth analysis
- 11-Bayesian framework
- 12-Scientific evaluation of groundwater sustainability: participation

منابع

- سند تدبیر آب مشهد. شرکت آب و فاضلاب مشهد، دفتر تحقیقات و بهره‌وری. (۱۳۹۴). رونمایی از سند تدبیر آب مشهد. آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۱۱۰. doi: [10.22067/jwsd.v2i1.51166](https://doi.org/10.22067/jwsd.v2i1.51166)
- Alcalá, F. J., Martínez-Valderrama, J., Robles-Marín, P., Guerrero, F., Martín-Martín, M., Raffaelli, G., León, J. T., Asebriy, L., & Asebriy, L. (2015). A hydrological-economic model for sustainable groundwater use in sparse-data drylands: Application to the Am-toudi Oasis in southern Morocco, northern Sahara. *Science of the Total Environment*, 537, 309-322. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.062>
- Alley, W. M., & Leake, S. A. (2004). The journey from safe yield to sustainability. *Groundwater*, 42(1), 12-16. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2004.tb02446.x>
- Alley, W. M., Reilly, T. E., & Franke, O. L. (1999). Sustainability of ground-water resources (Vol. 1186). US Department of the Interior, US Geological Survey. US.
- Archer, D. R., Forsythe, N., Fowler, H. J., & Shah, S. M. (2010). Sustainability of water resources management

نداشته باشد. مدل‌سازی هیدرولوژیکی، باتوجه به تعامل آب‌های سطحی و آب زیرزمینی، بالغ‌تر از مدل‌سازی خدمات اکوسیستم و مدل‌سازی فعالیت‌های انسانی است. درحالی‌که مدل‌سازی خدمات اکوسیستم و مدل‌سازی فعالیت‌های انسانی هر دو در حال ظهور هستند، ابزارهایی برای مدیریت اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی هنوز به خوبی تعریف نشده‌اند و نیازمند رویکردهای مدیریتی سازگارتر است. یکی از نقش‌های علم کاهش خطاها و هزینه آن است، اینکه در یک مورد خاص برای کاهش ابهام چقدر سرمایه‌گذاری در دانش و نظارت لازم است بستگی به هزینه‌های فعلی و آتی این خطاها برای انسان و محیط‌زیست دارد. پرداختن به عدم قطعیت ذاتی مرتبط با جنبه‌های طبیعی و اجتماعی سیستم‌های آب زیرزمینی پیچیده و پویا، مستلزم توسعه رویکردهای چند مدلی نوآورانه برای ارائه روایت‌های متعدد در مورد چاره‌سازی مشکل و انتقال موثر عدم قطعیت به کاربران نهایی و ذی‌نفعان به نحوی که به آنها در تصمیم‌گیری بهتر کمک کند، دارد. این امر مستلزم همکاری با ذی‌نفعان از طریق مدل‌سازی مشترک و مدیریت تطبیقی برای توصیف بهتر و مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی است. درحالی‌که پیشرفت‌های فنی در تجزیه و تحلیل عدم قطعیت هنوز در حال توسعه است (به‌ویژه باتوجه به هزینه‌های بالای مدل‌های محاسباتی آب زیرزمینی، عوامل چندرشته‌ای زیرسطحی و تعیین کمیت عدم قطعیت، و مدیریت عدم قطعیت چندوجهی سیستم‌های آب-اکولوژی-انسانی)، روش‌ها و ابزارهای موجود هستند ولی در ادبیات پایایی آب زیرزمینی چندان کاربردی نشده‌اند. آگاه کردن کاربر نهایی از اهمیت تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و وجود این ابزارها اهمیت بالایی دارد. درجه مشارکت در فرآیند علم-سیاست ممکن است حیاتی‌ترین بخش باشد، اما به دلیل بیلان‌های فشرده، محدودیت‌های زمانی یا عدم وجود رویکردهای ساختارمند واضح، طراحی و پیاده‌سازی دشوارترین بخش است و برای حل تعارض و شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای مرتبط با پایایی آب زیرزمینی یک جزء ضروری است. در جامعه علمی، همکاری بیشتر بین دانشمندان علوم فیزیکی، دانشمندان علوم اجتماعی، مدیران آب زیرزمینی و سیاست‌گذاران برای توسعه این جنبه از فرآیند ارزیابی پایایی آب زیرزمینی ضرورت دارد. ایجاد چنین روابط مشترکی بین پژوهشگران و سهام‌داران کلیدی به‌طور کلی می‌تواند آسان‌تر از مشارکت عمومی باشد. آزمایش و ارزیابی روش‌های مختلف برای افزایش مشارکت عمومی در مدیریت آب زیرزمینی برای دستیابی به یادگیری اجتماعی یک حوزه تحقیقاتی فعال است. دریافت نظرات عمومی و مشارکت بیشتر شهروندان در مدیریت آب زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا مدیریت پایدار آب زیرزمینی بدون شهروندان آگاه و مسئول امکان‌پذیر نیست.

- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723-739. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.12.002>
- Bredehoeft, J. D., & Alley, W. M. (2014). Mining groundwater for sustained yield. *The Bridge*, 44(1), 33-41.
- Bremer, L., Mandle, L., Trauernicht, C., Pascua, P., McMillen, H., Burnett, K., Wada, C., Kurashima, N., Quazi, Sh., Giambelluca, T., Chock, P., & Ticktin, T. (2018). Bringing multiple values to the table: assessing future land-use and climate change in North Kona, Hawai'i. *Ecology and Society*, 23(1), 33. <https://doi.org/10.5751/ES-09936-230133>
- Brown, C. M., Lund, J. R., Cai, X., Reed, P. M., Zagana, E. A., Ostfeld, A., & Brekke, L. (2015). The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management. *Water resources research*, 51(8), 6110-6124. <https://doi.org/10.1002/2015WR017114>
- Calderhead, A. I., Martel, R., Garfias, J., Rivera, A., & Therrien, R. (2012). Sustainable management for minimizing land subsidence of an over-pumped volcanic aquifer system: tools for policy design. *Water Resources Management*, 26, 1847-1864. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-9990-7>
- Castilla-Rho, J. C. (2017). Groundwater modeling with stakeholders: finding the complexity that matters. *Groundwater*, 55(5), 620-625. <https://doi.org/10.1111/gwat.12569>
- Chitsazan, N., Pham, H. V., & Tsai, F. T. C. (2015). Bayesian chance-constrained hydraulic barrier design under geological structure uncertainty. *Groundwater*, 53(6), 908-919. <https://doi.org/10.1111/gwat.12304>
- Custodio, E., Sahuquillo, A., & Albiac, J. (2019). Sustainability of intensive groundwater development: experience in Spain. *Sustainable Water Resources Management*, 5, 11-26. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0105-8>
- Cuthbert, M. O., Gleeson, T., Moosdorf, N., Befus, K. M., Schneider, A., Hartmann, J., & Lehner, B. (2019). in the Indus Basin under changing climatic and socio economic conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(8), 1669-1680. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1669-2010>
- Asefa, T., Adams, A., & Kajtezovic-Blankenship, I. (2014). A tale of integrated regional water supply planning: Meshing socio-economic, policy, governance, and sustainability desires together. *Journal of hydrology*, 519, 2632-2641. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.047>
- Badiuzzaman, P., McLaughlin, E., & McCauley, D. (2017). Substituting freshwater: Can ocean desalination and water recycling capacities substitute for groundwater depletion in California?. *Journal of environmental management*, 203, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.051>
- Baguma, A., Bizoza, A., Carter, R., Cavill, S., Foster, S., Foster, T., Jobbins, G., Hope, R., Katuva, J., Koehler, J., A. Shepherd, A. Simons., & Simons, A. (2017). Groundwater and poverty in sub-Saharan Africa. UPGro Working Paper. Skat Foundation, St, Gallen.
- Barlow, P. M., Leake, S. A., & Fienen, M. N. (2018). Capture versus capture zones: Clarifying terminology related to sources of water to wells. *Groundwater*, 56(5), 694-704. <https://doi.org/10.1111/gwat.12661>
- Basco-Carrera, L., Warren, A., van Beek, E., Jonoski, A., & Giardino, A. (2017). Collaborative modelling or participatory modelling? A framework for water resources management. *Environmental Modelling & Software*, 91, 95-110. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.014>
- Bierkens, M. F., & Wada, Y. (2019). Non-renewable groundwater use and groundwater depletion: a review. *Environmental Research Letters*, 14(6), 063002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1a5f>
- Blöschl, G., Bierkens, M. F., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., & Renner, M. (2019). Twenty-three unsolved problems in hydrology (UP-H)—a community perspective. *Hydrological sciences journal*, 64(10), 1141-1158. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>

- approach for detection and attribution of climatic and human impacts on coastal water resources. *Journal of Hydrology*, 557, 305-320. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.041>
- Fernald, A., Guldan, S., Boykin, K., Cibils, A., Gonzales, M., Hurd, B., ... & Steele, C. (2015). Linked hydrologic and social systems that support resilience of traditional irrigation communities. *Hydrology and earth system sciences*, 19(1), 293-307. <https://doi.org/10.5194/hess-19-293-2015>
- Ferré, T. P. (2017). Modelers: is objectivity overrated?. *Groundwater*, 55(5), 603-603. <https://doi.org/10.1111/gwat.12575>
- Foster, S., Garduno, H., Tuinhof, A., & Tovey, C. (2010). Groundwater governance: conceptual framework for assessment of provisions and needs. Report number: GW-MATe Strategic Overview Series 1 - 2009 Affiliation: World Bank. Washington DC.
- Gallardo, A. H., Marui, A., Takeda, S., & Okuda, F. (2009). Groundwater supply under land subsidence constrains in the Nobi Plain. *Geosciences Journal*, 13, 151-159. <https://doi.org/10.1007/s12303-009-0014-4>
- Gillespie, J., Nelson, S. T., Mayo, A. L., & Tingey, D. G. (2012). Why conceptual groundwater flow models matter: a trans-boundary example from the arid Great Basin, western USA. *Hydrogeology Journal*, 20(6), 1133.
- Gleeson, T., Alley, W. M., Allen, D. M., Sophocleous, M. A., Zhou, Y., Taniguchi, M., & VanderSteen, J. (2012). Towards sustainable groundwater use: Setting long-term goals, backcasting, and managing adaptively. *Groundwater*, 50(1), 19-26. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2011.00825.x>
- Gober, P., Kirkwood, C. W., Balling, R. C., Ellis, A. W., & Deitrick, S. (2010). Water planning under climatic uncertainty in Phoenix: Why we need a new paradigm. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(2), 356-372. <https://doi.org/10.1080/00045601003595420>
- Gober, P. A., Strickert, G. E., Clark, D. A., Chun, K. P., Payton, D., & Bruce, K. (2015). Divergent perspectives on water security: bridging the policy debate. *Global patterns and dynamics of climate-groundwater interactions. Nature Climate Change*, 9(2), 137-141. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7393304>
- Dai, H., Ye, M., & Niedoroda, A. W. (2015). A model for simulating Barrier Island geomorphologic responses to future storm and sea-level rise impacts. *Journal of coastal research*, 31(5), 1091-1102. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00094.1>
- Derakhshan, H., Davary, K., & Mosaedi, A. (2023). A Review of the Rethinking Groundwater Renewability. *Iran-Water Resources Research*, 19(3), 212-230.
- Devlin, J. F., & Sophocleous, M. (2005). The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal*, 13, 549-554. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0354-0>
- Domenico, P. A. (1972). Concepts and models in groundwater hydrology, McGraw-Hill. First Edition. New York.
- El-Kadi, A. I., Tillery, S., Whittier, R. B., Hagedorn, B., Mair, A., Ha, K., & Koh, G. W. (2014). Assessing sustainability of groundwater resources on Jeju Island, South Korea, under climate change, drought, and increased usage. *Hydrogeology Journal*, 22(3), 625. doi: [10.1007/s10040-013-1084-y](https://doi.org/10.1007/s10040-013-1084-y)
- Elshall, A. S., & Tsai, F. T. C. (2014). Constructive epistemic modeling of groundwater flow with geological structure and boundary condition uncertainty under the Bayesian paradigm. *Journal of Hydrology*, 517, 105-119. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.027>
- Elshall, A. S., Arik, A. D., El-Kadi, A. I., Pierce, S., Ye, M., Burnett, K. M., ... & Chun, G. (2020). Groundwater sustainability: A review of the interactions between science and policy. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093004. doi: [10.1088/1748-9326/ab8e8c](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8e8c)
- Farhadi, S., Nikoo, M. R., Rakhshandehroo, G. R., Akhbari, M., & Alizadeh, M. R. (2016). An agent-based-nash modeling framework for sustainable groundwater management: A case study. *Agricultural Water Management*, 177, 348-358. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.018>
- Feng, D., Zheng, Y., Mao, Y., Zhang, A., Wu, B., Li, J., & Wu, X. (2018). An integrated hydrological modeling

- overdraft in hydrologic-economic systems. *Hydrogeology Journal*, 16, 1039-1055. <https://doi.org/10.1007/s10040-008-0300-7>
- Henriksen, H. J., Trolborg, L., Højberg, A. L., & Refsgaard, J. C. (2008). Assessment of exploitable groundwater resources of Denmark by use of ensemble resource indicators and a numerical groundwater-surface water model. *Journal of Hydrology*, 348(1-2), 224-240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.056>
- Henriksen, H. J., & Barlebo, H. C. (2008). Reflections on the use of Bayesian belief networks for adaptive management. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 1025-1036. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.05.009>
- Holding, S., Allen, D. M., Foster, S., Hsieh, A., Larocque, I., Klassen, J., & Van Pelt, S. C. (2016). Groundwater vulnerability on small islands. *Nature Climate Change*, 6(12), 1100-1103. <https://doi.org/10.1038/nclimate3128>
- Jackson, S., Tan, P. L., & Nolan, S. (2012). Tools to enhance public participation and confidence in the development of the Howard East aquifer water plan, Northern Territory. *Journal of Hydrology*, 474, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.007>
- Joseph, H., Guillaume, A., Qureshi, M. E., & Jakeman, A. J. (2012). A structured analysis of uncertainty surrounding modeled impacts of groundwater-extraction rules. *Hydrogeology journal*, 20(5), 915. doi: [10.1007/s10040-012-0864-0](https://doi.org/10.1007/s10040-012-0864-0)
- Kalf, F. R., & Woolley, D. R. (2005). Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. *Hydrogeology journal*, 13, 295-312. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0401-x>
- Konikow, L. F., & Kendy, E. (2005). Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeology Journal*, 13, 317-320. <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0411-8>
- Konikow, L. F., & Leake, S. A. (2014). Depletion and capture: revisiting "the source of water derived from wells". *Groundwater*, 52(S1), 100-111. <https://doi.org/10.1111/gwat.12204>
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kværner, J., ... & Pulido-Velazquez, The Professional Geographer, 67(1), 62-71. <https://doi.org/10.1080/00330124.2014.883960>
- Gorelick, S. M., & Zheng, C. (2015). Global change and the groundwater management challenge. *Water Resources Research*, 51(5), 3031-3051. <https://doi.org/10.1002/2014WR016825>
- FAO. (2017). Groundwater governance A global framework for action. GEF and FAO.
- Gleeson, T., Cuthbert, M., Ferguson, G., & Perrone, D. (2020). Global groundwater sustainability, resources, and systems in the Anthropocene. *Annual review of earth and planetary sciences*, 48, 431-463. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055251>
- Griffioen, J., van Wensem, J., Oomes, J. L., Barends, F., Breunese, J., Bruining, H., & van der Stoep, A. E. (2014). A technical investigation on tools and concepts for sustainable management of the subsurface in The Netherlands. *Science of the total environment*, 485, 810-819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.114>
- Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 770-781. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.04.002>
- Guillaume, J. H., Hunt, R. J., Comunian, A., Blakers, R. S., & Fu, B. (2016). Methods for exploring uncertainty in groundwater management predictions. *Integrated groundwater management: Concepts, approaches and challenges*, 711-737.
- GWD.. (2006). <https://ec.europa.eu/environment/water/waterframework/groundwater/framework.htm>. 2006/118/EC
- Ha, T. P., Dieperink, C., Otter, H. S., & Hoekstra, P. (2018). Governance conditions for adaptive freshwater management in the Vietnamese Mekong Delta. *Journal of Hydrology*, 557, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.024>
- Han, S., Tian, F., Liu, Y., & Duan, X. (2017). Socio-hydrological perspectives of the co-evolution of humans and groundwater in Cangzhou, North China Plain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3619-3633. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3619-2017>
- Harou, J. J., & Lund, J. R. (2008). Ending groundwater

- ciplinary Reviews: Water, 4(4), e1224. <https://doi.org/10.1002/wat2.1224>
- Lijzen, J. P., Otte, P., & van Dreumel, M. (2014). Towards sustainable management of groundwater: policy developments in the Netherlands. *Science of the total environment*, 485, 804-809. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.081>
- Llamas, M. R., Custodio, E., De la Hera, A., & Fornés, J. M. (2015). Groundwater in Spain: increasing role, evolution, present and future. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2567-2578. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-4004-0>
- McLaughlin, D., & Kinzelbach, W. (2015). Food security and sustainable resource management. *Water Resources Research*, 51(7), 4966-4985. <https://doi.org/10.1002/2015WR017053>
- Michael, H. A., Post, V. E., Wilson, A. M., & Werner, A. D. (2017). Science, society, and the coastal groundwater squeeze. *Water Resources Research*, 53(4), 2610-2617. <https://doi.org/10.1002/2017WR020851>
- Milly, P. C., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319(5863), 573-574. doi: [10.1126/science.1151915](https://doi.org/10.1126/science.1151915)
- Muchingami, I., Chuma, C., Gumbo, M., Hlatywayo, D., & Mashingaidze, R. (2019). Approaches to groundwater exploration and resource evaluation in the crystalline basement aquifers of Zimbabwe. *Hydrogeology Journal*, 27(3), 915-928. doi: [10.1007/s10040-019-01924-1](https://doi.org/10.1007/s10040-019-01924-1)
- Mulligan, K. B., Brown, C., Yang, Y. C. E., & Ahlfeld, D. P. (2014). Assessing groundwater policy with coupled economic-groundwater hydrologic modeling. *Water Resources Research*, 50(3), 2257-2275. <https://doi.org/10.1002/2013WR013666>
- Ohdedar, B. (2018). Groundwater law, abstraction, and responding to climate change: assessing recent law reforms in British Columbia and England. In *Groundwater and Climate Change* (51-68). Routledge. Oxfordshire, England.
- Ostad-Ali-Askari, K., Ghorbanizadeh Kharazi, H., M. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology*, 518, 250-266. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.037>
- Knüppe, K., Pahl-Wostl, C., & Vinke-de Kruijf, J. (2016). Sustainable groundwater management: a comparative study of local policy changes and ecosystem services in South Africa and Germany. *Environmental Policy and Governance*, 26(1), 59-72. <https://doi.org/10.1002/eet.1693>
- Kretsinger Grabert, V., & Narasimhan, T. N. (2006). California's evolution toward integrated regional water management: a long-term view. *Hydrogeology Journal*, 14, 407-423. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0005-0>
- Langridge, R., & Daniels, B. (2017). Accounting for climate change and drought in implementing sustainable groundwater management. *Water Resources Management*, 31, 3287-3298. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1607-8>
- Lapworth, D. J., Lopez, B., Laabs, V., Kozel, R., Wolter, R., Ward, R., & Grath, J. (2019). Developing a groundwater watch list for substances of emerging concern: a European perspective. *Environmental Research Letters*, 14(3), 035004. doi: [10.1088/1748-9326/aaf4d7](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf4d7)
- Lee, C. H. (1915). The determination of safe yield of underground reservoirs of the closed-basin type. *Trans. American Society Civil Engineering*, 78(1), 148-218.
- Lee, E., Ha, K., Ngoc, N. T. M., Surinkum, A., Jayakumar, R., Kim, Y., & Hassan, K. B. (2017). Groundwater status and associated issues in the Mekong-Lancang River Basin: international collaborations to achieve sustainable groundwater resources. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 5(1)1-13, doi: [10.26599/JGSE.2017.9280001](https://doi.org/10.26599/JGSE.2017.9280001)
- Leduc, C., Pulido-Bosch, A., & Remini, B. (2017). Anthropization of groundwater resources in the Mediterranean region: processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 25(6), 1529. doi: [10.1007/s10040-017-1572-6](https://doi.org/10.1007/s10040-017-1572-6)
- Lele, S. (2017). Sustainable Development Goal 6: watering down justice concerns. *Wiley Interdis-*

- Ranjan, R. (2013). Mathematical modeling of drought resilience in agriculture. *Natural Resource Modeling*, 26(2), 237-258. <https://doi.org/10.1111/j.1939-7445.2012.00136.x>
- Reichert, P., Langhans, S. D., Lienert, J., & Schuwirth, N. (2015). The conceptual foundation of environmental decision support. *Journal of environmental management*, 154, 316-332. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.053>
- Rejman, W. (2007). EU water framework directive versus real needs of groundwater management. *Water resources management*, 21(8), 1363-1372. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9088-1>
- Rinaudo, J. D., Moreau, C., & Garin, P. (2016). Social justice and groundwater allocation in agriculture: A French case study. *Integrated groundwater management: Concepts, approaches and challenges*, 273-293.
- Rohde, M. M., Froend, R., & Howard, J. (2017). A global synthesis of managing groundwater dependent ecosystems under sustainable groundwater policy. *Groundwater*, 55(3), 293-301. <https://doi.org/10.1111/gwat.12511>
- Rudestam, K., & Langridge, R. (2014). Sustainable yield in theory and practice: Bridging scientific and mainstream vernacular. *Groundwater*, 52(S1), 90-99. <https://doi.org/10.1111/gwat.12160>
- Rudestam, K., Brown, A., & Langridge, R. (2018). Exploring "deep roots": Politics of place and groundwater management practices in the Pajaro Valley, California. *Society & natural resources*, 31(3), 291-305. <https://doi.org/10.1080/08941920.2017.141369>
- Saha, D., & Ray, R. K. (2019). Groundwater resources of India: potential, challenges and management. *Groundwater development and management: issues and challenges in South Asia*, 19-42. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75115-3_2
- Sanderson, M. R., & Curtis, A. L. (2016). Culture, climate change and farm-level groundwater management: An Australian case study. *Journal of hydrology*, 536, 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.032>
- Shayannejad, M., & Zareian, M. J. (2019). Effect of management strategies on reducing negative impacts of climate change on water resources of the Isfahan-Borkhar aquifer using MODFLOW. *River Research and Applications*, 35(6), 611-631. <https://doi.org/10.1002/rra.3463>
- Owen, D., Cantor, A., Nylen, N. G., Harter, T., & Kiparsky, M. (2019). California groundwater management, science-policy interfaces, and the legacies of artificial legal distinctions. *Environmental Research Letters*, 14(4), 045016. doi: [10.1088/1748-9326/ab0751](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0751)
- Passarelllo, M. C., Pierce, S. A., & Sharp Jr, J. M. (2014). Uncertainty and urban water recharge for managing groundwater availability using decision support. *Water science and technology*, 70(11), 1888-1896. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.437>
- Pierce, S. A., Sharp, J. M., Joseph, H., Guillaume, A., Mace, R. E., & Eaton, D. J. (2013). Aquifer-yield continuum as a guide and typology for science-based groundwater management. *Hydrogeology Journal*, 21(2), 331. doi: [10.1007/s10040-012-0910-y](https://doi.org/10.1007/s10040-012-0910-y)
- Piscopo, V., Di Luca, S., Dimasi, M., & Lotti, F. (2019). Sustainable yield of a hydrothermal area: from theoretical concepts to the practical approach. *Groundwater*, 57(2), 337-348. <https://doi.org/10.1111/gwat.12833>
- Pholkern, K., Saraphirom, P., Cloutier, V., & Srisuk, K. (2019). Use of alternative hydrogeological conceptual models to assess the potential impact of climate change on groundwater sustainable yield in central Huai Luang Basin, Northeast Thailand. *Water*, 11(2), 241. <https://doi.org/10.3390/w11020241>
- Qin, H., Cao, G., Kristensen, M., Refsgaard, J. C., Rasmussen, M. O., He, X., & Zheng, C. (2013). Integrated hydrological modeling of the North China Plain and implications for sustainable water management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 3759-3778. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3759-2013>
- Quevauviller, P., Batelaan, O., & Hunt, R. J. (2016). Groundwater regulation and integrated water planning. *Integrated Groundwater Management: Concepts, Approaches and Challenges*, 197-227. doi: [10.1007/978-3-319-23576-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9)

[drol.2011.11.002](#)

- Stigter, T. Y., Monteiro, J. P., Nunes, L. M., Vieira, J., Cunha, M. D. C., Ribeiro, L., & Lucas, H. (2009). Screening of sustainable groundwater sources for integration into a regional drought-prone water supply system. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1185-1199. <https://doi.org/10.5194/hess-13-1185-2009>
- Sušnik, J., Molina, J. L., Vamvakieridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2013). Comparative analysis of system dynamics and object-oriented bayesian networks modelling for water systems management. *Water resources management*, 27, 819-841. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0217-8>
- Tan, P. L., Bowmer, K. H., & Mackenzie, J. (2012). Deliberative tools for meeting the challenges of water planning in Australia. *Journal of Hydrology*, 474, 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.032>
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., ... & Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature climate change*, 3(4), 322-329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- Theis, C. V. (1940). The source of water derived from wells-essential factors controlling the response of an aquifer to development. *Civil Engineering, American Society Civil Engineering*, 10, 277-280.
- Timani, B., & Peralta, R. (2015). Multi-model groundwater-management optimization: reconciling disparate conceptual models. *Hydrogeology Journal*, 23(6), 1067. doi: [10.1007/s10040-015-1259-9](https://doi.org/10.1007/s10040-015-1259-9)
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons. Third Edition. 3rd Edition. published by Wiley. New York, United States.
- Tortajada, C., Kastner, M. J., Buurman, J., & Biswas, A. K. (2017). The California drought: Coping responses and resilience building. *Environmental Science & Policy*, 78, 97-113. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.09.012>
- Tsai, F. T. C., & Elshall, A. S. (2013). Hierarchical Bayesian model averaging for hydrostratigraphic modeling: Uncertainty segregation and comparative evaluation. *Water Resources Research*, 49(9), 5520-5536. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20428>
- Seward, P., Xu, Y., & Brendonck, L. (2006). Sustainable groundwater use, the capture principle, and adaptive management. *Water Sa*, 32(4). doi: [10.4314/wsa.v32i4.5287](https://doi.org/10.4314/wsa.v32i4.5287)
- Seward, P. (2010). Challenges facing environmentally sustainable ground water use in South Africa. *Groundwater*, 48(2), 239-245. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00518.x>
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and earth system sciences*, 14(10), 1863-1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>
- Sheng, Z. (2013). Impacts of groundwater pumping and climate variability on groundwater availability in the Rio Grande Basin. *Ecosphere*, 4(1), 1-25. <https://doi.org/10.1890/ES12-00270.1>
- Shi, F., Chi, B., Zhao, C., Yang, T., de la Paix, M. J., Lu, Y., & Gao, S. (2012). Identifying the sustainable groundwater yield in a Chinese semi-humid basin. *Journal of Hydrology*, 452, 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.017>
- Shu, Y., Villholth, K. G., Jensen, K. H., Stisen, S., & Lei, Y. (2012). Integrated hydrological modeling of the North China Plain: Options for sustainable groundwater use in the alluvial plain of Mt. Taihang. *Journal of Hydrology*, 464, 79-93. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.048>
- Sikdar, P. K. (2019). Problems and challenges for groundwater management in South Asia. *Groundwater Development and Management: Issues and Challenges in South Asia*, 1-18. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75115-3_1
- Sophocleous, M. (2010). groundwater management practices, challenges, and innovations in the High Plains aquifer, USA--lessons and recommended actions. *Hydrogeology Journal*, 18(3), 559. doi: [10.1007/s10040-009-0540-1](https://doi.org/10.1007/s10040-009-0540-1)
- Sophocleous, M. (2012). The evolution of groundwater management paradigms in Kansas and possible new steps towards water sustainability. *Journal of Hydrology*, 414, 550-559. <https://doi.org/10.1016/j.jhy>

- changing climate and inadequate agricultural management: a case study from the Valley of Santo Domingo, Mexico. *Journal of Hydrology*, 559, 486-498. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.050>
- Zagonari, F. (2010). Sustainable, just, equal, and optimal groundwater management strategies to cope with climate change: insights from Brazil. *Water Resources Management*, 24, 3731-3756. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9630-z>
- Zhang, X., Ren, L., & Kong, X. (2016). Estimating spatiotemporal variability and sustainability of shallow groundwater in a well-irrigated plain of the Haihe River basin using SWAT model. *Journal of Hydrology*, 541, 1221-1240. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.030>
- Zhou, Y. (2009). A critical review of groundwater budget myth, safe yield and sustainability. *Journal of Hydrology*, 370(1-4), 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.009>
- Uddameri, V., Hernandez, E. A., & Estrada, F. (2014). A fuzzy simulation-optimization approach for optimal estimation of groundwater availability under decision maker uncertainty. *Environmental earth sciences*, 71, 2559-2572. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2905-y>
- Unver, O., Bhaduri, A., & Hoogeveen, J. (2017). Water-use efficiency and productivity improvements towards a sustainable pathway for meeting future water demand. *Water Security*, 1, 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.05.001>
- Urrutia, J., Jódar, J., Medina, A., Herrera, C., Chong, G., Urqueta, H., & Luque, J. A. (2018). Hydrogeology and sustainable future groundwater abstraction from the Agua Verde aquifer in the Atacama Desert, northern Chile. *Hydrogeology Journal*, 26(6), 1989-2007. doi: [10.1007/s10040-018-1740-3](https://doi.org/10.1007/s10040-018-1740-3)
- Voss, C. I., & Soliman, S. M. (2014). The transboundary non-renewable Nubian Aquifer System of Chad, Egypt, Libya and Sudan: classical groundwater questions and parsimonious hydrogeologic analysis and modeling. *Hydrogeology journal*, 22(2), 441. DOI: [10.1007/s10040-013-1039-3](https://doi.org/10.1007/s10040-013-1039-3)
- Wang, Y., Zheng, C., & Ma, R. (2018). Safe and sustainable groundwater supply in China. *Hydrogeology Journal*, (5), 1301-1324. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1795-1>
- Wheater, H. S., & Gober, P. (2015). Water security and the science agenda. *Water Resources Research*, 51(7), 5406-5424. <https://doi.org/10.1002/2015WR016892>
- Wiek, A., & Larson, K. L. (2012). Water, people, and sustainability—a systems framework for analyzing and assessing water governance regimes. *Water resources management*, 26, 3153-3171. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0065-6>
- Womble, P. (2017). Multimodel groundwater analysis in US courts: potential applications and limitations. *Groundwater*, 55(5), 630-634. <https://doi.org/10.1111/gwat.12563>
- Wurl, J., Gámez, A. E., Ivanova, A., Lamadrid, M. A. I., & Hernández-Morales, P. (2018). Socio-hydrological resilience of an arid aquifer system, subject to

In the Name of Allah



Grantee
Manager in Charge
Editor in Chief

Editorial Board



Guiding Council



Advisory Editors



Executive Expert
Editor
Design / Graphic
Order of publication
Publisher
ISSN Print/ Online
Website/ E-Mail
Address
Sponsor
Indexing

Journal of Water and Sustainable Development



Volume 11, Issue 4 [Serial No. 34], March 2025

Due to certificate no. 3/18/126631 dated 20/9/2015 from the scientific publications review Commission of the Ministry of Science, Research and Technology in Iran. also Due to registration number no76766 dated 25/1/2016 from the Ministry of Culture and Islamic Guidance, this journal has been licensed to publish. This journal is an output of joint scientific activities between the Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Davary, K. Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Alidadi, H. Prof., Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran

Ansari, H. Prof., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

Morid, S. Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Nassery, H.R. Prof., Shahid Behesti University, Tehran, Iran

Ghannadi, M. General Manager of the Office of Research, Technology Development and Communication with the Industry of the Country Water & Wastewater Engineering Company, **Chairman of the Council**

Esmailian, H. Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company

Nematnejad, M.A., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Mousavi, S. Y. Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company

Shahnooshi Foroushani, N. Manager in Charge

Davary, K. Editor in Chief

Noori Esfandiari, A. Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company

Sajadifar, S.H. Representative of Country Water and Wastewater Engineering Company

Kalaei, G.H. Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

Ghanbari, F. Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

Mirgasemi, S.H. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Barati, R. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.

Quchanian, M., Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F., Oskouhi, M.

Talebi Hossein Abad, F. / Shaikhi, M.R.

Quarterly

Ferdowsi University of Mashhad

2423-5474 / 2717-3321

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

Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163

Mashhad Water & Wastewater Company

ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

Articles in issue:

- **A Comprehensive Overview of Single-Source and Dual-Source Energy Balance Algorithms for Estimating Actual Evapotranspiration**
M. Rezaei
- **Interaction of Alluvial and Karstic Aquifers in North of Allah Akbar Highlands Dargaz Using Vertical Electrical Sounding (VES) Method**
H. Mohammadzadeh, M. Gholamkar aliabadi, J. Hashemi
- **The Effect of Modifying the Existing Green Spaces Compared to Other Methods of Urban Flood Management in Reducing the Volume of Runoff (Case Study: Chahar-Cheshme River Basin, Mashhad)**
A. M. Danesh, A. Mosaedi, A. R. Farid Hoseini, A. Ghiami Bajgirani
- **The Kahrom Oanat, A Valve with Indigenous Technology and Its Role in The Stable Architecture from The Safavid Period in Isfahan**
A. Alian, M. Taheri Dehkordi
- **Resonance of Framings for Solving the Anzali Lagoon Sediment Problem with the Stakeholders Community**
S. Tahmasebi, M. J. Zahedi Mazandarani, S. Salehi
- **Comparison of the Effect of Surface and Deep Aeration Methods on Density and Type of Airborne Bacteria and Fungi in Urban Wastewater Treatment Plant (Case study: Khin-Arab and Parkand-Abad 1 Wastewater Treatment Plants)**
Z. Abbasnia, Sh. Abbasnia, M. Pahlevani, M. Rouh-bakhsh, M. Ghasemzadeh, S. Amel Jamehdar
- **Effectiveness of Different Adsorbents in Removing Heavy Metals from Municipal Wastewater: (A Review Study)**
A. R. Radkhah, S. Eagderi, S. Atash Afrazah
- **Investigating Some Soil Characteristics and Water and Economic Indicators of Pea under Plasticulture and Planting Bed**
M. Valipour, H. Heidari, S. Bahraminejad
- **Investigating Water-Energy-Food Nexus in the Production of Summer Agricultural Products in Dehloran County**
E. Bahmani, A. A. Mirakzadeh, Sh. Geravandi, F. Karamiyan
- **Identifying the Factors Affecting Flood Management in Agricultural Lands of Ilam County**
F. Ghasemzadeh, R. Movahedi, M. Tavakoli
- **Water Reflections in the Mirror of the Mind: A Phenomenological Analysis of the Semnan Water Market**
S. A. Ebrahimi
- **The Impact of Individual-Social Factors on the Management and Governance of Groundwater Resources in Hamedan-Bahar Plain**
T. Sarami, R. Movahedi
- **Production of Biosorbents from Citrus Wastes for Adsorption of Pollutants and Salt from Wastewaters**
F. Papoli Yazdi, S. R. Khodashenas, M. Talati

ISSN (Print): 2423-5474



- پروژه اصلاح و تعدیل پروانه های موجود
- تهیه و نصب کنتور هوشمند حجمی

- پروژه تعیین و تکلیف چاه های محفوره قبل از سال ۱۳۸۵
- پرو مسلوب المنفعه نمودن چاه های غیر متعارف

مجموع حجم صرفه جویی قابل تحقق: ۱۰/۵

۶،۷

۳،۸

حجم معادل تعادل بخشی در بیلان سالانه (میلیارد مترمکعب)

