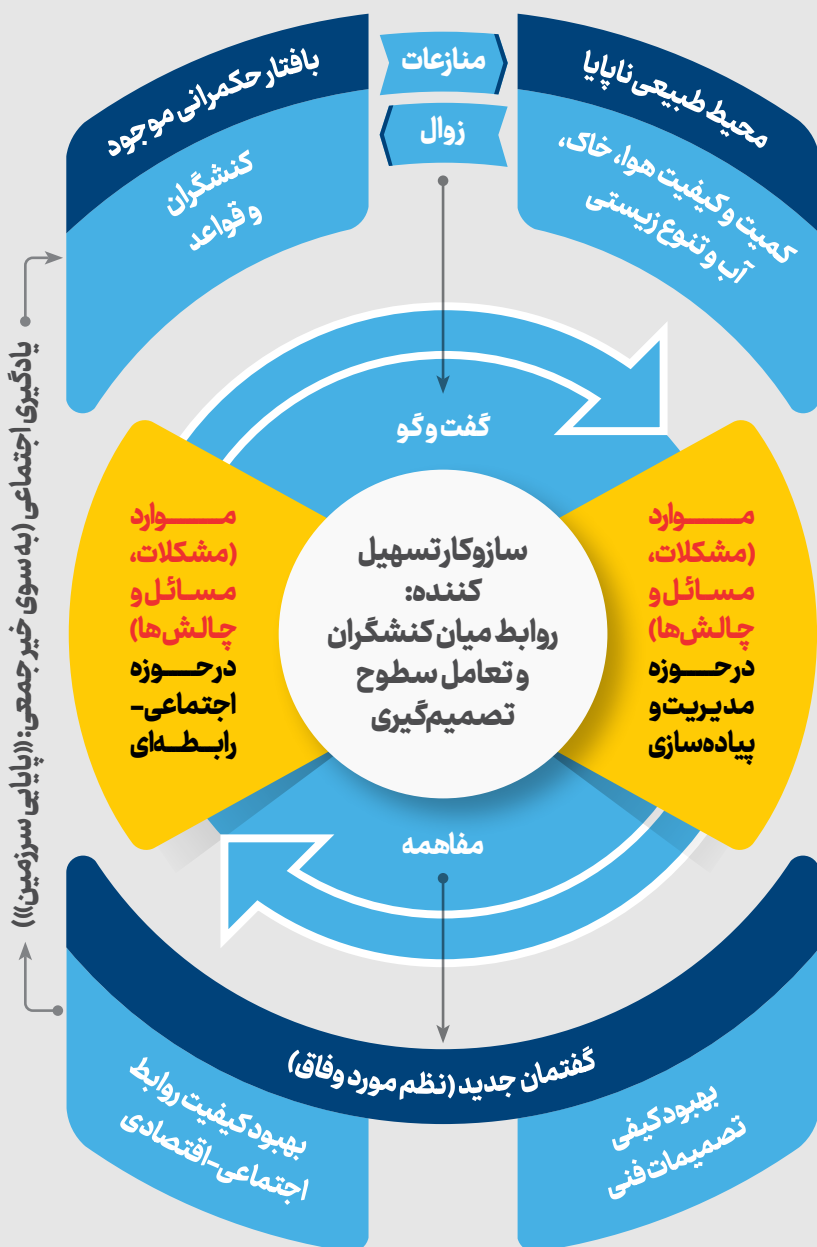


آب و توسعه پایدار

دوره دوازدهم . شماره دوم (پیاپی ۳۶) . شهریور ۱۴۰۴

آب، منازعات اجتماعی و مشارکت (حکمرانی)



فهرست مقالات

- بررسی وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام
احسان فتحي، محمدرضا اختصاصی، علی طالبی، جمال مصفايي
- بررسی جامعه شناختی بحران آب در ایران: رویکردی تاریخی نهادی به علل ورود دولت به مدیریت منابع آب ایران در دوران معاصر
مریم محمودی، حسین میرزایی، علی یوسفی، محمد فاضلی
- نقش حسابداری و حسابرسی آب در حکمرانی آب
سیده محدثه طاهری، مسعود عبدالله پور، کامران داوری
- تبیین سناریوهای ناشی از منازعات اجتماعی آب محور عراق بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق
زکيه آفتابی، مراد کاویانی راد، حمید کاردان مقدم
- شناسایی پیشران‌های کلیدی حکمرانی آبخیز در بستر هیدروپلیتیک رودخانه هریرود
احسان تمسکی، ساجد بهرامی جاف، جواد مومنی دمنه، سید محمد تاج‌بخش فخرآبادی
- زیست جهان شکننده کشاورزان در مواجهه با بحران و حکمرانی آب؛ تحلیل روایت کشاورزان شهرستان دهگلان
حسین دانش مهر، عثمان هدایت
- بررسی و تحلیل چالش‌های آب شرب شهر کرمان در وضعیت موجود و آینده
مجتبی سلیمانی دامن، حمیدرضا رخشانی نسب، حمید نظری پور
- تأثیر پهنه‌بندی شبکه توزیع آب در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه (مطالعه موردی: شهر دورود)
پری ملکی، خشایار نامداریان
- تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح ایستابی و مصرف انرژی چاه‌های کشاورزی دشت رشتخوار
حسین محمدزاده، مهدی ترشیزی
- شناخت روش‌ها و ابزارهای مدیریت هوشمند آبیاری و تأثیر آن‌ها در بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری
ایمان حاجی راد
- بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین: تخمین تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از شبکه‌های عصبی در استان خراسان رضوی
زهرا شیرمحمدی، علی اکبرخانی
- مدل‌های تبخیر و تعرق در کشت‌های گلخانه‌ای: تحلیل داده‌ها و روش‌ها
امید رجا، مسعود پارسی نژاد، افشین خورسند، بهداد چهره‌نگار

آب و توسعه پایدار

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

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی، 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 زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست گذاری

مجید قنادی (ریاست شورا)، مدیرکل مرکز تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
حسین اسماعیلیان، مدیر عامل و رئیس هیات مدیره شرکت آب و فاضلاب مشهد
محمد علی نعمت نژاد، مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
احمد قندهاری، رئیس حوضه‌های آبریز ارس، اترک و حوضه‌های شمالی، شرکت مدیریت منابع آب ایران
ناصر شاهنوشی فروشانی، مدیر مسئول نشریه
کامران داوری، سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری، اندیشکده تدبیر آب ایران
حسین دهقانی سانچ، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
سید حسین سجادی فر، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
غلامرضا کلائی، شرکت آب و فاضلاب مشهد
فریبا قنبری، شرکت آب و فاضلاب مشهد
سید حمید میرقاسمی، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی
محمود ارجمند شریف، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

اطلاعات نشر

کارشناس اجرایی: مهری شاهدهی، فاطمه طالبی حسین آباد
ویراستاری: مرجان قوچانیان، مهری شاهدهی، فاطمه طالبی حسین آباد (فنی وادبی)، مائده اسکوهی (لاتین)
صفحه آرای: محمد رضا شیخی
ترتیب انتشار، ناشر: فصلنامه، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
شماره شاپا چاپی: ۲۴۲۳۵۴۷۴ / ۲۷۱۷۳۳۲۱
تارنما، رایانامه: <https://jwsd.um.ac.ir> Email: jwsd@um.ac.ir
آدرس: دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دفتر نشریه، کدپستی ۹۱۷۷۵۱۶۳
حامی مالی نشریه: شرکت آب و فاضلاب مشهد
حامی مالی کنکاش: شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی
پایگاه‌های نمایه شده: پایگاه استنادی علوم ایران (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)
بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، agris.cabi.doa.gov، [google scholar](https://scholar.google.com)

این نشریه طبق نامه شماره ۱۳۹۴/۶/۲۹ مورخ ۳/۱۸/۱۳۹۳ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی دریافت نموده است. همچنین در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۵ 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.



فهرست مطالب

۱	(سرمقاله) رنج آب، تلاطم جامعه: درآمدی بر منازعات و مسیرهای مشارکت برای گذار از بحران علی باقری
۳	(یادداشت کوتاه) فناوری پوشش دهنده ضعف مدیریت آب کشور حسین دهقانی سانج
۵	بررسی وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام احسان فتحی، محمدرضا اختصاصی، علی طالبی، جمال مصفايي
۱۹	بررسی جامعه شناختی بحران آب در ایران: رویکردی تاریخی نهادی به علل ورود دولت به مدیریت منابع آب ایران در دوران معاصر مریم محمودی، حسین میرزایی، علی یوسفی، محمد فاضلی
۳۵	نقش حسابداری و حسابرسي آب در حکمرانی آب سیده محدثه طاهری، مسعود عبداله پور، کامران داوری
۶۱	تبیین سناریوهای ناشی از منازعات اجتماعی آب محور عراق بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق زکيه آفتابی، مراد کاویانی راد، حمید کاردان مقدم
۷۷	شناسایی پیشران های کلیدی حکمرانی آبخیز در بستر هیدروپلیتیک رودخانه هریرود احسان تمسکی، ساجد بهرامی جاف، جواد مومنی دمنه، سید محمد تاج بخش فخرآبادی
۹۳	زیست جهان شکننده کشاورزان در مواجهه با بحران و حکمرانی آب؛ تحلیل روایت کشاورزان شهرستان دهگلان حسین دانش مهر، عثمان هدایت
۱۰۷	بررسی و تحلیل چالش های آب شرب شهر کرمان در وضعیت موجود و آینده مجتبی سلیمانی دامن، حمیدرضا رخشانی نسب، حمید نظری پور
۱۳۱	تأثیر پهنه بندی شبکه توزیع آب در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه (مطالعه موردی: شهر دورود) پری ملکی، خشایار نامداریان
۱۴۳	تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح ایستابی و مصرف انرژی چاه های کشاورزی دشت رشتخوار حسین محمدزاده، مهدی ترشیزی
۱۵۹	شناخت روش ها و ابزارهای مدیریت هوشمند آبیاری و تأثیر آن ها در بهینه سازی مصرف آب آبیاری ایمان حاجی راد
۱۷۷	بهره گیری از روش های یادگیری ماشین: تخمین تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از شبکه های عصبی در استان خراسان رضوی زهرا شیرمحمدی، علی اکبرخانی
۱۹۳	مدل های تبخیر و تعرق در کشت های گلخانه ای: تحلیل داده ها و روش ها امید رجا، مسعود پارسی نژاد، افشین خورسند، بهداد چهره نگار
۲۱۶	(یادداشت تحلیلی) پایداری محاسباتی: محاسبات برای جهانی بهتر و آینده ای پایدار مترجم: محمد اسکندری نسب
۲۳۴	(یادداشت تحلیلی) تعارضات آبی: اهمیت مشارکت جامعه در مدیریت و کنترل تعارضات با تمرکز بر بازتعریف نقش دولت ابوذر حاتمی یزد، فاطمه روانخواه
۲۴۰	(یادداشت تحلیلی) ضرورت ایجاد یک چارچوب حکمرانی مشارکتی با تأکید بر نقش آفرینی جامعه محلی برای تحقق امنیت آبی در خراسان رضوی محبوبه فرزندی، کامران داوری، محمد حسن عفت پناه
۲۴۹	(یادداشت تحلیلی) مالکیت آب از منظر فقهی و حقوقی علیرضا آزاد، ابوذر حاتمی یزد



سرمقاله

علی باقری

عضو هیئت تحریریه / دانشیار
مهندسی منابع آب، دانشگاه
تربیت مدرس

رنج آب، تلاطم جامعه: درآمدی بر منازعات و مسیرهای مشارکت برای گذار از بحران

- دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۴: دولت اصلاحات با تأکید بر نقش مردم و نهادهای مدنی، نشانه‌های اولیه بحران آب را نمایان ساخت.
- دوره ۱۳۸۴-۱۳۹۲: تداوم بحران آب و شکل‌گیری اعتراضات گسترده‌تر.
- دوره ۱۳۹۲-۱۴۰۰: تشدید بحران و افزایش فراوانی اعتراضات، بدون پاسخگویی مؤثر.
- از سال ۱۴۰۰ به بعد، شاهد بازگشت به رویکردهای دهه ۶۰ و ۷۰ با انکار واقعیت‌های بحران آب بوده‌ایم.

یکی از عمیق‌ترین چالش‌های پیش رو، تغییر نگرش جامعه نسبت به دولت به عنوان نهاد حافظ خیر عمومی است. بی‌اعتمادی در امر حفاظت از این خیر عمومی، بستر شکل‌گیری جنبش‌های مدنی حول محور آب را فراهم کرده که در اشکال گوناگون - از اعتراضات خیابانی تا تشکیل نهادهای صنفی- متجلی شده‌اند.

در چارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM)، مشارکت ذی‌نفعان عموماً در شرایط وفور آب و با پیش‌فرض تقسیم «خیر» تعریف می‌شود. اما در شرایط کمبود آب کنونی ایران، مشارکت اغلب به معنای تقسیم «شر» است - یعنی توافق بر

بی‌شک بحران آب در ایران معاصر، تنها یک چالش زیست‌محیطی یا فنی نیست، بلکه نمادی از بحران حکمرانی و اعتماد به‌شمار می‌رود. بررسی سیر تحولات حکمرانی آب در ایران پس از انقلاب نشان می‌دهد که چگونه سیاست‌های مختلف دولتی، در تعامل با شرایط اجتماعی و اقتصادی، به تدریج به تشدید کم‌آبی و بروز نارضایتی‌های گسترده انجامیده است. این نوشتار با مروری بر تحولات حوزه حکمرانی آب در ایران پس از انقلاب، به تحلیل پویایی قدرت میان دولت و جامعه پرداخته و بر ضرورت بازتعریف مفاهیم تعارض و مشارکت واقعی ذی‌نفعان در مدیریت منابع آب، تأکید می‌کند. حکمرانی آب در ایران پس از انقلاب را می‌توان به پنج دوره متمایز تقسیم نمود:

- دوره ۱۳۵۷-۱۳۶۸: دولت رفاه با مأموریت بازتوزیع منابع، به دلیل شرایط جنگ، قادر به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبی نبود.
- دوره ۱۳۶۸-۱۳۷۶: همزمان با پایان جنگ، رویکرد توسعه زیرساخت‌ها و عرضه محوری با گرایش به خصوصی‌سازی، شکل گرفت.

سرکاهش دسترسی به آب- که ذاتاً همراه با تنش و نارضایتی است. این تعارض مفهومی نشان می‌دهد که شیوه‌های مشارکت باید با توجه به شرایط محلی، بازتعریف شوند. از این رو، تمایل و اصرار برای حضور در فرایندهای تصمیم‌گیری که بر سرنوشت بهره‌برداران تأثیر می‌گذارد، رو به فزونی است. بهره‌برداران محلی برای ورود به فرآیند تصمیم‌گیری از ابزارهای متعددی استفاده می‌کنند؛ از جمله ابزارهای اقتصادی (تهدید امنیت غذایی یا صنعتی)، ایجاد پشتوانه حقوقی (تشکیل اتحادیه‌ها و پیگیری قوانین)، فشار سیاسی (استفاده از نمایندگان مجلس یا شخصیت‌های سیاسی محلی)، فشار اجتماعی (اعتراضات، موج‌های رسانه‌ای، ایجاد نارضایتی) و ایجاد هزینه‌های اجتماعی (تخریب زیرساخت‌ها، نافرمانی مدنی).

مشاهدات حاکی از آن است که جنبش‌های مرتبط با آب سطحی، عموماً با ویژگی‌هایی چون خشونت، رفتارهای توده‌ای و خارج از چارچوب قانونی همراه هستند، در حالی که جنبش‌های مربوط به آب زیرزمینی - با ساختار حقوقی مشخص‌تر- معمولاً از طریق تشکیل تشکلهای، گفتگو و تعامل با مسئولان پیش می‌روند.

دولت نیز در برابر این جنبش‌ها، واکنش‌های مختلفی نشان داده است؛ از جمله تعامل محدود و اعطای امتیازات موقت، اختلال در جریان‌های اجتماعی، سرکوب قضایی و امنیتی‌سازی مسئله آب.

تداوم این تنازع قدرت - بین جامعه و دولت- منجر به تشدید رویکرد عرضه‌محوری و غفلت از مدیریت تقاضا شده است. فشار برای تأمین آب بیشتر، خود تقاضا را افزایش داده و چرخه معیوب کم‌آبی را تشدید می‌کند. در این فرآیند، منابع آب بیش از پیش تخریب می‌شوند.

با این حال، این فضای تنازع می‌تواند به فرصتی برای توسعه ظرفیت تبدیل شود. با مداخلات هوشمند - مانند تمرکززدایی، تحول در مدیریت محلی آب، بهبود تنظیم‌گری و تناسب بخشی در توزیع قدرت- می‌توان فرایندهای حکمرانی آب را به سمت مثبت هدایت کرد. از آنجا که مسئله آب را نمی‌توان به صورت

سراسری حل کرد، بر راهبرد مسئله‌محور با اقدام در مقیاس محلی به صورت پایلوت‌های متنوع، تأکید می‌شود. اجرای پایلوت‌های محلی، فرصت عملی را برای توانمندسازی نهاد حکومت در جهت تقویت توانایی حل مسأله آب، فراهم خواهد کرد. از این رهگذر می‌توان انتظار داشت تعارض منافع موجود، شناسایی و با اصلاح ساختارها نسبت به رفع آن اقدام شود، توانمندی جامعه ارتقا یابد، ظرفیت مدیریت بین‌بخشی در دولت تقویت گردد، گسست‌های موجود در نظام سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کشور مرتفع شود و به سمت انسجام در سیاست‌گذاری حرکت کرد. این موارد به اصلاح و ارتقای نظام حکمرانی آب منجر خواهند شد که البته به صورت فرایندی تدریجی و از طریق تمرین و درگیر کردن انواع طرف‌های متعارض دولتی و غیردولتی در مسائل محلی میسر خواهد شد. دستاورد این فرایند، توانمندسازی حکمرانی برای مدیریت مناقشات فروملی آب‌محور و تقویت ظرفیت دولت و جامعه برای تعامل دوطرفه و جلب مشارکت اجتماعی خواهد بود.

بحران آب در ایران نیازمند بازاندیشی جدی در مفاهیم حکمرانی و مشارکت است. به جای تکیه بر الگوهای سنتی -که مبتنی بر اعتماد و وفاق هستند- باید مدل‌های بومی‌تری از مشارکت توسعه داد که تنش ذاتی در شرایط کم‌آبی را به رسمیت می‌شناسند.

ظرفیت‌سازی نهادهای محلی، شفافیت در توزیع قدرت و پذیرش نقش جامعه در تصمیم‌گیری، می‌تواند راه برون‌رفتی از این چالش چندبعدی باشد. البته قابل درک است که بسیاری از اقدامات در چارچوب راهبردهای مطرح شده، با توجه به شرایط فعلی سیاسی، امنیتی، اجتماعی و محدودیت‌های اقتصادی کشور، در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نیست. از این رو، توصیه می‌شود برای آغاز، چند طرح پایلوت در قالب مسائل محلی - به‌ویژه در بخش‌های تحت مدیریت دولت یا نهادهای عمومی- انتخاب شده و هماهنگی و مشارکت دستگاه‌های ذی‌ربط و جامعه محلی در حل آن مسائل در دستور کار قرار گیرد.



یادداشت کوتاه

حسین دهقانی سانج
عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات
فنی و مهندسی کشاورزی

فناوری پوشش دهنده ضعف مدیریت آب کشور

غذایی و تجارت است. مشاهده می‌شود، در شرایطی که بخش کشاورزی مصرف‌کننده اصلی بخش آب کشور است، ضعف در مدیریت منابع آب و تخصیص نامناسب چگونه می‌تواند امنیت کشور را تحت‌الشعاع قرار دهد.

یک واحد تولیدی، با اعتماد به پروانه بهره‌برداری آب که باید بر شاخص‌های پایداری استوار باشد، سطح سرمایه‌گذاری خود را در بخش‌های مختلف مانند مصرف آب، انتخاب مصرف‌کننده آب (مانند گیاه، دام، طیور، شیلات، محیط تولید)، نهاده‌های کشاورزی، پایداری خاک، مدیریت آفات و بیماری‌ها، عملیات کاشت، داشت و برداشت، ارتباط با بازار، کاهش ضایعات، سازگاری با اقلیم و هوشمندسازی، تعیین می‌کند. بیان این شاخص‌ها برای این است که بدانیم در خصوص محیطی اظهارنظر می‌کنیم که عوامل متعددی باید هماهنگ عمل کنند تا تولیدی اقتصادی و پایدار محقق شود.

در واحدهای تولیدی زراعی و باغی و یا محیط‌های کنترل‌شده، استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای مانند انواع سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به‌منظور افزایش بهره‌وری آب، انرژی و سایر نهاده‌های کشاورزی، از سوی تمامی مؤسسات ملی و بین‌المللی و دانشگاهی مرتبط توصیه شده است. حتی امروزه تلاش و توصیه می‌شود که این سامانه‌ها به فناوری‌های

زمانی که آب بر اساس مدیریت تخصیص به ورودی یک فعالیت کشاورزی می‌رسد، در واقع وارد یک محیط زنده مانند زراعت، باغ، دام‌پروری، شیلات، مرغداری، محیط کنترل‌شده مانند گلخانه می‌شود، میزان آب ورودی به این فعالیت‌های اقتصادی به‌عنوان یک «حقوق» و در قالب پروانه بهره‌برداری آب تعریف می‌شود، پروانه‌ای که انتظار می‌رود به پشتوانه شاخص‌هایی شامل دانش حسابداری آب، پیش‌بینی‌های اقلیمی، بیلان آب، پیوند آب - انرژی - غذا - محیط‌زیست، برای آن واحد تولیدی صادر شده باشد.

پروانه بهره‌برداری آب یک واحد تولیدی، نماد اعتماد به بخش آب کشور است؛ زیرا بر اساس آن، سرمایه‌گذاری در واحد تولیدی شکل می‌گیرد، اشتغال‌زایی و معیشت تعریف می‌شود و سایر برای برای پایداری و افزایش اثربخشی در زمینه‌هایی مانند تحقیق، آموزش، ترویج، توانمندسازی، مکانیزاسیون، تجهیزات، تأمین نهاده‌ها، تسهیلات، مشوق‌ها و سایر فعالیت‌های مرتبط با تولید، معنی پیدا می‌کند. مهم‌تر از آن، تشکیل زنجیره بعد از تولید است که در راستای امنیت غذایی و سلامت جامعه شکل می‌گیرد. این زنجیره شامل کلیه فعالیت‌های آموزشی، پژوهشی و همچنین اقتصادی مانند سردخانه‌ها، حمل‌ونقل، بازار، کارخانه‌های تولیدی مواد

هوشمندسازی و هوش مصنوعی تجهیز شوند و با توجه به متغیرهایی مانند اقلیم و شاخص‌های رشد، مصرف نهاده‌ها را نیز بیشتر کاهش دهند.

بررسی حسابداری آب در واحدهای تولیدی زراعی و باغی نشان می‌دهد که سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تلفات غیرمفید آب را بسته به شرایط واحد تولیدی تا ۲۷ درصد کاهش می‌دهند. این سامانه‌ها با کاهش تبخیر از سطح خاک و تعرق غیرمفید، نه تنها مصرف آب را کم می‌کنند، بلکه به طور معنی‌داری بهره‌وری آب و سایر نهاده‌ها را نیز افزایش می‌دهند. گاهی گفته می‌شود که روش‌های آبیاری قطره‌ای منجر به افزایش مصرف مفید آب می‌شوند که این خود نوعی صرفه‌جویی است، زیرا که از تبخیر آب و تعرق غیرمفید توسط گیاهان و آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری می‌کند.

به همه تصمیم‌گیران سیاسی، بودجه‌ای، اجرایی و پژوهشی یادآوری می‌شود، پروانه بهره‌برداری آب برای یک واحد تولیدی به معنی اعتماد به سیستم مدیریت آب کشور، برای سرمایه‌گذاری است. حال اگر واحدهای تولیدی کشاورزی با سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های مختلف، مصرف آب را کاهش دهند و خطاهای مدیریت تأمین و تخصیص منابع آب را کم کنند، باید مورد تشویق و حمایت بیشتری قرار گیرند.

مدیریت منابع آب در زمینه تخصیص و صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی موفق نبوده است و شاید وقت آن رسیده که آگاهانه و هدفمند، سرمایه‌گذاری‌ها و تخصیص بودجه از فعالیت‌های منابع آبی به سمت فناوری‌ها و مداخلاتی سوق داده شود که هم کاهش واقعی مصرف آب را تضمین می‌کنند و هم بهره‌وری و پایداری (اقتصادی، اجتماعی، معیشتی، اقتداری، اشتغال‌زایی، توسعه فناوری) را به همراه دارند. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) با بررسی، مطالعه و جمع‌بندی ۶۹ مقاله و نشریات علمی، در گزارشی با عنوان «راهنمای درک صرفه‌جویی واقعی در مصرف آب از طریق اقدامات مؤثر در ارتقای بهره‌وری محصول» که توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز مطالعات کشاورزی و آب اتاق ایران نیز ترجمه و ارائه شده است، بیان کرده که روش‌های آبیاری قطره‌ای، مدیریت آبیاری و کم‌آبیاری تنظیم‌شده، تقویم زراعی، کاهش دوره رشد گیاهان، کشت

نشایی و راهکارهای مشابه، مؤثرترین فناوری‌ها و مداخلات برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی هستند و بسته به شرایط می‌توانند ۱۰ تا ۲۷ درصد کاهش واقعی مصرف را به همراه داشته باشند. مرکز تحقیقات بین‌المللی برای اصلاح ذرت و گندم (سیمیت)، در جمع‌بندی عملکرد ۵۰ ساله خود در کشورهای مختلف از جمله ایران، برای تولید گندم در محیط‌های بهینه، شرایط خشک‌سالی و یا وجود تنش گرمایی، اشاره داشته است که استفاده از سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، ضمن افزایش پتانسیل عملکرد، استفاده معقولی از منابع آب را به همراه دارد. با حمایت وزارت جهاد کشاورزی تاکنون ۱/۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی به سامانه‌های آبیاری قطره‌ای تجهیز شده است. در همین راستا تاکنون بیش از ۱۱۰ پروژه پژوهشی استانی و ملی بر روی استانداردسازی، بومی‌سازی، پایش و ارزیابی، امکان‌سنجی بر روی محصول و شرایط کُتی و کیفی منابع آب و خاک و اقلیم و اثربخشی این سامانه‌ها، تنها در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی از مؤسسات سازمان تات اجرایی و نتایج آن، به دستگاه‌های اجرایی منتقل شده است.

باید بپذیریم دانش کشور در زمینه تأمین و تخصیص و مصرف آب در بخش‌های مختلف شرب، صنعت، کشاورزی و محیط‌زیست طی ۵۰ دهه گذشته به‌شدت تغییر کرده است و در مسیر پایداری و استفاده بهتر از منابع تلاش شده است. بخش کشاورزی نیز در شرایط فعلی، تمرکز بر توسعه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای دارد که از میزان تلفات تبخیری بسیار پایینی برخوردار است و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به حداقل ممکن رسیده است.

جمع‌بندی می‌شود که تخصص‌هایی که آشنایی و تسلط لازم با رابطه آب و خاک و گیاه را ندارد، از اظهارنظر در خصوص سامانه آبیاری قطره‌ای، این فناوری پیچیده و مهم باید پرهیز کنند و سیاست‌مداران و تصمیم‌گیران و آینده کشور را به انحراف نکشند. استفاده از آبیاری قطره‌ای در کشاورزی برای شرایط خشک‌سالی و تنش‌های گرمایی، رویکردی است که جهان به آن دست‌یافته و دولت‌ها و بخش خصوصی بر آن متمرکز شده‌اند و باید مورد هدایت و حمایت قرار گیرد.

Article Type

Case Study

مطالعه موردی

نوع مقاله

Assessment of Water Resource Governance Status in the Ilam Dam Watershed

بررسی وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام

E. Fathi¹, M. R. Ekhtesasi^{2*}, A. Talebi³, J. Mosaffaie⁴

احسان فتحی^۱، محمدرضا اختصاصی^{۲*}، علی طالبی^۳، جمال مصفاپی^۴

1, 2- Ph.D. Student in Watershed Sciences and Engineering, and Professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran. 3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز و استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. ۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. ۴- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

Corresponding Author Email: Mr_Ekhtesasi@yazd.ac.ir

*رایانامه نویسنده مسئول: Mr_Ekhtesasi@yazd.ac.ir

Received 24-11-2024
Revised 19-01-2025
Accepted 24-01-2025
Available Online 15-08-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۹/۰۴
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۱/۰۵
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۵/۲۴

Abstract

چکیده

This study examines the state of water resources governance in the Ilam Dam watershed. Water resource governance is a multifaceted concept involving interactions between institutional factors, public support, and adaptability to future changes. To evaluate these factors, questionnaires were designed and distributed among three main groups: managers, experts, and watershed residents. The results from the data analysis indicate that in terms of public support, the average scores given by managers, experts, and residents were 3.92, 3.84, and 3.78, respectively, indicating a good status but highlighting the need for increased awareness and more active public participation. The institutional factor, with average scores of 3.62 for managers and experts and 3.50 for residents, also shows a good status. These results reflect the relative efficiency of existing institutions, but there is a need for further strengthening, increased transparency, and accountability. The adaptability factor, with average scores of 3.98 for managers, 3.86 for experts, and 3.65 for residents, indicates a relatively good ability to face future changes and challenges. However, the lower scores from residents highlight the need for greater focus on empowering the local community and improving early warning systems. According to the results, the overall state of water governance from the perspective of managers, experts, and residents of the watershed was evaluated as good, with scores of 3.84, 3.77, and 3.64, respectively. Enhancing public engagement, strengthening managerial institutions, and improving the adaptive capacities of the local community can contribute to better water resource governance and sustainable development.

این مطالعه وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام را بررسی می‌کند. حکمرانی منابع آب یک مفهوم چندبعدی است که شامل تعاملات بین عوامل نهادی، حمایت مردمی و سازگاری با تغییرات آینده می‌باشد. برای ارزیابی این عوامل، پرسش‌نامه‌هایی طراحی و بین سه گروه اصلی شامل مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز توزیع شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در زمینه حمایت مردمی، میانگین امتیازات داده شده توسط مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه به ترتیب ۳/۹۲، ۳/۸۴ و ۳/۷۸ بوده که نشان‌دهنده وضعیت خوب اما با نیاز به افزایش آگاهی و مشارکت فعال‌تر مردم است. عامل نهادی نیز با میانگین امتیازات ۳/۶۲ برای مدیران و کارشناسان و ۳/۵۰ برای ساکنین، در وضعیت خوب قرار دارد. این نتایج بیانگر کارآمدی نسبی نهادهای موجود است، اما نیاز به تقویت بیشتر، افزایش شفافیت و پاسخگویی وجود دارد. عامل سازگاری، با میانگین امتیازات ۳/۹۸ برای مدیران، ۳/۸۶ برای کارشناسان و ۳/۶۵ برای ساکنین حوزه، نشان‌دهنده توانایی نسبتاً خوب در مواجهه با تغییرات و چالش‌های آینده است. با این حال، امتیازات پایین‌تر ساکنین حوزه، نیاز به توجه بیشتر به توانمندسازی جامعه محلی و بهبود سیستم‌های هشدار اولیه را برجسته می‌کند. بر اساس نتایج، وضعیت نهایی حکمرانی آب از دیدگاه هر سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز به ترتیب با امتیاز ۳/۸۴، ۳/۷۷ و ۳/۶۴ خوب ارزیابی شده است. افزایش تعامل مردمی، تقویت نهادهای مدیریتی و بهبود ظرفیت‌های انطباقی جامعه محلی می‌تواند به بهبود حکمرانی منابع آب و توسعه پایدار کمک می‌کند.

Keywords: Water Governance, Watershed, Public Support, Adaptability, Institutional Factors.

واژه‌های کلیدی: حکمرانی آب، حوزه آبخیز، حمایت مردمی، سازگاری، عوامل نهادی.

How to cite this article:

Fathi, E., Ekhtesasi, M. R., Talebi, A., & Mosaffaie, J. (2025). Assessment of Water Resource Governance Status in the Ilam Dam Watershed. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 5-18. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2411-1383>

آب یک عنصر بسیار مهم برای ثبات اجتماعی و توسعه اقتصادی است. برخورداری از آب سالم برای نیازهای انسان اساسی و برای توسعه هر کشور، جامعه یا تمدن ضروری است. یکی از چالش‌های جهانی، کمبود منابع آب است که ناشی از شرایط و تهدیدات طبیعی، افزایش جمعیت، تغییر اقلیم، توسعه کشاورزی، آلودگی منابع آبی و توسعه‌ی کشورهای بوده که این چالش در کمربند خشک زمین حادث‌تر است (Cao و همکاران، ۲۰۲۳).

سالانه حدود ۸۰ میلیون نفر به جمعیت جهان افزوده می‌شود و مصرف آب در جهان نیز به‌طور متوسط سالانه یک درصد افزایش می‌یابد (UNESCO، ۲۰۱۸). تأمین آب سالم برای همه و مدیریت آب برای داشتن یک محیط‌زیست پایا، هدفی مشترک در سرتاسر جهان است که با چالش‌های متعددی روبه‌رو است؛ تنها مسیر برای تحقق این هدف، داشتن نظام‌های حکمرانی مطلوب آب است، زیرا کلید دستیابی به جامع‌نگری در سه بخش سیاست، مقررات و توانمندسازی برای هماهنگ‌سازی اهداف مختلف مدیریت منابع آب محسوب می‌شود (قربانی، ۱۳۹۸). درک عوامل موثر بر چرخه آب و مدیریت، موضوعی است که بسیار مورد توجه محافل بین‌المللی بوده و جمع‌بندی‌ها بر این توافق قرار گرفته است که سیستم‌های اجتماعی و سازوکارهایی که بر چرخه آب تأثیر دارند، فراتر از مدیریت آب هستند و موضوع بحران آب باید در چارچوب نهادها و سیستم‌های اجتماعی بررسی شود که به این سیستم‌ها، حکمرانی آب گفته می‌شود (صرامی‌فروشان و همکاران، ۱۴۰۰). در تعریفی دیگر، حکمرانی مجموعه‌ای از قوانین و سنت‌ها است که حاکمان در چارچوب آن در راستای دستیابی به پایداری نهادهای اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و حتی محیط‌زیستی عمل می‌کنند. حکمرانی از سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری شروع و تا اجرا و نظارت ادامه دارد.

در تشریح مفهوم حکمرانی آب، شاید شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین تعریف، مربوط به مشارکت جهانی آب باشد؛ حکمرانی مجموعه‌ای از نظام‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اجرایی موجود است که توسعه و مدیریت منابع آب و ارائه خدمات آب در سطوح مختلف جامعه را تنظیم می‌نماید (Partnerships، ۲۰۰۰). در گزارش سازمان ملل برای حکمرانی آب چهار بعد تعریف شده است: بعد اجتماعی به‌منظور استفاده عادلانه، بعد اقتصادی به‌منظور استفاده کارآمد، بعد محیط‌زیستی به‌منظور استفاده پایدار، بعد سیاسی به‌منظور استفاده فرصت‌های برابر که هریک از این ابعاد در

نظام حکمرانی آب سه سطح دولت، جامعه مدنی و بخش خصوصی را شامل می‌شود (مرتضی پور و همکاران، ۱۳۹۸). مدیریت و حکمرانی لازم و ملزوم هم بوده، بدون حکمرانی مناسب در بخش آب، ابزارهای مدیریتی موثر نخواهد بود (صرامی‌فروشان و همکاران، ۱۴۰۰). در بحث حکمرانی آب در سطح کلان دو رویکرد مشخص وجود دارد. رویکرد اول، مدیریت بالا به پایین است که در این شیوه، دولت و یا حکومت، تصمیم‌گیرنده و اجراکننده اصلی سیاست‌های مدیریتی بدون مشارکت واقعی ذی‌نفعان محلی در فرآیند سیاست‌گذاری‌های مدیریتی و مراحل اجرایی آن‌ها است. در مقابل، رویکرد دوم شیوه مدیریتی پایین به بالا است که می‌تواند به‌صورت کامل این شرایط را به نفع ذی‌نفعان محلی و حفظ منابع طبیعی از جمله منابع آب تغییر دهد و شفافیت را به مدیریت صحیح منابع آب بازگرداند (میرزایی، ۱۳۹۵). با تشدید بحران‌های جهانی آب و اثبات ناکارآمدی رویکردهای سازه‌ای و دولت محور حاکم بر سیاست‌گذاری منابع آب، از زمان برگزاری دومین مجمع جهانی آب در لاهه (۲۰۰۰) و سپس کنفرانس بن (۲۰۰۱) این عقیده در بین متخصصان پذیرفته شده است که بحران آب به دلیل کمیابی آب در طبیعت نیست، بلکه به خاطر سوء مدیریت و حکمرانی ضعیف منابع آب است (Rogers و همکاران، ۲۰۰۵؛ UN، ۲۰۰۶؛ OECD، ۲۰۱۱ و صمدی‌فروشان، ۱۴۰۱).

رویکردهای مختلفی توسط پژوهشگران جهت بررسی حکمرانی منابع آبی در جهان توسعه و به‌کار برده‌اند. در این راستا مطالعه حاضر، به بررسی توانایی دولت و سایر دست‌اندرکاران برای مدیریت و برنامه‌ریزی بخش آب در حوزه آبخیز سد ایلام می‌پردازد. حکمرانی منابع آب به‌عنوان یک مفهوم چند بعدی، نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع آب ایفا می‌کند. این مفهوم شامل تعاملات بین عوامل مختلف از جمله حمایت مردمی، عوامل نهادی و ظرفیت سازگاری با تغییرات است. حمایت مردمی نشان‌دهنده میزان آگاهی، مشارکت و همکاری جامعه محلی در اجرای سیاست‌های مدیریت منابع آب است و بدون آن، اجرای موفقیت‌آمیز برنامه‌های مدیریت آب امکان‌پذیر نخواهد بود. از سوی دیگر، سازگاری به معنای توانایی سیستم حکمرانی در انطباق با چالش‌های پیش‌رو، مانند تغییرات اقلیمی و بحران‌های آبی است. همچنین، عامل نهادی یکی از ارکان اساسی حکمرانی به‌شمار می‌رود که به ساختارها، قوانین، سیاست‌گذاری‌ها و کارآمدی نهادهای مدیریتی در تصمیم‌گیری و اجرای برنامه‌های مرتبط با منابع آب اشاره دارد. نهادهای کارآمد و شفاف که

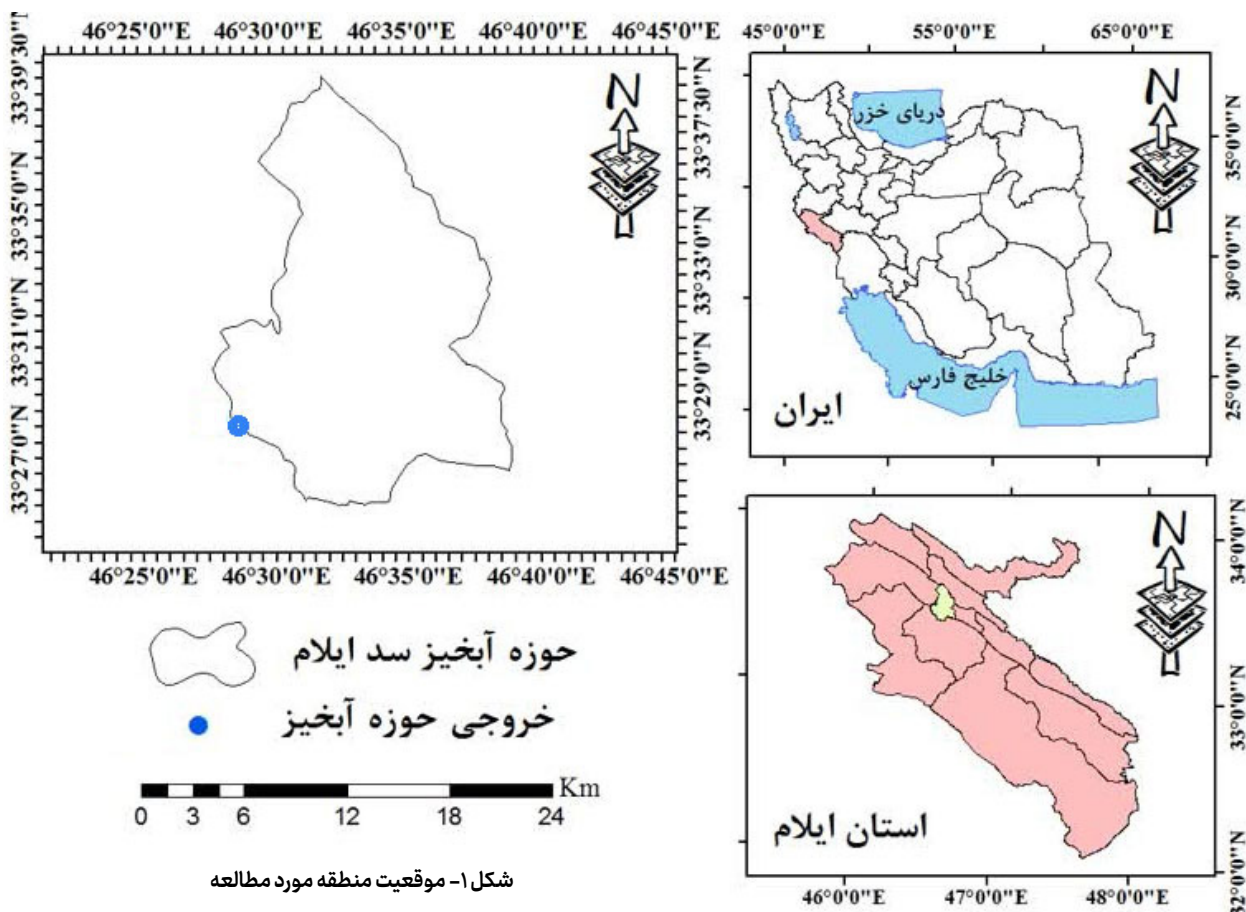
از پاسخگویی و همکاری بین‌بخشی برخوردارند، می‌توانند زمینه لازم برای مدیریت بهینه و پایدار منابع آب را فراهم کنند. توجه هم‌زمان به این عوامل (حمایت مردمی، عوامل نهادی و سازگاری) می‌تواند در بهبود کارآمدی حکمرانی آب مؤثر بوده و زمینه‌ساز توسعه پایدار در مناطق تحت مدیریت شود. پژوهش‌های بسیاری در زمینه حکمرانی انجام شده است که نشان می‌دهد پژوهش‌های مرتبط با این موضوع در ابعاد مختلف گسترش یافته و حجم قابل توجهی از مطالعات علمی در سراسر جهان بر روی این موضوع تمرکز دارند. این نشان می‌دهد که حکمرانی یک موضوع نوآورانه است که جامعه علمی جهانی به آن توجه زیادی دارد. از جمله این مطالعات می‌توان به مواردی که در ادامه بیان شده اشاره کرد. Gain و Schwab (۲۰۱۲) روندهای حکمرانی آب با استفاده از معیارهای نشانگر جنبه‌های قانونی، سیاسی و اجرایی در بنگلادش را ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آن‌ها نشان دهنده وجود فاصله و شکاف بین سیستم حکمرانی آب موجود و روند برنامه‌ریزی شده در اسناد سیاسی می‌باشد که این فاصله و شکاف در طول زمان گسترش یافته است. Green و همکاران (۲۰۱۳) حکمرانی منابع آب در مقیاس‌های مختلف در حوزه آبخیز اوکاوانگو را ارزیابی نمودند. نتیجه پژوهش ایشان بر موفقیت حکمرانی محلی آب و اجرای مدیریت مشارکتی منابع آب به دلیل توانمندسازی جوامع محلی، رعایت حق مالکیت ذی‌نفعان و مشارکت آنان دلالت دارد. Lalika و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با رویکرد پیمایشی به بررسی چالش‌های حکمرانی آب در حوزه آبخیز پنگانی (Pangani) تانزانیا پرداختند. چالش‌های حکمرانی آب شامل عدم تأثیر و ناهماهنگی ساختارهای نهادی حکمرانی آب و مدیریت مالی غیرقابل اعتماد بود. نتایج نشان داد ایجاد ارتباط بین کاربران آب نتایج مثبتی به همراه دارد. همچنین راهبردها و سیاست‌های بهبود خدمات، باید در جهت بهبود رفاه جوامع محلی باشد. میرنظامی و باقری (۱۳۹۶) سیستم حکمرانی آب در فرایند حفاظت از منابع آب زیرزمینی ایران را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که نه تنها سیستم حکمرانی از عدم جامعیت و توسعه یافتگی در تمامی مؤلفه‌های پنج‌گانه حکمرانی (شامل سطوح و مقیاس‌ها، کنشگران و شبکه‌ها، نگرش به مسئله و اهداف غایی، استراتژی‌ها و ابزار و نهایتاً منابع مالی و انسانی) رنج می‌برد، بلکه از نظر همبستگی و انسجام (هماهنگی) نیز در تمام پنج مؤلفه شرایط نامطلوبی دارد. یزدان‌پرست و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به‌منظور تجزیه و تحلیل جامع مسئله بحران آب و پیامدهای ناشی از کم‌آبی در حوزه آبخیز

دشت نیشابور از شاخص امنیت آب استفاده کردند. جهت انجام این مطالعه پنج معیار در دسترس بودن آب، اقتصاد آب، خطرات آب، سلامت حوزه آبخیز و حکمرانی آب را ارزیابی شد. براساس نتایج در بین ۵ معیار اصلی شناسایی شده جهت ارزیابی امنیت آب، معیار اقتصاد آب بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. اما به‌طورکلی روند وضعیت امنیت آب کلی در حوزه آبخیز دشت نیشابور طی ۱۰ سال گذشته روند کاهشی داشته و در وضعیت ضعیف قرار گرفت. همچنین نتایج بررسی عامل حکمرانی نشان داد که توجه به پیشران‌های تغییر و برنامه‌ریزی برای طی کردن مراحل تغییر و رسیدن به سطح مناسبی از وفاق ملی و محلی ضروری است. بررسی مطالعات نشان می‌دهند که آب، برای توسعه پایدار بسیار اهمیت دارد. این اهمیت شامل بقای انسان، توسعه اقتصادی-اجتماعی و حفظ اکوسیستم‌های سالم می‌باشد. به‌عنوان مثال، آب برای کشاورزی، صنعت، تولید انرژی، حفظ تنوع زیستی و بهداشت عمومی بسیار حیاتی است. از این رو، حفظ منابع آب و استفاده بهینه از آن برای اهداف مختلف، از جمله اهداف توسعه پایدار، ضروری است. کمیابی آب، می‌تواند مانع توسعه و باعث کمبود مواد غذایی و همچنین ایجاد درگیری‌هایی شود که اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و اکوسیستم دارند. بنابراین تعادل بین تقاضا و تأمین آب یک مسأله کلیدی در مدیریت منابع آب حوزه‌های آبخیز است (Notter و همکاران ۲۰۱۲). بحران کمبود آب نه تنها بر ابعاد محیط‌زیستی بلکه بر ابعاد اجتماعی و اقتصادی جوامع محلی تأثیرات قابل توجهی دارد. کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش مهاجرت، بیکاری و مشکلات بهداشتی از جمله پیامدهای جدی بحران‌های آبی هستند که می‌تواند به بی‌ثباتی اجتماعی و اقتصادی در جوامع محلی منتهی شود. حوزه آبخیز سد ایلام یکی از مهم‌ترین و بااهمیت‌ترین حوزه‌های آبخیز بخصوص از نظر تأمین منبع آبی برای ساکنان منطقه است. بنابراین، بررسی حکمرانی منابع آب در این حوزه آبخیز امری حیاتی و اساسی برای تأمین نیازهای آب شرب و کشاورزی ساکنان این حوزه آبخیز است. نتایج چنین پژوهشی می‌تواند به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران جهت حفظ تعادل اکولوژیک و تأمین پایدار منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام کمک نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد ایلام با مساحت ۲۵۵۳۰ هکتار در استان ایلام قرار گرفته و از نظر موقعیت بین ۴۴° ۱۶' ۴۶" تا ۴۴° ۱۸' ۲۴"



(Lautze, ۲۰۱۴). در شکل (۲) چهارچوب حکمرانی آب ارائه شده است (اسکوهی و اسماعیلی، ۱۴۰۰).



شکل ۲- چهارچوب حکمرانی آب (اسکوهی و اسماعیلی، ۱۴۰۰)

۴۶۰ طول شرقی و ۳۳° ۱۹' ۴" تا ۳۳° ۳۲' ۱۲" عرض شمالی قرار دارد. بر این اساس حداکثر ارتفاع حوزه آبخیز ۲۶۰۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۰۵۲ متر از سطح دریا می‌باشد. ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۸۲۸ متر و شیب متوسط حوزه آبخیز نیز ۲۰ درصد می‌باشد. حوزه آبخیز در دامنه جنوبی کبیرکوه قرار گرفته و یکی از سرشاخه‌های مهم و اصلی تامین آب سد ایلام می‌باشد (توکلی و همکاران، ۱۳۹۷). متوسط بارش سالانه در حوزه آبخیز در دوره آماری سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ حدود ۵۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای حداکثر و حداقل نیز به ترتیب ۲۳/۲۵ و ۱۱/۰۶ درجه سانتیگراد است. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

بررسی حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام

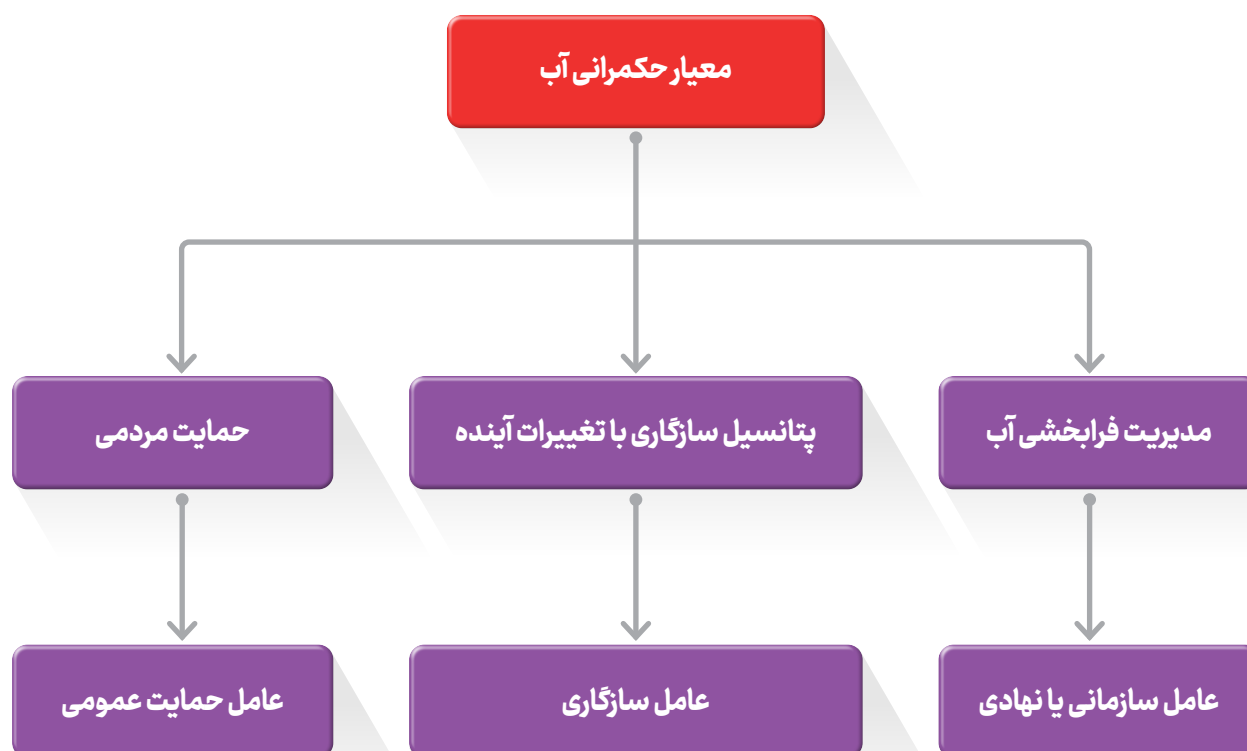
چارچوب حکمرانی آب ارائه شده توسط برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP, ۲۰۱۲) شامل ۴ بعد اساسی شامل چهار بعد اساسی: اجتماعی (کاربرد منصفانه)، اقتصادی (کاربرد بهینه)، محیطی (کاربرد پایدار) و سیاسی (مشارکت‌گروداران) می‌باشد که ستون‌های چهارگانه حکمرانی آب را تشکیل می‌دهند

جدول ۱- چهارچوب ارزیابی حکمرانی آب (Shine و Babel، ۲۰۱۸)

معیار	شاخص	متغیر	روش محاسبه
حکمرانی آب	مدیریت فرابخشی آب	عامل سازمانی یا نهادی	پرسش‌نامه
	پتانسیل سازگاری با تغییرات آینده	عامل سازگاری	پرسش‌نامه
	حمایت مردمی	عامل حمایت عمومی	پرسش‌نامه

به‌منظور ارزیابی وضعیت کنونی حکمرانی آب از سه شاخص استفاده شد (جدول ۱). شاخص اول مدیریت فرابخشی آب است که مدیریت کلی حوزه آبخیز را به تصویر می‌کشد. این موضوع از طریق متغیر عامل سازمانی اندازه‌گیری می‌شود که براساس پرسش‌نامه‌ای که شیوه‌های مدیریتی نهادهای اصلی مرتبط با آب حوزه آبخیز را ارزیابی می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. دومین شاخص، شاخص پتانسیل سازگاری با تغییرات آینده است که توانایی حوزه آبخیز را برای مقابله با فشار احتمالی بر امنیت آب ارزیابی می‌کند. این موضوع از طریق متغیر عامل سازگاری اندازه‌گیری می‌شود، که از طریق پرسش‌نامه برای بررسی اینکه آیا محرک‌های بلندمدت امنیت

آب در برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه بخش آب در نظر گرفته شده‌اند یا خیر، اندازه‌گیری می‌شود. سومین شاخص حمایت مردمی است که از طریق متغیر عامل حمایت عمومی و با استفاده از پرسش‌نامه اندازه‌گیری می‌شود. این سه شاخص به‌طور جامع ابعاد مختلف حکمرانی منابع آب در سطح حوزه آبخیز را پوشش داده و انتخاب آن‌ها با توجه به نقش حیاتی هر بعد در موفقیت حکمرانی منابع آب صورت گرفته است. این شاخص‌ها به‌طور همزمان به ارزیابی وضعیت فعلی، شناسایی چالش‌ها و فرصت‌ها، و ارائه پیشنهادات عملی برای بهبود حکمرانی آب در حوزه آبخیز کمک می‌کنند. شکل (۳) مدل مفهومی ارزیابی وضعیت حکمرانی آب را نشان می‌دهد.



شکل ۳ - مدل مفهومی ارزیابی حکمرانی آب

بررسی گویه‌های مربوط به عامل نهادی،

سازگاری و عامل حمایت مردمی از منابع آب

جهت انجام این پژوهش مصاحبه‌های متعددی با سه گروه کارشناسان، مدیران و معاونان دستگاه‌های مختلف اجرایی و دولتی مرتبط با محیط‌زیست، منابع طبیعی و منابع آب و ساکنان حوزه آبخیز صورت گرفت و نتایج سه گروه با هم مقایسه خواهد شد. به‌طوریکه در این نظرسنجی از نظرات ۵۶ نفر استفاده شده است. به‌این‌منظور از پرسش‌نامه‌های با طیف لیکرت مبتنی بر روش شناسه‌گزار چند پاسخی، از نوع متغیرهای ترتیبی کیفی با امتیازدهی خیلی کم (۱)، کم (۲)، متوسط (۳)، زیاد (۴)، خیلی زیاد (۵) استفاده شد که شامل ۱۵ سوال درباره سه عامل اصلی حکمرانی منابع آب (عوامل نهادی، حمایت مردمی و سازگاری

با تغییرات) بود. برای تحلیل نتایج، از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی استفاده شد و میانگین امتیازات پاسخ‌دهندگان محاسبه شد. نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی طبقه‌ای انجام شد و از سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز به‌طور متناسب نمونه‌هایی انتخاب شدند. توزیع فراوانی جامعه آماری جهت تعیین مهم‌ترین عوامل داخلی و خارجی در جدول (۲) آورده شده است. در جدول (۳) نیز طبقه‌بندی وضعیت آب ارائه شده است. پرسشنامه برآورد متغیرهای عامل نهادی، عامل سازگاری و عامل حمایت عمومی جهت بررسی حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام با پنج طیف در نظر گرفته نشده (۱)، در حال بررسی و توسعه (۲)، در جای خود قرار دارد اما هنوز اجرا نشده (۳)، تا اندازه‌ای اجرا شده (۴) و کاملاً اجرا شده (۵) در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۲- توزیع فراوانی جامعه آماری حوزه آبخیز سد ایلام

جامعه آماری	تعداد	درصد فراوانی
مدیران و معاونان دستگاه‌های اجرایی	۸	۱۴/۲۸
کارشناسان دستگاه‌های اجرایی	۱۶	۲۸/۵۸
ساکنین حوزه آبخیز	۳۲	۵۷/۱۴

جدول ۳- طبقه‌بندی وضعیت حکمرانی آب

متغیر	۱-۰	۱-۲	۲-۳	۳-۴	۴-۵
عامل حمایت مردمی	خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب
عامل نهادی	خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب
عامل سازگاری	خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب
وضعیت نهایی حکمرانی آب	خیلی بد	بد	متوسط	خوب	خیلی خوب

جدول ۴- پرسشنامه برآورد متغیرهای عامل نهادی، عامل سازگاری و عامل حمایت عمومی

ردیف	گویه‌های مربوط به عامل حمایت مردمی	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)
۱	اگر دولت برای حفاظت از منابع آب، هزینه‌ای از شما دریافت کند شما تمایل به پرداخت آن دارید؟					
۲	با توجه به خساراتی که هر ساله بلایای طبیعی همانند سیل در پی دارند به چه میزان شما برای کاهش این خسارات حاضرید مبلغ اضافه پرداخت کنید؟					
۳	به چه میزان بر این اصل که هزینه‌های آب باید باتوجه به طبقه اجتماعی افراد و میزان درآمد آن‌ها تعیین شود معتقدید؟ (به‌عنوان مثال اقشار با درآمد پایین مبلغ کمتری برای آب مصرفی خود پرداخت کنند و بالعکس)					
۴	به چه میزان شما موافق پرداخت یارانه دولتی برای هزینه‌هایی که تأمین آب باکیفیت دارد هستید؟ (یعنی دولت خود متقبل هزینه‌ها شود و فقط بخشی از این هزینه‌ها توسط مردم تأمین شود)					
۵	به چه میزان شما برای شرکت در جلسات گفتگو پیرامون مشکلات منابع آب (مانند کاهش کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی یا منابع محلی آب) تمایل دارید؟					
ردیف	گویه‌های مربوط به عامل نهادی	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)
۱	آیا این حوزه آبخیز برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب دارد؟					
۲	آیا این حوزه آبخیز سازمانی برای مدیریت رودخانه دارد؟					
۳	آیا برای حفاظت از آب و صیانت از منابع آبی در حوزه، قوانینی در نظر گرفته شده است؟					
۴	آیا هنگام تدوین برنامه‌های مربوط به آب، به افکار عمومی هم توجه می‌شود؟					
۵	آیا سازوکار نظارت بر تخلفات آلودگی وجود دارد؟					
ردیف	گویه‌های مربوط به عامل سازگاری	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)
۱	آیا بانک اطلاعاتی متمرکز از اطلاعات مربوط به آب وجود دارد؟					
۲	آیا سیستم هشدار اولیه در منطقه وجود دارد؟					
۳	آیا در تدوین برنامه‌های بلندمدت، محرک‌های تغییرات آینده (به‌عنوان مثال تغییرات اقلیم) موردتوجه قرار می‌گیرد؟					
۴	آیا سازوکاری برای ارتقای دانش کارکنان وجود دارد؟					
۵	آیا هر زمان نیاز باشد، انعطاف‌پذیری برای تغییر سهمیه‌های تخصیص آب برای کاربران مختلف وجود دارد؟					

در ادامه برای سنجش قابلیت اطمینان و معیار پایایی (Reliability) پرسشنامه از آماره آلفای کرونباخ با استفاده از رابطه (۱) و در نرم افزار SPSS نسخه ۲۷ استفاده شد.

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S^2}{\sigma^2} \right) \quad (1)$$

در این رابطه، α ضریب پایایی کرونباخ، n تعداد گویه‌های پرسشنامه، S^2 واریانس هر گویه و σ^2 واریانس کل آزمون است. ضریب آلفای کرونباخ می‌تواند از -۱ تا +۱ باشد. عدد +۱ نشان‌دهنده پایایی کامل پرسشنامه است که هیچگاه نباید رخ دهد. معنی آن این است که تمام افراد به یک صورت به سوالات پاسخ دهند. اگر ضریب آلفا بیش از ۰/۷ باشد نشان دهنده پایایی مورد تأیید پرسشنامه است (Gliem و Gliem، ۲۰۰۳).

نتایج و بحث

کشور ایران با قرارگرفتن در ناحیه گرم و خشک جهان نه تنها با معضل تأمین آب موردنیاز کشاورزی بلکه با مشکل تهیه و دسترسی به آب شرب و بهداشت هم روبه‌رو می‌باشد که این مسئله با توجه به ثابت بودن منابع آبی، افزایش جمعیت و عدم توجه کافی به مدیریت منابع آب در صورت اتخاذ نشدن سیاست‌های مناسب مدیریتی، پیامدهای نامطلوبی به دنبال خواهد داشت (شفیعی، ۱۴۰۰). در این پژوهش،

وضعیت حکمرانی منابع آب از دیدگاه سه گروه اصلی مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز بررسی شده است. تحلیل وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام اهمیت ویژه‌ای دارد، چرا که این موضوع نه تنها بر پایداری منابع آب تأثیر می‌گذارد بلکه به توسعه اجتماعی و اقتصادی منطقه نیز کمک می‌کند. نتایج به دست آمده از این بررسی می‌تواند به درک بهتر نقاط قوت و ضعف حکمرانی منابع آب در این حوزه کمک کند و راهکارهایی برای بهبود آن ارائه دهد.

در این مطالعه، پس از تکمیل پرسشنامه، مقدار آلفای کرونباخ براساس رابطه (۱) و با استفاده از نرم افزار SPSS برای سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز محاسبه شد (جدول ۵). با توجه به اینکه این ضریب بیشتر از ۰/۷ است، ابزار اندازه‌گیری (پرسشنامه) پایایی بالایی دارد و به عبارت دیگر گویه‌های در نظر گرفته شده از ثبات درونی و پایایی بالایی دارد. همچنین میانگین گویه‌های مربوط به عامل حمایت عمومی از منابع آب، عامل نهادی و سازگاری به منظور بررسی وضعیت حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام به ترتیب در جدول‌های (۶، ۷ و ۸) را نشان می‌دهد. در جدول (۹) نیز طبقه‌بندی وضعیت متغیرهای مورد بررسی و همچنین وضعیت نهایی حکمرانی آب از نظر سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز برای حوزه آبخیز سد ایلام آورده شده است.

جدول ۵- مقدار آلفای کرونباخ گویه‌های انتخابی بین دو گروه کارشناسان و آبخیزنشینان

پرسش‌نامه	تعداد گویه	مقدار آلفای کرونباخ
مدیران و معاونان دستگاه‌های اجرایی مرتبط با منابع آب	۱۵	۰/۸۸۹
مدیران و معاونان دستگاه‌های اجرایی مرتبط با منابع آب	۱۵	۰/۸۵۱
ساکنین حوزه آبخیز سد ایلام	۱۵	۰/۷۱۱

جدول ۶- میانگین گویه‌های مربوط به عامل حمایت مردمی در بررسی وضعیت حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام

ردیف	گویه‌های مربوط به عامل حمایت مردمی	میانگین امتیاز گویه (نظرات مدیران)	میانگین امتیاز گویه (کارشناسان)	میانگین امتیاز گویه (ساکنین حوزه آبخیز)
۱	اگر دولت برای حفاظت از منابع آب، هزینه‌ای از شما دریافت کند شما تمایل به پرداخت آن دارید؟	۳/۵	۳/۵۶	۳/۲۸
۲	باتوجه به خساراتی که هر ساله بلایای طبیعی همانند سیل در پی دارند به چه میزان شما برای کاهش این خسارات حاضرید مبلغ اضافه پرداخت کنید؟	۳/۸۷	۳/۷۵	۳/۷۸
۳	به چه میزان بر این اصل که هزینه‌های آب باید باتوجه به طبقه اجتماعی افراد و میزان درآمد آن‌ها تعیین شود معتقدید؟ (به عنوان مثال اقشار با درآمد پایین مبلغ کمتری برای آب مصرفی خود پرداخت کنند و بالعکس)	۴/۲۵	۴/۰۶	۴/۱۲
۴	به چه میزان شما موافق پرداخت یارانه دولتی برای هزینه‌هایی که تأمین آب با کیفیت دارد هستید؟ (یعنی دولت خود متقبل هزینه‌ها شود و فقط بخشی از این هزینه‌ها توسط مردم تأمین شود)	۴/۲۵	۴/۱۸	۴/۰۳
۵	به چه میزان شما برای شرکت در جلسات گفتگو پیرامون مشکلات منابع آب (مانند کاهش کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی یا منابع محلی آب) تمایل دارید؟	۳/۷۵	۳/۶۸	۳/۷۱
	میانگین نهایی عامل حمایت مردمی	۳/۹۲	۳/۸۴	۳/۷۸

جدول ۷- میانگین گویه‌های مربوط به عامل نهادی در بررسی وضعیت حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام

ردیف	گویه‌های مربوط به عامل نهادی	میانگین امتیاز گویه (نظرات مدیران)	میانگین امتیاز گویه (کارشناسان)	میانگین امتیاز گویه (ساکنین حوزه آبخیز)
۱	آیا این حوزه آبخیز برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب دارد؟	۳/۸۷	۳/۷۵	۳/۷۵
۲	آیا این حوزه آبخیز سازمانی برای مدیریت رودخانه دارد؟	۳/۶۲	۳/۶۸	۳/۴۰
۳	آیا برای حفاظت از آب و صیانت از منابع آبی در حوزه، قوانینی در نظر گرفته شده است؟	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۵۳
۴	آیا هنگام تدوین برنامه‌های مربوط به آب، به افکار عمومی هم توجه می‌شود؟	۳/۳۷	۳/۳۷	۳/۳۷
۵	آیا سازوکار نظارت بر تخلفات آلودگی وجود دارد؟	۳/۵	۳/۵۶	۳/۴۳
	میانگین نهایی عامل نهادی	۳/۶۲	۳/۶۲	۳/۵۰

جدول ۸- میانگین گویه‌های مربوط به عامل سازگاری در بررسی وضعیت حکمرانی آب در حوزه آبخیز سد ایلام

ردیف	گویه‌های مربوط به عامل سازگاری	میانگین امتیاز گویه (نظرات مدیران)	میانگین امتیاز گویه (کارشناسان)	میانگین امتیاز گویه (ساکنین حوزه آبخیز)
۱	آیا بانک اطلاعاتی متمرکز از اطلاعات مربوط به آب وجود دارد؟	۳/۶۲	۳/۶۲	۳/۹۳
۲	آیا سیستم هشدار اولیه در منطقه وجود دارد؟	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۴۰
۳	آیا در تدوین برنامه‌های بلندمدت، محرک‌های تغییرات آینده (به‌عنوان مثال تغییرات اقلیم) موردتوجه قرار می‌گیرد؟	۴/۲۵	۴/۰۶	۳/۷۸
۴	آیا سازوکاری برای ارتقای دانش کارکنان وجود دارد؟	۴/۱۵	۴/۰۶	۳/۷۱
۵	آیا هر زمان نیاز باشد، انعطاف‌پذیری برای تغییر سهمیه‌های تخصیص آب برای کاربران مختلف وجود دارد؟	۴/۱۳	۳/۸۱	۳/۴۳
	میانگین نهایی عامل سازگاری	۳/۹۸	۳/۸۶	۳/۶۵

جدول ۹- وضعیت حکمرانی آب از دیدگاه سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز

متغیر	مدیران		کارشناسان		آبخیزنشینان	
	مقدار	وضعیت	مقدار	وضعیت	مقدار	وضعیت
عامل حمایت مردمی	۳/۹۲	خوب	۳/۸۴	خوب	۳/۷۸	خوب
عامل نهادی	۳/۶۲	خوب	۳/۶۲	خوب	۳/۵۰	خوب
عامل سازگاری	۳/۹۸	خوب	۳/۸۶	خوب	۳/۶۵	خوب
وضعیت نهایی حکمرانی آب	۳/۸۴	خوب	۳/۷۷	خوب	۳/۶۴	خوب

حمایت مردمی یکی از عوامل کلیدی در حکمرانی منابع آب است که نقش به‌سزایی در موفقیت برنامه‌ها و سیاست‌های مدیریت آب دارد. نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد که میانگین امتیازات مربوط به عامل حمایت مردمی از دیدگاه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه به ترتیب ۳/۹۲، ۳/۸۴ و ۳/۷۸ بوده که در وضعیت خوب قرار می‌گیرد.

این امر نشان می‌دهد، حمایت عمومی از مدیریت منابع آب در این منطقه نسبتاً مطلوب است. گویه‌های مختلف در این زمینه نشان می‌دهد که مردم تا حدی مایل به پرداخت هزینه برای حفاظت از منابع آب هستند و برای کاهش خسارات بلایای طبیعی حاضر به پرداخت مبالغ اضافی هستند. با این حال، تفاوت در امتیازات داده شده توسط ساکنین حوزه آبخیز سد ایلام و دیگر گروه‌ها نشان دهنده نیاز به افزایش آگاهی و مشارکت مردمی است. به‌عنوان مثال، ساکنین حوزه

امتیاز کمتری به تمایل خود برای شرکت در جلسات گفتگو پیرامون مشکلات منابع آب داده‌اند. این نشان می‌دهد که باید برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی بیشتری برگزار شود تا مشارکت مردمی در فرآیندهای تصمیم‌گیری افزایش یابد. همچنین، توجه به عدالت اجتماعی در تعیین هزینه‌های آب و ارائه یارانه‌های دولتی می‌تواند به افزایش حمایت مردمی کمک کند. وحید و رنجبر (۱۳۹۷) با استفاده از روش تحلیل شبکه به بررسی بعد سیاسی حکمرانی آب در ایران طی دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ پرداختند.

نتایج آن‌ها نشان داد بعد سیاسی حکمرانی آب در ایران به دلیل تمرکز بیش از حد قدرت تصمیم‌گیری در نهادهای دولتی، به‌ویژه وزارت نیرو، و فقدان امکان مشارکت ذینفعان و بخش غیر دولتی، معیوب است و از جمله عوامل زمینه‌ساز ناکارآمدی و وقوع بحران آب در کشور به شمار می‌آید.

نتایج جدول (۷) حاکی از آن است که میانگین امتیازات مربوط به عامل نهادی از دیدگاه مدیران و کارشناسان $3/62$ و از دیدگاه ساکنین حوزه $3/50$ است که همگی در وضعیت خوب قرار می‌گیرند. این نتایج نشان دهنده این است که ساختارها و نهادهای موجود تا حدی کارآمد هستند اما نیاز به بهبود دارند. از طرفی دیگر امتیاز کمی پایین‌تر ساکنین حوزه نشان‌دهنده نیاز به تقویت نهادهای مرتبط با مدیریت منابع آب و افزایش شفافیت و تعامل بیشتر با ساکنین حوزه آبخیز است. این امر می‌تواند باعث افزایش اعتماد و همکاری بیشتر بین نهادهای مدیریتی و جامعه محلی شود.

وجود برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب، سازمان‌های مدیریت رودخانه، قوانین حفاظت از آب و سازوکار نظارت بر تخلفات آلودگی از جمله نقاط قوت این عامل است. با این حال، امتیازات نسبتاً پایین‌تر در توجه به افکار عمومی و نظارت بر تخلفات نشان می‌دهد که باید تعامل بیشتری با جامعه محلی صورت گیرد. برای ارتقای وضعیت نهادی، پیشنهاد می‌شود شفافیت و پاسخگویی افزایش یابد، به‌طوری که نهادهای مدیریتی با شفافیت بیشتری عمل کرده و پاسخگوی نیازها و نگرانی‌های مردم باشند. همچنین، تعامل بیشتر با جامعه محلی از طریق برگزاری جلسات مشاوره و اطلاع‌رسانی درباره برنامه‌ها و سیاست‌های آب، می‌تواند به افزایش اعتماد و همکاری بین نهادها و مردم کمک کند. علاوه بر این، تقویت سازوکارهای نظارت و اجرا با ایجاد سیستم‌های نظارتی قوی‌تر و کارآمدتر برای کنترل تخلفات و اجرای قوانین حفاظت از آب ضروری است. یادگاری و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از چهارچوب تحلیل توسعه نهادی، نهاد آب را در سه مؤلفه قوانین، سیاست‌ها و مدیریت سازمانی و اداری بخش آب مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین عملکرد بخش آب در ابعاد فیزیکی، مالی، اقتصادی و عدالت را نیز ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که از میان مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده نهاد آب، اثربخشی مدیریت سازمانی و اداری بخش آب بیش از اثربخشی قوانین و سیاست‌های بخش آب است همچنین بیان کردند عملکرد فیزیکی بالاترین میزان تحقق را در مقایسه با سایر مؤلفه‌های مالی، اقتصادی و عدالت دارد.

عامل سازگاری به توانایی جامعه و نهادها در مواجهه با تغییرات و چالش‌های آینده اشاره دارد. نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد میانگین امتیازات مربوط به این عامل از دیدگاه مدیران $3/98$ ، کارشناسان $3/86$ و ساکنین $3/57$ است که همگی در رده خوب قرار می‌گیرند، اما امتیاز پایین‌تر ساکنین نشان‌دهنده نیاز به توجه بیشتر به توانمندسازی جامعه محلی

است. وجود بانک اطلاعاتی متمرکز، سیستم هشدار اولیه، توجه به محرک‌های تغییرات آینده و ارتقای دانش کارکنان از جمله نقاط قوت این عامل است. با این حال، امتیاز پایین‌تر در برخی گویه‌ها نظیر وجود سیستم هشدار اولیه و انعطاف‌پذیری در تخصیص آب نشان‌دهنده نیاز به بهبود این سیستم‌ها است. برای ارتقای وضعیت سازگاری، توسعه سیستم‌های هشدار اولیه که بتوانند اطلاعات دقیق و به‌موقع در اختیار جامعه قرار دهند، همچنین آموزش و توانمندسازی جامعه محلی از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی در زمینه مدیریت منابع آب و تغییرات اقلیمی پیشنهاد می‌شود. افزون بر این، تدوین برنامه‌های بلندمدت و انعطاف‌پذیر که بتوانند به‌سرعت با شرایط و تغییرات جدید سازگار شوند، نیز ضروری است. Babel و همکاران (۲۰۲۲) به منظور ارزیابی امنیت آب، بعد حکمرانی آب را با استفاده از دو شاخص مدیریت کلی بخش آب و پتانسیل تطبیق با تغییرات آینده در بیست و پنج حوزه آبخیز در تایلند اندازه‌گیری کردند. برای اندازه‌گیری این دو شاخص، به ترتیب از یک عامل نهادی تک متغیره و عامل سازگاری استفاده شد.

نتایج نشان داد وضعیت حاکمیت آب در تمام بیست و پنج حوزه آبخیز تایلند، خوب ارزیابی شد. در حالی که حوزه‌های آبخیز حاکمیت آب معقولی دارند، به ندرت حوزه آبخیزی با کنترل آب عالی یا خیلی خوب وجود داشت. همان طور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، وضعیت نهایی حکمرانی آب از دیدگاه هر سه گروه مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه آبخیز خوب ارزیابی شده است. امتیازات نهایی به ترتیب $3/84$ ، $3/77$ و $3/65$ است. به‌طورکلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام خوب ارزیابی شده است. با این حال، تفاوت‌های جزئی در امتیازات نشان‌دهنده زمینه‌های قابل بهبود است. برای تقویت و بهبود وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام، اجرای راهکارهای جامع و یکپارچه ضروری است.

افزایش آگاهی و مشارکت مردمی از طریق کارگاه‌ها، دوره‌های آموزشی و رسانه‌های محلی، همراه با تقویت ساختارهای نهادی و سازمانی، می‌تواند تعامل بین جامعه و نهادهای مدیریتی را بهبود بخشد. توسعه سیستم‌های هشدار اولیه و بانک‌های اطلاعاتی متمرکز، تدوین سیاست‌های عادلانه تخصیص آب و پرداخت یارانه‌های هدفمند و ارتقای دانش کارکنان از طریق آموزش و تحقیق، نیز اهمیت دارد. همچنین، تدوین برنامه‌های استراتژیک بلندمدت با توجه به تغییرات اقلیمی و افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و پروژه‌های پایدار می‌تواند به

پایداری منابع آب و ارتقای رفاه جامعه محلی منجر شود. در مقایسه با نتایج مطالعه حاضر، تجربه کشورهای هلند، آمریکا (مناطق کالیفرنیا) و اردن نشان می‌دهد که حکمرانی موفق منابع آب بر سه عامل کلیدی مدیریت جامع و فرابخشی آب، سازگاری با تغییرات اقلیمی و مشارکت فعال ذی‌نفعان استوار است.

در هلند، رویکردهای نوآورانه برای مقابله با سیلاب‌ها و مدیریت پایدار منابع آب اجرا شده است. کالیفرنیا بر سازگاری با خشکسالی‌های طولانی مدت از طریق مدیریت انعطاف‌پذیر و سیاست‌های کاهش مصرف تمرکز دارد. اردن نیز با تکیه بر مدیریت کارآمد آب در شرایط کمبود شدید منابع، به افزایش بهره‌وری و مشارکت مردمی پرداخته است. در مطالعه حاضر نیز نتایج بر اهمیت عوامل نهادی، سازگاری با تغییرات آینده و حمایت مردمی تأکید دارد. مقایسه این یافته‌ها با تجربیات بین‌المللی نشان می‌دهد که تقویت مشارکت جامعه محلی و افزایش ظرفیت انطباقی می‌تواند به بهبود حکمرانی منابع آب در منطقه کمک کند. این مطالعه علاوه بر ارزیابی ابعاد مختلف حکمرانی منابع آب از منظر عوامل نهادی، حمایت مردمی و سازگاری، به بررسی دقیق‌تری از تعامل میان نهادهای مدیریتی و جامعه محلی پرداخته است. یکی از جنبه‌های متمایز این تحقیق، تمرکز بر تقویت حمایت مردمی و بررسی نقش آن در بهبود حکمرانی منابع آب در سطح حوزه آبخیز است که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته بود. همچنین، این مطالعه با تحلیل دقیق‌تری از ظرفیت‌های انطباقی جامعه محلی و چالش‌های آینده، به شناخت بهتری از توانایی‌های جوامع محلی در مقابله با بحران‌های آب می‌پردازد. بنابراین، پژوهش حاضر با افزودن ابعاد جدید و گسترش دیدگاه‌های موجود، به ارتقای حکمرانی منابع آب و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با آن در مناطق مشابه کمک می‌کند.

نتیجه‌گیری

آب یکی از اساسی‌ترین عناصر برای بقای زندگی است و نقشی حیاتی در تأمین نیازهای انسانی، کشاورزی و صنعتی دارد. اهمیت این ماده به حدی است که تأمین آب کافی و با کیفیت به یکی از اولویت‌های اصلی هر جامعه تبدیل شده و از مهم‌ترین وظایف دولت‌ها محسوب می‌شود. وضعیت منابع آبی حوزه آبخیز سد ایلام از منظر عواملی چون میزان بارش سالانه، ذخایر آبی، کیفیت آب و مصرف منابع آبی در وضعیت نسبتاً مناسبی قرار دارد. متوسط بارش سالانه در این حوزه ۵۹۶ میلی‌متر است که این مقدار به‌طور کلی برای تأمین منابع

آبی منطقه کفایت می‌کند. علاوه بر این، ذخایر آبی سطحی و زیرزمینی حوزه آبخیز سد ایلام از لحاظ حجم و قابلیت بهره‌برداری در شرایط مطلوبی قرار دارند. از نظر کیفیت آب سطحی و زیرزمینی، شاخص‌های مرتبط با کیفیت آب در این حوزه آبخیز نشان‌دهنده وضعیت قابل قبولی است، هرچند در برخی مناطق نیاز به مدیریت دقیق‌تری برای جلوگیری از آلودگی‌ها و حفظ کیفیت منابع آبی احساس می‌شود. همچنین، مصرف منابع آبی در این حوزه آبخیز به‌طور مؤثری مدیریت می‌شود. در این مطالعه، وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام بررسی شد. نتایج نشان داد حکمرانی منابع آب در این منطقه از نظر عوامل نهادی، حمایت مردمی و سازگاری با تغییرات در وضعیت خوبی قرار دارد. میانگین امتیازات ارائه‌شده توسط مدیران، کارشناسان و ساکنین حوزه نشان‌دهنده کارآمدی نسبی نهادهای موجود و توانایی مواجهه با چالش‌های آینده است.

برای بهبود وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام، پیشنهاداتی به‌طور موضوعی مطرح می‌شود. نخست، تقویت حمایت مردمی از طریق برنامه‌های آموزشی و ترویجی برای افزایش آگاهی و مشارکت فعال مردم در فرآیندهای مدیریتی ضروری است. دوم، بهبود ساختارهای نهادی با تقویت نهادهای مدیریتی، افزایش شفافیت و پاسخگویی می‌تواند کارآمدی سیستم حکمرانی آب را بهبود بخشد و هماهنگی بهتری بین نهادهای مختلف ایجاد کند. در نهایت، افزایش ظرفیت‌های انطباقی جامعه محلی در مواجهه با چالش‌های محیطی، از جمله تقویت زیرساخت‌ها، سیستم‌های هشدار اولیه و ارائه آموزش‌های تخصصی، به ارتقای تاب‌آوری جامعه در برابر تغییرات و بحران‌های آبی کمک خواهد کرد. این مطالعه، با ارائه راهکارهایی برای بهبود وضعیت حکمرانی منابع آب در حوزه آبخیز سد ایلام، می‌تواند به عنوان مرجعی برای پژوهش‌های آینده و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با مدیریت منابع آب در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

به‌این‌وسیله مراتب قدردانی از مدیران، معاونان و کارشناسان دستگاه‌های اجرایی و همچنین جوامع محلی جهت همکاری در انجام این پژوهش اعلام می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1. WSI: Water Security Index

- Babel, M., & Shinde, V. R. (2018). A framework for water security assessment at basin scale. *APN Science Bulletin*, 8(1), 27-32.
- Babel, M. S., Chapagain, K., Shinde, V. R., Prajmwong, S., & Apipattanas, S. (2022). A disaggregated assessment of national water security: An application to the river basins in Thailand. *Journal of Environmental Management*, 321, 115974. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115974>
- Cao, X., Bao, Y., Li, Y., Li, J., & Wu, M. (2023). Unravelling the effects of crop blue, green and grey virtual water flows on regional agricultural water footprint and scarcity. *Agricultural Water Management*, 278, 108165. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108165>
- Gain, A. K., & Schwab, M. (2012). An assessment of water governance trends: The case of Bangladesh. *Water Policy*, 14(5), 821-840. <https://doi.org/10.2166/wp.2012.143>
- Gliem, J. A., & Gliem, R. R. (2003). Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales. 2003 Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education, Columbus, 82-88. <https://hdl.handle.net/1805/344>
- Green, O. O., Garmestani, A. S., van Rijswijk, H. F., & Keessen, A. M. (2013). EU water governance: striking the right balance between regulatory flexibility and enforcement. *Ecology and Society*, 18(2), 10. doi: 10.5751/ES-05357-180210
- Lalika, M. C., Meire, P., & Ngaga, Y. M. (2015). Exploring watershed conservation and water governance along Pangani River Basin, Tanzania. *Land use policy*, 48, 351-361. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.06.010>
- Lautze, J. (2014). Key concepts in water resource management: A review and critical evaluation. New York, Routledge.
- Notter, B., Hurni, H., Wiesmann, U., & Abbaspour, K. C. (2012). Modelling water provision as an ecosystem service in a large East African river basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), 69-86.
- OECD. (2011). *Water Governance in OECD Countries: A Multi-level Approach*. OECD.
- Partnerships, G. W. (2000). *Towards Water Security: A framework for action*. GWP, London, United kingdom.
- Rogers, P. P., Llamas, M. R., & Cortina, L. M. (Eds.). (2005). اسکوھی، مائده، و اسماعیلی، کاظم. (۱۴۰۰). تحلیلی بر نظریه‌های حکمرانی و مدیریت منابع آب در ایران. آب و توسعه پایدار، ۱۸(۱)، ۱-۱۰. doi: 10.22067/jwsd.v8i1.88216
- توکلی، محسن، کریمی، حاجی، و نورالهی، هادی. (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبخیز سد ایلام. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۰(۲)، ۱۵۷-۱۷۰. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.109322.1264>
- شفیعی، شکوفه. (۱۴۰۰). بحران آب و راهکارهای مقابله با آن. پنجمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مهندسی کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی. دانشگاه تهران، تهران.
- 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، ۲۵(۳)، ۵۹۱-۶۱۵. doi: 20.1001.1.20084838.1400.52.3.10.5
- صمدی فروشانی، مرضیه، کیهان‌پور، محمدجواد، و موسوی جهرمی، سیدحبيب. (۱۴۰۱). تحلیل ساختار حکمرانی آب ایران مبتنی بر همبست آب-غذا-انرژی: کاربردی از رویکرد تحلیل شبکه‌های اجتماعی (SNA). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۳)، ۵۶۳-۵۷۹. doi: 20.1001.1.20087942.1401.16.3.8.9
- قربانی، مهدی. (۱۳۹۸). حکمرانی آب در مواجهه با تغییر جهانی. انتشارات دانشگاه تهران. تهران، ایران.
- مرتضی پور، محمدرضا، شاهنظری، علی، خالدیان، و محمد رضا. (۱۳۹۸). حکمرانی آب در حوزه آبخیز سفیدرود بزرگ با استفاده از رویکرد تئوری بازی‌ها. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۰(۱۹)، ۲۱-۳۱. doi: 10.29252/jwmr.10.19.13
- میرزایی، مهدی. (۱۳۹۵). عوامل مدیریتی بحران آب در ایران. طبیعت ایران، ۱۱(۱)، ۱۳-۱۱. doi: 10.22092/irn.2016.107501
- میرنظامی، سیدجلال‌الدین، و باقری، علی. (۱۳۹۶). ارزیابی سیستم حکمرانی آب در فرایند حفاظت از منابع آب زیرزمینی ایران. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۲)، ۳۲-۵۵.
- وحید، مجید، و رنجبر، محسن. (۱۳۹۷). آسیب‌شناسی بُعد سیاسی حکمرانی آب در ایران (۱۳۶۸-۱۳۹۲). سیاستگذاری عمومی، ۴(۴)، ۲۰۳-۲۲۳. doi: 10.22059/ppolicy.2019.70453
- یادگاری، آمنه، یوسفی، علی، و امینی، امیرمظفر. (۱۳۹۷). تحلیل نهادی ساختار حاکمیت آب در ایران: موردی از حوضه زاینده رود. تحقیقات آب ایران، ۱۴(۱)، ۱۹۷-۱۸۴. https://www.iwrr.ir/article_50143.html
- یزدان‌پرست، مریم، قربانی، مهدی، سلاجقه، علی، و کراچیان، رضا. (۱۴۰۲). تحلیل و ارزیابی شاخص امنیت آب (WSI) در حوزه آبخیز دشت نیشابور. پژوهش‌های روستائی، ۱۴(۱)، ۱۱۶-۱۳۵. doi: 10.22059/jrur.2022.340867.1730

Water crisis: myth or reality? CRC Press. Florida, United States.

- UN (United Nations). (2006). Water: a shared responsibility; the United Nations world water development report 2, executive Summary. Paris, France.
- UNDP. (2012). Institutional and context analysis guidance note. Annual report. Oslo Governance Centre. Oslo, Norway.
- UNESCO. 2018. Nature-based solutions for water. The United Nations World Water development Report. Paris, France.

ArticleType AppliedArticle

نوع مقاله پژوهشی کاربردی

A Sociological Analysis of Iran's Water Crisis: A Historical-Institutional Approach to Understanding State Intervention in Water Resource Management in Contemporary Era

بررسی جامعه شناختی بحران آب در ایران: رویکردی تاریخی نهادی به علل ورود دولت به مدیریت منابع آب ایران در دوران معاصر

M. Mahmoodi¹, H. Mirzaei^{2*}, A. Yousofi², M. Fazeli⁴

مریم محمودی^۱، حسین میرزایی^{۲*}، علی یوسفی^۲، محمد فاضلی^۴

1- Ph.D. in Sociology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Social Sciences, Faculty of Literature and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Ph.D. in Sociology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: hmirzaei@um.ac.ir

۱- دکتری جامعه‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۲- دانشیار، گروه علوم اجتماعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران. ۴- دکتری جامعه‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: hmirzaei@um.ac.ir

Received 04-12-2024
Revised 18-01-2025
Accepted 06-02-2025
Available Online 20-09-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۹/۱۴
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۱/۱۸
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

چکیده

The water crisis is one of the most important crises in Iran, and solving it requires examining the causes. The empirical literature indicates that the primary cause of Iran's water crisis lies first in the state's entry into water management and subsequently in its inefficiency in managing water resources. However, this literature does not address why and how the state entered water governance and centralized its control. Inspired by Mollinga's embeddedness approach and historical institutionalism, and utilizing the concepts of context and critical juncture, this study examines the history of state intervention in water governance and identifies key junctures. Findings reveal that the water governance context, including empowering farmers to pay taxes, drought and food supply needs, developmental approaches during modern state formation, and the class base of parliamentary representatives and officials, led to the first critical juncture: the establishment of the Irrigation Organization in 1943. This organization allowed for the state's participatory involvement in water management. Over the next 20 years, contextual changes—such as increased state financial resources, shifts in officials' class structures, suppression of opposition, the rise of Mohammad Reza Shah's power, and the use of water projects for state-building—established the hydraulic mission among elites. To implement this mission, the state required a powerful bureaucracy, realized with the Ministry of Water and Power's establishment. Thus, the state gained centralized and exclusive control over water governance.

Keywords: Water Institution, Water Crisis, Government Intervention Point, Independent Irrigation Agency, Ministry of Water and Power.

بحران آب از مهم‌ترین بحران‌های ایران است و حل آن مستلزم بررسی علت‌ها است. مرور ادبیات تجربی نشان می‌دهد که علت اصلی بحران آب در ایران، در ابتدا ورود دولت به مدیریت نهاد آب و سپس ناکارآمدی آن در مدیریت آب است. با این حال، این ادبیات به این پرسش که دولت چرا و طی چه فرایندی وارد نهاد آب شده و مدیریت متمرکز و انحصاری آن را به دست گرفته است، پاسخی نمی‌دهد. این پژوهش با الهام از رویکردهای حک‌شدگی مولینگا و نهادگرایی تاریخی و با بهره‌گیری از مفهوم زمینه و بزنگاه، به واکاوی تاریخ و شناسایی بزنگاه‌های ورود دولت به نهاد آب پرداخته و به این پرسش پاسخ می‌دهد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد زمینه نهاد آب شامل توانمند کردن کشاورزان برای پرداخت مالیات، خشکسالی و نیاز به تأمین غذا، رویکردهای توسعه‌ای در هنگام شکلگیری دولت مدرن و پایگاه طبقاتی نمایندگان مجلس و مقامات دولتی منجر به شکل‌گیری نخستین بزنگاه شده است. این بزنگاه همان تشکیل بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۲۲ بود که ورود مشارکتی دولت به مدیریت منابع آب را امکان‌پذیر کرد. در طول ۲۰ سال بعد، تغییرات زمینه‌ای مانند افزایش منابع مالی دولت، تغییر ساختار طبقاتی مقامات، حذف مخالفان و افزایش قدرت محمدرضا شاه، استفاده از پروژه‌های آبی برای دولت-ملت‌سازی، منجر به هژمونی مأموریت هیدرولیک در میان نخبگان فنی و سیاسی ایران شد. برای اجرای این مأموریت، دولت نیازمند بوروکراسی قدرتمندی بود که نهایتاً با تشکیل وزارت آب و برق به انجام رسید. به این ترتیب، دولت مدیریت نهاد آب را به صورت متمرکز و انحصاری به دست گرفت. **واژه‌های کلیدی:** نهاد آب، بحران آب، بزنگاه ورود دولت، بنگاه مستقل آبیاری، وزارت آب و برق.

How to cite this article: Mahmoodi, M., Mirzaei, H., Yousofi, A., & Fazeli, M. (2025). A Sociological Analysis of Iran's Water Crisis: A Historical-Institutional Approach to Understanding State Intervention in Water Resource Management in Contemporary Era. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 19-34. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2412-1388>

بین‌المللی مدیریت آب در وضعیت بحرانی یا تنش آبی قرار دارد. برای حل بحران آب، ابتدا باید علل آن بررسی شوند. بررسی علل نیز مستلزم مرور ادبیات موجود و دیدگاه خبرگان است. حاصل تحلیل دیدگاه خبرگان در جدول (۱) آمده است.^۱

منابع آب ایران براساس هر سه شاخص اصلی سنجش وضعیت منابع آبی-فالکن مارک، سازمان ملل و موسسه

جدول ۱- مقولات اصلی و فرعی علل بحران آب در ایران از منظر خبرگان (محمودی و همکاران، ۱۴۰۲)

سیاست‌های مربوط به بخش آب	تدوین سیاست‌های نادرست	استفاده نکردن از اصول خوب سیاست‌گذاری
		نادیده گرفتن نظرات خبرگان و نهاد های بین المللی
		نادیده گرفتن ملاحظات زیست محیطی در سیاست گذاری
		خطاهای رویکردی در سیاست‌گذاری
	اجرا نشدن سیاست‌های مناسب	ناتوانی در برقراری ارتباط اسناد بالادستی خوب با اسناد پایین‌دستی
		دشواری تغییر سنت‌های نهادی برنامه ریزی شکل‌گرفته از دهه ۴۰
		تحت الشعاع قرار گرفتن سیاست‌های میان‌مدت، به وسیله تصمیمات موقت
		ناتوانی مجریان محلی در مقابله با فشارهای بالا دستی
اثر منفی سیاست‌های سایر بخش‌ها		مدیران نالایق
		خطا در اولویت‌گذاری خودکفایی در کشاورزی
		خطا در روش های تامین آب و توسعه کشاورزی
		ضعف آمایش سرزمین در مکان‌یابی صنایع و شهرها
اشکال در قوانین آب		برنامه‌های دولت ازجمله مدیریت رکود، تورم، تأمین سلامت و امنیت غذایی واشتغال
		قوانین مخل مدیریت پایدار منابع آب
		تغییر مسائل حقوقی آب از حقوق خصوصی به حقوق عمومی و انفال
دولتی بودن مدیریت آب		مداخله قانونی دیدگاه‌های غیر کارشناسی در برنامه‌های توسعه
		دولتی بودن و عدم مشارکت
		دولتی بودن و بوروکراتیک شدن
پیشران‌ها		دولتی بودن و عدم ورود بازار
		رشد جمعیت
علل تاریخی فرهنگی		تغییرات اقلیمی
		نادیده گرفتن محدودیت های تاریخی جغرافیایی در فرایند توسعه
		زوال ارزش‌های اخلاقی و آموزش ناکافی
		عدم شکل گیری گفتگوی آب در حوزه عمومی

بحران آب در ایران به منظور رسیدن به راهکار در پژوهش‌های آینده است، گروه سوم را نادیده گرفته و کل ادبیات تجربی پژوهش را می‌توان به صورت شکل (۱) به صورت خلاصه بیان کرد:

علت شکل‌گیری بحران آب در ایران، همان طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود ورود دولت به مدیریت منابع آب و یا ناکارآمدی دولت در مدیریت منابع آب است یا به طور خلاصه مدیریت دولت بر منابع آب ایران موجب بحران آب در ایران شده است.

تشخیص دولت به عنوان عامل اصلی بحران توسط نخبگان گرچه یافته بسیار ارزشمندی است اما توقف در این نقطه نمی‌تواند به سوال اصلی پژوهش، یعنی علل جامعه شناختی بحران آب، پاسخ دهد. در واقع مساله این است که دولت از چه زمانی و چگونه مدیریت منابع آب را به عهده گرفت؟ و علل جامعه شناختی ورود دولت چه بود؟ بنابراین گام بعدی پاسخ به سوال زیر است:

کدام علل جامعه شناختی موجب ورود دولت به مدیریت منابع آب شد؟

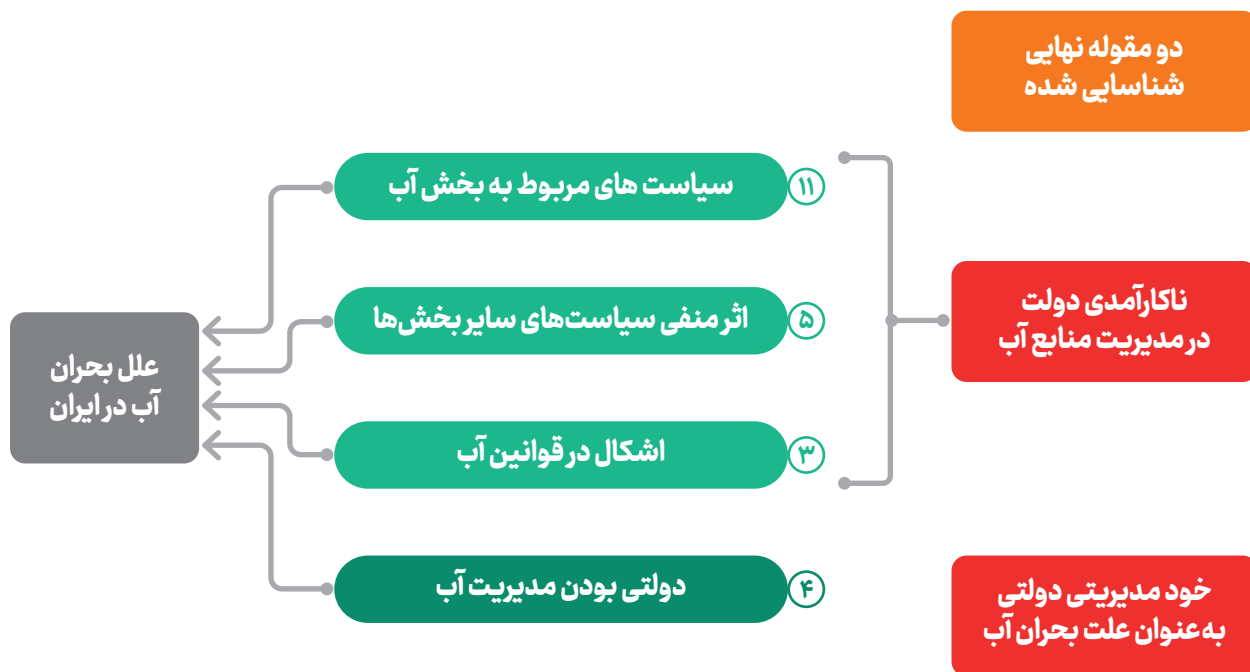
بنابراین با توجه به جدول (۱) دیدگاه خبرگان و به عبارتی کل ادبیات تجربی موجود درباره علل بحران آب در ایران را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم کرد:

۱. بخشی از ادبیات براین باور هستند که ورود دولت به تنهایی به واسطه عدم مشارکت مردم، عدم به کارگیری مکانیسم بازار و اثرات ناشی از بوروکراسی منجر به شکل‌گیری بحران آب است.

۲. بخش دیگری از ادبیات که گرچه ورود دولت را به تنهایی علت بحران نمی‌داند اما همه عللی را که به عنوان علل بحران آب بیان می‌کند، مستقیم (شامل سیاست‌های درون بخش آب، سیاست‌های خارج بخش آب، در نظر نگرفتن ملاحظات توسعه پایدار و ندادن حقا به محیط زیست) و یا غیر مستقیم (قوانین نامناسب) به ناکارآمدی دولت در مدیریت منابع آب مربوط می‌شود.

۳. بخش سوم شامل پیشران‌ها و علل تاریخی فرهنگی، به شیوه‌ای که در ادبیات مطرح شده در مقابل آن‌ها اقدام خاصی از انسان امروزی بر نمی‌آید.

بنابراین با توجه به هدف نهایی این پژوهش که شناسایی علل



شکل ۱- مقوله‌های اصلی بحران آب در ایران



شکل ۲- علت اصلی بحران آب در ایران از دیدگاه خبرگان

روش ردیابی فرآیند از سه مرحله اصلی تشکیل شده است:

۱. تعیین نقطه آغاز و پایان فرآیند تاریخی
۲. تحلیل گام‌های کلیدی و بزنگاه‌ها
۳. ایجاد زنجیره علت و معلولی با شواهد تجربی

در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها، از ابزار تحلیل اسنادی استفاده شده است. در این روش، پژوهشگر داده‌های پژوهشی خود را درباره کنشگران، وقایع و پدیده‌های اجتماعی، از بین منابع و اسناد جمع‌آوری می‌کند. جامعه آماری در این پژوهش شامل همه اسناد مرتبط با نهاد آب از ۱۳۰۶ تا ۱۳۴۲ از جمله مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی و مجلس سنا در زمان تصویب قوانین مرتبط با نهاد آب، متن قوانین مصوب، گزارش‌های تهیه شده در بنگاه مستقل آبیاری، آیین نامه‌ها و نامه‌های اداری در بنگاه مستقل آبیاری، گزارش‌های تهیه شده توسط وزارت آب و برق، گزارش‌های مرتبط با آب در سازمان برنامه، تاریخ شفاهی سازمان آب و برق خوزستان، سالنامه آماری وزارت نیرو و گزارش‌های شرکت مدیریت منابع آب ایران است.

درباره شیوه نمونه‌گیری، در مورد بنگاه مستقل آبیاری از شیوه تمام شماری و در مورد سایر موضوعات از شیوه نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد و مهم‌ترین اسناد موجود از نظر میزان تاثیرگذاری بر روند تحولات نهاد آب تحلیل شد. جمعیت نمونه در جدول (۱) نمایش داده شده است. اسناد استفاده شده در این پژوهش با توجه به انواع سند که صادقی فسایی و عرفان منش (۱۳۹۴) برشمرده‌اند، اسناد غیرشخصی، دست اول و دست دوم، غیرمحرمانه، نوشتاری و دیداری هستند. شیوه گردآوری در این پژوهش جمع‌آوری اسناد از آرشیو ملی ایران، کتابخانه و مرکز اسناد وزارت نیرو، کتابخانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی، آرشیو آنلاین کتابخانه مجلس شورای اسلامی، آرشیو آنلاین مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، آرشیو آنلاین روزنامه رسمی کشور، مرکز آمار کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران بوده است.

علاوه بر اینکه طرح مسئله این پژوهش رجوع به تاریخ را ضروری می‌کند، پژوهشگر معتقد است هر ماهیت واقعی، تاریخی است و برای شناخت یک پدیده باید به سراغ تاریخ آن رفت. از نظر گادامر، «ما ناظرانی نیستیم که از دور به تاریخ بنگریم بلکه از آنجا که مخلوق تاریخ هستیم همواره در درون تاریخی قرار داریم که به‌منظور فهم آن تلاش می‌کنیم» (گادامر، ۱۳۸۷). گادامر بیان می‌کند که فهم تاریخ یعنی فهم آنچه هستیم و شناخت بهتر امروز، هدف اصلی مطالعه تاریخی است (گادامر، ۱۳۸۷). برای این منظور، در این پژوهش از روش تاریخی و تحلیل اسنادی استفاده شده است.

در این پژوهش، که در سطح کلان تحلیل می‌شود، از چارچوب جامعه‌شناسی تاریخی برای تحلیل روندها و تحولات نهادی استفاده شده است. روش ردیابی فرآیند به‌عنوان روشی سیستماتیک برای تحلیل ارتباط میان وقایع تاریخی و شناسایی زنجیره علت و معلولی تعریف شده است. این روش به‌ویژه در مطالعات تاریخی-مقایسه‌ای برای تحلیل تحولات نهادی و سیاسی کاربرد دارد. در پژوهش حاضر، از این روش برای بررسی بزنگاه‌های تأسیس بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۲۲ و وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲ استفاده شده است.

در چارچوب جامعه‌شناسی تاریخی، از روش ردیابی فرآیند^۲ برای تحلیل تغییرات در نهاد آب استفاده شده است. این روش به‌ویژه توسط Mahoney و Rueschemeyer (۲۰۰۳) به عنوان ابزاری برای درک ارتباط میان وقایع کلیدی و تحولات ساختاری در بازه‌های زمانی بلندمدت پیشنهاد شده است. ردیابی فرآیند، به تحلیل وقایع تاریخی در بستر زمانی و مکانی خاص و شناسایی زنجیره علت و معلولی میان آن‌ها می‌پردازد. تحلیل اسنادی که در این پژوهش انجام شده، به‌عنوان ابزاری برای جمع‌آوری داده‌ها از منابع تاریخی، قوانین، اسناد رسمی، و مشروح مذاکرات مجلس به کار رفته است. این ابزار، همان طور که در روش‌شناسی پژوهش تاریخی توسط Scott (۱۹۹۰) و Tashakkori و Teddlie (۲۰۰۳) توضیح داده شده، برای استخراج شواهد و ایجاد زنجیره علت و معلولی ضروری است.

جدول ۲- اسناد مورد بررسی در این پژوهش

ردیف	عنوان سند	نوع سند
۱	گزارش تفصیلی از اقدامات بنگاه کل آبیاری- قانون انجمن‌های کشاورزی. آرشیو ملی ایران.	آرشیو ملی
۲	آیین‌نامه بنگاه طبق سند شماره ۹۷۵۱۴/۲۴۰.	
۳	نامه آقای فیلسوفی به مدیر عامل بنگاه- گزارش فعالیت‌های بنگاه از بدو تأسیس تا پایانی سال ۱۳۲۶	
۴	گزارش عملکرد چند ماهه بنگاه کل آبیاری- بودجه واموال بنگاه کل آبیاری که به بنگاه مستقل آبیاری واگذار شد.	
۵	تقاضای بنگاه مستقل آبیاری از شرکت آبیاری کازرون مبنی بر پرداخت ۵ درصد از عواید حاصله	
۶	انحلال شرکت تعاونی بنگاه	
۷	برآورد هزینه اکیپ مطالعاتی پروژه سیستم و پروژه مغان	
۸	نامه‌ها و مکاتبات بنگاه با سازمان برنامه در سال‌های مختلف فعالیت بنگاه.	
۹	تصویب‌نامه هیات وزیران در مورد رودخانه‌ها - مراسلات با وزارت مالیه در مورد بودجه، گزارش عملکرد و بازرسی‌ها- ابلاغ قانون تمدید اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری	
۱۰	تفصیلی بنگاه مستقل آبیاری تا سال ۱۳۲۶، گزارش تفصیلی فعالیت‌های بنگاه در سال ۱۳۳۷- گزارش فعالیت‌های بنگاه در سال ۱۳۳۶، تاریخچه، شرکت‌های وابسته، ساختمان‌ها، خلاصه اقدامات، لوله‌کشی آب لاهیجان. نامه‌های درخواست مردم برای احداث تأسیسات در سیاهکل، خلخال، قریه نارنجکلا به نمایندگان مجلس سنا و شورای ملی و پاسخ بنگاه	
۱۱	بررسی حساب‌های سازمان آبیاری سیستم	
۱۲	بودجه و درآمد پیش‌بینی شده برخی طرح‌ها	
۱۳	حکم انتصاب ریاست بنگاه	
۱۴	نامه شماره ۱۷۸۴۹ مورخ ۱۳۲۱/۶/۱۸ به ضمیمه رونوشت گزارش شماره ۱۶۹۷۷ راجع به برنامه آبیاری با نسخه‌های طرح قانون آبیاری و قانون انجمن‌های کشاورزی	
۱۵	تصویب‌نامه تشکیل صندوق‌های تعاونی مصوبه هیئت وزیران در جلسه مورخ ۱۱ خرداد ماه ۱۳۲۵	
۱۶	تعدادی از مقالات شماره‌های مختلف نشریه بنگاه مستقل آبیاری «آب»	
۱۷	متن «قانون اصلاح قانون تأسیس بنگاه آبیاری و امور مربوط به آبیاری کشور»- تاریخ تصویب: ۱۳۳۴/۵/۱۱.	روزنامه رسمی کشور
۱۸	متن «قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری»- منتشر شده در روزنامه رسمی کشور- تاریخ تصویب: ۱۳۲۲/۲/۲۹.	
۱۹	متن «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق»- تاریخ تصویب: ۱۳۴۲/۱۲/۲۶.	
۲۰	متن «قانون مربوط به اجازه ساختمان سدهای درودزن و زرینه رود»- تاریخ تصویب: ۲۳ دی ماه ۱۳۳۸	
۲۱	متن «قانون تکمیل قانون قنات»- مصوب مجلس شورای ملی- تاریخ تصویب ۱۳۱۳/۶/۱۳	
۲۲	اساسنامه سازمان آب و برق خوزستان- مصوب -مجلس شورای ملی -۱۳۳۹/۴/۹	
۲۳	متن «قانون تأمین منابع مالی برای جبران خسارات ناشی از خشکسالی و یا سرمازدگی» مصوب ۱۳۸۳/۷/۱۴ مجلس شورای اسلامی.	
۲۴	متن «قانون تأسیس وزارت نیرو»- منتشر شده در روزنامه رسمی کشور- تاریخ تصویب: ۱۳۵۳/۱۱/۲۸	

ردیف	عنوان سند	نوع سند
۲۵	طرح آب و برق و اصلاحات ارضی (طرح توجیهی تشکیل وزارت یا سازمان آب و برق	سند کتابخانه وزارت نیرو
۲۶	نشریه سالانه کمیته آبیاری و زهکشی ایران. سال ۱۳۷۳. منتشر شده توسط کمیته آبیاری و زهکشی ایران- وزارت نیرو	
۲۷	فعالیت‌های بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۴۲.	
۲۸	صورت‌جلسات بنگاه مستقل آبیاری از ابتدای تأسیس تا سال ۱۳۴۲.	
۲۹	گزارش طرح پیشنهادی کمیسیون ملی منابع آب در ایران تهیه کننده مورتون وی برمن مشاور منابع آبی اداره عمران بین‌المللی ممالک متحده آمریکا نگارش ۱۹۶۲	سند کتابخانه سازمان برنامه
۳۰	هنگام تصویب «قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری» - دوره ۱۳- جلسات ۱۲۶ - ۱۳۰-۱۵۱-۱۵۲-۱۵۷-۱۵۹-۱۶۰-۱۶۱-۱۶۲	مجلس شورای ملی مجلس شورای ملی
۳۱	هنگام تصویب «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق»- مجلس شورای ملی- دوره ۲۲-جلسه ۵۲	
۳۲	هنگام تصویب «قانون تأسیس وزارت نیرو». دوره ۲۳- جلسه ۱۹۵ - ۱۹۸	
۳۳	هنگام تصویب «قانون مربوط به اجازه ساختمان سدهای درودزن و زرینه‌رود»- دوره ۱۹-جلسه ۳۴۴	
۳۴	هنگام تصویب «قانون آب و نحوه ملی شدن آن». مجلس شورای ملی- دوره ۲۲- جلسه ۳۵- ۳۶	
۳۵	هنگام تصویب «قانون اصلاح قانون تأسیس بنگاه آبیاری و امورمربوط به آبیاری کشور»- روز ۱۱ مردادماه ۱۳۳۴	مشروح مذاکرات سنا
۳۶	هنگام تصویب «قانون آب و نحوه ملی شدن آن». دوره ۵-جلسه ۳۹	
۳۷	هنگام تصویب «قانون مربوط به اجازه ساختمان سدهای درودزن و زرینه رود»- دوره ۲. جلسه ۴۰۳	
۳۸	هنگام تصویب «قانون تأسیس وزارت نیرو». مجلس سنا- دوره ۶- جلسه ۱۳۴	
۳۹	هنگام تصویب «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق». مجلس سنا-دوره چهارم- جلسه: ۴۱	
۴۰	گزارش با عنوان نظراتی در باره برنامه آبیاری (سیاست استفاده از منابع آب کشور، طریقه منطقی توزیع اعتبارات قبل از حصول اطلاعات تفصیلی، شناخت برتری پروژه‌های آبیاری)	اسناد کمیته ملی آبیاری و زهکشی
۴۱	نشریه بنگاه مستقل آبیاری «آب» - دوره سوم شماره ششم- مهرماه ۱۳۴۲. دوره دوم - شماره سوم- فروردین ۱۳۳۵- دوره دوم - شماره دوازدهم- اسفند ۱۳۳۸ - چاپ تابان	
۴۲	نظراتی در باره برنامه‌ریزی آبیاری (سیاست استفاده از منابع آب کشور، طریقه منطقی توزیع اعتبارات قبل از حصول اطلاعات تفصیلی، شناخت برتری پروژه‌های آبیاری)، تهران: چاپ تابان.	
۴۳	فیلم ۶ دقیقه‌ای افتتاح سد دز (سد محمدرضا شاه) توسط محمد رضا پهلوی	فیلم مستند موجود در سایت آپارات ^۳

بازه‌های زمانی درازمدت معرفی می‌کند و از همینجا با مفهوم حک‌شدگی در زمینه و حک‌شدگی در تاریخ مولینگا پیوند یافته و برای تحلیل علل بحران آب کاربردی است.

نهادهای به‌عنوان قواعد بادوام حیات سیاسی و اجتماعی، که رفتارها را ساختار می‌بخشند و به‌راحتی قابل تغییر نیستند تعریف می‌شوند (Mahoney و Thelen، ۲۰۱۰). تحول نهادی به تغییری در آرایش نهادی اشاره دارد که روشن می‌کند چه چیزهایی در نهادهای تثبیت شده و چگونه در طول زمان تغییر یافته‌اند.

در حوزه آب، Saleth و Dinar (۲۰۰۴) نهاد آب را شامل سه مؤلفه اصلی تشکیلات، قانون و سیاست تعریف می‌کنند. بنابراین اگر برای تحلیل اب رویکرد نهادگرایی به کار گرفته شود، باید ورود به تشکیلات یا همان بوروکراسی آب بررسی شود. با توجه به مفهوم تحول نهادی اینکه مؤلفه تشکیلاتی نهاد آب (بوروکراسی آب) چگونه ساخته شد، چه چیزهایی در آن تثبیت شد و چگونه در طول زمان تغییر یافت. به همین منظور به مفاهیم وابستگی به مسیر و بزنگاه برای تشریح این تغییرات نیاز است.

مفهوم وابستگی به مسیر نشان می‌دهد که تصمیمات و تغییرات اولیه در نهادهای مسیر آینده را تعیین کرده و انتخاب‌ها را محدود می‌کنند. نورث (۱۳۸۵) معتقد است عواملی مانند صرفه‌های شبکه، یادگیری سازمانی و مدل‌های ذهنی تاریخی مسیرهای نهادی را تثبیت کرده و تغییر آن‌ها را دشوار می‌سازند (نورث، ۱۳۸۵). Mahoney و Thelen (۲۰۱۰) بیان کردند که فرایندهای وابسته به مسیر در مراحل اولیه گشودگی نسبی دارند. در این مراحل، بیش از یک گزینه وجود دارد و عوامل کوچک می‌توانند تغییرات بزرگی ایجاد کنند. اما با تثبیت مسیر، تغییرات دشوارتر شده و فرایندهای خود تقویت‌شونده باعث نهادینه شدن بیشتر آن می‌شوند.

بزنگاه‌ها، لحظات کلیدی در تحول نهادی هستند که مسیرهای جدیدی ایجاد یا مسیرهای موجود را تثبیت می‌کنند. این لحظات معمولاً با شوک‌های خارجی مانند جنگ‌ها یا بحران‌های اقتصادی همراه هستند و فرصت‌هایی برای ایجاد تغییرات نهادی ماندگار فراهم می‌کنند (Mahoney و Thelen، ۲۰۱۰). تغییرات نهادی عموماً با «تبادل منقطع» همراه هستند. در این لحظات کوتاه، فرصت‌هایی برای اصلاحات نهادی آشکار شده و به دنبال آن، دوره‌های طولانی ثبات نهادی به وجود می‌آید. بزنگاه‌ها نهادها را در مسیرهایی قرار می‌دهند که تغییر مسیر پس از آن‌ها بسیار دشوار است. به عبارت دیگر، بزنگاه‌ها در مراحل اولیه فرایندهای خود تقویت‌شونده رخ می‌دهند و باعث می‌شوند مسیرهای خاصی انتخاب و گزینه‌های دیگر کنار گذاشته

برای پاسخ به سوال پژوهش باید از رویکرد تاریخی کمک گرفت، چرا که گیدنز معتقد است حال لحظه‌ای است تاریخی و کل تحلیل حال باید خودآگاهانه تاریخی باشد (گیدنز، ۱۳۸۴)، از نظر گادامر هدف از مطالعه تاریخی، شناخت بهتر و کامل‌تر امروز است (گادامر، ۱۳۸۷). همچنین پیرسون (۱۳۹۳) معتقد است ما به بررسی تاریخ می‌پردازیم، چون حیات اجتماعی در بستر تاریخ رشد و نمو می‌کند. پیرسون (۱۳۹۳) علاوه بر ضرورت کلی تاریخ در بررسی امر اجتماعی، پیتر مولینگا^۲، از نظریه‌پردازان جامعه‌شناسی مدیریت منابع آب، مدیریت منابع آب را امری حک‌شده^۳ می‌داند. Mollinga (۲۰۰۱؛ ۲۰۰۸a؛ ۲۰۰۸b) مدیریت منابع آب را «کنترل منازعه‌آمیز آب» می‌داند که شامل سه بعد فنی (دست‌کاری جریان فیزیکی و کیفیت آب)، مدیریتی (هدایت رفتار انسانی در بهره‌برداری از آب) و اجتماعی-اقتصادی (ساختارهایی مانند قوانین و شرایط اقتصادی که مدیریت آب در آن‌ها حک‌شده) است. او معتقد است مدیریت منابع آب حاصل تعامل میان ساختار و عاملیت است که جامعه را بازتولید یا دگرگون می‌کند. او دو نوع حک‌شدگی را مطرح می‌کند. حک‌شدگی در زمینه، به معنای ارتباط مدیریت آب با سایر ساختارها و پرکتیس‌ها و حک‌شدگی در تاریخ، به معنای تأکید بر ریشه‌های تاریخی و مسیر تحول مدیریت آب.

در رویکرد Mollinga (۲۰۰۸a) از آنجا که سیاست‌های آب به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به اهداف اقتصادی، سیاسی و اجتماعی تحلیل می‌شوند، در نتیجه کنشگرانی مانند دولت، مجلس، زمین‌داران و بوروکرات‌ها برای تدوین، تثبیت و اجرای سیاست‌های آب مورد نظر خودشان منازعه و تعامل می‌کنند تا به اهداف خود برسند. بنابراین در مورد مساله این پژوهش، بررسی این منازعات و شرایط زمینه‌ای آن‌ها، با دومفهوم حک‌شدگی در زمینه و تاریخ به درک اینکه کدام گروه‌های قدرت و تحت چه زمینه تاریخی- اجتماعی موجب ورود گسترده دولت به مدیریت منابع آب شدند، کمک می‌کند.

رویکرد نهادی و مفاهیم وابستگی به مسیر و بزنگاه

در تحلیل نحوه ورود دولت

پیرسون معتقد است تحلیل اجتماعی باید هر لحظه از زمان را در زمینه خاص خود قرار دهد (پیرسون، ۱۳۹۳). ادبیات نهادگرایی که پیرسون بر آن تأکید دارد، شناخت زمینه را به‌عنوان مدخلی برای درک ارتباط رخدادهای فرایندهای اجتماعی در

شوند. تحلیل بزرگه‌ها کمک می‌کند تا مشخص شود چگونه گروه‌های قدرت در لحظات تاریخی خاص بر مسیر تحول نهادی تأثیر می‌گذارند (Mahoney و Thelen، ۲۰۱۰؛ پیرسون، ۱۳۹۳).

نظریات دولت-ملت‌سازی و مأموریت هیدرولیک

وهیدروکراسی

ایده اصلی مأموریت هیدرولیک، جلوگیری از هدررفت حتی یک قطره آب و استفاده کامل از آن بود. در قرن‌های ۱۹ و ۲۰، این مأموریت تحت تأثیر شوق تسلط بر طبیعت با کمک علم و فناوری، آرمان مدرن شکوفایی بیابان‌ها، ایده اخلاقی بهبود زندگی کشاورزان و باور انجیلی «ساخت بهشت در صحراها» شکل گرفت. این عوامل جهان‌بینی بوروکراسی‌های آبی را شکل دادند، به‌طوری که اقدامات خود را تحقق رویاهای اخلاقی، مذهبی و علمی می‌دانستند و برای آن تقدس قائل بودند.

دولت‌ها برای افزایش تولید غذا، بهبود درآمد روستاها و تقویت ساختار و مشروعیت خود، مأموریت هیدرولیک را پذیرفته و اجرای آن را به بوروکراسی‌های قدرتمند آب واگذار کردند. مرور ادبیات نشان می‌دهد که استفاده از سازه‌های بزرگ آبی و مشروعیت ناشی از اجرای مأموریت هیدرولیک برای تقویت فرایندهای دولت-ملت‌سازی، شیوه‌ای رایج در کشورهای مختلف بوده است. این هیدروکراسی‌ها، با تمرکز بر پروژه‌های نمادین مانند سدسازی‌های عظیم و گسترش سیستم‌های آبیاری بزرگ مقیاس، گاهی اهداف اصلی توسعه زیرساخت‌ها را نادیده گرفته و به دنبال منافع شخصی و تقویت رانت‌جویی بودند. این روند در نهایت به افزایش قدرت بیش‌ازحد دولت انجامید (Molle و همکاران، ۲۰۰۹؛ Bichsel، ۲۰۱۶؛ Obertreis و همکاران، ۲۰۱۶؛ Attwood، ۲۰۰۷).

این سازمان‌ها همان مؤلفه تشکیلات در نهاد آب هستند. با توجه به مطالب فوق، می‌توان بیان کرد سه مفهوم مأموریت هیدرولیک، فرایند دولت-ملت‌سازی و هیدروکراسی، ابزارهایی مناسب برای شناخت زمینه شکل‌گیری تشکیلات آب و تحولات آن هستند. بنابراین، این پژوهش به بررسی نحوه شکل‌گیری مأموریت هیدرولیک، شواهد استفاده از پروژه‌های آبی برای تقویت مشروعیت دولت در ایران و در نهایت تشکیل بوروکراسی آبی می‌پردازد.

یافته‌ها

برای بررسی بحران آب در ایران با توجه به مفهوم حک‌شدگی در تاریخ و زمینه، این پژوهش به تاریخ بازگشته است. هدف این بازگشت، شناسایی بزرگه‌های ورود دولت به نهاد آب و

واکاوای زمینه‌های تأثیرگذار بر شکل‌گیری این بزرگه‌ها بود. در این پژوهش، تلاش شد با تحلیل زمینه‌ها، روایتی از چگونگی و چرایی شکل‌گیری بوروکراسی‌های آبی در نهاد آب و قدرت گرفتن آن ارائه شود.

بزرگه اول: شکل‌گیری مدیریت مشارکتی در تشکیلات نهاد آب

تشکیلات، مهم‌ترین مؤلفه نهاد آب است که ویژگی اصلی آن تمرکز یا عدم تمرکز است. در روند شکل‌گیری و تغییرات تشکیلات آب در ایران، بررسی این ویژگی میزان تمرکز، نقطه عطف مهمی را آشکار می‌کند: تأسیس بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۲۲.

پیش از تأسیس بنگاه، هرچند اداراتی برای ساماندهی امور آبیاری در مناطق مختلف از سوی دولت ایجاد شده بودند، اما ورود دولت به‌صورت جدی و در سطح ملی تا لحظه خاص تأسیس بنگاه مستقل آبیاری ممکن نشده بود. این لحظه، نقطه‌ای است که در دوران مدرن، ذی‌نفع جدیدی وارد عرصه مدیریت منابع می‌شود. این ذی‌نفع که در ابتدا چندان قدرتمند به نظر نمی‌رسد، وظیفه خود را تنها یاری رساندن به انجام وظایفی می‌داند که بخشی از مالکان و ذی‌نفعان قدیمی از آن سرباز زده‌اند. دولت در این زمان پول چندان‌ی ندارد و نقش خود را تسهیل‌گر تعریف می‌کند و هدف اصلی آن نیز کمک به مردم برای تأمین معیشت و توانمندسازی آن‌ها برای پرداخت مالیات است. شیوه اداره بنگاه، مبتنی بر نظارت و تسهیل‌گری دولت اما با مشارکت مردم و بخش خصوصی بود. پیش از تأسیس بنگاه، دولت مسئولیت نظارت و برنامه‌ریزی در امور آب را به‌صورت سازمان‌یافته و جامع بر عهده نداشت. تأسیس بنگاه نخستین گام در تمرکزگرایی مدیریت منابع آب بود. مدیریت بنگاه در امور آبیاری کشور، نوعی مدیریت مشارکتی یا به عبارتی، مدیریت نیمه‌متمرکز میان دولت و مردم بود.

علل زمینه‌ای شکل‌گیری بزرگه اول: تأسیس بنگاه مستقل آبیاری

بررسی شرایط تاریخی و اجتماعی آن دوران، عواملی را که به شکل‌گیری بنگاه مستقل آبیاری انجامیدند، آشکار می‌کند و در ادامه مطرح می‌شود:

• توانمندکردن کشاورزان برای گرفتن مالیات و تأمین هزینه‌های دولت

وزارت کشاورزی یکی از نخستین وزارتخانه‌های تأسیس‌شده در دوران مدرن است. در مورد شرایط پیش از تشکیل بنگاه

مستقل آبیاری می‌توان گفت که ایران در آن زمان کشوری با اقتصاد کشاورزی بوده و بخش عمده‌ای از درآمد کشور از مالیات کشاورزی تأمین می‌شده است. کشاورزی ستون فقرات اقتصاد ایران بود، به‌طوری که ۷۵ درصد نیروی کار را جذب کرده و ۵۰ درصد تولید ناخالص داخلی را تأمین می‌کرد (فوران، ۱۳۸۲).

کاهش فقر کشاورزان و جلوگیری از مهاجرت و شرارت آن‌ها به دلیل فقر، در اسناد مربوط به تأسیسات آبیاری شبانکاره یکی از نخستین موارد ورود و کمک دولت به بهبود آبیاری ذکر شده است (سند آرشیو ملی ایران شماره ۵۴۸۰۰/۲۴۰). در مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون احداث تونل کوه‌رنگ در سال ۱۳۰۱، یکی از مهم‌ترین اهداف ذکر شده، کمک به کشاورزان برای تأمین معیشت و توانمند کردن آن‌ها برای پرداخت مالیات‌های به تعویق افتاده بود (مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی، دوره چهارم، جلسه ۸۲، ۱۳۰۱). علاوه بر آن بنگاه‌های کوچک آبیاری اولیه، پیش از تشکیل بنگاه مستقل، زیر نظر وزارت مالیه فعالیت می‌کردند (سند آرشیو ملی ایران شماره ۵۴۸۰۰/۲۴۰).

فعالیت تأسیسات معدود اولیه زیر نظر وزارت مالیه در کنار استنادهای موجود در مشروح مذاکرات نشان می‌دهد که هدف نهایی دولت از کمک به بخش کشاورزی، افزایش درآمد مالیاتی کشور بوده است.

• خشکسالی و نیاز به تأمین غذا

دهه ۱۳۲۰، هم‌زمان با جنگ جهانی دوم و اشغال ایران توسط نیروهای متفقین، باعث آسیب شدید به بخش‌های کلیدی اقتصادی کشور از جمله کشاورزی، صنعت، خدمات، بازرگانی خارجی، بودجه دولت و سطح زندگی شد. در این دوره، کشاورزی دچار افت فاحش تولید شد. تولید گندم و جو ۲۵ درصد، پنبه ۳۹ درصد، برنج ۱۰ درصد، گاو ۹ درصد و توتون و تنباکو ۷ درصد کاهش یافت. کاهش تولید محصولات غذایی همراه با افزایش تقاضای ارتش‌های اشغالگر خارجی برای مواد غذایی، قحطی شدیدی را در اکثر مناطق ایران، به‌ویژه آذربایجان و سواحل دریای خزر، به وجود آورد (فوران، ۱۳۸۳). به استناد مشروح مذاکرات مجلس، این قحطی با خشکسالی نیز همراه شد و در بسیاری از مناطق، از جمله جنوب ایران، عده زیادی از مردم از گرسنگی جان باختند (مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی، دوره ۱۳، جلسه ۱۲۶، ۱۳۰، ۱۳۲۱). این شرایط، نیاز فوری به تأمین غذا را به یک ضرورت حیاتی تبدیل کرد. در نتیجه توسعه کشاورزی امری ضروری به نظر می‌رسید و حمایت از آبیاری راهی برای آن بود.

• **رویکردهای توسعه‌ای و آغاز روند قدرت گرفتن دولت مدرن**
شواهد تاریخی نشان می‌دهد، در نظر نخبگان از دوران مشروطه، راه ترقی و پیشرفت مملکت، توسعه کشاورزی و فلاحیت بوده است که لازمه آن، توسعه آبیاری است. به بخشی از نطق انوار، نماینده مجلس در جلسه تصویب قانون تأسیس بنگاه مستقل آبیاری توجه شود:

انوار: حتی در دوره اول مشروطیت با وکلای میرز آن دوره که صحبت می‌کردیم که ایران را چه جور می‌توانیم جلو بیندازیم و در تحت چه روش می‌تواند ایران ترقی کند عقیده غالب ما این بود که مملکت ایران را باید یک مملکت فلاحیتی قرار دهیم و نمی‌تواند صنعتی باشد یعنی در درجه اول باید فلاحیتی باشد و چون ایران کوهستانی است فلاحیتی شدن آن فرع آبیاری است که محتاج است به احداث قنات و سدسازی و ترتیباتی که اسلاف ما داشتند. (مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی - هنگام تصویب قانون تأسیس بنگاه مستقل آبیاری)

در دوران پهلوی اول، رضا شاه برای تشکیل یک دولت مرکزی قوی و انجام نوسازی و اصلاحات مالی، اداری، اقتصادی، نظامی و آموزشی تلاش کرد (علم و همکاران، ۱۳۹۳). اصلاحات این دوره با سیاست تمرکزگرایی و افزایش نقش دولت مرکزی در همه عرصه‌ها همراه بود و جنبه بوروکراتیک آن بسیار قوی بود. این دیوان‌سالاری، پیش شرط استقلال نسبی دولت از طبقات مسلط اقتصادی محسوب می‌شد (کارشناس، ۱۳۸۲). افزایش منابع درآمدهای نفتی در این دوره، منابع لازم برای نوسازی را فراهم کرد. سیاست‌های توسعه رضا شاه عمدتاً مبتنی بر توسعه صنعتی با محوریت دولت بود که به شکل‌گیری طبقه جدید بورژوازی دولتی، نخبگان دیوان سالار و مدیران عالی رتبه انجامید (علم و همکاران، ۱۳۹۳).

سیاست‌های ارضی رضا شاه به تثبیت موقعیت اقتصادی زمین‌داران و کاهش قدرت سیاسی آن‌ها منجر شد. با اجرای قانون تقسیمات کشوری و گسترش نفوذ دولت مرکزی، از قدرت سیاسی زمین‌داران بزرگ و خوانین کاسته شد. در دوران رضا شاه، بخش کشاورزی و شیوه تولید دهقانی سهم‌بری شاهد تحول اساسی نبود. اگرچه فعالیت‌های تجاری در بخش کشاورزی با توسعه شهرها و رونق اقتصادی شدت گرفت، اما بخش کشاورزی خارج از برنامه‌های توسعه اقتصادی رضا شاه قرار داشت (فوران، ۱۳۸۲).

اقدامات رضا شاه در حوزه‌های نظامی، اداری، سیاسی-حقوقی،

قضایی، آموزشی، مالی، اقتصادی و صنعتی باعث قدرت گرفتن دولت مرکزی شد. اقدامات او در حوزه فرهنگی و اجتماعی نیز به تقویت هویت ملی انجامید. این قدرت گرفتن دولت و افزایش نفوذ آن در سراسر کشور، زمینه دخالت‌های بعدی دولت در حوزه‌های مختلف را فراهم کرد و شکل‌گیری دیوان سالاری، ابزار لازم برای ورود دولت به این حوزه‌ها را فراهم آورد.

• پایگاه طبقاتی نمایندگان مجلس و مقامات دولتی

از آنجا که هر نوع اقدامی در هر یک از سه مولفه نهاد آب-قانون، سیاست و تشکیلات- باید از مجرای قوه مقننه عبور کند، نمایندگان مجلس قدرت زیادی برای تأثیرگذاری بر نهاد آب دارند و شناسایی پایگاه طبقاتی این گروه ذی‌نفع می‌تواند نشان‌دهنده دلایل حمایت از یک قانون باشد.

در زمان تصویب قانون تأسیس بنگاه در سال ۱۳۲۲، که مصادف با دوره سیزدهم مجلس شورای ملی بود، حدود ۶۰ درصد نمایندگان از طبقه مالکین بودند (شجیعی، ۱۳۸۳؛ بیگدلو، ۱۳۹۴). اگرچه اقدامات رضاشاه از قدرت سیاسی ملاکین کاسته بود، آن‌ها همچنان طبقه‌ای قدرتمند بودند. درصد زیادی از نمایندگان مجلس و حتی مقامات دولتی مانند وزرا و نخست‌وزیران نیز از این گروه مالکین بودند. طبقه جدید بورژوازی دولتی، نخبگان دیوان سالار و مدیران عالی رتبه تحصیل کرده در این دوره به‌تازگی در حال شکل‌گیری بودند و هنوز قدرت قابل توجهی نداشتند. این برتری ملاکین در این دوره، به آن‌ها کمک می‌کرد از منافع زمین‌داران و استقلال آن‌ها محافظت کنند و در مقابل ورود تمام و کمال دولت به مدیریت منابع آب مقاومت نشان دهند. این مقاومت در طراحی مشارکتی بوروکراسی آبی آن دوره، یعنی بنگاه مستقل آبیاری، منعکس شده است.

• ایده خودکفایی

غنی‌نژاد (۱۳۹۶) معتقد است که مجلس مشروطه اول، باوجود نزدیکی به اقتصاد آزاد از منظر اقتصاد سیاسی، به دلیل حساسیت جدی نسبت به مداخله قدرت‌های خارجی مانند روسیه و انگلستان، استقلال سیاسی را جز اصول بنیادین خود می‌دانست. این استقلال سیاسی، لازمه‌ای برای استقلال اقتصادی نیز محسوب می‌شد. در این دوران، ایده خودکفایی برای نخستین بار در حال شکل‌گیری بود، هرچند به‌صورت محدودی مطرح می‌شد. با گذشت زمان، این ایده به تدریج قوت گرفت، به‌طوری‌که در زمان تأسیس بنگاه مستقل آبیاری، یعنی حدود ۳۵ سال بعد، در پیوند با توسعه کشاورزی به دفعات بیشتری از سوی نخبگان برای سیاست‌گذاری مورد استناد قرار گرفت. در مشروح مذاکرات بنگاه مستقل آبیاری، به مواردی اشاره شده که راه توسعه کشور، توسعه کشاورزی و خودکفایی در تأمین نیازهای غذایی است.

این ایده بعدها با فرایند هویت‌یابی ملی و رویکرد مدرنیزاسیون کشور پیوند بیشتری یافت و به‌تدریج تقویت شد. در زمان وقوع انقلاب اسلامی، این ایده به محور برنامه‌های دولت‌ها و پایه اصلی سیاست‌های توسعه کشاورزی و آبیاری تبدیل شد. این نگاه، یکی از دلایل اصلی توسعه بی‌رویه آبیاری و برداشت بیش‌ازحد از منابع آبی دانسته می‌شود که در نهایت به بحران آب منجر شد.

همه عوامل ذکر شده منجر به مطرح شدن ضرورت ورود دولت به مدیریت منابع آب شد، که در اثر همین ضرورت، لایحه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری از سوی دولت مطرح و به قانون تبدیل شد. تصویب این قانون و تأسیس بنگاه مستقل آبیاری، آن هم به صورت مدیریت مشارکتی، اولین بزنگاه



شکل ۳- علل زمینه‌ای شکل‌گیری بزنگاه اول

ورود دولت به مدیریت منابع آب بود که به طور خلاصه در شکل (۳) نشان داده شده است.

بزنگاه دوم: تشکیل وزارت آب و برق، انحصار مدیریت منابع آب توسط دولت، بزنگاه ورود تمام و کمال دولت به برنامه ریزی، اجرا و سرمایه گذاری در منابع آب

بنگاه مستقل آبیاری که پیش از آغاز فعالیت نظام برنامه ریزی توسعه کشور در سال ۱۳۲۷ تأسیس شده بود، وظایفی مانند تسهیل گری و نظارت در ساخت، بهره برداری و نگهداری از تاسیسات آبی را برعهده داشت. اما شرکت مشاورین ماورابحر، که نویسندگان اولین برنامه توسعه ایران بودند، پیشنهاد ایجاد سازمان مرکزی آب با وظایفی مانند آماربرداری، برنامه ریزی، نظارت بر طرح های آبیاری، صدور مجوز نیروگاه های آبی و تأسیس سازمان های آب منطقه ای را مطرح کردند (مبشری، ۱۳۵۶). این پیشنهاد، آغازگر رویکرد متمرکز در تشکیلات آب کشور بود که در تضاد با رویکرد غیرمتمرکز بنگاه مستقل آبیاری قرار داشت. بااین حال، این ایده در برنامه اول توسعه اجرایی نشد و بنگاه مستقل آبیاری تا سال ۱۳۴۲ به فعالیت خود ادامه داد. ایده تمرکزگرایی تا تأسیس وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲ عملی نشد.

سوال اصلی این است که چرا ایده تمرکزگرایی در تشکیلات آب کشور، بیست سال پس از تأسیس بنگاه مستقل آبیاری، موفق شد. پاسخ در تغییرات زمینه ای این دوران نهفته است: تغییر در ساختار طبقاتی مجلس، تسلط گفتمان مأموریت هیدرولیک، سیاست های کلان توسعه، قدرت گرفتن محمدرضا شاه به عنوان مدافع مدرنیزاسیون و رهبر پروژه دولت-ملت سازی و موفقیت سازمان برنامه در اجرای پروژه هایی مانند سد دز. این تغییرات باعث تضعیف رویکرد غیرمتمرکز شد و رویکرد مدیریت متمرکز با تأسیس وزارت آب و برق، بزنگاه تاریخی پیروزی خود را جشن گرفت.

علل شکل گیری بزنگاه دوم: تأسیس وزارت آب و برق

این بخش به بررسی عوامل تاثیرگذار زمینه بر شکل گیری بزنگاه دوم ورود دولت به نهاد آب یعنی تأسیس وزارت آب و برق می پردازد.

• افزایش منابع مالی دولت

اجرای زیرساخت های آبی به منابع مالی عظیمی نیاز داشت که بخش خصوصی ایران، همچون سایر کشورها، توان تأمین آن را نداشت. دولت نیز تا پیش از افزایش درآمدهای نفتی

در اواخر دهه ۱۳۳۰، توانایی پرداخت این هزینه ها را نداشت. با شروع برنامه دوم توسعه، ساخت سدهای بزرگ دز و کرج در دستور کار قرار گرفت. درآمدهای نفتی دولت طی این دوره به طور چشمگیری افزایش یافت؛ از ۲۲/۵ میلیون دلار در سال ۱۳۳۳ به ۲۴۵ میلیون دلار در سال ۱۳۳۷ و بیش از ۳۴۲ میلیون دلار در سال ۱۳۴۱ رسید. این افزایش ناشی از رشد تولید نفت بود که دولت و نظام برنامه ریزی را به مداخله بیشتر در اقتصاد ترغیب کرد (غنی نژاد، ۱۳۹۶).

محمدرضا شاه و ابتهاج، رئیس وقت سازمان برنامه، برای تأمین هزینه های زیرساخت های آبی مانند سد دز، تلاش های بسیاری برای دریافت وام از بانک جهانی کردند و بخشی از هزینه ها را از این طریق تأمین کردند (انصاری و همکاران، ۱۳۷۱؛ لاجوردی، ۱۹۹۶). علاوه بر این، دولت آمریکا، تحت برنامه «اصل ۴ ترومن»، برای کمک به نوسازی کشورهای توسعه نیافته و مقابله با نفوذ کمونیسم، حمایت های مالی و آموزشی به ایران ارائه داد. این برنامه طی ۱۵ سال فعالیت در ایران، ۱۰۰۰ چاه نیمه عمیق و ۱۰۰ چاه عمیق حفر کرد، حدود ۹۰۰ متخصص آبیاری آموزش داد و جغرافی دانانی را تربیت کرد که در بهره برداری از منابع زیرزمینی مؤثر بودند. (قرشی و جمیری، ۱۳۸۷).

به این ترتیب منابع مالی اجرای پروژه های زیرساختی آبی از سه طریق افزایش درآمدهای نفتی، وام های بانک جهانی و کمک های مالی «اصل ۴ ترومن» تأمین شد.

• تغییر ساختار طبقاتی اعضای دولت و نمایندگان مجلس

ادوار مجلس شورای ملی از مشروطه تا انقلاب اسلامی به سه عصر اول، دوم و سوم مشروطیت تقسیم می شود. در عصر اول و دوم مشروطیت (مجلس اول تا سیزدهم)، بیش از ۵۰ درصد نمایندگان از طبقه مالکان بودند. اما در دوره سوم مشروطه (مجلس چهاردهم تا بیست و چهارم)، که از سال ۱۳۲۰ تا ۱۳۵۷ هم زمان با سلطنت محمدرضا پهلوی است، درصد نمایندگان ملاکین به مرور کاهش یافت و در دوره بیست و یکم به ۳۵ درصد رسید (شجیعی، ۱۳۸۳). در مقابل، تعداد کارمندان، فن سالاران و متخصصان در میان نمایندگان افزایش یافت، به طوری که در دوره بیست و دوم، ۷۷ درصد نمایندگان مشاغل دولتی داشتند (ازغندی، ۱۳۷۶). این تغییر تحت تأثیر اصلاحات ارضی و تمایل محمدرضا شاه به تقویت بوروکرات ها و تحصیل کردگان جوانی بود که با ایده های او درباره توسعه و مدرنیزاسیون همسو و مطیع اوامرش بودند (بیگدلو، ۱۳۹۴؛ قیصریان و خسروی زاده، ۱۳۹۱). محمدرضا این گروه را نه تنها در مجلس بلکه در کابینه و سایر مقامات حکومتی به کار گرفت تا مجری ایده های او باشند. این

سازه‌های آبی را در راستای رفاه عامه نشان داد و مشروعیت دولت را تقویت کرد.

• سیاست‌های توسعه

نظریه مدرنیزاسیون پارادایم اصلی تفکر توسعه در دوران جنگ سرد بود (Nassehi, ۲۰۱۸؛ بیگدلو، ۱۳۹۴). تکنوکرات‌ها صنعتی شدن را نسبت به توسعه کشاورزی در اولویت قرار می‌دادند. دلیل این بی‌توجهی، افزایش درآمد نفتی بود که سیاست‌گذاران را از نیاز به مالیات‌بندی بخش کشاورزی برای سرمایه‌گذاری در صنعت بی‌نیاز کرد، برخلاف کشورهایی چون تایوان و کره جنوبی که فاقد منابع بودند. در نتیجه، رانت نفتی فرآیند صنعتی شدن را از توسعه کشاورزی جدا کرده و انگیزه ارتقای کشاورزی را کاهش داد (Nassehi, ۲۰۱۸). اصلاحات ارضی شاه نیز بیشتر با هدف تضعیف زمین‌داران بود (فوران، ۱۳۸۲) تا بهبود کشاورزی. البته در این دوران باوجود اولویت سیاست توسعه صنعتی، بررسی برنامه‌های توسعه اول تا چهارم توسعه نشان می‌دهد که کشاورزی و توسعه آبیاری همچنان جایگاه خود را حفظ کرده بودند.

• استفاده از پروژه‌های آبی به عنوان وسیله‌ای برای شکل‌دهی دولت-ملت

چنانکه در چارچوب مفهومی اشاره شد، پروژه‌های سدسازی توسط حکومت‌ها حمایت می‌شوند تا از آن‌ها در مشروعیت بخشی به حکومت، تقویت رابطه دولت-ملت بهره ببرند. در سال‌های پایانی دهه ۱۳۳۰ مقامات حکومت از خود شخص محمدرضا شاه و خاندان سلطنتی گرفته تا نخست وزیران، وزرا، نمایندگان مجلس، استانداران همگی از طرق مختلف به نحوی خود را در ساخت سدها سهیم می‌کنند و این موضوع را نیز به نمایش می‌گذارند تا پیوند خود به دولت و ملت نشان داده و خدمتگزاری خود به مردم و شاه در راه سازندگی مملکت را نشان داده و کسب مشروعیت کنند.

۱. اعطای کمک‌های مستقیم مالی به پروژه‌های آبیاری
۲. نام‌گذاری سدهای بزرگ به نام اعضای خاندان سلطنتی و خود شخص محمدرضا شاه
۳. حضور آن‌ها در مراسم افتتاح سدها
۴. معرفی سدها به عنوان نمادی از همکاری دولت و ملت و تحقق اراده شاه و ملت در سخنرانی‌های افتتاحیه.

تغییر ساختاری باعث شد ملاکین، به عنوان بزرگ‌ترین گروه ذی‌نفع حوزه آب، تضعیف شوند و نتوانند مقابل ورود دولت به مدیریت منابع آب مقاومت کنند. از سوی دیگر، تکنوکرات‌ها و نخبگان جدید طرف‌دار مدرنیزاسیون سریع و هژمونی مأموریت هیدرولیک بودند. این تغییر، زمینه قدرت گرفتن دولت و تشکیل بوروکراسی متمرکز وزارت آب و برق را فراهم کرد.

• حذف مخالفان و افزایش قدرت محمدرضا شاه بعد از مرداد ۳۲

در ۱۳ سال میان شهریور ۱۳۲۰ تا مرداد ۱۳۳۲، ایران شاهد بی‌ثباتی، هرج و مرج اجتماعی، تجزیه‌طلبی، بحران‌های سیاسی و سقوط اقتصادی بود و از استبداد به هرج و مرج گرایید (آبراهامیان، ۱۳۷۸). شاه در این دوران به دنبال تقویت سلطنت، کنترل ارتش و نزدیکی به آمریکا بود. پس از کودتای ۱۳۳۲، کمک‌های خارجی، به‌ویژه از جانب آمریکا و درآمدهای نفتی فزاینده، رژیم پهلوی را با تقویت نیروهای نظامی و امنیتی، به سمت بازتولید استبداد مدرن سوق داد. در اواخر دهه ۱۳۳۰، بحران اقتصادی و فشار آمریکا رژیم را وادار به اصلاحات ارضی و اجتماعی (انقلاب سفید) کرد (موثقی، ۱۳۸۴). اصلاحات ارضی، به گفته جان فوران، «قدرت سیاسی دولت را جایگزین قدرت زمین‌داران کرد» (فوران، ۱۳۸۲). رژیم شاه پیوند و ائتلاف با نخبگان سنتی از روحانیون، بازار و زمین‌داران را به هم زده بود، ولی در پیوند با طبقات مولد نوین هم قرار نگرفت. عقب‌ماندگی کشاورزی و فقدان کارایی و تولید آن و عدم گسترش بازار روستایی و کمبود سرمایه در بخش کشاورزی و رابطه ضعیف آن با صنعت، همگی از طریق درآمدهای نفتی جبران شد. از این‌پس شاه به مرکز فائقه قدرت تبدیل شد و درآمدهای نفتی، ماشین سرکوب، دیوانسالاری و نظام حزبی ابزارهای دیکتاتوری او بودند که در راستای منافع خاندان سلطنتی عمل می‌کردند (فوران، ۱۳۸۲). قدرت گرفتن شاه و تضعیف زمین‌داران به واسطه اصلاحات ارضی، که می‌توانستند مخالف سیاست‌های آبی و کشاورزی باشند، زمینه ورود کامل دولت به مدیریت منابع آب را فراهم کرد. از سوی دیگر این دولت قدرتمند که صدای مخالفان خود را خاموش کرده و ساختارهای اجتماعی پیشین را با برنامه‌های نوسازی برهم زده و نارضایتی‌های بالقوه ایجاد کرده است، برای کسب مشروعیت به اقداماتی نیاز دارد که هدفش را توسعه و رفاه کشور نشان دهد. انجام پروژه‌های زیرساختی آبی و همراهی با هژمونی مأموریت هیدرولیک در میان نخبگان، ظرفیت لازم برای مشروعیت‌بخشی و هویت‌بخشی به دولت را دارد. ویژگی مهم مأموریت هیدرولیک این است که می‌توان

• شکل‌گیری مأموریت هیدرولیک

دیوانسالاران آبی شامل مهندسان، بوروکرات‌ها و سیاست‌گذاران طرف‌دار طرح‌های آبی که در فاصله دهه ۲۰ و ۳۰ در حال افزایش و هویت‌یابی بودند از تز توسعه منطقه‌ای به عنوان پشتوانه نظری و از موفقیت‌های دره تنسی در امریکا به عنوان مثالی از تحقق رویای بهشت عدن بر زمین بر اثر اجرای پروژه‌های آبی استفاده کردند. آن‌ها موفق شدند سد دز را در قالب پروژه توسعه خوزستان بسازند. آن‌ها با داشتن همراهی و موافقت شاه و همسو با دنیا اصول مأموریت هیدرولیک که شامل هدر ندادن یک قطره آب قبل از ریختن به دریا و استفاده از مهندسی برای انتقال آب به هر جایی که لازم است را تبدیل به هژمونی مسبز فضای توسعه‌ای کشور کنند. ساخت سدهای بزرگ و سبز کردن همه جای ایران، تبدیل به رویای مشترک سیاست‌گذاران و فن سالاران آن دوران شد.

• تشکیل بوروکراسی آبی برای تحقق مأموریت هیدرولیک

همه عوامل بالا منجر به این شد که برای تحقق این مأموریت، بوروکراسی قدرتمند مورد نظر شکل بگیرد. بررسی مشروح مذاکرات کوتاه (یک جلسه) مجلس هنگام تأسیس وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲ و مقایسه آن با مذاکرات مفصل هنگام تأسیس بنگاه مستقل (۹ جلسه) نشان می‌دهد که نشانی از مخالفت‌های جدی و جلسات متعدد برای بررسی نیست و با یک اتفاق نظر کلی میان دولت و مجلس این قانون به سادگی تصویب می‌شود و وزارت آب و برق مهم‌ترین اختیارات در حوزه آب از جمله برنامه‌ریزی، سرمایه‌گذاری و اجرای پروژه‌های آبی را به عهده می‌گیرد آن هم با نوید ساختن ایرانی، توسعه یافته و ثروتمند.

(مشروح مذاکرات مجلس، هنگام تصویب «قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری» - دوره ۱۳ - جلسات ۱۲۶ - ۱۳۰ - ۱۵۱ - ۱۵۲ - ۱۵۷ - ۱۵۹ - ۱۶۰ - ۱۶۱ - ۱۶۲ و هنگام تصویب «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق» - مجلس شورای ملی - دوره ۲۲ - جلسه ۵۲).
شکل (۴) خلاصه عوامل زمینه‌ای موثر بر شکل‌گیری بزرگ‌نگاه دوم را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی علل تاریخی و جامعه‌شناختی بحران آب در ایران، به تحلیل نحوه ورود دولت به مدیریت منابع آب و شکل‌گیری ساختارهای متمرکز دولتی پرداخته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهند که دولت از طریق دو بزرگ‌نگاه اصلی به مدیریت منابع آب ورود کرد: تأسیس بنگاه مستقل آبیاری در سال ۱۳۲۲ (بزرگ‌نگاه اول) و تشکیل وزارت آب و برق در سال ۱۳۴۲ (بزرگ‌نگاه دوم). این دو بزرگ‌نگاه، با ایجاد و تثبیت ساختارها و قواعد نهادی خاص، مسیر تحول نهاد آب را به سمت تمرکزگرایی و انحصار قدرت دولت در سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری و اجرا هدایت کردند.

بر اساس چارچوب نظری حک‌شدگی در زمینه و تاریخ (Mollinga, ۲۰۰۱؛ ۲۰۰۸) و مفاهیم بزرگ‌نگاه و وابستگی به مسیر (Mahoney و Thelen, ۲۰۱۰؛ نورث, ۱۳۸۵)، شرایط زمینه‌ای شامل ساختار طبقاتی مجلس و دولت، افزایش منابع مالی نفتی، هژمونی مأموریت هیدرولیک و سیاست‌های کلان توسعه به شکلی قاطع بر شکل‌گیری این بزرگ‌نگاه‌ها اثرگذار بوده‌اند. بزرگ‌نگاه اول به ورود مشارکتی دولت در مدیریت منابع آب منجر شد، اما در بزرگ‌نگاه دوم، دولت با قدرت گرفتن در بوروکراسی متمرکز



شکل ۴- علل زمینه‌ای شکل‌گیری بزرگ‌نگاه دوم

۱. از آنجا که موضوع اصلی این مقاله علل ورود دولت به بحران آب است، جزئیات تحلیل علل بحران آب از نظر خبرگان که توسط پژوهشگران همین مقاله انجام شده در اینجا نیامده و در مقاله دیگری به تفصیل به آن پرداخته شده است. این مقاله در نوبت چاپ مجله سیاست‌گذاری عمومی است.

2. Process Tracing

3. <https://aspb3.cdn.asset.aparat.com/aparat-video/dbf6b275f15d119a94a2912493c48b4b1379455.mp4>

4. Peter Mollinga

5. Embedded

منابع

- آرشیو ملی ایران شماره ۵۴۸۰۰/۲۴۰ (قبل از سال ۲۲): گزارش تفصیلی از اقدامات بنگاه کل آبیاری- قانون انجمن‌های کشاورزی. آرشیو ملی ایران.
- ابتهاج، ابوالحسن. (۱۳۷۵). خاطرات ابوالحسن ابتهاج. انتشارات علمی و فرهنگی. چاپ اول. تهران، ایران.
- ازغندی، علیرضا. (۱۳۷۶). ناکارآمدی نخبگان سیاسی ایران بین دو انقلاب. انتشارات قومس. چاپ اول. تهران، ایران.
- انصاری، عبدالرضا، شه‌میرزادی، حسن، احمدی، احمد علی. (۱۹۹۲). تاریخ شفاهی سازمان آب و برق خوزستان، ویراستار غلامرضا افخمی. انتشارات بنیاد مطالعات ایران. www.fsi-iran.ir
- آبراهامیان، پروانه. (۱۳۷۸). ایران بین دو انقلاب. ترجمه کاظم فیروزمند، حسن شمس‌آوری و محسن مدیرشانه‌چی. نشر مرکز. چاپ اول. تهران، ایران.
- بیگدلو، رضا. (۱۳۹۴). تأثیرات نوسازی دولت پهلوی بر خاستگاه اجتماعی نمایندگان مجلس شورای ملی در دهه چهل شمسی. فصلنامه ژرفا پژوه، ۴ و ۵، ۷۷-۹۸.
- پیرسون، پل. (۱۳۹۳). سیاست در بستر زمان. ترجمه محمد فاضلی. نشر نی. تهران.
- لاجوردی، حبیب. (۱۹۹۶). پروژه تاریخ شفاهی ایران، دانشگاه هاروارد، مصاحبه با ابوالحسن ابتهاج. متن پیاده شده صفحات ۲۱۶-۲۲۱.
- شجیعی، زهرا. (۱۳۸۳). نخبگان سیاسی ایران از انقلاب مشروطه تا انقلاب اسلامی. انتشارات سخن. چاپ دوم. تهران.
- صادقی فسایی، سهیلا، و عرفان منش، ایمان. (۱۳۹۴). مبانی روش‌شناختی پژوهش اسنادی در علوم اجتماعی مورد مطالعه: تأثیرات مدرن شدن بر خانواده ایرانی. راهبرد فرهنگ، ۲۹، ۶۱-۹۲.
- علم، محمدرضا، دشتی، فرزانه، و میرزایی، بیژن. (۱۳۹۳). برنامه تجدد و نوسازی ایران در عصر رضاشاه پهلوی. تحقیقات تاریخ اجتماعی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۴ (۱)، ۶۱-۸۶.
- غنی‌نژاد، موسی. (۱۳۹۶). اقتصاد و دولت در ایران: پژوهشی درباره ریشه‌ها و علل تداوم اقتصاد دولتی در ایران. انتشارات دنیای اقتصاد تابان. چاپ اول. تهران، ایران.
- فوران، جان. (۱۳۸۲). مقاومت شکننده. ترجمه احمد تدین. انتشارات رسا. چاپ اول. تهران، ایران.

وزارت آب و برق، مدیریت انحصاری را بر عهده گرفت. این تحول، همان طور که ادبیات تجربی و خبرگان نیز بیان کرده‌اند، زمینه ناکارآمدی دولت و در نتیجه بحران آب کنونی ایران را فراهم کرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که پس از سال ۱۳۴۲، نهاد آب در ایران با تثبیت ساختارها و قواعد نهادی آغاز شده در بزنگاه دوم، وارد مسیری شد که تغییر آن بسیار دشوار بوده است. نظریه وابستگی به مسیر (Mahoney و Thelen، ۲۰۱۰).

توضیح می‌دهد که چنین مسیری، به دلیل وجود فرایندهای خود تقویت‌شونده و نهادینه شدن قواعد، تغییرناپذیر می‌شود. در عین حال، بررسی دقیق‌تر تحولات و اصلاحات انجام شده در دهه‌های اخیر، به‌ویژه پس از انقلاب اسلامی، می‌تواند درک کامل‌تری از موانع و محدودیت‌های تغییر مسیر نهادی فراهم کند. این پژوهش با تمرکز بر بزنگاه‌های تاریخی، مبنایی برای تحلیل‌های تکمیلی در خصوص سیاست‌های معاصر مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد. پژوهش‌های آتی باید به ارزیابی نتایج و علل ناکامی اصلاحات پس از انقلاب و طراحی سیاست‌های پایدارتر در این حوزه بپردازند.

آنچه می‌تواند به عنوان فرضیه برآمده از پژوهش حاضر در پژوهش‌های آتی مورد آزمون قرار بگیرد این است:

اصلاحات بعد از انقلاب اسلامی، هرچند با هدف تمرکززدایی و افزایش مشارکت طراحی شده بودند، نتوانستند مسیر نهادی را تغییر دهند. عدم توجه به زمینه تاریخی-اجتماعی در طراحی اصلاحات و نادیده گرفتن منافع ذی‌نفعان قدرتمند، از عوامل محتمل این شکست بوده است.

به‌طور خاص، نقش زمینه در شکل‌گیری قواعد نهادی و تشکیلاتی نباید نادیده گرفته شود. شرایطی که در بزنگاه دوم شکل گرفت، مانند افزایش درآمدهای نفتی و قدرت گرفتن مأموریت هیدرولیک، به تثبیت نهاد آب در مسیری منجر شد که انحصار دولت را تقویت کرد. این پژوهش بر اساس نظریه حک‌شدگی در زمینه و تاریخ، پیشنهاد می‌دهد که برای طراحی اصلاحات موفق در مدیریت منابع آب، باید به تغییر عوامل زمینه‌ای، از جمله ساختارهای سیاسی - اقتصادی و منافع ذی‌نفعان، توجه ویژه شود.

در نهایت، پژوهش‌های آتی باید بر تحلیل دقیق تلاش‌های انجام شده برای تمرکززدایی و دلایل ناکامی آن‌ها تمرکز کنند. این مطالعات می‌توانند با بهره‌گیری از یافته‌های این پژوهش و نظریات نهادگرایی، به شناسایی عوامل اصلی شکست اصلاحات و ارائه راهکارهای عملی برای تغییر مسیر نهادی نهاد آب کمک کنند.

- فیلم ۶ دقیقه‌ای افتتاح سد دز (سد محمدرضا شاه) توسط محمدرضا پهلوی به آدرس:
<https://aspb3.cdn.asset.aparat.com/aparat-video/dbf-6b275f15d119a94a2912493c48b4b1379455.mp4>
- قرشی، یوسف، و جمیری، محمد. (۱۳۸۷). اصل چهار ترومن در ایران. تاریخ معاصر ایران، ۴۶، ۷۱-۱۰۲.
- قیصریان فرد، هادی، و خسروی‌زاده، صباح. (۱۳۹۱). مقایسه جامعه‌شناختی آخرین مجلس عصر مشروطیت با اولین دوره قانون‌گذاری جمهوری اسلامی ایران. پیام بهارستان، ۲، ۱۶-۳۰.
- کارشناس، مسعود. (۱۳۸۲). نفت، دولت و صنعتی شدن در ایران. ترجمه علی‌اصغر سعیدی و یوسف حاجی عبدالوهاب. گام نو. تهران.
- گادامر، هانس گئورگ. (۱۳۸۷). آغاز فلسفه، ترجمه عزت‌الله فولادوند. هرمس. تهران.
- گیدنز، آنتونی. (۱۳۸۴). مسایل محوری در نظریه اجتماعی: کنش، ساختار و تناقض در تحلیل اجتماعی. ترجمه محمد رضایی. انتشارات سعادت. تهران.
- مبشری، فریدون. (۱۳۵۶). تاریخچه برنامه‌ریزی برای توسعه بهره‌برداری از منابع آب ایران (۱۳۲۷-۱۳۵۶). بازمنتشر شده در <https://www.wrm.ir>
- متن «قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری» - منتشر شده در روزنامه رسمی کشور - تاریخ تصویب: ۱۳۲۲/۲/۲۹. تاریخ انتشار: ۱۳۳۳. روزنامه: ۴۳۱۲.
- متن «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق» - منتشر شده در روزنامه رسمی کشور - تاریخ تصویب: ۱۳۲۲/۲/۲۹. تاریخ انتشار: ۱۳۴۳/۲/۵. روزنامه: ۵۵۸۶.
- متن «قانون اصلاح قانون تأسیس بنگاه آبیاری و امور مربوط به آبیاری کشور» - تاریخ تصویب: ۱۳۳۴/۵/۱۱. منتشر شده در روزنامه رسمی کشور - تاریخ انتشار: ۱۳۳۴/۵/۱۳. روزنامه: ۳۰۷۸.
- محمودی، مریم، میرزایی، حسین، فاضلی، و محمد، یوسفی، علی. (۱۴۰۳). شناسایی علل بحران آب در ایران از منظر متخصصان: سیاست‌ها، قوانین، دولت، تاریخ و پیشران‌ها. مجله سیاست‌گذاری عمومی (در نوبت چاپ).
- مشروح مذاکرات مجلس سنا - هنگام تصویب «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق». مجلس سنا - دوره چهارم - جلسه: ۴۱. دوشنبه بیست و ششم اسفند ماه ۱۳۴۲ - (دوره دوازدهم اجلاس).
- مشروح مذاکرات مجلس سنا هنگام تصویب «قانون اصلاح قانون تأسیس بنگاه آبیاری و امور مربوط به آبیاری کشور» - روز ۱۱ مرداد ماه ۱۳۳۴.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب «قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری» - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۲۶ صورت مشروح مجلس روز پنجشنبه ۲۴ دی ماه ۱۳۲۱ - شور اول.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب «قانون راجع به تأسیس وزارت آب و برق» - مجلس شورای ملی - دوره بیست و یکم - جلسه: ۵۲ صورت مشروح مذاکرات مجلس روز پنجشنبه ۲۲ اسفندماه ۱۳۴۲.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۳۰ صورت مشروح مجلس روز یکشنبه ۱۱ بهمن ماه ۱۳۲۱ - ادامه شور اول.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم.

- جلسه: ۱۵۱ صورت مشروح مجلس روز یکشنبه چهارم اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - شور دوم.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۵۲ صورت مشروح مجلس روز سه‌شنبه ششم اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - بقیه شور دوم لایحه آبیاری در ماده چهارم.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۵۷ صورت مشروح مجلس روز یکشنبه ۱۸ اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - ادامه شور دوم. بقیه شور لایحه آبیاری از ماده ۴.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۵۹ صورت مشروح مجلس روز پنجشنبه ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - بقیه شور دوم لایحه آبیاری از ماده هشتم.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۶۰ صورت مشروح مجلس روز یکشنبه ۲۵ اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - بقیه شور لایحه آبیاری از ماده نهم.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۶۱ صورت مشروح مجلس روز سه‌شنبه ۲۷ اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - بقیه شور دوم لایحه آبیاری.
- مشروح مذاکرات مجلس شورای ملی هنگام تصویب قانون اجازه تأسیس بنگاه مستقل آبیاری - مجلس شورای ملی دوره سیزدهم. جلسه: ۱۶۲ صورت مشروح مجلس روز پنجشنبه ۲۹ اردیبهشت ماه ۱۳۲۲ - تصویب لایحه آبیاری.
- مشروح مذاکرات مجلس ملی، دوره ۱۳ - جلسه: ۳۳ صورت مشروح مجلس روز پنجشنبه ۲۱ اسفند ماه ۱۳۲۰ - درباره تونل کوهرنگ
- نامه شماره ۱۷۸۴۹ مورخ ۱۳۲۱/۶/۱۸ به ضمیمه رونوشت گزارش شماره ۱۶۹۷۷ عنوان جناب آقای نخست وزیر راجع به برنامه آبیاری با نسخه‌های طرح قانون آبیاری و قانون انجمن‌های کشاورزی.
- نشریه بنگاه مستقل آبیاری «آب» - دوره سوم شماره ششم - مهرماه ۱۳۴۲.
- نشریه بنگاه مستقل آبیاری «آب» - دوره دوم - شماره دوازدهم - اسفند ۱۳۳۸ - چاپ تابان.
- نشریه بنگاه مستقل آبیاری «آب» - دوره دوم - شماره سوم - فروردین ۱۳۳۵ - چاپ تابان.
- نشریه سالانه کمیته آبیاری و زهکشی ایران. سال ۱۳۷۳. منتشر شده توسط کمیته آبیاری و زهکشی ایران - وزارت نیرو - نیروچاپ، تهران، ایران.
- نورث، داگلاس (۱۳۸۵). مترجم: محمدرضا معینی. نهادها، تغییرات نهادی و عملکرد اقتصادی، انتشارات سازمان برنامه و بودجه. تهران، ایران.
- همایونفر، ابراهیم. (۱۳۴۱). طرح آب و برق و اصلاحات ارضی (طرح توجیهی تشکیل وزارت یا سازمان آب و برق). نقش جهان. تهران، ایران.

- Attwood, D. W. (2007). Small is deadly, big is wasteful: The impact of large-scale industrial systems in western India. In A. Baviskar (Ed.), Waterscapes: The cultural politics of a natural resource (11-39). Permanent Black. Ranikhet, Uttaranchal, India.

- Bichsel, C. (2016). Water and the (infra-)structure of political rule: A synthesis. *Water Alternatives*, 9(2), 356–372. <https://doi.org/10.18452/21560>
- George, A. L., & Bennett, A. (2005). *Case Studies and Theory Development in the Social Sciences*. MIT Press. Cambridge, MA, USA.
- Mahoney, J., & Rueschemeyer, D. (2003). *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Mahoney, J., & Thelen, K. (2010). *Explaining Institutional Change: Ambiguity, Agency, and Power*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806414>
- Merrey, D. J., Meinzen-Dick, R., Mollinga, P. P., & Karar, E. (2007). Policy and institutional reform: The art of the possible. In D. Molden (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. (193–232). Earthscan. London, UK.
- Molle, F., Mollinga, P.P. & Wester, P. (2009). Hydraulic bureaucracies and the hydraulic mission: Flows of water, flows of power. *Water Alternatives*, 2(3), 328–349. <https://edepot.wur.nl/12837>
- Mollinga, P. (2001). Water and politics: levels, rational choice and South Indian canal irrigation. *Futures*, 33(8), 733–752. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(01\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(01)00016-7)
- Mollinga, P. (2008a). Water, Politics and Development: Framing a Political Sociology of Water Resources Management. In *Water Alternatives*, 1(1), 7–23. <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol1/viissue1/15-a-1-1-2/file>
- Mollinga, P. (2008b). *For A Political Sociology Of Water Resources Management*. Zef Working Paper Series, ISSN 1864-6638 Department of Political and Cultural Change. Center for Development Research, University of Bonn. Editors: H.-D. Evers, Solvay Gerke, Peter P. Mollinga, Conrad Schetter.
- Nassehi, R. (2018). Domesticating Cold War economic ideas: The rise of Iranian developmentalism in the 1950s and 1960s. In R. Alvandi (Ed.), *The Age of Aryamehr: Late Pahlavi Iran and its Global Entanglements* (pp. 35–69). Gingko. London, UK.
- Obertreis, J., Moss, T., Mollinga, P., & Bichsel, C. (2016). Water, infrastructure and political rule: Introduction to the Special Issue. *Water Alternatives*, 9(2), 168–181. <https://doi.org/10.18452/21560>
- Saleth, M., & Dinar, A. (2004). *The Institutional Economics of Water : A Cross-Country Analysis of Institutions and Performance*. Edward Elgar Publishing Limited and The World Bank. Washington, DC, USA.
- Scott, J. (1990). *A Matter of Record: Documentary Sources in Social Research*. Polity Press. Cambridge, UK.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). *Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research*. Sage Publications. Thousand Oaks, CA, USA.

The Role of Water Accounting and Auditing in Water Governance

S.M.Taheri^{1*}, M.Abdollahpour², K.Davary³

1-Ph.D. Student in Water Science and Engineering & Ph.D. Student in Civil-Environmental Engineering, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding Author Email: taheri.sm@mail.um.ac.ir

Received 27-10-2024
Revised 14-01-2025
Accepted 17-02-2025
Available Online 20-09-2025

Abstract

In this Conceptual-analytical article, the concept of water accounting and the necessity of the role of water accounting in water governance have been explained, as well as the correction of common previous beliefs and assumptions, and the step-by-step description of the water accounting cycle. For this purpose, the basic concepts related to these issues, such as food security, water security, water accounting and water auditing have been proposed at the beginning. Then, the key features of the water accounting approach, as well as the importance of water accounting and auditing as a tool for evaluating good governance, have been considered in detail. At the end, the topics of water accounting and auditing in water management and governance have been stated and the final conclusion has been made. Water accounting provides information about the trend of water supply and demand in space and time and examines the underlying causes of the imbalance in water supply and demand by different water users, the stability of the current level of water consumption, and the efficiency or effectiveness of water use by different stakeholders. Therefore, water accounting is increasingly considered critical for evidence-based policymaking related to water resources. In practice, basic information, including biophysical and technical data, does not necessarily translate into relevant political choices and their successful implementation on the ground. Many theories have attributed the growing challenges in water resources to a "crisis of governance". Understanding the physical and technical limitations in water resource management approaches, as well as the importance of institutional and political factors in shaping water-related policies and determining the methods of implementing these policies, seems essential.

Keywords: Water Accounting, Water Auditing, Water Governance, Water Allocation, Sustainable Development.

نقش حسابداری و حسابرسی آب در حکمرانی آب

سیده محدثه طاهری^{۱*}، مسعود عبدالله پور^۲، کامران داوری^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی آب و دانشجوی دکتری عمران - مهندسی محیط زیست، پژوهشگاه آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: taheri.sm@mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۸/۰۶
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۱۰/۲۵
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۱/۲۹
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

در این مقاله مفهومی-تحلیلی، مفهوم حسابداری آب و ضرورت نقش حسابداری آب در حکمرانی آب تبیین گردیده و همچنین به اصلاح باورها و فرضیات پیشین رایج و تشریح گام به گام چرخه حسابداری آب، پرداخته شده است. برای این امر در آغاز، مفاهیم پایه مرتبط با این مباحث مانند امنیت غذایی، امنیت آبی، حسابداری آب و حسابرسی آب مطرح شده است. سپس ویژگی های کلیدی رویکرد حسابداری آب و همچنین اهمیت حسابداری و حسابرسی آب به عنوان ابزاری برای ارزیابی حکمرانی خوب به صورت مشروح مورد توجه قرار گرفته است. در انتها مباحث کاربرد حسابداری و حسابرسی آب در مدیریت و حکمرانی آب بیان گردیده و نتیجه گیری نهایی صورت گرفته است. حسابداری آب اطلاعاتی را در مورد روند عرضه و تقاضای آب در مکان و زمان ارائه می دهد و علل زمینه ای عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب توسط کاربران مختلف آب، پایداری سطح فعلی آب مصرفی و کارایی یا بهره وری کاربرد آب توسط ذی نفعان مختلف را بررسی می نماید. بنابراین حسابداری آب به طور فزاینده ای برای سیاست گذاری مبتنی بر شواهد مرتبط با منابع آب، حیاتی محسوب می شود. در عمل، اطلاعات اولیه شامل داده های بیوفیزیکی و فنی لزوماً به انتخاب های سیاسی مرتبط و اجرای موفقیت آمیز آن ها در محل، تبدیل نمی شود. بسیاری از نظریه ها، چالش های فزاینده در منابع آب را به «بحران حکومتمداری» نسبت داده اند. درک محدودیت های فیزیکی و فنی در رویکردهای مدیریت منابع آب و همچنین اهمیت عوامل نهادی و سیاسی در شکل دهی سیاست های مرتبط با آب و تعیین شیوه های اجرای این سیاست ها، ضروری به نظر می رسد.

واژه های کلیدی: حسابداری آب، حسابرسی آب، حکمرانی آب، تخصیص آب، توسعه پایدار.

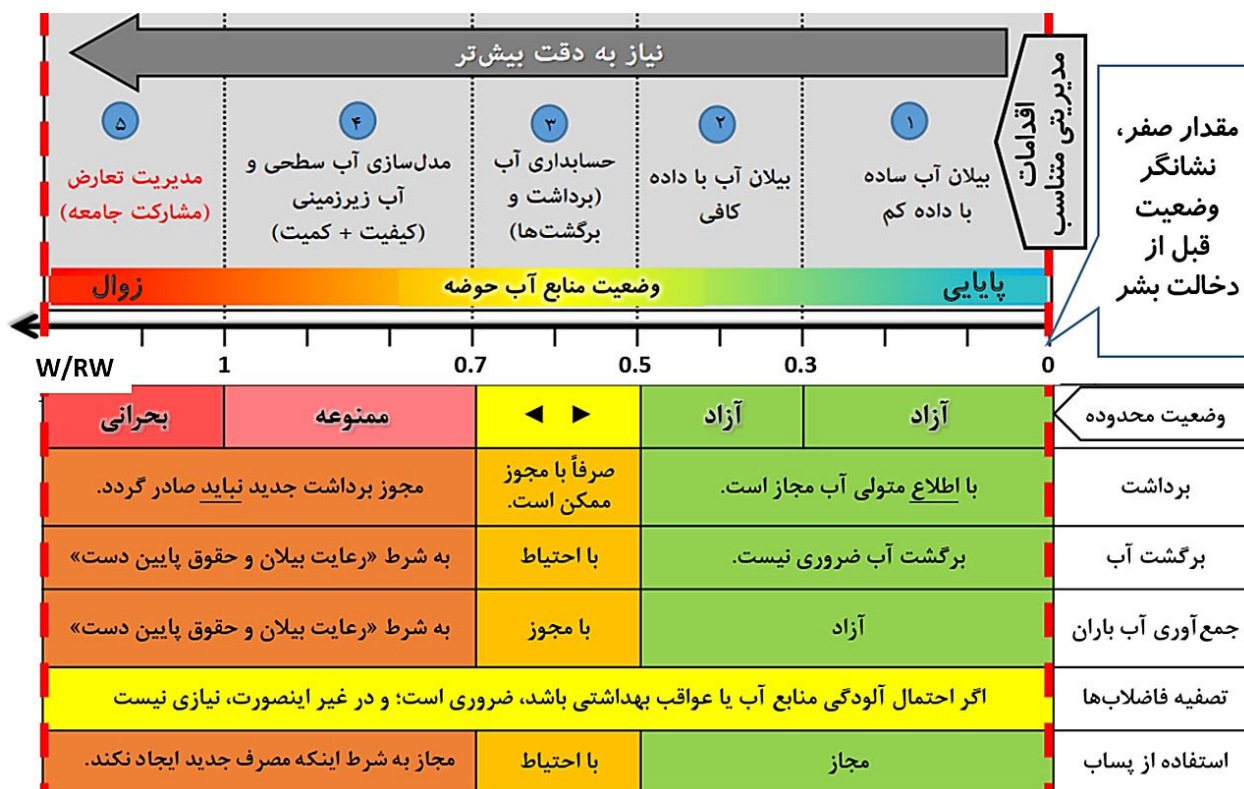
How to cite this article:

Taheri, S. M., Abdollahpour, M., & Davary, K. (2025). The Role of Water Accounting and Auditing in Water Governance. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 35-60. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2410-1376>

کافی، حسابداری آب، مدلسازی و در نهایت مدیریت تعارض می‌باشند. مقدار صفر نشانگر وضعیت و دوره قبل از دخالت بشر در منابع آب است. یعنی زمانی که هنوز بشر آبی از منابع آب زیرزمینی برداشت نکرده است و جریان طبیعی برقرار بوده است. در دوره‌ای که میزان برداشت‌ها کم باشد، شرایط پایایی برقرار است. در شرایط پایایی، اقدامات مدیریتی مورد نیاز با یک بیلان ساده و نظارت بر آبخوان^۶ (سفره آب زیرزمینی) برقرار می‌شود. هر چه میزان برداشت آب افزایش یابد در نتیجه نیاز به اقدامات مدیریتی و کنترلی دقیق‌تر و گسترده‌تر (گام‌های ۱ تا ۵) می‌باشد. در قسمت پایین شکل، سطر اول نشان‌دهنده وضعیت منابع آب حوضه است که بر اساس میزان برداشت آب از آب تجدیدپذیر مشخص می‌کند که شرایط و قوانین برداشت و برگشت آب به حوضه باید چگونه باشد.

برخی استدلال‌ها بر جلوگیری و یا کاهش چالش‌های قابل پیش‌بینی یا بحران‌های بالقوه آب، از طریق تنظیم شیوه‌های مدیریتی اشاره دارند. منطق آن‌ها این است که با حکمرانی^۸ خوب آب و اتخاذ راهبردهای مقابله‌ای مناسب، دلیلی وجود ندارد که آب کافی برای پاسخگویی به نیازهای اساسی انسانی و زیست‌محیطی بر مبنای عادلانه، پایدار و کارآمد وجود نداشته

امروزه در اکثر نواحی دنیا با ارتقای استاندارد زندگی و عطش توسعه، نیاز به استفاده از آب در حال افزایش است. به گونه‌ای که میزان برداشت آب^۱ به حدود میزان آب تجدیدپذیر^۲ رسیده است. حتی در بسیاری از حوضه‌ها، افزایش میزان تقاضا نسبت به فراهمی آب، موجب گذار از وضعیت کمبود^۳ به کمیابی^۴ شده است. اقدام مدیریتی مناسب در نسبت‌های «برداشت آب به آب تجدیدپذیر» (W/RW) کمتر از 0.5 از طریق محاسبات و بررسی بیلان آب حوضه امکان‌پذیر است، ولی با توجه به افزایش روند تقاضا و استحصال فزاینده آب، این نرخ روند صعودی داشته و نیاز به کاربرد حسابداری آب^۵ و مدل‌سازی و مدیریت تعارضات، ضرورت می‌یابد (شکل ۱). شکل (۱) در برگیرنده دو بخش بالا و پایینی است که بیانگر دو مفهوم مجزا، ولی مرتبط با یکدیگر می‌باشد. در قسمت بالای شکل، فرآیند برداشت آب^۶ را نشان می‌دهد که با گذر زمان به دلیل توسعه و پیشرفت و ظهور تکنولوژی پمپاژ، ایجاد سدها و... میزان برداشت‌ها به تدریج افزایش یافته است. قسمت بالای شکل بیانگر این موضوع است که برای شناخت و فهم درست از مسائل و مشکلات آب نیاز به گام‌های ۱ تا ۵ است که شامل بیلان آب ساده با داده کم، بیلان آب با داده



شکل ۱- اقدامات مدیریتی متناسب با نرخ برداشت آب به آب تجدیدپذیر (W/RW)

۱. مفاهیم پایه

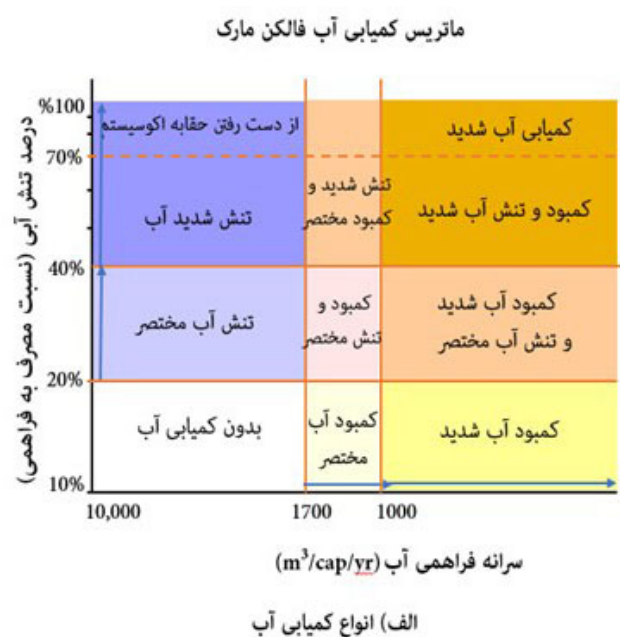
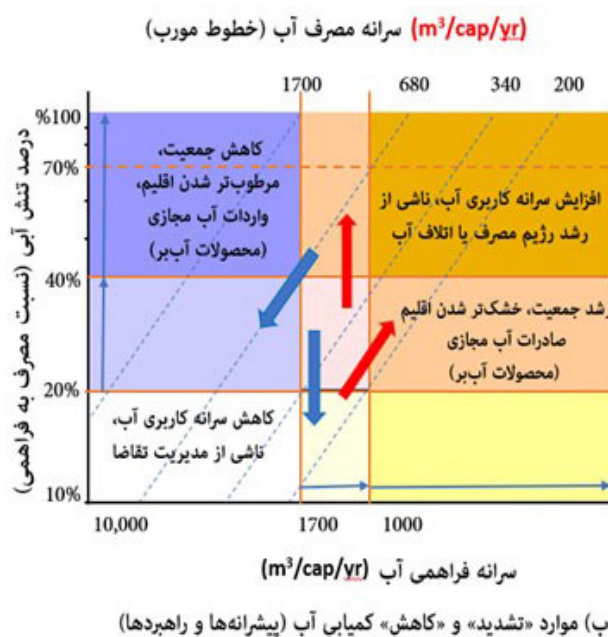
حسابداری آب

حسابداری آب اطلاعاتی را در مورد روند عرضه و تقاضای آب، علل زمینه‌ای عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب توسط کاربران مختلف آب؛ پایداری سطح فعلی مصارف آب کاربردی و راندمان یا بهره‌وری کاربری‌های مختلف آب در مکان و زمان ارائه می‌دهد و اطلاعاتی را تولید می‌کند که علم، مدیریت و حکمرانی آب را برای حمایت از توسعه پایدار برای جامعه و محیط‌زیست آگاه می‌کند، بنابراین حسابداری آب به‌طور فزاینده برای سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد مرتبط با منابع آب، حیاتی در نظر گرفته می‌شود. چندین چارچوب برای حسابداری آب توسط سازمان‌های ملی و بین‌المللی مانند بخش آمار سازمان ملل (UNSD)^{۱۵}، بخش آب سازمان ملل (UN-Water)^{۱۶}، فائو (FAO)^{۱۷}، سازمان بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)^{۱۸}، کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID)^{۱۹} و هیئت استانداردهای حسابداری آب (WASB)^{۲۰} ارائه شده است (Godfrey و Chalmers، ۲۰۱۲).

چارچوب‌های حسابداری آب براساس چگونگی مطالعه منابع آب و روش‌های برآورد مصارف آب به دو دسته تقسیم می‌شوند: گروه اول روش‌های مبتنی بر جریان‌های فیزیکی آب هستند. روش‌های حسابداری مبتنی بر جریان‌های فیزیکی آب براساس داده‌های اندازه‌گیری شده دبی رودخانه، آب‌بندها، تخصیص‌ها و برداشت‌ها می‌باشد. این سامانه‌ها بیشتر مفهوم آب آبی را

باشد، حتی در مناطقی که با روند افزایشی کمبود آب مواجه هستند. اما برای دستیابی به این هدف، در بسیاری از موارد، لازم است آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی (بزرگ‌ترین برداشت‌کننده آب) به خصوص در مناطقی که با بحران کمبود آب تشدیدشونده مواجه است، کاهش یابد. نکته کلیدی حل این چالش‌ها، استفاده بهتر از اطلاعات مربوط به آب هنگام مطابقت استراتژی‌های مقابله با شرایط مختلف بیوفیزیکی^۹ و اجتماعی است. به همین دلیل است که حسابداری و حسابرسی آب^{۱۱} باید عنصر اصلی هر برنامه‌ای باشد که هدف آن بهبود امنیت آب^{۱۲} در شرایط روند فزایندهٔ کمیابی است. دستیابی به امنیت آب نیازمند همکاری بین بخش‌ها، جوامع، رشته‌ها و مرزهای سیاسی است تا خطر درگیری‌های احتمالی بر سر منابع آب، بین بخش‌ها و بین کاربران مختلف آب یا دولت‌ها کاهش یابد (Aboelnga و همکاران، ۲۰۱۹).

تنش آبی^{۱۳} به تأثیر مصرف زیاد آب (متأثر از برداشت و یا در نتیجه مصرف) نسبت به در دسترس بودن آب اشاره دارد، منظور از مصرف^{۱۴}، حجمی از آب که مورد استفاده قرار گرفته به گونه‌ای که برای سایر کاربران غیر قابل دسترس باشد، تلقی می‌گردد. آستانه‌های تنش آبی مورد استفاده برای شاخص تنش آبی مبتنی بر برداشت^{۱۴} است که توسط فالکن مارک ارائه شده است و رقوم کمتر از ۰/۲ فقدان تنش آبی، حداقل بین ۰/۲ تا ۰/۴ حاکی از تنش آبی مختصر و بیشتر از ۰/۴ تنش آبی بالا را بیان می‌دارد (شکل ۲).



شکل ۲- شاخص کمیابی آب فالکن مارک بر مبنای شاخص «تنش آبی» و «فراهمی آب» (Kummu و همکاران، ۲۰۱۶)

رویکردهای کلیدی در پیاده‌سازی سیستم حسابداری آب؛ مروری بر دستورالعمل‌های Batchelor و همکاران (۲۰۱۶)

- شناسایی واحد هیدرولوژیکی
- تعریف شرایط مرزی واحد هیدرولوژیکی
- شناسایی ذی‌نفعانی که درگیر خواهند شد
- تعیین اهداف عمده برای استفاده از حسابداری آب
- فعال‌سازی یک فرآیند حسابداری سریع آب به منظور:
 - « ارزیابی اینکه چه داده‌هایی مورد نیاز است و چه داده‌هایی در دسترس هستند (تحلیل شکاف داده‌ها)
 - « برآورد «عدم قطعیت» ورودی‌ها و خروجی‌ها و تعیین درجه عدم دقت قابل قبول با توجه به اهداف (تحلیل لزوم دقت)
 - « ارزیابی نیازهای ظرفیت‌سازی (تحلیل شکاف ظرفیت)
 - « ارزیابی نیازهای تجهیزات و نرم‌افزار (تجزیه و تحلیل شکاف سخت‌افزاری / نرم‌افزاری)
 - « تعیین ارزش افزوده استفاده از حسابداری آب
 - « توضیح بیشتر در مورد جنبه‌های کیفی آب در سیستم حسابداری آب
 - « ارائه یک پایه محکم برای برنامه‌ریزی اجرای یک سیستم حسابداری آب پیشرفته و قوی
 - « آغاز گفتگو بین ذی‌نفعان برای نهادینه‌سازی بلندمدت حسابداری آب در سراسر کشور

فرآیند حسابداری آب گام به گام

- تمرکز اولیه هر چرخه تکراری حسابداری آب بر دو جنبه اصلی است:
۱. هیدرولوژی و وضعیت فعلی و روند عرضه و تقاضای آب در حوزه(های) مشخص شده
 ۲. علل زیربنایی مسائل و نگرانی‌های زیست‌فیزیکی که توسط ذی‌نفعان کلیدی مشخص و اولویت‌بندی شده‌اند.

به طور معمول، هر چرخه تکراری فرآیند حسابداری شامل چهار مرحله اصلی است که با برنامه‌ریزی دقیق برای حسابداری آب آغاز می‌شود (شکل ۳). توصیه عمومی آن است که گروه‌داران^{۲۴} در تمام این مراحل به طور فعال مشارکت داده شوند و اطمینان حاصل شود که حسابداری و حسابرسی آب به صورت متقابل از یکدیگر حمایت می‌کنند. این امر تا حدی با انجام فعالیت‌های متقاطع مانند هماهنگی در دستیابی و مدیریت اطلاعات محقق می‌شود.

در نظر می‌گیرند. این گروه چندین سامانه حسابداری مانند سامانه حسابداری اقتصادی محیط‌زیستی سازمان ملل (SEEA-Water)^{۲۵} و سامانه حسابداری استرالیا و فائو را در برمی‌گیرد. گروه دوم روش‌های مبتنی بر میزان آب مصرف شده می‌باشند، این روش‌های حسابداری در فرآیندهای محاسباتی خود، مقدار مصارف آب را به جای میزان برداشت آب از منابع در نظر می‌گیرند. آب مصرفی به‌گونه‌ای است که کاربرد آن برای پایین‌دست امکان‌پذیر نباشد.

براساس این تعریف، آب به صورت تبخیرتحرق، جریان‌های سینکی^{۲۶}، شرکت در فرآیند تولید محصول، از دسترس پایین‌دست خارج می‌شود. همچنین به دلیل کمبود داده‌های مربوط به مقدار برداشت و جریان‌های برگشتی در حوضه‌های آبریز، کاربرد میزان مصارف به جای مقادیر برداشت می‌تواند از خطاهای برآورد آب برگشتی جلوگیری کند. چارچوب‌های حسابداری IWMI و ICID در این دسته قرار دارند (خزاعی و همکاران، ۱۳۹۷).

حسابداری آب می‌تواند به ایجاد یک زبان مشترک برای تفسیر و انتقال داده‌های منابع آب به کنشگران^{۲۷} مختلف درگیر در مدیریت آب که از پیشینه‌ها، فرهنگ‌ها، علایق و سطوح مختلف علمی برخوردار هستند، کمک کند. حسابداری آب بر این فرض استوار است که «آنچه را که نمی‌توان اندازه‌گیری نمود، قابل برنامه‌ریزی و مدیریت نخواهد بود». با این حال، با توجه به تمرکز فعلی بر روی آب به‌عنوان یک منبع گران‌بها و محدود، خطرات ناشی از سیل و خشکسالی شدید، درک اینکه چرا توجه مناسبی به حسابداری آب و اطمینان از داشتن آب کافی نمی‌شود، دشوار است.

حسابداری آب پایه و اساس حکمرانی خوب آب را فراهم می‌کند که به نوبه خود زیربنای توسعه پایدار است. در حال حاضر این باور به‌طور گسترده وجود دارد که «بحران جهانی آب عمده‌تاً یک بحران حکمرانی است» و حاکمیت آب و سیاست نقش قدرتمندی در مسیر توسعه یک کشور و در شکل‌دهی سیاست‌ها ایفا می‌کند (Hall و Rogers، ۲۰۰۳).

فناوری برای مهار، نظارت و مدیریت آب ضروری است، اما کافی نیست. حکمرانی خوب آب در مدیریت عرضه و تقاضای آب نقش اساسی دارد و این بستگی به این دارد که مردم و مؤسسات آب چقدر این عملکرد مدیریتی را به‌طور مؤثر انجام دهند. حسابداری آب به تنهایی نمی‌تواند مشکلات حاکمیتی را حل کند، اما می‌تواند با ارائه اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری صحیح، راه‌درازی را برای تقویت و بهبود حکمرانی آب انجام دهد.

- برای اولین چرخه تکراری، فعالیت‌های برنامه‌ریزی که در مرحله آغازین شروع شده‌اند را نهایی کنید. برای چرخه‌های تکراری بعدی، درس‌هایی از چرخه (های) قبلی حسابداری و حسابرسی آب را در نظر بگیرید. تغییر / انطباق دامنه‌ها، استراتژی‌ها، روش شناسی‌ها و غیره.
- گفت و گو با ذینفعان و اقدام هماهنگ که منجر به اولویت‌بندی چرخه بعدی فعالیت‌ها، ارزیابی‌ها و تحلیل‌ها می‌شود.
- توافق در مورد خروجی‌های مورد انتظار چرخه بعدی فعالیت‌ها.

۲ کسب و مدیریت اطلاعات بیوفیزیکی

- ارزیابی ترکیبی نیازهای اطلاعات بیوفیزیکی و اجتماعی.
- شناسایی منابع اطلاعات ثانویه برای چرخه جاری. در صورت لزوم برنامه‌ریزی و اجرای برنامه جمع‌آوری اطلاعات اولیه.
- اکتساب اطلاعات، پردازش و کنترل کیفیت.
- ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری (مانند داده‌ها، ابر داده‌ها، نقشه‌ها، گزارش‌ها، عکس‌ها و غیره).

۳ ارزیابی‌های بیوفیزیکی هدفمند

- برنامه ریزی و اجرای ارزیابی‌های هدفمند از وضعیت روند فعلی، مانند کاهش منابع آب، سیستم‌های مدیریت زمین، زیرساخت‌های تامین آب، ذخیره سازی و تصفیه و غیره.
- یافته‌ها / خروجی‌ها را با اطلاعات منابع مستقل مقایسه / مثلث بندی کنید.
- خروجی‌ها / یافته‌های هر ارزیابی را با ذینفعان به اشتراک بگذارید و بحث کنید. اختلاف نظر را حل و بازخوردها را در نظر بگیرید.

۴ تحلیل و مدل سازی چند مقیاسی جریان‌ها، شارها و ذخایر آب

- استفاده از خروجی‌های ارزیابی‌های هدفمند جهت مبنایی برای انتخاب، تنظیم، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی.
- استفاده از داده‌های تجربی جمع‌آوری شده و مدل‌ها برای پشتیبانی، مانند تجزیه و تحلیل کسری و تعادل آب چند مقیاسی.
- برآوردهای چند مقیاسی جریان و ذخایر آب در شرایط مختلف را تولید، جدول بندی و نقشه برداری کنید.
- یافته‌ها و خروجی‌ها را با ذینفعان ادغام کنید، به اشتراک بگذارید و بحث کنید.

شکل ۳- چهار مرحله فرآیند حسابداری آب (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

مورد دوم را می‌توان تا حدی با فعالیت‌های مقطعی مانند هماهنگی صورت گرفته، اطلاعات اکتسابی و مدیریت‌های نظارتی بر طرح در حین فرآیند اجرا مربوط دانست. در ابتدای اولین چرخه تکراری حسابداری آب (و حسابرسی)، معمولاً نیاز به مطرح نمودن برنامه‌هایی است، که به تناسب شرایط و روندکار و پس از بررسی‌های صورت گرفته، به عنوان بخشی از عملیات ابتدایی دستخوش تغییر و بروزرسانی خواهند شد. دلایل بروز این تغییرات عبارتند از:

- ممکن است ذی‌نفعان جدید به پلتفرم چند ذینفعی که در مرحله آغازین طرح‌ریزی شده بودند، اضافه گردند.
- مشارکت تیم اجرایی حسابداری و حسابرسی آب و ارائه مشارکت‌های راهبردی در تحقق اهداف

منطق پشت این رویکرد آن است که بهتر است در ابتدا تمرکز بر دستیابی به درک اولیه‌ای از فرآیندهای اصلی هیدرولوژیکی، ظرفیت و وضعیت زیرساخت‌های مرتبط با آب، سیستم‌های استفاده از زمین کشاورزی و سایر موارد، و تقاضای آب از سوی کاربران و مصارف مختلف آب در حوزه(های) مشخص‌شده باشد (شکل ۴). این کار باید پیش از ورود به تحلیل چند مقیاسی و مدل‌سازی انجام شود. تجربه نشان داده که این رویکرد گام‌به‌گام و سیستماتیک معمولاً از نظر هزینه و زمان کارآمدتر است و خروجی‌های بهتری تولید می‌کند. توصیه می‌شود که کنشگران با گروه‌داران در تمام این مراحل مشارکت داده شوند و اطمینان حاصل شود که حسابداری و حسابرسی آب را هر دو طرف (کنشگران و گروه‌داران) حمایت می‌کنند.

- ترتیبات سازمانی و ابعاد اجرای طرح با آنچه که در ابتدا در مرحله آغازین پیش‌بینی شده بود، متفاوت باشد.
- جلسات ذی‌نفعان در آغاز برنامه حسابداری و حسابرسی آب، آگاهی از برنامه‌های آغازین را افزایش می‌دهد. به خصوص اگر این دیدارها در رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی گزارش شود.

در آغاز چرخه‌های تکراری بعدی حسابداری و حسابرسی آب، توصیه می‌شود که روند کار بازنگری شود و برنامه‌های چرخه بعدی تجدید نظر یا تطبیق شود و مدت یک چرخه می‌تواند از چند هفته تا چندین ماه باشد. نکته کلیدی این است که برنامه‌ها باید برای در نظر گرفتن تجارب کسب شده یا مسائل مطرح شده توسط حسابداری آب و فعالیت‌های موازی حسابرسی آب، تجدید نظر یا تطبیق داده شوند. یکی دیگر از مزایای این رویکرد افزایشی این است که به خوبی با یادگیری اجتماعی و نهادی مرتبط است.

تحلیل کسر مصرفی آب

زمانی که آب برای مصارفی مانند کشاورزی، صنعت یا مصارف

خانگی برداشت و استفاده می‌شود، بخشی از آب مصرف‌شده دیگر برای استفاده مجدد، چه در سطح محلی یا پایین‌دست، در دسترس نیست. این بخش مصرف‌شده به‌عنوان «کسری مصرفی» شناخته می‌شود. این کسری مصرفی می‌تواند به دو زیرگروه تقسیم شود (Karimi و همکاران، ۲۰۱۲):

۱. مصرف سودمند: مانند تبخیر- تعرق از محصولات زراعی آبیاری شده یا دیم (اما نه خاک).
 ۲. مصرف غیرسودمند: مانند تبخیر از خاک‌های بایر، علف‌های هرز، جاده‌ها و مخازن.
- بخشی از آبی که هنگام استفاده یا جریان در مسیر کاربرد آب، مصرف نمی‌شود به‌عنوان «کسری غیرمصرفی یا جریان‌های برگشتی»^{۲۶} شناخته می‌شود. طبق تعریف، این کسر به پایین دست برمی‌گردد. این بخش غیرمصرفی را نیز می‌توان به بخش‌های قابل بازیافت و غیرقابل بازیافت تقسیم کرد.
۱. کسری قابل بازیابی: مانند نفوذ عمقی آب ناشی از آبیاری یا بارش بیش از حد به یک سفره آب زیرزمینی که کیفیت آن تحت تأثیر قرار نگرفته است یا فاضلاب شهری تصفیه‌شده.
 ۲. کسری غیرقابل بازیابی: برای مثال، آبی که به سفره‌های



شکل ۴- مراحل چرخه تکرار حسابداری آب (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

زیرزمینی نفوذ می‌کند، در صورتی که آبخوان بیش از حد طبیعی شور یا آلوده باشد، برای بیشتر کاربردها غیرقابل بازیافت خواهد بود.

به دلیل درک صحیح از مفهوم «بهره‌وری استفاده از آب» سراغ تحلیل کسری بخش‌های استفاده از آب می‌رویم. بطور مثال اگرچه تصور می‌شود که تلفات آبیاری به ظاهر زیاد است (به‌طور متوسط حدود ۴۰ درصد از آبی که به کشاورزی اختصاص داده می‌شود به ریشه گیاه می‌رسد)، اما بخش زیادی از این «تلفات» به‌صورت جریان‌های برگشتی یا تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی (محلی یا در پایین‌دست) بازمی‌گردد. کاهش تلفات در بالادست ممکن است بهره‌وری تولیدی را افزایش دهد، اما می‌تواند باعث محرومیت کاربران پایین‌دست شود که به این جریان‌های بازگشتی وابسته هستند.

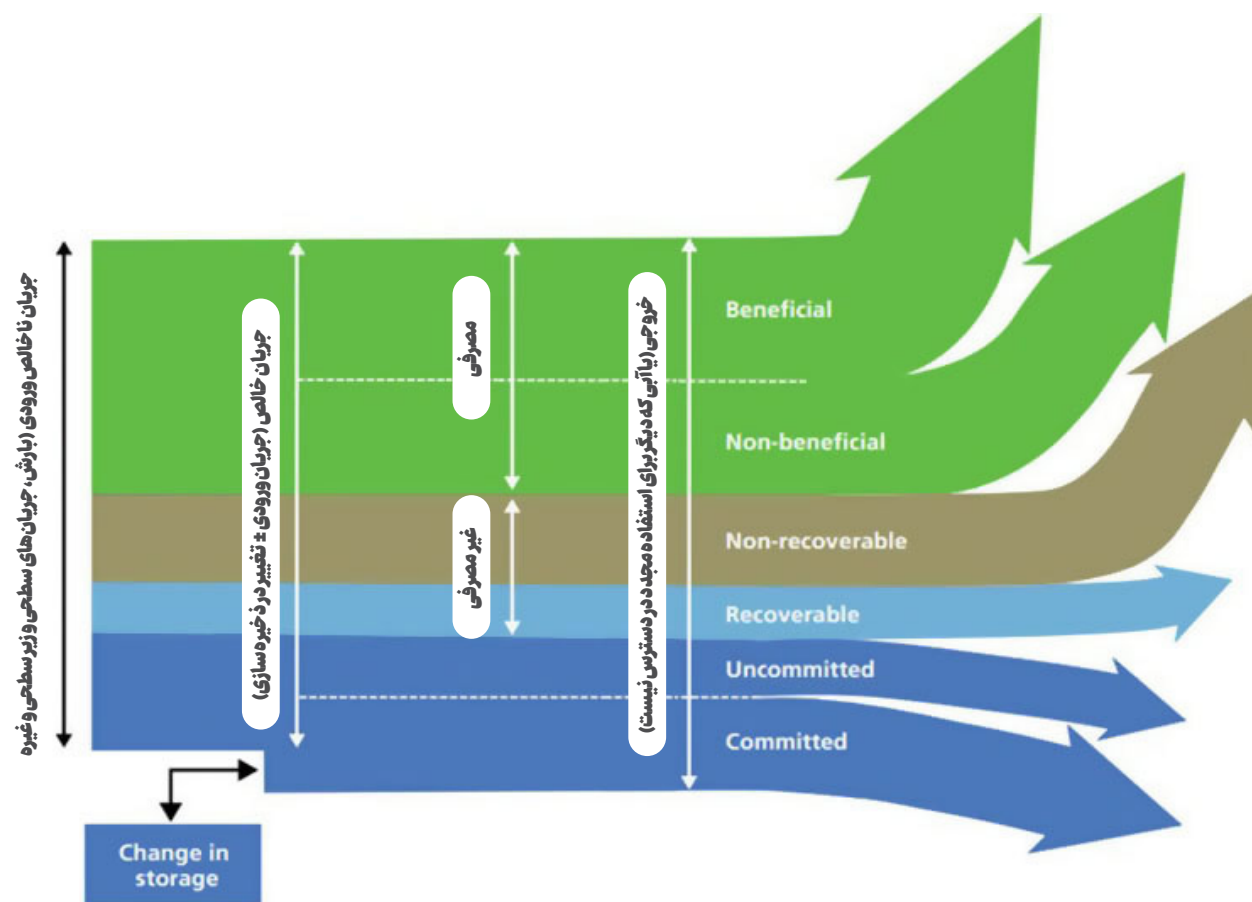
از اهداف و مزایای تحلیل کسر مصرفی آب این است که: (۱) اهمیت جریان‌های بازگشتی در نظر می‌گیرد، (۲) تفاوت‌های اساسی بین مسیرهای استفاده از آب که مصرفی و غیرمصرفی هستند (از نظر مکانی و زمانی) را تشخیص می‌دهد، (۳) ارتباط بین سیستم‌های هیدرولوژیکی و تأثیرات تغییر در استفاده از آب در یک بخش از حوضه بر کاربران دیگر را نشان می‌دهد.

تحلیل کسری در مواردی که خارج از جریان اصلی و فقط یک نوع استفاده از آب وجود دارد، ساده‌تر است. در مناطقی که جریان‌های اصلی آب وجود دارد و دارای منابع و مصارف متنوع آب می‌باشند، تحلیل پیچیده‌تر است و ممکن است سوءبرداشت عمومی، بهره‌برداری سیاسی و تفکرات علمی نادرست را افزایش دهد.

نمونه‌ای از نمودار حسابداری آب به سبک IWM^{۲۱} که براساس کسره‌های کاربرد آب توصیه شده، در شکل (۵) ارائه شده است. کاربران در دامنه‌های مشخص شده ممکن است حق منحرف کردن این جریان‌ها را برای استفاده‌های مصرفی نداشته باشند. با این حال، آن‌ها ممکن است حق استفاده از این جریان‌ها را برای فعالیت‌هایی مانند ماهیگیری یا کشتیرانی (یعنی استفاده از آب غیرمصرف) داشته باشند.

ویژگی‌های مهم تحلیل کسری و به‌طور کلی کاربرد تحلیل کسر مصرفی آب در حسابداری آب عبارتند از (شکل ۶):

۱. می‌توان از آن برای تجزیه و تحلیل استفاده از آب در سیستم‌های کشاورزی دیم و آبی استفاده کرد.
۲. همچنین علاوه بر بخش کشاورزی برای تحلیل هر بخش



شکل ۵- نمونه‌ای از تحلیل کسری مصرفی آب در حسابداری آب (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

آب بر دیگری قابل استفاده است.

برخی از اهداف و مزایای تحلیل کسر مصرفی آب عبارتند از: (۱) اهمیت جریان‌های بازگشتی را در نظر می‌گیرد، (۲) تفاوت‌های اساسی بین مسیرهای استفاده از آب که مصرفی و غیرمصرفی هستند (از نظر مکانی و زمانی) را تشخیص می‌دهد، (۳) ارتباط بین سیستم‌های هیدرولوژیکی و تأثیرات تغییر در استفاده از آب در یک بخش از حوضه بر کاربران دیگر را نشان می‌دهد. تحلیل کسری در مواردی که خارج از جریان اصلی و فقط یک نوع استفاده از آب وجود دارد، ساده‌تر است. در مناطقی که جریان‌های اصلی آب وجود دارد و دارای منابع و مصارف متنوع آب می‌باشند، تحلیل پیچیده‌تر است و ممکن است سوءبرداشت عمومی، بهره‌برداری سیاسی و تفکرات علمی نادرست را افزایش دهد. شکل (۶) نمونه‌ای از نمودار مراحل گام به گام تحلیل کسر مصرفی آب در حسابداری آب را نشان می‌دهد.

حسابرسی آب

حسابرسی (ممیزی) آب مبتنی بر حسابداری آب در جهت ریزنی برای حکمرانی آب می‌باشد. حسابرسی آب، مرحله‌ای بین حسابداری آب و ارزیابی حکمرانی آب است. حسابرسی آب با بررسی روند عرضه، تقاضا و بهره‌وری آب، ویژگی‌های حکمرانی

آب مانند اصول حقوقی و نهادی^{۲۸}، مخارج خصوصی و عمومی^{۲۹}، قوانین و سیاست‌های اقتصادی گسترده‌تر آب را در حوزه‌های مشخص بررسی می‌کند (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶). حسابداری آب جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل و ارتباط سیستماتیک اطلاعات مربوط به ذخایر، جریان‌ها (از منابع تا مصارف و روندهای موجود در عرضه، تقاضا، دسترسی و کاربرد آب) تعریف شده است. حسابرسی آب به‌عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که یافته‌ها، خروجی‌ها و توصیه‌های حسابداری آب (روندهای عرضه، تقاضا، دسترسی و استفاده از آب) را در چارچوبی گسترده‌تر شامل حاکمیت، نهادها، مخارج عمومی و خصوصی، قانون‌گذاری و ارائه خدمات مشخص و گسترده‌تر حوزه‌های سیاسی اقتصادی، قرار می‌دهد و یک گام فراتر از حسابداری آب می‌رود.

مشابه حسابداری آب، حسابرسی آب می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته باشد، از یک فعالیت نسبتاً سریع یکباره طراحی شده برای دستیابی به یک هدف خاص، تا یک برنامه نظارت و ارزیابی بلندمدت که هدف آن دستیابی به خدمات آب عادلانه و کارآمد است. تحویل برای طیف وسیعی از مصارف مانند آبیاری، آب خانگی، بهداشت، تولید برق، شیلات، ناوبری و غیره است. اطلاعات جمع‌آوری شده در حسابرسی آب معمولاً متنوع است و به طیف متنوعی از مسائل اجتماعی

مرحله ۱: محدوده (ها) و مقیاس‌های مکانی و زمانی مورد علاقه مشخص می‌شود.

مرحله ۲: کسب و پردازش اطلاعات مکانی و زمانی برای دامنه (های) مشخص شده و مقیاس‌های مورد مطالعه

مرحله ۳: تجزیه و تحلیل داده‌های اولیه و ثانویه. راه اندازی، کالیبره کرده و اعتبارسنجی مدل (های) برای شبیه سازی جریان‌های بازگشتی در مقیاس‌های مختلف

مرحله ۴: ارزیابی دقیق، کمی‌سازی و نقشه‌برداری از جریان‌های بازگشتی. مثلث سازی در برابر اطلاعات منبع مستقل

مرحله ۵: یافته‌ها با گرداران به اشتراک گذاشته و مورد بحث قرار می‌گیرد.

شکل ۶- نمودار مراحل گام به گام تحلیل کسر مصرفی آب در حسابداری آب (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

می‌پردازد. خروجی‌ها از نظر شکل، قالب، مخاطبان هدف و کاربردها به همان اندازه متفاوت هستند.

برنامه حسابرسی آب، جهت مؤثر بودن در تولید خروجی‌های با کیفیت بالا که متعلق به ذی‌نفعان کلیدی است باید موارد زیر را لحاظ نماید (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶):

۱. مبتنی بر مشارکت فعال ذی‌نفعان باشد.
۲. توجه ویژه به مدیریت اطلاعات نماید.
۳. به یک استراتژی ارتباطی مرتبط باشد که چالش‌های درونی تأثیرگذاری بر افکار عمومی و سیاسی را تشخیص دهد.

حسابرسی آب یک فرآیند تکرار شونده، سیستماتیک و مستند برای بدست آوردن تعادل بین ورودی آب و خروجی آب از یک عملیات است. کیفیت آب در صورت نیاز اندازه‌گیری می‌شود. به دنبال فرصت‌هایی برای کاهش مصرف آب، استفاده مجدد از آب، بازیافت و جایگزینی منابع آب است. ارزیابی‌های مالی^{۳۰} از تمام فرصت‌های شناسایی شده انجام می‌شود. یک استراتژی مدیریت آب درست طراحی شده، با الزامات قانونی، سیاست‌های زیست‌محیطی و حرکت آن به سمت توسعه پایدار سازگار است. نتایج این فرآیند به ارباب‌رجوع و حسابرسی شونده در مواردی که متفاوت است، اطلاع رسانی می‌شود (Sturman و همکاران، ۲۰۰۴).

بیان متعارف آب، ساختاری است که در حسابرسی آب برای طبقه‌بندی و کمی‌سازی تمام مصارف آب تعریف می‌شود، مزایای حسابرسی آب عبارتند از (Choudhary و همکاران، ۲۰۲۱):

- روش‌های قضاوت را برای مدیران، کارپردازان و اپراتورهای شرکت فراهم می‌کند.
- به مدیران کمک می‌کند تا تلفات سیستم آب را به‌طور مؤثر کاهش دهند.
- ضایعات مواد شیمیایی و مصرف برق را کاهش می‌دهد.
- هزینه نگهداری را کاهش می‌دهد.
- آگاهی کاربران آب در مورد استفاده از آب.

حسابرسی آب، یکی از مؤثرترین روش‌ها برای پیگیری میزان مصرف و صرفه‌جویی آب است و نشان می‌دهد که چه مقدار آب به داخل و خارج از سیستم توزیع، جریان دارد و همچنین چه مقدار آب به سمت مصرف‌کنندگان جریان می‌یابد (Chimote و Bhabhulkar، ۲۰۱۲). به عبارت دیگر کسری، آب تفاوت بین خروجی کل و مصرف کل است (Rogers، ۲۰۱۴). ممیزی آب، مطالعه جامع و علمی سوابق آب، در طرحی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شامل حسابرسی بخش خانگی، بخش صنعتی،

بخش کشاورزی و سایر بخش‌هایی است که آب در آن‌ها استفاده می‌شود (Choudhary و همکاران، ۲۰۲۱). هدف کلی حسابرسی آب، ارزیابی این است که آیا کنترل‌های داخلی در جهت حفاظت از منابع آبی و کاهش خطرات زیست‌محیطی، کافی و مؤثر هستند یا خیر. ممیزی آب یک ابزار مدیریتی مؤثر برای کاهش تلفات است که حداکثر سود را از کاربری‌های مختلف به دست می‌آورد و در نتیجه صرفه‌جویی آب را تا حد زیادی امکان‌پذیر می‌سازد. ممیزی آب شامل تمهیدات خروجی منابع آب، شبکه توزیع و نقاط خدمات/تحويل به مصرف‌کنندگان آب و جریان برگشتی پسماند یا آب اضافی است. گزارش حسابرسی آب ممکن است شامل موارد زیر باشد (Hamdan، ۲۰۱۸):

- مقدار آب اختصاص داده شده^{۳۱} در دسترس بخش‌های مختلف (شرب، کشاورزی، صنعت و...).
- مقدار آب به کار گرفته شده^{۳۲}، چه از طریق منابع اندازه‌گیری شده و چه از طریق منابع اندازه‌گیری نشده.
- اتلاف آب و کارایی سیستم به همراه دلایل وقوع چنین تلفاتی.
- گزارش ممیزی آب مؤثر ممکن است در تشخیص نشتی در سیستم توزیع، اقدام به موقع برای کاهش تلفات انتقال آب و بهبود کارایی سیستم هدفمند باشد.
- ممیزی آب سیستم باید در بازه زمانی منظم، حداقل به صورت سالانه انجام شود.

حسابرسی آب همچنین یک تکنیک تحلیلی است که میزان استفاده و کیفیت آب را تعیین می‌کند و در عین حال امکان بررسی جنبه‌های رفتاری مدیریت آب را فراهم می‌کند. با کمی‌کردن جریان‌ها، حسابرسی آب می‌تواند تعیین کند که آیا تلفات قابل توجهی در یک مرز سیستم از پیش تعریف شده^{۳۳} رخ می‌دهد یا خیر. اگرچه برخی از تلفات اجتناب‌ناپذیر است، یک تیم مدیریت آب می‌تواند تعیین کند که چه نسبتی از هدررفت آب (یا آب محاسبه نشده)^{۳۴} را قبل از اینکه نیاز به بررسی بیشتر جریان‌ها و تنظیم تکنیک‌های مدیریت آب داشته باشد، بپذیرد (Barrington و همکاران، ۲۰۱۳). حسابرسی آب یک ابزار تحلیلی است که جریان و کیفیت آب را در یک مرز از پیش تعریف شده، کمی می‌کند (شکل ۷). این تکنیک می‌تواند تعیین کند که تلفات غیرمنتظره آب در کجا رخ می‌دهد. این امر به حساب‌رسان و مدیران آب در شناسایی مکان‌هایی که می‌توان مدیریت آب را در یک سیستم بهبود بخشید، کمک می‌کند (Agana و همکاران، ۲۰۱۳). گام اولیه هر ممیزی آب، به‌طور کلی

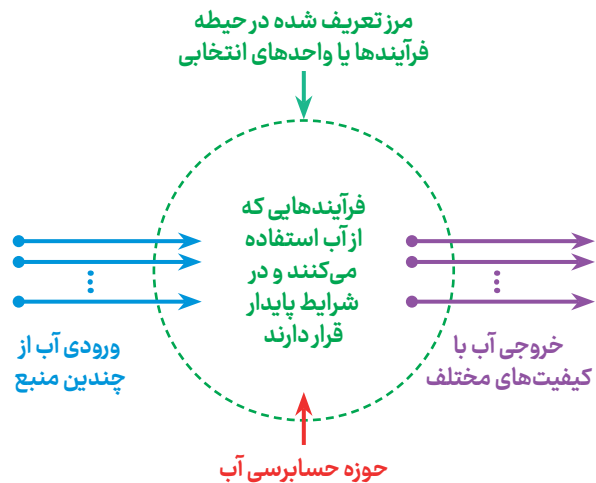
اهمیت حسابرسی آب

اظهاراتی مانند «بحران جهانی آب عمدتاً یک بحران حاکمیتی است» بارها توسط سیاستمداران، دانشگاهیان، فعالان و بسیاری دیگر تکرار شده است. این اظهارات مبتنی بر این باور عمومی است که عوامل حاکمیتی و اقتصاد سیاسی نه تنها در مسیر توسعه یک کشور، بلکه در شکل‌دهی سیاست‌ها و تعیین نحوه اجرای این سیاست‌ها نیز نقش قدرتمندی دارند. بنابراین، اجماع گسترده‌ای وجود دارد که ارزیابی حاکمیت و تحلیل اقتصاد سیاسی، گام‌های اساسی در برنامه‌هایی هستند که هدفشان دستیابی و حفظ سطوح قابل قبول خدمات آب است. حسابرسی آب در صورتی اهمیت دارد که ذی‌نفعان کلیدی بخواهند بهتر عمل کنند، به عنوان مثال:

- یادگیری از گذشته و به‌طور خاص‌تر، تثبیت و استفاده مناسب از شواهد بیوفیزیکی و اجتماعی که نشان می‌دهد سیاست‌ها و شیوه‌های خاص، کارآمد هستند یا نیستند.
- انتخاب‌هایی که به جای شهود یا حدس و گمان، با شواهد و مدارک مشخص می‌شوند.
- توسعه سیاست‌ها و شیوه‌های جدید یا تطبیق سیاست‌ها و رویکردهای موجود به گونه‌ای که عدم تعادل در عرضه و تقاضای آب را بهتر در نظر بگیرند.
- انتقال اطلاعات به روش‌هایی که احتمال مالکیت، پذیرش، ارزش‌گذاری و استفاده از آن را افزایش می‌دهد.

یکی از ویژگی‌های حسابرسی آب، پیوند با سیاست و روش‌های اعمال قدرت و اختیار است از قبیل اعمال نظر در موارد زیر:

- تصمیم‌گیری؛ و سیاست‌هایی را وضع کند که بر زندگی عمومی و توسعه اقتصادی و اجتماعی تأثیر بگذارد. راه‌هایی که افراد از طریق آن‌ها اختلافات خود را میانجی‌گری کنند.
- روابط بین شهروندان و دولت و به‌طور خاص، نحوه تأثیرگذاری این روابط توسط نهادها و روشی که در آن قوانین رسمی (یعنی قوانین و مقررات قانونی) و قوانین غیررسمی (شکل یافته توسط سنت و فرهنگ) بر نحوه ارتباط مردم با هر یک از آن‌ها تأثیر می‌گذارد.
- روش‌های نگهداری، استفاده و طرح‌ریزی قدرت در زمینه‌های مختلف.
- چگونه می‌توان کسانی را که اعمال قدرت می‌کنند، در صورت سوءاستفاده از قدرت مورد بازخواست قرار داد.
- حسابرسی آب در حکمرانی به قدرت‌های تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند که در تخصیص منابع مشترک بین مردم، انصاف را رعایت کنند.



شکل ۷- فرم کمی حسابرسی آب (Sturman و همکاران، ۲۰۰۴)

بررسی ورودی‌ها و خروجی‌های آب شناخته شده سیستم تحت بررسی است. معمولاً یک حسابر، قبل از حسابرسی تعیین می‌کند که چه سطحی از اختلاف بین ورودی‌ها و خروجی‌ها قابل پذیرش است که به عنوان «گیرش»^{۳۵} مطرح می‌گردد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Sturman و همکاران، ۲۰۰۴).

گیرش: ((مجموع آب ورودی - مجموع آب خروجی) / (مجموع آب ورودی)) > تغییرات از پیش تعیین‌شده (۲)

اغلب نمی‌توان میزان گیرش را بدست آورد، از آنجا که تلفات آب قابل توجهی در سراسر سیستم رخ می‌دهد، روش ممیزی آب امکان بررسی محل وقوع این تلفات در سراسر سیستم را از طریق تجزیه و تحلیل حجم آب مورد استفاده توسط واحدهای فرآیند جداگانه، فراهم می‌کند. با این حال، توجه به این نکته مهم است که حتی در مواردی که گیرش بدست می‌آید، این فقط نشان دهنده رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های کل سیستم است (Ho و Barrington، ۲۰۱۴).

فرآیند حسابداری آب، پاسخگویی به شرکت آب و توانایی ردیابی و نظارت قابل اعتماد بر وضعیت هدررفت آب آن را فراهم می‌کند. برای بهبود کارایی عملیات شرکت آب و فاضلاب، مجموعه‌ای کاملاً متفاوت از فعالیت‌ها مورد نیاز است. فرآیند حسابداری آب به تنهایی نشان‌دهنده فعالیت‌های بهره‌وری که می‌توانند هدررفت را کاهش دهند، نیست. این فعالیت‌ها معمولاً شامل تشخیص و تعمیر نشتی، مدیریت فشار و نوسازی لوله برای رسیدگی به هدررفت‌های واقعی و همچنین آزمایش دقت کنتور، تعویض کنتور و اصلاحات سیستم صدور صورت‌حساب مشتری برای کنترل هدررفت‌های ظاهری است (Sayers و همکاران، ۲۰۱۶).

۲- ترکیب حسابداری آب و حسابرسي

اگرچه حسابداری آب می‌تواند جدا از حسابرسي آب انجام شود و اغلب انجام می‌شود، ولی دیدگاه مطلوب بر طراحی و اجرای بهینه حسابداری و حسابرسي به‌عنوان فرآیندهای پشتیبان متقابل، تأکید دارد. دلایل عملی برای ترکیبی از حسابداری و حسابرسي آب وجود دارد. برای مثال، احتمال بیشتری برای شناسایی علل زمینه‌ای مشکلات مرتبط با آب و فرصت‌های مناسب برای رسیدگی به مشکلات وجود دارد. با این حال، دلیل اساسی‌تر این است که اگر حسابداری آب همراه با حسابرسي آب انجام شود، احتمال بیشتری برای تغییر ایجاد می‌کند (شکل ۸).

دلیل اینکه در برنامه‌های اصلاحی آب، تغییرات اغلب شکست می‌خورند یا دهه‌ها طول می‌کشد تا به اهداف خود دست یابند، این است که اصلاحات نهادی، برای مشروع بودن و برخورداری از حمایت سیاسی گسترده، باید از طریق یک فرآیند سیاسی پایدار، انجام شود. فرصت‌ها برای غلبه بر

مقاومت در برابر تغییر و همچنین ایجاد پیشرفت‌های گام به گام در حکومت‌داری در سطوح مختلف نهادی، اغلب گذرا هستند. یکی از ویژگی‌های مهم حسابرسي آب این است که می‌تواند در شناسایی یا پیش‌بینی فرصت‌ها یا زمینه‌سازی مناسب برای ارتقای تغییر (مانند توسعه تئوری‌های تغییر) نقش داشته باشد.

در نهایت، حسابرسي آب بدون حسابداری آب، حتی از حسابداری آب بدون حسابرسي آب خطرناک‌تر است، زیرا می‌تواند منجر به ایجاد تغییراتی شود که به دلایل بیوفیزیکی، شانس اندکی برای ارائه مزایا دارد و در برخی شرایط، حتی ممکن است شرایط را برای برخی از کاربران آب بدتر کند. توصیه می‌شود که حسابداری و حسابرسي آب در تعدادی از چرخه‌های تکراری اجرا شود. به‌طور معمول، در طول هر چرخه تکراری، تمرکز اولیه حسابداری و حسابرسي آب به موازات ارزیابی‌های حمایتی، بیوفیزیکی و اجتماعی، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی با فعالیت‌های مقطعی مانند تجزیه و تحلیل ذی‌نفعان و هماهنگی جمع‌آوری داده‌ها (در صورت

حسابداری آب

حسابرسي آب

- در دسترس بودن فیزیکی ذخایر و جریان آب در زمان و مکان.
- تعادل بین عرضه، تقاضا و دسترسی.
- ظرفیت فیزیکی و وضعیت زیرساخت‌های مرتبط با آب.
- سطوح امنیت آب کاربران و مصارف مختلف.
- فراوانی خشکسالی، سیل و وقفه در ارائه خدمات آب.
- انواع مصرف آب در زمان و مکان (به عنوان مثال مصرفی و غیر مصرفی).
- کارایی، بهره‌وری و سوددهی کاربران و مصرف کنندگان مختلف آب در زمان و مکان.
- کارکرد سیاست‌ها و برنامه‌ها با هدف تنظیم تقاضا و بهبود عرضه.
- معاوضه یا عوامل خارجی بالقوه ناشی از تشدید مصرف آب.
- فرصت‌هایی برای استفاده بهتر از آب و در طول زنجیره ارزش.

حسابداری آب از حسابرسي آب با ارائه بینش، درک و اطلاعات پشتیبانی می‌کند:

- نقش‌ها، مسئولیت‌ها و روابط متقابل ذی‌نفعان در سطوح مختلف.
- سیستم‌های حکمرانی، یعنی نحوه تصمیم‌گیری، جایی که قدرت در آن قرار دارد و قدرت چگونه واسطه می‌شود.
- دلایلی که ممکن است آمار رسمی واقعیت‌ها را منعکس نکند.
- نگرانی‌های سیاسی، اجتماعی و زیست محیطی موضوعات اولویت دار.
- سطوح مخارج عمومی و خصوصی به عنوان مثال، در مورد عملیات و نگهداری.
- کارکرد قوانین رسمی و عرفی
- دلایل اساسی برای «عدم اراده سیاسی» برای ترویج و اجرای تغییرات.
- سطوح پاسخگویی و شفافیت.

حسابرسي آب از حسابداری آب با ارائه بینش، درک و اطلاعات پشتیبانی می‌کند:

شکل ۸- حمایت دوسویه حسابرسي و حسابداری (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

چگونه پشتیبانی حسابداری و حسابرسی آب می‌تواند مدیریت آب را بهبود بخشد؟

حسابداری و حسابرسی آب را می‌توان برای تعدادی از اهدافی که به شدت به مسائل حاکمیتی و مدیریت آب مرتبط است استفاده کرد:

۱. ایجاد پایگاه اطلاعاتی مشترک، ترویج گفتگو و حل مناقشات. گفت‌وگو با ذی‌نفعان، کلید برنامه‌ریزی موثر است. یک خروجی کلیدی حسابداری و حسابرسی آب، ارائه یک پایگاه اطلاعاتی مشترک است که به موقع و قابل قبول برای همه ذی‌نفعان کلیدی باشد. این نیز برای حل تعارضات و ایجاد توافق‌نامه‌ها یا چارچوب‌های تنظیم آب درازمدت، ضروری است.

۲. شناسایی، تطبیق یا توسعه راه حل برای مشکلات مربوط به آب. حسابداری آب می‌تواند علل بیوفیزیکی اساسی عدم تعادل بین عرضه و تقاضا را شناسایی کند، در حالی که حسابرسی کمک می‌کند تا اطمینان حاصل شود که راه‌حل‌ها از نظر سیاسی، اجتماعی و فرهنگی قابل قبول هستند. در جمهوری اسلامی ایران، حسابداری و حسابرسی مسائل مربوط به بهره‌وری مصرف آب کشاورزی، کاهش آب زیرزمینی، و اختلاف بین توصیه‌های دولت در مورد استفاده از آب و در دسترس بودن واقعی را برجسته می‌کند. به‌طور مشابه، در اردن، حسابداری آب مسائل مربوط به کیفیت آب را برجسته کرد و به مزایای برداشت آب برای استفاده کشاورزی اشاره کرد.

۳. اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها برای بهبود بهره‌وری به‌طور پایدار و عادلانه. کشاورزی آبی، در حالی که برای افزایش تولید غذا ضروری است، عامل اصلی افزایش مصرف آب و کاهش جریان به سایر مصارف است. به‌طور مشابه، برداشت آب و آبیاری تکمیلی برای افزایش عملکرد دیم مهم است، اما می‌تواند بر اکوسیستم‌های مرتبط با آب و افرادی که به آن‌ها وابسته هستند، تأثیر بگذارد. در حالی که سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های کشاورزی و آبیاری مدرن می‌تواند به تولید خروجی بیشتر با آب کمتر کمک کند، حسابداری و حسابرسی آب قوی برای اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری‌ها و عادلانه و پایدار ساختن آن‌ها، کلیدی است.

۴. مدیریت رابطه آب - انرژی - غذا. یک بعد خاص از رقابت آب، پیوند آب - انرژی - غذا است. پیوند بین آبیاری و تقاضای سوخت‌زیرستی یا عملکردهای نیروگاه آبی نمونه‌ای از این پیوند است که در آن استفاده از آب توسط یک بخش می‌تواند عواقب ناخواسته‌ای برای بخش دیگر داشته باشد.

لزوم) است. متعاقباً، در هر چرخه تکراری، تأکید بر حسابداری آب و حسابرسی به تحلیل و مدل‌سازی یکپارچه می‌انجامد. فعالیت‌های معمولی حسابداری آب و فرآیندهای گام به گام می‌تواند به موازات حسابرسی آب مورد استفاده قرار گیرد، اهداف کلیدی این مراحل شامل موارد زیر است:

۱. برنامه‌ریزی دقیق حسابداری آب که در ابتدای هر چرخه حسابداری آب (و حسابرسی) صورت می‌گیرد.

۲. فعالیت‌هایی که در مرحله اکتساب و مدیریت اطلاعات بیوفیزیکی انجام می‌شود.

۳. ارزیابی‌های بیوفیزیکی هدفمند که با هدف درک هیدرولوژی و وضعیت فعلی و روند عرضه و تقاضای آب در حوزه مشخص شده انجام می‌شود.

۴. تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی چند مقیاسی که جریان‌ها، شارها و ذخایر آب را در حوزه‌های مشخص کمی تعیین می‌کند.

حسابداری آب، همراه با حسابرسی آب، می‌تواند درک هزینه‌های آبی از منظر توسعه پایدار، سطح مورد نیاز حکمرانی آب برای ارائه خدمات آب پایدار و دستیابی به تمامی اهداف هفده‌گانه توسعه پایدار^{۳۶} را بهبود بخشد. تأثیرگذاری حسابداری آب فراگیر بوده و کاربران مختلف آب را با پیشینه‌ها، فرهنگ‌ها و سطوح علمی مختلف، گرد هم می‌آورد و می‌تواند زبان و درک مشترکی را در میان مدیران و ذی‌نفعان آب ایجاد نموده و به شناسایی مشکلات بین‌بخشی آب کمک کند تا به‌طور جمعی به مشکلات رسیدگی کنند، به اجماع برسند و منابع و اطلاعات مورد نیاز را مورد بررسی قرار دهند. حسابداری آب می‌تواند شفافیت را در مورد تخصیص آب بهبود بخشد و ذی‌نفعان را قادر می‌سازد تا سیاست‌گذاران را برای اتخاذ راه‌حل‌های پایدار که ممکن است در تضاد با منافع کوتاه‌مدت حقوقی و مالی باشد، به چالش بکشند.

حسابرسی آب، حسابداری آب را قادر می‌سازد تا بر نقش‌های نظارتی، مالکیت و مدیریتی سازمان‌های دولتی و خصوصی، سازمان‌های مردم‌نهاد و کاربران آب واقف گردد. نحوه عملکرد مدیریت آب، سودمندی حسابداری آب را تعیین می‌کند و همچنین حسابداری آب می‌تواند حکمرانی آب را بهبود بخشد، اما عکس آن نیز صادق است. حسابداری آب به تنهایی نمی‌تواند مشکلات حاکمیت آب و مدیریت منابع آب را حل کند، اما می‌تواند با ارائه اطلاعات مورد نیاز برای حمایت از تصمیم‌گیری صحیح، روش بنیادی را برای بهبود و اصلاح حکمرانی، ارائه دهد.

حسابداری و حسابرسی آب می‌تواند در مورد این اتصالات و مبادلات، اطلاعاتی ایجاد کند. در مراکش، حسابداری و حسابرسی آب، عدم توازن فزاینده بین عرضه و تقاضای آب ناشی از رشد سریع تولید آبی را آشکار کرد و نیاز به مدیریت مشارکتی آبخوان را شناسایی کرد.

حسابداری و حسابرسی آب، پایه‌ای برای حکمرانی خوب آب

حکمرانی خوب رویکردی است که ضمن توجه به رویکرد اقتصادی، بر «ارائه خدمات کارآمد»، «نظام قضایی قابل اعتماد» و «نظام اداری پاسخگو» نیز تأکید دارد. حکمرانی مؤثر آب را می‌توان حداقل به چهار مشخصه، مقید نمود: (۱) رهبری اخلاقمند با تمرکز بر اقشار تهیدست و آسیب‌پذیر، (۲) دسترسی به اطلاعات به‌هنگام، موثق و کافی به‌عنوان مقدمه هر تصمیم‌گیری و لازمه پاسخگویی، (۳) ایجاد سازوکارهایی برای بحث، گفتگو و حل‌وفصل مناقشات با حضور جامعه مدنی و (۴) تمرکززدایی و در عین حال حفظ بهم پیوستگی مدیریت آب (مشارکت‌گروداران و به‌ویژه آب‌بران در فرآیند تصمیم‌سازی. پایداری تصمیمات تابع مقبولیت آن‌ها در نزد عموم گروداران و آبخیزنشینان خواهد بود و این مقبولیت تابع رعایت عدالت و انصاف در حکمرانی می‌باشد (دفتر تحقیقات و بهره‌وری شرکت آب و فاضلاب مشهد، ۱۳۹۴). نقش اصلی حسابداری آب، ارائه داده‌های معتبر و قابل اعتماد به‌عنوان پایه‌ای برای حکمرانی خوب آب است. حاکمیت آب به‌طور گسترده‌ای به عنوان ضعف عمده در مدیریت منابع آب در اکثر کشورهای در حال توسعه، پذیرفته شده است. بر اساس گزارش بانک جهانی، چیزی که حکمرانی آب را بسیار چالش برانگیز می‌کند، «عدم اطمینان در مورد مقدار و کیفیت آب در دسترس از یک سال تا سال بعد، هم از نظر ذخایر

و هم از نظر جریان» است. اینجاست که حسابداری آب در حکمرانی و مدیریت آب قرار می‌گیرد. اما چگونه حسابداری آب با حاکمیت آب ارتباط دارد؟ پاسخ در ممیزی آب نهفته است. مانند حسابرسی‌های مالی، این امر قضاوت‌های کیفی را برای رقوم‌سازی مقادیر آبی فراهم می‌کند. ابزاری برای قرار دادن یافته‌ها، خروجی‌ها و توصیه‌های حسابداری آب در بافت اجتماعی گسترده‌تر مدیریت آب، تأمین آب و ارائه خدمات آب است. حسابداری آب و حسابرسی آب با هم از حکمرانی خوب آب حمایت می‌کنند (Bucknall و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از ویژگی‌های مشترک بیشتر مفاهیم و اصطلاحات مربوط به حسابرسی آب، پیوند آن‌ها با سیاست و شیوه‌های اعمال قدرت است، مفاهیم حسابرسی آب همچنین به موضوعات زیر اشاره دارند (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶):

- شیوه‌هایی که مردم از طریق آن‌ها اختلافات خود را حل‌وفصل می‌کنند، تصمیم می‌گیرند و سیاست‌هایی را اجرا می‌کنند که بر زندگی عمومی و توسعه اقتصادی و اجتماعی اثرگذار است.
- روابط میان شهروندان و دولت و به‌طور خاص‌تر، چگونگی تأثیرگذاری نهادها و نحوه کارکرد قواعد رسمی (مانند قوانین و مقررات مصوب) و قواعد غیررسمی (شکل‌گرفته بر پایه سنت و فرهنگ) بر تعاملات اجتماعی.
- شیوه‌های مالکیت، استفاده و اعمال قدرت در بسترهای مختلف، و همچنین اهمیت پاسخگو کردن صاحبان قدرت در صورت سوءاستفاده یا استفاده نادرست از آن.
- چگونگی تصمیم‌گیری یک جامعه یا نظام سیاسی درباره شیوه‌های همزیستی، از جمله هنجارهای اجتماعی، نحوه میانجی‌گری میان منافع متعارض و شیوه تخصیص منابع موجود (شکل ۹).

تجزیه و تحلیل کلان‌کشوری: برای حساسیت عمومی به شرایط کشور

تحلیل در سطوح بخشی: برای شناسایی موانع و فرصت‌های خاص

تحلیل خاص موضوع: برای روشن کردن یک موضوع سیاسی یا برنامه خاص

شکل ۹- سطوح ارزیابی حاکمیت و تحلیل اقتصاد سیاسی (Batchelor و همکاران، ۲۰۱۶)

جدول ۱- چگونگی حمایت حسابداری آب از اصلاح حاکمیت آب (Hoogeveen, ۲۰۱۸)

ناحیه مورد مطالعه	مشکل حاکمیت آب چه بود؟	حسابداری آب چه اطلاعاتی ارائه کرد؟	چه توصیه‌های حاکمیتی ایجاد شد یا سیاست آب چگونه تغییر کرد؟
ایالات متحده آمریکا، آبخوان نبراسکا	استفاده بیش از حد و ناپایدار آب از سفره‌های زیرزمینی برای حمایت از آبیاری	تحلیل صحیح عملکرد پایدار آبخوان و مصرف سالانه از طریق آبیاری.	کنتورهای آب معرفی شده، برداشت‌های تنظیم شده، ایجاد گروه‌های مصرف‌کننده آب و نظارت بر نحوه عملکرد.
چین، دشت چین شمالی	استفاده بیش از حد و ناپایدار از آب سفره	تجزیه و تحلیل عملکرد آبخوان و مصرف سالانه با آبیاری.	تنظیم کاربری اراضی تحت آبیاری، تغییر در تکنولوژی آبیاری، کاهش طول فصل آبیاری.
ایالات متحده آمریکا، آبخوان آریزونا	استفاده بیش از حد و ناپایدار از آب سفره	تحلیل صحیح عملکرد پایدار آبخوان و مصرف سالانه از طریق آبیاری.	بانکداری آب از طریق تغذیه مدیریت شده آبخوان. سرمایه‌گذاری در این رویکرد توسط یک نهاد عمومی - اداره بانکداری آب آریزونا - از ۳۵۰ میلیون دلار فراتر رفته است.
تایلند	عدم قطعیت در مصرف آب برای بخش‌های مختلف و در حوضه‌های مختلف	مصرف آب در سناریوهای مختلف اقتصادی آینده را برای کمک به برنامه‌ریزی وزارتخانه را اعلام نمود.	هنوز هیچ تغییری در سیاست وجود ندارد.
غنا، رودخانه ولتا	عدم اطمینان در مورد مصرف آب برای بخش‌های مختلف در رودخانه ولتا	کمی‌سازی آب سبز و آبی مرتبط با کاربری زمین برای شناسایی منابع بالقوه صرفه‌جویی در آب.	هنوز هیچ تغییری در سیاست وجود ندارد.
ایتالیا	مصرف بیش از حد و نابرابر توسط آبیاری	ارزیابی حجمی آب برداشت و مصرف شده توسط کشاورزان.	استفاده از اصول پرداخت کاربر برای آب حجمی برای کاهش برداشت‌های بی دلیل برای آب کشاورزی.
استرالیا	تخصیص آب در حوضه موری-دارلینگ	تصویر دقیق‌تری از برداشت و مصرف توسط بخش‌های مختلف برای حمایت از تخصیص مبتنی بر بازار نشان داد.	شرکت آب از اطلاعات حساب‌ها برای کمک به توضیح تخصیص و استفاده از آب در بخش‌های مختلف در امتداد رودخانه مورومبیج و اطلاع‌رسانی به بحث‌های جاری استفاده می‌کند.
اندونزی	تنظیم و مدیریت حوضه رودخانه Brantas	حجم برداشت و تخصیص آب.	اعمال مشوق‌های قیمت‌گذاری در بازارهای آب برای تنظیم تقاضای آب.
روسیه (همه حوضه‌های اصلی)	عدم آگاهی در مورد حجم آب برای استفاده	شناسایی حوضه‌هایی که: الف) برای تغییرپذیری ناشی از اقلیم آماده شده بودند. و ب) آب ذخیره برای توسعه بیشتر داشت.	مشاوره در مورد اصلاحات سمت تقاضا و عرضه، از جمله ابزارهایی مانند انتقال بین حوضه‌ای.
ترکیه	عملکرد سیستم‌های آبیاری واگذار شده به کشاورزان از دولت	شاخص‌های عملکرد سیستم‌های آبیاری؛ بازیابی هزینه برای بهره‌برداری و نگهداری؛ منطقه آبیاری شده	هیچ افزایش قابل توجهی در عملکرد مشاهده نشد. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که حمایت مداوم از کشاورزان مورد نیاز است.

اصلاح حاکمیت آب می‌تواند از طریق حسابرسی مستقیم حاکمیت صورت گیرد. حسابداری آب با تجزیه و تحلیل اینکه آیا یک حوزه معین بطور پایدار از آب در محدوده سیستم هیدرولوژیکی استفاده می‌کند یا خیر، به حاکمیت آب، آگاهی می‌بخشد. Wyrwoll یک مطالعه موردی را مطرح نمود که این ارتباطات را با توجه به عدم انجام حسابداری آب، مدیریت ناپایدار آب و آلودگی هوا نشان می‌داد و دیدگاه عدم توجه به حسابداری و اثرات سوء آن در برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و ارتباط آن با مدیریت انرژی، زمین، آب و شیوه‌های کشاورزی و اثرات زیست‌محیطی را مطرح می‌نمود (Wyrwoll, ۲۰۱۲).

جدول (۱) مواردی را نشان می‌دهد که در آن‌ها سیاست‌های حاکمیت آب با کاربرد پایایی آب در نتیجه حسابداری آب تلفیق گردیده است. اکثر این موارد مشکلات طولانی‌مدت و پیچیده را توصیف می‌کنند و از آنجا که سیاست‌ها به سرعت تغییر نمی‌کنند، بسیاری از این پیامدها همچنان ادامه دارد. حسابداری آب، شیوه‌ها و روندهای ناپایدار یا ناعادلانه را کُتی‌سازی می‌کند و مشخص می‌سازد که چگونه برداشت و مصرف آب فعلی از

طریق تغییرات در ورودی‌های طبیعی یا تغذیه سفره ناپایدار خواهد بود، همچنین می‌تواند تعیین کند که آیا تأمین آب برای بخش‌ها، کشورها یا استفاده‌کنندگان به‌طور عادلانه صورت گرفته است یا خیر؟ حسابداری آب سطوح استحصال پایا و مصرف آب را تعریف می‌کند، البته حسابداری آب اغلب سطوح پایین‌تری از استفاده آب را توصیه می‌کند که با تغذیه طبیعی یا منابع تجدیدپذیر موجود، از جمله حاشیه ایمنی، مطابقت دارد.

حسابداری آب برای مدیریت آب

حسابداری آب شامل روش‌های کمی است که مدیریت روزانه آب را برای دستیابی به نتایج و سطوح عملکرد مطلوب تخمین می‌زند. حسابداری آب شامل مجموعه‌ای از روش‌ها برای نظارت بر عرضه و مصرف آب به‌طور منظم برای ایجاد معیارهای عملکرد مانند بهره‌وری، کارایی و ارزش ویژه است (جدول ۲). در روش‌های حسابداری آب، انواع داده‌ها و شاخص‌ها، اغلب مختص سیستمی که برای آن طراحی شده‌اند، به شیوه‌های مختلف به مدیریت آب کمک می‌کنند:

جدول ۲- شاخص‌های حسابداری آب برای مدیریت زیرساخت‌ها (Hoogeveen, ۲۰۱۸)

چگونه این اطلاعات در مدیریت آب استفاده می‌شود؟	حسابداری آب چه شاخص‌های مدیریتی را می‌تواند فراهم کند؟	چه داده‌های سیستمی جمع‌آوری شده است؟
تولید را با معیارها مقایسه می‌کند و مشخص می‌کند که کدام ورودی‌ها تولید را محدود می‌کنند.	بهره‌وری (کیلوگرم در هکتار یا کیلوگرم در/مکعب آب یا دلار/هکتار، دلار/مترمکعب)	داده‌های زراعی (بارندگی، تبخیر)
نشان می‌دهد که چگونه تلفات ممکن است بر دسترسی به موقع تأثیر بگذارد یا علت یکنواختی ضعیف از تأمین آب را توضیح دهد.	کارایی (هدف درصد آب حجمی) یا راندمان زمان‌بندی (به عنوان مثال ساعت تأخیر)	داده‌های هیدرومتریک (جریان انهار، جریان کانال‌ها، جریان زهکش‌ها، کیفیت)
چگونگی گسترش تنوع عرضه و تقاضا بین کاربران یا مناطق جغرافیایی را تعیین می‌کند. یکنواختی بیشتر بر بهره‌وری و راندمان تأثیرگذار است.	توزیع یکسان و یکنواختی (بسیاری از اقدامات یکنواختی را بررسی می‌کنند - به عنوان مثال ضریب تغییر)	داده‌های ورودی (منطقه، انرژی، خاک، نیروی کار، زراعت شیمیایی، مواد)
از معیارها می‌توان برای مقایسه با سال‌های گذشته یا بین همسالان استفاده کرد.	کفایت (درصد جریان یا درصد مساحت یا درصد خانوارهای بالاتر از حد معین)	داده‌های تولید (نوع و میزان محصول، برنامه کاشت، قیمت)
به تعیین هزینه‌های ورودی‌های مختلف در رابطه با یکدیگر کمک می‌کند.	نرخ ورودی‌های مرتبط (به عنوان مثال انرژی در هکتار یا در هر مزرعه)	داده‌های اقتصادی (قیمت، هزینه)
تیمارها و/یا نسبت‌های رقت مورد نیاز برای رسیدن به کیفیت آب را به سطح رضایت‌بخش تعیین می‌کند.	کیفیت (به عنوان مثال شوری، مواد شیمیایی کشاورزی، پاتوژن‌ها، نیاز بیولوژیکی به اکسیژن)	«برداشت آب باران منبعی افزوده از آب ایجاد می‌کند و به سرسبزی و بهبود وضعیت حوضه‌های آبخیز نیمه‌خشک کمک می‌کند».

نقش حسابداری آب در درک صحیح از واقعیت

درک علل متعدد تغییرات محیطی آسان نیست، به عنوان مثال یک رودخانه در حال خشک شدن را می توان به دلایل مختلفی نسبت داد: تغییرات آب و هوایی، جنگل زدایی، جنگل کاری، آبیاری بیش از حد و/یا ناکارآمد، کوچک شدن تالابها، و تغییرات خاک و پوشش گیاهی ناشی از گاوهای زیاد. فقط شواهد خوب تحقیق شده می تواند وزن داده شده به هر یک از این عوامل را تعیین کند. بدون شواهد، توضیحات ما در مورد تغییرات محیطی چیزی بیش از فرضیات یا افسانه نیست.

اگر حسابداری آب به درستی اجرا و راستی آزمایی شود، می تواند ابزاری مهم برای آشکار کردن پیش فرض های زیست محیطی و مهندسی باشد که در نگاه نخست منطقی به نظر می رسند (برای نمونه، این تصور که آبیاری موجب هدررفت آب می شود)، اما در واقع نیازمند بررسی دقیق تر هستند. به عنوان مثال، حسابداری آب در مقیاس حوضه، سیاست های آبیاری را که به منظور افزایش بهره وری با استفاده از آبیاری قطره ای طراحی شده اند، دوباره مورد ارزیابی قرار می دهد؛ زیرا چنین سیاست هایی معمولاً پیامد افزایش مصرف آب را در نظر نمی گیرند. این وضعیت زمانی رخ می دهد که آب به ظاهر از دست رفته مزارع آبیاری شده، که پیش تر بازیافت می شد، در اثر ارتقای کارایی به مصرف واقعی تبدیل شود. (Molden و Sakthivadivel, ۱۹۹۹).

نمونه ای از باورهای رایج مهندسی و محیط زیستی که توسط حسابداری آب اصلاح گردیدند، در جدول (۳) آورده شده است. تقریباً در همه موارد، حسابداری آب نشان می دهد که محاسبات و مشاهدات دقیق، باورهای رایج موجود که اغلب دیدگاهی جزئی از یک پدیده را دارند، بهبود می بخشد. به عنوان مثال، جنگل کاری ممکن است به طور مفیدی نرخ نفوذ آب در خاک را بهبود بخشد، اما تأثیر منفی و کاهش (از طریق افزایش تعرق آب ریشه عمیق چند ساله) بر مقدار آب در حال حرکت از خاک به آب های زیرزمینی داشته باشد، در نتیجه برخی از جنگل ها تولیدکننده آب نیستند، اما به مصرف کنندگان خالص آب تبدیل می شوند.

- حسابدای آب، اطلاعات لحظه ای یا بروزرسانی شده در مورد وضعیت عرضه و تقاضای آب ارائه می دهد (Hong و همکاران، ۲۰۱۶).
- حسابداری آب، شفافیت عملکرد و مشاهدات را به کاربران ارائه می دهد. اطلاعات را می توان برای محک زدن عملکرد در طول زمان یا مقایسه عملکرد مورد استفاده قرار داد (Yakubov, ۲۰۱۲).
- حسابداری آب، خلاصه های فصلی را ارائه می دهد و نشان می دهد که محدودیت ها و شکاف ها در بهره برداری، نگهداری و طراحی وجود دارد (Alcon و همکاران، ۲۰۱۷).

حسابداری و حسابرسی آب در خدمت حکمرانی خوب

بسیاری از نگرانی ها در حوزه ها و شرایط مختلف در راستای توسعه پایدار، نیاز به پاسخ های انطباقی و متناسب حکمرانی آب دارد که ایفای نقش حسابداری آب را می طلبد.

حمایت جهانی رو به افزایش از حسابداری آب

- نمونه های ذکر شده در زیر، مثال هایی از حمایت جهانی رو به رشد از حسابداری آب محسوب می شود:
- هند در حال توسعه طرحی برای حسابداری ملی آب است (Schmidt و همکاران، ۲۰۱۷).
 - بانک توسعه آسیایی از زمان انتشار مقاله خط مشی خود در سال ۲۰۱۳ با عنوان «تفکر متفاوت در مورد آب»، حسابداری آب را برای ارزیابی سیاست های مدیریت عرضه و تقاضا ترویج کرده است (Plocki, ۲۰۱۳).
 - با سابقه طولانی حسابداری آب در حوضه موری-دارلینگ، استاندارد حسابداری آب استرالیا توسط اداره هواشناسی استرالیا میزبانی می شود (BOM, ۲۰۱۷).
 - موسسه سیاست همگانی کالیفرنیا توصیه می کند که حسابداری آب برای مدیریت آب قبل و بعد از خشکسالی فعلی اتخاذ شود (Center, P. W. P, ۲۰۱۶).

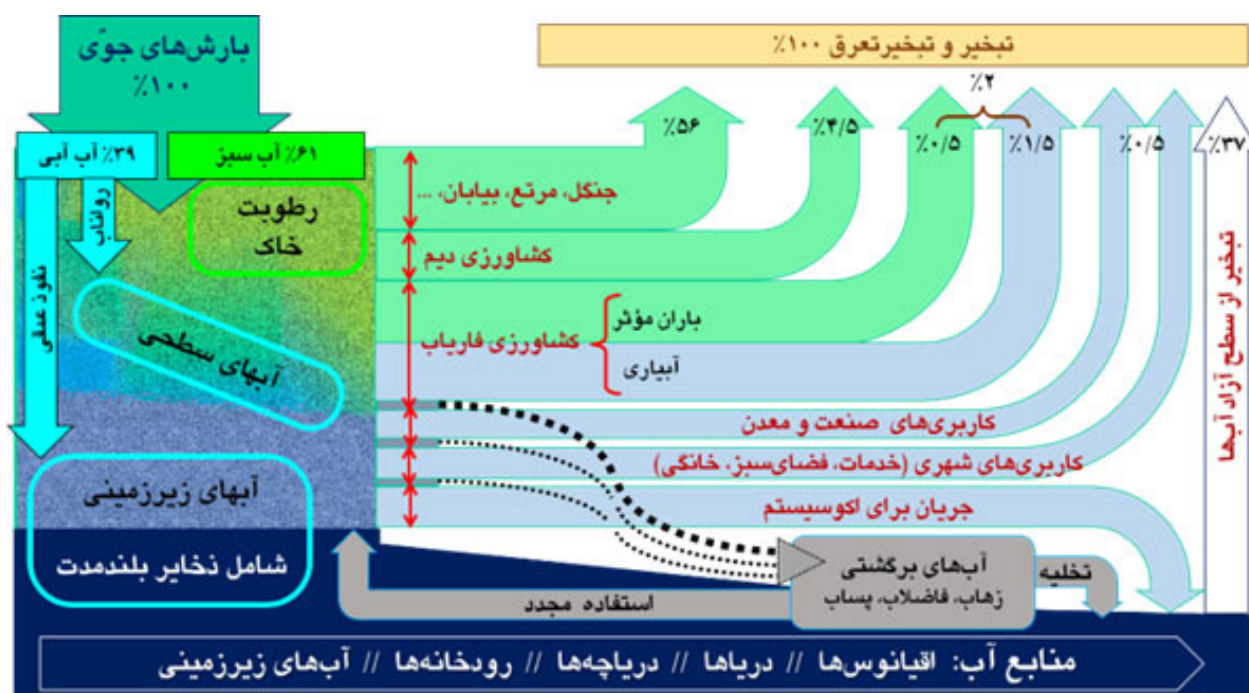
در حالی که این روندها در حسابداری آب مثبت و قابل استقبال است، اما برای حمایت سیستماتیک از حسابداری آب می توان کارهای بیشتری انجام داد. سه مورد از نقش حسابداری آب در حکمرانی آب به صورت مفصل در زیر توضیح داده شده و سایر موارد در جدول (۴) آمده است.

جدول ۳- باورهای رایج مهندسی و زیست محیطی که توسط حسابداری آب اصلاح گردیدند (Hoogeveen, ۲۰۱۸)

فرضیات و باورهای رایج	چگونه حسابداری آب می تواند توضیحات دقیق تری را مطرح نماید
آبیاری قطره ای باعث صرفه جویی در مصرف آب و کاهش مصرف می شود.	کشاورزان، در نتیجه ذخیره سازی ایجاد شده با آبیاری قطره ای، می توانند محصول خود را تغییر، گسترش و افزایش دهند. این کشت جدید منجر به مصرف آب بیشتر در سطح سیستم آبیاری می شود. آبیاری قطره ای با در اختیار قرار دادن تدریجی و پیوسته آب در سطح ریشه، امکان افزایش تعرق و خارج از دسترس قرار گرفتن آب موجود در چرخه را فراهم می سازد.
تالاب های سالم مانند یک اسفنج عمل می کنند و آب را افزایش می دهند.	تالاب ها جریان رودخانه ها را کاهش می دهند و می توانند جریان های پایه را در دوره های خشک تر پشتیبانی کنند و به تغذیه آبخوان ها کمک کنند. با این حال، تالاب ها به صورت سالانه و حجمی آب را تبخیر می کنند و می توانند به عنوان مصرف کننده خالص آب عمل کنند. هیدرولوژی تالاب ها مختص شرایط، رویدادهای بارندگی و ماهیت تغییر تالاب است.
جنگل ها به عنوان برج های مخزن آب عمل می کنند و آب را برای جریان رودخانه ها افزایش می دهند.	جنگل ها بسته به نوع پوشش گیاهی، تعرق خالص و تأثیر ریشه زایی به روش های مختلفی بر میزان نفوذ خاک، هیدرولوژی حوضه آبریز تأثیرگذار خواهد بود. برای مثال، در آفریقای جنوبی، برخی از جنگل ها، که به ویژه از گونه های مهاجم خارجی تشکیل شده اند، مصرف کننده خالص آب هستند.
آبیاری بالادست باعث کمبود آب در پایین دست می شود که تولید برق آبی را کاهش می دهد.	پر کردن و تخلیه سدها به عوامل بسیاری بستگی دارد و نه تنها باعث تغییر رواناب ناشی از آبیاری بالادست می شود. حجم آب ذخیره شده در سدها، اغلب از حجم آب تولید شده در جریان رویدادهای موسمی توسط حوضه های آبریز بزرگ فراتر می رود.
سدها باعث افزایش منابع آب می شوند.	سدها باید براساس تعدادی از معیارها موقعیت، اندازه و بهره برداری شوند. در اقلیم های نیمه خشک با تبخیر بالا، همین معیارهای طراحی می توانند سودمندی سدها را در تأمین آب پایین دست محدود کنند. سدهایی که در رابطه با نیازهای پایین دستی یا تغییرات آب و هوایی کم وسعت هستند، یا مدیریت ضعیفی دارند (مثلاً آب ذخیره شده بیش از حد تخلیه می شود)، در توانایی خود برای تأمین نیازهای آب در دوره های خشک «محدود» هستند.
«برداشت آب باران موجب ایجاد منابع آبی اضافی شده و به سرسبزی و بهبود پوشش گیاهی در حوضه های آبخیز نیمه خشک کمک می کند».	برداشت آب باران با طراحی دقیق، قرارگیری و حفظ آن می تواند نشت بارندگی را در خاک و آب های زیرزمینی در محل بهبود بخشد. اما آب جذب شده توسط برداشت آب باران در بخش های بالادست حوضه می تواند مصرف های آب پایین دست را کاهش داده و برای تأمین آب آشامیدنی مشکلاتی ایجاد کند. برداشت آب باران به طور بالقوه مصرف آب را به بالادست تغییر می دهد، پدیده ای که باید توسط همه ذی نفعان حوضه، مورد بحث قرار گیرد.

حوضه است که به وضوح نحوه مصرف آب توسط بخش ها و مصارف مختلف را نشان می دهد. گزارش دهی به نحوه ارائه اطلاعات تراز آبی در قالب هایی اشاره دارد که متناسب با نیازهای گوناگون کاربران و مقاصد گزارش دهی طراحی شده اند (Minerals Council of Australia, ۲۰۱۲).

به منظور مقابله با باورهای رایج نهادینه شده و ایجاد درک جدید، حسابداری آب باید قابل انتقال و با فهم آسان باشد. حسابداری آب فرآیند انتقال اطلاعات مربوط به منابع آب است. شکل (۱۰) «نمودار دیدگاه اجمالی» برای حسابداری آب



شکل ۱۰- چرخه آب روی خشکی‌ها با تفکیک مصارف از آب سبز و آب آبی (درصد‌های تقریبی برای متوسط دنیا) (داوری و همکاران، ۱۴۰۳)

حسابداری آب برای اهداف توسعه پایدار

اهداف توسعه پایدار برای آب و بخش‌های مربوطه مانند غذا، نیازمند توسعه شاخص‌هایی برای نظارت بر پیشرفت است. شاخص‌های معنادار برای ارزیابی استفاده پایدار از آب برای انسان و سیستم‌های طبیعی با در نظر گرفتن هر دو جنبه کمی و کیفی، بیشتر مورد نیاز است (Hak و همکاران، ۲۰۱۶). حسابداری آب از تدوین و استفاده از شاخص‌ها برای اهداف توسعه پایدار (به ویژه بند ۶ اهداف توسعه پایدار) به چند روش پشتیبانی می‌کند (Bhaduri و همکاران، ۲۰۱۶):

- حسابداری آب بحثی را در مورد مرتبط بودن شاخص‌هایی که در مورد اهداف توسعه پایدار گزارش می‌دهند، شامل داده‌های عددی مانند تعداد خانوارهایی که منابع آب بهبود یافته دارند و داده‌های نسبی مربوط به کارایی سیستم‌ها را بیان می‌کند.
- حسابداری آب به بحث در مورد طراحی شاخص‌هایی می‌پردازد که اکثر مفسران موافق هستند که باید هوشمند باشند.
- حسابداری آب اطلاعات پایه را در مورد حوضه‌ها ارائه می‌دهد که می‌تواند برای شناسایی تغییرات ناشی از سیاست‌های جدید استفاده شود.
- حسابداری آب نشان می‌دهد که کجا اطلاعات گم شده، غیرقابل اعتماد است یا می‌تواند از معیارهای دیگر استخراج شود (مثلاً آمار زمین).

- حسابداری آب به دلیل سخت‌گیری در بررسی آب از منظر کمی، از یک رویکرد یکسان برای نظارت بر اهداف توسعه پایدار پشتیبانی می‌کند.
- حسابداری آب به برجسته کردن و پرداختن به مبادلات احتمالی در اهداف توسعه پایدار با استفاده از دیدگاه بلندمدت ارتباط آب-انرژی-غذا کمک می‌کند. به عنوان مثال، نیاز به دستیابی به امنیت غذایی (بند ۲ اهداف توسعه پایدار) می‌تواند به‌طور بالقوه منجر به مصرف بیش از حد آب، انحراف حوضه‌ها و سفره‌های زیرزمینی به سمت کمبود آب و عدم انعطاف بیشتر شود. اگر بند ۷ اهداف توسعه پایدار، در مورد انرژی، از طریق دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی محقق شود، همین خطر وجود دارد، زیرا برق در دسترس آزاد می‌تواند منجر به برداشت بیشتر آب شود و دستیابی پایدار به هدف بند ۶ توسعه پایدار را تضعیف کند.

به‌طور خلاصه، حسابداری آب واقع‌گرایی و دقت را به بحث پیرامون نظارت بر آب و هدف توسعه پایدار مرتبط با آب می‌آورد. در حالی که اهداف توسعه پایدار جامع‌ترین چارچوب بین‌المللی را برای ارائه توسعه پایدار به اقتصادها و جوامع جهان نشان می‌دهد، اما از نظر نظارت بر پیشرفت، مملو از خطرات است. برون‌یابی شاخص‌ها از سنجش از راه دور یا

آمارهای غیرقابل اعتماد بسیار آسان است یا به طور کامل از نظر تئوری درک نمی‌شوند. بدون دقت ارائه شده توسط حسابداری آب، پیامد آن این خواهد بود که سیاست‌گذاران، آب و اهداف توسعه پایدار مربوط به آب را مدیریت نخواهند کرد، بلکه شاخص‌ها را مدیریت خواهند کرد.

شاخص‌ها و حکمرانی آب

شاخص‌ها به عنوان ابزار قدرتمند تصمیم‌گیری و عناصر کلیدی در جهت توسعه پایدار در حیطه مسائل مرتبط با آب مطرح می‌گردند. استفاده از شاخص‌ها می‌تواند به جمع‌بندی حجم قابل توجهی از داده‌ها و اطلاعات متنوع در مورد جامعه، اقتصاد و محیط زیست در چندین معیار کمک کند و با ترکیب گروهی از نشانگرها، شاخص یا شاخص‌هایی برای اهداف مختلف و کاربران نهایی ایجاد شود. چارچوب‌های ارزیابی مبتنی بر شاخص‌ها می‌توانند نقش مهمی برای برقراری ارتباط اطلاعات علمی و فنی بین گروه‌های مختلف ذی‌نفعان و تبدیل اطلاعات به خرد (یا دانش عملی) به عنوان ابزار پشتیبانی سیاست/تصمیم ایفا کنند (Shafiei و همکاران، ۲۰۲۲). رحمانی و همکاران (۱۴۰۰)، با بررسی شاخص‌های رایج مدیریت آب در جهان، ۲۰۰ شاخص را برای مدیریت پایدار آب شناسایی نموده و چهار مؤلفه پایدار (اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی) را در جهت توسعه پایدار در حیطه مسائل مرتبط با آب مورد نظر قرار دادند.

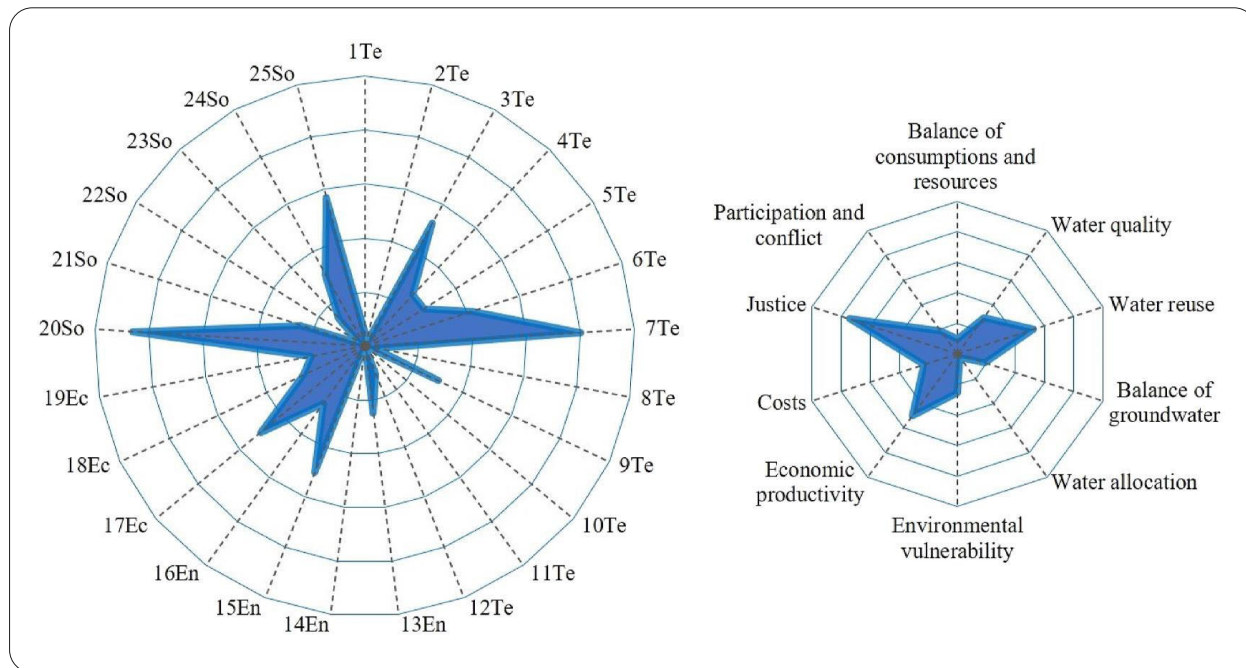
معمولاً برای شناسایی و توصیف شاخص‌ها و تعریف شاخص‌های جدید براساس طبقه‌بندی آن‌ها، ماتریس ارزیابی طراحی می‌گردد و برای ارزیابی شاخص‌ها بر اساس مولفه‌های پایداری، از دیدگاه‌های گروه‌های مختلف تصمیم‌گیرنده در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی، علوم محیطی و نهادی بهره گرفته می‌شود. در مرحله اول، انتخاب و ارزیابی شاخص‌ها با هدف حذف شاخص‌هایی با مفهوم یکسان و انتخاب شاخص‌هایی متناسب با معیار SMART^{۳۷} برگرفته از کلمات خاص (قابل اندازه‌گیری، قابل دسترسی، مرتبط و متناسب و داشتن محدوده زمانی) انجام می‌شود. در مرحله دوم، ارزیابی شاخص‌ها بر اساس تناسب هر شاخص برای استفاده در مقیاس حوضه و در مرحله سوم شاخص‌های نهایی از بین شاخص‌های اولیه انتخاب می‌شوند تا با در نظر گرفتن مولفه‌های پایداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. برای نمونه در کار انجام شده توسط خانم رحمانی و همکاران (۱۴۰۰) از نتایج تجزیه و تحلیل‌ها مشخص گردید که ۳۰ شاخص با اکثر مولفه‌های پایداری همخوانی دارند. طبق نظر UNESCO

World Water Assessment Programme (۲۰۰۹) این شاخص‌ها طیف وسیعی از مسائل مربوط به منابع آب را توصیف نمودند. ۳۰ شاخص دو بعدی بوده و با دو مؤلفه پایداری سازگار هستند. این شاخص‌ها با در نظر گرفتن بیش از یک جنبه از پایداری، مانند «تعداد دستورالعمل‌های مشارکتی موجود و عملیاتی‌شده» که یکی از بالاترین امتیازها برای مؤلفه نهادی است (امتیاز ۸/۶۶ از ۹) متمایز می‌شوند. ۶ شاخص تک‌بعدی هستند که یک جزء پایداری را برآورده می‌کنند. شاخص‌های تک‌بعدی مانند، شاخص نیترات و نیتريت در آب‌های زیرزمینی به عنوان یک شاخص بسیار مرتبط از کیفیت زیست‌محیطی آب است و امتیاز بسیار بالایی را برای مؤلفه‌های زیست محیطی (۸/۸۸) کسب کرده است. شاخص با بالاترین میانگین امتیاز (۷/۸) شاخص «تنش آبی نسبی» بود که میزان برداشت آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی را نسبت به ذخایر آبی اندازه‌گیری می‌کند. «تنش آبی نسبی» به همراه «نسبت وابستگی به حوضه‌های مجاور» و «شاخص مصرف ناپایدار آب» تنها شاخص‌هایی بودند که با هر چهار بعد پایداری همخوانی داشتند (رحمانی و همکاران، ۱۴۰۰).

در پژوهشی دیگر Shafiei و همکاران (۲۰۲۲)، در زمینه مدیریت آب به ارزیابی پایایی مبتنی بر شاخص‌ها در سطح محدوده مطالعاتی مشهد پرداختند (شکل ۱۱). این روش مبتنی بر یک رویکرد مشارکتی بوده که شامل تشکیل یک پانل تخصصی از ذی‌نفعان حوضه، ایجاد اهداف و مقاصد، شناسایی و غربالگری شاخص‌ها و شکل‌دهی چارچوب نهایی ارزیابی پایایی بود. ۳۲۲ شاخص مورد بررسی قرار داده شد و با استفاده از معیارهای انتخاب و دو دور روش دلفی فازی، ۲۵ شاخص مناسب برای هدف مرتبط با مدیریت پایایی آب در حوضه مورد مطالعه، بررسی گردید. یک چارچوب ارزیابی پایایی با دسته‌بندی شاخص‌های نهایی به چهار مؤلفه اصلی (فنی Te، زیست‌محیطی En، اقتصادی Ec و اجتماعی So) و ده جزء فرعی برای ارائه پیوندها و بینش‌های بهتر از شیوه‌های مدیریت آب حوضه بین گروه‌های مختلف ذی‌نفعان تشکیل شد و با استفاده از یک طرح وزن‌دهی از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یک شاخص پایداری با تجمیع شاخص‌ها ایجاد گردید. شاخص‌های مولفه‌ها یعنی فنی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲۵، ۰/۴۳، ۰/۵۶ محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص فنی و زیست‌محیطی از پایین‌ترین امتیازها در شاخص‌های اجزای حوضه مشهد است و حوضه آبریز مشهد در شرایط بحرانی

آشامیدنی سالم، وابستگی به آب‌های زیرزمینی تجدیدپذیر و آلودگی آب) تقریباً ۴۰ درصد در شاخص پایداری حوضه نقش دارند (Shafiei و همکاران، ۲۰۲۲).

ناپایدار با شاخص پایداری ۰/۳۴ از ۱ قرار دارد. تجزیه و تحلیل اهمیت نسبی شاخص‌های تطبیقی نشان می‌دهد که چهار شاخص رتبه‌بندی برتر (شامل بهره‌وری آب، دسترسی به آب



شکل ۱۱- نتایج ارزیابی پایداری حوضه مشهد بر اساس ۲۵ امتیاز شاخص (چپ، الف) و ۱۰ امتیاز زیرمؤلفه (راست، ب). دامنه امتیازات از ۰ (مرکز دایره) تا ۱ (حومه دایره) متغیر است (Shafiei و همکاران، ۲۰۲۲)

جدول ۴- مواردی از نقش حسابداری آب در حکمرانی آب

عنوان	توضیح
رشد اقتصادی پایدار	رشد اقتصادهای تجربه شده در روستاها، شهرها، مناطق و شهرها مزایای اجتماعی قابل توجهی از جمله ایجاد شغل، رفاه انسانی، و تولید ثروت و مالیات برای هزینه‌های بیشتر در مدارس، امکانات پزشکی، فضاهای تفریحی و حمل‌ونقل را فراهم می‌کند. با این حال، رشد اقتصادی می‌تواند تقاضای آب اضافی بالاتر و فراتر از سطوح فعلی ایجاد کند. حسابداری آب می‌تواند به برنامه‌ریزان عمومی و شرکت‌ها کمک کند تا از نظر هیدرولوژیکی برای برنامه‌های خود هزینه کنند تا اطمینان حاصل کنند که در آینده بدون آب سرگردان نمی‌شوند و آب را از مصرف‌کنندگان محلی موجود می‌گیرند (FAO، ۲۰۱۸).
تحقق اهداف	حسابداری آب به نظارت و دستیابی به تمامی اهداف هفده‌گانه توسعه پایدار در زمینه رشد اقتصادی، کاهش فقر و حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند. نه تنها از آب برای همه فعالیت‌های انسانی، اجتماعی، اقتصادی و طبیعی استفاده می‌شود، آب به صراحت با برآوردن دومین هدف توسعه پایدار در مورد غذا، ششمین هدف در مورد آب، هفتمین هدف در انرژی، سیزدهمین هدف در سازگاری با آب و هوا و پانزدهمین هدف در اکوسیستم‌های زمینی مرتبط است (Bruggemann و Carlsen، ۲۰۲۲). برنامه‌ریزان اقتصادی و سازمان‌های محیط‌زیست به حسابداری آب نیاز دارند تا بررسی کنند که آیا طرح‌هایشان مفهوم هیدرولوژیکی دارد (یعنی آیا برای همهٔ موارد مصرف و کاربران کافی است؟) و برای پاسخ به این سؤال: «آب از کجا خواهد آمد؟»

محدودیت منابع آب	حسابداری آب، یادآور می‌سازد که در مقیاس جهانی مقدار کل آب شیرین موجود برای انسان و محیط‌زیست کم و بیش ثابت است و بسیاری از حوضه‌ها قادر به یافتن منابع جدید آب شیرین نیستند (Hoekstra و Mekonnen، ۲۰۱۶). با این وجود، جامعه به درستی می‌پرسد که چگونه منابع آب را می‌توان افزایش داد، با توجه به اینکه این منابع در طول زمان و مکان به طور قابل توجهی متفاوت هستند. برخی از راه‌حل‌ها، که به‌عنوان راه‌حل‌های افزایش عرضه شناخته می‌شوند، شامل انتقال بین حوضه‌ای بین حوضه‌های آبریز، نمک‌زدایی آب شور، ذخیره‌سازی ساختمان برای جذب آب سیل، بازیافت فاضلاب و مدیریت سفره‌های زیرزمینی برای برداشت می‌شوند. حسابداری آب محاسبه می‌کند که آیا این راه‌حل‌ها واقعاً منابع را افزایش می‌دهند و به رفع کمبودها کمک می‌کنند یا اینکه آیا آن‌ها صرفاً یک اهمال کاری را ایجاد می‌کنند.
افزایش تقاضا	افزایش جمعیت جهان و شهرنشینی، همراه با تقاضای فزاینده برای غذا و نیاز به تأمین جریان‌های زیست محیطی، منجر به افزایش تقاضا برای آب شده است. (Green و همکاران، ۲۰۱۵). کمپابی آب، منجر به رقابت بیشتر در بین مصرف‌کنندگان مختلف آب شیرین می‌شود. مدیریت این رقابت با وجود توزیع آب موجود بین استفاده‌کنندگان یک چالش بزرگ حاکمیت آب است. حسابداری آب به سیاست‌گذاران اطلاع می‌دهد که آیا فعالیت‌های صورت گرفته (مانند سدهای جدید، طرح‌های آبیاری یا اصلاح قانون آب) به مدیریت کم‌آبی و رقابت کمک می‌کند یا خیر.
تغییرات اقلیم و مواجهه با کمبود آب	تغییرات آب و هوا کمبود آب را تشدید می‌کند، به‌طوری که انتظار می‌رود تغییرات ناشی از تغییرات آب و هوایی افزایش یابد (Schewe و همکاران، ۲۰۱۴). خشکسالی‌ها نمونه‌هایی از تنوع آب هستند و موارد اخیر تأثیر آن را بر مناطق شهری احاطه شده با کشاورزی آبی نشان می‌دهد (مانند کیپ تاون، لس آنجلس، روستاهای روستایی در ساحل). در بسیاری از موارد، خشکسالی در مناطق کشاورزی و شهری منجر به پمپاژ بیش از حد سفره‌های زیرزمینی شده است که منجر به فرونشست شدید زمین شده و بر زیرساخت‌ها و ظرفیت سفره‌های زیرزمینی برای نگهداری آب تأثیر می‌گذارد (Galindo-Castillo و همکاران، ۲۰۱۷). در اقتصادهای در حال توسعه و در حال گذار، خشکسالی می‌تواند منجر به قحطی، مرگ، مهاجرت و حتی بی‌نظمی سیاسی و اجتماعی شود (Obokata و همکاران، ۲۰۱۴). حسابداری آب در طول خشکسالی محاسبه می‌کند که چه مقدار آب در ذخایر و جریان باقی می‌ماند و چه اقدامات جدید طرف عرضه و تقاضا باعث افزایش بیشتر منابع می‌شود. همراه با مطالعات آینده‌نگری، حسابداری آب می‌تواند به آماده شدن برای تغییرات ناگهانی آب و هوایی کمک کند (Briggs، ۲۰۱۷).
مقابله با سیل	سیل یک عامل استرس‌زا برای جوامع شهری و روستایی و زیرساخت‌های آبی طراحی شده برای رژیم‌های هیدرولوژیکی قدیمی است. نکته مهم این است که اگر بتوان زیرساخت کنترل و ذخیره آب اضافی را طراحی، ساخت و راه‌اندازی کرد، رویدادهای سیل همچنین می‌توانند فرصتی برای تقویت منابع آب فراهم کنند (Ehsani و همکاران، ۲۰۱۷). رویکردهای جدید برای سازگاری با سیل، مزایای سیل، و مبادلات بالقوه مرتبط با زیرساخت‌های جدید، به حسابداری دقیق آب بستگی دارد.
بهبود بهره‌وری آب	با افزایش تقاضای جمعیت، غذا، فیبر، سوخت و خوراک، دستیابی به سطوح بهینه بهره‌وری آب، تولید و بهره‌وری مصرف آب در سیستم‌های شهری، کشاورزی و صنعتی ضروری است. در کشاورزی، هدف مدیریت آب و سایر نهاده‌ها به‌گونه‌ای است که بازده محصول برای یک زمینه معین و مجموعه‌ای از محدودیت‌ها بهینه شود (Giordano و همکاران، ۲۰۱۷). حسابداری آب به این بحث‌ها در مورد روابط بین بهره‌وری، بهره‌وری و آب برداشت و مصرف کمک می‌کند.
مدیریت تخصیص	مقادیر زیاد آب استحصال و مصرف شده در آبیاری در بسیاری از حوضه‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری همراه با سایر نیازها مانند آب برای شهرها، یک چالش کلیدی تخصیص آب و حسابداری آب ایجاد می‌کند. از دیگر سو این نگرانی وجود دارد که صرفه‌جویی در بهره‌وری در سطح مزرعه به‌طور متناقضی منجر به مصرف بالاتر شود (Berbel و همکاران، ۲۰۱۵). یکی دیگر از سؤالات مهم حسابداری آب مربوط به توصیه برای افزایش عرضه و مصرف آب به کشاورزی دیم از طریق آبیاری تکمیلی است، سؤالی که می‌توان اینگونه بیان کرد: «این موضوع چه تأثیراتی بر مصرف‌کنندگان پایین‌دستی خواهد داشت؟» تخصیص آب در حوضه‌های آبی و دیم (به خصوص اگر راه‌حل‌های جدید جانبی (مانند سدها) محدود باشد)، یک چالش بزرگ باقی می‌ماند (Rockström و همکاران، ۲۰۱۰).

افزایش وابستگی برداشت‌ها	شکاف بین عرضه و تقاضا که در بسیاری از حوضه‌های رودخانه‌ها و سیستم‌های آبخوان یافت می‌شود، به‌طور فزاینده‌ای کاربری‌های مختلف آب را به یکدیگر وابسته می‌کند. عدم درک این وابستگی موجب می‌گردد تا هر گونه تخصیص و مصرف آب توسط یک کاربر به‌طور خودکار آب را از کاربر دیگر می‌گیرد (حتی در فواصل دور). در چنین شرایطی حسابداری آب ضرورت می‌یابد. افزایش برداشت‌ها و وابستگی‌ها، نیاز به حسابداری دقیق به ویژه برای حفظ یا افزایش رشد اقتصادی، حفاظت از نیازهای اساسی و افزایش شفافیت برای از بین بردن این حس نامتناسب مبنی بر «دزدیده شدن» آب را دو چندان می‌نماید. آبران مجاز، روز به روز متقاضی شفافیت و نظارت بیشتر به کمک حسابداری دقیق آب برای احقاق حق می‌باشند (Fink و Whelan، ۲۰۱۶).
توزیع عادلانه آب	بهره‌وری سیستم‌های آبیاری و رفاه در مراکز شهری نیاز به توزیع به موقع و عادلانه آب دارد. تقریباً تمام فرآیندهای انسانی، طبیعی و ناشی از انسان از آب پاک و شیرین بهره می‌برند که به موقع تحویل داده می‌شود. حسابداری آب در این حوزه‌ها به فرآیند توزیع اطلاع می‌دهد و می‌تواند در مجموع منجر به افزایش کارآمدی و تولید گردد (Hoogeveen، ۲۰۱۸).
مدیریت ارتباط آب-انرژی-غذا	آب یکی از بخش‌های حیاتی پیوند انرژی، زمین، محیط زیست و غذا است. ارتباط بین این‌ها به این معنی است که تغییرات در دسترسی بودن آب می‌تواند عواقب ناخواسته‌ای برای سایر قسمت‌ها داشته باشد. برای مثال، برخلاف آبیاری ثقلی، آبیاری مکانیزه از انرژی، برای پمپاژ و فیلتر کردن آب استفاده می‌کند. حسابداری آب در این ارتباطات نقشی ثمربخش ایفا می‌کند (Hoogeveen، ۲۰۱۸).
کاهش مخاطرات زیست محیطی	یک خطر زیست محیطی کلیدی کمبود آب و تقاضای بیش از حد، فقدان جریان‌های زیست محیطی است که به‌عنوان جریان‌های زیست محیطی برای تالاب‌ها و دلتاهای رودخانه‌ها نیز شناخته می‌شود. حسابداری آب اندازه این جریان‌ها و ویژگی‌های مرتبط مانند عمق جریان‌ها، زمان‌بندی و دما را تعیین می‌کند تا راهنمایی کند که چگونه این اجزای داخلی و مصرفی در تخصیص آب ادغام می‌شوند. دومین خطر زیست محیطی، آلودگی آب است. آلودگی آب نه تنها آب شیرین را غیرقابل استفاده می‌کند و به هزینه‌های پاکسازی می‌افزاید، بلکه تخصیص آب را نیز مشکل‌ساز می‌کند، زیرا آب برای رقیق کردن آلودگی تا سطوح قابل قبول مورد نیاز است. در حالی که تعیین کمیت این تقاضای رقیق‌سازی و محاسبه آن دشوار است و فضای بین عرضه و تقاضای آب را بیشتر کاهش می‌دهد. سومین جنبه خارجی محیطی، جو است که شامل گازهای گلخانه‌ای می‌شود، مانند: الف) دی‌اکسید کربن تولید شده در هنگام تغییر فناوری‌های آب به منابع انرژی کربن فشرده، ب) متان تولید شده توسط آبیاری برنج و دام. در حالی که کاهش برخی از گازهای گلخانه‌ای دشوار است، برخی دیگر با انتخاب‌های تکنولوژیکی مرتبط هستند که سعی در کاهش تقاضای آب دارند. حسابداری آب به ایجاد این ارتباطات کمک می‌کند (Hoogeveen، ۲۰۱۸).
انطباق با تأثیرات سیاست‌های غیرآبی	در مناطقی با منابع آبی محدود، سایر سیاست‌های غیرآبی اقتصاد می‌تواند تعادل تقاضای آب را تغییر دهد. به‌عنوان مثال، سیاست افزایش امنیت غذایی در یک منطقه نیمه‌خشک با آبیاری در فصل خشک، فشار بیشتری را بر منابع آب سطحی محدود وارد می‌کند. از طرف دیگر، گزینه‌های زیادی برای کاهش مصرف آب با تغییر اقتصادها از کشاورزی آبی به سمت صنایع سبک یا بخش‌های خدماتی وجود دارد (Allan، ۲۰۰۱). حسابداری آب می‌تواند به مدل‌سازی این سناریوها کمک کند و نشان دهد که چگونه بر تعادل بین عرضه و تقاضای آب تأثیر می‌گذارد.
سرعت در تغییر نقش آب	حسابداری آب به نقش‌های در حال تغییر در مدیریت و حکمرانی آب پاسخ می‌دهد و منعکس‌کننده آن است. شرکت‌ها، سازمان‌های غیردولتی و مردم‌نهاد، شرکت‌های آب و برق و گروه‌های مصرف‌کننده آب بیش از هر زمان دیگری درگیر مسائل آب هستند، در حالی که در همان زمان دولت‌ها به دنبال راه‌هایی برای کنار گذاشتن مسئولیت و تغییر نقش‌های تسهیل‌کننده و نظارتی هستند. با این حال، مشکلات عمده، از این تغییر نقش‌ها ناشی می‌شود. برخی از سوالاتی که باید پرسیده شود این است: «اقدامات فعلی زیرساخت‌ها و نهادها چگونه از این نقش‌های جدید حمایت می‌کنند؟» (Soliev و همکاران، ۲۰۱۷) و «این نقش‌ها چگونه بهم پیوسته‌اند تا بجای شکاف‌ها، نظارت کافی ایجاد شود؟» به عبارت دیگر، زیرساخت‌های دولتی و اداره‌شده چگونه ممکن است داده‌های عملیاتی و تصمیم‌گیری را با بخش خصوصی و گروه‌های کاربری به اشتراک بگذارند و بالعکس؟ (National Research Council، ۲۰۱۲) و چگونه سازمان‌های دولتی می‌توانند به داده‌های آب از بخش خصوصی و گروه‌های کاربری دسترسی داشته باشند؟

مشارکت برای حسابداری آب

حسابداری موفقیت‌آمیز آب در آینده به همکاری سالم بین بسیاری از ذی‌نفعان وابسته به مزایای اشتراک‌گذاری ریسک‌ها و رویکردها بستگی دارد (Baleta و Winter، ۲۰۱۷). اصلاحات و حسابداری موفق حاکمیت آب وابسته به شمول کامل همه بازیگران آب است که در یک انجمن باز بی‌طرفانه کار می‌کنند تا به مشکل، روش، تجزیه و تحلیل و شناسایی راه‌حل، کمک کنند. جدول (۵)، نمونه‌های موردی از کاربرد حسابداری آب برای رشد اقتصادی و جمعیت پایدار را ارائه می‌دهد. پیشرفت آینده مستلزم آن است که قهرمانان سیستم‌های مختلف حسابداری آب در مورد روش‌ها، اندازه‌گیری‌ها، معیارها و اصطلاحات توافق کنند (Chalmers و همکاران، ۲۰۱۲؛ Konar و همکاران، ۲۰۱۶).

نتیجه‌گیری

با توجه به تشدید محدودیت‌های آب، تقاضای فزاینده و تشدید نابرابری‌های قابلیت دسترسی آب و همچنین با تأکید بر ضرورت نقش آب به‌عنوان زیربنای اهداف توسعه پایدار، رویکرد حسابداری و حسابرسی آب از عوامل مؤثر برای بهبود حکمرانی آب محسوب می‌گردند. برای تغییر نحوه استفاده از آب توسط بخش‌ها و ذی‌نفعان و اعمال مدیریتی پایدار، کارآمدی پایا و عادلانه، اقدام فوری لازم است. حسابداری و حسابرسی آب باید مقدم بر هر استراتژی مدیریت و حاکمیت آب باشد. سنگ بنای دستیابی به اجماع کنشگران در مورد اطلاعات ضروری در مورد منابع آب، حسابداری آب، مطالعه سیستماتیک چرخه هیدرولوژیکی و وضعیت و روند در عرضه، تقاضا، دسترسی و

جدول ۵- نمونه‌های موردی از کاربرد حسابداری آب برای رشد اقتصادی و جمعیت پایدار (Hoogeveen، ۲۰۱۸)

نمونه موردی	مشکل چیست؟	نقش حسابداری آب
چنای، هند	همانند بسیاری از شهرهای بزرگ دیگر هند، جمعیت و تقاضای آب جمعیت چنای به‌طور قابل توجهی در حال افزایش است.	نشان دادن محدودیت‌های فعلی عرضه برای تأمین تنها ۷۵٪ تقاضا.
فالز آیداهو، ایالات متحده	آب شیرین و آشامیدنی کلید توسعه و رشد شهر است. شهرهای آیداهو برای بدست آوردن آب کافی برای رشد و در عین حال عدم تسخیر آب کشاورزی با چالش مواجه هستند.	«ضرورت تعریف منابع تأمین آب اضافی - از جمله انتقال آب بین حوضه‌ای و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی - در سیاست‌گذاری‌ها برجسته است. حذف رویکرد تخصیص میان‌بخشی باعث محدود شدن گزینه‌های مدیریتی پیش‌روی شهرهای ایالت آیداهو خواهد شد.»
مکزیک سیتی	رشد فزاینده جمعیت مکزیکوسیتی که منجر به مشکلات امنیتی آب برای ساکنان شهر گردیده است. شیوع بالای آلودگی آب و کاهش آب‌های زیرزمینی.	مقرون به‌صرفه بودن آب به‌عنوان درصدی از کل درآمد ماهانه؛ با توجه به روند سطح آب‌های زیرزمینی و آلودگی.
شهر پکن، چین	مانند مکزیکوسیتی، رشد بسیار سریع شهر پکن، فشار فزاینده بر منابع آب وارد می‌کند، اما برخلاف مکزیکوسیتی، آب‌های زیرزمینی دوباره شارژ می‌شود.	تعیین میزان شارژ آب زیرزمینی در منطقه شهری
شرق انگلیا، انگلیس	شرق انگلیا یکی از بالاترین رشد جمعیت بریتانیا را تجربه می‌کند. یک شرکت معتبر باید آب مورد نیاز را برای جمعیت رو به رشد، تأمین نماید.	نشان می‌دهد که راه‌حل‌های مدیریت عرضه و تقاضا در کجا مورد نیاز است و محدودیت‌های انتقال آب خارج از حوضه‌ای به لندن را بیان می‌دارد.
آسیای غربی	عوامل محرک درگیری‌های آب در اردن، سوریه، مصر، یمن، عراق و ایران؛ تغییرات آب و هوایی، از جمله کاهش مداوم بارندگی. افزایش جمعیت؛ عطش توسعه صنعتی شدن؛ ارتقاء سطح زندگی... و الگوهای نگران‌کننده مصرف آب	تفکیک عوامل افزایش مصرف آب، معیارهایی را ارائه می‌دهد که به دیپلماسی و بحث منطقه‌ای می‌پردازد.

- خزاعی، سحر، رائینی سرجاز، محمود، داوری، کامران، و شفیع، مجتبی. (۱۳۹۷). معرفی چارچوب حسابداری آب WA+. آب و توسعه پایدار، ۵(۲)، ۱۱۷-۱۲۸. doi: 10.22067/jwsd.v5i1.67068
- داوری، کامران، اسلامی، امیر، عمرانیان خراسانی، حمید، درخشان، هاشم، سالاریان، محمد. (۱۴۰۳). مدیریت آب: منابع و کاربردها. مشهد، جهاد دانشگاهی، شابک، ۹۷۸۹۶۴۳۲۴۵۳۲۰.
- رحمانی، مهسا، داوری، کامران، ابوالحسنی، لیلی، ثابت تیموری، مژگان، و شفیع، مجتبی. (۱۴۰۰). بررسی و انتخاب شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار آب در حوضه‌های آبریز. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴(۱)، ۱۴۱-۱۵۴. doi: 10.22055/jise.2019.29535.1852
- دفتر تحقیقات و بهره‌وری شرکت آب و فاضلاب مشهد. (۱۳۹۴). رونمایی از سند تدبیر آب مشهد. آب و توسعه پایدار، ۲(۱)، ۱۱۰. doi: 10.22067/jwsd.v2i1.51166

- Aboelnga, H. T., Ribbe, L., Frechen, F. B., & Saghir, J. (2019). Urban water security: Definition and assessment framework. Resources, 8(4), 178. <https://doi.org/10.3390/resources8040178>
- Agana, B. A., Reeve, D., & Orbell, J. D. (2013). An approach to industrial water conservation—a case study involving two large manufacturing companies based in Australia. Journal of environmental management, 114, 445-460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.047>
- Alcon, F., Garcia-Bastida, P. A., Soto-Garcia, M., Martinez-Alvarez, V., Martin-Gorritz, B., & Baille, A. (2017). Explaining the performance of irrigation communities in a water-scarce region. Irrigation science, 35, 193-203. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0531-7>
- Allan, J. A. (2001). The Middle East water question: Hydropolitics and the global economy. London, UK: I. B. Tauris
- Baleta, H., and Winter, K. (2017). Towards a shared understanding of water security risks in the public and private sectors. International Journal of Water Resources Development, 33(2), 233-245. <https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1159948>
- Barrington, D. J., & Ho, G. (2014). Towards zero liquid discharge: the use of water auditing to identify water conservation measures. Journal of cleaner production, 66, 571-576. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.065>
- Barrington, D. J., Prior, A., & Ho, G. (2013). The role of water auditing in achieving water conservation in the process industry. Journal of cleaner production, 52, 356-361. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.032>
- Batchelor, C., Hoogeveen, J., Fares, J. M., & Peiser, L. (2016). Water accounting & auditing guidelines: A sourcebook (Vol. 43). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

استفاده آب است. حسابرسي آب اين اطلاعات را در چارچوب گسترده‌تر حکومت، نهادها، مخارج عمومي و خصوصي، قوانين و اقتصاد سياسي گسترده‌تر قرار مي‌دهد. زيرساخت‌هاي جامعه به آگاهي از كيفيت، توزيع و جريان آب بستگي دارد. دانش و درک حسابداری آب، اصل زیربنایی خواهد بود که با بهترین حسابداری مالی، آمار، هیدرولوژی و مهندسی پیوند می‌خورد. هم‌افزایی و تشریک‌مساعی حسابداری و حسابرسي آب از حکمرانی بهتر، حمایت می‌کنند و می‌توانند با مشارکت فعال سهامداران با هزینه معقول انجام شوند.

پی‌نوشت‌ها

1. Water withdrawal
2. Renewable water
3. Water shortage
4. Water scarcity
5. Water accounting
6. Withdrawal
7. Aquifer
8. Governance
9. Biophysical
10. Water auditing
11. Water security
12. Water stress
13. Use consumption
14. Withdrawal-based water Stress Index (WSI)
15. United Nations Statistics Division
16. United Nations Water
17. Food and Agriculture Organization
18. International Water Management Institute
19. International Commission on Irrigation and Drainage
20. Water Accounting Standards Board
21. System of Environmental and Economic Accounting for Water
22. Flows to sinks
23. Actors
24. Stakeholder
25. Consumed Fraction
26. Non-Consumed Fraction
27. International Water Management Institute
28. Institutions
29. Public and private expenditure
30. Financial evaluation
31. Water earmarked
32. Water utilized
33. Predefined system boundary
34. Water loss (or unaccounted for water)
35. Closure
36. Sustainable Development Goals (SDGs)
37. SMART criteria: Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound

- Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J. A., Camacho, E., & Montesinos, P. (2015). Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study. *Water Resources Management*, 29, 663-678.
<https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>
- Bhaduri, A., Bogardi, J., Siddiqi, A., Voigt, H., Vörösmarty, C., Pahl-Wostl, C.,... & Osuna, V. R. (2016). Achieving sustainable development goals from a water perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 4(64), 1-13.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00064>
- BOM (Bureau of Meteorology). (2017). The improving water information programme progress report. The Bureau of Meteorology, Government of Australia.
- Briggs, C. M. (2017). Foresight Tools & Early Warning Systems: Vulnerability Assessments for Abrupt and Non-Linear Climate Risks. *Epicenters of Climate and Security: The New Geostrategic Landscape of the Anthropocene*, 115-121. https://climateandsecurity.org/wp-content/uploads/2017/06/14_foresight-tools.pdf
- Bucknall, J., Damania, R., & Rao, H. (2006). Good governance for good water management. Washington, DC: The World Bank Group.
- Carlsen, L., & Bruggemann, R. (2022). The 17 United Nations' sustainable development goals: A status by 2020. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 29(3), 219-229.
<https://doi.org/10.1080/13504509.2021.1948456>
- Center, P. W. P. (2016). California's Water. PPIC Water Policy Center: San Francisco, CA, USA.
- Chalmers, K., Godfrey, J., & Potter, B. (2012). Discipline-informed approaches to water accounting. *Australian accounting review*, 22(3), 275-285.
<https://doi.org/10.1111/j.1835-2561.2012.00175.x>
- Chimote, K., & Bhabhulkar, A. (2012). 2nd National Conference on Innovative Paradigms in Engineering and Technology (NCIPET 2013). NCIPET, 9 (March 2012), 17-20. <https://research.ijcaonline.org/ncipet/number9/ncipet1069.pdf>
- Choudhary, S., Dohare, D., & Bajpai, S. (2021). Review on conservation of water by water audit. *Current World Environment*, 16(3), 694. doi:
<http://dx.doi.org/10.12944/CWE.16.3.4>
- Ehsani, N., Vörösmarty, C. J., Fekete, B. M., & Stakhiv, E. Z. (2017). Reservoir operations under climate change: Storage capacity options to mitigate risk. *Journal of Hydrology*, 555, 435-446.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.008>
- Falkenmark, M. (1997). Meeting water requirements of an expanding world population. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 352(1356), 929-936.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0072>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). Water accounting for water governance and sustainable development (ISBN: 978-92-5-130427-3). Rome, Italy: FAO.
<https://www.fao.org/3/i8885en/i8885en.pdf>
- Galindo-Castillo, E., Marín-Celestino, A. E., Otazo-Sánchez, E. M., Gordillo-Martínez, A. J., González-Ramírez, C. A., & Cabrera-Cruz, R. B. (2017). Modeling the groundwater response to megacity expansion demand and climate change. Case study: the Cuautitlán-Pachuca aquifer, in the Northeast of Mexico City. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-16.
<https://doi.org/10.1007/s12665-017-6808-1>
- Giordano, M., Turrall, H., Scheierling, S. M., Tréguer, D. O., & McCornick, P. G. (2017). 9789290908487: Beyond "More Crop per Drop": evolving thinking on agricultural water productivity (Vol. 169). Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI) Washington, DC, USA: The World Bank.
- Godfrey, J. M., & Chalmers, K. (Eds.). (2012). Water accounting: International approaches to policy and decision-making (1st ed., pp. 1-336). Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar Publishing.
<https://doi.org/10.4337/9781849807500>
- Green, P. A., Vörösmarty, C. J., Harrison, I., Farrell, T., Saenz, L., & Fekete, B. M. (2015). Freshwater ecosystem services supporting humans: Pivoting from water crisis to water solutions. *Global Environmental Change*, 34, 108-118.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.007>
- Hak, T., Janouškova, S., & Moldan, B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. *Ecological indicators*, 60, 565-573.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.003>
- Hamdan, K. H. (2018). Auditing water management to achieve sustainable development in supply chain. *Int. J. Supply Chain Manag.*, 7, 697-710.
<https://doi.org/10.1108/IJSCM-12-2018-0271>
- Hong, E. M., Choi, J. Y., Nam, W. H., & Kim, J. T. (2016). Decision Support System for the Real-Time Operation and Management of an Agricultural Water Supply. *Irrigation and Drainage*, 65(2), 197-209.
<https://doi.org/10.1002/ird.1935>
- Hoogeveen, J. (2018). Policy brief: Water accounting for water governance and sustainable development (1st ed., pp. 1-8). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
<https://doi.org/10.4060/i8890en>
- Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D., & Cheema, M. J. M. (2012). Basin-wide water accounting using remote sensing data: the case of transboundary Indus

- Basin. *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, 9, 12921-12958. doi: [10.5194/hessd-9-12921-2012](https://doi.org/10.5194/hessd-9-12921-2012)
- Konar, M., Evans, T. P., Levy, M., Scott, C. A., Troy, T. J., Vörösmarty, C. J., & Sivapalan, M. (2016). Water resources sustainability in a globalizing world: who uses the water?. *Hydrological Processes*, 30, 3330-3336. <https://doi.org/10.1002/hyp.10843>
 - Kummu M., Guillaume J.H., de Moel H., Eisner S., Flörke M., Porkka M., Siebert S., Veldkamp T.I. and Ward P.J. 2016. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific reports*, 6(1): 38495. <https://doi.org/10.1038/srep38495>
 - Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances*, 2(2), e1500323. doi: [10.1126/sciadv.1500323](https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323)
 - Minerals Council of Australia. (2012). Water accounting framework for the minerals industry. Retrieved October 11, 2015, from http://www.minerals.org.au/focus/sustainable_development/water_accounting.
 - Molden, D., & Sakthivadivel, R. J. I. J. (1999). Water accounting to assess use and productivity of water. *International Journal of Water Resources Development*, 15(1-2), 55-71. <https://doi.org/10.1080/07900629948934>
 - National Research Council. (2012). *Dam and Levee Safety and Community Resilience: A Vision for Future Practice*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13393>
 - Obokata, R., Veronis, L., & McLeman, R. (2014). Empirical research on international environmental migration: a systematic review. *Population and environment*, 36, 111-135. <https://doi.org/10.1007/s11111-014-0210-7>
 - Plocki, M. (2013). Thinking about Energy Differently in ADB Projects. Asian Development Bank. Retrieved from <https://www.adb.org/news/ideas/thinking-about-energy-differently-adb-projects>
 - Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S. P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T.,... & Qiang, Z. (2010). Managing water in rainfed agriculture—The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, 97(4), 543-550. <https://www.weforum.org/>
 - Rogers, D. (2014). Leaking water networks: an economic and environmental disaster. *Procedia Engineering*, 70, 1421-1429. doi: [10.1016/j.proeng.2014.02.157](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.157)
 - Rogers, P., & Hall, A. W. (2003). *Effective water governance* (Vol. 7). Stockholm: Global water partnership. Technical Committee (TEC). ISBN: 91-974012-9-3.
 - Sayers, D., Jernigan, W., Kunkel, G., & Chastain-Howley, A. (2016). The water audit data initiative: Five years and accounting. *Journal-American Water Works Association*, 108(11), E598-E605. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0169>
 - Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B.,... & Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3245-3250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222460110>
 - Schmidt, G., Bassi, N., & Sanz, C. B. (2017). Blueprint for national water accounting Framework in India. https://www.researchgate.net/publication/318674128_Blueprint_for_National_Water_Accounting_Framework_in_India_Background_Report
 - Shafiei, M., Rahmani, M., Gharari, S., Davary, K., Abolhassani, L., Teimouri, M. S., & Ghahesifard, M. (2022). Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management*, 316, 115201. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201>
 - Soliev, I., Theesfeld, I., Wegerich, K., & Platonov, A. (2017). Dealing with “baggage” in riparian relationship on water allocation: a longitudinal comparative study from the Ferghana Valley. *Ecological Economics*, 142, 148-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.05.002>
 - Sturman, J., Ho, G., & Mathew, K. (2004). *Water auditing and water conservation*. IWA Publishing. ISBN: 9781780402710 (eBook). <https://doi.org/10.2166/9781780402710>
 - UNESCO World Water Assessment Programme.(2009). *Water in a changing world: the United Nations world water development report 3*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf00000181993>
 - Whelan, T., & Fink, C. (2016). The comprehensive business case for sustainability. *Harvard Business Review*, 21(2016).
 - Wyrwoll, P. (2012). *India's Groundwater Crisis*. Global Water Forum, Canberra, Australia, (accessed on December 8, 2018). <http://www.globalwaterforum.org/2012/07/30/indias-groundwater-crisis>
 - Yakubov, M. (2012). ASSESSING IRRIGATION PERFORMANCE FROM THE FARMERS'PERSPECTIVE: A QUALITATIVE STUDY. *Irrigation and Drainage*, 61(3), 316-329. <https://doi.org/10.1002/ird.649>

ArticleType

AppliedArticle

پژوهشی کاربردی

نوع مقاله

Explaining the Scenarios Resulting from Iraq's Water-based Social Conflicts on Iran-Iraq Hydropolitical Relations

Z.Aftabi^{1*}, M.Kaviani Rad², H.Kardan Moghaddam³

1, 2- Ph.D. in Political Geography & Associate Professor, Department of Political Geography, Faculty of Geography, Kharazmi University, Tehran, Iran. 3- Assistant Professor, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: aftabi_z@yahoo.com

Received 24-05-2025
Revised 10-08-2025
Accepted 11-08-2025
Available Online 20-09-2025

Abstract

Social conflicts over water resources are one of the most important and growing challenges in today's society, rooted in the scarcity of water resources. With population growth, climate change, and a host of other factors, water resources have become limited, leading to social conflict and strife. This applied research has explained the scenarios resulting from the socio-political conflicts of Iraq's water based on the hydropolitical relations between Iran and Iraq using a descriptive-analytical method and Mic Mac, Scenario Wizard, and Vensim software. The results of the research showed that ethnic tensions on both sides of the border, Turkey's dam construction on the branches of the Tigris and Euphrates, climate change, the level of attention to advanced technologies in water resource management, the dependence of livelihoods in western Iran and eastern Iraq on water resources, sustainable development, and paramilitary groups were selected as key variables affecting the hydropolitical relations between Iran and Iraq resulting from the social conflicts of water in Iraq. Imagining different states from critical to desirable for key variables, the scenario of hydropolitical relations between Iran and Iraq, resulting from social conflicts in Iraq, showed it to be critical. In this regard, strengthening hydrodiplomacy and regional cooperation; cooperation between Iran and Iraq to negotiate with Turkey to respect the rights of downstream countries; investment in new technologies for water resources management; the establishment of water-efficient industries in western Iran and eastern Iraq; and attention to the linkage of water, food, and energy in integrated water resources management were suggested as the most important solutions to prevent the creation of a critical situation.

Keywords: Social Conflicts, Hydropolitical Relations, Critical Situation, Iran and Iraq.

تبیین سناریوهای ناشی از منازعات اجتماعی آب محور عراق بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق

زکيه آفتابی^{۱*}، مراد کاویانی راد^۲، حمید کاردان مقدم^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته دکتری جغرافیای سیاسی و دانشیار، گروه جغرافیای سیاسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۳- استادیار موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران، ایران.

* رایانامه نویسنده مسئول: kaviani@khu.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۳/۰۳
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۵/۲۰
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

منازعات اجتماعی بر سر منابع آب یکی از چالش‌های مهم و رو به افزایش در جوامع امروزی است که ریشه در کمبود منابع آب دارد. با افزایش جمعیت، تغییر اقلیم و مجموعه عوامل دیگر؛ منابع آب محدود شده و به مناقشه و نزاع‌های اجتماعی منجر شده است. پژوهش کاربردی پیش‌رو به تبیین سناریوهای ناشی از منازعات اجتماعی آب محور عراق بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق با روش توصیفی-تحلیلی و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای Mic Mac، Scenario Wizard و Vensim پرداخته است. براساس نتایج پژوهش تنش‌های قومی دو سوی مرز، سدسازی‌های کشور ترکیه روی سرشاخه‌های رودهای دجله و فرات، تغییر اقلیم، میزان توجه به فناوری‌های پیشرفته در مدیریت منابع آب، وابستگی معیشت غرب ایران و شرق عراق به منابع آب، میزان توجه به توسعه پایدار و گروه‌های مسلح شبه نظامی، به عنوان متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور در عراق، انتخاب شدند. تصور حالت‌های مختلف از بحرانی تا مطلوب برای متغیرهای کلیدی، سناریوی فراوری مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق، ناشی از منازعات اجتماعی در عراق را بحرانی نشان داد. در این راستا؛ تقویت هیدرودیپلماسی و همکاری‌های منطقه‌ای، همکاری ایران و عراق برای مذاکره با ترکیه در رعایت حقایق کشورهای پایین‌دست، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین مدیریت منابع آب، ایجاد صنایع کم‌آب‌بر در مناطق غرب ایران و شرق عراق و توجه به پیوند آب، غذا و انرژی در مدیریت یکپارچه منابع آب به عنوان مهم‌ترین راهکارها برای جلوگیری از ایجاد وضعیت بحرانی پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: منازعات اجتماعی، مناسبات هیدروپلیتیک، وضعیت بحرانی، ایران و عراق.

How to cite this article: Aftabi, Z., Kaviani Rad, M., & Kardan Moghaddam, H. (2025). Explaining the Scenarios Resulting from Iraq's Water-based Social Conflicts on Iran-Iraq Hydropolitical Relations. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 61-76. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2505-1426>

طی چند دهه گذشته متاثر از افزایش جمعیت، گسترش کشاورزی و رشد صنعت بر میزان مصرف منابع آب افزوده شده و تقاضا برای منابع آب روندی فزاینده یافته است. افزون بر مواردی که برشمرده شد، طی همین بازه زمانی متاثر از گرم شدن کره زمین، تغییر اقلیم رخ داده است و عرصه‌های مختلف ملی و فراملی را متاثر کرده است. این مسائل و چالش‌ها در پیدایش ابعاد حوزه هیدروپلیتیک نقش داشته است (آفتابی و همکاران، ۱۴۰۲). هیدروپلیتیک درهم تنیدگی مناسبات قدرت با اندرکنش جوامع و واحدهای سیاسی- فضایی بر سر منابع آب شیرین در مقیاس‌های مختلف را مطالعه می‌کند (کاپوانی راد، ۱۳۹۸). جهان‌بینی و درک متمایز از روابط انسان‌ها به پیدایش دیدگاه‌ها و برداشت‌های متفاوت در مناسبات واحدهای سیاسی- فضایی به منظور بهره‌برداری از منابع آب مشترک انجامیده است. سه نظریه غالب در مطالعات هیدروپلیتیک وجود دارد که در گذر زمان روند رو به گسترش و تکاملی را طی کرده است و از نظریات غالب زمان خود اثر پذیرفته‌اند.

نظریه‌پردازان اولیه در مطالعات هیدروپلیتیک بر این باور بودند؛ ماهیت منابع آب (Wolf، ۲۰۲۳)، توزیع نامتعادل (Yang و همکاران، ۲۰۲۵) و نارسایی ساختاری (Gupta و همکاران، ۲۰۱۲)، باعث مناقشه و درگیری بر سر منابع آب می‌شود (Shoko، ۲۰۲۵) و نظریه جنگ آب را مطرح کردند. این نظریه از دهه ۱۹۸۰ میلادی، با بهره‌گیری از پارادایم رئالیسم (Julien، ۲۰۱۲) وارد ادبیات هیدروپلیتیک شد. از نظریه‌پردازان این گروه می‌توان به Cooley، ۱۹۸۴؛ Westing، ۱۹۸۶؛ Starr، ۱۹۹۱؛ Gleick، ۱۹۹۴؛ Remans، ۱۹۹۵ و Homer Dixon، ۱۹۹۶ اشاره کرد. از اواخر دهه ۱۹۹۰ در مقابل نظریه جنگ آب، نظریه همکاری وارد مطالعات هیدروپلیتیک شد. این گروه از نظریه‌پردازان خوشبین‌تر هستند و ایده آب در برابر صلح را مطرح کردند. آن‌ها پس از تأمل در درگیری‌های تاریخی و رویکردهای نظری موجود به این نتیجه رسیدند که آب ویژگی‌ها و زمینه‌های گسترده‌ای برای همکاری منطقه‌ای و بین‌المللی دارد. نظریه‌پردازان این گروه (Sadoff و Grey، ۲۰۰۲؛ Yoffe و همکاران، ۲۰۰۳؛ Wolf، ۲۰۰۷) با الهام از نظریات لیبرالیسم بر این باورند کشورهای ساحلی دارای منافع سیاسی، اقتصادی و فرهنگی مشترک هستند که برآورد ارزش اقتصادی این کشورها می‌تواند به همکاری در منابع آب مشترک منجر شود. با بررسی و مطالعات گسترده انجمن‌ها، موسسات و تاسیس

پایگاه‌های داده از جمله پایگاه داده دانشگاه اورگان تحت عنوان پایگاه بانک اطلاعات بین‌المللی رویدادهای آبی^۱ و انجام طرح‌های تخصصی بر روی حوضه‌های در معرض خطر، هیدروپلیتیک انتقادی مطرح شد. هیدروپلیتیک انتقادی که در انتقاد به هیدروپلیتیک کلاسیک (جنگ آبی و همکاری در منابع آب مشترک) توسط گروه تحقیقاتی آب لندن مطرح شد، بیان می‌دارد که درگیری و همکاری در یک حوضه آبریز مشترک در کنار یکدیگر قرار دارند و منحصر به فرد نیستند نظریه‌پردازان این گروه (Zeitoun و Mirumachi، ۲۰۰۸؛ Dombrowsky، ۲۰۰۹؛ Warner، ۲۰۱۲؛ Grünwald و همکاران، ۲۰۲۰) بر این باورند هر مناقشه‌ای نامطلوب و هر همکاری مطلوب و سازنده نیست. مناقشه می‌تواند مقدمه تغییر باشد (Zeitoun و Mirumachi، ۲۰۰۸). مناقشه مانند ویروس در بدن انسان‌ها است و نمی‌توان آن را از زندگی و تمایلات انسانی نادیده گرفت. بلکه باید آن‌ها را مدیریت کرد (میان‌آبادی و قریشی، ۱۴۰۱). مناقشه می‌تواند سازنده باشد و به افزایش همکاری منجر شود. این گروه به نقش قدرت و رویکرد گفتمانی در مباحث هیدروپلیتیک اعتقاد دارند. زیرا چگونگی و بررسی گفتمان‌های ساخته و پرداخته شده، به درک پیچیدگی کنش و واکنش آب‌های مشترک کمک می‌کند (ذکی و همکاران، ۱۴۰۲). این نظریه امروزه در مطالعات هیدروپلیتیک نظریه غالب است. همچنین مطالعات تجربی نشان دادند که موارد خشونت‌آمیز در مقیاس بزرگ بر سر آب‌های مشترک کمتر از موارد همکاری اتفاق می‌افتد (Yoffe و همکاران، ۲۰۰۳).

با وجود مطالب ذکر شده، درگیری بر سر آب‌های مشترک در مطبوعات عمومی و ادبیات دانشگاهی (Weiss و Nincic، ۲۰۱۶) هنوز توجه زیادی به خود جلب کرده است. علاوه بر آن، نظریه همکاری- درگیری در مناسبات هیدروپلیتیک، درگیری را نفی نمی‌کند، بلکه درگیری را توأمان با همکاری می‌داند. آب شیرین و سایر منابع مشترک هنوز هم ممکن است سازوکاری را برای توضیح اینکه چرا مجاورت (همسایگی) به شدت با درگیری مرتبط است، فراهم کنند؛ بنابراین سناریوی درگیری بر سر منابع آب مشترک را نمی‌توان انکارکرد (Brochmann و Gleditsch، ۲۰۱۲).

از طرفی مشاهدات گذشته لزوماً نشان‌دهنده آینده نیست. به خصوص که کمبود آب بر تعداد فزاینده جمعیت تأثیر می‌گذارد و هنوز موارد درگیری‌های سطح پایین مانند مناقشات اجتماعی بر سر آب‌های مشترک بسیار رایج (Pacific Institute، ۲۰۲۲) و در حال افزایش است (Katz و Walschot، ۲۰۲۲). این

وضعیت در مناطق خشک و نیمه خشک، خصوصاً خاورمیانه دامنه گسترده‌تری دارد (آفتابی و همکاران، ۱۴۰۲).

کشور عراق در خاورمیانه واقع است. بیش از ۹۵ درصد از منابع آب مورد نیاز این کشور از دو رودخانه دجله و فرات تأمین می‌شود. از دهه ۷۰ میلادی کشور ترکیه که در بالادست این رودخانه‌ها واقع است، اقدام به ساخت سدهای متعدد بر روی این رودها کرده است. اقدامی که بازتاب آن منجر به کاهش شدید حجم منابع آب، تنزل کیفیت آب (Abd- El- Mooty و همکاران، ۲۰۱۶)، بحران آب و به تبع آن منازعات اجتماعی در عراق شده است. این منازعات بین ساکنان با یکدیگر، ساکنان با دولت مرکزی و استان‌های این کشور با یکدیگر صورت گرفته است. به عنوان مثال:

- شهروندان بصره در خرداد سال ۱۳۹۷ به خیابان‌ها آمدند. بیکاری، فساد و عدم ارائه خدمات را که ناشی از قطع آب و برق توسط ایران بود، محکوم کردند (Abu Zeed, ۲۰۲۱).
 - اعتراضات خشونت‌آمیز در شهریور سال ۱۳۹۷ در جریان بحران آب بصره به دلیل کمبود آب و آب آلوده که باعث بحران بزرگ بهداشتی (بیش از ۱۱۸۰۰۰ نفر در بیمارستان بستری شدند) شد، آغاز شد (BBC, ۲۰۱۸).
 - بیش از ۲۰ درگیری طایفه‌ای در استان ذی قار به دلیل کمبود آب در سال ۱۳۹۸ رخ داده است (water, peace and Security, ۲۰۲۲).
 - چالش‌های مربوط به آب در میسان، درگیری‌های قبیله‌ای و بی‌ثباتی را تشدید می‌کند. اختلافات مربوط به آب بین قبایل مسلح حریش و مریان منجر به کشته شدن حداقل بیست و پنج نفر شده است (Iraqi News Agency, ۲۰۲۱).
 - در مهر ۱۴۰۰، تظاهرات همراه با خشونت در میسان پس از آنکه خشکسالی شدید به کشاورزی، دامداری و شیلات آسیب رساند، شکل گرفت و تظاهرکنندگان خواستار اعلام سهمیه آب خود شدند (Iraqi news Agency, ۲۰۲۱).
 - همچنین اعتراضات سال ۱۳۹۹ در واسط، برای مطالبه کیفیت بهتر آب و زیرساخت‌ها انجام شد.
 - درگیری‌های قبیله‌ای بر سر آب در استان الحی به آوارگی ۲۵ خانوار منجر شد.
 - نارضایتی و منازعات اجتماعی در استان دیاله بر سر منابع آب، درگیری‌های کوچک و بزرگ بین ساکنان اقلیم کردستان و استان سلیمانیه بر سر رقابت برای بدست آوردن منابع آب (water, peace and Security, ۲۰۲۲) نمونه دیگری از این منازعات اجتماعی است.
- در این بین رودهای سیروان، زاب کوچک، دیاله، دویزج، و

تعدادی رود کوچک و بزرگ دیگر از ایران سرچشمه و وارد رودخانه دجله در خاک عراق می‌شوند (Albarakat و همکاران، ۲۰۲۲). طی سال‌های اخیر دولت و مردم عراق نسبت به این رودها مطالبات آبی از ایران دارند. منازعات اجتماعی در داخل عراق، خصوصاً شرق این کشور باعث فشار بیشتر بر ایران نسبت به این رودها خواهد شد.

از طرفی ۸۵ درصد از مساحت کشور ایران دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است (Saemian و همکاران، ۲۰۲۲). این کشور درگیر رشد و توزیع نامناسب فضایی جمعیت، رشد شهرنشینی، تغییر اقلیم و بروز خشکسالی‌های پیاپی است که باعث خشک شدن رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، بیابان‌زایی و آلودگی هوا، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی (Ashraf و همکاران، ۲۰۱۷) و به طور کلی ورشکستگی آب (Madani و همکاران، ۲۰۱۶) شده است.

دراین‌باره پژوهش‌های گسترده‌ای مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق را بررسی نموده است. Rahi و همکاران، ۲۰۱۹ در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی منابع آب سطحی شرق عراق بیان می‌دارند مقدار زیادی رواناب از غرب ایران در امتداد خط مرزی بین‌المللی به شرق عراق می‌ریزد و بیشتر این رواناب‌های ورودی، تبخیر می‌شوند و به هدر می‌روند. Dowlatbadi و همکاران، ۲۰۲۰ در پژوهشی برای حل اختلاف در تالاب هورالعظیم/ هوپزه نشان داد که دستیابی به تعادل زیست‌محیطی به همکاری ایران و عراق بستگی دارد تا ترکیه را متقاعد کنند که جریان زیست‌محیطی تالاب را آزاد کند و بیان می‌دارند همکاری اقتصادی می‌تواند به عنوان ابزاری برای حل اختلاف در منابع آب مشترک استفاده شود. Yeganeh و Bakhshandeh (۲۰۲۲) در مقاله‌ای تحت عنوان الگوی دیپلماسی آبی ایران برای ارتقای همکاری و جلوگیری از درگیری بر سر رودخانه‌های فرامرزی در غرب آسیا، نشان می‌دهند که دیپلماسی آب ایران بر اساس اصول حسن نیت و همکاری، عدم آسیب قابل توجه، حفاظت از محیط‌زیست و تبادل داده‌ها و اطلاعات در مورد منابع آب مشترک با کشورهای ساحلی همسایه‌اش بنا شده است. مطالعه‌ای که به تأثیر منازعات اجتماعی عراق ناشی از منابع آب بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق پرداخته باشد، مشاهده نشد.

بر اساس شواهد موجود از جمله روند تغییرات اقلیمی و سیاست کشورهای بالادست عراق از جمله ترکیه، کشور عراق در آینده با کمبود شدید منابع آب و به تبع آن منازعات اجتماعی بیشتر بر سر منابع محدود آب در این کشور روبرو خواهد شد. بنابراین متغیرهای بی‌شماری بر مناسبات

هیدروپلیتیک ایران و عراق تأثیرگذار هستند.

پژوهش حاضر بر آن است که با رویکرد آینده‌پژوهی به تبیین سناریوهای فراروی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی در عراق که از رقابت بر سر منابع آب ناشی می‌شوند، بپردازد و به دنبال پاسخ به این سوال است که منازعات اجتماعی آب محور عراق چه تأثیری بر آینده مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق دارد. نتایج این مطالعه در درجه اول می‌تواند آینده فراروی مناسبات هیدروپلیتیک دو کشور ناشی از منازعات اجتماعی در عراق را آشکار کند که کمتر به آن توجه شده است و در مرحله دوم ابعاد مدیریتی را برای کاهش تنش‌های اجتماعی-سیاسی دو کشور ایجاد کند.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش کاربردی پیش‌رو با روش تحلیل ساختاری به تبیین سناریوهای ناشی از منازعات اجتماعی آب محور عراق بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق می‌پردازد (شکل ۱).

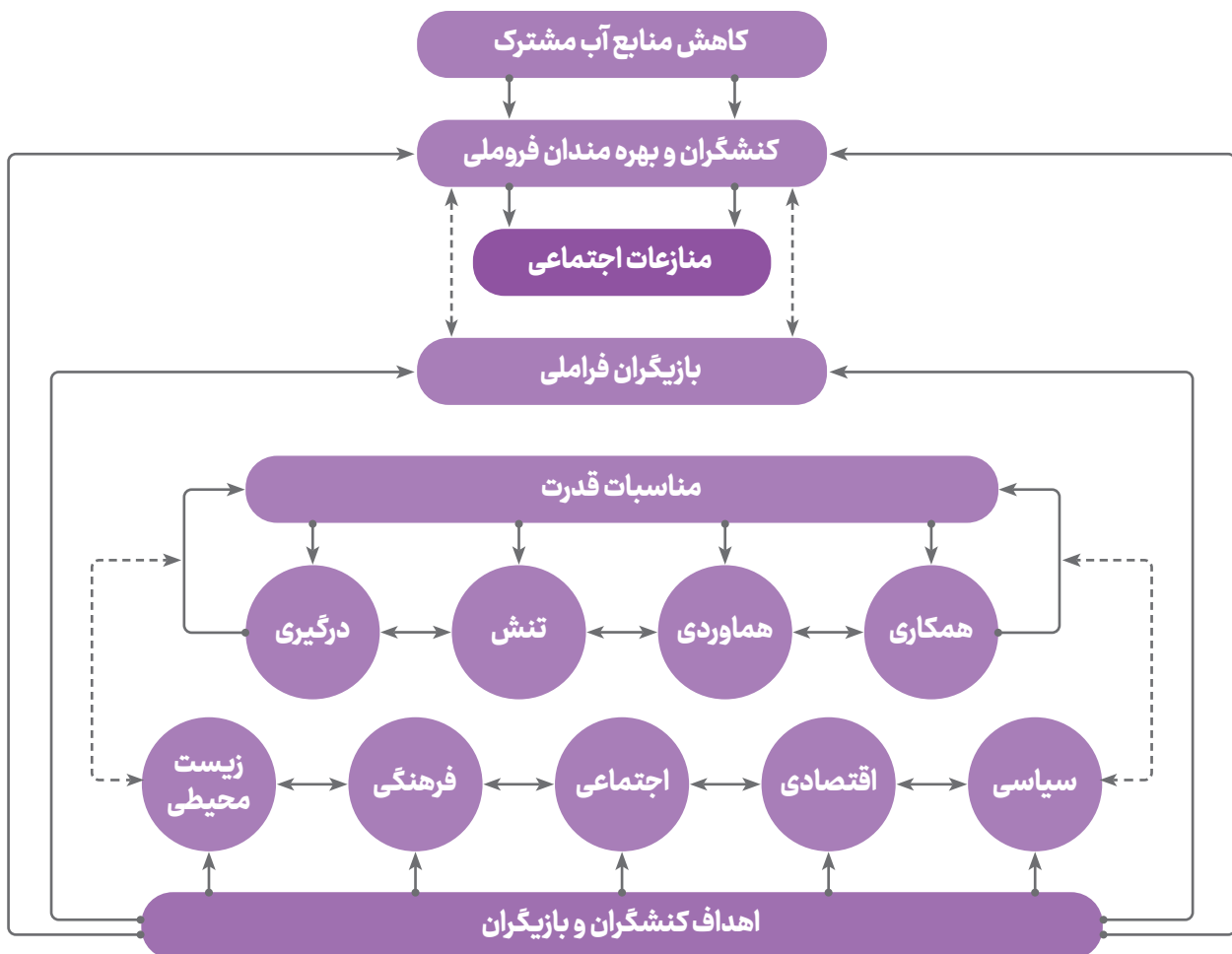
مراحل انجام پژوهش

روش تحلیل ساختاری ذیل رهیافت رویکرد سیستمی است. این روش تحلیل، انجام پژوهش پیش‌رو را طی شش مرحله مجزا ولی مرتبط به یکدیگر امکان‌پذیر ساخته است.

۱. روندشناسی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق

مرحله اول پژوهش به روندشناسی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق پرداخته است. به عبارت دیگر در این مرحله از پژوهش سیر تاریخی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق بررسی شده است.

برای بررسی روندشناسی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق، وقایع آبی بین دو کشور جمع‌آوری شد. وقایع آبی با جدول ارزش‌گذاری وقایع آبی که توسط دانشگاه اورگان تنظیم شده است (جدول ۱)، ارزش‌گذاری شد و وقایع ارزش‌گذاری شده تحلیل شد.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

جدول ۱- ارزش‌گذاری وقایع آبی در مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق (Oregon state university, ۲۰۲۵)

مقیاس	وقایع (رویدادهای هیدروپلیتیک محور)
-۷	جنگ رسمی بر سر منابع آب که باعث نابودی یک طرف یا دو طرف شود.
-۶	اقدامات جنگی گسترده که باعث مرگ، جابجایی یا هزینه استراتژیک بالا می‌شود.
-۵	اقدامات نظامی در مقیاس کوچک
-۴	اقدامات خصمانه سیاسی- نظامی
-۳	اقدامات خصمانه دیپلماتیک- اقتصادی
-۲	عبارات کلامی قوی که خصومت در تعامل را نشان می‌دهد.
-۱	عبارات شفاهی ملایم که نشان دهنده اختلاف در تعامل است.
۰	اقدامات خنثی
+۱	تبادلات رسمی جزئی، گفتگوها یا بیان سیاست‌ها، حمایت شفاهی خفیف
+۲	حمایت کلامی رسمی از اهداف و ارزش‌ها
+۳	موافقت یا حمایت فرهنگی یا علمی (غیراستراتژیک)
+۴	توافقات اقتصادی، فناوری یا صنعتی در بهره‌برداری از منابع آب
+۵	حمایت اقتصادی یا استراتژیک نظامی
+۶	معاهدات بین‌المللی در منابع آب مشترک، اتحاد استراتژیک (منطقه‌ای یا جهانی)
+۷	اتحاد داوطلبانه برای ادغام در یک ملت

۲. مشخص کردن متغیرها

این مرحله، مرحله جمع‌آوری متغیرهای پژوهش است. متغیرهای مرتبط با مسأله پژوهش از طریق تحلیل نتایج مراحل قبل و مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی بدست آمد. در این پژوهش، ابتدا از طریق تحلیل نتایج مرحله اول و مطالعات کتابخانه‌ای ۷۵ متغیر تأثیرگذار بر مسأله پژوهش شناسایی شدند. متغیرهای شناسایی شده از طریق مصاحبه با خبرگان پژوهش پایش شدند و در نهایت ۳۹ متغیر به عنوان متغیرهای نهایی این بخش از پژوهش انتخاب شدند.

۳. مشخص ساختن روابط بین متغیرها

یک متغیر تنها از طریق روابط با سایر متغیرها موجودیت می‌یابد و رهیافت سیستمی به طور کلی و تحلیل ساختاری به طور مشخص، اساساً در پی کشف این رابطه‌ها است. در این مرحله میزگرد خبرگی متشکل از ۲۸ خبره تشکیل شد. این گروه کار پرکردن ماتریس پژوهش را بر عهده گرفتند. ماتریس پژوهش حاوی ۳۹ سطر و ۳۹ ستون است که متغیرهای

پژوهش یکسان در آن چیده شده‌اند. میزگرد خبرگی مشخص می‌کند که متغیرهای احصا شده دارای رابطه هستند یا خیر و در صورت رابطه چه وزنی بین آن‌ها برقرار است؟ بدین ترتیب در این تحلیل چهار نوع رابطه یا تأثیرگذاری متغیرهای واقع در ستون بر متغیرهای واقع در سطر سنجیده شدند.

- اگر متغیر ستون بر متغیر سطر فاقد تأثیر باشد عدد صفر در نظر گرفته خواهد شد.
- اگر متغیر ستون بر متغیر سطر دارای تأثیرگذاری ضعیف باشد عدد یک در نظر گرفته خواهد شد.
- اگر متغیر ستون بر متغیر سطر دارای تأثیرگذاری متوسط باشد عدد دو در نظر گرفته خواهد شد.
- اگر متغیر ستون بر متغیر سطر دارای تأثیرگذاری قوی باشد عدد سه در نظر گرفته خواهد شد.

۴. شناسایی متغیرهای کلیدی

برای مشخص کردن متغیرهای کلیدی از نرم افزار میک مک^۲ استفاده شده است. این نرم افزار یکی از پرکاربردترین

متغیرهای تنظیمی یا متعادل کننده: این متغیرها بیشتر حول و حوش مرکز جدول و در بخش متغیرهای چهارگانه پراکنده هستند و به آن‌ها متغیرهای خوشه‌ای نیز گفته می‌شود. این متغیرها به اندازه کافی تأثیرگذار یا تأثیرپذیر نیستند تا بتوان آن‌ها را در طبقه‌بندی قبلی قرار داد. به همین دلیل نمی‌توان نتیجه‌گیری قطعی در مورد این متغیرها و تأثیر آن‌ها داشت.

۵. آینده پژوهی

خروجی نرم‌افزار میک مک، داده‌های اولیه ورودی نرم‌افزار سناریوییزارد^۳ را فراهم کرد. بدین منظور متغیرهای کلیدی در حالت‌های مختلف از مطلوب تا بحرانی طراحی شدند. حالت‌های طراحی شده در قالب پرسشنامه مقاطع کلیدی تنظیم و در اختیار خبرگان پژوهش قرار داده شد. خبرگان به تأثیر هر حالت ستون بر حالت سطر بر اساس میزان تأثیر با اعداد بین +۳ تا -۳ امتیاز دادند. نتایج پرسشنامه وارد نرم افزار شد. خروجی نرم‌افزار سناریو ویزارد وضعیت آینده مسأله مورد بررسی را مشخص کرد.

۶. تدوین سناریو

سناریوهای فراوری مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی در عراق در قالب دو گروه سناریوهای همکاری محور و درگیری محور تنظیم و تحلیل شد.

روایی و پایایی

۱. **روایی صوری:** برای بررسی روایی صوری پرسشنامه‌های پژوهش، سوالات زیر طرح و با دوازده نفر از خبرگان پژوهش مطرح شد. ده نفر از آن‌ها روایی صوری پرسشنامه‌ها را تایید کردند.

نرم‌افزارها برای انجام تحلیل ساختاری است که توسط میشل گوده معرفی شد (طالبیان و همکاران، ۱۳۹۴).

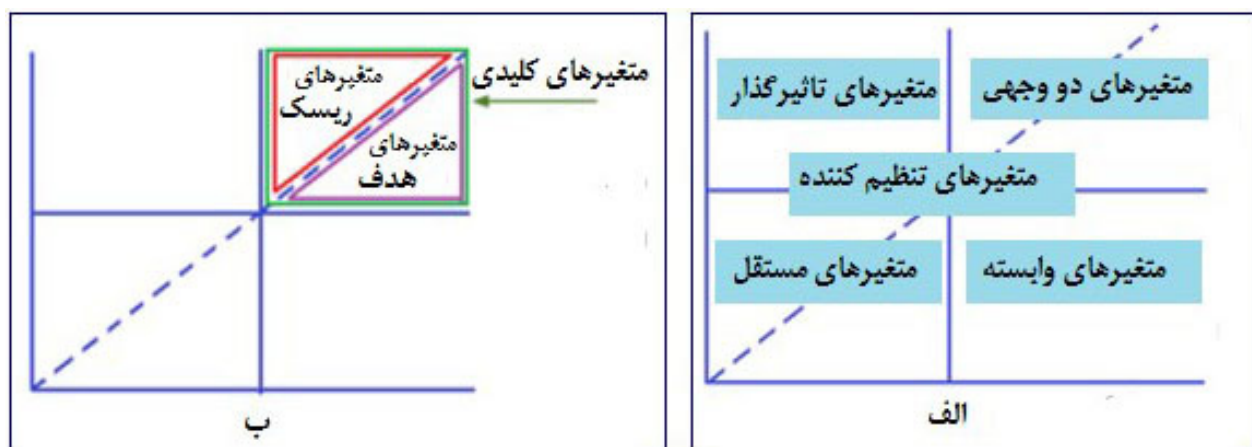
متغیرهای تحلیل ساختاری شامل متغیرهای تأثیرگذار، متغیرهای دووجهی، متغیرهای مستقل، متغیرهای وابسته و متغیرهای تنظیمی هستند (شکل ۲).

متغیرهای تأثیرگذار: این متغیرها بیشترین میزان تأثیرگذاری را بر مسأله پژوهش دارند. اما کمترین تأثیرپذیری را از خود نشان می‌دهند. از این متغیرها به عنوان متغیرهای ورودی سیستم نام برده می‌شود (آفتابی و همکاران، ۱۴۰۲). این متغیرها به علت تأثیرپذیری کم، امکان دستکاری و برنامه‌های ریزی کمی برای پژوهشگر فراهم می‌کنند.

متغیرهای دو وجهی: متغیرهای دو وجهی متغیرهایی هستند که هم دامنه تأثیرگذاری بالایی دارند و هم دامنه تأثیرپذیری بالایی را نشان می‌دهند. به این متغیرها، متغیرهای واسط نیز می‌گویند. ماهیت این متغیرها ناپایدار است. هر اقدامی که روی این متغیرها انجام شود بر روی کل سیستم اثر خواهد گذاشت و بر پویایی سیستم تأثیر خواهد گذاشت. تغییر در این متغیرها منجر به تغییر وضعیت آینده کلیت سیستم خواهد شد. بنابراین این متغیرها کلیدی محسوب می‌شوند و به دو دسته متغیرهای ریسک و هدف تقسیم می‌شوند. متغیرهای ریسک اهمیت بیشتری دارند.

متغیرهای مستقل: این متغیرها نه تأثیرگذاری بالایی دارند نه تأثیرپذیری بالایی دارند. به همین دلیل این متغیرها دارای تأثیر ناچیزی بر روی مسأله مورد مطالعه هستند.

متغیرهای تأثیرپذیر یا وابسته: این متغیرها دارای تأثیرگذاری بسیار پایین، اما تأثیرپذیری بالا هستند. رفتار آن‌ها به طور عمده تأثیرگذاری سایر متغیرها را توضیح می‌دهد.



شکل ۲- الف: جایگاه متغیرها در محور مختصات ب: جایگاه متغیرهای کلیدی در محور مختصات

یافته‌های پژوهش

۱- روندشناسی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق

وقایع (رویدادهای) هیدروپلیتیک محور در مناسبات ایران و عراق از سال ۱۳۱۶ تا سال ۱۴۰۴ گردآوری شد. وقایع گردآوری شده ارزش‌گذاری و تحلیل شدند. تحلیل وقایع گردآوری شده، چهار دوره در مناسبات هیدروپلیتیک محور ایران و عراق را نشان می‌دهد (شکل ۳):

دوره اول (۱۳۱۶-۱۳۶۹): در این دوره غالب مناسبات هیدروپلیتیک دو کشور، حول مسائل مرزی و رودخانه اروندرود بود. این دوره با فراز و نشیب‌های زیادی در مناسبات دو کشور همراه بود. به گونه‌ای که همکاری کامل (قرارداد الجزایر) و درگیری کامل (جنگ تحمیلی) در این دوره اتفاق افتاد.

دوره دوم (۱۳۸۳-۱۳۶۹): در این دوره اطلاعات دقیقی از مناسبات هیدروپلیتیک دو کشور یافت نشد. دو کشور با یکدیگر مناسبات هیدروپلیتیک محور قابل توجهی نداشتند. در طی این سال‌ها، مسئله مهاجرت شیعیان عراق به ایران خصوصاً در سال ۱۳۷۲ مطرح بود. دولت عراق با خشک کردن مرداب‌ها، معیشت این شیعیان را تحت تأثیر قرار داده بود و آب آشامیدنی را به روی آن‌ها بسته بود. مهاجرانی که به ایران

• آیا پرسشنامه متقاطع طراحی شده از متغیرهای تأثیرگذار بر مسئله پژوهش به صورت ظاهری برای شناسایی متغیرهای کلیدی مناسب است؟

• آیا پرسشنامه متقاطع طراحی شده از حالت‌های قابل تصور متغیرهای کلیدی به صورت ظاهری برای آینده‌پژوهی مناسبات دو کشور ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی در عراق مناسب است؟

۲. **روایی محتوایی:** برای بررسی روایی محتوایی پرسشنامه‌های پژوهش سوال زیر طرح و با دوازده نفر از خبرگان پژوهش مطرح شد. هر دوازده نفر روایی محتوایی را تایید کردند.

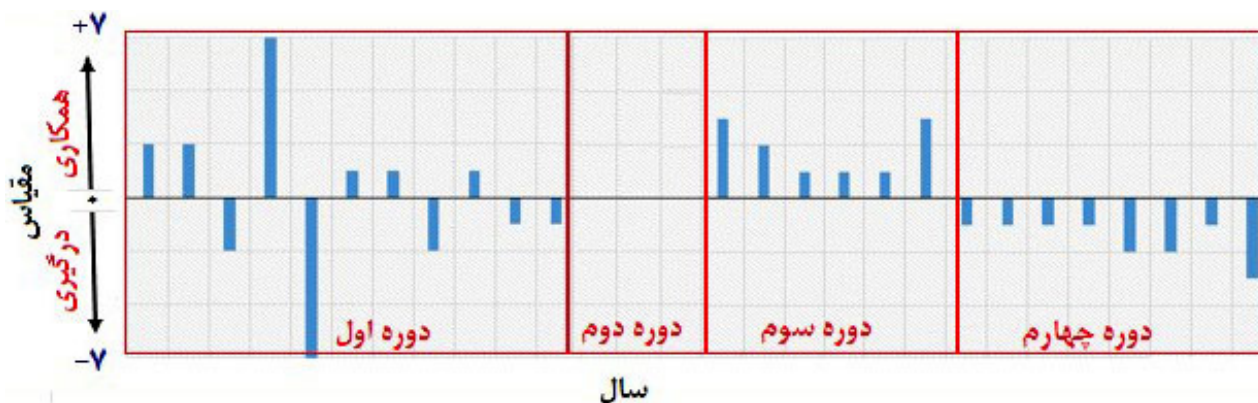
• آیا پرسشنامه طراحی شده همه متغیرهای مهم و اصلی موثر بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی در عراق را دربردارد؟ از آنجایی که پرسشنامه‌های پژوهش از نوع متقاطع است، امکان بررسی پایایی در این نوع از پرسشنامه‌ها وجود ندارد.

خبرگان پژوهش

خبرگان پژوهش با روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند که تا اشباع نظری اطلاعات شامل ۲۸ خبره در دو حوزه خبرگان اجرایی و دانشگاهی است.

جدول ۲- مشخصات جامعه آماری پژوهش

خبرگان دانشگاهی			خبرگان اجرایی		
تعداد	دانشگاه	حوزه تخصصی	تعداد		حوزه تخصصی
۱۷	تهران، تربیت مدرس، خوارزمی و تهران	جغرافیای سیاسی	۳	وزارت نیرو	مدیریت منابع آب
			۲	وزارت امور خارجه	علوم سیاسی
۴	تهران	مهندسی منابع آب	۲	وزارت کشور	جغرافیای سیاسی



شکل ۳- شماتیک روند مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق

وارد شدند، با مسائل و مشکلات متعددی از جمله بیماری‌های پوستی، ریوی و تنفسی دست و پنجه نرم می‌کردند.

دوره سوم (۱۳۹۰-۱۳۸۳): دوره سوم از سال ۱۳۸۳ شروع و تا سال ۱۳۹۰ ادامه داشت. در این دوره عمده مناسبات هیدروپلیتیک دو کشور ایران و عراق حول مسأله مدیریت مشترک منابع آب می‌چرخید و دو کشور بیشتر درگیر مذاکره برای همکاری و همکاری تا سطح ۳+ بودند.

دوره چهارم (تاکنون-۱۳۹۶): دوره چهارم از سال ۱۳۹۶ شروع شد و تا به امروز ادامه دارد. در این دوره مسأله کمیت آب بحث غالب مناسبات هیدروپلیتیک دو کشور بوده است. مقامات عراقی از دولت ایران مطالبات آبی دارند.

۲- شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور

در پژوهش حاضر، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل محتوای مصاحبه با خبرگان پژوهش، ۳۹ متغیر تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور، مطابق جدول (۳) شناسایی شد.

جدول ۳. متغیرهای تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور

متغیر	کد	مولفه
موقعیت جغرافیایی	X1	جغرافیایی
تغییر اقلیم	X2	
قوانین الزام آور بین‌المللی در مدیریت منابع آب	X3	حقوقی
چارچوب تفسیری مشترک	X4	
تحریم‌های بین‌المللی علیه ایران	X5	سیاسی
اختلافات سیاسی دو کشور	X6	
قرابت مذهبی و نظام سیاسی ایران با نواحی شیعه‌نشین عراق	X7	
ناپایداری سیاسی در عراق	X8	
مسأله کردها	X9	
ناامنی مراکز ایرانی در عراق	X10	
گروه‌های مسلح شبه نظامی	X11	
فعال شدن گروه‌های معارض قومی	X12	
خودمختاری نسبی اقلیم کردستان	X13	
حضور و نقش نیروهای مداخله‌گر منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای	X14	

۳ - شناسایی متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور

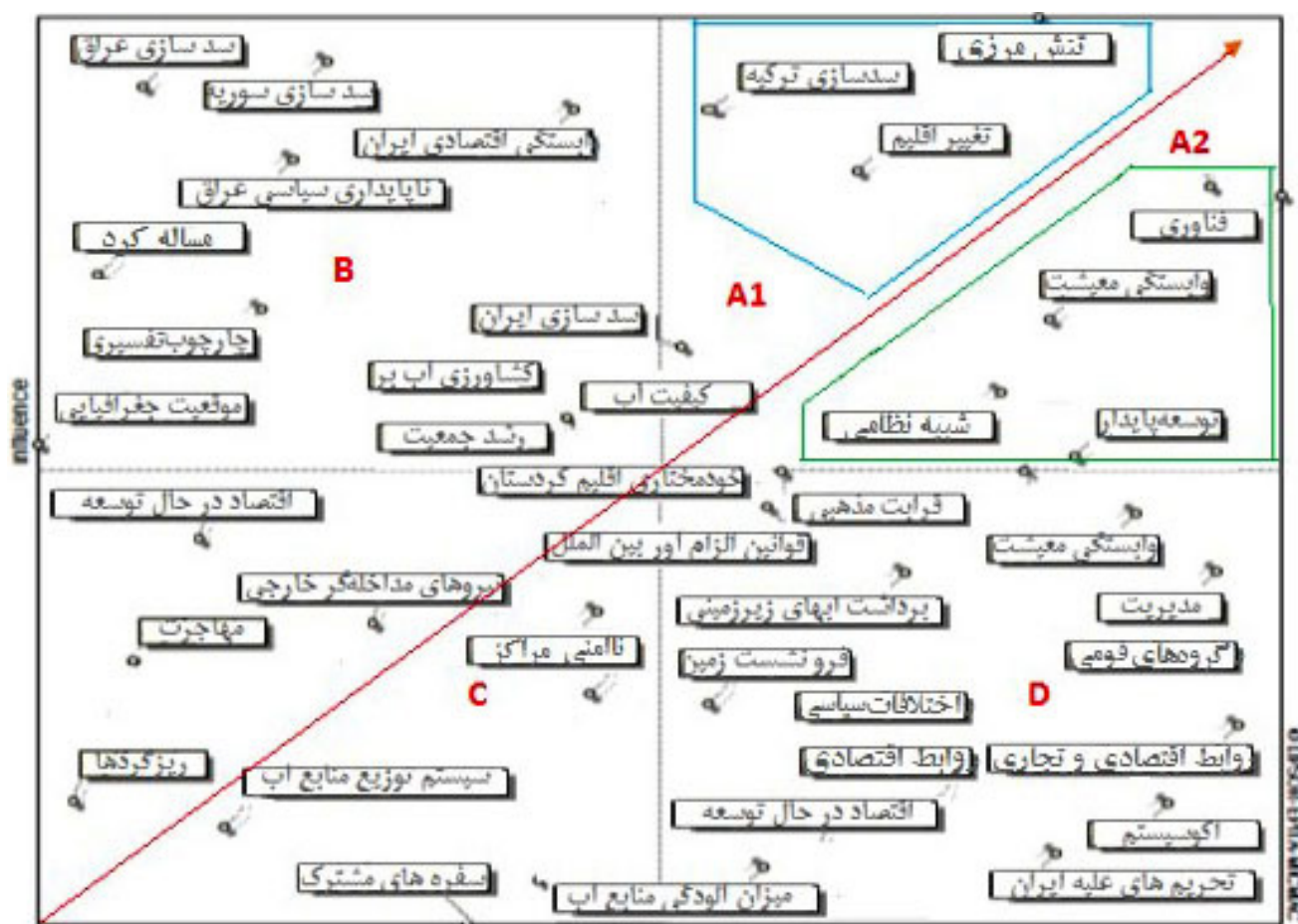
برای انتخاب متغیرهای کلیدی از روش تحلیل ساختاری استفاده شده است. بدین منظور از پرسش‌نامه‌ای در قالب ماتریس متقاطع استفاده شد تا وضعیت هر یک از متغیرها در سیستم مشخص شود. پس از تعیین ارزش هر یک از متغیرها بر اساس نظرات خبرگان، پرسش‌نامه‌های ماتریس تحلیل اثرات به نرم‌افزار میک‌مک فراخوانده شد. خروجی این نرم افزار (شکل ۴)، متغیرهای کلیدی را مشخص کرد.

تحلیل سیستم و تعیین تأثیرگذاری-تأثیرپذیری

مقابل متغیرها بر یکدیگر

بر پایه مطالب پیش گفته و شکل (۴) هفت متغیر زیر به عنوان متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور انتخاب شدند. **متغیرهای ریسک:** (۱) تنش‌های قومی دو سوی مرز، (۲) سدسازی‌های کشور ترکیه روی سرشاخه‌های دجله و فرات، (۳) تغییر اقلیم.

متغیر	کد	مولفه
رشد جمعیت	X15	اقتصادی اجتماعی
گسترش شهرنشینی	X16	
مهاجرت و فشارهای جمعیتی	X17	
تنش‌های قومی دو سوی مرز	X18	
آلودگی منابع آب	X19	
مدیریت منابع آب	X20	
شبکه توزیع منابع آب	X21	
کاهش روابط اقتصادی و تجاری دو کشور	X22	
وابستگی اقتصاد ایران به کشاورزی	X23	
وابستگی معیشت غرب ایران و شرق عراق به منابع آب	X24	
کشاورزی آب‌بر و سنتی در دو سوی مرز	X25	
اقتصاد در حال توسعه ایران و عراق	X26	
میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی	X27	زیست محیطی
بی توجهی به سفره‌های مشترک زیرزمینی	X28	
میزان فرونشست زمین	X29	
کیفیت منابع آب	X30	
پیدایش و گسترش کانون ریزگردها	X31	
نابودی اکوسیستم	X32	
میزان توجه به توسعه پایدار	X33	فناوری
سدسازی‌های ترکیه روی سرشاخه‌های دجله و فرات	X34	
سدسازی‌های عراق در شرق	X35	
سدسازی‌های سوریه بر روی فرات	X36	
سدسازی‌های ایران	X37	
انتقال آب	X38	
میزان توجه به فناوری‌های پیشرفته در مدیریت منابع آب	X39	



شکل ۴- نمودار پراکندگی متغیرهای پژوهش و جایگاه آن در محور تأثیرگذاری- تأثیرپذیری

قالب ماتریس متقاطع کلیدی طراحی شد و در اختیار جامع آماری پژوهش قرار گرفت. نتایج پرسش‌نامه داده‌های لازم برای تدوین سناریوهای ممکن، توسط نرم‌افزار سناریو ویزارد را فراهم کرد. با نگرش به این که در اینجا هدف تهیه سناریوهای ممکن از ۲۹ حالت احتمالی مربوط به هفت متغیر کلیدی است، انتظار می‌رود بیش از ۳۰۰۰ سناریوی تلفیقی محتمل از میان این حالات احتمالی ممکن استخراج شود که در برگرفته همه وضعیت‌های پیش‌روی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور باشد. نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار سناریو ویزارد نشان داد که پنج سناریو با سازگاری قوی و محتمل، وجود دارد. شکل (۵) تابلوی سناریوهای با سازگاری قوی را نشان می‌دهد. در این تابلو رنگ سبز وضعیت کاملاً مطلوب، آبی نشان‌دهنده وضعیت نیمه مطلوب، رنگ زرد بیانگر وضعیت ایستا، رنگ صورتی وضعیت در آستانه بحران و رنگ قرمز نشان‌دهنده وضعیت بحرانی است. تابلوی سناریوهای قوی از ۱۸ وضعیت احتمالی مربوط به پنج سناریو با سازگاری قوی و محتمل تشکیل شده است.

متغیرهای هدف: (۴) میزان توجه به فناوری‌های پیشرفته در مدیریت منابع آب، (۵) وابستگی معیشت غرب ایران و شرق عراق به منابع آب، (۶) میزان توجه به توسعه پایدار، و (۷) گروه‌های مسلح شبه نظامی.

۴- سناریوهای پیش‌روی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور

حالت‌های احتمالی پیش‌روی متغیرهای کلیدی

حالت‌های مختلفی پیش‌روی هفت متغیر کلیدی که در مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور اهمیت بسزایی دارد، قابل تصور است (جدول ۴).

تهیه سبد سناریو

پس از تهیه فهرست حالت‌های احتمالی پیونددار با هفت متغیر کلیدی، پرسش‌نامه‌ای از حالت‌های طراحی شده در

جدول ۴- حالت های احتمالی فراروی متغیرهای کلیدی تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی منازعات اجتماعی عراق

کد	متغیر کلیدی	حالت	شرح حالت های احتمالی	وضعیت
A	سدسازی های ترکیه روی سرشاخه های دجله و فرات	A1	ذخیره آب در سدهای ساخته شده با در نظر داشت حقابه کشورهای پایین دست	مطلوب
		A2	کاهش روند سدسازی های ترکیه	نیمه مطلوب
		A3	ادامه روند موجود	ایستا
		A4	ذخیره آب در سدهای ساخته شده بدون در نظر گرفتن حقابه کشورهای پایین دست	بحرانی
B	تغییر اقلیم	B1	بهبود وضعیت اقلیمی	مطلوب
		B2	بهبود نسبی وضعیت اقلیمی	نیمه مطلوب
		B3	ادامه روند موجود	ایستا
		B4	فرین های آب و هوایی	بحرانی
C	گروه های مسلح شبه نظامی	C1	از بین رفتن کامل گروه های شبه نظامی	مطلوب
		C2	کاهش قدرت گروه های غیر نظامی	نیمه مطلوب
		C3	ادامه روند موجود	ایستا
		C4	پیوستن مردم ناراضی در عراق به گروه های شبه نظامی	نیمه بحرانی
		C5	ایجاد خطر گروه های شبه نظامی برای ایران	بحرانی
D	میزان توجه دو کشور به توسعه پایدار	D1	نزدیک شدن دو کشور ایران و عراق به توسعه پایدار	مطلوب
		D2	ادامه روند موجود	ایستا
		D3	عدم دستیابی دو کشور ایران و عراق به توسعه پایدار	بحرانی
E	فناوری های پیشرفته در مدیریت منابع آب	E1	به کارگیری فن آوری های پیشرفته در مدیریت منابع آب	مطلوب
		E2	تلاش برای دستیابی به سازوکارها و ابزارهای فناوری های پیشرفته در مدیریت منابع آب	نیمه مطلوب
		E3	ادامه روند موجود	ایستا
		E4	عدم بکارگیری فناوری های پیشرفته در مدیریت منابع آب	نیمه بحرانی
		E5	عدم اعتقاد به بکارگیری فناوری های پیشرفته در مدیریت منابع آب مشترک	بحرانی
F	وابستگی معیشت غرب ایران و شرق عراق به آب	F1	توسعه تجارت دو کشور از طریق بسترهای مدرن مانند بورس کالا، ایجاد بازارهای پایدار	مطلوب
		F2	ادامه روند موجود	ایستا
		F3	از بین رفتن بازارهای تجاری دو کشور و ادامه تحریم های بین الملل علیه ایران (نسبی)	نیمه بحرانی
		F4	وابستگی گسترده معیشت ساکنان دو کشور به منابع آب	بحرانی
G	تنش های قومی دو سوی مرز	G1	عدم وجود تنش های قومی دو سوی مرز	مطلوب
		G2	ادامه روند موجود	ایستا
		G3	افزایش نسبی تنش های قومی دو سوی مرز	نیمه بحرانی
		G4	افزایش تنش های قومی دو سوی مرز	بحرانی

Scenario No 1	Scenario No 2	Scenario No 3	Scenario No 4	Scenario No 5
تغییر اقلیم: فرین های اقلیمی	تغییر اقلیم: ادامه روند موجود	توسعه پایدار: ادامه روند	توسعه پایدار: عدم دستیابی	تغییر اقلیم: بهبود وضعیت
تنش های قومی: افزایش	وابستگی معیشت ساکنان دو کشور به آب: توسعه تجارت دو کشور و ایجاد بازارهای پایدار			
سدسازی های ترکیه: ذخیره آب با در نظر داشت حقابه پایین دست			شبیه نظامی: کاهش قدرت	
سدسازی های ترکیه: کاهش روند سدسازی های ترکیه		شبیه نظامی: پیوستن	توسعه پایدار: دستیابی به توسعه پایدار	
تنش های قومی: افزایش نسبی	تغییر اقلیم: بهبود نسبی	فناوری پیشرفته: عدم بکارگیری	وابستگی معیشت ساکنان دو کشور به آب: وابستگی نسبی	
وابستگی معیشت ساکنان دو کشور به آب: وابستگی گسترده			سدسازی ترکیه: ادامه روند	

شکل ۵- تابلوی سناریوهای با سازگاری قوی و محتمل فراروی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی آب محور در عراق

منازعه و تقویت اعتماد متقابل شود.

۲- سناریو «همدلی اجتماعی منطقه‌ای»: با تشدید بحران‌های اجتماعی ناشی از کمبود آب، کنشگران مدنی، نخبگان و سمن‌ها در عراق و ایران وارد تعاملات فراسوی مرز می‌شوند. کمپین‌های همدلی اجتماعی، نشست‌های منطقه‌ای جامعه مدنی فارغ از سیاست رسمی، بستری برای حل اختلافات و طرح ایده‌های مشترک مدیریت آب را تدارک می‌بینند. این گفتگوها به تدریج بر سیاستگذاران فشار می‌آورد تا رویکردهای شفاف‌تر و مسئول‌پذیرتر اتخاذ کنند و از منازعات قومی-اجتماعی به سمت همبستگی حرکت شود.

سناریوهای درگیری محور:

۱. سناریو «گسترش شورش‌های قومی محلی»: بحران اجتماعی برآمده از کمبود آب به نقطه جوش می‌رسد؛ رقابت و درگیری‌های مسلحانه میان گروه‌های قومی - مذهبی در استان‌های شرقی عراق (نظیر بصره، دیاله، واسط) شدت می‌گیرد. ناامن شدن این مناطق به دلیل تشکیل و قدرت‌یابی گروه‌های شبه‌نظامی، زمینه را برای سرایت ناآرامی به مناطق مرزی ایران و گسترش احساس بی‌ثباتی فراهم می‌آورد. واکنش دولت عراق بیشتر امنیتی و سرکوبگرانه بوده که به تشدید بحران و تقویت منازعات اجتماعی دامن می‌زند. این منازعات

همان‌گونه که در شکل (۵) دیده می‌شود تعداد وضعیت‌های بحرانی بر دیگر وضعیت‌های ممکن برتری دارد. از این وضعیت‌های احتمالی ۲۷/۷۷ درصد در وضعیت بحرانی، ۲۲/۲۲ درصد در آستانه بحران، ۱۶/۶۶ درصد ایستا، ۱۶/۶۶ درصد نیمه مطلوب و ۱۶/۶۶ درصد در وضعیت مطلوب قرار داشته‌اند.

تدوین سناریوهای همکارانه محور و درگیری

محور در مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق

برآمده از منازعات اجتماعی در عراق

سناریوهای همکارانه محور:

۱. سناریو «آشتی قومی - آبی»: پس از گسترش اعتراضات و منازعات اجتماعی به ویژه میان قومیت‌ها و گروه‌های محلی بر سر آب در عراق، دولت این کشور در جهت کنترل بحران و پاسخگویی به مطالبات مردمی، سیاست آشتی اجتماعی را در پیش می‌گیرد. این سیاست با مشارکت فعال ایران بیشتر به هدف نهایی خود نزدیک می‌شود. کمیته‌های مشترک مدیریت بحران‌های آبی - اجتماعی بین دو کشور تشکیل می‌شود. اقدامات فراگیری چون جلسات پی در پی با نمایندگان مردم، پروژه‌های توسعه‌ای - مشارکتی و طرح‌های افزایش تاب‌آوری مردم محلی، پایه این سناریو است که می‌تواند باعث کاهش

باعث فشار بر دولت عراق می‌شود. دولت عراق به دولت ایران فشار وارد کرده و در سخنرانی‌های خود برای مردم، دولت ایران را از مقصرین وضعیت پیش آمده معرفی می‌کند که باعث بدبینی مردم شرق عراق نسبت به دولت ایران می‌شود. مردم ناراضی در عراق دست به اقدامات آشوبگرانه در غرب ایران می‌کنند و باعث ناامن شدن این منطقه از کشورمان می‌شوند.

۲. سناریو «بحران دیپلماتیک ناشی از ائتلاف نیروهای اجتماعی زیان‌دیده»: بخش بزرگی از کشاورزان، دامداران و ساکنان شهرها و روستاهای آسیب‌دیده عراق با تشکیل اتحادیه‌ها و جبهه‌های اعتراضی، دولت عراق را تحت فشار می‌گذارند که مسئولیت ناکامی در مدیریت آب را متوجه کشورهای همسایه از جمله ایران بداند. دولت عراق برای پاسخگویی به این فشار اجتماعی متوسل به اقدامات شدید دیپلماتیک و حتی امنیتی علیه ایران می‌شود (مانند طرح شکایت رسمی در مجامع بین‌المللی یا اعمال محدودیت‌های مرزی)، که منبث از اتحاد گروه‌های اجتماعی داخلی است و قابلیت این را دارد که مناسبات کل منطقه را تحت تأثیر قرار دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد محتمل‌ترین سناریوی فراروی مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی، بحرانی است. در این راستا؛ درگیری بر سر آب بین جوامع محلی در داخل و خارج از استان‌های عراق، می‌تواند امنیت و ثبات را در آینده تهدید کند. عراق با وضعیت وخیم آب روبرو است؛ زیرا کمیت و کیفیت آب همچنان در این کشور رو به کاهش است. از دهه ۱۹۸۰، جریان آب از رودخانه‌های فرات و دجله ۳۰٪ کاهش یافته است. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵، تأمین آب در مقایسه با سال ۲۰۱۵ تا ۶۰٪ کاهش یابد (water, peace and Security, ۲۰۲۲).

این کاهش جریان آب، نتیجه ترکیبی از عوامل متعدد داخلی و خارجی است و چالش‌های بی‌شماری را برای این کشور ایجاد کرده است. چالش‌های مربوط به آب به عنوان یک مسئله کلیدی در اعتراضات بصره آغاز شد و در سراسر عراق گسترش یافت (Eissa, ۲۰۲۰).

وضعیت وخیم آب در عراق که اعتراضات اجتماعی گسترده در این کشور را به همراه داشته است، بر تعاملات پیچیده بین بازیگران مختلف سیاسی، اجتماعی و اقتصادی، در سطح داخلی این کشور و همسایگان آن تأثیرگذار است.

این اعتراضات اگر نادیده گرفته شود، در آینده نزدیک بر مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق متأثر از هفت متغیر

کلیدی تأثیر بحرانی خواهد داشت که عبارتند از:

- **تنش‌های قومی و اجتماعی در دو سوی مرز:** در مناطق مرزی عراق به ویژه در شرق این کشور تنش‌های قومی بین کردها، عرب‌ها و دیگر اقلیت‌ها به علت بحران شدید آب، شدت می‌گیرد که منجر به ناآرامی‌های گسترده و درگیری‌های محلی می‌شود. این وضعیت باعث بی‌ثباتی سیاسی و امنیتی در مناطق مرزی ایران می‌شود و می‌تواند باعث درگیری‌های قومی در داخل ایران نیز شود.
- **سدسازی‌های ترکیه و کاهش آب دجله و فرات:** ترکیه با ادامه پروژه‌های بزرگ سدسازی در حوضه‌های دجله و فرات، جریان آب به سمت عراق را روز به روز بیشتر کاهش می‌دهد. این امر باعث کم آبی شدید در عراق می‌شود. عراق مادامی که با بحران آب روبرو باشد به هر ابزاری برای تأمین منابع آب متوسل می‌شود که یکی از این ابزارها فشار بر ایران از طریق طرح شکایت علیه ایران در سازمان بین‌الملل است.
- **تغییر اقلیم:** ادامه کاهش بارش و افزایش دما در منطقه خشک و نیمه خشک خاورمیانه، فشار مضاعفی بر منابع آب وارد می‌کند که موجب خشکسالی‌های مکرر، کاهش کیفیت و کمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.
- **وابستگی معیشت به منابع آب:** معیشت غرب ایران و شرق عراق به شدت به منابع آب وابسته است. بحران آب، معیشت کشاورزان و دامداران این منطقه را تهدید می‌کند.
- **عدم توجه به توسعه پایدار:** توسعه منابع آب بدون توجه به نسل‌های آینده و توجه به محیط‌زیست صورت می‌گیرد و چالش‌ها و معضلات گسترده‌ای را به همراه خواهد داشت.

نفوذ و گستره فعالیت‌های شبیه نظامی: گروه‌های شبیه نظامی منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای فعالیت خود را افزایش می‌دهند و از بحران آب برای افزایش نفوذ و اعمال فشار سیاسی بهره می‌برند. کشاورزان و دامداران بیکار شده به این گروه‌ها ملحق شده و روز به روز گسترده‌تر می‌شوند.

محدودیت فناوری در مدیریت منابع: عدم توجه به فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت منابع آب از عواملی است که به بحران پیش آمده، دامن می‌زند و دامنه آن را گسترده‌تر می‌کند.

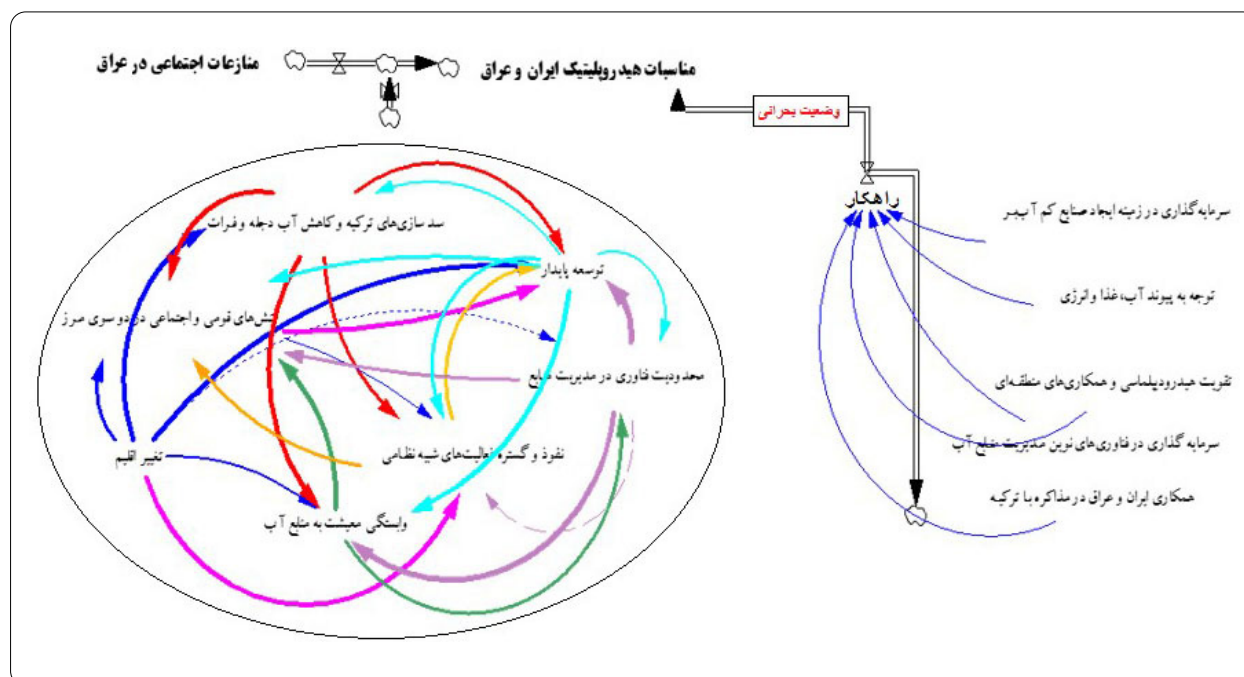
پیشنهادات

پیشنهادات پژوهش در قالب پرسشنامه تنظیم و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا به رتبه‌بندی آن‌ها با مدل ترکیبی FARAS+FCOPRAS اقدام شود (جدول ۵).

جدول ۵- راهکارهای پیشنهادی برای جلوگیری از پیش آمد وضعیت بحرانی در مناسبات هیدروپلیتیک ایران و عراق ناشی از منازعات اجتماعی عراق

رتبه	امتیاز	کد	راهبرد
۴	۸۳/۵۴	X1	سرمایه گذاری در زمینه ایجاد صنایع کم آب بر در مناطق غرب ایران و شرق عراق (ایجاد اشتغال)
۶	۸۳/۴۶	X2	توسعه منابع آب با ایجاد ارتباط پایدار میان محیط زیست و انسان
۱	۸۳/۷۹	X3	تقویت هیدرو دیپلماسی و همکاری های منطقه ای
۹	۸۳/۲۱	X4	مدیریت یکپارچه منابع آب که بر درک جامع فرایندهای سیستم های آبی و اتخاذ سیاست های علمی مبتنی باشد
۳	۸۳/۶۱	X5	سرمایه گذاری در فناوری های نوین مدیریت منابع آب
۵	۸۳/۵۲	X6	توجه به پیوند آب، غذا و انرژی در مدیریت یکپارچه منابع آب در دو کشور ایران و عراق
۲	۸۳/۶۸	X7	همکاری ایران و عراق در مذاکره با ترکیه برای رعایت حقابه کشورهای پایین دست
۷	۸۳/۳۸	X8	ایجاد کمیته مشترک زود هنگام هشدار و آمادگی برای مقابله با بحران های آب مانند خشکسالی
۸	۸۳/۲۶	X9	همکاری دو کشور برای بهبود روش های آبیاری نوین و احداث شبکه های آبیاری و زهکشی
۱۰	۸۳/۲۰	X10	تقویت نهادهای مشترک ایرانی و عراقی مردم نهاد و سمن ها

شبیه سازی پژوهش در نرم افزار ونسیم از طرح مساله تا ارائه راهکار به صورت شماتیک در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ۶- شبیه سازی نتایج پژوهش در نرم افزار ونسیم

پژوهشگران این پژوهش از خبرگان پژوهش برای تکمیل پرسشنامه‌ها، سیاسگزاری می‌کنند.

پی‌نوشت‌ها

1. International Water Event Database (IWEB)
2. Micmac
3. Scenario Wizard

منابع

- Abd-El Mooty, M., Mansoh, R., & Abdulhadi, A. (2016). Accelerating the words research. Hydrology current research, 7(4), 1-8. doi: [10.4172/2157-7587.1000260](https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000260)
- Abu Zeed, A. (2018). Basra Protests Spark Government Scramble to Create Jobs, AL-MONITOR. <https://www.al-monitor.com/originals/2018/08/iraq-oil-companies-jobs-protests.html>
- Albarakat, R., Le, M. H., & Lakshmi, V. (2022). Assessment of drought conditions over Iraqi transboundary rivers using FLDAS and satellite datasets. Journal of Hydrology: Regional Studies, 41, 101075. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101075>
- Ashraf, B., AghaKouchak, A., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., R. Moftakhari, H., Mirchi, A.,... & Madani, K. (2017). Quantifying anthropogenic stress on groundwater resources. Scientific reports, 7(1), 12910. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12877-4>
- BBC News. (2018). Water Shortages Fuel Ongoing Protests in Basra, Iraq. BBC News, September 25, 2018. <https://www.bbc.com/news/av/world-middle-east-45626170>
- Brochmann, M., & Gleditsch, N. P. (2012). Shared rivers and conflict-A reconsideration. Political Geography, 31(8), 519-527. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2012.11.001>
- Cooley, J. K. (1984). The war over water. Foreign policy, 54, 3-26.
- Dombrowsky, I. (2009). Revisiting the potential for benefit sharing in the management of trans-boundary rivers. Water Policy, 11(2), 125-140. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.020>
- Dowlatabadi, N., Banihabib, M. E., Roozbahani, A., & Randhir, T. O. (2020). Enhanced GMCR model for resolving conflicts in a transboundary wetland. Science of the Total Environment, 744, 140816. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140816>
- Eissa, S. (2020). Iraq's October Revolution: Six Months, ACLED. <https://acleddata.com/2020/04/10/iraqs-octoberrevolution>
- Gleick, P. H. (1994). Water, war & peace in the Middle East. Environment: science and policy for sustainable development, 36(3), 6-42. <https://doi.org/10.1080/00139157.1994.9929154>
- Granwald, R., Wang, W., & Feng, Y. (2020). Modified transboundary water interaction Nexus (TWINS): Xay-aburi dam case study. Water, 12(3), 710. <https://doi.org/10.3390/w12030710>
- Gupta, H. V., Clark, M. P., Vrugt, J. A., Abramowitz, G., & Ye, M. (2012). Towards a comprehensive assessment of model structural adequacy. Water Resources Research, 48(8), W08301. <https://doi.org/10.1029/2011WR011044>
- آفتابی، زکیه، کاویانی راد، مراد، و کاردان، حمید. (۱۴۰۲). تبیین سناریوهای فراوری مناسبات هیدروپلیتیک رودخانه‌های مرزی ایران و عراق. مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱۳)، ۴۸۷-۵۰۷.
dor: [20.1001.1.22516298.1402.13.2.12.6](https://doi.org/20.1001.1.22516298.1402.13.2.12.6)
- ذکی، یاشار، طالبی، محمدصادق، بدیهی از ندهی، مرجان، و یوسفی شاتوری، محمد. (۱۴۰۲). نقش پروژه‌های گاپ در هیدروپلیتیک حوضه آبریز رودخانه دجله و فرات. ژئوپلیتیک، ۱۹(۳)، ۲۴۱-۲۷۲.
dor: [20.1001.1.17354331.1402.19.71.9.4](https://doi.org/20.1001.1.17354331.1402.19.71.9.4)
- کاویانی راد، مراد. (۱۳۹۸). هیدروپلیتیک سویه‌ها و رویکردها. پژوهشکده مطالعات راهبردی، تهران، ایران.
- میان‌آبادی، حجت، و قریشی، سیده زهرا. (۱۴۰۱). تبیین پارادایم‌های رئالیسم و لیبرالیسم در مناسبات هیدروپلیتیک. ژئوپلیتیک، ۱۳(۱)، ۱۸۶-۱۵۰.
dor: [20.1001.1.17354331.1401.18.65.6.2](https://doi.org/20.1001.1.17354331.1401.18.65.6.2)
- طالبیان، حامد، مولایی، محمد مهدی و قراری، فریما. (۱۳۹۴). کاربرد روش تحلیل اثرات متقابل فازی در مطالعات آینده نگر (مطالعه موردی: آینده پژوهی ایران). دومین کنفرانس بین المللی ابزار و تکنیک‌های مدیریت. تهران، ایران.

- Homer-Dixon, T. (1996). Strategies for studying causation in complex ecological-political systems. *The Journal of Environment & Development*, 5(2), 132-148. <https://doi.org/10.1177/107049659600500202>
- Iraqi News Agency. (2021). Demonstrations Demands Launching Water Quota in Maysan. 3 October 2021. <https://ina.iq/en/local/14489-demonstrations-demands-launching-water-quota-in-maysan.html>
- Julien, F. (2012). Hydropolitics is what societies make of it (or why we need a constructivist approach to the geopolitics of water). *International Journal of Sustainable Society*, 4(1-2), 45-71. <https://doi.org/10.1504/IJSSOC.2012.044665>
- Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian studies*, 49(6), 997-1016. <https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286>
- Nincic, M., & Weiss, M. (2016). The future of transboundary water conflicts. *Political Science Quarterly*, 131(4), 717-748. <https://doi.org/10.1002/polq.12531>
- Oregon state university. (2025). Program in water conflict management and transformation. <https://trans-boundarywaters.science.oregonstate.edu/>
- Pacific Institute. (2022). Water Conflict Chronology. accessed on 22 April 2022. Available online: <https://www.worldwater.org/conflict/map/>
- Rahi, K. A., Al-Madhhachi, A. S. T., & Al-Hussaini, S. N. (2019). Assessment of surface water resources of eastern Iraq. *Hydrology*, 6(3), 57. <https://doi.org/10.3390/hydrology6030057>
- Remans, W. (1995). Water and war. *Human tares Volkerrecht*, 8(1), 1-14.
- Sadoff, C. W., & Grey, D. (2002). Beyond the river: the benefits of cooperation on international rivers. *Water policy*, 4(5), 389-403. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00035-1](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00035-1)
- Saemian, P., Tourian, M. J., AghaKouchak, A., Madani, K., & Sneeuw, N. (2022). How much water did Iran lose over the last two decades? *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101095. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101095>
- Shoko, E. (2025). Structural Determinants of Conflicts and Cooperation in Rural Water Management. *Peace Review*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/10402659.2025.2485300>
- Starr, J. R. (1991). Water Wars. *Foreign Policy*, 1(82), 17-36.
- Walschot, M., & Katz, D. (2022). Desalination and trans-boundary water conflict and cooperation: A mixed-method empirical approach. *Water*, 14(12), 1925. <https://doi.org/10.3390/w14121925>
- Warner, J. (2012). Three lenses on water war, peace and hegemonic struggle on the Nile. *International Journal of Sustainable Society*, 4(1-2), 173-193. <https://doi.org/10.1504/IJSSOC.2012.044672>
- Water, Peace and security. (2022). Water challenges and conflict dynamics in Southern Iraq. <https://waterpeacesecurity.org/files/208>
- Westing, A. H. (Ed.). (1986). *Global resources and international conflict: environmental factors in strategic policy and action*. Oxford University Press on Demand.
- Wolf, A. T. (2007). Shared waters: Conflict and cooperation. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32, 241-269. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.041006.101434>
- Wolf, A. T. (2023). Middle East water conflicts and directions for conflict resolution. *Intl Food Policy Res Inst*, Washington, USA.
- Yang, Q., Bai, T., Liu, D., & Sun, X. (2025). Optimal Allocation and Evaluation of Regional Water Resources Integrated with Rural Revitalization Strategy. *Water Resources Management*, 39(7), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04180-z>
- Yeganeh, Y., & Bakhshandeh, E. (2022). Iran's model of water diplomacy to promote cooperation and prevent conflict over transboundary rivers in Southwest Asia. *World Affairs*, 185(2), 331-358. <https://doi.org/10.1177/00438200221081210>
- Yoffe, S., Wolf, A. T., & Giordano, M. (2003). Conflict and cooperation over international freshwater resources: Indicators of basins at risk. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1109-1126. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03696.x>
- Zeitoun, M., & Mirumachi, N. (2008). Transboundary water interaction I: Reconsidering conflict and cooperation. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 8, 297-316. <https://doi.org/10.1007/s10784-008-9083-5>

Article Type

Applied Article

پژوهش کاربردی

نوع مقاله

Identifying Key Drivers of Watershed Governance within the Hydropolitical Context of the Harirud River

E.Tamassoki¹, S.Bahrami Jaf^{2*},
J.Momeni Damaneh³, S.M.Tajbaskhsh Fakhrabadi⁴

1, 3- Ph.D. in Watershed Management Science and Engineering & Ph.D. in Natural Resource Engineering- Desertification, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. 2- Postdoctoral Researcher in Political Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 4- Associate Professor, Department of Watershed Management, Natural Resource Faculty, University of Birjand, Birjand, Iran.

*Corresponding Author Email: bahramijaf93@gmail.com

Received ➤ 12-06-2025
Revised ➤ 12-07-2025
Accepted ➤ 13-07-2025
Available Online ➤ 20-09-2025

Abstract

Water, a vital element for socio-spatial sustainability, has emerged as a central issue in geopolitics in recent decades due to factors such as climate change, population growth, and economic development. This applied research, employing a descriptive-analytical approach, investigates the primary drivers influencing the transformation of watershed governance systems within the hydropolitical context of the transboundary Harirud River. The main objective of this study is to identify and analyze the key drivers shaping the future of hydropolitical relations in this watershed. The findings reveal four primary drivers: a focus on socio-economic issues aligned with the hydropolitical objectives of water resources, an emphasis on local water governance, coordinated management of transboundary watersheds, and the utilization of indigenous knowledge, rainwater harvesting, and flood management. These drivers, identified by experts, are the most critical factors influencing hydropolitical relations in the Harirud watershed. The results underscore the necessity of a comprehensive and integrated approach to watershed governance that encompasses social, institutional, international, and technical dimensions. The findings highlight the critical importance of these drivers in ensuring regional water sustainability and security, mitigating potential conflicts, and facilitating transboundary cooperation for the optimal and sustainable management of shared water resources in the Harirud watershed.

Keywords: Key Drivers, Water Resources Management, Futures Studies, Transboundary Cooperation, Afghanistan.

شناسایی پیشران‌های کلیدی حکمرانی آبخیز در بستر هیدروپلیتیک رودخانه هریرود

احسان تمسکی^۱، ساجد بهرامی جاف^{۲*}،
جواد مومنی دمنه^۳، سید محمد تاج‌بخش فخرآبادی^۴

۱ و ۳- به ترتیب دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری و دانش آموخته دکتری مهندسی منابع طبیعی- بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. ۲- پژوهشگر پسا دکتری جغرافیای سیاسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ۴- دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: bahramijaf93@gmail.com

تاریخ دریافت ➤ ۱۴۰۴/۰۳/۲۲
تاریخ بازنگری ➤ ۱۴۰۴/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش ➤ ۱۴۰۴/۰۴/۲۲
تاریخ انتشار ➤ ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

آب، عنصری حیاتی برای پایداری اجتماعی - فضایی، به دلیل عواملی نظیر تغییر اقلیم، رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، در دهه‌های اخیر به یک موضوع کانونی در ژئوپلیتیک تبدیل شده است. پژوهش حاضر، با ماهیت کاربردی و رویکرد توصیفی-تحلیلی، به شناسایی پیشران‌های اصلی در فرایند تحولات نظام حکمرانی آبخیز در بستر هیدروپلیتیک رودخانه فرامرزی هریرود می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی تأثیرگذار بر آینده مناسبات هیدروپلیتیک در این حوزه آبخیز است. نتایج تحقیق نشان داد که چهار پیشران اصلی شامل: تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب، تمرکز بر حکمرانی محلی آب، مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی و بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب، از مهم‌ترین عوامل کلیدی تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک در حوزه هریرود هستند که توسط نخبگان شناسایی شده‌اند. این پیشران‌ها بر ضرورت رویکردی جامع و یکپارچه در حکمرانی آبخیز تأکید دارند که ابعاد اجتماعی، نهادی، بین‌المللی و فنی را در برگیرد. یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت حیاتی این پیشران‌ها در تضمین پایداری و امنیت آبی منطقه، کاهش تنش‌های بالقوه و تسهیل همکاری‌های فرامرزی برای مدیریت بهینه و پایدار منابع آب مشترک در حوزه آبخیز هریرود است. این پیشران‌ها بر ضرورت رویکردی جامع و یکپارچه تأکید دارند که ابعاد اجتماعی، نهادی، بین‌المللی و فنی را در برگیرد.

واژه‌های کلیدی: پیشران‌های کلیدی، مدیریت منابع آب، آینده‌پژوهی، همکاری‌های فرامرزی، افغانستان.

How to cite this article: Tamassoki, E., Bahrami Jaf, S., Momeni Damaneh, J., & Tajbaskhsh Fakhrabadi, S. M. (2025). Identifying Key Drivers of Watershed Governance within the Hydropolitical Context of the Harirud River. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 77-92. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2506-1431>

با نگاهی به کره زمین، می‌توان به وضوح تفاوت‌های متنوعی را در سطح برخورداری از منابع جغرافیایی بین مناطق مختلف مشاهده کرد. این تنوع، از گذشته‌های دور تا کنون، عامل محرکی برای جوامع انسانی جهت رفع محدودیت‌ها و بهره‌برداری از قابلیت‌های طبیعی و جغرافیایی بوده است (بهرامی جاف و همکاران، ۱۴۰۱). در این میان، دانش جغرافیا به عنوان ابزاری برای فهم تعامل انسان و فضا، همواره در شکل‌دهی به سیاست‌ها، اقتصاد، فرهنگ و ساختارهای حکومتی نقش محوری داشته است. بر همین اساس، ژئوپلیتیک به عنوان شاخه‌ای میان‌رشته‌ای از جغرافیا و علوم سیاسی، در تحلیل مناسبات قدرت در بستر فضاهای جغرافیایی و منابع حیاتی همچون آب، جایگاه برجسته‌ای یافته است (حسین‌پور پویان، ۱۳۹۲؛ جان‌پرور، ۱۳۹۶). از میان منابع استراتژیک، آب شیرین یکی از کمیاب‌ترین و درعین حال حیاتی‌ترین عناصر در معادلات قدرت جهانی و منطقه‌ای است. طی یک قرن گذشته، سرانه جهانی مصرف آب رشدی بیش از ۹ برابر داشته و این رشد، همراه با توسعه شهرنشینی، کشاورزی ناکارآمد و تغییرات اقلیمی، فشار شدیدی بر منابع آب وارد آورده است (عراقچی، ۱۳۹۳). در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله آسیای غربی، این فشار با شدت بیشتری نمود داشته و موجب بروز رقابت، تعارض، و در برخی موارد، همکاری‌های بین‌المللی شده است. این بستر زمینه‌ساز پیدایش و توسعه مفهوم هیدروپلیتیک یا ژئوپلیتیک آب شده که در آن آب نه صرفاً یک منبع طبیعی، بلکه ابزاری برای اعمال قدرت، مذاکره یا منازعه بین کشورها تلقی می‌شود (Rai و همکاران، ۲۰۱۶).

هیدروپلیتیک بر مبنای دو مؤلفه اصلی شکل می‌گیرد: منابع آب مشترک و کنشگرانی که پیرامون آن به تعامل می‌پردازند. کشورهایی که در مسیر رودخانه‌های فرامرزی قرار دارند (اصطلاحاً کشورهای بالادست و پایین‌دست)، بسته به نوع بهره‌برداری و چارچوب‌های حقوقی موجود، ممکن است وارد مسیر همکاری یا درگیری شوند. در واقع دیپلماسی رودخانه‌های مرزی و مشترک به مثابه یکی از شاخه‌های دیپلماسی آب در این پژوهش مورد توجه است. نمونه‌هایی از این وضعیت در منازعات مربوط به رودهای دجله و فرات، نیل، و دانوب به وضوح قابل مشاهده است. رودخانه هریرود که از افغانستان سرچشمه می‌گیرد، پس از عبور از شرق ایران وارد خاک ترکمنستان می‌شود و یکی از منابع کلیدی آب برای استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. اهمیت این رودخانه در تأمین آب شرب و کشاورزی برای شهرهایی نظیر مشهد و

سرخس، سبب شده تا پروژه‌هایی نظیر احداث سد دوستی بین ایران و ترکمنستان شکل گیرد. با این حال، ساخت سد سلما در بالادست توسط افغانستان، موجب کاهش دبی ورودی به ایران و تشدید تنش‌های هیدروپلیتیک شده است (کامران و همکاران، ۱۳۹۶). در چنین شرایطی، رویکردهای صرفاً فنی (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵) یا متمرکز بر مذاکرات سیاسی دیگر پاسخگو نیستند و لزوم حرکت به سوی الگوهای نوین حکمرانی همچون «حکمرانی آبخیز» و «مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز» بیش از پیش احساس می‌شود. حکمرانی آبخیز رویکردی فراتر از مدیریت سنتی منابع آب است که با تأکید بر مشارکت چند سطحی ذی‌نفعان، شفافیت، پاسخگویی، عدالت و نگاه سیستمی به آبخیز (تمسکی و همکاران، ۱۴۰۳)، بستر مناسب‌تری برای حل مسائل پیچیده منابع آب فراهم می‌سازد (OECD، ۲۰۱۵). در ادبیات مدیریت منابع آب، تأکید بر تحلیل آینده‌محور با بهره‌گیری از روش‌های آینده‌پژوهی و سناریوسازی، به‌ویژه در بسترهای فرامرزی، به عنوان ابزاری برای مواجهه با عدم قطعیت‌های اقلیمی، سیاسی و اجتماعی مطرح شده است (Kehl، ۲۰۱۱).

پژوهش‌های هیدروپلیتیک در حوزه‌های آبخیز فرامرزی، مانند هریرود، طی دهه‌های اخیر به دلیل افزایش تنش‌های آبی و پیچیدگی‌های ژئوپلیتیکی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. کامران و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تأثیرات هیدروپلیتیکی سد سلما در افغانستان، بر کاهش جریان آب ورودی به ایران و تشدید تنش‌های منطقه‌ای تأکید کردند. در سطح بین‌المللی، Cascão و Zeitoun (۲۰۱۰) نقش قدرت و هژمونی در مدیریت آب‌های فرامرزی را بررسی کردند، درحالی‌که Wolf (۱۹۹۸) بر پتانسیل همکاری‌های دیپلماتیک برای کاهش منازعات آبی تأکید داشت. Trottier (۲۰۰۸) با رویکرد بوم‌شناسی سیاسی، اهمیت مشارکت جوامع محلی را برجسته کرد. همچنین، Pahl-Wostl (۲۰۱۵) و Hooghe و Marks (۲۰۰۳) چارچوب حکمرانی چندسطحی را برای مدیریت پیچیدگی‌های آبخیزهای فرامرزی پیشنهاد دادند. با وجود این پژوهش‌های، شکاف پژوهشی در تلفیق ابعاد محلی، بومی و بین‌المللی در تحلیل پیشران‌های کلیدی حکمرانی آبخیز هریرود همچنان مشهود است، که پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تحلیل اثرات متقابل و آینده‌پژوهی به دنبال پر کردن آن است.

اغلب پژوهش‌ها یا تمرکز صرف بر ساختارهای قدرت دارند، یا تنها به تحلیل روندهای گذشته و حال بسنده می‌کنند و از پیش‌بینی یا ترسیم مسیرهای آینده باز می‌مانند. همچنین،

نقش عواملی مانند دانش بومی، مسائل اقتصادی- اجتماعی، حکمرانی محلی و دیپلماسی منطقه‌ای به‌عنوان پیشران‌های موثر در حکمرانی آبی منابع آب، به‌ندرت در کنار هم تحلیل شده‌اند. بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تحلیل پیشران‌های کلیدی مؤثر بر آینده حکمرانی آب در حوزه آبخیز هریرود انجام شده است و تلاش دارد با بهره‌گیری از روش تحلیل اثرات متقابل ساختاری (Aghaei و همکاران، ۲۰۲۴) و تمرکز بر شکاف‌های موجود، به تحلیل پیشران‌های کلیدی حکمرانی آب در حوزه هریرود بپردازد.

مبانی نظری

نقش منابع آب در شکل‌دهی به ساختارهای قدرت، امنیت و مناسبات اجتماعی از دیرباز مورد توجه حکومت‌ها و جوامع انسانی بوده است. شواهد تاریخی حاکی از آن است که آب همواره در معادلات قدرت جایگاه محوری داشته است. به‌عنوان نمونه، در حدود ۲۷۰۰ سال پیش، آشور بانیپال، پادشاه آشور، به‌عنوان بخشی از استراتژی نظامی خود، تسلط بر منابع آبی نظیر چشمه‌ها و کانال‌های آب را در دستور کار قرار داد. همچنین تخریب شبکه‌های آبرسانی بابل توسط فرماندهان آشوری، نشانگر پیوند وثیق منابع آبی با سیاست‌های نظامی و امنیتی در تاریخ باستان است (دیانت و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهش‌های مدرن، این پیوند از خلال مفهوم «هیدروپلیتیک» واکاوی می‌شود. ادبیات اولیه هیدروپلیتیک بر پایه نظریاتی چون استبداد شرقی ویتفولگ بنا شده که در آن، کمبود آب در جوامع خشک و نیمه‌خشک به‌مثابه محرک شکل‌گیری ساختارهای اقتدارگرایانه تحلیل شده است. از نگاه ویتفولگ، نیاز به مدیریت انحصاری منابع آب، دولت‌های تمرکزگرا و اقتدارگرا را پدید آورده است (Wittfogel، ۱۹۵۷؛ Worster، ۱۹۸۵). در همین راستا، ورستر سه الگوی مدیریت منابع آب را شناسایی کرده است: (۱) جوامع خودبسنده مبتنی بر معیشت محلی، (۲) دولت‌های کشاورزی با سامانه‌های آبیاری سازمان‌یافته، و (۳) جوامع سرمایه‌داری با ساختارهای نوین هیدروپلیتیکی مبتنی بر منطق بازار (Rogers و Crow-Miller، ۲۰۱۷).

با این حال، تحول مفهومی هیدروپلیتیک با آثار جان واتربری وارد مرحله‌ای نوین شد. واتربری نخستین کسی بود که واژه «هیدروپلیتیک» را به‌صورت مفهومی علمی در کتاب «هیدروپلیتیک دره نیل» به‌کار برد و آن را به‌عنوان علمی تعریف کرد که به بررسی تعاملات سیاسی حول منابع آب مشترک می‌پردازد. در ادامه، با گسترش نظریه‌ها، مفاهیمی همچون «هیدروژئوپلیتیک» به ادبیات این حوزه افزوده شد

که به جایگاه فزاینده منابع آب، به‌ویژه رودخانه‌های مرزی، در رقابت‌های ژئوپلیتیکی اشاره دارد (Rai و همکاران، ۲۰۱۶). دیپلماسی آب، به‌عنوان حوزه‌ای چندرشته‌ای، تعاملات کشورها بر سر منابع آبی مشترک را از منظر نظریه‌های واقع‌گرایانه (آب به‌عنوان ابزار قدرت) و لیبرال-نهادگرا (همکاری از طریق نهادها) بررسی می‌کند و رویکردهایی مانند مدیریت حوزه‌ای، دیپلماسی از پایین به بالا، تقسیم منافع و حقوق بین‌الملل آب را در بر می‌گیرد (Wolf، ۱۹۹۸). این حوزه از دوره تخصیص آب تحت تأثیر استعمار (قبل از ۱۹۰۰)، به تنش‌های ناشی از توسعه ملی (۱۹۰۰-۱۹۶۰)، آگاهی محیط‌زیستی و قانون‌گذاری (۱۹۷۰-۱۹۹۰)، و سپس نهادسازی و تمرکز بر منافع مشترک (۱۹۹۰-۲۰۱۰) تکامل یافته و امروزه با چالش‌های اقلیمی و پروژه‌هایی مانند سد رنسانس اتیوپی، به رویکردهای چندجانبه برای کاهش تنش و تقویت همکاری فرامرزی نیاز دارد (Cascão و Zeitoun، ۲۰۱۰).

از منظر نهادهای بین‌المللی مانند برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، هیدروپلیتیک به توانایی نهادهای سیاسی در مدیریت منابع آب مشترک، به‌صورت پایدار و فارغ از منازعه تعریف می‌شود (UNEP، ۲۰۰۷). در این چارچوب، ابعاد فرهنگی نیز تأکید شده است. فاور (۱۹۹۳) معتقد است ارزش‌های فرهنگی جامعه در درک و مدیریت آب نقش دارند و همین ارزش‌ها ساختارهای ذهنی مشترک را شکل می‌دهند (Walters و همکاران، ۲۰۱۹؛ Jensen و Kushniruk، ۲۰۱۶).

هیدروپلیتیک، به‌طور کلی، عرصه‌ای برای مطالعه تعاملات میان کشورها بر سر منابع آب است؛ تعاملی که می‌تواند طیفی از همکاری و دیپلماسی تا درگیری و کشمکش را دربرگیرد (Zeitoun و Warner، ۲۰۰۶؛ Mirumachi، ۲۰۱۵).

در این میان، پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که تحلیل مناسبات آبی تنها از مسیر دولت‌ها کافی نیست و باید کنشگران غیردولتی، جوامع محلی، و نهادهای مدنی را نیز در معادله دخیل کرد (Turton و Henwood، ۲۰۰۲). هیدروپلیتیک در واقع تلفیقی از ابعاد سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست مسئله آب است و هدف آن ارتقاء امنیت منطقه‌ای، ثبات سیاسی و توسعه پایدار است (Kehl، ۲۰۱۱؛ حافظ‌نیا، ۱۳۹۶؛ مجتهدزاده، ۱۳۹۸). در تکمیل این رویکردهای تلفیقی، نظریه «حکمرانی چندسطحی» به‌عنوان پارادایم کلیدی در فهم و مدیریت پیچیدگی‌های موجود در حوزه‌های آبخیز فرامرزی مطرح شده است. این رویکرد، برخاسته از پژوهش‌های اتحادیه اروپا (Hooghe و Marks، ۲۰۰۳) تأکید دارد که سیاست‌گذاری کارآمد در مسائل فرامرزی

و طراحی نظام‌های تصمیم‌گیری در حوزه‌های آبخیز فرامرزی فراهم می‌سازد؛ چارچوبی که پژوهش حاضر تلاش دارد در مورد رودخانه هریرود، به صورت بومی‌سازی شده به کار گیرد. پژوهش‌های داخلی نیز این مفاهیم را در بسترهای بومی ایران بسط داده‌اند. به طور نمونه، بی‌نیاز و تمسکی (۱۴۰۲) حکمرانی آبخیز را فرآیندی پویا، چندبُعدی و چندکنشگری دانسته‌اند که هدف آن تضمین سلامت منابع، معیشت پایدار و کاهش آسیب‌های محیط‌زیست است. مسافری و همکاران (۱۴۰۳) نیز بر ضرورت رویکرد سیستم‌نگر و بهره‌گیری همزمان از الگوهای بومی و نهادی تأکید کرده‌اند. از نظر آن‌ها، حکمرانی مؤثر بر آبخیز نه تنها به سیاست‌گذاری بالا به پایین وابسته نیست، بلکه نیازمند ظرفیت‌سازی محلی، تبادل دانش و هماهنگی بین‌سازمانی است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع پژوهش‌های کاربردی است و با ماهیتی توصیفی-تحلیلی به دنبال واکاوی پیشران‌های حکمرانی منابع آب در حوزه‌های آبخیز فرامرزی، در بستر هیدروپلیتیک، طراحی شده است. در این راستا، فرآیند تحقیق بر ترکیب رویکردهای کیفی و کمی استوار است که هم‌زمان از پژوهش‌های اسنادی، تحلیل‌های تخصص‌محور نخبگان، و ابزارهای نرم‌افزاری آینده‌پژوهی بهره می‌گیرد. بدین منظور، داده‌های تحقیق از سه مسیر اصلی شامل مرور ادبیات نظری، مشاهده‌های میدانی، و تحلیل ساختاری روابط میان متغیرها گردآوری و تحلیل شده‌اند.

در گام نخست، به منظور تدوین چارچوب نظری و استخراج مفاهیم بنیادین مرتبط با حکمرانی منابع آب، پژوهش‌های کتابخانه‌ای و اسنادی با بهره‌گیری از منابع علمی داخلی و بین‌المللی صورت گرفت. هم‌زمان، شاخص‌ها و مؤلفه‌های اولیه مؤثر بر حکمرانی آب در منابع معتبر، اسناد بالادستی و پژوهش‌های پیشین شناسایی و به صورت اولیه دسته‌بندی شدند. پس از آن، به منظور تکمیل و بومی‌سازی این شاخص‌ها، مرحله میدانی تحقیق با حضور نخبگان حوزه‌های مرتبط آغاز شد. در این مرحله، از روش گلوله‌برفی برای شناسایی و انتخاب ۳۰ نفر از خبرگان شامل ۲۰ کارشناس فعال در مدیریت منابع آب و ۱۰ نفر از صاحب‌نظران دانشگاهی در حوزه‌های جغرافیای سیاسی، منابع طبیعی و سیاست‌گذاری محیط‌زیستی بهره گرفته شد. روش گلوله‌برفی^۳ به دلیل دسترسی به خبرگان سخت‌یافت در مدیریت منابع آب و حوزه‌های دانشگاهی، ایجاد اعتماد در شبکه‌های حرفه‌ای، و کارایی در شناسایی

و پیچیده‌ای چون آب، مستلزم تعامل نهادها و کنشگران در سطوح محلی، ملی و فراملی به صورت شبکه‌ای و هم‌افزا است. بر این مبنای، دولت مرکزی تنها یکی از سطوح حکمرانی محسوب می‌شود و باید با کنشگرانی همچون شوراهای محلی، سازمان‌های غیردولتی، نهادهای فراملی و حتی جامعه علمی در یک ساختار هم‌پیوند به تعامل برسد (تمسکی و همکاران، ۱۴۰۱). این مدل حکمرانی، مبتنی بر اصل تکمیل‌کنندگی سطوح است؛ به گونه‌ای که هیچ سطحی بر دیگری سلطه ندارد و مسئولیت‌ها به صورت تطبیق‌پذیر باز توزیع می‌شوند (Pahl-Wostl, ۲۰۱۵). در این راستا، یکی از مفاهیم مکمل و تقویت‌کننده هیدروپلیتیک و حکمرانی چند سطحی در مدیریت آب، «حکمرانی آبخیز»^۱ است. این رویکرد، برخلاف مدیریت سنتی آب، بر مشارکت‌پذیری، شفافیت، پاسخ‌گویی و هماهنگی چندسطحی تأکید دارد و تمامی ذی‌نفعان از دولت تا جامعه محلی را در فرآیند تصمیم‌گیری مشارکت می‌دهد (Trottier, ۲۰۰۸). در این بین اصول کلیدی حکمرانی آبخیز همچون عدالت فضایی، انسجام نهادی، و پیوند افقی و عمودی بین سطوح محلی، ملی و فراملی، به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز مرزی، اهمیتی دوچندان می‌یابد (OECD, ۲۰۱۵). نظریه حکمرانی چندسطحی نیز با تمرکز بر تعامل نهادهای محلی، ملی، و فراملی، امکان مدیریت کارآمد منابع آب فرامرزی را فراهم می‌کند (Hooghe و Marks, ۲۰۰۳). این چارچوب با هماهنگی بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری، از مدیریت محلی آبخیز تا سیاست‌گذاری بین‌المللی، پایداری و کاهش منازعات را تقویت می‌کند (Pahl-Wostl, ۲۰۱۵). در پیوند با این مفهوم، «مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز»^۲ نیز به عنوان چارچوبی عملیاتی و تلفیقی معرفی شده است. این رویکرد با هدف افزایش رفاه اقتصادی و اجتماعی بدون آسیب به بوم‌سازگان طراحی شده و بر یکپارچگی نهادی، استفاده از داده‌های بومی، و مشارکت فعال ذی‌نفعان تأکید دارد (Rahaman و Varis, ۲۰۰۹). در سطح عملیاتی، حکمرانی چندسطحی در حوزه‌های آبخیز مرزی نظیر هریرود، نه تنها یک امکان بلکه یک ضرورت ساختاری است. در چنین بسترهایی، تنظیم روابط میان سطوح مختلف تصمیم‌گیری، طراحی نهادهای میان‌سطحی، و همسویی سیاست‌های محلی، ملی و بین‌المللی، لازمه دستیابی به پایداری و جلوگیری از منازعه است. تجارب جهانی حاکی از آن‌اند که بدون حکمرانی چندسطحی، حتی پیشرفته‌ترین ابزارهای مدیریتی نیز در مهار بحران آب ناکارآمد خواهند بود. در نتیجه، تلفیق مفاهیم هیدروپلیتیک، حکمرانی آبخیز و حکمرانی چندسطحی، چارچوبی جامع برای تحلیل

افراد متخصص انتخاب شد (Kirchherr و Charles, ۲۰۱۸). این روش برای موضوعات بین‌رشته‌ای مانند هیدروپلیتیک که نیاز به دیدگاه‌های متنوع دارد، مناسب است (Atkinson و Flint, ۲۰۰۱). ابزار گردآوری داده در این بخش، مصاحبه‌های نیمه‌ساخت‌یافته و پرسشنامه‌های تخصصی بود که طی دو مرحله و بر اساس اصول تحلیل اثرات متقابل طراحی شد. برای تحلیل داده‌ها و ارزیابی روابط میان متغیرهای شناسایی‌شده، از تکنیک تحلیل ساختاری اثرات متقابل بهره‌گیری شد. این تکنیک که یکی از روش‌های پایه در آینده‌پژوهی محسوب می‌شود، امکان شناسایی و سنجش تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل متغیرها را در قالب یک ماتریس $N \times N$ فراهم می‌آورد. در اینجا، تمامی متغیرهای منتخب، در قالب ماتریس‌های عددی ارزش‌گذاری شدند و با استفاده از قضاوت تخصصی خبرگان، میزان اثر مستقیم، غیرمستقیم و پتانسیل تأثیرگذاری هر متغیر بر سایر متغیرها تعیین شد. این مقادیر شامل ارزش‌های عددی از ۰ (بدون اثر) تا ۳ (اثر زیاد) و نماد P (اثر بالقوه) بودند که در قالب نرم‌افزار میک‌مک^۴ پردازش شدند. نرم‌افزار میک‌مک ابزار تحلیل ساختاری است که برای شناسایی و تحلیل روابط بین متغیرهای کلیدی در سیستم‌های پیچیده، به‌ویژه در پژوهش‌های آینده‌پژوهی و تصمیم‌گیری استراتژیک، استفاده می‌شود و با ارائه خروجی‌هایی مانند جداول و نمودارها، به درک تأثیر و وابستگی متغیرها کمک می‌کند (Godet, ۱۹۹۹). قدرت این روش در آن است که با عبور از نگاه تک‌بعدی به آینده، ارتباطات پیچیده میان متغیرها را به‌صورت شبکه‌ای آشکار می‌سازد و در نهایت، مهم‌ترین پیشران‌های کلیدی آینده را استخراج می‌کند.

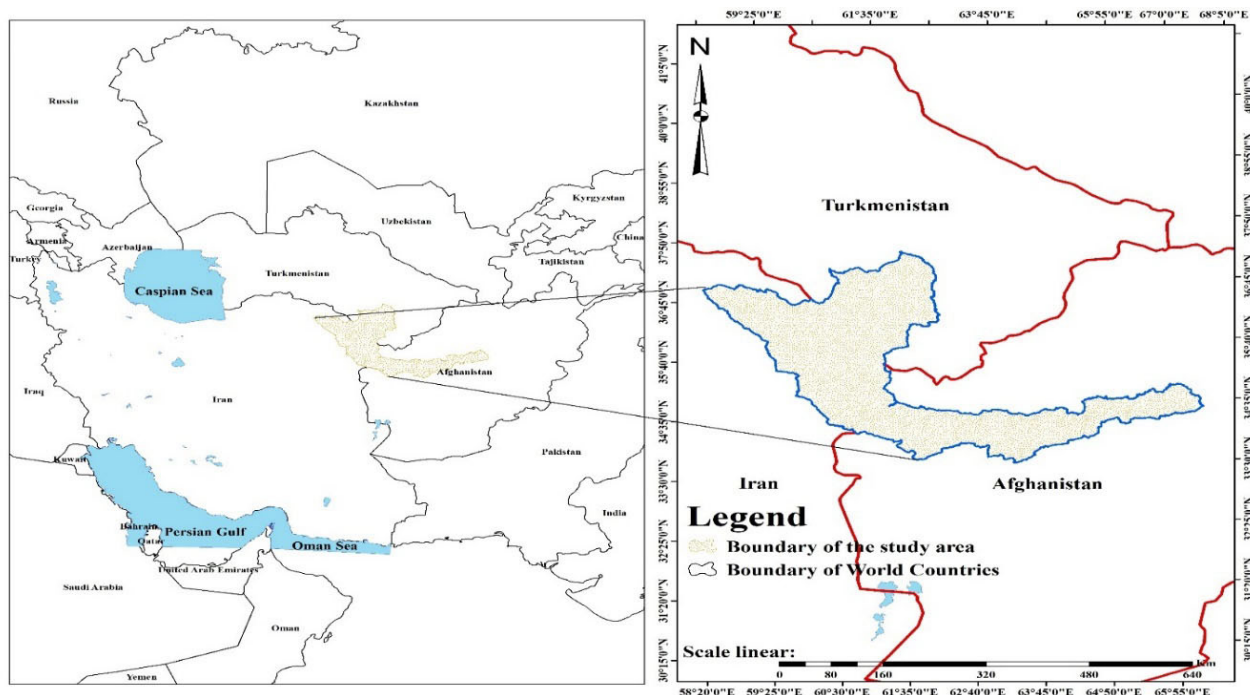
در ادامه، برای درک وضعیت سیستم حکمرانی آب در شرایط عدم‌قطعیت، از روش تحلیل ساختاری نیز بهره گرفته شد. این روش، با رویکرد سیستمی و تلفیق داده‌های کیفی و کمی، روابط درونی متغیرها را در محور تأثیر و تأثر بررسی می‌کند و با قرار دادن متغیرها در یک فضای دوبعدی، الگوهای پراکنش آن‌ها را نمایش می‌دهد. خروجی نهایی این تحلیل، شناسایی متغیرهای کلیدی، تعیین نقاط تمرکز سیستم و زمینه‌سازی برای طراحی سناریوهای آینده است.

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز هریرود به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و راهبردی‌ترین حوزه‌های آبخیز فرامرزی در آسیای مرکزی و خاورمیانه، میان سه کشور ایران، افغانستان و ترکمنستان مشترک است. این حوزه با گستره‌ای حدود ۱۱۲ هزار کیلومتر مربع، نقشی

حیاتی در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و نیز پایداری محیط‌زیست در نواحی تحت پوشش خود ایفا می‌کند (مشهدی و اکبری، ۱۳۹۹). رودخانه هریرود که در افغانستان با نام «هریرود» و در ترکمنستان با عنوان «تجن» شناخته می‌شود از دامنه‌های غربی کوه‌های بابا در مرکز افغانستان سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسافتی در حدود ۱۱۰۰ کیلومتر در جهت شمال‌غربی، از مناطق مختلفی نظیر هرات، مرز ایران - افغانستان، دشت‌های سرخس و نهایتاً مناطق جنوبی ترکمنستان عبور می‌کند و در نهایت، به دشت قره‌قوم می‌ریزد و به دریاچه فصلی ساریقمیش منتهی می‌شود. این رودخانه در گستره مختصات جغرافیایی ۳۳ تا ۳۶ درجه عرض شمالی و ۶۰ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده و در مسیر خود، اقلیم‌های متنوع، توپوگرافی کوهستانی، دشت‌های آبرفتی و زمین‌های کشاورزی حاصلخیز را در بر می‌گیرد. از حیث اقلیم‌شناسی، رژیم جریان هریرود وابسته به بارش‌های فصلی، ذوب برف‌های زمستانه و بارندگی‌های پراکنده بهاری است و در نتیجه، جریان آن نوسانات سالانه چشمگیری دارد. طبق گزارش‌ها، متوسط آورد سالانه این رودخانه در محل سد دوستی حدود ۱/۲ میلیارد متر مکعب برآورد شده، با این حال، نوسانات اقلیمی، کاهش بارندگی، برداشت‌های انسانی و احداث سدهای بالادست، تغییرات شدیدی در حجم جریان آن ایجاد کرده‌اند (آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۰).

اهمیت رودخانه هریرود در تأمین منابع آبی به‌ویژه در استان خراسان رضوی بسیار چشمگیر است. شهر مشهد و مناطق اطراف آن با جمعیتی بالغ بر دو میلیون نفر، وابستگی شدیدی به جریان این رودخانه دارند. در همین راستا، سد دوستی به‌عنوان یک پروژه مشترک میان ایران و ترکمنستان احداث شده است تا آب مورد نیاز شرب و کشاورزی را تأمین و تنظیم نماید (آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۰). با وجود این، تحولات اخیر در سمت بالادست، به‌ویژه احداث سد سلما در افغانستان و برداشت‌های بی‌ضابطه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، موجب کاهش محسوس جریان ورودی به ایران شده است. افزون بر این، روندهای ناشی از تغییرات اقلیمی نظیر خشکسالی‌های پی‌درپی، افت کیفیت منابع آب، و پدیده ریزگردها نیز در تشدید تنش‌های آبی نقش‌آفرین بوده‌اند (UNEP, ۲۰۱۶). از منظر ژئوپلیتیکی، رودخانه هریرود در موقعیتی حساس واقع شده است. این رودخانه نه تنها منبعی برای تأمین آب، بلکه بستری برای تعامل، چالش، یا همکاری میان سه کشور ذی‌نفع است. در حالی‌که بخش اعظم آورد رودخانه در سرزمین افغانستان تولید می‌شود، نیازهای مصرفی پایین‌دست به‌ویژه در ایران و



شکل ۱- تصویر موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز هریرود

جدول ۱- شاخص‌ها و عوامل اولیه موثر بر مناسبات هیدروپلیتیک هریرود

متغیرها	شناسه	ردیف
تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب	H1	۱
ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب	H2	۲
بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب	H3	۳
ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌ای	H4	۴
تمرکز بر حکمرانی محلی آب	H5	۵
استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه حقایق	H6	۶
مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی	H7	۷
سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی در کنار اقتصاد کشاورزی	H8	۸
درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی	H9	۹
انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب	H10	۱۰

ترکمنستان به‌شدت به استمرار و کفایت این جریان وابسته است. عدم وجود رژیم حقوقی الزام‌آور، فقدان ساختارهای حکمرانی چندجانبه، و نیز وابستگی متقابل منابع و کاربران، سبب شده است که حوزه هریرود به یکی از نمونه‌های مهم تحلیل هیدروپلیتیک و مدیریت تنش‌های منابع آب در سطح منطقه‌ای تبدیل شود (شکل ۱).

یافته‌ها

شاخص‌ها و عوامل اولیه موثر بر هیدروپلیتیک هریرود

فرآیند استخراج متغیرها و شاخص‌های تأثیرگذار بر مناسبات هیدروپلیتیک هریرود، ابتدا از طریق بررسی منابع نظری، پژوهش‌های موردی، و مشورت با خبرگان به‌وسیله جلسات طوفان فکری صورت گرفت. در این گام، تلاش شد تا کلیه عناصر درون‌سیستمی و برون‌سیستمی که در شکل‌دهی به حکمرانی منابع آب مؤثر هستند، شناسایی و مورد اجماع قرار گیرند. نتیجه این مرحله، تدوین فهرستی از ده متغیر کلیدی بود که دربردارنده مؤلفه‌هایی چون تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی در بستر هیدروپلیتیک، ارتقای فرهنگ مصرف آب، بهره‌گیری از دانش بومی و مدیریت سیلاب، حکمرانی محلی، استفاده از توافق‌نامه‌های حق‌آبه، مدیریت هماهنگ حوزه‌های بین‌المللی، سرمایه‌گذاری در بخش‌های جایگزین کشاورزی، مشارکت نهادهای غیردولتی (همچون سمن‌ها و تعاونی‌ها) و انتقال صنایع آب‌بر است (جدول ۱).

بر اساس تحلیل خروجی اولیه ماتریس، ویژگی‌های آماری مدل در جدول (۲) خلاصه شده است. طبق این داده‌ها، ماتریس تحلیل دارای ضریب پُرشدگی ۸۳٪ بوده و این مقدار در شرایطی به دست آمده که تعداد صفرها و یک‌ها به‌صورت مساوی (۱۷ مورد)، تعداد ارزش‌های دو برابر با ۲۸، تعداد ارزش‌های سه (بالاترین شدت اثرگذاری) برابر با ۳۵، و ارزش‌های نماد P نیز سه مورد ثبت شده است. این وضعیت از یک‌سو نشانگر تنوع سطح اثرگذاری متغیرها است و از سوی دیگر، بیانگر اعتبار سنجش و دقت نظرات نخبگان می‌باشد؛ چرا که تکرار داده‌ها در دو مرحله باعث افزایش پایایی شده است. از تحلیل جدول مذکور می‌توان دریافت که بیش‌ترین فراوانی به متغیرهایی با اثرگذاری زیاد (۳۵ مورد) اختصاص یافته و این بدان معناست که بخش قابل توجهی از متغیرهای سیستم، دارای نقشی کلیدی در شکل‌دهی به الگوی حکمرانی آب در حوزه هریود هستند. همچنین، ۲۸ رابطه دارای اثر متوسط، ۱۷ رابطه ضعیف و ۱۷ مورد فاقد اثر مستقیم بوده‌اند. وجود سه رابطه با اثر بالقوه (P) نیز حاکی از آن است که برخی از متغیرها گرچه در ظاهر فاقد اثر مستقیم‌اند، اما در شرایط خاص یا با متغیرهای واسط، می‌توانند نقش مؤثری در سیستم ایفا کنند.

جدول ۲- ویژگی‌های ماتریس اولیه براساس نظر نخبگان و متخصصین حکمرانی منابع طبیعی

شاخص	ارزش عددی
اندازه ماتریس ^۵	۱۰
تعداد تکرار داده‌ای ^۶	۲
تعداد صفرها ^۷	۱۷
تعداد یک‌ها ^۸	۱۷
تعداد دوها ^۹	۲۸
تعداد سه‌ها	۳۵
تعداد pها	۳
شاخص پرشدگی	۸۳٪

تحلیل تأثیرگذاری وابستگی مستقیم، غیرمستقیم در سیستم هیدروپلیتیک هریود

بر اساس داده‌های حاصل از ماتریس اثرگذاری مستقیم، روشن است که برخی از متغیرها در ساختار سیستم هیدروپلیتیکی

حوزه هریود، قدرت اثرگذاری بالایی بر سایر متغیرها دارند (جدول ۳). برای نمونه، متغیر «تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» در تعامل با متغیرهایی همچون «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب»، «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب»، «تمرکز بر حکمرانی محلی آب»، و «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب»، امتیاز بالایی را کسب کرده است که نشان‌دهنده جایگاه محوری این متغیر در بساخت سیاست‌های آبی در سطح محلی و فرامحلی است. این متغیر، به‌مثابه یک عامل راهبردی، به‌واسطه توانایی‌اش در بازتعریف الگوهای رفتاری، فرهنگی و اجتماعی، تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر نظم و هم‌افزایی نهادی دارد. از سوی دیگر، متغیر «استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه‌های حق‌آبه» نیز با کسب امتیازهای بالا در تعامل با سایر مؤلفه‌ها، به‌ویژه «مهندسی اجتماعی»، «ارتقاء فرهنگ مصرف»، «تمرکز بر حکمرانی محلی» و «درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی»، موقعیتی مهم در ساختار سیستم دارد. اهمیت این متغیر از آن‌روست که با فعال‌سازی سازوکارهای مردمی و مشارکتی، مسیرهای شکل‌گیری توافقات محلی و بین‌دولتی را هموار می‌سازد. در همین راستا، متغیر «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» نیز با امتیازهای بالا در ارتباط با متغیرهایی مانند «تمرکز بر حکمرانی محلی»، «استفاده از بازیگران محلی» و «بهره‌گیری از دانش بومی»، نقش واسط مؤثری در تسهیل تعاملات فرامرزی ایفا می‌کند.

بررسی مقادیر مربوط به متغیر «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب» نیز نشان می‌دهد که این متغیر با وجود آنکه در ذات خود یک سیاست مکمل و جبرانی تلقی می‌شود، در تعامل با متغیرهایی نظیر «سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی»، «ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین‌حوزه‌ای»، و «درگیر کردن بهره‌برداران محلی»، اثرگذاری چشم‌گیری دارد. این امر حاکی از آن است که سیاست انتقال صنایع در عمل به‌عنوان یک راهبرد مدیریت تقاضا، می‌تواند ساختار مصرف منابع را دگرگون ساخته و فشار بر منابع آبی مشترک را کاهش دهد. در این میان، متغیر «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب» در کنار متغیر «درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی»، ضمن دریافت اثر از متغیرهای کلیدی، خود نیز بر متغیرهایی نظیر «ارتقاء فرهنگ مصرف» و «استفاده از بازیگران محلی» تأثیر می‌گذارد و ساختاری شبه‌دوسویه را شکل می‌دهند که هم دارای وابستگی و هم دارای اثرگذاری هستند. این وضعیت، آن‌ها را به متغیرهای

انتقالی در شبکه تعاملات بدل می‌سازد؛ عناصری که هم از بالا هدایت می‌شوند و هم به پایین بازخورد می‌دهند.

در نقطه مقابل، متغیر «ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین‌حوزه‌ای» کم‌ترین سطح اثرگذاری را از خود نشان داده است. این متغیر بیشتر در جایگاه یک پاسخگر سیستمی قرار می‌گیرد تا پیشران کنشگر؛ به عبارت دیگر، خود بیشتر متأثر از تصمیمات کلان حکمرانی و تغییر در متغیرهایی نظیر «تمرکز بر حکمرانی محلی» یا «سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی» است و به ندرت نقشی فعال در شکل‌دهی به ساختارها دارد. بنابراین این متغیر را می‌توان در دسته عناصر پاسخ‌پذیر یا وابسته طبقه‌بندی کرد که در صورت تغییر متغیرهای بالادستی، رفتار آن نیز به تبع دگرگون خواهد شد. تحلیل کیفیت مقادیر درج‌شده در سطرها و ستون‌ها نیز نشان می‌دهد که برخی متغیرها، به‌ویژه «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آب‌خیز بین‌المللی»، در عین برخورداری از سطح بالای اثرگذاری، از تأثیرپذیری نسبتاً پایینی برخوردارند و این مسئله آن‌ها را در دسته متغیرهای مستقل یا پیشران قرار می‌دهد. در حالی که متغیرهایی نظیر «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب» و «بهره‌گیری از دانش بومی» هرچند بر دیگر مؤلفه‌ها اثر دارند، خود نیز از سایر متغیرها تأثیر می‌پذیرند و بنابراین در دسته متغیرهای دوسویه یا پیونددهنده قرار می‌گیرند.

همچنین در برخی سلول‌های ماتریس، نماد P مشاهده می‌شود که بیانگر وجود اثر بالقوه (مستقیم یا غیرمستقیم) میان متغیرهاست. این پدیده به‌ویژه در روابط میان «مهندسی اجتماعی» با «استفاده از بازیگران محلی» و همچنین میان

«درگیر کردن بهره‌برداران محلی» با «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آب‌خیز بین‌المللی» نمایان شده است. وجود این روابط پنهان و مشروط، دلالت بر آن دارد که در شرایط خاص و در چارچوب‌های نهادی معین، این متغیرها ممکن است از موقعیتی کلیدی در پویایی سیستم برخوردار شوند، حتی اگر در تحلیل مستقیم ضعیف ظاهر شده باشند.

تحلیل مقادیر حاصل از ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم (جدول ۴) نشان می‌دهد که ساختار هیدروپلیتیکی حوزه رودخانه هریرود بر پایه تعاملاتی متراکم و چندلایه میان متغیرهایی شکل گرفته است که هر یک به درجات متفاوتی اثرگذاری و تأثیرپذیری دارند. در این میان، متغیر «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آب‌خیز بین‌المللی» با مقدار اثرگذاری ۱۳۴۸ و تأثیرپذیری ۸۴۲، بالاترین جایگاه را در میان همه متغیرها از منظر قدرت کنشگری ایفا می‌کند. این متغیر، به واسطه نقش ساختاری خود در هم‌پیوندی سازوکارهای حکمرانی چندملیتی، ظرفیت مداخله‌گری بالایی در تنظیم روابط آبی دارد و می‌توان آن را به‌عنوان پیشران کلیدی در طراحی سناریوهای آینده حکمرانی در این حوزه تلقی کرد.

از سوی دیگر، متغیر «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب» با بیشترین مقدار اثرپذیری (۱۲۹۲) در حالی که اثرگذاری نسبتاً پایینی (۷۸۶) دارد، در زمره متغیرهایی قرار می‌گیرد که به‌شدت متأثر از تصمیمات بالادستی و تغییرات نهادی و اجتماعی هستند. جایگاه این متغیر نشان می‌دهد که هرگونه برنامه‌ریزی برای ارتقای نقش دانش بومی باید مبتنی بر اصلاح ساختارهای کلان و حمایت از

جدول ۳- ماتریس اثرگذاری مستقیم متقاطع و امتیازهای به دست آمده

شناسه	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
H1	۰	۳	۳	۲	۳	P	۲	۳	۲	۳
H2	۳	۰	۲	۱	۳	۳	۱	۱	۰	۰
H3	۱	۳	۰	۱	۱	۰	۲	۰	۳	۲
H4	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۲	۱	۱
H5	۲	۲	۲	۳	۰	۰	۳	۱	۳	۲
H6	۳	۳	۳	۱	۳	۰	۰	۲	۳	۱
H7	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۰	۰	۳	۲
H8	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۲	۰	۱	۱
H9	۳	۳	۳	۳	۲	P	P	۰	۰	۲
H10	۱	۳	۳	۲	۳	۳	۱	۳	۳	۰

الگوهای مشارکتی باشد. وضعیت مشابهی در متغیر «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب» نیز دیده می‌شود که با اثرپذیری ۱۲۳۵ و اثرگذاری ۷۸۶، وابستگی بالا و قدرت اثرگذاری محدود را نشان می‌دهد. این دو متغیر را می‌توان در دسته متغیرهای وابسته طبقه‌بندی کرد؛ عناصری که تغییر در سایر متغیرها باعث دگرگونی در آن‌ها می‌شود اما خود به‌تنهایی نیروی محرکه‌ای برای تحول سیستم ندارند.

بررسی متغیر «تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» که دارای اثرگذاری ۱۱۷۹ و تأثیرپذیری ۱۰۶۷ است، نشان می‌دهد که این مؤلفه هم اثرگذار و هم اثرپذیر است و در نتیجه در دسته متغیرهای دوسویه قرار می‌گیرد. چنین متغیرهایی ضمن آنکه از تحولات ساختاری تأثیر می‌پذیرند، خود نیز قادر به بازآفرینی مسیرهای تحول هستند. بنابراین این متغیر می‌تواند نقش تسهیل‌گر، تسریع‌کننده یا کندکننده در اجرای سیاست‌های منطقه‌ای ایفا کند، به‌ویژه آنکه در تعامل با مؤلفه‌هایی چون حکمرانی محلی، فرهنگ مصرف، و نقش نهادهای محلی قرار دارد.

وضعیتی مشابه در متغیر «تمرکز بر حکمرانی محلی آب» دیده می‌شود که با اثرگذاری ۱۱۷۹ و اثرپذیری ۱۰۱۱، جایگاهی در مرز متغیرهای دوسویه و پیشران دارد. این متغیر، نقطه تقاطع میان حکمرانی بالادستی و کنشگری محلی است و می‌تواند از یک‌سو تابع تصمیمات نهادی کلان، و از سوی دیگر

شکل‌دهنده به رفتار بهره‌برداران و شبکه‌های محلی باشد. در نقطه مقابل، متغیر «ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌ای» با کمترین میزان اثرگذاری (۵۰۵) و یکی از پایین‌ترین سطوح اثرپذیری (۱۰۱۱)، در جایگاه یک متغیر تابع و کم‌اثر ظاهر شده است.

این وضعیت نشان می‌دهد که پروژه‌های سخت‌افزاری صرف بدون پیوند با نظام حکمرانی نرم‌افزارمحور، قدرت چندانی در تنظیم پویایی‌های منطقه‌ای ندارند و بیشتر در پاسخ به سایر تصمیمات سیاسی و فنی فعال می‌شوند. متغیر «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب» با میزان اثرگذاری بالا (۱۱۷۹) و اثرپذیری نسبتاً پایین‌تر (۷۸۶) به‌وضوح در دسته پیشران‌های مستقل قرار دارد. این متغیر یکی از ابزارهای کلیدی مدیریت تقاضا محسوب می‌شود که قابلیت مداخله در الگوی مصرف آب، تنظیم فشار بر منابع موجود، و هدایت مسیر توسعه منطقه‌ای را دارد و در عین حال، کمتر تحت تأثیر تحولات سایر متغیرها قرار می‌گیرد.

متغیر «استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه‌های حق‌آبه» نیز با اثرگذاری ۱۱۲۳ و اثرپذیری ۸۴۲، در زمره مؤلفه‌های نسبتاً مستقل و مؤثر دسته‌بندی می‌شود. اهمیت این متغیر در آن است که می‌تواند با فعال‌سازی ظرفیت‌های محلی، فشار بر سطوح دیپلماتیک را کاهش داده و مدل‌های بومی حکمرانی را تقویت کند. در بررسی متغیر «درگیر کردن

جدول ۴- ماتریس تأثیرات مستقیم عوامل مؤثر بر وضعیت آینده هیدروپلیتیک رودخانه هریرو

ردیف	متغیر	اثرگذاری	اثرپذیری
۱	تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب	۱۱۷۹	۱۰۶۷
۲	ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب	۷۸۶	۱۲۳۵
۳	بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب	۷۸۶	۱۲۹۲
۴	ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌ای	۵۰۵	۱۰۱۱
۵	تمرکز بر حکمرانی محلی آب	۱۱۷۹	۱۰۱۱
۶	استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه حق‌آبه	۱۱۲۳	۸۴۲
۷	مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی	۱۳۴۸	۸۴۲
۸	سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی در کنار اقتصاد کشاورزی	۱۰۶۷	۹۵۵
۹	درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی	۸۴۲	۹۵۵
۱۰	انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب	۱۱۷۹	۷۸۶
	جمع	۹۹۹۴	۹۹۹۶

بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی» نیز مقادیر نسبتاً متعادلی ثبت شده است (اثرگذاری ۸۴۲، اثرپذیری ۹۵۵) که نشان می‌دهد این مؤلفه از ویژگی نیمه‌واسط برخوردار است؛ یعنی هم متأثر از تصمیم‌های کلان است و هم می‌تواند مسیر اجرای برنامه‌ها را در سطح خُرد شکل دهد. در نهایت، متغیر «سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی در کنار اقتصاد کشاورزی» با اثرگذاری ۱۰۶۷ و اثرپذیری ۹۵۵، در موقعیت نسبتاً متعادل و نزدیک به پیشران‌های اثرگذار قرار می‌گیرد. این مؤلفه، به‌ویژه در شرایط فشار آبی، می‌تواند به تغییر جهت الگوی اشتغال و توسعه محلی کمک کرده و مسیر وابستگی جوامع به منابع پرمصرف آبی را کاهش دهد.

تحلیل نتایج حاصل از ارزیابی اثرگذاری مستقیم متغیرها (جدول ۵) نشان می‌دهد که در میان ده پیشران شناسایی‌شده، چهار مؤلفه بیشترین قدرت مداخله و تأثیر مستقیم بر سایر اجزای سیستم هیدروپلیتیک حوزه هریود دارند.

در صدر این فهرست، «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» با کسب امتیاز ۱۳۴۸ قرار دارد که گویای نقش بی‌بدیل آن در ساختاربخشی به روابط میان‌دولتی، طراحی رژیم‌های حق‌آبه، و کاهش اصطکاکات ژئوپلیتیکی است. این پیشران با هدایت سازوکارهای مشارکتی فراملی، به‌مثابه یک محور انسجام‌بخش برای هم‌افزایی نهادهای محلی و بین‌المللی عمل می‌کند. پس از آن، سه مؤلفه با امتیازهای برابر (۱۱۷۹) در جایگاه‌های بعدی اثرگذاری مستقیم قرار گرفته‌اند.

نخست، «تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» که با تأکید بر بازآرایی رفتار اجتماعی، نهادینه‌سازی الگوهای مصرف و بازتعریف رابطه انسان- منابع طبیعی، قادر است الگوی رفتاری سیستم را در سطوح محلی و کلان دگرگون سازد.

دوم، «تمرکز بر حکمرانی محلی آب» که با بازتوزیع اختیار از نهادهای مرکزی به ساختارهای منطقه‌ای، امکان طراحی الگوهای پاسخ‌گو و حساس به اقتضائات بومی را فراهم می‌سازد. و سوم، «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب» که به‌عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی فضایی، مستقیماً بر توزیع بار مصرف و تعادل بین تقاضا و عرضه منابع آب تأثیر می‌گذارد. اشتراک امتیاز این سه متغیر، حاکی از آن است که هم‌زمان با تأکید بر مدیریت فرامرزی، بازسازی ساختار درون‌ملی نیز برای اثربخشی حکمرانی ضروری است.

در تحلیل اثرگذاری غیرمستقیم، روند متفاوتی پدیدار شده که نشان‌دهنده تأثیر متغیرهای نرم‌افزارمحور و فرهنگی بر پایداری سیستم است. در این بخش، «بهره‌گیری از دانش

بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب» با امتیاز ۱۲۹۲ در صدر قرار دارد. این متغیر که در ظاهر کم‌تر مورد توجه سیاست‌های رسمی قرار می‌گیرد، در لایه‌های پنهان سیستم و از طریق حلقه‌های بازخورد اجتماعی، نقشی مهم در بازتولید تاب‌آوری اکولوژیکی ایفا می‌کند. پس از آن، «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب» با امتیاز ۱۲۳۵ در جایگاه دوم قرار دارد. این مؤلفه با اثرگذاری غیرمستقیم و عمیق، در شکل‌دهی به نگرش‌ها، مسئولیت‌پذیری اجتماعی و رفتار مصرفی بازیگران مؤثر است و به نوعی بستر نرم برای تحقق دیگر اهداف حکمرانی فراهم می‌آورد. در جایگاه سوم اثرگذاری غیرمستقیم، بار دیگر «تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» ظاهر می‌شود که نشان می‌دهد این متغیر علاوه بر اثرگذاری مستقیم، در سطوح غیرمستقیم نیز به‌واسطه اثرات فرهنگی و ساختاری گسترده، نفوذ بالایی در سیستم دارد. چنین موقعیتی این پیشران را به یک مؤلفه دوسویه و استراتژیک بدل می‌سازد که هم کنش‌گر است و هم بستر کنش دیگران. در نهایت، متغیر «ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین‌حوزه‌ای» با امتیاز ۱۰۱۱ در رتبه چهارم قرار دارد. برخلاف تصور رایج که این متغیر را صرفاً به‌عنوان ابزار مهندسی مستقیم می‌شناسد، تحلیل حاضر نشان می‌دهد که چنین اقدامات زیرساختی از طریق بازتنظیم جریان منابع و تعاملات منطقه‌ای، اثرات غیرمستقیم گسترده‌ای در ساختار سیستم حکمرانی ایجاد می‌کنند.

مقایسه دو مجموعه پیشران‌های کلیدی در تحلیل مستقیم و غیرمستقیم حاکی از آن است که برخی مؤلفه‌ها نظیر مهندسی اجتماعی دارای قدرت نفوذ هم‌زمان در دو سطح ساختاری و فرهنگی هستند. در مقابل، پیشران‌هایی همچون مدیریت هماهنگ بین‌المللی، اگرچه در حوزه اثرگذاری مستقیم بسیار مؤثر ظاهر شده‌اند، اما در اثرات غیرمستقیم جایگاه متوسط‌تری دارند.

از سوی دیگر، نقش پررنگ متغیرهای فرهنگی و بومی در لایه‌های پنهان تعاملات سیستم، بر اهمیت اتخاذ رویکردهای نرم، مشارکتی و بومی‌محور در کنار مداخلات سخت‌افزاری و نهادی صحنه می‌گذارد. برآیند این تحلیل دوگانه نشان می‌دهد که سیستم هیدروپلیتیکی رودخانه هریود تنها از طریق پیشران‌های سیاسی یا دیپلماتیک قابل مدیریت نیست، بلکه پایداری و اثربخشی حکمرانی آب در این منطقه در گرو تعامل مؤثر میان متغیرهای نهادی، فرهنگی، اجتماعی و کالبدی است. این نتیجه‌گیری مبنایی استوار برای ورود به فاز طراحی سناریوها و آینده‌پژوهی ترکیبی فراهم می‌آورد.

جدول ۵- ماتریس نهایی امتیاز تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم عوامل مؤثر بر وضعیت آینده هیدروپلیتیک رودخانه هریرود

ردیف	متغیر	اثرگذاری	اثرپذیری
۱	تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب	۱۱۶۹	۱۰۶۶
۲	ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب	۸۴۷	۱۲۳۱
۳	بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب	۷۷۵	۱۲۶۲
۴	ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌ای	۵۴۹	۱۰۰۰
۵	تمرکز بر حکمرانی محلی آب	۱۱۴۲	۱۰۲۹
۶	استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه حقایق	۱۱۲۵	۸۵۷
۷	مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی	۱۳۱۴	۸۲۵
۸	سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی در کنار اقتصاد کشاورزی	۱۰۷۲	۹۶۵
۹	درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی	۸۳۰	۹۵۱
۱۰	انتقال صنایع آب بر از مناطق کم‌آب	۱۱۷۴	۸۱۰
	جمع	۹۹۹۷	۹۹۹۶

زمینه انتقال صنایع، در عمل به‌شدت به زمینه‌های اجتماعی، قانونی، و نهادی وابسته است و نمی‌توان آن را صرفاً یک راه‌حل مستقل و ایزوله تلقی کرد. همچنین «تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» و «تمرکز بر حکمرانی محلی آب» که در تحلیل اثرگذاری به عنوان متغیرهای اصلی ساختاری ظاهر شده بودند، اینک با امتیازهای بالا در اثرپذیری مستقیم (۱۱۶۹ و ۱۱۴۲ به ترتیب) نشان می‌دهند که مسیر تحقق آن‌ها وابسته به ورودی‌های متعددی از سایر مؤلفه‌هاست؛ به‌ویژه از منظر زیرساخت‌های فرهنگی، نهادسازی، آموزش و مشارکت عمومی. بنابراین، این متغیرها را نمی‌توان صرفاً به‌عنوان طراحان آینده سیستم دانست؛ بلکه باید آن‌ها را حلقه‌های میانی دید که در برابر تغییر، هم حساس‌اند و هم سازنده.

در حوزه اثرپذیری غیرمستقیم، یک بار دیگر متغیر «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب» با امتیاز ۱۲۶۲، جایگاهی منحصربه‌فرد پیدا می‌کند. این مؤلفه که در لایه‌های فرهنگی و اجتماعی تعبیه شده، بیش از آنکه به صورت مستقیم هدف برنامه‌های حکمرانی باشد، در مواجهه با زنجیره‌ای از تحولات ساختاری، فرهنگی و سیاسی دچار تحول می‌شود. این نکته تأیید می‌کند که تاب‌آوری دانش بومی نه از درون خود، بلکه از طریق سیاست‌های کلان و تعاملات

با گذار از تحلیل اثرگذاری به تحلیل اثرپذیری، چشم‌انداز جدیدی از سازوکارهای درونی سیستم هیدروپلیتیکی هریرود گشوده می‌شود؛ جایی که می‌توان دید کدام مؤلفه‌ها بیش از آنکه در نقش کنشگر ظاهر شوند، بیشتر نقش پذیرنده، بازتاب‌دهنده یا «واکنشی» نسبت به تحولات محیطی را ایفا می‌کنند. در این راستا، تحلیل اثرپذیری مستقیم حاکی از آن است که متغیر «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» نه‌تنها اثرگذارترین مؤلفه در نظام تحلیل مستقیم بود، بلکه به‌طور هم‌زمان، بیشترین سطح اثرپذیری مستقیم (با امتیاز ۱۳۱۴) را نیز داراست. این دوگانگی جایگاه نشان می‌دهد که این متغیر در قلب یک شبکه دوسویه تعامل قرار گرفته و نه‌تنها کنشگری ساختاری دارد، بلکه به‌شدت از تغییر در سایر مؤلفه‌ها متأثر می‌شود؛ به‌گونه‌ای که عدم انسجام در مؤلفه‌های فرهنگی، محلی یا زیربنایی می‌تواند کارکرد این مدیریت فرامرزی را به چالش بکشد. دومین مؤلفه در بخش اثرپذیری مستقیم، یعنی «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب» با امتیاز ۱۱۷۴، جایگاه قابل توجهی دارد؛ چراکه این متغیر اگرچه در تحلیل اثرگذاری در زمره پیشران‌های سخت و بالادستی قرار گرفت، اما اینک آشکار می‌شود که خود نیز تحت تأثیر مستقیم شرایط دیگر مؤلفه‌ها عمل می‌کند. این بدان معناست که سیاست‌گذاری فضایی در

بین نهادی بازتولید یا تضعیف می‌شود. در جایگاه دوم، «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب» با امتیاز ۱۲۳۱، بر جایگاهی مشابه تأکید می‌کند. این متغیر نیز همواره در معرض کنش‌های ساختاری دیگر قرار دارد و اگرچه نقش تقویت‌کننده در حکمرانی ایفا می‌کند، اما تحقق آن نیازمند ترکیبی از حمایت نهادهای رسمی، فشار اجتماعی و آموزش گسترده است. میزان اثرپذیری این دو متغیر نشان می‌دهد که هرگونه تلاش برای تغییر پایدار در رفتار مصرف‌کنندگان، تنها از مسیر اصلاح محیط کلان حکمرانی می‌گذرد. جایگاه سوم و چهارم در اثرپذیری غیرمستقیم، بار دیگر به «مهندسی اجتماعی جامعه» و «تمرکز بر حکمرانی محلی آب» اختصاص دارد (با امتیازهای ۱۰۶۶ و ۱۰۱۱). تکرار این دو متغیر در هر دو بخش اثرپذیری (مستقیم و غیرمستقیم) حاکی از آن است که این مؤلفه‌ها از پیچیده‌ترین ساختارهای رفتاری در سیستم برخوردارند؛ نه فقط چون خود از عوامل مختلف تأثیر می‌پذیرند، بلکه به دلیل آن‌که در مقابل این تأثیرات، بازخورد ساختاری نیز تولید می‌کنند. به عبارتی، نوعی کنش-واکنش دوسویه میان آن‌ها و بقیه مؤلفه‌ها شکل گرفته که جایگاه آن‌ها را از «متغیر ساده» به «عقددهای سیستمی» ارتقا می‌دهد. تحلیل هم‌زمان این داده‌ها با نتایج تحلیل اثرگذاری، این باور را تقویت می‌کند که در سیستم‌های پیچیده، برخی از مؤلفه‌ها به‌صورت هم‌زمان دارای نقش بالا در «دریافت» و «ایجاد» تغییرند. چنین متغیرهایی بیشترین پتانسیل را برای ایفای نقش راهبردی دارند؛ چراکه نه فقط ساختارها را تغییر می‌دهند، بلکه در برابر تغییر نیز بازتابی حساس و معنی‌دار از خود نشان می‌دهند. این دسته از متغیرها، به‌ویژه اگر با مداخلات سیاستی مناسب تقویت شوند، می‌توانند به کانون‌های تحول پایدار و هوشمند در حکمرانی آب فرامرزی بدل شوند.

انتخاب نهایی پیشرانهای کلیدی تأثیرگذار بر آینده وضعیت هیدروپلیتیکی رودخانه هریود

با تجمیع امتیازات حاصل از اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم و غیرمستقیم، تحلیل نهایی نشان می‌دهد که ساختار سیستم هیدروپلیتیکی حوزه رودخانه هریود توسط مجموعه‌ای از متغیرهای دارای برهم‌کنش بالا شکل گرفته که نه تنها قابلیت مداخله و هدایت دارند، بلکه در برابر تغییر نیز واکنش‌پذیری قابل توجهی از خود نشان می‌دهند. بر این اساس، امتیاز نهایی به‌دست‌آمده برای هر متغیر در جدول (۶) حاکی از آن است که متغیر «تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب» با کسب امتیاز ترکیبی ۴۴۸۱ در

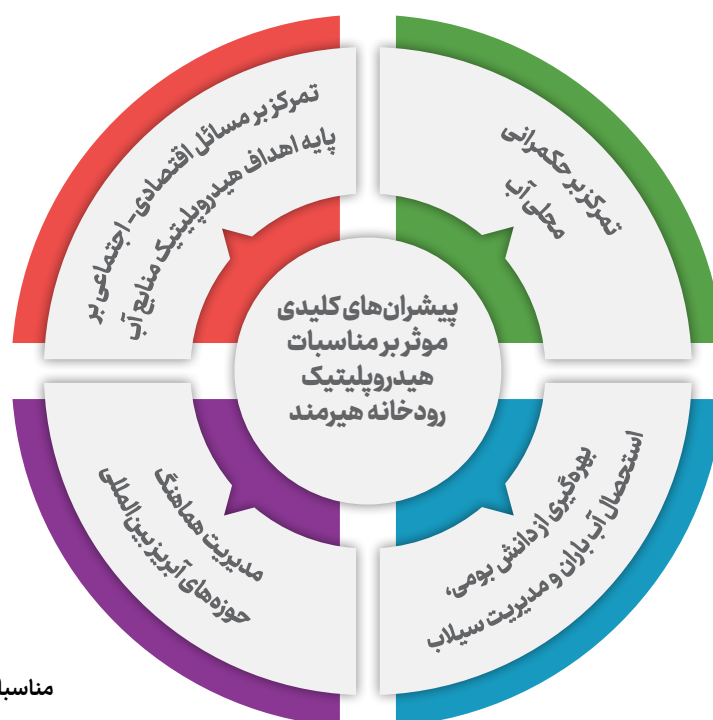
صدر قرار دارد. این مؤلفه، به‌عنوان قوی‌ترین عنصر سیستمی، در بطن شبکه روابط انسانی، نهادی و اجتماعی قرار گرفته و توانایی سازمان‌دهی مجدد رفتارها، باورها و انتظارات در سطح حوزه را دارد. چنین جایگاهی تنها زمانی محقق می‌شود که متغیری هم تأثیرگذار باشد، هم تأثیرپذیر، و هم بتواند مسیر بازخورد را تقویت کند.

پس از آن، «تمرکز بر حکمرانی محلی آب» با امتیاز نهایی ۴۳۶۱ در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. این متغیر که ساختار قدرت و توزیع منابع در مقیاس محلی را بازتعریف می‌کند، به‌نوعی پیوند بین فضای نهادی ملی و کنش‌گری محلی را برقرار می‌سازد و از این جهت در نظم‌پذیری سیاسی و مدیریت منازعات منطقه‌ای نقش اساسی ایفا می‌کند. تفاوت ناچیز امتیاز آن با متغیر «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» (با امتیاز ۴۳۲۹) نشان می‌دهد که حکمرانی درون‌مرزی و همکاری‌های فرامرزی دو بال ضروری برای تحقق نظام پایدار در مدیریت منابع آب مشترک هستند. جایگاه چهارم در این تحلیل نهایی، به متغیر «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب» با امتیاز ۴۱۱۵ اختصاص یافته است. نقش این متغیر در فعال‌سازی ظرفیت‌های پنهان جوامع محلی، بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع غیرمعارف و مقاوم‌سازی در برابر نوسانات اقلیمی، آن را به یکی از موتورهای حیاتی تاب‌آوری در حوزه هریود بدل ساخته است. این مؤلفه برخلاف عناصر نهادی یا سیاسی، بیشتر در سطوح خرد و درون‌جوامعی عمل می‌کند، اما تأثیر آن به‌صورت تجمعی در مقیاس کلان بروز می‌یابد.

همچنین متغیر «ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب» با امتیاز ۴۰۹۹، در رده بعدی قرار گرفته است و در کنار مؤلفه‌هایی چون «استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه‌های حق‌آبه» (با امتیاز ۳۹۴۷) و «انتقال صنایع آب‌بر از مناطق کم‌آب» (با امتیاز ۳۹۴۹) ساختاری از متغیرهای فرهنگی-ساختاری را شکل می‌دهند که خود به‌تنهایی قدرت اجرایی بالا ندارند، اما نقش تعیین‌کننده‌ای در توفیق یا ناکامی سیاست‌های بالادستی ایفا می‌کنند. این مؤلفه‌ها را می‌توان پیشران‌های واسطه‌دانش؛ عناصری که نه در رأس ساختار تصمیم‌گیری، بلکه در بطن فرایند اجرای سیاست‌ها قرار دارند. در مقابل، متغیرهایی نظیر «ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌ای» با امتیاز نهایی ۳۰۶۵ و «درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی» با امتیاز ۳۵۷۸، در پایین‌ترین مراتب تأثیر سیستم قرار گرفته‌اند. این جایگاه نه به معنای بی‌اهمیت بودن آن‌ها، بلکه بیانگر آن است که اثر آن‌ها بیشتر

جدول ۶- ماتریس تأثیرات غیرمستقیم عوامل مؤثر بر وضعیت آینده هیدروپلیتیک رودخانه هریود

ردیف	متغیر	امتیاز نهایی
۱	تمرکز بر مسائل اقتصادی- اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک منابع آب	۴۴۸۱
۲	ارتقاء فرهنگ استفاده و بهره‌گیری از منابع آب	۴۰۹۹
۳	بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب	۴۱۱۵
۴	ایجاد سازه‌های آبی و انتقال بین حوزه‌های	۳۰۶۵
۵	تمرکز بر حکمرانی محلی آب	۴۳۶۱
۶	استفاده از بازیگران محلی و انعقاد توافق‌نامه حق‌آبه	۳۹۴۷
۷	مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی	۴۳۲۹
۸	سرمایه‌گذاری در بخش‌های دیگر اقتصادی در کنار اقتصاد کشاورزی	۴۰۵۹
۹	درگیر کردن بهره‌برداران محلی و نهادهای غیردولتی	۳۵۷۸
۱۰	انتقال صنایع آب بر از مناطق کم‌آب	۳۹۴۹



شکل ۲-
پیشران‌های کلیدی مؤثر بر
مناسبات هیدروپلیتیک رودخانه هریود

چهار پیشران کلیدی انتخاب نهایی معرفی کرد (شکل ۲). این پیشران‌ها به‌طور هم‌زمان دارای اثرگذاری و اثرپذیری بالا هستند، جایگاه راهبردی در درون سیستم دارند، و قابلیت تبدیل شدن به محورهای اصلی سناریوهای آینده‌پژوهانه را دارا می‌باشند. در واقع این پیشران‌ها نه تنها تعیین‌کننده ساختارهای تصمیم‌گیری آینده در حوزه هریود خواهند بود، بلکه مسیر تحول فرهنگی، نهادی و اقتصادی جوامع محلی را نیز رقم می‌زنند.

وابسته به تصمیمات گرفته‌شده از سوی متغیرهای بالادست بوده و نقش آن‌ها عمدتاً در مرحله پاسخ‌دهی و اجرایی بروز می‌یابد، نه در مرحله تعیین مسیر آینده سیستم. بنابراین، با توجه به امتیازهای نهایی و بررسی موقعیت سیستمی هر متغیر، می‌توان «مهندسی اجتماعی جامعه»، «تمرکز بر حکمرانی محلی آب»، «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» و «بهره‌گیری از دانش بومی» را به‌عنوان

بین‌المللی هم‌راستاست، اما به دانش بومی اشاره‌ای نکرده است. مطالعه Rogers و Crow-Miller (۲۰۱۷)، با بررسی چارچوب‌های هیدروپلیتیکی، بر اهمیت بازتعریف الگوهای مصرف و توسعه اقتصادی تأکید دارد که با پیشران «تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی» هم‌خوانی دارد، اما کمتر به مدیریت هماهنگ فرامرزی پرداخته است. UNEP (۲۰۱۶)، بر چالش‌های اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب فرامرزی تمرکز دارد و با یافته‌های این پژوهش در زمینه ضرورت مدیریت سیلاب و تاب‌آوری اقلیمی هم‌سوست.

برخلاف برخی پژوهش‌ها که تنها بر ابعاد سیاسی یا فنی متمرکزند، این پژوهش با برجسته کردن نقش توأمان دانش بومی، حکمرانی محلی و مدیریت هماهنگ بین‌المللی، رویکردی جامع‌تر ارائه می‌دهد که به غنای چارچوب‌های نظری موجود می‌افزاید. این پیشران‌ها نه تنها بر ضرورت رویکردهای ترکیبی در مدیریت آبخیزهای فرامرزی تأکید دارند، بلکه زمینه‌ساز طراحی سناریوهای آینده‌پژوهانه‌ای هستند که می‌توانند به کاهش تنش‌ها، تقویت همکاری‌های فرامرزی و تضمین پایداری منابع آب کمک کنند. موفقیت حکمرانی آبخیز هریرود به ایجاد نهادهای سه‌جانبه، تقویت دیپلماسی علمی، و مشارکت فعال جامعه مدنی وابسته است. این نهادها می‌توانند با تسهیل مذاکره، تبادل داده و حل اختلاف، اعتمادسازی و همکاری منطقه‌ای را تقویت کنند. علاوه بر این، توجه به چالش‌های اقلیمی، مانند خشکسالی و ریزگردها، و اصلاح الگوهای مصرف از طریق آموزش همگانی و توسعه اقتصادی کم‌مصرف، برای پایداری بلندمدت ضروری است. در نهایت، این پژوهش بر لزوم تلفیق دیپلماسی، حکمرانی، و فرهنگ در مدیریت حوزه آبخیز هریرود تأکید دارد و راهکارهایی برای آینده‌پژوهی و سیاست‌گذاری ارائه می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

1. Watershed Governance
2. Integrated Watershed Management
3. Snowball Sampling
4. MICMAC
5. Matrix size
6. Number of iterations
7. Number of zeros
8. Number of ones
9. Number of twos

تحلیل پیشران‌های کلیدی حکمرانی آبخیز هریرود، شامل «تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی بر پایه اهداف هیدروپلیتیک»، «حکمرانی محلی آب»، «مدیریت هماهنگ حوزه‌های آبخیز بین‌المللی» و «بهره‌گیری از دانش بومی، استحصال آب باران و مدیریت سیلاب»، نشان‌دهنده هم‌خوانی عمیق با چارچوب نظری حکمرانی چندسطحی است (Hooghe و Marks، ۲۰۰۳؛ Pahl-Wostl، ۲۰۱۵). این پیشران‌ها بر هماهنگی بین سطوح محلی، ملی و فراملی، مشارکت فعال ذی‌نفعان، و ایجاد انسجام نهادی تأکید دارند که برای مدیریت پایدار منابع آب در حوزه‌های فرامرزی مانند هریرود ضروری است. این یافته‌ها همچنین با مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (Rahaman و Varis، ۲۰۰۹) هم‌سو هستند، زیرا بر یکپارچگی ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی، استفاده از دانش بومی و تقویت تاب‌آوری بوم‌سازگان تمرکز دارند. پیشران «مدیریت هماهنگ بین‌المللی» با تأکید بر دیپلماسی آب و رژیم‌های حقوقی چندجانبه، به‌عنوان محور اصلی کاهش تنش‌های ژئوپلیتیکی و تقویت همکاری میان ایران، افغانستان و ترکمنستان عمل می‌کند. پیشران «حکمرانی محلی آب» با بازتوزیع قدرت به سطوح محلی، امکان پاسخ‌گویی به نیازهای بومی و کاهش وابستگی به سیاست‌گذاری متمرکز را فراهم می‌سازد، در حالی که «بهره‌گیری از دانش بومی» هم‌سو با یافته‌های Tamassoki و همکاران (۲۰۲۵) با تکیه بر تجربیات سنتی جوامع در مدیریت منابع آب و سیلاب، تاب‌آوری اقلیمی را تقویت می‌کند. «تمرکز بر مسائل اقتصادی-اجتماعی» نیز با بازتعریف الگوهای مصرف و توسعه، به کاهش فشار بر منابع آب کمک می‌کند.

مطالعه Cascão و Zeitoun (۲۰۱۰) بر نقش قدرت و هژمونی در مدیریت آب‌های فرامرزی تأکید دارد و با پیشران «مدیریت هماهنگ بین‌المللی» هم‌راستاست، اما کمتر به نقش جوامع محلی و دانش بومی پرداخته است. Wolf (۱۹۹۸)، بر پتانسیل همکاری در رودخانه‌های فرامرزی تمرکز دارد و با یافته‌های این پژوهش در زمینه کاهش تنش از طریق دیپلماسی آب هم‌خوانی دارد، هرچند توجه کمتری به حکمرانی محلی نشان داده است. Trotter (۲۰۰۸)، با تأکید بر دیدگاه بوم‌شناسی سیاسی و اهمیت مشارکت محلی، با پیشران‌های «حکمرانی محلی» و «دانش بومی» هم‌سوست، اما جنبه‌های بین‌المللی را کمتر بررسی کرده است. Kehl (۲۰۱۱)، بر پیچیدگی‌های هیدروپلیتیک و نیاز به رویکردهای چندجانبه تأکید دارد که با نتایج این پژوهش در لزوم تلفیق ابعاد اجتماعی، نهادی و

- Aghaei, P., Hamidi, E., & Javadi, A. (2024). A novel MIC-MAC approach for cross impact analysis with application to urban water/wastewater management. *Sustainable Cities and Society*, 114, 105747. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105747>
- Atkinson, R., & Flint, J. (2001). Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies. *Social Research Update*, 33(1), 1-4. <http://sru.soc.surrey.ac.uk/SRU33.html>
- Cascão, A. E., & Zeitoun, M. (2010). Power, hegemony and critical hydropolitics. *Transboundary Water Management: Principles and Practice*, 27-42. <https://doi.org/10.4324/9781849776585>
- Godet, M. (1999). The art of scenarios and strategic planning: Tools and pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3-22. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00020-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00020-8)
- Hooghe, L., & Marks, G. (2003). Unraveling the central state, but how? Types of multi-level governance. *American Political Science Review*, 97(2), 233-243. <https://doi.org/10.1017/S0003055403000649>
- Jensen, S., & Kushniruk, A. (2016). Boundary objects in clinical simulation and design of eHealth. *Health Informatics Journal*, 22, 248-264. <https://doi.org/10.1177/1460458214551846>
- Kehl, J. R. (2011). Hydropolitical complexes and asymmetrical power: Conflict, cooperation, and governance of international river systems. *Journal of World-Systems Research*, 17(1), 218-239.
- Kirchherr, J., & Charles, K. J. (2018). Enhancing the sample diversity of snowball samples: Recommendations from a research project on anti-dam movements in Southeast Asia. *PLOS ONE*, 13(8), e0201710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201710>
- Mirumachi, N. (2015). *Transboundary water politics in the developing world*. Routledge. 1st Edition. London. England. <https://doi.org/10.4324/9780203068380>
- OECD. (2015). *Stakeholder Engagement for Inclusive Water Governance*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264231122-en>
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water governance in the face of global change: From understanding to action*. Springer, Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-21855-7>
- Rahaman, M., & Varis, A. (2009). Integrated water resources management: Evolution, prospects and future challenges. *Sustainability: Science, Practice, & Policy*, 4(1), 15-21. <https://doi.org/10.1080/15487733.2008.11908016>
- Rai, S., Wolf, A., Sharma, N., & Harinarayan, T. (2016). Hydropolitics in Transboundary Water Conflict and Cooperation. *River System Analysis and Management*, 353-368. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1472-7_19
- آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۰). گزارش سالانه منابع آب حوزه هریرود. وزارت نیرو، مشهد، ایران.
- بهرامی جاف، ساجد و جان‌پرور، محسن و تکیروستا، مریم و ذوقی بارانی، کاظم و موسوی، میرنجف. (۱۴۰۱). نگرشی نو به مفهوم و ابعاد هیدروپلیتیک. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۵۵(۱)، ۶۱-۷۸. doi: 10.22059/jhgr.2021.326878.1008343
- بی‌نیاز، مهدی، و تمسکی، احسان. (۱۴۰۲). واکاوی ابعاد جامعیت در مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۳(۱)، ۳۸-۵۳. <https://doi.org/10.22034/iwm.2023.2001343.1074>
- تمسکی، احسان، بهرامی جاف، ساجد، و تمسکی، عرفان. (۱۴۰۳). واکاوی الگوی مفهومی حکمرانی محیط‌زیست در ایران. حکمرانی منابع طبیعی، ۱(۱)، ۱-۱۳. doi: 10.22059/jnrg.2024.372377.1008
- تمسکی، احسان، محمدی کنگرانی، حنا، اشتریان، کیومرث، حلی‌ساز، ارشک، و نادری، فرشید. (۱۴۰۱). تحلیل قانون اصلاحات ارضی براساس نظریه جریان‌های چندگانه‌ی کینگدان. پژوهش‌های راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۱۲(۴۳)، ۱۳۰-۱۶۲. doi: 10.22034/sspp.2022.546449.3114
- جان‌پرور، محسن. (۱۳۹۶). ژئوپلیتیک برای همه. انتشارات انتخاب. چاپ اول. تهران، ایران.
- حافظ‌نیا، محمدرضا. (۱۳۹۶). اصول ومفاهیم ژئوپلیتیک. انتشارات پاپلی. چاپ پنجم. مشهد، خراسان رضوی، ایران.
- حسین پور پویان، رضا. (۱۳۹۲). تبیین مولفه‌های جغرافیایی و ژئوپلیتیکی روابط در مناطق ژئوپلیتیکی. فصلنامه ژئوپلیتیک، ۹(۲)، ۱۶۱-۲۰۳. doi: 20.1001.1.17354331.1392.9.30.6.9
- دیانت، محسن، و درج، حمید، و قادری، ابراهیم. (۱۳۹۸). تاثیر هیدروپلیتیک زاب کوچک بر روابط سیاسی ایران و اقلیم کردستان عراق. فصلنامه پژوهش‌های سیاسی جهان اسلام، ۹(۲)، ۱۳۱-۱۵۸. doi: 10.21859/priw-.090206
- صادقی، سیدهادی، قاسمیه، هدی، مومنی دمنه، جواد، و موسوی، سید حجت. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی کیفیت آب آبیاری و شهری با استفاده از GIS. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۶(۴)، ۱۲۸-۱۳۷.
- عراقچی، سیدعباس. (۱۳۹۳). دیپلماسی آب، از منازعه تا همکاری. فصلنامه علمی پژوهشی سیاست جهانی، ۳(۴)، ۹۱-۱۱۹.
- کامران، حسن، یاری، احسان، و عابدی، مرضیه. (۱۳۹۶). امنیت زیست محیطی و امنیت ملی ایران در بستر تحولات هیدروپلیتیک مرزی مطالعه موردی: هریرود. جغرافیا، ۱۵(۵۲)، ۳۰۵-۳۲۸. <https://sid.ir/paper/150310/fa>
- مجتهدزاده، پیروز. (۱۳۹۸). جغرافیای سیاسی وسیاست جغرافیایی. انتشارات سمت. چاپ هشتم. تهران، ایران.
- مسافری ضیاءالدینی، حسین، تمسکی، احسان، تاج‌بخش فخرآبادی، سید محمد، کدیور، علی‌اصغر، بی‌نیاز، مهدی، و خیاط خلقی، ناصر. (۱۴۰۳). ارائه الگوی فرآیندی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز در ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۱-۱۷. <https://doi.org/10.22034/iwm.2024.2029116.1154>
- مشهدی، علی، و اکبری، نرگس. (۱۳۹۹). تعهدات دولت‌های حوضچه هریرود در احداث تاسیسات آبی. حقوقی بین‌المللی، ۳۷(۶۳)، ۳۰۹-۳۴۲. <https://doi.org/10.22066/cilamag.2020.96365.1600>

- Rogers, S., & Crow-Miller, B. (2017). The politics of water: a review of hydropolitical frameworks and their application in China. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(6), e1239. <https://doi.org/10.1002/wat2.1239>
- Tamassoki, E. , Momeni Damaneh, J. and Tajbakhsh Fakhrabadi, S. M. (2025). Analysis of Natural Resource Governance in Iran Based on the NRGF Framework. *Water Harvesting Research*, 8(1), 141-162. doi: [10.22077/jwhr.2025.9622.1179](https://doi.org/10.22077/jwhr.2025.9622.1179)
- Trottier, J. (2008). Water governance: A political ecology perspective. *Water International*, 33(4), 419-431.
- Turton, A., & Henwood, R. (2002). Hydropolitics in the developing world: A Southern African perspective. African Water Issues Research Unit, Pretoria, South Africa. <https://www.internationalwaterlaw.org/bibliography/articles/hydropolitics-s-africa.html>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2007). Global environment outlook: Environment for development (GEO-4). United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/global-environment-outlook-4unep.org>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2016). Transboundary River Basins: Status and Trends. Nairobi: UNEP, Nairobi, Kenya.
- Walters, R. S., Kenzie, E. S. Metzger, A. E., Baltutis, W. J. Chakrabarti, K. B., Hirsch, S. L., & Laursen, B. K. (2019). A systems thinking approach for eliciting mental models from visual boundary objects in hydropolitical contexts: a case study from the Pilcomayo River Basin. *Ecology and Society*, 24(2), 9. <https://doi.org/10.5751/ES-10586-240209>
- Wittfogel, K. A. (1957). *Oriental despotism: A comparative study of total power*. Yale University Press.
- Wolf, A. T. (1998). Conflict and cooperation along international waterways. *Water Policy*, 1(2), 251-265. [https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(98\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(98)00019-1)
- Worster, D. (1985). *Rivers of empire: Water, aridity, and the growth of the American West*. Pantheon Books, New York, USA.
- Zeitoun, M., & Warner, J. (2006). Hydro-hegemony – A framework for analysis of trans-boundary water conflicts. *Water Policy*, 8(5), 435-460. <https://doi.org/10.2166/wp.2006.054>

Article Type

Applied Article

پژوهش کاربردی

نوع مقاله

The Fragile Lifeworld of Farmers Encountering the Crisis and Water Governance: A Narrative Analysis of Farmers in Dehghan County

H. Daneshmehr^{1*}, O. Hedayat²

1, 2- Associate Professor and Postdoctoral Researcher, Department of Sociology, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

*Corresponding Author Email: h.daneshmehr@uok.ac.ir

Received 02-07-2025
Revised 29-07-2025
Accepted 28-08-2025
Available Online 20-09-2025

Abstract

The water crisis in Iran has been viewed as a natural tragedy, and the solutions to address it have been primarily understood within hydrological discussions as centralized, technocratic, and lacking participatory mechanisms. The present study rejects this perspective and, adopting a bottom-up approach along with Ostrom's theory of common resource governance and the theory of social hydrology, seeks to analyze the narratives of farmers in the villages of Dehghan in confronting the water crisis and its relationship with their lifeworld. The fundamental assumption has been that farmers, as the first and most important stakeholders of water resources, possess a distinct understanding and approach to confrontation. The resulting data have been interpreted and explained as rich socio-political texts, aiming to reveal how the ecological water crisis is intertwined with governance crisis, social justice, and institutional marginalization. The narrative analysis methodology was adopted, and to this end, semi-structured interviews were conducted with 23 farmers from 11 villages in Dehghan County. The findings were interpreted and explained through 5 secondary categories and 1 core category. The results indicated that the lifeworld of farmers in this critical situation and water governance has become fragile. The fragility of the lifeworld of Dehghan farmers stems from the triple interaction of weak institutional governance, the dominance of market rules, and impractical environmental awareness. These factors have led to reactive behaviors among farmers in this context, resulting in socio-cultural transformation and the denial of their collective agency by institutions and each other. Therefore, a paradigm shift in governance (transitioning from centralized to participatory approaches) and a redefinition of the relationship between the market, the environment, and society seem necessary, whereby the role and position of farmers become central to the participation and management of water resources.

Keywords: Water Crisis, Fragile Lifeworld of Farmers, Governance of Common Resources, Social Hydrology, Dehghan County.

زیست جهان شکننده کشاورزان در مواجهه با بحران و حکمرانی آب؛ تحلیل روایت کشاورزان شهرستان دهگلان

حسین دانش مهر^{۱*}، عثمان هدایت^۲

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و پژوهشگر پسادکتری، گروه جامعه‌شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: h.daneshmehr@uok.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۴/۱۱
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۶/۰۶
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

چکیده

بحران آب در ایران، به مثابه تراژدی طبیعی نگریده شده و راهکارهای حل آن نیز در مباحث هیدرولوژیکی عمدتاً متمرکز، فن‌سالاری و فاقد سازوکارهای مشارکتی فهم گردیده است. پژوهش حاضر با رد این نگاه و با رویکردی از پایین به بالا و اتخاذ نظریه حکمرانی منابع مشترک اوستروم و نظریه هیدرولوژی اجتماعی در پی تحلیل روایت کشاورزان روستاهای دهگلان در مواجهه با بحران آب و ارتباط آن با زیست‌جهان آن‌ها بوده است. پیش‌فرض اساسی چنین بوده است که کشاورزان به عنوان نخستین و مهم‌ترین ذی‌نفعان منابع آبی، فهم و مواجهه‌ی متفاوتی دارند که داده‌های حاصل نیز به‌مثابه متون غنی اجتماعی-سیاسی و با هدف افشای چگونگی درهم‌تنیدگی بحران اکولوژیک آب با بحران حکمرانی، عدالت اجتماعی، و به حاشیه‌رانی نهادی مورد تفسیر و تبیین قرار گرفته‌اند. روش‌شناسی تحلیل روایت اتخاذ شده و بدین منظور با ۲۳ نفر از کشاورزان ۱۱ روستای شهرستان دهگلان، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته انجام شد. یافته‌ها در قالب ۵ مقوله‌ی ثانویه و ۱ مقوله‌ی هسته تفسیر و تبیین شدند. نتایج نشان داد که زیست‌جهان کشاورزان در این وضعیت بحرانی و حکمرانی آب، دچار شکنندگی شده است. شکنندگی زیست‌جهان کشاورزان دهگلان، ریشه در تعامل سه‌گانه‌ی حکمرانی نهادی ضعیف، سلطه‌ی قواعد بازار و آگاهی غیرعملی زیست‌محیطی دارد. این موارد منجر به رفتارهای واکنشی کشاورزان در این بستر شده و دگردیسی اجتماعی-فرهنگی و انکار عاملیت جمعی آن‌ها از سوی نهادها و همدیگر را به همراه داشته است. بنابراین، ضرورت تغییر پارادایم حکمرانی (گذار از رویکردهای متمرکز به مشارکت‌جویانه) و بازتعریف رابطه‌ی بازار، محیط‌زیست و جامعه ضروری به نظر می‌رسد، که بر اساس آن، نقش و جایگاه کشاورزان، محور مشارکت و مدیریت منابع آبی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بحران آب، زیست‌جهان شکننده کشاورزان، حکمرانی منابع مشترک، هیدرولوژی اجتماعی، شهرستان دهگلان.

How to cite this article: Daneshmehr, H., & Hedayat, O. (2025). The Fragile Lifeworld of Farmers Encountering the Crisis and Water Governance: A Narrative Analysis of Farmers in Dehghan County. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 93-106. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2507-1438>

مشکلات فزاینده‌ی مرتبط با آب، بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک زمین را تهدید می‌کند و ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست. ادغام چنین مشکلاتی با مسائل بهداشتی، زیست‌محیطی، سیاسی، اجتماعی-اقتصادی و پایداری، تقاضا برای مدیریت این چالش‌ها را به شدت افزایش داده است. مطالعات نشان می‌دهد که تا دوران جدید، با توجه به جمعیت کم و سرانه‌ی بالای آب، ایرانیان نیاز چندانی به ارتقاء و تغییر در مدیریت آب احساس نمی‌کردند. در دوران مدرن، رشد انفجاری جمعیت، توسعه‌ی صنعت، گسترش فرهنگ مصرف‌گرایی و شهرنشینی بی‌سابقه، همراه با خشکسالی و گرمایش جهانی، مشکلات عدیده‌ای را برای بخش‌های آب به همراه داشته است. در نتیجه، گرایش به سیاست‌های مبتنی بر عرضه غالب شده و راهبردهایی مانند حفر چاه‌های عمیق، احداث سد و انتقال آب بین‌حوضه‌ای برای رفع مشکلات به اجرا درآمده است (Saatsaz, 2020). اما این سیاست‌ها تنها به تشدید وضعیت منجر شده و آن را به بحرانی جدی بدل نموده‌اند (Madani و همکاران، 2016). مطالعات حاکی از آن است که: ۱. رشد سریع جمعیت و توزیع فضایی نامناسب آن، ۲. ناکارآمدی بخش کشاورزی، و ۳. سوء مدیریت و حرص توسعه، از مهم‌ترین علل بحران آب در ایران هستند (Madani, 2014). این بحران و پیامدهای ناشی از آن، در چند سال اخیر، نشان‌دهنده‌ی وضعیت ورشکستگی آبی است (Hamidifar, 2024; Madani و همکاران، 2016; Stone, 2018). همچنین، مطالعات نشان می‌دهند که ایران از الگوی مدیریتی مبتنی بر علائم رنج می‌برد که عمدتاً بر درمان نشانه‌های مشکل، نه پرداختن به علل ریشه‌ای، تمرکز دارد (Stone, 2018) و الگوی حکمرانی آن نیز عمدتاً متمرکز، فن‌سالاری^۱ و فاقد سازوکارهای مشارکتی مؤثر در سطح محلی است (Nazemi و همکاران، 2020). این الگوی سازه‌گرا و دولت‌محور، که با ضعف برنامه‌ریزی مدیران حوزه آب (نصرآبادی، ۱۳۹۴)، عدم توجه به آب در سیاست‌گذاری کلان کشوری (اسلامی و رحیمی، ۱۳۹۸)، فقدان حکمرانی مطلوب و برنامه‌ریزی صحیح برای آینده (رضاییان و رضاییان، ۱۳۹۵)، عدم تغییر نگرش در مدیریت منابع آب (عاقبت‌بخیر و همکاران، ۱۳۹۳)، و فقدان حاکمیت رویکرد علمی در فرایند سیاست‌گذاری (نوری اسفندیاری، ۱۴۰۳؛ پورخسروانی و همکاران، ۱۳۹۹) همراه است، دیگر بازیگران عرصه‌ی آب، از جمله کشاورزان را به حاشیه رانده است.

از آنجا که کشاورزی یکی از پایه‌های اقتصادی ایران است و در عین حال، بیشترین مصرف آب نیز در این بخش صورت

می‌گیرد و همچنین کشاورزان به‌عنوان نخستین و مهم‌ترین ذی‌نفعان منابع آبی، در خط مقدم مواجهه با پیامدهای ویرانگر بحران آب و حکمرانی نامناسب آن قرار دارند، مطالعه و شناخت زیست‌جهان آن‌ها، سویه‌های مختلف مشکلات، چالش‌ها و مسائلشان را در این زمینه نمایان خواهد ساخت. اسناد بین‌المللی نیز گویای نقش و جایگاه محوری کشاورزان در مدیریت و حکمرانی آب است و بر حکمرانی مشارکتی، عدالت در توزیع منابع، و تقویت مدیریت بومی با بهره‌گیری از ظرفیت آن‌ها تأکید دارند (Uhlenbrook, 2019).

پیش‌فرض نخستین این است که در مناطق حاشیه‌ای مانند استان کردستان، فاصله‌ای معنادار میان سطوح رسمی حکمرانی و زیست‌جهان مردمی در حوزه‌ی آب و کشاورزی شکل گرفته است. استان کردستان، با وجود برخورداری از ۷ درصد منابع آبی کشور و میانگین بارندگی سالانه ۵۰۰ میلی‌متر (و همچنین دارا بودن حدود یک ششم منابع آبی کشور)، تنها ۱۱ درصد زمین‌های کشاورزی آبی دارد؛ این در حالی است که میانگین ملی این شاخص ۴۷ درصد است (سند جامع مدیریت آب استان کردستان، ۱۳۹۹؛ بازنگری در ۱۴۰۳). در چند دهه‌ی اخیر، به دلیل خشکسالی‌های مکرر، حفر چاه‌های مجاز و غیرمجاز، برداشت بی‌رویه آب بهره‌برداری بی‌رویه از چاه‌ها برای کشاورزی و جرایم مربوط به آب (تکیه‌خواه و همکاران، ۱۴۰۳)، خالی شدن آبخوان‌ها و فرونشست زمین (غلامی و همکاران، ۱۴۰۱) مسئله‌ی آب در استان کردستان به‌ویژه دشت‌های شرقی استان (قروه، دهگلان، بیجار)، به یک بحران تبدیل شده است به طوری که منجر به قرارگیری این مناطق در رده‌ی دشت‌های ممنوعه شده است (قهرودی تالی و همکاران، ۱۴۰۲؛ محمدخان و همکاران، ۱۳۹۸).

پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از روش تحلیل روایت، در پی فهم زیست‌جهان کشاورزان شهرستان دهگلان در مواجهه با بحران آب و حکمرانی آن است؛ جهانی آکنده از اضطراب معیشتی، کنش‌های خُرد برای بقا، انتقاد از نابرابری در سیاست‌گذاری، و شکل‌گیری روایت‌هایی از تجربه‌ی زیسته‌ی نابرابری که عمدتاً نادیده گرفته می‌شود. این در حالی است که گفتمان نهادی حاکم بر منابع آب در ایران، مردم (به‌ویژه کشاورزان) را به دلیل مشارکت نکردن در حل بحران سرزنش کرده است (خانیک‌ی و موسوی، ۱۴۰۱).

این پژوهش، روایت‌های زیسته‌ی کشاورزان دهگلان را نه به‌عنوان داده‌ای خام، بلکه به‌مثابه متون غنی اجتماعی-سیاسی و با هدف افشای چگونگی درهم‌تنیدگی بحران اکولوژیک آب با بحران حکمرانی، عدالت اجتماعی و به‌حاشیه‌رانی نهادی،

بازخوانی و تحلیل می‌کند. مفروضه‌ی بنیادین پژوهش بر این استوار است که بازخوانی زیست‌جهان کشاورزان (به‌مثابه نخستین و مهم‌ترین ذی‌نفعان منابع آبی) و برجسته‌سازی نقش و جایگاه آن‌ها در مدیریت و حکمرانی آب ضرورت دارد. بنابراین، اتخاذ راهبردی که نه از بالا و با نگاه تحکمی، بلکه از درون میدان زندگی کشاورزان دهگلان، به فهم عمیق‌تری از وضعیت حکمرانی و مدیریت آب در استان کردستان (و خاصه شهرستان دهگلان) دست یابد نیز مدنظر است. توجیه نظری و روشی پژوهش در این اصل نهفته است که تنها از طریق شنیدن این صداهای خاموش و فهم ژرف تجربیات زیسته‌ی آنان است که می‌توان به‌سوی راه‌حل‌های عادلانه‌تر، فراگیرتر و پایدارتر برای بحران آب در دهگلان و نمونه‌های مشابه آن در ایران گام برداشت.

تمرکز بر روایت‌های زیسته، ابزاری قدرتمند برای شکستن سکوت و واکاوی گفتمان نهادی حاکم بر منابع آب در ایران (و خاصه استان کردستان) است؛ گفتمانی که با اقدامات نهادی قابل نقد است. بنابراین، این پژوهش تلاشی است برای بازگرداندن عاملیت به صحنه‌ی روایت بحران و نشان‌دادن قربانی‌سازی نه به‌عنوان تقدیر، بلکه به‌مثابه محصول حکمرانی ناعادلانه‌ی آب. با این اوصاف، پرسش اساسی پژوهش چنین خواهد بود: سازوکارهای نهادی گفتمان حاکم در بحران و حکمرانی آب ایران، چگونه در اقدامات و روایت‌های روزمره‌ی کشاورزان متجلی شده‌اند و آن‌ها چه درک و تفسیری از آن داشته و چه تبیینی می‌توان ارائه داد؟

چهارچوب مفهومی

تا دهه‌ی ۱۹۷۰، مدیریت منابع آب توسط یک «الگوی هیدرولیکی» شکل می‌گرفت که آب را عمدتاً مسئله‌ای فنی و علمی می‌پنداشت و مدیریت آن را منحصرأ در حیطه‌ی تخصص متخصصان می‌دانست. به گفته‌ی منتقدان ماهیت از بالا به پایین این رویکرد، توجه کافی به روابط پیچیده و چندمقیاسی بین عوامل مادی و فنی از یک سو، و نهادهای سیاسی، اقتصادی و اجتماعی شکل‌دهنده‌ی رفتار انسان نداشت (Pahl-Wostl و همکاران، ۲۰۱۲؛ Molle، ۲۰۰۹). از سوی دیگر، یک تغییر الگو (Pahl-Wostl، ۲۰۱۵) پدیدار شد که هدف آن مدیریت بهتر پیچیدگی‌های فنی و انسانی آب بود. این پژوهش، با بهره‌گیری از رویکرد حکمرانی منابع مشترک (Ostrom، ۱۹۹۰) و رویکرد هیدرولوژی اجتماعی (به‌مثابه‌ی تجلی این تغییر الگو)، به تحلیل روایت کشاورزان از بحران آب در بستر حکمرانی منابع آب می‌پردازد.

۱- رویکرد حکمرانی منابع مشترک

در دهه‌های اخیر، این پرسش به‌عنوان چالشی اساسی برای برنامه‌ریزان، مسئولان و کنشگران محلی بیش از پیش مطرح بوده است که چگونه می‌توان به مدیریت منابع مشترک پرداخت و به چه شیوه‌ای باید عمل کرد. نظریه‌ی حکمرانی منابع مشترک، به درک عمیق‌تر نسبت میان بحران، قدرت و کنشگری محلی کمک می‌کند و آب را در چارچوب چرخه‌ی مدیریت منابع مشترک قرار می‌دهد. ادبیات مربوط به منابع مشترک در چنددهه‌ی گذشته به‌سرعت رشد کرده است (Ostrom و همکاران، ۲۰۰۲). نگرانی‌های فراگیر جهانی درباره‌ی تخریب محیط‌زیست و کاهش منابع، بر این رشد افزوده است. ناکامی‌های مدیریت دولتی و سیاست‌های بازارمحور، جامعه را برای بسیاری از سیاست‌گذاران به‌عنوان بازیگری جایگزین جهت اداره‌ی جنگل‌ها، مراتع، آب و شیلات جذاب کرده است. به‌طوری‌که بسیاری از دولت‌ها مدیریت زیست‌محیطی را غیرمتمرکز ساخته و حفاظت مبتنی بر جامعه را ترویج می‌دهند. در بسیاری موارد، این تغییرات سیاستی، جوامع محلی و ترتیبات مدیریت منابع مشترک را بازتعریف کرده‌اند. اثر پیشگامانه‌ی الینور اوستروم با عنوان «حکمرانی مشترکات: تکامل نهادها برای اقدام جمعی» (۱۹۹۰)، درک ما از مدیریت منابع مشترک را متحول ساخت. او با رد نظریه‌ی «تراژدی مشترکات» گارت هاردین (۱۹۶۸)، که معتقد بود منابع مشترک (مانند شیلات یا جنگل‌ها) بدون دخالت دولت یا خصوصی‌سازی محکوم به نابودی‌اند، ثابت کرد جوامع محلی می‌توانند از طریق خودسازمان‌دهی، منابع را به‌طور پایدار مدیریت کنند. اوستروم افسانه‌ی ناتوانی جوامع در مدیریت منابع مشترک را باطل نمود. هشت اصل او چارچوبی برای حکمرانی پایدار ارائه می‌دهد که بر عاملیت محلی، قوانین انطباق‌پذیر و چندمرکزی تأکید دارد (Ostrom، ۱۹۹۰؛ ۲۰۰۵) اصول معروف او در جدول (۱) ارائه شده است.

۲- رویکرد هیدرواجتماعی

جهت اهمیت یافتن نقش انسان در پایداری سیستم‌های آب، متخصصان نیازمند رویکردهای چندرشته‌ای، بین‌رشته‌ای یا فرارشته‌ای برای بررسی، شناسایی، درک، مدل‌سازی و پیش‌بینی بازخوردها و اثرات متقابل در سیستم‌های هم‌تکاملی انسان-آب هستند. هیدرواجتماعی که نخستین بار توسط Sivapalan و همکاران (۲۰۱۲) به‌عنوان علمی نوین معرفی شد، بر این امر تأکید دارد که انسان و فعالیت‌های انسانی را بخشی جدایی‌ناپذیر از پویایی‌های چرخه‌ی آب دانسته و هدف آن

جدول ۱- اصول طراحی اوستروم برای حکمرانی مشترک [آب] (Ostrom, ۱۹۹۰؛ ۲۰۰۵)

اصل	کارکرد	نمونه‌های عینی
مرزبندی روشن	تعیین کاربران مجاز و محدوده فیزیکی منابع	مراتح آلپ سوئیس: حقوق چرا محدود به ساکنان روستا
انطباق قوانین محلی	قوانین با شرایط اجتماعی/ اکولوژیک محلی هماهنگ باشند	آبیاری نپال: زمان‌بندی توزیع آب براساس الگوی باران‌ها
تصمیم‌گیری جمعی	مشارکت کاربران در وضع قوانین برای افزایش پایداری	سیستم‌های آبیاری اسپانیا: دادگاه‌های آب با قضات کشاورز
نظارت	کاربران یا ناظران پاسخگو، اجرای قوانین را پیگیری کنند	جوامع جنگلی: گشت‌های محلی برای گزارش قطع غیرقانونی درختان
مجازات‌های تدریجی	جریمه‌ها از اخطار تا محرومیت برای متخلفان تکرارکننده افزایش یابد	شیلات ژاپن: جریمه‌ها متناسب با شدت تخلف
حل و فصل اختلافات	سازوکارهای کم‌هزینه محلی (مثل میانجی‌گری) برای رفع اختلافات	فیلیپین: ریش‌سفیدان اختلافات مناطق ماهیگیری را حل می‌کنند
حداقل مداخله دولت	مقامات خارجی، خودمختاری محلی را به رسمیت بشناسند	پلیس ایندیانا (۱۹۷۰): پلیس محلی عملکرد بهتری داشت
نهادهای چندلایه	اتصال سیستم‌های محلی به حکمرانی منطقه‌ای/ جهانی (مثل شوراهای حوضه آبریز)	آب‌های زیرزمینی کالیفرنیا: هماهنگی چندسطحی کاربران

مطالعه رفتار تعاملی انسان و آب در بسترهای مشترک است. مطالعات فنی و مهندسی در درک نیازها و انتظارات جوامع محلی و نیز ادغام متغیرهای حیاتی مانند محرک‌های ذهنی، اخلاقی و عاطفی ناکام بوده‌اند. در نتیجه، عاملیت انسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابعاد مطالعات آب، در حاشیه مانده و کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. همین غفلت، ضرورت توسعه‌ی رویکرد هیدرواجتماعی را توجیه می‌کند. این علم، سیستم‌های منابع آب را با ارزیابی تأثیرات انسانی (مانند برداشت‌ها، ذخیره‌سازی‌ها و سایر تغییرات انسان‌ساخت در سیستم‌های هیدرولوژیکی) تحلیل می‌کند. بدین معنا که هرگونه تغییر در منابع آب (نظیر کم‌آبی یا روندهای نامطلوب هیدرولوژیکی)، منافع انسان و در نهایت رفاه اجتماعی را متأثر می‌سازد. هدف امروزین مدیریت سیستم‌های آب، تعریف راه‌حل‌های بین‌رشته‌ای نوین است. علم هیدرواجتماعی، تعاملات بین عوامل انسانی، جریان‌های آب، فناوری‌های هیدرولیکی، عناصر بیوفیزیکی، ساختارهای اجتماعی-اقتصادی و نهادهای فرهنگی-سیاسی را در مدیریت سیستم‌های آبی مطالعه

می‌کنند (Bozorg-Haddad و همکاران، ۲۰۲۱). از منظر جامعه‌شناسی انتقادی، رویکرد هیدرواجتماعی با نگاهی نقادانه به روابط قدرت در سیستم‌های انسان-آب می‌پردازد. این رویکرد نشان می‌دهد که چگونه فضاهای اجتماعی، طبیعی و سیاسی از خلال تعاملات بین کنش‌های انسانی، جریان‌های آبی، فناوری‌ها و نهادها شکل می‌گیرند. چارچوبی انتقادی (عمدتاً در جغرافیا و انسان‌شناسی) که آب را نه صرفاً یک منبع فیزیکی، بلکه پدیده‌ای اجتماعی-سیاسی می‌داند که در روابط قدرت بازتولید می‌شود (Sivapalan و همکاران، ۲۰۱۲). هیدرواجتماعی با اتخاذ روش‌های پراگماتیستی و ترکیب روش‌های کمی-کیفی، به مطالعات آب-جامعه عمق می‌بخشد و معتقد است درک روابط آبی-اجتماعی، آگاهی نسبت به بهترین شیوه‌های بهره‌برداری از آب را ارتقا می‌دهد (Wilfong و Pavao-Zuckerman، ۲۰۲۰). در این چارچوب، با به‌کارگیری روش‌های کیفی و رهیافت‌های جامعه‌شناختی انتقادی، به ادراک معنایی آب در جهان اجتماعی پرداخته می‌شود. پرسش محوری این دیدگاه آن است که: «چه کسانی منابع آب را کنترل

می‌کنند؟ قواعد را چگونه وضع می‌کنند؟ و روابط قدرت میان کنشگران چگونه تنظیم می‌شود» (Paulson و همکاران، ۲۰۰۳). نقطه‌ای عزیمت مباحث هیدرواجتماعی این انگاره است که چرخه‌ی هیدرولوژیک صرفاً مفهومی علمی خنثی نیست، بلکه سازه‌ای اجتماعی با پیامدهای سیاسی است. این پارادایم زمینه‌ساز رسمیت‌یافتن مشارکت مردم -چه در قالب نهادهای نوین مدیریت آب و چه اشکال سنتی- در ساختار حکمرانی منابع آب است و امکان انعکاس دیدگاه‌ها و ذهنیت‌های ذی‌نفعان در مدیریت را فراهم می‌کند. به تعبیرهاشمی (۱۴۰۱)، لازم است آب را از «چرخه‌ی هیدرولوژیک» به «چرخه‌ی هیدرواجتماعی» ارتقا داد.

اتخاذ این دورویکرد (حکمرانی منابع مشترک و هیدرواجتماعی) با توجه به اهداف پژوهش حاضر، بیانگر توجه همزمان به سه محور: ۱. تقویت مباحث مشارکتی در حکمرانی آب، ۲. تمرکز بر مسائل اجتماعی و ذی‌نفعان کلیدی (به‌ویژه کشاورزان)، و ۳. ارائه‌ی راهکارهای نظری و عملی زمینه‌محور می‌باشد.

پیشینه تجربی

جهانگیری و همکاران (۱۴۰۴) در مقاله با عنوان «از ناتوان‌سازی دریاچه ارومیه در متن فراروایت‌ها (مردم‌نگاری انتقادی)»، با به‌کارگیری چارچوب سیستم اجتماعی-اکولوژیکی و روش مردم‌نگاری انتقادی، به مصاحبه‌های عمیق با ۱۲ فعال محیط‌زیست و ساکن حاشیه‌ی دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. با تحلیل شبکه‌ی مضامین تفسیری، به این نتیجه دست یافته‌اند که ناتوان‌سازی دریاچه ارومیه محصول کشمکش بر سر اعمال مادی و معنایی بوده است. این یافته‌ها ضرورت بازنگری اساسی در گفتمان توسعه و تحول در انگاره‌های مرتبط با طبیعت را آشکار می‌سازد.

ایار و عنبری (۱۴۰۲) در مقاله‌ی «از گردو تا اوکالیپتوس: روایتی مردم‌نگارانه از فرسایش اجتماعات محلی در ایران»، با روش مردم‌نگاری انتقادی، اثرات مداخلات توسعه‌ای بر ساحت اجتماعی و کنش اقتصادی جوامع محلی ایلام و لرستان را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد برنامه‌های توسعه‌ای اجراشده در میدان مطالعه، به اقتصادی‌شدن ساحت اجتماعی پیشامد داخله انجامیده که با محرکیت شبه‌فن‌سالارهای نوظهور پیش‌رانده شده است. این فرایند ظرفیت‌های فرهنگی و سنت‌های همبستگی‌آفرین در کنش اقتصادی محلی را تضعیف نموده و برنامه‌های رسمی سرمایه‌محور دولتی را جایگزین آن کرده است.

نیک‌دل و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله‌ای با عنوان «تحلیل روایی

نخبگان علمی و سیاسی از بحران دریاچه ارومیه»، روایت‌های ۲۳ مطلع کلیدی این حوزه را تحلیل نموده‌اند. یافته‌ها سه عامل اصلی در ایجاد، تداوم و تشدید بحران را شناسایی کرده‌اند: (۱) فروکاست‌گرایی نظری-عملی، (۲) هزارتوی دیوان‌سالارانه و (۳) توسعه‌ی سرطانی. این عوامل، ویژگی‌های بنیادین نظام تصمیم‌سازی-عملیاتی حاکم را تشکیل می‌دهند. پژوهشگران بازنگری اساسی در نظام حقوقی-مدیریتی آب را ضروری می‌دانند. Campbell و همکاران (۲۰۲۰)، در کتاب «من از آن آب می‌ترسم: مردم‌نگاری مشارکتی از بحران آب ویرجینیای غربی» به مطالعه‌ی مردم‌نگارانه‌ی مشارکتی بحران‌های رودخانه‌ی ویرجینیای غربی پرداخته است. نویسندگان با تأکید بر نقش مشارکت مردمی در مواجهه با بحران آب، آن را به زیست‌جهان روزمره‌ی ساکنان پیوند زده‌اند. در بررسی بحران آب این منطقه که پیامد نشت مواد شیمیایی صنعتی و آلودگی گسترده بود، به‌زعم نویسندگان، این رویداد به گسستی بنیادین در زندگی روزمره تبدیل شده بود. این گسست به بسیاری از مردم امکان داد تا با گذار از پذیرش منفعلانه به مقاومت فعال شخصی، در تارهای روابط اجتماعی‌شان تغییراتی پایدار ایجاد کنند و با اقدامات جمعی، شیوه‌های تثبیت‌شده‌ی اندیشیدن و کنش را به چالش بکشند.

Taylor و Sonnenfeld (۲۰۱۷)، در پژوهش «بحران‌های آب و نهادها: ابداع و بازآفرینی حکمرانی در عصر عدم قطعیت»، پاسخ‌های بازیگران اجتماعی به بحران‌های آب مرتبط با چهار مجموعه از عوامل: (۱) مشکلات زیست‌محیطی، (۲) مسائل مربوط به زیرساخت‌های مادی و فنی، (۳) تغییرات قابل توجه در سیاست‌های دولتی و قوانین، و (۴) قدرت نامتقارن اعمال شده توسط بازیگران اجتماعی، را بررسی کردند. نویسندگان با تأکید بر اینکه در تمام موارد، بازیگران حکمرانی، همزمان با بیش از یکی از این بحران‌ها دست‌وپنجه نرم می‌کنند، خاطر نشان می‌سازند که این امر، اگرچه دشوار و حتی دردناک است، امکان‌هایی را برای شرکت‌کنندگان فراهم می‌کند تا با در نظر گرفتن دیدگاه‌های منسجم درباره آینده‌ای پایدارتر از نظر زیست‌محیطی و اجتماعی، به مقوله حکمرانی آب نزدیک شوند.

Nayar (۲۰۱۳) در پژوهش «بحران آب-بازنگری در حکمرانی آب»، با بازنگری در مفهوم حکمرانی آب و ارزیابی پروژه تامل نادو هند، تغییر رویکرد مدیریت در بخش آب را پیشنهاد نمود. نویسنده نتیجه می‌گیرد که با تغییر رویکرد مدیریت آب، تغییرات مثبت پایدار در جنبه‌های مالی و عناصر انسانی قابل دستیابی است. این امر با الگوی تغییر یافته تحویل آب در ۴۵۰ روستا در سراسر تامل نادو توسط گروه مدیریت تغییر

مهندسان هیئت تأمین و زهکشی آب تأمیل نادو (TWAD) که به عنوان اعضای جامعه رفتار می‌کردند و منجر به افزایش حس مشارکت و مالکیت شدند، به اجرا درآمده است. آن‌ها نتیجه می‌گیرند که تغییر به معنای تغییر «فرهنگ نهادی» یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها و ملاک‌های حکمرانی آب است که باید به عنوان الگوی مشارکتی در نظر گرفته شود.

بر پایه‌ی پژوهش‌های بین‌المللی، بحران‌های آب صرفاً پیامد کمبود فیزیکی نیستند، بلکه ریشه در شکست نهادی حکمرانی در مواجهه با عدم قطعیت‌های جهانی (تغییرات اقلیمی، فشارهای جمعیتی، ناپایداری اقتصادی) دارند. جالب آنکه این چالش‌ها در جوامع محلی به افزایش تاب‌آوری، کاهش تعارضات آبی و بهبود کارایی خدمات منجر شده‌اند. در مقابل، مطالعات داخلی نشان می‌دهد حکمرانی موجود غالباً توسط نخبگان سیاسی- اقتصادی مصادره شده و به حاشیه‌سازی جوامع آسیب‌پذیر می‌انجامد.

هر دو دسته مطالعات بر ضرورت رویکرد مردم‌نگاری انتقادی برای فهم عمیق‌تر پیامدهای پروژه‌های توسعه‌ای تأکید دارند. یافته‌ها حاکی است پروژه‌هایی مانند سدسازی و مدیریت منابع آب، عمدتاً بدون مشارکت جدی ذی‌نفعان و بی‌توجهی به دانش بومی اجرا می‌شوند که پیامدهای ناگوار زیر را

در پی داشته‌اند: تبعات منفی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی، اختلال در ساختارهای اجتماعی محلی، تضعیف حس تعلق مکانی و تشدید نابرابری‌های قدرت. از این‌رو، مدیریت پایدار بحران‌های محیط‌زیستی مستلزم توجه فوری به دو رکن اساسی است:

۱. مشارکت فعال جوامع محلی در تصمیم‌سازی،
۲. به‌کارگیری نظام‌مند دانش بومی در طراحی راهکارها.

روش‌شناسی

روش‌شناسی این پژوهش، بر مبنای روش‌شناسی کیفی است. در این سنت روشی، علاوه بر مستندسازی تجربیات فردی از پدیده‌ها و موضوعات، ایدئولوژی‌ها و ذهنیت‌های کنشگران، می‌توان با آن‌ها نیز به اطلاعاتی درخصوص نهادهای اجتماعی، جنبش‌ها و ساختارهای نهادی و اجتماعی دست یافت. در واقع، روش‌شناسی کیفی ابزارهای لازم را برای توجه به معنا، قدرت و تعامل در حیات اجتماعی فراهم می‌سازد و قدرت عاملیت بیشتری به سوژه‌های مورد مطالعه در تحقیقات می‌بخشد (ذکایی، ۱۳۸۱). روش تحلیل روایت، نوعی از روش‌شناسی کیفی است که این اطلاعات را به مثابه منبع داده‌های خود انتخاب می‌کند. تحلیل روایت، عدم قطعیت، پیچیدگی و تضادها و

جدول ۱- مشخصات مصاحبه‌شوندگان

شهرستان	بخش	دهستان	روستا	کد مصاحبه	تعداد مصاحبه	میزان اراضی (به هکتار)	تعداد حلقه چاه
دهگلان	مرکزی	قروچای	قروچای	۱	۴	۵۹	۴
			سراب حاجی پموق	۲	۲	۴۳	۴
		ئیلان شمالی	بگه‌جان	۳	۵	۲۰	۱
			مبارک‌آباد	۴	۲	۳۰	۳
		حومه	توبره ریز	۵	۱	۴	۱
			جوانمردآباد	۶	۱	۴	۱
			تلوار	۷	۲	۲۰	۱
			حسینی	۸	۲	۸	۱
			کروندان	۹	۴	۱۰	۲
			بلبان‌آباد	۱۰	۲	۳۰	۲
جمع	۲	۵	۱۱	-	۲۶	۲۴۸	۲۱
			سرنجیان	۱۱	۱	۲۰	۱

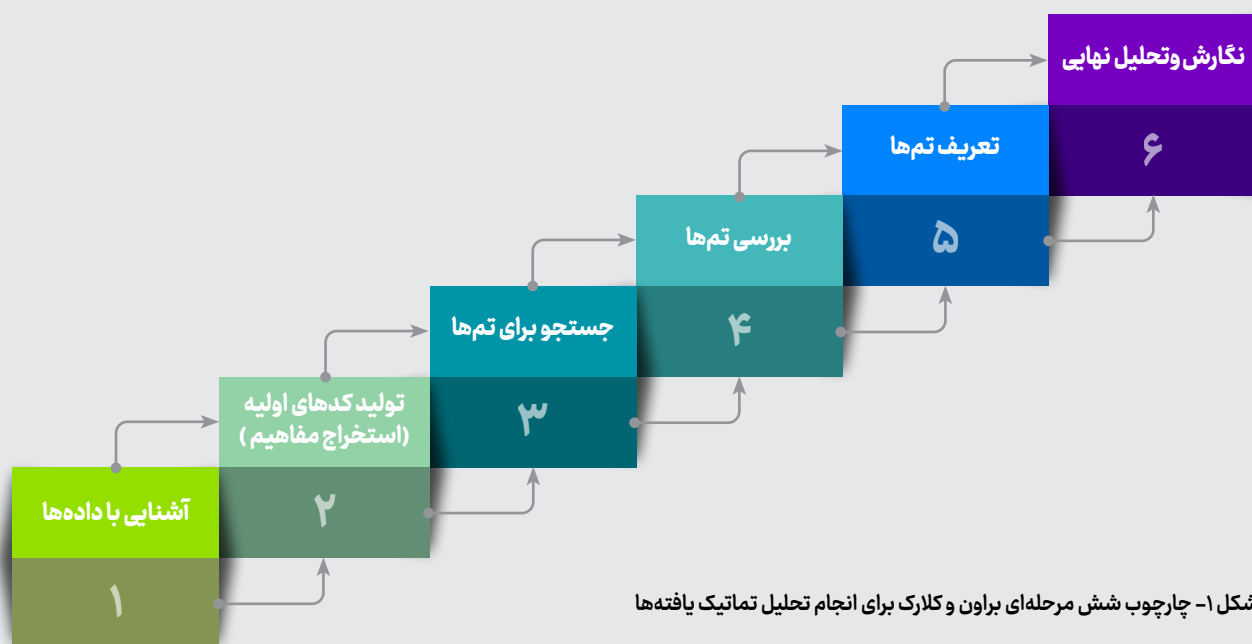
افکار، عواطف، احساسات، تمایلات و تجارب آن‌ها در گزارش ناظر است. اعتبار نظری بیان‌کننده میزان تناسب تبیین نظری حاصل از مطالعه پژوهشی با داده‌های گردآوری‌شده، و از این‌رو معتبر و قابل دفاع بودن آن داده‌ها است (Maxwell، ۱۹۹۲).

مضمون، اصلی‌ترین واحد تحلیل در این روش است و نمایانگر ویژگی‌های تکراری و معنادار در داده‌ها می‌باشد که پاسخ‌دهنده به سوالات پژوهش است. مضمون، نشان‌دهنده درک و تجربه خاصی از موضوع تحقیق است و الگوهای معنادار در مجموعه داده‌ها را آشکار می‌کند (Clarke و Braun، ۲۰۱۳). در این پژوهش از روش تحلیل تماتیک یا مضمونی براون و کلارک، که یک راهنمای شش مرحله‌ای ارائه داده‌اند، جهت تحلیل داده‌های اخذشده از میدان مورد مطالعه استفاده شده است. (۱) خواندن و دوبار همخوانی رونوشت‌هاست؛ (۲) تولید کدهای اولیه (استخراج مفاهیم از عبارات معنایی)؛ (۳) جستجوی تم‌ها، که در آن به جستجو براساس مفاهیم اصلی موضوع پرداخته خواهد شد. (۴) بررسی تم‌ها است که در سه مقوله اولیه، ثانویه و هسته گنجانده خواهند شد. (۵) تعریف تم‌ها می‌باشد که به تفسیر آن‌ها پرداخته شده است و (۶) نگارش و تحلیل نهایی (Clarke و Braun، ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۷؛ Clarke و Braun، ۲۰۲۲) که براساس مفاهیم مستخرج از متن مصاحبه‌ها، مقولات اولیه برگرفته از مفاهیم و دربرگیرنده آن‌ها استخراج شده است. مقولات ثانویه که دربرگیرنده مقولات اولیه و توضیح‌دهنده آن‌ها است، به مثابه مقولات تفسیری خوانش می‌شوند.

دوگانگی را برنمی‌تابد؛ چراکه روایت‌ها تاریخ سوژه‌ها است و بیانگر غنا و فقر احساسات، اندیشه‌ها و تجربه انسانی هستند. آن‌ها آشکارکننده معایب و مزایا هستند. به خلق هویت و واقعیت اجتماعی کمک می‌کنند و حتی باعث دگرگونی می‌شوند و به این دلیل روایت‌ها بررسی می‌شوند که ساختارهای ایجاد معنا هستند (طلوعی و خالق‌پناه، ۱۳۸۷).

برخی از محققان مصاحبه را مطمئن‌ترین و بهترین ابزار جمع‌آوری اطلاعات می‌دانند (Manion و Cohen، ۱۹۸۶). داده‌های این نوع تحقیق از طریق مشاهده، مصاحبه نیمه‌ساخت‌یافته گردآوری شده و متمرکز بر معانی و تفسیرهای مشارکت‌کنندگان در آن است. از نظر زمانی، این پژوهش در ۱۴۰۳-۱۴۰۴ انجام گرفته است. مدت زمان مصاحبه بین سی تا شصت دقیقه بوده است و مصاحبه‌ها تا زمان اشباع نظری ادامه داشته است. حجم نمونه‌ی پژوهش حاضر با اعمال روش کیفی «اشباع نظری» شامل ۲۳ مورد مصاحبه‌ی عمیق و نیمه‌ساخت‌یافته با کشاورز و بهره‌بردار روستاهای شهرستان دهگلان ساکن در یازده روستا، است. در جدول (۱) مشخصات مصاحبه‌شوندگان آمده است.

برای اعتبار تحقیق حاضر از دو نوع اعتبار تفسیری و اعتبار نظری استفاده شده است. اعتبار تفسیری یا به تعبیر والش مطابقت و توجیه‌پذیری (Thomson، ۲۰۰۴) اشاره به تصویرکردن و بیان صحیح معانی دارد که توسط مشارکت‌کنندگان به آنچه پژوهش‌گر مورد مطالعه قرار داده، نسبت داده شده است. به‌طور اخص، این نوع اعتبار به میزان فهم و انعکاس صحیح دیدگاه‌های مشارکت‌کنندگان پژوهش،



شکل ۱- چارچوب شش مرحله‌ای براون و کلارک برای انجام تحلیل تماتیک یافته‌ها

در نهایت و در بحث نتیجه‌گیری، مقوله‌ی هسته که نمایانگر تمام پژوهش و یافته‌های حاصل از آن است، تبیین می‌شود و به مثابه، تحلیل نهایی از موضوع پیشرو، بیان می‌شود. در شکل (۱) فرایند تحلیل تماتیک براساس چارچوب شش مرحله‌ای

براون و کلارک، این مراحل را خلاصه نشان داده است. داده‌ها بر اساس روش «تحلیل تماتیک» و کدگذاری‌های سه‌گانه دربرگیرنده‌ی ۱۵۰ مفهوم، ۱۷ مقوله‌ی اولیه، ۵ مقوله‌ی ثانویه و ۱ مقوله‌ی هسته است (جدول ۳).

جدول ۳- مفاهیم و مقولات مستخرج از روایت‌های زیسته کشاورزان شهرستان دهگلان در مواجهه با بحران و حکمرانی آب

مفاهیم	مقولات اولیه	مقولات ثانویه	مقوله هسته
درک تغییرات اقلیمی، خالی شدن سفره‌های زیرزمینی، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، کاهش آب چاه‌ها، خشک شدن چشمه‌ها، افت قیمت زمین‌های کشاورزی خشکسالی، کشت‌های آب‌بر، پیامدهای کشت مفرط، تبعات آبیاری بی‌رویه، شکستگی و فرسودگی شبکه آبیاری، اهمیت کشت جایگزین، مهاجرت، افزایش حاشیه‌نشینی، خالی از سکنه شدن روستاها، سطح درآمد کشاورزان، بحران آب و از بین رفتن اشتغال، خطرات کود و سموم، سیاست‌ها و مقررات ناسازگار یا ناکافی مرتبط با مدیریت منابع آب، مقررات متناقض که می‌تواند عدم اطمینان ایجاد کند، دیوان‌سالاری اداری، تقاضای محدود بازار برای محصولات کشاورزی، عدم دسترسی به اعتبار و منابع مالی، صدور مجوز چاه و کشاورزی آبی در دشت‌های شرقی، مجوز بی‌رویه چاه‌ها، ضعف نظارت سازمانی، فقدان بازدارندگی راهکارهای مدیریتی، رانت و فساد در تخصیص حق‌آبه، قانون‌گریزی، کاهش حمایت‌های دولتی، بوروکراسی. ذهنیت اقتصادی، نظام استیجاری، پدیده‌ی دلالی، ریسک کشاورزی، مدیریت و نظارت ضعیف، انواع روش‌های حفاری غیرمجاز چاه، الگوی کشت آب‌بر، الگوی کشت بدون دلیل در هر سال غالب می‌شود، نظارتی مثلاً از طرف جهاد کشاورزی وجود ندارد، ضعف در نحوه مدیریت و نظارت بر کنتورها، شیوه‌های تعیین حق‌آبه و امکان تمدید یا شارژ حق‌آبه، کنتورها هیچ تاثیری در کاهش مصرف ندارند، بیش از ۱۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز، در ازای پول حق‌آبه می‌گیرند و شارژ می‌کنند، فقدان توجه سازمانی به آموزش، فقدان هم‌افزایی سازمانی، بی‌اعتمادی نهادی، کم‌اثر بودن اعتراضات، بی‌پاسخ ماندن خواسته‌ها، رايپ خاص ناشی از قانون‌گریزی دستورات قضایی عمدتاً حول جریمه نقدی، مختلفین همیشه از چاه‌داران عمده هستند، ضعف نظارتی در رابطه با مدیریت منابع آب، کاهش یارانه‌ها، شکندگی اقتصادی کشاورزان، تجاری‌شدن کشاورزی، نظام استیجاری، پدیده‌ی دلالی و ریسک فعالیت کشاورزی، دیدگاه رقابتی و از سر چشم و هم‌چشمی، مصرف آب چشم و هم‌چشمی شده است، ذهنیت کشاورزان با توجه به وضعیت اقتصادی و اجتماعی آینده‌نگرانه نیست، آموزش‌های منقطع، مروجان غیرمتخصص، فقدان تبلیغات عمومی، انکار نقش کشاورز، عدم توجه به نیازهای کشاورزان	آگاهی از بحران و تنش آبی آگاهی عدم توجه به پیامدهای زیست محیطی آگاهی از خطرات سموم و کود	آگاهی غیرعملی زیست محیطی	زیست‌جهان‌شکننده در مواجهه با بحران و حکمرانی آب
	چشم و هم‌چشمی در مصرف آب موقعیت همسایگی دخیل در عمل قانون‌گریزی	رفتارهای واکنشی موقعیت مند	
	غلبه اقتصاد بازار بر کشاورزی دلالی و واسطه‌گری	غلبه قواعد بازار بر آب و کشاورزی	
	نابسندگی برنامه‌ریزی اداری-سازمانی بی‌اعتمادی نهادی ارائه بی‌رویه مجوز چاه نظارت ناکافی نهادها سیاست‌ها و مقررات ناسازگار یا ناکافی	حکمرانی نهادی ضعیف	
	تشدید اقدامات واکنشی در برابر اقدامات نهادی کم‌اثر بودن اعتراضات و خواسته‌ها تغییر ارزش‌های اجتماعی کاهش احساس مسئولیت‌پذیری	دگردیسی اجتماعی و فرهنگی انکار عاملیت جمعی کشاورزان	

آگاهی غیرعملی زیست محیطی

بحران آب در ایران با مصادیقی چون خشکسالی‌های متمادی، افت سطح آب‌های زیرزمینی، خشکیدگی تالاب‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، و تنش‌های فزاینده‌ی آبی، وضعیتی متناقضی پدید آورده که در آن امر زیست محیطی به حاشیه رانده شده است. در منطقه مورد مطالعه، این امر با بهره‌برداری بی‌رویه از چاه‌ها برای کشاورزی و جرایم مربوط به آب (تکیه‌خواه و همکاران، ۱۴۰۳)، خالی شدن آبخوان‌ها و فرونشست زمین (خبرگزاری ایلنا، ۱۴۰۴؛ غلامی و همکاران، ۱۴۰۱) و به تبع قرار گرفتن در دشت ممنوعه (قهرودی تالی و همکاران، ۱۴۰۲؛ محمدخان و همکاران، ۱۳۹۸) نمونه‌های عینی این به حاشیه‌رانی زیست محیطی قلمداد می‌شود. در نخستین مبحث، میزان آگاهی زیست محیطی کشاورزان و فهم و درک آن‌ها از این نمونه‌های عینی مطرح شد. علی‌رغم قالب گزاره‌هایی همچون «ناآگاهی کشاورزان» و «عدم فرهنگ‌سازی و آموزش» که از سوی رویکردهای سازمانی، برنامه‌ریزی و مدیریت در سطح کشوری، و به تبع آن در سطح استانی بیان می‌شود که خود نشان از اثرگذاری عمیق این مفروضه در حوزه‌ی سیاست‌گذاری‌های اجتماعی در پیوند با مدیریت اجتماع‌محور منابع آب در حوزه‌ی کشاورزی است، آگاهی زیست محیطی کشاورزان بالا است. مصاحبه‌شوندگان با تکیه بر تجربیات مستقیم و درگیری سالانه‌شان با فعالیت‌های کشاورزی - به‌ویژه در مواجهه با منابع آبی - به‌وضوح بر تغییرات اقلیمی و چالش‌های کم‌آبی واقف‌اند. کشاورزان مستقیماً تجربه می‌کنند که چگونه دگرگونی الگوهای آب‌وهوایی بر عملیات کشاورزی و بهره‌وری تأثیر می‌گذارد. آن‌ها درک کرده‌اند که طی دهه‌های اخیر، هم کشور و هم استان کردستان با پدیده‌ی خشکسالی درگیر بوده‌اند که بر شاخص‌هایی چون کیفیت آب و سطح آب‌های زیرزمینی اثرگذار بوده است.

«من الان ۴۵ ساله، باور کنید خوب یادمه سال ۶۷ و ۶۸ مدرسه می‌رفتم یک متر و نیم برف بود تو مسیرمون. الان چی؟ همه این تغییرات رو حس می‌کنیم، می‌بینم و می‌شنویم» (کد مصاحبه، ۱). در واقع، پیچیدگی چندبُعدی بحران آب به‌وضوح نشان می‌دهد کشاورزان نسبت به سه موضوع آگاهی کامل دارند: ۱. وضعیت بحرانی منابع آبی، ۲. اصول صحیح مدیریت آب، و ۳. الزامات زیست محیطی این مدیریت؛ اما درهم‌تنیدگی موانع اداری-سازمانی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی، همواره تبدیل به سدی در برابر تبدیل این آگاهی به رفتارهای زیست محیطی مسئولانه در مدیریت منابع کشاورزی شده است.

«میدونیم که بارندگی خیلی کم شده. برفی نمونه تو منطقه، بارندگی‌ها هم که رگباری هستن و چندان کمکی نمی‌کنن.

خشکسالی داریم. خوب همه اینا تغییرات آب و هوایی و خشکسالیه، می‌فهمیم این رو» (کد مصاحبه، ۲). علی‌رغم آگاهی از وضعیت و بحران زیست محیطی، کشاورزان کمتر اقدامات عملی برای کاهش آسیب‌ها و پیامدهای آن انجام داده‌اند. آن‌ها این امر را ناشی از مواردی همچون ناپایداری اجتماعی اقتصادی کشاورزان، عدم دخالت و مشارکت آن‌ها در امر برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری و اجرا، غلبه قواعد بازار مبتنی بر سود، عدم تشکل جمعی و کاهش نظارت نهادی می‌دانند که به آن‌ها خواهیم پرداخت.

غلبه قواعد بازار بر آب و کشاورزی

نیاز به استدلال نیست که استان کردستان از منظر شاخص‌های توسعه انسانی، توسعه اقتصادی متوازن و زیرساخت‌های توسعه، همچنین از نظر اشتغال و بیکاری، در وضعیت نامطلوبی قرار دارد. مصاحبه‌شوندگان بر این باورند که توسعه‌نیافتگی اقتصادی منطقه‌ی دهگلان و در پی آن، فقدان تنوع شغلی، باعث شده است نیروی کار عمدتاً به بخش کشاورزی روی آورد. این مسئله به‌گفته مصاحبه‌شوندگان، بر سوءمدیریت منابع آبی اثرگذار است؛ چراکه اتکال مردم منطقه به این فعالیت‌ها منجر به برداشت بی‌رویه از آب چاه‌های کشاورزی، کشت مفرط، استفاده غیراصولی از کود و سموم، و در کل، بی‌توجهی به ملاحظات زیست محیطی و مدیریت پایدار منابع آب شده است. «مردم اینجا شغل‌شون کلاً همین کشاورزیه، منبع درآمد دیگه‌ای وجود ندارد... باید اراضی رو کشت مفرط بکنی که چندتا خانوار و فرزندای بیکارشون که اومدن کنار دست پدرشون کار کنن رو تأمین مالی کنه دیگه، خوب چی این رو جبران میکنه؟ طبیعیه که برداشت آب زیرزمینه، کود و سموم و...» (کد مصاحبه، ۴).

کشاورزان ممکن است آگاهی یا درک محدودی از مزایای اقتصادی بلندمدت مرتبط با شیوه‌های مدیریت آب پایدار داشته باشند. آن‌ها هزینه‌های اجرای چنین شیوه‌هایی را بالاتر از مزایای بالقوه‌ی آن تصور می‌کنند که منجر به بی‌میلی نسبت به اتخاذ آن‌ها می‌شود. همچنین، به دلیل ضعف اقتصادی، کشاورزان سودآوری کوتاه‌مدت را در مقابل پایداری بلندمدت ترجیح می‌دهند؛ چراکه منافع مالی فوری را به همراه دارد، حتی اگر پیامدهای منفی زیست محیطی مانند بحران آب، آلودگی منابع آبی یا تخریب خاک را به‌دنبال داشته باشد.

«کشاورز در مرحله اول باید دنبال منافع اقتصادی‌اش باشد دیگه. کشاورز هم مثل همه مردم و شغل‌های دیگه که دنبال سود خودشون هستن. چون مثلاً آبیاری قطره‌ای که می‌دانیم در آب صرفه‌جویی میکنه، یا محصول کلزا که آب زیادی مصرف

کشت ناپایدار، استفاده حداکثری از زمین، زمان‌های طولانی آبیاری و موارد مشابه می‌شود. بهره‌بردار با مشاهده کشت محصولات متنوع و بهره‌برداری کامل دیگران از زمین‌هایشان، احساس عقب‌ماندگی کرده و پیامد فوری این رویکرد، تشدید مصرف منابع آب است.

«مثلاً من نگاه می‌کنم همسایه چاه من دو یا سه هکتار ۱۰۰ تن سیب‌زمینی برداشت کرده، من هم میرم دنبال رقابت باهاش. نوعی چشم‌وهم‌چشمی ریشه این موضوعه. طرف می‌گه من مصرف نکنم همسایه آب زیرزمینی رو واسه خودش مصرف میکنه، پس منم مثل اون استفاده می‌کنم که عقب نیفتم، چرا مال من رو اون واسه خودش برداشت کنه» (کد مصاحبه، ۳).

بهره‌برداران احساس می‌کنند هرگونه اقدام آن‌ها برای جلوگیری از فاجعه در زمینه خشک‌شدن چاه‌ها به دلیل همراهی نکردن برخی بهره‌برداران بی‌نتیجه خواهد ماند و به نفع بهره‌بردارانی خواهد بود که تمایلی در کاهش مصرف آب چاه‌های کشاورزی نشان نمی‌دهند. همین دیدگاه باعث شده است که در زمینه صرفه‌جویی و مدیریت مصرف آب، اقدام جدی از سوی بهره‌برداران صورت نگیرد.

«مصرف آب شده چشم و هم چشمی. همه دنبال این هستن مثلاً آب چاه‌شون یا آبیاش‌هاشون از همایسه‌شون کم‌تر نشه. حتی اگر بخواد به این مسائل توجه کنه، این رقابت و چشم‌و هم چشمی بین همسایه‌ها دلسردش میکنه» (کد مصاحبه، ۸). مساله مهم دیگر، قانون‌گریزی کشاورزان و درک آن‌ها از قواعد نهادی حاکم است. آن‌ها قوانین را به تعبیر و استنباط خود تفسیر نموده و آن را در موقعیت کنش خود نیز به اجرا در می‌آورند. «طرف حق آب‌هاش تموم شده، اما چطور هنوز ۲۰ هکتار سیب‌زمینی رو داره آبیاری میکنه. خوب معلومه راه‌حل‌های غیرقانونی و دور زدن قوانین وجود داره براش» (کد مصاحبه، ۹). با این اوصاف، می‌توان گفت که رفتارهای کشاورزان در موقعیت کنش و با توجه به قواعد عملی در میدان، بیشتر از آنکه جنبه‌ی فردی داشته باشد ناشی از ساختارهای حکمرانی ضعیف در مدیریت منابع آب می‌باشد. این امر به مثابه یک متغیر بیرونی مهم، در شکل‌دهی به درک و تفسیر کشاورزان از بحران آب و تعاملات‌شان در بستر حکمرانی منابع مشترک، نقش دارد.

حکمرانی نهادی ضعیف

بحران آب را می‌توان بحرانی در حکمرانی نیز دانست. بنابراین، تقاضا برای حکمرانی مطلوب آب به‌منظور تضمین مدیریت مؤثر منابع آبی و تحقق اهداف خاص این حوزه، رو به افزایش است. حکمرانی آب اهمیت بالایی دارد؛ چراکه قدرت، حقوق، تصمیمات

نمی‌کنه، اما آبیاری قطره‌ای هزینه بردار است و مثلاً محصولات دیگر بازار فروش ندارن یا چندان سود ندارند برای کشاورز» (کد مصاحبه، ۱).

در نتیجه‌ی توسعه‌نیافتگی اقتصادی و غلبه‌ی کشاورزی بر ساختار شغلی منطقه‌ی مورد مطالعه، الزامات زیست‌محیطی - به‌ویژه مدیریت بهینه‌ی منابع آب - در برابر معیشت اقتصادی مردم به امری ثانویه تبدیل شده است. با این حال، غلبه‌ی فعالیت کشاورزی به شکلی متناقض، شکنندگی اقتصادی موجود را به سمت کسب سود و تجاری‌سازی کشاورزی سوق داده است. عواملی چون شکنندگی اقتصادی کشاورزان، تجاری‌سازی کشاورزی، نظام استیجاری، دلالتی و ریسک فعالیت زراعی، از دلایل اصلی ناپایداری اقتصادی منطقه محسوب می‌شوند که الگوهای بازار مبتنی بر سود را بر پایداری کشاورزی و محیط‌زیست حاکم کرده‌اند. به همین دلیل، عمده محصولات کشت‌شده در دشت دهگلان (نظیر سیب‌زمینی، یونجه و هندوانه)، محصولاتی تقاضامحور و وابسته به بازار آزاد دلال‌محور هستند که در الگوی کشت اولویت یافته‌اند. تقریباً اکثر مصاحبه‌شوندگان، با وجود آگاهی از نیاز آبی بالای این محصولات و پیامدهای کاهش منابع آب، از کشت آن‌ها خودداری نکرده و به‌صورت گسترده به تولید آن‌ها ادامه می‌دهند.

رفتارهای واکنشی موقعیت‌مند

از مهم‌ترین متغیرها و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کشاورزان، تعاملات آن‌ها در موقعیت‌های کنش است. این تعاملات در راستای اهداف فردی و جمعی، با سایر کشاورزان و نهادهای مربوطه شکل می‌گیرد. در رابطه با موضوع مورد بحث، این پرسش مطرح شد که کشاورزان چه درک و تفسیری از تعاملات متقابل در موقعیت کنش دارند و چگونه رفتار می‌کنند. مضامین چشم‌وهم‌چشمی در مصرف آب، تأثیر موقعیت همسایگی بر تصمیم‌گیری، و قانون‌گریزی از یافته‌های مصاحبه‌ها استخراج شد. براساس یافته‌های حاصل از مصاحبه‌ها در دشت دهگلان، بهره‌برداران با دیدگاه رقابتی و به‌دلیل چشم‌وهم‌چشمی، از منابع آب زیرزمینی استفاده کرده و صرفه‌جویی را اقدامی بیهوده می‌دانند. به‌نظر آن‌ها، این کار عملاً به معنای واگذاری فرصت استفاده بیشتر از آب به رقباست. نگاه رقابتی به‌منظور کسب سود بالاتر، موجب برداشت بی‌رویه از منابع آبی و هدررفت گسترده آن شده است. همچنین بهره‌برداران با مقایسه خود با همسایگان، احساس عقب‌ماندگی داشته و معتقدند باید دست‌کم به اندازه دیگران (و حتی بیش‌تر) از منابع آب استفاده کنند. در واقع، همین نگرش منجر به آبیاری بی‌رویه، الگوی

و اولویت‌های مرتبط با منابع آب و جوامع وابسته به آن را تعیین می‌کند (Schütt و Katusiime, ۲۰۲۰). حکمرانی آب و مشارکت ذی‌نفعان به دلیل نقششان در طراحی و اجرای راه‌حل‌های چالش‌های حیاتی آب، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این میان، کشاورزان به عنوان بازیگران کلیدی و ذی‌نفعان اصلی بهره‌برداری از آب، بهتر می‌توانند چالش‌های حکمرانی را مطرح کنند. مقولات استخراج‌شده در این زمینه عبارتند از:

۱. نابسندگی برنامه‌ریزی اداری-سازمانی، ۲. بی‌اعتمادی به نهادها، ۳. صدور بی‌ضابطه‌ی مجوز حفر چاه، ۴. نظارت ناکافی نهادهای مسئول، و ۵. سیاست‌ها و مقررات ناسازگار یا ناکافی. در منطقه مورد مطالعه، کشاورزان نمودهای حکمرانی ضعیف نهادی را به موارد صدور بی‌رویه‌ی مجوزهای حفر چاه، برداشت‌های غیرمجاز از چاه‌ها، کاهش نظارت و بازرسی شرکت آب منطقه‌ای، کشت‌های غیرمجاز و عدم آموزش مستمر و اثربخش مرتبط می‌دانند. آن‌ها تشدید بحران آب در دهه‌های اخیر را نتیجه‌ی اقدامات نهادی دانسته و بر فقدان برنامه‌ریزی مشخص برای مهار این بحران تأکید دارند.

مصاحبه‌شوندگان معتقدند برداشت‌های غیرمجاز از چاه‌ها -که تعادل منابع آب زیرزمینی را مختل و سطح آب چاه‌ها را کاهش می‌دهد- از عوامل اصلی تشدید بحران است. با کاهش محسوس نظارت شرکت آب منطقه‌ای نسبت به گذشته، برخی بهره‌برداران همچنان به استفاده غیرمجاز از آب‌های زیرزمینی و کشت‌های غیرمجاز ادامه می‌دهند. روایت کشاورزان گویای ضعف ساختاری در حکمرانی و مدیریت منابع آبی منطقه است.

«مدیریت و نظارت‌مان ضعیف است. الان بیش از ۱۶۰۰ مجوز چاه عمیق در دهگلان وجود دارد. به همان اندازه هم چاه غیرمجاز داریم. همون چاه‌های قانونی هم اگر میانگین ۱۰ هکتار باشند، هر کدام نصف آن هم اضافه کشت دارند. حال ببینید چه وضعیتی است» (کد مصاحبه، ۷).

کشاورزان مورد مصاحبه قرار گرفته نیز به همین بی‌توجهی یا کم‌توجهی سازمانی اشاره می‌کنند. آن‌ها معتقد هستند که جهاد کشاورزی حتی در رابطه با الگوی کشت نیز چندان توجهی به مدیریت یا نظارت بر فعالیت کشاورزی منطقه ندارد. «من تا الان ندیدم جهاد [کشاورزی] تو این سال‌ها بیاد به ما کمک کنه، آموزش بده، بگه فلان محصول کشت کنید، خیر» (کد مصاحبه، ۱).

مصاحبه‌شوندگان بر نابسندگی برنامه‌ریزی اداری و همچنین بی‌اعتمادی نسبت به نهادها تأکید دارند و نمود آن را نیز در عدم مشارکت کشاورزان و همچنین نبود نظارت و کم‌اثربخش بودن قوانین و نظارت‌ها می‌دانند.

«سازمان‌ها نظارت نمی‌کنن واقعاً. همین الگوی کشت رو درنظر بگیرید، این الگو رو بازار و دلال داره تعیین میکنه نه جهاد کشاورزی» (کد مصاحبه، ۲).

دگردیسی اجتماعی و فرهنگی و انکار عاملیت جمعی کشاورزان

با توجه به نتایج داده‌های منتج از مصاحبه‌ها، می‌توان در رابطه با عوامل اجتماعی-فرهنگی به شکست تجربه‌های تعاونی‌محور، نادیده گرفتن و حتی انکار تشکلهای جمعی کشاورزان توسط نهادهای ذی‌مدخل و همچنین دگردیسی ارزش‌های اجتماعی-فرهنگی در وضعیت بحران آب و حکمرانی نامطلوب آن اشاره کرد. در واقع، بحران آب و حکمرانی نامطلوب آن، هم زمینه شکل‌گیری و بازآفرینی ارزش‌های اجتماعی-فرهنگی و هم ایجاد تشکلهای جمعی را فراهم آورده است. اما یافته‌ها حاکی از آن است که با توجه به آگاهی غیرعملی زیست‌محیطی کشاورزان، رفتارهای واکنشی موقعیت‌مند آن‌ها شکل گرفته است. این امر در وضعیت غلبه قواعد بازار بر آب و کشاورزی و حکمرانی ضعیف نهادی، سبب دگردیسی اجتماعی فرهنگی و انکار و حذف عاملیت آن‌ها در حکمرانی منابع آب مشترک شده است. کشاورزان در مواجهه با بحران آب و تهدیدهای پیشرو، و به عنوان ذی‌نفعان اصلی منابع آب، نقش و جایگاه مهمی در مدیریت منابع آب دارند. اصولاً، آن‌ها به عنوان مصرف‌کنندگان آب تجربیات عینی از بهره‌برداری و مصرف آب دارند که تخییرات اقلیمی، تصمیم‌گیری‌های نهادی و... در فرایند عمل آن‌ها به عنوان بازیگری مهم نقش دارد و متغیرهای اساسی هستند. در این فرایند، همچنین متغیرهای دانش بومی، ارتباط دیرینه با زمین و آب نیز در ارتباط با نهادها و خواسته‌ها مطرح هستند. کشاورزان دهگلان، علی‌رغم دانش بومی عمیق و ارتباط دیرینه با زمین و آب، اغلب خود را در برابر نیروهای بزرگتر (تخییرات اقلیمی که مهارناپذیر می‌نمایند، تصمیم‌سازی‌های متمرکز و گاه دور از واقعیت، ضعف نهادهای نظارتی، و منافع بازیگران قدرتمندتر) ناتوان و منفعل احساس می‌کنند. احساسی که ریشه در تجربیات مکرر نادیده گرفته شدن، کم‌اثر بودن اعتراضات، و بی‌پاسخ ماندن خواسته‌هایشان دارد. این «عاملیت زوده» نه یک وضعیت ذاتی، که محصول شرایط ساختاری ناعادلانه حکمرانی است. یکی از مصاحبه‌شوندگان بر انکار عاملیت آن‌ها و عدم تشکلهای برای احقاق حقوق کشاورزان در منطقه اشاره می‌کند؛

تعاونی‌های تولید و آب‌بران در منطقه شکست خورده‌اند. عملاً هر کسی برای خودش کار می‌کند و دو نفر هم حتی نمیتونن

حرفشون رو یکی کنن و خواسته‌ها و اعتراضاتشون رو به گوش مسئولان برسانند (کد مصاحبه، ۱۰)

همچنین، می‌توان دگردیسی ارزش‌های دینی-فرهنگی را در رابطه با مدیریت منابع آب مورد اشاره قرار داد. مصاحبه‌شوندگان بر این باورند که در نتیجه فشارهای اقتصادی چند دهه پیش و رواج کشاورزی تجاری متأثر از استان‌های همجوار، نگرش‌های پیشین و دانش بومی حساس به رفتارهای زیست‌محیطی در نسل جدید از بین رفته است. این امر رابطه انسان و آب را به چالشی اساسی تبدیل نموده است که در مصاحبه‌ها به وضوح بیان شد:

«نوع نگاه به آب و خاک تغییر کرده. قبلاً آب رو نعمت خدادادی می‌دانستند، الان نسل ما اون رو ملک خودش میدونه، سرمایه شخصی حساب میکنه واسه سود اقتصادی. قدیمی‌ها از ما بهتر بودن، اگر احترام آب الان وجود داشته باشه این همه مصرف میشه؟ قطعاً نه» (کد مصاحبه، ۱۱).

در مطالعات مربوط به حکمرانی مشارکتی منابع آب، بر مواردی از جمله کمبود زمان، پیچیدگی مدیریت منابع آب، دشواری مشارکت ذی‌نفعان متنوع و فقدان روش‌هایی برای مشارکت (که بر توانمندسازی، عدالت، اعتماد و یادگیری متمرکز باشند) تاکید شده است که می‌تواند در جهت مشارکت موانع ایجاد نماید (Megdal و همکاران، ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری

آب به مثابه کالایی عمومی و مشترک، بازیگران متعددی با اهداف متفاوت (شامل کشاورزان، نهادهای دولتی و بازیگران بازار) را در چارچوب حکمرانی منابع مشترک گرد هم آورده است. با تشدید بحران آب در ایران، به‌ویژه در استان کردستان و مناطق شرقی آن مانند دهگلان (که با افت شدید آب‌های زیرزمینی، برداشت بی‌رویه و ممنوعیت بهره‌برداری از دشت‌ها مواجه است)، ضرورت الگوهای حکمرانی مشارکتی، توزیع عادلانه منابع و تقویت مدیریت بومی در سطوح ملی و بین‌المللی آشکارتر شده است.

این پژوهش با تحلیل روایت‌های زیسته کشاورزان دهگلان، به بازنمایی جایگاه حاشیه‌ای آنان در مدیریت منابع آب و بحران مرتبط پرداخته است. روایت‌های آنان گویای شکستن سکوت و واکاوی گفتمان نهادی حاکم بر منابع آبی است که زیست‌جهان‌شان را شکل می‌دهد. به همین منظور، از چارچوب‌های نظری «حکمرانی منابع مشترک» اوستروم و «هیدرولوژی اجتماعی» و روش «تحلیل روایت» بهره گرفته شد. یافته‌های تحقیق مبتنی بر تحلیل تماتیک و کدگذاری سه‌گانه (شامل ۱۵۰ مفهوم، ۱۷ مقوله اولیه، ۵ مقوله ثانویه و ۱ مقوله هسته) پنج محور کلیدی را آشکار

ساخت: ۱. آگاهی غیرعملیاتی زیست‌محیطی، ۲. رفتارهای واکنشی موقعیت‌مدار، ۳. غلبه قواعد بازار بر آب و کشاورزی، ۴. حکمرانی ضعیف نهادی، و ۵. دگردیسی اجتماعی-فرهنگی و انکار عاملیت جمعی.

تبیین این مقولات نشان می‌دهد اگرچه کشاورزان از پیامدهای زیست‌محیطی آگاهند، این آگاهی تحت تأثیر پیچیدگی‌های بحران آب و درهم‌تنیدگی ابعاد اداری، حقوقی و مدیریتی، به دانشی غیرقابل عمل تبدیل شده است (همسو با یافته‌های نیک‌دل و همکاران، ۱۴۰۱). غلبه قواعد بازار ناشی از شکنندگی اقتصادی، تجاری‌سازی کشاورزی، نظام اجاره‌ای و دلالتی-موجب ترجیح سود کوتاه‌مدت بر پایداری بلندمدت شده است. موازی با این عوامل، ضعف نهادی در قالب صدور بی‌رویه مجوز چاه، برداشت‌های غیرمجاز، و نظارت ناکافی و فقدان آموزش اثربخش، کشاورزان را به رفتارهای واکنشی (مانند چشم‌وهم‌چشمی، قانون‌گریزی و عمل بر اساس موقعیت همسایگی) سوق داده که خود بحران را تشدید می‌کند. علی‌رغم دانش بومی عمیق و آگاهی از بحران، عاملیت آنان نادیده گرفته شده و اقدامات جمعی‌شان با شکست مواجه شده است (همسو با ایار و عنبری، ۱۴۰۲؛ Campbell و همکاران، ۲۰۲۰).

در تبیین نهایی، شکنندگی زیست‌جهان کشاورزان دهگلان ریشه در تعامل سه‌گانه‌ی حکمرانی ناکارآمد (شکست در تخصیص عادلانه، نظارت و برنامه‌ریزی بلندمدت)، سلطه قواعد بازار (تبدیل آب به کالای خصوصی و ترویج الگوهای کشت پرمصرف) و آگاهی غیرعملیاتی زیست‌محیطی دارد. این سه‌گانه، کشاورزان را در چرخه‌ی معیوبی اسیر کرده است: الزامات اقتصادی و نبود پشتیبانی نهادی، آنان را به سمت راه‌حل‌های مقطعی (حفر چاه غیرمجاز، کشت‌های پربیسک) سوق می‌دهد که هرچند اقتصاد فعلی را تأمین می‌کند، بحران اکولوژیک را تعمیق می‌بخشد. پیامد این فرآیند، تخریب سرمایه اجتماعی-فرهنگی و زوال عاملیت جمعی است که بحران آب را به محمل بازتعریف روابط قدرت و هویت تبدیل کرده است. همسو با یافته‌های جهانگیری و همکاران (۱۴۰۴)، Taylor و Sonnenfeld (۲۰۱۷) و Nayar (۲۰۱۳)، راه بردنمودن از این بحران مستلزم تغییر پارادایم حکمرانی (گذار از رویکرد متمرکز به مشارکت‌محور) بر اساس اصول مدیریت منابع مشترک و هیدرولوژی اجتماعی است. در میدان عملی، این تحول شامل: تعیین کاربران مجاز و مرزهای فیزیکی منابع از طریق نظارت نهادی، مشارکت کشاورزان در تمام مراحل تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرا، رسمیت‌بخشی به تشکلهای کشاورزی با محوریت دانش بومی و تنظیم‌گری هوشمند رابطه

بازار-محیط زیست با محوریت نقش کشاورزان می باشد. بدون این تحول ساختاری، چرخه شکنندگی تداوم خواهد یافت و پایداری آب و کشاورزی در منطقه ناممکن خواهد شد.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهش و نوآوری دانشگاه کردستان از پژوهشگر پسادکتر به شماره قرارداد ۲۸۴۴۱/۰۹/۰۳/ص به انجام رسیده است.

پی نوشت ها

1. Technocracy
2. Tamil Nadu Water Supply and Drainage Board

منابع

- اسلامی، روح الله، و رحیمی، احمد. (۱۳۹۸). سیاست گذاری و بحران آب در ایران. سیاست های راهبردی و کلان، ۷(۲۷)، ۴۱۰-۴۳۵.
<https://doi.org/10.32598/JMSP.7.3.5>
- نوری اسفندیاری، انوش. (۱۴۰۳). گزارش سیاستی شماره (۱): بحران تمدنی آب ایران و بایسته ها: اندیشکده تدبیر آب ایران و خانواده آب.
<http://iwprir.ir/home/single/838>
- ایار، علی، و عنبر، موسی. (۱۴۰۲). از گردو تا اوکالیپتوس: روایتی مردم نگارانه از فرسایش اجتماعات محلی در ایران. فصلنامه علوم اجتماعی، ۳۰(۱۰۱)، ۷۳-۲۹.
<https://doi.org/10.22054/qjss.2024.78382.2763>
- پورخسروانی، انیس، توحیدفام، محمد، امینی، علی اکبر، و جلالی، رضا. (۱۳۹۹). عوامل مؤثر بر ناکارآمدی سیاست منابع آب ایران. مطالعات سیاسی، ۱۳(۵۰۱)، ۸۷-۱۰۹.
- تکیه خواه، جاهده، کاتورانی، شلیر، صیدی، سیروان، سهراب نژاد، چیا، و جعفری، محمد میلاد. (۱۴۰۳). شناخت راهبرد و راهکارهای عملی جهت پیشگیری جراثیم حوزه منابع آب زیرزمینی به منظور کاهش اثرات بحران آب در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۰(۳)، ۴۳۷-۴۲۹.
<https://doi.org/10.22034/ewe.2024.424218.1900>
- جهانگیری، جهانگیر، علیمحمدی خانقاه، آذر، ایمان، محمدتقی، و گلی، علی. (۱۴۰۴). ناتوان سازی دریاچه ارومیه در متن فراروایت ها (مردم نگاری انتقادی). جامعه و محیط زیست، ۱(۴)، ۱۲۱-۱۵۸.
<https://doi.org/10.22080/jsn.2025.28367.1085>
- خانیکی، هادی، و موسوی، سیده ثریا. (۱۴۰۱). روابط قدرت دخیل در صورت بندی گفتمانی مسئله آب ایران در روزنامه های شرق و ایران. فصلنامه علمی مطالعات فرهنگ-ارتباطات، ۲۳(۶۰)، ۳۵-۶۲.
<https://doi.org/10.22083/jccs.2021.140444>
- خبرگزاری ایلنا. (۱۴۰۴). زنگ خطر کم آبی و فرونشست زمین در کردستان به صدا در آمد. کد خبر: ۱۶۲۷۰۳۹. تاریخ بازدید: ۱۴۰۴/۳/۰۱.
<https://www.ilna.ir/fa/tiny/news-1627039>
- ذکایی، سعید. (۱۳۸۱). نظریه و روش در تحقیقات کیفی. فصلنامه علوم اجتماعی، ۹(۱۷)، ۶۹-۴۱.
- رضاییان، احد، و رضاییان، علی حسین. (۱۳۹۵). آینده پژوهی بحران آب در ایران به روش سناریوپردازی. مجله اکوهیدرولوژی، ۳(۱)، ۱۷-۱.
<https://doi.org/10.22059/ije.2016.59185>
- سند جامع مدیریت آب استان کردستان. (۱۳۹۹). بازنگری در (۱۴۰۳). آسیب شناسی مدیریت آب در کشور و استان کردستان. تهیه و تنظیم: کمیته آب، شبکه ملی جامعه و دانشگاه، دانشگاه کردستان، شهر سنندج، کردستان، ایران.
- طلوعی، وحید، و خالقی پناه، کمال. (۱۳۸۷). روایت شناسی و تحلیل روایت. خوانش، ۹(۹)، ۴۵-۴۵.
<https://sid.ir/paper/463371/fa>
- عاقبت بخیر، کسری، و نستوه، امین، و شاقوزایی، میثم، (۱۳۹۳). آب مجازی، ضرورت تغییر نگرش در مدیریت منابع آب. همایش ملی راهکارهای پیش روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز.
<https://civilica.com/doc/369171>
- غلامی، اسماعیل، و عرب امیری، علیرضا، و تخمچی، بهزاد. (۱۴۰۱). پهنه بندی و پیش بینی مکانی و زمانی رخداد فرونشست زمین در دشت های قروه و چهاردولی استان کردستان با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ و صحت سنجی آن. ششمین کنفرانس بین المللی توسعه فناوری مهندسی مواد، معدن و زمین شناسی. تهران، ایران.
<https://civilica.com/doc/1535564>
- قهرودی تالی، منیژه، خدامرادی، فرهاد، و علی نوری، خدیجه. (۱۴۰۲). تأثیر افت آب های زیرزمینی بر مخاطرات فرونشست زمین در دشت دهگلان، استان کردستان. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۱)، ۵۷-۷۰.
<https://doi.org/10.22059/jhsci.2023.359130.777>
- محمدخان، شیرین، گنجائیان، حمید، گروسی، لیلان، و زنگنه تبار، زهرا. (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر افت آب های زیرزمینی بر میزان فرونشست با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱؛ محدوده مورد مطالعه: دشت قروه. اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۸(۱۱۲)، ۲۱۹-۲۲۹.
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38617>
- نصرآبادی، اسماعیل. (۱۳۹۴). شواهد زیست محیطی بحران آب ایران و برخی راه حل ها. راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۴(۱۵)، ۶۵-۸۹.
[SID. https://sid.ir/paper/243572/fa](https://sid.ir/paper/243572/fa)
- نیکدل، نرمین، بنی فاطمه، حسین، و عباسزاده، محمد. (۱۴۰۱). تحلیل روایی نخبگان علمی و سیاسی از بحران دریاچه ارومیه. جامعه شناسی اقتصادی و توسعه، ۱۱(۱)، ۱-۳۰.
<https://doi.org/10.22034/jeds.2022.34723.1268>
- هاشمی، سیدمختار. (۱۴۰۱). اصول هیدرواجتماعی: ارتقاء از چرخه هیدرولوژی به چرخه هیدرواجتماعی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱۴۵-۱۴۸.
- Bozorg-Haddad, O., Delpasand, M., & Loáiciga, H. A. (2021). Water quality, hygiene, and health. In *Economical, political, and social issues in water resources*. Elsevier, 217-257.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00008-5>
- Braun, V., & Clarke, V. (2022). Conceptual and design thinking for thematic analysis. *Qualitative Psychology*, 9(1), 3-26.
<https://doi.org/10.1037/qup0000196>
- Campbell, E., Hoey, B. A., & Lassiter, L. E. (2020). I'm afraid of that water: A collaborative ethnography of a West Virginia water crisis. West Virginia University Press.
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1971149384869570051>

- Clarke, V. & Braun, V. (2013). Teaching thematic analysis: Overcoming challenges and developing strategies for effective learning. *The Psychologist*, 26(2), 120-123.
<https://uwe-repository.worktribe.com/output/937596>
- Clarke, V., & Braun, V. (2017). Thematic analysis. *The Journal of Positive Psychology*, 12(3), 297-298.
<https://doi.org/10.1080/17439760.2016.1262613>
- Cohen, L. & Manion, L. (1986). *Research methods in education*. Routledge. London, England.
- Hamidifar, H. (2024). Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In *Water Crises and Sustainable Management in the Global South*. Singapore: Springer Nature Singapore, 85-109.
https://doi.org/10.1007/978-981-97-4966-9_3
- Katusiime, J., & Schütt, B. (2020). Integrated water resources management approaches to improve water resources governance. *Water*, 12(12), 3424.
<https://doi.org/10.3390/w12123424>
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of environmental studies and sciences*, 4, 315-328.
<https://doi.org/10.1007/s13412-014-0182-z>
- Madani, K., AghaKouchak, A., & Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. *Iranian studies*, 49(6), 997-1016.
doi: [10.1080/00210862.2016.1259286](https://doi.org/10.1080/00210862.2016.1259286)
- Maxwell, J. (1992). Understanding and validity in qualitative research. *Harvard educational review*, 62(3), 279-301.
<https://doi.org/10.17763/haer.62.3.8323320856251826>
- Megdal, S. B., Eden, S., & Shamir, E. (2017). Water governance, stakeholder engagement, and sustainable water resources management. *Water*, 9(3), 190.
<https://doi.org/10.3390/w9030190>
- Molle, F. (2009). Water, politics and river basin governance: Repoliticizing approaches to river basin management. *Water International*, 34(1):62-70.
doi: [10.1080/02508060802677846](https://doi.org/10.1080/02508060802677846)
- Nayar, V. (2013). The water crisis—Rethinking water governance. *Journal of Land and Rural Studies*, 1(1), 75-94.
<https://doi.org/10.1177/2321024913487>
- Nazemi, N., Foley, R. W., Louis, G., & Keeler, L. W. (2020). Divergent agricultural water governance scenarios: The case of Zayanderud basin, Iran. *Agricultural Water Management*, 229, 105921.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105921>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge university press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>
- Ostrom, E. (2005). *Doing Institutional Analysis Digging Deeper Than Markets and Hierarchies*. Springer Books, in: Claude Menard & Mary M. Shirley (ed.), *Handbook of New Institutional Economics*, chapter 30, pages 819-848, Springer.
https://doi.org/10.1007/0-387-25092-1_31
- Ostrom, E. E., Dietz, T. E., Dolšák, N. E., Stern, P. C., Stonich, S. E., & Weber, E. U. (2002). *The drama of the commons*. National Academy Press. Washington, DC.
<https://doi.org/10.17226/10287>
- Pahl-Wostl, C. (2015). *Water governance in the face of global change: From understanding to transformation*. Springer, New York, USA.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-21855-7>
- Pahl-Wostl, C., L. Lebel, C. Knieper, & E. Nikitina. (2012). From applying panaceas to mastering complexity: Toward adaptive water governance in river basins. *Environmental Science & Policy*, 23, 24-24.
doi: [10.1016/j.envsci.2012.07.014](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.014)
- Paulson, S., Gezon, L. L., & Watts, M. (2003). Locating the political in political ecology: An introduction. *Human organization*, 62(3), 205-217.
<https://doi.org/10.17730/humo.62.3.e5xcjnd6y8v09n6b>
- Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22(3), 1749-1785.
<https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
- Sivapalan, M., Savenije, H. H., & Blöschl, G. (2012). Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrol. Process*, 26(8), 1270-1276.
<https://doi.org/10.1002/hyp.8426>
- Stone, R. (2018). An Iranian researcher went home to serve his country. Now, "I realize that I'm lucky I'm not in prison". *Sci. Mag.* <https://doi.org/10.1029/2018WR023575>
- Taylor, P. L., & Sonnenfeld, D. A. (2017). Water crises and institutions: Inventing and reinventing governance in an era of uncertainty. *Society & natural resources*, 30(4), 395-403. <https://doi.org/10.3390/w12051273>
- Thomson, B. S. (2004). Qualitative research: Grounded theory-sample size and validity. In *Faculty of Business and Economics 10th Annual Doctoral Conference October, September 2004* (pp. 25-27). University of National and World Economy - Ravda, Bulgaria Organized by Sofia University St Kliment Ohridski, Faculty of Economics and Business Administration University of National and World Economy.
- Uhlenbrook, S. (2019). The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind. WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). 2019. The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris, UNESCO.
- Wilfong, M., & Pavao-Zuckerman, M. (2020). Rethinking stormwater: analysis using the hydrosocial cycle. *Water*, 12(5), 1273.
<https://doi.org/10.1080/08941920.2017.1274208>

Article Type

Applied Article

پژوهشی کاربردی

نوع مقاله

Investigation and Analysis of Drinking Water Challenges in Kerman City in the Current and Future Situation

بررسی و تحلیل چالش‌های آب شرب شهر کرمان در وضعیت موجود و آینده

M.Soleimani Damaneh¹, H.R.Rakhshaninasab^{2*}, H. Nazaripour³

مجتبی سلیمانی دامنه^۱، حمیدرضا رخشانی نسب^{۲*}، حمید نظری پور^۳

1,2- Ph.D. student and Assistant Professor in Geography and Urban Planning, Department of Human Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
3- Associate Professor of Climatology, Department of Natural Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، گروه جغرافیای انسانی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ۳- دانشیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

*Corresponding Author Email: rakhshaninasab_h@gep.usb.ac.ir

*رایانامه نویسنده مسئول: rakhshaninasab_h@gep.usb.ac.ir

Received 24-12-2024
Revised 20-04-2025
Accepted 28-04-2025
Available Online 20-09-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۰/۰۴
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۲/۰۸
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

چکیده

Water is one of the world's limited resources, and its shortage poses challenges for urban populations. Water challenges in the Asian continent are more acute than in other regions of the world, and developing countries, including Iran, face a more critical future. In this regard, the present study examines the challenges of drinking water in Kerman city in its current and future status. The research is descriptive-analytical in terms of nature and method and applied in terms of purpose. The information has been collected through library and documentary studies as well as fieldwork (questionnaire and visit). The statistical population consists of specialists and experts in the water sector, 35 people have been selected as the sample size by the two-stage Delphi method. The information has been analyzed through analysis, inference, and decision-making techniques of BWM and PIPRECIA. The results of the analysis show that the existing challenges of drinking water in Kerman city include: decreasing levels of drinking water supply resources, increasing population, urbanization, increasing area and physical surface of the city, high water consumption in car washes, green spaces, and industries, unauthorized branches, and harsh climatic conditions. The results of the BWM technique indicate that the social dimension, with a value of 0.259, ranked first and as the most important challenge, and the environmental dimension, with a final value of 0.243, ranked last among the challenges of the freshwater crisis in Kerman city. The results of the PIPRECIA technique indicate that the challenge of conflict and disagreement between Kerman city and other cities of the province, with a weight of 0.0442, ranked first and as the most important challenge, and the divergence and efforts for independence of the people with a weight of 0.042745, ranked last. Therefore, it can be concluded that if excessive migration is not prevented and citizens do not save water consumption patterns, the drinking water crisis in Kerman city will become more severe and will lead to further challenges. In this regard, comprehensive efforts of urban management are necessary.

آب از منابع محدود جهان به شمار می‌آید که کمبود آن باعث بروز چالش‌هایی برای جمعیت شهرنشین می‌شود. چالش‌های آبی در قاره آسیا نسبت به سایر مناطق جهان حادتر بوده و کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، آینده بحرانی‌تری پیش‌رو دارند. در این راستا، در این پژوهش چالش‌های آب شرب شهر کرمان در وضعیت موجود و آینده بررسی شده است. این پژوهش از منظر ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف، کاربردی می‌باشد. اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی و همچنین میدانی (پرسش‌نامه و بازدید) گردآوری شده است. جامعه آماری را متخصصین و کارشناسان حوزه آب تشکیل می‌دهند که به روش دلفی دو مرحله‌ای، ۳۵ نفر به عنوان حجم نمونه انتخاب شده‌اند. اطلاعات از طریق تحلیل، استنباط و تکنیک‌های تصمیم‌گیری BWM و PIPRECIA تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که چالش‌های موجود آب شرب شهر کرمان شامل: پایین رفتن سطح منابع تأمین‌کننده آب شرب، رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت، افزایش مساحت شهر، مصرف زیاد آب در کارواش‌ها، فضای سبز و صنایع، انشعابات غیرمجاز و شرایط سخت اقلیمی می‌باشد. نتایج تکنیک BWM حاکی از آن است که بعد اجتماعی با ارزش ۰/۲۵۹ در رتبه اول و به عنوان مهم‌ترین چالش و بعد محیط‌زیستی با ارزش نهایی ۰/۲۴۳ در رتبه آخر چالش‌های بحران آب شیرین شهر کرمان شناخته شدند. نتایج تکنیک PIPRECIA نشان می‌دهد که چالش درگیری و اختلاف بین شهر کرمان و سایر شهرهای استان با وزن ۰/۰۴۴۲ به عنوان مهم‌ترین چالش و در رتبه اول و واگرایی و تلاش برای استقلال‌طلبی مردم با وزن ۰/۰۴۲۷۴۵ در رتبه آخر قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، در صورتی که از مهاجرت‌های بی‌رویه جلوگیری نشود و شهروندان در الگوی مصرف آب صرفه‌جویی نکنند، بحران آب شرب در شهر کرمان شدیدتر شده و چالش‌های بعدی را به دنبال دارد. در این زمینه تلاش همه جانبه مدیریت شهری لازم است.

Keywords: Dimensions of Drinking Water Challenges, Future Problems of the Drinking Water Crisis, Decision-Making Techniques, Kerman City.

واژه‌های کلیدی: ابعاد چالش‌های آب شرب، مشکلات آینده بحران آب شرب، تکنیک‌های تصمیم‌گیری، شهر کرمان.

How to cite this article: Soleimani Damaneh, M., Rakhshaninasab, H.R. & Nazaripour, H. (2025). Investigation and Analysis of Drinking Water Challenges in Kerman City in the Current and Future Situation. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 107-130. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2412-1390>

سفره‌های آب زیرزمینی، میزان بارش و آب‌های سطحی یعنی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب شیرین مورد نیاز برای اهداف مختلف بشر را فراهم می‌آورند. در سال‌های اخیر تقریباً در اکثر مناطق جهان به دلیل مصرف بیش از اندازه، تغییرات اقلیمی، عدم جایگزینی منابع و افزایش تقاضا، پتانسیل منابع آب کاهش یافته است (Kumar و Gupta، ۲۰۱۸). پیش‌بینی‌های مجمع جهانی اقتصاد نشان می‌دهد ۷۰ درصد شهرهای جهان تا سال ۲۰۳۰، با تنش کم‌آبی روبه‌رو می‌شوند و اگر این روند ادامه پیدا کند، تا سال ۲۰۵۰، تنش شدید آبی بیش از یک میلیارد نفر از جمعیت جهان را تحت تأثیر خود قرار خواهد داد (World Economic Froum، ۲۰۲۱). از طرفی دیگر پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، به جمعیت موجود جهان سه میلیارد افزوده شود که تعداد زیادی از این جمعیت در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند.

بنابراین این کشورها باید برای تأمین آب و پایداری آن سرمایه‌گذاری کنند. با توجه به کمبود آب، درگیری و اختلافات زیادی بین جمعیت شهری و روستایی، بخش‌های کشاورزی و صنعت با بخش عرضه کننده آب به‌وجود آمده است (Vieira، ۲۰۲۰). علاوه‌براین، شهرها به دلیل افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی و با توجه به اقتصاد جهانی، مصرف‌کننده اصلی و آلوده‌کننده‌ترین منابع آب شناخته شده‌اند (Chang و همکاران، ۲۰۲۰).

آب در توسعه و رشد اقتصادی جهان نقش اساسی و مهم ایفا می‌کند زیرا منابع آبی با رشد اقتصادی، کاهش فقر، سلامت انسان و حفاظت از محیط‌زیست ارتباط تنگاتنگی دارد. امروزه یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین چالش‌های جهان، افزایش تقاضا برای آب شیرین است که باید بین تقاضا و عرضه تعادل ایجاد شود (زارع و همکاران، ۱۴۰۱). در سال‌های گذشته، گرم شدن کره زمین، در مقدار بارندگی‌های منطقه‌ای و جهانی تغییرات عمده‌ای ایجاد کرده است، به‌نحوی تعادل آب به دلیل افزایش تبخیر و دما تغییر کرده است و افزایش جمعیت و فعالیت اقتصادی، تقاضا برای آب را افزایش داده است. با توجه به این موارد، یکی از چالش‌های اساسی و برجسته قرن بیست و یکم و پیش‌روی بشر، کمبود آب می‌باشد که این کمبود آب، رقابت بر سر آب را افزایش داده و توسعه صنعتی و رشد اقتصادی را با مانع و مشکل ایجاد نموده است (Li و همکاران، ۲۰۲۰). بحران آب را می‌توان شامل منازعات و کشمکش‌ها سیاسی- اجتماعی که در نتیجه کمبود آب به‌وجود می‌آیند، تعریف کرد. بحران آب وضعیتی است که میزان دسترسی و سرانه آب تجدیدپذیر

افراد از استاندارد جهانی کمتر است (رضایان و رضایان، ۱۳۹۵). بحران آب تنها بیانگر وضعیت موجود در مسئله آب نیست، بلکه حاکی از بحران‌های امنیتی و ملی است که می‌توانند در کنار یکدیگر به یک فرا بحران تبدیل شده و حیات یک جامعه را متأثر سازند (عاملی و همکاران، ۱۳۹۸). بسیاری از پژوهشگران بر این باور هستند که جنگ‌های آینده بین کشورها بر سر آب خواهد بود، مگر اینکه نحوه مدیریت منابع آب تغییر کند. تخمین‌های اولیه بیانگر این است که بیشتر از یک میلیارد نفر در دنیا با معضل تأمین آب سالم مواجه هستند و همچنین تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۵۶ کشور جهان با معضل کمبود آب روبرو خواهند شد (حاتمی و نوربخش، ۱۳۹۸). به‌همین دلیل است که اگر در گذشته مبحث مدیریت آب تنها از دید فنی مورد بررسی قرار می‌گرفت، اما امروزه به‌دلیل تأثیر اجتماعی، اقتصادی و امنیتی آن، باید با دیدی جامع و سیستماتیک بررسی شود (Barry، ۲۰۰۷). بحران آب می‌تواند پیامدهای اجتماعی و سیاسی زیادی از جمله: مهاجرت گسترده از شهرهای خود و افزایش تعداد آوارگان آب، کاهش رشد و توسعه اقتصادی و بروز رفتارهای اجتماعی خارج از عرف انسانی به‌همراه داشته باشد که شواهد و مدارک حاکی از تأیید این پیامدها دارد (مرادی‌طادی، ۱۳۹۶). از این‌رو Falcon Mark (۱۹۸۹) معتقد است مشکل آب شیرین باعث درگیری و نزاع در سطح محلی، ملی و فراملی می‌شود از آنجایی که این مسئله سیاسی است، زمینه‌ساز بروز جنگ خواهد شد. همچنین اندیشمندان معتقدند که بسیاری از اختلافات بین کشورها ناشی از دسترسی به آب شیرین است که به جنگ آب تعبیر شده است (افضلی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به اهمیت آب برای بشر، (Duka، ۲۰۰۹)، معتقد است که آب برای بسیاری از کشورهای جهان، منبع باارزش است به همین علت از آب کمتری برای مصارف خود استفاده می‌کنند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵).

امروزه یکی از مشکلات و دغدغه‌های اساسی در کشورهای جهان سوم، کمبود آب به‌ویژه آب شرب و شیرین می‌باشد. کاهش آب شیرین این کشورها، این نگرانی را در تمام جهان به‌وجود آورده است که ممکن است جنگ جهانی آب رخ دهد (زندحسامی و فرهادی، ۱۳۹۶). در بین کشورهای جهان، چالش‌های آبی در قاره آسیا جدی‌تر و حادث‌تر است و کشورهای در حال توسعه نیز آینده بحرانی‌تری دارند. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، بیشتر مناطق کشور، اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارند به‌نحوی که میانگین بارندگی حدود ۲۵۰ میلیمتر است که از میانگین بارش در جهان، پایین‌تر است. در سال‌های اخیر، کشور ایران با مصرف زیاد منابع آبی توسط شهروندان و کمبود آب مواجه بوده است. در این زمینه، یک

مسئله مهم برای مدیریت موثر منابع آب، توجه به رابطه بین پارامترهای جغرافیایی و مکانی، جمعیتی، اجتماعی، اقتصادی و الگوی مصرف آب شهری می‌باشد (Statistical Center of Iran, ۲۰۱۱). باوجود اینکه بحران آب پیامدهایی مانند: اختلافات و مناقشات محلی و منطقه‌ای در برخی از استان‌های کشور را به‌وجود آورده است اما هنوز بین مردم و کارشناسان و سیاست‌گذاران دغدغه، حساسیت و توجه خاصی پدید نیامده است. «مدیریت ناصحیح آب در مقیاس دولتی به مدت طولانی، فقدان برنامه‌ریزی راهبردی باتوجه‌به مسائل ایمنی آب در کشور و ضعف سیاست‌ها»، لزوم تجدید نظر در اهداف و سیاست‌های پیش‌رو به‌منظور مدیریت بحران آب را دوچندان می‌کند (آقامیری و رحمانی، ۱۳۹۷)، بنابراین نگهداری از آب برای بقاء نسل‌های آینده ضروری است (Distanont و همکاران، ۲۰۱۷). باتوجه‌به اهمیت آب و چالش‌های آن، تحقیقات خارجی و داخلی به شرح ذیل انجام شده است:

Emenike و همکاران (۲۰۱۷) مسائل و چالش‌های دسترسی به آب آشامیدنی سالم در جنوب صحرای آفریقا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که دسترسی به آب در محدوده مورد مطالعه به‌دلیل سطح کیفی و دسترسی بیشتر به منابع خصوصی محدود می‌شود. این مطالعه نشان می‌دهد که سرنوشت تأسیسات آب دولتی به‌شدت کاهش یافته است. علاوه براین، این مطالعه نیاز به بازنگری در سیاست‌های دولت را با گنجاندن یارانه، بازیابی هزینه و برداشت آب باران به‌عنوان ابزارهای مؤثر در بهبود و تشویق برابری در دسترسی به آب برجسته کرد. Grube و همکاران (۲۰۲۰) چالش‌های دستیابی به تأمین آب آشامیدنی را در جزیره سن کریستوبال^۲، گالاپاگوس^۳ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تصفیه‌خانه‌های آب شهری عموماً آب آشامیدنی با کیفیت بالایی تولید می‌کنند، اما بین ۲ تا ۳۰ درصد از نمونه‌های آزمایش، آلودگی تشخیص داده‌اند. Wang و همکاران (۲۰۲۲) بحران فزاینده آب در آسیای مرکزی و نیروهای محرکه آن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ازبکستان^۴ و ترکمنستان^۵ به‌رده «تنش آبی شدید» تعلق دارند. تاجیکستان^۶ به‌عنوان «تنش آبی بالا» طبقه‌بندی می‌شود. قرقیزستان^۷ و قزاقستان^۸ هر دو «تنش آبی متوسط» را نشان می‌دهند. Avazpour و همکاران (۲۰۲۳) چالش بحران آب در استرالیا^۹ به‌عنوان شهر حساس به آب را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فقدان طراحی و اجرای استاندارد زیرساخت‌های آب را می‌توان از طریق فرآیندهای طراحی مشترک برطرف کرد. آن‌ها ساختاری قوی از فرایند تصویب و ایجاد شفافیت نقش‌ها و مسئولیت‌ها در همه بخش‌ها را پیشنهاد می‌کنند. Ahmad

و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی چالش‌ها و پیامدهای منابع آب و مدیریت آن را در پاکستان^{۱۰} پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شکاف‌ها و ضعف‌های موجود در قوانین و مقررات موجود، در کنار تهدیدات مدیریت منابع آب به‌دلیل گسترش جمعیت، توسعه شهری، تغییرات آب‌وهوا و آلودگی آب است.

برای پرداختن صحیح به این مشکلات، مطالعه حاضر یک چارچوب جامع برای مدیریت منابع آب پیشنهاد کرده است. Isukuru و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی بحران آب و چالش‌های آن در نیجریه^{۱۱} پرداختند و به این نتیجه رسیدند که باوجود ثروت عظیم نیجریه در منابع آبی، این کشور با بحران آب قابل‌توجهی مواجه است که حل آن بسیار دشوار است، از طرفی این بحران آب باعث چالش‌های بهداشت عمومی و امنیت شده است.

قشقایی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی چالش‌های آب شهری در شهر بندرعباس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که راهکار مدیریتی پشت‌بام سبز، نسبت به بقیه راهکارها از عملکرد بهتری دارد که با اجرای پشت‌بام سبز، پس‌زدگی جریان به ۱ درصد شبکه کاهش یافت. براتی (۱۳۹۸) چالش‌های بحران کم‌آبی در ایران را بررسی کردند و به این نتیجه رسید که توسعه قطبی باعث افزایش هدر رفت و مصرف آب در حوزه‌های شهری، کشاورزی و صنعتی شده است. در این الگو، تمامی امکانات و سیاست‌ها به سدهای‌های بی‌رویه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، انتقال آب از حوزه‌های مرطوب و بارورسازی ابرها منجر شده است.

محمدی ده‌چشمه و گنخکی (۱۴۰۱) چالش‌های حکمروایی و مدیریت یکپارچه منابع آب شهرهای استان بوشهر را با استفاده از روش وزن‌دهی آنتروپی شانون و تاپسیس بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند چالش‌های تضاد بین سازمان‌های تصمیم‌گیر در مدیریت منابع آب و تأکید بر سیاست‌های عرضه‌محور آب به ترتیب با وزن‌های ۰/۰۸۹ و ۰/۰۸۶ به‌عنوان مهم‌ترین چالش شناخته شدند. همچنین شهرهای بوشهر، گناوه و دیلم در سطح حکمروایی کاملاً مطلوب، شهر برازجان در سطح حکمروایی مطلوب، شهرهای اهرم، خورموج و عسلویه در سطح حکمروایی متوسط، شهرهای کنگان و جم در سطح حکمروایی نامطلوب و شهر دیر در سطح حکمروایی کاملاً نامطلوب قرار دارند. زارع و همکاران (۱۴۰۱) عوامل مؤثر بر تقاضای آب صنعتی در ایران و چالش پیش‌رو را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تولیدات صنعتی بیشترین نقش را در افزایش مصرف آب داشته‌اند. در کنار این افزایش، سطح عرضه کاهش یافته است. سعیدی و صادقی ده‌چشمه (۱۴۰۲)، سناریوهای پیامدهای امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری را تحلیل

۱. روش تحقیق

تحقیق حاضر در دسته تحقیقات کاربردی می‌باشد؛ به این صورت که از طریق مطالعات کتابخانه‌ای با مراجعه به کتب، مقالات، اسناد (آب و فاضلاب، شهرداری، آب و هواشناسی) اینترنت و غیره برای چارچوب نظری و همچنین مطالعات میدانی با استفاده از پرسش‌نامه برای اطلاع از وضعیت چالش‌ها در آینده و روش مشاهده (در زمینه بررسی وضعیت کارواش‌ها، فرسودگی زیرساخت‌ها، انشعابات غیرمجاز) اطلاعات موردنیاز گردآوری شد. جامعه آماری تحقیق شامل متخصصین در حوزه آب (شامل کارشناسان آب و فاضلاب، شهرداری، جهاد کشاورزی، اساتید) می‌باشد که نسبت به چالش‌های آب شرب آگاهی کامل داشته‌اند.

نمونه تحقیق از طریق دلفی دومرحله‌ای شامل ۳۵ نفر از متخصصین انتخاب شدند. روایی پرسش‌نامه توسط اساتید دانشگاه سیستان و بلوچستان و دانشگاه شهید باهنر کرمان تأیید شد. پایایی پرسش‌نامه نیز از طریق آلفای کرونباخ به میزان ۰/۸۳۲ به دست آمد که حاکی از پایایی قابل قبول می‌باشد. اطلاعات از طریق مدل تصمیم‌گیری BWM^۱ و PIPRECIA^۲ (مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در رشته برنامه‌ریزی شهری جهت تعیین وزن و اهمیت شاخص‌ها) برای مشخص‌شدن مهم‌ترین چالش از طریق وزن و رتبه تجزیه و تحلیل شدند. شاخص‌های پژوهش با بررسی دیدگاه‌ها و تحقیقات مربوط در قالب دو دسته:

۱- چالش‌های وضع موجود آب شرب و ۲- چالش‌های آینده آب شرب در جدول‌های (۲ و ۳) تهیه و تنظیم شده است.

تکنیک BWM (بهترین و بدترین معیار) توسط Rezaei (۲۰۱۵) پیشنهاد شد. این تکنیک یکی از کاراترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بر پایه مقایسه زوجی است. آنچه که در انواع تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره اهمیت دارد، چگونگی محاسبه وزن شاخص‌ها می‌باشد. در اکثر این روش‌ها، وزن شاخص‌ها بر اساس مقایسه زوجی محاسبه می‌شود. از معایب این مقایسات زوجی: ۱- محاسبه طولانی و ۲- افزایش نرخ ناسازگاری مقایسات با افزایش تعداد معیارها را می‌توان نام برد. تکنیک BWM با نیاز به تعداد مقایسه‌های زوجی کمتر، دستیابی به مقایسات زوجی سازگارتر نسبت به سایر تکنیک‌های موجود از جمله AHP^۳ (تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی معیارها)، کاراتر و نتایج با قابلیت اطمینان بالاتری را به دست آمده، می‌دهد. از جمله ویژگی‌های

کردند و به این نتیجه رسیدند که پیشران‌های حکمرانی آب، طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای آب، تنش‌ها و منازعات محلی و منطقه‌ای، تبعیض‌های سیاسی، اقتدار سیاسی نظام، مهاجرت، فقر و محرومیت، سرمایه اجتماعی، بیکاری، امنیت روانی، اعتماد اجتماعی، انسجام اجتماعی و مشارکت نهادهای محلی، مشارکت عمومی، مهم‌ترین پیشران‌های اثرگذار امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس اولویت اثرگذاری محسوب می‌شوند.

دشت کرمان از نظر اقلیمی شرایط مطلوبی ندارد و جزء مناطق خشک و کویری ایران است. از طرفی دیگر منابع آب سطحی و رودخانه‌های قابل توجهی نیز ندارد. در این راستا، آب شرب و کشاورزی آن تنها از طریق سفره آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در این دشت، حلالیت املاح آب در نقاط خروجی به دلیل: اقلیم خشک و کمبود بودن بارندگی، افت سطح آبخوان‌ها، برداشت بی‌رویه و توسعه زمین‌های کشاورزی، زیاد است. بنابراین آب زیرزمینی دشت کرمان در حال نابودی است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). در این بین، شهر کرمان از جمله شهرهایی می‌باشد که با بحران آب مواجه بوده و چندین سال است که باتوجه به خشکسالی‌های متعدد، مردم این شهر تابستان کم‌آب و پر چالشی را پشت سر می‌گذارند.

مهاجرت‌های بی‌رویه، افزایش مساحت شهر، کاهش بارندگی‌ها و تغذیه نشدن سفره‌های آب زیرزمینی هر سال بر دامنه این بحران می‌افزاید. در دشت‌های اطراف کرمان سطح آب افت شدید دارد و قنات‌ها هم به دلیل کمبود بارندگی کم آب شده‌اند در چنین شرایطی دبی آب کرمان کاهش یافته اما میزان مصرف افزایشی است. از طرفی دیگر، در شهر کرمان در برخی از مناطق مشترکان غیرمجاز وجود دارد که بخشی از آب شهروندانی که اشتراک مجاز دارند را بی‌رویه استفاده می‌کنند و بر مشکلات افزوده‌اند. متأسفانه بخش‌های زیادی از این شهر به‌ویژه مناطق حاشیه‌ای شهر از جمله شهرک سیدی، شهرک شهید همت، شهرک قمر بنی‌هاشم، شهرک چهارده معصوم (ع) و مناطقی از شهر کرمان دچار قطعی آب شدند.

به‌طوری‌که، آب‌رسانی با تانکر در مناطق حاشیه این کلان‌شهر در دست اقدام و گلاویه‌ها حتی در شورای شهر هم زیاد است. پژوهش حاضر به دنبال بررسی چالش‌های وضع موجود و آینده آب شرب در شهر کرمان است. سؤال‌های تحقیق نیز به شرح ذیل قابل بیان می‌باشد:

۱. وضعیت چالش‌های وضع موجود آب شرب شهر کرمان چگونه است؟
۲. مهم‌ترین چالش‌های آینده آب شرب شهر کرمان چیست؟

جدول ۲- چالش‌های وضع موجود آب شرب شهر کرمان

(شهرداری کرمان، ۱۴۰۲؛ شهرداری کرمان، ۱۳۹۵؛ نظرات کارشناس و متخصصین آب و فاضلاب و اساتید دانشگاهی، ۱۴۰۳)

چالش‌های تولید	چالش‌های توزیع	چالش‌های مصرف
۱. منابع تأمین‌کننده آب شرب شهر ۲. اقلیم شهر (دما - بارش - رطوبت - تبخیر)	۱. هدررفت آب (فرسودگی زیرساخت‌های آب شهر - فرسودگی لوله‌های آب - خرابی کنتورها) ۲. افزایش جمعیت، مهاجرت و مساحت شهر	۱. مصرف آب در کاربری‌های مختلف شهر ۲. مصرف آب در کولر آبی ۳. مصرف آب در کارواش ۳. انشعابات غیر مجاز ۴. امنیتی (دعوا-درگیری-تعداد شکایت‌ها)

جدول ۳- چالش‌های آینده آب شرب شهر کرمان

(بزی و همکاران، ۱۳۸۹؛ زینتی فخرآباد و عسگری مقدم، ۱۴۰۰؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمدی ده‌چشمه و گنخکی، ۱۴۰۱؛ زارع و همکاران، ۱۴۰۱؛ براتی، ۱۳۹۸؛ قشقایی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ سعیدی و صادقی ده‌چشمه، ۱۴۰۲)

بعد	مؤلفه	تعریف
اجتماعی	افزایش مهاجرت از شهر - احساس دلهره، نگرانی و اضطراب - پیش‌داوری‌های قومی و محلی - کاهش دلبستگی - کاهش تعاملات اجتماعی - تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف - تهدید بهداشت و سلامت	این چالش به وضعیت اجتماعی شهروندان بعد از بحران آب شرب می‌پردازد که از نظر روحی و روانی شهروندان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در این بین حس ناامیدی و امید به زندگی در بین شهروندان رخ می‌دهد.
اقتصادی	بیکاری، تعطیل‌شدن کارگاه‌ها - افزایش هزینه‌های زندگی - کاهش رفاه خانوارها - از بین رفتن مشاغل محلی	در این چالش، بحران آب شرب از نظر اقتصادی ضربات سنگینی بر خانوارها وارد کرده و در نهایت منجر به کاهش رفاه خانوارها می‌شود.
سیاسی	افزایش نارضایتی مردم - بی‌اعتمادی نسبت به دولت - درگیری و اختلاف مردم و مسئولین - اختلاف و درگیری بین شهر با سایر شهرها - قتل و کشته‌شدن افراد - چندقدرتگی - استقلال‌طلبی - بی‌تفاوتی سیاسی	چالش سیاسی مربوط به مدیریت و حاکمیت شهری و اختلافات و درگیریهایی که بین مسئولین و مردم است.
محیط زیستی	افزایش مناطق حاشیه‌نشین - کم‌شدن جذابیت‌های محیطی - کاهش تمیزی محیط شهری - تخریب و از بین رفتن منابع	چالش محیط‌زیستی مربوط به اثرات بحران آب بر محیط طبیعی در زمینه فضای سبز است.

برجسته این روش نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نیاز به داده‌های مقایسه‌ای کمتر
- این روش منجر به مقایسه‌ای استوارتر می‌شود، به این معنی که جواب‌های قابل اطمینان‌تری می‌دهد (Rezaei, ۲۰۱۵).

روش بهترین-بدترین شامل پنج گام اصلی می‌باشد:

گام ۱: مجموعه شاخص‌های تصمیم‌گیری تعیین شود. در این گام، مجموعه شاخص‌ها به صورت $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ تعریف می‌شود که برای گرفتن یک تصمیم، مورد نیاز است.

گام ۲: بهترین (مهمتر، مطلوب‌تر) و بدترین (دارای کمترین

اهمیت و کمترین مطلوبیت) شاخص را مشخص نمایید. در این مرحله، تصمیم‌گیرنده بهترین و بدترین شاخص را به‌طورکلی تعریف می‌کند و هیچ مقایسه‌ای در این مرحله صورت نمی‌گیرد.

گام ۳: ارجحیت بهترین شاخص را نسبت به سایر شاخص‌ها با اعداد ۱ تا ۹ مشخص شود. بردار ارجحیت بهترین شاخص

نسبت به دیگر شاخص‌ها را به‌صورت زیر نمایش می‌دهد:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

ارجحیت بهترین شاخص (B) نسبت به شاخص (i) می‌باشد.

واضح است که $a_{BB} = 1$ است.

مرحله ۱: معیارها باید باتوجه به اهمیت آنها طبقه بندی شوند. در این مرحله، خبرگان رتبه بندی معیارهای تعریف شده را باتوجه به اهمیتی که در اختیار دارند انجام می دهند. به عنوان مثال، مهم ترین مقدار در رتبه اول، کمترین مقدار در رتبه آخر و سایر مقادیر بر اساس اهمیت شان در بازه میانی این دو قرار می گیرند.

نکته: وقتی معیارها بر حسب اهمیت از بزرگ و کوچک مرتب شدند، برای اولین معیار (یعنی بزرگترین مقدار) عدد ثابت صفر در نظر گرفته می شود.

مرحله ۲: تعیین اهمیت مقایسه ای از ارزش متوسط اوزان (Sj) با شروع از معیار رتبه دوم، لازم است اهمیت آنها تعیین شود، یعنی اینکه چه میزان معیار cj از معیار ۱ + cj اهمیت بیشتری دارد.

مرحله ۳: ضریب kj به شرح زیر محاسبه می شود (رابطه ۳).

$$k_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ s_{j+1} & j>1 \end{cases} \quad (3)$$

مرحله ۴: اندازه گیری وزن دوباره محاسبه شده (qj) به شرح زیر (رابطه ۴):

$$q_j = \begin{cases} 1 & j=1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j>1 \end{cases} \quad (4)$$

مرحله ۵: محاسبه مقادیر وزن معیارها. به طوری که مجموع آنها برابر یک باشد (رابطه ۵).

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^m q_k} \quad (5)$$

جایی که wj مقدار وزن نسبی معیارها را نشان می دهد. تکنیک PIPRECIA (روش ارزیابی اهمیت نسبی معیارها بر اساس مقایسه زوجی محوری) از روش های تصمیم گیری چند معیاره می باشد این روش را Stanujkic و همکاران (۲۰۱۷) ارائه کردند. مراحل این روش در ادامه آورده شده است.

پیپریشیا معمولی

در گام اول بدون ترتیب کردن مؤلفه ها از اهمیت بالا به پایین، در حالت عادی اهمیت هر مؤلفه نسبت به مؤلفه قبل از خود طبق رابطه (۶) به دست می آید و مقدار sj (ضریب اولیه) حاصل می شود.

$$s_j = \begin{cases} >1 & \text{if } C_j > C_{j-1} \\ 1 & \text{if } C_j = C_{j-1} \\ <1 & \text{if } C_j < C_{j-1} \end{cases} \quad (6)$$

نکته: اگر مؤلفه نسبت به مؤلفه قبل از خود، دارای اهمیت بیشتر باشد به اضافه عدد ۱ می شود و اگر مؤلفه ای نسبت به مؤلفه قبل از خود دارای اهمیت کمتر باشد منهای عدد یک

گام ۴: ارجحیت همه شاخص ها را نسبت به بدترین شاخص با اعداد ۱ تا ۹ مشخص شود. بردار ارجحیت سایر شاخص ها نسبت به بدترین شاخص را به صورت زیر (رابطه ۱) نمایش داده می شود:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, a_{nW})^T \quad (1)$$

بردار فوق (رابطه ۱)، نشان دهنده ارجحیت شاخص (j) نسبت به شاخص (w) می باشد. واضح است که $a_{wW} = 1$ است.

گام ۵: یافتن مقادیر بهینه وزن ها $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$.

جهت حل مسئله پیش رو، ابتدا بایستی مقدمات تبدیل آن به برنامه ریزی خطی آماده شود. بنابراین مسأله فوق به صورت زیر (رابطه ۲) فرمول بندی می شود:

$$\begin{aligned} \min \quad & \xi \\ \text{s.t.} \quad & |w_B - a_{Bj} w_j| \leq \xi, \text{ for all } j \\ & |w_j - a_{jw} w_w| \leq \xi, \text{ for all } j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (2)$$

تکنیک SWARA^{۱۵} (سوارا)

روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن دهی تدریجی (SWARA)، یکی از روش های جدید تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) است که Kersulienė و همکاران (۲۰۱۰) برای توسعه روش تحلیل اختلاف معقول بین معیارها به کار گرفت. به طور کلی در روش SWARA معیارها بر اساس ارزش رتبه بندی می شوند. در این روش، به مهم ترین معیار، رتبه یک و به کم اهمیت ترین آنها، رتبه آخر تعلق می گیرد. در این روش، کارشناسان نقش مهمی در ارزیابی وزن های محاسبه شده دارند. استفاده از روش SWARA به عنوان یکی از روش های تصمیم گیری گروهی در تصمیم گیری های سطح بالا و بسیار مهم که بر اساس توافق جمعی میان کارشناسان صورت می گیرد، توصیه شده است. این روش قابل فهم و ساده، جایگزین مطمئنی برای تحلیل های پیوسته به شمار می رود. در مقایسه با روش هایی مانند ANP و AHP، تعداد مقایسات زوجی کمتری دارد و به راحتی برای حل تعداد قابل توجهی از مشکلات تصمیم گیری قابل استفاده است. تکنیک SWARA در عین سادگی، موجب می شود کارشناسان در زمینه های مختلف بتوانند به راحتی با مقصود اصلی آن ارتباط برقرار کنند. مراحل انجام وزن دهی با استفاده از روش سوارا براساس مراحل زیر است (Kersulienė و همکاران ۲۰۱۰):

$$w_j'' = \frac{1}{2}(w_j + w_j') \quad (14)$$

در اینجا: w_j ، w_j' و w_j'' وزن‌های معیار z را که به ترتیب با استفاده از روش‌های PIPRECIA، معکوس PIPRECIA و PIPRECIA-E به دست می‌آیند، نشان می‌دهند.

محدوده مورد مطالعه

شهر کرمان با مختصات بین ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی، با ارتفاع ۱۷۵۷ متری از سطح دریا و با مساحتی حدود ۱۵۴۰۰ هکتار، در مرکز استان و بزرگترین شهر استان قرار دارد. جمعیت این شهر در سال ۱۴۰۰ معادل ۶۱۹۵۶۵ نفر برآورد شده است (مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان، ۱۴۰۲) (شکل ۱).

دشت کرمان بین دو دامنه رشته کوهی شمال شرقی و جنوب غربی (کوه‌های جویبار از جنوب، کوه‌های دارمانو و تیز از شمال، کوه‌های بید و وبادامو از غرب و کوه‌های نامور و نصر از شرق) قرار دارد. این دو دامنه دارای امتداد شمال غربی به جنوب شرقی هستند که بر این اساس، در جهت آن‌ها معابر شهر، خانه‌های مسکونی، مسیرهای آب و کربندی مزارع شکل گرفته‌اند و ناهمواری‌های شرق شهر باعث جلوگیری از رشد و گسترش شهر شده‌اند. ارتفاع این دشت از سطح دریا، حداکثر ۲۱۰۰ متر در جنوب شرقی و حداقل ۱۶۵۰ متر در شمال غربی است (شهرداری کرمان، ۱۳۹۹).

دشت کرمان با شیب ۳ درصد، دارای شیب ملایم می‌باشد. سطح وسیعی از شهر (به جز: تپه‌های قلعه دختر و قلعه اردشیر و ارتفاعات شرقی شهر)، شیب ملایمی دارد (اداره زمین‌شناسی کرمان، ۱۳۹۴). میانگین متوسط دمای شهر کرمان هرگز از ۴ درجه بالای صفر (به جز ماه‌های آذر و دی) کمتر و از ۴۰ درجه بالای صفر (به جز تیر ماه) بیشتر نشده است. میانگین حداکثر درجه حرارت هوا، حدود ۳۵ درجه بالای صفر (مربوط به ماه‌های خرداد، تیر و مرداد ماه) بوده است. متوسط سالانه بارش در شهر کرمان ۱۴۰ میلی‌متر بر آورد شده است. بیشترین بارندگی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آذرماه رخ می‌دهد. در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان بیان کرد: شش ماه سال (آذر، دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت) فصل بارندگی و شش ماه دیگر (خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان) فصل خشک شهر کرمان می‌باشد.

می‌شود.

در گام دوم عدد ثابت ۲ منهای مقدار z_j ها می‌شود (طبق رابطه ۷) تا مقدار k_j (ضریب تأثیر) به دست آید.

$$k_j = \begin{cases} 1 & \text{if } j = 1 \\ 2 - s_j & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (7)$$

در گام سوم برای به دست آوردن مقدار q_j (وزن اولیه) هر مؤلفه، مقدار q_j مؤلفه قبل تقسیم بر مقدار k_j آن مؤلفه می‌شود رابطه (۸).

$$q_j = \begin{cases} 1 & \text{if } j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & \text{if } j > 1 \end{cases} \quad (8)$$

در گام آخر مقدار q_j هر مؤلفه تقسیم بر مقدار جمع q_j ها می‌شود تا مقدار w_j (وزن نهایی) حاصل شود رابطه (۹).

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (9)$$

پیش‌پیشای توسعه یافته

با در نظر گرفتن انطباق‌های فوق، روند محاسباتی روش پیش‌پیشای معکوس را می‌توان به طور دقیق، به صورت زیر ارائه کرد: **مرحله ۱:** با شروع از $n-1$ معیار، اهمیت نسبی معکوس به صورت رابطه (۱۰) تعیین می‌شود:

$$\text{مرحله ۲: ضریب معکوس } (k'_j) \text{ (ضریب تأثیر) به صورت رابطه (۱۱) تعیین می‌شود:}$$

$$k'_j = \begin{cases} 1 & j = n \\ 2 - s'_j & j < n \end{cases} \quad (11)$$

مرحله ۳: وزن معکوس محاسبه شده (q'_j) (وزن نهایی) به صورت رابطه (۱۲) تعیین می‌شود:

$$q'_j = \begin{cases} 1 & j = n \\ \frac{q'_{j+1}}{k'_j} & j < n \end{cases} \quad (12)$$

مرحله ۴: وزن نسبی معکوس معیارهای ارزیابی را به شرح رابطه (۱۳) تعیین می‌شود:

$$w'_j = \frac{q'_j}{\sum_{k=1}^n q'_k} \quad (13)$$

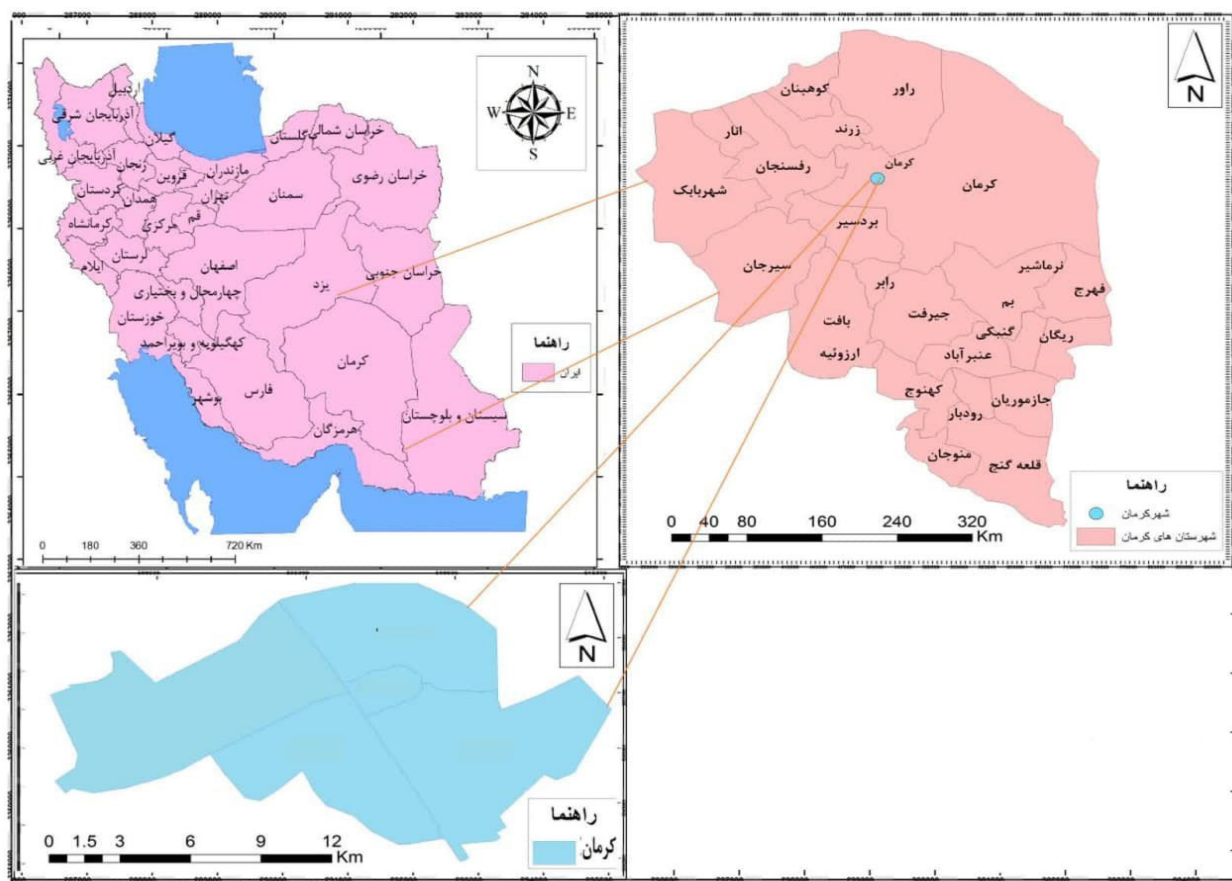
در اینجا: w'_j نشان دهنده وزن معکوس معیار z است.

تعیین اعتبار نتایج حالت معمولی و معکوس

در این بخش با استفاده از ضریب همبستگی، اعتبار نتایج حالت معمولی و معکوس بررسی می‌شود که هرچه ضریب همبستگی به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده اعتبار بیشتر نتایج است.

تعیین وزن حاصل از معیارها

وزن w_j'' معیارها (وزن نهایی) در PIPRECIA-E با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود:



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

نتایج و بحث

۲. افزایش جمعیت و رشد شهر و در پی آن نیاز بیشتر به آب.
۳. هر دو دلیل بالا در شهر کرمان اتفاق افتاده است. آمارهای اقلیمی نگران‌کننده (بارندگی کم) در سال‌های اخیر و جذب جمعیت به دلیل موقعیت مرکز استان بودن و امکانات بیشتر باعث شده است با کمبود آب شرب مواجه شده باشد و جهت برطرف کردن آن، تعداد منابع آب شرب افزایش یافته است.

۲. روند میزان برداشت از آب‌های شرب شهر کرمان (چاه، چشمه، قنات و غیره)

از طرفی دیگر، آمارهای جدول (۴) نشان می‌دهد که دبی تقریبی این منابع کاهش یافته است این امر به منزله کاهش سفره‌های آب زیرزمینی شهر کرمان می‌باشد. به گونه‌ای که در سال ۱۳۹۴، دبی تقریبی ۲۰۰۰ متر مکعب و در سال ۱۴۰۱ برابر با ۱۹۰۰ مترمکعب می‌باشد. به طور کلی، در ارتباط با دبی تقریبی منابع آب شرب شهر کرمان براساس جدول (۴) می‌توان این گونه بیان کرد که دبی این منابع طی بازه زمانی سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱ روند کاهشی داشته است.

در ابتدا لازم است چالش‌های وضع موجود آب شرب در شهر کرمان بررسی شود تا نسبت به این چالش‌ها آگاهی حاصل شود و زمینه تصمیم‌گیری درباره چالش‌های آینده فراهم شود.

الف-بررسی چالش‌های آب شرب شهر کرمان در وضعیت موجود

۱. تعداد منابع آب شرب شهر کرمان و موقعیت آن‌ها

آب‌های آشامیدنی شهر کرمان از دو قسمت دشت جوپار و دشت حسین‌آباد تأمین می‌شود که بیشترین مقدار آن از دشت جوپاری می‌باشد. اطلاعات این منابع در جدول (۴) را نشان داده است. همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱، تعداد منابع زیرزمینی (چاه) از ۱۰۰ حلقه به ۱۱۵ حلقه افزایش یافته است. افزایش تعداد چاه‌ها در این سال‌ها نشان‌دهنده نیاز بیشتر محدوده به این منبع می‌باشد که در طی سال‌های مختلف افزایش یافته است.

افزایش حفر چاه‌ها به دو دلیل اتفاق می‌افتد:

۱. کمبود بارندگی و افت آب‌های زیرزمینی

جدول ۴- منابع آب شرب شهر کرمان (اسناد آب و فاضلاب کرمان، ۱۴۰۱)

محدوده و موقعیت	بازه زمانی	تعداد تقریبی منابع (چاه عمیق و نیمه عمیق)	دبی تقریبی (مترمکعب)	وضعیت پایداری
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۴	۱۰۰	۲۰۰۰	-
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۵	۱۰۴	۱۹۰۰	ناپایدار
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۶	۱۰۵	۱۹۰۰	خنثی
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۷	۱۰۵	۱۷۰۰	ناپایدار
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۸	۱۰۷	۱۸۰۰	پایدار
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۳۹۹	۱۰۷	۱۷۰۰	ناپایدار
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۴۰۰	۱۱۵	۲۰۰۰	پایدار
گلزار، دشت جوپاری و دشت حسین آباد	۱۴۰۱	۱۱۵	۱۹۰۰	ناپایدار

۳. تغییرات اقلیمی شهر کرمان در دوره ۲۰ ساله و مسئله آب

باتوجه به اینکه از بین عوامل اقلیمی دما، بارش، تبخیر و رطوبت بیشترین نقش را بر کمبود آب دارند، بنابراین پارامترهای دما، بارش، تبخیر و رطوبت به صورت ماهیانه و سالانه در دوره ۲۰ ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) در شهر بررسی شد (جدول ۵).

همان طور که در جدول (۵) مشاهده می شود میزان دما از خرداد تا شهریور که تابستان محسوب می شود به بالاترین میزان خود می رسد. در این بازه نیز شهروندان به آب شرب بیشتری احتیاج پیدا می کنند. علاوه بر دما، مقدار بارندگی در شهر کرمان بسیار

پایین است. به نحوی که مقدار بارندگی در زمستان از ۴۰ میلیمتر بالاتر نمی رود این امر سبب پایین رفتن سطح آب های زیرزمینی و چاه های تأمین کننده آب شرب شهر کرمان می شود. به دلیل شدت گرما در شهر کرمان، میزان تبخیر در شهر کرمان نیز بالا است که به میزان حدود ۴۶۰ میلیمتر می رسد که این امر باعث تبخیر آب می شود و در نهایت، میزان رطوبت در شهر کرمان نیز پایین است که به ۵۰ درصد می رسد، پایین بودن رطوبت می تواند بر کاهش بارندگی و آب شرب شهر کرمان تأثیر منفی بگذارد.

جدول ۵- تغییرات اقلیمی (دما، بارش، تبخیر و رطوبت) شهر کرمان در دوره ۲۰ ساله (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۳)

متغیر (واحد)	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
دما (سانتی گراد)	۱۴/۳۳	۱۸/۱۲	۲۲/۳	۲۸/۳۶	۲۵/۴۲	۲۱/۱	۲۰	۱۴/۹	۳/۸	۲/۳	۷/۱	۹/۹
بارش (میلیمتر)	۲۰/۴	۱۰/۵	۱/۴	۰/۴	۰/۵	۲/۱	۷/۲	۱۰/۳	۲۵/۶	۳۲/۱	۳۸/۷	۲۵/۹
تبخیر (میلیمتر)	۱۸۸/۴	۳۰۳/۶	۴۰۸/۸	۴۵۸/۳	۴۲۲/۲	۳۲۸/۳	۲۴۳/۲	۱۳۰/۱	۹۵/۷	۸۰/۶	۷۲/۳	۱۶۳/۶
رطوبت (درصد)	۴۱/۵	۲۸	۱۹/۵	۱۸	۱۹	۲۰/۵	۲۰	۳۸	۴۹	۴۸/۵	۵۰	۴۹

۴. روند افزایش جمعیت و میزان شهرنشینی شهر کرمان و

مسئله آب شرب

کرمان دومین استانی است که بیشترین تعداد روستاها را در خود جای داده و تقریباً نیمی از جمعیت استان نیز روستانشین هستند. این روستاها به دلیل پراکندگی، با مشکل دریافت خدمات مطلوب و توسعه یافتگی روبه‌رو هستند و خشکسالی نیز هر روز زندگی مردم را سخت‌تر می‌کند. روستاها و شهرهای جنوبی استان کرمان برای بهره‌مندی از خدمات بهتر و بیشتر به سمت مرکز استان یعنی شهر کرمان هجوم می‌آورند که نتیجه آن، ورود مهاجرین به شهر کرمان و عدم جذب برخی از آن‌ها در شهر شده و در نتیجه به مناطق حاشیه‌نشین یعنی شهرک پدر، سیدی، صنعتی، مطهری و غیره پناه می‌برند که همین امر باعث عدم دسترسی کافی به آب شرب و استفاده از انشعابات غیرمجاز می‌شود.

همان‌طور که در جدول (۶) قابل مشاهده است، جمعیت شهر کرمان در سال ۱۳۷۵ از ۳۸۴۹۹۱ نفر به ۶۱۹۵۶۵ نفر در سال ۱۴۰۰ رسیده است که سیر صعودی جمعیت را در این شهر نشان می‌دهد. در این زمینه می‌توان ارتباط خوبی با روند مهاجرت برقرار کرد. به گونه‌ای که تعداد مهاجرین وارد شده به شهر کرمان در سال ۱۳۷۵، از ۳۶۵۴۲ نفر به ۴۰۵۵۶ در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است که به نوعی، تعداد خیلی زیادی از افزایش جمعیت را می‌توان به روند مهاجرت‌پذیری شهر کرمان ارتباط داد. از طرفی دیگر، همین افزایش جمعیت و روند مهاجرت‌پذیری بر افزایش مساحت شهر نیز تأثیرگذار است، به نحوی که جمعیت شهر کرمان در سال ۱۳۷۵ از ۶۵۰۴

هکتار به ۱۵۴۰۰ هکتار در سال ۱۴۰۰ رسیده است.

چالش بسیار مهم دیگر در شهر کرمان، افزایش و گسترده‌گی مساحت شهر کرمان از ۶۵۰۴ هکتار در سال ۱۳۷۵ به ۱۵۴۰۰ هکتار در سال ۱۴۰۰ می‌باشد. تمامی این مسائل (جمعیت، مهاجرت و مساحت) بر بحران آب شرب اثرگذار خواهد بود. به نحوی که گسترش مساحت شهر سبب افزایش جمعیت و ساخت و ساز شده است که این افزایش جمعیت به آب شرب احتیاج دارد و باعث فزونی تقاضا بر عرضه و استفاده بیش از حد از آب و در نهایت به دلیل کمبود آب و عدم دسترسی به آن، باعث مهاجرت از شهر کرمان در آینده خواهد شد.

۵. فرسودگی زیرساخت‌های آب و فاضلاب

باتوجه به اطلاعات کسب شده از مسئولین مرتبط، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد زیرساخت‌های آب شرب شهر کرمان با مشکل فرسودگی مواجه هستند که این فرسودگی در بافت قدیم و تاریخی شهر کرمان یعنی منطقه ۱ و ۵ شهری بیشتر است. در این مناطق که هسته اولیه شهر کرمان محسوب می‌شوند در سال‌های گذشته اقدام خاصی (به جز حفظ این بافت‌ها) صورت نگرفته است و به تازگی شهرداری منطقه ۵ تأسیس شده است که به مشکلات این منطقه رسیدگی نماید.

۶. مصرف آب خانگی شهر کرمان در کاربری‌های مختلف

میزان توان تولید آب شرب در شهر کرمان برابر با ۲۰۶۴ لیتر بر ثانیه است درحالی‌که نیاز آبی شهروندان به آب شرب، ۳۰۷۹ لیتر بر ثانیه است. باتوجه به تفاوت توان تولید و نیاز آبی، شهر

جدول ۶- میزان جمعیت، خانوار، مهاجرین و مساحت شهر کرمان در طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۴۰۰ (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۲)

سال	جمعیت			خانوار			مهاجرین			مساحت		
	تعداد	درصد	رشد	تعداد	درصد	رشد	تعداد	درصد	رشد	مقدار (هکتار)	درصد	رشد
۱۳۷۵	۳۸۴۹۹۱	۱۲/۶۸	-	۷۹۴۸۳	۹/۹۰	-	۳۶۵۴۲	۱۵/۷۶	-	۶۵۰۴	۹/۳۲	-
۱۳۸۰	۴۴۳۴۱۹	۱۴/۶۰	افزایشی	۹۲۳۷۹	۱۱/۵۰	افزایشی	۳۷۲۲۰	۱۶/۰۵	افزایشی	۹۳۳۰	۱۳/۳۷	افزایشی
۱۳۸۵	۵۱۵۱۱۴	۱۶/۹۷	افزایشی	۱۲۷۹۳۶	۱۵/۹۳	افزایشی	۳۸۴۳۰	۱۶/۵۷	افزایشی	۱۱۰۰۰	۱۵/۷۶	افزایشی
۱۳۹۰	۵۳۴۴۴۱	۱۷/۶۰	افزایشی	۱۴۷۹۲۲	۱۸/۴۲	افزایشی	۳۹۱۰۰	۱۶/۸۶	افزایشی	۱۳۲۰۰	۱۸/۹۲	افزایشی
۱۳۹۵	۵۳۷۷۱۸	۱۷/۷۱	افزایشی	۱۶۲۶۷۷	۲۰/۲۶	افزایشی	۳۹۹۹۵	۱۷/۲۵	افزایشی	۱۴۳۲۸	۲۰/۵۳	افزایشی
۱۴۰۰	۶۱۹۵۶۵	۲۰/۴۱	افزایشی	۱۹۲۳۶۵	۲۳/۹۶	افزایشی	۴۰۵۵۶	۱۷/۴۹	افزایشی	۱۵۴۰۰	۲۲/۰۷	افزایشی
جمع	۳۰۳۵۲۴۸	۱۰۰	-	۸۰۲۷۶۲	۱۰۰	افزایشی	۲۳۱۸۴۳	۱۰۰	-	۶۹۷۶۲	۱۰۰	-

کرمان با کسری ۱۰۱۵ لیتر بر ثانیه با کمبود آب شرب شهری مواجه می‌باشد (جدول ۷).

همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود میزان مصرف آب شرب شهر کرمان در کاربری مسکونی دارای ۳۴۵۵۶۱۰۴ لیتر آب مصرفی (۸۵/۷۷ درصد) است که در رتبه نخست قرار گرفته است. کاربری‌های تجاری با ۱۵۲۳۴۱۴ لیتر آب مصرفی (۳/۷۸ درصد) در مرتبه دوم می‌باشد. در زمینه کاربری‌های صنعتی، این کاربری‌ها دارای ۱۰۳۹۹۱ لیتر آب مصرفی (۰/۲۵۸ درصد) می‌باشند که می‌توان با برنامه‌ریزی‌های صحیح و منطقی و به حاشیه راندن آن‌ها در استفاده از

آب غیر شرب، کمک شایانی به صرفه‌جویی آب شرب شهر کرمان کرد. میزان مصرف آب شرب در کاربری فضای سبز شهرداری ۴۳۱۵۲۹/۳ لیتر (معادل ۱/۰۷۱ درصد) می‌باشد که می‌توان با آبیاری فضای سبز از طریق آب غیرشرب و فاضلاب، در مصرف بهینه آب شرب صرفه‌جویی کرد. کاربری دیگری که قابل توجه می‌باشد ساخت‌وسازهای شهری با مقدار ۵۶۴۰۹۳/۸ لیتر معادل (۱/۴۰۰ درصد) می‌باشد که بخش اعظمی از مربوط به طرح ملی مسکن و بخش دیگر مربوط به ساخت‌وساز دیگر است.

جدول ۷- میزان مصرف و درصد آب شرب به تفکیک کاربری‌ها در شهر کرمان (اسناد آب و فاضلاب کرمان، ۱۴۰۱)

ردیف	نام کاربری	میزان مصرف (لیتر بر ثانیه)	درصد مصرف	ردیف	نام کاربری	میزان مصرف (لیتر بر ثانیه)	درصد مصرف
۱	مسکونی	۳۴۵۵۶۱۰۴	۸۵/۷۷	۱۹	عمومی دولتی	۸۳۷۹۰	۰/۲۰۷
۲	تجاری	۱۵۲۳۴۱۴	۳/۷۸	۲۰	مرکز نگهداری معلولین	۲۴۲۴۰	۰/۰۶۰
۳	مراکز خدماتی غیردولتی	۳۷۴۸/۲۶	۰/۰۰۹	۲۱	مرکز نگهداری ایتام و بی سرپرست	۱۲۳۸/۶۳	۰/۰۰۳
۴	صنعتی	۱۰۳۹۹۱	۰/۲۵۸	۲۲	عمومی غیردولتی	۸۳۸۲۳/۷۵	۰/۲۰۸
۵	اداری	۳۳۰۷۱۸/۹	۰/۸۲۰	۲۳	بقاع متبرکه و گلزار شهدا	۲۳۵۴	۰/۰۰۵
۶	مدارس دولتی	۲۷۱۳۸۴/۸	۰/۶۷۳	۲۴	حوزه علمیه	۴۸۳۴	۰/۰۱۱
۷	مساجد و مراکز مذهبی	۱۳۴۲۰۷/۹	۰/۳۳۳	۲۵	دانشگاه دولتی	۷۸۳۹۲/۷۵	۰/۱۹۴
۸	درمانی - دولتی	۲۷۹۲۸۱/۷	۰/۶۹۳	۲۶	دانشگاه غیردولتی	۸۶۹۲۸	۰/۲۱۵
۹	انجمن‌های خیریه	۷۸۹۳	۰/۰۱۹	۲۷	بخش فرهنگی دولتی	۱۷۵۲۴	۰/۰۴۳
۱۰	گرمابه	۴۲۳۶	۰/۰۱۰	۲۸	بخش فرهنگی غیردولتی	۲۷۰۴	۰/۰۰۶
۱۱	نانوایی	۱۷۵۵۳/۴۷	۰/۰۴۳	۲۹	مهدکودک و مدارس غیردولتی	۷۷۶۳۳/۲۴	۰/۱۹۲
۱۲	فضای سبز شهرداری	۴۳۱۵۲۹/۳	۱/۰۷۱	۳۰	باشگاه ورزشی دولتی	۳۲۵۵۷	۰/۰۸۰
۱۳	درمانی - غیردولتی	۸۹۹۶۶/۷۶	۰/۲۲۳	۳۱	باشگاه ورزشی غیردولتی	۴۱۵۰۳/۹۵	۰/۱۰۳
۱۴	ارتش	۳۷۲۸۳۴	۰/۹۲۵	۳۲	اماکن شرکت	۱۴۵۹۴/۵۹	۰/۰۳۶
۱۵	سپاه	۱۹۶۵۵۷	۰/۴۸۷	۳۳	مختلط	۱۷۹۸۵۰/۸	۰/۴۴۶
۱۶	نیروی انتظامی	۱۶۴۸۹۲	۰/۴۰۹	۳۴	آزاد	۲۵۰۳۹۲/۸	۰/۶۲۱
۱۷	درمانی آموزشی	۱۷۵۰۶۴	۰/۴۳۴	۳۵	دوران ساخت‌وساز	۵۶۴۰۹۳/۸	۱/۴۰۰
۱۸	اقامتگاه	۲۲۱	۰/۰۰۰۵	۳۶	آب تانکری	۷۵۵۱۴	۰/۱۸۷
	جمع	۴۰۲۸۵۵۶۶	۱۰۰		میانگین	۱۱۱۹۰۴۴	-

۷. مصرف آب شرب در کارواش

در شهر کرمان حدود ۸۰ کارواش خودرو وجود دارد. هر کارواشی روزانه معادل ۲۰ تا ۵۰ متر مکعب (۲۰ تا ۵۰ هزار لیتر) آب شرب استفاده می‌کند. با در نظر گرفتن روزانه ۳۵۰۰۰ لیتر آب شرب برای هر کارواش، می‌توان نتیجه گرفت که روزانه ۲۸۰۰۰۰۰ لیتر آب شرب در کارواشهای شهر کرمان مصرف می‌شود که آمار نگران‌کننده‌ای به حساب می‌آید. طبق آمار وزارت نیرو، هزینه تصفیه هر هزار لیتر آب شرب، برابر با ۱۲۰۰ تومان اعلام شده است. بنابراین برای ۲۸۰۰۰۰۰ لیتر آب شرب شهر کرمان، هزینه‌ای معادل ۳۳۶۰۰۰۰۰۰ (سه میلیارد و سیصد و شصت میلیون تومان) صرف می‌شود. لازم به ذکر است هزینه پایین (نرخ پایین) آب شرب باعث مصرف بیشتر شهروندان از آب در موارد مختلف از جمله کارواش‌ها شده است.

۸. مصرف آب شرب شهر کرمان در کولر آبی

هر کولر آبی هر ساعت معادل (۳۰ لیتر) و ۲۰۰ تا ۶۰۰ لیتر آب (متوسط ۴۰۰ لیتر در شبانه‌روز) در شبانه‌روز مصرف می‌کند که از دلایل مهم افزایش مصرف آب به شمار می‌رود (شرکت آب و فاضلاب کرمان، ۱۴۰۱؛ مطالعات میدانی نویسنده، ۱۴۰۳). بنابراین اگر در سطح شهر کرمان ۱۹۲۳۶۵ خانوار وجود داشته باشد و در طول سه ماه تابستان هم از کولر استفاده کنند، در شبانه‌روز بیشتر از ۷۱۵۵۹۷۸۰۰ لیتر از آب شرب توسط کولر مصرف می‌شود.

۹. انشعابات غیرمجاز آب شرب در شهر کرمان در طی بازه ۲۰ ساله و هدررفت آب

همان‌طور که در جدول (۸) قابل مشاهده است باتوجه به اسناد آب و فاضلاب شهر کرمان و بازدید میدانی نویسنده در سال ۱۴۰۲، تعداد انشعابات غیرمجاز آب شرب شهرک سیدی و شیشه‌گر برابر با ۱۲۰۰ انشعاب و در شهرک جوادالائمه برابر با ۱۰۰ انشعاب می‌باشد که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انشعاب غیرمجاز را دارند. به این ترتیب، محدوده‌های موجود از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۱ در زمینه انشعابات غیرمجاز آب شرب رشد ۲ تا ۵ درصدی دارند. از طرفی دیگر، اکثر این محدوده‌ها در حاشیه شهر کرمان قرار دارند که به واسطه مهاجرت‌پذیر بودن و افزایش جمعیت آن‌ها و همچنین عدم نظارت بر آن‌ها، بیشترین انشعابات آب شرب را دارند که نیاز است به آن توجه ویژه‌ای شود. انشعابات غیرمجاز باعث شده است که برخی مناطق شهر کرمان از جمله شهرک مطهری بیشترین مشکل را در کمبود آب داشته باشد که یکی از دلایل آن وجود چند

هزار واحد مسکن مهر و مصرف بالای آب در این منطقه است.

۱۰. چالش امنیتی

آخرین چالش بحران آب شرب در شهر کرمان، امنیتی می‌باشد بنابر پژوهش‌های انجام شده توسط پژوهشگر، روزانه حدود ۱۰۰ تماس تلفنی و حضور ۱۰۰ نفر از مناطق مختلف شهر کرمان به آب و فاضلاب جهت گلایه از کمبود و قحطی آب وجود دارد. سرانجام این گلایه و شکایت‌ها ممکن است در آینده نزدیک به دعوا و درگیری بین مردم و مسئولین باشد. قطعاً چالش‌های وضع موجود آب شرب در شهر کرمان منجر به چالش‌های دیگری در آینده می‌شود در زیر به آن‌ها پرداخته شده است:

ب. بررسی وضعیت چالش‌های آب شرب شهر کرمان در آینده

برای مشخص شدن بهترین و بدترین چالش آب شرب شهر کرمان از تکنیک برنامه‌ریزی خطی تصمیم‌گیری چند معیاره BWM (بهترین و بدترین معیار) و PIPRECIA (ارزیابی اهمیت نسبی معیارها بر اساس مقایسه زوجی محوری) استفاده شد که مراحل آن در زیر پیموده شده است. به این صورت که ابتدا ابعاد چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان از طریق تکنیک BWM شناسایی و وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند. گام یک، شناسایی ابعاد چالش بحران آب شرب شهر کرمان: این ابعاد شامل اجتماعی-اقتصادی-سیاسی و محیط‌زیستی می‌باشد. گام دوم مشخص کردن بهترین و بدترین بعد توسط خبرگان: که در اینجا بهترین بعد از نظر خبرگان، محیط‌زیستی و بدترین بعد، بعد اجتماعی است. گام سوم و چهارم، تشکیل ماتریس جدول مقایسات زوجی برای بهترین و بدترین بعد: ماتریس مقایسه زوجی برای بهترین و بدترین بعد به شرح جدول‌های (۹) و (۱۰) تشکیل شد.

نکته: برای مقایسه زوجی بهترین بعد: بهترین بعد با تک‌تک بعدها، مقایسه زوجی (میزان اهمیت و برتری بهترین بعد نسبت به بقیه بعدها) می‌شود. از طرف دیگر، برای بدترین بعد، تک‌تک بعدها با بدترین بعد، مقایسه زوجی (میزان اهمیت و برتری تمامی بعدها نسبت به بدترین بعد) می‌شود (جدول ۹ و ۱۰). همان‌طور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود ارزش بعد محیط‌زیستی نسبت به اجتماعی ۰/۹۴۰، محیط‌زیستی نسبت به اقتصادی ۰/۹۷۲، محیط‌زیستی نسبت به سیاسی ارزش ۰/۹۹۰ دارد.

براساس جدول (۱۰) بعد اقتصادی نسبت به اجتماعی ارزش ۰/۹۶۷، سیاسی نسبت به اجتماعی ۰/۹۴۹ و در نهایت محیط‌زیستی نسبت به اجتماعی ارزش ۰/۹۴۰ دارد.

جدول ۸- تعداد انشعابات غیرمجاز آب شرب در شهر کرمان در طی بازه ۲۰ ساله ۱۳۸۰-۱۴۰۱

ردیف	سال	شهرک توروطناب	شهرک صنعتی	بلوار امام صادق	شهرک سیدی	شرف آباد	شیشه گر	الله آباد	شهرک جوادالائمه	جاده سیدی (کوچه گاوداری-کارتن سازی)	جمع
۱	۱۳۸۰	۷۰	۱۱۲	۷۲	۳۶۸	۱۸۳	۳۷۷	۱۲۲	۱۹	۵۵	۱۳۷۸
۲	۱۳۸۱	۱۶۵	۱۴۰	۸۶	۴۰۰	۲۰۶	۴۰۲	۱۴۱	۲۳	۶۱	۱۶۲۴
۳	۱۳۸۲	۲۳۰	۱۶۰	۹۱	۴۳۰	۲۳۲	۴۳۸	۱۷۳	۳۰	۶۳	۱۸۴۷
۴	۱۳۸۳	۲۶۶	۱۶۹	۹۵	۴۷۱	۲۶۹	۴۶۶	۱۹۹	۳۳	۶۸	۲۰۳۶
۵	۱۳۸۴	۲۸۱	۱۸۰	۱۰۰	۴۹۳	۲۸۷	۴۸۶	۱۱۱	۳۵	۷۱	۲۰۴۴
۶	۱۳۸۵	۳۰۸	۱۸۴	۱۰۸	۵۱۸	۳۰۲	۵۱۰	۱۱۸	۳۸	۷۴	۲۱۶۰
۷	۱۳۸۶	۳۲۴	۱۹۷	۱۱۲	۵۴۳	۳۲۸	۵۴۰	۱۲۹	۴۳	۸۰	۲۲۹۶
۸	۱۳۸۷	۳۴۹	۲۱۰	۱۱۴	۵۷۲	۳۵۰	۵۷۹	۱۳۳	۴۷	۸۴	۲۴۳۸
۹	۱۳۸۸	۳۶۸	۲۴۰	۱۲۰	۶۱۰	۳۷۲	۶۰۵	۱۴۷	۵۱	۹۲	۲۶۰۵
۱۰	۱۳۸۹	۳۹۰	۲۴۸	۱۲۷	۶۵۰	۳۹۷	۶۴۶	۱۵۱	۵۳	۱۰۳	۲۷۶۵
۱۱	۱۳۹۰	۴۱۰	۲۵۰	۱۳۰	۶۸۰	۴۰۰	۶۵۰	۱۶۰	۵۶	۱۱۰	۲۸۴۶
۱۲	۱۳۹۱	۴۶۸	۲۶۰	۱۳۳	۷۱۷	۴۵۰	۷۰۰	۱۴۰	۶۵	۱۲۸	۳۰۶۱
۱۳	۱۳۹۲	۵۳۰	۳۰۰	۱۳۹	۷۵۲	۴۸۰	۷۲۰	۱۷۰	۶۸	۱۳۵	۳۲۹۴
۱۴	۱۳۹۳	۵۵۵	۳۶۰	۱۴۵	۷۹۳	۵۶۰	۷۵۲	۱۷۷	۷۰	۱۴۰	۳۵۵۲
۱۵	۱۳۹۴	۵۷۰	۳۷۰	۱۵۴	۸۸۰	۵۷۱	۷۸۰	۱۸۷	۷۷	۱۴۲	۳۷۳۱
۱۶	۱۳۹۵	۶۰۰	۳۸۹	۱۶۰	۹۰۷	۵۹۰	۸۲۰	۱۹۰	۸۰	۱۵۶	۳۸۹۲
۱۷	۱۳۹۶	۶۳۰	۴۰۲	۱۶۳	۹۵۵	۶۰۰	۹۱۰	۲۰۰	۸۳	۱۶۰	۴۱۰۳
۱۸	۱۳۹۷	۶۶۳	۴۲۱	۱۷۵	۹۸۰	۶۲۰	۹۴۰	۲۳۶	۸۸	۱۷۴	۴۲۹۷
۱۹	۱۳۹۸	۶۹۳	۴۴۳	۱۸۰	۱۱۱۰	۶۵۴	۹۸۰	۲۵۵	۹۱	۱۸۲	۴۵۸۸
۲۰	۱۳۹۹	۷۳۰	۴۵۶	۱۹۰	۱۱۸۰	۶۷۷	۱۱۳۰	۲۶۹	۹۳	۱۸۹	۴۹۱۴
۲۱	۱۴۰۰	۷۶۲	۴۸۰	۱۹۷	۱۱۹۲	۶۹۰	۱۱۶۰	۲۸۷	۹۵	۱۹۷	۵۰۶۰
۲۲	۱۴۰۱	۸۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۲۰۰	۷۰۰	۱۲۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۲۰۰
جمع		۱۰۱۶۲	۶۴۷۱	۲۹۹۱	۱۶۴۰۱	۹۹۱۸	۱۵۷۹۱	۳۹۹۵	۱۳۳۸	۲۶۶۴	

جدول ۹- ماتریس مقایسات زوجی بهترین بعد

محیط زیستی	سیاسی	اقتصادی	اجتماعی	بعد
W4	W3	W2	W1	حروف اختصاری
۱	۰/۹۹۰	۰/۹۷۲	۰/۹۴۰	بهترین بعد (محیط زیستی)

Solution Report - Lingo1		
Variable	Value	Reduced Cost
X	0.1667139E-03	0.000000
W4	0.2437281	0.000000
W1	0.2593312	0.000000
W2	0.2507921	0.000000
W3	0.2461486	0.000000
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.1667139E-03	-1.000000
2	0.000000	0.3402132
3	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.3229190
5	0.9417222E-04	0.000000
6	0.000000	0.3368678
7	0.000000	0.000000
8	0.2593312	0.000000
9	0.2507921	0.000000
10	0.2461486	0.000000
11	0.2437281	0.000000

شکل ۳- حل مسئله تحقیق و مقدار ابعاد چالش‌های بحران آب شرب شهر کرمان

نرخ سازگاری برابر با 0.00019 است که قابل قبول می باشد. باتوجه به نرخ سازگاری، تفاوت عددی کمی بین مقادیر به دست آمده، وجود دارد که این تفاوت کم، باعث برتری یک بعد بر بعد دیگری شده است. البته در نتایج مدل BWM، برای هر موضوعی، تفاوت کم بین مقادیر اعداد وجود دارد. باتوجه به نتایج به دست آمده، می توان بیان کرد که چالش اجتماعی در رتبه اول چالش‌های آب شرب شهر کرمان قرار گرفته است. قطعاً در بین چالش‌های اجتماعی، مسئله بهداشت و پاکیزگی مردم شهر کرمان بسیار مهم است که اگر به آن توجهی نشود،

جدول ۱۱- ارزش و رتبه ابعاد چالش‌های بحران آب شرب شهر کرمان

رتبه	ارزش	علامت اختصاری	بعد
۱	0.259	W1	اجتماعی
۲	0.250	W2	اقتصادی
۳	0.246	W3	سیاسی
۴	0.243	W4	محیط زیستی
جمع		۱	
	0.0001	(مقدار بهینه) α	
	$5/23$	CI (شاخص سازگاری)	
	0.00019	CR (نرخ سازگاری)	

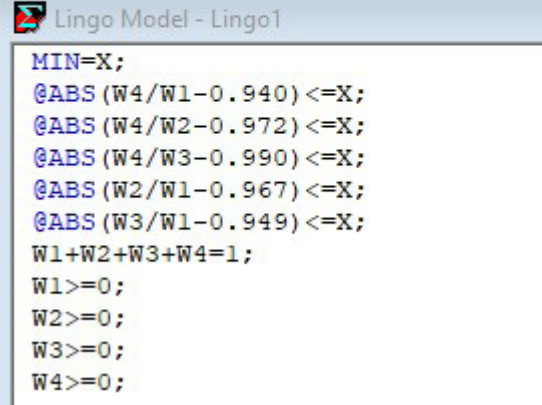
جدول ۱۰- ماتریس مقایسات زوجی بدترین بعد

بدترین بعد (اجتماعی)	علامت اختصاری	بعد
۱	W1	اجتماعی
0.967	W2	اقتصادی
0.949	W3	سیاسی
0.940	W4	محیط زیستی

گام پنجم: مدل سازی مسئله تحقیق: مسئله تحقیق در قالب نرم افزار ۱۸ Lingo مدل سازی شد.

در این مرحله، به عنوان مثال بهترین بعد که محیط زیستی است بر بعد اجتماعی (به عنوان بدترین بعد) تقسیم و منهای ارزش آن می شود. برای بقیه بعدها همین روال تکرار می شود (شکل ۲). گام ششم: حل مسئله برنامه ریزی خطی و یافتن اوزان بهینه: با استفاده از نرم افزار ۱۸ LINGO نتایج ارزش نهایی ابعاد چالش‌های بحران آب شرب شهر کرمان به دست آمد. این مدل با ۴ متغیر، ۵ محدودیت در ۵۵ تکرار حل شد (شکل ۳).

جدول (۱۱) که مستخرج از شکل (۶) است حاکی از آن است که بعد اجتماعی با ارزش 0.259 در رتبه اول و به عنوان مهم ترین چالش، بعد اقتصادی با 0.250 در رتبه دوم، بعد سیاسی با 0.246 در رتبه سوم و در نهایت بعد محیط زیستی با ارزش نهایی 0.243 در رتبه آخر و به عنوان کم اهمیت ترین چالش بحران آب شیرین شهر کرمان شناخته شده است. در این بین،

Lingo 18.0 - Solution Report - Lingo1	
File	Edit Solver Window Help
 <pre> MIN=X; @ABS(W4/W1-0.940) <=X; @ABS(W4/W2-0.972) <=X; @ABS(W4/W3-0.990) <=X; @ABS(W2/W1-0.967) <=X; @ABS(W3/W1-0.949) <=X; W1+W2+W3+W4=1; W1>=0; W2>=0; W3>=0; W4>=0; </pre>	

شکل ۲- مدل سازی مسئله تحقیق

جدول ۱۲- ارزش و رتبه مؤلفه‌های چالش‌های اجتماعی بحران آب شرب شهر کرمان

رتبه	ارزش	علامت اختصاری	مؤلفه
۱	۰/۱۸۰	W7	تهدید بهداشت و سلامت
۲	۰/۱۵۹	W6	تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف
۳	۰/۱۵۷	W2	احساس دلهره، نگرانی و اضطراب
۴	۰/۱۴۶	W3	پیش‌داوری‌های قومی و محلی
۵	۰/۱۲۸	W4	کاهش دلبستگی
۶	۰/۱۲۰	W5	کاهش تعاملات اجتماعی
۷	۰/۱۰۸	W1	افزایش مهاجرت از شهر
	۱		جمع

می‌تواند باعث بروز بیماری‌های خطرناک در بین مردم شود. در چالش اقتصادی نیز هزینه‌های اقتصادی مردم جهت خرید وسایل جمع‌آوری آب شرب مثل تانکر و غیره بیشتر می‌شود. برای مشخص شدن میزان اهمیت چالش‌های هر بعد، مراحل تکنیک BWM برای مؤلفه‌های هر بعد نیز پیموده شده است. برای جلوگیری از طولانی شدن مدل و تحقیق، فقط جدول مرحله آخر آورده شده است.

چالش‌های آب شرب شهر کرمان در بعد اجتماعی

همان‌طور که در جدول (۱۲) نشان داده شده است از بین چالش‌های اجتماعی، مؤلفه تهدید بهداشت و سلامت با ارزش ۰/۱۸۰ در رتبه اول و به‌عنوان مهم‌ترین چالش، تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف آب با ۰/۱۵۹ در رتبه دوم، احساس دلهره، نگرانی و اضطراب با ۰/۱۵۷ در رتبه سوم، پیش‌داوری قومی و محلی با ۰/۱۴۶ در رتبه چهارم، کاهش دلبستگی با ۰/۱۲۸ در رتبه پنجم، کاهش تعاملات اجتماعی با ۰/۱۲۰ در رتبه ششم و در نهایت مؤلفه افزایش مهاجرت از شهر با ارزش نهایی ۰/۱۰۸ در رتبه آخر و به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین چالش شناخته شده است. این نتایج نشان‌دهنده این مهم است که بحران آب شرب شهر کرمان از طریق کاهش کیفیت شیمیایی و آلودگی‌های میکروبی، سلامت شهروندان را تهدید کرده و منجر به بیماری می‌شود. هر چند در بین مردم این دلهره به‌وجود می‌آید که این بحران،

ممکن بقیه جنبه‌های زندگی آن‌ها را نیز تهدید کند که در نهایت باعث کاهش رفاه و کیفیت زندگی آن‌ها شود. به‌همین علت، یک رقابت بین آن‌ها شکل می‌گیرد که بدون در نظر گرفتن وابستگی‌های اجتماعی، برای تأمین آب آشامیدنی مورد نیاز خود تلاش کنند.

چالش‌های آب شرب شهر کرمان در بعد اقتصادی

همان‌طور که در جدول (۱۳) مشاهده می‌شود از بین چالش‌های اقتصادی آب شرب شهر کرمان، مؤلفه افزایش هزینه‌های زندگی با ارزش ۰/۳۲۲ به‌عنوان مهم‌ترین چالش و بیکاری (تعطیل شدن کارگاه‌ها) به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین چالش شناخته شده است. در این رابطه، می‌توان گفت که وقتی بحران آب شدید در شهر کرمان رخ داد می‌تواند منجر به بالا رفتن قیمت آب، درگیری شهروندان برای تأمین وسایل جمع‌کننده و ذخیره آب شود. از طرفی، حتی برخی شهروندان که به مشاغل مانند آشپزی، آشپزخانه و غیره مشغول هستند نتوانند به شغل خود ادامه دهند که این امر بر رفاه زندگی آن‌ها تأثیرگذار خواهد بود.

چالش‌های آب شرب شهر کرمان در بعد سیاسی

همان‌طور که نتایج جدول (۱۴) می‌دهد مؤلفه اختلاف و درگیری بین شهر با سایر شهرها با ارزش ۰/۱۸۰ در رتبه اول، افزایش نارضایتی مردم با ۰/۱۶۱ در رتبه دوم و بی‌اعتمادی نسبت به دولت با ارزش ۰/۱۴۳ در رتبه سوم قرار گرفت. از طرفی دیگر، شاخص‌های چنددستگی با ارزش ۰/۰۹۵ در رتبه ششم، قتل و کشته شدن افراد با ۰/۰۸۷ در رتبه هفتم و در نهایت استقلال طلبی با ۰/۰۷۸ در رتبه هشتم قرار گرفت. این نتایج نشان می‌دهد که در اثر کمبود و بحران آب شرب در شهر کرمان، اختلاف و درگیری بین شهر

جدول ۱۳- ارزش و رتبه مؤلفه‌های چالش‌های اقتصادی بحران آب شرب شهر کرمان

رتبه	ارزش	علامت اختصاری	مؤلفه
۱	۰/۳۲۲	W2	افزایش هزینه‌های زندگی
۲	۰/۲۸۸	W3	کاهش رفاه خانوارها
۳	۰/۲۰۲	W4	از بین رفتن مشاغل محلی
۴	۰/۱۸۶	W1	بیکاری، تعطیل شدن کارگاه‌ها
	۱		جمع

جدول ۱۴- ارزش و رتبه مؤلفه‌های چالش‌های سیاسی بحران آب شرب شهر کرمان

رتبه	ارزش	علامت اختصاری	مؤلفه
۱	۰/۱۸۰	W4	اختلاف و درگیری بین شهر با سایر شهرها
۲	۰/۱۶۱	W1	افزایش نارضایتی مردم
۳	۰/۱۴۳	W2	بی‌اعتمادی نسبت به دولت
۴	۰/۱۳۰	W3	درگیری و اختلاف مردم و مسئولین
۵	۰/۱۲۳	W8	بی‌تفاوتی سیاسی
۶	۰/۰۹۵	W6	چنددستگی
۷	۰/۰۸۷	W5	قتل و کشته شدن افراد
۸	۰/۰۷۸	W7	استقلال طلبی
	۱		جمع

کرمان با سایر شهرها بر سر آب شکل می‌گیرد که در این درگیری، ممکن است به کشته شدن افراد منجر شود و هر فرد بدن توجه به دولت و مسئولین، به درگیری با دولت بپردازد و در نهایت به نارضایتی آن‌ها بیانجامد. این چالش اهمیت زیادی دارد، اگر دولت نتواند آن را کنترل کند فاجعه بسیار نگران‌کننده‌ای به نام هرج‌ومرج و ناامنی شکل می‌گیرد.

چالش‌های آب شرب شهر کرمان در بعد محیط زیستی

نتایج حاصل از جدول (۱۵) حاکی از آن است که از بین چالش‌های محیط زیستی آب شرب شهر کرمان، مؤلفه کم شدن جذابیت‌های محیطی با ۰/۳۱۲ در رتبه اول و به عنوان مهم‌ترین چالش، کاهش تمیزی محیط شهری با ۰/۲۴۹ در رتبه دوم، تخریب و از بین رفتن منابع با ۰/۲۳۵ در رتبه سوم و در نهایت افزایش مناطق حاشیه‌نشین با ارزش ۰/۲۰۱ در رتبه آخر قرار گرفت. در این بعد، بحران آب شرب می‌تواند بر محیط طبیعی، فضای سبزی که با آب شرب آبیاری می‌شوند، تأثیر بگذارد و منجر به نابودی آن‌ها شود. در مرحله بعد، از آنجایی که این تکنیک قادر به در نظر گرفتن همه مؤلفه‌ها به صورت کلی (۲۳ مؤلفه) را ندارد، از تکنیک PIPRECIA استفاده شد، تا مهم‌ترین چالش از بین تمامی چالش‌ها مشخص شود. گام‌های این تکنیک به شرح ذیل پیموده شده است.

این تکنیک شباهت زیادی به تکنیک سوارا (روش تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی تدریجی که از روش‌های تصمیم‌گیری ارزیابی وزن و اهمیت معیارها است) دارد و در دو قسمت وزن و رتبه پیپیشیا معمولی و پیپیشیا معکوس انجام می‌شود. مراحل این دو روش تا حدودی به یکدیگر شباهت دارد. منتهی در معمولی، اهمیت هر مؤلفه نسبت به مؤلفه قبل از خود و در معکوس، اهمیت هر مؤلفه نسبت به مؤلفه بعد از خود به دست می‌آید.

قسمت اول: مراحل پیپیشیا معمولی

در جدول (۱۶)، وزن و رتبه چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان در تکنیک پیپیشیا معمولی ارائه شده است.

قسمت دوم: مراحل پیپیشیا معکوس

تمامی مراحل این قسمت نیز شبیه قسمت پیپیشیا معمولی است اما با این تفاوت از پایین به بالا انجام می‌شود. به عنوان مثال، در گام اول، اهمیت هر مؤلفه نسبت به مؤلفه بعد از خود، از پایین به بالا به دست می‌آید و مقدار SJ (ضریب اولیه) حاصل می‌شود.

در جدول (۱۷) وزن و رتبه چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان در تکنیک پیپیشیا معکوس ارائه شده است. جهت اطمینان از میزان درست انجام شدن، تکنیک ضریب همبستگی بین دو جدول گرفته می‌شود. ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱+ می‌باشد. هرچه به ۱ نزدیکتر باشد ضریب همبستگی بالایی دارد. در اینجا، مقدار همبستگی بین دو جدول برابر با ۰/۹۸۳ به دست آمد که حاکی از ضریب همبستگی بسیار بالا و قابل قبول بودن تکنیک است. در مرحله آخر، جهت رسیدن به وزن و رتبه نهایی، میانگین WJ از دو جدول گرفته می‌شود

جدول ۱۵- ارزش و رتبه مؤلفه‌های چالش‌های بحران آب شرب شهر کرمان

رتبه	ارزش	علامت اختصاری	مؤلفه
۱	۰/۳۱۲	W2	کم شدن جذابیت‌های محیطی
۲	۰/۲۴۹	W3	کاهش تمیزی محیط شهری
۳	۰/۲۳۵	W4	تخریب و از بین رفتن منابع
۴	۰/۲۰۱	W1	افزایش مناطق حاشیه‌نشین
	۱		جمع

جدول ۱۶- وزن و رتبه چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان در تکنیک پیپریشیا معمولی

ردیف	مؤلفه	SJ (ضریب اولیه)	KJ (ضریب تأثیر)	QJ (وزن اولیه)	WJ (وزن نهایی)
۱	افزایش مهاجرت‌ها از شهر کرمان	-	۱	۱	۰/۰۴۳۰
۲	احساس دلهره، نگرانی و اضطراب (کاهش امنیت روانی) ناشی از کمبود یا عدم وجود آب در بین شهروندان	۱/۰۱۵	۰/۹۸۵	۱/۰۱۵	۰/۰۴۳۶
۳	ایجاد پیش‌داوری‌های قومی و محله‌ای در زمینه کمبود آب	۰/۹۹۷	۱/۰۰۳	۱/۰۱۲	۰/۰۴۳۵
۴	کاهش دلبستگی و از بین رفتن حس تعلق به شهردر بین شهروندان	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶	۱/۰۰۶	۰/۰۴۳۳
۵	کاهش تعاملات اجتماعی شهروندان	۰/۹۹۸	۱/۰۰۲	۱/۰۰۴	۰/۰۴۳۲
۶	هجوم و تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف آب	۱/۰۱۲	۰/۹۸۸	۱/۰۱۶	۰/۰۴۳۷
۷	تهدید بهداشت و سلامت مردم	۱/۰۰۶	۰/۹۹۴	۱/۰۲۲	۰/۰۴۴۰
۸	بیکاری (تعطیل شدن کارگاه‌ها به‌خاطر کمبود آب)	۰/۹۷۶	۱/۰۲۴	۰/۹۹۸	۰/۰۴۲۹
۹	افزایش هزینه‌های زندگی (صرف هزینه در وسایل ذخیره آب مانند تانکر و غیره)	۱/۰۲۴	۰/۹۷۶	۱/۰۲۳	۰/۰۴۴۰
۱۰	کاهش رفاه خانوارها	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶	۱/۰۱۶	۰/۰۴۳۷
۱۱	از بین رفتن مشاغل محلی (آشپزی و غیره)	۰/۹۸۵	۱/۰۱۵	۱/۰۰۱	۰/۰۴۳۱
۱۲	افزایش نارضایتی مردم از دولت	۱/۰۲۰	۰/۹۸۰	۱/۰۲۲	۰/۰۴۴۰
۱۳	بی‌اعتمادی مردم نسبت به دولت و مسئولان کشوری-استانی-شهرستانی و شهر	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶	۱/۰۱۶	۰/۰۴۳۷
۱۴	باعث درگیری و اختلاف بین مردم و مسئولین	۰/۹۹۵	۱/۰۰۵	۱/۰۱۱	۰/۰۴۳۵
۱۵	درگیری و اختلاف بین شهر و سایر شهرهای استان	۱/۰۱۷	۰/۹۸۳	۱/۰۲۸	۰/۰۴۴۲
۱۶	قتل و کشته شدن افراد در درگیری	۰/۹۶۸	۱/۰۳۲	۰/۹۹۶	۰/۰۴۲۹
۱۷	چنددستگی بین اجتماعات شهر	۱/۰۰۳	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۰/۰۴۳۰
۱۸	واگرایی و تلاش برای استقلال طلبی مردم	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶	۰/۹۹۳	۰/۰۴۲۷
۱۹	بی‌تفاوت‌های سیاسی (بی‌تفاوتی مردم نسبت به دولت)	۱/۰۱۵	۰/۹۸۵	۱/۰۰۸	۰/۰۴۳۴
۲۰	افزایش مناطق حاشیه‌نشین	۰/۹۹۲	۱/۰۰۸	۱	۰/۰۴۳۰
۲۱	کم شدن جذابیت‌های محیطی (چشم‌اندازهای سبز شهری)	۱/۰۱۹	۰/۹۸۱	۱/۰۲۰	۰/۰۴۳۹
۲۲	کاهش تمیزی محیط شهری و اجتماعی	۰/۹۸۹	۱/۰۱۱	۱/۰۰۹	۰/۰۴۳۴
۲۳	تخریب و از بین رفتن منابع (طبیعی)	۰/۹۹۸	۱/۰۰۲	۱/۰۰۷	۰/۰۴۳۳
جمع				۲۳/۲۳۳	

جدول ۱۷- وزن و رتبه چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان در تکنیک پیپیشیا معکوس

ردیف	مؤلفه	SJ (ضریب اولیه)	KJ (ضریب تأثیر)	QJ (وزن اولیه)	WJ (وزن نهائی)
۱	افزایش مهاجرت‌ها از شهر کرمان	۰/۹۸۵	۱/۰۱۵	۰/۹۹۷	۰/۰۴۳۱
۲	احساس دلهره، نگرانی و اضطراب (کاهش امنیت روانی) ناشی از کمبود یا عدم وجود آب در بین شهروندان	۱/۰۰۳	۰/۹۹۷	۱/۰۱۲	۰/۰۴۳۷
۳	ایجاد پیش‌داوری‌های قومی و محله‌ای در زمینه کمبود آب	۱/۰۰۶	۰/۹۹۴	۱/۰۰۹	۰/۰۴۳۶
۴	کاهش دلبستگی و از بین رفتن حس تعلق به شهرداریین شهروندان	۱/۰۰۲	۰/۹۹۸	۱/۰۰۳	۰/۰۴۳۳
۵	کاهش تعاملات اجتماعی شهروندان	۰/۹۸۸	۱/۰۱۲	۱/۰۰۱	۰/۰۴۳۳
۶	هجوم و تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف آب	۰/۹۹۴	۱/۰۰۶	۱/۰۱۳	۰/۰۴۳۸
۷	تهدید بهداشت و سلامت مردم	۱/۰۲۴	۰/۹۷۶	۱/۰۱۹	۰/۰۴۴۰
۸	بیکاری (تعطیل شدن کارگاه‌ها به‌خاطر کمبود آب)	۰/۹۷۶	۱/۰۲۴	۰/۹۹۴	۰/۰۴۳۰
۹	افزایش هزینه‌های زندگی (صرف هزینه در وسایل ذخیره آب مانند تانکر و غیره)	۱/۰۰۶	۰/۹۹۴	۱/۰۱۸	۰/۰۴۴۰
۱۰	کاهش رفاه خانوارها	۱/۰۱۵	۰/۹۸۵	۱/۰۱۲	۰/۰۴۳۷
۱۱	از بین رفتن مشاغل محلی (آشپزی و غیره)	۰/۹۸۰	۱/۰۲۰	۰/۹۹۷	۰/۰۴۳۱
۱۲	افزایش نارضایتی مردم از دولت	۱/۰۰۶	۰/۹۹۴	۱/۰۱۷	۰/۰۴۴۰
۱۳	بی‌اعتمادی مردم نسبت به دولت و مسئولان کشوری-استانی-شهرستانی و شهر	۱/۰۰۵	۰/۹۹۵	۱/۰۱۱	۰/۰۴۳۷
۱۴	باعث درگیری و اختلاف بین مردم و مسئولین	۰/۹۸۳	۱/۰۱۷	۱/۰۰۶	۰/۰۴۳۵
۱۵	درگیری و اختلاف بین شهر و سایر شهرهای استان	۱/۰۳۲	۰/۹۶۸	۱/۰۲۳	۰/۰۴۴۲
۱۶	قتل و کشته شدن افراد در درگیری	۰/۹۹۷	۱/۰۰۳	۰/۹۹۰	۰/۰۴۲۸
۱۷	چنددستگی بین اجتماعات شهر	۱/۰۰۶	۰/۹۹۴	۰/۹۹۳	۰/۰۴۲۹
۱۸	واگرایی و تلاش برای استقلال طلبی مردم	۰/۹۸۵	۱/۰۱۵	۰/۹۸۷	۰/۰۴۲۷
۱۹	بی‌تفاوت‌های سیاسی (بی‌تفاوتی مردم نسبت به دولت)	۱/۰۰۸	۰/۹۹۲	۱/۰۰۲	۰/۰۴۳۳
۲۰	افزایش مناطق حاشیه‌نشین	۰/۹۸۱	۰/۰۱۹	۰/۹۹۴	۰/۰۴۳۰
۲۱	کم شدن جذابیت‌های محیطی (چشم‌اندازهای سبز شهری)	۱/۰۱۱	۰/۹۸۹	۱/۰۱۳	۰/۰۴۳۸
۲۲	کاهش تمیزی محیط شهری و اجتماعی	۱/۰۰۲	۰/۹۹۸	۱/۰۰۲	۰/۰۴۳۳
۲۳	تخریب و از بین رفتن منابع (طبیعی)	-	۱	۱	۰/۰۴۳۲
جمع					

جدول ۱۸- وزن و رتبه نهایی چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان در تکنیک پیپریشیا

ردیف	مؤلفه	WJ (وزن نهایی)	رتبه
۱	درگیری و اختلاف بین شهر و سایر شهرهای استان	۰/۰۴۴۲۶۸	۱
۲	تهدید بهداشت و سلامت مردم	۰/۰۴۴۰۴۷	۲
۳	افزایش هزینه‌های زندگی (صرف هزینه در وسایل ذخیره آب مانند تانکر و ...)	۰/۰۴۴۰۴۷	۳
۴	افزایش نارضایتی مردم از دولت	۰/۰۴۴۰۰۳	۴
۵	کم‌شدن جذابیت‌های محیطی (چشم‌اندازهای سبز شهری)	۰/۰۴۳۸۷۱	۵
۶	هجوم و تشدید رقابت بین شهروندان در مصرف آب	۰/۰۴۳۷۸۴	۶
۷	کاهش رفاه خانوارها	۰/۰۴۳۷۸۴	۷
۸	احساس دلهره، نگرانی و اضطراب (کاهش امنیت روانی) ناشی از کمبود یا عدم وجود آب در بین شهروندان	۰/۰۴۳۷۴	۸
۹	بی‌اعتمادی مردم نسبت به دولت و مسئولان کشوری-استانی-شهرستانی و شهر	۰/۰۴۳۷۴	۹
۱۰	ایجاد پیش‌داوری‌های قومی و محله‌ای در زمینه کمبود آب	۰/۰۴۳۶۰۹	۱۰
۱۱	باعث درگیری و اختلاف بین مردم و مسئولین	۰/۰۴۳۵۲۲	۱۱
۱۲	بی‌تفاوت‌های سیاسی (بی‌تفاوتی مردم نسبت به دولت)	۰/۰۴۳۳۹۱	۱۲
۱۳	کاهش تمیزی محیط شهری و اجتماعی	۰/۰۴۳۳۹۱	۱۳
۱۴	کاهش دلبستگی و از بین رفتن حس تعلق به شهر در بین شهروندان	۰/۰۴۳۳۴۸	۱۴
۱۵	تخریب و از بین رفتن منابع (طبیعی)	۰/۰۴۳۳۰۴	۱۵
۱۶	کاهش تعاملات اجتماعی شهروندان	۰/۰۴۳۲۶۱	۱۶
۱۷	از بین رفتن مشاغل محلی (آشپزی و ...)	۰/۰۴۳۱۳۲	۱۷
۱۸	افزایش مهاجرت‌ها از شهر کرمان	۰/۰۴۳۰۸۹	۱۸
۱۹	افزایش مناطق حاشیه‌نشین	۰/۰۴۳۰۴۵	۱۹
۲۰	بیکاری (تعطیل شدن کارگاه‌ها به‌خاطر کمبود آب)	۰/۰۴۳۰۰۲	۲۰
۲۱	چنددستگی بین اجتماعات شهر	۰/۰۴۳۰۰۲	۲۱
۲۲	قتل و کشته‌شدن افراد در درگیری	۰/۰۴۲۸۷۳	۲۲
۲۳	واگرایی و تلاش برای استقلال طلبی مردم	۰/۰۴۲۷۴۵	۲۳
جمع		۱	

تا وزن و رتبه نهایی به دست آید (جدول ۱۸).

همان‌طور که در جدول (۱۸) مشاهده می‌شود نتایج حاصل از تکنیک پیپیشیا حاکی از آن است که از بین چالش‌های آینده بحران آب شرب شهر کرمان، چالش درگیری و اختلاف بین شهر و سایر شهرهای استان با وزن $0/044268$ به عنوان مهم‌ترین چالش و در رتبه اول، تهدید بهداشت و سلامت مردم با $0/044047$ در رتبه دوم، افزایش هزینه‌های زندگی (صرف هزینه در وسایل ذخیره آب مانند تانکر و ...) با $0/044047$ در رتبه سوم، افزایش نارضایتی مردم از دولت با $0/044003$ در رتبه چهارم، کم شدن جذابیت‌های محیطی (چشم‌اندازهای سبز شهری) با $0/043871$ در رتبه پنجم و از طرفی دیگر افزایش مناطق حاشیه‌نشین با $0/043045$ ، بیکاری (تعطیل شدن کارگاه‌ها بخاطر کمبود آب) با $0/043002$ ، چنددستگی بین اجتماعات شهر با $0/043002$ ، قتل و کشته‌شدن افراد در درگیری با $0/042873$ و واگرایی و تلاش برای استقلال‌طلبی مردم با $0/042745$ در رتبه ۱۹ تا ۲۳ قرار گرفته‌اند.

طبق تحقیقات و مطالعات صورت گرفته از شهروندان و متخصصین و همچنین مشاهدات میدانی، آب شرب شهر کرمان در حال حاضر وضعیت مناسبی ندارند به‌نحوی که این بحران آب شرب در زمینه اجتماعی (عدم رعایت الگوی مصرف از جانب شهروندان)، اقتصادی (هزینه و قیمت پایین)، کالبدی (فرسودگی زیرساخت‌ها)، محیطی (موقعیت بیابانی و کویری شهر و کمبود بارندگی) و مدیریتی (عدم مدیریت صحیح و یکپارچه) صادق است. به‌طورکلی این وضعیت برگرفته از عدم رعایت در مصرف شهروندان در مرحله اول است که با بی‌اعتنایی بسیار زیاد از طریق‌های مختلف سعی در مصرف زیاد آب می‌کنند. نکته قابل توجه در زمینه انتقال صنایع به خارج از شهر این می‌باشد که علاوه بر اینکه در هدر رفت آب شرب صرفه‌جویی می‌شود از آلودگی هوای شهر نیز جلوگیری می‌شود. البته ممکن است که هزینه‌های زیادی به‌دلیل فاصله زیاد بین صنایع و مصرف شهروندان ایجاد کند. با وجود این مشکلات، انتقال صنایع بسیار ضروری است چرا که آب شرب اولویت اصلی در شهر کرمان است که با کمبود آب شرب مواجه می‌باشد. در این بین، این بحران آب شرب در شهر کرمان در کنار عدم رعایت الگوی مصرف از جانب شهروندان می‌تواند از چالش‌های دیگری ناشی شود. به‌طورمثال، بالغ بر ۸۰ درصد این کارواش‌های شهر کرمان از آب شرب استفاده می‌کنند. در صورتی که در کشورهای اروپایی و توسعه یافته، کارواش‌ها از آب بازیافت شده بارندگی و فاضلاب استفاده می‌کنند. در کنار کارواش‌ها، فضای سبز شهر کرمان به‌طور کامل و صد در صد

وابسته به آب شرب هستند که می‌توان به جنگل پردیسان قائم اشاره کرد. برخی از کارگاه‌ها و کارخانه‌های صنعتی که در شهر قرار دارد در روند فرآوری و تولید، به‌طور کامل وابسته به آب شرب هستند، درحالی که با انتقال این صنایع به خارج از شهر و نزدیک به منابع آب غیرشرب، می‌توان کمک بسیار زیادی به جلوگیری از هدررفت آب کرد. از دیگر چالش‌های آب شرب شهر کرمان، افزایش روند مهاجرت به شهر، جمعیت شهر و مساحت شهر است. از زمان تشکیل شهر تا کنون، بر جمعیت و مساحت آن افزوده شده است که این جمعیت نیازمند آب شرب است که باید تأمین شود. در نهایت می‌توان به وضعیت بد عوامل اقلیمی در سال‌های مختلف (بارندگی، رطوبت، دما و تبخیر) اشاره کرد. به‌نحوی که میزان بارندگی در شهر کرمان از حد نرمال پایین است، میزان دما در فصل تابستان نیز بالا است.

در کنار این چالش‌های موجود آب شرب در شهر کرمان، ممکن است در آینده چالش‌های دیگری به وجود آید. به‌طورمثال، روند افزایش مهاجرت از شهر کرمان به شهرهای دیگر شدت می‌گیرد شهروندانی که به‌دلیل کم‌آبی یا نبود آب، به مهاجرت فکر می‌کنند. از طرفی دیگر، نبود یا کمبود آب، سلامت و بهداشت مردم به‌شدت تهدید می‌شود و باعث بروز بیماری مختلف می‌شود، چنددستگی و نارضایتی مردم از مدیران شهری به‌دلیل عملکرد پایین و ضعف، بسیار افزایش می‌یابد و بسیاری از تبعات و چالش‌های دیگر که ممکن است شکل بگیرد.

نتیجه‌گیری

شهر کرمان همانند بسیاری از شهرهای ایران با بحران و کمبود آب شرب مواجه است. موقعیت اقلیمی نامناسب آن از یک طرف و موارد اجتماعی و فرهنگی شهروندان از طرفی دیگر، بر دامنه این بحران افزوده است. این بحران می‌تواند در آینده چالش‌های دیگری مانند مهاجرت و حاشیه‌نشینی را به وجود آورد. در صورتی که مدیران و مسئولین نتوانند این وضعیت را حل کنند در آینده مشکلات زیادی به‌وجود می‌آورد. بنابراین تحقیق حاضر به بررسی چالش‌های موجود و آینده آب شرب شهر کرمان می‌پردازد. نتایج تحقیق حاکی از آن است در زمینه آب شرب شهر کرمان می‌توان به چالش‌های موجود شامل: پایین رفتن سطح منابع تأمین‌کننده آب شرب، افزایش جمعیت، شهرنشینی و مساحت، مصرف زیاد آب در کارواش‌ها، فضای سبز و صنایع، انشعابات غیرمجاز و موقعیت بد اقلیمی اشاره کرد. همچنین از بین چالش‌های آینده، بعد

اجتماعی با ارزش ۰/۲۵۹ در رتبه اول و به عنوان مهم ترین چالش، بعد اقتصادی با ۰/۲۵۰ در رتبه دوم، بعد سیاسی با ۰/۲۴۶ در رتبه سوم و در نهایت بعد محیط زیستی با ارزش نهایی ۰/۲۴۳ در رتبه آخر و به عنوان کم اهمیت ترین چالش بحران آب شیرین شهر کرمان شناخته شده است. به نحوی که چالش درگیری و اختلاف بین شهر و سایر شهرهای استان با وزن ۰/۴۴۲۶۸ به عنوان مهم ترین چالش و در رتبه اول، تهدید بهداشت و سلامت مردم با ۰/۴۴۰۴۷ در رتبه دوم، افزایش هزینه های زندگی (صرف هزینه در وسایل ذخیره آب مانند تانکر و غیره) با ۰/۴۴۰۴۷ در رتبه سوم، افزایش نارضایتی مردم از دولت با ۰/۴۴۰۰۳ در رتبه چهارم، کم شدن جذابیت های محیطی (چشم اندازهای سبز شهری) با ۰/۴۳۸۷۱ در رتبه پنجم قرار گرفته اند. لازم است نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات مقایسه شوند. نتایج تحقیق با تحقیق پاپلی یزدی و همکاران (۱۳۹۶)، که معتقدند تغییرات جمعیتی، بیکاری و فقر، کاهش کیفیت زندگی و اختلافات نزاع و درگیری ها به عنوان پیامدهای اجتماعی عینی و تغییر نگرش ها و عقاید مذهبی مردم، از بین رفتن اعتماد، کاهش سرمایه اجتماعی و مشارکت مردمی و کاهش امید به زندگی، به عنوان پیامدهای اجتماعی ذهنی از یافته های این پژوهش است، در یک جهت می باشد. از طرفی دیگر نتایج تحقیق اسدی و همکاران (۱۴۰۰) که به این نتیجه رسیدند در مباحث بحران آب دو عامل نقش محوری و تعیین کننده در کاهش یا تشدید آن ایفا می کند. شامل: ۱- عامل طبیعی مربوط به اقلیم کشور و تغییرات آن و ۲- عامل انسانی که عمده آن به مدیریت به معنی اعم و مدیریت منابع آب به طور خاص، مرتبط است، با نتایج تحقیق حاضر در یک جهت است.

پیشنهادهای

- جلوگیری از مهاجرت های بی رویه از شهرهای اطراف به ویژه شهرهای جنوبی استان به شهر کرمان.
- اجرای برنامه های آموزشی جامع برای ارتقاء آگاهی عمومی و تشویق به مصرف بهینه آب با برگزاری کارگاه ها، سمینارها و دوره های آموزشی برای اقشار مختلف جامعه.
- اصلاح نظام قیمت گذاری آب با رویکرد پلکانی برای کاهش مصرف بی رویه و تشویق به مصرف بهینه با ارائه مشوق های مالی و تخفیف های ویژه به مشترکین کم مصرف.
- استفاده از فناوری های نوین در خانه ها و ادارات جهت کاهش هدر رفت آب مانند نصب شیرهای آب هوشمند (فناوری و هوشمندسازی آب).

- تلفیق سیستم های هشداردهنده هوشمند با برنامه نوسازی لوله های فرسوده، به صورت پیاده سازی برنامه جامع نوسازی شبکه لوله های فرسوده با استفاده از سیستم های هشداردهنده.
- اجرای طرح جامع مدیریت و نظارت بر مصرف آب شرب در آبیاری فضا های سبز شهری با الزام شهرداری به استفاده از منابع آب جایگزین و تجهیز سامانه های آبیاری به ابزارهای اندازه گیری هوشمند.
- تدوین و اجرای برنامه های بلندمدت و جامع با بهره گیری از تجربیات کشورهای موفق در مدیریت بحران آب (ونکوور کانادا^{۱۶}، ریکیاویک ایسلند^{۱۷} و نیویورک آمریکا^{۱۸}).

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می دانند از بنیاد ملی علم ایران (صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور) به دلیل حمایت از رساله دکتری و مقاله مستخرج از آن (به شماره طرح: ۹۹۰۳۰۲۷۴) به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم تشکر و قدردانی نمایند.

- آقامیری، حمیده سادات، و رحمانی، بیژن. (۱۳۹۷). تأثیر مهاجرت‌های روستایی در امنیت غذایی با تأکید بر منابع آب، مطالعه موردی: روستاهای شهرستان خوانسار استان اصفهان. فصلنامه جغرافیا، ۱۶(۵۹)، ۷۶-۵۶.
https://mag.iga.ir/article_246083.html?lang=fa
- اسدی، مراد، مظاهری، مهدی، و عبدالمنافی، نرجس. (۱۴۰۰). بررسی تحلیلی شرایط موجود و تبیین وضعیت آینده بحران آب در کشور. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات زیربنایی گروه آب. تهران.
<https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1681436>
- افضلی، رسول، ذکی، یاشار، کاویانی‌راد، مراد، و محمدخانی، عماد. (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی تغییر اقلیم و چالش‌های امنیتی بحران آب در شهرهای دو حوضه آبریز مرکزی و دریاچه ارومیه. نشریه جغرافیای اجتماعی شهری، ۷(۱۶)، ۱۸۹-۱۶۷.
[doi:10.22103/JUSG.2020.2010](https://doi.org/10.22103/JUSG.2020.2010)
- اداره زمین‌شناسی کرمان. (۱۳۹۴). اسناد و مطالعات زمین‌شناسی استان کرمان ۱۳۹۹، کرمان، ایران. <https://www.gsi-kerman.ir>
- براتی، غلامرضا. (۱۳۹۸). چالش‌های بحران کم آبی در ایران در حوزه‌های سیاست‌گذاری، فرهنگ و پژوهش. توسعه پایدار محیط جغرافیایی، ۱(۱)، ۸۲-۹۱.
[doi: 10.52547/sdge.1.1.82](https://doi.org/10.52547/sdge.1.1.82)
- بزی، خدارحم، جوادی، معصومه، و حسین‌نژاد، مجتبی. (۱۳۸۹). بحران آب در خاورمیانه (چالش‌ها و راهکارها). چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام. زاهدان.
<https://civilica.com/doc/3855>
- پاپلی‌یزدی، محمدحسین، جمعه‌پور، محمود، و مهدی‌زاده اردکانی، محمد. (۱۳۹۶). بررسی پیامدهای اجتماعی بحران کمبود منابع آب در مناطق کویری (مطالعه موردی شهرستان اردکان). فصلنامه علوم اجتماعی، ۲۴(۷۷)، ۹۹-۱۳۶.
<https://doi.org/10.22054/qjss.2017.7922>
- حاتمی، عباس، و نوربخش، سوسن. (۱۳۹۸). بازسازی معنایی بحران آب در شرق اصفهان بر اساس نظریه زمینه‌ای. جامعه‌شناسی کاربردی، ۳۰(۱)، ۱۴۲-۱۲۳.
[doi: 10.22108/jas.2018.109357.1299](https://doi.org/10.22108/jas.2018.109357.1299)
- رضایان، احد، و رضایان، علی‌حسین. (۱۳۹۵). آینده‌پژوهی بحران آب در ایران به روش سناریوپردازی. فصلنامه اکوهیدرولوژی، ۳(۱)، ۱۷-۱.
[doi: 10.22059/ije.2016.59185](https://doi.org/10.22059/ije.2016.59185)
- زارع، آمنه، حاج‌امینی، مهدی، و فیض‌پور، محمدعلی. (۱۴۰۱). عوامل مؤثر بر تقاضای آب صنعتی در ایران و چالش پیشرو. آب و توسعه پایدار، ۹(۲)، ۴۶-۳۳.
[doi: 10.22067/jwsd.v9i2.2203.1129](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2203.1129)
- زندحسامی، حسام، و فرهادی، کاوه. (۱۳۹۶). بازاندیشی بر نظام آینده‌اندیشی ایران (مطالعه موردی: بحران آب). فصلنامه علوم اجتماعی، ۲۴(۷۷)، ۳۶۰-۳۱۴.
[doi: 20.1001.1.17351162.1396.24.77.7.0](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i2.2203.1129)
- زینتی فخرآباد، محمدمهدی، و عسگری مقدم، مصطفی. (۱۴۰۰). آینده پژوهی پیامدهای امنیتی بحران منابع آبی در نواحی مرزی ایران. جغرافیا و روابط انسانی، ۴(۳)، ۱۷-۱.
[doi: 10.22034/gahr.2021.301648.1602](https://doi.org/10.22034/gahr.2021.301648.1602)

1. Africa
2. San Cristóbal
3. Galápagos
4. Uzbekistan
5. Turkmenistan
6. Tajikistan
7. Kyrgyzstan
8. Kazakhstan
9. Australia
10. Pakistan
11. Nigeria
12. Best-Worst Method
13. pivot pairwise relative criteria importance assessment
14. Analytic hierarchy process
15. Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
16. Vancouver
17. Reykjavík
18. New York

- Ahmad, S., Jia, H., Ashraf, A., Yin, D., Chen, Z., Xu, C., & Ahmed, R. (2023). Water resources and their management in Pakistan: a critical analysis on challenges and implications. *Water-Energy Nexus*, 6, 137-150. doi: [10.1016/j.wen.2023.10.001](https://doi.org/10.1016/j.wen.2023.10.001)
- Avazpour, B., Osmond, P., & Corkery, L. (2023). The dynamic challenges of mainstreaming water sensitive cities in our built environment: Lessons from Australia. *Cities*, 143, 104615. doi: [10.1016/j.cities.2023.104615](https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104615)
- Barry, J. (2007). *Environment and Social Theory*. Volume 2. Publisher Routledge. London. doi: [10.4324/9780203946923](https://doi.org/10.4324/9780203946923)
- Chang, I.S., Zhao, M., Chen, Y., Guo, X., Zhu, Y., Wu, J., & Yuan, T. (2020). Evaluation on the integrated water resources management in China's major cities - Based on City Blueprint Approach. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121410. doi: [10.1016/j.jclepro.2020.121410](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121410)
- Distanont, A., Khongmalai, O., Rassameethes, R., & Distanont, S. (2017). Collaborative triangle for effective community water resource management in Thailand. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 39(3), 374-380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2017.07.015>
- Emenike, C. P., Tenebe, I. T., Omole, D. O., Ngene, B. U., Oniemayin, B. I., Maxwell, O., & Onoka, B. I. (2017). Accessing safe drinking water in sub-Saharan Africa: Issues and challenges in South-West Nigeria. *Sustainable cities and society*, 30, 263-272. doi: [10.1016/j.scs.2017.01.005](https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.005)
- Grube, A. M., Stewart, J. R., & Ochoa-Herrera, V. (2020). The challenge of achieving safely managed drinking water supply on San Cristobal island, Galápagos. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 228, 113547. doi: [10.1016/j.ijheh.2020.113547](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113547)
- Gupta, R., & Kumar, G. (2018). Scenario planning for water resource management in semiarid zone. *Physics and Chemistry of the Earth*, 105, 290-299. doi: [10.1016/j.pce.2017.12.004](https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.12.004)
- Isukuru, E. J., Opha, J. O., Isaiiah, O. W., Orovwighose, B., & Emmanuel, S. S. (2024). Nigeria's water crisis: Abundant water, polluted reality. *Cleaner Water*, 2, 100026. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2024.100026>
- Kersulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method by Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243258. doi: [10.3846/jbem.2010.12](https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12)
- Li J., Fei L., Li S., Xue C., Shi Z., & Hinkelmann, R. (2020). Development of "water-suitable" agriculture based on a
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان. (۱۴۰۲). گزارش و سالنامه آماری شهرستان کرمان ۱۳۹۹. کرمان، ایران. <https://kerman.mporg.ir>
- سازمان هواشناسی کشور. (۱۴۰۳). گزارش هواشناسی شهرستان کرمان ۱۳۹۹. کرمان، ایران. <https://www.irimo.ir>
- سعیدی، جعفر، و صادقی ده‌چشمه، ستار. (۱۴۰۲). تحلیل سناریوهای پیامدهای امنیتی بحران آب در استان چهارمحال و بختیاری. فصلنامه جغرافیا، ۲۱(۷۶)، ۱۸۱-۲۱۰. doi: [20.1001.1.27833739.1402.21.76.9.0](https://doi.org/10.1001.1.27833739.1402.21.76.9.0)
- شهرداری کرمان. (۱۳۹۵). سند چشم‌انداز توسعه شهر کرمان. کرمان. ایران. <https://kerman.ir>
- شهرداری کرمان. (۱۳۹۹). اسناد و آمار شهرداری کرمان ۱۳۹۹. <https://kerman.ir>
- شهرداری کرمان. (۱۴۰۲). سند مطالعات طرح جامع شهر کرمان ۱۴۰۲. کرمان. ایران. <https://kerman.ir>
- شرکت آب و فاضلاب کرمان. (۱۴۰۱). اسناد و مطالعات سازمان ۱۴۰۱. کرمان، ایران. <https://abfakerman.ir>
- عاملی، سعیدرضا، بیچرانلو، عبدالله، بهار، مهری، و غلامی، فرزاد. (۱۳۹۸). تدوین الگوی مفهومی ارتباطات آب، ظرفیت‌های ارتباطات برای مدیریت بحران آب در ایران. مطالعات میان رشته‌ای در علوم انسانی، ۱۱(۳)، ۱۷۷-۱۹۹. doi: [10.22035/isih.2020.3515.3719](https://doi.org/10.22035/isih.2020.3515.3719)
- قشقایی‌زاده، نسیم، مرادی، عباس، ملکیان، آرش، حلی‌ساز، ارشک، و مهدوی، رسول. (۱۳۹۷). چالش آب شهری و بررسی سناریوهای مدیریت رواناب‌های شهری (مطالعه موردی: بخشی از شهر بندرعباس). دانش شهرسازی، ۲(۳)، ۷۱-۸۳. doi: [10.22124/upk.2018.10984.1116](https://doi.org/10.22124/upk.2018.10984.1116)
- محمدی ده‌چشمه، مصطفی، و گنخکی، عقیل. (۱۴۰۱). چالش‌های حکمروایی و مدیریت یکپارچه منابع آب شهرها (مطالعه شهرهای استان بوشهر). آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱۱-۲۴. doi: [10.22067/jwsd.v9i1.2110.1089](https://doi.org/10.22067/jwsd.v9i1.2110.1089)
- محمدی، صدیقه، ناصری، فرزین، و نظری‌پور، حمید. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد (SPI) و منابع آب زیرزمینی (GRI). اکوهیدرولوژی، ۱۵(۱)، ۱۱-۲۲. doi: [10.22059/ije.2017.225328.434](https://doi.org/10.22059/ije.2017.225328.434)
- مرادی‌طادی، محمدرضا. (۱۳۹۶). آب و سیاست، نگاهی به فرایند سیاسی شدن آب. فصلنامه مطالعات میان رشته‌ای در علوم انسانی، ۹(۴)، ۷۱-۹۰. doi: [10.22631/isih.2017.1981.2512](https://doi.org/10.22631/isih.2017.1981.2512)
- مرادی، امین، پوری‌رحیم، علی‌اکبر، و محمودزاده، امیر. (۱۳۹۵). چالش‌های مدیریت یکپارچه آب و فاضلاب شهری: نمونه موردی رومانی. مهندسی و مدیریت ساخت، ۱۱(۱)، ۳۸-۴۲. https://www.jecm.ir/article_33503.html
- مرکز آمار ایران. (۱۴۰۲). آمار و اسناد مرکز آمار ایران ۱۴۰۲. <https://amar.org.ir>

- statistical analysis of factors affecting irrigation water demand. *Science of The Total Environment*, 744, 140986. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140986>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57. doi: [10.1016/j.omega.2014.11.009](https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009)
 - Stanujkic, D., Zavadskas, E. K., Karabasevic, D., Smarandache, F., & Turskis, Z. (2017). The use of the pivot pairwise relative criteria importance assessment method for determining the weights of criteria: Infinite Study. *Romanian Journal of Economic Forecasting*, XX (4) 2017. doi: [10.1016/j.ejor.2008.05.087](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.087)
 - Statistical Center of Iran. (2011). Statistical Pocketbook of the Islamic Republic of Iran. Volume 2. Publisher: Management & Planning Organization. Tehran, Iran.
 - Vieira, E.O. (2020). Integrated Water Resources Management: Theoretical Concepts, Basis, Responsibilities, and Challenges of IWRM. Volume 1. Integrated Water Resource Management. First edition. Springer publishing. Cham, Sweden. doi: [10.1016/j.pce.2007.07.031](https://doi.org/10.1016/j.pce.2007.07.031)
 - Wang, X., Chen, Y., Fang, G., Li, Z., & Liu, Y. (2022). The growing water crisis in Central Asia and the driving forces behind it. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134574. doi: [10.1016/j.jclepro.2022.134574](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134574)
 - World Economic Forum. (2021). Circular Water Cities: A circular water economy for cleaner, greener, healthier, more prosperous cities. In collaboration with the Swiss Agency for Development and Cooperation. Volume 1. published by the World Economic Forum. Cologny, Switzerland. <https://www.weforum.org/publications/circular-cities-a-circular-water-economy-for-cleaner-greener-healthier-more-prosperous-cities/>

Article Type Technical paper

نوع مقاله فنی و ترویجی

The Effect of Water Distribution Network Zoning on Pressure Management and Network Leakage Reduction (Case Study: Dorud City)

تأثیر پهنه بندی شبکه توزیع آب در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه (مطالعه موردی: شهر دورود)

P.Maleki^{1*}, Kh.Namdarian²

پری ملکی^{۱*}، خشایار نامداریان^۲

1- Ph.D. in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Office of Operation and Development of Water Distribution Network, Lorestan Water and Wastewater Company, Lorestan, Iran. 2- M.Sc. in Mechanical Engineering, Office of Operation and Development of Water Distribution Network and Reduction of Non-Revenue Water, Lorestan Water and Wastewater Company, Lorestan, Iran.

۱- دکترای سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز، دفتر بهره برداری و توسعه شبکه توزیع آب، شرکت آب و فاضلاب لرستان، لرستان، ایران. ۲- کارشناسی ارشد مکانیک گرایش انرژی، دفتر بهره برداری و توسعه شبکه توزیع آب و کاهش آب بدون درآمد، شرکت آب و فاضلاب لرستان، لرستان، ایران.

*Corresponding Author Email: Parimaleki.6771@gmail.com

*رایانامه نویسنده مسئول: Parimaleki.67@gmail.com

Received 26-01-2025
Revised 11-03-2025
Accepted 18-03-2025
Available Online 20-09-2025

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۰۷
تاریخ بازنگری ۱۴۰۳/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

چکیده

In order to deal with the challenges caused by the limitations of water resources in the path of social and economic development, various models of pressure management methods have been proposed and developed all over the world. One of the pressure and leakage management methods in water distribution networks is the use of Pressure Reducing Valves and the creation of District Metered Areas, for the effective operation of these valves, it is very important to determine the appropriate position and regulated pressure. In the present study, the effect of the pressure zoning method on pressure management and network leakage reduction was investigated using a hydraulic model. For this purpose, with the help of WaterGEMS software, the hydraulic model of the water distribution network of Dorud city was designed and the model was calibrated using the information of flow measurement and pressure measurement, then the hydraulic analyses were performed. Based on the obtained results, the distribution network of this city was divided into 4 zones, and in addition to the existing pressure reducing valves, 4 new pressure reducing valves were proposed for pressure regulation. The results showed that applying zoning reduced the average pressure across the network by 17%, which led to an average leakage reduction of 17%. According to the results of the presented method, it has a proper efficiency in managing the pressure and leakage of the water distribution network.

Keywords: Pressure Management, Zoning, Water Distribution Network, Leakage.

به منظور مقابله با چالش های ناشی از محدودیت های منابع آبی در مسیر توسعه اجتماعی و اقتصادی مدل های مختلفی از روش های مدیریت فشار در تمام جهان مطرح و توسعه یافته است. از جمله روش های مدیریت فشار و نشت در شبکه های توزیع آب استفاده از شیرهای فشارشکن و ایجاد پهنه های فشاری می باشد که به منظور عملکرد مؤثر این شیرها تعیین موقعیت مناسب و فشار تنظیمی آنها اهمیت بالایی دارد. در پژوهش حاضر تأثیر روش پهنه بندی فشاری در مدیریت فشار و کاهش نشت شبکه با استفاده از مدل هیدرولیکی بررسی شد. به این منظور با کمک نرم افزار WaterGems مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شهر دورود طراحی شد و با استفاده از اطلاعات دبی سنجی و فشارسنجی مدل کالیبره و سپس تحلیل های هیدرولیکی مدل انجام شد. براساس نتایج به دست آمده شبکه توزیع این شهر به ۴ پهنه تقسیم بندی شد و علاوه بر فشارشکن های موجود ۴ شیر فشارشکن جدید جهت تنظیم فشار پیشنهاد شد. نتایج نشان داد با اعمال پهنه بندی، فشار در سطح شبکه به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته و میزان نشت به طور متوسط به میزان ۱۷ درصد کاهش یافت. از نتایج به دست آمده می توان دریافت که رویکرد ارائه شده کارایی مؤثری در مدیریت فشار و نشت شبکه توزیع آب دارد.

واژه های کلیدی: مدیریت فشار، پهنه بندی، شبکه توزیع آب، نشت.

How to cite this article: Maleki, P., & Namdarian, Kh. (2025). The Effect of Water Distribution Network Zoning on Pressure Management and Network Leakage Reduction (Case Study: Dorud City). Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 131-142.
<http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2501-1400>

رشد روز افزون جمعیت و افزایش تقاضای آب از یک طرف و محدودیت منابع آب از طرف دیگر، از جمله چالش‌های پیش روی توسعه جوامع می‌باشد، لذا کاهش «نیاز به تولید» بسیار حائز اهمیت می‌باشد (بوستانی و خدانشناس، ۱۳۹۴). براساس تجزیه و تحلیل (IFPRI) شیوه‌های فعلی مدیریت آب و سطوح بهره‌برداری آب تقریباً ۴۵ درصد از کل تولید ناخالص پیش‌بینی شده داخلی جهان در سال ۲۰۵۰ را در معرض خطر جدی قرار می‌دهد و تقریباً نیمی از جهان با مشکل کمبود و تنش آبی مواجه خواهند شد. از آنجایی که دسترسی به منابع جدید با صرف هزینه‌های هنگفتی در ایجاد زیر ساخت‌های لازم همراه است لذا مدیریت منابع آبی به عنوان مقرون به صرفه ترین راه‌حل جهت جلوگیری از اتلاف و حفظ منابع آبی موجود به عنوان یکی از استراتژی‌های مهم مطرح است (بوستانی و خدانشناس، ۱۳۹۴).

هدر رفت آب از جمله مشکلاتی است که شرکت‌های آب‌رسانی به شکل مستقیم و غیر مستقیم با آن در ارتباط هستند و همواره دنبال راهکارهایی برای کاهش آن هستند. در سراسر جهان بین ۵ تا ۵۰ درصد از حجم آب توزیعی توسط شرکت‌های آب و فاضلاب به تلفات نشت از شبکه‌های توزیع آب اختصاص دارد (Farley و همکاران، ۲۰۰۱) آب ناشی از سیستم‌های ثانویه توزیع آب در سطح جهانی از اجزای مختلفی از جمله تلفات فیزیکی، مصارف غیر مجاز و تلفات ظاهری تشکیل می‌شود. نشت‌ها گاهی بیش از ۷۰ درصد از هدررفت آب را تشکیل می‌دهند (تابش و کریمی، ۱۳۸۵).

از جمله عوامل مؤثر بر ایجاد شکستگی‌ها و نشت و افزایش هدر رفت در شبکه‌های توزیع آب عبارتند از:

وجود فشار بیش از حد استاندارد در نقاطی از شبکه، تغییرات شدید دمای هوا، جنس نامرغوب لوله‌ها و اتصالات، بار ترافیک روی معابر، سربارهای استاتیکی و دینامیکی، خوردگی و پوسیدگی لوله‌های شبکه، فرسودگی و افزایش سن لوله‌های شبکه (Thornton و Lambert، ۲۰۰۵). مدیریت فشار یکی از مؤثرترین و مقرون به صرفه ترین روش‌های کاهش نشت شبکه‌های توزیع آب می‌باشد و می‌توان آن را به عنوان عملکرد مدیریت فشار شبکه توزیع تا سطوح بهینه خدمات که تضمین تأمین کافی و کارآمد برای مصرف کنندگان است تعریف کرد (هدایتی مزرونی و همکاران، ۱۴۰۱). از متداول‌ترین روش‌های مدیریت فشار می‌توان به ایجاد مرزهای منطقه و اجرای طرح ناحیه‌بندی فشاری (پهنه‌های فشاری)، انتخاب صحیح محل

احداث مخازن ذخیره و کنترل سطح آب در آن‌ها، شیرهای فشارشکن، احداث حوضچه‌های تعدیل فشار اشاره نمود. از دیگر رویکردهای اصلی شرکت‌های آب و فاضلاب در جهت مدیریت تولید و توزیع، ثابت نگهداشتن نیاز به تولید آب حتی در صورت افزایش تعداد مشترکین بوده است. استراتژی‌ها و برنامه‌های تدوینی بر مبنای کاهش «نیاز به تولید» با اقداماتی از قبیل اجرا و تکمیل پروژه‌های رینگ و پهنه‌بندی شبکه توزیع آب، حذف پمپاژهای مستقیم، افزایش رسانه ذخیره مخازن، مدیریت فشار و... قابل انجام است. از بین روش‌های بیان شده استفاده از شیرهای فشارشکن (کنترل فشار) و همچنین اجرای طرح ناحیه‌بندی فشاری مورد توجه بسیاری از شرکت‌های آب‌رسانی قرار گرفته که این امر ناشی از امکان اجرای مدیریت فشار پیشرفته است (Vicente و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات زیادی در زمینه نظری و عملی در خصوص مدیریت فشار انجام شد از جمله مطالعات میدانی مدیریت فشار در شهر بلغارستان میزان نشت به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت همچنین کاربرد مدیریت فشار در پایلوتی در شهر کبک کانادا میزان نشت سالانه را به میزان ۱۲۰۰۰۰ متر مکعب کاهش داد (جلیلی قاضی‌زاده و ایدی، ۱۳۹۵). در پژوهشی از روش مدیریت فشار به منظور کاهش نشت و مصارف وابسته به فشار و نیز کاهش ترکیدگی لوله‌ها و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان هیدرولیکی شبکه توزیع استفاده شد که در آن از یک مدل شبیه‌ساز و بهینه‌ساز به منظور یافتن مکان و فشار تنظیمی شیرهای فشار شکن با خروجی ثابت بهره گرفته شد (Latifi و همکاران، ۲۰۱۸).

در سال ۲۰۱۷ نشت شبکه توزیع آب اسکندریه در مصر به عنوان تابعی از فشار و طول لوله با کالیبره نمودن ضریب نشت به کمک شیرهای کاهنده فشار توسط Samir و همکاران (۲۰۱۷) مدل‌سازی شد و نتایج مطالعات نشان داد مدیریت فشار به کمک شیرهای کاهنده فشار نتایج مؤثر و مطلوبی در کنترل میزان نشت دارد.

García-Avila و همکاران (۲۰۱۹) برای ارزیابی نشت شبکه توزیع آب را با استفاده از نرم‌افزار Epanet مدل‌سازی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد میزان نشت با استفاده از شیرهای کاهنده فشار ۳۰ درصد کاهش یافته است، بنابراین آن‌ها به شرکت‌های تأمین کننده آب شرب پیشنهاد استفاده از این روش را دادند.

Price و همکاران (۲۰۲۲) برای مدیریت فشار شبکه توزیع آب با استفاده از نرم‌افزار Epanet مدل‌سازی کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد استفاده از شیرهای فشارشکن

در مدیریت فشار و کاهش نشت مؤثر بوده و به کمک مدل ساخته شده جانمایی شیرها نیز تعیین شد. با توجه به مطالعات انجام شده از جمله از اقدامات اولیه در مدیریت فشار، ناحیه‌بندی فشاری یا پهنه‌بندی فشاری در شبکه توزیع است. در صورت وجود اختلاف بسیار زیاد بین تراز حداقل و حداکثر، به کاهش فشار شبکه نیاز است. این کار اغلب از طریق نصب شیرآلات تنظیمی خودکار، استفاده از مخازن و یا پمپ‌های دور متغییر قابل انجام است. ناحیه‌بندی فشاری به صورت کلی سبب جلوگیری از ایجاد فشارهای بالا در بخش‌های کم ارتفاع شبکه توسط روش‌هایی از قبیل استفاده از شیرهای کاهش فشار، یا ایجاد فشار کافی در قسمت‌های مرتفع شبکه توسط پمپ، هنگامی که منابع تأمین در مناطق ارتفاعی پایین قرار داشته باشند) می‌شود.

اهداف کلی پهنه‌بندی یا ناحیه‌بندی فشاری عبارتند از ۱- کاهش نیاز به تولید، ۲- بهره‌برداری بهینه و توزیع عادلانه آب شرب، ۳- ایجاد بستر لازم به منظور هوشمندسازی شبکه توزیع آب، ۴- امکان اجرای طرح‌های مدیریت مصرف، ۵- مدیریت فشار شبکه و کاهش هدررفت آب، ۶- کاهش خرابی شبکه توزیع و انشعابات آب و ۷- کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداشت. با توجه به مطالب بیان شده اهمیت مطالعات مدیریت فشار در شبکه‌های آب‌رسانی بیش از پیش نمایان است. به منظور بررسی و کارایی روش پهنه‌بندی فشاری از یک شبکه توزیع آب واقعی (شبکه توزیع آب شهر دورود) استفاده شد و با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS مدل‌سازی، سپس به کمک نتایج آن تأثیر این روش بر کاهش نشت و تعدیل فشار بررسی شد.

مواد و روش‌ها

شهر مورد مطالعه

شهر دورود یکی از شهرهای استان لرستان می‌باشد. جنس لوله‌های شبکه شامل ۲۹/۱ درصد لوله آریست، ۶۱/۳ درصد پلی‌اتیلن و ۵ درصد چدن داکتیل و ۴/۶ درصد فولادی می‌باشد. ضریب هیزن ویلیامز برای مدل‌سازی شبکه ۱۲۰ در نظر گرفته شد. بیشترین طول لوله در شبکه شهر دورود مربوط به اقطار ۷۵ و ۹۰ میلیمتر به ترتیب با ۲۱/۸ و ۲۱/۵ درصد و کمترین آن مربوط به لوله ۴۰ میلیمتر با ۰/۰۲ درصد می‌باشد. شبکه مورد بررسی طول عمر متوسط ۱۰ سال داشت. جمعیت تحت پوشش شبکه در حدود ۱۳۱۰۰۰ نفر است. برای مدیریت فشار شبکه توزیع آب ۵ دستگاه شیر فشارشکن در نقاط مختلفی از شبکه نصب شده است همچنین ۵ مخزن آب

شرب به حجم ۳۴۷۶۰ متر مکعب دارد. تحقیقات پژوهشگران و نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی فشار نشان می‌دهد تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع بدون در نظر گرفتن تغییرات دبی و فشار در گر‌ها و چشم‌پوشی از جریان نشت در شبکه دقت کافی ندارد. رابطه فشار و نشت به شکل توانی و به صورت رابطه (۱) است (سلطانی اصل و فغفور، ۱۳۸۸):

$$Q = cP^n \quad (1)$$

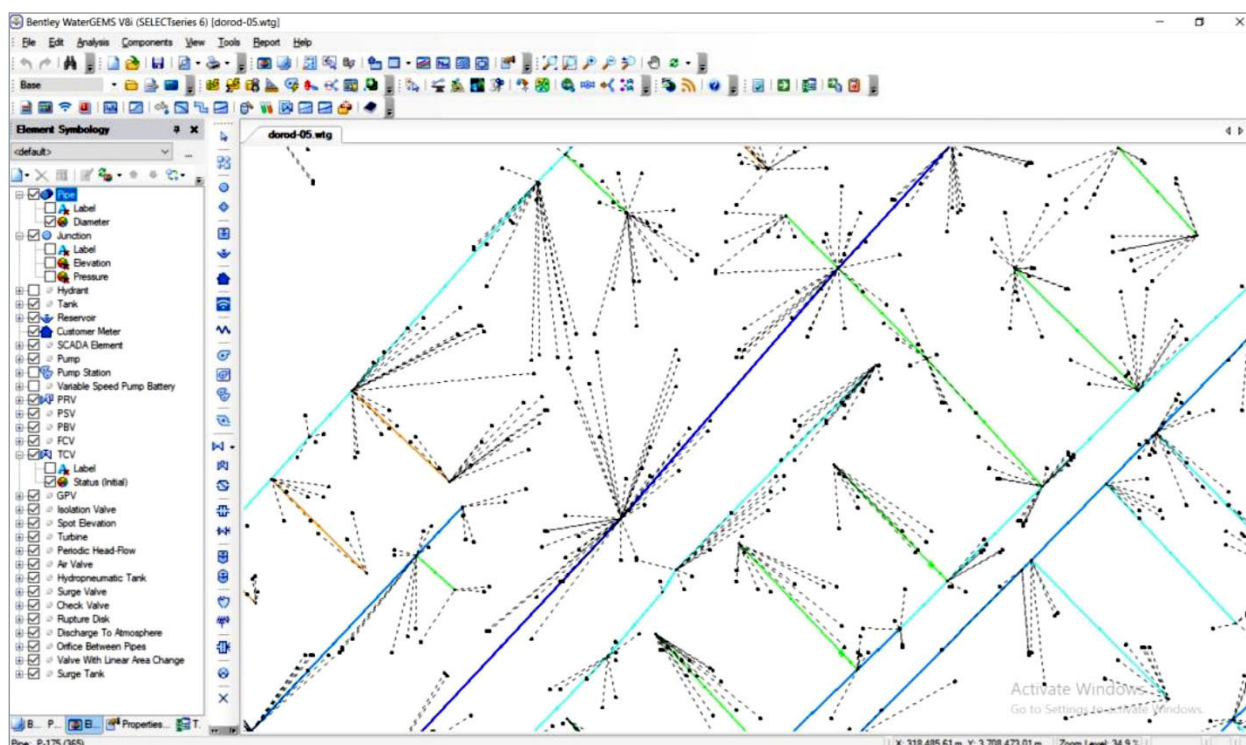
که در آن Q میزان دبی نشت بر حسب لیتر بر ثانیه، P میزان فشار بر حسب متر و c ضریب نشت و n ثابت فشار می‌باشد. از جمله روش‌های متداول در مدل‌سازی نشت که منجر به تعیین مقادیر ضریب نشت در گر‌ها می‌شود استفاده از روش تلفیقی روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و تحلیل هیدرولیکی شبکه است. براساس پژوهش‌های انجام شده مقدار ثابت n در رابطه توانی (۱) در شبکه‌های آب‌رسانی بیش از ۵/۰ می‌باشد و به عواملی از جمله جنس لوله‌ها، تغییرات فشار در شبکه بستگی دارد. معروف‌ترین روش در تعیین مقدار آن نظریه FAVAD می‌باشد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴).

مدل‌سازی

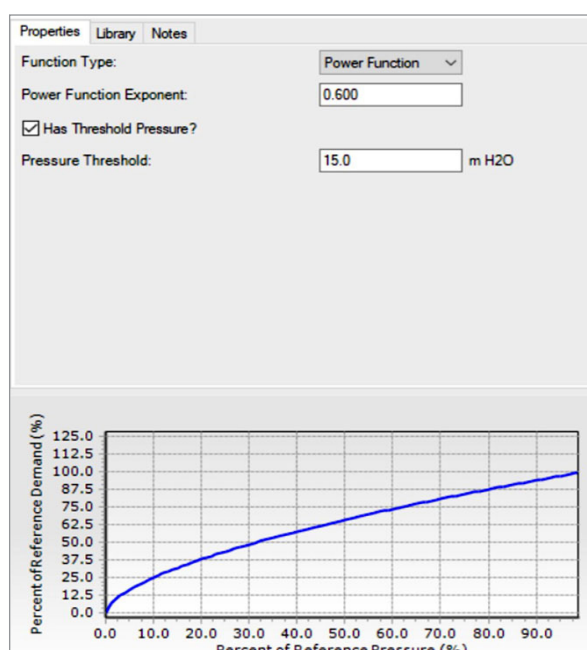
ساخت مدل هیدرولیکی خطوط شبکه و انتقال شهر دورود با استفاده از نقشه اتوکد موجود و در نرم‌افزار WaterGems تهیه شد. به کمک جدول بالانس و قرائت مصارف مشترکین در دو سال اخیر به همراه مختصات جغرافیایی آن‌ها، مصارف به نزدیک‌ترین گر موجود اختصاص داده شد (شکل ۱).

براساس اطلاعات دریافتی از شرکت آبفا و با میانگین‌گیری از میزان مصرف هر مشترک در دوره‌های مختلف قرائت میزان کل مصرف قرائت شده در کنتور مشترکین برابر ۳۱۱ لیتر در ثانیه برآورد شد. هد استاتیکی هر گر توسط نقاط برداشت شده با استفاده از GPS دو فرکانسه در نقاطی از شبکه و میان‌یابی انجام شد. همچنین تمامی شیر آلات موجود در شبکه شامل شیرهای فشارشکن، شیرهای نگهدارنده فشار، شیرهای مانوری و شیرهای بسته موجود در شبکه توزیع، مدل‌سازی شدند. در شهر دورود ۵ عدد شیر فشار شکن به سایزهای ۴۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰ میلیمتر موجود می‌باشد.

براساس رابطه (۱) و با توجه به میزان هدر رفت شبکه به میزان ۲۴۱۴۶۲۱ مترمکعب در سال و معادل ۷۸/۸ لیتر در ثانیه می‌باشد. بر اساس مدل اولیه تهیه شده میزان متوسط فشار شبکه برابر ۳۳ متر می‌باشد که با استفاده از رابطه (۱) مقدار ضریب c برابر ۱۳/۱ می‌باشد. ضریب نشت در نرم‌افزار WaterGEMS به صورت Coefficient Emitter تعریف شده



شکل ۱- وارد کردن مصارف مشترکین به مدل شبکه توزیع در محیط نرم افزار Watergems



شکل ۲- منحنی فشار-مصرف

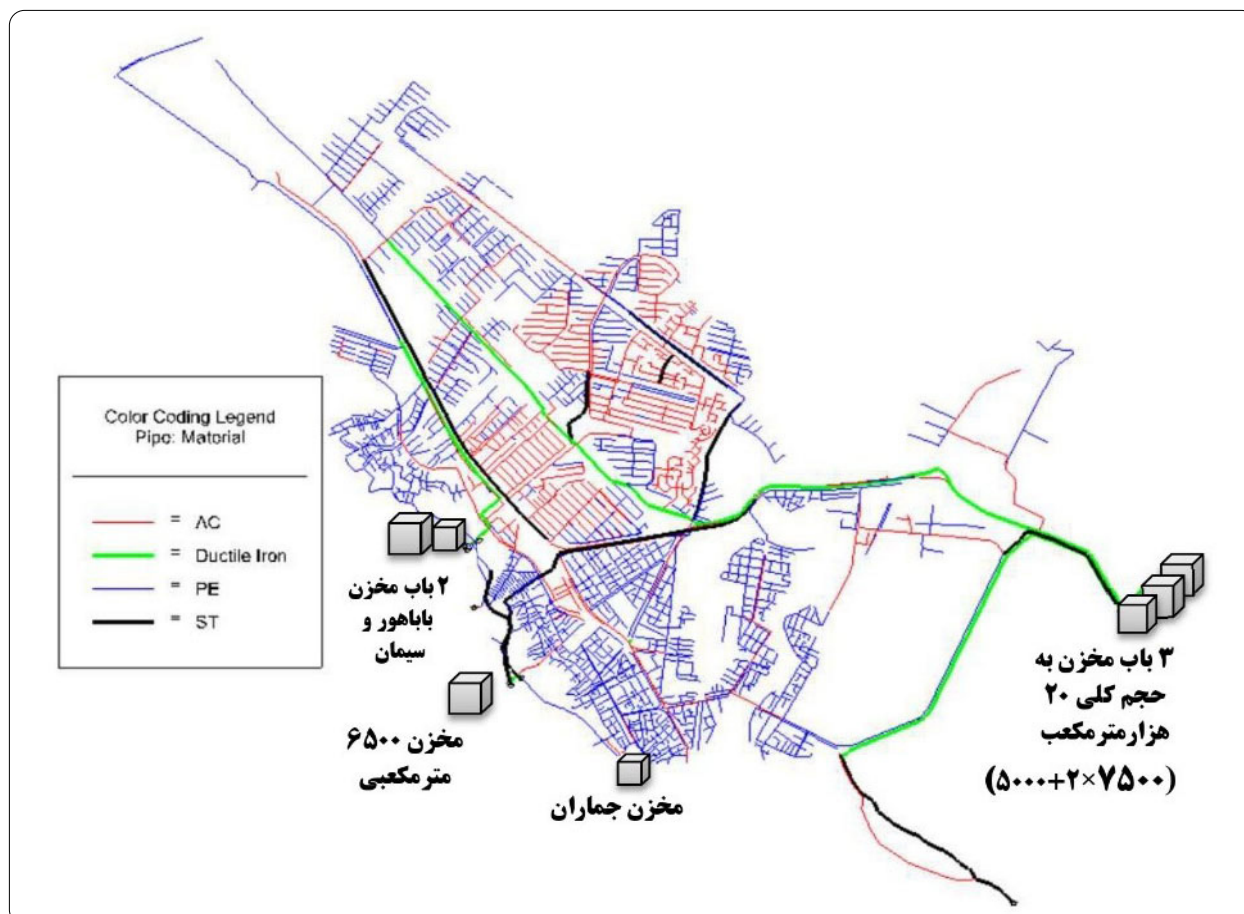
است که در مدل تهیه شده، این مقدار ضریب با نسبت طول لوله‌های متصل به گره به مدل اضافه شد. همچنین میزان هدر رفت ظاهری به گره‌ها اضافه شد که مقدار آن برابر $3/39$ لیتر در ثانیه می‌باشد.

به منظور تطابق بیشتر مدل هیدرولیکی با واقعیت و عدم وجود فشار منفی در مدل هیدرولیکی (فشار غیرواقعی)، منحنی فشار-مصرف به صورت شکل (۲) به مدل هیدرولیکی وارد شد. همچنین مشخصات کلی مدل اولیه ساخته شده در جدول (۱) ارائه شده است.

مدل طراحی شده شبکه توزیع پایلوت انتخاب شده در شکل (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل هیدرولیکی

متر از لوله‌ها (متر)				تعداد شیر فشارشکن	تعداد شیر قطع و وصل	تعداد گره	تعداد لوله	تعداد مشترک
چدنی	فلادای	پلی اتیلن	آزبست					
۱۲۲۱۶	۱۱۱۹۶	۱۴۹۹۷۸	۷۱۰۸۳	۵	۳۲۲	۴۹۸۷	۵۳۹۵	۴۱۳۱۷

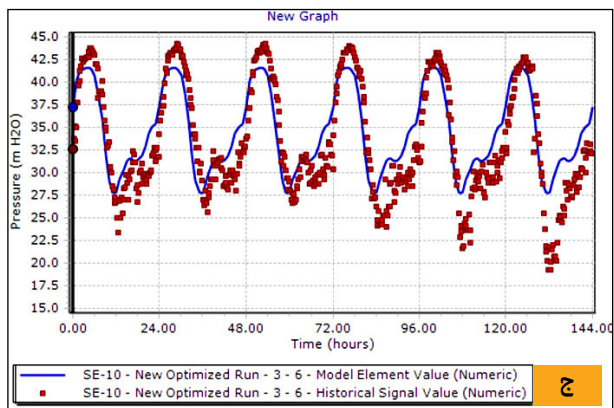
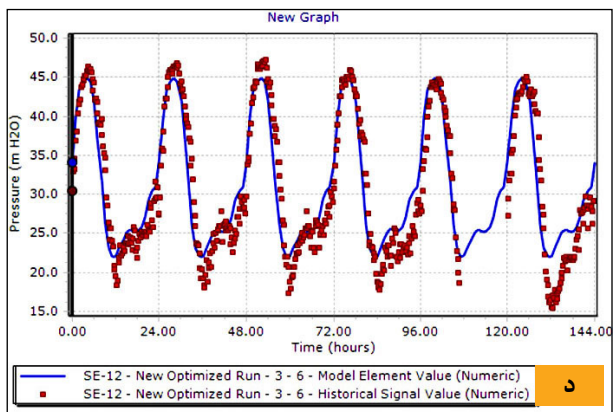
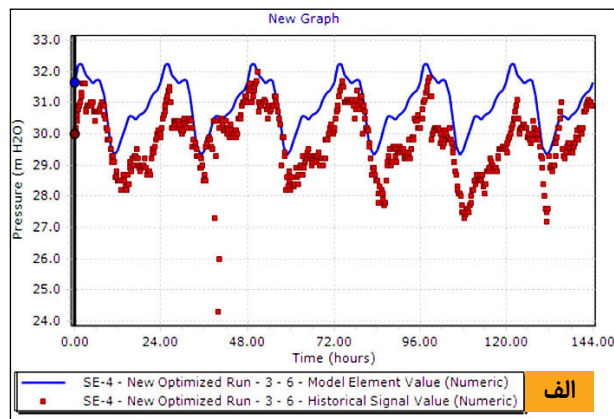
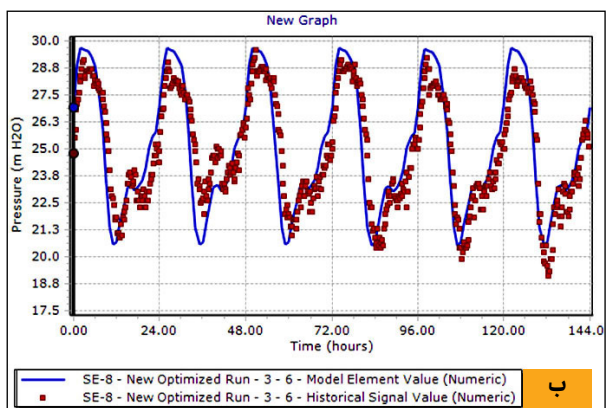


شکل ۳- ایجاد مدل هیدرولیکی اولیه از وضع موجود شبکه توزیع آب شهر دورود در محیط Water GEMS

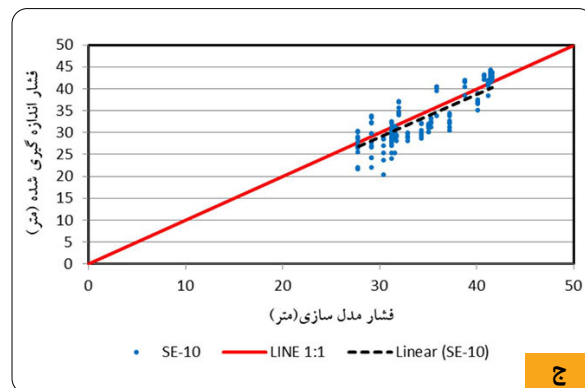
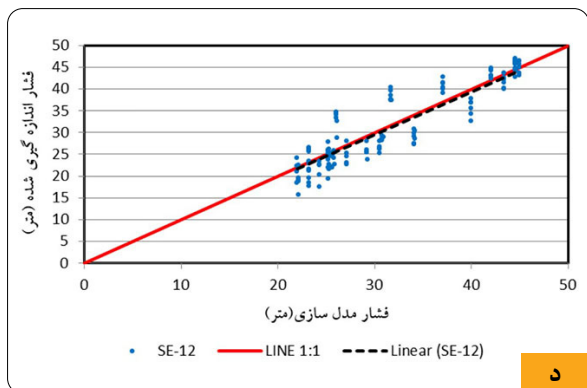
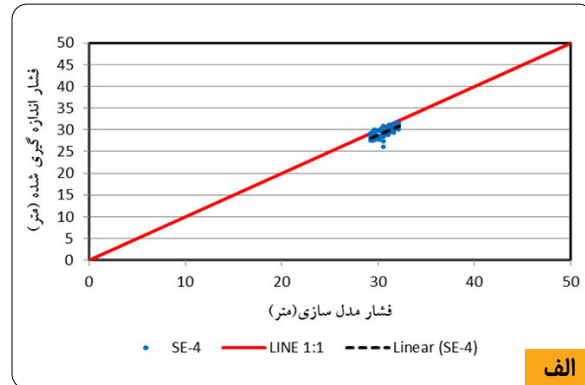
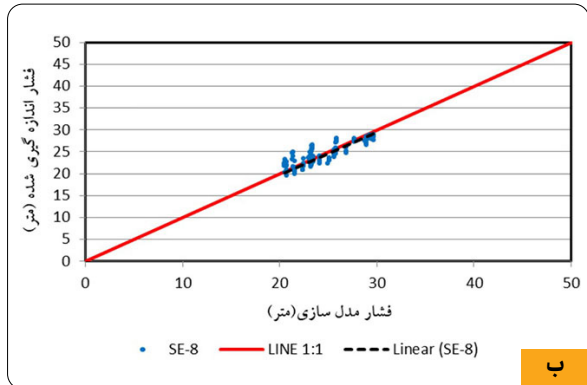
کالیبراسیون مدل هیدرولیکی

به طور هم‌زمان وضعیت موجود پارامترهای ضریب زبری لوله‌ها و مصارف تخصیص داده شده به گره‌های مدل ساخته شده، برای دستیابی به حداکثر دقت در تهیه مدل فرآیند کالیبراسیون انجام شد. به همین منظور ۲۳ دستگاه فشارسنج در سطح شبکه نصب شد و میزان فشار برداشت شد. علاوه بر این عملیات دبی‌سنجی نیز از داده‌های فلومتر موجود در شبکه در یک دوره ۲۴ ساعته انجام شد. برای ورود نشت به مدل هیدرولیکی با در نظر گرفتن فشار شبکه و میزان هدررفت آب، مقدار این ضریب برای مدل برابر $12/8$ محاسبه شد. همچنین میزان آب مصرفی شبکه با استفاده از داده‌های مصرف مشترکین استخراج و با استفاده از ابزار (Customer meter) به مدل وارد شد. برای کالیبره کردن مدل، فشار اندازه‌گیری شده با فواصل زمانی یک ساعته به مدل داده شد و با استفاده از داده‌های فشارسنجی و دبی‌سنجی مقادیر ضریب هیزن ویلیامز لوله‌ها کالیبره شد. در شکل (۴) مقایسه نمودارهای فشارسنجی در مدل و

واقعیت ارائه شده است برای تعیین میزان خطا نیز از میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا استفاده شد که در جدول (۲) قابل مشاهده است. میزان خطا در فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده و دقت آن در ۱۷ ایستگاه فشارسنج ارائه شده است. همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود مقدار حداقل خطا برابر $0/5$ متر در ایستگاه شماره ۱۷ و حداکثر خطا برابر $7/8$ متر در ایستگاه شماره ۱۶ می‌باشد. همچنین مقدار خطا در فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده نشان داده شده است. در شکل (۵) نیز تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده در ایستگاه‌های فشارسنجی شماره ۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ ارائه شده است. در این نمودارها نقاط آبی رنگ داده‌های فشار، خط قرمز رنگ خط متناظر $1:1$ و خط چین مشکی خط رگرسیون بین داده‌های فشار می‌باشد. همان طور که قابل ملاحظه است نتایج نشان از پراکندگی مناسب داده‌ها می‌باشد.



شکل ۴- نمودارهای فشارسنجی در مدل و واقعیت در ایستگاه‌های، الف- شماره ۴، ب- شماره ۸، ج- شماره ۱۰ و د- شماره ۱۲



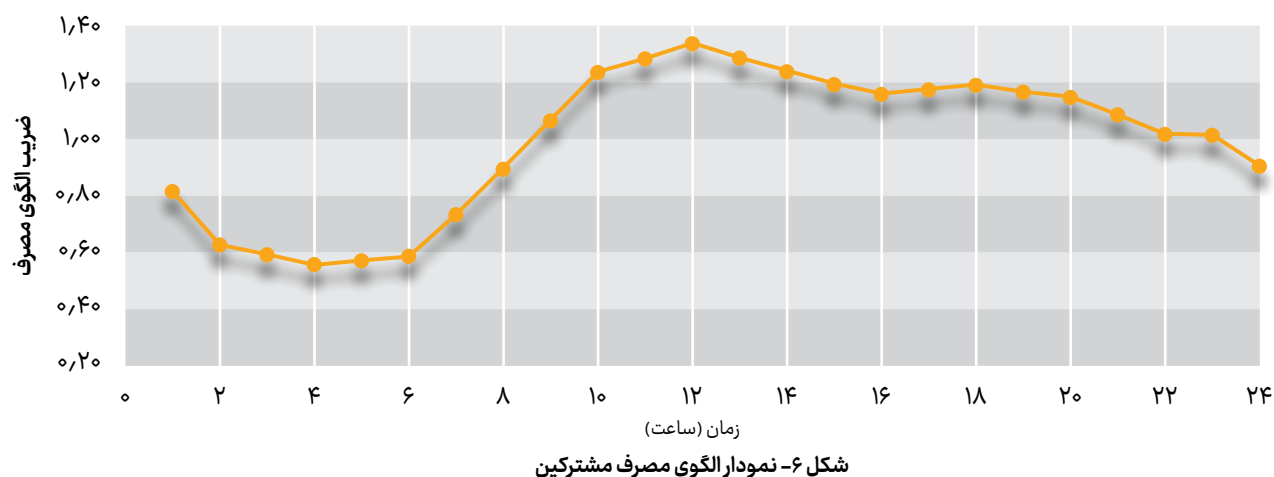
شکل ۵- تغییرات و پراکندگی فشارهای اندازه‌گیری شده در فشارسنج‌ها و مدل کالیبره شده در ایستگاه‌های، الف- شماره ۴، ب- شماره ۸، ج- شماره ۱۰ و د- شماره ۱۲

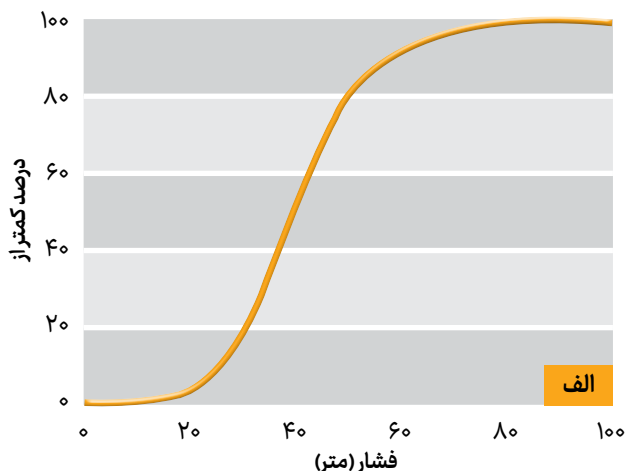
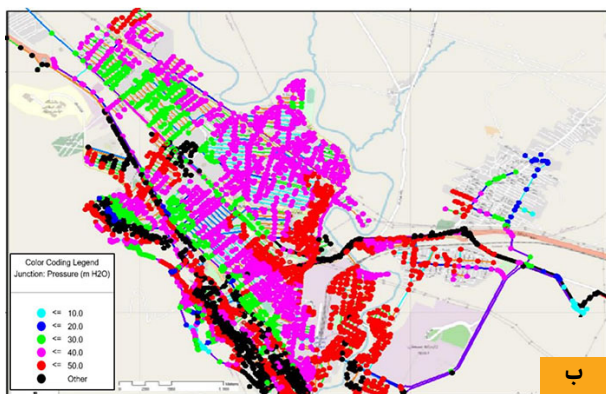
جدول ۲- مقادیر خطا در ایستگاه‌های فشارسنجی

ایستگاه	آدرس	مجذور مربعات خطا (متر)	میانگین خطا (متر)
۱	خیابان تختی، قدس ۸	۶	۶
۲	خیابان منوچهری، گلستان ۹	۳/۲	۰/۵
۳	خیابان شهریار	۱/۹	۰/۷-
۴	بلوار فردوس، خیابان دانشجو	۱/۲	۱/۲-
۵	خیابان فرهنگ غربی	۲/۸	۲/۵
۶	خیابان کارگر، وصال ۷	۶	۶
۷	خیابان نصر شرقی، بهاران ۵	۱/۶	۰/۵-
۸	خیابان فتح، رز ۳	۱/۲	۰/۳-
۹	بلوار فدک، گهر ۱۰	۵/۲	۴/۸-
۱۰	بلوار سینا، شفا ۴	۲/۹	۱/۳-
۱۱	خیابان جهادگران، سادات ۱۷	۱/۱	۰/۹-
۱۲	خیابان توانیر	۲/۹	۰/۶-
۱۳	خیابان آزادگان، سرو ۹	۳/۶	۲/۵-
۱۴	خیابان صفا، بوستان ۱۳	۲/۵	۰/۵-
۱۵	فشارشکن حافظ	۴	۳/۷
۱۶	فشارشکن بروجردی	۷/۸	۷/۸
۱۷	مشتاق اول	۰/۵	۰/۴

براساس دبی خروجی از مخازن و مصارف مشترکین و کالیبره شدن مدل نمودار الگوی مصرف تهیه و در شکل (۶) ارائه شده است.

همان طور که قابل ملاحظه است بیشترین میزان آن مربوط به ساعت ۱۰ صبح لغایت ۱۴ بعد از ظهر می‌باشد و کمترین میزان نیز در ساعت ۲ بامداد تا ۶ صبح می‌باشد.





شکل ۷- الف) وضعیت گره‌های شبکه توزیع آب، ب) وضعیت توزیع فشار شبکه آب شهر در ساعت ۴ بامداد

نتایج و بحث

در این پژوهش به منظور بررسی و ارائه راهکار مناسب برای توزیع بهینه فشار از شبیه‌سازی مدل در محیط نرم‌افزار Arc Gis استفاده شد. این نرم‌افزار با قابلیت جغرافیایی را دارد. شبکه آب شهر ۵ عدد شیر فشار شکن دارد. در شکل (۷) توزیع فشار در ساعت ۴ بامداد نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۷-الف) حدود ۳۵ درصد از گره‌ها در بازه فشاری ۳۵ تا ۴۵ متر، ۲۰ درصد در بازه ۴۵ تا ۵۵ متر و ۱۲ درصد فشاری بیشتر از ۵۵ متر را به خود اختصاص می‌دهند. در ساعت ۱۱ صبح با افزایش میزان مصرف مشترکین حدود ۳۲ درصد از گره‌ها در بازه فشاری ۲۵ تا ۳۵ متر، ۲۳ درصد در بازه ۳۵ تا ۴۵ و ۹/۷ درصد در بازه ۴۵ تا ۵۵ متر و ۹ درصد آن‌ها بیشتر از ۵۵ متر قرار دارند.

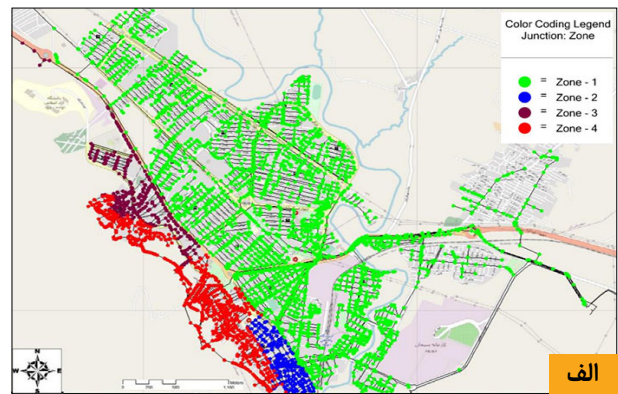
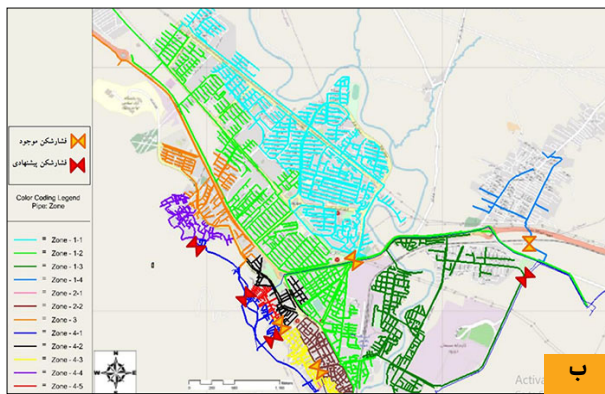
بر اساس مدل هیدرولیکی کالیبره شده مقدار متوسط نشت از شبکه از یک روز برابر ۷۵۰۴ لیتر در ثانیه و برابر ۶۵۱۴ متر مکعب در شبانه روز است. بیشترین میزان نشت برابر با ۷۹۰۵ لیتر در ثانیه در ساعت ۴ بامداد و کمترین آن برابر ۷۱۰۸ لیتر در ثانیه در ساعت ۱۲ ظهر می‌باشد.

با استفاده از مدل تهیه شده جانمایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشار شکن انجام شد و برای به دست آوردن موقعیت بهینه شیرهای فشار شکن موقعیت‌های محتمل برای نصب بررسی شد. بر اساس شکل (۸) ملاحظه می‌شود ۴ عدد شیر فشار شکن به مدل اضافه شد. با توجه به اینکه افزایش فشار موجب افزایش تعداد نقاط با فشار بیش از توان تحمل لوله‌ها و در نتیجه ترکیدن لوله‌ها و افزایش نشت می‌شود، در این پژوهش فشار تنظیمی شیرهای فشار شکن با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی استاندارد در شرایط حداقل و حداکثر بین

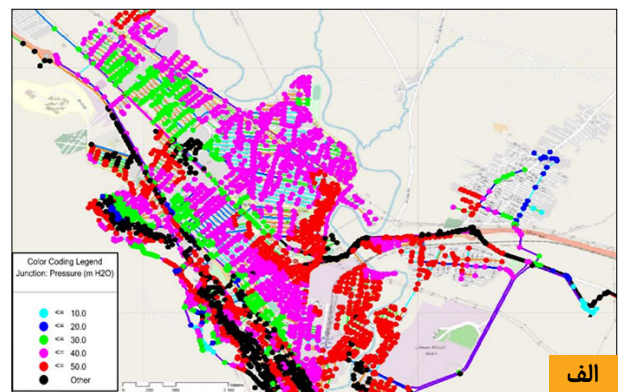
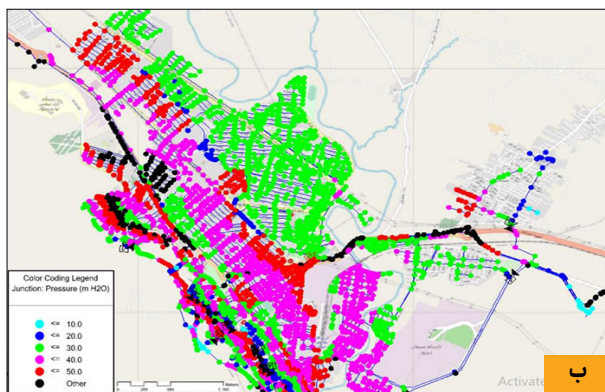
۱۵ تا ۳۵ متر متغیر تنظیم شد تا این مشکل تا حد زیادی برطرف شود. الگوی مصرف گره‌ها در ۲۴ ساعت، فشار گره‌ها در تمام ساعات شبانه روز مشخص شد. سناریوهای مختلف از نظر میانگین کاهش نشت و مصرف نسبت به وضع موجود و کاهش تعداد گره‌های با فشار بالاتر از ۵۰ متر که باعث کاهش نشت و کاهش ترکیدگی لوله‌ها می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار WaterGems تحلیل شد.

با توجه به نحوه آبرسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه، شبکه توزیع پهنه‌بندی می‌شود که رعایت اصول زیر ضروری است:

۱. هر پهنه ترجیحاً یک ورودی مجزا داشته باشد،
۲. پهنه‌بندی باید به نحوی باشد که مجزاسازی مرزها، کمترین تأثیر را بر آبرسانی به سایر پهنه‌ها داشته باشد،
۳. پهنه‌بندی باید به نحوی باشد که تعداد شیر مجزا ساز حداقل شود،
۴. مرزهای پهنه آبرسانی به روش‌های مختلف از جمله روش تحلیل ردیابی یا مسیریابی به کمک تعیین مسیر حرکت آب و پهنه تحت پوشش هر ورودی می‌تواند انتخاب شود،
۵. مرزبندی باید به نحوی باشد که ورودی‌های هر پهنه به صورت دستی و یا از طریق تله متری قابل کنترل باشد. با توجه به اصول فوق شبکه توزیع آب شهر دورود به ۴ پهنه پیشنهادی تقسیم شد به طوری که هر پهنه تحت پوشش یک مخزن می‌باشد و هر پهنه به زیر پهنه‌هایی تقسیم می‌شود که به روش ثقلی یا با استفاده از شیر فشار شکن آبرسانی می‌شود. در پهنه‌هایی که شیر فشار شکن دارد امکان تنظیم دبی و فشار با استفاده از شیرهای کنترلی وجود خواهد داشت. شکل (۸) نمای کلی پهنه‌های شبکه توزیع آب شهر دورود به همراه زیرپهنه‌های آن را نشان می‌دهد.



شکل ۸- الف) پهنه و ب) زیرپهنه‌های شبکه توزیع آب



شکل ۹- وضعیت توزیع فشار (الف) وضعیت موجود، (ب) شرایط پهنه‌بندی

در زمان‌های مختلف تقریباً یکسان شده است. به منظور بررسی تأثیر پهنه‌بندی شبکه توزیع، مقادیر فشار در حالت حداقل مصرف محاسبه و در جدول (۳) مقایسه توزیع فشار در گره‌های شبکه در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود تعداد گره‌ها در بازه فشاری ۱۵ تا ۲۵ متر نسبت به شرایط موجود بیشترین افزایش را داشته و فشار متوسط شبکه برابر ۳۳/۸ متر می‌باشد.

بررسی تغییرات فشار در حالت حداقل مصرف

شکل (۹) وضعیت توزیع فشار را در ساعت ۴ بامداد در شرایط وضع موجود و در شرایط پهنه‌بندی شبکه نشان می‌دهد. در شکل (۹) مشخص است پس از انجام طرح، فشار شبکه پس از اجرای طرح کاهش می‌یابد و همچنین دامنه نوسانات زمانی کم شد، به طوری که پس از اجرای طرح توزیع فشار و مقدار آن

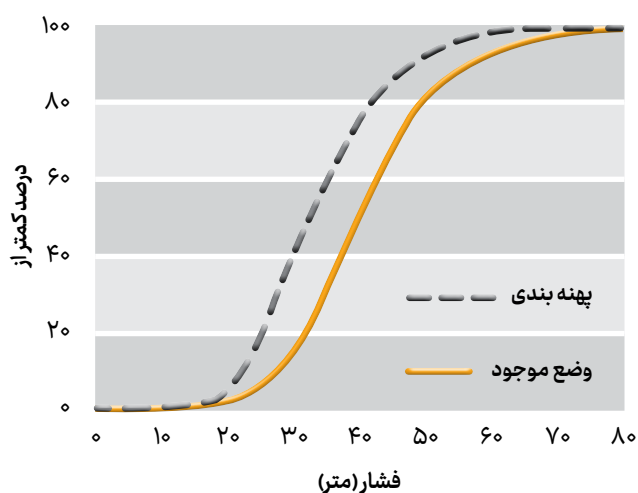
جدول ۳- توزیع فشار در گره‌های شبکه در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود

محدوده فشار (متر)	وضع موجود	پهنه‌بندی	درصد تغییرات نسبت به وضعیت موجود
کمتر از ۵ متر	۰/۶	۰	-۱۰۰
۱۵-۵	۰/۷	۰/۹	۲۴/۵
۲۵-۱۵	۴/۸	۱۸/۱	۲۷۴/۵/۵
۳۵-۲۵	۲۶/۸	۴۱/۴	۵۴/۸
۴۵-۳۵	۳۵/۳	۲۶/۳	۲۵/۶
۵۵-۴۵	۲۰/۵	۱۰	۵۱/۱
بزرگ‌تر از ۵۵	۱۱/۲	۳/۳	۷۰/۹
فشار متوسط شبکه (متر)	۴۰/۸	۳۳/۸	۱۷/۳

جدول ۴- وضعیت گره‌های موجود در هر محدوده فشاری

زمان‌های مصرف	فشار متوسط وضع موجود (متر)	فشار متوسط پهنه‌بندی (متر)	میزان کاهش فشار (درصد)
حداکثر مصرف (۱۲ ظهر)	۳۴	۳۴/۵	۱/۲
متوسط مصرف (۸ صبح)	۳۷/۵	۳۳/۳	۸/۳
حداقل مصرف (۴ بامداد)	۴۰/۸	۳۳/۸	۱۷/۳

گره‌ها فشاری کمتر از ۴۰ متر و ۱۵ درصد بیش از ۴۰ متر را دارند. لذا تعداد گره‌های با فشار بیش از ۴۰ متر در شرایط پهنه‌بندی نسبت به شرایط موجود کاهش یافته است.

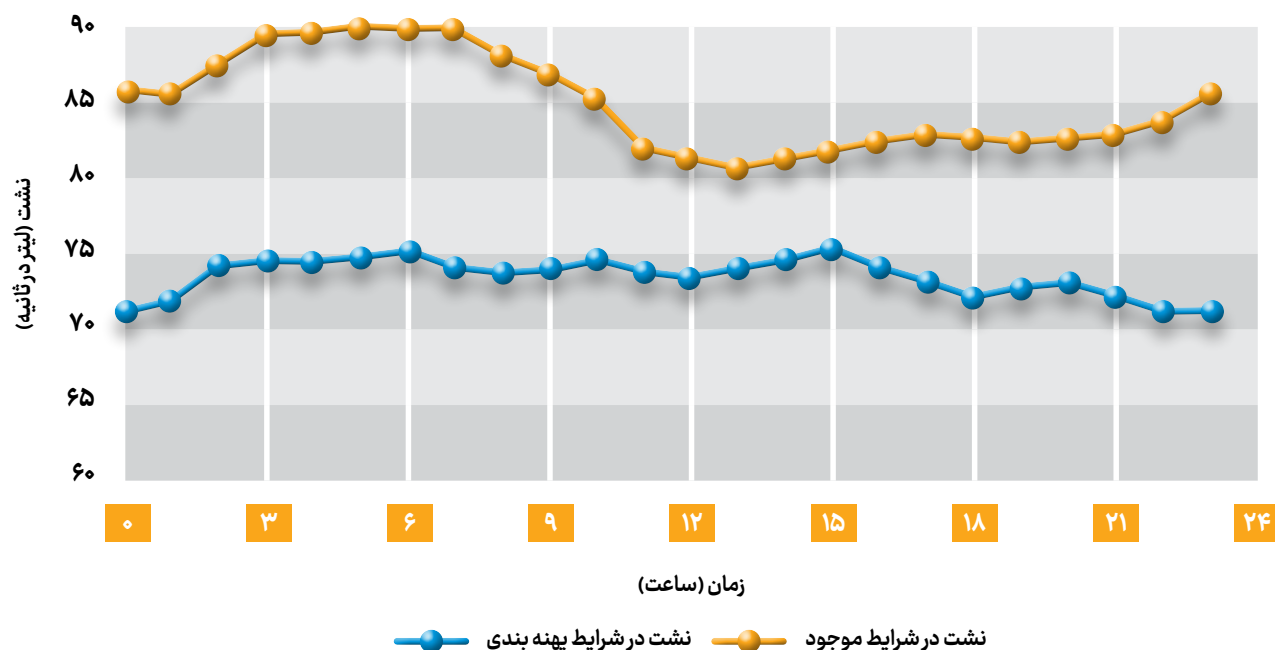


شکل ۱۰- مقایسه تغییرات فشار در شرایط پهنه‌بندی و وضع موجود در شرایط حداقل مصرف ساعت ۴ بامداد

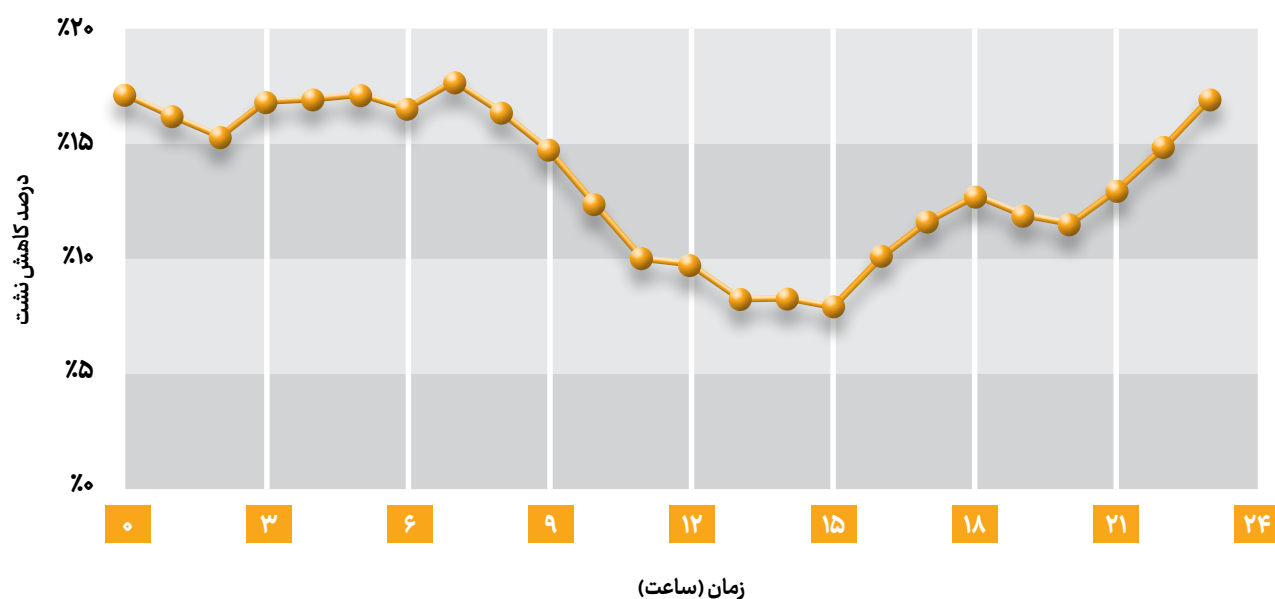
با توجه به جدول (۴) با انجام پهنه‌بندی شبکه، میزان متوسط فشار در حالت حداقل مصرف حدود ۱۷/۳ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین جدول (۴) درصد تغییرات فشار را در حداکثر مصرف، متوسط و حداقل مصرف نشان می‌دهد. با محاسبه میزان فشار در شرایط حداکثر مصرف (ساعت ۱۲ ظهر) این میزان برابر ۳۴/۵ متر و در شرایط متوسط مصرف (۸ صبح) ۳۳/۳ متر خواهد داشت. همان‌طور که مشهود است میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه‌بندی برابر ۳۳ متر خواهد بود درحالی‌که این میزان در وضعیت موجود بین ۳۴ تا ۴۰/۸ متر متغیر است. مقایسه تغییرات فشار در شرایط پهنه‌بندی با وضع موجود در حالت مینیمم مصرف در شکل (۱۰) ارائه شده است. همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود در شرایط پهنه‌بندی مقدار فشار شبکه در شرایط پهنه‌بندی به طور محسوسی کاهش پیدا کرده است. در فشار ۴۰ متر در شرایط وضع موجود ۴۵ درصد از گره‌ها فشاری کمتر از ۴۰ متر داشته و این به این معنی است که ۵۵ درصد از گره‌ها فشار بیشتر از ۴۰ متر را دارند درحالی‌که در شرایط پهنه‌بندی ۸۵ درصد از

بررسی میزان نشت شبکه

با اندازه‌گیری دبی خروجی از مخازن و همچنین مصارف در یک دوره ۲۴ ساعته میزان نشت (هدر رفت واقعی و ظاهری) از شبکه محاسبه شد. میزان متوسط نشت در وضع موجود و در شرایط ایجاد پهنه‌بندی در نمودار شکل (۱۱) و شکل (۱۲) درصد کاهش نشت شبکه ارائه شده است.



شکل ۱۱- وضعیت نشت شبکه قبل و بعد از پهنه‌بندی



شکل ۱۲- درصد کاهش نشت بعد از اعمال پهنه‌بندی

نشت در شبکه‌های توزیع آب، موجب اتلاف منابع و سرمایه صرف شده در تولید، انتقال، تصفیه و توزیع آب می‌شود. از این‌رو تلاش برای کاهش نشت در شبکه‌های توزیع آب اهمیت بالایی دارد. مدیریت بهینه فشار، با استفاده از نصب شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه این شیرها در مسیر جریان یکی از روش‌های کاهش نشت می‌باشد. در این پژوهش از روش پهنه‌بندی فشاری به عنوان یک روش کارا به منظور مدیریت فشار در شبکه و کاهش نشت در شبکه توزیع آب، کاهش اتفاقات و استفاده بهینه از تجهیزات شبکه شهر درود استفاده شد که با توجه به نحوه آب‌رسانی، مطالعات هیدرولیکی و شرایط منطقه شبکه توزیع آب پهنه‌بندی شد. نتایج نشان می‌دهد استفاده مؤثر از شیرهای فشارشکن میزان فشار شبکه را کاهش داده و تأثیر مثبتی در کاهش میزان نشت و اتفاقات خواهد داشت. در این تحقیق علاوه بر ۴ عدد شیر فشارشکن موجود و با جابه‌جایی دو عدد از شیرهای موجود، ۴ عدد شیر فشارشکن جدید جهت ایجاد پهنه‌های مجزا پیشنهاد شد که در مجموع ۸ عدد شیر فشارشکن مورد نیاز می‌باشد و شبکه توزیع آب شهر به ۴ پهنه تقسیم‌بندی شد. با انجام محاسبات هیدرولیکی شبکه میانگین فشار شبکه در حالت اجرای پهنه‌بندی برابر ۳۳ متر خواهد بود درحالی‌که این میزان در وضعیت موجود تا ۴۰/۸ متر متغیر است و میزان کاهش فشار ۱۷ درصد می‌باشد. همچنین میزان حداکثر نشت از کل شبکه قبل از اعمال پهنه‌بندی برابر ۹۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد که با اجرای پهنه‌های فشاری این میزان به ۷۵ لیتر بر ثانیه کاهش خواهد یافت.

سپاسگزاری

به این وسیله از مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب لرستان و تمامی همکاران محترمی که در تهیه این تحقیق همکاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- ایمان، و کمیلی، مهدی. (۱۴۰۱). مدیریت هوشمند فشار در شبکه‌های آب‌رسانی برای کاهش نوسانات زمانی و مکانی فشار. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۴ (۱۰)، ۳۶۵۷-۳۶۷۴. doi: 10.22060/ceej.2022.19743.7250
- جلیلی قاضی‌زاده، محمدرضا، و ایدی، ضیاالدین. (۱۳۹۵). ارائه روابط تحلیلی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب. نشریه محیط‌شناسی، ۴۲ (۳)، ۵۲۹-۵۱۷. doi: 10.22059/jes.2016.60064
- کارآموز، محمد، تابش، مسعود، نظیف، سارا، و مریدی، علی. (۱۳۸۴). پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آب‌رسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی. مجله آب و فاضلاب، (۵۳)، ۱۴-۳. https://www.wwjjournal.ir/article_2079.html
- سلطانی اصل، محمد، و فغفور مغربی، محمود. (۱۳۸۸). مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه‌های آب‌رسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد. مجله آب و فاضلاب، (۳)، ۲۰-۹۹. https://www.wwjjournal.ir/article_1685.html
- Farley, M. (2001). Leakage Management and Control: A Best Practice Training Manual. World Health Organization, Water, Sanitation and Health Team & Water Supply and Sanitation Collaborative Council. Available online: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66893> (accessed on 29 March 2024).
- García-Avila a, F., Alex Avile s-Anˆazco a, A., Ordonˆez-Jara, J., Guanuchi-Quezada, C., Flores del Pino, L., & Ramos-Fernaˆndez, L. (2019). Pressure management for leakage reduction using pressure reducing valves. Case study in an Andean city Alexandria. Engineering Journal, 58(4), 1313-1326. doi: 10.1016/j.aej.2019.11.003
- Latifi, M., Naeeni, S. T., & Gheibi, M. A. (2018). Upgrading the reliability of water distribution networks through optimal use of pressure-reducing valves. Journal of Water Resources Planning and Management, 144(2), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000866](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000866)
- Price, E. R., Abhijith, G., & Ostfeld, A. (2022). Pressure management in water distribution systems through PRVs optimal placement and settings. Journal of Water Research, 226(2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119236>
- Samir, N., Kansoh, R., Elbarki, W., & Fleifle, A. (2017). Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems. Alexandria Engineering Journal, 56(4), 601-612. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.008>
- Thornton, J., & Lambert, A. (2005). Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Proceedings of IWA Special Conference Leakage. Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Vicente, D., Garrote, L., Sanchez, R., & Santillan, D. (2016). Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends. Journal of Water Resources Planning and Management, 142(2), 04015061. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000582](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000582)
- بوستانی، آرمین، و خدانشناس، سعیدرضا. (۱۳۹۴). بررسی روش نشت‌یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار-نشت. نشریه آب و توسعه پایدار، ۲ (۱)، ۵۹-۶۶. doi: 10.22067/jwsd.v2i1.39106
- تابش، مسعود، و کریمی، کیان. (۱۳۸۵). تعیین زمان نشت‌یابی و نوسازی شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از تحلیل اطلاعات حوادث. نشریه دانشکده فنی، ۴۰ (۵)، ۵۹۷-۶۱۱. https://jfe.ut.ac.ir/article_15591_6c35e11025fba34a3a
- هدایتی مرزونی، نیوشا، جلیلی قاضی‌زاده، محمدرضا، مصلحی،

Article Type

Case Study

مطالعه موردی

نوع مقاله

Effect of Smart Meters Installation on Water Table Fluctuations and Agricultural Wells Energy Consumption in Roshtkhar Plain

H. Mohammadzadeh^{1*}, M. Torshizi²

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

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

Received ➤ 28-09-2024
Revised ➤ 06-03-2025
Accepted ➤ 18-03-2025
Available Online ➤ 30-08-2025

Abstract

The dependence of the residents' livelihoods on agriculture in the Roshtkhar Plain and the increase in population have caused the indiscriminate extraction from deep wells, as the main source of water supply. The result of which was a severe drop in the water level and a critical situation in the Roshtkhar aquifer. In order to reduce the crisis, several management activities have been carried out, including the installation of smart meters (SMs) on the wells in 2015, as a subset of the rehabilitation and balancing plan. Investigating the trend of changes in 20-year hydrographs of observation wells, as well as calculated operation hours and energy consumption of their corresponding selected agricultural wells, and the graphs of the changes in energy consumption and operation hours shows a considerable decrease in the slope of the water level changes trend line after installing the SMs, compared to before installation. So that, in observation wells, which have continuous and correct statistics, there was an average decrease of 46.4% in the drop of water level after SMs installation. In addition, with installing SMs, the actual working hours and energy consumption of the selected wells have decreased by 11.7% and 22.8%, respectively, for the two similar time periods before and after installation. Due to the severe to very severe drought conditions in Roshtkhar over the past 10 years, based on SPEI drought index the climate situation did not have much effect on reducing energy consumption and operating hours of wells, as well as improving the trend of water level changes.

Keywords: Smart Meter. Water Table Fluctuations, Roshtkhar Plain.

تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح ایستابی و مصرف انرژی چاه‌های کشاورزی دشت رشتخوار

حسین محمدزاده^{۱*}، مهدی ترشیزی^۲

۱- استاد گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم و گروه پژوهشی تحقیقات آب‌های زیرزمینی و ژئوترمال (متاب)، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: mohammadzadeh@um.ac.ir

تاریخ دریافت ➤ ۱۴۰۳/۰۷/۰۷
تاریخ بازنگری ➤ ۱۴۰۳/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش ➤ ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ انتشار ➤ ۱۴۰۴/۰۶/۰۸

چکیده

وابستگی معیشت ساکنان دشت رشتخوار به کشاورزی، و افزایش جمعیت باعث برداشت بی‌رویه از چاه‌های عمیق، به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب، شده که نتیجه آن افت شدید سطح ایستابی و بحرانی شدن وضعیت آبخوان دشت رشتخوار بوده است. در راستای کاهش بحران، اقدامات مدیریتی متعددی از جمله پروژه نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های دشت در سال ۱۳۹۴، به عنوان زیرمجموعه طرح احیا و تعادل‌بخشی، انجام گردیده است. بررسی روند تغییرات سطح ایستابی در هیدروگراف‌های ۲۰ ساله چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین محاسبه ساعت کارکرد و انرژی مصرفی چاه‌های کشاورزی انتخابی متناظر آن‌ها و نمودارهای روند تغییرات مصرف انرژی و ساعت کارکرد، نشان می‌دهد که شیب خط روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای بعد از نصب کنتور نسبت به قبل از نصب، کاهش چشم‌گیری داشته است. بطوریکه در چاه‌های مشاهده‌ای که دارای آمار پیوسته و صحیح می‌باشند، پس از نصب کنتورها بطور میانگین کاهش ۴۶/۴ درصدی در افت سطح ایستابی ایجاد شده است. همچنین با نصب کنتورهای هوشمند، ساعت کارکرد واقعی و مصرف انرژی چاه‌های انتخابی در دو بازه زمانی مشابه ۸ ساله در قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند به ترتیب معادل ۱۱/۷ درصد و ۲۲/۸ درصد کاهش داشته است. با توجه به اینکه رشتخوار در ده سال گذشته، از نظر طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPEI در محدوده خشکسالی شدید تا بسیار شدید قرار داشته، روند کاهش تغییرات سطح ایستابی و تغییرات ساعت کارکرد و مصرف انرژی، نمی‌تواند نتیجه خشکسالی باشد، بلکه کاهش برداشت به دلیل نصب کنتورهای هوشمند آب به عنوان ابزار مدیریت برداشت، انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: کنتور هوشمند، نوسانات سطح ایستابی، دشت رشتخوار.

How to cite this article: Mohammadzadeh, H. & Torshizi, M. (2025). Effect of Smart Meters Installation on Water Table Fluctuations and Agricultural Wells Energy Consumption in Roshtkhar Plain. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 143-158.
<http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2409-1364>

آب‌های زیرزمینی منبع مهمی برای تأمین نیازهای آبی جوامع بشری بوده و برای مصارف مختلف خانگی، کشاورزی، تفریحی، تجاری و صنعتی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند (Abanyie و همکاران، ۲۰۱۸)، که در ایران بیش از ۵۵ درصد نیاز آبی کشور را تأمین می‌کند و سهم آن در جوامع روستایی حتی به بیش از ۸۰ درصد افزایش می‌یابد (Maghrebi و همکاران، ۲۰۲۱). عوامل طبیعی و انسانی متعدد از قبیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک، کاهش تغذیه آبخوان در اثر کاهش بارندگی، افزایش چاه‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در اثر توسعه فن‌آوری حفر چاه، و افزایش نیاز آبی با رشد جمعیت، موجب برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها و کاهش سطح ایستابی آن‌ها شده است. هر چند که در سطح جهانی حدود ۷۰ درصد از آب زیرزمینی جهت کشاورزی استفاده می‌شود، اما سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به دلیل از دست دادن دسترسی به آب‌های زیرزمینی کاهش یافته و این مهم بر امنیت غذایی و معیشت کشاورزان نیز تاثیر گذار بوده است (Alam و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، در نتیجه افت سطح ایستابی بحران‌های شدیدی از قبیل کم آبی و خشک شدن منابع آبی از جمله قنات‌ها به عنوان منبع آبی حیاتی در مناطق نیمه خشک و خشک برای نیازهای کشاورزی (Bahraseman و همکاران، ۲۰۲۴)، کاهش کیفیت آب، فرونشست زمین، افزایش هزینه استخراج و پمپاژ آب ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه عوامل طبیعی خارج از کنترل انسان می‌باشند، بنابراین کاهش اثرات نامطلوب افت سطح آب زیرزمینی و بحران‌های مذکور، مستلزم کنترل برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها به عنوان مهم‌ترین عامل غیرطبیعی (انسانی) می‌باشد. کنترل کمی و بهره‌برداری ایمن از منابع آب با توجه به کمبود روزافزون آب، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، مولفه‌های حیاتی برای توسعه پایدار هر منطقه است (Nassery و همکاران، ۲۰۱۷). به منظور احیای آبخوان و تحقق کنترل و برداشت بهینه و کاهش برداشت، برنامه‌ای جامع، دقیق و عملی ضروری است تا افت سطح آب زیرزمینی کنترل شود. از این‌رو، طرح احیا و تعادل بخشی با پروژه‌های مختلفی از قبیل تغذیه مصنوعی، انسداد چاه‌های غیر مجاز و کارگذاشتن کنتور هوشمند بر روی چاه‌های بهره‌برداری در دو بخش کاهش برداشت و افزایش تغذیه منابع آب زیرزمینی با راهکارهای مدیریتی و سازه‌ای مختلف (علی‌پور، ۱۳۹۸) جهت مدیریت آبخوان‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اجرا شده است (خدادادی بنیس و همکاران، ۱۴۰۱). نصب کنتورهای هوشمند به عنوان ابزاری

برای کنترل و مدیریت برداشت آب زیرزمینی و جلوگیری از مصرف برداشت غیرمجاز از چاه‌های آب با مصارف مختلف به عنوان یکی از ۱۵ پروژه مهم طرح احیا و تعادل بخشی یکی از این راهکارهای مهم می‌باشد (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ عبدالحسین‌زاده، ۱۴۰۰).

در زمینه نصب کنتورهای هوشمند، پژوهش‌های متعددی انجام شده است. گروهی از پژوهشگران نقش کنتورهای هوشمند و طرح احیا و تعادل بخشی را کاهش افت سطح آب زیرزمینی، کاهش افت حجم آبخوان، بهبود تراز آب زیرزمینی، بهبود نسبی در شیب منحنی تراز سطح ایستابی و کاهش سطح زیر کشت و کاهش برداشت آب زیرزمینی می‌دانند (هاونگی و خزیمه‌نژاد، ۱۴۰۲؛ نیرومندفر و همکاران، ۱۳۹۹؛ اسدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کی‌همایون و همکاران، ۱۴۰۱؛ علیجانی و همکاران، ۱۴۰۱؛ کوثری سیوکی و همکاران، ۱۳۹۶؛ Zekri و همکاران، ۲۰۱۷؛ سلیمی و همکاران، ۱۳۹۵). تعدادی دیگر از پژوهشگران به موضوع نگرش کشاورزان و رضایت‌مندی بهره‌برداران از نصب کنتور پرداخته‌اند (مولائی و ایمان‌زادته، ۱۴۰۲؛ ورمزیاری و همکاران، ۱۴۰۲؛ امیری و همکاران، ۱۴۰۱؛ عبدالحسین‌زاده، ۱۴۰۰؛ قبادپور و همکاران، ۱۳۹۷؛ فرزانه و همکاران، ۱۳۹۸). محققین مزایای نصب کنتورهای هوشمند و استفاده از فناوری اندازه‌گیری هوشمند را در کاهش انرژی مصرفی و ساعت کارکرد چاه‌ها (Mohammadzadeh و Torshizi، ۱۴۰۳؛ دانش‌پژوه و باقری، ۱۳۹۸؛ کریمی، ۱۴۰۰؛ بازاری و همکاران، ۱۳۹۵)، در کنترل قابل قبول برداشت از آبخوان‌ها (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۷)، در اثربخشی ارزیابی تلفات آب شهری (Bragalli و همکاران، ۲۰۱۹)، در کاهش حدود ۲ درصدی مصرف آب خانوارها (Daminato و همکاران، ۲۰۲۱)، در جلوگیری از مصرف مخفیانه و مازاد آب و مجبور نمودن بهره‌برداران به تغییرالگوی مصرف و نوع کشت (نی‌نیوا و همکاران، ۱۳۹۶)، و در مدیریت منابع آب (امیری، ۱۴۰۱) مؤثر می‌دانند.

وابستگی معیشت ساکنان دشت رشتخوار به آب زیرزمینی، باعث حفر چاه‌های متعدد آب کشاورزی و شرب و ادامه حفاری این چاه‌ها (کفشکنی و جابجایی) گردیده و در نتیجه موجب برداشت بی‌رویه، افت سطح آب زیرزمینی، تنش آبی و بحران شدید آبخوان شده است، به‌طوری‌که دشت رشتخوار، ممنوعه بحرانی اعلام شده و علت آن افت سطح آب بیان شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۸) و تمدید ممنوعیت دشت هر ۵ سال توسط وزارت نیرو پس از بررسی‌های لازم و درج آگهی انجام می‌شود. در واقع استحصال آب زیرزمینی از چاه‌های عمیق منبع اصلی تأمین کننده آب در دشت رشتخوار می‌باشد، که به موجب آن

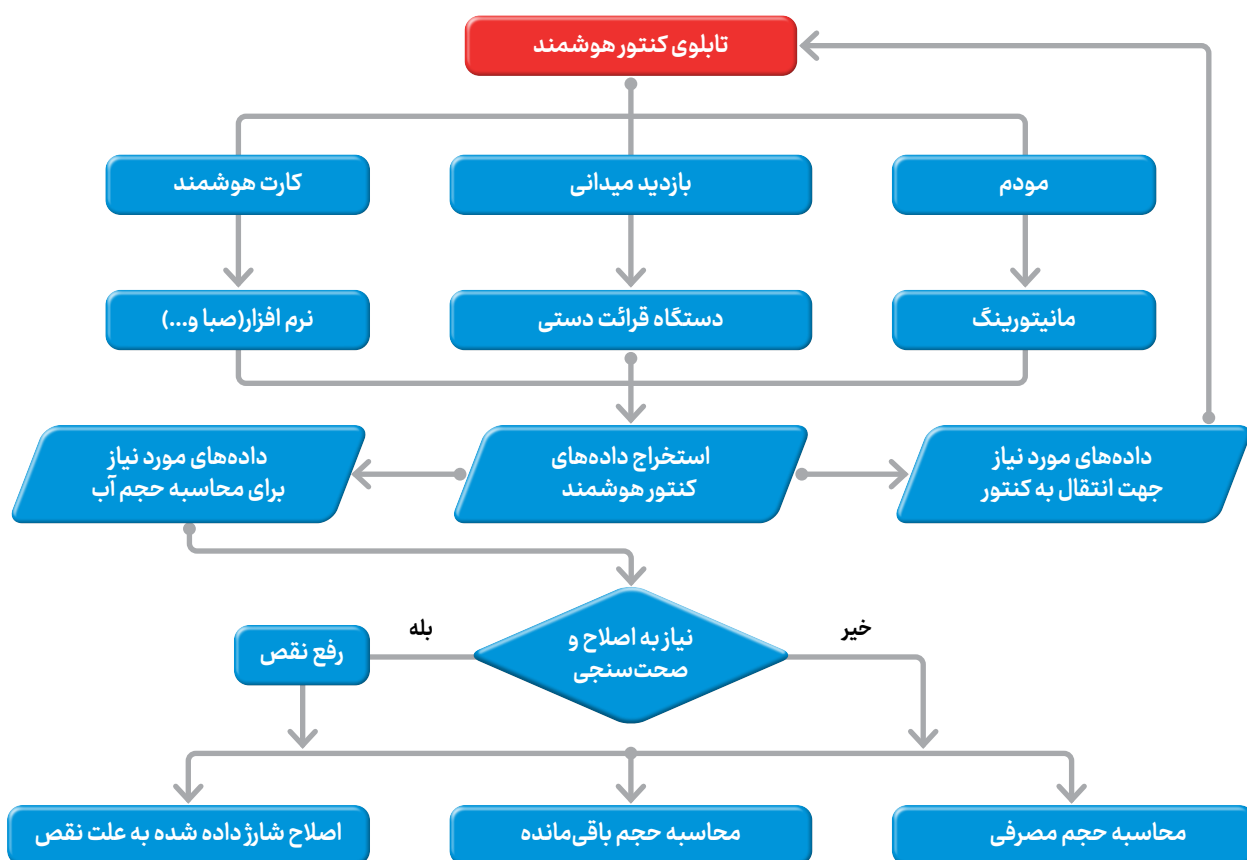
■ کنتور آب و انواع کنتور هوشمند

کنتور آب برای اندازه‌گیری پیوسته، ذخیره‌سازی اطلاعات و نمایش حجم آب عبوری از مبدل (ترانسدیسور) استفاده می‌شود و مهم‌ترین ابزار مدیریت تقاضا و کنترل مصرف در بخش آب کشاورزی می‌باشد. کنتور آب شامل مبدل اندازه‌گیری (فلومتر^۲ دارای حسگر جریان یا حسگر حجمی)، محاسبه‌گر و دستگاه نشانگر می‌باشد. فلومتر ابزار دقیقی است که با آن میزان آب عبوری در لوله را می‌توان اندازه‌گیری کرد، در واقع دبی جریان یا حجم آب عبوری از کنتور را کنترل و به صورت مکانیکی و یا الکتریکی به محاسبه‌گر منتقل می‌کند. فلومتر انواع مختلفی (دیسک، پیستون، چرخ، توربین، سنسور الکترومغناطیسی و...) دارد. محاسبه‌گر، سیگنال‌های خروجی از مبدل را دریافت و آن‌ها را تبدیل و ذخیره‌سازی می‌کند. نشانگر، نتایج اندازه‌گیری که با یک ابزار تبدیل به داده‌های دیجیتالی می‌نماید را نشان می‌دهد. تجهیزات لازم برای استقرار و بهره‌برداری از کنتور هوشمند و روش انتقال و دریافت داده‌ها در شکل (۱) و انواع کنتورهای هوشمند آب در شکل (۲) نشان داده شده است.

وضعیت آبخوان بدتر شده، از این رو، شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی از سال ۱۳۹۴ اقدام به نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های این دشت نموده است. هدف اصلی این مقاله ارزیابی و بررسی میزان تأثیر کنتور هوشمند بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و میزان مصرف انرژی چاه‌های کشاورزی دشت رشتخوار می‌باشد، که دارای اهمیت و ضرورت ویژه‌ای است.

بیان مسئله و فرضیات تحقیق

جهت پاسخ به این پرسش که «نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌ها، به چه میزان در کنترل و کاهش برداشت از آبخوان رشتخوار، افت سطح ایستابی و میزان مصرف انرژی دشت رشتخوار موثر بوده است؟» نیاز به ارزیابی عملکرد کنتورهای نصب شده با بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی، انرژی مصرفی و ساعت کارکرد چاه‌ها می‌باشد، که در این تحقیق به آن‌ها پرداخته شده است. در این تحقیق فرضیات زیر مورد بررسی قرار گرفت: ۱- نصب کنتورهای هوشمند باعث کاهش روند افت سطح آب زیرزمینی دشت رشتخوار شده است، ۲- نصب کنتورهای هوشمند موجب کاهش ساعت کارکرد چاه‌ها و نهایتاً کاهش مصرف انرژی برق شده است.



شکل ۱- فلوچارت روش دریافت و انتقال داده‌ها از کنتور هوشمند و تجهیزات مورد نیاز



ب



الف



د



ج

شکل ۲- انواع کنتور هوشمند: الف) کنتور هوشمند آب و برق (مدل ۳۰۳)، ب) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل ایران مدار)، ج) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل پویاک) و د) کنتور هوشمند الکترومغناطیس (مدل ایفا صنعت)

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و موقعیت

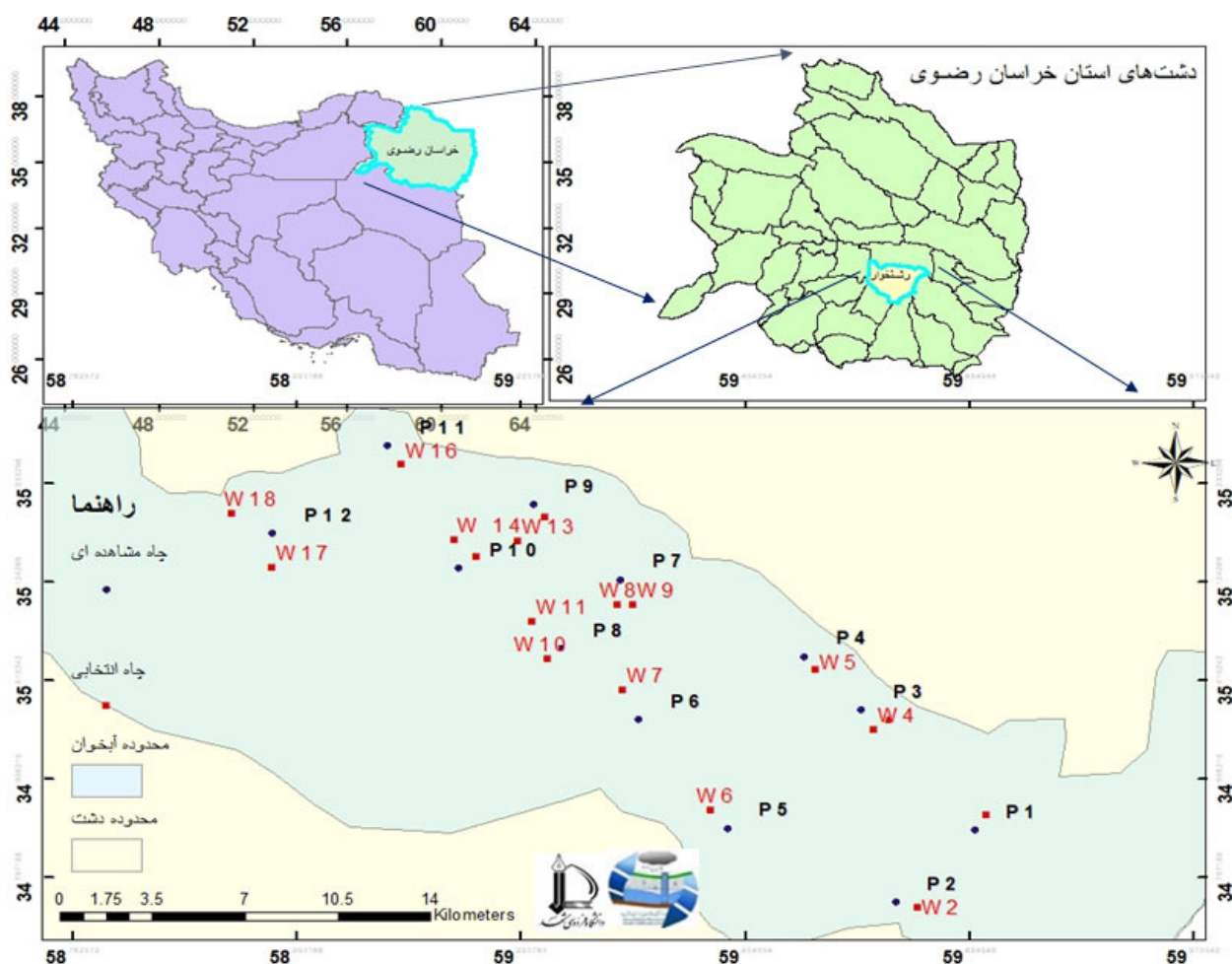
چاه‌های مشاهده‌ای^۳ و منابع انتخابی

دشت ممنوعه بحرانی رشتخوار با وسعت حدود ۲۴۰۹ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران و مرکز استان خراسان رضوی و در حوضه آبریز فلات مرکزی، در مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۳). این دشت از شمال با محدوده تربت حیدریه، از جنوب با محدوده‌های گیسور و جنگل، از شرق با محدوده خواف و از غرب با محدوده ازغند هم‌مرز می‌باشد. شهر رشتخوار در جنوب شرق دشت، مهم‌ترین شهر و جاده مشهد به تربت حیدریه - رشتخوار، مهم‌ترین راه دسترسی به آن می‌باشد. این دشت در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده و میانگین بارندگی بلندمدت آن ۱۲۰ میلی‌متر بوده که در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ بارندگی به ۹۴ میلی‌متر رسیده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۴۰۲).

به منظور بررسی تأثیر نصب کنتورهای هوشمند بر نوسانات سطح آب زیرزمینی و مصرف میزان انرژی در چاه‌های

کشاورزی، نیاز به تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات در بازه زمانی مناسب بوده، به طوری که داده‌ها شامل بازه قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند باشد. از این رو، دشت رشتخوار، که دارای داده‌های روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای و داده‌های کنتورهای هوشمند نصب شده بر روی چاه‌های کشاورزی بود، انتخاب گردید. از داده‌های سطح آب ماهانه ۲۰ ساله (قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند) در کلیه ۱۲ حلقه چاه مشاهده‌ای موجود در دشت، جهت بررسی نوسانات سطح آب استفاده شده که موقعیت آن‌ها در شکل (۳) آمده است.

همچنین جهت بررسی تأثیر نصب کنتور هوشمند بر مصرف انرژی برق و روند تغییرات آن در چاه‌های کشاورزی و بررسی تأثیر توأمان تغییرات سطح آب و ساعت کارکرد چاه‌ها و رسم نمودارهای مربوطه، ۱۸ حلقه چاه کشاورزی که (۱) نزدیک‌ترین فاصله را به به چاه‌های مشاهده‌ای داشته باشند، (۲) دارای داده‌های آماری پیوسته و کامل‌تری باشند، (۳) در سطح آبخوان پراکنده باشند، و (۴) در محدوده با بیشترین تراکم چاه‌ها واقع شده باشند انتخاب گردید تا اثرات تحقیق را در کل آبخوان



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و منابع آب انتخابی

نوع منابع آب دشت و میزان تخلیه سالانه هر یک از چاه‌های بهره‌برداری، از سازمان‌ها و ارگان‌های مربوطه (آب منطقه‌ای خراسان رضوی، امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه، امور برق و...)، مطالعات کتابخانه‌ای (کتاب، نقشه، پایان‌نامه‌ها، مقالات و پروژه‌های علمی) و مشاهدات میدانی، دریافت گردید. قبل از رسم نمودارها و نقشه‌های مورد نیاز، صحت کلیه داده‌های جمع‌آوری شده مورد بررسی قرار گرفت. رفع نقص و اصلاحات مورد نیاز در داده‌های انرژی با حذف دیماندهای نامتعارف و استفاده از دیماندهای متوسط همان سال و همچنین حذف داده‌های انرژی مصرفی با بازه مشترک و تکراری انجام گردید. ارتفاع سطح آب هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای و همچنین ساعت کارکرد واقعی چاه‌های برقی و انرژی مصرفی هر یک از چاه‌های مجاور چاه‌های مشاهده‌ای با استفاده از داده‌های پایه، به صورت ماهانه و در بازه حدود ۲۰ ساله (قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند) استخراج و نمودارهای ترسیم و روند تغییرات ساعت کارکرد و شیب خط، مورد تجزیه و

نشان دهد (شکل ۳). با استفاده از اشتراک و شناسه برق این چاه‌ها، داده‌های مورد نیاز (دیماندهای متوسط و انرژی مصرف کل به صورت ماهانه) درباره ۸ سال قبل و بعد از نصب کنتور هوشمند، استخراج و پس از رفع نواقص جهت بررسی ساعت کارکرد واقعی و میزان انرژی (برق) مصرفی چاه‌ها و درصد تغییرات آن‌ها استفاده شد. ساعت کارکرد ماهانه هر چاه پس از محاسبه انرژی مصرفی ماهانه چاه و تقسیم آن بر دیماندهای متوسط ماهانه محاسبه گردید و نهایتاً ساعت کارکرد و انرژی مصرفی سالانه مشخص گردید و در ادامه جهت مشاهده تغییرات اثرات متقابل ساعت کارکرد واقعی بر روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای، نمودار آن در بازه ۲۰ ساله ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت.

کلیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مرتبط با کنتورهای هوشمند، همچون تعداد و نوع کنتور نصب شده، تاریخ نصب کنتور، وضعیت صحت کنتورهای نصب شده، همچنین اطلاعات کلی دوره‌های آماربرداری از منابع آب دشت، از قبیل تعداد و

هوشمند آب و برق (بیش از ۸۷ درصد کنتورها) و ۳۷ عدد از نوع الکترومغناطیس می‌باشد.

■ بررسی روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه مشاهده‌ای و ساعت کارکرد چاه‌های متناظر انتخابی

با توجه به آمار و داده‌های موجود، هیدروگراف^۴ سطح آب در کلیه ۱۲ چاه مشاهده‌ای دشت برای بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۲-۱۳۸۲) رسم و در شکل (۵) ارائه شده است. همان گونه که شیب خط روند تغییرات سطح ایستابی با زمان (جدول ۱) نشان می‌دهد، روند کلی تغییرات سطح آب در پی‌زومترهای دشت کاهشی می‌باشد و این شیب کاهشی در بازه قبل از نصب کنتور (سال ۱۳۹۴) تندتر و افت سطح ایستابی بیشتر بوده است، اما با نصب کنتورها، روند کاهشی بهبود یافته است (جدول ۱). همچنین بررسی روند تغییرات ساعت کارکرد چاه‌های بهره‌برداری انتخابی متناظر با هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای (شکل ۵) و شیب محاسبه شده خط روند تغییرات ساعت کارکرد با زمان (جدول ۲)، نشان می‌دهد که بهبود روند کاهشی افت سطح ایستابی متأثر از نصب کنتور بر روی چاه‌های کشاورزی می‌باشد. پس از نصب کنتورها به طور میانگین کاهش ۴۶/۴ درصدی در افت سطح ایستابی ایجاد شده و ساعت کارکرد واقعی و مصرف انرژی چاه‌های انتخابی در دو بازه زمانی مشابه ۸ ساله در قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند به ترتیب معادل ۱۱/۷ درصد و ۲۲/۸ درصد، کاهش داشته است.

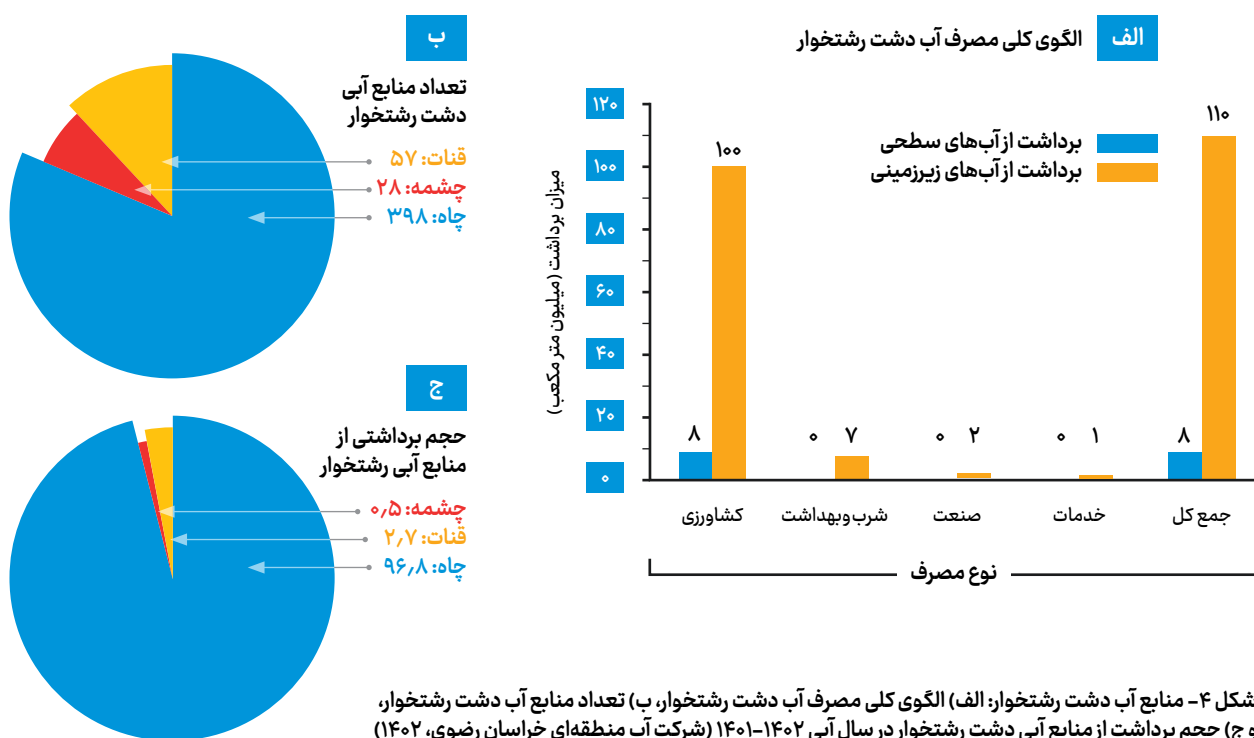
تحلیل قرار گرفت. با استفاده از داده‌های سطح آب ماهانه، هیدروگراف هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای دشت در نرم‌افزار Excel رسم و روند تغییرات سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای دشت رشتخوار و میزان افت سطح آب در قبل و بعد نصب کنتور هوشمند، مورد بررسی قرار گرفت.

■ منابع آب دشت رشتخوار

آبخوان آزاد دشت رشتخوار، واقع در بخش مرکزی محدوده، حدود ۸۱۳ کیلومتر مربع از محدوده رشتخوار را در بر می‌گیرد. ضخامت آبخوان حدود ۱۱۰ متر و رسوبات تشکیل‌دهنده آبرفت‌ها در دامنه ارتفاعات، نسبتاً دانه‌درشت بوده و به سمت دشت، دانه‌ریزتر می‌شود. بر اساس داده‌های آماری شرکت آب منطقه‌ای، بیش از ۹۰ درصد برداشت از آب زیرزمینی این دشت (۱۰۶/۸ میلیون متر مکعب) از طریق ۳۹۸ حلقه چاه و کمتر از ۱۰ درصد آن توسط قنوات (۵۷ رشته) و چشمه‌های منطقه (۲۸ دهنه) صورت می‌گیرد (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی ۱۴۰۲). براساس گزارش مرکز آمار ایران در کشور ۹۲/۴ درصد کل آب مصرفی در بخش کشاورزی می‌باشد (درگاه الکترونیکی ملی آمار، ۱۳۹۹). الگوی مصرف آب دشت رشتخوار در شکل (۴) آمده است.

نتایج و بحث

بطور کلی، در دشت رشتخوار بر روی ۳۰۳ حلقه چاه، کنتورهای هوشمند نصب شده است، که ۲۶۶ عدد از نوع کنتورهای



جدول ۱- مشخصات و روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، قبل و بعد از نصب کنتور (کلیه چاه‌ها در بخش ۵ ۴۰ قرار دارند).

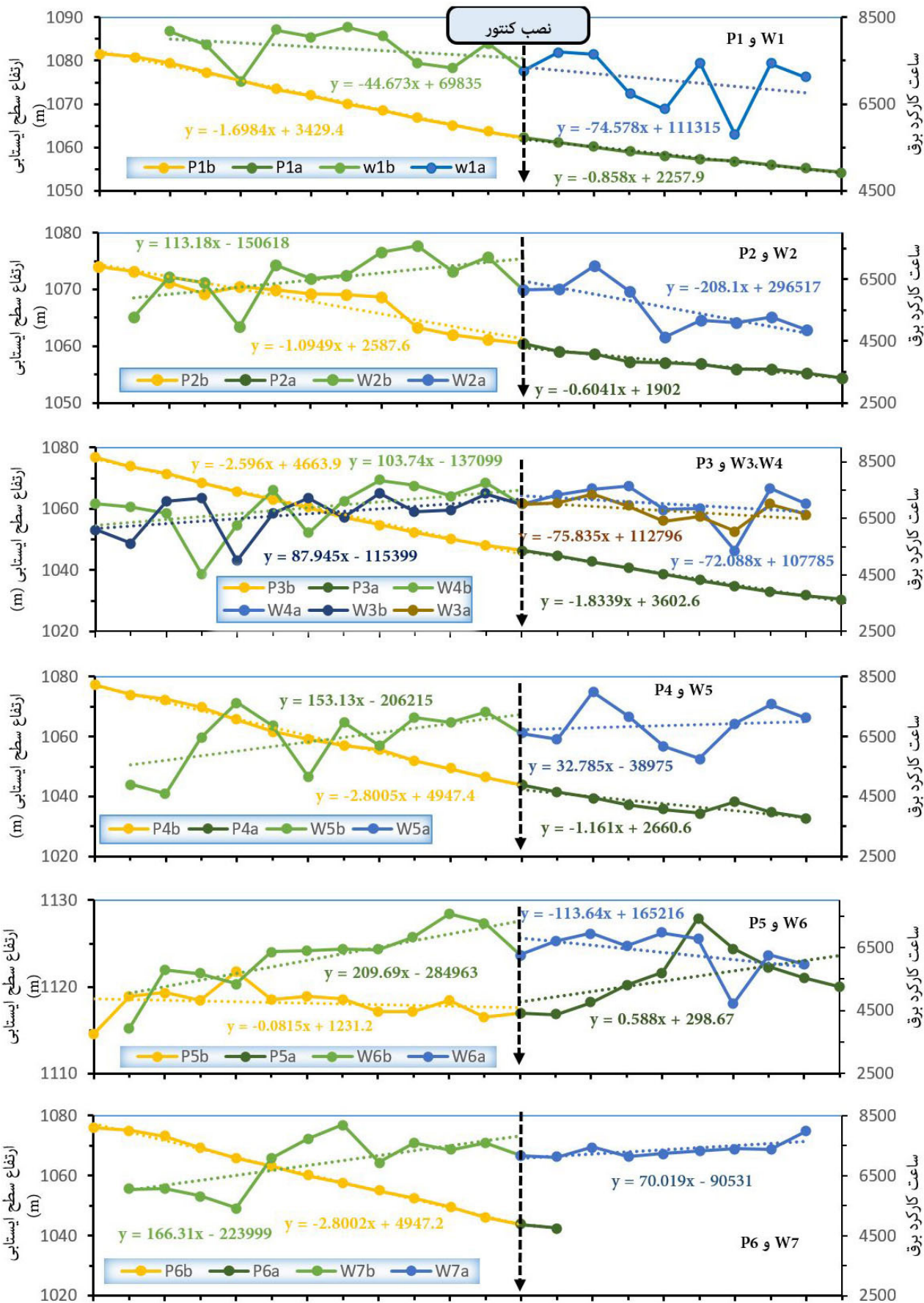
مشخصات مشاهده‌ای					شیب خط روند تغییرات سطح ایستابی با زمان		میزان افت سطح آب (m) در بازه زمانی مشابه	
علامت	نام	XUTM	YUTM	ارتفاع (m)	قبل از نصب	بعد از نصب	قبل نصب	بعد نصب
P1	اسلام‌آباد	۷۳۴۱۲۵	۳۸۷۸۱۱۴	۱۱۶۲	-۱/۷	-۰/۸۶	-۱۵/۸۹	-۷/۹۸
P2	سرآسیاب	۷۳۱۱۳۱	۳۸۷۵۱۵۵	۱۱۰۵	-۱/۰۹	-۰/۰۶	-۹/۹۹	-۶/۱۴
P3	علی‌آباد دامن جدید	۷۲۹۸۳۱	۳۸۸۳۰۱۲	۱۱۸۰	-۲/۰۶	-۱/۰۸	-۲۳/۷۰	-۱۵/۸۸
P4	علی‌آباد دامن قدیم	۷۲۷۷۰۴	۳۸۸۵۱۵۱	۱۲۱۰	-۲/۰۸	-۱/۰۲	-۲۳/۵۱	-۱۰/۹۹
P5	کاظم‌آباد	۷۲۴۷۶۰	۳۸۷۸۱۷۷	۱۱۳۹	-۰/۰۸	۰/۵۹	-۲/۰۹	۳/۱۳
P6	گیل‌آباد	۷۲۱۴۲۴	۳۸۸۲۶۰۲	۱۱۴۶	-۲/۰۸	خشک	۲۷/۰۱	خشک
P7	سنگان	۷۲۰۷۴۲	۳۸۸۸۳۱۳	۱۱۷۷	-۲/۰۹	-۱/۰۶	-۱۷/۰۴	-۹/۴۸
P8	کت	۷۱۸۴۸۵	۳۸۸۵۵۰۷	۱۱۵۶	-۲/۰۸	-۱/۰۷	-۲۱/۴۵	-۱۳/۷۹
P9	ملک‌آباد	۷۱۷۳۰۰	۳۸۹۲۳۰۰	۱۲۲۲	-۲/۰۹	-۲	-۲۶/۶۶	-۱۷/۰۲
P10	محمدآباد	۷۱۴۵۹۳	۳۸۸۸۷۷۱	۱۱۶۰	-۳/۰۱	-۱/۰۷	-۲۷/۳۶	-۱۶/۱۴
P11	دوراهی جنگل	۷۱۱۹۱۵	۳۸۹۳۷۷۴	۱۲۲۷	-۰/۳۳	۰/۰۱	-۵/۱۲	-۰/۷۳
P12	سیوکی	۷۰۷۵۵۷	۳۸۹۰۲۰۱	۱۱۷۲	-۱/۰۶	خشک	-۱۳/۷۹	خشک

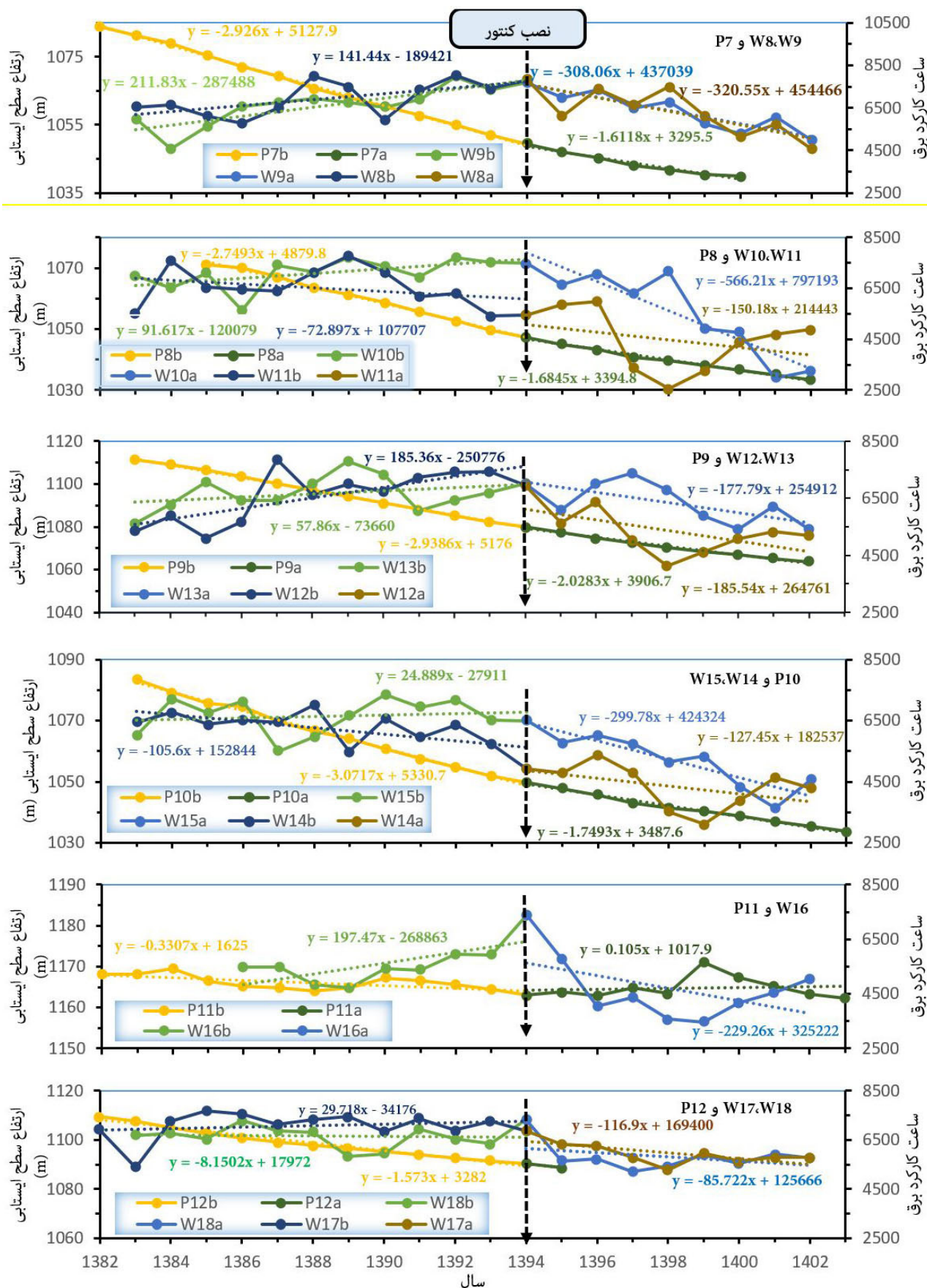
سال ۱۳۹۸ و ابتدای سال ۱۳۹۹ بوده که شاهد افزایش سطح آب در محدوده این چاه مشاهده‌ای بوده‌ایم. البته نوع آبرفت محدوده چاه انتخابی نیز در این تغییرات، تأثیر داشته است. همچنین با بررسی و بازدید میدانی از محل چاه مشاهده‌ای دوراهی جنگل مشخص گردید که علت نوسانات زیاد سطح ایستابی آن مربوط به وضعیت زمین‌شناسی و درشت‌دانه بودن رسوبات منطقه و همچنین نزدیکی آن به مسیل‌های فصلی می‌باشد. به‌طوری که بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ به دلیل کاهش بارندگی‌ها، از میزان تغییرات کاسته شده است. اما آنچه بعد از سال ۱۳۹۸ مشهود است، ناشی از افزایش میزان بارندگی در زمستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ می‌باشد. لازم به یادآوری است که دو چاه مشاهده‌ای P۶ و P۱۲، پس از نصب کنتورها خشک و فاقد داده بوده و روند افزایشی سطح آب پس از نصب کنتورها در چاه P۵، متأثر از عوامل خارجی همچون آبیاری اراضی و نفوذ آب به درون چاه ... بوده است.

روند تغییرات ارتفاع سطح ایستابی در ۶ چاه مشاهده‌ای اسلام‌آباد، سرآسیاب، سنگان، علی‌آباد قدیم، کت و محمدآباد، تقریباً دارای الگوی مشابه و تا قبل از نصب کنتور (سال ۱۳۹۴) دارای شیب بیشتری است که به دلیل مصرف نامتعارف و عدم رعایت حق‌آبه‌ها بوده است. اما از سال ۱۳۹۴ به بعد، با نصب کنتورهای هوشمند و مدیریت مصارف از شدت شیب کاهشی کاسته شده است. پیرو مشاهدات بازدید میدانی، علت روند تغییرات متفاوت سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای کاظم‌آباد، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و نزدیکی به چاه بهره‌برداری و همچنین قرار داشتن چاه مشاهده‌ای در داخل اراضی کشاورزی است که آبیاری اراضی آن و روشنی یا خاموشی چاه و تغییرات شدید مقطعی مربوط به وضعیت بارندگی بر سطح آب تأثیرگذار بوده است. تغییرات روند سطح ایستابی در چاه مشاهده‌ای علی‌آباد قدیم در سال‌های ۱۳۹۹ به بعد، صرفاً به دلیل بارندگی‌های انتهای

جدول ۲- روند تغییرات ساعت کارکرد و مصرف انرژی سالانه چاه‌های بهره‌برداری انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای

مشخصات چاه‌های متناظر با هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای					شیب تغییرات مصرف انرژی		شیب تغییرات ساعت کارکرد	
موقعیت	فاصله (متر)	کلاسه	نام	علامت	بعد نصب	قبل نصب	بعد نصب	قبل نصب
NE	۷۳۰	۶۰۱۳۴۲	اسلام‌آباد	W1	-۰/۲	-۰/۰۵	-۷۵	-۴۵
SE	۸۸۰	۶۰۱۲۰۵	سراسیاب	W2	-۰/۰۳	۰/۰۱	-۲۰۸	۱۱۳
SE	۱۱۲۰	۶۰۱۰۹۴	علی‌آبادجدید	W3	-۰/۱۶	-۰/۱۳	-۷۵	۸۸
SE	۹۵۰	۶۰۱۰۹۳	علی‌آبادجدید	W4	-۰/۰۳	-۰/۲۰	-۷۲	۱۰۴
SE	۷۰۰	۶۰۱۱۲۷	علی‌آبادقدیم	W5	-۰/۱۴	۰/۰۶	۳۳	۱۵۳
NW	۹۴۰	۶۰۱۲۹۱	کاظم‌آباد	W6	-۰/۱۹	۰/۲۱	-۱۱۴	۲۱۰
NW	۱۳۰۰	۶۰۱۰۴۵	گیل‌آباد	W7	۰/۰۶	-۰/۲۴	۷۰	۱۶۶
SE	۱۱۴۰	۶۰۱۲۲۶	سنگان	W8	-۰/۳۱	-۰/۰۲	-۳۲۰	۱۴۱
SW	۱۰۶۰	۶۰۱۲۹۴	سنگان	W9	-۰/۲۶	-۰/۰۸	-۳۰۸	۲۱۲
SW	۶۵۰	۶۰۱۲۰۲	کت	W10	-۰/۳۸	۰/۰۰۵	-۵۶۶	۹۲
NE	۱۵۰۰	۶۰۱۲۸۴	کت	W11	۰/۰۹	-۰/۱۱	-۱۵۰	-۷۳
SE	۶۹۰	۶۰۱۱۱۶	ملک‌آباد	W12	-۰/۳۴	۰/۳۶	-۱۸۵	۱۸۵
SW	۱۶۵۰	۶۰۱۱۷۷	ملک‌آباد	W13	-۰/۰۹	۰/۱۰	-۱۷۸	۵۸
N	۱۱۵۰	۶۰۱۲۷۹	محمدآباد	W14	-۰/۱۵	-۰/۳۴	-۱۲۷	-۱۰۶
NE	۸۱۰	۶۰۱۲۷۶	محمدآباد	W15	-۰/۲۳	-۰/۱۵	-۳۰۰	۲۵
SE	۹۳۰	۶۰۱۱۵۱	دوراهی جنگل	W16	-۰/۱۳	۰/۱۵	-۲۲۹	۱۹۸
S	۱۴۴۰	۶۰۱۱۶۳	سیوکی	W17	۰/۰۹	-۰/۱۶	-۱۱۷	۳۰
NW	۱۷۰۰	۶۰۱۲۳۳	سیوکی	W18	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۸۶	-۸





شکل ۵- روند تغییرات ارتفاع سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای (P) و ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی متناظر آن‌ها (W)

■ بررسی روند تغییرات انرژی مصرفی چاه‌های انتخابی قبل و بعد از نصب کنتورهای هوشمند

در سال ۱۴۰۲ از کل مصرف برق کشور (۳۳۲۸۱۸ میلیون کیلووات ساعت)، حدود ۴۶۴۰۰ میلیون کیلووات ساعت در بخش کشاورزی بوده است و الگوی مصرف برق ایران در سال ۱۴۰۲ به ترتیب ۳۶/۶، ۳۱، ۹/۱، ۱۴، ۱/۵ و ۷/۸ درصد در مصارف خانگی، صنعتی، عمومی، کشاورزی، معابر و سایر مصارف ۷/۸ بوده است و در استان خراسان رضوی بخش کشاورزی با مصرف ۲۲/۲ درصد انرژی، پس از مصارف صنعتی و خانگی در رتبه سوم قرار دارد (وزارت نیرو، ۱۴۰۳).

جهت بررسی نقش نصب کنتورهای هوشمند بر تغییرات مصرف انرژی در چاه‌های برقی کشاورزی دشت رشتخوار، انرژی مصرفی ۱۸ حلقه چاه انتخابی در بازه سال‌های قبل و بعد از نصب کنتور، محاسبه و نمودارهای مربوطه ترسیم و شیب خط تغییرات محاسبه گردید. با توجه به داده‌های بدست آمده (جدول ۲) و نمودارهای ترسیمی (شکل ۷)، مشاهده می‌شود مصرف انرژی پس از نصب کنتور کاهش داشته است و شیب خط تغییرات مصرف انرژی در بیش از ۷۰ درصد از چاه‌ها پس از نصب کنتور کاهش بیشتری داشته و به عبارت دیگر مصرف انرژی قبل از نصب، به مراتب بیشتر از بازه پس از نصب کنتور بوده است.

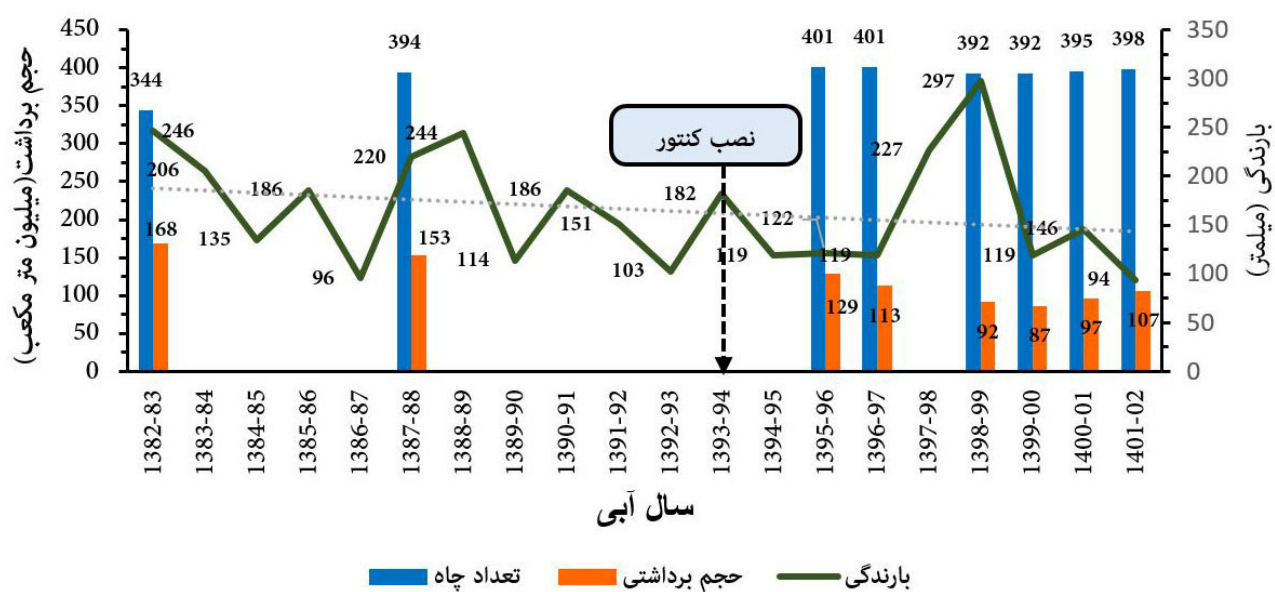
عوامل متعددی در کاهش مصرف انرژی و ساعت کارکرد چاه‌ها و همچنین بهبود روند تغییرات سطح آب مؤثر است که مهم‌ترین آن‌ها شامل: کاهش برداشت از منابع، تغییر نوع منصوبات بهره‌برداری و بهینه‌سازی منصوبات چاه، تغییر نوع کشت، تغییر در تعداد چاه‌های بهره‌برداری و شرایط اقلیمی و بارندگی می‌باشد. با در نظر گرفتن اینکه در بیش از ۹۰ درصد چاه‌های انتخابی، نوع پمپ و لوله‌ها در بازه مورد مطالعه تغییر نداشته است، بنابراین، نوع منصوبات، علت کاهش مصرف انرژی و بهبود روند کاهشی سطح آب زیرزمینی نبوده است. از طرفی دیگر، تغییر نوع کشت را می‌توان به عنوان یکی از نتایج نصب کنتور هوشمند با افزایش آگاهی بهره‌برداران از محدود بودن منابع آب و سهمیه اختصاصی آب دانست و مواردی همچون افزایش عمق (پمپاژ از عمق بیشتر)، اجرای خط انتقال آب و آبیاری تحت فشار در چاه‌های کشاورزی اتفاق افتاده که روند مصرف انرژی را افزایش می‌کند. به‌طوری‌که علت افزایش انرژی مصرفی در چاه‌های W14، W11، W4، W2

حفاری و افزایش عمق بوده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده (شکل ۶) در دشت رشتخوار تغییرات چشمگیری در تعداد چاه‌های بهره‌برداری ایجاد نشده است که بر روند مصرف انرژی و ساعت کارکرد مؤثر باشد. در نتیجه عامل اصلی کاهش شیب روند تغییرات ساعت کارکرد، مصرف انرژی و نوسانات سطح آب، کاهش برداشت بوده است که توسط نصب کنتورهای هوشمند آب به عنوان ابزار مدیریت برداشت انجام شده است.

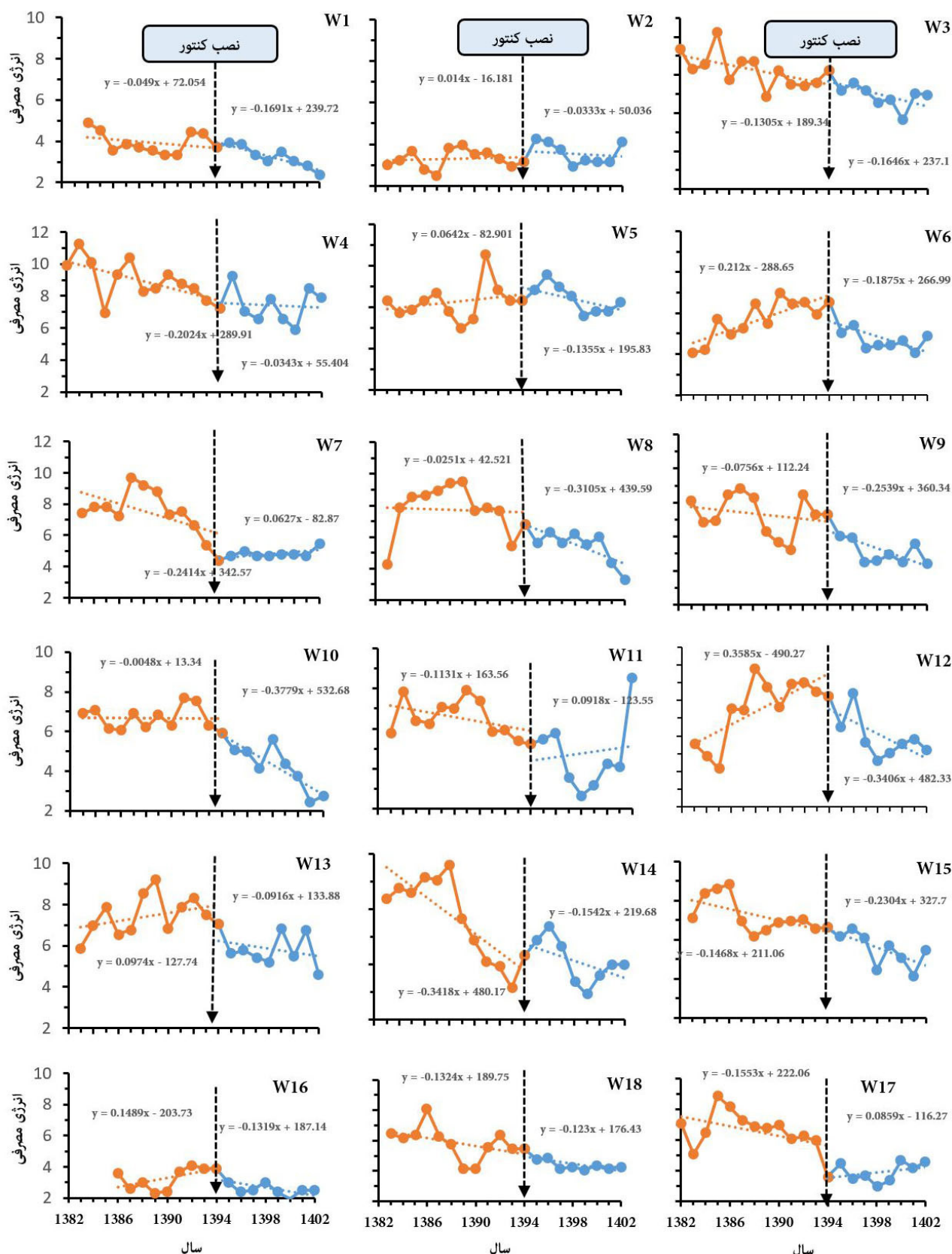
علاوه بر آن، با توجه به نتایج مطالعات و نقشه پهنه‌بندی شاخص SPEI خشکسالی هواشناسی استان خراسان رضوی برای دوره ۱۰ ساله که توسط مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور ارائه شده است (درگاه الکترونیکی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، ۱۴۰۳)، رشتخوار در طبقه خشکسالی شدید تا بسیار شدید واقع شده است، بنابراین، این شرایط اقلیمی خشک، نیاز آبی بیشتر و پیرو آن افزایش ساعت روشنی چاه‌ها و مصرف بیشتر انرژی را در پی دارد نه روند کاهشی، که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد. همچنین با توجه به نمودارهای ترسیمی (شکل ۶)، شیب خط روند تغییرات بارندگی، تقریباً منفی بوده است که خود نشان‌دهنده کاهش بارندگی پس از نصب کنتور بوده که موجب نیاز آبی بیشتر و افزایش ساعت کارکرد و مصرف انرژی می‌شود. افزایش محدود بارندگی در برخی سال‌ها نمی‌تواند نقش اصلی را در روند کاهشی ساعت کارکرد و مصرف انرژی پس از نصب کنتور داشته باشد. با این که در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ الی ۹۷-۱۳۹۶، بارندگی تغییر زیادی نداشته و پس از آن ۲ سال متوالی افزایش بارندگی دیده می‌شود، اما حجم برداشتی کاهش یافته است (شکل ۶).

به طور کلی، نتایج این تحقیق (جدول ۲ و نمودارهای مصرف تغییرات مصرف انرژی و ساعت کارکرد - شکل ۷ و شکل ۵)، نشان می‌دهد نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی نقش اصلی را در کاهش مصرف انرژی و ساعت کارکرد (افزایش خاموشی چاه‌ها) و بهبود روند کاهشی سطح آب در مدیریت برداشت از آب‌های زیرزمینی داشته است. حتی همان طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، پس از نصب کنتور حجم برداشتی از کل چاه‌های دشت نسبت به قبل از نصب کنتور کاهش داشته است که نقش کنتورهای نصب شده را نشان می‌دهد.

بارندگی، تعداد چاه‌ها و حجم برداشت از آنها در دشت رشتخوار



شکل ۶- بارندگی، تعداد چاه‌ها و حجم برداشت از آن‌ها در دشت رشتخوار



شکل ۷- روند تغییرات انرژی مصرفی (برحسب ۱۰۰۰ مگاوات ساعت-MV/H) در چاه‌های انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای

۴. اصلاح و بروزرسانی قوانین و مقررات برخورد با تخلفات مرتبط با کنتورهای هوشمند اعم از دستکاری کنتور، فک پلمپ و...

سیاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت‌های پژوهشی در قالب طرح شماره ۶۲۴۳۱ و از دفتر مطالعات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و مدیریت امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه بابت همکاری و در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز، تشکر می‌گردد. همچنین از آقایان مهندس امیدفر و سمت‌بهار، کارشناسان حفاظت و بهره‌برداری و کنتور هوشمند امور منابع آب شهرستان تربت حیدریه جهت مشاوره کارشناسی تقدیر می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Transducer
2. Flowmeter
3. Observation well
4. Hydrograph
5. Zone
6. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، افت سطح ایستابی در چاه‌های دشت رشتخوار ادامه دارد، اما پس از نصب کنتورهای هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی در سال ۱۳۹۴، روند کاهشی سطح آب زیرزمینی در آبخوان ممنوعه بحرانی رشتخوار کندتر شده است. ۹ حلقه چاه مشاهده‌ای دشت رشتخوار پس از سال ۱۳۹۴ به‌طور میانگین کاهش افت ۴۶/۴ درصدی را نسبت به قبل از نصب کنتور هوشمند داشته است، که کاهش ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی متناظر با چاه‌های مشاهده‌ای، مؤید این موضوع می‌باشد. بررسی ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی در دو بازه مشابه (۸ ساله) نشان می‌دهد که میانگین و مجموع ساعت کارکرد چاه‌های انتخابی به ترتیب از ۶۸۱۲ و ۹۸۰۹۵۵ ساعت (قبل از نصب کنتورهای هوشمند) به ۶۰۱۸ و ۸۶۶۵۶۷ ساعت (بعد از نصب کنتورهای هوشمند) رسیده است که معادل ۱۱/۷ درصد کاهش یافته است. از طرفی با توجه به اینکه مواردی همچون افت سطح آب و متعاقب آن پمپاژ آب از عمق بیشتر، پمپاژ آب به اراضی بالادست، افزایش خط انتقال آب در تعدادی از چاه‌های انتخابی وجود دارد که افزایش مصرف انرژی را در پی دارد، پس از نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های کشاورزی همان‌طور که محاسبه انرژی مصرفی چاه‌های انتخابی و نمودارهای مربوطه نشان می‌دهد، در اکثر چاه‌ها، مصرف انرژی روند کاهشی داشته است و با نصب کنتورهای هوشمند، میانگین و مجموع انرژی مصرفی در دو بازه مشابه (۸ ساله) به ترتیب از ۶۵۰ و ۹۳۵۷۸ مگاوات ساعت به ۴۹۱ و ۷۲۲۶۳ مگاوات ساعت، (یعنی کاهش حدود ۲۲/۸ درصد) پس از نصب کنتورهای هوشمند رسیده است.

پیشنهادهای

با توجه به اهمیت حفاظت از آبخوان‌ها، به خصوص در دشت‌های ممنوعه بحرانی همانند دشت رشتخوار، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. توجه به مسائل ترویجی و فرهنگ‌سازی در زمینه بحران‌های ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و تبیین نقش کنتورها در مدیریت برداشت بهینه از منابع آب زیرزمینی و کاهش مخاطرات آبی موجود
۲. نصب کنتور هوشمند آب بر روی تمام چاه‌های بهره‌برداری
۳. بازدید دوره‌ای از کنتورهای نصب شده، به روزرسانی و رفع نواقص آن‌ها

بر روی چاه‌ها در دشت مشهد در ابعاد کنترل کمیت برداشت‌ها و تأثیر اقتصادی و مالی آن (مطالعه موردی: دشت مشهد). طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ایران.

- عبدالحسین‌زاده، فائزه. (۱۴۰۰). تأثیر نصب کنتور هوشمند چاه‌های آب زیرزمینی بر تغییر رفتار کشاورزان شهرستان تربت حیدریه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- علی‌پور، اکبر. (۱۳۹۸). مدیریت توأم منابع و تقاضای آب با هدف متعادل‌سازی سطح آب زیرزمینی در دشت نیشابور. رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
- علیجانی، فرشاد، موسوی، سیده فاطمه، و محمدی، هادی. (۱۴۰۱). بررسی اثرات طرح احیا و تعادل بخشی بر آب‌های زیرزمینی دشت قلعه‌تل، شمال شرق خوزستان. آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۳۹-۴۸. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2212.1196
- فرزانه، محمدرضا، باقری، علی، و مومنی، فرشاد. (۱۳۹۸). نقد رویکرد حاکم بر طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و پیشنهاد راهکار جایگزین جهت پیاده‌سازی در محدوده مطالعاتی رفسنجان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۶(۱)، ۱۶۹-۱۸۵. doi: 10.22069/jwsc.2019.11318.2586
- قبادپور، روشنگر، اسکندری، فرزاد، و جلالی، محمد. (۱۳۹۷). رضایت‌مندی کشاورزان از نصب کنتور هوشمند بر روی چاه‌های آب زیرزمینی (مورد مطالعه: دهستان ماهیدشت استان کرمانشاه). اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۲(۱)، ۴۳-۵۵. doi: 10.22067/jead2.v32i1.66512
- کریمی، مریم. (۱۴۰۰). مطالعه و بررسی تأثیر هوشمندسازی مدیریت و کنترل منابع آب از راه دور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد فومن، ایران.
- کوثری سیوکی، علی، علوی‌مقدم، سیدمحمدرضا، و بینا، کیوان. (۱۳۹۶). اثر نصب کنتور هوشمند بر روند افت تراز آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان مه‌ولات). دوازدهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، کمیسیون چهارم: سرزمین پایدار یافته‌های نوین در مهندسی عمران و محیط زیست، مشهد. <https://civilica.com/doc/716797>
- کی‌همایون، زهرا، حاجی‌زاده، میثم، و علیجانی، فرشاد. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی اجرای طرح احیا و تعادل بخشی و آسیب شناسی پروژه‌های طرح (مطالعه موردی: دشت اردستان-اصفهان). آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۲۵-۳۸. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2211.1191
- مولائی، مرتضی، و ایمان‌زاد تپه، مهسا. (۱۴۰۲). بررسی عوامل مؤثر بر رضایت‌مندی از نصب کنتورهای هوشمند چاه‌های آب زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳(۳)، ۳۴۰-۳۵۴. doi: 10.22125/iwe.2023.169899
- نی‌نیوا، سیدپدرام، عزیزی کاشانتویی، معصومه، خالدیان، ولید و فغانی، علی. (۱۳۹۶). بررسی تأثیر نصب کنتورهای هوشمند آب و برق بر روی چاه‌های آب (مطالعه موردی: دشت‌های شرق استان کردستان). سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضا محوری آب)، کرج. <https://civilica.com/doc/738141>
- نیرومندفر، فریبا، خزیمه‌نژاد، حسین، و خاشعی سیوکی، عباس.

- اسدی، اسماعیل، صادق‌زاده، پریسا، مجنون، ابوالفضل، و صمدیان، مرتضی. (۱۴۰۱). بررسی اثربخشی طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی براساس روش فازی-تاپسیس (مطالعه موردی: دشت ارومیه). مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۳)، ۴۸۳-۴۹۶. doi: 10.22059/jwim.2022.337823.960
- امیری، سپیده، و میرک‌زاده، علی اصغر. (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش کنتورهای هوشمند آب در بین کشاورزان دشت ماهیدشت. فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۲(۳)، ۳۶-۵۳. doi: 10.22126/atwe.2022.7873.1020
- امیری، سپیده. (۱۴۰۱). مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در کشاورزی با تأکید بر کنتور هوشمند آب. هفتمین کنگره بین‌المللی توسعه کشاورزی و محیط زیست با تأکید بر برنامه توسعه ملل، تهران. <https://civilica.com/doc/1492790>
- بازاری، ساره، ثمین، محمد، و نصیریان، علی. (۱۳۹۵). مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت سرایان با استفاده از نصب کنتور هوشمند آب و برق. چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران. <https://civilica.com/doc/611895>
- خدادادی بنیس، ملیحه، ناصری، حمیدرضا، و نیک‌پیمان، یاسر. (۱۴۰۱). ارزیابی طرح احیاء و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی دشت شهریار با تأکید بر کنتورهای هوشمند. آب و توسعه پایدار، ۹(۳)، ۴۹-۵۶. doi: 10.22067/jwsd.v9i3.2212.1197
- دانش‌پژوه، امیرجواد، و باقری، رحیم. (۱۳۹۸). اثر طرح تعادل بخشی بر رفتار هیدروژئولوژیکی دشت رخ، خراسان رضوی. دومین همایش بین‌المللی زیست‌شناسی و علوم زمین، همدان. <https://civilica.com/doc/1002002>
- درگاه الکترونیکی اداره کل هواشناسی خراسان رضوی. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی شاخص SPEI خشکسالی هواشناسی استان خراسان رضوی برای دوره ۱۰ ساله. <https://razavimet.ir> / تاریخ بازدید: ۱۴۰۳/۱۲/۰۱
- درگاه الکترونیکی ملی آمار. (۱۳۹۹). اصلاح الگوی مصرف جلد ۲: آب، دارو، نان. <http://amar.org.ir/statistical-information?statid=21000> تاریخ بروزرسانی: ۱۳۹۹/۰۸/۲۰
- رجب‌پور، حسین، گلزارنژاد، محمدرضا، و اسماعیلی، علی. (۱۳۸۹). کنتور هوشمند آب و برق، راهکاری برای تحول در میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی. نخستین همایش ملی بررسی دستاوردهای پژوهشگران علوم زمین ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/87881>
- سلیمی، محمدرضا، و نعمتی، غلامرضا، و یکی، مینا. (۱۳۹۵). تأثیر اجرای طرح تعادل بخشی بویژه نصب کنتور هوشمند بر بهبود هیدروگراف آب زیرزمینی آبخوان باد - خالداًباد. دومین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی، اردستان. <https://civilica.com/doc/633847>
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۴۰۲). سیمای آب شهرستان رشتخوار سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲. وزارت نیرو، ایران.
- طاوسی، مجتبی، گلکار حمزه‌ای یزدی، حمیدرضا، و میربلوکی، مجید. (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد کنتورهای هوشمند نصب شده

- Abanyie, S.K., Ampofo, S., Douli, N.B., & Boateng, T. (2018). Geospatial assessment of groundwater quality in the savelugu-nanton municipality, northern Ghana. *African Journal of Applied Research (AJAR)*, 4(1), 93-105. <https://doi.org/10.26437/ajar.04.01.2018.09>
- Alam, M. F., Pavelic, P., Sikka, A., Krishnan, S., Dodiya, M., Bhadaliya, P., & Joshi, V. (2023). Energy consumption as a proxy to estimate groundwater abstraction in irrigation. *Groundwater for Sustainable Development*, 23, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101035>
- Bragalli, C., Neri, M., & Toth, E. (2019). Effectiveness of smart meter-based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. *Environmental Modelling & Software*, 112, 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.10.010>
- Bahraseman, S. E., Firoozzare, A., Zhang, C., Yousefian, N., Skominas, R., Barati, R., & Azadi, H. (2024). Reviving the forgotten legacy: Strategies for reviving qanats as sustainable solutions for agricultural water supply in arid and semi-arid regions. *Water research*, 265, 122138. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122138>
- Daminato, C., Diaz-Farina, E., Filippini, M., & Padrmeter, N. (2021). Based urban water loss assessment in a real network with synchronous and incomplete readings. To appear in: *Envithe Canary Islands. Resource and Energy Economics*, 64(3), 101221. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2021.101221>
- Zekri, S., Madani, K., Bazargan-Lari, M. R., Kotagama, H., & Kalbus, E. (2017). Feasibility of adopting smart water meters in aquifer management: An integrated hydro-economic analysis. *Agricultural Water Management*, 181, 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.022>
- Maghrebi, M., Noori, R., Partani, S., Araghi, A., Barati, R., Farnoush, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Iran's groundwater hydrochemistry. *Earth and Space Science*, 8(8), e2021EA001793. <https://doi.org/10.1029/2021EA001793>
- Mohammadzadeh, H. & Torshizi, M. (1403). Effect of Smart Water Meters (SWM) Installation on Water Table Fluctuations in the Roshtkhar Plain. 2nd Regional Symposium on innovation in Science and Technology, Mashhad, Iran. <https://civilica.com/doc/2184292>
- Nassery, H. R., Adinehvand, R., Salavitarbar, A., & Barati, R. (2017). Water management using system dynamics modeling in semi-arid regions. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 766-778. <https://doi.org/10.21859/cej-030913>
- (۱۳۹۹). بررسی معیارهای مدیریتی و هیدروژئولوژیکی بر تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت سرایان. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۴)، ۲۱۰-۲۲۸. doi: 10.22125/iwe.2020.110087
- ورمزیاری، حجت، کردعلیوند، سمیه، و کشاورز، محمدابراهیم. (۱۴۰۲). ارزیابی طرح هوشمندسازی چاه‌های آب کشاورزی در شهرستان داراب؛ با رویکرد هیدروژئولوژی اجتماعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۷(۴)، ۶۷۱-۶۸۴. dor: 20.1001.1.20087942.1402.17.4.6.6
- وزارت نیرو. (۱۴۰۳). آمار تفصیلی صنعت برق ایران، توزیع نیروی برق در سال ۱۴۰۲. شرکت مادر تخصصی توانیر، معاونت تحقیقات و منابع انسانی، دفتر فناوری اطلاعات و امنیت فضای مجازی. ایران.
- وزارت نیرو. (۱۳۹۸). دشت‌های ممنوعه کشور. شرکت مدیریت منابع آب، معاونت حفاظت و بهره‌برداری، دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب و امور مشترکین. ایران.
- هاونگی، مجید، و خزیمه‌نژاد، حسین. (۱۴۰۲). ارزیابی اجرای طرح احیاء و تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی با تأکید بر نصب کنتورهای هوشمند (مطالعه موردی: دشت بشرویه خراسان جنوبی). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰(۲)، ۱۶۱-۱۷۱. doi: 10.22069/jwsc.2023.21147.3631

Article Type

Review Article / Technical paper

مروری. ترویجی

نوع مقاله

Identification of Smart Irrigation Management Methods and Tools and Their Impact on Optimizing Irrigation Water Consumption

شناخت روش‌ها و ابزارهای مدیریت هوشمند آبیاری و تأثیر آن‌ها در بهینه‌سازی مصرف آب آبیاری

I. Hajirad 

ایمان حاجی راد

Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

Email: i.hajirad@ut.ac.ir

رایانامه: i.hajirad@ut.ac.ir

Received > 22-12-2024
Revised > 11-02-2025
Accepted > 14-02-2025
Available Online > 15-08-2025

تاریخ دریافت < ۱۴۰۳/۱۰/۰۲
تاریخ بازنگری < ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش < ۱۴۰۳/۱۱/۲۶
تاریخ انتشار < ۱۴۰۴/۰۵/۲۴

Abstract

Integrating Internet of Things (IoT) technology with traditional irrigation systems is an effective step toward advancing smart irrigation. Due to its critical role in ensuring food security and preserving global water resources, optimal water management has become a major challenge. Traditional irrigation methods in many regions lead to the waste of both water and human resources. Smart irrigation systems are designed to optimize water use and enhance agricultural productivity. In addition to reducing water consumption, these systems improve efficiency and overall agricultural performance. Various techniques have been developed to assess soil moisture and plant water stress, helping to prevent unnecessary irrigation. This study first examines different smart irrigation management methods and the tools utilized in these systems. It then compares these technologies with traditional irrigation methods and evaluates their impact on water conservation. Research findings indicate that smart irrigation systems based on soil moisture sensors, evapotranspiration, and rainfall have achieved water savings of 20% to 41.5%, 20% to 48%, and 7% to 50%, respectively, compared to traditional irrigation. Additionally, sensor-based optical systems have proven to be more effective than conventional experimental and laboratory methods in assessing plant and soil variations. Therefore, implementing smart irrigation systems in agriculture is recommended as an efficient strategy for optimizing water consumption.

Keywords: Evapotranspiration Controllers, Internet of Things (IoT), Smart Irrigation, Soil Moisture Sensors.

چکیده

یکپارچه‌سازی فناوری اینترنت اشیا (IoT) با سیستم‌های آبیاری سنتی، گامی مؤثر در پیشرفت آبیاری هوشمند است. مدیریت بهینه آب به دلیل اهمیت آن در تأمین امنیت غذایی و منابع آبی جهانی، به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. روش‌های سنتی آبیاری در بسیاری از مناطق موجب هدررفت منابع آبی و انسانی می‌شوند. سامانه‌های آبیاری هوشمند با هدف استفاده بهینه از منابع آب و افزایش تولید محصولات طراحی شده‌اند که علاوه بر کاهش مصرف آب، کارایی و بهره‌وری کشاورزی را نیز افزایش می‌دهند. برای جلوگیری از آبیاری غیرضروری، تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی رطوبت خاک و تنش آبی گیاهان توسعه یافته است. در این مطالعه ابتدا به شناخت روش‌های مختلف مدیریت آبیاری هوشمند و ابزارهای مورد کاربرد اشاره شده و سپس مقایسه فناوری‌ها با روش‌های سنتی و تأثیر آن‌ها بر صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری بررسی شد. نتایج سوابق تحقیقات نشان داد سامانه‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر حسگرهای رطوبت خاک، تبخیر-تعرق و باران، به ترتیب ۲۰٪ تا ۴۱/۵٪، ۲۰٪ تا ۴۸٪ و ۷٪ تا ۵۰٪ در مصرف آب آبیاری نسبت به آبیاری سنتی صرفه‌جویی کرده‌اند. همچنین، سامانه‌های مبتنی بر حسگرهای نوری در ارزیابی تغییرات گیاه و خاک موفق‌تر از روش‌های تجربی و آزمایشگاهی عمل کرده‌اند. بنابراین، استفاده از سامانه‌های آبیاری هوشمند در کشاورزی به عنوان راهکاری کارآمد برای بهینه‌سازی مصرف آب پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کنترل کننده‌های تبخیر - تعرق، اینترنت اشیا، آبیاری هوشمند، حسگرهای رطوبت خاک.

How to cite this article:

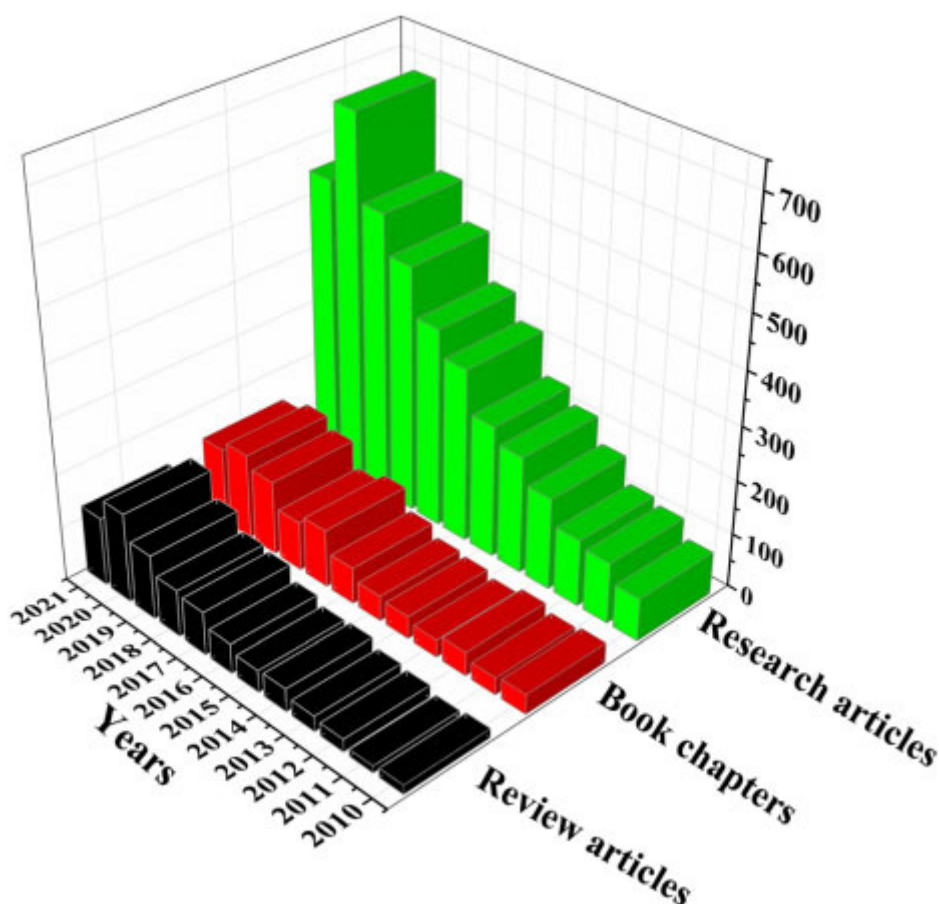
Hajirad, I. (2025). Identification of Smart Irrigation Management Methods and Tools and Their Impact on Optimizing Irrigation Water Consumption. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 159-176. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2412-1389>

شکل (۱) نشان‌دهنده تعداد مقاله‌های پژوهشی و منابع مرتبط با سامانه‌های آبیاری هوشمند طی ۱۲ سال اخیر است. به این ترتیب، استفاده از حس‌گرهای نوری مانند آن‌هایی که روی پهپادها و وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (UAV)^۵ به‌عنوان مدیریت آبیاری مبتنی بر گیاه برای دستیابی به آبیاری دقیق در کشاورزی نصب شده‌اند، اخیراً توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. اصل این تکنیک بر این است که داده‌های پوشش گیاهی که از اطلاعات UAV به دست می‌آیند، برای پیش‌بینی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)^۶ استفاده می‌شوند (Gao و همکاران، ۲۰۲۱).

حس‌گرها در اینترنت اشیا

در سامانه‌های اینترنت اشیا کشاورزی، حس‌گرها نقش اساسی در جمع‌آوری داده‌ها ایفا می‌کنند. این دستگاه‌های هوشمند به‌صورت هوشمندانه داده‌های جمع‌آوری شده را به محل‌های ذخیره‌سازی مشخص منتقل می‌کنند. حس‌گرها کمیت‌های دنیای واقعی را به سیگنال‌های الکتریکی قابل‌فهم برای کنترل‌کننده تبدیل می‌کنند. یکی از مهم‌ترین انواع حس‌گرها در کشاورزی، حس‌گر دما است (Hare و همکاران،

تقاضای جهانی برای غذا به دلیل رشد سریع جمعیت افزایش یافته و این موضوع فشار بیشتری بر منابع آبی وارد می‌کند. حدود ۷۰ درصد از برداشت‌های جهانی آب برای آبیاری مصرف می‌شود (Simionesei و همکاران، ۲۰۲۰). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، بحران آب یکی از چالش‌های اصلی کشاورزی است که عمدتاً به دلیل آبیاری نادرست و بدون در نظر گرفتن نیاز آبی گیاهان ایجاد می‌شود و می‌تواند منجر به تنش آبی در گیاهان شود (Abioye و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، مدیریت بهینه آب آبیاری ضروری است. سامانه‌های آبیاری هوشمند با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش اثرات محیط زیستی طراحی شده‌اند. چندین روش برنامه‌ریزی آبیاری شامل حس‌گرهای رطوبت خاک (SMS)^۷، تبخیر-تعرق (ET)^۸ و حس‌گرهای باران (RS)^۹ برای بهینه‌سازی مصرف آب استفاده شده است. حس‌گرهای SMS میزان رطوبت خاک (SMC)^۴ را تخمین زده و رویدادهای آبیاری را بر اساس آستانه تعیین‌شده متوقف می‌کنند. همچنین، کنترل‌کننده‌های مبتنی بر داده‌های تاریخی و سیگنال‌محور در دهه‌های اخیر برای مدیریت آبیاری استفاده شده‌اند (Touil و همکاران، ۲۰۲۲).



شکل ۱- تعداد مقالات در مورد سیستم‌های آبیاری هوشمند (Touil و همکاران، ۲۰۲۲)

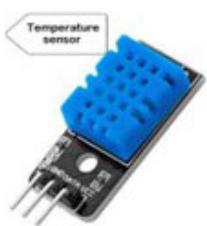
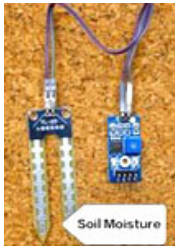
۲۰۱۵). در جدول (۱)، انواع حسگرهای مورد استفاده در آبیاری هوشمند بررسی شده است.

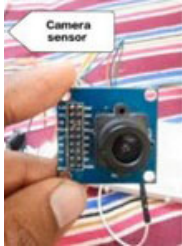
اینترنت اشیا (IoT)^۷، مفهومی است که ابزارهای بی سیم و موبایل را از طریق اینترنت به هم متصل می کند و نقش حیاتی در بسیاری از زمینه ها، به ویژه در بخش کشاورزی ایفا می کند (Richa و همکاران، ۲۰۲۱).

ترکیب IoT با حسگرهای بیان شده برای اتصال به پلتفرم های داده به منظور ارائه داده های لحظه ای و اتخاذ تصمیمات

آگاهانه تر، راه حل های هوشمندانه را برای آبیاری فراهم می سازد. همچنین، مدیریت آبیاری و بهبود بهره وری آب محصولات زراعی با استفاده از تکنیک های کم آبیاری (DI)^۸ در دهه های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. اصل این روش بر پایه استفاده از حجم آبی کمتر از نیازهای گیاه استوار است (Kovalenko و همکاران، ۲۰۲۱). به این ترتیب، کارایی استفاده از آب افزایش یافته، با این وجود عملکرد محصول می تواند بالاتر از حد قابل قبول حفظ شود.

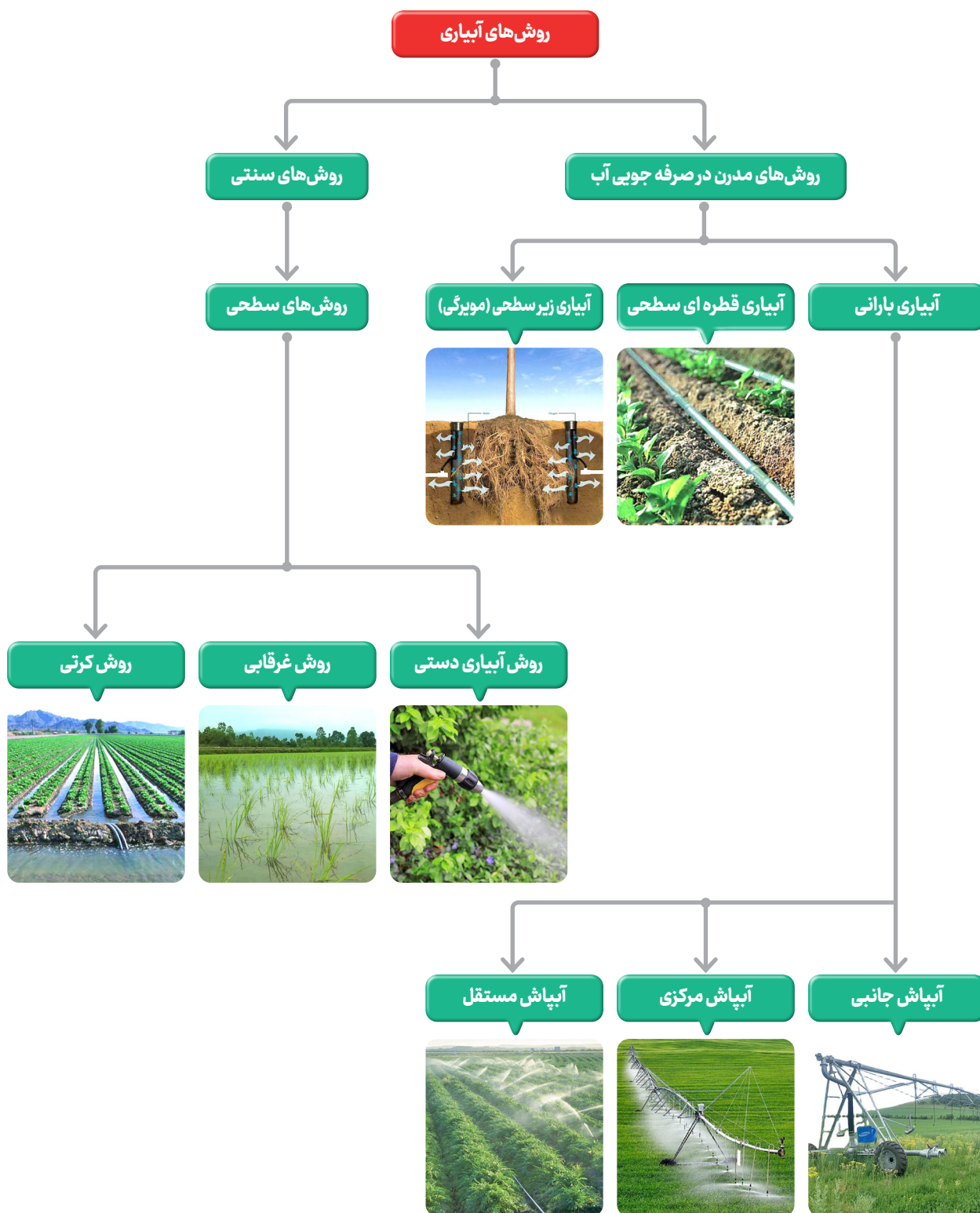
جدول ۱- انواع حسگرهای مورد استفاده در سامانه آبیاری هوشمند

حسگر	مزایا و کاربردها	شکل
حسگر دما	حسگرهای دما در سامانه های کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا، با پایش لحظه ای دمای خاک و هوا، به کشاورزان امکان می دهند تا شرایط جوی را برای رشد بهینه محصولات مدیریت کنند و از آسیب های ناشی از ناهنجاری های دمایی پیشگیری نمایند (Kumar و همکاران، ۲۰۲۴). این حسگرها همچنین در تنظیم برنامه های آبیاری، مدیریت آفات و ایجاد شرایط مطلوب در گلخانه ها کاربرد دارند و به ارتقاء بازدهی کشاورزی کمک می کنند (Munir و همکاران، ۲۰۱۹).	
حسگر PH	حسگرهای pH با اندازه گیری میزان اسیدی یا قلیایی بودن خاک، به کشاورزان کمک می کنند تا از مناسب بودن شرایط خاک برای رشد گیاهان اطمینان حاصل کرده و از تأثیرات منفی کمبود مواد مغذی یا کوددهی بیش از حد جلوگیری کنند و همچنین در کشاورزی هیدروپونیک، این حسگرها نقش کلیدی در پایش و تنظیم محیط رشد گیاهان دارند (Kumar و همکاران، ۲۰۲۴).	
حسگر رطوبت هوا	مانیتورهای رطوبت با اندازه گیری رطوبت هوا، به کشاورزان امکان می دهند تا برنامه های آبیاری را بر اساس شرایط محیطی تنظیم کرده و مصرف آب را بهینه کنند. ادغام این حسگرها در سامانه های کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا، ضمن کاهش احتمال بیماری ها و آفات، بازدهی محصولات و پایداری کشاورزی را افزایش می دهد (Juroszek و Tiedemann، ۲۰۱۱).	
حسگر رطوبت خاک	حسگرهای رطوبت خاک با اندازه گیری میزان آب موجود در خاک، کشاورزان را در تصمیم گیری دقیق درباره زمان بندی آبیاری و مدیریت مصرف آب یاری می دهند، که منجر به بهبود کارایی آبیاری و جلوگیری از هدررفت آب می شود. این حسگرها به دو نوع تماسی و غیرتماسی تقسیم می شوند و اطلاعاتی دقیق و به موقع برای رشد بهینه محصولات ارائه می کنند (Lloret و همکاران، ۲۰۲۱).	
حسگر باران	باران سنج با اندازه گیری میزان بارش و نرخ بارندگی، کشاورزان را در مدیریت آب و جلوگیری از آبیاری بیش از حد یاری می دهد و از تخریب مزارع در اثر سیلاب پیشگیری می کند. این ابزار که بخشی از سیستم های پیشرفته مدیریت آب است، به حفظ منابع آبی و بهبود سلامت محصولات کمک می کند (Prakasam و همکاران، ۲۰۲۱).	

	نمایشگر سرعت باد با اندازه‌گیری جهت و سرعت باد، به کشاورزان در زمان‌بندی بهینه برداشت محصول و سم‌پاشی کمک کرده و خطرات ناشی از شرایط نامساعد باد را کاهش می‌دهد (Wang و همکاران، ۲۰۲۰). این ابزار با بهبود روش‌های کشاورزی و افزایش ایمنی، نقش مهمی در مدیریت مزارع ایفا می‌کند (Talaviya و همکاران، ۲۰۲۰).	ردیاب سرعت باد^۹
	حسگر NPK با اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک، به کشاورزان در ارزیابی حاصلخیزی خاک و تعیین مقدار و نوع بهینه کود کمک می‌کند. این ابزار با حفظ تعادل تغذیه‌ای خاک، بازدهی محصولات را افزایش داده و از زیان‌های ناشی از کمبود مواد مغذی جلوگیری می‌کند (Potdar و همکاران، ۲۰۲۱).	نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK)
	حسگرهای دوربین RGB با ثبت تصاویر بصری، در ارزیابی سلامت محصولات، افزایش امنیت و تعیین زمان بهینه برداشت نقش دارند. این داده‌ها با پردازش تصویر، کشاورزان را در پایش رنگ برگ‌ها، الگوهای رشد و سلامت کلی محصولات یاری داده و به مدیریت مؤثر مزارع و افزایش بازده کشاورزی کمک می‌کنند (Condotta و همکاران، ۲۰۲۰).	حسگر دوربین^{۱۰}
	حسگر LDR با سنجش شدت نور، در گلخانه‌ها برای تنظیم خودکار سایبان‌ها به کار می‌رود و از آسیب نور بیش‌ازحد به گیاهان جلوگیری می‌کند. این حسگر با ایجاد شرایط نوردهی بهینه، رشد سالم گیاهان در مراحل مختلف را تضمین می‌کند (Román-Raya و همکاران، ۲۰۲۰). کاربرد آن در افزایش بهره‌وری و سلامت محصولات کشاورزی اهمیت دارد.	حسگر مقاومت وابسته به نور (LDR)^{۱۱}

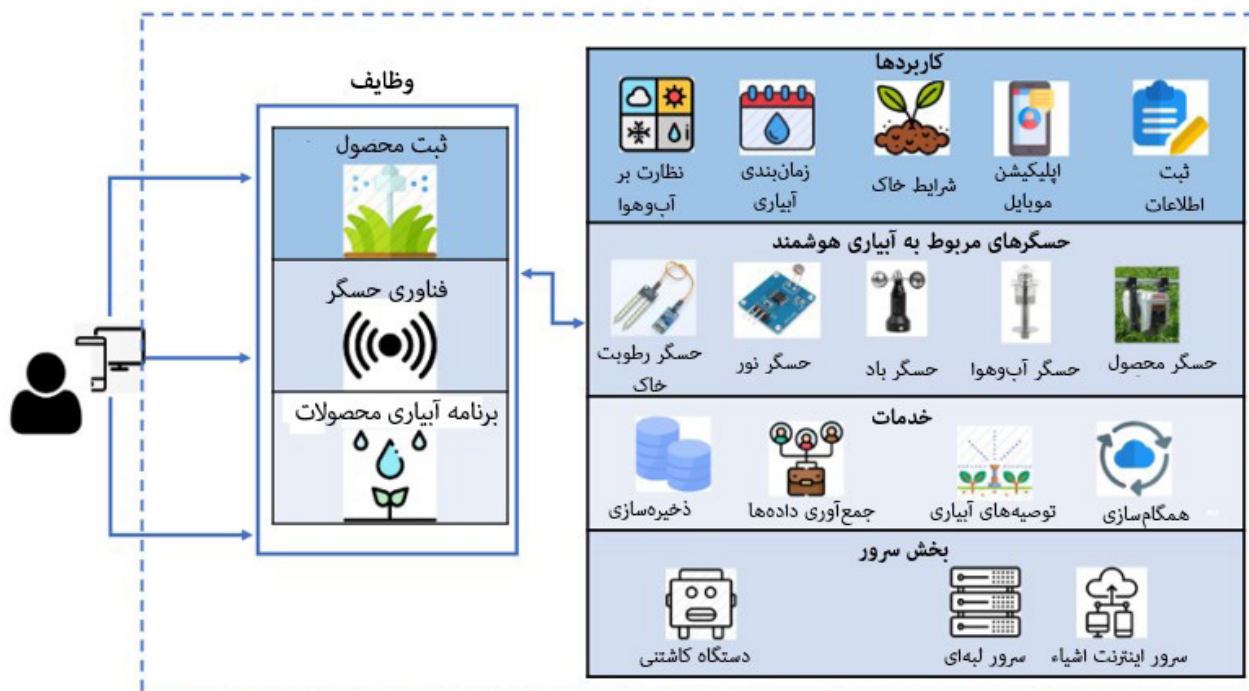
(Abioye و همکاران، ۲۰۲۰؛ Rathore و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از مهم‌ترین مزایای آبیاری بر پایه IoT صرفه‌جویی در مصرف آب است. به‌طور مثال، با ارسال اطلاعات دقیق از وضعیت خاک و گیاه، آبیاری فقط زمانی انجام می‌شود که نیاز واقعی وجود دارد و از هدررفت آب در اثر تبخیر یا نفوذ اضافی جلوگیری می‌شود. علاوه‌براین، این فناوری منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهبود کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش اثرات محیط زیستی مرتبط با مصرف بی‌رویه آب می‌شود. در نتیجه، آبیاری مبتنی بر IoT راه‌حلی مؤثر برای مقابله با چالش‌های مربوط به مدیریت آب و افزایش بهره‌وری کشاورزی در آینده است (Abioye و همکاران، ۲۰۲۰). شکل (۳) نمونه‌ای از یک سیستم آبیاری هوشمند را نشان می‌دهد.

شکل (۲) انواع روش‌های آبیاری را نشان می‌دهد. از طرفی، آبیاری مبتنی بر اینترنت اشیاء (IoT) به عنوان یک رویکرد هوشمند و پیشرفته در مدیریت منابع آبی، مزایای قابل توجهی در مقایسه با روش‌های سنتی آبیاری ارائه می‌دهد. این سیستم‌ها با استفاده از حسگرهای هوشمند، اطلاعات دقیقی از رطوبت خاک، دما، شرایط جوی و نیازهای گیاهان جمع‌آوری می‌کنند و این داده‌ها را به‌صورت بلادرنگ به یک سامانه مرکزی ارسال می‌نمایند. با تحلیل این اطلاعات از طریق الگوریتم‌های پیشرفته، تصمیم‌گیری بهینه برای زمان و میزان آبیاری صورت می‌گیرد. در مقایسه با روش‌های دستی یا سامانه‌های آبیاری اتوماتیک ساده، این فناوری، امکان کاهش هدررفت آب، افزایش بهره‌وری و جلوگیری از بیش آبیاری یا کم آبیاری را فراهم می‌کند.



شکل ۲- انواع روش‌های آبیاری (Abioye و همکاران، ۲۰۲۰)

سیستم آبیاری هوشمند



شکل ۳- ساختار کلی سیستم آبیاری هوشمند (Obaideen و همکاران، ۲۰۲۲)

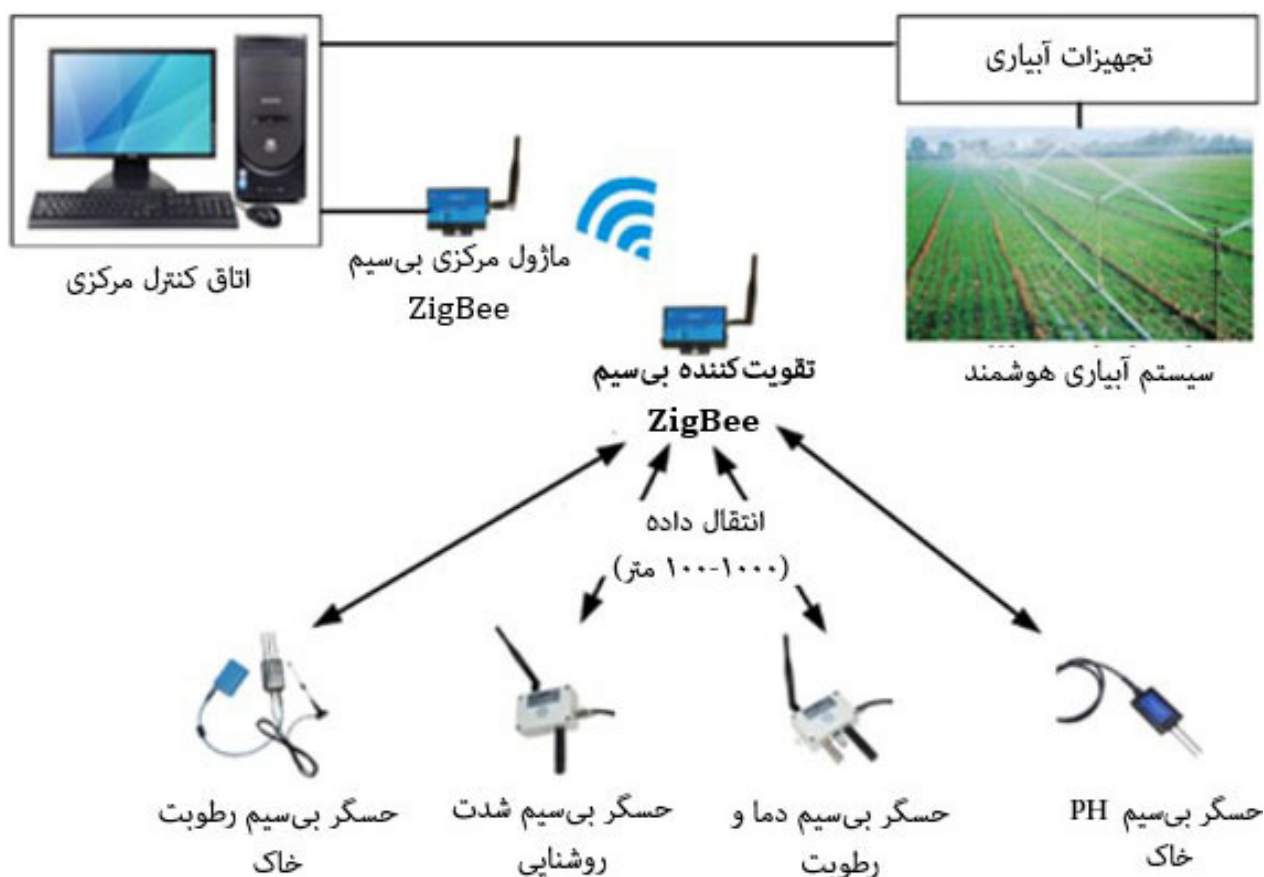
استراتژی‌های هوشمند برای آبیاری دقیق

آبیاری دقیق^{۱۳} یک روش پیشرفته مدیریت آبیاری است که با به‌کارگیری استراتژی‌های هوشمند، هدف آن تامین آب به مقدار مناسب، در زمان مناسب و در مکان مناسب، البته با توجه به نیازهای خاص هر بخش از مزرعه یا زمین کشاورزی است (Abioye و همکاران، ۲۰۲۰؛ Lakhia و همکاران، ۲۰۲۴). به‌طور کلی، چهار استراتژی آبیاری هوشمند شامل حسگرهای باران، حسگرهای رطوبت خاک، کنترل‌کننده‌های مبتنی بر تبخیر-تعرق و حسگرهای نوری (OS)^{۱۴} در بازار موجود هستند. در این بخش، تأثیر این تکنیک‌ها بر صرفه‌جویی در آب و کیفیت محصول بررسی می‌شود. لازم به ذکر است که این فناوری‌ها با تنظیم دقیق میزان و زمان آبیاری بر اساس نیاز واقعی گیاهان، از آبیاری بیش از حد یا کمتر از نیاز جلوگیری می‌کنند. این بهینه‌سازی در آبیاری باعث می‌شود که گیاهان به صورت متعادل و مناسب رشد کنند، از تنش آبی و آسیب به ریشه‌ها دور بمانند و در نتیجه محصولاتی با کیفیت بهتر، اندازه یک‌نواخت‌تر و طعم مطلوب‌تر تولید شود.

۱. مدیریت آبیاری مبتنی بر رطوبت خاک

مدیریت آبیاری براساس رطوبت خاک، یک روش علمی و کارآمد است که میزان و زمان آبیاری را بر اساس اندازه‌گیری

دقیق رطوبت خاک تعیین می‌کند. در این روش، حسگرهای رطوبت در عمق‌های مختلف خاک نصب می‌شوند و داده‌های بلادرنگی از وضعیت رطوبت خاک ارائه می‌دهند. این داده‌ها تحلیل شده و مشخص می‌شود که آیا خاک به آبیاری نیاز دارد یا خیر؟ به‌طور معمول، در خاک‌های شنی باید حسگرها در عمق کمتری نصب شوند (حدود ۱۵ تا ۳۰ سانتیمتر)، درحالی‌که در خاک‌های لومی یا رسی این عمق ممکن است بیشتر باشد (حدود ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر) (Zeitoun و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، برای به دست آوردن داده‌های دقیق‌تر در سطح مزرعه، لازم است که برای هر هکتار از زمین کشاورزی حداقل ۳ تا ۵ حسگر نصب شود، زیرا توزیع رطوبت خاک می‌تواند در نقاط مختلف مزرعه متفاوت باشد (Marek و همکاران، ۲۰۲۳). با این سامانه، آبیاری تنها زمانی انجام می‌شود که سطح رطوبت خاک به زیر آستانه بحرانی تعریف شده برسد، که این امر به کاهش هدررفت آب و جلوگیری از آبیاری بیش از حد کمک می‌کند. استفاده از این فناوری، که اغلب در بستر اینترنت اشیا اجرا می‌شود، نه تنها منابع آبی را بهینه مدیریت می‌کند، بلکه باعث افزایش کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش هزینه‌های عملیاتی نیز می‌شود. از طرفی دیگر، بیلان آب خاک و نیاز آبی محصولات مختلف معمولاً با اندازه‌گیری رطوبت خاک تخمین زده می‌شود (Qin و همکاران،



شکل ۴- نمودار شماتیک کاربرد تکنولوژی ZigBee در آبیاری هوشمند (Tang و همکاران، ۲۰۲۴)

پیشنهاد شد که پارامترهای ورودی مانند دما، رطوبت خاک و رطوبت هوا را محاسبه کرده و خروجی‌های وضعیت موتور را تولید می‌کند. این سیستم در مقایسه با آبیاری قطره‌ای و آبیاری غرقابی از نظر کارایی مصرف آب، در مدت ۷ ساعت عمل پمپاژ را انجام داد، درحالی‌که دو روش دیگر بین ۱۲ تا ۲۰ ساعت به طول می‌انجامیدند (Krishnan و همکاران، ۲۰۲۰).
 باین حال، محدودیت اصلی این سامانه این است نیاز به تنظیمات جزئی در مقادیر منطق فازی دارد، زیرا مقدار آب مورد نیاز برای گیاهان مختلف متفاوت است (Sudharshan و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه‌برآن در پژوهش دیگری، برای بررسی وضعیت سلامت گیاهان و مصرف آب برگ خردل در گلخانه، ایستگاه هواشناسی مبتنی بر اینترنت اشیا نصب شد تا میزان تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) را محاسبه کند و دوربین به Raspberry Pi متصل شد. داده‌های رطوبت حجمی خاک و ET_0 برای تنظیم آبیاری قطره‌ای با استفاده از ESPresso Lite V2 (Shenzhen Jeking Electronic Corp. China) و Raspberry Pi 3 به‌عنوان واحد کنترل و پردازش استفاده شد. برای تعیین زمان آبیاری سامانه، داده‌های رطوبت حجمی

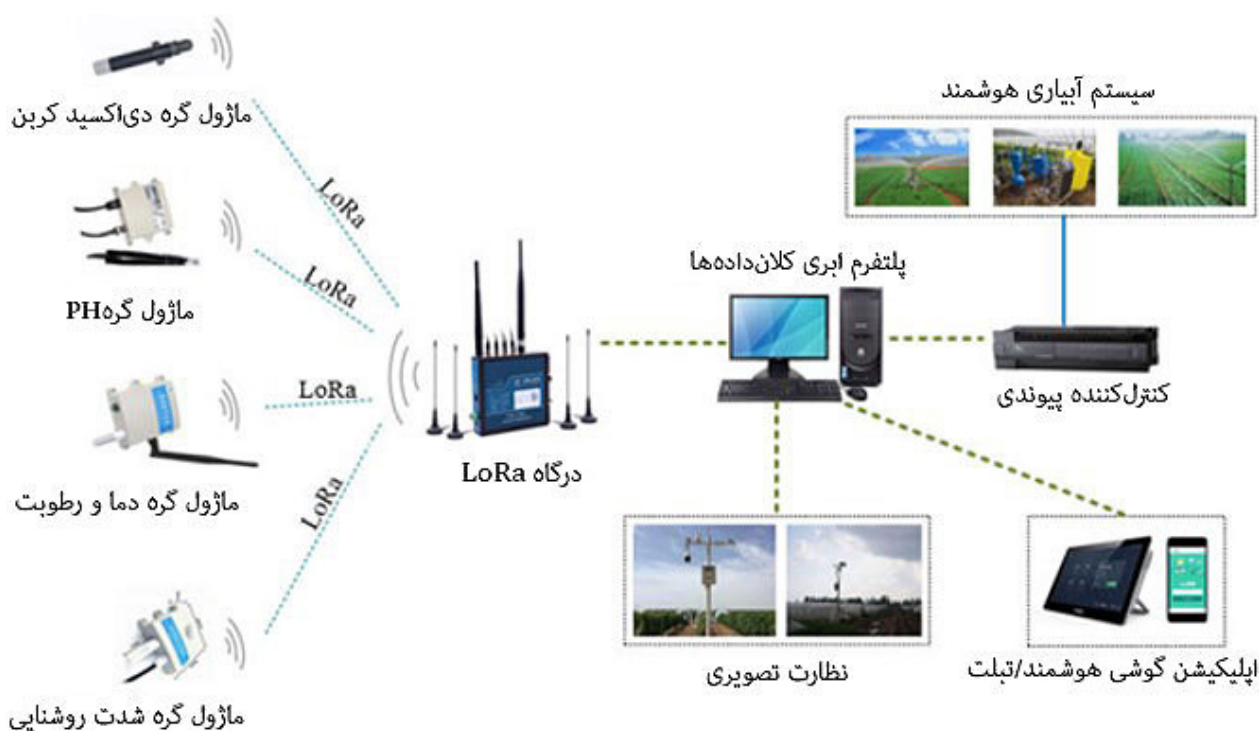
Wang و همکاران، (۲۰۲۱) به بررسی نظارت بر آبیاری با استفاده از حسگرهای رطوبت خاک پرداختند. در این روش‌ها، داده‌های حسگر برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌شود، به‌طوری‌که اگر رطوبت خاک از حد آستانه قابل تنظیم بیشتر شود، آبیاری متوقف می‌شود.

از سوی دیگر، استفاده از فناوری شبکه بی‌سیم ZigBee در آبیاری هوشمند (شکل ۴) برای نظارت بر رطوبت خاک، توجه بسیاری از پژوهشگران را جلب کرده است (Saraf و Gawali، ۲۰۱۷). در این سیستم، گره‌ای با حسگرهایی وجود داشت که دما، رطوبت و محتوای رطوبت خاک را اندازه‌گیری کرده و این مقادیر را با مقادیر از پیش تعیین‌شده مقایسه می‌کرد. سیستم بی‌سیم برای نظارت مستمر بر وضعیت شیرهای پمپ آب با استفاده از فناوری ZigBee طراحی و پیاده‌سازی شد (Rasin و همکاران، ۲۰۰۹).

سامانه‌های منطق فازی در مطالعات مختلف برای کمک به کشاورزان در گرفتن تصمیمات هوشمندانه در مورد نیازهای آبیاری استفاده شده‌اند. در یکی از این مطالعات، یک سامانه کنترل مبتنی بر منطق فازی با استفاده از اینترنت اشیا

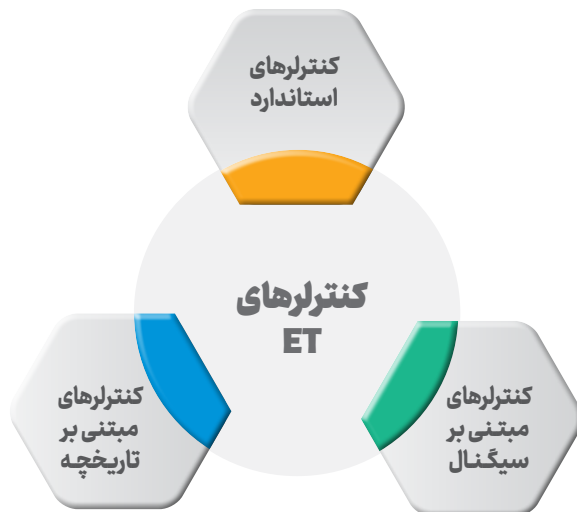
دیگر، فناوری LoRa، یک فناوری نوآورانه ارتباطات بی‌سیم است که یک طرح انتقال بی‌سیم با برد طولانی را بر اساس فناوری طیف گسترده ارائه می‌دهد. این فناوری توسط شرکت Semtech در ایالات متحده پذیرفته و ترویج شده است. LoRa امکان ایجاد سیستم‌های با برد بلند و ظرفیت بالا را درحالی‌که مصرف انرژی پایین و عمر باتری طولانی را حفظ می‌کند، فراهم می‌آورد، که این ویژگی پیش از این چالشی برای روش‌های انتقال بی‌سیم سنتی بود. لایه فیزیکی فناوری انتقال بی‌سیم LoRa بر اساس فناوری CSS استوار است که به آن اجازه می‌دهد موانع را بهتر پشت سر بگذارد (Aldhaeri و همکاران، ۲۰۲۴). LoRa پتانسیل بالایی برای مدیریت آبیاری هوشمند کشاورزی دارد. دیاگرام شماتیک فناوری LoRa در آبیاری کشاورزی در شکل (۵) نشان داده شده است. فناوری LoRa برای جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل بلادرنگ و آبیاری خودکار استفاده می‌شود و قابلیت ارتباط در مسافت‌های تا ۱۵ کیلومتر را دارد. با استفاده از دروازه LoRa، می‌توان ده‌ها هزار گره را به هم متصل کرد و پوشش شبکه بی‌سیم وسیعی ایجاد کرد. این فناوری مشکلات آبیاری در مناطق وسیع، موقعیت‌های جغرافیایی دورافتاده و سیگنال‌های ضعیف موبایل را حل می‌کند و امکان جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ و نظارت از راه دور بر رطوبت خاک و اطلاعات هواشناسی را فراهم می‌آورد (Aldhaeri و همکاران، ۲۰۲۴).

و ET_0 به‌صورت آنی ترکیب شدند تا الگوریتم تصمیم‌گیری آبیاری که بر روی Raspberry Pi تعبیه شده بود، توسعه یابد (Abioye و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، ابزارهای بلاک‌چین نقش حیاتی را با ارائه مقیاس‌پذیری، حریم خصوصی و قابلیت اطمینان در سامانه‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا ایفا کردند (Bodkhe و همکاران، ۲۰۲۰). یک سامانه آبیاری پیشرفته با امنیت بلاک‌چین و سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فازی طراحی شده است که ارتباط میان ابزارهای هوشمند، حسگرهای رطوبت خاک، دما و رطوبت، عملگرها، فضای ذخیره‌سازی ابری و کاربران شبکه را تسهیل می‌سازد (Munir و همکاران، ۲۰۱۹). ابزارهای بلاک‌چین به سامانه‌های آبیاری هوشمند کمک می‌کنند تا هم امن‌تر و هم کارآمدتر شوند. این ابزارها اطلاعاتی مانند میزان رطوبت خاک، دمای هوا و مقدار آبی که مصرف شده را در فضایی امن و به‌صورت غیرقابل تغییر ذخیره می‌کنند، طوری که فقط افراد مجاز به آن دسترسی داشته باشند. همچنین، بلاک‌چین می‌تواند فرآیند آبیاری را خودکار کند؛ یعنی به کمک قراردادهای هوشمند، وقتی داده‌های حسگرها نشان دهند که خاک نیاز به آب دارد، سامانه به‌طور خودکار آبیاری را فعال می‌کند. این کار باعث می‌شود که بدون نیاز به دخالت مداوم انسان، آب به‌صورت بهینه مصرف شود و درعین حال، امنیت و اطمینان از صحت داده‌ها نیز حفظ شود (Munir و همکاران، ۲۰۱۹). از طرفی



شکل ۵- کاربرد فناوری LoRa در آبیاری (Tang و همکاران، ۲۰۲۴)

۲. مدیریت آبیاری مبتنی بر کنترلر ET



شکل ۶- دسته‌های کنترل کننده تبخیر-تعرق (ET) مورد استفاده در آبیاری هوشمند (Touil و همکاران، ۲۰۲۲)

1. Weathermatic (Weathermatic, Inc., Dallas, TX)
2. Toro (Toro Company, Inc., Riverside, CA)
3. ETwater (ETwater Systems LLC, Corte Madera, CA)

لازم به ذکر است کنترلر Weathermatic یک سیستم مستقل است که با استفاده از حس‌گرها و تحلیل داده‌های محیطی مانند رطوبت خاک و دما، آبیاری را بر اساس شرایط آب و هوایی انجام می‌دهد. از طرفی کنترلر Toro از داده‌های محیطی و پیش‌بینی‌های جوی برای تنظیم زمان و مقدار آبیاری به‌طور خودکار بهره می‌برد (شکل ۶). در نهایت کنترلر ETwater از اطلاعات بی‌سیم ایستگاه‌های هواشناسی و حس‌گرها برای محاسبه تبخیر-تعرق (ET_0) استفاده کرده و تصمیمات آبیاری را بر اساس آن اتخاذ می‌کند.

کنترلرهای ET در آبیاری هوشمند با کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری، راهکاری مؤثر و کاربردی هستند به‌عنوان مثال، در یک مطالعه شبیه‌سازی که با استفاده از نرم‌افزار مدل کیفیت آب منطقه ریشه^{۱۹} انجام شد (Gu و همکاران، ۲۰۱۷)، کمبودهای تأمین آب شناسایی شدند و داده‌های پیش‌بینی آب و هوای ۴ روزه (بارش، دمای هوا، رطوبت، سرعت باد و تابش) برای مدیریت آبیاری سويا و ذرت توسعه یافتند. با شبیه‌سازی ظهور تنش آبی و سپس تعیین حجم آب آبیاری لازم برای بازگرداندن محتوای آب خاک فعلی به محتوای آب خاک در عمق کامل ریشه گیاه، ظرفیت صرفه‌جویی در آب این مدل تا ۳۵٪ بود بدون اینکه بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد.

مدیریت آبیاری بر اساس کنترلر تبخیر-تعرق، یک فناوری پیشرفته است که با محاسبه دقیق میزان آب از دست‌رفته از سطح خاک و گیاهان به‌واسطه تبخیر-تعرق، فرآیند آبیاری را بهینه‌سازی می‌کند. این حس‌گرها از داده‌های هواشناسی مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی استفاده می‌کنند تا میزان آب مورد نیاز گیاهان را تخمین بزنند. بر اساس این اطلاعات، سیستم به‌صورت خودکار زمان و مقدار آبیاری را تنظیم می‌کند. این روش با تطبیق آبیاری با شرایط واقعی محیط و نیاز گیاه، به کاهش هدررفت آب، افزایش بهره‌وری و حفظ سلامت خاک و گیاه کمک می‌کند. کنترلر ET به‌ویژه در مناطقی با محدودیت منابع آبی، نقش مهمی در پایداری کشاورزی و مدیریت هوشمندانه آب ایفا می‌کند. علاوه بر استفاده از SMS برای نظارت و پایش آبیاری، برآوردهای ET نیز برای برنامه‌ریزی آبیاری در پژوهش‌های مختلف استفاده شدند و به‌عنوان یک فناوری بالقوه صرفه‌جویی در آب در نظر گرفته شدند (Seagraves و همکاران، ۲۰۱۰). این استراتژی، به‌طور ایده‌آل آبیاری را بر اساس نیازهای ET محصول انجام می‌دهد. تبخیر-تعرق گیاه (ET_c) شامل تبخیر از سطح خاک و تعرق از طریق تاج‌های گیاهان است. ET_c می‌تواند به‌عنوان حاصل‌ضرب ET_0 و ضریب گیاهی (K_c) اندازه‌گیری شود که وابسته به محصول، محیط تولید و مرحله توسعه است (Davis و همکاران، ۲۰۰۷). نیاز آبی محصول (CWR)^{۱۸} مقدار آبی است که برای جایگزینی ET مورد نیاز است. پارامترهای جوی (یعنی دما، رطوبت نسبی و سرعت باد)، عوامل محصول (یعنی نوع محصول) و عوامل مدیریتی و محیطی (یعنی حاصلخیزی خاک) می‌توانند بر نیاز آبی محصول خاص (ET_c) تأثیر بگذارند. کنترلرهایی که از اطلاعات جوی برای برآورد ET استفاده می‌کنند، به‌عنوان کنترلرهای ET شناخته می‌شوند (Isaya و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس روش‌های دریافت اطلاعات ET، کنترلرهای ET به سه کلاس اصلی دسته‌بندی شده‌اند:

۱. کنترلرهای مستقل که متغیرهای جوی را از حس‌گرهای در محل، تعیین کرده و سپس ET را برآورد می‌نمایند.
 ۲. کنترلرهای سیگنال‌محور که داده‌های ET و اطلاعات بارش را از طریق ارتباط بی‌سیم از ایستگاه‌های هواشناسی (سیگنال‌های ماهواره‌ای) جمع‌آوری می‌کنند.
 ۳. کنترلرهای مبتنی بر تاریخچه که به اطلاعات تاریخی ET ماهانه برای منطقه تکیه دارند (Touil و همکاران، ۲۰۲۲).
- در سامانه‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر تبخیر-تعرق، سه کنترلر اصلی برای بهینه‌سازی مصرف آب استفاده می‌شود که عبارتند از:

۳. مدیریت آبیاری مبتنی بر حس گر باران (RS)

حس گر باران، به عنوان یکی از ساده ترین استراتژی های حس گر آبیاری در نظر گرفته می شود که قیمتی نسبتاً پایین دارد. حس گر باران می تواند دور آبیاری برنامه ریزی شده را تا زمانی که مقدار معین باران دریافت شده، که موجب غیرفعال شدن شیرهای برقی می شود، به تعویق بیندازد یا متوقف سازد (Dobbs و همکاران، ۲۰۱۳). معمولاً حس گر باران باید در نواحی باز که بدون مانع بوده و در معرض باران قرار دارند نصب شوند. با استفاده از حس گر باران، می توان از رواناب یا نفوذ عمقی آب به خاک کاهش داد و از رشد علف های هرز و شیوع بیماری ها جلوگیری نمود و همچنین رویدادهای آبیاری غیر ضروری را حذف کرد. علاوه بر این، حس گر باران دارای عمر طولانی، بیش از ۱۰ سال طبق گفته تولید کنندگان و دارای ضمانت ۵ ساله است (Cardenas-Lailhacar و Dukes، ۲۰۰۸). در پژوهشی، دو نوع حس گر باران با مدل های Mini-Clik و Rain-Clik از نوع بی سیم، از نظر پتانسیل صرفه جویی در مصرف آب ارزیابی شدند، که مدل Rain-Clik از نوع بی سیم، بالاترین پتانسیل صرفه جویی در مصرف آب معادل ۴۴٪ را به خود اختصاص داد (Cardenas-Lailhacar و Dukes، ۲۰۰۸). به این ترتیب، صرفه جویی در آب سیستم های آبیاری Bahía grass مبتنی بر حس گر باران در مقایسه با آبیاری سنتی تا ۴۹٪ در عمق آبیاری، معادل ۳۲ میلی متر و دور آبیاری ۲ روز در هفته رسید. علاوه بر این، میزان $\text{NH}_4\text{-N}$ و $\text{NO}_3\text{-N}$ موجود زهاب خروجی نیز با استفاده از حس گر باران مدیریت شدند (Dobbs و همکاران، ۲۰۱۴). در پژوهشی دیگر، برای تعیین مدت زمان وقوع بارش در زمان واقعی، حس گر باران به یک میکروکنترلر مدل ARM7

(Shenzhen Leadwon Electronic Technology Co., Ltd.

China) متصل شد و مقدار آب موجود در خاک بر اساس حس گر رطوبت خاک تعیین شد. از طرفی، الکتروموتور پمپ آبیاری با استفاده از داده های حس گر رطوبتی، ارزیابی شد و در نهایت این اطلاعات از طریق فناوری های GSM^{۲۰} به گوشی هوشمند کاربر (کشاورز) منتقل شد. نتایج این بررسی ها نشان داد صرفه جویی در مصرف آب سامانه آزمایش شده بر روی کشت گوجه فرنگی تا ۵۰٪ در مرحله جوانه زنی و بیش از ۳۰٪ در دوره های رسیدن میوه نسبت به آبیاری قطره ای بود (Barkunan و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، در پژوهشی دیگر، همان سامانه آبیاری هوشمند برای نظارت بر آبیاری شالی مورد استفاده قرار گرفت و مشخص شد که استفاده از این روش می تواند منجر به صرفه جویی در مصرف آب به میزان ۴۱/۵٪ و ۱۳٪ از آب نسبت به روش های آبیاری سنتی و قطره ای شود (Barkunan و همکاران، ۲۰۱۹).

نمونه های از سامانه های آبیاری هوشمند که با استفاده از روش های مذکور بررسی شد، در جدول (۱) به طور خلاصه آورده شده است. می توان نتیجه گیری کرد که حس گر رطوبتی خاک (SMS) و کنترلرهای ET استراتژی های امیدوارکننده ای برای افزایش کارایی مصرف آب هستند و به دلیل دقت و پتانسیل بالای صرفه جویی در آب بدون تأثیر بر کیفیت محصول، نسبت به RS، بیشتر برای مدیریت آبیاری به کار می روند. همان طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، مدیریت آبیاری با دستگاه های بیان شده، مقدار صرفه جویی های متفاوتی در آب را نشان داد، زیرا این موضوع بستگی به کاربرد، تکنیک های استفاده شده و شرایط اقلیمی دارد.

جدول ۲- نمونه هایی از سوابق تحقیقاتی در خصوص کاربرد سامانه های آبیاری هوشمند و تأثیر آن ها در صرفه جویی مصرف آب

گیاه	کشور	استراتژی (سایر پارامترهای ورودی)	حس گر ها	روش آبیاری	اینترنت اشیاء (IoT)	درصد صرفه جویی در مصرف آب	منابع
سیب زمینی	اندونزی	حس گر رطوبت خاک	Capacitive Soil Moisture Sensor	آبیاری قطره ای	✓	۴۵ درصد	Inayah و همکاران (۲۰۲۵)
موز	هند	حس گر رطوبت خاک	-	آبیاری قطره ای	×	۲۰ درصد	Panigrahi و همکاران (۲۰۱۹)
سیب زمینی	چین	حس گر رطوبت خاک	TMH-2000	آبیاری قطره ای	✓	۳ درصد	Liao et و همکاران (۲۰۲۱)
-	هند	حس گر رطوبت خاک و باران	DHT11	آبیاری قطره ای	✓	۱۳ - ۴۱/۵ درصد	Krishnan و همکاران (۲۰۲۰)

مركبات (باغ)	چين	حس گر رطوبت خاك	HA2001	آبياري قطره‌اي	✓	۲۰ درصد	Zhang و همكاران (۲۰۱۷)
سيب (باغ)	استراليا	حس گر رطوبت خاك	Eight Sentek's EnviroSCAN probes	آبياري سنتي	×	۳۳ درصد	Ooi و همكاران (۲۰۱۰)
علف برمودا	فلوريداي آمرিকা	حس گر باران	-	آبياري باراني	×	۳۴ درصد	Cardenas- و Lailhacar همكاران (۲۰۰۸)
چمن سنت آگوستين	فلوريداي آمریکا	حس گر باران	Mini-Click rain sensor	آبياري باراني	×	۷-۳۰ درصد	McCreedy و همكاران (۲۰۰۹)
		حس گر رطوبت خاك	Time domain reflectometry probes			۱۱ درصد	
چمن باهيا	فلوريداي آمریکا	حس گر باران	Mini-Click rain sensor	آبياري باراني	×	۱۷-۴۹ درصد	Dobbs و همكاران (۲۰۱۴)
گوجه‌فرنگي	هند	حس گر باران/حس گر رطوبت خاك	-	آبياري قطره‌اي	✓	۱۵-۵۰ درصد	Barkunan و همكاران (۲۰۲۰)
برنج	هند	حس گر	PRD180	آبياري قطره‌اي	✓	۴۱ درصد	Barkunan و همكاران (۲۰۱۹)
ميوه (باغ)	فلوريداي آمریکا	کنترلرهای ET/ حس گر باران	Rain Bird ESP- 12-LX-plus his- toric controle	آبياري باراني	×	۴۸ درصد	Isaya و همكاران (۲۰۰۹)
چمن	كارولينای شمالی،	کنترلرهای ET	Toro Intelli- Sense TIS-240	آبياري باراني	×	بیش آبياري به میزان ۱۱ درصد	Grabow و همكاران (۲۰۱۳)
۶۵٪ علف سنت آگوستين و ۳۵٪ گياهان زينتي مخلوط	فلوريداي آمریکا	کنترلرهای ET (حس گرهای رطوبت خاك و باران)	Weathermatic standalone con- troller	آبياري باراني	×	۱۱-۱۴ درصد	Davis و همكاران (۲۰۰۷)
			Toro Intelli- Sense signal- based controller			۴۰ درصد	
۶۵٪ علف سنت آگوستين و ۳۵٪ گياهان زينتي مخلوط	فلوريداي آمریکا	کنترلرهای ET (حس گرهای باران)	Weathermatic, SL1600 control- ler with SLW15 weather monitor	آبياري باراني	×	۳-۲۶ درصد	Işık و همكاران (۲۰۱۷)
چمن سنت آگوستين و گياهان زينتي مخلوط	فلوريداي آمریکا	کنترلرهای ET (حس گر باران)	Toro Intelli- Sense controller	آبياري باراني	×	۴۱ درصد	Rutland و Dukes (۲۰۱۲)
گوجه‌فرنگي	رياض، عربستان سعودی	کنترلرهای ET (رطوبت خاك)	Hunter Pro-C2	آبياري قطره‌اي		۱۸ درصد	Al-Ghobari و همكاران (۲۰۱۶)

۴. حس‌گرهای نوری در مدیریت آبیاری مبتنی بر گیاه

حس‌گرهای نوری به دلیل توانایی در ارائه داده‌های دقیق و به‌هنگام درباره وضعیت سلامت گیاه، نیازهای آبی و میزان تنش، به طور فزاینده‌ای در مدیریت آبیاری مبتنی بر گیاه استفاده می‌شوند. این حس‌گرها با اندازه‌گیری طول موج‌های خاصی از نور، معمولاً در طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک، که از برگ‌های گیاه منعکس می‌شوند، کار می‌کنند. با تحلیل نور بازتابی، حس‌گرهای نوری می‌توانند وضعیت فیزیولوژیکی گیاه، از جمله سطح آب، فعالیت فتوسنتزی و سلامت کلی گیاه را ارزیابی کنند. حس‌گرهای آبیاری دقیق نیاز به سخت‌افزار مخصوصی برای اتصال سیمی و بی‌سیم به حس‌گرهای دفن شده دارند که ممکن است به دلیل قطع سیگنال، اطلاعات را از دست بدهند (AI-Naji و همکاران، ۲۰۲۱). برای جلوگیری از استفاده از حس‌گرهای دفن شده در خاک، تکنیک‌های نوینی مانند پهپادها، UAV و دوربین‌های قرمز/سبز/آبی (RGB) برای مدیریت آبیاری با حس‌گرهای نوری به‌کار گرفته شده‌اند (Ajjith و همکاران، ۲۰۱۸).

حس‌گرهای از راه دور مبتنی بر پهپاد (UAV)^۷ یک فناوری پیشرفته هستند (شکل ۷) که به‌طور گسترده‌ای در آبیاری هوشمند در مقیاس بزرگ استفاده می‌شوند، که دلیل آن هزینه‌های مقرون‌به‌صرفه، روش‌های ساخت آسان، حمل‌ونقل راحت، انعطاف‌پذیری بالا، دوره عملیاتی کوتاه و وضوح نسبتاً

بالا است (Boursianis و همکاران، ۲۰۲۲). در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های پوشش گیاهی از تصاویر UAV ارتباط بیشتری با ارزیابی‌های درون مزرعه‌ای دارند (Khaliq و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طور معمول، هیستوگرام دمای پوشش گیاهی که از تصاویر حرارتی مادون‌قرمز UAV تأمین می‌شود، برای برآورد CWSI استفاده می‌شود و به این ترتیب کارایی مصرف آب آبیاری بهبود می‌یابد (Bian و همکاران، ۲۰۱۹).

از طرفی، پهپادها می‌توانند حس‌گرهای مختلفی همانند حس‌گرهای بصری، حرارتی و چندطیفی را حمل کنند (Mwinuka و همکاران، ۲۰۲۱). به‌عنوان مثال، برای صرفه‌جویی در مصرف آب، یک پهپاد با دوربین RGB توانست با دقت بالایی ارتفاع گیاهان برنج را از روی تصاویر ثبت‌شده تخمین بزند (Yang و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین در مزارع چای، تصاویر برگ‌ها و خاک توسط دوربین‌های با وضوح بالا بر روی پهپاد جمع‌آوری شد و به کمک آن کمبود آب ارزیابی و هدررفت آب به میزان قابل توجهی کاهش یافت (Jia و همکاران، ۲۰۱۹). شناسایی دقیق گیاهان توسط پهپادها ارتباط مستقیم و مهمی با مدیریت بهینه آبیاری دارد. با استفاده از پهپادهای چندحس‌گری، می‌توان به‌طور دقیق وضعیت رشد گیاهان، نیاز آبی آن‌ها و شرایط محیطی را شناسایی کرد.

برای مثال، حس‌گرهای حرارتی و چندطیفی قادرند مناطق خشک یا آسیب‌دیده را شناسایی کنند که نیاز به آبیاری



شکل ۷- چهارچوب پهپاد بدون سرنشین برای مدیریت آبیاری در کشاورزی هوشمند

بیشتری دارند. همچنین، از طریق شناسایی نوع و وضعیت گیاهان، می‌توان آبیاری را به‌صورت هدفمند و دقیق‌تر بر اساس نیازهای واقعی گیاهان تنظیم کرد.

این فناوری به کشاورزان کمک می‌کند تا مصرف آب را کاهش دهند و بهره‌وری تولید را افزایش دهند. بنابراین، شناسایی گیاهان توسط پهپادها، بخشی از فرآیند مدیریت دقیق آبیاری است که به بهبود عملکرد آبیاری و کاهش هدررفت آب کمک می‌کند (Dong و همکاران، ۲۰۲۴).

برآورد رطوبت خاک از طریق سنجش از دور

در سنجش از دور، تابش‌های الکترومغناطیسی در طول موج‌های نوری، مادون قرمز و به‌ویژه میکروویو برای برآورد میزان رطوبت خاک بدون تماس فیزیکی با خاک استفاده می‌شود. به‌طور کلی، راديو مترها، اسکترومترها و رادارهای سنتی که بر روی پلتفرم‌های هوایی یا مکانی نصب شده‌اند و در باند میکروویو کار می‌کنند، برای استخراج میزان رطوبت خاک استفاده می‌شوند. با این حال، در برخی شرایط یا به‌عنوان مکمل داده‌های میکروویو، از باندهای نوری و مادون قرمز نیز استفاده می‌شود. علاوه بر سنجش از دور ماهواره‌ای، وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین و حس‌گرهای زمینی نیز برای استخراج رطوبت خاک به‌کار می‌روند. از طریق سنجش از دور، می‌توان میزان رطوبت خاک در سطح منطقه‌ای را برآورد کرده و الگوهای تغییرات مکانی و زمانی آن را مطالعه کرد. وضعیت رطوبت خاک استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند برای برنامه‌ریزی در سطح منطقه‌ای استفاده شود، درحالی‌که داده‌های پهپادها و حس‌گرهای زمینی برای مقیاس مزرعه‌ای قابل استفاده هستند.

الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ML) به دلیل توانایی آن‌ها در یکپارچه‌سازی داده‌ها با توزیع‌های احتمال ناشناخته، به‌طور گسترده‌ای برای برآورد رطوبت خاک از داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شوند (Ali و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، برای اعمال الگوریتم‌های ML و تولید نتایج دقیق، به حجم زیادی از داده‌های آموزشی نیاز است. تصاویر سنجش از دور و داده‌های جانبی مانند استفاده از اراضی، خصوصیات خاک و غیره به‌عنوان متغیرهای توضیحی یا مستقل استفاده می‌شوند و رطوبت خاک به‌عنوان متغیر پاسخ یا وابسته در نظر گرفته می‌شود. پس از پیش‌پردازش، داده‌ها به دو مجموعه آموزشی و آزمایشی تقسیم می‌شوند. حدود ۷۰٪-۸۰٪ از داده‌ها برای آموزش و ۲۰٪-۳۰٪ باقی‌مانده برای آزمایش استفاده می‌شود. الگوریتم ML بر روی مجموعه داده آموزشی اعمال می‌شود و

رطوبت خاک به‌عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته می‌شود. مدل ML با بهینه‌سازی پارامترهای آن آموزش داده می‌شود تا دقت خوبی بر روی داده‌های آموزشی و آزمایشی حاصل شود. سپس این مدل ML آموزش‌دیده و اعتبارسنجی شده برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از متغیرهای مستقل به‌عنوان ورودی برای تولید رطوبت خاک به‌عنوان خروجی به‌کار می‌رود. پژوهش‌های زیادی توسط پژوهشگران گزارش شده است که استفاده گسترده از الگوریتم‌های ML را برای برآورد رطوبت خاک از داده‌های سنجش از دور نشان می‌دهند (Rani و همکاران، ۲۰۲۲).

الگوریتم‌های ML همچنین می‌توانند برای استخراج توابع کالیبراسیون خاص سایت از داده‌های رادار سنتی به‌کار روند تا اندازه‌گیری‌های طیفی را به ویژگی‌های توپوگرافی شبکه‌بندی شده مرتبط کنند و الگوهای رطوبت خاک نزدیک سطح را برآورد کنند (Nasta و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین گزارش شده است که الگوریتم‌های ML می‌توانند رطوبت خاک را از داده‌های رادار زمینی استخراج کنند.

برنامه‌ریزی آبیاری

برنامه‌ریزی آبیاری به معنای تصمیم‌گیری در مورد زمان و مقدار آبی است که باید از طریق آبیاری برای تأمین نیاز آبی گیاه اعمال شود. برنامه‌ریزی بهینه آبیاری برای صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی بسیار حیاتی است. در این راستا، داده‌های رطوبت خاک برای اتخاذ تصمیم مناسب ضروری است. این داده‌های رطوبت خاک می‌توانند از طریق حس‌گرهای رطوبت خاک نصب شده در مزرعه جمع‌آوری شوند یا از طریق سنجش از دور یا داده‌های عوامل دیگر برآورد شوند. الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی رطوبت خاک از مجموعه داده‌های مختلف موجود استفاده می‌شوند که می‌توانند در برنامه‌ریزی آبیاری کمک کنند (Rani و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های اینترنت اشیا و شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم، تلاش‌هایی برای توسعه سیستم‌های آبیاری هوشمند و خودکار انجام شده است که می‌توانند آبیاری در مزارع را بدون دخالت انسان برنامه‌ریزی کنند. تعدادی از پژوهشگران تلاش کرده‌اند تا چنین سیستم‌های آبیاری خودکاری را با جمع‌آوری داده‌ها از انواع حس‌گرهای نصب شده در مزرعه توسعه دهند.

این سیستم‌ها به‌طور معمول از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی رطوبت خاک در روزهای آینده استفاده می‌کنند تا تصمیم‌گیری در مورد زمان‌بندی آبیاری از طریق یک

سیستم پشتیبانی تصمیم گرفته شود. پمپ آب برای آبیاری مزارع به طور خودکار بر اساس دستور سیستم پشتیبانی تصمیم برای مدت زمان لازم روشن یا خاموش می شود (Rani و همکاران، ۲۰۲۲).

نتیجه گیری

با توجه به محدودیت منابع آبی، بهینه سازی مصرف آب در بخش کشاورزی اهمیت زیادی دارد. استفاده از تکنیک های نوین آبیاری هوشمند نظیر کنترلرهای SMS، کنترلرهای ET، حسگرهای نوری، سامانه RS و استراتژی های کم آبیاری تاثیر زیادی در صرفه جویی در مصرف آب و حفظ عملکرد محصولات کشاورزی دارد. این سامانه ها به طور ویژه در کاهش بیش آبیاری موثر هستند و این امر از طریق اندازه گیری یا تخمین شاخص های مختلف نظیر SMC و CWSI انجام می شود. مطالعات موجود نشان می دهد که سیستم های آبیاری هوشمند، به ویژه کنترلرهای مبتنی بر داده های آب و هوا (ET) و حسگرهای SMS، در مقایسه با روش های آبیاری سنتی، قادر به صرفه جویی قابل توجهی در مصرف آب هستند. مهم ترین نتایج این پژوهش عبارتند از:

۱. بهره وری آبیاری با استفاده از سامانه های SMS به حد آستانه رطوبتی تنظیم شده توسط کشاورزان بستگی دارد. این سیستم ها می توانند در مقایسه با روش های سنتی مصرف آب را به میزان ۲۰٪ تا ۴۱/۵٪ کاهش دهند.
۲. کنترلرهای ET قادرند مصرف آب را در دامنه ای بین ۲۰٪ تا ۴۸٪ کاهش دهند، به ویژه دقت برآوردهای ET بر عملکرد این کنترلرها تاثیر زیادی دارد و می تواند به افزایش کارایی این سامانه ها کمک کند.
۳. روش های مبتنی بر حسگر باران در مقایسه با روش های آبیاری سنتی، بین ۷٪ تا ۵۰٪ صرفه جویی در مصرف آب را به همراه دارند. همچنین، سیستم های مبتنی بر حسگر نوری توانایی بیشتری در ارزیابی تغییرات میدانی محصولات و خاک نسبت به اندازه گیری های محلی دارند.
۴. استفاده از استراتژی های کم آبیاری مانند کم آبیاری تنظیم شده، به ویژه در مراحل خاص رشد گیاه، می تواند منجر به کاهش ۲۵٪ عملکرد محصول شود، اما همچنان باعث صرفه جویی ۱۳٪ در مصرف آب می شود.
۵. استفاده از این تکنیک ها برای محصولات مختلف کشاورزی، از جمله گوجه فرنگی و سیب زمینی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، نیاز به تحقیقات بیشتری

دارد تا بهره وری بیشتری حاصل شود.

۶. ارزیابی توجیه اقتصادی این روش های آبیاری همچنان ضروری است تا کشاورزان بتوانند بر اساس تحلیل هزینه و فایده، تصمیمات مناسبی برای پیاده سازی این سیستم ها در مزارع خود اتخاذ کنند.

در انتها پیشنهاد می شود که برای بهینه سازی مصرف آب و افزایش بهره وری محصولات کشاورزی، استفاده از سیستم های هوشمند مبتنی بر حسگرهای SMS، ET و حسگرهای نوری باید در مزارع به طور گسترده تر پیاده سازی شود. همچنین، تحقیقات بیشتر برای به کارگیری این فناوری ها در محصولات مختلف و ارزیابی دقیق تر تاثیرات اقتصادی آن ها توصیه می شود. توسعه و گسترش این فناوری ها، به ویژه در مناطق با منابع آبی محدود، می تواند به مدیریت پایدار منابع آب و ارتقای امنیت غذایی در سطح جهانی کمک شایانی نماید.

پی نوشت ها

1. Soil Moisture Sensor (SMS)
2. Evapotranspiration (ET) Controllers
3. Rain Sensors (RS)
4. Soil Moisture Content (SMC)
5. Unmanned Aerial Vehicles (UAV)
6. Crop Water Stress Index (CWSI)
7. Internet of Things (IOT)
8. Deficit Irrigation (DI)
9. Wind Speed Tracker
10. Camera Sensors
11. Light Dependent Resistor
12. Precision Irrigation
13. Optical Sensors (OS)
14. ZigBee wireless network technology
15. Reference evapotranspiration
16. Crop evapotranspiration
17. Crop coefficient
18. Crop Water Requirement
19. Root Zone Water Quality Model
20. Global System for Mobile Communications
21. Unmanned Aerial Vehicles
22. Machine Learning

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., Ishak, M. H. I., Abd Rahman, M. K. I., & Ramli, M. S. A. (2020). A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105441. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>
- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., AbdRahman, M. K. I., Otuoze, A. O., & Ijike, O. D. (2021). IoT-based monitoring and data-driven modelling of drip irrigation system for mustard leaf cultivation experiment. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 270-283. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.004>
- Ajith, G., Bharadwaj, C. N., Nag, T. S., & Gururaj, C. (2018). Uav aided irrigation using object detection through wireless communication technology. 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI).IEEE. Tirunelveli, India.
- Aldhaheri, L., Alshehhi, N., Manzil, I. I. J., Khalil, R. A., Javaid, S., Saeed, N., & Alouini, M. S. (2024). LoRa Communication for Agriculture 4.0: Opportunities, Challenges, and Future Directions. *IEEE Internet of Things Journal*, 12(2), 1380-1407. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3486369>
- Al-Ghobari, H. M., Mohammad, F. S., & El Marazky, M. S. (2016). Evaluating two irrigation controllers under subsurface drip irrigated tomato crop. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), e1206-e1206. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016144-8615>
- Ali, I., Greifeneder, F., Stamenkovic, J., Neumann, M., & Notarnicola, C. (2015). Review of machine learning approaches for biomass and soil moisture retrievals from remote sensing data. *Remote Sensing*, 7(12), 16398-16421. <https://doi.org/10.3390/rs71215841>
- Al-Naji, A., Fakhri, A. B., Gharghan, S. K., & Chahl, J. (2021). Soil color analysis based on a RGB camera and an artificial neural network towards smart irrigation: A pilot study. *Heliyon*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06078>
- Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., & Sethuram, J. (2019). Smart sensor for automatic drip irrigation system for paddy cultivation. *Computers & Electrical Engineering*, 73, 180-193. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2018.11.013>
- Barkunan, S. R., Bhanumathi, V., & Balakrishnan, V. (2020). Automatic irrigation system with rain fall detection in agricultural field. *Measurement*, 156, 107552. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107552>
- Bian, J., Zhang, Z., Chen, J., Chen, H., Cui, C., Li, X., & Fu, Q. (2019). Simplified evaluation of cotton water stress using high resolution unmanned aerial vehicle thermal imagery. *Remote Sensing*, 11(3), 267. <https://doi.org/10.3390/rs11030267>
- Bodkhe, U., Tanwar, S., Parekh, K., Khanpara, P., Tyagi, S., Kumar, N., & Alazab, M. (2020). Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. *Ieee Access*, 8, 79764-79800. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988579
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., & Goudos, S. K. (2022). Internet of things (IoT) and agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. *Internet of Things*, 18, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>
- Cardenas-Lailhacar, B., & Dukes, M. D. (2008). Expanding disk rain sensor performance and potential irrigation water savings. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(1), 67-73. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:1\(67\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:1(67))
- Condotta, I. C., Brown-Brandl, T. M., Pitla, S. K., Stinn, J. P., & Silva-Miranda, K. O. (2020). Evaluation of low-cost depth cameras for agricultural applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105394. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105394>
- Davis, S., Dukes, M. D., Vyapari, S., & Miller, G. L. (2007). Evaluation and demonstration of evapotranspiration-based irrigation controllers. In *World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat*. 1-18. Florida, USA. [https://doi.org/10.1061/40927\(243\)237](https://doi.org/10.1061/40927(243)237)
- Dobbs, N. A., Migliaccio, K. W., Dukes, M. D., Morgan, K. T., & Li, Y. C. (2013). Interactive irrigation tool for simulating smart irrigation technologies in lawn turf. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 139(9), 747-754. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000612](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000612)
- Dobbs, N. A., Migliaccio, K. W., Li, Y., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2014). Evaluating irrigation applied and nitrogen leached using different smart irrigation technologies on bahiagrass (*Paspalum notatum*). *Irrigation science*, 32, 193-203. <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0421-1>
- Dong, H., Dong, J., Sun, S., Bai, T., Zhao, D., Yin, Y., & Wang, Y. (2024). Crop water stress detection based on UAV remote sensing systems. *Agricultural Water Management*, 303, 109059. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109059>
- Gao, Z., Zhu, J., Huang, H., Yang, Y., & Tan, X. (2021). Ant colony optimization for UAV-based intelligent pesticide irrigation system. In *2021 IEEE 24th international conference on computer supported cooperative work*

- in design (CSCWD) (pp. 720-726). IEEE. Dalian, China.
<https://doi.org/10.1109/CSCWD49262.2021.9437825>
- Grabow, G. L., Ghali, I. E., Huffman, R. L., Miller, G. L., Bowman, D., & Vasanth, A. (2013). Water application efficiency and adequacy of ET-based and soil moisture-based irrigation controllers for turfgrass irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 139(2), 113-123.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000528](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000528)
 - Gu, Z., Qi, Z., Ma, L., & Yuan, S. (2017). Water stress based deficit irrigation scheduling using RZWQM2 model for maize in Colorado. In 2017 ASABE Annual International Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
 - Hare, D. K., Briggs, M. A., Rosenberry, D. O., Boutt, D. F., & Lane, J. W. (2015). A comparison of thermal infrared to fiber-optic distributed temperature sensing for evaluation of groundwater discharge to surface water. *Journal of Hydrology*, 530, 153-166.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.059>
 - Inayah, I., Agustirandi, B., Budiman, M., Djamal, M., & Faizal, A. (2025). Experimental design: Implementation of IoT-based drip irrigation to enhance the productivity of Cilembu sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation. *Results in Engineering*, 25, 103600.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103600>
 - Isaya, N., Kisekka, A., Migliaccio, K. W., Schaffer, B., Crane, J. H., & Dukes, M. D. (2009). Evaluation of evapotranspiration-based irrigation controllers in a tropical fruit orchard in southern Florida. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, June 21-24. 2009. Reno, Nevada.
<https://doi.org/10.13031/2013.26939>
 - Işık, M. F., Sönmez, Y., Yılmaz, C., Özdemir, V., & Yılmaz, E. N. (2017). Precision irrigation system (PIS) using sensor network technology integrated with IOS/Android application. *Applied Sciences*, 7(9), 891.
<https://doi.org/10.3390/app7090891>
 - Jia, X., Huang, Y., Wang, Y., & Sun, D. (2019). Research on water and fertilizer irrigation system of tea plantation. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(3), 1550147719840182.
<https://doi.org/10.1177/1550147719840182>
 - Juroszek, P., & Von Tiedemann, A. (2011). Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 60(1), 100-112.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x>
 - Khaliq, A., Comba, L., Biglia, A., Ricauda Aimonino, D., Chiaberge, M., & Gay, P. (2019). Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. *Remote Sensing*, 11(4), 436.
<https://doi.org/10.3390/rs11040436>
 - Kovalenko, Y., Tindjau, R., Madilao, L. L., & Castellarin, S. D. (2021). Regulated deficit irrigation strategies affect the terpene accumulation in Gewürztraminer (*Vitis vinifera* L.) grapes grown in the Okanagan Valley. *Food Chemistry*, 341, 128172.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128172>
 - Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., & Thong, P. H. (2020). Fuzzy logic based smart irrigation system using internet of things. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119902.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902>
 - Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A Comprehensive Review on Smart and Sustainable Agriculture Using IoT Technologies. *Smart Agricultural Technology*, 100487.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100487>
 - Lakhari, I. A., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., & Rakibuzzaman, M. (2024). A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints. *Agriculture*, 14(7), 1141.
<https://doi.org/10.3390/agriculture14071141>
 - Liao, R., Zhang, S., Zhang, X., Wang, M., Wu, H., & Zhangzhong, L. (2021). Development of smart irrigation systems based on real-time soil moisture data in a greenhouse: Proof of concept. *Agricultural Water Management*, 245, 106632.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106632>
 - Lloret, J., Sendra, S., Garcia, L., & Jimenez, J. M. (2021). A wireless sensor network deployment for soil moisture monitoring in precision agriculture. *Sensors*, 21(21), 7243.
<https://doi.org/10.3390/s21217243>
 - Marek, G. W., Evett, S., Marek, T. H., Porter, D., & Schwartz, R. C. (2023). Field evaluation of conventional and downhole TDR soil water sensors for irrigation scheduling in a clay loam soil. *Applied Engineering in Agriculture*, 39(5), 495-507.
<https://doi.org/10.13031/aea.15574>
 - McCready, M. S., Dukes, M. D., & Miller, G. L. (2009). Water conservation potential of smart irrigation controllers on St. Augustinegrass. *Agricultural water management*, 96(11), 1623-1632.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.007>
 - Munir, M. S., Bajwa, I. S., & Cheema, S. M. (2019). An intelligent and secure smart watering system using fuzzy logic and blockchain. *Computers & Electrical Engineering*, 77, 109-119.
<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.05.006>
 - Mwinuka, P. R., Mbilinyi, B. P., Mbungu, W. B., Mourice, S. K., Mahoo, H. F., & Schmitter, P. (2021). The feasibility of hand-held thermal and UAV-based multispec-

tral imaging for canopy water status assessment and yield prediction of irrigated African eggplant (*Solanum aethopicum* L). *Agricultural Water Management*, 245, 106584.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106584>

- Nasta, P., Schönbrodt-Stitt, S., Bogen, H., Kurtenbach, M., Ahmadian, N., Vereecken, H., & Romano, N. (2019). Integrating ground-based and remote sensing-based monitoring of near-surface soil moisture in a Mediterranean environment. In 2019 IEEE international workshop on metrology for agriculture and forestry (MetroAgriFor). 24-26 October. 2019. IEEE. Portici, Italy.
<https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909226>
- Obaideen, K., Yousef, B. A., AlMallahi, M. N., Tan, Y. C., Mahmoud, M., Jaber, H., & Ramadan, M. (2022). An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, 7, 100124.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>
- Ooi, S. K., Cooley, N., Mareels, I., Dunn, G., Dassanayake, K., & Saleem, K. (2010). Automation of on-farm irrigation: horticultural case study. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(26), 256-261.
<https://doi.org/10.3182/20101206-3-JP-3009.00045>
- Panigrahi, P., Raychaudhuri, S., Thakur, A. K., Nayak, A. K., Sahu, P., & Ambast, S. K. (2019). Automatic drip irrigation scheduling effects on yield and water productivity of banana. *Scientia Horticulturae*, 257, 108677.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108677> [Get rights and content](#)
- Potdar, R. P., Shirolkar, M. M., Verma, A. J., More, P. S., & Kulkarni, A. (2021). Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review. *Journal of plant nutrition*, 44(12), 1826-1839.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884702>
- Prakasam, C., Aravinth, R., Kanwar, V. S., & Nagarajan, B. (2021). Design and Development of Real-time landslide early warning system through low cost soil and rainfall sensors. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5649-5654.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.456>
- Qin, A., Ning, D., Liu, Z., & Duan, A. (2021). Analysis of the accuracy of an FDR sensor in soil moisture measurement under laboratory and field conditions. *Journal of Sensors*, 2021(1), 6665829.
<https://doi.org/10.1155/2021/6665829>
- Rani, A., Kumar, N., Kumar, J., & Sinha, N. K. (2022). *Machine learning for soil moisture assessment*. Academic Press. Amsterdam, Netherlands.
- Rasin, Z., Hamzah, H., & Aras, M. S. M. (2009). Application and evaluation of high power zigbee based wireless sensor network in water irrigation control monitoring system. In 2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications. 04-06 October. 2009. IEEE. Kuala Lumpur, Malaysia.
<https://doi.org/10.1109/ISIEA.2009.5356380>
- Rathore, V. S., Nathawat, N. S., Bhardwaj, S., Yadav, B. M., Kumar, M., Santra, P., & Yadav, O. P. (2021). Optimization of deficit irrigation and nitrogen fertilizer management for peanut production in an arid region. *Scientific reports*, 11(1), 5456.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-82968-w>
- Richa, A., Fizir, M., & Touil, S. (2021). Advanced monitoring of hydroponic solutions using ion-selective electrodes and the internet of things: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), 3445-3463.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2007.00373.x>
- Román-Raya, J., Ruiz-García, I., Escobedo, P., Palma, A. J., Guirado, D., & Carvajal, M. A. (2020). Light-dependent resistors as dosimetric sensors in radiotherapy. *Sensors*, 20(6), 1568.
<https://doi.org/10.3390/s20061568>
- Rutland, D. C., & Dukes, M. D. (2012). Performance of rain delay features on signal-based evapotranspiration irrigation controllers. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 138(11), 978-983.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000499](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000499)
- Saraf, S. B., & Gawali, D. H. (2017). IoT based smart irrigation monitoring and controlling system. In 2017 2nd IEEE international conference on recent trends in electronics, information & communication technology (RTEICT). 19-20 May. 2017. IEEE. Bangalore, India.
<https://doi.org/10.1109/RTEICT.2017.8256711>
- Seagraves, B., Trooien, T. P., Todey, D. P., Hay, C. H., Schleicher, L. C., & Persyn, R. A. (2010). Efficacy of Evapotranspiration-based Landscape Irrigation in Eastern South Dakota. In 5th National Decennial Irrigation Conference Proceedings. 5-8 December. 2010. Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona, USA.
- Simionesei, L., Ramos, T. B., Palma, J., Oliveira, A. R., & Neves, R. (2020). IrrigaSys: A web-based irrigation decision support system based on open source data and technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105822.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105822>
- Sudharshan, N., Karthik, A. K., Kiran, J. S., & Geetha, S. (2019). Renewable energy based smart irrigation system. *Procedia Computer Science*, 165, 615-623.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.01.055>
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73.
<https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>

- Tang, P., Liang, Q., Li, H., & Pang, Y. (2024). Application of Internet-of-Things Wireless Communication Technology in Agricultural Irrigation Management: A Review. *Sustainability*, 16(9), 3575.
<https://doi.org/10.3390/su16093575>
- Touil, S., Richa, A., Fizir, M., Argente García, J. E., & Skarmeta Gomez, A. F. (2022). A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield. *Irrigation and Drainage*, 71(5), 1396-1416.
<https://doi.org/10.1002/ird.2735>
- Wang, J., Wang, Y., Li, Z., Li, H., & Yang, H. (2020). A combined framework based on data preprocessing, neural networks and multi-tracker optimizer for wind speed prediction. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100757.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100757>
- Wang, Z., Wang, L., Huang, C., Zhang, Z., & Luo, X. (2021). Soil-moisture-sensor-based automated soil water content cycle classification with a hybrid symbolic aggregate approximation algorithm. *IEEE internet of things journal*, 8(18), 14003-14012.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3068379>
- Yang, C. Y., Yang, M. D., Tseng, W. C., Hsu, Y. C., Li, G. S., Lai, M. H., & Lu, H. Y. (2020). Assessment of rice developmental stage using time series UAV imagery for variable irrigation management. *Sensors*, 20(18), 5354.
<https://doi.org/10.3390/s20185354>
- Zeitoun, R., Vandergeest, M., Vasava, H. B., Machado, P. V. F., Jordan, S., Parkin, G., & Biswas, A. (2021). In-situ estimation of soil water retention curve in silt loam and loamy sand soils at different soil depths. *Sensors*, 21(2), 447.
<https://doi.org/10.3390/s21020447>
- Zhang, X., Zhang, J., Li, L., Zhang, Y., & Yang, G. (2017). Monitoring citrus soil moisture and nutrients using an IoT based system. *Sensors*, 17(3), 447.
<https://doi.org/10.3390/s17030447>

Article Type

Technical paper

فنی و ترویجی

نوع مقاله

Utilization of Machine Learning Methods: Estimating Daily Evapotranspiration of Reference Plant Using Neural Networks in Razavi Khorasan Province

Z. Shirmohammadi Aliakbarkhani 

Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

Email: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir

Received 30-01-2025

Revised 29-03-2025

Accepted 16-04-2025

Available Online 20-09-2025

بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشین: تخمین تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از شبکه‌های عصبی در استان خراسان رضوی

زهره شیرمحمدی علی اکبرخانی

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

رایانامه: shirmohammadi@tjamcaas.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۱/۰۹

تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۱/۲۷

تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

Evapotranspiration is one of the most important components in water and energy balance, and its accurate estimation is necessary for water resource management, irrigation scheduling, and environmental studies. In recent years, the application of machine learning (ML) techniques has provided a promising approach to improving ET prediction accuracy. In this study, two artificial neural network models, multilayer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF), were used to estimate reference crop ET at Mashhad, Sabzevar, and Torbat-e Jam stations in Razavi Khorasan province. Meteorological data, including temperature, relative humidity, wind speed, and sunshine hours, were collected and normalized from 1992 to 2023. The ET values calculated by the FAO Penman-Monteith method were used as target values for training the models. The results showed that the neural network models, especially MLP, could provide accurate estimates of ET and performed better than the Linacre and Hargreaves-Samani methods. Excluding wind speed at Torbat-e Jam and Mashhad stations resulted in a 5.1% decrease in the coefficient of determination (R^2), while at Sabzevar, this decrease was 11.3%. In contrast, excluding sunshine hours had a negligible impact on model accuracy. These findings emphasize the high potential of artificial neural networks in estimating ET in data-scarce conditions and can contribute to the optimal management of agricultural water resources in the studied region.

Keywords: Evapotranspiration, Machine Learning, Neural Networks, Modeling, Water Management.

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های بیلان آب و انرژی است که تخمین دقیق آن برای مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری و مطالعات محیط‌زیستی ضروری است. در سال‌های اخیر، استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین (ML) راهکار امیدوارکننده‌ای برای بهبود دقت پیش‌بینی تبخیر و تعرق ارائه کرده است. در این مطالعه، دو مدل شبکه عصبی مصنوعی، شامل پرسپترون چند لایه (MLP) و شبکه با پایه شعاعی (RBF)، برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت جام در استان خراسان رضوی به کار گرفته شدند. داده‌های هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی از سال ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ جمع‌آوری و پس از نرمال‌سازی برای آموزش مدل‌ها استفاده شدند. مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان داده‌های هدف جهت ارزیابی مدل‌ها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد این مدل‌ها، به‌ویژه MLP، عملکرد مطلوبی در تخمین تبخیر و تعرق داشته و دقت بالاتری نسبت به روش‌های لیناکر و هارگریوز-سامانی ارائه کردند. همچنین، حذف سرعت باد در ایستگاه‌های تربت جام و مشهد موجب کاهش ۵/۱ درصدی و در ایستگاه سبزوار باعث کاهش ۱۱/۳ درصدی ضریب تعیین (R^2) شد، در حالی که حذف ساعات آفتابی تأثیر ناچیزی بر دقت مدل داشت. این یافته‌ها بر پتانسیل بالای شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق در شرایط کمبود داده تأکید داشته و می‌توانند به مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی در منطقه مورد مطالعه کمک کنند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی، مدل‌سازی، مدیریت آب.

How to cite this article: Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. (2025). Utilization of Machine Learning Methods: Estimating Daily Evapotranspiration of Reference Plant Using Neural Networks in Razavi Khorasan Province. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 177-192. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2501-1402>

بنابراین، یک مدل که بتواند با استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی، مقدار تبخیر- تعرق را به صورت دقیق برآورد کند، بسیار مفید خواهد بود (احمدزاده قره گو و همکاران، ۱۳۸۹). در سال‌های اخیر، ظهور تکنیک‌های یادگیری ماشین (ML) یک راه امیدوار کننده برای افزایش دقت و قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌های تبخیر و تعرق ارائه کرده است. یادگیری ماشینی از الگوریتم‌های پیشرفته برای کشف الگوهای پیچیده در مجموعه داده‌های بزرگ استفاده می‌کند و درک دقیق‌تری از تعاملات پیچیده بین متغیرهای هواشناسی، ویژگی‌های پوشش گیاهی و فرآیندهای از دست دادن آب را ممکن می‌سازد. این مدل به عنوان رقیبی با عملکرد مطلوب‌تر نسبت به روش‌های فیزیک و تجربی عمل می‌کنند (Amani و Shafizadeh-Moghadam، ۲۰۲۳). از میان این مدل‌ها می‌توان به مدل جنگل تصادفی (RF)، (SVM) و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) اشاره کرد. تا به امروز، شبکه‌های عصبی مصنوعی با معماری‌های مختلف توسعه یافته‌اند و در حوزه‌های گوناگونی به کار می‌روند.

فرآیند یادگیری در شبکه‌های عصبی مصنوعی اغلب با معرفی چند وزن تصادفی شروع می‌شود و سپس این وزن‌ها بهینه‌سازی می‌شوند تا خطا در پیش‌بینی به حداقل برسد. یکی از رایج‌ترین انواع شبکه‌های عصبی، پرسپترون چند لایه است. معمولاً ANN از سه لایه تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پردازش، و لایه خروجی، که به توزیع داده‌های ورودی حساس نیست (ROSENBLATT، ۱۹۵۸). الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (ANN) یکی از روش‌های پرکاربرد ML است که دقت بالایی دارد و به راحتی می‌تواند حجم زیادی از داده را مدیریت نماید (Adnan و همکاران، ۲۰۱۹؛ Antonopoulos و Antonopoulos، ۲۰۱۷).

اولین مدل‌سازی تبخیر و تعرق با شبکه عصبی مصنوعی توسط Bruton و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است، نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در تخمین تبخیر روزانه تحت تبخیر در ایالات متحده آمریکا مناسب بوده است. Odhiambo و همکاران (۲۰۰۱)، Kumar و همکاران (۲۰۰۲، ۲۰۱۱) و Slavisa و همکاران (۲۰۰۳) نیز از همان داده‌های هواشناسی استفاده کردند و نشان دادند نتایج تخمین ET_0 با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سایر روش‌های مرسوم دقیق‌تر است. Kisi (۲۰۰۸) سه مدل مختلف شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه بهتر از روش‌های تجربی برای تخمین ET_0 است. Zanetti و همکاران

تبخیر و تعرق (ET) یک جزء کلیدی در چرخه هیدرولوژیکی و یک عامل اساسی در آبیاری، تخمین عملکرد محصول، جنگل‌داری و مدیریت محیط‌زیستی در نظر گرفته می‌شود که حدود ۵۰ درصد از تابش خالص را مصرف می‌کند و ۷۰ درصد از کل بارش را به جو برمی‌گرداند (Amani و Shafizadeh-Moghadam، ۲۰۲۳؛ Maroufpoor و همکاران، ۲۰۲۰). برآورد دقیق ET برای مدیریت مؤثر منابع آب درک فرآیندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی (Allen و همکاران، ۲۰۰۵)، شناسایی و کاهش خشک‌سالی کشاورزی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است (Anderson و همکاران، ۲۰۰۷؛ Teuling و همکاران، ۲۰۰۹). تخمین ET همچنین برای مطالعه رویدادهای آب و هوایی (به عنوان مثال خشک‌سالی) و درک روابط بین جو، هیدروسفر و سیستم‌های بیوسفر ضروری است (Orth و Destouni، ۲۰۱۸). تبخیر و تعرق می‌تواند به طور مستقیم توسط لایسیمتر با روش بیلان آب اندازه‌گیری شده و یا با استفاده از روش‌های تجربی تخمین زده شود.

به دلیل زمان‌بر بودن و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق امکان استفاده از روش لایسیمتر به طور گسترده وجود ندارد (صیادی و همکاران، ۱۳۸۸). طی سال‌های گذشته مدل‌های متعددی به صورت روابط ساده تجربی تا معادلات پیچیده علمی، بسته به در دسترس بودن داده‌های هواشناسی توسط دانشمندان به منظور تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) توسعه یافته و در حال استفاده است (Amiri و Pourghasemi، ۲۰۱۹؛ Shirmohammadi-Aliakbarkhani و همکاران، ۲۰۲۰). بسیاری از روش‌های تخمین تبخیر- تعرق اغلب از طریق واسنجی محلی به دست می‌آیند و اعتبار محدودی در مقیاس جهانی دارند.

همچنین، به دلیل مشکلات فنی و اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، ممکن است استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی مجهز برای جمع‌آوری و ثبت دقیق داده‌های هواشناسی مقدور نباشد و یا در بعضی ایستگاه‌ها تنها برخی از پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شود. در این صورت، تخمین دقیق تبخیر- تعرق با استفاده از داده‌های هواشناسی محدود، مشکل خواهد بود (احمدزاده قره گو و همکاران، ۱۳۸۹). از سویی دیگر، اثر متقابل پارامترهای هواشناسی مانند دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، تشعشع و برخی پارامترهای ناشناخته، باعث شده است که روابط ارائه شده برای تخمین تبخیر- تعرق به روابطی غیرخطی و پیچیده تبدیل شوند.

(۲۰۰۷)، Landaras و همکاران (۲۰۰۸)، Moghaddamnia و همکاران (۲۰۰۹) و Wang و همکاران (۲۰۱۱) نیز نتایج مشابهی از پژوهش‌های خود به دست آوردند. Rahimi Khoob (۲۰۰۸) و Diamantopoulou و همکاران (۲۰۱۱) شبکه عصبی مصنوعی را با روش‌های گریوز برای تخمین ET_0 مقایسه کردند. همچنین نتایج شبکه پرسپترون چندلایه برای تخمین ET_0 را با روش تست تبخیر مقایسه کردند. آن‌ها در پژوهش‌های خود تایید کردند شبکه پرسپترون چند لایه دقت بالایی برای تخمین ET_0 دارد. Dehbozorgi و Sepaskhah (۲۰۱۲)، Khoshhal و Mokarram (۲۰۱۲) و Laaboudi و همکاران (۲۰۱۲) از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده کردند و ET_0 را با استفاده از معادله پنمن-مونتیث به عنوان خروجی برای تخمین ET_0 تخمین زدند. نتایج آن‌ها عملکرد بالا و دقیق شبکه‌های عصبی مصنوعی را نشان داده است. Mohawesh (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی به دست آورد و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را برای سایر کاربردها، هیدرولوژی و برنامه‌ریزی مدیریت آب توصیه کرد. Traore و همکاران (۲۰۱۰) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را در مقابل روش‌های گریوز سامانی در منطقه سودانو-ساحلی بورکینافاسو بررسی کردند. نتایج نشان داد در مقایسه با روش پنمن مانتیث، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مبتنی بر دما بهتر از هارگریوز سامانی عمل می‌کنند. Feng و همکاران (۲۰۱۶) در مناطق گرم و مرطوب جنوب غربی چین عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را در تخمین تبخیر و تعرق ارزیابی کردند، نتایج آن‌ها نشان داد شبکه‌های عصبی پس انتشار بهینه شده توسط الگوریتم ژنتیک مبتنی بر دما، عملکرد بهتری نسبت به روش‌های هارگریوز سامانی و روش شبکه عصبی مبتنی بر تابش عملکرد بهتری از روش ماکیناک و پرستلی تیلور از خود نشان دادند Antonopoulos (۲۰۱۷) تبخیر تعرق روزانه را در شمال یونان با مدل‌های تجربی و مدل‌های شبکه عصبی ارزیابی کردند نتایج نشان داد شبکه‌های عصبی تبخیر تعرق را با دقت قابل قبولی در این ناحیه تخمین زدند.

Jang و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تبخیر و تعرق روزانه داده‌های مادیس با شبکه عصبی مصنوعی نشان دادند در مقایسه با تبخیر و تعرق پتانسیل روش پنمن مانتیث، مدل شبکه عصبی مصنوعی تخمین‌های دقیق‌تری نسبت به داده‌های MODIS به دست آورد. Liu و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند مدل ترکیبی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی بهتر از مدل‌های RF و SVM با دقت بالاتر و کاربردهای گسترده‌تر عمل می‌کند Abrishami و همکاران (۲۰۱۹) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی را در

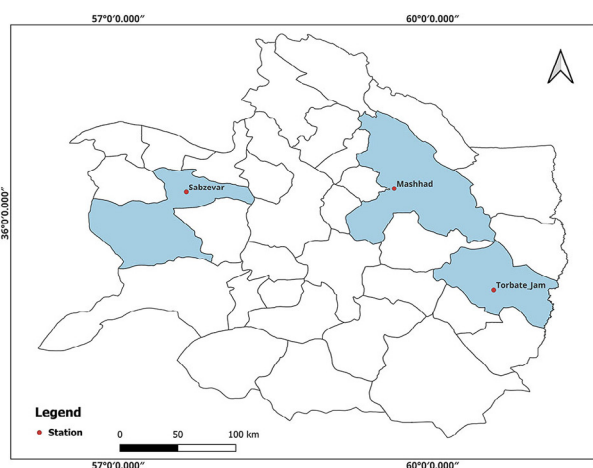
تخمین تبخیر و تعرق گندم و ذرت در شیراز بررسی کردند و نتایج نشان داد عملکرد مناسب شبکه‌های عصبی در تخمین تبخیر تعرق روزانه گندم و ذرت بود.

Ghahreman و Sameti (۲۰۱۴) در کرمان و زاهدان عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی M5 را بر تخمین تبخیر تعرق ارزیابی کردند و بیان کردند در مقایسه با شبکه عصبی عملکرد مدل درختی M5 در تخمین تبخیر و تعرق در این نواحی بهتر بود. باتوجه به بررسی پژوهش‌های انجام شده تاکنون در استان خراسان رضوی در این مورد پژوهشی صورت نگرفته است.

این پژوهش با استفاده از شبکه‌های عصبی، زیرمجموعه‌ای از مدل‌های یادگیری ماشین، کاوش روش‌های مبتنی بر داده برای تخمین تبخیر و تعرق را گسترش می‌دهد. شبکه‌های عصبی موفقیت قابل توجهی را در حوزه‌های مختلف نشان دادند و توانایی خود را در گرفتن روابط غیرخطی و سازگاری با مجموعه داده‌های متنوع نشان دادند. هدف از این مطالعه استفاده از شبکه‌های عصبی برای بهبود تخمین تبخیر و تعرق، ارائه یک جایگزین دقیق‌تر و انعطاف‌پذیرتر برای روش‌های سنتی در سه ایستگاه واقع در استان خراسان رضوی است.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی در شمالی شرقی ایران و در طول جغرافیایی 33° – 38° و در عرض جغرافیایی 56° – 62° شرقی و شمالی با مساحت 117200 کیلومتر مربع گسترش یافته است. متوسط سالانه بارندگی در این استان 250 میلی‌متر گزارش شده است. این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در سه ایستگاه سینوپتیک تربت جام، مشهد و سبزوار



شکل ۱- نقشه توزیع مکانی ایستگاه‌های همدید در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری مورد استفاده در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سال‌های آماری
تربت‌جام	۶۰°۳۵'	۳۵°۱۶'	۹۵۰/۴	۱۳۷۱-۱۴۰۲
سبزوار	۵۷°۳۹'	۳۶°۱۲'	۹۶۲	۱۳۷۱-۱۴۰۲
مشهد	۵۹°۳۸'	۳۶°۱۴'	۹۹۹/۲	۱۳۷۱-۱۴۰۲

■ روش لیناکر

Linacre (۱۹۷۷) معادله‌ای بر اساس دمای هوا و نقطه شبنم برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت زیر ارائه داد.

$$ET_{LIN} = \frac{\frac{500 \times (T + 0.006 \times A)}{100 - \phi} + 15 \times (T - T_d)}{80 - T} \quad (2)$$

که در آن ET_{LIN} تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش لیناکر برحسب میلی‌متر در روز، A ارتفاع ایستگاه برحسب متر، ϕ عرض جغرافیایی ایستگاه برحسب درجه، T متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع دو متری برحسب درجه سانتی‌گراد و T_d دمای نقطه شبنم برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به دلیل اینکه اندازه‌گیری داده‌های نقطه شبنم در ایستگاه‌ها به صورت مستقیم صورت نمی‌گیرد در روش لیناکر برای محاسبه نقطه شبنم از داده‌های حداقل و حداکثر رطوبت نسبی و حداقل و حداکثر درجه حرارت استفاده می‌شود. در انتخاب داده‌های ورودی به مدل از این مقادیر استفاده شد.

■ روش هارگریوز-سامانی

Hargreaves و Samani (۱۹۸۵) معادلات متعددی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه نمودند. یکی از این معادلات که در این پژوهش استفاده شد به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_{HS} = 0.0023(T_{max} - T_{min})^{0.5} (T + 17.8) \frac{R_a}{\lambda} \quad (3)$$

که در آن ET_{HS} تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش هارگریوز-سامانی برحسب میلی‌متر در روز R_a تابش فرازمینی برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز که از روش Allen و همکاران (۲۰۰۵) به دست می‌آید. T_{min} و T_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر درجه حرارت برحسب درجه سانتی‌گراد، T متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع دو متری برحسب درجه سانتی‌گراد، λ گرمای نهان تبخیر برحسب مگا ژول بر کیلوگرم می‌باشد.

واقع در این استان در دوره آماری ۱۳۷۱-۱۴۰۲ به صورت روزانه انجام شد (شکل ۱). مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) آورده شده است. داده‌های دریافتی از ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه شامل حداقل، حداکثر و متوسط درجه حرارت، حداقل، حداکثر و متوسط رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی می‌باشد.

روش محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع

■ روش فائو پنمن مانیتث

ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی با روش پنمن مانیتث فائو تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت روزانه محاسبه شد.

$$PET_{PM} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

که در آن PET_{PM} تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانیتث برحسب میلی‌متر در روز، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع آب نسبت به دما برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، R_n تابش خالص ورودی برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، G شار گرمای خاک برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری برحسب درجه سانتی‌گراد، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری برحسب متر بر ثانیه، e_s و e_a به ترتیب فشار بخار اشباع و واقعی هوا برحسب کیلو پاسکال، γ ثابت سایکرومتری برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

با توجه به اینکه در تحقیقات گذشته Shirmohammadi-Aliakbarkhani و همکاران (۲۰۲۰) در ایستگاه تربت جام بهترین روش برای محاسبه تبخیر و تعرق روزانه روش لیناکر و در دو ایستگاه مشهد و سبزوار روش هارگریوز سامانی به دست آمد در این پژوهش این روش‌ها هم در کنار مدل‌های یادگیری ماشین در این دوره آماری بررسی شدند.

تصحیح داده‌ها و نرمال‌سازی

ابتدا داده‌های ورودی بررسی شد و داده‌های گمشده با استفاده از میانگین دو داده قبل و بعد از آن‌ها تصحیح شد پس از آن به منظور ایجاد یک شبکه عصبی مصنوعی، ابتدا باید داده‌ها را نرمال‌سازی کرد. هدف این مرحله، تطبیق داده‌های ورودی با محدوده دینامیکی توابع فعال‌سازی شبکه عصبی است به طوری که در این پژوهش از تابع مماس هذلولی در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی استفاده شد. همان طور که Bishop (۱۹۹۶) بیان کرده است، نرمال‌سازی داده‌های ورودی ضروری است، زیرا اگر داده‌ها در مقیاس‌های متفاوت باشند، شبکه قادر نخواهد بود به درستی الگوها و روابط میان آن‌ها را بیاموزد. فرآیند نرمال‌سازی داده‌ها بر اساس معادله (۴) انجام می‌شود:

$$x^* = \frac{x_0}{\bar{x} + n_s s} \quad (4)$$

که در آن x^* متغیر نرمال شده، x_0 متغیر اصلی، $\bar{x}$ میانگین به دست آمده از نمونه‌ها برای تشکیل مجموعه آموزشی، s انحراف استاندارد متغیرهای اصلی از مجموعه آموزشی، n_s تعداد انحرافات استاندارد است که باید در نظر گرفته شود.

مدل‌های یادگیری ماشین

• مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)

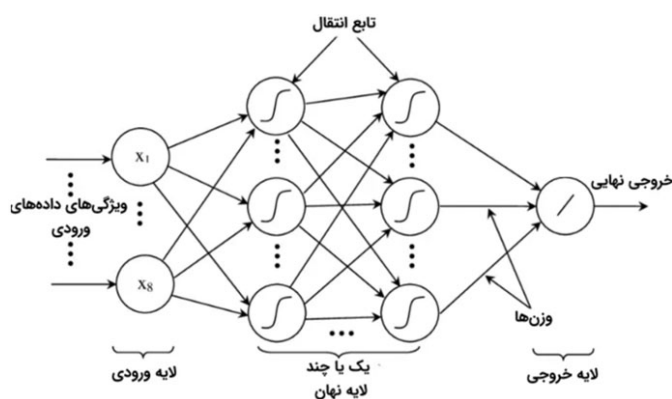
یک مدل شبکه عصبی مصنوعی پیشخور است که مجموعه داده‌های ورودی را به مجموعه‌ای از خروجی‌های متناسب نگاشت می‌دهد. شبکه‌های چند لایه پیشخور یکی از ساختارهای حیاتی در شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند. این شبکه‌ها معمولاً شامل یک مجموعه از واحدهای حسی (نورون‌های پایه) هستند که تشکیل دهنده لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌شوند. سیگنال ورودی در طول شبکه و در مسیر جلو به صورت لایه به لایه منتقل می‌شود. این نوع شبکه به عنوان پرسپترون چند لایه (MLP) نیز شناخته می‌شود. شکل (۲) تصویر شماتیک این نوع شبکه عصبی را نمایش می‌دهد. انتخاب معماری شبکه عصبی MLP با دو لایه پنهان (۵۰ و ۱۰۰ نورون) بر اساس مطالعات پیشین و تنظیمات بهینه انجام شد. پژوهش‌ها نشان دادند که شبکه‌های دارای دو لایه پنهان عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های تک لایه‌ای دارند و می‌توانند روابط غیرخطی پیچیده را بهتر مدل‌سازی کنند (Laaboudi و همکاران، ۲۰۱۲). انتخاب

تعداد ۱۰۰ و ۵۰ نورون بر اساس اصول طراحی شبکه‌های عصبی انجام شد، به طوری که لایه اول ویژگی‌های پیچیده‌تر را استخراج کرده و لایه دوم آن‌ها را بهینه‌سازی می‌کند (Marquina-Araujo و همکاران، ۲۰۲۴). بررسی ترکیب‌های مختلف نشان داد افزایش تعداد لایه‌ها یا نورون‌ها باعث پیچیدگی محاسباتی و بیش‌برازش می‌شود، در حالی که مدل‌های ساده‌تر دقت کمتری دارند. بنابراین، این معماری بهترین تعادل را بین دقت، پیچیدگی محاسباتی و جلوگیری از بیش‌برازش برقرار کرده و در این پژوهش استفاده شد.

• مدل شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی (RBF)

یک شبکه تابع شعاعی، یک شبکه عصبی مصنوعی است که از توابع پایه شعاعی به عنوان توابع فعال‌ساز استفاده می‌کند. شبکه توابع پایه شعاعی، در حالت ساده‌تر خود، از سه لایه مجزا تشکیل شده است. لایه اول، لایه ورودی است که از مجموعه‌ای از گره‌های ابتدایی یا واحدهای حسی تشکیل شده است. لایه دوم، لایه‌های پنهان با ابعاد بالا هستند و لایه سوم، لایه خروجی است که پاسخ شبکه را بر اساس الگوهای فعال‌سازی ارائه شده در لایه ورودی تولید می‌کند. تبدیل فضای ورودی به فضای واحد پنهان، یک رابطه غیرخطی دارد. به عبارت دیگر، این تبدیل خصوصیت‌های غیرخطی دارد که اطلاعات را به صورت غیرخطی در فضای پنهان نمایش می‌دهد. در مقابل، تبدیل فضای پنهان به فضای خروجی، یک رابطه خطی دارد. این به آن معنا است که خروجی شبکه به صورت خطی از ویژگی‌های نهان در فضای پنهان ترکیب می‌شود تا خروجی نهایی ایجاد شود. شکل (۳) تصویر شماتیک این نوع شبکه عصبی را نمایش می‌دهد.

در این پژوهش، برای پیاده‌سازی شبکه‌های عصبی از کتابخانه‌های معروف یادگیری ماشین و پردازش داده در پایتون مانند Scikit-learn استفاده شده است. کد پیاده‌سازی مدل



شکل ۲- تصویر شماتیک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

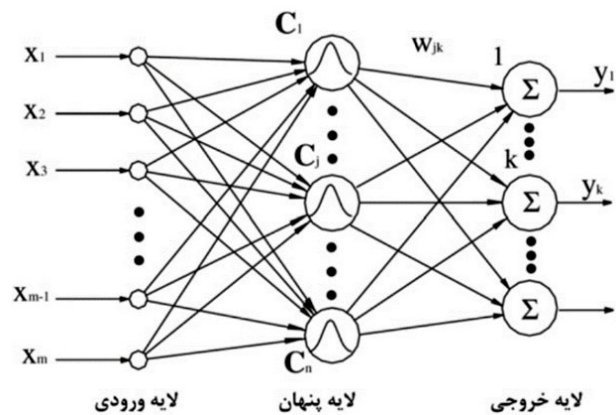
• تا ۰/۲ بوده و ضریب نکویی برازش بین ۰/۸ و ۱ قرار گیرد (Lang و همکاران، ۲۰۱۷). برای محاسبه مقادیر این پارامترها از برنامه‌نویسی پایتون در محیط گوگل کولب استفاده شد.

نتایج و بحث

در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع با روش پنمن مانتیت و روش لیناکر در ایستگاه تربت جام و روش‌هاگريوز سامانی در ایستگاه‌های سبزواری و مشهد در مقیاس روزانه محاسبه شد. سپس نمودار جعبه‌ای پارامترهای هواشناسی در طول دوره آماری برای تعیین وجود داده‌های پرت ترسیم شد (شکل‌های ۴ تا ۶).

از نمودار جعبه‌ای می‌توان به چگونگی توزیع پارامترهای هواشناسی پی برد. همان‌طور که در نمودارهای جعبه‌ای نشان داده شده است داده‌های درجه حرارت حداقل، رطوبت نسبی حداقل و سرعت باد دارای داده‌های پرت می‌باشند که پس از حذف داده‌های پرت، پارامترهای هواشناسی برای استفاده در مدل‌های شبکه عصبی نرمال‌سازی شد.

همچنین با استفاده از داده‌های هواشناسی به روش لیناکر و روش‌هاگريوز سامانی نیز تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شد. سپس با استفاده از کتابخانه‌های موجود در نرم‌افزار پایتون و معرفی ۱۴ ساختار از پارامترهای مؤثر بر تبخیر تعرق، شبکه‌های متعددی با ورودی‌های متفاوت برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع تعریف شد.



شکل ۳- تصویر شماتیک شبکه عصبی با پایه شعاعی

در محیط گوگل کولب اجرا شده است، که امکان استفاده از شتاب‌دهنده‌های سخت‌افزاری (GPU) را برای بهبود سرعت آموزش فراهم می‌کند.

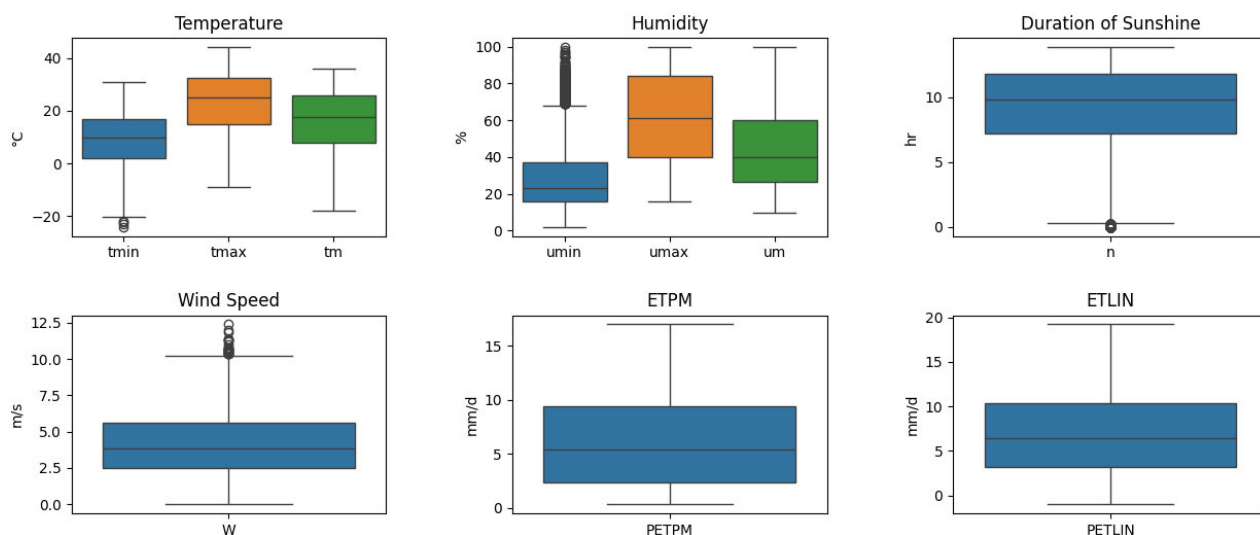
آنالیزهای آماری

برای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل شبکه عصبی برای تخمین تبخیر و تعرق از شاخص‌های آماری ضریب نکویی برازش (R^2), میانگین خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (جدول ۲). بهترین تطابق آماری بین مقادیر مدل و مقادیر مشاهداتی زمانی می‌باشد که محدوده قابل قبول خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده بین

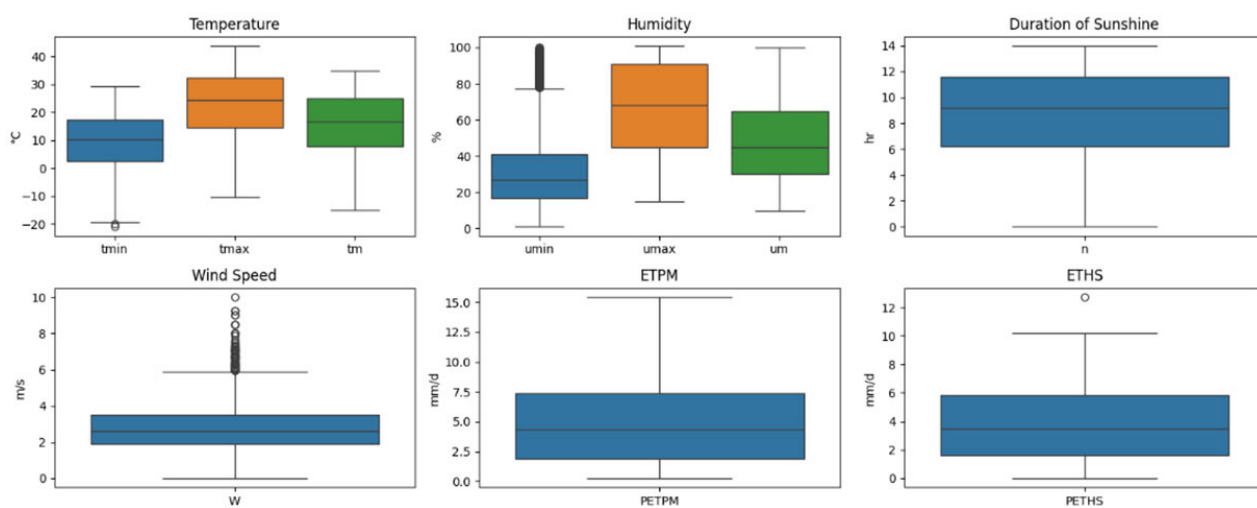
جدول ۲- شاخص‌های آماری به منظور ارزیابی تبخیر تعرق تخمینی با کمک مدل‌های یادگیری ماشین

مقدار مطلوب	معادله	شاخص‌های آماری
۱	$R^2 = \left(\frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (ETm_n - \overline{ETm})(ETPM_n - \overline{ETPM})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (ETm_n - \overline{ETm})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (ETPM_n - \overline{ETPM})^2}} \right)^2$	ضریب نکویی برازش (R^2)
•	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (ETm_n - ETPM_n)^2}$	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)
•	$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N ETm_n - ETPM_n $	میانگین خطای مطلق (MAE)

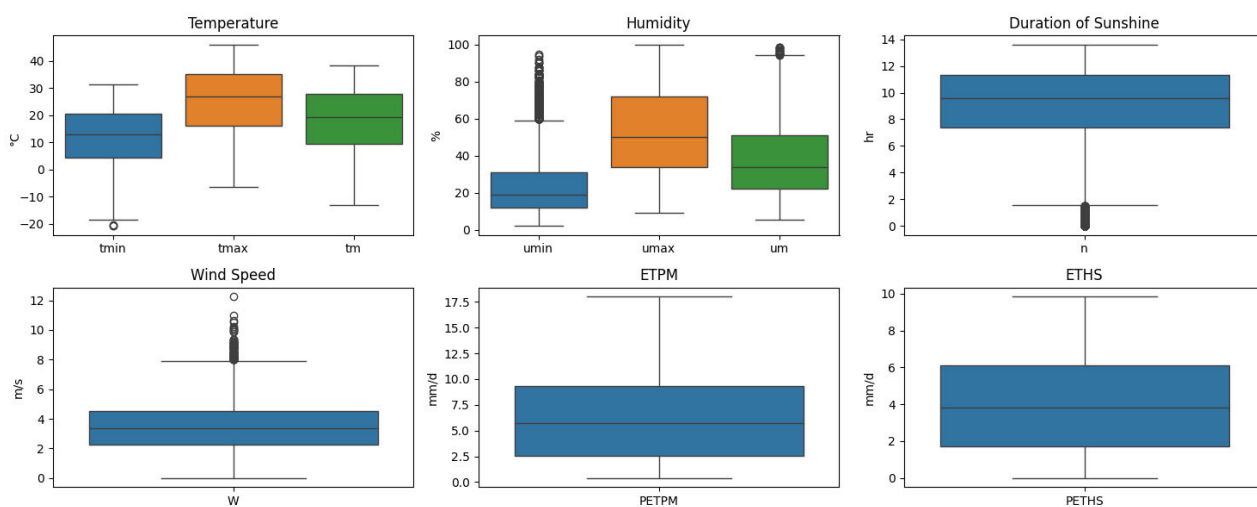
که در آن n تعداد داده‌ها، مقادیر $ETPM_n$ مقدار تبخیر و تعرق به روش استاندارد پنمن مانتیت فائو ETm_n مقادیر تخمینی تبخیر و تعرق با استفاده از مدل



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای پارامترهای آماری در ایستگاه تربت جام



شکل ۵- نمودار جعبه‌ای پارامترهای آماری در ایستگاه مشهد



شکل ۶- نمودار جعبه‌ای پارامترهای آماری در ایستگاه سبزوار

جدول ۳- ساختار داده‌های ورودی به شبکه عصبی

مدل	پارامتر ورودی
NN1	درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی، سرعت باد
NN2	درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد
NN3	درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی
NN4	درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر
NN5	درجه حرارت حداقل و حداکثر
NN6	رطوبت نسبی حداقل و حداکثر
NN7	درجه حرارت متوسط، رطوبت نسبی متوسط
NN8	درجه حرارت حداقل و رطوبت نسبی حداقل
NN9	درجه حرارت حداقل و رطوبت نسبی حداکثر
NN10	درجه حرارت حداکثر و رطوبت نسبی حداکثر
NN11	درجه حرارت حداکثر و رطوبت نسبی حداقل
NN12	درجه حرارت متوسط
NN13	سرعت باد
NN14	ساعات آفتابی
NN15	تبخیر و تعرق لیناگر برای شهرستان تربت جام و روش‌ها رگريوز سامانی برای مشهد و سبزوار

مقایسه مقدار $0/85$ به دست آمد. ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق به ترتیب برابر با $1/5$ و $1/1$ میلی‌متر در روز به دست آمد. ضریب نکویی برازش در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در دامنه مطلوب می‌باشد.

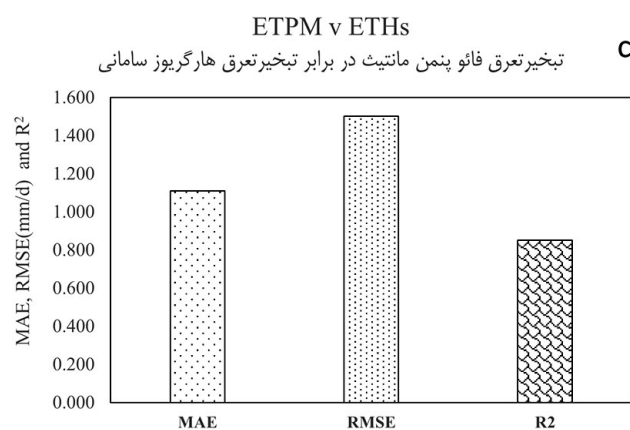
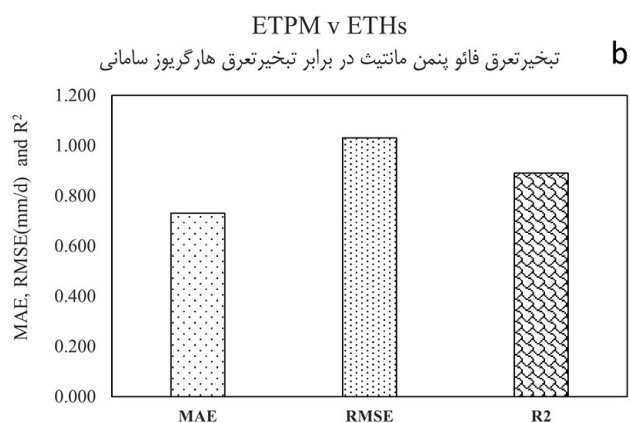
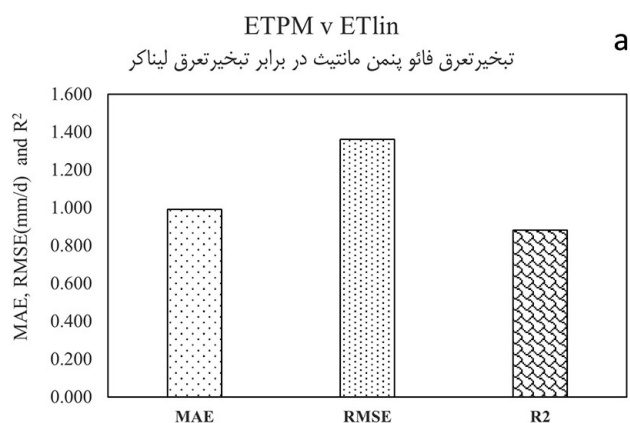
در شکل (۸) نمودار پراکندگی تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن مانیتث فائو در برابر تبخیر و تعرق تخمینی روش لیناگر و هارگریوز سامانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است. بررسی داده‌ها در این نمودار نشان‌دهنده یک رابطه مثبت و خطی بین این دو متغیر در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده این است که روش لیناگر تبخیر تعرق را در ایستگاه تربت جام بیش برآورد می‌کند. در ایستگاه مشهد بسیاری از نقاط در نزدیکی خط روند قرار دارند، که نشان‌دهنده این است که مدل خطی تقریباً می‌تواند پیش‌بینی دقیقی از پنمن مانیتث فائو بر اساس روش‌ها رگريوز سامانی ارائه دهد. در ایستگاه سبزوار نیز روش‌ها رگريوز سامانی تبخیر و تعرق را بیش برآورد می‌نماید.

جدول (۳) پارامترهای مورد نظر در هر ساختار را نشان می‌دهد. سپس بر اساس داده‌های ورودی دو مدل شبکه عصبی بر روی داده‌های مورد نظر اجرا شد.

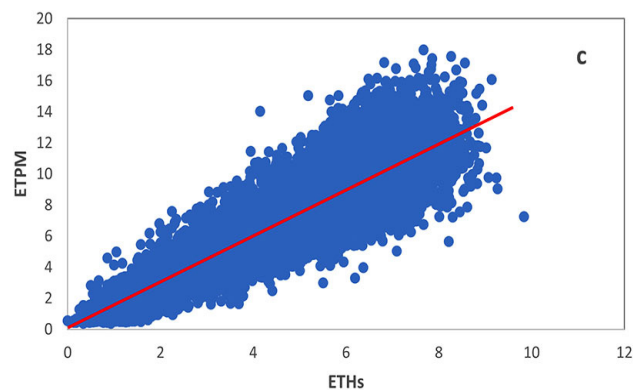
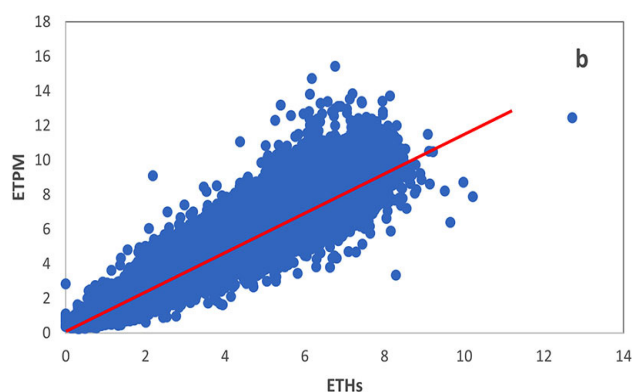
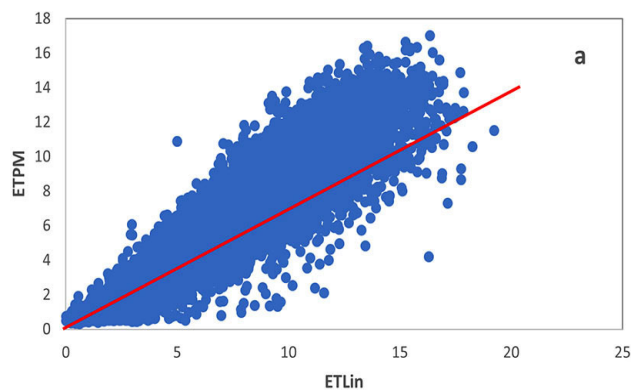
مقایسه تبخیر و تعرق روش لیناگر با تبخیر و تعرق

پنمن مانیتث فائو

نتایج آنالیز آماری مقایسه تبخیر و تعرق به روش پنمن مانیتث فائو با روش لیناگر و هارگریوز سامانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۷) آورده شده است. در ایستگاه تربت جام ضریب نکویی برازش در این مقایسه مقدار $0/88$ به دست آمد. ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق به ترتیب برابر با $1/36$ و $0/99$ میلی‌متر در روز به دست آمد. در ایستگاه مشهد ضریب نکویی برازش در این مقایسه مقدار $0/89$ به دست آمد. ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق به ترتیب برابر با $1/3$ و $0/73$ میلی‌متر در روز به دست آمد. در ایستگاه سبزوار ضریب نکویی برازش در این



شکل ۷- مقادیر ضریب نکویی برازش (R^2)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو پنمن مانیت و روش های تجربی در شهرستان تربت جام (a)، مشهد (b)، سبزوار (c)



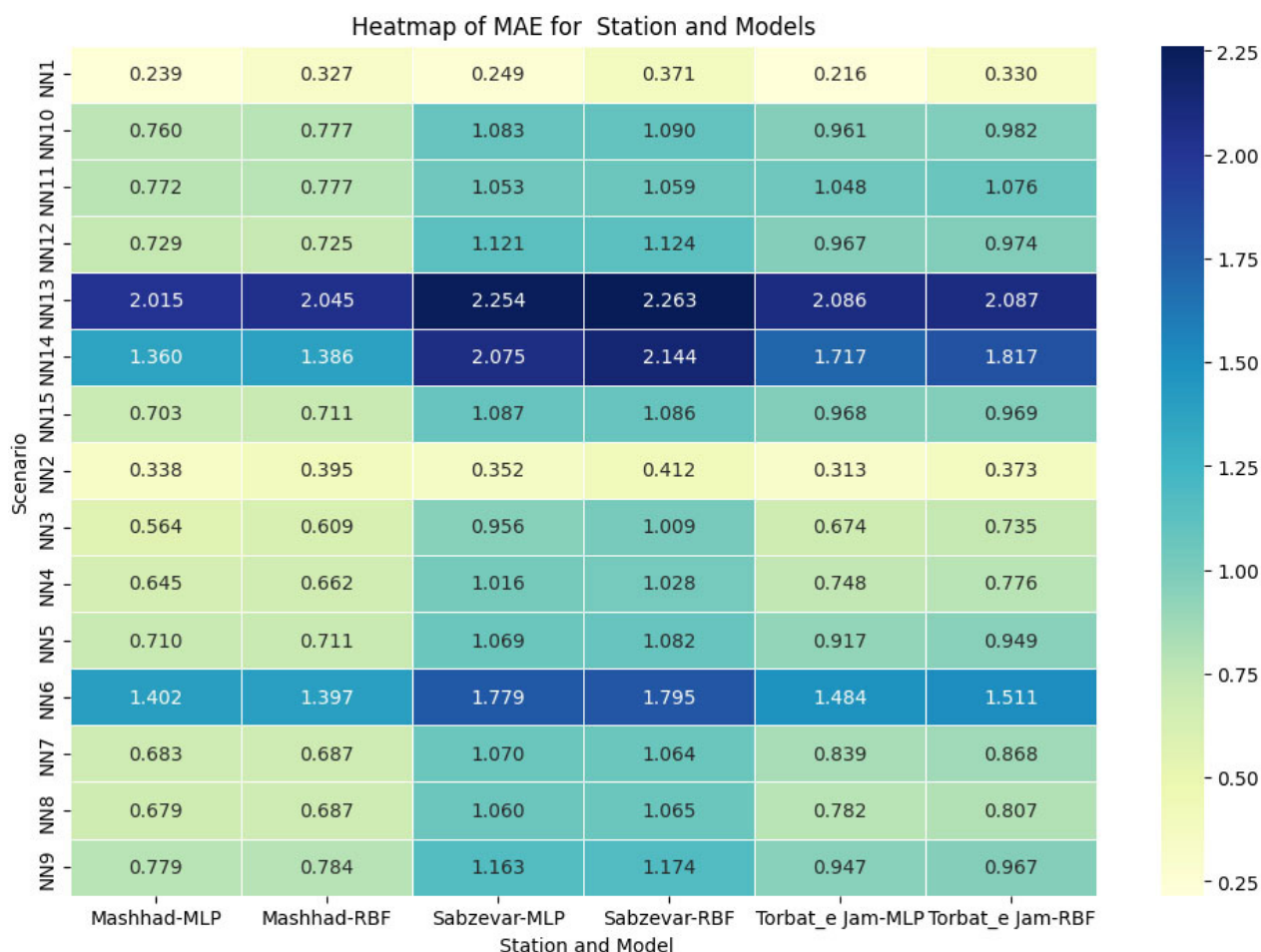
شکل ۸- نمودار پراکندگی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (واقعی) در برابر تبخیر و تعرق تخمینی به روش های تجربی در شهرستان تربت جام (a)، مشهد (b)، سبزوار (c)

به ترتیب به میزان $0/310$ ، $0/336$ و $0/288$ در مدل MLP و در سناریو NN1 و بیشترین آن به ترتیب به میزان $2/444$ ، $2/776$ و $2/688$ در سناریوی NN13 حاصل شد. در برخی از سناریوها مدل RBF با تفاوت ناچیز نسبت به مدل MLP دقت بالاتری داشت. در کل نتایج نشان داد در هر سه منطقه مورد مطالعه، مدل MLP نسبتاً دقت بالاتری دارد.

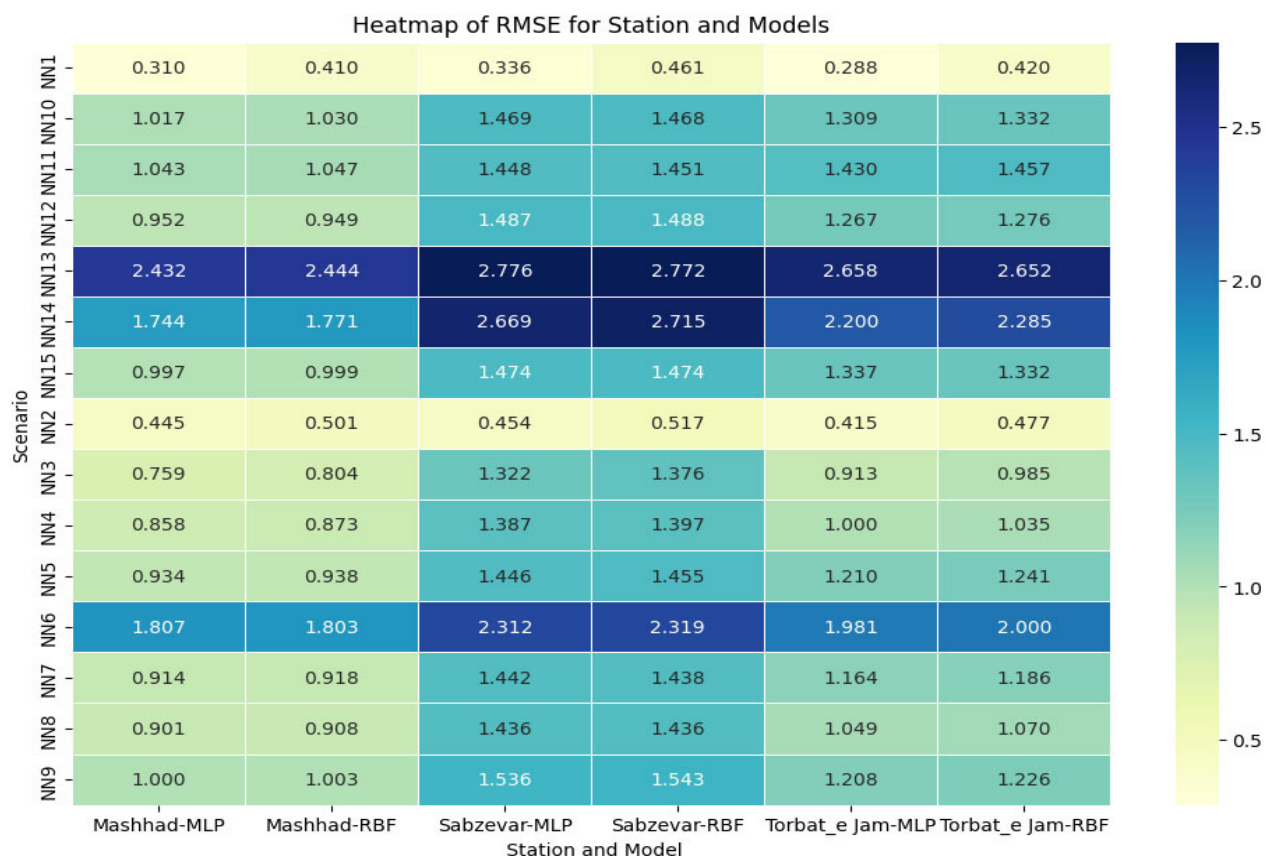
نمودار ضریب نکویی برآزش در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱۱) آورده شده است. در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌جام بالاترین مقدار این ضریب به ترتیب به میزان $0/99$ ، $0/992$ و $0/994$ در مدل MLP و در سناریو NN1 و کمترین مقدار آن به ترتیب به میزان $0/369$ ، $0/474$ و $0/521$ در سناریوی NN13 حاصل شد. در برخی از سناریوها مدل RBF با تفاوت ناچیز نسبت به مدل MLP دقت بالاتری داشت. در کل نتایج نشان داد در هر سه منطقه مورد مطالعه، مدل MLP نسبتاً دقت بالاتری دارد.

نمودار مقادیر میانگین خطای مطلق در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۹) آورده شده است. در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌جام کمترین میزان میانگین خطای مطلق به ترتیب به میزان $0/239$ ، $0/249$ و $0/216$ در مدل MLP و در سناریو NN1 و بیشترین آن به ترتیب به میزان $2/015$ ، $2/045$ و $2/263$ در مدل RBF و سناریوی NN13 حاصل شد. نتایج نشان داد در هر سه منطقه مورد مطالعه، مدل MLP دقت بالاتری دارد.

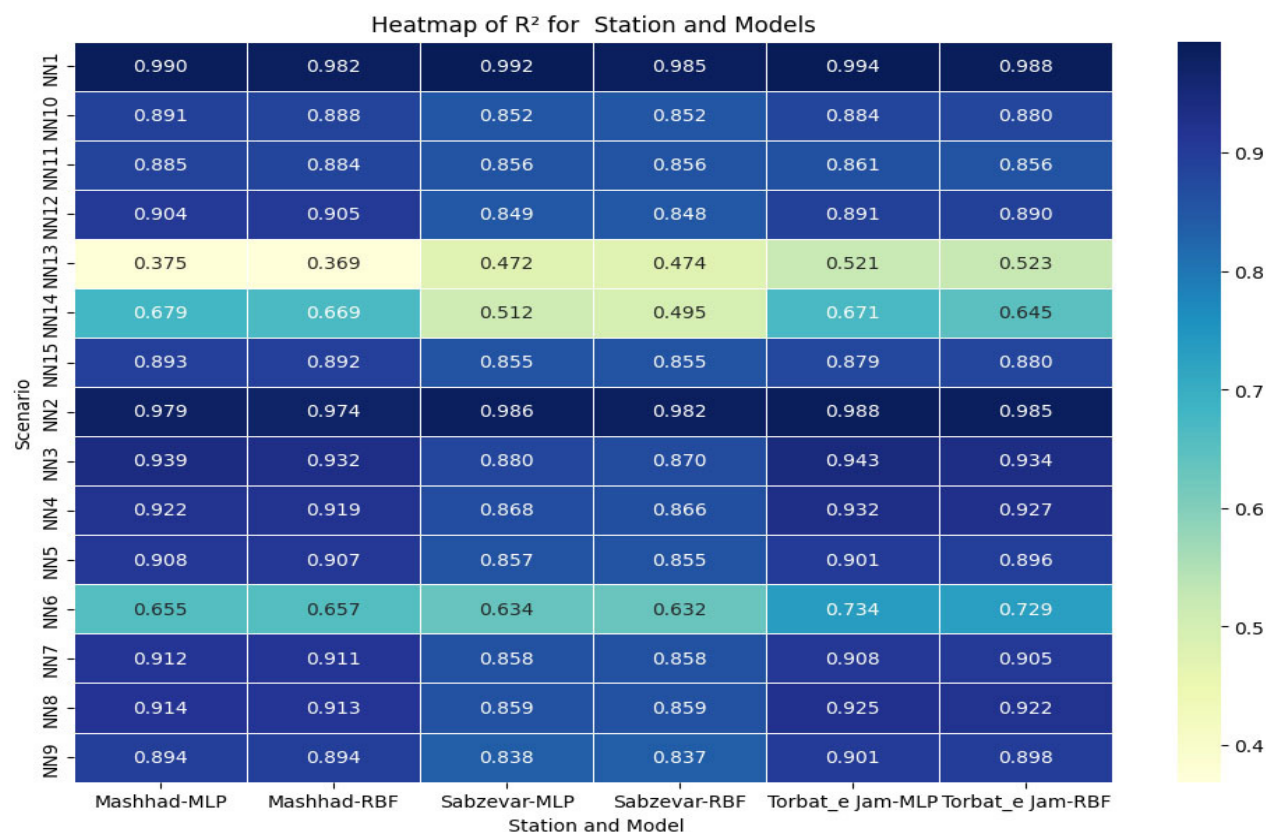
نمودار مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱۰) آورده شده است. در ایستگاه‌های مشهد، سبزوار و تربت‌جام کمترین میزان ریشه میانگین مربعات خطا



شکل ۹- نمودار Heatmap مقادیر میانگین خطای مطلق در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۰- نمودار Heatmap مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۱- نمودار Heatmap مقادیر ضریب نکویی برازش در تخمین تبخیر و تعرق مدل‌ها در سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه

سپس با توجه به آنالیزهای آماری ساختارهای ورودی به مدل‌های شبکه عصبی در مناطق مورد مطالعه رتبه‌بندی شد (جدول ۴).

با بررسی آنالیزهای آماری مشخص شد که روش‌های یادگیری ماشین مبتنی بر شبکه‌های عصبی به‌خوبی توانسته‌اند تبخیر تعرق گیاه مرجع را در این مناطق تخمین بزنند. بالاترین دقت در برآورد تبخیر و تعرق با روش‌های شبکه عصبی زمانی حاصل شد که از پارامترهای درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی، سرعت باد به‌عنوان ورودی به این مدل‌ها استفاده شد (NN۱).

سپس به ترتیب ورودی‌ها به مدل کاهش یافت و با ورودی‌های کمتر مدل‌ها اجرا شدند نتایج نشان داد زمانی که ورودی سرعت باد در مدل حذف می‌شود (NN۳) از مدلی که ساعات آفتابی حذف شده (NN۲) مدل در برآورد تبخیر و تعرق دارای دقت کمتری می‌باشد. افزایش سرعت باد به مدل در ایستگاه تربت جام باعث افزایش ۵/۱ درصد، در ایستگاه مشهد ۵/۱۵ درصد و در ایستگاه سبزوار ۱۱/۳ درصد در ضریب نکویی برآزش شد؛ اما حذف ساعات آفتابی در ایستگاه تربت جام و سبزوار تنها باعث کاهش ۰/۶۰ درصدی و در ایستگاه مشهد باعث کاهش ۱/۱ درصدی در ضریب تعیین گردید.

در ساختار NN۴ که تنها پارامترهای درجه حرارت و رطوبت نسبی وارد مدل شدند هر دو مدل شبکه عصبی در ایستگاه تربت جام با ضرایب نکویی برآزش (۰/۹۳۲ و ۰/۹۲۷) برآورد دقیق‌تری از تبخیر و تعرق نسبت به روش لیناگر داشتند میزان خطا هم در این مدل‌ها نسبت به روش لیناگر کمتر بود. در ایستگاه مشهد هر دو مدل شبکه عصبی با ضرایب نکویی برآزش (۰/۹۲۲ و ۰/۹۱۹) و در ایستگاه سبزوار با ضرایب نکویی برآزش (۰/۸۶۸ و ۰/۸۶۶) برآورد دقیق‌تری از تبخیر و تعرق نسبت به روش‌ها گریوز سامانی داشتند، میزان خطا هم در این مدل‌ها نسبت به روش‌ها گریوز سامانی کمتر بود. پس می‌توان چنین استنباط کرد که روش‌های شبکه عصبی در مناطق مورد مطالعه نسبت به روش‌های تجربی کارایی بهتری در برآورد تبخیر و تعرق دارند.

به‌طوری‌که حتی با ساختار یک ورودی درجه حرارت متوسط (NN۱۲) کارایی این دو روش با مقایسه آنالیزهای آماری در ایستگاه‌های تربت جام و مشهد اندکی بهتر از این روش‌ها بود؛ اما با حذف پارامتر درجه حرارت کارایی مدل‌های شبکه عصبی فقط با ورودی سرعت باد (NN۱۳) و ورودی ساعات آفتابی (NN۱۴) به‌شدت پایین می‌آید، به طوری که در مدل MLP ضریب تعیین در ایستگاه تربت جام به

ترتیب به میزان ۴۷/۵۸ درصد و ۳۲/۴۹ درصد، در ایستگاه مشهد به ترتیب به میزان ۶۲/۱۲ درصد و ۳۱/۴۱ درصد و در ایستگاه سبزوار به ترتیب به میزان ۵۲/۴۱ درصد و ۴۸/۳۸ درصد کاهش یافت. اما در مدل RBF ضریب تعیین در ایستگاه تربت جام به ترتیب به میزان ۴۷/۳۸ درصد و ۳۵/۱۱ درصد، در ایستگاه مشهد به ترتیب به میزان ۶۲/۷۲ درصد و ۳۲/۴۲ درصد و در ایستگاه سبزوار به ترتیب به میزان ۵۲/۲۱ درصد و ۵۰/۱۰ درصد کاهش یافت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت چنانچه داده‌های ورودی در منطقه مورد مطالعه کم باشد و تنها پارامتر درجه حرارت در دسترس باشد می‌توان از شبکه‌های عصبی در برآورد تبخیر و تعرق در این منطقه در مقیاس روزانه با دقت قابل قبولی استفاده کرد. Traore و همکاران (۲۰۱۰) کارایی روش‌های شبکه عصبی را بهتر از روش‌ها گریوز سامانی در منطقه سودانو-ساحلی گزارش نمودند.

همچنین مشخص شد روش‌های یادگیری ماشین مبتنی بر شبکه‌های عصبی به‌خوبی توانسته‌اند تبخیر تعرق گیاه مرجع را تخمین بزنند. با مقایسه نتایج مشخص شد که روش پرسپترون چندلایه (MLP) در مقایسه با روش پایه شعاعی (RBF) تبخیر و تعرق را در منطقه مورد مطالعه و در مقیاس روزانه اندکی بهتر برآورد می‌کند. در تمام مدل‌های اجرا شده با پارامترهای ورودی مختلف مقدار ضریب نکویی برآزش در روش MLP کمی بیشتر از روش RBF بود و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در روش MLP اندکی کمتر از روش RBF بود. صیادی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه خود در مورد تبخیر و تعرق ماهانه ایستگاه تبریز هم نتایج مشابه به دست آوردند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف اصلی این پژوهش، بررسی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ETO) در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی و مقایسه آن با روش‌های تجربی متداول نظیر لیناگر وها گریوز-سامانی بود. باتوجه به اینکه تبخیر و تعرق گیاه مرجع یکی از پارامترهای کلیدی در مدیریت منابع آب کشاورزی به شمار می‌رود، برآورد دقیق آن می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی، تخصیص و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی ایفا نماید. مدل فیزیکی فائو-پنمن-مانتیت به عنوان مرجع جهانی معتبر، نیازمند داده‌های هواشناسی متنوعی از جمله رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد است که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشورهای در

جدول ۴ - رتبه‌بندی مدل‌ها در سناریوهای مختلف در مناطق مورد مطالعه

مدل شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی			مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه			ساختار داده‌های ورودی
مشهد	سبزوار	ترتت جام	مشهد	سبزوار	ترتت جام	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	NN1
۲	۲	۲	۲	۲	۲	NN2
۳	۳	۳	۳	۳	۳	NN3
۴	۴	۴	۴	۴	۴	NN4
۷	۸	۸	۷	۷	۷	NN5
۱۴	۱۳	۱۳	۱۴	۱۳	۱۳	NN6
۶	۶	۶	۶	۶	۶	NN7
۵	۵	۵	۵	۵	۵	NN8
۱۰	۱۲	۷	۱۰	۱۲	۷	NN9
۱۱	۱۰	۱۰	۱۱	۹	۹	NN10
۱۲	۷	۱۲	۱۲	۸	۱۱	NN11
۸	۱۱	۹	۸	۱۱	۸	NN12
۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	NN13
۱۳	۱۴	۱۴	۱۳	۱۴	۱۳	NN14
۹	۹	۱۰	۹	۱۰	۱۰	NN15

شبکه عصبی بر پایه داده‌های دمایی، می‌تواند ابزاری سریع، دقیق و کاربردی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در استان خراسان رضوی باشد. برآورد دقیق ETO در این منطقه امکان اجرای مدل‌های شبیه‌سازی بیلان آب را فراهم کرده و می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب کشاورزی کمک نماید.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از نتایج طرح پژوهشی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری ترتت جام می‌باشد. به این وسیله از حمایت مالی این مجتمع تقدیر و تشکر می‌شود.

حال توسعه در دسترس نیست.

از این‌رو، بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی که تنها بر پایه دما (حداکثر و حداقل) عمل می‌کنند، می‌تواند راهکاری مؤثر برای مناطق با محدودیت داده‌های هواشناسی باشد. نتایج این پژوهش نشان داد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در تمامی شاخص‌های آماری مورد استفاده (MAE و R^2 ، $RMSE$) عملکرد بهتری نسبت به روش‌های تجربی داشتند. همچنین مقایسه بین دو ساختار شبکه عصبی مورد بررسی بیانگر آن بود که شبکه پرسپترون چندلایه (MLP) دقت بالاتری در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مقایسه با شبکه تابع پایه شعاعی (RBF) ارائه داد. به طور کلی، یافته‌ها تأیید می‌کند که استفاده از مدل‌های

- Abrishami, N., Sepaskhah, A. R., & Shahrokhnia, M. H. (2019). Estimating wheat and maize daily evapotranspiration using artificial neural network. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(3), 945–958.
<https://doi.org/10.1007/s00704-018-2418-4>
- Adnan, R. M., Malik, A., Kumar, A., Parmar, K. S., & Kisi, O. (2019). Pan evaporation modeling by three different neuro-fuzzy intelligent systems using climatic inputs. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(19), 606.
<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4781-6>
- Allen, R. G., Clemmens, A. J., Burt, C. M., Solomon, K., & O'Halloran, T. (2005). Prediction Accuracy for Projectwide Evapotranspiration Using Crop Coefficients and Reference Evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1), 24–36.
doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(24\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(24))
- Amani, S., & Shafizadeh-Moghadam, H. (2023). A review of machine learning models and influential factors for estimating evapotranspiration using remote sensing and ground-based data. *Agricultural Water Management*, 284, 108324.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108324>
- Amiri, M., & Pourghasemi, H. R. (2019). Comparing Different Methods of Potential Evapotranspiration and Studying Temporal and Spatial Changes in the Mahalou Watershed using GIS. *Jwmr*, 10(19), 22–35.
<https://doi.org/10.29252/jwmr.10.19.22>
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Mecikalski, J. R., Otkin, J. A., & Kustas, W. P. (2007). A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 2. Surface moisture climatology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D11).
<https://doi.org/10.1029/2006JD007507>
- Antonopoulos, V. Z., & Antonopoulos, A. V. (2017). Daily reference evapotranspiration estimates by artificial neural networks technique and empirical equations using limited input climate variables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 86–96.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.011>
- Bishop, C. M. (1996). *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford, Oxford University Press. Oxford, England.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780198538493.001.0001>
- Bruton, J. M., McClendon, R. W., & Hoogenboom, G. (2000). Estimating daily pan evaporation with artificial neural networks. *Transactions of the ASAE*, 43(2), 491–496. <https://doi.org/10.13031/2013.2730>
- Dehbozorgi, F., & Sepaskhah, A. R. (2012). Comparison of artificial neural networks and prediction models for reference evapotranspiration estimation in a semi-arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(5), 477–497.
<https://doi.org/10.1080/03650340.2010.530255>
- احمدزاده قره گويز، كاوه، ميرلطيفي، سيد مجيد، و محمدی، كوروش. (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی (ANN و ANFIS) در تخمین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران. نشریه آب و خاک، ۴(۲۴)، ۶۷۹-۶۸۹.
doi: [10.22067/jsv.v0i0.3887](https://doi.org/10.22067/jsv.v0i0.3887)
- صیادی، حبیب، اولاد غفاری، ابوالفتح، فعالیان، احد، و صدرالدینی، علی اشرف. (۱۳۸۸). مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی RBF و MLP در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع. دانش آب و خاک، ۱۹(۱)، ۱-۱۲.

- Diamantopoulou, M., Georgiou, P. E., & Papamichail, D. M. (2011). Performance evaluation of artificial neural networks in estimating reference evapotranspiration with minimal meteorological data. *Global Nest Journal*, 13(1), 18-27. <https://doi.org/10.30955/gnj.000758>
- Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., & Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *Journal of Hydrology*, 536, 376-383. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.053>
- Ghahreman, N., & Sameti, M. (2014). Comparison of M5 Model Tree and Artificial Neural Network for Estimating Potential Evapotranspiration in Semi-arid Climates. *Desert*, 19(1), 75-81. doi: [10.22059/jdesert.2014.51056](https://doi.org/10.22059/jdesert.2014.51056)
- Hargreaves, G. H., Samani, Y. A., George H. Hargreaves, & Zohrab A. Samani. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Jang, J. -C., Sohn, E. -H., Park, K. -H., & Lee, S. (2021). Estimation of Daily Potential Evapotranspiration in Real-Time from GK2A/AMI Data Using Artificial Neural Network for the Korean Peninsula. *Hydrology*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/hydrology8030129>
- Khoshhal, J., & Mokarram, M. (2012). Model for prediction of evapotranspiration using MLP neural network. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 1000-1009.
- Kisi, O. (2008). The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modelling. *Hydrological Processes*, 22(14), 2449-2460. <https://doi.org/10.1002/hyp.6837>
- Kumar, M., Raghuwanshi, N. S., & Singh, R. (2011). Artificial neural networks approach in evapotranspiration modeling: A review. *Irrigation Science*, 29(1), 11-25. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0230-8>
- Kumar, M., Raghuwanshi, N. S., Singh, R., Wallender, W. W., & Pruitt, W. O. (2002). Estimating Evapotranspiration using Artificial Neural Network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(4), 224-233. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:4\(224\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:4(224))
- Laaboudi, A., Mouhouche, B., & Draoui, B. (2012). Neural network approach to reference evapotranspiration modeling from limited climatic data in arid regions. *International Journal of Biometeorology*, 56(5), 831-841. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0485-7>
- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., & López, J. J. (2008). Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Agricultural Water Management*, 95(5), 553-565. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.12.011>
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X., & Zhang, M. (2017). A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman-Monteith method in southwestern China. *Water (Switzerland)*, 9(10), 734. <https://doi.org/10.3390/w9100734>
- Linacre, E. T. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18(6), 409-424. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3)
- Liu, Y., Zhang, S., Zhang, J., Tang, L., & Bai, Y. (2021). Assessment and Comparison of Six Machine Learning Models in Estimating Evapotranspiration over Croplands Using Remote Sensing and Meteorological Factors. *Remote Sensing*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/rs13193838>
- Maroufpoor, S., Bozorg-Haddad, O., & Maroufpoor, E. (2020). Reference evapotranspiration estimating based on optimal input combination and hybrid artificial intelligent model: Hybridization of artificial neural network with grey wolf optimizer algorithm. *Journal of Hydrology*, 588, 125060. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125060>
- Marquina-Araujo, J. J., Cotrina-Teatino, M. A., Mamani-Quispe, J. N., Soto-Juscamayta, L. M., Ccatamayo-Barrios, J. H., Ortiz-Quintanilla, S. M., & Cruz-Galvez, J. A. (2024). Application of Multilayer Perceptron Neural Network in Geological Modeling of Categorical Variables: A Case Study in Peru. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 11(6), 1463-1472. <https://doi.org/10.18280/mmep.110607>
- Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S., & Han, D. (2009). Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources*, 32(1), 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2008.10.005>
- Mohawesh, O. E. (2013). Artificial neural network for estimating monthly reference evapotranspiration under arid and semi arid environments. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(1), 105-117. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.603126>
- Odhiambo, L. O., Yoder, R. E., Yoder, D. C., & Hines, J. W. (2001). Optimization of fuzzy evapotranspiration model through neural training with input-output examples. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1625. <https://doi.org/10.13031/2013.7049>
- Orth, R., & Destouni, G. (2018). Drought reduces blue-water fluxes more strongly than green-water fluxes in Europe. *Nature Communications*, 9(1), 3602. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06013-7>
- Rahimi Khoob, A. (2008). Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid

- environment. *Irrigation Science*, 26(3), 253–259.
<https://doi.org/10.1007/s00271-007-0090-z>
- ROSENBLATT, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408.
<https://doi.org/10.1037/h0042519>
 - Shirmohammadi-Aliakbarhaneh, Z., Saberali, S. F., & Kouhi, M. (2020). Evaluation of Different Methods of Calculating the Potential Evapotranspiration at the Annual Timescale in the Northeast of Iran. *Jwmr*, 11(22), 199–209.
<https://doi.org/10.52547/jwmr.11.22.199>
 - Slavisa, T., Branimir, T., & Miomir, S. (2003). Forecasting of Reference Evapotranspiration by Artificial Neural Networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129(6), 454–457.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2003\)129:6\(454\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2003)129:6(454))
 - Teuling, A. J., Hirschi, M., Ohmura, A., Wild, M., Reichstein, M., Ciais, P., Buchmann, N., Ammann, C., Montagnani, L., Richardson, A. D., Wohlfahrt, G., & Seneviratne, S. I. (2009). A regional perspective on trends in continental evaporation. *Geophysical Research Letters*, 36, L02404.
<https://doi.org/10.1029/2008GL036584>
 - Traore, S., Wang, Y. -M., & Kerh, T. (2010). Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone. *Agricultural Water Management*, 97(5), 707–714.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.002>
 - Wang, Y. -M., Traore, S., Kerh, T., & Leu, J. -M. (2011). Modelling reference evapotranspiration using feed forward backpropagation algorithm in arid regions of Africa. *Irrigation and Drainage*, 60(3), 404–417.
<https://doi.org/10.1002/ird.589>
 - Zanetti, S., Sousa E, F., Oliveira V, P., Almeida F, T., & Bernardo, S. (2007). Estimating Evapotranspiration Using Artificial Neural Network and Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(2), 83–89.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:2\(8](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:2(8)

Article Type

Review Article

مروری

نوع مقاله

Evapotranspiration Models in the Greenhouse Cultures: Data Analysis and Methods

O.Raja^{1*}, M.Parsinejad², A.Khorsand¹, B.Chehrenegar³

1- Researcher, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. 2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 3- Ph.D. in Civil Engineering, National University of Singapore, Singapore.

*Corresponding Author Email: omid.raja@ut.ac.ir

Received 03-02-2025
Revised 06-04-2025
Accepted 07-04-2025
Available Online 20-09-2025

مدل‌های تبخیر و تعرق در کشت‌های گلخانه‌ای: تحلیل داده‌ها و روش‌ها

امید رجا^{۱*}، مسعود پارسی‌نژاد^۲، افشین خورشند^۱، بهداد چهره‌نگار^۳

۱- پژوهشگر، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ۲- استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌های کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۳- دکتری مهندسی عمران، دانشگاه ملی سنگاپور، سنگاپور.

*رایانامه نویسنده مسئول: omid.raja@ut.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۱۵
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۱/۱۷
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۱/۱۸
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

Abstract

The accurate estimation of evapotranspiration in greenhouses is crucial for the optimal utilization of water resources and accurate irrigation scheduling, leading to improved water use efficiency. Various experimental and physical models are commonly used to estimate evapotranspiration based on climate data. In this review, the relationship between greenhouse technology and reference models for estimating evapotranspiration (ET_o) or crop evapotranspiration estimation models (ET_c) was analysed. The classification of greenhouses, the equipment commonly used, and the data collected for ET_o and ET_c measurements were also analysed in this study. In general, this study aimed to evaluate, and summarise the currently available ET_o and ET_c models used in different greenhouse categories, and to assess the degree of accuracy of the widely used models in estimating ET_o and ET_c . The results showed that the FAO-56 Penman-Monteith equation performed best among all models and can be considered as the best method for estimating ET_o in low-tech plastic greenhouses that are widely used in Iran. If greenhouse ET_c models become more user-friendly and accessible, the likelihood or chance of rapid dissemination and adoption of advances in ET_c estimation technology by a larger community of greenhouse crop producers will increase. The overview presented in this study highlighted the relationship between greenhouse technology and ET_o and ET_c models. Studies have also shown that the knowledge and methods available in ET_c measurements can positively increase the sustainability of greenhouse agriculture.

Keywords: Crop Evapotranspiration, FAO-56 Penman-Monteith, Reference Evapotranspiration, Technology, Water Requirement.

چکیده

برآورد دقیق تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها برای استفاده بهینه از منابع آب و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری که منجر به بهبود راندمان مصرف آب می‌شود، اهمیت بالایی دارد. مدل‌های تجربی و فیزیکی متعددی به طور گسترده برای تخمین نرخ تبخیر و تعرق بر اساس داده‌های آب و هوایی استفاده می‌شوند. در این پژوهش ارتباط بین فناوری گلخانه‌ها و مدل‌های برآورد تبخیر تعرق مرجع (ET_o) یا مدل‌های برآورد تبخیر تعرق گیاه کشت شده (ET_c) تجزیه و تحلیل شدند. همچنین دسته‌بندی گلخانه‌ها، تجهیزاتاتی که معمولاً استفاده می‌شوند و داده‌های جمع‌آوری شده برای اندازه‌گیری‌های ET_o و ET_c در این پژوهش بررسی شدند. به طور کلی این بررسی با هدف ارزیابی و خلاصه کردن مدل‌های ET_o و ET_c موجود حال حاضر و مورد استفاده در دسته‌های مختلف گلخانه‌ای و ارزیابی سطح دقت مدل‌های پرکاربرد در برآورد ET_o و ET_c انجام شد. نتایج نشان داد معادله پنمن-مانتیت FAO 56 بهترین عملکرد را در بین همه مدل‌ها به همراه دارد و می‌توان آن را به عنوان بهترین روش برای تخمین ET_o در گلخانه‌های پلاستیکی با فناوری پایین دانست که به طور گسترده در ایران استفاده می‌شوند. اگر مدل‌های ET_c گلخانه‌ای کاربر پسندتر و در دسترس‌تر شوند، احتمال یا شانس انتشار سریع و پذیرش پیشرفت‌ها در فناوری تخمین ET_c توسط یک جامعه بزرگ‌تر تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای، افزایش می‌یابد. در بررسی اجمالی ارائه شده در این مطالعه، ارتباط بین فناوری‌های گلخانه‌ای و مدل‌های ET_o و ET_c برجسته شدند. همچنین بررسی‌ها نشان داد، دانش و روش‌های موجود در اندازه‌گیری‌های ET_c می‌توانند به طور مطلوب پایداری کشاورزی گلخانه‌ای را افزایش دهند.

واژه‌های کلیدی: پنمن-مانتیت فائو ۵۶، تبخیر تعرق گیاه، تبخیر تعرق مرجع، فناوری، نیاز آبی.

How to cite this article:

Raja, O., Parsinejad, M., Khorsand, A., & Chehrenegar, B. (2025). Evapotranspiration Models in the Greenhouse Cultures: Data Analysis and Methods. Journal of Water and Sustainable Development, 12(2), 193-215. <http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i2.2502-1403>

در گلخانه‌ها اختیاری است، اما به‌کارگیری هرکدام از مدل‌ها به نوع گلخانه (گلخانه‌های با فناوری پایین، متوسط یا بالا) به‌دلیل شرایط آب و هوای متفاوت در درون آن‌ها، داده‌های در دسترس و اندازه‌گیری شده در درون و بیرون آن‌ها، بستگی دارد. هر کدام از مدل‌ها به داده‌های آب و هوایی خاصی نیاز دارند تا بتواند مقدار تبخیر و تعرق را برآورد کنند. علاوه بر این، داده‌های در دسترس و اندازه‌گیری شده متفاوت در هر کدام از گلخانه‌ها یکی از عوامل مهم در تعیین انتخاب مدل تبخیر و تعرق است. همچنین، دقت مدل در برآورد تبخیر و تعرق در هر نوع گلخانه می‌تواند عاملی برای انتخاب و به‌کارگیری آن مدل باشد.

نیاز آبیاری یک محصول برابر است با آب مورد نیاز گیاه که از تفاوت بین بارندگی و نیاز آبی (ET) برآورد می‌شود. از نظر فنی و در شرایط گلخانه‌ای با توجه به عدم دریافت مستقیم بارندگی، نیاز خالص آبیاری برابر با نیاز آبی (ET) محصول است. حجم ناخالص آب آبیاری برابر با مقادیر نیاز خالص آبی کشت (ET) با در نظر گرفتن نیاز آبخویی و تلفات ناشی از راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع است. از آنجایی که بارندگی وارد گلخانه نمی‌شود و به‌دلیل آبیاری با دور کم و به تعداد بالا با سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، رطوبت خاک به‌طور پیوسته نزدیک به ظرفیت زراعی نگهداشته می‌شود؛ بنابراین، عموماً می‌توان فرض کرد که مقدار آبیاری مورد نیاز محصولات در گلخانه معادل و بسیار نزدیک مقدار نیاز خالص آبی ET است (Fernandez و همکاران، ۲۰۱۰). بررسی دانش و تجربیات عملی دانشمندان از منطقه خاور نزدیک و شمال آفریقا، به‌ویژه از الجزایر، قبرس، مصر، اردن، لبنان، لیبی، مالت، مراکش، سوریه، تونس و ترکیه با همکاری کمیسیون کشت حفاظت شده انجمن بین‌المللی برای موضوع علوم باغبانی (ISH) نشان داده است برای برآورد دقیق ET از دو معادله‌ها رگریوز (Pruitt و Doorenbos، ۱۹۷۷) و مدل تابش آلمریا (Fernandez و همکاران، ۲۰۱۰) و معادله تابش FAO (Pruitt و Doorenbos، ۱۹۷۷) در مناطق مدیترانه‌ای استفاده شده است (FAO، ۲۰۱۳). به‌کارگیری این دو روش برای برآورد ET با توجه به محدودیت داده‌های هواشناسی و سادگی آن‌ها (در مقایسه با معادله پنمن-مانتیت فائو) در گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی تحت شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای، توصیه شده‌اند (Fernandez و همکاران، ۲۰۱۰).

در این پژوهش در ابتدا تئوری تبخیر و تعرق در شرایط گلخانه تشریح شده است. سپس متداول‌ترین مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET) مورد استفاده در انواع گلخانه‌ها بررسی

با گسترش کشت‌های گلخانه‌ای در سراسر جهان، برآورد دقیق نیاز خالص آبی محصول^۱ (ET) و مدیریت آبیاری، بسیار مهم شده‌اند. برآورد دقیق ET بر اساس روش مناسب برای مدیریت آبیاری و نیز دستیابی به عملکرد بالا و کیفیت مطلوب محصول، ضروری است (Nikolaou و همکاران، ۲۰۱۹)؛ به‌طوری که تعیین مقدار آن بر دسترسی گیاهان به عناصر غذایی، شوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد (Folegatti و Blanco، ۲۰۰۴). روش‌های مختلفی برای تعیین نیاز آبی (ET) در گلخانه‌ها وجود دارند. به طور کلی شرایط آب و هوایی متفاوتی در هر نوع گلخانه وجود دارد که بر روند فیزیکی و تعیین میزان ET گلخانه تأثیر می‌گذارد (Fernandes و همکاران، ۲۰۰۳؛ Rahimikhoob و همکاران، ۲۰۲۰). نیاز آبی گیاهان را می‌توان با روش‌های مستقیم یا غیرمستقیم اندازه‌گیری یا برآورد کرد. متداول‌ترین روش مستقیم نیاز آبی از طریق لایسیمتر است (Baille، ۱۹۹۲). روش غیرمستقیم شامل اندازه‌گیری تابش خالص، دمای سطح محصول و کمبود فشار بخار آب است.

در محیط گلخانه، ET یک محصول مشخص تحت تأثیر بیان انرژی کل سامانه گلخانه است و به شدت به ویژگی‌های گلخانه (مواد و نوع پوشش) و تجهیزات کنترل آب و هوا (توری سایه‌بان، سامانه‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه) بستگی دارد (Boulard، ۲۰۰۷؛ Stanghellini و Katsoulas، ۲۰۱۹)؛ بنابراین، برای تعیین ET باید همه این عوامل در انواع گلخانه‌ها از جمله گلخانه‌های با فناوری بالا مانند گلخانه‌های بسته و کنترل شده تا گلخانه‌های سنتی با پوشش پلاستیکی و فناوری پایین، در نظر گرفته شوند.

مطالعات زیادی برای توسعه مدل‌های تبخیر و تعرق^۲ (ET) و مقایسه مدل‌های مناسب برای محصولات در انواع گلخانه‌ها انجام شده‌اند. به‌طور کلی دقت هر مدل به نوع گلخانه و شرایط آب و هوای حاکم در آن، بستگی دارد (Karaca و همکاران، ۲۰۱۸). بررسی‌ها نشان دادند برآورد نیاز آبی (ET) در گلخانه عمدتاً با استفاده از مدل پنمن-مانتیت فائو^۳ انجام می‌شود (Takakura و همکاران، ۲۰۰۹؛ Moazed و همکاران، ۲۰۱۴؛ Rahimikhoob و همکاران، ۲۰۲۰). معادله پنمن-مانتیت فائو عموماً برای برآورد نیاز آبی تحت شرایط آب و هوای بیرون از گلخانه (محیط باز) است. با این حال، بسیاری از پژوهش‌ها از مدل پنمن-مانتیت فائو برای برآورد نیاز آبی در گلخانه‌ها با اعمال تغییراتی در ضرایب معادله آن، استفاده کردند. اگرچه هنوز استفاده از نوع مدل تبخیر و تعرق برای برآورد نیاز آبی

نام برده شده در کلمات کلیدی، عنوان و/ یا چکیده مقالات است. به طور کلی بررسی و تحلیل مقاله‌ها، براساس سوالات مشخص شده در این مطالعه انجام گرفت.

تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق (ET) فرآیندی است که آب را در فاز بخار از سطوح به جو باز می‌گرداند. تبخیر و تعرق را می‌توان شامل دو فرآیند تبخیر از سطوح آزاد آب مانند مخازن، گودال‌ها یا از پوشش گیاهی، خاک و سطوح زمین و تعرق شامل انتقال آب از خاک به ریشه‌های گیاه و سپس انتقال آب از طریق گیاه به برگ و در نهایت تبخیر آب از داخل برگ تقسیم کرد.

تبخیر و تعرق به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهد و لذا جدا کردن این دو پارامتر از یکدیگر دشوار است (Allen و همکاران، ۱۹۹۷). تبخیر و تعرق مرجع ET_0 ، میزان تبخیر و تعرق از سطح مرجع فرضی مانند چمن یا یونجه با ویژگی‌های خاص تحت شرایط مطلوب مصرف بدون کمبود آب است. در واقع ET_0 بیانگر تقاضای آب و هوا و اتمسفری است. تبخیر و تعرق بالقوه ET_p به حداکثر مقدار آبی گفته می‌شود که می‌توان از سطحی با منبع آب فراوان از طریق تبخیر و تعرق حذف کرد. بر خلاف تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق بالقوه حداکثر سطح تبخیر و تعرقی است که می‌توان از یک سطح در شرایط ایده‌آل، به آن رسید. تبخیر و تعرق بالقوه برای تجزیه و تحلیل تقاضای آب در مناطق بزرگ مانند مخازن آب، کاربرد بیشتری دارد؛ در حالی که تبخیر و تعرق مرجع برای ارزیابی محصول مناسب‌تر است، زیرا دقیق‌تر است و تغییرات مربوط به محصول را نشان می‌دهد.

تبخیر و تعرق گیاه ET_c مقدار آبی است که از طریق فرآیند تبخیر و تعرق تحت شرایط استاندارد و مطلوب بدون تنش‌های آبی، کودی و شوری از یک محصول مشخص از سطوح خاک و گیاه خارج می‌شود (Pidwirny، ۲۰۰۶). مقدار ET_c بیانگر نیاز آبی محصول است (Allen و همکاران، ۱۹۹۷). مقدار ET_c را می‌توان با ضرب ET_0 در ضرایب گیاهی K_c در مراحل مختلف رشد محاسبه کرد (معادله ۱). مقادیر K_c در مراحل مختلف رشد متفاوت است و به خصوصیات گیاه و میانگین اثرات تبخیر از خاک، بستگی دارد (Allen و همکاران، ۱۹۹۷):

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

در این معادله، ET_c تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز) و K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) است.

شدند. در نهایت نیز مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق بر اساس نوع گلخانه، محصولات و داده‌های آب و هوایی در دسترس و اندازه‌گیری شده در گلخانه‌ها، دسته‌بندی شده‌اند.

شناسایی مناسب‌ترین روش برآورد نیاز آبی محصول منجر به مدیریت آبیاری مناسب در گلخانه خواهد شد که می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف منابع آب و کود، درآمد کشاورزان را بهبود بخشد. در واقع در این مطالعه به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود:

۱. چه مدل‌هایی برای برآورد نیاز آبی در گلخانه وجود دارد؟
۲. مدل‌های تبخیر و تعرق چگونه بر اساس نوع محصول، گلخانه‌ها یا شرایط آب و هوایی طبقه‌بندی می‌شوند؟
۳. چه نوع داده‌هایی برای برآورد تبخیر و تعرق در مدل‌های موجود، نیاز هستند؟
۴. چگونه مدل پنمن-مانتیت در برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه کاربرد دارد؟
۵. بهترین مدل‌های کاربردی برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه چیستند؟
۶. مدل تبخیر و تعرق چه معیارهایی باید داشته باشد تا عملاً قابل اعتماد باشد؟

مواد و روش‌ها

در این پژوهش بررسی جامعی در خصوص استفاده از مدل‌های تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها در مطالعات مختلف، شده است. بررسی انجام شده در برگزیده مجموعه‌ای از مقالات مجلات معتبر می‌باشد که شامل مطالعات مربوط به اولین مدل توسعه یافته ET در سال ۱۹۴۸ (Bot، ۱۹۸۳) تا مطالعات در زمینه برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها تا سال ۲۰۲۴ است (Yan، ۲۰۲۴؛ Ibrahim و همکاران، ۲۰۲۴). این مقالات شامل مطالعات داخلی و خارجی متعددی هستند که از پایگاه‌های مختلف شناخته شده از جمله SID، Magiran، Scopus، Springer، Wiley Online Library و Since Direct اخذ شده‌اند. علاوه بر این سایر منابع بررسی شده نیز شامل گزارش‌های پژوهشی معتبر و فصل‌های کتاب در تلاش برای غنی‌سازی کیفیت این بررسی در نظر گرفته شده است. این کار روی مدل‌های اصلی تبخیر و تعرق و تکنیک‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها، تمرکز دارد و دستورالعمل‌های کلی را برای تخمین ET برای کشاورزی در محیط‌های بسته (گلخانه) پیشنهاد می‌کند.

روش جستجوی مورد استفاده برای شناسایی مطالعات مرتبط، شامل جستجوی طیف متنوعی از عبارات مرتبط با دو گفته

در گلخانه، تعرق از سطح گیاه مهم‌ترین جزء اتلاف انرژی است که بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. تبخیر و تعرق در گلخانه شامل بیلان انرژی تابش خالص خورشیدی، انتقال گرما و تبخیر از سطح سایه‌انداز گیاه است. بیشتر مدل‌هایی که بر اساس بیلان انرژی توسعه یافته‌اند، معمولاً برآورد مناسب‌تری از تعرق را ارائه می‌دهند (Jessica و همکاران، ۲۰۰۱). بیلان انرژی توسط بخش‌های مهم گلخانه شامل پوشش گلخانه، آب و هوا در گلخانه، نوع محصول و خاک، تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Bot، ۱۹۸۹). در زیر متغیرهای بیلان انرژی در گلخانه شرح داده شده‌اند.

الف) تابش خورشیدی

تابش خورشیدی را می‌توان به تابش مستقیم خورشید و تابش پراکنده منتشر شده در اتمسفر توسط ابرها تقسیم کرد. محدوده طول موج انتشار انرژی خورشیدی به سطح زمین بین ۳۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر است. طول موج مطلوب برای رشد گیاه بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است. این ناحیه از طیف، تابش فعال فتوسنتزی^۶ (PAR) نامیده می‌شود. تنها بخش کوچکی از انرژی PAR جذب گیاه و مستقیماً در فرآیند فتوسنتز مصرف می‌شود و بخش دیگر به گرما تبدیل می‌شود.

پوشش گلخانه بر تابش مستقیم و انتشار تابش خورشیدی اثر می‌گذارد به‌طوری‌که بر اساس آن، میزان انتشار و تابش قابل دسترس برای محصول تعیین می‌شود. این میزان را می‌توان بر اساس قوانین بازتاب، جذب و انتقال نور از مواد پوشش گلخانه تعیین کرد. برای این منظور، خواص و قابلیت انتشار نور از پوشش و ساختار گلخانه، زاویه تابش ورودی و هندسه گلخانه باید مشخص شوند. Bot (۱۹۸۹) برای جزء مستقیم تابش خورشیدی، زاویه تابش خورشید را با توجه به موقعیت خورشید بر اساس زمان، تاریخ و عرض جغرافیایی منطقه و نیز جهت و هندسه گلخانه تعیین کرده است. تابش پراکنده تحت شرایط ابری از توزیع شدت تابش روی نیمکره ناشی می‌شود که برای شرایط مختلف آب و هوا به‌ویژه آسمان صاف یا ابری، متفاوت است. تابش خورشیدی در بین پارامترهای محیطی، یکی از مهم‌ترین پارامترها است که بر تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۰).

ب) تبادل گرما

انتقال انرژی از طریق جریان از مکانی به مکان دیگر یا از یک سطح به یک سطح دیگر در جهت جریان و یا بالعکس

همرفت^۹ نامیده می‌شود. تبادل و انتقال انرژی بین هوای داخل گلخانه و سطوح داخلی مانند پوشش، گیاه، لوله‌های گرمایشی و سطح خاک، به روش همرفت انجام می‌شود (Iddio و همکاران، ۲۰۲۰). همین فرآیند برای تبادل گرما بین سطح بیرونی گلخانه و هوای آزاد خارج از گلخانه نیز صادق است. انتقال گرما از طریق فرآیند همرفت بخش اعظمی از آب و هوای داخل گلخانه را تعیین می‌کند (Tadj و همکاران، ۲۰۰۷). پوشش گلخانه انرژی را از سطح داخلی به هوای داخل گلخانه و در نهایت هوای بیرون از آن مبادله می‌کند. انتظار می‌رود همرفت طبیعی^{۱۰} در داخل گلخانه به دلیل سرعت هوای کم ناشی از اختلاف دمای موجود در آن اتفاق بیافتد؛ در حالی که در خارج از گلخانه، همرفت اجباری^{۱۱} به دلیل سرعت هوای ناشی از باد پیش‌بینی می‌شود. تبادل گرمای همرفتی به شرح معادله (۲) تعریف می‌شود:

$$q_{cnv} = \alpha_h A_s (T_a - T_s) \quad (2)$$

که در این معادله، T_s و T_a به ترتیب دمای هوای محیط و دمای سطح پوشش گلخانه (کلوین)، A_s مساحت سطح پوشش (مترمربع) و α_h ضریب انتقال گرما (وات بر مترمربع بر کلوین) است. ضریب انتقال گرما به خصوصیات سیال و پارامترهای سامانه از جمله هندسه و پوشش گلخانه بستگی دارد. Bot (۱۹۸۳) انتقال گرما از طریق همرفت به و یا از پوشش گلخانه و همچنین جریان از پوشش گلخانه را اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد انتقال گرما منجر به همرفت طبیعی از سطوح داخلی و خارجی پوشش گلخانه با سرعت کم تا ۳ متر بر ثانیه می‌شود. در سرعت‌های باد بالاتر، همرفت اجباری در خارج از گلخانه مشاهده می‌شود.

گیاه منبع اصلی دریافت انرژی خورشیدی در کشت‌های گلخانه‌ای است. این انرژی به گرمای نهان و محسوس تبدیل می‌شود. در نهایت این گرمای نهان و محسوس از طریق فرآیند همرفت به گلخانه منتقل می‌شوند؛ بنابراین تعادل و بیلان انرژی یک گیاه در گلخانه ناشی از جذب تابش خورشیدی به‌ویژه PAR، تبادل گرمای نهان و محسوس و نیز تبادل تابش گرمایی با قسمت‌های مختلف گلخانه است (Richard و Bello، ۲۰۰۷). در گرمایش گلخانه با لوله‌های آب گرم، انتقال گرما بین لوله‌ها و هوا به روش همرفت انجام می‌شود. طول و قطر لوله از معیارهای مهم در تعیین میزان تبادل گرما هستند. در بیلان انرژی قسمت‌های مختلف گلخانه، تبادل گرما با خاک به‌دلیل اندازه‌گیری نسبتاً کوچک روزانه، اهمیت کمی دارد (Allen و همکاران، ۱۹۹۷). با این حال، سطح خاک تابش گرمایی را با سایر اجزای گلخانه مبادله می‌کند.

ج) بیلان بخار^{۱۳}

علاوه بر تبخیر از سطح مرطوب، تعرق گیاه منبع اصلی افزایش بخار آب در محیط گلخانه است. تغییرات بخار از طریق چگالش و تهویه صورت می‌گیرد؛ به طوری که معادله زیر برای بیلان بخار برقرار است:

$$E - C - V = 0 \quad (3)$$

که در آن E تعرق گیاه، C و V به ترتیب بخار از طریق چگالش و تهویه است. مقدار بخار آب موجود در هوا عمدتاً به طور معکوس به دمای هوای گلخانه بستگی دارد. رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار، قدرت خشک شدن^{۱۳} هوا را مشخص می‌کنند. در واقع بر اساس مقدار بخار آب، هوا در دمای معین قادر به جذب و نگهداری آن است. دمایی که در آن بخار شروع به اشباع شدن می‌کند، دمای نقطه شبنم نامیده می‌شود. در دمای نقطه شبنم، رطوبت نیز موجود و پنهان است.

نتایج و بحث

مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه

برآورد دقیق تبخیر و تعرق در گلخانه یک پارامتر کلیدی در مدیریت بهینه آب برای تولید محصولات گلخانه‌ای است. برآورد غیرمستقیم تبخیر و تعرق در گلخانه را می‌توان با استفاده از داده‌های آب و هوا، انجام داد. با وجود اینکه

مدل‌های تعرق متعددی در منابع موجود هستند (Graaf, ۱۹۸۸; Hamer, ۱۹۹۸; Joliet, ۱۹۹۴; Okuya و Okuya, ۱۹۸۸)، اما مطالعه مدل‌های تبخیر و تعرق مناسب‌تر است؛ زیرا هر دو فرآیند تبخیر و تعرق را در محیط گلخانه در نظر می‌گیرند (Huang و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، تشخیص و جداسازی هر دو فرآیند دشوار است، زیرا به طور هم‌زمان رخ می‌دهند (Allen و همکاران، ۱۹۹۷). با درک این موضوع، پرکاربردترین مدل‌های تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها در این مطالعه، بررسی شدند. ۱۰ مدل تبخیر و تعرق پرکاربرد بر اساس مطالعات صورت گرفته و با توجه به شرایط گلخانه در جدول (۱) ارائه شدند.

در یک دسته‌بندی مدل‌های تبخیر و تعرق را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد: مدل‌های انتقال جرم، مبتنی بر دما، مبتنی بر تشعشع و مدل‌های ترکیبی که هم آیرودینامیک و هم تعادل انرژی را لحاظ می‌کنند. مدل‌های ET_p مبتنی بر انتقال جرم فقط بر اساس آیرودینامیک پایه‌گذاری شده‌اند. مدل‌های مبتنی بر دما مانند مدل هارگریوز و سامانی، فقط دما را در نظر می‌گیرند. مدل‌های مبتنی بر تشعشع مانند معادله پریستلی-تیلور، تعادل انرژی را برای محاسبات ET_p در نظر می‌گیرند. دسته چهارم (هم آیرودینامیک و هم تعادل انرژی) مدل‌های ترکیبی مانند مدل پنمن-مانتیت برای تعیین ET_p

جدول ۱- انواع مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق مورد استفاده در گلخانه

مدل‌های تبخیر و تعرق	طبقه‌بندی	منبع
FAO Penman	مدل ترکیبی بر اساس بیلان انرژی	مدل فیزیکی Singh و Yadava, ۲۰۰۳
FAO Penman-Monteith	مدل ترکیبی بر اساس بیلان انرژی	مدل فیزیکی Allen و همکاران, ۱۹۹۸
Stanghellini	مدل ترکیبی بر اساس بیلان انرژی	مدل فیزیکی Stanghellini, ۱۹۸۷
Fynn	مدل ترکیبی بر اساس بیلان انرژی	مدل فیزیکی Fynn و همکاران, ۱۹۹۳
Penman-Monteith Screen-house	مدل ساده شده پنمن-مانتیت	مدل فیزیکی Möller و همکاران, ۲۰۰۴
Energy Balance equation	بر اساس بیلان انرژی	مدل فیزیکی Takakura و همکاران, ۲۰۰۹
FAO Radiation	بر اساس تابش خورشیدی	مدل تجربی Pruitt و Doorenboss, ۱۹۷۵
Priestley Taylor	بر اساس تابش خورشیدی	مدل تجربی Priestley و Taylor, ۱۹۷۲
Hargreaves	بر اساس دما و تابش خورشیدی	مدل تجربی Hargreaves و همکاران, ۱۹۸۵
Simplified model	مدل ساده شده پنمن-مانتیت	مدل تجربی Baille و همکاران, ۱۹۹۴

داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد و در درجه اول زمانی مفید است که داده‌های هواشناسی به ویژه تابش خالص خورشیدی در دسترس نباشد. با این حال ادغام یک ثابت تجربی در این مدل می‌تواند منجر به تخمین بیش از حد نرخ ET و تضعیف دقت این مدل شود (Ghiat و همکاران، ۲۰۲۱).

نوع تبخیر و تعرق قابل برآورد براساس مدل‌های تبخیر و تعرق

مرور بر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد مدل‌های تبخیر و تعرق توسعه داده شده برای گلخانه‌ها اغلب تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) را برآورد می‌کنند (Fernandes و همکاران، ۲۰۰۳). Allen و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند ET_0 میزان تبخیر و تعرق از سطح گیاه مرجع در شرایط استاندارد و بدون تنش آب را نشان می‌دهد؛ در حالی که تبخیر و تعرق گیاه (ET_c) با حاصل ضرب تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در ضریب گیاهی (K_c) برآورد می‌شود.

K_c ضریبی است که بیان‌کننده تفاوت بین تبخیر و تعرق یک گیاه مشخص و گیاه مرجع است. پارامترهای آب و هوا تنها عوامل مؤثر بر ET_0 می‌باشند؛ بنابراین، برآورد ET_0 بر اساس داده‌های آب و هوا انجام می‌شود. در واقع ET_0 بیان‌کننده تقاضای شرایط جوی در مکان و زمان خاصی از سال است و خصوصیات گیاه و عوامل خاک را در نظر نمی‌گیرد (Allen و همکاران، ۱۹۹۷؛ Scheff و Frierson، ۲۰۱۴)، اما ET_c متأثر از خصوصیات گیاه و عوامل خاک است که از طریق K_c از ET_0 متمایز می‌شود. همچنین، ET_c می‌تواند مستقیماً بر اساس داده‌های آب و هوا و گیاه با ترکیب ضریب آلیبدو مطابق با خصوصیات خاص گیاه، مقاومت‌های آئرودینامیکی و تاج پوشش گیاه و نیز شاخص سطح برگ (LAI) برآورد شود (Allen و همکاران، ۱۹۹۷). با تعریف ET_0 و ET_c ، نوع تبخیر و تعرق برآورد شده توسط ده مدل پرکاربرد در گلخانه در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

نوع تبخیر و تعرق برآورد شده توسط مدل‌های استنگلینی، فین و پنمن-مانتیت فائو در مطالعات مختلف مشخص نشده است. به طور کلی، تبخیر و تعرق برآورد شده مخصوصاً توسط مدل‌هایی که ET_c را برآورد می‌کنند، براساس دستورالعمل ارائه شده توسط Allen و همکاران (۱۹۹۷) تعریف شده است. تبخیر و تعرق گیاه (ET_c) در FAO 56 مستقیماً بر اساس داده‌های آب و هوا و گیاه برآورد می‌شود؛ بنابراین، براساس بررسی مطالعات انجام شده نوع تبخیر و تعرق برآورد شده توسط مدل‌های استنگلینی، فین، پنمن-مانتیت فائو Screen-house و مدل ساده شده، تبخیر و تعرق گیاهی (ET_c) معرفی شده است.

و مدل پنمن-مانتیت اصلاح شده FAO 56 برای تعیین ET_0 هستند (Nikolaou و همکاران، ۲۰۲۳).

مدل‌های تحلیلی تبخیر و تعرق موجود، کاملاً بر اساس قوانین فیزیکی بوده و از این قوانین برای پیش‌بینی تخمین‌های مبتنی بر روابط علی استفاده می‌کنند (مانند مدل اصلی پنمن-مانتیت). مدل‌های تجربی (آماري) بر اساس همبستگی‌های توسعه یافته از روابط تجربی براساس داده‌های مشاهداتی و تجربی استوار هستند (مانند مدل هارگریوز). مدل‌های تجربی ساده، اما فاقد اهمیت فیزیکی و دقت منطقه‌ای هستند (Zhang و همکاران، ۲۰۲۰). زمانی که داده‌های ورودی دقیق کافی وجود داشته باشد، استفاده از مدل‌های فیزیکی مناسب‌تر از مدل‌های تجربی هستند (Chavez و Subedi، ۲۰۱۵).

به طور کلی دو روش برای برآورد غیرمستقیم تبخیر و تعرق شامل مدل‌های تجربی یا مدل‌های مبتنی بر فیزیک وجود دارند. مدل‌های تبخیر و تعرق بیان شده در جدول (۱) برخی از مدل‌های مبتنی بر قوانین فیزیکی و بر اساس توازن انرژی و ترکیبی از نظریه‌های مختلف است. مدل‌های دیگر در واقع مدل‌های تجربی هستند که تبخیر و تعرق را بر اساس روابط تجربی مستخرج با استفاده از پارامترهای تابش خورشید، دما و رطوبت نسبی برآورد می‌کنند (Panda و Kashyap، ۲۰۰۱). Jessica و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند مدل‌های تجربی معمولاً برای یک منطقه خاص در یک دوره زمانی مشخص، توسعه می‌یابند که ممکن است همیشه برای دوره‌های زمانی و مکانی دیگر مناسب نباشد. تبخیر و تعرق گیاه تحت کشت گلخانه (ET_g) را می‌توان با ضرب ET_0 در ضرایب گیاهی (K_g) در مراحل مختلف رشد برآورد کرد.

به طور کلی معادله اصلی پنمن-مانتیت یک مدل قدرتمند برای تخمین تبخیر و تعرق در نظر گرفته می‌شود، زیرا هر دو مقاومت آئرودینامیکی و سطحی را ترکیب می‌کند. با این حال محدودیت‌های این مدل در محاسبه مقاومت سطح، رخ می‌دهد که مستلزم جمع‌آوری و مدل‌سازی فشرده داده‌ها است. در مدل پنمن-مانتیت ساده شده FAO 56، عبارت مقاومت سطحی با یک اصطلاح ثابت به دنبال یک محصول مرجع و شرایط استاندارد جایگزین می‌شود. با این حال، ساده‌سازی عبارت مقاومت سطحی می‌تواند دقت برآوردهای ET را کاهش دهد. مدل پریستلی-تیلور مدل خوبی برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه زمانی است که داده‌های آئرودینامیکی در دسترس نیستند، بنابراین به داده‌های ورودی کمتری نیاز دارد. با این حال، دست‌کم گرفتن نرخ‌های ET با استفاده از این مدل در شرایط فرارفتی^۴ گزارش شده است. به طور مشابه، مدل هارگریوز و سامانی به

جدول ۲- نوع تبخیر و تعرق برآورد شده توسط ۱۰ مدل تبخیر و تعرق ارائه شده در گلخانه

مدل تبخیر و تعرق	نوع تبخیر و تعرق	گیاه مرجع یا نوع گیاه	منبع
پنمن فائو	ET _o	یونجه	Yadava و Singh, ۲۰۰۳
پنمن-مانتیت فائو	ET _o	چمن	Allen و همکاران, ۱۹۹۸
تابش فائو	ET _o	چمن	Pruitt و Doorenboss, ۱۹۷۵
پریستلی-تیلور	ET _o	چمن	Priestley و Taylor, ۱۹۷۲
هارگریوز	ET _o	چمن	Hargreaves و همکاران, ۱۹۸۵
معادله بیلان انرژی	ET _o	گوجه فرنگی	Takakura و همکاران, ۲۰۰۹
استنګلینی	ET _c	گوجه فرنگی	Stanghellini, ۱۹۸۷
فین	ET _c	گل داوودی	Fynn و همکاران, ۱۹۹۳
پنمن-مانتیت فائو Screen-house	ET _c	فلفل دلمه‌ای	Möller و همکاران, ۲۰۰۴
مدل ساده شده	ET _c	گیاهان زینتی*	Baille و همکاران, ۱۹۹۴

* گونه‌های زینتی: Begonia, Cyclamen, Gardenia, Gloxinia, Hibiscus, Impatiens, Pelargonium, Poinsettia and Schefflera

به‌کارگیری مدل‌های تبخیر و تعرق در گلخانه براساس داده‌های

در دسترس

داده‌های موجود برای استفاده از مدل‌های تبخیر و تعرق باید کافی و قابل اتکا باشند. همه داده‌ها یا پارامترهای تعریف شده در یک مدل را نمی‌توان به‌دلیل کمبود تجهیزات اندازه‌گیری، تخصص یا حتی هزینه‌بر بودن تامین تجهیزات، در گلخانه‌ها اندازه‌گیری کرد. داده‌های اصلی مورد نیاز برای مدل‌های تبخیر و تعرق مورد استفاده در گلخانه‌ها، در جدول (۳) نشان داده شده‌اند.

در شرایطی که داده‌های محدودی برای برآورد تبخیر و تعرق در دسترس است، گلخانه‌دار باید از مدل‌های تبخیر و تعرقی استفاده کند که پارامترهای کمتری در معادلات آن‌ها تعریف شده‌اند. مدل پریستلی-تیلور فقط به اندازه‌گیری تابش خالص خورشیدی نیاز دارد. در معادله اصلی مدل پریستلی-تیلور، داده‌های مربوط به شار حرارتی خاک مورد نیاز است. باین‌حال شار حرارتی خاک در بیشتر شرایط نسبتاً کوچک است و می‌توان آن را نادیده گرفت (Allen و همکاران، ۱۹۹۷؛ Stanghellini, ۱۹۸۷). مدل‌های هارگریوز و تابش فائو، مدل‌های مبتنی بر تابش می‌باشند که می‌توانند در شرایطی که اطلاعات کمتری در دسترس هستند نیز استفاده شوند (Aslan و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، Allen و همکاران

(۱۹۹۷) در نشریه FAO 56 توصیه کردند زمانی که داده‌های آب و هوایی کمی وجود دارند، می‌توان از مدل هارگریوز برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده کرد. از طرف دیگر وقتی داده‌های آب و هوایی کامل‌تری به‌ویژه سرعت باد و تابش خالص در دسترس هستند، استفاده از مدل پنمن-مانتیت فائو گزینه بهتری برای برآورد تبخیر و تعرق خواهد بود (Khorsand و همکاران، ۲۰۲۱؛ Guo و همکاران، ۲۰۲۱).

تبخیر و تعرق را می‌توان با مدل‌هایی که معادلات آن‌ها شامل شاخص سطح برگ (LAI) است، با داده‌های محدودی دیگری مانند تابش خالص و کمبود فشار بخار با استفاده از مدل‌های فین و مدل ساده شده ارائه شده توسط Baille و همکاران (۱۹۹۴)، برآورد کرد. سایر مدل‌های ارائه شده در جدول (۳) به داده‌های دقیق‌تری برای برآورد تبخیر و تعرق نیاز دارند. برای شرایطی که داده‌های آب و هوایی کاملی وجود نداشته باشند، معادله پنمن-مانتیت فائو نشریه FAO ۵۶، ساده‌سازی شده است (Baille و همکاران، ۱۹۹۴). برخی از مطالعات نیز با وجود انتخاب مدل‌های تبخیر و تعرق بر اساس داده‌های موجود و اندازه‌گیری شده، از مدل ساده مانند هارگریوز برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده کرده‌اند (Haofang, ۲۰۲۳). با این‌حال، باید توجه داشت که برآورد تبخیر و تعرق بر اساس داده‌های محدود و مدل‌های ساده، ممکن است دقیق

جدول ۳- داده‌های اصلی مورد نیاز انواع مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق مورد استفاده در گلخانه

داده مورد نیاز									مدل تبخیر و تعرق
etc.	LAI	RH	VPD	Tw	To	Ta	U	Rn	
-	-	%	kPa	°C	°C	°C	m/s	kJ/m ² /s	
							*	*	پنمن فائو
		*	*			*	*	*	پنمن-مانتیت فائو
		*						*	تابش فائو
								*	پریستلی-تیلور
*			*	*		*		*	پریستلی-تیلور (شامل تابش خورشیدی)
						*		*	هارگریوز
	*		*		*	*		*	استنکلینی
	*		*					*	فین
				*		*		*	معادله بیلان انرژی
	*		*					*	مدل ساده شده
*			*			*	*	*	پنمن-مانتیت فائو Screen-house

Rn: تابش خورشیدی، u: سرعت باد، Ta: دمای بیرون از گلخانه، To: دمای برگ، Tw: دمای سطحی (میانگین دمای سطح سایه‌انداز گیاه)، VPD: کمبود فشار بخار، RH: رطوبت نسبی، LAI: شاخص سطح برگ و etc: داده‌های دیگر مانند قابلیت انتقال پوشش گلخانه و اندازه‌گیری مقاومت لایه مرزی برگ در گلخانه Penman-Monteith Screen-house.

گلخانه‌ها استفاده می‌شود. از لایسیمتر بر اساس رویکرد بیلان آب و خاک برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در گلخانه پلاستیکی و Screen-house استفاده شده است (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ کیخایی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Møller و Assouline، ۲۰۰۷؛ Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rafie و Mahbod، ۲۰۲۰؛ Bastug و همکاران، ۲۰۲۴). Møller و همکاران (۲۰۰۴) از لایسیمتر واسنجی شده با جریان‌سنج شیره (SF) و ادی کوواریانس (EC) در داخل گلخانه Screen-house (Teitel و همکاران، ۲۰۱۷) برای اندازه‌گیری تعرق از سطح گیاه و تبخیر و تعرق استفاده کردند.

جریان‌سنج شیره یک حس‌گر دارد که جریان گرما و تعرق را اندازه‌گیری می‌کند (Gong و همکاران، ۲۰۱۹؛ Yao و همکاران، ۲۰۲۳)، درحالی‌که حس‌گرهای EC بخار آب یا شار حرارتی از سطح پوشش گیاه را اندازه‌گیری می‌کنند. تغییرات وزن در یک لایسیمتر وزنی نشان‌دهنده میزان تبخیر و تعرق تجمعی

و مطمئن نباشند. همچنین، Allen و همکاران (۱۹۹۷) توصیه کردند از مدل‌های تبخیر و تعرقی که فقط به پارامترهای آب و هوایی محدود برای برآورد تبخیر و تعرق نیاز دارند، کمتر استفاده شود.

وسایل اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در گلخانه

گلخانه‌ها از نظر میزان فناوری و تجهیزات به‌کار رفته در آن‌ها به سه دسته تقسیم شده‌اند. به‌طور کلی هر چه سطح فناوری بالاتر باشد، آن گلخانه پتانسیل بیشتری برای ایجاد شرایط رشد کنترل شده و مناسب دارد. به‌طور کلی تقسیم‌بندی گلخانه‌ها از نظر میزان استفاده از فناوری‌های روز جهان به شرح جدول (۴) است (Pardossi و همکاران، ۲۰۰۴؛ Kipp، ۲۰۱۰). وسایل مورد استفاده در گلخانه‌ها برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق نیز در جدول (۵) نشان داده شده‌اند. بیشتر از لایسیمترها برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در

و رشد گیاه در طول دوره رشد است که در مطالعات Fynn و همکاران (۱۹۹۳) و Lopez-Cruz و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شده است. سایر وسایل مانند ترازوی الکترونیکی وزنی^{۱۵}، میزان آب مصرفی توسط گیاه و تلفات از بستر کشت را اندازه‌گیری می‌کند (موزن‌زاده، ۱۳۹۴؛ Baille و همکاران، ۱۹۹۴؛ Jessica و همکاران، ۲۰۰۱؛ Gong و همکاران، ۲۰۱۹). ترازوهای الکترونیکی وزنی از قسمت‌های خاصی شامل ورودی تأمین

آب و زهکشی تشکیل شده است؛ به طوری که براساس ورود و خروج آب، میزان آب مصرفی و تلفات (زهاب) از بستر کشت، اندازه‌گیری می‌شود. تعداد گیاهان موجود در ترازو نیز به اندازه گلدان و مرحله رشد گیاهان، بستگی دارد (Baille و همکاران، ۱۹۹۴). سلول‌های خاصی^{۱۶} برای اندازه‌گیری تحرق گیاه توسط Liu و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شدند. این سلول‌ها با دقت ۵ گرم در زیر هر سطل تحت کشت گیاهان، قرار داده شدند.

جدول ۴- دسته‌بندی انواع گلخانه‌ها بر اساس ویژگی‌های مهم در آن‌ها

نوع گلخانه			ویژگی‌ها
فناوری بالا	فناوری متوسط	فناوری پایین	
پلاستیک دو لایه، پلی‌کربنات و شیشه	پلاستیک یک لایه و دو لایه و شیشه	پلاستیک یک لایه	نوع پوشش
≥ 5 ($6 < H \leq 9$)	≤ 4 ($4 < H \leq 6$)	≤ 2 (≤ 3)	بلندی گلخانه از زیر ناوانی (متر) (از زیر سقف)
گلخانه‌های انحنادار چند دهانه بلند (قوسی یا گنبدی)، گلخانه‌های بدون انحنای چند دهانه (طرح ونلو هلندی) بلند	گلخانه‌های انحنادار چند دهانه (قوسی یا گنبدی) به نسبت بلند	تونل‌های کوتاه یک دهانه، گلخانه‌های چند دهانه چوبی یا فلزی	شکل سطح مقطع هندسی
پیشرفته	متفاوت و در حد میانه	ضعیف	سطح خودکارسازی و مکانیزاسیون
بیشتر غیرشیمیایی و در موارد کمی شیمیایی (کنترل تلفیقی قوی)	بیشتر شیمیایی و در موارد کمی غیرشیمیایی (کنترل تلفیقی ضعیف)	شیمیایی	شیوه کنترل آفات و بیماری‌ها
کامل هستند.	به‌طور معمول ندارند.	به‌طور معمول ندارند.	وسایل کنترل شرایط محیطی (گرمایش، سرمایش، تهویه و غیره)
غیرخاکی بسته	خاکی یا غیرخاکی باز	خاکی	روش کشت

جدول ۵- وسایل اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در انواع گلخانه‌ها

نوع گلخانه	خصوصیات گلخانه	تجهیزات	مرجع
گلخانه با فناوری پایین	گلخانه پلاستیکی	لایسیمتر	Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹
	Screen-house	لایسیمتر	Möller و همکاران، ۲۰۰۴؛ Möller و Assouline، ۲۰۰۷
	Screen-house	کوواریانس ادی (EC)	Möller و همکاران، ۲۰۰۴؛ Tanny و همکاران، ۲۰۰۶؛ Ghat و همکاران، ۲۰۲۱
گلخانه با فناوری متوسط	تهویه طبیعی	لایسیمتر	Blanco و Folegatti، ۲۰۰۳؛ López-Cruz و همکاران، ۲۰۰۸؛ Huang و همکاران، ۲۰۲۰؛ Jo و همکاران، ۲۰۲۱؛ Bastug و همکاران، ۲۰۲۴
	تهویه طبیعی	جریان سنج شیره	Takakura و همکاران، ۲۰۰۹؛ Huang و همکاران، ۲۰۲۰؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۱
	تهویه طبیعی	سلول‌های وزنی	Liu و همکاران، ۲۰۰۸؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۱؛ Shi و همکاران، ۲۰۲۳؛ Yuan و همکاران، ۲۰۲۳
	تهویه طبیعی	روش بیلان آب	Valdés-Gómez و همکاران، ۲۰۰۹؛ Casanova و همکاران، ۲۰۰۹؛ Ibrahim و همکاران، ۲۰۲۴
	تهویه اجباری	لایسیمتر	Nikolaou و همکاران، ۲۰۲۳
گلخانه با فناوری بالا	محیط کنترل شده	لایسیمتر	Fynn و همکاران، ۱۹۹۳؛ Rahimikhoob و همکاران، ۲۰۲۰؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۰a؛ Wang و همکاران، ۲۰۲۵
	محیط کنترل شده	ترازوی الکترونیکی وزنی	Jessica و همکاران، ۲۰۰۱؛ Baille و همکاران، ۱۹۹۴؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۰b

متر و تشت تبخیر کوچک‌تر از همان جنس با ابعاد کوچک‌تر شامل قطر ۰/۶ متر و عمق ۰/۲۵ متر ساخته شده‌اند. هر دو تشت روی تخته (سکوی) چوبی با ارتفاع ۰/۱۵ متر از سطح خاک نصب می‌شوند. تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با ضرب تبخیر از تشت در ضریب تشت (۰/۸۵) در داخل گلخانه) برآورد می‌شود. اتمومتر (Altenhofen، ۱۹۸۵) شامل یک کاشی سرامیکی است که توسط یک قطعه ضخیم سبز رنگ پوشانده شده است و روی یک مخزن آب استوانه‌ای شکل نصب شده است. آب با استفاده از لوله مکش به کاشی واقع در قسمت پایین مخزن وارد می‌شود. فشار اتمسفر درون مخزن توسط یک سوراخ تهویه کوچک حفظ می‌شود. یک لوله پلاستیکی شفاف جهت نشان دادن سطح آب در مخزن به صورت جانبی نصب شده است. اتمومتر با پوشاندن کاشی با یک قطعه سبز رنگ، آب از دست رفته از محصول یونجه آبیاری شده (تبخیر و تعرق مرجع) را اندازه‌گیری می‌کند. اتمومتر در ارتفاع ۱/۵

استفاده از لایسیمترها یک روش معمول برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها بوده است (Stanghellini، ۱۹۸۷؛ Lazarovitch و همکاران، ۲۰۰۶؛ Aslan و همکاران، ۲۰۲۴). اگرچه همان‌طور که قبلاً ذکر شد، اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از لایسیمتر با دقت بالایی انجام نمی‌شود. با این حال Allen و همکاران (۱۹۹۷) در نشریه FAO 56، بیان کردند لایسیمترهای وزنی دقیق می‌توانند میزان آب مصرفی را به‌طور مستقیم از طریق محاسبه تغییر جرم تا دقت چند صدم میلی‌متر، اندازه‌گیری کنند.

علاوه بر وسایل بیان شده در جدول (۵) به صورت محدود از اتمومتر^{۱۷}، تشت تبخیر از نوع کلاس A و نیز یک نوع تشت تبخیر کوچک‌تر^{۱۸} برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌ها استفاده شده است (Blanco و Folegatti، ۲۰۰۴؛ Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹؛ Casanova و همکاران، ۲۰۰۹). تشت تبخیر کلاس A از ورق گالوانیزه ۲۲، قطر ۱/۲۱ متر و عمق ۰/۲۵۵

متر از سطح خاک نصب می‌شود. Pérez و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند تشت تبخیر و اتمومتر، بهترین وسایل برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در گلخانه است. همچنین، Blanco و Folegatti (۲۰۰۴) نشان دادند اتمومتر بهترین عملکرد را در برآورد ET_0 در گلخانه دارد؛ بنابراین، علاوه بر لایسیمتر وزنی، دستگاه اتمومتر ممکن است برای تخمین تبخیر و تعرق در گلخانه گزینه مناسبی باشد.

به طور کلی لایسیمتر برای اندازه‌گیری ET_0 استفاده می‌شود (Yan و همکاران، ۲۰۲۴). لایسیمتر در داخل گلخانه منعکس‌کننده کلیه شرایط حاکم بر مصرف آب گیاه است (Lazarovitch و همکاران، ۲۰۰۶؛ Gong و همکاران، ۲۰۱۹). مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق توسط لایسیمتر در انواع گلخانه‌ها متفاوت خواهد بود که نشان‌دهنده نرخ مصرف متفاوت آب در انواع گلخانه‌ها حتی برای گیاه مشابه است (Gong و همکاران، ۲۰۲۰). با توجه به این‌که استفاده از لایسیمتر همیشه برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق در گلخانه فراهم نیست؛ بنابراین، روابط و معادلات تجربی با دقتی مناسب می‌توانند به عنوان جایگزین استفاده شوند (Parsinejad و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین در مطالعات دیگر برآورد تبخیر و تعرق توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم‌های یادگیری

ماشین، ادغام داده‌های سنجش از راه دور و فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) با استفاده از پارامترهای آب و هوایی محدود در مقایسه با استفاده از لایسیمترها و سنسورهای رطوبت خاک توصیه شده‌اند (Yuan و همکاران، ۲۰۲۳؛ Haofang، ۲۰۲۳).

داده‌های هواشناسی گلخانه

اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی در داخل گلخانه ضروری است، زیرا این داده‌ها در برآورد نیاز آبی گیاهان نقش دارند. همچنین دقت اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از مدل‌های تبخیر و تعرق بسیار مهم است. روش‌های قرارگیری تجهیزات اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی بر اساس مطالعات انجام شده در داخل یا خارج از گلخانه‌ها در جدول (۶) نشان داده شده‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده، از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده در داخل و بیرون از گلخانه برای برآورد تبخیر و تعرق در انواع گلخانه‌ها استفاده شده است. داده‌های هواشناسی در مطالعات Baille و همکاران (۱۹۹۴)، Jessica و همکاران (۲۰۰۱)، Tanny و همکاران (۲۰۰۶)، Liu و همکاران (۲۰۰۸)، Takakura و همکاران (۲۰۰۹) و Bonachela و همکاران (۲۰۲۴) فقط در داخل گلخانه اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌های هواشناسی در داخل گلخانه

جدول ۶- قرارگیری وسایل اندازه‌گیری هواشناسی در گلخانه‌ها

نوع گلخانه	خصوصیات گلخانه	قرارگیری وسایل اندازه‌گیری هواشناسی	مرجع
گلخانه	گلخانه پلاستیکی	داخل و خارج گلخانه	Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۰
با فناوری پایین	Screen-house	داخل و خارج گلخانه	Möller و همکاران، ۲۰۰۴؛ Möller و Assouline، ۲۰۰۷
	Screen-house	داخل گلخانه	Tanny و همکاران، ۲۰۰۶
گلخانه با فناوری متوسط	تهویه طبیعی	داخل و خارج گلخانه	Lopez-Cruz و همکاران، ۲۰۰۸؛ Valdes-Gomez و همکاران، ۲۰۰۹؛ Ahmad و Jaafar، ۲۰۱۹؛ Jo و همکاران، ۲۰۲۱؛ Shi و همکاران، ۲۰۲۳؛ Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴
	تهویه طبیعی	داخل گلخانه	Liu و همکاران، ۲۰۰۸؛ Takakura و همکاران، ۲۰۰۹؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۱؛ Bastug و همکاران، ۲۰۲۴
	تهویه اجباری	داخل و خارج گلخانه	Nikolaou و همکاران، ۲۰۲۳
گلخانه با فناوری بالا	محیط کنترل شده	داخل گلخانه	Baille و همکاران، ۱۹۹۴؛ Jessica و همکاران، ۲۰۰۱؛ Huang و همکاران، ۲۰۲۰؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۰a
	محیط کنترل شده	داخل و خارج گلخانه	Fynn و همکاران، ۱۹۹۳؛ Wang و همکاران، ۲۰۲۵؛ Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴

که معرف داده‌های هواشناسی داخل گلخانه باشد، مفید واقع شود. به‌منظور استفاده کامل از داده‌های هواشناسی خارج از گلخانه و تبدیل آن به شرایط داخل گلخانه، ممکن است استفاده از یک روش مناسب مانند ضرب تصحیح راه‌حل خوبی باشد (Ahmad و Jaafar، ۲۰۱۹). برای انجام این کار باید مطالعات بیشتری در خصوص ارتباط بین آب و هوای داخل و خارج گلخانه انجام شود. کارایی نه‌چندان بالای مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌های با فناوری متوسط نیز باید به خوبی مورد توجه قرار گیرد. برای مدیریت بهتر آبیاری در این نوع گلخانه‌ها، نیاز به مدل‌های تبخیر و تعرقی است که بتوانند دقت بالایی را همانند گلخانه‌های با فناوری پایین و بالا ارائه دهند. تحقیقات بیشتر برای توسعه مدل‌های جدید یا داشتن یک عامل تصحیح کننده برای تبیین شرایط در گلخانه‌های با فناوری متوسط، ضروری به نظر می‌رسند.

دقت به‌کارگیری مدل‌های تبخیر و تعرق در گلخانه

دقت مدل‌های تبخیر و تعرق برای هر دسته از انواع گلخانه‌ها از نظر میزان فناوری به کار گرفته شده در آن‌ها براساس برخی مطالعات انجام شده، در جدول (۷) نشان داده شده است. دقت هر مدل از مقایسه تبخیر و تعرق برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در هر مطالعه گزارش شده است. در این جدول دقت مدل‌ها بر اساس بررسی مطالعات مقایسه و مرتب شده است.

برای گلخانه‌ای با فناوری پایین می‌توان گلخانه‌ها را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد. این گلخانه‌ها شامل گلخانه با پوشش پلاستیکی و ساختار ضعیف، با یا بدون مالچ و گلخانه‌های با سقف مسطح (Screen-house) هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر از مدل‌های پنمن فائو و پنمن-مانتیت فائو در این نوع از گلخانه‌ها استفاده شده‌اند. علاوه براین، اغلب از مدل ساده‌تر و مبتنی بر تابش و دما مانند مدل‌های گریوز و پریستلی-تیلور نیز استفاده شده است (Katsoulas و Stanghellini، ۲۰۱۹؛ Ghiat و همکاران، ۲۰۲۱؛ Jo و همکاران، ۲۰۲۱؛ Wang و همکاران، ۲۰۲۵). مدل‌های پیچیده‌ای مانند استنگلینی و فین در بررسی منابع برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه با ساختار ضعیف یافت نشد یا کمتر استفاده شده است. دلیل این امر این است که این مدل‌ها عمدتاً برای شرایط گلخانه با محیط کنترل شده توسعه داده شده‌اند (Jung و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال، این سوال مطرح می‌شود که آیا این مدل‌ها ممکن است تبخیر و تعرق را با دقت خوبی در گلخانه‌های با فناوری کم برآورد کنند؟ برای برآورد تبخیر و

شامل تابش خورشیدی، تابش خالص، دمای هوا، دمای سطح برگ و سرعت باد، با استفاده از وسایل مختلف اندازه‌گیری شده‌اند. اندازه‌گیری‌ها در نزدیکی گیاه تحت کشت داخل گلخانه انجام شده‌اند؛ به‌طوری‌که برخی از تجهیزات تقریباً ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از تاج و پوشش گیاه قرار داشته‌اند. در مدل‌های تبخیر و تعرق، از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری‌های شده در داخل گلخانه به‌طور مستقیم برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده شده است.

با وجود اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در داخل گلخانه، برخی از مطالعات داده‌های هواشناسی خارج از گلخانه (در نزدیکی گلخانه) را نیز اندازه‌گیری کرده‌اند. این اندازه‌گیری‌ها عمدتاً در گلخانه‌های با فناوری پایین و سپس در گلخانه‌های با فناوری متوسط و بالا انجام شده است. مشخص است که آب و هوای داخل گلخانه‌های با فناوری پایین به‌دلیل ساختار، وسایل و مواد و پوشش آن‌ها، به آب و هوای خارج از گلخانه نزدیک است (Morille و همکاران، ۲۰۱۳). به‌طور کلی اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در داخل گلخانه بسیار اهمیت دارد، زیرا این داده‌ها به خوبی شرایط حاکم در محیط گلخانه را منعکس می‌کنند. داده‌های هواشناسی در خارج از گلخانه بیشتر در گلخانه‌های با فناوری پایین در ارتباط بود؛ زیرا شرایط آب و هوا در داخل این نوع از گلخانه‌ها بیشتر منعکس‌کننده شرایط خارج از گلخانه (شرایط مزرعه) است. برآورد تبخیر و تعرق در داخل گلخانه بیشتر بر اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی در داخل آن تمرکز داشته است. علاوه بر این در مطالعات بیشتر از داده‌های هواشناسی خارج از گلخانه برای مقایسه وضعیت آب و هوا به‌ویژه تابش، دما و سرعت باد بین داخل و خارج گلخانه استفاده شده است. بررسی مطالعات مربوط به گلخانه‌ها نشان می‌دهد از داده‌های آب و هوای ایستگاه هواشناسی واقع در فاصله‌ای دور از گلخانه یا داده‌های هواشناسی قدیمی برای برآورد تبخیر و تعرق استفاده نشده است. در همه مطالعات از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده در داخل یا خارج گلخانه (در نزدیکی گلخانه) استفاده کرده بودند. تنها استفاده از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده بر اساس ایستگاه هواشناسی خارج از گلخانه ممکن است منجر به ایجاد خطا در برآورد تبخیر و تعرق شود، زیرا تنها داده‌های اندازه‌گیری شده خارج از گلخانه نمی‌توانند به‌طور دقیق آب و هوای داخل گلخانه را منعکس کنند. البته همیشه امکان اندازه‌گیری شرایط آب و هوای داخل گلخانه به دلیل کمبود امکانات و وسایل، تخصص و هزینه‌بر بودن وسایل وجود ندارد؛ بنابراین، ممکن است استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مجاور گلخانه

تعرق با استفاده از مدل‌های پیچیده استنگلینی و فین باید پارامترهای آب و هوایی بیشتری اندازه‌گیری شوند که ممکن است به تجهیزات با هزینه بالا نیاز داشته باشند (Yan و همکاران، ۲۰۲۰؛ رضوانی و همکاران، ۱۴۰۱)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت به‌کارگیری مدل‌های رایج و ساده تبخیر و تعرق به

این دلیل بوده است که این مدل‌ها می‌توانند تبخیر و تعرق را با دقت بالایی برآورد کنند. علاوه بر این، پارامترهای آب و هوای کمتری باید اندازه‌گیری انجام شوند که می‌تواند هزینه‌های نگهداری و تمام شده تولید در گلخانه را کاهش دهد (Yan و همکاران، ۲۰۲۱).

جدول ۷- خلاصه نتایج مدل‌های تبخیر و تعرق برای انواع گلخانه‌ها. R^2 : ضریب تبیین (بدون بعد)، RE: خطای نسبی (درصد)، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا (میلی‌متر).

منبع	نوع محصول	میزان دقت		وسيله اندازه‌گیری	مدل تبخیر و تعرق	مشخصات گلخانه	نوع گلخانه
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² = 0/98	RE=1/7%	لایسیمتر	پنمن فائو	گلخانه با پوشش پلاستیکی، بدون مالچ پاشی)	گلخانه با فناوری پایین
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/97	RE=2/7%	لایسیمتر	پنمن-مانتیت فائو		
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/97	RE=-3/7%	لایسیمتر	تابش فائو		
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/97	RE=3/7%	لایسیمتر	هارگریوز		
Rahimikhoob و همکاران، ۲۰۲۰	چمن چندساله	R ² =0/98	RMSE=0/07	لایسیمتر	پنمن-مانتیت فائو		
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/97	RE=-2/6%	لایسیمتر	هارگریوز	گلخانه با پوشش پلاستیکی (بمالچ پاشی)	
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/98	RE=8/5%	لایسیمتر	پنمن-مانتیت فائو		
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/98	RE=-10/7%	لایسیمتر	تابش فائو		
Fernandez و همکاران، ۲۰۰۹	چمن چندساله	R ² =0/98	RE=-11/6%	لایسیمتر	پنمن فائو		
Möller و همکاران، ۲۰۰۴	فلفل دلمه‌ای	R ² =0/94	RE=3/8%	لایسیمتر	پنمن-مانتیت فائو screen-house	Screen-house	گلخانه با فناوری متوسط
Möller و Assouline، ۲۰۰۷؛ Tanny و همکاران، ۲۰۰۶	فلفل دلمه‌ای، موز	R ² =0/93	-	لایسیمتر	پنمن-مانتیت فائو		

نوع گلخانه	مشخصات گلخانه	مدل تبخیر و تعرق	وسیله اندازه‌گیری	میزان دقت	نوع محصول	منبع
گلخانه با فناوری متوسط	دارای تهویه طبیعی	استنگلینی	لایسیمتر	$R^2=0/72$ $RMSE=2/4$	گوجه‌فرنگی	López-Cruz و همکاران، ۲۰۰۸
		معادله بیلان انرژی	جریان سنج شیره	-	گوجه‌فرنگی	Takakura و همکاران، ۲۰۰۹
		پنمن فائو	سلول‌های وزنی	$RE=6/1\%$	موز	Liu و همکاران، ۲۰۰۸
		پریستلی-تیلور*	روش بیلان آب	-	گوجه‌فرنگی	Valdés-Gómez و همکاران، ۲۰۰۹
		پنمن-مانتیت فائو	سلول‌های وزنی	$RMSE=17/1$	گوجه‌فرنگی، موز	Liu و همکاران، ۲۰۰۸؛ López-Cruz و همکاران، ۲۰۰۸
		تابش فائو	سلول‌های وزنی	-	موز	Liu و همکاران، ۲۰۰۸
		هارگریوز	سلول‌های وزنی	-	موز	Liu و همکاران، ۲۰۰۸
		پریستلی-تیلور	سلول‌های وزنی	-	موز	Liu و همکاران، ۲۰۰۸
		پنمن-مانتیت فائو	لایسیمتر	$RMSE=0/17$	خیار	Ahmad و Jaafar، ۲۰۱۹
		هارگریوز-سامانی	لایسیمتر	$RMSE=0/22$	خیار	Ahmad و Jaafar، ۲۰۱۹
		تابش فائو	لایسیمتر	$RMSE=0/20$	خیار	Ahmad و Jaafar، ۲۰۱۹
		پریستلی-تیلور*	لایسیمتر	$RMSE=0/54$	گوجه‌فرنگی	Gong و همکاران، ۲۰۲۱
		مکینگ	لایسیمتر	$RMSE=1/29$	توت‌فرنگی	Jo و همکاران، ۲۰۲۱
		پنمن-مانتیت فائو	لایسیمتر	$RMSE=0/12$	فلفل شیرین	Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴
		پنمن-مانتیت فائو	لایسیمتر	$RMSE=0/16$	خیار	Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴
		هارگریوز-سامانی	لایسیمتر	$RMSE=0/07$	فلفل شیرین	Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴
		هارگریوز-سامانی	لایسیمتر	$RMSE=0/09$	خیار	Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴
	دارای تهویه اجباری	پریستلی-تیلور اصلاح شده *	لایسیمتر	-	خیار	Nikolaou و همکاران، ۲۰۲۳

منبع	نوع محصول	میزان دقت		وسیله اندازه گیری	مدل تبخیر و تعرق	مشخصات گلخانه	نوع گلخانه
Stanghellini, ۱۹۸۷؛ Jessica و همکاران، ۲۰۰۱	گوجه فرنگی، درخت افرا قرمز	$R^2=0/96$	-	ترازوی الکترونیکی وزنی	استنگلینی	محیط کنترل شده	گلخانه با فناوری بالا
Fynn و همکاران، ۱۹۹۳؛ Jessica و همکاران، ۲۰۰۱	گل داوودی، درخت افرا قرمز	$R^2=0/94$	RMSE=6	لایسیمتر	فین		
Jessica و همکاران، ۲۰۰۱	درخت افرا قرمز	$R^2=0/89$	RMSE=21	ترازوی الکترونیکی وزنی	پنمن- مانتیت فائو		
Jessica و همکاران، ۲۰۰۱	درخت افرا قرمز	$R^2=0/87$	RMSE=16/1	ترازوی الکترونیکی وزنی	پنمن فائو		
Baille و همکاران، ۱۹۹۴	گونه های زینتی	$R^2=0/87-0/97$	RMSE=17/9	ترازوی الکترونیکی وزنی	مدل ساده		
Villarreal-Guerrero و همکاران، ۲۰۱۲	لفل دلماه ای	$R^2=0/95$	-	ترازوی الکترونیکی وزنی	پنمن- مانتیت فائو		
Villarreal-Guerrero و همکاران، ۲۰۱۲	گوجه فرنگی	$R^2=0/96$	-	ترازوی الکترونیکی وزنی	پنمن- مانتیت فائو، استنگلینی		
Acquah و همکاران، ۲۰۱۸	گوجه فرنگی	$R^2=0/94$	-	جریان سنج شیره	استنگلینی		
Gong و همکاران، ۲۰۲۰b	گوجه فرنگی	$R^2=0/87$	RMSE=0/58	لایسیمتر	پنمن- مانتیت فائو		
Gong و همکاران، ۲۰۲۰b	گوجه فرنگی	$R^2=0/84$	RMSE=0/06	لایسیمتر	پریستلی- تیلور		
Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴	گوجه فرنگی	$R^2=0/97$	RMSE=0/31	لایسیمتر	پنمن- مانتیت فائو		
Wang و همکاران، ۲۰۲۵	بادمجان	$R^2=0/75$	-	لایسیمتر	پنمن- مانتیت فائو		

* در معادله پریستلی - تیلور از R_n داخل گلخانه استفاده شده است.

از هر دو مدل تبخیر و تعرق ساده و پیچیده در گلخانه با فناوری متوسط استفاده شده است. مدل استنگلینی، بهترین مدل برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌ای با فناوری متوسط با تهویه طبیعی بوده است (Acquah و همکاران، ۲۰۱۸). مدل استنگلینی برای گلخانه‌ای توسعه داده است که شاخص سطح برگ (LAI) در آن اندازه‌گیری شده باشد. شاخص سطح برگ یک پارامتر مهم است که در برآورد تعرق از سطح برگ تأثیر زیادی می‌گذارد (Ghiat و همکاران، ۲۰۲۱). مدل‌های تابش فائو و هارگریوز، کمترین دقت را در برآورد تبخیر و تعرق در این نوع گلخانه‌ها دارند. این دو مدل، مدل‌های مبتنی بر تابش هستند که از پارامترهای ورودی آب و هوای کمتری در برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه استفاده می‌کنند.

در گلخانه‌های با فناوری بالا، اکثر مطالعات از مدل‌های پیچیده تبخیر و تعرق استفاده کرده‌اند. هر شش مدل ذکر شده در جدول (۷) دقت بالایی دارند و می‌توانند در این نوع از گلخانه‌ها استفاده شوند. پارامترهای ورودی در بیشتر این مدل‌ها شامل LAI، کمبود فشار بخار، مقاومت سطح برگ یا سطح سایه‌انداز گیاه و میزان دقیق تابش دریافتی از پوشش گلخانه است. اگر برای محاسبه تبخیر و تعرق در گلخانه با فناوری بالا از مدل‌های ساده‌تری صرفاً بر اساس دما یا تابش استفاده شود، تبخیر و تعرق ممکن است دارای بیش برآورد یا کم برآورد باشد (Jessica و همکاران، ۲۰۰۱؛ Ghiat و همکاران، ۲۰۲۱).

میزان دقت (ضریب تبیین) مدل‌های تبخیر و تعرق بر اساس تبخیر و تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده در هر سه نوع گلخانه متفاوت است (جدول ۷). بررسی‌ها نشان می‌دهد ضریب تبیین بالایی در گلخانه‌های با فناوری پایین و بالا وجود دارد؛ درحالی‌که در گلخانه‌های با فناوری متوسط، ضریب تبیین کمتر از بقیه بوده است. مدل‌های پنمن فائو، پنمن-مانتیت فائو، تابش فائو و هارگریوز عمده مدل‌های تبخیر و تعرق مورد استفاده در گلخانه‌های با فناوری پایین بودند. اصولاً این مدل‌ها برای شرایط بیرون از گلخانه طراحی شده‌اند. در نتیجه شرایط داخل گلخانه‌های با فناوری پایین تقریباً منعکس‌کننده شرایط بیرون از گلخانه است؛ زیرا آب و هوای داخل این نوع از گلخانه‌ها به شدت به شرایط خارج از گلخانه وابسته است (Tognoni و همکاران، ۱۹۹۹؛ اکبری فرد و همکاران، ۱۳۹۴). ساختار این نوع از گلخانه‌ها به گونه‌ای است که شرایط آب و هوای بیرون از گلخانه بر آب و هوای داخل آن تأثیر می‌گذارد؛ زیرا تبادل هوا به‌طور پیوسته از طریق باز شدن درها، پنجره‌ها و صفحه نمایش‌ها، اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، تجهیزات کنترل آب و هوایی خاصی در گلخانه‌های با فناوری پایین وجود ندارد

تا بتواند آب و هوای داخل گلخانه را تغییر دهد؛ بنابراین، ضریب تبیین بالا بین مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده توسط این مدل‌ها و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در این نوع از گلخانه‌ها، می‌تواند به دلیل ارتباط بین آب و هوای بیرون و داخل باشد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد ضریب تبیین بالایی نیز بین تبخیر و تعرق برآورد شده توسط مدل‌های تبخیر و تعرق شامل مدل‌های استنگلینی، فین، پنمن مانتیت فائو و پرستلی - تیلور و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در گلخانه‌های با فناوری بالا به دست آمده است. برای این نوع از گلخانه‌ها، بیشتر از مدل‌های تبخیر و تعرق خاص مانند مدل استنگلینی و فین استفاده شده است. این مدل‌ها عمدتاً برای شرایط گلخانه‌ای توسعه یافته‌اند (Fynn و همکاران، ۱۹۹۳؛ Stanghellini، ۱۹۸۷) که در آن معمولاً سرعت هوا کم است و آب و هوای داخل گلخانه با آب و هوای خارج از آن تفاوت دارد (گلخانه‌های با آب و هوای کنترل شده).

به طور کلی بررسی‌ها نشان می‌دهد در شرایط گلخانه، معادله استاندارد برای تعیین تبخیر و تعرق یک محصول خاص وجود ندارد. دلیل این امر آن است که آب و هوای گلخانه باتوجه به نوع گلخانه، مکان، جهت ساخت (جانمایی)، مواد پوششی، حجم گلخانه، مکانیسم تهویه، استفاده از پرده حرارتی و سایه‌بان، تغییر می‌کند. با این حال می‌توان معادله جدید ایجاد کرد یا معادلات موجود را برای هر گلخانه مختلف در همان منطقه واسنجی کرد (Wang و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین پیشنهاد می‌شود معادلات تبخیر و تعرق مورد استفاده بسته به نوع گلخانه‌های رایج در منطقه انتخاب و در صورت لزوم با توجه به شرایط بیان شده، اصلاح شود (Karaca و همکاران، ۲۰۱۸). گرچه بررسی مطالعات دیگر نشان می‌دهد روش پنمن-مانتیت فائو یکی از کامل‌ترین مدل‌ها برای برآورد تبخیر و تعرق براساس تشعشع خالص خورشیدی و محصول، مقاومت‌های روزنه‌ای و آیرودینامیکی بوده و بهترین عملکرد را دارد (Katsoulas و Stanghellini، ۲۰۱۹؛ Khorsand و همکاران، ۲۰۱۹؛ Ghiat و همکاران، ۲۰۲۱؛ Khorsand و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین برای برآوردهای دقیق تبخیر و تعرق که اثر تغییرات آب و هوایی (مانند افزایش غلظت CO₂ محیط) یا شرایط رشد (مانند تنش شوری) را روی سطح برگ نشان می‌دهد، روش پنمن-مانتیت اصلی توصیه می‌شود. به جای پذیرش فرضیات نشریه 56 FAO مربوط به مقاومت‌های داخلی و آیرودینامیکی گیاه، اندازه‌گیری‌های مستقیم مقاومت‌های روزنه‌ای و لایه

مرزی را می‌توان انجام داد و در معادله پنمن-مانتیت اصلی ادغام کرد (Turan و همکاران، ۲۰۰۹؛ Li و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین این اندازه‌گیری‌ها می‌توانند برای واسنجی مدل‌های موجود با شرایط خاص اقلیمی و رشد، استفاده شوند (Yan و همکاران، ۲۰۲۰).

استفاده از مدل‌های استگلینی و فین برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌های با فناوری بالا تأیید شده است. زمانی که از مدل‌های پنمن-مانتیت فائو و پنمن فائو نیز در این نوع گلخانه‌ها استفاده شده است، میزان ضریب تبیین بالا بوده است (Rahimikhoob و همکاران، ۲۰۲۰)، اما برای مدل‌های استگلینی و فین ضریب تبیین پایین‌تری در مقایسه با کاربرد مدل‌های پنمن-مانتیت فائو و پنمن فائو در گلخانه‌های با فناوری پایین گزارش شده است؛ بنابراین مدل‌های پنمن-مانتیت فائو و پنمن فائو برای گلخانه‌های با فناوری پایین مناسب‌تر می‌باشند (Yan و همکاران، ۲۰۲۱).

هرچند از هر دو مدل توسعه یافته استگلینی و فین برای شرایط مزرعه (بیرون از گلخانه) و در گلخانه‌های با فناوری متوسط استفاده شده است؛ اما ضریب تبیین پایین‌تری در گلخانه‌های با فناوری متوسط در مقایسه با گلخانه‌های با فناوری پایین و بالا به‌دست آمده است. مدل استگلینی بالاترین دقت و مدل پریستلی-تیلور (معادله اصلی) کمترین دقت را در برآورد تبخیر و تعرق در این نوع از گلخانه‌ها ارائه می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهد مدل‌های تبخیر و تعرق پیچیده ضریب تبیین بالاتری را نسبت به مدل‌های ساده تبخیر و تعرق (مبتنی بر دما یا تابش) دارند. با این حال هیچ‌کدام از مدل‌های تبخیر و تعرق پیچیده و ساده استفاده شده در این نوع از گلخانه‌ها، ضریب تبیین بالاتری نسبت به گلخانه‌های با فناوری پایین و بالا ندارند. شرایط آب و هوای خاصی در گلخانه‌های با فناوری متوسط وجود دارد به‌طوری‌که هر دو شرایط حاکم در گلخانه‌های با فناوری پایین و بالا را نشان می‌دهد. به‌ویژه هنگامی که تهویه طبیعی در گلخانه از طریق باز کردن سقف، پنجره‌ها یا دریچه‌ها اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر، ساختار گلخانه و تجهیزات استفاده شده در این نوع از گلخانه‌ها تقریباً مشابه با گلخانه‌های فناوری بالا است. ترکیب این عوامل می‌تواند یکی از دلایل تعیین ضریب تبیین پایین‌تر در این نوع گلخانه‌ها باشد. مدل‌هایی برای استفاده در این نوع از گلخانه‌ها مناسب‌تر است که بتوانند به خوبی بیلان انرژی را با توجه به تمام عوامل موجود و تأثیرگذار در گلخانه، برآورد کنند.

به‌طورکلی توصیه می‌شود دقت و اعتبارسنجی مدل‌های تبخیر

و تعرق بر اساس داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده واقعی به‌ویژه در داخل انواع گلخانه‌ها، ارزیابی شود (Casanova و همکاران، ۲۰۰۹). در این شرایط دقت مدل‌ها و نتایج به‌دست آمده از آن‌ها قابل اعتمادتر خواهد بود. به‌طورکلی در اکثر مطالعات اولویت از مدل‌های رایج و ساده برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌های با فناوری پایین استفاده شده است. با وجود سادگی، این مدل‌ها با دقت قابل قبولی تبخیر و تعرق را برآورد می‌کنند. بر اساس دقت مدل‌ها، کاربرد مدل پنمن-مانتیت فائو در گلخانه پلاستیکی (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Casanova و همکاران، ۲۰۰۹؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۰b؛ Clothier و همکاران، ۲۰۲۲؛ Bonachela و همکاران، ۲۰۲۴) و مدل‌ها رگروز (با محاسبه ضریب انتقال تابش از پوشش گلخانه) و مدل پریستلی-تیلور در گلخانه Screen-house توصیه می‌شود (جوزی و همکاران، ۱۴۰۲؛ Katsoulas و Stanghellini، ۲۰۱۹؛ Gong و همکاران، ۲۰۲۰b؛ Nikolaou و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، کاربرد مدل استگلینی برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌های با فناوری متوسط و بالا نیز با توجه به داشتن بالاترین دقت پیشنهاد می‌شود (Karaca و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ghia و همکاران، ۲۰۲۱). توصیه می‌شود مدل استگلینی را با ساختار گلخانه (به عنوان مثال، نوع پوشش، پوشش زمین، شکل سقف)، شرایط محیطی لازم برای رشد (مانند تهویه، سرمایش، گرمایش)، نوع آبیاری و تغذیه (مانند کشت هیدروپونیک) و نوع محصول، تطبیق داده شود.

نتیجه‌گیری

برآورد دقیق تبخیر و تعرق (نیاز آبی) در گلخانه یک عامل کلیدی در مدیریت آب کشت‌های گلخانه‌ای است. برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه را می‌توان به‌طور غیرمستقیم با استفاده از داده‌های آب و هوایی برآورد کرد. نیاز آبیاری یک محصول برابر است با آب مورد نیاز گیاه که از تفاوت بین بارندگی و نیاز آبی (ET) برآورد می‌شود. نیاز خالص آبیاری در شرایط گلخانه‌ای با توجه به عدم دریافت مستقیم بارندگی، برابر با نیاز آبی (ET) محصول است. حجم ناخالص آب آبیاری برابر با مقادیر نیاز خالص آبی کشت (ET) با در نظر گرفتن نیاز آبخوبی و تلفات ناشی از راندمان آبیاری و یکنواختی توزیع آب است. با توجه به اینکه بارندگی وارد گلخانه نمی‌شود و به دلیل آبیاری با دور کم و به تعداد بالا به روش قطره‌ای، رطوبت خاک به‌طور پیوسته نزدیک به ظرفیت زراعی نگهداشته می‌شود؛ بنابراین، بیشتر می‌توان فرض کرد که مقدار آب مورد نیاز محصولات در گلخانه معادل و بسیار نزدیک مقدار نیاز خالص آبی است.

وهارگریوز، کمترین دقت را در برآورد تبخیر و تعرق در این نوع گلخانه‌ها دارند. از مدل‌های استگلینی و فین برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌های با فناوری بالا استفاده شده است. همچنین در صورت استفاده از مدل‌های پنمن - مانتیث فائو و پنمن فائو در این نوع گلخانه‌ها، میزان دقت برآورد تبخیر و تعرق بالا بوده است. به‌طورکلی دقت هر مدل به نوع گلخانه و شرایط آب و هوای حاکم بر آن، بستگی دارد. بررسی نتایج مطالعات مختلف در خصوص برآورد نیاز آبی گیاه (ET_c) در گلخانه‌ها نشان داده است که بیشتر از مدل پنمن-مانتیث فائو برای انجام این کار، استفاده شده است. اگرچه معادله پنمن-مانتیث فائو بیشتر برای برآورد نیاز آبی تحت شرایط آب و هوای بیرون از گلخانه (محیط باز) است، با این حال، بسیاری از پژوهش‌ها از مدل پنمن-مانتیث فائو برای برآورد نیاز آبی در گلخانه‌ها استفاده کرده‌اند. اگرچه هنوز استفاده از یک مدل تبخیر و تعرق مشخص برای برآورد نیاز آبی در گلخانه‌ها اثبات نشده است، اما به‌کارگیری هر کدام از مدل‌ها به نوع گلخانه به‌دلیل شرایط آب و هوایی متفاوت درون آن‌ها، به داده‌های در دسترس و اندازه‌گیری شده در درون و بیرون آن‌ها بستگی دارد. هر کدام از مدل‌ها به داده‌های آب و هوایی خاصی نیاز دارند تا بتوانند مقدار مقدار تبخیر و تعرق را برآورد کنند. علاوه بر این، داده‌های در دسترس و اندازه‌گیری شده متفاوت در هرکدام از گلخانه‌ها، یکی از عوامل مهم در تعیین انتخاب مدل تبخیر و تعرق است. لازم به ذکر است دقت مدل در برآورد تبخیر و تعرق در هر نوع گلخانه نیز می‌تواند عاملی برای انتخاب آن مدل باشد.

پی‌نوشت‌ها

1. Crop evapotranspiration
2. Evapotranspiration
3. Penman-Monteith
4. Reference evapotranspiration
5. Potential evapotranspiration
6. Crop evapotranspiration
7. Photosynthetic Active Radiation
8. Heat exchange
9. Convection
10. Natural convection
11. Forced convection
12. Vapour balance
13. Drying power
14. Advection
15. Electronic weighing balance
16. Load cells
17. Atmometer
18. Reduced pan

مدل‌های تعرق متعددی در منابع برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه موجود هستند، اما اغلب مدل‌های تبخیر و تعرق مناسب‌تر هستند؛ زیرا هر دو فرآیند تبخیر و تعرق را در محیط گلخانه در نظر می‌گیرند. علاوه‌براین، تشخیص و جداسازی هر دو فرآیند دشوار است، زیرا به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهند. با درک این موضوع، پرکاربردترین مدل‌های تبخیر و تعرق در گلخانه در این مطالعه بررسی شدند. دو روش برای برآورد غیرمستقیم تبخیر و تعرق شامل مدل‌های تجربی یا مدل‌های مبتنی بر قوانین فیزیک، وجود دارند. به‌طورکلی مدل‌های تبخیر و تعرق در برخی از مدل‌ها مبتنی بر قوانین فیزیک و بر اساس توازن انرژی و ترکیبی از نظریه‌های مختلف هستند. مدل‌های دیگر درواقع مدل‌های تجربی هستند که تبخیر و تعرق را بر اساس روابط تجربی مستخرج از پارامترهای تابش خورشید، دما و رطوبت نسبی برآورد می‌کنند. در گلخانه، تعرق از سطح گیاه مهم‌ترین جزء اتلاف انرژی است که بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. تبخیر و تعرق در گلخانه شامل بیلان انرژی تابش خالص خورشیدی، انتقال گرما و تبخیر از سطح سایه‌انداز گیاه است. بیشتر مدل‌هایی که بر اساس بیلان انرژی توسعه یافته‌اند، معمولاً برآورد مناسب‌تری از تعرق را ارائه می‌دهند.

مدل‌های تبخیر و تعرق مختلفی برای برآورد نیاز آبی کشت‌های گلخانه‌ای استفاده شده‌اند. گلخانه‌ها براساس نوع فناوری به سه نوع گروه گلخانه‌ها با فناوری پایین، متوسط و بالا تقسیم می‌شوند. فناوری گلخانه نیز مربوط به ساختار، مواد و مصالح، تجهیزات و امکانات گلخانه می‌شوند. به‌طورکلی نیاز آبی در گلخانه (ET_c) برای یک محصول مشخص تحت تأثیر بیلان انرژی کل سامانه گلخانه است و به‌شدت به ویژگی‌های گلخانه و تجهیزات کنترل آب و هوا بستگی دارد. بنابراین، برای تعیین ET_c باید همه این عوامل در انواع گلخانه‌ها از جمله گلخانه‌های با فناوری بالا مانند گلخانه‌های بسته و کنترل شده تا گلخانه‌های سنتی با پوشش پلاستیکی و فناوری پایین در نظر گرفته شوند. مطالعات زیادی برای توسعه مدل‌های تبخیر و تعرق، مقایسه و انتخاب مدل(های) مناسب برای کشت‌ها در انواع گلخانه‌ها، انجام شده‌اند. بررسی‌ها نشان داد که بیشتر از مدل‌های پنمن فائو و پنمن-مانتیث فائو در گلخانه‌های با فناوری پایین استفاده شده است. علاوه براین، از مدل ساده‌تر و مبتنی بر تابش و دما مانند مدل هارگریوز و پریستلی - تیلور نیز استفاده شده است. از هر دو مدل تبخیر و تعرق ساده و پیچیده در گلخانه با فناوری متوسط استفاده شده است. مدل استگلینی، بهترین مدل برای برآورد تبخیر و تعرق در گلخانه‌ای با فناوری متوسط بوده است. مدل‌های تابش فائو

- Acquah, S.J., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., Zhao, B., Wu, H., & Zhang, H. (2018). Application and evaluation of Stanghellini model in the determination of crop evapotranspiration in a naturally ventilated greenhouse. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(6), 95-103.
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L.S., & Pruitt, W.O. (1997). Proposed Revision to the FAO Procedure for Estimating Crop Water Requirements. *Acta Horticulturae*, 449, 17-34. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1997.449.2>
- 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, 300(9), D05109. Rome, Italy.
- Altenhofen, J. (1985). A modified atmometer for on-farm ET determination. In National conference on advances in evapotranspiration, Hyatt Regency Chicago, Ill. (USA), 16-17 Dec 1985. American Society of Agricultural Engineers. USA.
- Aslan, G.E., Bastug, R., Karaca, C., Kurunc, A., Buyuktas, D., & Navarro, A. (2024). Effects of Saline Irrigation Water Applications on Evapotranspiration Partitioning and Crop Coefficient of Tomato Grown in Mediterranean-Type Greenhouses. *Agronomy*, 14(8), 1771. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081771>
- Baille, A. (1992). Water Status Monitoring in Greenhouse Crops. *Acta Horticulturae*, 304, 15-28. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1992.304.1>
- Baille, M., Baille, A., & Laury, J.C. (1994). A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, 59(3-4), 217-232. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)90015-9)
- Bastug, R., Bayuktas, D., Bayuktas, K., Aydinsakir, K., Onus, A.N., & Karaca, C. (2024). Evapotranspiration and crop coefficients of some vegetable crops grown under greenhouse conditions. *Journal of Water and Climate Change*, 15(7), 3236-3259. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.093>
- Blanco, F.F., & Folegatti, M.V. (2003). Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(2), 285-291. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662003000200017>
- Blanco, F.F., & Folegatti, M.V. (2004). Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2-3), 184-188. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662004000200004>
- Bonachela, S., Fernandez, M.D., Hernandez, J., & Karaca, C. (2024). Computing air temperature and humidity for reference crop evapotranspiration calculation in passive
- ابراهیمی، میلاد، رضاوودی‌نژاد، وحید، بشارت، سینا، و عبدی، مریم. (۱۳۹۷). تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی مراحل رشد گیاه دارویی ریحان در کشت گلخانه‌ای. مدیریت آب و آبیاری، ۱۸(۱)، ۱۳-۱. doi: 10.22059/jwim.2018.244085.573
- اکبری فرد، سعید، بختیاری، بهرام، محمد میرحبیبی، محمد، و رضایی استخروئیه، عباس. (۱۳۹۴). مقایسه تبخیر و تعرق مرجع روزانه محاسبه شده و واقعی در شرایط گلخانه‌ای در اقلیم نیمه‌خشک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۶)، ۹۳۷-۹۴۷.
- جوزی، مهدی، ابراهیمی پاک، نیاز علی، و تافته، آرش. (۱۴۰۲). برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع با روش‌های هارگریوز سامانی و هارگریوز سامانی اصلاح شده و ارزیابی آن‌ها با استفاده از سامانه نیاز آبی گیاهان در استان کرمانشاه. هیدروژئولوژی، ۱۸(۱)، ۱-۱۶. doi: 10.22034/hydro.2023.53196.1271
- رضوانی، سید معین الدین، زارعی، قاسم، و سالمی، حمیدرضا. (۱۴۰۱). تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در منطقه همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶(۵)، ۹۰۴-۹۱۶. doi: 10.1001.1.20087942.1401.16.5.2.7
- رفیعی، محمد رفیع، معاضد، هادی، قائمی، علی اصغر، و برومند نسب، سعید. (۱۳۹۵). ارزیابی روش FAO-56 در برآورد تبخیر-تعرق و ضرایب گیاهی بادنجان در شرایط گلخانه و مزرعه. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹(۲)، ۷۷-۵۹. doi: 10.22055/jise.2016.12112
- کیخایی، فاطمه، زارعی، قاسم، گنجی خرم دل، ناصر، و صادقی، صادق. (۱۳۹۹). تعیین نیاز آبی ارقام گل رز در گلخانه هیدروپونیک. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴(۴)، ۵۳۱-۵۴۲. doi: 10.22092/jwra.2021.123622
- مودن‌زاده، روزبه. (۱۳۹۴). اندازه‌گیری و مدل‌سازی تبخیر-تعرق خیار در شرایط درون گلخانه. آب و خاک، ۲۹(۵)، ۱۲۴۷-۱۲۶۱. doi: 10.22067/jsw.v29i5.38053

Mediterranean greenhouses. *Agricultural Water Management*, 302, 108991.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108991>

- Bot, G.P. (1983). *Greenhouse Climate: from Physical Processes to A Dynamic Model*. Doctoral dissertation, Bot, Landbouwhogeschool Wageningen. Promotor (en): J. Schenk. - Wageningen: Landbouwhogeschool - 240, Netherlands.
- Bot, G.P.A. (1989). *Greenhouse Simulation Models*. *Acta Horticulturae*, 245, 315-325.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1989.245.42>
- Boulard, T. (2007). *Evapotranspiration*. *Encyclopedia of Water Science*, Second Edition (Print Version), 337-342. CRC Press. Boca Raton, US state.
<https://doi.org/10.1201/noe0849396274.ch84>
- Casanova, P.M., Messing, I., Joel, A., & Caeete, M.A. (2009). *Methods to Estimate Lettuce Evapotranspiration in Greenhouse Conditions in the Central Zone of Chile*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1).
<https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000100008>
- Clothier, B., Al Tamimi, M., Green, S., Hammami, Z., Ammar, K., Al Ketbi, M., Al-Shrouf, A. M., Dawoud, M., & Kennedy, L. (2022). *Evapotranspiration and Crop Coefficients Using Lysimeter Measurements for Food Crops in the Hyper-Arid United Arab Emirates*. *SSRN Electronic Journal*, 1-36.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4092705>
- Doorenboss, J., & Pruitt, W. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirement*. *FAO Irrigation and Drainage*. Paper No. 24. 179. Rome, Italy.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. *FAO Irrigation and Drainage*. Paper No. 1. Rome, Italy.
- Fernandes, C., Cora, J.E., & Araújo, J.A.C.de. (2003). *Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses*. *Scientia Agricola*, 60(3), 591-594.
<https://doi.org/10.1590/s0103-90162003000300027>
- Fernandez, M.D., Baeza, E., Cespedes, A., Perez-Parra, J., & Gazquez, J.C. (2009). *Validation of on-farm crop water requirements (PrHo) model for horticultural crops in an unheated plastic greenhouse*. *Acta Horticulturae*, 807, 295-300.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.807.40>
- Fernandez, M.D., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., Lopez, J. C., Granados, M. R., Gallardo, M., & Fereres, E. (2010). *Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate*. *Irrigation Science*, 28(6), 497-509.
<https://doi.org/10.1007/s00271-010-0210-z>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. *Plant Production and Protection Division*, Paper 217. 640 pp. Rome, Italy.
- Fynn, R.P., Al-Shooshan, A., Short, T.H., & McMahon, R.W. (1993). *Evapotranspiration measurement and modeling for a potted chrysanthemum crop*. *Transactions of the ASAE*, 36(6), 1907-1913.
<https://doi.org/10.13031/2013.28541>
- Ghat, I., Govindan, R., & Al-Ansari, T. (2023). *Evaluation of evapotranspiration models for cucumbers grown under CO2 enriched and HVAC driven greenhouses: A step towards precision irrigation in hyper-arid regions*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1155443>
- Ghat, I., Mackey, H.R., & Al-Ansari, T. (2021). *A Review of Evapotranspiration Measurement Models, Techniques and Methods for Open and Closed Agricultural Field Applications*. *Water*, 13(18), 2523.
<https://doi.org/10.3390/w13182523>
- Gong, X., Liu, H., Sun, J., Gao, Y., & Zhang, H. (2019). *Comparison of Shuttleworth-Wallace model and dual crop coefficient method for estimating evapotranspiration of tomato cultivated in a solar greenhouse*. *Agricultural Water Management*, 217, 141-153.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.012>
- Gong, X., Qiu, R., Sun, J., Ge, J., Li, Y., & Wang, S. (2020a). *Evapotranspiration and crop coefficient of tomato grown in a solar greenhouse under full and deficit irrigation*. *Agricultural Water Management*, 235, 106154.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106154>
- Gong, X., Wang, S., Xu, C., Zhang, H., & Ge, J. (2020b). *Evaluation of Several Reference Evapotranspiration Models and Determination of Crop Water Requirement for Tomato in a Solar Greenhouse*. *HortScience*, 55(2), 244-250. <https://doi.org/10.21273/hortsci14514-19>
- Gong, X., Qiu, R., Ge, J., Bo, G., Ping, Y., Xin, Q., & Wang, S. (2021). *Evapotranspiration partitioning of greenhouse grown tomato using a modified Priestley-Taylor model*. *Agricultural Water Management*, 247, 106709.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106709>
- Graaf, R.d. (1988). *Automation of the Water Supply of Glasshouse Crops by Means of Calculation the Transpiration and Measuring the Amount of Drainage Water*. *Scientia Horticulturae (ISHS)* 229, 219-232.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1988.229.21>
- Guo, D., Chen, Z., Huang, D., & Zhang, J. (2021). *Evapotranspiration Model-based Scheduling Strategy for Baby Pakchoi Irrigation in Greenhouse*. *HortScience*, 56(2), 204-209. <https://doi.org/10.21273/hortsci15513-20>
- Hamer, P.J.C. (1998). *Validation of A Model Used for Irrigation Control of a Greenhouse Crop*. *Acta Horticulturae*, 458, 75-82.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.458.8>

- Haofang, D. (2023). Advances in Modelling Techniques for Greenhouse Microclimate and Evapotranspiration: An Overview. *American Journal of Biomedical Science and Pharmaceutical Innovation*, 3(07), 1-4.
<https://doi.org/10.37547/ajbspi/Volume03Issue07-01>
- Hargreaves, G.L., Hargreaves, G.H., & Riley, J.P. 1985. Agricultural Benefits for Senegal River Basin. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(2), 113-124.
doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1985\)111:2\(113\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1985)111:2(113))
- Huang, S., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., Acquah, S. J., Yu, J., Li, L., Ma, J., & Opoku Darko, R. (2020). Modeling evapotranspiration for cucumber plants based on the Shuttleworth-Wallace model in a Venlo-type greenhouse. *Agricultural Water Management*, 228, 105861.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105861>
- Ibrahim, Y.M., Buyuktas, D., & Karaca, C. (2024). Evaporation and Transpiration Components of Crop Evapotranspiration and Growth Parameters of Lettuce Grown under Greenhouse Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 150(5), 1-16.
<https://doi.org/10.1061/jidedh.ireng-10256>
- Iddio, E., Wang, L., Thomas, Y., McMorro, G., & Denzer, A. (2020). Energy efficient operation and modeling for greenhouses: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109480.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109480>
- Jaafar, H.H., & Ahmad, F. (2019). Determining Reference Evapotranspiration in Greenhouses from External Climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145(9), 1-12.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001404](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001404)
- Jessica, J., Prenger, R., Peter F., Robert, C., & Hansen, D. (2001). An Evaluation of Four Evapotranspiration Models. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 018010, 1-10.
<https://doi.org/10.13031/2013.7500>
- Jo, W.J., Kim, D.S., Sim, H.S., Ahn, S.R., Lee, H.J., Moon, Y.H., Woo, U.J., & Kim, S.K. (2021). Estimation of Evapotranspiration and Water Requirements of Strawberry Plants in Greenhouses Using Environmental Data. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.684808>
- Joliet, O. (1994). HORTTRANS, a Model for Predicting and Optimizing Humidity and Transpiration in Greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 57(1), 23-37.
<https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1003>
- Jung, D.H., Lee, T.S., Kim, K., & Park, S.H. (2022). A Deep Learning Model to Predict Evapotranspiration and Relative Humidity for Moisture Control in Tomato Greenhouses. *Agronomy*, 12(9), 2169.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12092169>
- Karaca, C., Tezcan, A., Bayaktas, K., Bayaktas, D., & Bastug, R. (2018). Equations developed to estimate evapotranspiration in greenhouses. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 28(4), 482-489.
<https://doi.org/10.29133/yyutbd.427115>
- Kashyap, P.S., & Panda, R.K. (2001). Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*, 50(1), 9-25.
[https://doi.org/10.1016/s0378-3774\(01\)00102-0](https://doi.org/10.1016/s0378-3774(01)00102-0)
- Katsoulas, N., & Stanghellini, C. (2019). Modelling Crop Transpiration in Greenhouses: Different Models for Different Applications. *Agronomy*, 9(7), 392.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9070392>
- Keykhai, F., Zareai, G., Ganji Khorramdel, N., & Sadeghi, S. (2021). Determining Crop Water Requirement of Rose Varieties in Hydroponic Greenhouse, *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(4), 531-542.
doi: [10.22092/jwra.2021.123622](https://doi.org/10.22092/jwra.2021.123622)
- Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni-Heris, A., Rahimi, A. & Besharat, S., (2019). Irrigation scheduling of maize based on plant and soil indices with surface drip irrigation subjected to different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 224(105740), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105740>
- Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Heris, A.M., Rahimi, A. & Besharat, S., (2020). Response of maize and black gram yield and water productivity to variations in canopy temperature and crop water stress index. *International Agrophysics*, 34(3), 381-390.
<https://doi.org/10.31545/intagr/126439>
- Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni-Heris, A., Rahimi, A., Besharat, S. & Sadraddini, A.A., (2021). Linking plant and soil indices for water stress management in black gram. *Scientific reports*, 11(869), 1-19.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-79516-3>
- Kipp, J.A. (2010). Optimal climate regions in Mexico for greenhouse crop production (No. GTB-1024). *Wageningen UR Greenhouse Horticulture*, 1-24. Netherlands.
- Lazarovitch, N., Ben-Gal, A., & Shani, U. (2006). An Automated Rotating Lysimeter System for Greenhouse Evapotranspiration Studies. *Vadose Zone Journal*, 5(2), 801-804. Portico.
<https://doi.org/10.2136/vzj2005.0137>
- Li, X., Kang, S., Niu, J., Huo, Z., & Liu, J. (2019). Improving the representation of stomatal responses to CO₂ within the Penman-Monteith model to better estimate evapotranspiration responses to climate change. *Journal of Hydrology*, 572, 692-705.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.029>

- Liu, H.J., Cohen, S., Tanny, J., Lemcoff, J.H., & Huang, G. (2008). Estimation of banana (*Musa sp.*) plant transpiration using a standard 20 cm pan in a greenhouse. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(3-4), 311-323.
<https://doi.org/10.1007/s10795-008-9058-2>
- López-Cruz, I. L., Olivera-López, M., & Herrera-Ruiz, G. (2008). SIMULATION OF GREENHOUSE TOMATO CROP TRANSPIRATION BY TWO THEORETICAL MODELS. *Acta Horticulturae*, 797, 145-150.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2008.797.18>
- Moazed, H.A. Ghaemi, A. & Rafiee M.R. (2014). Evaluation of Several Reference Evapotranspiration Methods: A Comparative Study of Greenhouse and Outdoor Conditions. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, 38(C2), 421-437.
doi: 10.22099/ijstc.2014.2419
- Møller, M., Tanny, J., Li, Y., & Cohen, S. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127(1-2), 35-51.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.08.002>
- Møller, M., & Assouline, S. (2007). Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrigation Science*, 25(2), 171-181.
<https://doi.org/10.1007/s00271-006-0045-9>
- Morille, B., Migeon, C., & Bournet, P. E. (2013). Is the Penman-Monteith model adapted to predict crop transpiration under greenhouse conditions? Application to a New Guinea Impatiens crop. *Scientia Horticulturae*, 152, 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111716>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., & Kittas, C. (2019). Irrigation of Greenhouse Crops. *Horticulturae*, 5(1), 7.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae5010007>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2023). Assessment of the Priestley-Taylor coefficient and a modified potential evapotranspiration model. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100075.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100075>
- Okuya, A., & Okuya, T. (1988). The Transpiration of Greenhouse Tomato Plants in Rockwool Culture and Its Relationship to Climatic Factors. *Acta Horticulturae*, 230, 307-312.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1988.230.39>
- Pardossi, A., Tognoni, F., & Incrocci, L. (2004). Mediterranean greenhouse technology. *Chronica Horticulturae*, 44(2), 28-34.
- Parsinejad, M., Raja, O., & Chehrenegar, B. (2022). Practical analysis of remote sensing estimations of water use for major crops throughout the Urmia Lake basin. *Agricultural Water Management*, 260, 107232.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107232>
- Perez, M.D., Villanueva, D.G., Medina, J.C., Ferre, F.C., & Rodriguez, E.J.F. (2003). Utilización de mallas anti-insectos como protección en invernaderos mediterráneos: efectos de la densidad de hilos y de la fotoselectividad sobre la difusión del tylocv (virus de la cuchara) en el cultivo de tomate. In *Innovaciones tecnológicas en cultivos de invernadero* (pp. 165-175). Ediciones Agrotécnicas.
- Pidwirny, M. (2006). Actual and Potential Evapotranspiration. *Fundamental of Physical Geography*, 2nd Edition.
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8j.html>
- Priestley, C.H.B. & Taylor, R.J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), 81-92.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100%3C0081:otaosh%3E2.3.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100%3C0081:otaosh%3E2.3.co;2)
- Rafie, M., & Mahbod, M. (2020). Application of logistic model to estimate eggplant yield and dry matter under different levels of salinity and water deficit in greenhouse and outdoor conditions. *Water SA*, 46(3), 419-428.
<https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i3.8652>
- Rahimikhoob, H., Sohrabi, T., & Delshad, M. (2020). Assessment of reference evapotranspiration estimation methods in controlled greenhouse conditions. *Irrigation Science*, 38(4), 389-400.
<https://doi.org/10.1007/s00271-020-00680-5>
- Richard L. & Bello, B.A. (2007). Evapotranspiration: Greenhouses. *Encyclopedia of Water Science*, Second Edition, 337-342.
<https://doi.org/10.1081/e-ews2-120010311>
- Scheff, J., & Frierson, D.M.W. (2014). Scaling Potential Evapotranspiration with Greenhouse Warming. *Journal of Climate*, 27(4), 1539-1558.
<https://doi.org/10.1175/jcli-d-13-00233.1>
- Shi, W., Zhang, X., Xue, X., Feng, F., Zheng, W., & Chen, L. (2023). Analyzing Evapotranspiration in Greenhouses: A Lysimeter-Based Calculation and Evaluation Approach. *Agronomy*, 13(12), 3059.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13123059>
- Stanghellini, C. (1987). Transpiration of Greenhouse Crops: an aid to climate management. Ph. D, Wageningen University and Research, Wageningen, Netherlands.
<https://doi.org/10.18174/202121>
- Subedi, A., & Chavez, J.L. (2015). Crop evapotranspiration (ET) estimation models: a review and discussion of the applicability and limitations of ET methods. *J Agric Sci*, 7(6), 50.
<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v7n6p50>
- Tadj, N., Draoui, B., Theodoridis, G., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2007). Convective Heat Transfer in A Heated Greenhouse Tunnel. *Acta Horticulturae*, 747, 113-120.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2007.747.11>

- Takakura, T., Kubota, C., Sase, S., Hayashi, M., Ishii, M., Takayama, K., Nishina, H., Kurata, K., & Giacomelli, G. A. (2009). Measurement of evapotranspiration rate in a single-span greenhouse using the energy-balance equation. *Biosystems Engineering*, 102(3), 298–304.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.12.004>
- Tanny, J., Cohen, S., Elmowitz, D., Liu, H., & Grava, A. (2006). Measuring and Predicting Evapotranspiration in a Banana Screenhouse. *Acta Horticulturae*, 718, 538–546.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2006.718.63>
- Teitel, M., Vitoshkin, H., Geoola, F., Karlsson, S., & Stahl, N. (2017). Greenhouse and screenhouse cover materials: Literature review and industry perspective. In *International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant*, 1227, 31–44. Beijing, China.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.4>
- Tognoni, F., Pardossi, A., & Serra, G. (1999). Strategies to Match Greenhouses to Crop Production. In *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*, 481, 451–462.
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1999.481.52>
- Turan, M.A., Elkarim, A.H.A., Taban, N., & Taban, S. (2009). Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant. *African Journal of Agricultural Research*, 4(9), 893–897.
- Valdes-Gomez, H., Ortega-Farias, S., & Argote, M. (2009). Evaluación del Consumo de Agua de un Cultivo de Tomate en Invernadero Usando el Método de Priestley-Taylor. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(1), 3–11.
<https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000100001>
- Villarreal-Guerrero, F., Kacira, M., Fitz-Rodríguez, E., Linker, R., Kubota, C., Giacomelli, G.A., & Arbel, A. (2012). Simulated performance of a greenhouse cooling control strategy with natural ventilation and fog cooling. *Biosystems Engineering*, 111(2), 217–228.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.11.015>
- Wang, L., Iddio, E., & Ewers, B. (2021). Introductory overview: Evapotranspiration (ET) models for controlled environment agriculture (CEA). *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106447.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106447>
- Wang, B., Bao, R., Yan, H., Zheng, H., Wu, J., Zhang, C., & Wang, G. (2025). Study of evapotranspiration and crop coefficients for eggplant in a Venlo-type greenhouse in South China. *Irrigation and Drainage*, 74(2), 556–568.
<https://doi.org/10.1002/ird.3025>
- Yadava, R., & Singh, T. B. (2003). Stability analysis in wheat for grain protein. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 63(04), 337–338.
- Yan, H., Huang, S., Zhang, C., Gerrits, M. C., Wang, G., Zhang, J., Zhao, B., Acquah, S. J., Wu, H., & Fu, H. (2020). Parameterization and Application of Stanghellini Model for Estimating Greenhouse Cucumber Transpiration. *Water*, 12(2), 517.
<https://doi.org/10.3390/w12020517>
- Yan, H., Joe Acquah, S., Zhang, J., Wang, G., Zhang, C., & Opoku Darko, R. (2021). Overview of modelling techniques for greenhouse microclimate environment and evapotranspiration. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(6), 1–8.
<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211406.3948>
- Yan, H., Zhao, S., Zhang, C., Zhang, J., Wang, G., Li, M., Deng, S., Liang, S. & Jiang, J. (2024). Calibration and assessment of evapotranspiration methods for cucumber plants in a Venlo-type greenhouse. *Irrigation and Drainage*, 73(1), 119–135.
<https://doi.org/10.1002/ird.2856>
- Yao, M., Gao, M., Wang, J., Li, B., Mao, L., Zhao, M., Xu, Z., Niu, H., Wang, T., Sun, L., & Niu, D. (2023). Estimating Evapotranspiration of Greenhouse Tomato under Different Irrigation Levels Using a Modified Dual Crop Coefficient Model in Northeast China. *Agriculture*, 13(9), 1741.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13091741>
- Yuan, H., Feng, C., Li, J., Zhang, J., Wang, X., & Cheng, M. (2023). A Method to Estimate Evapotranspiration in Greenhouse Conditions by Artificial Neural Networks Using Limited Climate Parameters. *Journal of Physics: Conference Series*, 2650(1), 012029.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2650/1/012029>
- Zhang, Z., Liu, S., Liu, S., & Huang, Z. (2010). Estimation of Cucumber Evapotranspiration in Solar Greenhouse in Northeast China. *Agricultural Sciences in China*, 9(4), 512–518.
[https://doi.org/10.1016/s1671-2927\(09\)60124-3](https://doi.org/10.1016/s1671-2927(09)60124-3)
- Zhang, J., Bai, Y., Yan, H., Guo, H., Yang, S., & Wang, J. (2020). Linking observation, modelling and satellite-based estimation of global land evapotranspiration. *Big Earth Data*, 4(2), 94–127.
<https://doi.org/10.1080/20964471.2020.1743612>

پایداری محاسباتی: محاسبات برای جهانی بهترو آینده‌ای پایدار

مترجم: محمد اسکندری نسب

رایانامه: eskandari.m1991@gmail.com

دانشجوی دکتری جامعه‌شناسی توسعه اجتماعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Gomes, C., Fern, X., Fink, D., Fisher, D. and et all. (2019). Computational sustainability: computing for a better world and a sustainable future. Communications of the ACM, 62 (9), 56 – 65. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3339399>

ترجمه از:

چکیده

دانشمندان علم کامپیوتر و اطلاعات در قالب همکاری سایر رشته‌ها، با هدف تحقق آینده‌ای پایدار، در پی حل چالش‌های اجتماعی و محیط زیستی پیش روی بشریت هستند و توان و دانش خود را به اشتراک گذاشته تا با استفاده از رویکردی میان رشته‌ای و محاسباتی، در راستای توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست قدم بردارند.

نکات کلیدی مقاله شامل موارد زیر است:

- علوم کامپیوتر، پایداری [و توسعه پایدار] را غنا می‌بخشد. برای دستیابی به آینده‌ای پایدار، دانشمندان علوم کامپیوتر می‌توانند و می‌بایست در راستای برطرف کردن چالش‌های کلیدی اجتماعی-محیط زیستی پیش روی بشریت، قدم بردارند. از این رو رشته جدید پایداری محاسباتی این تلاش‌ها را گرد هم می‌آورد.
 - متقابلاً پایداری [و توسعه پایدار]، علوم کامپیوتر را نیز غنی می‌کند. چراکه کار بر روی مسائل پایداری، شامل عدم قطعیت، یادگیری ماشین، بهینه‌سازی، سنجش‌ازدور و تصمیم‌گیری، با ایجاد مسائل محاسباتی جذاب و جدید، علوم کامپیوتر را نیز پربار می‌کند.
 - پایداری [و توسعه پایدار] به مسائل مربوط به رفاه انسان و حفاظت از زمین اهمیت می‌دهد. گروهی بزرگ از پژوهشگران علوم کامپیوتر، در همکاری با گروهی بزرگ‌تر از پژوهشگران علوم اجتماعی، محیطی و طبیعی، می‌توانند پایداری محاسباتی را به گونه‌ای ارتقا دهند که در سطوح خردتر یا کمتر بین‌رشته‌ای امکان‌پذیر نیست.
- واژه‌های کلیدی:** پایداری، پایداری محاسباتی، توسعه پایدار، علوم محاسباتی.

نفوذ انقلاب دیجیتال در حوزه‌های مختلف و دگرگونی اساسی در زمینه‌هایی از جمله تجارت، علم و زندگی روزمره جهان امروز ما، توانسته بستری جذاب برای علوم محاسباتی ایجاد کند. اینترنت، شبکه جهانی وب، GPS، ارتباطات ماهواره‌ای، سنسور از دور و تلفن‌های هوشمند، به طور چشمگیری آهنگ اکتشافات و ایجاد شبکه اتصال جهانی بین افراد و دستگاه‌ها را افزایش داده‌اند. همچنین، پیشرفت هوش مصنوعی (AI) که نقش فزاینده‌ای در این انقلاب ایفا می‌کند، تحولات نوآورانه‌ای همچون تجارت الکترونیک، شبکه‌های اجتماعی، پزشکی شخصی‌سازی شده، خودروهای خودران و... را به همراه داشته است.

به سوی آینده‌ای پایدار

در سال ۱۹۸۷، گزارش کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه سازمان ملل متحد، با عنوان «آینده مشترک ما» (United Nations, ۲۰۱۸a)، ضمن طرح نگرانی جدی در مورد وضعیت کره زمین، معیشت نسل‌های کنونی و آینده، مفهوم پیشگامانه «توسعه پایدار» را معرفی کرد.

توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای امروز را برآورده می‌کند؛ بدون آنکه توانایی نسل‌های آینده را در تأمین نیازهای خود با خطری مواجه کند. اهداف توسعه پایدار (SDGs) (United Nations, ۲۰۱۸b)، ضمن یکپارچه‌سازی و تعادل بخشی به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیطی توسعه پایدار، حوزه‌هایی را مشخص می‌کند که برای رفاه انسان و حفاظت از کره زمین اهمیت حیاتی دارند. (شکل ۱).

تحقیقات محاسباتی در پایداری

در اینجا ما برخی از تحقیقات پایداری محاسباتی خود را بیان می‌کنیم که بر سه موضوع کلی حول پایداری تمرکز دارند:

۱. تعادل بخشیدن به نیازهای محیط زیستی و اجتماعی-اقتصادی؛
 ۲. تنوع زیستی و حفظ منابع طبیعی؛
 ۳. انرژی و مواد تجدیدپذیر و پایدار.
- از سویی این تحقیقات بر سه موضوع محاسباتی عمده متمرکز است:

۱. بهینه‌سازی، مدل‌های دینامیکی و شبیه‌سازی^۳؛
 ۲. کلان داده و یادگیری ماشین^۴؛
 ۳. سیستم‌های چندعاملی، جمع‌سپاری و علم شهروندی^۵.
- (شکل ۲).

این بخش براساس سه زمینه پایداری مد نظر ما سازمان‌دهی شده و موضوعات محاسباتی فرارشته‌ای را برجسته می‌کند (همان طور که در نقشه مترو [خطوط ربط] شکل ۳ نمایش داده شده است).

متأسفانه، بشریت نیز با چالش‌های هولناکی روبه رو است. تقریباً یک میلیارد نفر هنوز زیر خط فقر بین‌المللی زندگی می‌کنند و فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب‌وهوایی، سیاره ما و زندگی نسل‌های کنونی و آینده را تهدید می‌کنند. علاوه بر این، رایانش و فناوری اطلاعات با اثراتی ناموزون، عمدتاً به نفع بخش‌های سودآور اجتماعات بوده و کمتر توانسته به مصالح اجتماعی و محیط زیستی سودی برساند؛ این امر نابرابری و تخریب سیاره ما را تشدید می‌کند.

ما بر این باوریم که در راستای دستیابی به آینده‌ای پایدار، دانشمندان علوم کامپیوتر می‌توانند و می‌بایست در کمک به حل چالش‌های اجتماعی و محیط زیستی نقش کلیدی خود را ایفا کنند؛ در عین حال به رشته علوم کامپیوتر نیز کمک کنند.

بیش از یک دهه است که ما درگیر تحقیقات محاسباتی برای رسیدگی به چالش‌های اجتماعی و محیط زیستی بوده‌ایم تا رشته جدید «پایداری محاسباتی» بالیدن بگیرد. پایداری محاسباتی به دنبال شناسایی، صورت‌بندی و ارائه راه‌حلی برای مسائل محاسباتی مرتبط با تعادل نیازهای محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی در راستای آینده‌ای پایدار است. (Gomes, ۲۰۰۹) مسائل پایداری در کنار چالش‌های خود، فرصت‌هایی را نیز برای پیشرفت در وضعیت کنونی رایانش و علوم اطلاعات ارائه می‌دهند. با وجود اینکه در سال‌های اخیر، تعداد بیشتری از دانشمندان کامپیوتر و فناوری اطلاعات در فعالیت‌های پژوهشی متمرکز بر خیر عمومی و توسعه پایدار درگیر شده‌اند (Rice و Tambe, ۲۰۱۸؛ Russell و همکاران, ۲۰۱۵؛ Rudin و Wagstaff, ۲۰۱۴؛ Lässig و همکاران, ۲۰۱۶؛ Fisher, ۲۰۱۶؛ Fang و همکاران, ۲۰۱۸؛ Faghmous و



شکل ۱- در ۲۵ سپتامبر ۲۰۱۵، به منظور پایان دادن به فقر، حفاظت از کره زمین و تضمین رفاه همگانی، با حمایت سازمان ملل متحد و به عنوان بخشی از دستور کار اصلی توسعه پایدار ۲۰۳۰، ۱۹۳ کشور بر مجموعه‌ای از ۱۷ هدف بلندپروازانه با عنوان اهداف توسعه پایدار (SDGs) توافق کردند.^۲

راه‌حل‌های مشکلات در هر یک از این حوزه‌ها، بر ترکیبی از سه زمینه عمده محاسباتی استوار بوده که به صورت دایره‌ها نشان داده شده‌اند. هر یک از کاربردهای پایداری با استفاده از ترکیبی از تکنیک‌های محاسباتی در هر یک از این زمینه‌ها، یک ترکیب تحول‌آفرین ایجاد می‌کند؛ در حالی که هر تکنیک محاسباتی می‌تواند به نوبه خود در مسائل متنوعی به کار رود.



شکل ۲- تحقیقات ما بر سه زمینه عمده پایداری مندرج در وجوه مثلث متمرکز بوده است.

تعادل بخشیدن به نیازهای محیط زیستی

و اجتماعی-اقتصادی

سیاست‌های مربوط به فقر، امنیت غذایی و امداد رسانی در بلایا است. به ویژه، سیاست‌های ریشه‌کن کردن فقر، مستلزم شناسایی افراد فقیر و محل زندگی آن‌ها است. نقشه‌برداری از الگوی فقر می‌تواند موضوعی بسیار مشکل باشد؛ به خصوص در مورد کشورهای در حال توسعه که غالباً در مورد داده‌های مرتبط با کاستی‌های فراوانی از نظر کمیت، کیفیت و توانایی‌های تحلیل مواجه هستند. به عنوان مثال، در دهه‌های اخیر برخی کشورها هیچ سرشماری انجام نداده‌اند (United Nations, ۲۰۱۸). برای کاهش این چالش، Ermon و همکاران (۲۰۱۵)

ریشه‌کن کردن فقر، یکی از چالش برانگیزترین اهداف توسعه پایدار است. در سطح جهانی، بیش از ۸۰۰ میلیون نفر زیر خط فقر بین‌المللی یعنی ۱/۹۰ دلار به ازای هر نفر در روز زندگی می‌کنند.^۶ رشد سریع جمعیت، تبدیل اکوسیستم‌ها و تهدیدات جدید ناشی از منازعات و تغییرات آب‌وهوایی، برخی مناطق جهان را به سوی فقر مزمن سوق می‌دهند. از سویی نبود داده‌های قابل اعتماد، مانع بزرگی برای اجرای

نقاط تلاقی یک پروژه با چندین خط، نشان می‌دهد که چگونه یک مسئله مرتبط با توسعه پایدار، می‌تواند چندین دسته از راه‌حل‌های محاسباتی را با یکدیگر ترکیب کند. به همین ترتیب، هر خط در این نقشه مترو نشان می‌دهد که چگونه مسائل مختلف توسعه پایدار، از طریق یک راه‌حل محاسباتی به یکدیگر مرتبط هستند.



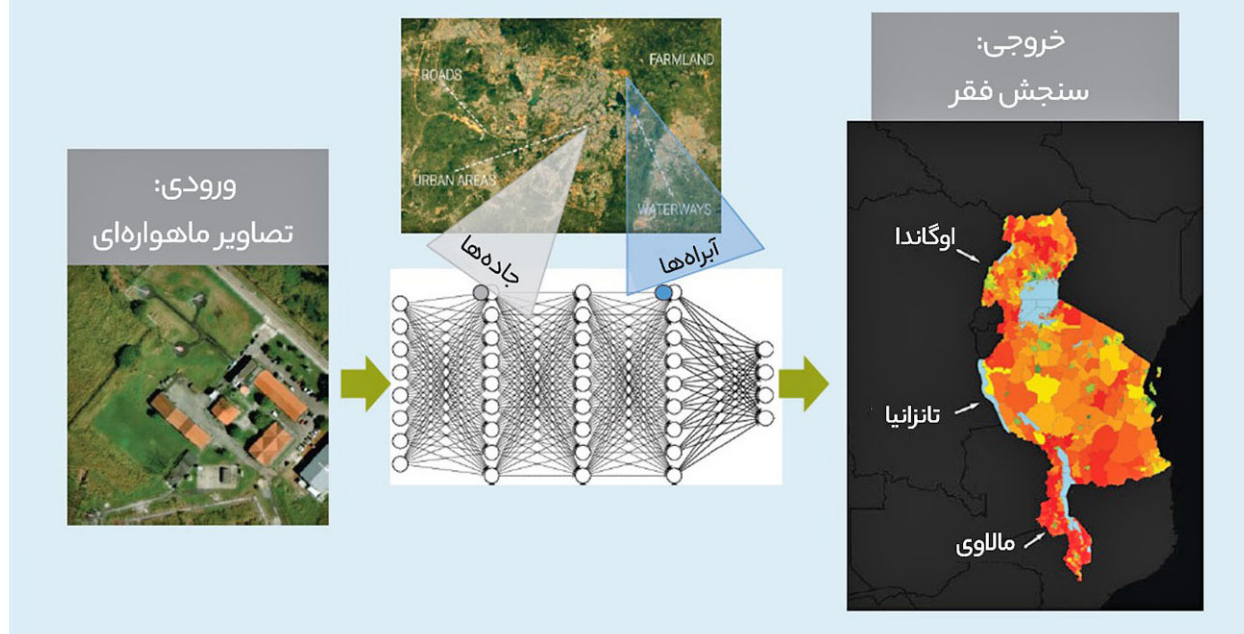
شکل ۳- خطوط مسیر (نقشه مترو) نمونه‌هایی از موضوعات توسعه پایدار و راه‌حل‌های محاسباتی آن‌ها را مشخص کرده است. (مطابق نقاط تلاقی خطوط).

در مناطق خشک آفریقای جنوب صحرا، به عنوان یکی از فقیرترین مناطق جهان، شغل اصلی چوپانان کوچنده پرورش گله احشام است. آن‌ها در فصول خشک می‌بایستی از روستاهای خود به مراتع و مکان‌های دورافتاده که آب دارند، مهاجرت کنند. Barrett و همکاران (۲۰۱۶) در تلاش‌اند تا مدل‌هایی را برای مطالعه پویایی رفاه و تله‌های فقر^۴ مرتبط با چوپانان کوچرو و سایر گروه‌های جمعیتی توسعه دهند. در این باره ترجیحات چوپانان نیز در طراحی سیاست‌های توسعه پایدار اهمیت استدارد متأسفانه، چنین ترجیحاتی اغلب از

روش جدیدی را برای فراهم آوردن شاخص‌های بزرگ‌مقیاس اجتماعی-اقتصادی در مقیاس مکان و زمان معرفی کرده‌اند، که از داده‌های ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور دارای دسترسی عمومی بهره می‌برد (شکل ۴).

این رویکرد از پیشرفت‌های مربوط به یادگیری ماشین بهره می‌برد و برای برآورد انواع شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی فقر بسیار مفید است؛ حتی در مقایسه با عملکرد پیش‌بینی داده‌های گران قیمت پیمایش میدانی، که در حال حاضر توسط بانک جهانی استفاده می‌شوند (Jean و همکاران، ۲۰۱۶).

این مدل ابتدا یک شبکه عصبی پیچشی عمیق (Convolutional Neural Network) را برای پیش‌بینی شدت نور شب (شاخصی مناسب برای فعالیت اقتصادی) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در طی روز آموزش می‌دهد. سپس این مدل برآوردهایی از مخارج متوسط خانوارها را بر اساس داده‌های نظرسنجی «مطالعات سنجش استانداردهای زندگی» بانک جهانی انجام می‌دهد. این کار از طریق یادگیری نیمه‌نظارتی و با استفاده از یک فرایند گاوسی برای حفظ یکنواختی فضایی بر روی شبکه عصبی انجام می‌شود. مدل حاصله به‌طور شگفت‌انگیزی دقیق است؛ به طوری که تقریباً ۷۰ درصد از تغییرات داده‌ها را در برخی کشورها توضیح می‌دهد و عملکرد بهتری نسبت به روش‌های قبلی دارد، که بر متادیتای اختصاصی گوشی‌های همراه (غیرقابل دسترس به‌طور عمومی) مبتنی بودند. این روش برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بزرگ مقیاس فضایی و زمانی برای شاخص‌های مختلف اجتماعی و اقتصادی سازگار شده است. (Jean و همکاران، ۲۰۱۶)



شکل ۴- یادگیری انتقالی^۷، رویکردی مناسب برای مدل‌سازی و پیش‌بینی شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی در مناطق درگیر با فقر است که از تصاویر ماهواره‌ای بهره می‌برد که به‌طور جهانی در دسترس بوده، مرتباً به‌روزرسانی شده و دقت آن‌ها به شکل فزاینده‌ای در حال افزایش است.

(TAHMO)^۸ در حال طراحی و استقرار شبکه‌ای از ۲۰,۰۰۰ ایستگاه آب‌وهوایی کم‌هزینه در سراسر آفریقای جنوب صحرا است (Giesen و همکاران، ۲۰۱۴). این پروژه با چالش بهینه‌سازی تصادفی و مشکلاتی در فرایند یادگیری ماشین برای انتخاب بهینه مکان ایستگاه‌های آب‌وهوایی و تعیین عدم قطعیت در حس‌گرها و پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی مواجه است. به عنوان مثال، یکی از متغیرهای اثرگذار در کشاورزی، بارش باران است که به دلیل ماهیت مداوم-پرحجم آن در این مناطق و به تبع آن خرابی حس‌گر باران‌سنج، عمل پیش‌بینی را دشوار می‌کند. Albers و همکاران (۲۰۱۸) در حال توسعه مدل‌هایی برای شناسایی خرابی ابزارهای اندازه‌گیری، همچنین مدل‌های ترکیبی شرطی^۹ برای ثبت پراکندگی (واریانس) بالای این پدیده هستند. چالش‌های دیگری کشاورزی، به خصوص چالش‌های ناشی از شکست بازار و عدم تقارن اطلاعاتی، معضلات

نگاه سیاست‌گذاران مغفول بوده می‌بایستی بتوان با تحلیل داده‌ها به آن پی برد. Ermon و همکاران (۲۰۱۵) مدل‌های مولد مبتنی بر یادگیری (معکوس) تشویقی و مدل‌های انتخاب گسسته پویا^{۱۰} را توسعه دادند که بتوانند ترجیحات زمانی-مکانی چوپانان کوچ‌رو را دریابند، تا به سیاست‌گذاران پیرامون طیف وسیعی از تصمیمات، به ویژه در مورد مکان‌نمایی نقاط جدید دارای آب مختص چوپانان، اطلاعات کلیدی ارائه دهند. از سویی دسترسی به بیمه امری بسیار اساسی است؛ زیرا بدون بیمه، خسارات می‌توانند چرخه زیان‌بار فقر را تشدید کند (Coble و همکاران، ۲۰۱۸؛ Barrett و همکاران، ۲۰۱۶). متأسفانه، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، به دلیل کمبود داده‌های آب‌وهوایی و سایر موارد مرتبط، بیمه کشاورزی و بلایا، یا در دسترس نبوده و یا بسیار گران هستند. برای تقلیل این مشکل، پروژه رصدخانه آب‌وهواشناسی فرآفریقایی

همیشه‌ی سیاست‌گذاری محیطی هستند (Coble و همکاران، ۲۰۱۸؛ Kraus، ۲۰۰۱).

در ایالات متحده نیز فرصت‌ها و چالش‌های بسیاری در ارتباط با مداخلات اجتماعی وجود دارد؛ جایی که بیش از ۴۰ میلیون نفر زیر خط فقر ایالات متحده زندگی می‌کنند. همچنین ایالات متحده در میان اعضای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)^۲، که شامل ۳۷ اقتصاد پردرآمد موسوم به کشورهای توسعه‌یافته، بالاترین نرخ مرگ‌ومیر نوزادان و

بالاترین نرخ فقر جوانان را به خود اختصاص داده است.^۳ به عنوان مثال، در شهرستان لس‌آنجلس در هر روز بیش از ۵,۰۰۰ جوان بین سنین ۱۳ تا ۲۴ سال خیابان‌خواب‌اند یا در پناهگاه‌های اضطراری زندگی می‌کنند. در زمینه مراکز اسکان جوانان بی‌خانمان در لس‌آنجلس، Yadav و همکاران (۲۰۱۷) الگوریتم‌های جدیدی را برای پیشینه‌سازی (حداکثرسازی) تأثیر^۴ فرایند پیشگیری از ایدز از طریق گروه همسالان، پیشنهاد می‌کنند که نشان می‌دهد چگونه الگوریتم‌های هوش مصنوعی

برای سازوکارهایی که با مسائل چالشی مربوط به بهینه‌سازی تصادفی دوسطحی و یادگیری ماشین مواجه‌اند، بازی‌هایی طراحی شده که در آن مجری (سازمان‌دهنده) بازی، به‌منظور شناسایی بهترین استراتژی تشویقی یا حفاظتی، بایستی ترجیحات شرکت‌کنندگان (دانشمندان شهروند، دوچرخه‌سواران، یا شکارچیان غیرقانونی) را با توجه به اقدامات خود، در نظر بگیرد.



بازی‌ها برای کاهش سوگیری در جمع‌آوری مشاهدات و عملیات بازاریابی

(a) بازی Avicaching دانشمندان شهروند را تشویق می‌کند تا رصد و مشاهده پرنده‌ها را در مناطق کمتر نمونه‌برداری‌شده گزارش دهند؛ (Xue و همکاران، ۲۰۱۶) بازی بایک‌آنجل (Bike Angels) دوچرخه‌سواران نیویورکی را برای بازاریابی دوچرخه‌های Citi Bike تشویق می‌کند. (Freund و همکاران، ۲۰۱۸)



بازی‌ها برای مبارزه با شکار و فعالیت‌های غیرقانونی

(b) بازی‌های امنیت سبز، به‌طور استراتژیک از منابع طبیعی (جنگل‌ها، مناطق ماهیگیری و غیره) در برابر شکار غیرقانونی و فعالیت‌های غیرقانونی محافظت می‌کنند. (Fang و همکاران، ۲۰۱۷)

شکل ۵- بازی‌های به کاررفته برای طراحی سازوکار

می‌توانند به شکل چشمگیری، فرایند انتشار اطلاعات مربوط به پیشگیری از ایدز را در میان جوانان بی‌خانمان بهبود دهند و تأثیری واقعی بر زندگی آنان داشته باشند. Rice و Tambe (۲۰۱۸) نمونه‌های دیگری از کاربرد هوش مصنوعی در مددکاری اجتماعی، خصوصاً پیشگیری از ایدز، سوءمصرف مواد مخدر، خودکشی و سایر مسائل اجتماعی ارائه داده‌اند.

مناظر شهری به عنوان آخرین مثال در مورد ایجاد تعادل بین مسائل محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته شود که نسبت به ۱۰، ۲۰ یا ۵۰ سال پیش بسیار شلوغ‌تر شده‌اند. ازاین رو ارائه گزینه‌های اختصاصی و شخصی‌سازی شده حمل‌ونقل، امری ضروری است تا کربن کمتری در مقایسه با خودروها تولید شود. دوچرخه‌سواری اشتراکی گزینه جدیدی است که سفرهای رفت‌وبرگشتی چندحالتی، با سطح بالایی از انعطاف‌پذیری را برای فرد فراهم می‌آورد؛ همچنین در زمینه اقتصادی، محیط‌زیست و سلامت عمومی نیز مزایایی متعددی به همراه دارد. از سویی این سامانه‌ها با چالش‌هایی در حوزه لجستیکی مواجه‌اند در نتیجه برای ارائه این خدمت جدید به صورت پایدار، اتخاذ یک رویکرد کارآمد محاسباتی، امری ضروری است. نیازهای الگوریتمی این سامانه، موضوعاتی از جمله بهینه‌سازی گسسته، مدل‌سازی احتمالی و اقتصاد رفتاری، همچنین طراحی سازوکاری برای تحریک و هدایت رفتارهای مطلوب جمعی است. رویکرد جمع‌سپاری به موضوع بازآرایی [داوطلبانه] ناوگان دوچرخه اشتراکی^{۱۵} در نیویورک موفقیت چشمگیری است که بیش از تمام تلاش‌های اخیر در زمینه ناوگان موتور، به اثربخشی پروژه Citi Bike^{۱۶} کمک می‌کند (شکل ۵)؛ این موضوع و سایر چالش‌های محاسباتی در این حوزه نوظهور، توسط Freund و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شده است.

تنوع زیستی و حفاظت از منابع طبیعی

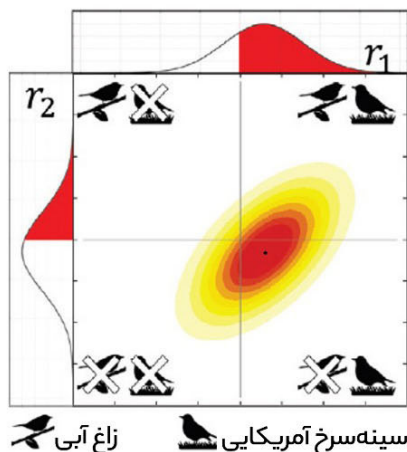
چالش بزرگ دیگر، کاهش روزافزون تنوع زیستی است که سیاره ما و بشریت را تهدید می‌کند؛ به ویژه باتوجه به شواهد روزافزون اهمیت تنوع زیستی برای حفظ خدمات اکوسیستم. نرخ کنونی انقراض گونه‌ها ۱۰۰ تا ۱,۰۰۰ برابر نرخ‌های پایه معمول کره زمین در طول تاریخ برآورد می‌شود. کشاورزی، شهرنشینی و جنگل‌زدایی علل اصلی کاهش تنوع زیستی هستند که منجر به از دست رفتن و تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها می‌شوند. تغییرات آب‌وهوایی و ادغام گونه‌ها به اکوسیستم‌های غیربومی توسط انسان، کاهش تنوع زیستی را بیشتر تسریع می‌کند (Rockström و همکاران، ۲۰۰۹).

درک مسئله چگونگی توزیع گونه‌های مختلف در مناطق در طول زمان، به عنوان پرسشی اساسی در تحقیقات تنوع زیستی و حفاظتی، به مسائل مهمی در مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی-زمانی در مقیاس بزرگ منجر می‌شود (Phillips و همکاران، ۲۰۰۶؛ Fink و همکاران، ۲۰۱۰). مدل‌سازی توزیع گونه‌ها بسیار پیچیده است؛ زیرا در اینجا به دلیل چالش‌های محاسباتی معمول، علاقه‌مندیم به جای یک گونه در زمانی خاص، هم زمان توزیع صدها گونه را پیش‌بینی کنیم. پیرو این مسئله، Chen و همکاران (۲۰۱۸) مدل پروبیت چندمتغیره عمیق (DMVP)^{۱۷} را توسعه دادند، که یک رویکرد یادگیری سرتاسری^{۱۸} بر مدل پروبیت چندمتغیره (MVP) است که تعاملات هر فرآیند چند موجودیتی^{۱۹} را با فرض وجود توزیع گاوسی بنیادی در نظر گرفته (شکل ۶)، که در مقایسه با رویکردهای قبلی، مقیاس‌پذیری بهتری دارد.

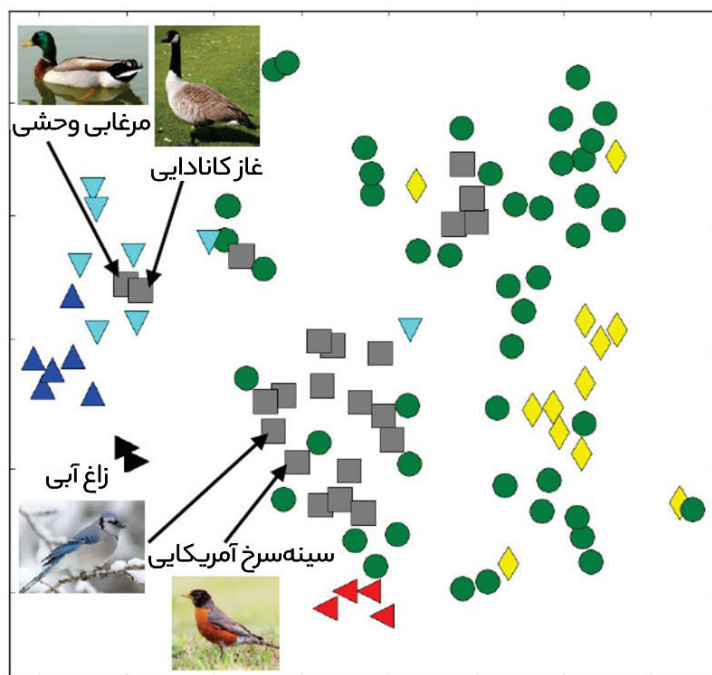
برنامه‌های (اپلیکیشن) کاربردی مبتنی بر علم شهروندی نقش کلیدی در حفاظت از محیط زیست، به ویژه در فراهم آوردن داده‌های مشاهداتی ایفا می‌کنند. برنامه eBird آزمایشگاه پرندشناسی دانشگاه کرنل، یکی از این برنامه‌ها است که به وسیله آن بیش از ۴۵۰,۰۰۰ عضو، بیش از ۶۵۰ میلیون داده مشاهداتی پرندگان، معادل بیش از ۳۰,۰۰۰,۰۰۰ ساعت کار میدانی را جمع‌آوری کردند (Sullivan و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه براین، برای تکمیل داده‌های مشاهداتی eBird، از سایر منابع اطلاعاتی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، پروژه بوم‌شناسی تاریک^{۲۰} Sheldon و همکاران (۲۰۱۳)، اطلاعات زیستی را از طریق داده‌های هواشناسی استخراج می‌کند. در رویکردی نوآورانه در مورد حفاظت از پرندگان، داده‌های eBird در ترکیب با حجم عظیمی از داده‌های محیط‌زیستی و مدل‌های آماری زمانی-مکانی و یادگیری ماشین ما از حضور و فراوانی گونه‌های پرندگان، می‌تواند ترجیحات زیستگاهی پرندگان را با وضوح بسیار بالایی مشخص کند (Rockström و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج حاصل از مدل‌های eBird در مورد توزیع گونه، مبنای گزارش‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۷ وزارت کشور ایالات متحده پیرامون وضعیت پرندگان^{۲۱} (SOTB) بوده است.

گزارش‌های وضعیت پرندگان به شکل چشمگیری توجه سازمان‌های حفاظتی را در مورد اهمیت استفاده از نتایج توزیع گونه‌ها در راستای بهبود فرایند حفاظت از پرندگان به خود جلب کرده است. یک مثال خوب برنامه «بازگشت پرند»^{۲۲} بنیاد غیرانتفاعی «حفاظت از طبیعت»^{۲۳} است (Reynolds و همکاران، ۲۰۱۷). این برنامه از مزایده‌های ترکیبی معکوس^{۲۴} استفاده می‌کند، که در آن کشاورزان در طول دوره‌های مصادف

- پرندگان شکاری پرندگان آبی پرندگانی که در مناطق مسکونی انسانی زندگی می‌کنند.
 دارکوب‌ها پرندگانی که در جنگل‌ها و مراتع زندگی می‌کنند.
 سینه‌سرخ‌ها



(a) مصورسازی توزیع مشترک گونه‌ها با مدل پروبیت چندمتغیره عمیق (DMVP): این تصویر توزیع مشترک دو گونه نشان می‌دهد که با استفاده از مدل پروبیت چندمتغیره عمیق (DMVP) مدل‌سازی شده است. این مدل تعمیمی انعطاف‌پذیر از مدل پروبیت گاوسی چندمتغیره کلاسیک است که برای مطالعه پاسخ‌های دوتایی همبسته از موجودیت‌های مختلف استفاده می‌شود. DMVP یک روش یادگیری سرتاسری است که از فرآیند نمونه‌برداری موازی کارآمد پروبیت چندمتغیره استفاده می‌کند تا با پردازشگرهای گرافیکی (GPU) از شبکه‌های عصبی عمیق بهبودیافته بهره‌برد. بر اساس نتایج کار چن و همکارانش، این مدل رفتاری همگرا و تضمین‌های نظری و تجربی خوبی برای فرآیند نمونه‌برداری DMVP فراهم می‌کند. همچنین، DMVP حداقل به اندازه یک مرتبه از مدل MVP کلاسیک سریع‌تر آموزش می‌بیند، همبستگی‌های غنی بین موجودیت‌ها را ثبت می‌کند و احتمال مشترک موجودیت‌ها را در مقایسه با چندین مدل رقابتی بهبود می‌بخشد. (Chen و همکاران، ۲۰۱۸)



(b) نقشه تعاملات گونه‌های مختلف از طریق DMVP: در این تصویر، تعاملات میان گونه‌ها با استفاده از مدل DMVP مصور شده است؛ به طوری که در آن گونه‌های دارای ترجیحات زیستگاهی مشابه، در قالب خوشه‌های گروهی مشخص شده‌اند. این مدل قادر است هر فرآیند چندموجودیتی را با فرض توزیع گاوسی مدل‌سازی کند؛ به همان صورت که در بینایی کامپیوتری نیز از آن برای تشخیص چند شی استفاده می‌شود. (همان)

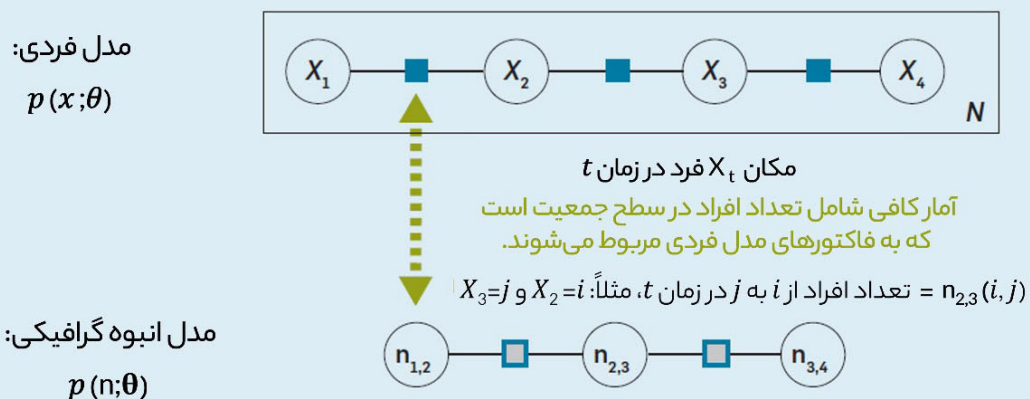
شکل ۶- تعاملات چندموجودیتی موجودات زنده

می‌شود. برنامه «بازگشت پرنده» موفقیت‌های بسیار زیادی داشته و برای پرندگان مهاجر هزاران هکتار زیستگاه اضافی ایجاد کرده است.

همچنین چالش‌های دیگری نیز در زمینه کمی‌سازی و نمایش بصری مسئله عدم قطعیت در پیش‌بینی گونه‌ها، ادغام و

با حضور پرندگان مهاجر در منطقه، با نگهداشتن آب در مزارع برنج خود برای ایجاد شرایط زیستگاهی مناسب‌تر برای آن‌ها، غرامت دریافت می‌کنند. این رویکرد نوآورانه مبتنی بر بازار، تنها با توجه به ترجیحات جزئی زیستگاهی پرندگان امکان‌پذیر بوده که توسط مدل‌های مبتنی بر eBird فراهم

عمومیت مدل‌های انبوه گرافیکی (CGMs) باعث شده تا آن‌ها برای مدل‌سازی مجموعه‌ای از پدیده‌های تجمعی مناسب باشند؛ از مهاجرت پرندگان (کاربرد اولیه‌ای که به‌عنوان انگیزه مطرح شده است) تا حفظ حریم خصوصی افتراقی. (Bernstein و همکاران، ۲۰۱۷؛ Dietterich و Sheldon، ۲۰۱۱) معمولاً، مدل‌های انبوه گرافیکی، مدلی احتمالاتی برای آماره‌های کافی از یک مدل گرافیکی است که در آن مشاهداتی در دسترس است که ناقص و سرشار از اختلال (نویز) هستند. شلدون و همکارانش بر اساس آنتروپی بته (Bethe)، به تعدادی از الگوریتم‌های استنتاج و یادگیری و نتایج نظری درباره مدل‌های انبوه گرافیکی دارای روابط جالبی با نظریه انتشار باورها و الگوریتم‌های انتقال سریع پیام دست یافته‌اند. شکل نشان‌دهنده یک نمایش از مدل انبوه گرافیکی است. مشاهدات ناقص و سرشار از اختلال (نویز) y (نشان‌داده‌نشده) براساس مدل اختلال (نویز) $p(y|n)$ انجام می‌شوند و اهداف شامل انجام استنتاج از طریق محاسبه توزیع پسین $p(y|n)$ و یادگیری پارامترهای θ مدل فردی است.



شکل ۷- مدل‌های انبوه گرافیکی (CGM) فرمی با کاربردهای متعدد برای انجام استنتاج احتمالی در جمعیتی بزرگ از افرادی است که تنها به صورت انبوه مشاهده می‌شوند.

دارند، اقدامات مختلف حفاظتی اتخاذ می‌شود. به عنوان مثال، این امر ثابت شده که کریدورهای حیات وحش، راه مؤثری برای مقابله با تفکیک زیستگاه‌ها هستند. طراحی کریدورهای حیات وحش، در قالب بودجه‌های محدود حفاظتی مرسوم، به مسائل بهینه‌سازی تصادفی منجر می‌شود. رویکردهای فعلی برای اتصال مناطق اصلی حفاظتی از طریق کریدورها، معمولاً تنها تحرکات یک گونه را در نظر می‌گیرند. Dilkina و همکاران (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن تحلیل هزینه-فایده و تبادل برای حفظ اتصال سرزمینی برای چند گونه، رویکردهای محاسباتی جدیدی را برای بهینه‌سازی کریدورها پیشنهاد می‌کنند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با صرفه‌جویی در مقیاس و مکمل‌ها، برنامه‌ریزان حفاظت می‌توانند طراحی کریدورها را با توجه به هزینه‌های مالی و ایجاد فضای اشتراکی برای گونه‌های مختلف بهینه‌سازی کنند. یک طرح مرتبط دیگر، ادغام مدل‌های فضایی گیر-بازگیر (یا صید-بازصید)^{۲۸} در فرایند بهینه‌سازی طراحی مناطق حفاظت شده است. در یک تلاش مرتبط دیگر، Molina و همکاران (۲۰۱۷) در حال توسعه برنامه‌ای هستند که با تمرکز بر روی کریدور زیستی Choco-Andean اکوادور،

تفسیر داده‌های چندمقیاسی حاصل از حس‌گرهای چندگانه، ادغام محدودیت‌های زیستی و اکولوژیکی، و مدل‌های مهاجرت مورد توجه قرار گرفته است (Dietterich و Sheldon، ۲۰۱۱؛ Sheldon و همکاران، ۲۰۱۳؛ Sullivan و همکاران، ۲۰۱۴؛ Ruiz-Muñoz و همکاران، ۲۰۱۸). Sheldon و همکاران (۲۰۱۳) مدل‌های انبوه گرافیکی^{۲۵} را معرفی کردند که می‌توانند انواع پدیده‌های متراکم را مدل‌سازی کنند؛ هرچند این مدل در ابتدا برای مدل‌سازی مهاجرت پرندگان ایجاد شده بود (Bernstein و همکاران، ۲۰۱۷؛ Dietterich و Sheldon، ۲۰۱۱) (شکل ۷). علم شهروندی^{۲۶}، درحالی که منبع ارزشمندی برای مدل‌سازی توزیع گونه‌ها محسوب می‌شود، اما با توجه به عدم تشخیص کامل، تخصص متغیر در دانشمندان شهروند^{۲۷} (Kelling و همکاران، ۲۰۱۵) و خطا (بایاس) نمونه‌گیری فضایی و زمانی چالش‌های محاسباتی متعددی نیز به دنبال دارد (Sullivan و همکاران، ۲۰۱۴؛ Xue و همکاران، ۲۰۱۶) ازاین رو بازی Avicaching برای مقابله با خطا (بایاس) نمونه eBird ایجاد شده است (شکل ۵). برای کاهش اثر تهدیدات مختلفی که گونه‌ها برای زیستگاه

به عنوان دو نقطه (کانون) داغ^{۲۹} دارای بیشترین تنوع زیستی جهان، از طریق اطلاعات اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی، اتصال سرزمینی را برای خرس‌های آندی و سایر گونه‌ها برقرار می‌کند.

پیشگیری از جرایم حیات وحش نیز در حفاظت از محیط زیست اهمیت دارد. در سال‌های اخیر برای طراحی راهبردهای پایش حیات وحش و هم‌زمان ارائه ابزارهای تصمیم‌گیری به محیط‌بانان، با هوش مصنوعی تحقیقات زیادی انجام شده است. درواقع این رویکردها برای درک بهتر الگوهای شکار غیرقانونی در حیات وحش و به تبع آن افزایش ایمنی برای مقابله با شکار غیرقانونی از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند (Fang و همکاران ۲۰۱۸). توسعه چنین رویکردهایی به پیشرفت‌های تحقیقاتی در نظریه بازی محاسباتی و رفتاری^{۳۰}، همچنین بهینه‌سازی مبتنی بر داده^{۳۱} منجر شده است؛ یک نمونه مهم از این تحقیقات، به بازی‌های ایمنی سبز^{۳۲} معروف است (شکل ۵) و به توسعه ابزاری کاربردی به نام «دستیار حفاظتی برای امنیت حیات وحش» (PAWS)^{۳۳} منجر شده (Fang و همکاران، ۲۰۱۷) که در چندین کشور از جمله مالزی، اوگاندا، بوتسوانا و چین آزمایش و اجرا شده است.

در نهایت، به موضوع گونه‌های مهاجم غیربومی اشاره می‌کنیم که هم به زیست‌بوم‌های آبی و هم خشکی هجوم برده و توانایی زیست‌بوم را برای حفظ تنوع زیستی و ارائه خدمات کاهش می‌دهند. به عنوان مثال، تهاجم درختان گز (تاماریسک)^{۳۴} در دره رودخانه ریوگرانده^{۳۵} در نیومکزیکو، میزان آب موجود برای گونه‌های بومی و آبیاری محصولات کشاورزی را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. مدل‌های بیواقتصادی مبنایی را برای بهینه‌سازی سیاست و تحلیل حساسیت فراهم می‌کنند؛ با در نظر گرفتن پویایی‌های پیچیده اکوسیستم، یعنی فرایندهایی که از طریق آن گونه مهاجم به محیط وارد شده و گسترش می‌یابد، همچنین هزینه‌ها و اثرات اقدامات مدیریتی موجود. متأسفانه، اغلب در مورد این فرایندها اطلاعات چندانی در دسترس نیست. Albers و همکاران (۲۰۱۸) کارایی رویکردی سبک‌شده از شبیه‌سازی تعریف شده برای فرآیند تصمیم‌گیری مارکوف^{۳۶} را با استفاده از یک مدل پیچیده بیواقتصادی برای گونه تاماریسک نشان داده‌اند؛ مسئله در آن افزایش مقیاس رویکرد و افزایش واقع‌گرایی مدل‌های بیواقتصادی است.

انرژی و مواد تجدیدپذیر و پایدار

امروزه انرژی‌های تجدیدپذیر به طور فزاینده‌ای در شبکه‌های هوشمند ادغام می‌شوند. با توجه به غیرقابل انتقال بودن منابع

تجدیدپذیر مانند باد و خورشید، نمی‌توان از قبل برای آن‌ها برنامه‌ریزی کرد و باید روش‌های تولید جایگزین، برای جبران این تفاوت برنامه‌ریزی شود. علاوه بر آن تغییرپذیری و عدم قطعیت در انرژی‌های تجدیدپذیر، اهمیت ذخیره‌سازی انرژی را افزایش داده است (شکل ۸). با این حال، ذخیره‌سازی آن‌ها گران‌قیمت بوده و فناوری‌ها و امکانات مختلفی برای ذخیره‌سازی لازم است تا الزاماتی مانند تنظیم فرکانس، انتقال انرژی، جابجایی اوج مصرف و برق پشتیبان برآورده شود. به طور کلی، کنترل سامانه‌های انرژی (تولید، انتقال، ذخیره‌سازی، سرمایه‌گذاری)، مستلزم مواجهه با مسائل متعدد و جدیدی در زمینه یادگیری ماشین و بهینه‌سازی است.

به عنوان مثال، SMART-Invest (Powell و Khazaei، ۲۰۱۸) یک مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی است که تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری در حوزه فناوری‌های مختلف تولید برق را بهینه‌سازی می‌کند. این سامانه شامل دو لایه است؛ اولین لایه، لایه بهینه‌سازی بیرونی است که از فرایند جستجوی تصادفی برای بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری در انرژی باد، خورشید و ذخیره‌سازی آن‌ها استفاده می‌کند. در اینجا تابع هدف غیرمحدب، غیرهموار^{۳۷} بوده که تنها از طریق یک تابع جعبه سیاه دارای برآورد گران^{۳۸} دسترس‌پذیر است. این رویکرد برای حل سریع و قابل اعتماد این بهینه‌سازی از تقریب همگرایی استفاده می‌کند. لایه دوم نیز تغییرات ساعتی باد و خورشید را در طول یک سال کامل از طریق مدل‌سازی وضعیت روز قبل به طور مفصل، عدم قطعیت‌های پیش‌بینی و محدودیت‌های شدت آن را منعکس می‌کند. SMART-Invest تصویر واقع‌بینانه‌تری از ترکیب بهینه انرژی بادی، خورشیدی و ذخیره‌سازی آن را نسبت به رویکردهای پیشین ارائه می‌دهد؛ بنابراین می‌تواند بینش دقیق‌تری برای سیاست‌گذاران فراهم کند.

مثال دیگر مربوط به جانمایی سدهای آبی در حوضه آبریز آمازون است (شکل ۹)؛ در این زمینه Wu و همکاران (۲۰۱۸) رویکردهای جدیدی در مورد بهینه‌سازی چندهدفه دقیق و تخمینی^{۳۹} پیشنهاد داده که به طور هم‌زمان معیارهای مختلفی در زمینه پایداری در نظر می‌گیرد.

در مثالی دیگر، Donti و همکاران (۲۰۱۷) با الهام از زمان‌بندی تولید برق، یادگیری مدل تکلیف-محور^{۴۰} را پیشنهاد دادند. این رویکردی عمومی است که یادگیری داده‌ها و تصمیم‌گیری (مانند مسئله بهینه‌سازی تصادفی) را در چارچوبی از یادگیری سرتاسری ترکیب می‌کند و تابع هزینه (زیان)^{۴۱} را به صورت هدف تصمیم‌گیری مشخص می‌کند. در این رویکرد، تمام اجزاء

ذخیره‌سازی انرژی موجب پیوستگی و برنامه‌ریزی‌پذیری جریان انرژی می‌شود تا بتوان در زمان نیاز، انرژی تولیدشده را مطابق بار مصرفی تطبیق داد. با الهام از کارهای پاول (Powell, ۲۰۱۹) در مورد انرژی و دیگر کاربردهای آن، چارچوبی برای مدل‌سازی یکپارچه در تصمیم‌گیری متوالی پیشنهاد می‌دهد که حوزه‌های مختلفی مانند برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی تصادفی، کنترل تصادفی، بهینه‌سازی در شبیه‌سازی، و مسائل اعتباری را ذیل چتری واحد پوشش داده است. در این چارچوب، چهار سطح اصلی از سیاست‌ها، شامل تقریب‌های تابع سیاست (PFAS)، تقریب‌های تابع هزینه (CFAS)، سیاست‌های مبتنی بر تقریب تابع ارزش (VFAS)، و سیاست‌های آینده‌نگر وجود دارد.



شکل ۸- طراحی دقیق و کارآمد یک سامانه انرژی برای تأمین بار مصرفی مورد نیاز (ساختمان) از یک مزرعه بادی (با سرعت‌های باد متغیر)، شبکه (با قیمت‌های متغیر) و باتری ذخیره‌سازی، همواره مسئله برانگیز است.

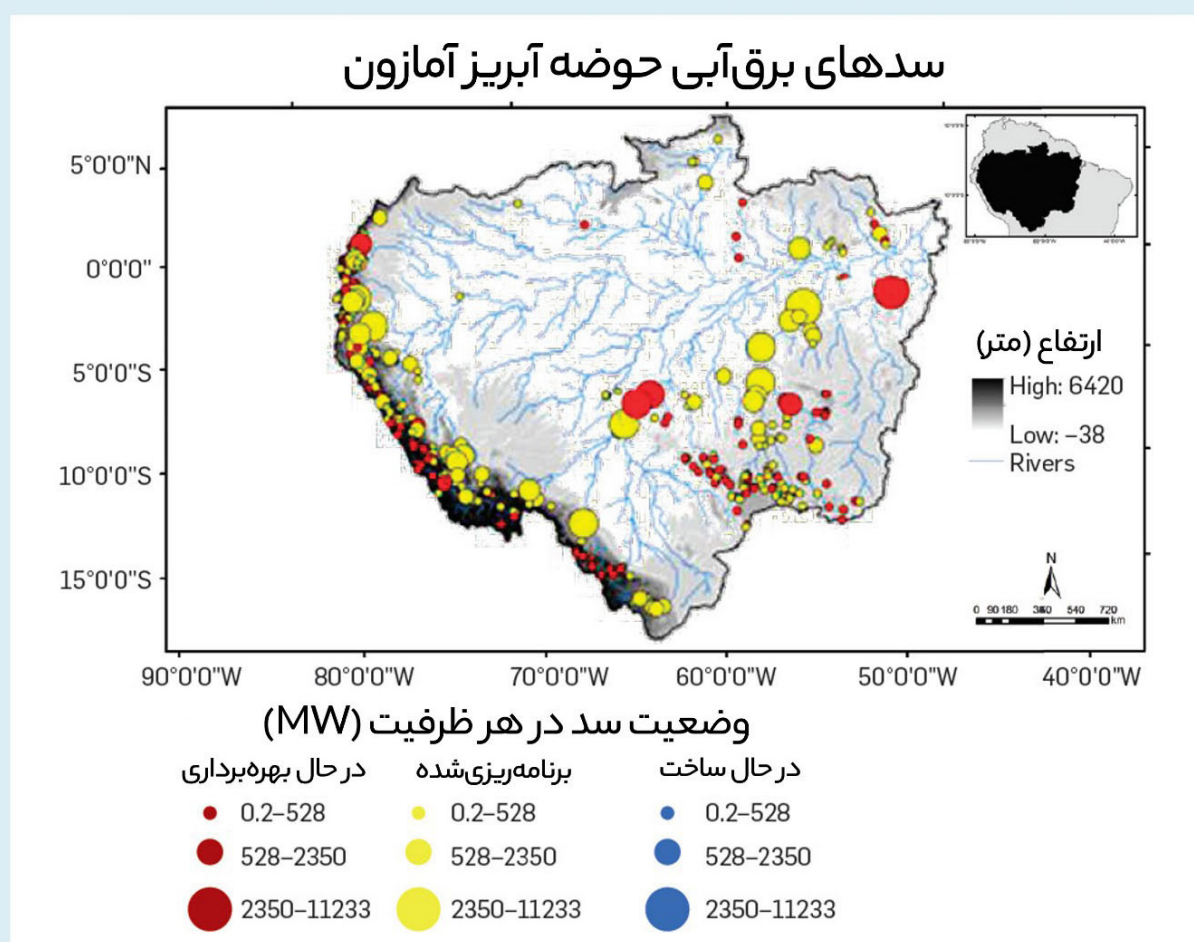
متخصص است. باید گفت که تکنیک‌های یادگیری ماشین پیشرفته کنونی قادر به پیشنهاد راه‌حل‌هایی معنادار و ملموس نیستند. بنابراین، به منظور کسب بینش‌های علمی، اتخاذ روش‌های محاسباتی کارآمدی برای تجزیه و تحلیل حجم بالای داده‌های پربازده، امری ضروری هستند. در این باره توسعه مدل‌های مولد برای یادگیری نظارت نشده و ایجاد نظارت بر مدل با دانش حوزه‌های تخصصی، از طریق مدل‌ها و شبیه‌سازهای مبتنی نظریه، به عنوان دستورکارهای تحقیقاتی، امیدوارکننده هستند.

به عنوان مثال، در کشف مواد پربازده، مشکل چالش برانگیز که مسئله شناسایی نقشه فاز^{۴۳} معروف است، در آن به طور معکوس می‌خواهیم ساختار بلوری مواد رسوب داده شده روی یک فیلم (صفحه) نازک را بر اساس الگوهای پراش اشعه ایکس^{۴۴} (XRD) نقاط نمونه را استنتاج کنیم. به این مسئله می‌توان از منظر مدل‌سازی موضوعی^{۴۵} یا جداسازی منبع با محدودیت‌های پیچیده فیزیکی نیز نگریست؛ زیرا الگوی پراش^{۴۶} مشاهده شده یک نقطه نمونه، ممکن است متأثر از تشکیل مخلوطی از چندین الگوی بلوری خالص باشد و برخی

قابل تشخیص هستند؛ بنابراین در راستای بهبود عملکرد حلقه-بسته^{۴۲} کل سیستم امکان یادگیری پارامترهای مدل وجود دارد که این خود روش جدیدی برای آموزش مدل‌های یادگیری ماشین بر اساس عملکرد سیستم‌های تصمیم‌گیری است.

در نهایت، موضوع مواد و فرایندهای جدید پایدار را برجسته می‌کنیم. همچون سایر مسائل پایداری آن‌ها می‌توانند برای برخی از مهم‌ترین مسائل در زمینه انرژی، راه‌حل‌هایی اساسی پیشنهاد دهند. در بسیاری موارد، این راه‌حل‌ها به نوآوری‌های بنیادینی در مورد مواد، مانند توسعه مواد و فرایندهای جدید برای ایجاد باتری‌هایی کارآمدتر، پیل‌های سوختی، سوخت خورشیدی، پیل‌های سوختی میکروبی یا کاهش گاز دی‌اکسید منجر خواهد شد. هزینه بالای تجزیه و تحلیل تک‌نمونه‌ای سبب شده تا برای تسریع فرآیند اکتشافات جوامع علمی به انجام آزمایشاتی با توان عملیاتی بالا روی بیاورند که این نیز در طراحی و برنامه‌ریزی آزمایشات با چالش‌های محاسباتی مواجه می‌شود. همچنین تجزیه و تحلیل، ادغام و تفسیر داده‌ها، مواردی بوده که مشخصاً نیازمند نیروی کار

در بسیاری از مسائل مربوط به پایداری، ضروری است تا به طور همزمان اهداف چندگانه و گاه متضادی در نظر گرفته شود. این امر در مورد برنامه ریزی سدهای برق آبی حوضه آبریز آمازون صادق است؛ جایی که در آن احداث حدود ۳۵۰ سد جدید پیشنهاد شده و علاوه بر تولید انرژی، تأثیرات چشمگیری بر ابعاد مختلف زیست بوم آمازون از جمله تنوع زیستی، انتقال رسوبات، ماهیگیری در آب شیرین و نوبیری خواهد داشت. در این باره جبهه پارتو (The Pareto frontier)، تعادل بین اهداف مختلف را با توجه به راه حل های غیرمرسوم نشان می دهد. این راه حل ها اطلاعات ارزشمندی درباره رتبه بندی سدها ارائه می دهند. ما الگوریتم های دقیقی برای برنامه نویسی پویا، طرح های تقریب زمانی چندجمله ای کامل (FPTAS) (fully polynomial time approximation schemes)، و روش های دیگر برای محاسبه جبهه پارتو برای شبکه های ساختاریافته درختی توسعه داده ایم که در مسئله مکان یابی سدهای برق آبی آمازون کاربرد داشته است. برای مثال، اکنون می توانیم جبهه پارتو را برای کل حوضه آمازون (حدود ۴ میلیون مقطع رودخانه ای) با توجه به سه معیار (انرژی؛ اتصال رودخانه ها به عنوان بستری برای مهاجرت ماهیان و نوبیری؛ و تولید رسوبات) تقریب بزنیم که با خطایی کمتر از ۵٪ نسبت به مقدار بهینه واقعی جبهه پارتو، حدود ۴ دقیقه (۸ رشته پردازش) و با حدود ۲٪ خطا در ۱.۲ ساعت (۸ رشته پردازش) انجام می شود. نتایج آن به همراه ابزارهای مصورسازی به سیاست گذاران کمک می کند تا در مورد معیارهای مختلف موضوع و مقیاس های فضایی متفاوت، تصمیمات آگاهانه تری بگیرند.



شکل ۹- یادگیری و بهینه سازی چندهدفه

پراش را با در نظر گرفتن دانش زمینه ای علم فیزیک و شیمی مواد تحلیل می کنند؛ اما این خود کاری بسیار طاقت فرسا است و برای کارشناسان انسانی نیز معمولاً مشکلات بسیاری به

از آن ها ممکن است نمونه برداری نشده باشند. این موضوع ممکن است به دلیل وجود نویز (اختلال) ذاتی در اندازه گیری ها نیز پیچیده تر شده باشد. در اینجا کارشناسان انسانی الگوهای

همراه دارد. این مثال خوبی است که به طور کامل با وضعیت کنونی یادگیری ماشین مغایرت دارد. نقشه‌بردار فاز^{۴۷} (Bai و همکاران، ۲۰۱۸) بستری است مبتنی بر هوش مصنوعی که به دقت نتایج آزمایشات اشعه ایکس را با یادگیری، استدلال و بینش‌های انسانی ادغام می‌کند تا ساختار بلوری مواد را از داده‌های XRD استنتاج کند. به طور خاص، نقشه‌بردار فاز یک روش پیش‌افکنی^{۴۸} عاری از تنش و کارآمد برای فاکتورسازی ماتریس غیرمنفی است که همانند استراتژی‌های محاسباتی انسان، محدودیت‌های فیزیکی، همچنین دانش پیشین مبتنی بر پایگاه داده‌های ساختار بلورهای معدنی (غیرآلی) شناخته شده را در نظر می‌گیرد. از مدل‌های مبتنی بر نظریه به علاوه برای ادغام دانش پیشین استفاده می‌کند. از زمان به‌کارگیری نقشه‌بردار فاز در مرکز مشترک فتوسنتز مصنوعی کالتکس^{۴۹}، هزاران الگوی XRD پردازش شده که موجب کشف مواد انرژی‌زای جدیدی مانند خانواده‌ای جدید از اکسیدهای فلزی جذب‌کننده نور خورشید شده است. Gomes.Gregoire و همکاران در حال توسعه SARA^{۵۰} هستند که روشی علمی برای تسریع فرایند کشف موادی با نقشه‌بردار فاز فراهم می‌کند. در نهایت، به یک مشکل جداسازی مرتبط دیگر اشاره می‌کنیم - فنوتیپ گیاهی فرایطیفی^{۵۱} - که Wahabzada و همکاران (۲۰۱۶) آن را با مدل‌های موضوعی احتمالاتی بررسی کرده است. حوزه دیگری که به طور چشمگیری می‌تواند از روش‌های پیشرفته هوش مصنوعی و یادگیری ماشین بهره‌بردار شود، برنامه‌ریزی و طراحی آزمایشات علمی است. به عنوان مثال، Fern و همکاران برای کمک به دانشمندان در طراحی آزمایشات کارآمدتر برای سوخت‌های میکروبی با امکان بررسی کارآمد ساختارهای مختلف نانو، در حال توسعه تکنیک‌هایی نوین مبتنی بر یادگیری ماشین و بهینه‌سازی بودجه محدود^{۵۲} است (Azimi و همکاران، ۲۰۱۶). آن‌ها از بهینه‌سازی بیزی با محدودیت‌های منابع و اقدامات معطوف به تولید، بهره‌برده و از طریق درخت جستجوی مونت کارلو^{۵۳}، الگوریتم جدیدی را به همراه تضمین‌های نظری توسعه دادند. پیرو آن چشم‌انداز گیج‌کننده نتایج بهینه‌سازی بیزی، این الگوریتم به یک ارزیابی تجربی بزرگ‌مقیاس در مورد الگوریتم‌های بهینه‌سازی بیزی منجر شد. این مطالعه شامل پیاده‌سازی تعدادی از بهترین الگوریتم‌ها در چارچوبی اشتراکی، همچنین استفاده از منابع ابری برای اجرای مقایسه تعداد زیاد و متنوعی از توابع تست (آزمون) بود. نتیجه مهم این مطالعه این است که بهینه‌سازی بیزی معمول - بهبود پیش‌بینی شده^{۵۴} - مانند هر رویکرد دیگری اغلب با حاشیه معناداری موفق عمل کرده است.

این رویکرد شامل شکست روش‌های محبوب‌تری مانند کران بالای فاصله اطمینان (UCB)^{۵۵} نیز می‌شود. مطالعه نشان داد که الگوریتم‌هایی مانند UCB که نیازمند تنظیم پارامتری برای کنترل فرایند شناسایی هستند نسبت به پارامترها بسیار حساس بوده و این موضوع کاربرد گسترده آن‌ها را دشوار می‌کند. بهبود پیش‌بینی شده، وابسته به پارامتر نبوده و به نظر می‌رسد کاملاً قوی است. همچنین Krause و همکاران از بهینه‌سازی بیزی برای ردیابی نقاط قدرت بیشینه در نیروگاه‌های فتوولتائیک استفاده می‌کنند (Abdelrahman و همکاران، ۲۰۱۶).

در نمونه نهایی، Grover و همکاران (۲۰۱۸) تلاش‌ها برای دریافتن بهترین رویه شارژ باتری‌های لیتیوم-یونی در شیمی را از طریق راهزن چند دست تصادفی با بازخورد تأخیری^{۵۶} مدل‌سازی می‌کنند. آن‌ها رویه‌هایی (توابع تصمیم‌گیری مبتنی بر متغیرهای حالت)^{۵۷} را یافتند که به طور چشمگیری در مقایسه با رویه‌های فعلی (تا ۳۵٪ در زمان آزمایش) برتری دارند.

همیاری‌های محاسباتی

تا اینجا ما تاکید کردیم که چگونه مسائل پایداری محاسباتی، چندین جنبه متمایز را ترکیب می‌کنند که از نظر مقیاس، تأثیر، پیچیدگی و غنا منحصر به فرد هستند و چالش‌ها و فرصت‌های جدیدی را برای علوم محاسباتی و فناوری اطلاعات ایجاد می‌کند تا در نهایت مسیرهای تحقیقاتی متحول‌کننده‌ای را فراهم آورد. یکی از اهداف اصلی ما شناسایی مسائل محاسباتی مشترک در حوزه‌های مختلف پایداری (و سایر حوزه‌ها) است. با توجه به جامعیت تفکر محاسباتی، یافته‌ها در هر حوزه می‌توانند به حوزه‌های دیگر نیز منتقل شود. نمونه‌هایی از مسائل محاسباتی مقطعی و سطح بالایی که برخی از آن‌ها در شکل (۳) نشان داده شده‌اند، شامل «مدل‌سازی و پیش‌بینی زمانی-مکانی» برای حفاظت از پرندگان، نقشه‌برداری فقر و نقشه‌برداری آب‌وهوا؛ «تصمیم‌گیری متوالی»^{۵۸} برای مدیریت منابع (تجدیدپذیر)، طراحی آزمایش‌های علمی، مدیریت گونه‌های مهاجم و مداخلات در دامداری؛ «تجزیه الگوی دارای محدودیت‌های پیچیده»^{۵۹} برای شناسایی نقشه فاز در کشف مواد، شناسایی صدای فیل‌ها و پرندگان با ضبط‌های صوتی، استنتاج فنوتیپ‌های گیاهی از داده‌های فرایطیفی و مدل‌سازی موضوعی علمی؛ «یادگیری فعال»^{۶۰} (در شکل ۳ نشان داده نشده است) برای آزمایشات علمی و جانمایی حس‌گر شامل علم شهروندی و جمع‌سپاری، و «بازی‌ها برای طراحی

مکانیسم»^{۶۱} برای در نظر گرفتن مشوق‌هایی برای دانشمندان شهروند، تعبیه گشت‌ها و پهپادها برای مقابله با شکار و ماهیگیری غیرقانونی، یا ایجاد انگیزه برای دوچرخه‌سواران برای بازآرایی ایستگاه‌های دوچرخه است.

برنامه‌ها کاربردی مبتنی بر علم شهروندی، در افزایش کارایی طرح‌های حفاظت از محیط زیست، نقشی کلیدی ایفا می‌کنند؛ به‌ویژه از طریق ارائه داده‌های رصدی. eBird از آزمایشگاه پرندشناسی دانشگاه کرنل، یکی از برنامه‌های علم شهروندی با بیش از ۴۵۰,۰۰۰ عضو است که تاکنون بیش از ۶۵۰ میلیون داده مربوط به رصد و مشاهده پرنده‌گان را جمع‌آوری کرده است. ما معتقدیم که طراحی و انجام پژوهش در مورد مسائل محاسباتی بنیادی یا میان‌رشته‌ای، شرط لازم برای حفظ انسجام و رشد علوم مرتبط با پایداری محاسباتی، به مثابه یک حوزه علمی است. این رویکرد به پژوهشگران کمک می‌کند تا مدل‌ها و الگوریتم‌های عمومی ایجاد کنند که در حوزه‌های مختلف پایداری و دیگر زمینه‌های مرتبط، کاربرد داشته باشند. تجربه ما نشان می‌دهد که مسائل مهم این‌چنینی، معمولاً از طریق پروژه‌های مبتنی بر پایداری در مورد دنیای واقعی قابل حل هستند و می‌بایست به جای تلاش برای حل مسائل موردی و خاص، بر ارتقای راه‌حل‌های روشی و پیرو آن بر توسعه روش‌شناسی عمومی تمرکز شود.

در این مقاله، ما بر نمونه‌هایی از تحقیقات پایداری محاسباتی در^{۶۲} CompSustNet، شبکه تحقیقاتی متشکل از تعداد زیادی پژوهشگر در زمینه پایداری محاسباتی، تمرکز کرده‌ایم. متأسفانه، قادر به بررسی دیگر تحقیقات جذاب و چالش‌های محاسباتی مرتبط با پرسش‌های پایداری مطرح شده در علوم کامپیوتر، مهندسی، علوم اجتماعی و طبیعی نیستیم. نمونه‌هایی از این موارد شامل نقش سیستم‌های توزیع شده بزرگ مقیاس، شبکه‌های حس‌گر، اینترنت اشیا، سیستم‌های فیزیکی-سایبری، امنیت سایبری، حریم خصوصی، عدالت، پاسخ‌گویی، شفافیت در سیستم‌های محاسباتی پیشرفته و همچنین مفاهیم بنیادی محاسباتی مانند قابلیت اطمینان، مدل‌سازی ساختار سلسله مراتبی سیستم‌های اجتماعی-فنی، سامانه‌های شهودی و انسان‌محور (انسان در چرخه)^{۶۳} و رابط‌های کاربری کاربرپسند هستند. همچنین تنها به برخی از ۱۷ هدف توسعه پایدار سازمان ملل اشاره‌ای کوتاهی داشتیم. ما خوانندگان را به کنفرانس‌ها و ژورنال‌هایی ارجاع می‌دهیم که امروزه در حال برگزاری برنامه‌ها، کارگاه‌ها و انتشار ویژه‌نامه‌هایی در زمینه پایداری و مسائل اجتماعی هستند و حوزه‌های مختلف علوم رایانه و فناوری اطلاعات (مانند HCI،

سیستم‌ها، هوش مصنوعی و الگوریتم‌ها) را گرد هم می‌آورند. برنامه‌ریزی برای آینده‌ای پایدار، که شامل تصمیم‌گیری‌های پیچیده و میان‌رشته‌ای، در راستای تعادل‌بخشی بین نیازهای محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی است با چالش‌های محاسباتی قابل توجهی همراه بوده و نیازمند تخصص و فعالیت پژوهشی جدی در علوم رایانه و فناوری اطلاعات و رشته‌های مرتبط است.

پایداری محاسباتی تلاش دارد تا روش‌های محاسباتی جدیدی را توسعه دهد تا به حل چالش‌های مذکور در زمینه محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی کمک کند. پیشرفت‌های چشمگیر در پلتفرم‌های دیجیتال، نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای رایانه‌ای، شبکه حس‌گرها و اینترنت اشیا، همچنان فرصت‌های جدید و بسیاری را فراهم کرده تا بتوان با تسریع اکتشافات، به مسائل اجتماعی و پایداری پرداخته شود. پایداری محاسباتی مسیری دوسویه است: از یک سو ایده‌ها، تفکرات و روش‌شناسی‌های محاسباتی در مسائل پایداری را به کار می‌گیرد و از سوی دیگر، با معرفی مسائل، صورت‌بندی‌ها و مفاهیمی جدید از سایر رشته‌ها، پیشرفت‌های اساسی در علوم رایانه و فناوری اطلاعات به همراه دارد. همان گونه که مسائل پایداری با طیف وسیعی از مسائل نوظهور و کاربردی در علوم مختلف تلاقی دارد، پایداری محاسباتی نیز ضمن تأثیرگذاری عمیق بر جامعه، دامنه و تنوع علوم رایانه و فناوری اطلاعات را گسترش می‌دهد.

تقدیر و تشکر

از اعضای CompSustNet برای همکاری بسیار ارزشمندشان در حوزه پایداری محاسباتی و همچنین حمایت‌ها از طریق دو جایزه CNS-0832782) NSF Expeditions in Computing و CCF-1522054) قدردانی می‌شود. لازم به ذکر است که ذکر هر یک از نام‌های تجاری، شرکت‌ها یا محصولات، تنها در راستای مقاصد توصیفی بوده و به معنای تأیید آن‌ها توسط دولت ایالات متحده نیست.

30. The Intersection of Computational and Behavioral Game Theory
31. Data-driven Optimization
32. Green Security Games
33. Protection Assistant for Wildlife Security
34. Tamarisk Trees
35. Rio Grande Valley in New Mexico
36. Simulator-Defined Markov Decision Process Approach
37. Non-Convex, Non-Smooth
38. Expensive-to-Evaluate Black Box Function
39. Exact and Approximation Multi-Objective Optimization Approaches
40. Task-Based Model Learning
41. Loss Function
42. Closed-Loop Performance
43. Phase-Map
44. The X-Ray Diffraction (XRD) Patterns
45. Topic Modeling
46. Diffraction Pattern
47. Phase-Mapper
۴۸. Projection Method یا تصویرسازی؛ روشی عددی و وابسته به زمان برای حل معادلات ناویه-استوکس در دینامیک سیالات تراکم‌ناپذیر است. (مترجم)
49. Caltech's Joint Center for Artificial Photosynthesis
50. Scientific Autonomous Robotic Agent;
<http://bit.ly/2m8efm9>
51. Hyper Spectral Plant Phenotyping
52. Constraint Budgeted Optimization Techniques
53. Monte Carlo Tree Search Algorithm
54. Expected Improvement
55. Upper Confidence Bound
56. Stochastic Multi-Arm Bandit with Delayed Feedback
57. Functions for Making Decisions Based on State Variables
58. sequential decision making
59. Pattern Decomposition with Complex Constraints
60. Active Learning
61. Games for Mechanism Design
۶۲. وبسایت رسمی: <http://www.compsust.net>; برای اطلاع بیشتر ر.ک. اسکندری نسب (۱۴۰۴). (مترجم)
63. Human-in-the-Loop Systems and Intuitive

منابع

- اسکندری نسب، محمد. (۱۴۰۴). شبکه بین‌المللی پایداری محاسباتی: کاربری علوم محاسباتی برای تحقق توسعه پایدار. موسسه مطالعات و تحقیقات اجتماعی دانشگاه تهران. تهران. قابل دسترسی در: <https://isr.ut.ac.ir/article/93890919>
- جواهریان، زهرا، فاتح وحدتی، سید امیر، رحمتی، علی‌رضا، و زمانی، لیلا. (۱۳۹۵). اهداف توسعه پایدار، به سفارش سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر توسعه پایدار و اقتصاد محیط زیست. انتشارات حک. تهران. قابل دسترسی در: <https://www.doe.ir/portal/file/?890708/%da%a9%8%aa%d8%a7%d8%a8.pdf>

پی‌نوشت‌ها

۱. این مقاله مشارکتی است که با عنوان «Computational Sustainability: Computing for a Better World and a Sustainable Future» در وبسایت ارتباطات انجمن ماشین‌های حسابگر (Association for Computing Machinery)، در ۱ سپتامبر ۲۰۱۹ منتشر شده و در پیوند زیر قابل دسترس است.
<https://cacm.acm.org/research/computational-sustainability>
۲. برای ملاحظه ترجمه فارسی این سند، ر.ک. جواهریان و همکاران (۱۳۹۵). (مترجم)
3. Optimization, Dynamical Models, and Simulation
4. Data and Machine Learning
5. Multi-Agent Systems, Crowdsourcing, and Citizen Science
۶. ازداده‌های سال ۲۰۱۳ استفاده شده زیرا پوشش داده‌های نظرسنجی سال ۲۰۱۵ بسیار کم بوده و داده‌های بخش قابل‌توجهی از آسیا نادیده گرفته بود
<http://Iresearch.Worldbank.Org/Povcalnet/Povduplicatewb.AspX>
7. Transfer Learning
8. Well-Being Dynamics and Poverty Traps
9. (Inverse) Reinforcement Learning and Dynamic Discrete Choice Models
10. Trans-Africa Hydro-Meteorological Observatory
11. Conditional Mixture Models
12. Organization for Economic Cooperation and Development
۱۳. بیانیه فیلیپ آلستون (Philip Alston)، گزارشگر ویژه سازمان ملل در مورد فقر مفرط و حقوق بشر (Special Rapporteur on Extreme Poverty and Human Rights)، در سفر به ایالات متحده (۲۰۱۸). بازنشانی‌شده در ۱۶ ژوئن ۲۰۱۸:
<http://socialprotection-humanrights.org/wp-content/uploads/2018/06/g1812530.pdf>
14. Influence Maximization Algorithms
15. Rebalancing The Shared Bike Fleet
۱۶. یک شرکت خصوصی در زمینه دوچرخه اشتراکی در نیویورک. (مترجم)
۱۷. Deep Multivariate Probit Model: در آمار مدل پروبیت، نوعی رگرسیون است که در آن متغیر وابسته تنها می‌تواند دو ارزشی (مانند صفر/یک یا زن/مرد) باشد. (مترجم)
18. End-to-End Learning Approach
19. Multi-Entity Process
20. Dark Ecology
21. U.S. Department of Interior's State of The Birds (SOTB) Reports
22. Bird Returns
23. The Nature Conservancy: <https://www.nature.org/en-us/>
24. Reverse Combinatorial Auctions
25. Collective Graphical Models
26. Citizen Science
27. citizen Scientists
۲۸. Capture-Recapture یک شیوه نمونه‌گیری که در مرحله اول آن نمونه‌ای از جامعه انتخاب می‌شود و پس از نشانه‌دار کردن، به جامعه بازگردانده می‌شود و در مرحله دوم مجدداً نمونه‌ای تصادفی از جامعه انتخاب می‌شود. (مترجم)
29. Hotspots

- Abdelrahman, H., Berkenkamp, F., Poland, J., & Krause, A. (2016). Bayesian optimization for maximum power point tracking in photovoltaic power plants. In 2016 European Control Conference (ECC) (2078-2083). Aalborg, Denmark.
<https://doi.org/10.1109/ECC.2016.7810598>
- Albers, J. H., Dietterich, T., Hall, K., Lee, K., & Taleghan, M. (2018). Simulator-defined Markov decision processes: A case study in managing bio-invasions. In F. Fang, M. Tambe, B. Dilkina, & A. Plumptre (Eds.), *Artificial Intelligence and Conservation*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Azimi, J., Fern, X., & Fern, A. (2016). Budgeted optimization with constrained experiments. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 56, 119-152.
<https://doi.org/10.1613/jair.4896>
- Bai, J., Xue, Y., Bjorck, J., Le Bras, R., Rappazzo, B., Bernstein, R., Suram, S. K., van Dover, R. B., Gregoire, J. M., & Gomes, C. P. (2018). Phase mapper: Accelerating materials discovery with AI. *AI Magazine*, 39(1), 15-26.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v39i1.2785>
- Barrett, C., Garg, T., & McBride, L. (2016). Well-being dynamics and poverty traps. *Annual Review of Resource Economics*, 8, 303-327.
<https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095235>
- Bernstein, G., McKenna, R., Sun, T., Sheldon, D., Hay, M., & Miklau, G. (2017). Differentially private learning of undirected graphical models using collective graphical models. In *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*. (478-487). Sydney, Australia.
<https://proceedings.mlr.press/v70/bernstein17a.html>
- Chen, D., Xue, Y., & Gomes, C. (2018). End-to-end learning for the deep multivariate probit model. *Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML)*. Stockholm, Sweden.
<https://proceedings.mlr.press/v80/chen18o.html>
- Coble, K., Mishra, A., Ferrell, S., & Griffin, T. (2018). Big data in agriculture: A challenge for the future. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 40(1), 79-96.
<https://doi.org/10.1093/aep/ppx056>
- Dilkina, B., Houtman, R., Gomes, C. P., Montgomery, C. A., McKelvey, K. S., Kendall, K., & Schwartz, M. K. (2017). Trade-offs and efficiencies in optimal budget-constrained multi-species corridor networks. *Conservation Biology*, 31(1), 192-202.
<https://doi.org/10.1111/cobi.12814>
- Donti, P., Kolter, J. Z., & Amos, B. (2017). Task-based end-to-end model learning in stochastic optimization. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 5490-5500.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.04529>
- Ermon, S., Xue, Y., Toth, R., Dilkina, B., Bernstein, R., Damoulas, T., Clark, P., DeGloria, S., Mude, A., Barrett, C., & Gomes, C. (2015). Learning Large-Scale Dynamic Discrete Choice Models of Spatio-Temporal Preferences with Application to Migratory Pastoralism in East Africa. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 29(1).
<https://doi.org/10.1609/aaai.v29i1.9248>
- Faghmous, J., & Kumar, V. (2014). A big data guide to understanding climate change: The case for theory-guided data science. *Big Data*, 2(3), 155-163.
<https://doi.org/10.1089/big.2014.0026>
- Fang, F., Nguyen, T. H., Pickles, R., Lam, W. Y., Clements, G. R., An, B., Singh, A., Schwedock, B. C., Tambe, M., & Lemieux, A. (2017). PAWS – A Deployed Game-Theoretic Application to Combat Poaching. *AI Magazine*, 38(1), 23-36.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v38i1.2710>
- Fang, F., Tambe, M., Dilkina, B., & Plumptre, A. (Eds.). (2018). *Artificial Intelligence and Conservation*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- Fink, D., Hochachka, W. M., Zuckerberg, B., Winkler, D. W., Shaby, B., Munson, M. A., & Kelling, S. (2010). Spatiotemporal exploratory models for broad-scale survey data. *Ecological Applications*, 20(8), 2131-2147.
<https://doi.org/10.1890/09-1340.1>
- Fisher, D. H. (2016). Recent advances in AI for computational sustainability. *IEEE Intelligent Systems*, 31(4), 56-61.
<https://doi.org/10.1109/MIS.2016.61>
- Freund, D., Henderson, S. G., & Shmoys, D. B. (2018). *Sharing Economy: Making Supply Meet Demand*. Springer. United States.
- Giesen, N., Hut, R., & Selker, J. (2014). The Trans-African Hydro-Meteorological Observatory (TAHMO). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 1(4), 341-348.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1034>
- Gomes, C. P. (2009). Computational sustainability: Computational methods for a sustainable environment, economy, and society. *The Bridge*, 39(4), 5-13.
<https://nap.nationalacademies.org/read/12821/chapter/7#28>
- Grover, A., Markov, T., Attia, P., Jin, N., Perkins, N., Cheong, B., & Ermon, S. (2018, March). Best arm identification in multi-armed bandits with delayed feedback. In *International conference on artificial intelligence and statistics* (833-842). PMLR. New York, USA.
<https://proceedings.mlr.press/v84/grover18b.html>
- Jean, N., Burke, M., Xie, M., Davis, W. M., Lobell, D. B., & Ermon, S. (2016). Combining satellite imagery and machine learning to predict poverty. *Science*, 353(6301), 790-794.
<https://doi.org/10.1126/science.aaf7894>
- Kelling S, Johnston A, Hochachka WM, Iliff M, Fink D, & Gerbracht J. (2015) Can Observation Skills of Citizen Scientists Be Estimated Using Species Accumulation Curves?. *PLoS ONE*, 10(10), e0139600.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139600>

- Khazaei, J., & Powell, W. B. (2018). SMART-Invest: A stochastic, dynamic planning for optimizing investments in wind, solar, and storage in the presence of fossil fuels. *Energy Systems*, 9(2), 277-303.
<https://doi.org/10.1007/s12667-016-0226-4>
- Kraus, S. (2001). Automated negotiation and decision-making in multiagent environments. In *ECCAI Advanced Course on Artificial Intelligence*. Springer. United States.
- Lässig, J., Kersting, K., & Morik, K. (Eds.). (2016). *Computational Sustainability* (Vol. 645). Springer. United States.
- Molina, S., Fuller, A. K., Morin, D. J., & Royle, J. A. (2017). Use of spatial capture-recapture to estimate density of Andean bears in northern Ecuador. *Ursus*, 28(1), 117-126.
<https://doi.org/10.2192/URSU-D-16-00030.1>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Powell, W. (2019). A unified framework for stochastic optimization. *European Journal of Operational Research*, 275(3), 795-821.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.014>
- Reynolds, M. D., & et al. (2017). Dynamic conservation for migratory species. *Science Advances*, 3(8), e1700707.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700707>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), Article 32.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1700707>
- Rudin, C., & Wagstaff, K. (2014). Machine learning for science and society. *Machine Learning*, 95(1), 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s10994-013-5425-9>
- Ruiz-Muñoz, J. F., You, Z., Raich, R., & Fern, X. Z. (2018). Dictionary learning for bioacoustics monitoring with applications to species classification. *Journal of Signal Processing Systems*, 90(2), 233-247.
<https://doi.org/10.1007/s11265-016-1155-0>
- Russell, S., Dietterich, T., Horvitz, E., Selman, B., Rossi, F., Hassabis, D., Legg, S., Suleyman, M., George, D., & Phoenix, S. (2015). Letter to the Editor: Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence: An Open Letter. *AI Magazine*, 36(4), 3-4.
<https://doi.org/10.1609/aimag.v36i4.2621>
- Sheldon, D. R., & Dietterich, T. G. (2011). Collective graphical models. *Proceedings of the 25th International Conference on Neural Information Processing Systems*, 1161-1169. Granada, Spain.
<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2986459.2986589>
- Sheldon, D., Farnsworth, A., Irvine, J., Van Doren, B., Webb, K., Dietterich, T., & Kelling, S. (2013). Approximate Bayesian Inference for Reconstructing Velocities of Migrating Birds from Weather Radar. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 27(1), 1334-1340. California, USA.
<https://doi.org/10.1609/aaai.v27i1.8486>
- Sullivan, B. L., Aycrigg, J. L., Barry, J. H., Bonney, R. E., Bruns, N., Cooper, C. B., & Kelling, S. (2014). The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. *Biological Conservation*, 169, 31-40.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.11.003>
- Tambe, M., & Rice, E. (Eds.). (2018). *Artificial Intelligence and Social Work*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom.
- United Nations. (2018a). Our Common Future. Retrieved Aug. 25; <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- United Nations. (2018b). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Retrieved Aug. 25; http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=a/res/70/&lang=e
- United Nations. (2018c). A World That Counts: Mobilizing The Data Revolution for Sustainable Development. Retrieved June 16;
<http://www.undatarevolution.org/Wp-Content/Uploads/2014/12/A-World-That-Counts2.Pdf>
- Wahabzada, M., Mahlein, A. K., Bauckhage, C., Steiner, U., Oerke, E. C., & Kersting, K. (2016). Plant phenotyping using probabilistic topic models: uncovering the hyper-spectral language of plants. *Scientific reports*, 6(1), 22482.
<https://doi.org/10.1038/srep22482>
- Wu, X., Gomes-Selman, J., Shi, Q., Xue, Y., Garcia-Villacorta, R., Anderson, E., Sethi, S., Steinschneider, S., Flecker, A., & Gomes, C. (2018). Efficiently Approximating the Pareto Frontier: Hydropower Dam Placement in the Amazon Basin. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 32(1).
<https://doi.org/10.1609/aaai.v32i1.11347>
- Xue, Y., Davies, I., Fink, D., Wood, C., & Gomes, C. P. (2016). Avicaching: A two-stage game for bias reduction in citizen science. *Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems*. Singapore. 776-785.
<https://dl.acm.org/doi/10.5555/2936924.2937038>
- Yadav, A., & et al. (2017). Influence maximization in the field: The arduous journey from emerging to deployed application. *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Sao Paulo, Brazil. 150-158.
<https://dl.acm.org/doi/10.5555/3091125.3091152>

یادداشت تحلیلی

تعارضات آبی: اهمیت مشارکت جامعه در مدیریت و کنترل تعارضات با تمرکز بر بازتعریف نقش دولت

* رایانامه نویسنده مسئول: a.hatami.y@gmail.com

ابوذر حاتمی یزد*، فاطمه روانخواه^۲

۱. دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسی مشاوره گزین سازه توس، مشهد، ایران.
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد پژوهشگری اجتماعی، شرکت مهندسی مشاوره گزین سازه توس مشهد، ایران.

چکیده

تعارضات آبی به عنوان چالش‌های اجتناب‌ناپذیر در جوامع، نیازمند اتخاذ رویکردهای مدیریتی هوشمندانه‌ای هستند که بر مشارکت فعال جامعه و توسعه درون‌زا استوار باشند. این مقاله با بررسی سیر تحول مدیریت آب از الگوهای سنتی به دولتی، آسیب‌ها و پیامدهای منفی رویکرد تصدی‌گرایانه دولت را تحلیل نموده و بر ضرورت گذار به نقش تسهیل‌گری و نظارتی دولت تأکید می‌کند.

با استناد به مبانی نظری و تجربیات موفق در مناطقی مانند تازه‌آباد گلستان، تاجن مازندران، کنیا، اوگاندا و پرو، چارچوبی گام‌به‌گام برای واگذاری تدریجی مدیریت منابع آب به جوامع محلی ارائه می‌دهد. این چارچوب بر توانمندسازی نهادهای محلی و بهره‌گیری از دانش بومی تمرکز دارد. یافته‌ها نشان می‌دهند که چنین رویکردی نه تنها قادر است تعارضات اجتماعی را کاهش دهد، بلکه موجب افزایش پایداری منابع و کاهش هزینه‌های مدیریتی می‌شود. مقاله حاضر در نهایت، با ارائه پیشنهاداتی عینی، راهکارهایی را برای سیاست‌گذاری در بستر ایران ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تعارضات آبی، مشارکت جامعه محلی، تصدی‌گری دولتی، تسهیل‌گری، توسعه درون‌زا، حکمرانی آب.

مدیریت آب منصوب کرد (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۴۷). اگرچه این اقدامات با نیت توسعه ملی و استفاده کارآمد از منابع صورت گرفت، اما در عمل به حذف تدریجی نهادهای سنتی، نادیده گرفتن دانش بومی و متمرکز کردن تمامی تصمیم‌گیری‌ها در پایتخت انجامید. دولت جدید خود را موظف می‌دانست تا با اجرای پروژه‌های عظیم مهندسی (مانند سدهای بزرگ و شبکه‌های انتقال بین‌حوضه‌ای)، «مسئله آب» را یک‌بار برای همیشه حل کند.

۳. آسیب‌های الگوی تصدی‌گری دولتی

- این تغییر پارادایم، علیرغم هزینه‌های گزاف، منجر به بروز آسیب‌های متعددی شد که بحران کنونی آب را تشدید کرده است:
- **تشدید تعارضات:** پروژه‌های بزرگ دولتی خود به کانون تعارضات جدیدی در مقیاس استانی و ملی (مانند اختلاف بر سر انتقال آب از کارون به زاینده‌رود) تبدیل شدند. دولت که خود را مسئول حل تمامی اختلافات می‌دانست، در دام چرخه معیوب مداخله پرهزینه و بی‌ثمر افتاد.
 - **ناپایداری زیست‌محیطی:** مدیریت متمرکز و مبتنی بر عرضه، بدون در نظرگیری ظرفیت اکولوژیک حوزه‌های آبریز، منجر به برداشت بی‌رویه از منابع سطحی و زیرزمینی، خشکیدن تالاب‌ها و فرونشست زمین شد.
 - **افول سرمایه اجتماعی:** با از بین رفتن نهادهای محلی، روحیه مسئولیت‌پذیری جمعی و توانایی خودسازمان‌دهی جوامع برای حل مشکلات محلی نیز به تدریج تحلیل رفت و جامعه به «دولت-پدر» تبدیل شد.
 - **فساد و ناکارآمدی:** تمرکز قدرت و منابع، در دست یک نهاد، زمینه‌ساز بروز فساد در تخصیص پروژه‌ها و منابع آب شد. بوروکراسی سنگین دولتی نیز کارایی و سرعت عمل لازم برای پاسخگویی به نیازهای محلی را ندارد.

مبانی نظری: پشتوانه‌های علمی مدیریت مشارکتی

۱. نظریه مدیریت مشترک‌المنافع (اوستروم)

اوستروم (۱۹۹۰) با مطالعه صدها نمونه مدیریت منابع مشترک در جهان، نشان داد منابعی مانند آب لزوماً نباید دولتی شوند. او هشت اصل کلیدی برای مدیریت موفق این منابع توسط کاربران محلی شناسایی کرد: (۱) تعریف مرزهای واضح، (۲) تناسب قواعد با شرایط محلی، (۳) تصمیم‌گیری جمعی، (۴) نظارت پاسخگو، (۵) جریمه‌های تدریجی، (۶) سازوکارهای کم‌هزینه حل اختلاف، (۷) به رسمیت شناختن حق خودگردانی، و (۸) سازماندهی تودرتو برای سیستم‌های بزرگ.

آب به عنوان یک منبع حیاتی و راهبردی، همواره کانون تعارضات بین جوامع، بخش‌های مختلف اقتصادی و نهادهای حکومتی بوده است. در جوامع سنتی، این تعارضات عمدتاً از طریق نهادهای محلی و سازوکارهای خودجوش حل‌وفصل می‌شد. با شکل‌گیری دولت‌های متمرکز، نقش اصلی مدیریت و تخصیص منابع آب به دولت‌ها واگذار شد. این تغییر هرچند در ابتدا با اهدافی چون عدالت توزیعی و توسعه زیرساختی همراه بود، اما در عمل به تشدید تعارضات، ناپایداری منابع و کاهش تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیک انجامید. پرسش اصلی مقاله این است: چگونه می‌توان با تغییر نقش دولت از متصدی به تسهیل‌گر، زمینه مدیریت مشارکتی و کاهش تعارضات آبی را فراهم نمود؟

تحول تاریخی مدیریت آب:

از نهادهای محلی تا تصدی‌گری دولتی

۱. مدیریت سنتی و خودتنظیم تعارضات

در ایران پیشامدرن، مدیریت منابع آب و حل و فصل تعارضات ناشی از آن، عمدتاً بر عهده نهادهای محلی و نظام‌های خودگردان بود. سیستم‌های پیچیده‌ای مانند قنات، نه تنها یک فناوری پیشرفته برای استحصال آب بودند، بلکه نهادهای اجتماعی-حقوقی پیچیده‌ای مانند نظام میرابی و سقایی را نیز به وجود آورده بودند که مسئولیت توزیع عادلانه آب و حل اختلافات را بر عهده داشتند. اسنادی مانند «طومار شیخ بهایی» در اصفهان، نمونه‌ای درخشان از قواعد عرفی و نوشته‌شده برای تخصیص آب بر اساس معیارهای فنی و عادلانه بودند. در این نظام‌ها، حل تعارض در پایین‌ترین سطح ممکن (روستا یا حوزه آبریز) و از طریق مراجعه به ریش‌سفیدان، میرآب‌ها و بزرگان محلی که از اعتماد و پذیرش اجتماعی برخوردار بودند، صورت می‌گرفت. هدف نهایی تنها حل یک اختلاف نبود، بلکه حفظ انسجام اجتماعی و تضمین تداوم همکاری برای بهره‌برداری پایدار از منبع مشترک بود.

۲. جایگزینی الگوی دولتی و تضعیف نهادهای محلی

تشکیل دولت‌های مدرن متمرکز در سده اخیر، نقطه عطفی در تاریخ مدیریت آب ایران بود. قوانینی مانند «قانون آب و نحوه ملی شدن آن (۱۳۴۷)» به طور رسمی مالکیت کلیه منابع آب را به دولت واگذار و نهادهای نوینی مانند وزارت نیرو و شرکت‌های آب منطقه‌ای را به‌عنوان متولیان انحصاری

در ایران، نقض سیستماتیک این اصول توسط رویکرد متمرکز دولتی، به تشدید بحران‌ها انجامیده است (Ostrom, ۱۹۹۰).

۲. اصل تفویض اختیارات به زیرمجموعه (Subsidiarity Principle)

این اصل حکمرانی خوب تأکید دارد که تصمیم‌گیری باید در پایین‌ترین سطح ممکن و نزدیک‌ترین سطح به شهروندان ذی‌نفع انجام گیرد. وظایف تنها زمانی باید به نهادهای بالادست (مانند دولت مرکزی) واگذار شوند که نهادهای سطح پایین‌تر آشکارا فاقد ظرفیت لازم باشند. مداخله دولت برای حل یک نزاع محلی بر سر آب، نمونه‌ای روشن از نقض این اصل است.

۳. نظریه تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی

این نظریه (Folke و همکاران، ۲۰۱۰) بر پیوند ناگسستنی میان سیستم‌های اجتماعی و زیست‌محیطی تأکید دارد. سیستم‌های متمرکز دولتی در برابر شوک‌هایی مانند خشکسالی شکننده هستند؛ زیرا ضعف یا خطای یک تصمیم مرکزی می‌تواند کل سیستم را فرو پاشد. در مقابل، سیستم‌های غیر متمرکز و دارای تنوع نهادی (ترکیبی از نهادهای محلی و دولتی) تاب‌آوری بیشتری دارند. بازگشت به مدیریت مشارکتی در واقع به معنای بازسازی این تاب‌آوری از طریق کاهش تمرکزگرایی است.

۴. توسعه درون‌زا

این رویکرد در برابر «توسعه برون‌زا» قرار دارد؛ در حالی که در توسعه برون‌زا راه‌حل‌ها از بیرون به جامعه تحمیل می‌شوند، توسعه درون‌زا (Long و Van der Ploeg, ۱۹۹۴) برای پیشرفت بر بهره‌گیری از ظرفیت‌های داخلی، دانش بومی و نهادهای محلی تأکید می‌کند. در این الگو، عوامل بیرونی به‌ویژه دولت، تنها نقش تسهیل‌گر و توانمندساز دارند و نه مجری و متصدی.

تجربیات موفق: الهام‌بخش برای گذار

بررسی نمونه‌های داخلی و جهانی نشان می‌دهد که بازتعریف نقش دولت و توانمندسازی جوامع محلی در مدیریت آب، دستاوردهای مهمی به همراه داشته است. در ادامه برخی تجربه‌های شاخص مرور می‌شود:

۱. ایران- تعاونی آب‌بران تجن

طی دهه‌های اخیر با تغییر رویکرد در زمینه گذار از مدیریت دستوری و از بالا به پایین به سمت رویکرد مشارکتی،

تعاونی‌های آب‌بران در ایران شکل گرفت. هرچند ظهور و ادامه فعالیت این تعاونی‌ها خارج از اشکال نبوده و برای فهم دقیق عملکرد ناقص آن باید آسیب‌شناسی‌های دقیق فنی، اجتماعی و اقتصادی انجام شود، با این حال در برخی موارد استقرار این تعاونی‌ها به بهبود وضعیت مدیریت منابع آب و کاهش تعارضات اجتماعی کمک کرده است. از آن جمله می‌توان به نمونه موفق تشکیل آب‌بران تجن اشاره داشت. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد مزارع اعضای این تعاونی‌ها راندمان آبیاری، بازدهی اقتصادی آب و بهره‌وری کل عوامل تولید بالاتری نسبت به زارعین مجاور خود (خارج از محدوده تعاونی) دارند (تاهباز و همکاران، ۱۳۸۹).

۲. ایران- شبکه آبیاری تازه‌آباد

پروژه مدیریت مشارکتی آب در تعاونی پیوند (شبکه آبیاری تازه‌آباد، گلستان، ۱۳۸۷-۱۳۹۲) با همکاری شرکت ژاپنی جایکا و دولت ایران اجرا شد و به‌عنوان الگویی موفق شناخته شد. این پروژه با تشکیل کمیته‌های آب‌بران، آموزش کشاورزان، تدوین برنامه آبیاری سالانه و حفاظت از سازه‌ها، به افزایش بهره‌وری آب و عدالت در توزیع کمک کرد. با این حال، برداشت‌های بی‌رویه در بالادست، محدودیت منابع، انحلال برخی نهادهای مشارکتی، کاهش مشارکت کشاورزان و نابرابری در توزیع آب، به تضعیف پروژه منجر شد. اگرچه پروژه اعتبار اجتماعی-سیاسی کسب کرد، اما شکاف میان کشاورزان را افزایش داد و امروز شبکه با کم‌آبی و کاهش مشارکت مواجه است (طالبی اسکندری، ۱۴۰۴). بنابراین این نمونه، به عنوان نمونه‌ای که در آغاز موفقیت‌های خوبی را کسب کرده و در ادامه از مسیر اصلی خود منحرف شده، در مسیر شناخت موانع تحقق مدیریت مشارکتی بسیار قابل اعتناست.

۳. کنیا- شرکت خدمات آب نیری (NYEWASCO)

شرکت NYEWASCO در شهر نایری کنیا در سال ۱۹۹۷ به‌عنوان یک شرکت محلی با حمایت دولت و شورای شهر تأسیس شد. این شرکت وظیفه تأمین و مدیریت آب شهری را بر عهده گرفت و به تدریج با اتکا به دریافت هزینه‌های کاربری (آب‌بها) به خودکفایی مالی رسید. امروز این شرکت یکی از موفق‌ترین شرکت‌های محلی آب در شرق آفریقا شناخته می‌شود (World Bank, ۲۰۱۷). بنابراین ایجاد شرکت‌های محلی آب (تعاونی یا سهامی عام با مشارکت مردم و شهرداری‌ها) می‌تواند الگویی مؤثر برای کاهش وابستگی به دولت باشد.

۴. کنیا - انجمن توسعه جامعه مکتونو (MCDA)^۲

انجمن MCDA در منطقه یاتا از سال ۱۹۹۵ توسط کشاورزان محلی تأسیس شد. این انجمن با اتکا به خودیاری و کمک‌های خرد مردم محلی، توانست منابع آب را نقشه‌برداری کرده و اقدام به ساخت ۹ سد کوچک و ۱۷ چاه کند. مشارکت زنان به‌عنوان رکن اصلی در مدیریت منابع و تصمیم‌گیری‌ها از ویژگی‌های مهم این تجربه بود. در نتیجه، بیش از ۷۷ هزار نفر در منطقه توانستند به منابع آب پایدار دسترسی پیدا کنند (Lee؛ ۲۰۱۴؛ Coady Institute، ۲۰۱۸).

بر همین اساس استفاده از ظرفیت تشکلهای مردمی و مشارکت فعال زنان می‌تواند ضامن پایداری طرح‌های محلی مدیریت آب باشد.

۵. اوگاندا - کمیته‌های کاربران آب (WUCs)^۳

در ناحیه Sheema اوگاندا، بر اساس دستورالعمل‌های ملی، کمیته‌های کاربران آب (WUCs) از اواخر دهه ۱۹۹۰ تشکیل شدند. کاربران موظف شدند ۵ درصد هزینه اولیه طرح‌ها را پرداخت کنند و در مقابل حق تصمیم‌گیری و نظارت بر بهره‌برداری را به دست آوردند. این کمیته‌ها مقررات محلی برای استفاده و نگهداری وضع کردند و منابع مالی برای تعمیرات پس‌انداز نمودند. نتیجه این بود که نرخ عملکرد منابع آب از کمتر از ۵۰ درصد به بیش از ۹۰ درصد ارتقا یافت (Naiga؛ ۲۰۱۸؛ Naiga و همکاران، ۲۰۱۵).

بنابراین سپردن مالکیت اجتماعی و الزام کاربران به مشارکت مالی (هرچند اندک) حس تعلق و مسئولیت‌پذیری را بالا می‌برد و کیفیت مدیریت منابع را تضمین می‌کند.

۶. پرو - کمیته‌های پایش محیط‌زیستی مشارکتی (PEMCS)^۴

در مناطق معدنی پرو، جوامع محلی با حمایت سازمان‌های بین‌المللی و در همکاری با دولت، «کمیته‌های پایش محیط‌زیستی مشارکتی (PEMCS)» را تشکیل دادند. این کمیته‌ها داده‌های مستقل درباره کیفیت آب و اثرات آلودگی معدنی جمع‌آوری کردند. انتشار عمومی این داده‌ها اعتماد از دست‌رفته مردم به دولت را تا حدی بازگرداند و تنش‌ها بین شرکت‌های معدنی و جوامع محلی کاهش یافت (UNDP و CIRDI، ۲۰۱۵؛ Damonte، ۲۰۲۴).

به نظر می‌رسد ایجاد کمیته‌های نظارت مشارکتی با حضور نمایندگان جامعه محلی و دانشگاه‌ها می‌تواند به شفافیت و اعتمادسازی در مدیریت منابع آب کمک کند.

چارچوب پیشنهادی برای ایران: گذار گام‌به‌گام

بر اساس مبانی نظری و تجارب موفق جهانی، فرآیند گذار مدیریت آب در ایران می‌تواند در پنج گام طراحی شود:

۱. ارزیابی و تشخیص

- شناسایی نهادهای محلی موجود و حوزه‌های کم‌تنش.
- انتخاب مناطق پایلوت بر اساس ظرفیت اجتماعی.

۲. توانمندسازی و ظرفیت‌سازی

- آموزش مهارت‌های مدیریتی، مالی و حل تعارض.
- استفاده از ظرفیت دانشگاه‌ها و NGOها برای حمایت فنی.

۳. ایجاد نهادهای قانونی

- بازنگری قوانین بالادستی برای به رسمیت شناختن انجمن‌های آب‌بران.

- تدوین آیین‌نامه‌های اجرایی برای تفویض اختیارات.

۴. واگذاری تدریجی اختیارات

- انتقال آزمایشی مدیریت یک شبکه یا منبع به نهاد محلی.
- نقش دولت: پشتیبانی فنی و تأمین‌کننده منابع اولیه.

۵. نظارت و پشتیبانی دولت

- دولت از متصدی به ناظر عدالت و پایش ملی تغییر نقش دهد.
- مداخله فقط در تعارضات بین‌حوزه‌ای یا فرابخشی.

محدودیت‌ها و چالش‌های چارچوب مشارکتی

با وجود مزایا، اجرای رویکرد مشارکتی با چالش‌هایی همراه است:

۱. **شکاف مقیاس:** موفقیت‌های محلی لزوماً در سطح ملی بازتولید نمی‌شوند. در میان سیاست‌گذاران و مدیران همچنان توجه به مقیاس‌های خرد و محلی جذابیت بالایی ندارد و میل به اجرای پروژه‌های کلان دیده می‌شود. توجه و اعتماد به اجرای طرح‌هایی با مقیاس کوچک، محلی و مردمی و همچنین توجه به نهادهای مردمی و عمومی حلقه مفقوده‌ی مدیریت مشارکتی است.

۲. **تجارب ناکام:** ضعف شفافیت، نبود منابع مالی پایدار یا نفوذ سیاسی بسیاری از پروژه‌ها را ناکام گذاشته است.

۳. **بافت حقوقی و فرهنگی ایران:** جایگاه رسمی برای نهادهای محلی و تأثیرات بسیار آن در نظام حکمرانی چندان قوی نیست و فرهنگ دولت‌محور مانع خودگردانی است.

۴. **مقاومت نهادی:** دستگاه‌های دولتی معمولاً از واگذاری اختیارات مقاومت می‌کنند.

بنابراین اجرای موفق نیازمند اصلاح حقوقی، پایلوت‌های هدفمند، شفافیت اطلاعات، ظرفیت‌سازی اجتماعی و انتقال تدریجی اختیارات است.

جدول تطبیقی تجارب مدیریت مشارکتی آب

کشور	نهاد محلی	اقدامات کلیدی	نتایج	نکات کلیدی	منبع
کنیا (نایری)	شرکت خدمات آب نایری (NYEWASCO)	تأسیس در ۱۹۹۷؛ مدیریت شهری آب با ساختار شرکتی؛ تأمین مالی از محل آب بها	خودکفایی مالی؛ خدمات پایدار برای دهها هزار خانوار	امکان تشکیل شرکت های محلی آب با مشارکت مردم و شهرداری ها	(World Bank)، (۲۰۱۷)
کنیا (یاتا)	انجمن توسعه جامعه مکاتونو (MCDA)	آغاز ۱۹۹۵؛ نقشه برداری منابع؛ ساخت ۹ سد و ۱۷ چاه؛ مشارکت زنان	دسترسی پایدار برای ۷۷ هزار نفر؛ استقلال از کمک خارجی	نقش تشکلهای محلی و زنان در موفقیت مدیریت آب	(Coady)، (Institute، ۲۰۱۴؛ (Lee، ۲۰۱۸)
اوگاندا (Sheema)	کمیته های کاربران آب (WUCs)	مشارکت مالی ۵٪ کاربران در مقابل حق تصمیم گیری و نظارت بر بهره برداری؛ وضع قوانین محلی؛ پس انداز برای تعمیرات	افزایش عملکرد منابع از ۵۰٪ به ۹۰٪	مشارکت مالی اندک حس تعلق و مسئولیت پذیری را تقویت می کند	(Naiga، ۲۰۱۸؛ (Naiga و (همکاران، ۲۰۱۵)
پرو (معدنی)	کمیته های پایش محیط زیستی مشارکتی (PEMCs)	آموزش جامعه؛ داده برداری مستقل؛ انتشار عمومی نتایج	بازگشت اعتماد به دولت؛ کاهش تعارض با شرکت ها	شفافیت و نظارت مشارکتی ابزار کلیدی	(UNDP و (CIRDI، ۲۰۱۵؛ (Damonte، (۲۰۲۴)
ایران (تجن، مازندران)	تعاونی آب بران تجن	جمع آوری آب بها، تصمیم گیری جمعی، آموزش	بهره وری آب بالاتر؛ رضایت ۶۵٪ اعضا؛ خودکفایی	الگوی انتقال اختیارات	(تاهباز و (همکاران، ۱۳۸۹)
ایران (تازه آباد، گلستان)	تعاونی پیوند	تشکیل کمیته های آب بران، آموزش، برنامه ریزی آبیاری، حفاظت سازه ها (۱۳۸۷-۱۳۹۲)	افزایش اولیه بهره وری و عدالت در توزیع؛ کاهش مشارکت و کم آبی در ادامه	موفقیت اولیه اما انحراف به دلیل برداشت بالادست و ضعف نهادها	(طالبی (اسکندری، (۱۴۰۴)

نتیجه گیری

جامعه محلی نسبت به داده های واقعی موجود و فرایندهای تصمیم گیری.

۳. اجرای پروژه های پایلوت: انتخاب حوزه های با سرمایه اجتماعی قوی و پرهیز از مناطق پرتنش.

۴. ایجاد واحدهای تسهیلگری در وزارت نیرو: تغییر نگاه وزارت نیرو از یک نهاد تصمیم گیر و مجری به یک ساختار تسهیلگر و حامی.

۵. همکاری با سازمان های غیردولتی و بین المللی: بهره گیری از تجارب موفق جهانی برای ظرفیت سازی. این مسیر دشوار اما تنها راه ممکن برای کاهش تعارضات، افزایش تاب آوری و رسیدن به حکمرانی پایدار منابع آب در ایران است.

بحران کنونی آب در ایران بیش از آنکه یک بحران فیزیکی باشد، یک بحران حکمرانی است. خروج از این وضعیت مستلزم یک گذار نهادی شجاعانه است؛ گذاری که در آن دولت از نقش تصدیگر انحصاری فاصله گرفته و به تسهیلگر توانمندساز تبدیل شود.

پیشنهادهای سیاستی

۱. بازنگری در قوانین: اصلاح قوانین بالادستی برای به رسمیت شناختن حقوق نهادهای محلی آب.
۲. ایجاد شفافیت اطلاعاتی: طراحی سامانه ملی شفاف برای انتشار داده ها و تصمیمات آبی و در جریان قرار گرفتن افراد

- Coady Institute. (2014). The story behind the well: A case study of successful community development in Makutano, Kenya. Antigonish, Canada: St. Francis Xavier University. Retrieved from <https://coady.stfx.ca>
- Damonte, G. H. (2024). Community-based monitoring in the Andes: Social innovation, state engagement and environmental governance. *Global Sustainability*, 7(e25), 1–15. <https://doi.org/10.1017/sus.2024.25>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, F. S. III, & Rockström, J. (2010). Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability, and transformability. *Ecology and Society*, 15(4), Article 20. <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- Lee, S. (2018). Community-based water management in rural Kenya. *Journal of Global Catholicism*, 2(3), 1–23. <https://ejournals.bc.edu/index.php/jgc/article/view/10763>
- Naiga, R. (2018). Conditions for successful community-based water management: Perspectives from rural Uganda. *International Journal of Rural Management*, 14(2), 110–135. <https://doi.org/10.1177/0973005218793245>
- Naiga, R., Penker, M., & Högl, K. (2015). Challenging pathways to safe water access in rural Uganda: From supply to demand-driven water governance. *International Journal of the Commons*, 9(1), 237–260. <https://doi.org/10.18352/ijc.480>
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>
- UNDP, & CIRD. (2019). Participatory environmental monitoring committees in mining contexts: Lessons from nine case studies in four Latin American countries. Vancouver: Canadian International Resources and Development Institute. Retrieved from <https://cirdi.ca>
- Van der Ploeg, J. D., & Long, A. (Eds.). (1994). *Born from within: Practice and perspectives of endogenous rural development*. Assen: Van Gorcum.
- World Bank. (2017). *Beyond scarcity: Water security in the Middle East and North Africa*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27659>

پی‌نوشت‌ها

1. NYEWASCO: NYeri Water and Environmental Services Company
2. MCDA: Makutano Community Development Association
3. WUCs: Water Users' Committees
4. PEMCs: Participatory Environmental Monitoring Committees

منابع

- تاهباز، نیلوفر، کوپاهی، مجید، و نظری، محمدرضا. (۱۳۸۹). بررسی عملکرد مدیریت مشارکتی آبیاری در ایران-مطالعه موردی آب‌بران تچن. *نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۴(۲)، ۲۰۵–۲۱۶. <https://doi.org/10.22067/jead2.v1389i2.3937>
- طالبی اسکندری، سروش. (۱۴۰۴). شکل‌گیری نهادهای مدیریت آب: مطالعه تجارب برنامه‌ریزی مدیریت پایدار آب و شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های برنامه‌ریزی مشارکتی در مدیریت منابع آب. اندیشکده تدبیر آب ایران. <https://iranthinktanks.com/formation-of-water-management-institutions/>
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۴۷). *قانون آب و نحوه ملی شدن آن*. مجلس شورای ملی، تهران، ایران.

یادداشت تحلیلی

ضرورت ایجاد یک چارچوب حکمرانی مشارکتی با تأکید بر نقش آفرینی جامعه محلی برای تحقق امنیت آبی در خراسان رضوی

* رایانامه نویسنده مسئول: ma.farzandi@um.ac.ir

محبوبه فرزندی^{۱*}، کامران داوری^۲، محمدحسن غفت پناه^۳

۱- به ترتیب دانش آموخته دکتری و استاد، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- مجمع نخبگانی بسیج استان خراسان رضوی، مشهد، ایران.
۳- مجمع نخبگانی بسیج استان خراسان رضوی، مشهد، ایران.

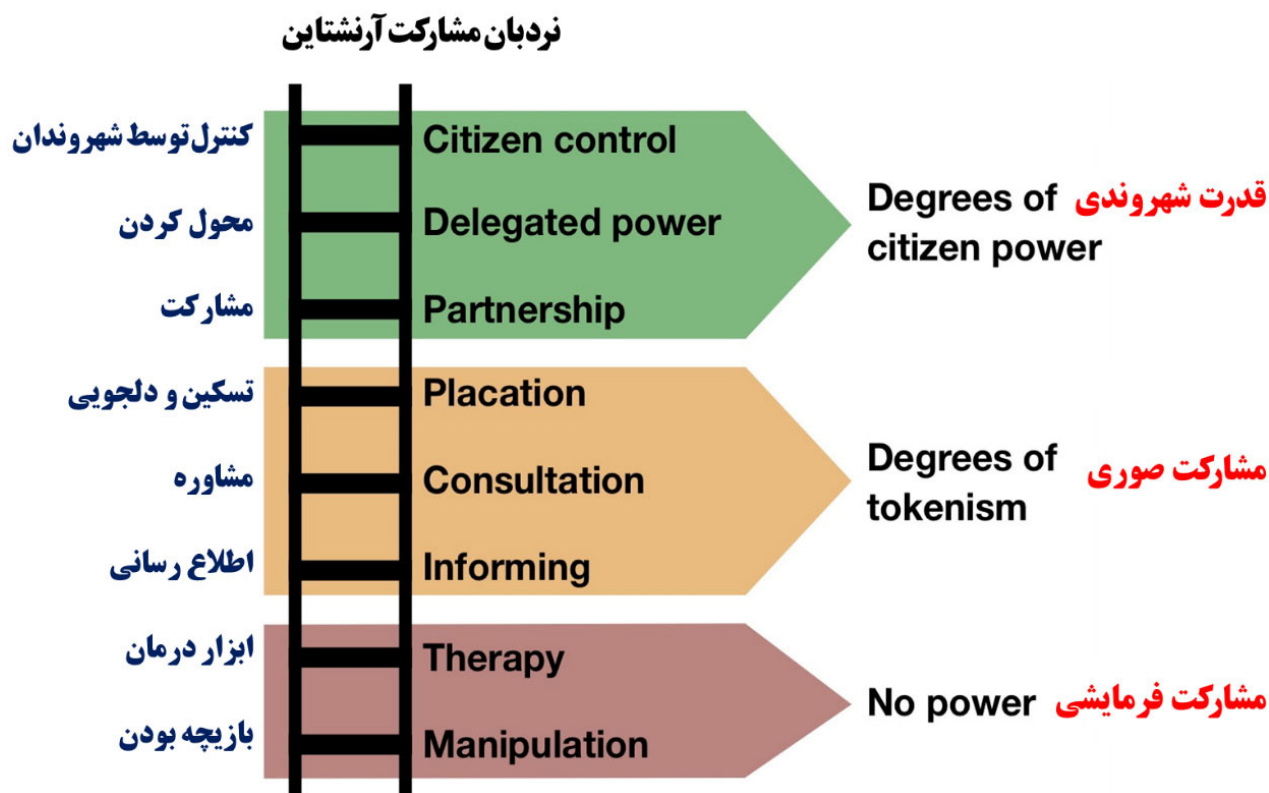
چکیده

مطالعات نظری نشان می‌دهد که ماهیت سه‌وجهی آب - به‌عنوان یک ماده حیاتی، کالای عمومی و عامل اقتصادی - نیازمند رویکردی ترکیبی در سیاست‌گذاری است. در ایران، بحران آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ناشی از ترکیبی از عوامل طبیعی و انسانی است. این بحران در سال‌های اخیر به یکی از چالش‌های اصلی کشور تبدیل شده است. در این میان، حکمرانی مشارکتی به‌عنوان رویکردی نوین، می‌تواند ابزاری مؤثر در مدیریت منابع آب و ارتقای تاب‌آوری جوامع محلی در برابر بحران‌های آبی باشد. این مقاله با بررسی اسناد بالادستی نظیر برنامه هفتم توسعه، همچنین منابع علمی معتبر جهانی و بررسی مفاهیم مهمی از قبیل سیستم‌های آب، نظریه کالای مشترک، نردبان مشارکت آرنشتاین و رویکردهای نوین در حکمرانی منابع آب، به تحلیل وضعیت حکمرانی آب پرداخته و راهکارهایی برای تقویت حکمرانی مشارکتی ارائه می‌دهد. برای این منظور طراحی چارچوبی که در آن دولت به‌عنوان سیاست‌گذار تسهیل‌گر و مردم به‌عنوان بازیگران اصلی در فرآیند تصمیم‌گیری، مدیریت و نظارت بر منابع آب ایفای نقش کنند، ضروری است.

واژه‌های کلیدی: حکمرانی مشارکتی، مدیریت منابع آب، بحران آب، جامعه محلی.

این در حالی است که تجارب موفق جهانی، از جمله آنچه در شاخص‌های بین‌المللی مانند Water Governance Indicators که توسط OECD^۱ برای ارزیابی کیفیت حکمرانی در بخش آب توسعه یافته‌اند نشان می‌دهد که ارتقاء حکمرانی مشارکتی و مسئولیت‌پذیری مردم گام کلیدی برای حفظ منابع آبی و دستیابی به امنیت آبی است (OECD، ۲۰۱۸). از منظر حقوقی نیز، فصل هشتم برنامه هفتم توسعه (مواد ۳۷ تا ۴۱) بر تقویت حکمرانی مشارکتی منابع آب، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، حمایت از بازار آب، و تشویق مشارکت مردم و بخش خصوصی در طرح‌های احیای منابع و بازچرخانی تأکید کرده است. همچنین قانون توزیع عادلانه آب (۱۳۶۱) زمینه‌های حقوقی اولیه برای بهره‌برداری مشارکتی و واگذاری وظایف به تشکلهای محلی را فراهم ساخته، هرچند برای تحقق کامل اهداف حکمرانی مشارکتی نیازمند بازنگری و نهادسازی است. متأسفانه در استان خراسان رضوی و البته کل ایران هنوز یک چارچوب نهادی و مفهومی جامع برای تحقق مشارکت اجرایی مردم در مدیریت آب و سیاست‌گذاری دولتی هدفمند وجود ندارد. خلأ چنین چارچوبی، موجب پراکندگی تصمیم‌گیری‌ها، ضعف در پاسخگویی نهادها و کاهش اثربخشی سیاست‌ها

استان خراسان رضوی با دارا بودن یکی از پرجمعیت‌ترین شهرهای کشور (مشهد)، دشتهای بحرانی و ممنوعه، کاهش بارش، افزایش دما و تبخیر با بحران شدید آب زیرزمینی مواجه است. نرخ بالای افت سطح آب‌های زیرزمینی، گسترش فرونشست زمین، و ناترازی شدید بین عرضه و تقاضای آب، امنیت آبی، و توازن اکولوژیک استان را تهدید می‌کند. طبق سند آمایش سرزمین استان خراسان رضوی (۱۴۰۰)، بحران آب در این استان نه تنها یک چالش فنی، بلکه مسئله‌ای حکمرانی، اجتماعی و اقتصادی است. از سوی دیگر، بر اساس چارچوب نظری «نردبان مشارکت آرنشتاین»، مشارکت ذی‌نفعان (مسئولیت‌پذیری ذی‌نفعان) در سیاست‌گذاری و اجرا، می‌تواند از سطوح نمادین و محدود، تا مشارکت کامل و مسئولیت‌پذیری تغییر یابد (Arnstein، ۱۹۶۹). مراحل تدریجی رشد مشارکت از فرمایشی تا تفویض کامل و قدرت شهروندی در شکل (۱) آمده است. حکمرانی آب در شرایط کنونی استان اغلب در سطح پایین این نردبان باقی مانده و مشارکت بهره‌برداران تنها به اجرای محدود پروژه‌ها خلاصه شده است.



شکل ۱- مراحل تدریجی رشد و ارتقاء مشارکت در نردبان آرنشتاین (برگرفته از Arnstein، ۱۹۶۹)

شده است. در نتیجه، ضرورت طراحی یک چارچوب حکمرانی مشارکتی در سطح استانی، با تأکید بر نقش سیاست‌گذاری دولت (در تنظیم‌گری، نظارت، حمایت مالی) و نقش آفرینی کامل مردم در اجرای سیاست‌های آبی، یک اولویت پژوهشی و راهبردی برای گذار به وضعیت پایدار و امنیت آبی محسوب می‌شود.

مبانی نظری و مطالعات تطبیقی

مطالعات نظری نشان می‌دهد که ماهیت سه‌وجهی آب -به‌عنوان یک ماده حیاتی، کالای عمومی و عامل اقتصادی- نیازمند رویکردی ترکیبی در سیاست‌گذاری است. از طرفی، در صورت نبود نهادهای تنظیم‌گر شفاف، ابزارهای قیمت‌گذاری منطقی و مشارکت معنادار مردم، منابع طبیعی مشترک رو به نابودی می‌رود؛ همان‌طور که گرت هاردین آن را «تراژدی منابع مشترک» نامید. در چنین وضعیتی، اقدام جمعی برای حفاظت، بهره‌برداری و بازتوزیع عادلانه آب، تنها راه عبور از بحران تلقی می‌شود.

یکی از نمونه‌های بومی و تاریخی حکمرانی مشارکتی در ایران، نظام قنات در تمدن کاریزی است. در این نظام، تمام ساختارهای اجتماعی و اقتصادی به‌صورت مشارکتی عمل می‌کردند و شوراهای محلی مدیریت قنات، به‌عنوان هسته اصلی تصمیم‌گیری، مورد پذیرش و همراهی جامعه کشاورزی بودند. این تجربه تاریخی نشان می‌دهد که حکمرانی مشارکتی در بسترهای فرهنگی ایران نیز سابقه‌ای عمیق دارد (پاپلی یزدی و وثوقی، ۱۴۰۱؛ و پاپلی یزدی، ۱۳۷۹). یونسکو تاکنون دو مجمع جهانی با موضوع «قنات به‌عنوان یک روش پایدار برای تأمین آب از منابع زیرزمینی» برگزار نموده؛ این درحالی است که در ایران روش بهره‌برداری آب با قنات کنار گذاشته شده و روش احداث سد مورد استفاده گسترده قرار گرفته است.

ادبیات نظری حوزه حکمرانی منابع آب نشان می‌دهد که حکمرانی مشارکتی^۲ راهکاری مؤثر برای ارتقای امنیت آبی و افزایش مشروعیت اجتماعی سیاست‌های آبی است. خانم Ostrom (۱۹۹۰) اولین زن اقتصاددان برنده جایزه نوبل در نظریه «کالای مشترک» تأکید می‌کند که منابعی چون آب زیرزمینی، در صورت واگذاری بخشی از اختیارات به کاربران محلی و تنظیم قواعد مشارکتی، می‌توانند به صورت پایدار مدیریت شوند. مفهوم «تراژدی منابع مشترک» که گارت هاردین^۳ در سال ۱۹۶۸ مطرح نمود (Hardin, ۱۹۶۸)، هشدار می‌دهد که اگر بهره‌برداران یک منبع مشترک هرکدام در پی منافع شخصی خود باشند، در نهایت منبع تخریب خواهد

شد. مثلاً اگر کشاورزان به‌طور بی‌رویه از آب زیرزمینی استفاده کنند، در نهایت کل سفره‌های آب خشک خواهد شد. Ostrom و همکاران (۱۹۹۹) برخلاف دیدگاه‌های بدبینانه، نشان دادند که جوامع محلی می‌توانند با قواعد و نهادهای خودساخته به‌گونه‌ای پایدار منابع مشترک را مدیریت کنند. او اصولی برای مدیریت پایدار منابع مشترک مطرح کرد، از جمله: تعریف روشن مرزهای منبع و کاربران، قواعد بهره‌برداری متناسب با شرایط محلی، مشارکت کاربران در تصمیم‌گیری، نظام‌های نظارتی محلی، نظام‌های تنبیه و تشویق تدریجی، سازوکارهای حل تعارض داخلی، به‌رسمیت‌شناسی نهادهای محلی از سوی دولت و هماهنگی میان نهادهای محلی در سطوح مختلف^۴. Pahl-Wostl و همکاران (۲۰۰۹) مفهوم «حکمرانی تطبیقی»^۵ را مطرح می‌کند که به توانایی نظام‌های حکمرانی در واکنش به تغییرات اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی در تمام سطوح اشاره دارد. این چارچوب، مشارکت فعال ذی‌نفعان، یادگیری نهادی و اصلاح مستمر سیاست‌ها را از ارکان حکمرانی مؤثر در شرایط پیچیده و متغیر می‌داند. مطالعه Meinzen-Dick (۲۰۰۷) در پنج کشور در حال توسعه نشان داد که مشارکت واقعی مردم در تصمیم‌گیری‌ها موجب افزایش بهره‌وری مصرف، کاهش تعارضات، و ارتقای عدالت اجتماعی می‌شود. این مطالعه استدلال می‌کند که هیچ راه‌حل واحدی^۶ برای حکمرانی منابع آب وجود ندارد و کارآمدی نهادهای آبی وابسته به سازگاری با شرایط محلی، مشارکت واقعی مردم، و انعطاف نهادی است. مطالعات موردی Shah و van Koppen (۲۰۱۶) در هند و نپال، نشان داد واگذاری تصدی‌گری به تعاونی‌های محلی منجر به بهبود مدیریت منابع و اعتماد اجتماعی شد. گزارش‌های OECD (۲۰۲۱) با ارائه «شاخص‌های حکمرانی آب» بر دوازده اصل از جمله انسجام سیاستی، مسئولیت‌پذیری، شفافیت و مشارکت ذی‌نفعان تأکید دارند.

مطالعات متعددی در ایران نشان می‌دهند که تقویت تشکلهای محلی و شوراهای بهره‌بردار نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق حکمرانی مشارکتی آب دارد. برای نمونه، رحمانیان کوشک (۱۴۰۰) در پژوهشی در دشت لیشر گچساران نشان داد که تشکلهای آب‌بران در صورت برخورداری از آموزش کافی و حمایت قانونی، می‌توانند در کاهش اضافه‌برداشت و ارتقای بهره‌وری منابع آب کشاورزی نقش مؤثری ایفا کنند. همچنین هاشمی (۱۴۰۱) با تحلیل ابعاد نهادی حکمرانی محلی آب در ایران، بر این نکته تأکید کرد که نبود هماهنگی سیاستی و ضعف در شفافیت اطلاعات از مهم‌ترین موانع مشارکت واقعی ذی‌نفعان در تصمیم‌گیری‌های آبی است.

به علاوه، قربانیان کردآبادی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی علل ناکامی سیاست‌های مدیریت مشارکتی آب، دریافت که تقویت پاسخ‌گویی، افزایش اعتماد نهادی و کاهش تمرکزگرایی می‌تواند به بهبود مشارکت کشاورزان در برنامه‌های مدیریت پایدار آب بینجامد.

بر اساس نظریه‌های مشارکت و به‌ویژه نردبان مشارکت آرنشتاین (Arnstein, ۱۹۶۹)، مشارکت واقعی زمانی تحقق می‌یابد که مردم نه تنها در اجرا، بلکه در فرآیند تصمیم‌سازی، سیاست‌گذاری و نظارت نقش مستقیم و مؤثر داشته باشند. برنامه‌ریزی راهبردی منابع آب دیگر یک فرایند صرفاً فنی نیست، بلکه یک فرایند اجتماعی-فنی است که باید دانش علمی، ابزارهای مدل‌سازی و مشارکت واقعی ذی‌نفعان را در کنار هم قرار دهد تا مدیریت پایدار منابع آب تحقق یابد. مدل‌سازی مشارکتی در برنامه‌ریزی منابع آب در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک رویکرد نوین و کارآمد مطرح شده است. این روش علاوه بر دقت فنی، بر مشارکت ذی‌نفعان، شفافیت و پذیرش اجتماعی تمرکز دارد و به ابزاری برای یادگیری جمعی و تصمیم‌گیری بهتر تبدیل شده است (Loucks و van Beek, ۲۰۱۷).

داوری و درخشان (۱۳۹۷) تغییر رویکرد در ساختار مدیریت آب زیرزمینی به منظور دستیابی به تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی را مورد تأکید قرار داده‌اند. بازخوانی نتایج تجارب کالیفرنیا در حوزه مدیریت آب زیرزمینی نشان از این دارد که «مدیریت پایای آب زیرزمینی» جز با اتکا بر «معیارهایی معقول» و «مشارکت جوامع محلی» قابل‌دستیابی نمی‌باشد. جلب مشارکت مردم در ساختار تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری و نیز تدوین مبانی یا معیارهای پایایی با توانمندسازی جوامع محلی و واگذاری حداقل بخشی از امور به کنشگران در تجربیات داخلی و خارجی باعث پایایی منابع آب زیرزمینی شده است. بنابراین دستیابی به پایداری تنها از طریق توانمندسازی ذی‌نفعان محلی و سازماندهی تدریجی مدیریت آب امکان‌پذیر است.

اسناد سیاستی و حقوقی ایران

قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران در اصل ۵۰، حفاظت محیط‌زیست را وظیفه‌ای عمومی دانسته و سیاست‌های کلی منابع آب (۱۳۷۹) و محیط‌زیست (۱۳۹۴) بر نقش مردم، ارتقاء بهره‌وری، و عدالت بین‌نسلی تأکید دارند. از سوی دیگر، فصل هشتم برنامه هفتم توسعه، با تصریح در مواد ۳۷ تا ۴۱، بستر حقوقی لازم برای مشارکت تشکلهای مردمی، توسعه بازار آب،

ارتقاء زیرساخت‌های پایش منابع و حمایت از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را فراهم کرده است. این هم‌راستایی قانونی و اجتماعی، پایه‌ای مستحکم برای طراحی چارچوب مشارکتی در استان است.

با وجود تمرکز قانون توزیع عادلانه آب بر نقش حاکمیتی دولت، برخی مواد قانونی آن به مشارکت تشکلهای بهره‌بردار و شوراهای محلی در مدیریت و نگهداری منابع آب اشاره دارد (قانون توزیع عادلانه آب، ۱۳۶۱). با این حال، فقدان سازوکارهای اجرایی شفاف برای تفویض اختیارات، مانع توسعه واقعی حکمرانی مشارکتی شده است.

طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی در راستای اجرای سیاست‌های مشارکتی و تفویض وظایف اجرایی دولت در بخش آب، در پانزدهمین جلسه شورای عالی آب در سال ۱۳۹۳ به تصویب رسید. یکی از پروژه‌های کلیدی این طرح، ایجاد تشکلهای آب‌بران در سطح کشور بود. اقدامی که در جهت واگذاری تدریجی بخشی از تصدی‌گری‌های دولتی به بهره‌برداران محلی و تمرکز دولت بر نقش حاکمیتی و تنظیم‌گری طراحی شد. با این حال، مسیر تحقق این هدف با چالش‌هایی بنیادین همراه است (طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، ۱۳۹۳). متأسفانه اجرای این طرح نیز به دلایل مختلف از جمله نداشتن ضمانت اجرایی لازم متوقف شد. به نظر می‌رسد، جامعه کشاورزی طی دهه‌های گذشته با تجربه ناموفق انواع تعاونی‌ها و شرکت‌های محلی، دچار بی‌اعتمادی نهادی شده است. بنابراین، نخستین گام در مسیر تقویت حکمرانی مشارکتی، جلب رضایت و اعتماد کشاورزان نسبت به تأسیس تشکلهای آب‌بران و تضمین کارآمدی واقعی آن‌هاست. چالش دوم، نبود سیاست واحد و منسجم در سطح حکمرانی آب و کشاورزی است. تا زمانی که سیاست‌های متناقض در حوزه مدیریت منابع آب، تخصیص، و عملکرد بهره‌برداران پابرجاست -سیاست‌هایی که غالباً از سطوح ملی دیکته می‌شوند- امکان تحقق حکمرانی مشارکتی مؤثر زیر سؤال خواهد رفت. تعریف راهبرد واحد، هم‌راستا با اهداف مشارکتی و تقاضامحور، گامی ضروری برای موفقیت تشکلهای و مسئولیت‌پذیری جامعه محلی خواهد بود.

برنامه سازگاری با کم‌آبی به‌عنوان یکی از سیاست‌های کلیدی دولت در راستای تحقق تعادل بخشی منابع و مصارف آب، که در سال ۱۳۹۶ به تصویب هیات وزیران رسیده است، از جمله مهم‌ترین اسناد راهبردی کشور در مواجهه با بحران منابع آب در سطح ملی است. اجرای آن از سال ۱۳۹۸ در استان خراسان رضوی آغاز شده است. این برنامه با هدف ایجاد تغییر در

الگوی مصرف، ارتقای بهره‌وری، و اصلاح نظام تخصیص آب در بخش‌های مختلف طراحی شده و طی سال‌های گذشته توسط دبیرخانه همیاران سازگاری با کم‌آبی واقع در دانشگاه فردوسی مشهد در استان به‌صورت منظم رصد و ارزیابی شده است (سند ملی سازگاری با کم‌آبی، ۱۳۹۸). این سند با تغییر رویکرد از مدیریت عرضه‌محور به تقاضا‌محور و مشارکتی، چارچوبی برای گذار به حکمرانی آب پایدار ارائه می‌دهد. نقش کلیدی استان‌ها، جوامع محلی و ذی‌نفعان در تدوین و اجرای برنامه‌های سازگاری، در این سند مورد تأکید است. استان‌ها مکلف شده‌اند تا با محوریت استانداری و شرکت‌های آب منطقه‌ای، برنامه‌های سازگاری با کم‌آبی را در سطح حوضه‌های آبریز تدوین و اجرا کنند سازگاری با کم‌آبی نه صرفاً پروژه‌ای فنی، بلکه فرآیندی اجتماعی و نهادی است که موفقیت آن منوط به تعامل میان دستگاه‌های اجرایی، جامعه محلی و نهادهای علمی است. از این رو، سند ملی سازگاری با کم‌آبی را می‌توان بستر ساز تقویت حکمرانی مشارکتی و ایفای نقش جامعه محلی در امنیت آبی دانست؛ مسیری که نیازمند بازتعریف نقش دولت از تصدی‌گری به تنظیم‌گری است. این سند با تأکید بر تغییر رویکرد مدیریتی از عرضه‌محور به تقاضا‌محور و مشارکتی، بر لزوم استفاده از ظرفیت نهادهای محلی، ارتقای سواد آبی، شفافیت اطلاعات و استفاده از پایش مردمی در سیاست‌گذاری تأکید دارد.

سند آمایش استان خراسان رضوی در دو بخش اصلی تحلیل وضعیت و ساختار موجود و برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری تدوین شده است که در حال بازنگری و به‌روزرسانی است. مدیریت منابع آب به‌عنوان گلوگاه توسعه استان در این سند شناخته شده و حکمرانی مطلوب آن مبتنی بر «مدیریت منطقه‌ای، مشارکت مردمی و شفافیت نهادی» تعریف شده است. همچنین، بر ضرورت هماهنگی سیاست‌های بخشی (کشاورزی، صنعت، خدمات) در قالب حکمرانی یکپارچه تأکید شده است (سند آمایش سرزمین استان خراسان رضوی، ۱۴۰۰).

فصل هشتم برنامه هفتم توسعه، با عنوان «مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب»، رویکردی نوین و راهبردی در مواجهه با بحران منابع آبی کشور اتخاذ کرده است. یکی از مؤلفه‌های کلیدی این فصل، تغییر نقش دولت از تصدی‌گر به تنظیم‌گر و تسهیل‌گر و تأکید بر تقویت مدیریت منطقه‌ای، مشارکت مردمی و مسئولیت‌پذیری ذی‌نفعان محلی است. مرکز پژوهش‌های مجلس (۱۴۰۲) در تحلیل برنامه هفتم، بر تمرکززدایی و واگذاری تصدی‌گری به دستگاه‌های اجرایی استانی بر مبنای ماده ۱۰۵ قانون برنامه هفتم تأکید می‌کند.

فصل هشتم برنامه هفتم توسعه، از منظر سیاست‌گذاری کلان، بستر ساز تدوین و استقرار چارچوبی برای حکمرانی مشارکتی آب است و صراحتاً بر واگذاری مسئولیت به مردم، تفویض اختیارات به نهادهای محلی، و تنظیم‌گری هوشمند دولت تأکید می‌ورزد. مطابق بند یک و دو ماده ۴۶ فصل هشتم، دولت موظف شده است به‌منظور افزایش بهره‌وری و پایداری در مدیریت منابع آب، تشکلهای بهره‌بردار، تعاونی‌های آب‌بران، و انجمن‌های صنفی محلی را توسعه دهد و بخشی از وظایف اجرایی و مدیریتی منابع آب به این نهادها واگذار شود. همچنین در بندهای اجرایی ذیل ماده ۴۷، تأکید شده است که اصلاح ساختار مدیریت آب باید به‌گونه‌ای باشد که سطوح محلی، منطقه‌ای و استانی نقش مؤثری در برنامه‌ریزی، تصمیم‌گیری و اجرای سیاست‌های آبی ایفا کنند.

این بندها ناظر بر تحقق اصل حکمرانی چندسطحی هستند که در آن، جامعه محلی به‌عنوان بازیگر واقعی و مسئول در مدیریت منابع طبیعی به رسمیت شناخته می‌شود. در ادامه، بندهایی از ماده ۴۹ و ۵۰ نیز بر شفاف‌سازی اطلاعات، پاسخ‌گویی نهادها، تقویت اعتماد اجتماعی، و الزام به هماهنگی بین بخشی تأکید دارند. این مفاهیم، پیش‌نیازهای اصلی حکمرانی مشارکتی و پایدار منابع آب هستند. این بندها به‌خوبی با اهداف پژوهش حاضر، در زمینه طراحی چارچوب حکمرانی مشارکتی برای تحقق امنیت آبی، هم‌راستا هستند.

ضرورت تغییر در سیاست‌های آبی کشور

وزارت نیرو اولین اجلاس هم‌اندیشی با متخصصان آب و محیط‌زیست را در پژوهشگاه نیرو در تاریخ دهم اسفند ماه ۱۳۹۶ برگزار نمود. نشریه آب و توسعه پایدار این فرصت را مغتنم شمرده و خلاصه تعدادی از مقالات برگزیده این همایش را در ویژه‌نامه سال چهارم، شماره ۲ سال ۱۳۹۶ منتشر نمود. برخی نقل‌قول‌های مفید در ادامه آمده است:

مسئله کم‌آبی به یکی از بحران‌های اصلی توسعه در استان خراسان رضوی بدل شده و آثار آن در حوزه‌های کشاورزی، خدمات شهری، صنعت و زیست‌محیطی نمایان است. روند ناپایدار برداشت از منابع آب زیرزمینی، توسعه بدون کنترل شهرنشینی و کاهش بارش‌ها باعث ناترازی فزاینده منابع و مصارف آبی شده است. در چنین شرایطی، نیاز به گذار از مدل‌های متمرکز و دولتی به سمت حکمرانی مشارکتی و مردم‌پایه به‌شدت احساس می‌شود.

تجربه‌های موفق داخلی، از جمله اجرای مدیریت مشارکتی منابع آب در اسفراین نشان می‌دهد که استفاده از ظرفیت‌های

محلی، نهادهای محلی و مشارکت بهره‌برداران می‌تواند موجب افزایش اثربخشی سیاست‌های آبی شود. الگوی اجرای موفق مدیریت مشارکتی منابع آب در اسفراین نشان داد که تعریف نقشه راه مشارکتی، تقویت سرمایه اجتماعی و مسئولیت‌پذیری ذی‌نفعان محلی به نتایج ملموسی در کاهش ناترازی منجر شده است (واسطه، ۱۳۹۶).

مدل‌هایی همچون تشکیل مجلس محلی آب، ایجاد نهادهای تنظیم‌گر محلی، و پیوند برنامه آمایش با سیاست‌های آبی نیز در این ویژه‌نامه پیشنهاد شده‌اند. برای تشکیل این مجلس، پیشنهاد می‌شود ابتدا به‌صورت پایلوت در یک حوضه‌ی آبریز اجرا شده و سپس پس از مستندسازی، اساسنامه آن تدوین شود. اصول ۱۰۰ تا ۱۰۶ قانون اساسی می‌تواند مبنای حقوقی تشکیل این نهاد باشد. اساسنامه باید شامل: حیطه اختیارات، فرایند انتخاب اعضا، زمان‌بندی تصمیم‌ها، ساختار مالی، سازوکار نظارت، فرایند حل اختلاف، نحوه انحلال و پیوند با نهادهای ملی باشد (ضرغامی، ۱۳۹۶).

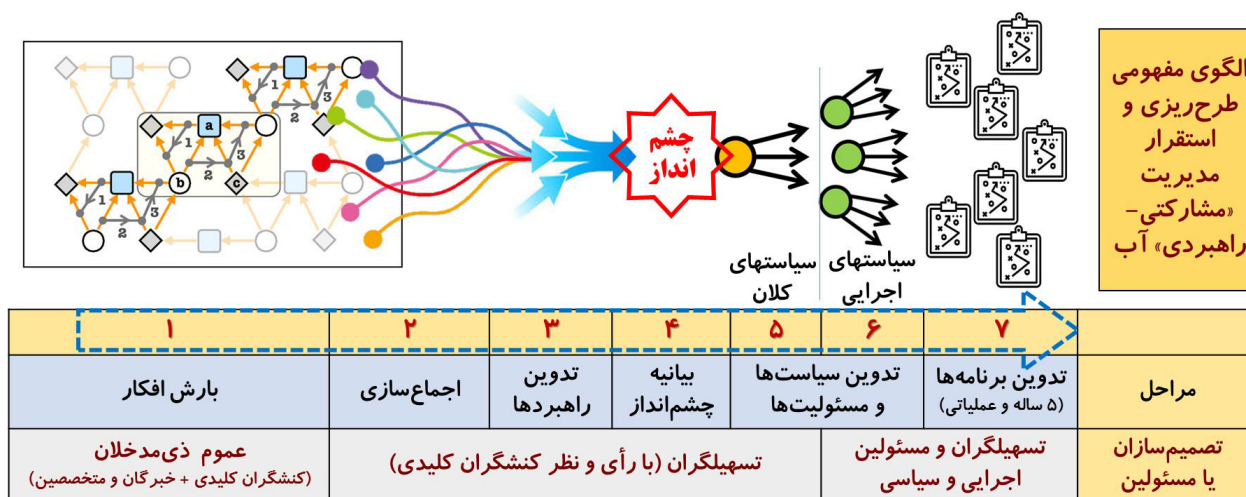
عدم توجه به سازوکارها و مولفه‌های حکمرانی آب زیرزمینی است، از دلایل اصلی شکست طرح‌های تعادل بخشی در این ویژه‌نامه عنوان شده است. نوری اسفندیاری و ارشدی (۱۳۹۶) سیاست‌های برای بهبود طرح‌های تعادل بخشی از دیدگاه حکمرانی آب زیرزمینی توصیه و پیشنهاد شده است از جمله تدوین برنامه جامع، ایجاد توازن و هماهنگی سیاست‌های آب زیرزمینی با دیگر سیاست‌های بخش آب، شکل‌گیری و تشکیلات محلی، تمرکززدایی و ارتقا سیاست‌های اطلاع رسانی و پاسخگویی. وظایف تأمین، حفاظت و بهره‌برداری در نظام موجود حکمرانی آب ایران، به شکل پراکنده و در نهادهای متعدد دولتی و غیردولتی تقسیم شده است. این ساختار بخشی، سبب نادیده گرفتن ماهیت میان بخشی آب شده و از دستیابی به یک سیاست ملی هماهنگ و پایدار برای مدیریت منابع آبی جلوگیری می‌کند. درحالی‌که تحقق امنیت آبی، نیازمند نگاهی همه‌جانبه و مدیریت یکپارچه منابع و مصارف است، ساختارهای کنونی اغلب تنها بر توسعه یا بهره‌برداری متمرکز هستند و تعامل مؤثر میان نهادهای برنامه‌ریز، بهره‌بردار و متولیان محیط‌زیست بسیار ضعیف است. در پاسخ به این ناکارآمدی ساختاری، پیشنهاد شده است که یا: الف) نهادهای مرتبط با آب، بازتعریف، ادغام و بازسازی شده و مشارکت نهادهای اجتماعی در آن نهادینه شود؛ یا ب) از طریق یک «طرح کلان فرانهادی»، مأموریت‌های مشخصی برای هر دستگاه تعیین و روند اجرا، پایش و ارزیابی شود (مجیدی، ۱۳۹۶). یکی از مهم‌ترین چالش‌های حکمرانی آب در ایران، نبود یک

ساختار نهادی منسجم برای گفت‌وگوی مؤثر، تصمیم‌گیری مشارکتی و سیاست‌گذاری تلفیقی در سطح حوضه‌های آبریز است. درحالی‌که سیاست‌های ملی، برنامه‌های توسعه و حتی منابع مالی و انسانی در کشور وجود دارد، اما به دلیل «نبود درک مشترک از مسئله»، «سطح پایین سرمایه اجتماعی آب» و «فقدان تعامل مؤثر میان ذی‌نفعان»، اغلب تصمیمات به‌صورت بخشی، تجویزی و ناکارآمد اتخاذ می‌شوند. در چنین شرایطی، ایجاد یک الگوی نهادی بین بخشی مانند «شورای هماهنگی مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب حوضه‌های آبریز» به‌عنوان ساختاری فراگیر، ضروری است. این شورا نه تنها بر مبنای نمایندگی نهادی دولت، بلکه با مشارکت مؤثر کشاورزان، شوراهای محلی، سمن‌ها و متخصصان، بستری برای تحقق مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب، ایجاد شفافیت اطلاعات، حل مناقشات بین ذی‌نفعان، و ارتقای عدالت در توزیع منابع فراهم می‌سازد. فعالیت‌هایی همچون: بررسی تراز منابع و مصارف سالانه، تعیین سهمیه‌ها، ارزیابی سناریوهای کم‌آبی، برنامه‌ریزی فرهنگی و آموزشی، کنترل برداشت غیرمجاز، و هماهنگی در مدیریت پساب‌ها، از جمله وظایف کلیدی این شوراها خواهند بود. در هر دو مسیر، مشارکت واقعی ذی‌نفعان، اجماع بر وضع موجود و مطلوب، و تدوین یک «نقشه راه مشارکتی» شرط لازم است.

مدل مفهومی پیشنهادی برای خراسان رضوی

استان خراسان رضوی با تمرکز بالای جمعیت در مشهد، فشار فزاینده بر منابع آب زیرزمینی، توسعه سریع صنعت و کشاورزی، و نرخ بالای فرونشست زمین، یکی از بحرانی‌ترین مناطق کشور از منظر منابع آب است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نظام فعلی تخصیص و بهره‌برداری آب با ناترازی شدید، راندمان پایین در بخش کشاورزی و نبود سازوکارهای انگیزشی برای صرفه‌جویی مواجه است (سند آمایش سرزمین استان خراسان رضوی، ۱۴۰۰). در چنین شرایطی، طراحی یک مدل مفهومی با محوریت مشارکت بخش خصوصی و حمایت نهادهای دولتی، گامی کلیدی برای افزایش بهره‌وری، افزایش مسئولیت‌پذیری جامعه محلی و گذار به حکمرانی مشارکتی آب خواهد بود.

شکل (۲) یک الگوی مفهومی مرحله‌به‌مرحله برای طراحی و استقرار مدیریت مشارکتی-راهبردی منابع آب را نشان می‌دهد. طراحی چارچوب حکمرانی مشارکتی آب در خراسان رضوی نیازمند گذر از شش مرحله‌ی کلیدی از مشارکت عمومی تا سیاست‌گذاری اجرایی است که با ایجاد اجماع بین ذی‌نفعان، تسهیل‌گران، سیاست‌گذاران و مدیران محلی



شکل ۲- مدل مفهومی برای طرح‌ریزی و استقرار مدیریت «مشارکتی-راهبردی» آب

حکمرانی مشارکتی در حوزه منابع آب باید با تکیه بر جلب مشارکت عمومی، اعتمادسازی و شفافیت، از طریق ایجاد نهادهای مشارکتی (مثل شوراهای برنامه‌ریزی‌های محلی) شکل گیرد و در نهایت، اقدامات متوازن مدیریت عرضه (برای بقاء

امکان‌پذیر خواهد بود. این نمودار نشان می‌دهد که برای تحقق امنیت آبی، صرفاً تصمیم‌سازی دولتی کافی نیست و باید با «چشم‌انداز مشترک»، «سیاست‌های توافقی» و «برنامه‌ریزی مشارکتی» عمل کرد.



شکل ۳- طراحی چارچوب پیشنهادی اولیه حکمرانی مشارکتی برای تحقق امنیت آبی در خراسان رضوی

1. Organisation for Economic Co-operation and Development
2. Participatory Governance
3. Garrett Hardin
4. nested enterprises
5. Adaptive Water Governance
6. Panacea

منابع

- برنامه هفتم توسعه جمهوری اسلامی ایران. (۱۴۰۲). فصل هشتم: مدیریت یکپارچه منابع آب. مصوب مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۲-۱۴۰۶).
https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1809128?utm_source=chatgpt.com
- پاپلی یزدی، م.ح. (۱۳۷۹). نقش قنات در شکل‌گیری تمدن‌ها، پایداری فرهنگ و «تمدن کاریزی». مقالات، جلد دوم. همایش بین‌المللی قنات. تهران، ایران.
- پاپلی یزدی، محمدحسین، و وثوقی، فاطمه. (۱۴۰۱). فرهنگ و تمدن کاریزی. انتشارات پاپلی. مشهد-خراسان رضوی، ایران.
- داوری، کامران، و درخشان، هاشم. (۱۳۹۷). مدیریت پایای آب زیرزمینی با استفاده از تجربه کالیفرنیا (تحلیل تطبیقی مدیریت منابع آب زیرزمینی ایران و ایالت کالیفرنیا). جهاد دانشگاهی واحد خراسان رضوی. مشهد، ایران.
- دبیرخانه ملی سازگاری با کم‌آبی. (۱۳۹۶). سند ملی سازگاری با کم‌آبی. وزارت نیرو، تهران، ایران.
- رحمانیان کوشکی، م. (۱۴۰۰). تحلیلی عاملی پیامدهای مثبت تشکلهای آب‌بران در حکمرانی محلی منابع آب (مطالعه موردی: دشت لیشتگرچساران). همایش ملی حکمرانی اسلامی. تهران، ایران.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان خراسان رضوی. (۱۴۰۰). سند آمایش سرزمین استان خراسان رضوی. مشهد، ایران.
<https://khr.acecr.ac.ir/fa/page/8033/>
- سیاست‌های کلی محیط‌زیست ابلاغی رهبری (ابلاغی ۲۶/۰۸/۱۳۹۴)
<https://farsi.khamenei.ir/news-content?id=31422>
- سیاست‌های کلی منابع آب ابلاغی رهبری (ابلاغی ۲۰/۱۱/۱۳۷۹)
<https://farsi.khamenei.ir/news-content?id=29282>
- شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۳۹۳). طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی کشور. وزارت نیرو، معاونت آب و آبفای وزارت نیرو. تهران، ایران.
- ضرغامی، مهدی. (۱۳۹۶). ضرورت تغییر در سیاست‌های آبی کشور: حرکت به سمت حکمرانی موفق آب با هم‌افزایی دانش و خرد جمعی: ایده تشکیل مجلس محلی آب. نشریه آب و توسعه پایدار (بخش ویژه)، ۴(۲)، ۱۷۱.
- قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، اصل ۵۰.
https://ccri.ac.ir/files/fa/news_files/18277.pdf
- قانون توزیع عادلانه آب. (۱۳۶۱). جمهوری اسلامی ایران.
https://rc.majlis.ir/fa/law/show/90679?utm_source=chatgpt.com
- قربانیان کردآبادی، محمد. لیاقت، عبدالمجید. مالمیر، مرضیه. (۱۳۹۹). بررسی علل شکست سیاست‌های مدیریت مشارکتی آب در ایران. فصلنامه سیاستگذاری عمومی، ۶(۳)، ۱۹۰-۱۶۹.
<https://doi.org/10.22059/jppolicy.2021.79496>

سرزمین) و مدیریت تقاضا (برای ارتقاء) را هدایت کند تا امنیت آبی و پایداری بلندمدت حاصل شود. مدل مفهومی کلان چارچوب پیشنهادی پژوهش که دارای سه سطح حکمرانی، برنامه و اقدام است در شکل (۳) آمده است.

نتیجه‌گیری

بحران آب در استان خراسان رضوی، ریشه در مسائل حکمرانی دارد و رویکردهای متمرکز و از بالا به پایین کنونی به تنهایی قادر به حل این بحران پیچیده نیستند. مرور مبانی نظری و تجارب بین‌المللی همچنین بررسی اسناد سیاستی داخلی نشان می‌دهد گذار به سمت حکمرانی مشارکتی، چندسطحی و تطبیقی، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. الگوی مفهومی پیشنهادی این تحقیق، بر پایه سه سطح «حکمرانی»، «برنامه» و «اقدام» و با گذر از شش مرحله کلیدی - از ایجاد اجماع و اعتمادسازی تا برنامه‌ریزی و اقدام نهایی - طراحی شده است. این مدل تأکید می‌کند که نقش دولت باید از «تصدی‌گری» به «تنظیم‌گری، نظارت و تسهیل‌گری» تغییر یابد و از طرف دیگر، «جامعه محلی» و «نهادهای مردمی» باید از حالت «اجراکنندگان منفعل» به «بازیگران اصلی و تصمیم‌گیرندگان فعال» در تمام مراحل مدیریت آب ارتقا یابند.

اجرای موفقیت‌آمیز این چارچوب مستلزم فراهم‌آوری بسترهای لازم است: اول، بازنگری و تقویت چارچوب‌های حقوقی (مانند اصلاح آیین‌نامه‌های اجرایی قانون توزیع عادلانه آب) برای تفویض واقعی اختیار به نهادهای محلی. دوم، سرمایه‌گذاری بر روی توانمندسازی و ظرفیت‌سازی جامعه محلی و ذی‌نفعان برای پذیرش مسئولیت. سوم، شفافیت اطلاعات و ایجاد سامانه‌های پایش مشارکتی به عنوان پایه اعتماد و تصمیم‌گیری جمعی. و چهارم، ایجاد هماهنگی و انسجام کامل بین سیاست‌های بخشی مختلف به‌ویژه کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست.

در پایان، پیشنهاد می‌شود این مدل به‌صورت نمونه در یکی از دشت‌های بحرانی استان خراسان رضوی (مانند دشت مشهد) اجرا شده و نتایج آن به‌دقت پایش و ارزیابی شود. مطالعات آتی می‌توانند به توسعه شاخص‌های کمی برای سنجش میزان مشارکت و اثربخشی این چارچوب و همچنین تطبیق آن با شرایط خاص سایر حوضه‌های آبریز کشور بپردازند. بدون تردید، تحقق امنیت آبی پایدار در گرو عزمی ملی برای بازتعریف رابطه دولت-ملت در مدیریت منابع مشترک و پذیرش یک پارادایم جدید حکمرانی است.

- Arnstein, S.R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216-224.
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01944366908977225?utm_source=chatgpt.com
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). *Water Resource Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications* (1st ed.). Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-44234-1>
- Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248.
<https://doi.org/10.1126/science.162.3859.1243>
- Meinzen-Dick, R. (2007). Beyond panaceas in water institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39), 15200-15205.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0702296104>
- OECD. (2021). *Toolkit for Water Policies and Governance, Converging Towards the OECD Council Recommendation on Water*. OECD Publishing: Paris, England.
<https://doi.org/10.1787/ed1a7936-en>
- OECD (2018). *Water Governance Indicator Framework*. OECD.
https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-sub-issues/water-governance/oecd_water-governance-indicator-framework_en.pdf
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press. New York, USA.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>
- Ostrom, E., Burger, J., Field, C. B., Norgaard, R. B., & Policansky, D. (1999). Revisiting the commons: Local lessons, global challenges. *Science*, 284(5412), 278-282.
<https://doi.org/10.1126/science.284.5412.278>
- Pahl-Wostl, C., Craps, M., Dewulf, A., Mostert, E., Tabara, D., & Taillieu, T. (2009). A conceptual framework for analysing adaptive capacity in water governance. *Global Environmental Change*, 19(3), 354-365.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.06.001>
- Shah, T., & van Koppen, B. (2016). The precept and practice of integrated water resources management (IWRM) in India. In V. Narain & A. Narayanamoorthy (Eds.), *Indian water policy at the crossroads: Resources, technology and reforms* (pp. 15-33). Springer. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-25184-4_2
- مجیدی، میثم. (۱۳۹۶). ضرورت تغییر در سیاست های آبی کشور: مدیریت فرآینادی آب با هدف استقرار الگوی پایدار امنیت آب غذا انرژی. آب و توسعه پایدار (بخش ویژه)، ۴(۲)، ۱۸۱.
- مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی. (۱۴۰۲). نقشه راه واگذاری امور تصدی گری به دستگاه های اجرایی استانی مبتنی بر ماده ۱۰۵ قانون برنامه هفتم پیشرفت. دفتر مطالعات مدیریت، گزارش مرکز پژوهش های مجلس.
<https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1839046>
- نوری اسفندیاری، انوش، و ارشدی، محمد. (۱۳۹۶). سیاست هایی برای بهبود طرح تعادل بخشی از دیدگاه حکمرانی. آب و توسعه پایدار (بخش ویژه)، ۴(۲)، ۱۷۲.
- واسطه، وحید. (۱۳۹۶). ضرورت تغییر در سیاست های آبی کشور: الگوی استقرار مدیریت مشارکتی و یکپارچه منابع و مصارف آب بر اساس تجربه تعادل بخشی محدوده مطالعاتی اسفراین. آب و توسعه پایدار (بخش ویژه)، ۴(۲)، ۱۷۳.
- هاشمی، سیدمختار. (۱۴۰۱). حکمرانی محلی آب در ایران: پیامدها و توصیه های سیاستی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱۳۵-۱۴۴.

مالکیت آب از منظر فقهی و حقوقی

رایانامه نویسنده مسئول: a.hatami.y@gmail.com

علیرضا آزاد، ابوذر حاتمی یزد*

۱- استادیار گروه معارف دانشکده الهیات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسی مشاوره گزین سازه توس، مشهد، ایران.

روایات مرتبط با مالکیت آب

از منظر دینی، مالک حقیقی نعمت‌های الهی از جمله آب از آن خداوند و کسانی است که خداوند آن‌ها را در قالب پیامبر و امام، به عنوان خلیفه و جانشین خود در زمین قرار داده است. از همین روست که امام صادق (ع) می‌فرماید: «پنج رود فرات، دجله، نیل مصر، مهران و نهر بلخ و هر چیزی که به وسیله آن‌ها مشروب می‌شود از آن امام می‌باشد.» (عاملی، ۱۳۷۰ الف).

از آنجا که آبادانی و مالکیت زمین غالباً در گرو آب است. بسیاری از روایاتی که درباره مالکیت زمین است، به طور غیرمستقیم به مالکیت نیز آب اشاره دارد. مثلاً در روایت صحیحی از امام صادق (ع) به نقل از پیامبر (ص) آمده است: «هر کس از زمین بهره‌برداری کرد و آن را آباد ساخت، آن زمین متعلق به اوست.» (۰، ۱۳۴۸ الف) و نیز آمده است: «زمین از آن خدا و کسانی است که آن را آباد کنند.» (کلینی، ۱۳۶۵ الف). مضمون این روایات، صرفاً مربوط به زمین‌های کشاورزی نیست، بلکه شامل انواع زمین‌ها و چیزهایی که به صورت طبیعی در آن قرار دارند نیز می‌شود. چنان که در روایت امام باقر (ع) به نقل از پیامبر اکرم (ص) آمده است: «هر چیز زمین را کسی احیا کرد مالک آن است.»

به این ترتیب، آب‌های زیر یا سطح زمین مثل رودخانه‌ها همه مشمول همین حکم است، همه افراد بالقوه حق بهره‌برداری از آن را دارند و در ملکیت کسی نیست به غیر از امام زمان و نائبان او و یا فردی که از آن برای عمران و آبادانی بهره گیرد. جالب آنکه مسلمان و غیرمسلمان در این حکم مساوی‌اند. چنانکه از امام صادق (ع) پرسیدند: «آیا می‌توان زمین یک نفر یهودی یا مسیحی را که او آباد ساخته است، خرید؟» امام فرمود: «بله. هر ملتی که چیزی از زمین را آباد کرد، نسبت به آن صاحب حق شده و مالک آن می‌شوند.» (طوسی، ۱۳۶۵)

۱- مبانی اسلامی حقوق آب

مبانی قرآنی و حدیثی

آیات مرتبط با مالکیت آب

در اهمیت دینی آب همین بس که خداوند در قرآن، آن را مایه حیات همه موجودات شمرده است: «وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ: و هر چیز زنده‌ای را از آب قرار دادیم.» (انبیاء: ۳۰) و آن را نعمتی بر بندگان خود قرار داده و خزانه آن را در اختیار خویش می‌داند: «فَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَسْقَيْنَاكُمُوهُ وَمَا أَنْتُمْ لَهُ بِخَازِنِينَ: و از آسمان، آبی نازل کردیم، پس شما را بدان سیراب نمودیم، و شما خزانه‌دار آن نیستید.» (حجر: ۲۲).

در ادیان ابراهیمی، زمین و آنچه در آن است نظیر کوه‌ها، جنگل‌ها، آب‌ها و... ملک خداوند و همگی از آن خالق هستی است که آن‌ها را به امانت در اختیار بندگان قرار داده است. خداوند در قرآن کریم می‌فرماید: «إِنَّ الْأَرْضَ لِلَّهِ يُورِثُهَا مَنْ يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ: زمین ملک خداست، آن را به هر کس از بندگان بخوهد می‌دهد.» (اعراف: ۱۲۸) و در آیه دیگری می‌فرماید: «سَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا: خدا آنچه را در آسمان‌ها و زمین است، مسخّر شما کرد.» (جاثیه: ۱۳)

به این ترتیب آب‌های زمین نیز تحت مالکیت الهی است و رعایت قوانین الهی در استفاده از آب‌ها لازم است و استفاده ظالمانه یا باطلانه از آن چه در قالب شخصی و چه گروهی و چه حاکمیتی، طبق آیه ۱۸۸ سوره بقره مردود اعلام شده است: «وَلَا تَأْكُلُوا أَمْوَالَكُم بَيْنَكُم بِالْبَاطِلِ وَتُدْلُوا بِهَا إِلَى الْحُكَّامِ لِيَأْكُلُوا فَرِيقًا مِنْ أَمْوَالِ النَّاسِ بِالْإِثْمِ وَأَنْتُمْ تَعْلَمُونَ: و اموالتان را در میان خود به باطل و ناحق مخورید. و آن را (به عنوان رشوه) به سوی حاکمان سرازیر نکنید تا بخشی از اموال مردم را (با تکیه بر حکم ظالمانه آنان) به گناه و معصیت بخورید، در حالی که (زشتی کارتان را) می‌دانید.» (بقره: ۱۸۸)

الف؛ طوسی، ۱۳۴۸ الف). فقهای اسلامی نیز به این مضمون فتوا داده‌اند. شیخ طوسی به عموم همین احادیث تمسک کرده است و صاحب شرایع نیز این حکم را بین جامعه اسلامی و جامعه شرک، مشترک می‌داند و امام خمینی نیز بر همین اساس فتوا داده است (طوسی، ۱۳۶۵ الف).

مبانی فقهی مرتبط با مالکیت آب

پیش از پرداختن به قواعد فقهی مربوط به مالکیت آب، مناسب است که تصویر فقهی آب مرور شود تا بهتر بتوان متوجه چیستی ماهیت فقهی آب شد؟ مبانی فقهی مالکیت آب چیست؟ از منظر فقهی چه انواعی دارد؟ حقابه چگونه ایجاد می‌شود؟ و احکام مربوط به آن چیست؟

ماهیت فقهی آب

- بر اساس مبانی اعتقادی و فقهی و حقوقی، سه دیدگاه درباره ماهیت فقهی آب دریاها و رودخانه‌ها و ... وجود دارد:
۱. جزء انفال است (کلینی، مفید، حلی، سیستانی و...).
 ۲. جزء مشترکات عامه و اموال عمومی است (شهید اول، امام خمینی و...).
 ۳. جزء مباحات عامه است (ابن براج، ابن ادریس و...).

انفال چیزهایی هستند که مالکیت آن‌ها از گذشته تا به امروز در اختیار پیامبر (ص) و سپس جانشینان بر حق ایشان است. عده‌ای مالکیت انفال را منحصر در اختیار ائمه معصوم می‌دانند و عده‌ای اختیار آن را در زمان غیبت به دست ولی فقیه و مراجع تقلید و حاکمان شرعی تعمیم می‌دهند مانند: دریاها، کوه‌ها و...

مشترکات عامه اموالی هستند که امکان مالکیت خصوصی ندارند و صرفاً اجازه بهره‌برداری از آن‌ها وجود دارد و متعلق به عموم مردم یا عموم مسلمین هستند و همگان در بهره‌برداری از آن‌ها حق یکسانی دارند مانند: راه‌ها، پل‌ها، مساجد و... **مباحات عامه** ثروت‌های طبیعی هستند که مالک خاصی ندارند و عموم مسلمین یا عموم مردم در حق بهره‌برداری یا حيازت و تمليك شرعی از آن‌ها مساوی‌اند. مانند مراتع، جنگل‌ها و... تفاوت مهم انفال با مباحات و مشترکات عمومی آن است که در انفال، برخلاف مباحات و مشترکات، اصل بر جایز نبودن تصرف افراد است، مگر آن‌که اجازه عام یا خاص از سوی امام یا نمایندگان ایشان داده شود.

اصل ۴۵ قانون اساسی، آب رودخانه‌ها را جزء انفال شمرده است: «انفال و ثروت‌های عمومی از قبیل زمین‌های موات

یا رها شده، معادن، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر آب‌های عمومی، کوه‌ها، دره‌ها، جنگل‌ها، نزارها، بیشه‌های طبیعی، مراتعی که حریم نیست، ارث بدون وارث، و اموال مجهول‌المالک و اموال عمومی که از غاصبین مسترد می‌شود، در اختیار حکومت اسلامی است تا بر طبق مصالح عامه نسبت به آن‌ها عمل نماید، تفصیل و ترتیب استفاده از هر یک را قانون معین می‌کند.»

اما فقها در این باره نظرات متفاوتی دارند. برخی آب رودخانه‌ها را جزء انفال و به عبارت دیگر، جزء دارایی‌های امام معصوم دانسته‌اند و برخی دیگر، آن را جزء مشترکات عامه قلمداد کرده‌اند که همه مردم در استفاده از آن به طور مساوی، شریک هستند و حق دارند که با رعایت مقررات، از آن‌ها بهره‌برداری نمایند.

مستند دسته اول، پاره ای از روایات است که مضمون آن انفال دانستن آب می‌باشد. هر چند در مجامع حدیثی، کمتر ذکری از آبهای عمومی به عنوان انفال به میان آمده است، اما برخی احادیث به این موضوع اشاره دارد. مثلاً از امام صادق (ع) روایت شده که پنج رود فرات، دجله، نیل، مصر، مهران و نهر بلخ و هر چیزی که به وسیله آن‌ها مشروب می‌شود از آن امام می‌باشد (عاملی، ۱۳۷۰، الف). برخی روایات نیز کل زمین را متعلق به امام می‌دانند. شاید از این جهت است که در بعضی از کتب فقهی به انفال بودن آبهای عمومی فتوا داده شده است و مثلاً شیخ مفید و ابوالصلاح دریاها را از مصادیق انفال و متعلق به امام شمرده‌اند.

اما اکثر فقیهان آب را جزء مشترکات می‌دانند. به عنوان مثال شهید اول آب‌های مباح را در کنار مساجد، مدارس، کاروان سراها، معادن و راه‌ها، جزء مشترکات دانسته است. علامه حلی نیز آب را جزء مشترکات بر شمرده است. صاحب جواهر آب را با استناد به دو حدیث با مضمون مشارکت مردم در آب و آتش و مراتع از پیامبر (ص) و امام کاظم (ع) جزء مشترکات دانسته است. امام خمینی نیز در تحریرالوسیله آب را جزء مشترکات می‌داند و در توضیح آن، منظور از آب را آب رودها و نهرهای بزرگ همچون دجله، فرات و نیل و نیز رودهای کوچکی که از چشمه‌ها، سیل‌ها و برف‌ها سرچشمه گرفته‌اند و همچنین چشمه‌هایی که از دل کوه‌ها و زمین‌های موات جوشیده‌اند و نهایتاً آب باران می‌داند که تمامی مردم در استفاده از آن‌ها برابر دانسته شده‌اند.

جزء مباحات دانستن آب‌های عمومی به ویژه در آب‌های سطحی که موضوع حقابه‌های حقابه‌داران است، نتایجی در بر دارد که بار دولت اسلامی را سنگین می‌کند. مثلاً می‌تواند جبران خسارت کشاورزان در صورت تحدید حقابه‌ها توسط

دولت و نیز محدود کردن اختیارات دولت در تنظیم نحوه مصرف حقابه را در پی داشته باشد. در حالی که جزء انفال یا مشترکات عامه محسوب کردن آب‌های عمومی می‌تواند بسط ید بیشتری برای دولت در اصلاح الگوی مصرف و کنترل و بازنگری در شیوه‌های سنتی آبیاری را در پی داشته باشد. اختلاف فقهی - حقوقی در مباحات یا انفال یا مشترکات دانستن آب، زمینه‌ساز اختلاف نظر مجلس و شورای نگهبان در تصویب قانون توزیع عادلانه آب شد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

انواع آب از منظر فقه اسلامی

در فقه اسلامی برای تعیین مالکیت، آب‌ها را به اعتبارات مختلف تقسیم می‌کنند:

۱. در دسته‌بندی نخست، به اعتبار طبیعت، آب‌ها را به سه دسته کلی ۱. آب جاری ۲. آب چاه ۳. آب چشمه تقسیم می‌کنند. هر یک از آن‌ها نیز تقسیمات جزئی‌تری دارند. مثلاً آب جاری رودخانه‌ها به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱. آب رودخانه‌های بزرگ که بیش از نیاز مصرفی است و متعلق به عموم مردم است ۲. آب رودخانه‌های کوچک. این قسم اخیر نیز انواعی دارد:

الف) رودخانه‌هایی که آب آن‌ها بدون احداث سد می‌توان برای آبیاری در اراضی ساحلی استفاده کرد و یا از آن نهری برای آبیاری زمین‌های مجاور ساحل جدا کرد. به شرط اینکه عمل مذکور لطمه‌ای به وضع زمین‌های مجاور ساحل رودخانه وارد نیابد. رودخانه‌هایی که بدون احداث بند نمی‌توان از آن‌ها بهره‌برداری کرد و بایستی بر روی آن‌ها بند بست که در این صورت زمین‌های بالاتر از سطح رودخانه نسبت به زمین‌های پایین‌تر از سطح رودخانه، حق تقدم دارند.

ج) نه‌رهایی که در زمین موات و بدون صاحب حفر می‌شود و متعلق به کسانی است که آن‌ها را حفر می‌کنند.

۲. در دسته‌بندی دوم که از سوی شیخ طوسی مطرح شده است، آب‌ها به اعتبار مالکیت به سه دسته تقسیم می‌شوند: الف) آب مباح: آب دریا و نه‌رهای بزرگ مثل دجله، فرات و همچنین چشمه‌هایی که در زمین‌های موات جوشیده‌اند و هرکس می‌تواند از آن‌ها استفاده کند. علت این حکم نیز این روایت ابن عباس از پیامبر (ص) است که فرموده‌اند: «مردم در سه چیز شریک‌اند: آتش، آب و چراگاه» (محمدری شهری، ۱۳۸۶). بنا به نظر شیخ طوسی که از سوی فقهای همانند محقق حلی نیز تأیید شده است، اگر به دلیل زیاد شدن، این گونه آب‌ها به زمین کسی وارد و در آن جمع شوند، اشخاص

مالک آن آب نمی‌شوند، چنانکه مالک آب باران یا برفی که در ملک شان جمع می‌شود نیز نیستند و صرفاً حق تقدم برای استفاده از آن دارند.

ب) آب مملوک: آبی است که از طریق جمع کردن آن آب‌ها در منبع، برکه، چاه و امثال آن، حیات شده است. فقها اجماع را دلیل مالکیت چنین آبی از سوی شخص حیات‌کننده دانسته‌اند. در نتیجه در صورتی که کسی این‌گونه آب را از مالکش غصب کند، باید عین آن را در صورتی که باقی باشد رد کند و اگر تلف شده باشد، غاصب ضامن مثل آن است.

ج) آب مختلف فیه: آبی است که در مملوک بودن یا نبودن آن اختلاف است؛ همانند آبی که در ملک اشخاص یا چاه یا چشمه آنان جوشیده باشد که در ملکیت آن اختلاف است. البته شیخ طوسی این گروه از آب‌ها را جزء آب‌های مملوک به شمار می‌آورد، چراکه به نظر وی این آب‌ها در حکم نماء ملک شخص هستند و دلیلی مبنی بر مباح بودن استفاده از آن برای دیگران وجود ندارد.

۳. در تقسیم بندی سوم آب‌ها که از سوی علامه حلی عنوان شده است، آب‌ها به ۷ دسته تقسیم می‌شوند:

الف) آب محرز که از سوی شخص در ظرف، حوض و... جمع شده و به ملکیت او درآمده است؛

ب) آب چاهی که در ملک شخص یا زمین مباحی به قصد تملک حفر شده و شخص حفرکننده مالک آن شده است؛

ج) آب چشمه‌ها و باران و آب چاهی که بدون قصد تملک در زمین مباحی حفر شده است که اختصاص به شخص خاصی ندارد و مردم در آن شریک‌اند؛

د) آب رودهای بزرگ همانند دجله و فرات که مردم در آن‌ها شریک‌اند که در این قسم هر قدر که آب‌ها حیات شوند به ملکیت شخص حیات‌کننده درمی‌آیند؛

ه) آب رودخانه‌های کوچک که در ملکیت کسی نیستند و شخصی که در وصول به آن‌ها مقدم بر دیگران باشد، دارای حق تقدم در استفاده از آن‌هاست؛

و) آب جاری در رودخانه مملوکی که از آب مباحی سرچشمه می‌گیرد؛ یعنی شخص رودخانه‌ای را حفر کند و آن را به رودخانه بزرگ مباحی متصل نماید و مالک آب جاری در رودخانه شود؛

ز) آب جاری در رودخانه مملوکی که از آب مملوکی سرچشمه گیرد.

حقابه و مبنای حق بهره‌برداری از آب

حقابه یا حق آب، به حقوق فرد یا گروهی برای استفاده از منابع آب اطلاق می‌گردد. فقیهان در ضمن برخی از ابواب فقه مانند

از آب» به معنای اعطای بدون عوضِ حقابه خود به دیگران برای شرب، آبیاری مزارع یا مصارف دیگر است. شرایط تبرع آب در فقه اسلامی به شرح زیر است:

۱. مالکیت مشروع: فرد واگذارکننده باید مالکیت شرعی بر آب یا حقابه داشته باشد.
۲. اجازه حاکم شرع: تبرّع آبی که از انفال یا مشترکات عامه (مثل رودخانه‌ها) است، بدون اجازه حاکم شرع جایز نیست.
۳. عدم تضییع حقوق دیگران: واگذاری حقابه نباید به حقوق دیگران (مانند کشاورزان پایین دست) آسیب بزند.
۴. رضایت طرفین: در مواردی که حقابه به صورت مشاع (مشترک) است، رضایت همه شرکا ضروری است.
۵. عدم اضرار: اگر واگذاری حقابه به دیگری موجب خشک شدن زمین‌های همسایه شود، این تبرع غیرمجاز است.

قواعد فقهی عمومی (ناظر به استفاده از آب)

قواعد فقهی عمومی، مجموعه‌ای از اصول کلی، فراگیر و بنیادین در فقه اسلامی هستند که در اکثر ابواب فقهی کاربرد دارند و فقیه با استناد به آن‌ها می‌تواند حکم شرعی بسیاری از مسائل جزئی و مستحدثه را استنباط کند. این قواعد از نصوص شرعی و دلالت‌های عقلی استخراج شده‌اند و به‌ویژه در مواردی که نص خاصی (آیات و روایات) درباره مسأله‌ای وجود ندارد، به کار می‌آیند. این قواعد به نوعی روح حاکم بر فقه محسوب می‌شوند و در فروع گوناگون فقه اعم از عبادات، معاملات، سیاست، قضا، حقوق عمومی و خصوصی کاربرد دارند.

مهم‌ترین قواعد عمومی در فقه اسلامی عبارتند از: قاعده لاضرر، قاعده مصالح عامه، قاعده عدل و انصاف، قاعده تسلیط، قاعده نفی سبیل، قاعده اضطرار و... در این مجال، مهم‌ترین قواعد عمومی را که به کار تحلیل فقهی پژوهش حاضر می‌آید، مختصراً توضیح می‌دهیم.

قاعده «لاضرر ولاضرار»

این قاعده بر اساس روایت نبوی «لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ فِي الْإِسْلَامِ» بنا شده است. طبق آن، هرگونه ضرر رساندن به خود یا دیگری حرام است و هر حکمی که موجب ضرر غیرمترعارف به شخص یا جامعه شود، معتبر نیست. فقیهان از این قاعده برای نفی احکامی که موجب ظلم یا زیان شدید می‌شود، استفاده می‌کنند. در دعاوی حقوقی، به‌ویژه در امور آبی، این قاعده کاربرد بسیاری دارد؛ مثلاً اگر تقسیم آب به شیوه‌ای باشد که موجب ضرر شدید به یکی از طرفین شود، می‌توان بر اساس این قاعده حکم به اصلاح و تغییر آن داد. همچنین بر اساس

تجارت، اجاره و احیاء موات از حقابه سخن گفته‌اند. به‌طور کلی حق آب یا حقابه عبارت است از سهم مشروع و مقرر روستا، مزرعه، باغ، خانه از آب رود، چشمه، قنات، آب‌های زیرزمینی یا چاه در ساعات و به اندازه معلوم.

باید توجه داشت که حقابه (سهیمیه بهره‌برداری از آب) با مالکیت آب متفاوت است. به عبارت دیگر، حقابه یک نوع حق انتفاع است، نه مالکیت مطلق آب.

سیر تاریخی تغییر تعریف حقابه در ایران نیز در جای خود شایان توجه است. بنا بر ماده ۳ قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷، حقابه عبارت است از «حق مصرف آبی که در دفاتر جزء جمع یا اسناد مالکیت یا حکم دادگاه یا مدارک قانونی دیگر قبل از تصویب این قانون به نفع مالک آن تعیین شده باشد». (مجلس شورای ملی، ۱۳۴۷)

بعد از انقلاب و در تبصره ۱ ماده ۱۸ قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱، با تغییر اندک و حذف کلمه «ملک» آمده که حقابه عبارت است از «حق مصرف آبی که در دفاتر جزء جمع قدیم یا اسناد مالکیت یا حکم دادگاه یا مدارک قانونی دیگر قبل از تصویب این قانون برای ملک یا مالک آن تعیین شده باشد». (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۶۱).

در تعریفی دیگر در ماده ۴۲ آیین‌نامه ثبت در تعریف حقابه آمده است: «حقی که یک ملک واقع در ده یا مزرعه بزرگ از آب رودخانه یا چشمه یا قنات واقع در آن محل بر حسب قرارداد قبلی یا عرف و عادت و سنت دارا باشد.» و افزوده: «حقابه از توابع ملک آن ملک است.»

درک «حق آب» در ابتدا مستلزم توجه به زمینه و منشأ «حق» مورد بحث یا ادعا شده می‌باشد. از گذشته و به‌طور سنتی حق آب به بهره‌برداری و استفاده از آب به عنوان یک مؤلفه حیاتی در تأمین نیازهای بنیادی انسان مثل آشامیدن و آبیاری اشاره دارد. همچنین حق آب می‌تواند شامل تصرف فیزیکی مسیرهای آبی به منظور حمل و نقل، تجارت و حتی اهداف (اماکن) تفریحی باشد. اغلب، حق آب مبتنی بر مالکیت زمین‌هایی است که آب در آن باقی می‌ماند یا جریان دارد. در اغلب نظام‌های حقوقی هرگونه حقی که نسبت به آب سطحی و جاری ادعا می‌شود، باید مبتنی بر حق دائم و غیرمنقول بر زمینی باشد که در زیر آن قرار گرفته است.

تبرّع در استفاده از حقابه

پرداختن به این مسأله از آنجایی مهم است که برخی منازعات آبی، اهالی بالادست، اعطای آب به پایین دست را از باب تبرّع و نه حقابه می‌دانند. در فقه اسلامی، مسأله «تبرع در استفاده

این قاعده، فقیه می‌تواند مانع از محدودسازی غیر متعارف یا آلوده‌سازی فیزیکی یا شیمیایی یا میکروبی آب بالادست، در صورت زیان اراضی پایین دست شود.

قاعده «عدل و انصاف»

این قاعده بر پایه آیه شریفه «إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُ بِالْعَدْلِ وَالْإِحْسَانِ» (نحل: ۹۰) و روایات متعدد ناظر به این مضمون شکل گرفته است. هرگونه قول و فعل مکلف و نیز شهادت و داوری باید مطابق با عدالت باشد. فقیه در غیاب نصّ خاص، می‌تواند با تکیه بر مفهوم عدل و انصاف، رأی صادر کند و مانع از ظلم شود. در مسائل اجتماعی و دعاوی حقوقی، مانند تقسیم آب، این اصل بسیار راهگشاست. به عنوان مثال بر طبق آن می‌توان از حقوق خرده مالکان در برابر تخصیص منابع به مالکان بزرگ، دفاع نمود.

قاعده «مصلح عامه»

بر اساس این اصل، در مواردی که نص صریح وجود ندارد، اگر اجرای حکمی به مصلحت عمومی جامعه منجر شود، می‌توان آن را معتبر دانست. بر این اساس، مصالح عمومی گاهی بر منافع فردی اولویت دارد. این قاعده به‌ویژه در اداره امور عمومی و حکمرانی اسلامی مورد استفاده قرار گرفته است. در اختلافات مربوط به منابع طبیعی مانند آب، اگر حفظ نظم عمومی و رفاه جمعی ایجاب کند که حقی محدود شود، فقیه می‌تواند به استناد این قاعده عمل کند.

قاعده «تسلیط»

این قاعده برگرفته از روایت نبوی «الناس مسلطون علی اموالهم» (طوسی، ۱۳۶۵ ب) و به این معناست که هر صاحب حقی می‌تواند از حق خود به هر نحوی که بخواهد استفاده کند. تسلیط یک قاعده مسلم فقهی است که بر اساس آن اگر کسی بر مالی از مسیر شرعی و قانونی سلطه یافت، کسی نمی‌تواند او را از انتفاع از آن مال بازدارد.

قاعده تسلیط تثبیت‌کننده ارکان مالکیت است و به علت جایگاه خاص اموال و مالکیت در زندگی روزمره بشر، اهمیت و برجستگی خاصی در بین سایر موضوعات دارد. مالکیت مهم‌ترین حقی است که در ارتباط انسان با اشیاء و اموال متصور بوده و بیشترین آثار قانونی هم دارد. مالکیت امتیازی است که اشخاص نسبت به اشیاء و اموال دارند و مالکین به استناد همین حق و امتیاز خود را مستحق هر گونه دخل و تصرف در اموال و مایملک خود می‌دانند و قانون هم این حق را برای آن‌ها به رسمیت می‌شناسد.

اهمیت اموال و مالکیت در مکاتب الهی و حتی نظام‌های غیر الهی یک اصل اساسی و مسلم برای تنظیم روابط اجتماعی و اقتصادی افراد جامعه است؛ به طوری که به موجب حدیث نبوی «حرمة مال المسلم كحرمة دمه»، مال مسلمان مانند خونش محترم شمرده شده است. همچنین بر پایه حدیث «لا یحل لامرء مال اخیه الا عن طیب نفسه» (کلینی، ۱۳۶۵ ب)، تصرف در مال غیر جز از طریق جلب رضایت مالک، ممنوع شده است.

قاعده «حیازت»

حیازت از اسباب مالکیت در فقه اسلامی است. به این معنا که هر کس چیزی از اشیاء مباح را حیازت کند، مالک آن می‌شود. هر چند فقیهان آیات و روایاتی را برای اثبات این قاعده بیان کرده‌اند اما خاطر نشان نموده‌اند که تملک اموال مباح (مباحات عامه) از طریق حیازت از امور عقلایی است و شرع مقدس آن را امضا کرده و از تأسیسات شرعی محسوب نمی‌شود. امام خمینی در این باره می‌نویسد: «حیازت سیره مسلم از آغاز تمدن بشری این بوده که ملکیت از طریق احیا و حیازت صورت می‌گیرد و هیچ یک از انبیا و اولیا و مؤمنان آن را انکار نکرده‌اند.» هر چند اغلب فقها مانند امام خمینی و آیت الله سیستانی حیازت را از اسباب مالکیت می‌دانند، اما برخی نظیر آیت الله فیاض، حیازت را صرفاً موجب اثبات حق اولویت در بهره‌برداری (و نه مالکیت) قلمداد می‌کنند.

آنچه مهم است اینکه آگاهی از وجود چیزی یا رؤیت آن، سبب مالکیت نمی‌شود، بلکه وضع ید و تسلط و احیا و حیازت است که موجب مالکیت می‌گردد. از این روست که امام صادق (ع) می‌فرماید: «للعین ما رأَتْ و للید ما اخذت: برای چشم حظ دیدن است و برای دست، آنچه گرفته است» (عاملی، ۱۳۷۰ ب).

قواعد فقهی اختصاصی (ناظر به استفاده از آب)

بحث مالکیت آب‌ها از جمله مباحثی است که دانش فقه اسلامی به آن پرداخته و جمع کثیری از فقها و اندیشمندان اسلامی در خصوص آن اظهار نظر نموده‌اند. این بحث عموماً ذیل باب احیاء اراضی موات (آبادانی زمین‌های مرده) در کتب فقهی مطرح گردیده است. در ادامه به مهم‌ترین قواعد فقهی اختصاصی ناظر به استفاده از آب‌ها که در پژوهش حاضر به آن‌ها استناد می‌شود، اشاره می‌نماییم.

قاعده «اسبقیّت»

قاعده فقهی اسبقیّت به معنای اولویت ناشی از پیشی گرفتن در استفاده از حق می‌باشد، و از آن در باب صلات و احیای

گرفته می‌شود. این دو معیار نسبت به هم تقدّم رتبی دارند، یعنی با وجود معیار اول، نوبت به معیار دوم نمی‌رسد:

۱. اسبقیت زمانی: حق کسانی که تقدّم زمانی در استفاده از آب مشترک دارند، مقدم بر حق دیگران است.
۲. اسبقیت مکانی: اگر کسی بر دیگران تقدّم زمانی نداشته باشد، حق کسانی که نزدیک‌تر به نهر هستند، مقدم است.

بر همین اساس، شیخ طوسی و علامه حلی فتوا دادند که اگر کسی زمین موتی را که به دهانه نهر نزدیک‌تر است با تأخیر احیا کند، حق او بر کسانی که پیش از این در پایین‌دست از نهر استفاده می‌کرده‌اند، مقدّم نیست. البته محقق حلی در این فتوا تردید کرده است.

به این ترتیب، به صورت کلی در فقه اسلامی گفته می‌شود: الاسبق فالاسبق، الاعلی فالاعلی، الاقرب فالاقرب. یعنی که اولویت استفاده از آب به ترتیب از آن کسانی است که:

۱. در استفاده از آب رودخانه برای احیای زمین، تقدّم زمانی داشته‌اند.
۲. در بخش بالادست رودخانه قرار دارند.
۳. فاصله‌شان از رودخانه کمتر است.

از همین روست که امام خمینی در تحریر الوسیله می‌نویسد: «اگر املاکی بر آب مباح از چشمه یا رودخانه یا نهر و مانند آن اجتماع کنند به این که اشخاصی آن املاک را بر آن احیا کنند تا آن‌ها را به وسیله جوی‌ها یا دلوها یا چرخ‌های آب‌کشی یا موتورهای که در این زمان متداول است از آن آب بدهند، همه آن‌ها حق آب گرفتن از آن را دارند. پس هیچ کس حق ندارد که بالاتر از آن املاک، نهری باز کند و همه آب را بگیرد یا آن را از مقدار احتیاج آن املاک کم نماید. در این صورت اگر بدون آنکه مزاحمتی در کار باشد، آب برای آبیاری همه وافی بود که وافی است، و اگر وافی نباشد و بین صاحبان آن در تقدّم و تأخر مشاجره و سخت‌گیری پیدا شود، الاسبق فالاسبق در احیا مقدم می‌شود در صورتی که سابقی معلوم باشد. وگرنه الاعلی فالاعلی و الاقرب فالاقرب تا دهانه و اصل آب مقدم می‌شود (خمینی، ۱۳۸۷).

قاعده «احیاء»

قاعده احیاء در فقه به این معناست هر کس زمین بایری را آباد کند، مالک آن می‌شود و دیگری جز با اذن و رضایت او نمی‌تواند در آن تصرف نماید. احیای و آبادانی زمین‌های بایر پیوند ناگسستنی با مسأله آب دارد. از این رو، فهم درست یا نادرست از این قاعده، می‌تواند تأثیر به‌سزایی در تقسیم منابع آبی داشته باشد. قاعده احیاء مستند به احادیثی است نظیر: «من احیی ارضا

موات و... سخن گفته‌اند. بر اساس این قاعده، کسی که در استفاده از وسایل یا مکانی عمومی بر دیگران پیشی گیرد، نسبت به آن حق اولویت پیدا می‌کند. توجه به این قاعده درباره حقایقه بسیار حائز اهمیت است و از این منظر می‌توان زمین‌ها و آب‌ها را به انواع زیر تقسیم کرد:

۱. اسبقیت صاحبان اراضی در استفاده از آب، از گذشته ثابت و معلوم است.
۲. اسبقیت صاحبان اراضی در استفاده از آب، از گذشته ثابت و معلوم نیست.

در مورد اول، اگر آب نهر مباح به اندازه‌ای نباشد که بتوان تمام اراضی اطراف آن را مشروب نمود، باید بر اساس همان قراردادی که بین مالکان زمین‌ها از گذشته منعقد شده است، عمل گردد. چنانچه بین آنان، قراردادی وجود نداشته باشد اما تاریخ احیای زمین‌ها معلوم باشد، کسی که تاریخ احیای زمین او، مقدم بر سایرین است، در استفاده از آب نیز مقدم خواهد بود و اگر تاریخ احیای اراضی مجاور نهر، مختلف نبوده یا دلیلی بر اثبات تقدّم موجود نباشد، حق تقدّم با کسی است که زمین او، به آب نزدیک‌تر است.

در این باره ماده ۱۵۸ قانون مدنی می‌گوید: «هر گاه تاریخ احیای اراضی اطراف رودخانه مختلف باشد زمینی که احیای آن مقدم بوده‌است در آب نیز مقدم می‌شود بر زمین متأخر در احیا، اگر چه پایین‌تر از آن باشد.» همچنین در ماده ۱۵۹ قانون مدنی آمده است: «هر گاه کسی بخواهد جدیداً زمینی در اطراف رودخانه احیا کند اگر آب رودخانه زیاد باشد و برای صاحبان اراضی سابقه تضییقی نباشد، می‌تواند از آب رودخانه، زمین جدید را مشروب کند و الاّ حق بردن آب ندارد، اگر چه زمین او بالاتر از سایر اراضی باشد.»

در مورد دوم، وقتی تقدّم و تأخر صاحبان اراضی در استفاده از آب در گذشته معلوم نباشد، طبق ماده ۱۵۶ قانون مدنی کسی که به منبع آب نزدیک‌تر است حق تقدّم در استفاده از آب را خواهد داشت. ماده ۱۵۶ قانون مدنی در این باره می‌گوید: «هر گاه آب نهر کافی نباشد که تمام اراضی اطراف آن مشروب شود و مابین صاحبان اراضی در تقدّم و تأخر اختلاف شود هیچ‌یک نتواند حق تقدّم را ثابت کند، با رعایت ترتیب، هر زمینی که به منبع آب نزدیک‌تر است به قدر حاجت، حق تقدّم بر زمین پایین‌تر خواهد داشت.»

به این ترتیب، برای نهرهای بزرگ که آب آن برای همه اراضی کفایت می‌کند حقایقه ضرورتی ندارد، اما در مورد نهرهای کوچک که برای آبیاری همه اراضی کافی نیست و ملک شخصی کسی هم نمی‌باشد، به نظر فقها، دو معیار برای اسبقیت در نظر

مواتا فهو (هی) له: هر کس زمین مرده‌ای را آباد کند، مال او خواهد بود.» و نیز: «من غرس شجره او حفر وادیا بدیا لم یسبقه الیه احد او احیی ارضا میتة فهی له، قضاء من الله و رسوله: هر کس درختی بکارد در جایی که کسی بر وی در آن مکان پیشی نگرفته یا زمین مرده‌ای را آباد کند، مال او خواهد بود. این حکم خدا و رسول او است.» و نیز: «ایما قوم احیوا شیئا من الارض و عمروها فهم احق بها و هی لهم: هر قومی قطعه‌ای از زمین را آباد کنند، مال آنان خواهد بود.

زمین بایر یا اراضی موات نیز به زمین‌های غیرآبادی گفته می‌شود که دارای سه عنصر «مجهول بودن سابقه مالکیت خصوصی»، «عدم مشغولیت به زراعت و مستحدثات (ساختمان) در حال حاضر» و «عدم داشتن مالک در حال حاضر» باشد. در فقه و قانون اراضی موات از مباحات شمرده شده و شخص با حیازت آن مالک زمین می‌شود.

احیاء اراضی موات در قانون به عنوان یکی از اسباب مملک شمرده شده است. ماده ۱۴۱ در قانون مدنی منظور از احیاء این زمین‌ها را این گونه بیان کرده است: «مراد از احیای زمین آن است که اراضی موات و مباحه را به وسیله عملیاتی که در عرف آباد کردن محسوب است از قبیل زراعت، درخت‌کاری، بنا ساختن و غیره قابل استفاده نمایند.»

در طول تاریخ بین بهره‌برداری از آب و احیای زمین و مالکیت زمین پیوند و ارتباط ناگسستنی وجود داشته است. از نظر فقه‌های اسلامی، زمین کشاورزی احیا شده که به اتفاق آن‌ها مالکیت را به همراه داشته است بدون ملحقات آن که از قبیل آب و راه باشد، معنا نداشته است، چون با مالکیت و ارزش مالی آن در تعارض است و بدون آن، مالکیتش بی‌معنا بوده است.

محقق حلی معتقد است اصولاً تحقق احیا و آبادی زمین زراعی به دنبال جاری ساختن آب بر آن زمین معنا پیدا می‌کند. ابن براج که به جزئیات مسئله احیا توجه ویژه داشته است، می‌نویسد: «کسی که زمینی را آباد ساخته است و مالک آن شده است به همراه زمین مالک توابع آن نیز که راه و آب آن است و آبادانی بدون آن آبادانی نیست هم می‌شود و حتی می‌تواند آن را جداگانه اجاره دهد یا بفروشد.» روایت صحیح السند شیخ صدوق در همین ارتباط است که از امام صادق (ع) می‌پرسند: «آیا آنکه زمینی را آباد کرده و در آن زمین نهر کشیده، اتاق ساخته و نخل و درخت کاشته است، مالک همه آن‌ها می‌شود؟» امام می‌فرماید: «بلی، همه را مالک است و اتاق را هم می‌تواند اجاره دهد.» (صدوق، ۱۳۷۱).

با توجه به ادله شرعی فوق، همان گونه که سلب مالکیت زمین از صاحب آن ممکن نیست، سلب مالکیت حقوق الحاقی زمین

مثل آب و راه هم از احیاکننده جایز نیست. شیخ طوسی سلب مالکیت و یا استفاده از اموال دیگری را برای حاکم غیر معصوم جایز نمی‌داند و معتقد است احتمال دخالت هوای نفس در تصمیمات غیر معصوم وجود دارد، در روایتی صحیح از امام باقر (ع) آمده است که می‌فرمایند: «در کتاب علی (ع) دیدم، زمانی که قائم ما ظهور می‌کند مالکیت و حقوق زمین‌های آباد شده شیعیان توسط او هم محترم شمرده می‌شود.» (کلینی، ۱۳۶۵ الف). بنابراین کسی که برای آبادی زمین‌اش از آب چاه، قنات یا آب رودخانه استفاده کرده است، «حق آب» یا به اصطلاح «حقابه» یافته و نسبت به آب و راه آن زمین، امتیاز ویژه پیدا کرده است.

مبانی فقهی مالکیت آب

دیدگاه فقها درباره مالکیت آب و حل اختلافات آبی

بحث مالکیت آب‌ها عموماً ذیل باب احیاء اراضی موات در کتب فقهی مطرح گردیده است. با تتبع در آثار موجود در این حوزه درمی‌یابیم که از نظر اکثریت قریب به اتفاق فقها، آب جزء «مشترکات» است. به عنوان مثال شهید اول آب‌های مباح را در کنار مساجد، مدارس، کاروان سراها، معادن و راه‌ها جزء مشترکات دانسته است. علامه حلی نیز آب را جزء مشترکات برشمرده است. صاحب جواهر آب را با استناد به دو حدیث با مضمون مشارکت مردم در آب و آتش و مراتع از پیامبر (ص) و امام کاظم (ع) جزء مشترکات و از طریق حیازت، قابل تملک برشمرده و جمیع احکام ملک را بر آن مجرا دانسته است. امام خمینی نیز در تحریر الوسیله، آب را جزء مشترکات بر شمرده است و سپس در بیان مراد از آب، رودها و نهرهای بزرگ همچون دجله، فرات و نیل، رودهای کوچکی که از چشمه‌ها، سیل‌ها و برف‌ها سرچشمه گرفته‌اند و همچنین چشمه‌هایی که از دل کوه‌ها و زمین‌های موات جوشیده و نهایتاً آب باران را از زمره آن شمرده‌اند و مردم را در استفاده از آن‌ها برابر دانسته‌اند، مگر اینکه کسی مقداری از آن‌ها را حیازت نماید و مالک آن شود.

در موارد اختلاف بر سر بهره‌برداری از آب نیز بنا بر نظر فقها، به دلیل عدم تنصیص شرعی، قاضی یا حاکم شرع بر اساس عرف، داوری می‌کند. چنان که محقق حلی می‌گوید: «و المرجع فیه إلى العرف لعدم التنصيص شرعاً».

صاحب جواهر معتقد است که اطلاق ادله حاکی از آن است که هر چه متعلق به زمین آباد است نظیر آب و راه، حتی اگر جزئی از آن زمین نباشد، در صورتی که حریم آن محسوب شود و آبادانی آن زمین به آن مربوط باشد و تاکنون در اختیار صاحب زمین بوده، متعلق به خود اوست و دیگری حق استفاده

از آن را ندارد. پس قاعده ید، در مورد آنچه عرفاً متعلق به زمین است بر آب مورد استفاده نیز جاری است.

صاحب جواهر با نقل عبارت جالبی از کتاب تذکره علامه حلی، ادعای اجماع کرده است که هیچ کس نمی‌تواند با استفاده از آب دیگری، مالک آب و زمینی شود. او از قول علامه می‌نویسد: «در این موضوع هیچ اختلافی بین علمای شهرها ندیدم که هرآنچه متعلق به مصالح زمین‌های آباد است مثل راه، آب، مسیل آب آبادی ... و مصالح روستا مثل قنات‌ها و مراتع حیوانات و محل عبور آب آن، که در تصرف برای احیاء توسط شخص باشد، شخص دیگر با احیا و استفاده از آن‌ها مالک نمی‌شود، چون در این صورت ملکیت آبادی دیگران را بر صاحبانش باطل کرده است.» سپس می‌افزاید: «با این حکم هیچ عالمی مخالفت نکرده است.»

ایشان پس از ادعای اجماع، در این باره می‌نویسد: «زمینی که آباد شود و ملحقات آن، مثل آب و راه، ملکیت می‌آورد و این ملکیت به ورثه نیز منتقل می‌شود. سید کاظم یزدی صاحب عروه نیز در حاشیه جامع عباسی می‌نویسد: «کسی که در بالا دست رودخانه است به شرطی می‌تواند از آب رودخانه استفاده کند که در احیا از نظر تاریخی بر پایین‌دست رودخانه مقدم باشد، در غیر این صورت آن که پایین‌دست رودخانه است و زودتر احیا کرده است در استفاده از آب حق تقدم دارد.»

جایگاه فقهی حکومت اسلامی در حقوق آب

به فتوای کسانی که آب‌های عمومی و رودخانه‌ها را جزء انفال می‌دانند، امام معصوم صاحب اصلی آن‌هاست. به نظر برخی از این افراد، در زمان غیبت، حاکم شرع به نیابت از امام معصوم، مسئول اداره انفال است. برخی از این افراد، ولی فقیه را حاکم شرع می‌دانند و به واسطه تنفیذ حکم ریاست جمهوری از سوی ولی فقیه و انتصاب فقه‌های شورای نگهبان از سوی ایشان و اشراف ایشان به انطباق مصوبات مجلس با قوانین شرع، مجلس شورای اسلامی را متولی وضع قوانین و دولت اسلامی را به طور غیر مستقیم، متولی اداره انفال و صاحب اختیارات امام معصوم برای اجرای مقرراتی برای استفاده از انفال و از جمله آب‌ها در جهت مصالح جامعه اسلامی می‌دانند. به این ترتیب، حکومت (اعم از دولت) اسلامی نقش و جایگاه فقهی در توزیع آب می‌یابد. جای این سؤال است که آیا حکومت اسلامی می‌تواند مالکیت خصوصی آب را لغو نماید یا آن را تغییر دهد؟ به نظر اکثر فقه‌ها، در مواردی که مالکیت خصوصی برای آب ثابت است، دولت می‌تواند بر پایه حکم حکومتی ولی فقیه و به مقتضای مصالح عمومی جامعه اسلامی، مقرراتی برای استفاده از منابع

مختلف آب وضع نماید و مالکیت خصوصی را تغییر دهد. برخی از فقه‌های معاصر بر اختیارات دولت در این زمینه و لزوم تبعیت مردم از این مقررات تصریح کرده‌اند. البته به نظر برخی از فقه‌ها نظیر شیخ طوسی، سلب مالکیت و یا استفاده از اموال غیر برای حاکم غیر معصوم جایز نیست، زیرا احتمال دخالت هوای نفس در تصمیمات غیر معصوم وجود دارد و در تحقق اراده او نیز ممکن است اشتباهات زیادی از سوی عوامل اجرایی او صورت گیرد.

علاوه بر فتاوای برخی فقیهان در صدق انفال بر همه یا برخی از آب‌های عمومی، فتاوای برخی از علما که مالکیت خصوصی را از برخی آب‌ها نفی کرده است، می‌توانند زمینه دخالت دولت در استفاده بهینه از آب‌های سطحی و غیر سطحی را فراهم کنند. مانند فتوای شهید صدر در عدم ملکیت آب چاه یا فتوای آیت‌الله فیاض درباره عدم ملکیت آب در زمین مفتوح العنوه و فتوای شیخ طوسی بر عدم ملکیت آب در نهر احداث شده در زمین موات و فتوای شیخ طوسی و ابن جنید بر وجوب بذل در اضافات آب چاه.

۲- تحلیل فقهی قوانین توزیع آب در ایران

پیش از انقلاب اسلامی

پیش از ایجاد نهاد دولت مدرن در ایران، هر فردی می‌توانست برای استحصال آب‌های مهارنشده سطحی و زیرزمینی با حفر قنات و چاه یا احداث کانال، سرمایه‌گذاری کند و مالک آب باشد. قواعد و ساز و کارهای عرفی نیز پشتوانه مالکیت افراد بر منابع آبی بود. همچنین احکام فقهی با قواعدی همچون حیات مباحات و جلوگیری از اخلاص در مالکیت، بر مالکیت خصوصی منابع آب و حفاظت از این حقوق، صحه می‌گذاشتند.

اولین قانون مدرن در ایران که قواعدی را در ارتباط با شیوه مالکیت و بهره‌برداری آب تعیین می‌کند، قانون مدنی سال ۱۳۰۷ است. این قانون با اقتباس از فقه امامیه و برداشت مستقیم از اجماع فقه‌ها، آب را جزء مباحات دانست و به اشخاص این اختیار را داد تا بر اساس ۴ قاعده حقوقی حیات مباحات، عقود و تعهدات، ارث و اخذ به شفعه، به مالکیت خصوصی بر منابع آب دست یابند.

به تدریج با ایجاد مسائل زیست‌محیطی ناشی از کمبود آب، لزوم ایجاد ساز و کارهای قانون‌گذاری رسمی برای حفاظت از منابع آب احساس شد و میزان دخالت و ورود دولت به مدیریت آب افزایش یافت. بر این منوال در سال ۱۳۴۷ با تصویب «قانون

آب و نحوه ملی شدن آن»، کلیه آب‌های جاری در رودخانه‌ها و انهار طبیعی و دره‌ها و جویبارها و هر مسیر طبیعی دیگر اعم از سطحی و زیرزمینی و همچنین سیلاب‌ها و فاضلاب‌ها و زه‌آب‌ها و دریاچه‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و چشمه‌سارها و آب‌های معدنی و منابع آب‌های زیرزمینی، ثروت ملی و متعلق به عموم مردم محسوب شد و مسئولیت حفظ و بهره‌برداری این ثروت ملی و احداث و اداره تأسیسات توسعه منابع آب به دولت و به طور خاص، وزارت آب و برق محول شد.

با تصویب این قانون و ملی شدن آب، مبنای بهره‌مندی از آن در یک چارچوب جدید با نظارت مستقیم دولت طرح‌ریزی شد و نحوه استفاده و انتفاع از آب دچار تغییر و تحول گشت. این امر علاوه بر آنکه مالکیت منابع آب را از حالت خصوصی خارج نمود، به علت ملی بودن آب، دولت را به عنوان نماینده جامعه، متکفل امر ساماندهی بهره‌برداری از آب‌های مختلف کشور ساخت.

حضور دولت برای نظارت بر بهره‌برداری از منابع آب به این ترتیب بود برای کسب اجازه مصرف و بهره‌برداری از آب، ارائه پروانه به حقاب‌داران مجاز گذشته و متقاضیان واجد شرایط، لازم شد. اجازه مصرف حقیقی است که به منظور استفاده مفید و معقول از آب با رعایت مقررات پیش‌بینی شده در این قانون از طریق صدور پروانه به اشخاص حقیقی یا حقوقی واگذار می‌شود. وزارت آب و برق یا سازمان‌ها و شرکت‌های تابعه پس از کسب اطلاعات و رسیدگی به درخواست مربوط به مصرف آب و صدور پروانه و اخذ تعهد لازم، پروانه مصرف آب را با رعایت حق تقدم، صادر می‌کند. کسانی که بر اساس اسناد حقوقی و رسمی، برداشت‌کننده آب بوده‌اند، حقاب‌دار دانسته می‌شوند و این قانون دولت را ملزم به اعطای پروانه به آن‌ها می‌کند. اما از آنجا که قید مصرف مفید برای تمامی مصارف آب در نظر گرفته می‌شود، پروانه صادره به میزان مصرفی بود که از نظر دولت مفید دانسته می‌شد. اجرای این بخش از قانون و صدور پروانه‌های مصرف مفید بر عهده هیئت‌های سه‌نفره‌ای است که وزارت آب و برق وظیفه تشکیل آن‌ها را در هر ناحیه یا منطقه داشته‌اند.

طبق «قانون آب و نحوه ملی شدن آن» (مصوب ۱۳۴۷)، دولت تعهدی برای پذیرش کامل حقوق آب گذشته و حفظ میزان آب‌دهی منبع آبی ندارد و میزان مصرف را با قید مصرف مفید، می‌پذیرد که ممکن است کمتر از حجم آب حیات شده گذشته باشد. در بخش‌هایی دیگر از این قانون، اجازه مصرف تحت عنوان میزان مصرف مفید تحت شرایط زمان و مکان (با توجه به احتیاجات مصرف‌کننده و احتیاجات عمومی و امکانات) طبق مقررات این قانون تعیین شده‌است و مصرف

مفید با تغییر روش‌های علمی و فنی قابل تجدید نظر است. وزارت آب و برق مکلف است با توجه به اطلاعاتی که وزارت کشاورزی در مورد مصرف آب هر یک از محصولات کشاورزی در اختیار وزارت آب و برق قرار می‌دهد تدریجاً میزان اجازه مصرف آب را در هر ناحیه با توجه به نوع محصول، نوع خاک، کیفیت اقلیمی تعیین و اعلام دارد.

پس از انقلاب اسلامی

پس از انقلاب اسلامی، در اصل ۴۵ قانون اساسی به مالکیت منابع آبی اشاره شد: «انفال و ثروت‌های عمومی از قبیل زمین‌های موات یا رها شده، معادن، دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر آب‌های عمومی، کوه‌ها، دره‌ها، جنگل‌ها، نیزارها، بیشه‌های طبیعی، مراتعی که حریم نیست، ارث بدون وارث، و اموال مجهول المالک و اموال عمومی که از غاصبین مسترد می‌شود، در اختیار حکومت اسلامی است تا بر طبق مصالح عامه نسبت به آن‌ها عمل نماید، تفصیل و ترتیب استفاده از هر یک را قانون معین می‌کند.»

طبق این اصل، منابع آبی شامل دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر آب‌های عمومی جز انفال و دارایی‌های امام معصوم محسوب می‌شود و اختیار اداره آن به دست ولی فقیه و حکومت اسلامی است و لذا ملک خصوصی افراد نبوده و قابل تملک خصوصی نیز به‌شمار نمی‌آیند.

در سال ۱۳۶۱ «قانون توزیع عادلانه آب» به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. در طرح قانون توزیع عادلانه آب، مصوب جلسات ۱۳۶۱/۳/۱۷ و ۱۳۶۱/۷/۱۳ مجلس شورای اسلامی، ابتدائاً در ماده ۱، مستند به اصل ۴۵ قانون اساسی، آب دریاها و رودخانه‌ها و... از زمره انفال شمرده شدند. اما شورای نگهبان در راستای تطبیق قانون توزیع عادلانه آب با شرع اسلام، به تبیین اصل ۴۵ قانون اساسی پرداخت و آب را که در متن قانون اساسی تحت عنوان مجمل «انفال و ثروت‌های عمومی» قرار گرفته بود، نه از انفال بلکه از مشترکات محسوب کرد. تفاوت مهم انفال با مباحات عامه و مشترکات عمومی آن است که در انفال، برخلاف مباحات، اصل بر جایز نبودن تصرف افراد است، مگر آن‌که اجازه عام یا خاص داده شود.

به این ترتیب، ماده ۱ قانون توزیع عادلانه آب، مصوب سال ۱۳۶۱، آب‌های دریاها و آب‌های جاری در رودها و انهار طبیعی و دره‌ها و هر مسیر طبیعی دیگر اعم از سطحی و زیرزمینی و سیلاب‌ها و فاضلاب‌ها و زه‌آب‌ها و دریاچه‌ها و مرداب‌ها و برکه‌های طبیعی و چشمه‌سارها و آب‌های معدنی و منابع آب‌های زیرزمینی را مشترکات و در اختیار حکومت اسلامی

انتخاب شورای محل است. حضور یک رأی از سه رأی در اختیار وزارت نیرو در حالی است که وظیفه تخصیص و اجازه بهره‌برداری بر عهده این وزارتخانه قرار گرفته‌است.

بر اساس ماده ۸ آیین‌نامه اجرایی نحوه صدور پروانه مصرف معقول موضوع ماده ۱۸ قانون توزیع عادلانه آب، وظیفه صدور پروانه مصرف معقول برای مصارف آب سطحی به وزارت کشاورزی سپرده شده‌است. پیش از تصویب قانون توزیع عادلانه آب نیز طبق لایحه قانونی راجع به تغییرات وظایف وزارت نیرو مصوب سال ۱۳۵۹، وظیفه اداره آب شرب شهرها به استانداری و شهرداری سپرده شده‌است و اداره آبیاری و تشکیلات مربوط به رودخانه‌ها (حق آب‌ها) نیز به وزارت کشاورزی و عمران روستایی یا استانداری ذی‌ربط منتقل گردیده‌است تا میزان حقا به رسیدگی به شکایات حقا به بر آن رودخانه‌ها تحت سرپرستی ادارات مربوط و خودیاری مردم انجام شود.

لازم به ذکر است که از زمان تصویب قانون توزیع عادلانه آب، مصارف شرب اولویت اول را برای سیاستگذاران داشته و در این زمان تأمین آب برای توسعه کشاورزی نسبت به توسعه صنعت از اولویت بالاتری برخوردار بوده‌است و اولویت پروانه‌های مصرف معقول با رعایت حق تقدم به ترتیب برای مصارف زیر ذکر شده‌است:

- آب مشروب؛
- آب باغ‌های موجود در تاریخ تصویب این آئین‌نامه (درختان مثمر و صنعتی)؛
- آب زراعتی و دامپروری؛
- آب مصارف صنعتی؛
- سایر مصارف.

پیشنهاد فقهی برای برون رفت از بحران مدیریت آب‌ها

اتخاذ رویکرد فقهی جهت تسهیل اداره امور و تنظیم‌گری در حوزه تملک آب‌ها توسط دولت اسلامی ضروری است. از این رو پیشنهاد می‌شود که هر چند اکثر فقیهان آب را جزء مشترکات دانسته‌اند، اما به منظور ایجاد ظرفیت بهتر برای اداره آب‌ها از سوی دولت، تمام آب رودخانه‌ها همان طور که در قانون اساسی اشاره شده است، جزء انفال دانسته شود و به این منظور، به عموم ادله فقهی مبنی بر اختصاص تمام اموال به شخص امام(ع) تمسک گردد. انفال دانستن آب‌های عمومی از یک سو مغایرت قوانین اجرایی و قانون اساسی درباره ماهیت آب‌ها را از میان می‌برد و از سوی دیگر، امکان تحدید آب حیات‌کنندگانی که مصرف بی‌رویه دارند یا از فروش منابع طبیعی سودجویی می‌کنند را به وجود می‌آورد.

دانسته است که باید طبق مصالح عامه از آن‌ها بهره‌برداری شود و مسئولیت حفظ و اجازه و نظارت به بهره‌برداری از آن‌ها به دولت محول می‌شود.

برای برخی این ابهام پیش آمد که آیا منظور از این قید آن است که چنین اموالی نظیر آب‌های جاری باید تحت نظارت حکومت اسلامی درآیند یا فراتر از آن، مالکیت این آب‌ها به حکومت اسلامی واگذار می‌شود؟ آیا حکومت اسلامی در چارچوب مالکیت‌های مشروع گذشته، بر شیوه بهره‌برداری از آب‌ها نظارت می‌نماید یا اختیارات حکومت اسلامی به معنای سلب مالکیت از آب‌های حیات شده است؟

در پاسخ به این پرسش‌ها، گفته شد که دین اسلام و قوانین اساسی ایران، هر نوع سلب مالکیت از اشخاص را منوط به اثبات کسب نامشروع مال در دادگاه صالحه می‌دانند، بنابراین قوانین موضوعه در جمهوری اسلامی ایران نمی‌توانند سلب مالکیت از افراد نسبت به مال مشروع خود را در اختیار و به تشخیص مجریان قانون وا بگذارد.

در قانون توزیع عادلانه آب (مصوب ۱۳۶۱) تخصیص و اجازه بهره‌برداری از منابع عمومی آب برای مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و سایر موارد، منحصرأ با وزارت نیرو دانسته شده‌است که باید بهره‌برداری از آن طبق مصالح عامه باشد. عنوان مصالح عامه بسیار کلی و عمومی است و در عبارات قانونی فاقد تعریف روشن است و باعث تفسیرهای شخصی از قانون شده‌است. در آئین‌نامه‌های اجرایی نیز این عبارت تعریف نشده‌است و مشخص نیست آیا لازم است که در سایر قوانین، مصادیق مصالح عامه ذکر شود یا اینکه منظور این است که دولت با تدابیر ویژه خود اقداماتی را به انجام رساند که در نهایت هدف آن‌ها تأمین مصالح عامه باشد؛ هرچند که محتمل است در پاره‌ای مواقع در کوتاه‌مدت، مصالح عمومی در معرض تعدی و تفریط دولت نیز قرار گیرد.

در قانون توزیع عادلانه آب (مصوب ۱۳۶۱) نیز همانند قانون آب و نحوه ملی شدن آن (مصوب ۱۳۴۷) هیئت سه نفره برای صدور پروانه مصرف معقول پیش‌بینی شده‌است. با این تفاوت که در قانون آب و نحوه ملی شدن دو کارشناس از طرف وزارت آب و برق در هیئت سه نفره حضور داشت و این هیئت وظیفه صدور پروانه مصرف مفید برای کلیه منابع آبی را بر عهده داشت، اما طبق قانون توزیع عادلانه آب، هیئت‌های سه نفری تنها وظیفه صدور پروانه مصرف معقول برای مصارف آب سطحی را دارند و اعضای آن مرکب از یک نفر کارشناس حقوقی به انتخاب وزارت نیرو و یک نفر کارشناس فنی به انتخاب وزارت کشاورزی و یک نفر معتمد و مطلع محلی به

- خمینی، سید روح الله. (۱۳۸۷). تحریر الوسيله (ج ۲)، ص، ۲۳۴، مسأله ۲۹. موسسه تنظيم و نشر آثار امام خمینی (ره)، تهران. ایران.
- صدوق، محمد. (۱۳۷۱). من لا يحضره الفقيه، ج ۳، ص ۲۴۱، ح ۳۳۸۰. موسسه الانشر الاسلامی، قم، ایران.
- طوسی، محمد. (۱۳۴۸ الف). الاستبصار، ج ۳، ص ۱۰۸، ح ۳۸۲. دارالکتب الاسلامیه، تهران، ایران.
- طوسی، محمد. (۱۳۴۸ ب). الاستبصار، ج ۳، ص ۱۱۰، ح ۳۹۰. دارالکتب الاسلامیه، تهران، ایران.
- طوسی، محمد. (۱۳۶۵ الف). التهذيب. ج ۷، ص ۱۴۸، ح ۶۵۵. دارالکتب الاسلامیه، تهران، ایران.
- طوسی، محمد. (۱۳۶۵ ب). الخلاف، ج ۳، ص ۱۷۶. انتشارات اسلامی. قم، ایران.
- عاملی، حرّ. (۱۳۷۰ الف). وسائل الشیعه الى تحصیل مسائل
- الشرعیه، ج ۶، ص ۱۸. انتشارات دارالاحیاء التراث العربی، قم، ایران.
- عاملی، حرّ. (۱۳۷۰ ب). وسائل الشیعه الى تحصیل مسائل الشرعیه، ج ۱۷، ص ۳۶۴، ح ۲. انتشارات دارالاحیاء التراث العربی، قم، ایران.
- کلینی، محمد. (۱۳۶۵ الف). الکافی، ج ۵، ص ۲۷۹. دارالکتب الاسلامیه، تهران، ایران.
- کلینی، محمد. (۱۳۶۵ ب). الکافی، ج ۷، ص ۲۷۳. دارالکتب الاسلامیه، تهران، ایران.
- مجلس شورای اسلامی. (۱۳۶۱). قانون توزیع عادلانه آب. تهران، ایران.
- مجلس شورای ملی. (۱۳۴۷). قانون آب و نحوه ملی شدن آن. تهران، ایران.
- محمدی ری شهری، محمد. (۱۳۸۶). میزان الحکمه، ح ۹۶۳۴. موسسه علمی فرهنگی دارالحديث. قم. ایران.

- **Grantee:** College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
- **Manager in Charge:** Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
- **Editor in Chief:** Davary, K. Prof. Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

- **Alidadi, H.** Prof., Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
- **Ansari, H.** Prof., Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- **Bagheri, A.** Asso. Prof., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
- **Esmaili, K.** 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

Guiding Council

- **Ghannadi, M.** General Manager of the Office of Research, Technology Development and Communication with the Industry of the Country Water & Wastewater Engineering Company, Chairman of the Council
- **Esmailian, H.** Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company
- **Nematnejad, M.A.,** Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
- **Ghandhari, A.,** Head of Aras, Atrak and Northern Basins, Iran Water Resources Management Company
- **Shahnooshi Foroushani, N.** Manager in Charge
- **Davary, K.** Editor in Chief

Advisory Editors

- **Noori Esfandiari, A.** Representative of Water Think tank at Iran Water Resources Management Company
- **Dehghanisanij, H.** Agricultural Engineering Research Institute
- **Sajadifar, S.H.** Representative of Country Water and Wastewater Engineering Company
- **Kalaei, G.H.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
- **Ghanbari, F.** Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
- **Mirgasemi, S.H.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
- **Arjmandsharif, M.** Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Publication information

- **Executive Expert:** Shahedi, M. Talebi Hossein Abad (F.i)
- **Editor:** Quchanian, M. Shahedi, M. Talebi Hossein Abad, F. Oskouhi (M.i)
- **Design / Graphic:** Shaikhi, M.R
- **Publisher:** Quarterly/Ferdowsi University of Mashhad
- **ISSN Print/ Online:** 2717-3321/2423-5474
- **Website/ E-Mail:** <http://jwsd.um.ac.ir> / Email: jwsd@um.ac.ir
- **Address:** Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 917751163
- **Sponsor(journal):** Mashhad Water & Wastewater Company
- **Sponsor(probing inquiry):** Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
- **Indexing:** ISC, Agris, CABI, DOAJ, google scholar, SID, Magiran

Due to certificate no. 3/18/126631 dated 20/9/2015 from the scientific publications review Commission of the Ministry of Science, Research and Technology in Iran. also Due to registration number no76766 dated 25/1/2016 from the Ministry of Culture and Islamic Guidance, this journal has been licensed to publish. This journal is an output of joint scientific activities between the Ferdowsi University of Mashhad and the I.Hydraulic Association of Iran

Articles in issue:

- **Assessment of Water Resource Governance Status in the Ilam Dam Watershed**
E. Fathi, M. R. Ekhtesasi, A. Talebi, J. Mosaffaie
- **A Sociological Analysis of Iran's Water Crisis: A Historical-Institutional Approach to Understanding State Intervention in Water Resource Management in Contemporary Era**
M. Mahmoodi, H. Mirzaei, A. Yousofi, M. Fazeli
- **The Role of Water Accounting and Auditing in Water Governance**
S.M.Taheri, M.Abdollahpour, K.Davary
- **Explaining the Scenarios Resulting from Iraq's Water-based Social Conflicts on Iran-Iraq Hydropolitical Relations**
Z.Aftabi, M.Kaviani Rad, H.Kardan Moghaddam
- **Identifying Key Drivers of Watershed Governance within the Hydropolitical Context of the Harirud River**
E.Tamassoki, S.Bahrami Jaf, J.Momeni Damaneh, S.M.Tajbaskhsh Fakhradadi
- **The Fragile Lifeworld of Farmers Encountering the Crisis and Water Governance: A Narrative Analysis of Farmers in Dehgolan County**
H.Daneshmehr, O.Hedayat
- **Investigation and Analysis of Drinking Water Challenges in Kerman City in the Current and Future Situation**
M.Soleimani Damaneh, H.R.Rakhshaninasab, H.Nazaripour
- **The Effect of Water Distribution Network Zoning on Pressure Management and Network Leakage Reduction (Case Study: Dorud City)**
P.Maleki, Kh.Namdarian
- **Effect of Smart Meters Installation on Water Table Fluctuations and Agricultural Wells Energy Consumption in Roshtkhar Plain**
Hossein Mohammadzadeh, Mahdi Torshizi
- **Identification of Smart Irrigation Management Methods and Tools and Their Impact on Optimizing Irrigation Water Consumption**
I.Hajirad
- **Utilization of Machine Learning Methods: Estimating Daily Evapotranspiration of Reference Plant Using Neural Networks in Razavi Khorasan Province**
Z. Shirmohammadi-Aliakbarkhani
- **Evapotranspiration Models in the Greenhouse Cultures: Data Analysis and Methods**
O.Raja, M.Parsinejad, A.Khorsand, B.Chehrenegar



حکمرانی آب

تعداد بخشی میان سه حوزه

(جامعه سرزنده، اکوسیستم سالم، اقتصاد بالنده)
برای دستیابی به پایایی

- حفاظت از منافع عمومی
- سیاستگذاری عمومی و تقنین
- برنامه ریزی استراتژیک (راهبردی)
- مدیریت تعارضات و مناقشات
- ساماندهی مشارکت جوامع
- حمایت و تأمین مالی

