

آب و توسعه پایدار

سال هشتم - شماره دوم (پیاپی ۲۰)
تابستان ۱۴۰۰



آب، قانون و اخلاق

فهرست مقالات

- **مروری بر فرآیند توسعه رویه ODD به عنوان استاندارد برای مدل سازی عامل بنیان**
سیداحمد رضا شاهنگیان، مسعود تابش، هانیه صفرپور
- **جایگاه بخش های اقتصادی استان اصفهان بر اساس رویکرد مصرف با استفاده از مدل داده - ستانده**
الهام اپراجونقانی، زهرا نصراللهی
- **بررسی وضعیت شاخص ترکیبی امنیت آبی استان های ایران در بازه ۱۳۹۵-۱۳۹۰: کاربردی از روش های تحلیل چند معیاره**
نادر مالکی، رضا شاکری بستان آباد، محسن صالحی کمرودی، سعیده سیدآبادی
- **اولویت بندی حفاظتی منابع آب سطحی ایران بر اساس حساسیت اکولوژیک**
منا عزیزی جلیلیان، افشین دانه کار، عبدالرسول سلمان ماهینی، کامران شایسته، فریدون طاهری سرتشنیزی
- **طراحی نرم افزار برآورد تبخیر پتانسیل با قابلیت اتصال به پایگاه داده NASA-Power و برآورد امکان کاهش تبخیر ناشی از نصب صفحات فتوولتائیک بر روی پهنه های آبی**
مازیار اسمنی، کاظم بشیرنژاد، پیمان باشی شهابی، ایمان زحمتکش
- **مکان یابی اولویت اجرای انواع سامانه های آبیاری تحت فشار با استفاده از نرم افزار GIS و مدل AHP، مطالعه موردی: دشت دز**
حامد پورصمصام، الهام اکبری، حسین قربانی زاده خرازی، سعید برومندنسب
- **ارائه مدل مشترک مدیریت پساب در شهر مشهد (اجرای بخشی از پروژه های تصفیه فاضلاب و تأمین آب شهر مشهد در ازای واگذاری پساب)**
حسین اسماعیلیان، سیدمحمدتفضل، ناهیدرجب زاده، سید علیرضا قدسی زاده آزر می
- **بررسی تاثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب بر زیست فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم های آبی**
علیرضا رادخواه، اسماعیل صادقی نژاد ماسوله
- **مدل سازی نشت در شبکه های آبرسانی با استفاده از نرم افزار WaterGEMS و شبکه عصبی مصنوعی**
پروانه میسر جانی، نسرين سیاری، ساره سیاری
- **بررسی نقش و کارکرد مراتع در زمینه آب**
نگین خاتونی، مهدی کلاهی

سال هشتم - شماره دوم (پیاپی ۲۰) - تابستان ۱۴۰۰

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۶۶۳۱/۱۸ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی دریافت نموده است. همچنین این نشریه در تاریخ ۱۳۹۴/۱۷/۰۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است. این نشریه حاصل فعالیت های علمی مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن هیدرولیک ایران است.

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سرمدیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان / استاد بازنشسته 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

کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

حسین علی دادی / استاد گروه مهندسی بهداشت محیط و حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

حمیدرضا ناصری / استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست گذاری

احمد سیاحی (ریاست شورا) / مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فن آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

حسین اسماعیلیان / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد

محمد علایی / مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

سید یحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران

ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه

بیژن قهرمان / سرمدیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری / اندیشکده تدبیر آب ایران

سید حسین سجادی فر / شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

عباسعلی قزل سوفلو / استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی مشهد

غلامرضا کلائی / شرکت آب و فاضلاب مشهد

ثمانه توکلی امینیان / شرکت آب و فاضلاب مشهد

کارشناس اجرایی

ویراستاری

طراحی جلد

ترتیب انتشار / ناشر

شماره شاپا

تارنما / رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه های نمایه شده

مهری شاهی، فاطمه طالبی حسین آباد

مرجان قوچانیان، مهری شاهی، فاطمه طالبی حسین آباد (فنی و ادبی) / مائده اسکوهی (لاتین)

محمدرضا شیخی

فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۲۴۲۳-۵۴۷۴

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

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دفتر نشریه، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

نشریات کشور (MAGIRAN)



الف	سرمقاله: بایدها و نبایدهای قانون آب/ علی باقری (عضو هیئت تحریریه نشریه)
ث	یادداشت‌های کوتاه: آب، قانون و اخلاق/ اعظم امینی؛ نقش اخلاق در اصول کلی حاکم بر آب در مقررات بین‌المللی و داخلی/ محمد عابدی؛ اخلاق‌مداری در حوزه آب/ کمال‌الدین ناصری
۱	مروری بر فرآیند توسعه رویه ODD به‌عنوان استاندارد برای مدل‌سازی عامل بنیان سید احمد رضا شاهنگیان، مسعود تابش، هانیه صفرپور
۱۳	جایگاه بخش‌های اقتصادی استان اصفهان براساس رویکرد مصرف با استفاده از مدل داده-ستانده الهام ابراجونقانی، زهرا نصراللهی
۲۱	بررسی وضعیت شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰-۱۳۹۵: کاربردی از روش‌های تحلیل چندمعیاره نادر مالکی، رضا شاکری‌بستان‌آباد، محسن صالحی کمرودی، سعیده سیدآبادی
۳۳	اولویت‌بندی حفاظتی منابع آب سطحی ایران براساس حساسیت اکولوژیک منا عزیزی‌جلیلیان، افشین دانه‌کار، عبدالرسول سلمان‌ماهینی، کامران شایسته، فریدون طاهری سرتشنیزی
۴۷	طراحی نرم‌افزار برآورد تبخیر پتانسیل با قابلیت اتصال به پایگاه داده NASA-Power و برآورد امکان کاهش تبخیر ناشی از نصب صفحات فتوولتائیک بر روی پهنه‌های آبی مازیار اسمعی، کاظم بشیرنژاد، پیمان باشی‌شهابی، ایمان زحمتکش
۵۵	مکان‌یابی اولویت اجرای انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از نرم‌افزار GIS و مدل AHP، مطالعه موردی: دشت دز حامد پورصمصام، الهام اکبری، حسین قربانی‌زاده خرازی، سعید برومندنسب
۶۳	ارائه مدل مشترک مدیریت پساب در شهر مشهد (اجرای بخشی از پروژه‌های تصفیه فاضلاب و تأمین آب شهر مشهد در ازای واگذاری پساب) حسین اسماعیلیان، سید محمد تفضلی، ناهید رجب‌زاده، سید علیرضا قدسی‌زاده آزر می
۷۱	بررسی تاثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبی علیرضا رادخواه، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله
۸۱	مدل‌سازی نشت در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS و شبکه عصبی مصنوعی پروانه میسر جانی، نسرین سیاری، ساره سیاری
۹۱	بررسی نقش و کارکرد مراتع در زمینه آب نگین خاتونی، مهدی کلاهی
۱۰۵	یادداشت تحلیلی: قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی در کالیفرنیا، نگاهی اجمالی به سیر تحول سیاست‌ها و قوانین/ حمید پشتوان
۱۰۷	مصاحبه: از هر دری .../ عادل سپهر (رئیس گروه پژوهشی حفاظت اکوسیستم و مدیریت مخاطرات محیطی، پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد)
۱۱۰	پیوست‌های مقاله «مروری بر فرآیند توسعه رویه ODD به‌عنوان استاندارد برای مدل‌سازی عامل بنیان»



بایدها و نبایدهای قانون آب

طی یک سال گذشته تحولات گسترده‌ای در زمینه تغییر ساختار بخش آب و نیز تدوین یک لایحه جدید برای قانون آب در وزارت نیرو اتفاق افتاده است. هدف از این تغییرات، رویارویی مناسب با چالش‌های موجود و فراهم آوردن بستری مناسب برای مدیریت منابع آب عنوان شده است. از مهمترین تغییراتی که در جریان این تحولات مشاهده می‌شود، می‌توان به طراحی یک سیستم مدیریت آب در مقیاس حوضه آبریز در کشور و تشکیل سازمان‌های مدیریت حوضه‌ای با حضور سازمان‌های ذی‌مدخل و ذی‌نفع اشاره کرد. این تغییرات ساختاری، البته قبل از تدوین لایحه قانون جدید آب تصویب شده و به مرحله اجرا درآمده بود، اما در متن لایحه جدید نیز تشکیلات مدیریت منابع آب تا حدودی با مشارکت ذی‌مدخلان و ذی‌نفعان و در مقیاس حوضه، پیشنهاد شده است. تدوین یک قانون جدید ابزاری برای ایجاد یک تغییر اجتماعی است، به طوری که به تغییر در رفتار کنشگران و نوع تعامل آنها با یکدیگر منجر شود. موضوع تدوین لایحه قانون جامع آب که در یک سال گذشته در دستور کار وزارت نیرو بوده است، می‌تواند بالقوه، نقطه عطفی در تاریخ مدیریت منابع آب ایران باشد که به تغییرات اجتماعی جدی و عمیق در این حوزه بینجامد. البته تحقق چنین آرمانی مستلزم رعایت مجموعه‌ای از الزامات و پیش‌نیازهاست. به همین مناسبت، در این نوشتار به کلیات مفهومی برای تدوین یک قانون جدید در حوزه مدیریت منابع آب پرداخته می‌شود.

برای تغییر یک قانون موجود و تدوین یک قانون جدید مفاهیم و ملاحظات مختلفی باید در نظر گرفته شوند. در این نوشتار این مفاهیم براساس سه سؤال «چرایی»، «چیستی» و «چگونگی» ساختاربندی و ارائه می‌شوند. در بحث «چرایی» سؤالاتی که مطرح می‌شوند از این دست است: خلاءها و نارسایی‌های قانون فعلی چیست؟ قانون جدید قرار است چه تفاوت ماهوی را نسبت به قوانین فعلی ایجاد کند؟ به عبارت دیگر به موجب قانون جدید چه کاری را می‌توان کرد که قبلاً نمی‌شد انجام داد یا قبلاً مجبور به انجام چه کاری بودیم که با قانون جدید دیگر آن اجبار وجود نخواهد داشت؟ و نتیجه این اقدامات برای پایداری منابع آب و بهبود تعامل بین کنشگران در حوزه آب چه خواهد بود؟

تغییر قانون، هزینه‌های بالای اجتماعی به دنبال خواهد داشت. پاسخ به سؤالات فوق باید برای تحمل هزینه‌های اجتماعی تغییر قانون، توجه کافی را فراهم کند. گاهی اوقات یک سری از تغییرات را در ظرفیت قوانین موجود هم می‌توان به وجود آورد، اما به دلیل عدم شناخت کافی از این ظرفیت‌ها، بحث تغییر قانون مطرح می‌شود. قاعدتاً تغییر قانون باید آخرین مرحله در سلسله اقدامات اصلاحی در حوزه آب باشد. در چرخه سیاست‌گذاری، بعد از شناخت مسائل و تعریف دستور کار، در مرحله طراحی راهکارها، یک ارزیابی از سیستم قانونی موجود به عمل می‌آید و اگر برای اقدامات مورد نظر محدودیت‌های جدی قانونی وجود داشته باشد به فکر تغییر و اصلاح قانون می‌افتند.

بعضاً، بخشی از اقداماتی را که در راستای اصلاحات آبی در نظر داریم انجام دهیم نیاز به اصلاح در مدل‌های ذهنی و نوع تفکر و نگرش به مسائل دارند تا تغییر در قوانین. به عبارت دیگر چه بسا اینکه چنانچه جهان‌بینی نسبت به شناخت مسائل تغییر نکند و مدل‌های ذهنی افراد تأثیرگذار بر مدیریت منابع آب بدون تغییر باقی بمانند، تغییر قانون نیز اثربخشی لازم را نداشته باشد و در حد یک سند روی کاغذ باقی بماند.

به نظر می‌رسد در لایحه قانون جدید آب که توسط وزارت نیرو تهیه شده است، مهمترین و عمده‌ترین تغییر ایجاد شده تشکیل کمیسیون‌ها و سازمان‌های حوضه آبریز در سطح حوضه و کارگروه‌های استانی در سطح استان‌هاست. نکته اینجاست که در حال حاضر که هنوز قانون جدید به تصویب نرسیده این تغییر در ساختار مدیریت آب کشور تصویب شده و در حال اعمال است؛ حتی مدیران حوضه‌ها نیز منصوب شده‌اند. بنابراین برای چنین تغییر ساختاری، ظاهراً نیازی به تغییر قانون نبود.

در مورد «چیستی» لازم است مشخص شود که در قانون جدید قرار است به چه موضوعات و چالش‌هایی در حوزه منابع آب و با چه سازوکارهایی پاسخ داده شود. از جمله اساسی‌ترین این موضوعات، مدل اداره منابع آب و مدیریت فرابخش آب است که در بستری فراتر از محدوده فقط وزارت نیرو اتفاق می‌افتد. در این بستر که از آن با نام نظام حکمرانی آب یاد می‌شود، کنشگران حوزه آب (اعم از بخش دولتی و غیردولتی)، روابط بین آن‌ها، نظام تصمیم‌گیری و اجرای آن، نظارت بر اجرای تصمیمات و رسیدگی به تخلفات به گونه‌ای باید تبیین شوند که عدالت و امنیت آبی کشور به صورت پایدار تحقق یابد. علاوه بر خود بخش آب، لازم است اندرکنش این بخش با سایر زیرنظام‌ها مانند بخش انرژی، بخش اقتصاد، بخش مسکن و ... به شکل منسجم تنظیم شود.

در مورد نقش آب در فرآیندهای مدیریت و توسعه کشور، باید

یک وحدت نظر حاصل شود. به عنوان مثال نمی‌توان همزمان هم از الگوی بهینه کشت و هم از امنیت غذایی صحبت به میان آورد. از جمله این موارد، همچنین ارتباط آب با آمایش سرزمین است. به عنوان مثال هنوز به یک تبیین فلسفی از انتقال آب بین حوضه‌ای یا انتقال آب هم‌زدایی شده به مناطق مرکزی کشور نرسیده‌ایم. همچنین ماهیت منطقه‌ای مدیریت منابع آب یک مفهوم مهم است که باید در قانون مورد توجه قرار گیرد و امکانات لازم برای اعمال آن فراهم شود.

در لایحه قانون جدید آب خیلی از امور همچنان به شورای عالی آب محول شده است. باید به این نکته توجه داشت که بالا بردن سطح نهادهای مدیریت حوضه به سطح معاون رییس جمهور و وزیر و ... لزوماً به معنی این نخواهد بود که مسائل بهتر حل و فصل می‌شوند. اتفاقاً با بالاتر رفتن سطح مدیریتی و تصمیم‌گیری، اطلاع از جزئیات و تخصص کاسته می‌شود. به این ترتیب بیم آن می‌رود که مسائل بدون توجه به ملاحظات تخصصی و فقط براساس ملاحظات سیاسی مورد تصمیم‌گیری قرار گیرند.

شایان ذکر است تغییرات این چنینی، چه در قالب فقط طرح تغییر ساختار باشد و چه در قالب قانون، نیازمند صرف زمان کافی برای یادگیری سازمانی و اجتماعی و توسعه ظرفیت نهادی است. برای این منظور پیشنهاد می‌شود اول کار از یک حوضه پایلوت شروع شود و متناسب با درس‌های آموخته شده مدل‌های مناسب برای سایر حوضه‌ها نیز استخراج شوند. در این رابطه به دو نکته باید توجه کرد: اول آن که لزوماً یک الگوی واحد وجود ندارد که به صورت سراسری به همه حوضه‌های کشور تعمیم داده شود. شاید لازم باشد برای هر حوضه یک مدل توسعه یابد که با ویژگی‌ها و امکانات و ظرفیت‌های آن حوضه هماهنگی بیشتری داشته باشد. دوم اینکه تنها تجربه مشابه در این زمینه شورای هماهنگی حوضه آبریز زاینده‌رود است که ساختار و ترکیب کمیسیون‌های حوضه آبریز پیشنهاد شده در لایحه قانون جدید آب هم خیلی مشابه همین مدل است. علی‌رغم دستاوردهای این شورا، هنوز نمی‌توان ادعا کرد که این الگو یک الگوی موفق حتی در همان حوضه زاینده‌رود بوده است، چه برسد به اینکه بخواهیم آن را به بقیه کشور تعمیم بدهیم. قبل از هرچیز جا داشت عملکرد این شورا مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گرفت و از درس‌آموخته‌های آن برای طراحی ساختار جدید بهره گرفته می‌شد. تجویز یک ساختار که قبلاً تجربه نشده و امتحان خود را پس نداده، به صورت سراسری و تعمیم آن به کل کشور، می‌تواند در نوع خود چالش‌های جدیدی را به چالش‌های موجود اضافه کند.

در قانون جدید تلاش شده است با تعبیه موادی، زمینه مشارکتی کردن مدیریت حوضه‌های آبریز فراهم شود. باید

توجه داشت به صرف پیشنهاد ایجاد کمیسیون حوضه آبریز و سازمان حوضه آبریز و کارگروه استانی، لزوماً دلیل بر مشارکتی کردن مدیریت آب نمی‌شود. تقریباً فرآیندهای اصلی مدیریت منابع آب همچنان مثل سابق در نظر گرفته شده‌اند و همچنان تمرکز در دست وزارت نیرو با محوریت پایتخت است. مضافاً اینکه در ساختار پیشنهادی کمیسیون حوضه، غلبه با گروداران دولتی است.

با این حجم بالای تغییرات ساختاری و بروکراتیک، اصل ظرفیت‌سازی مغفول مانده است. معلوم نیست کدام نیروی انسانی و کدام پتانسیل سازمانی می‌تواند این تغییرات بروکراتیک را اجرا کند. به علاوه، تجربه شورای هماهنگی حوضه زاینده‌رود نشان داد، تشکیل چنین ساختارهایی بدون در نظر گرفتن سازوکارهای تأمین مالی، عملاً تصمیمات این شوراها را بی‌اثر می‌کند. در ساختار جدید کمیسیون‌های حوضه نیز سازوکار تأمین مالی پیش‌بینی نشده است. دور از انتظار نیست که اگر این مصوبات به نفع یک استان نباشد، راه فرار برای خودداری از اجرای آن به بهانه نداشتن بودجه باز خواهد بود.

داشتن قوانین متنوع لزوماً به معنی تحقق اهداف پایداری در منابع آب نخواهد بود. فراتر از وضع قوانین مختلف آن است که مفاهیم پایداری مانند سازگاری همه بخش‌ها با شرایط محیطی، انطباق الگوی توسعه اقتصادی و توزیع نظام‌های سکونتگاهی در کشور با ظرفیت برد منابع آب، و تمهید سازوکارهایی برای مهار پیشران‌ها و سازوکارهای رشد که باعث افزایش تقاضا و تقویت مصرف آب می‌شوند، در برنامه‌ریزی‌ها، سیاستگذاری‌ها و قوانین کشور جاری‌سازی (Mainstreaming) شوند. برای این منظور توصیه می‌شود قبل از ورود به انشای مواد قانون، ابتدا در مورد مدل مفهومی نظام حکمرانی و اداره آب در کشور و نحوه مواجهه با چالش‌های آن اجماع صورت گیرد. مواردی که لازم است در این مدل مفهومی مورد بحث و بررسی و بعد اجماع قرارگیرد عبارتند از:

أ. مسائل و چالش‌های پیش‌روی منابع آب در حال و آینده
ب. فرآیندهای لازم برای مواجهه با اداره منابع آب و مهار چالش‌های آن

ج. سطوح پیاده‌سازی فرآیندها

د. گروداران و کنشگرهای متناظر با فرآیندها در سطوح تعیین شده

ه. منابع مورد نیاز (اعم از منابع سازمانی، نهادی، مالی، انسانی، فنی، سرمایه‌ای) برای پیاده‌سازی چنین مدلی

پرداختن به موارد فهرست شده در بالا در قالب سازوکارهایی خواهد بود که به صورت مواد قانونی تنظیم می‌شوند. در طراحی این سازوکارها باید اثرات متقابل عوامل مختلف را بر

همدیگر (مانند «اثر مقیاس»، «اثر ازدحام» و «اثر بازگشتی») که ممکن است به بروز یا تشدید مشکلات یا شکست سیاست‌ها منجر شوند، به صورت هوشمندانه مورد توجه قرار داد. در طراحی مواد یک قانون به واقعیات اجرایی درکشور نیز باید نگاه شود. مثلاً تجربیات موفق و ناموفق در طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، یا عدم تأمین اعتبار به موقع برای تعیین حد حریم و بستر رودخانه‌ها و نیز مشکلات فراوان در پیاده‌سازی آنها، بخصوص در محدوده‌هایی که با سکونتگاه‌های قبلی تعارض پیدا می‌کنند، درس‌آموخته‌هایی هستند که باید به آنها توجه کرد.

سومین محور در مبحث تدوین قانون به «چگونگی» انجام این کار می‌پردازد. یک قانون در حوزه آب قبل از اینکه طراحی حقوقی داشته باشد، باید از منظر فنی و ملاحظات نهادی، اجتماعی و اقتصادی طراحی شود. به این ترتیب علاوه بر خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مترتب بر منابع آب، قواعد و شیوه‌های بهره‌برداری و محافظت از آن و نیز منافع حاصل از استفاده از آب و چگونگی توزیع این منافع، موضوع بحث قرار می‌گیرد. یکی از روش‌هایی که می‌تواند ملاحظات گروه‌های مختلف گروه‌دار را در موضوع بهره‌برداری و صیانت از منابع آب در بر بگیرد، مشارکت دادن گروه‌های مختلف تأثیرگذار بر و تأثیرپذیر از قانون در حیطه‌های مختلف مرتبط با آب مانند بهره‌برداری و حفاظت از منابع است. بدون شک مشارکت دادن دستگاه‌هایی که به آب مربوط می‌شوند و نیز گروه‌هایی که منافع آنها به آب وابسته است، در مدیریت منابع، کار پسندیده‌ای است و در نظام مدیریت منابع آب، یک گام رو به جلو محسوب می‌شود. اما نکته مهم این است که اگر مفهوم مشارکت به درستی درک نشده باشد و فرآیندهای آن به صورت صحیح طراحی نشوند، نه تنها امر مشارکت گروه‌داران در مدیریت منابع آب محقق نخواهد شد، بلکه این تجربه به ضد خودش تبدیل خواهد شد. اصولاً امر مشارکت از آن‌جا ضرورت پیدا می‌کند که تصمیمات و اقدامات مورد نظر سیاست‌گذار یا قانون‌گذار فقط ماهیت فنی ندارند، بلکه این گزینه‌ها از نظر جامعه تحت تأثیر، با بار ارزشی نیز همراه است. این بار ارزشی می‌تواند شامل ارزش‌های اخلاقی، فرهنگی، اقتصادی، زیست‌محیطی، سیاسی، امنیتی (به معنی عام امنیت انسانی) و ... باشد. درک ابعاد مختلف ارزشی گزینه‌ها و نیز اهمیت و اولویت آن‌ها از نظر گروه‌های مختلف اجتماعی، متفاوت خواهد بود. فرآیند مشارکت در واقع از منظر حفظ ارزش یا ارزش‌آفرینی برای گروه‌های مختلف اجتماعی که از سیاست یا مداخله مورد نظر تحت تأثیر قرار خواهند گرفت، اهمیت و ضرورت پیدا می‌کند.

در فرآیند تدوین قانون اگر بر مشارکت گروه‌های مختلف

تأکید می‌شود، لازم است اعتمادسازی کافی صورت بگیرد. یک عامل خیلی مهم در این رابطه این است که کمیته تدوین‌کننده قانون به مشارکت‌کنندگان و نظردهندگان نشان دهند که نظرات آنها با چه سازوکاری و به چه صورت مورد پردازش قرار می‌گیرند و چگونه در متن قانون اعمال می‌شوند؛ و اگر نظرات اعمال نشده‌اند، توجیه آن چه بوده است. این کار باید در خلال فرآیند تهیه متن قانون صورت بگیرد و محول کردن آن به بعد می‌تواند به فرآیند مشارکت، لطمه وارد کند.

هدف از مشارکت فقط جمع‌آوری نظرات گروه‌های مختلف نیست. بلکه لازم است به منظور اجماع‌سازی بین گروه‌داران مختلف و تسهیل در فرآیند یادگیری اجتماعی، امکان گفتگوی بین آنها در موضوع قانون آب فراهم شود تا دیدگاه‌ها هرچه بیشتر به هم نزدیک شوند. در همین راستا لازم است قبل از اخذ نظرات روی مواد قانون، اجماع‌سازی روی مدل مفهومی کل قانون صورت بگیرد. متن قانون یک متن تخصصی با زبان حقوق است که ممکن است درک آن برای همه گروه‌های گروه‌دار در یک سطح اتفاق نیفتد، ولی بحث بر سر مدل مفهومی نظام حکمرانی و مدیریت آب می‌تواند با زبان غیرتخصصی بین گروه‌داران مختلف انجام شود.

فرآیند مشارکت زمینه را برای مشروعیت بخشیدن به سیاست‌ها و در نتیجه پذیرش تغییرات اجتماعی فراهم می‌کند. از قبل فرآیند مشارکت، گروه‌داران آینده مطلوب خود را خودشان تصویر می‌کنند و گزینه‌های دستیابی به آن را نیز خودشان توسعه می‌دهند. غیر از خروجی‌های مستقیمی که از یک فرآیند مشارکت می‌توان دریافت کرد، یک دستاورد مهم که به صورت غیرمستقیم محقق می‌شود، توسعه ظرفیت در بین گروه‌داران است که این امر از طریق فرآیند یادگیری اجتماعی به وقوع می‌پیوندد. نتیجه چنین دستاوردی حصول به اجماع در بین گروه‌داران و افزایش ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری آنها در برابر تغییرات و تهدیدات محیطی و در نهایت ارتقای رفاه جامعه هدف خواهد بود. این فرآیند، پشتیبانی جامعه را از اجرای سیاست به دنبال خواهد داشت که خود به افزایش انسجام ملی و کاهش هزینه‌های اجتماعی برای اعمال قانون و نظارت بر حسن اجرای آن خواهد انجامید.

اقدام اخیر وزارت نیرو در تدوین لایحه قانون جدید آب و به مشارکت طلبیدن گروه‌های مختلف در فرآیند مزبور، هرچند با شرایط مطلوب فاصله دارد و قابل نقد است، ولی در نوع خود یک حرکت جدید در روال تهیه قانون در بخش آب محسوب می‌شود. خوب است از این فرصت در جهت یادگیری اجتماعی و توسعه ظرفیت در بین گروه‌داران آب و فراهم آوردن فضایی برای گفتگوی اثربخش، هم‌افزایی و انسجام اجتماعی، استفاده مفید شود.



آب، قانون و اخلاق

آب، مایهٔ حیات همهٔ موجودات از جمله انسان‌هاست. همه ادیان و فرهنگ‌ها در منظومه‌های فکری و فرهنگی خود از آب به عنوان نماد بسیاری از زیبایی‌ها یاد می‌کنند، چنانچه در سال‌های اخیر به یکی از نمادهای عدالت اجتماعی نیز تبدیل شده است. بحران آب در جهان کنونی عمدتاً به دلیل کمبود مطلق آن نیست؛ بلکه بیشتر به توزیع و مصرف و منابع آن ارتباط دارد. برای مواجههٔ منطقی با هر یک از علل و عوامل بحران آب لازم است از ظرفیت دانش‌های حقوق و اخلاق بهرهٔ بیشتری برد. اصول اخلاقی مشترک بین همه فرهنگ‌ها که قابلیت اعمال در همه مناطق جغرافیایی و در تمام مراحل توسعه اقتصادی جوامع و برای همه زمان‌ها را دارا هستند، همواره راه‌گشا می‌باشند. در اجرای اصول اخلاقی مزبور، سیاست‌گذاری‌ها و روش‌های متفاوت متناسب با شرایط مختلف هر منطقه و کشور، قابل شناسایی است.

کنترل آب، کنترل زندگی و معیشت است. زندگی و معیشت بدون اخلاق، ثبات و آرامش ندارد. با درک این مهم، در دهه‌های اخیر چندین کنفرانس بین‌المللی مانند کنفرانس دویلین در مورد آب و محیط‌زیست به مسأله تعهدات اخلاقی برای تأمین نیازهای اساسی آب برای جامعه بشر پرداخته‌اند. ارتباط بین سیاست‌گذاری آب و حقوق و اخلاق در سراسر جهان در حال افزایش است. در برخی قوانین اساسی کشورها مانند آفریقای جنوبی تصریح شده که عدم دسترسی به آب و خدمات بهداشتی با حیثیت و حق حیات مردم ارتباط مستقیم دارد و دسترسی مستقیم به آب را لازمهٔ کرامت انسانی دانسته‌اند.

در جهان کنونی در حوزهٔ آب پرسش‌های بی‌شماری ذهن بشر را درگیر کرده است؛ از جمله اینکه چگونه می‌توانیم مطمئن باشیم منبع کافی آب تمیز سالم برای مردمان امروز و نسل‌های آینده وجود دارد؟ دسترسی به آب تا چه میزان عادلانه است و خواهد بود؟ آب چگونه باید مدیریت شود و چه کسانی آن را اداره کنند؟ تغییرات اقلیمی چه تأثیری بر کیفیت و کمیت آب شیرین خواهد گذاشت؟ آیا آب سالم در قرن ۲۱، همانند نفت در قرن ۲۰ به منبع قدرت ژئوپلیتیک و منازعات تبدیل شده است؟ آیا نوآوری‌های فناوری یا تحولات فرهنگی یا ترکیبی از آن دو، به تغییرات اجتماعی درخصوص نحوه بهره‌برداری از آب منتهی شده است؟ پاسخ به این پرسش‌ها و موارد مشابه دیگر بدون شک با اخلاق و اصول حقوقی برخاسته از هنجارها و ارزش‌های اخلاقی ارتباطی وثیق دارد.

اخلاق به معنای قواعد تشخیص‌دهنده نیک و بد، ریشه در نهاد انسان دارد و بدون دخالت دولت الزام‌آور است. بی‌جهت نیست برخی محققان، قواعد حقوقی را رسوب تاریخی اخلاق اجتماعی برشمرده‌اند. قواعد حقوقی که ریشه در اخلاق داشته و یا با اخلاق سازگار باشند، در هر جامعه به آسانی اجرا می‌شوند و مورد قبول جامعه قرار می‌گیرند.

قانون ناسازگار با اخلاق عمومی به دشواری اجرا می‌شود. حکمرانی خوب در هر جامعه، وابسته به استفاده از ظرفیت اخلاق است. در فلسفهٔ حقوق در مورد رابطهٔ اخلاق و قانون دو نظریه وجود دارد: طرفداران نظریه حقوق طبیعی، اخلاق یا قانون طبیعی را جزئی از تعریف یا سرشت قانون موضوعه قلمداد می‌کنند. از نظر آنان هنجارهای اخلاقی به عنوان الزامات برتر و مستقل از قانون موضوعه موجودیت دارند. فلذا قانونیت یا اعتبار مقررات در گرو سازگاری آن‌ها با اخلاق است. قانون مخالف با هنجارهای اخلاقی به معنای واقعی کلمه، قانون نیست. در مقابل دیدگاه مذکور، اثبات‌گرایان، قانون را پدیده‌ای وضعی و قراردادی می‌دانند. فلذا هیچ رابطهٔ ضروری میان قانون و اخلاق قائل نیستند. به نظر آنان اخلاق نه در سرشت قانون نقشی دارد و نه در اعتبار آن.

بررسی عینی نظام‌های حقوقی مختلف جهان نشان می‌دهد که اخلاق اعم از آن که ریشه در مذهب یا عقل یا رسوم اجتماعی داشته باشد، در مرحلهٔ وضع، تفسیر و اجرای قوانین نقش مهمی ایفا می‌کند. بسیاری از محتوای مقررات لازم‌الاجرا که صورت قانون دارند، پیش از ورود به جهان حقوق، هنجارهای اخلاقی بوده‌اند. حال این پرسش مطرح است که هنجارهای اخلاقی چگونه فرآیند استانداردسازی را طی کرده و وارد عرصه حقوق می‌شوند؟ چگونه مفاهیم کلی و انتزاعی به مفاهیم عینی بدل می‌شوند؟ پاسخ این است که هنجارها و ارزش‌های اخلاقی به صورت مستقیم به قاعده حقوقی و قانون تبدیل نمی‌شوند. این هنجارها عمدتاً از مجرای "اصول کلی حقوق" و به عنوان یکی از منابع قواعد حقوقی به جهان حقوق وارد می‌شوند. اصول کلی حقوقی نقش انتقال‌دهندهٔ هنجارهای ارزشی نظام حقوقی را ایفا می‌کنند. به عبارت دیگر، مجرای برای ورود امور ارزشی و قضاوت‌های ارزش‌بنیاد و ضرورت‌های اجتماعی و فراحقوقی به عرصهٔ حقوق هستند. اصول کلی حقوقی، تغییر شکل‌دهنده‌های نیازهای فراقانونی اعم از اخلاقی یا اجتماعی در یک نظام حقوقی هستند. خلاصه آنکه اصول کلی حقوقی که درجه‌ای از انتزاع و عینیت را توأمان دارند، به عنوان واسطه یا مبنا عمل می‌کنند و هنجاربنیان هستند. اصول کلی حقوقی مبتنی بر اخلاق سه جلوه و کارکرد دارند: اصول کلی تصحیحی (contra legem) اصول کلی برخوردار از این توانایی که در قضایای معین قانون ایجاد کنند، اصول کلی تکمیلی (preater legem) در قضایایی که هیچ قاعده حقوقی وجود ندارد یا آنکه قواعد موجود کافی نیست، این اصول می‌توانند خلأهای قانونی را پر کنند. به بیانی دیگر، در این وجه، اصول کلی در مقام ترمیم خلأهای اجتماعی در قوانین نیستند، بلکه به دنبال جبران نواقص حقوقی و پرکردن خلأها و نارسایی‌های منطقی برمی‌آیند. وجه سوم اینکه هر قاعده حقوقی در مرحلهٔ اجرا نیازمند تفسیر است. مطابق اصول کلی تعدیلی (infra legem) مجری قانون اعم از قاضی، داور و مقام اداری می‌تواند به هنگام اعمال قاعده کلی در قضیه خاص با هدف کاهش سختی قاعده آن را تفسیر کند. اصول کلی در وجه اخیر بدون آنکه از مرز قانون عبور کنند این امکان را فراهم می‌کنند که یک قاعده حقوقی با توجه به تحولات آن در سیر زمان و اوضاع و احوال ویژه آن قضیه به گونه‌ای تفسیر شود که به عدالت نزدیک‌تر شود. همچنان که مجری قانون در زمان اجرای قواعد

حقوقی می‌تواند به کمک اصول کلی، اجرای نص و مَر قانون را تلطیف کند و اجرای قواعد حقوقی را در عمل آسان سازد.

با فرض اهتمام جوامع مختلف به جلوه‌های گوناگون اصول کلی حقوق به عنوان یکی از منابع هر نظام حقوقی و با توجه به پیوند غیرقابل تفکیک اصول کلی حقوق با ارزش‌ها و هنجارهای اخلاقی، متخصصان در حوزه آب، اصول کلی حقوقی متعددی را که ریشه در هنجارهای اخلاقی دارند، بیان کرده‌اند. برای درک بهتر تأثیر اخلاق در سیاست‌گذاری‌ها و قواعد قانونی حاکم بر حقوق آب، لازم است مصادیق این اصول شناسایی و تجزیه و تحلیل شود تا روشن گردد که به چه میزان این اصول کلی حقوقی در مقررات بین‌المللی و قوانین داخلی و حتی برنامه‌های فرهنگ‌سازی عمومی و ترویجی اثرگذار بوده و مورد توجه قرار گرفته‌اند. برخی از مهم‌ترین اصول ذیربط عبارتند از: **یک) اصل منزلت انسان و حق بر آب:** یکی از پایه‌های بنیادین حقوق بشر، اصل منزلت و کرامت انسانی است که لازمه تحقق کرامت انسانی آن است که حق بر حیات و حق سلامت انسان تأمین شود. حق دسترسی به آب که با حیات و سلامت انسان ارتباط دارد، از لوازم تحقق منزلت و کرامت انسانی است. هرگونه سیاست‌گذاری، قانون‌گذاری و مدیریت آب باید بر مبنای رعایت کرامت انسانی باشد. در سلسله مراتب ذی‌نفعان آب، رعایت کرامت انسانی در بالاترین جایگاه قرار دارد و بر همه مصارف دیگر آب، تقدم می‌یابد.

دو) اصل پایداری و الزامات زیست‌بوم و محیط سالم: در درجه اول طبیعت و زیست‌بوم‌ها حق دارند که به طور پیوسته امروز و فرداها وجود داشته، تکامل یافته و توسعه یابند. اما چگونه می‌توانیم بین نیاز انسان به آب و نیاز طبیعت آشتی و تعادل برقرار کنیم؟ حقوق بشر و زیست‌بوم‌ها آغاز نگاه اخلاقی به مسأله آب است. از دیدگاه زیست‌بوم، محور نیاز انسان بر نیاز سایر موجودات اولویت ندارد و انسان جزئی از طبیعت است. انسان به عنوان عالی‌ترین موجود تکامل‌یافته در طبیعت، نباید در برابر طبیعت بایستد و بدون توجه به سایر موجودات و فقط برای بقاء خویش از طبیعت بهره‌برد. میان محیط‌زیست سالم و بقاء انسان ملازمه وجودی برقرار است و انسان نمی‌تواند بدون محیط‌زیست سالم به حیات خود ادامه دهد و ناچار است به لوازم پایداری محیط‌زیست سالم، وفادار بماند.

سه) اصل بهره‌برداری منصفانه و متعارف: آب مانند همه سرمایه‌های موجود در این عالم ظرفیت محدودی دارد و بی‌انتهای نیست. فلذا بهره‌برداری آن با رعایت انصاف و معیارهای متعارف و قابل قبول همه انسان‌ها، یک ضرورت است. انصاف و معیارهای مورد قبول همگان، تجلیات وجدانی و اخلاقی برآمده از ارزیابی‌های صحیح و بین‌الذهانی جوامع بشری است.

چهار) اصل منع آسیب و ضرر: اینکه نباید در قاعده‌گذاری یا بهره‌برداری از هر امکانی یا حتی به گونه‌ای عمل کرد که به دیگری صدمه یا ضرر و آسیب وارد شود، یکی از شناخته‌ترین معیارهای اخلاقی مورد توافق همه فرهنگ‌هاست که از دیرباز تاکنون در قالب اصل حقوقی نیز منشاء بسیاری از قواعد و معیارها واقع شده است و در حوزه آب نیز محوریت دارد.

پنج) اصل پذیرش تاوان ضرررسانی یا آلوده‌سازی: این اصل مبتنی بر

این اندیشه اخلاقی است که هر کس باید بار گناه و تقصیر خویش را برعهده داشته باشد. این اصل حتی کاربرد پیشگیرانه نیز دارد؛ چرا که وقتی مسئولیت بی‌توجهی به موازین اخلاقی و حقوقی مد نظر قرار گیرد، می‌تواند خود موجب جلوگیری از عملکرد خلاف در حوزه آب شود.

شش) اصل مشارکت عمومی: در مدیریت منابع آب باید به منافع همه گروه‌ها به‌ویژه گروه‌های آسیب‌پذیر و کسانی که کمتر صدای آنها شنیده می‌شود و در قدرت سیاسی کمتر حضور دارند، توجه شود. همه افراد و گروه‌ها می‌توانند از طریق آموزش انتشار آزاد داده‌های آب، جلسات حضوری و مجازی، گفتگوها و سایر روش‌ها در استفاده و مدیریت فرآیندهای آب مشارکت کنند و نیازها و نگرانی‌های خود را مطرح کنند. این اصل یکی از جلوه‌های شناسایی برابری ارزش انسانی و نیز انصاف است که خود ریشه در اخلاق دارد.

هفت) اصل هزینه در برابر منفعت: اشخاصی که از آب استفاده می‌کنند، باید هزینه‌های وارد بر طبیعت و تحمیل شده بر دیگر اشخاص را جبران کنند. طبیعت منبع محدود است و به شخص خاصی تعلق ندارد. بلکه متعلق به عموم، دولت و جامعه است. انسان‌ها باید برای استفاده از منابع طبیعی حق امتیاز یا هزینه بپردازند و اگر شخصی از منابع محلی دیگری استفاده می‌کند، باید خسارات وارد بر مردمان آن منطقه را جبران کند. همچنین دولت باید سیاست قیمت‌گذاری مناسب آب را اعمال کند. **هشت) اصل صرفه‌جویی:** این اصل بدین معناست که افراد در مجاورت آب، نباید بیش از نیاز واقعی خود از آن استفاده کنند. شخص باید برای نیازهای اولیه زندگی و آسایش و حفظ زیست‌بوم محلی از آب بهره‌برداری کند و آب مازاد یا به نقاط فاقد آب منتقل شود یا برای نسل‌های آینده، نگهداری شود.

نه) اصل معامله سالم و داد و ستد: این اصل بدین معناست که آب ذخیره شده و مازاد از مقدار تخصیص یافته، می‌تواند به عنوان یک کالا در بازار آب از طریق بانک‌های آب، مورد مبادله و انتقال و معامله قرار گیرد.

ده) اصل استفاده چندگانه و مفید از آب: به جز وابستگی بیولوژیکی انسان به آب، دیگر کاربردهای آب امتیاز ویژه‌ای ندارند و باید برابر در نظر گرفته شوند. بنابراین برای استفاده مفید از آب، می‌توان از آنها در بخش‌های مختلف استفاده‌های متعدد کرد. مثلاً ایجاد نیروگاه آبی برای استفاده آبیاری و تولید برق.

یازده) اصل مجاورت: چون توزیع منابع آب شیرین از نظر مکانی و فصلی برابر نیست و این امر دسترسی فیزیکی به منابع آب شیرین را با مشکل مواجه می‌کند و همچنین در بسیاری موارد زمین بالادست در مالکیت خصوصی یا تحت صلاحیت کشور دیگری است که مانع قانونی برای دسترسی به آب وجود دارد، حق تقدم استفاده از آب مطرح می‌شود. اصل مجاورت به این معناست که در صورت نیاز به آب، اولین انتخاب، استفاده از منابع آب نزدیک است و افراد مجاور آب در استفاده از آن بر افرادی که دورتر زندگی می‌کنند، اولویت دارند. این اولویت یک امتیاز نیست، بلکه فقط به دلیل وضعیت مطلوب آنهاست. البته استفاده از آب باید به نحوی باشد که بر منافع مشروع سایر کاربران تأثیر نگذارد. فلذا آلودگی آب و تخریب جریان طبیعی آب، هم غیراخلاقی و هم خلاف موازین حقوقی است.



نقش اخلاق در اصول کلی حاکم بر آب در مقررات بین‌المللی و داخلی

«هنگامی که پدری از فیلسوفی خواست که او را درباره بهترین راه تربیت پسر خود در زمینه مسائل اخلاق‌گرایانه پند دهد، چنین پاسخ داد: او را تبعه دولتی بساز که قوانین خوب دارد.»^۱

قواعد و مقررات حقوقی، به ظاهر، از نیروی سیاسی دولت‌ها سرچشمه می‌گیرند. لیکن، دولت‌ها در ایجاد این مقررات آزاد نیستند و در کنار نفوذ عوامل اقتصادی و سیاسی در امر قانون‌گذاری، رعایت قواعد اخلاقی برای استقرار عدالت و تأمین نظم، الزامی است.^۲ قانونی که از سرچشمه اخلاق سیراب شود با دو پشتوانه تضمین‌های دولتی و وجدانی، لازم‌الاجرا می‌شود. برخی متفکران ریشه تمام قواعد حقوقی را در اخلاق جستجو می‌کنند. بی‌جهت نیست که کتاب «قواعد اخلاقی در تعهدات مدنی» اثر ژرژ رپی، یکی از حقوقدانان بزرگ قرن بیستم، جایزه کتاب سال فرانسه را دریافت کرده بود.

مشهور است که می‌گویند شرافت قانون به عادلانه بودن قانون است. همانگونه که معیار شرعی بودن یک حکم، انطباق آن با عدالت است، مطابق تئوری «زاید بودن عدالت» فضیلت عدالت فضیلتی برتر یا جدا از دیگر فضایل نیست، بلکه عین فضایل اخلاقی است. علم اخلاق بیان مشروح یک فضیلت بیش نیست و آن فضیلت، عدالت است که سایه خود را بر خلیقات، گفتار، کردار و روابط فردی و جمعی افکنده است.^۳

هریک از حقوق و اخلاق برای ادامه حیات خود نیاز به وجود حداقلی از دیگری در جامعه دارد. زیرا از یک سو لازمه بقاء یک نظام حقوقی، تأمین حداقل عدالت است و تأمین حداقل عدالت با احترام به اراده فرد محقق می‌شود و با فراهم بودن اراده آزاد افراد است که می‌توان از اخلاقی بودن اعمال سخن گفت. از سوی دیگر تا وقتی اکثریت اعضای جامعه از حداقلی از فضایل اخلاقی، به‌ویژه فضیلت عدالت‌خواهی، برخوردار نباشند، نباید انتظار داشت که یک نظام حقوقی بتواند حداقلی از عدالت را تأمین کند. بر این مبناست که حقوق و اخلاق را، به لحاظ وجودی، لازم و ملزوم یکدیگر شناخته‌اند.^۴

اخلاق هنجارهای آرمانی هستند که نوعاً جنبه انتزاعی دارند و برای آن‌که بتوانند عینیت بیابند و لباس قانون لازم‌الاجرا را بپوشند باید از مجرای اصول کلی حقوقی عبور کند. این اصول کلی حقوقی را می‌توان در مقررات و کنوانسیون‌های بین‌المللی و دو قانون اصلی حاکم بر حقوق آب، یعنی «قانون آب و نحوه ملی شدن آن» مصوب سال ۱۳۴۷ و «قانون توزیع عادلانه آب» مصوب ۱۳۶۱ مشاهده کرد. «کنوانسیون مربوط به حقوق استفاده‌های غیرکشتریانی از آبراهه‌های بین‌المللی» مصوب ۲۱ می ۱۹۹۷ (کنوانسیون نیویورک) تعدادی از اصول کلی حاکم بر استفاده از آبراهه‌های بین‌المللی را بیان کرده است که ریشه‌های این اصول در هنجارهای اخلاقی یافت می‌شود.

برای نشان دادن تأثیر اخلاق بر قوانین حاکم بر آب، لازم است برخی مصادیق مهم اصول کلی حقوقی برخاسته از اخلاق و تأثیر آن را در مقررات داخلی و بین‌المللی، بررسی کنیم.

الف) اصل منزلت انسان و حق بر آب: انسان ذاتاً از کرامت و منزلت برخوردار است و تعبیر قرآنی «وَلَقَدْ كَرَّمْنَا بَنِي آدَمَ» یک هنجار اخلاقی است که در آموزش‌های دینی بر آن تأکید شده است. ماده ۳ اعلامیه جهانی حقوق بشر و اخلاق زیستی در ذیل عنوان «کرامت انسانی و حقوق بشر» مقرر می‌دارد: «یک- کرامت انسانی، حقوق بشر و آزادی‌های اساسی باید به طور کامل رعایت شود. دو- منافع و رفاه افراد باید بر منافع دانش یا جامعه اولویت داشته باشد.» همچنین، ماده ۱۴ این اعلامیه با عنوان «مسئولیت اجتماعی و سلامت» اعلام کرده است که «یک- ارتقا سلامت و توسعه اجتماعی مردم در قسمت‌هایی که همه جامعه در آن مشترک هستند، هدف اصلی دولت‌هاست. دو- با توجه به اینکه برخورداری از بالاترین سطح دستیابی به سلامت، بدون تفاوت نژادی، مذهبی، عقاید سیاسی و شرایط اقتصادی و اجتماعی، یکی از حقوق اساسی هر انسانی هست، پیشرفت علم و فناوری باید به دسترسی به آب و غذای کافی بیانجامد.» پس، حق بر آب، یک حق اساسی بشر است که توسط هیچ کس و هیچ قدرتی نمی‌توان آن را سلب کرد و مطابق این حق هر کس حق دارد به اندازه تأمین نیازهای اولیه‌اش به راحتی آب در اختیار داشته باشد. مطابق ماده ۱۷ قواعد برلین، حق بر آب مستلزم دسترسی به آب کافی، ایمن، قابل دسترسی از حیث فیزیکی و مقرون به صرفه جهت تأمین نیازهای حیاتی شخصی انسانی است و زنان و مردان به طور مساوی از آن برخوردارند.

به موجب اصل نوزدهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، «مردم ایران، از هر قوم و قبیله که باشند، از حقوق مساوی برخوردارند و رنگ، نژاد، زبان و مانند اینها سبب امتیاز نخواهد شد.» همچنین، حسب اصل بیستم «همه افراد ملت، اعم از زن و مرد، یکسان در حمایت قانون قرار دارند و از همه حقوق انسانی، سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی با رعایت موازین اسلام برخوردارند.» مطابق اصل چهل و هشتم، در بهره‌برداری از منابع طبیعی... باید تبعیض در کار نباشد...»

قانون توزیع عادلانه آب با اینکه از عنوان زیبا پسند «توزیع عادلانه آب» سخن گفته است و همه آب‌ها را از مشترکات دانسته که طبق مصالح عموم باید از آنها بهره‌برداری شود؛ لیکن، به نظر می‌رسد عدالت توزیعی تحقق نیافته؛ چون، از یک سو، حقایق‌های موجود را به رسمیت شناخته و از سوی دیگر، صدور پروانه مصرف، با رعایت حق تقدم، صادر می‌شود (ماده ۲۲ قانون توزیع عادلانه آب). بنابراین، همان‌گونه که در عمل مشاهده می‌شود، عده‌ای بسیار خیلی از شهروندان فرصت استفاده از منابع آب کشور را پیدا می‌کنند و این امتیاز ویژه، به عنوان یک حق مالی و به تبع اراضی، به نسل‌های بعدی آنان منتقل می‌شود.

ب- اصل منع اضرار به غیر و لزوم تدارک زیان: اخلاق ورود ضرر به دیگری را منع و سرزنش می‌کند و تدارک زیان وارد شده را لازم می‌داند. اصل لاضرر که در حدیث نبوی «لاضرر و لااضرار فی الاسلام» تبلور یافته، همزاد اصل آزادی انسان‌ها بوده است. این اصل در ماده

۷ کنوانسیون نیویورک نیز مورد توجه قرار گرفته و حسب بند یک آن، دولت‌های آبراهی باید در هنگام بهره‌برداری از یک آبراه بین‌المللی در سرزمین خود تمام اقدامات مقتضی را جهت پیشگیری از ورود زیان قابل توجه به سایر دولت‌های آبراهی اتخاذ کند. این بند ریشه در این اصل اخلاقی برخاسته از عقل عملی دارد که پیشگیری بهتر از درمان است. به موجب بند دو، در صورت ورود زیان ناشی از استفاده از یک آبراهه بین‌المللی، دولت واردکننده زیان، مکلف به اتخاذ اقدامات مقتضی برای کاهش خسارت و پرداخت غرامت می‌باشد.

ماده ۳۵ قانون آب و نحوه ملی شدن آن، در مقام بیان اصل جبران خسارت و شیوه تدارک زیان است. مطابق آن در صورتی که در اثر حفر چاه یا قنات جدید، آب چاه یا قنات مجاور نقصان یابد و یا خشک شود، حسب مورد، مالک چاه یا قنات متضرر، می‌تواند با شرکت در هزینه بهره‌برداری در استفاده از چاه یا قنات جدید شریک شود و یا اینکه صاحب چاه یا قنات جدید، خسارات فرد متضرر را جبران کند. مفاد این اصل در ماده ۱۴ قانون توزیع عادلانه آب تکرار شده است.

پ- اصل بهره‌برداری و مشارکت منصفانه و متعارف: کنوانسیون نیویورک در مواد ۵ و ۶ از این اصل و معیارهای موثر در بهره‌برداری منصفانه و متعارف، سخن گفته است. حسب بند یک ماده ۵، دولت‌ها باید در سرزمین خود از یک آبراه بین‌المللی به شیوه‌ای منصفانه و متعارف بهره‌برداری کنند و به موجب بند دو، دولت‌های آبراهی باید در استفاده، توسعه و محافظت از یک آبراه بین‌المللی به شیوه منصفانه و متعارف، مشارکت کنند. این بند یادآور یک اصل اخلاقی است که «من له الغنم، فعلیه الغرم» یعنی هر کس منافع را ببرد، هزینه‌ها را باید پرداخت کند. ماده ۱۴ قواعد برلین بیان می‌دارد، در تعیین استفاده منصفانه و متعارف دولت‌ها باید ابتدائاً آب‌ها را برای تأمین نیازهای حیاتی بشر تخصیص دهند. مطابق بند یک ماده ۱۰ کنوانسیون نیویورک، قاعداً هیچ استفاده‌ای از یک آبراهه بین‌المللی بر سایر استفاده‌ها رجحان ذاتی ندارد، لیکن حسب بند دو آن، در صورت بروز اختلاف بین استفاده‌های انجام گرفته از یک آبراهه بین‌المللی، این اختلاف باید با عنایت ویژه به الزامات نیازهای حیاتی انسانی، حل و فصل شود.

ماده ۴ قانون آب و نحوه ملی شدن آن که صدور پروانه مصرف آب را مقید به استفاده مفید و معقول نموده و ماده ۵ آن قانون که مقرر داشته در صورتی که حقایقه‌های موجود به مصرف مفید نرسد، دولت

می‌تواند در تعیین میزان حقایقه‌های مصرف‌کنندگان تجدیدنظر کند و نیز ماده ۲۵ قانون توزیع عادلانه آب که مصرف و اتلاف غیرمعقول (غیرمتعارف) آب را منع کرده است، همگی بیانگر حاکمیت اصل بهره‌برداری منصفانه و متعارف بر آب است.

ت- اصل منع آلودگی آب و پرداخت توسط آلوده‌کننده: تکلیف اخلاقی خودداری از آلودگی آب که در اخلاق مذهبی نیز مورد تأکید قرار گرفته و با تعبیر شاعرانه «آب را گل نکنیم» در زبان فارسی معاصر شهرت یافته است، در کنوانسیون نیویورک مورد توجه قرار گرفته و حسب بند دوم ماده ۲۱ آن، دولت‌های آبراهی باید منفرداً و در صورت لزوم مشترکاً از آلودگی یک آبراه بین‌المللی که به محیط‌زیست و سلامت ایمنی بشر زیان وارد کند، خودداری و در صورت وقوع آلودگی، آن را کاهش داده و کنترل کنند.

به موجب اصل پنجاهم در جمهوری اسلامی، «حفاظت محیط‌زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی روبه رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد، از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیر آن که با آلودگی محیط‌زیست یا تخریب غیرقابل جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است.» همچنین، ماده ۲۷ قانون آب و نحوه ملی شدن آن در مقام بیان اصل منع آلودگی آب، دارندگان پروانه چاه را موظف ساخته که طبق مقررات بهداشتی عمل کنند و برای جلوگیری از آلودگی آب داخل چاه مسئول هستند. بعلاوه، ماده ۵۵ این قانون و مواد ۴۶ و ۴۷ قانون توزیع عادلانه آب، ضمن بیان این اصل، مقرر کرده «موسسات متولی بهره‌برداری مصرف شهری یا صنعتی یا معدنی آب، موظفند طرح تصفیه آب و دفع فاضلاب را اجرا کنند.»

پی‌نوشت:

- ۱- هگل، گ. ۱۳۷۸. عناصر فلسفه حق، ترجمه مهبد ایرانی طلب، تهران، نشر قطره.
- ۲- کاتوزیان، ن ۱۳۸۰. فلسفه حقوق، جلد اول (تعریف و ماهیت حقوق)، چاپ دوم، شرکت سهامی انتشار. ص ۵۸۷.
- ۳- سروش، ع. ۱۳۸۹. اخلاق خدایان. ناشر طرح نو. ص ۷.
- ۴- هارت، هربرت. ترجمه محمد راسخ. ۱۳۸۸. آزادی، اخلاق، قانون (درآمدی بر فلسفه حقوق کیفری و عمومی). انتشارات طرح نو. چاپ دوم.



اخلاق‌مداری در حوزه آب

سیطره گفتمان مدرنیته بر جهان، مقتضیاتی داشته و ویژگی‌هایی را تحمیل نموده است. علم نوین، با رویکرد پوزیتیویستی به ویژه در حوزه علوم تجربی، یکی از بارزترین پیشران‌های گفتمان مدرن است که میل به جهان‌شمولی دارد. سیر درونی دانش نوین در دوران پسانسانس به گونه‌ای پیش رفته که به تخصص‌گرایی مفرط و واگرایی ساحت‌های مختلف علم انجامیده است. تخصص‌گرایی هرچند موتور محرکه بسیار قدرتمندی برای دانش نوین بوده، اما تک‌ساحتی بودن بسیاری از دستاوردهای آن موجب جداسازی بخش‌هایی از دانش گردیده که سرشتی پیوسته و همبسته دارند و دیوارهایی نادیدنی میان طیف دانسته‌های بشری استوار کرده و جزیره‌هایی منفصل از دانش، پدید آورده است. این وضعیت، هستی‌شناسی همه‌جانبه‌نگر و شناخت جامع و سیستمی از پدیده‌های چند ساحتی را دشوار ساخته است.

پیداست که در چند دهه اخیر رویکرد اصلاح‌گرایانه به سمت همگرایی شاخه‌های علم، منجر به ظهور دانش‌های ارزشمند میان‌رشته‌ای و فرارشته‌ای گشته و پاره‌ای گسست‌های خودساخته را التیام داده و رویکرد به شناخت تنیدگی بافتار را سهولت بخشیده است. با این حال میراثی که برجای مانده و روش‌شناسی غالب دانش نوین مبتنی بر فروکاست‌گرایی (Reductionism)، همچنان دست‌اندرکار و سخت‌پابرجا است.

به عنوان یکی از عواقب چنین رویکردی، می‌توان به «اخلاق‌زدایی» از بسیاری از ساحت‌های علوم تجربی اشاره نمود. زدودن تدریجی اخلاق از بسیاری از گفتمان‌های علوم تجربی، گاه محصول جانبی روش‌شناسی بسیار پر قدرت فروکاست‌گرایانه و گاهی نیز به صورت آگاهانه و هدفمند بوده است.

آب، پدیده‌ای است که در هر رکن سرزمین و جامعه، سیلان و جریان دارد و روشن است که در این مقوله، اخلاق، جایگاهی کهن و ریشه‌دار دارد. اما علم تجربی در طول سالیان، عمدتاً آب را به حوزه‌های خاصی فروکاسته، آن را بیشتر فنی نموده و تا حد زیادی اخلاق‌زدایی کرده است. گرچه این تقلیل، به تمامی نیست و در باب آب از هر جنبه‌ای سخن گفته می‌شود و می‌توان نشان آن را جست؛ اما یک مرور اجمالی به سادگی آشکار می‌سازد که پرداختن به آب از منظر فنی تا چه حد بر سایر جنبه‌ها غلبه یافته است. گرچه شاخه‌ای از علم با هویت مستقل به «آب‌شناسی» (هیدرولوژی) اختصاص یافته، اما در واقع بیشترین دانش و روشی که در ذیل این شاخه علمی قرار می‌گیرد، فنی است. مباحث اجتماعی و فرهنگی با اختلاف بسیاری، کم‌رنگ‌تر و کم‌وزن‌تر هستند. حتی در رویکردهای اخیر به آب که مباحث اجتماعی بیش از پیش

برکشیده شده (ناشی از اضطراری که از بحران‌های آبی روی نموده است)، بازهم به طور معناداری سایه مباحث فنی بر نظام‌های تصمیم‌گیری، مدیریتی و اجرایی حوزه آب سنگینی می‌کند.

انتظار می‌رود که نهادهای اجرایی موثر در حوزه آب در چارچوب قانون و شیوه‌نامه‌ها به ایفای وظایف بپردازند. از این رو پنداشت درستی است که قانون‌های ما باید اخلاقی باشند تا در فرآیندهای مدیریتی ما نیز جایی برای اخلاق باز شود. ولی در عمل کمتر می‌توان نشانی از این امر دید. نگاهی به «قانون توزیع عادلانه آب» می‌تواند گویای موضوعاتی باشد. نام این قانون خود از امری اخلاقی یعنی عدالت، خبر می‌دهد. ولی محتوا، چنین القا می‌کند. برای نمونه این قانون به وزارت نیرو اجازه می‌دهد برای هر آبی که «بدون مصرف مانده» یا «آب‌های زاید بر مصرف که به دریاچه‌ها، دریاها و انهار می‌ریزند» یا حتی آبهایی که «در مدت مندرج در پروانه به وسیله دارنده پروانه به مصرف نرسیده‌اند» (بطور کلی هر آبی که هنوز توسط انسان به مصرف نرسیده است)، مجوز بهره‌برداری صادر نماید. این گزاره به روشنی از اخلاق تهی است و آشکارا نگاهی تمامیت‌خواهانه و سوداگرانه به آب دارد. در این دیدگاه اصولاً آبی مفید است که به مصرفی برسد به عبارتی برای انسان سودی مادی به همراه آورد و وارد چرخه ارزش تبادلی گردد. سواي وجه اقتصادی، از پس کلان روایت این گزاره، انسان محوری (اومانیزم) آشکاری نمایان است. هر آبی که از چنگال مصرف انسان خارج است، گویی زاید است و هدر می‌رود و باید هرچه زودتر مصرفی برای آن تعریف نمود. این روایتی تمامیت‌خواهانه از اومانیزم حریص و مصرف‌گرا است که یکسره از اخلاق تهی شده است. برای هیچ جاندار دیگری جز انسان جایگاهی برای استفاده از آب فرض نشده و ارزشی برای آب جز از طریق کالاشدگی متصور نیست. نگاهی سراسر فنی و سخت‌افزاری که جز به بهره و بهره‌برداری نمی‌اندیشد. در طول چند دهه گذشته، غالب نهادهای مدیریتی و اجرایی ما در این مسیر جهدی بلیغ داشته‌اند تا مبدا قطره آبی «هدر» برود و هر کاربری آب‌محوری را تا حد امکان گسترانده‌اند. نگاهی به گفتگوها و اظهارنظرهای مسئولان درباره متن یا پیرامون برنامه‌های توسعه کشور، این سپهر فکری و اجرایی را به خوبی نشان می‌دهد.

در پس اندیشه‌هایی که اجازه خشکاندن رودها و تالاب‌ها با احداث سازه‌های عظیم یا انتقال آب را داده و جریان‌های حیات کشور را مسدود ساخته یا زمینه توسعه کاشت آب‌برترین محصولات (نظیر برنج) در خشک‌ترین نقاط کشور را فراهم نموده نیز، چهره بی‌اخلاقی سرک می‌کشد که حرمتی برای سرزمین و ویژگی‌های ذاتی آن و توسعه پایدار قائل نیست.

در نتیجه چنین رویکردی، تهی‌سازی منابع آبی کشور تا جایی پیش رفته که ما را رودرروی فاجعه‌ای تمام عیار، پیچیده، چند بُعدی و تا حدی برگشت‌ناپذیر قرار داده و کشورمان را به درس عبرتی بین‌المللی بدل ساخته است. پیداست که هیچ قید اخلاقی در کار نبوده تا توسعه را مقید سازد. امروزه می‌دانیم (و این دانستن به

رنج و هزینه گران حاصل شده است) که اگر فن‌سالاری را مقید نسازیم، تلاشش برای بلعیدن منابع و هرچه بزرگ‌تر شدن، پایانی ندارد. آزادسازی فن‌سالاری از قید اخلاق (که گاه نام توسعه بر آن می‌نهم)، توانسته و می‌تواند ما را به لبه پرتگاه سقوط برساند. لازم است اخلاق بهره‌برداری را به درستی تعریف نماییم. آب را نه به عنوان منبعی برای مصرف، بلکه به عنوان دارایی تمام باشندگان سرزمین (نه صرفاً انسان) به رسمیت بشناسیم و اندیشه سوداگرانه را از آن دور نماییم. اخلاق استفاده از آب نیز ما را از هر کاربری اسراف‌گرانه و بی‌پروا باز می‌دارد. اخلاق آب می‌تواند در قالب اخلاق حرفه‌ای و اخلاق توسعه، پدیدار شود و در قانون‌های مربوطه نیز جایگاه درخور خویش را بیابد. حرمت نهادن به آب و سرزمین، امری اخلاقی است که آنگاه که قصد پدیداری می‌کند در قامت آنچه که پارادایم توسعه

پایدار خوانده می‌شود، جلوه‌گر می‌گردد. یکی از ارکان توسعه پایدار، تلاش هرچه بیشتر برای «سازگاری» به جای تغییر و حفظ «پایداری» به جای تولید است. اینها تجلی همان امر اخلاقی حرمت نهادن به سرزمین است که می‌تواند در قالب قانون پدیدار شود. مدرنیته مجهز به فن‌آوری ما را به سرکشی در برابر طبیعت و تلاش برای استیلای بر آن و تغییر هر آنچه نمی‌پسندد و محدودیت می‌شمرد، می‌خواند که امروز به روشنی می‌بینیم حاصلی جز تباهی ندارد. لذا امر اخلاقی ضرورت می‌یابد تا ما را به فضیلت فروتنی و تأمل و درنگ بخواند و بر حرص و آزمندی بی‌پایان بشر مهار زند. کم نیستند فرهیختگانی که باور دارند معضلات حوزه آب و محیط‌زیست در نهایت امری اخلاقی است و تنها با قانون‌های اخلاق‌مدار است که شاید بتوانیم این گول چراغ جادو را به جای اولش بازگردانیم.

Overview of the ODD Protocol Development Process as a Standard for Agent-Based Modeling

S. A. Shahangian¹, M. Tabesh^{2*}, H. Safarpour³

1,2,3- Ph.D. Candidate, Professor and M.Sc. School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

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

Received: 06-12-2020

Accepted: 03-02-2021

مروری بر فرآیند توسعه رویه ODD به عنوان استاندارد برای مدل سازی عامل بنیان

سید احمد رضا شاهنگیان^۱، مسعود تابش^{۲*}، هانیه صفیپور^۳
۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشجوی کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، ایران.

*(نویسنده مسئول، E.mail: mtabesh@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

Abstract

Ecological and social science researchers have long faced the challenge of modeling the intrinsic complexity of socio-ecological systems. A popular approach to understand and investigate these systems is agent-based modeling, which has been used not only in ecological sciences but in many other disciplines over the years and has become a widely used tool nowadays. Despite the importance of this modeling approach, there was no standard protocol to make and present these models by 2006. Hence, several expert modelers who covered a wide range of areas in ecology suggested the ODD protocol (Overview, design concepts, and details) as a standard for describing individual-based models (e.g., agent-based models) in 2006. After that, some providers of the first version of the ODD protocol have developed an updated version of this protocol in 2010 to resolve problems and ambiguities of the original version, as an alternative for the previous version, by reviewing research that used this protocol. Then, considering the fundamental role of human decisions in agent-based modeling, a new version of this protocol named ODD+D was introduced in 2013, specifically for this modeling approach. The purpose of the ODD+D protocol was the development and modification of the ODD protocol to create a standard for describing agent-based models so that it can consider human decision-making within itself. Due to the importance of applying this protocol in the structure of agent-based modeling studies, the present research introduces the ODD protocol, reviews its evolution over recent years, and addresses the detailed description of different versions.

Keywords: ODD Protocol, ODD+D Protocol, Agent-Based Modeling, Human Decision-Making, Complex Adaptive Systems.

چکیده

محققین علوم اکولوژی و اجتماعی مدت ها است که با چالش نحوه مدل سازی پیچیدگی های ذاتی سیستم های اجتماعی-اکولوژی مواجه هستند. یک رویکرد معمول برای درک و بررسی این سیستم ها، مدل سازی عامل بنیان است که در طی سالیان گذشته نه تنها در علوم اکولوژیکی، بلکه در بسیاری از رشته های دیگر مورد استفاده قرار گرفته و امروزه به ابزاری با کاربرد گسترده تبدیل شده است. با این وجود برخلاف اهمیت این رویکرد مدل سازی، تا سال ۲۰۰۶ هیچ رویه استاندارد برای ساخت و ارائه مدل های عامل بنیان وجود نداشت. از این رو، در سال ۲۰۰۶ تعدادی از مدل سازان با طیف وسیعی از حوزه ها در اکولوژی، رویه ای تحت عنوان ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات) را به عنوان استاندارد برای توصیف رویکردهای مدل سازی فرد-محور (از جمله عامل بنیان) پیشنهاد کردند. در ادامه تعدادی از ارائه دهندگان این رویه در سال ۲۰۱۰ با مروری بر تحقیقاتی که از نسخه اولیه آن استفاده کرده بودند، نسخه به روزرسانی شده آن را به منظور رفع مشکلات و ابهامات نسخه اولیه توسعه و ارائه دادند و به عنوان جایگزین نسخه قبلی معرفی کردند. سپس با توجه به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل سازی عامل بنیان، نسخه جدیدی از این رویه تحت عنوان ODD+D به طور خاص برای این رویکرد مدل سازی در سال ۲۰۱۳ ارائه شد. هدف نسخه جدید، توسعه و اصلاح رویه به منظور ایجاد استاندارد برای توصیف مدل های عامل بنیان بود؛ به نحوی که تصمیم گیری انسانی را درون خود لحاظ کند. با توجه به اهمیت استفاده از این رویه در ساختار تحقیقات مدل سازی عامل بنیان، این مقاله به معرفی رویه ODD، مروری بر سیر تحول آن در سال های اخیر و شرح مفصل آن در نسخه های متعدد می پردازد.

واژه های کلیدی: رویه ODD، رویه ODD+D، مدل سازی عامل بنیان، تصمیم گیری انسانی، سیستم های انطباق پذیر پیچیده.

طراحی و پیاده‌سازی سیاست‌های مؤثر محیط‌زیستی، نیازمند درک جامعی از فرآیندهای سیستم، تعاملات پیچیده بین آن‌ها و چگونگی پاسخ آن‌ها به تغییرات مختلف است (Kelly و همکاران، ۲۰۱۳). محققین علوم اکولوژی و اجتماعی مدت‌ها است که با چالش نحوه و چگونگی مدل‌سازی پیچیدگی‌های ذاتی بسیاری از سیستم‌های اکولوژیکی، اجتماعی یا اجتماعی-اکولوژیکی که در دنیای واقعی وجود دارند، مواجه هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). این سیستم‌های پیچیده، باید به کمک مدل‌هایی که می‌توانند اجزای مختلفی را دربرگیرند که هم دارای مقیاس‌ها و دقت‌های متفاوت بوده و هم براساس فرضیات و الگوهای مختلفی که از حوزه‌های علوم مختلف توسعه یافته‌اند، توصیف شوند (Shugart و Voinov، ۲۰۱۳). سیستم‌های پیچیده (CS)^۱، سیستم‌هایی هستند که از موجودیت‌های تعاملی و با تعاملات غیرخطی بین آن‌ها تشکیل شده‌اند که ممکن است به روش‌های جالب و اغلب غیر منتظره‌ای (گاهی حتی متناقض) رفتار کنند که توجیه آن‌ها را پیچیده می‌کند (Helbing، ۲۰۱۲). یک رویکرد برای بررسی این سیستم‌ها، استفاده از مدل‌های عامل بنیان (ABM)^۲ است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰) که با ایجاد یک جامعه مصنوعی، همه زیرفرآیندهایی که برای مطالعه یکپارچه سیستم‌های پیچیده لازم هستند، به یک واحد یکپارچه متصل می‌کند (Athanasiadis و همکاران، ۲۰۰۵). رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، به کمک دیدگاه جزء به کل (قلعه‌بان تکمه‌داش و همکاران، ۱۳۹۴؛ شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹c)، ابزار مناسبی برای مطالعه سیستم‌های پیچیده (Helbing، ۲۰۱۲؛ Mei و همکاران، ۲۰۱۵) و جایگزینی برای تکنیک‌های مدل‌سازی سنتی است که امکان شبیه‌سازی رفتارهای نوظهور (بروز یافته)^۳ را در سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده (CAS)^۴، فراهم می‌کند (Berglund، ۲۰۱۵) (برای مطالعه بیشتر به شاهنگیان و همکاران (۱۳۹۹b؛ ۱۳۹۹a) مراجعه شود). مدل‌های مبتنی بر فرآیندها و به‌ویژه مدل‌های عامل بنیان، می‌توانند نقش مهمی در تقویت درک پویایی سیستم‌های پیچیده ایفا کنند (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان نسبت به سایر روش‌های مدل‌سازی، مزایای متعددی دارد (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹c) و در دهه‌های اخیر به ابزاری با کاربرد گسترده در مطالعه و بررسی سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده تبدیل شده است (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹a؛ ۱۳۹۹b). امروزه رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، در حوزه‌های مختلفی از علوم از جمله اکولوژی، ارزیابی محیط‌زیستی، علوم اجتماعی، رباتیک و بازی‌های کامپیوتری، به‌منظور بررسی روش‌هایی برای دستیابی به یک هدف مشترک و یا توضیح یک رفتار مشترک به کار گرفته می‌شود (López-Paredes و همکاران، ۲۰۰۵). در این زمینه نرم‌افزارهای بسیاری از جمله RePast، NetLogo، Swarm و AnyLogic برای

ایجاد و توسعه مدل‌های عامل بنیان معرفی شده‌اند (قلعه‌بان تکمه‌داش و همکاران، ۱۳۹۴). باتوجه به اینکه سیستم آب شهری به‌عنوان یک سیستم انطباق‌پذیر پیچیده شناخته می‌شود (برای مطالعه بیشتر به شاهنگیان و همکاران (۱۳۹۹b؛ ۱۳۹۹a) مراجعه شود)، پیشرفت‌های چشم‌گیری در سال‌های اخیر در زمینه کاربرد این رویکرد مدل‌سازی در حوزه مدیریت منابع آب و به‌ویژه مدیریت آب شهری صورت گرفته و به‌تبع آن، زمینه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای ایجاد شده‌اند (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹b). مدل‌های عامل بنیان (ABM)، بر ارائه تعاملات بین موجودیت‌های مستقل^۵ و ناهمگن^۶ در یک سیستم که به‌عنوان عامل شناخته می‌شوند و مطابق با برخی از قوانین با یکدیگر تعامل دارند و نیز بر کشف پدیده‌ها و رفتارهای نوظهور کوچک مقیاس (میکرو) که ناشی از پیامدهای بزرگ‌مقیاس (ماکرو) و در نتیجه تعاملات و یادگیری بین موجودیت‌های فردی است، تمرکز دارند (Kelly و همکاران، ۲۰۱۳؛ Mei و همکاران، ۲۰۱۵). یک مدل عامل بنیان، معمولاً یک برنامه کامپیوتری است که یک بازیگر (عامل) موجود در یک محیط را شبیه‌سازی می‌کند. این بازیگر اطلاعاتی را درباره محیط خود دریافت می‌کند و اهدافی دارد. همچنین قادر است اقداماتی برای تغییر محیط پیرامون و تحقق اهداف خود انجام دهد. علاوه بر این، یک عامل می‌تواند اطلاعاتی را از سایر عامل‌ها دریافت کرده و با آن‌ها تعامل برقرار کند (Zechman، ۲۰۰۷). بنابراین شبیه‌سازی عامل بنیان، بیان صریح و خاصی را از رفتار هر فرد یا عامل موجود در سیستم شبیه‌سازی‌شده با سایر تکنیک‌های شبیه‌سازی میکرو به اشتراک می‌گذارد و با ایجاد عامل‌ها و محیطی که در آن با یکدیگر تعامل می‌کنند، آغاز می‌شود و با تجزیه و تحلیل رفتار تجمعی مشاهده‌شده، پایان می‌یابد (López-Paredes و همکاران، ۲۰۰۵). توصیف شفاف و روشن از شبیه‌سازی‌ها به‌گونه‌ای که سایر محققان بتوانند یک شبیه‌سازی را درک کنند، موضوع مهمی در پیشرفت علمی و استفاده از شبیه‌سازی‌های پیچیده (از جمله مدل‌های عامل بنیان) است. این موضوع می‌تواند: (۱) به ارزیابی و درک کاملی از نتایج شبیه‌سازی برای خوانندگانی که شبیه‌سازی‌ها را برای بررسی و تجزیه و تحلیل با محققان دیگر تکرار می‌کنند، منجر شود؛ (۲) به انتقال دانش لحاظ‌شده در شبیه‌سازی‌ها، از یک دامنه (حوزه) به دامنه دیگر کمک کند؛ و (۳) امکان شبیه‌سازی‌ها برای مقایسه بهتر را فراهم کند که این موضوع، به‌نوبه خود عامل مهمی برای استفاده دقیق‌تر و مفیدتر از شبیه‌سازی‌ها است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷). برخلاف اهمیت شفافیت در نحوه ایجاد و ساختار مدل‌های عامل بنیان به‌منظور توسعه آن‌ها در تحقیقات بعدی، تا سال ۲۰۰۶ هیچ رویه^۷ استاندارد برای توصیف چنین مدل‌های شبیه‌سازی‌ای وجود نداشت که این امر می‌توانست درک و بازتولید آن‌ها را دشوار کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). در نتیجه، مدل‌سازی‌های انجام‌شده دو کاستی اساسی داشتند که به شرح ذیل می‌باشد (Müller و همکاران، ۲۰۱۳):

(۱) استدلال در مورد انتخاب یک مدل تصمیم‌گیری انسانی خاص، اغلب به‌خوبی مستند نبود و مبانی تجربی یا تئوری کافی برای آن ارائه نمی‌شد و یا مدل تصمیم‌گیری فقط براساس مورد خاص تحقیق (بدون کاربرد در دیگر مدل‌ها) صورت گرفته بود؛ درحالی‌که تصمیم‌گیری در مدل‌های عامل بنیان می‌تواند مبتنی بر تئوری‌های مختلف باشد؛ از جمله تئوری انتخاب عقلانی^۱ و عقلانیت محدود^۲ (ارائه رویه $ODD+D$ تا حد زیادی به حل این مشکل کمک کرد)؛ و (۲) اغلب مدل به‌طور شفاف (واضح و کاملی) توصیف نشده بود تا امکان بازتولید مدل را فراهم و ارتباطات مدل و نتایج آن را تسهیل کند که این موضوع، مقایسه مدل و پیشرفت آن را تا حد زیادی مختل می‌کرد. ازاین‌رو، مدل‌های اولیه عامل بنیان، به‌دلیل مستندسازی ضعیف بسیار مورد انتقاد قرار گرفته بودند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

در این راستا و باتوجه‌به اهمیت موضوع، تلاش‌های متعددی در زمینه ایجاد یک چارچوب، طرح طبقه‌بندی‌شده و یا رویه استاندارد در علوم اجتماعی و کاربری اراضی، برای ارائه و توصیف مدل‌های عامل بنیان انجام شد (Müller و همکاران، ۲۰۱۳)، از جمله: ارائه یک ساختار طبقه‌بندی‌شده براساس سه الزام اجتماعی-اکولوژیکی در مدل‌های عامل بنیان (Hare و Deadman، ۲۰۰۴)، ارائه یک فرآیند سه مرحله‌ای (Richiardi و همکاران، ۲۰۰۶) و ارائه چارچوبی تحت‌عنوان "MR POTATOHEAD" (Parker و همکاران، ۲۰۰۸). اما در این بین، رویه استانداردسازی شده‌ای برای توصیف مدل‌های فرد-محور (IBM)^{۱۲} (شامل مدل‌های عامل بنیان، شبیه‌سازی چندعامله یا سیستم‌های چند عامله) که توسط Grimm و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد شده است و تحت عنوان رویه ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات)^{۱۳} شناخته می‌شود، به خوبی مورد استقبال جامعه علمی قرار گرفته است (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). این رویه استاندارد که توسط ۲۸ مدل‌ساز با طیف گسترده‌ای از زمینه‌ها در اکولوژی، توسعه داده شده و مورد آزمایش قرار گرفته (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶)، یک طرح استاندارد برای توصیف مدل‌های فرد-محور از جمله مدل‌های عامل بنیان است؛ به‌ویژه برای مقالات ژورنالی و کنفرانسی و سایر مستندات دانشگاهی (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷). رویه ODD توسط شبکه مدل‌سازی محاسباتی برای علوم اکولوژیکی-اجتماعی (CoMSES Net)^{۱۴} و کتابخانه مرکزی آن‌ها به نام OpenABM^{۱۵} توصیه شده است (Grimm و همکاران، ۲۰۱۷).

هدف از ارائه این رویه، تلاش برای ایجاد یک فرمت عمومی و ساختاری استاندارد برای مدل‌های فرد-محور از جمله عامل بنیان بود تا به کمک آن بتوان توصیف کارآمدتر و کامل‌تری از مدل‌سازی‌ها در این حوزه داشت و بازتولید آن‌ها را ساده‌تر کرد تا نهایتاً کمتر به‌دلیل غیر علمی، مورد نقد و عدم‌پذیرش قرار گیرند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). این رویه، طیف وسیعی از حوزه‌های مرتبط با اکولوژی را

دربار می‌گیرد و نویسندگان آن در مجموع برای نوشتن آن، بیش از ۲۰۰ مقاله فرد-محور را مورد مطالعه قرار دادند و از آن‌ها در تهیه این رویه استفاده کرده‌اند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). برخلاف اینکه از ارائه نسخه اولیه این رویه بیش از یک دهه می‌گذرد، ولی در تحقیقات داخلی و بعضاً تحقیقات بین‌المللی ردپای ملموس و صحنی از بهره‌گیری از این رویه مشهود نیست (شاهنکیان و همکاران، ۱۳۹۹d). درحالی‌که Grimm و همکاران (۲۰۱۷)، اظهار کردند سرمایه‌گذاری در یادگیری و استفاده از ODD بسیار اندک است؛ اما مزایای استفاده از آن هم برای کاربران این رویه و هم برای جامعه علمی، می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد. لذا باتوجه‌به اهمیت استفاده از این رویه به‌عنوان یک استاندارد در تحقیقاتی که در ساختار مدل خود از رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان بهره می‌گیرند، در این مقاله به معرفی این رویه و سیر تحول آن در سال‌های اخیر و همچنین شرح مفصل آن در نسخه‌های متعدد پرداخته می‌شود. به‌این‌منظور در بخش دوم این مقاله، رویه ODD در نسخه‌های ۲۰۰۶ (نسخه اولیه) و ۲۰۱۰ (نسخه به‌روزرسانی‌شده) بررسی و شرح کاملی از عنصر^{۱۶}‌های مختلف این رویه بیان می‌شود. در ادامه و در بخش سوم، نسخه جدید این رویه تحت عنوان $ODD+D$ که در سال ۲۰۱۳ ارائه شده است، بررسی می‌شود. هدف از نسخه جدید، توسعه و اصلاح رویه به‌منظور ایجاد استاندارد برای توصیف مدل‌های عامل بنیان بود؛ به‌نحوی که تصمیم‌گیری انسانی را درون خود لحاظ کند (Müller و همکاران، ۲۰۱۳). شرح کامل عنصرهای نسخه ۲۰۱۰ این رویه، به‌منظور آشنایی کامل با مفهوم هریک از عنصرها، دلیل و نحوه استفاده از آنها بوده که در نسخه ۲۰۱۳ نیز، با اندکی تغییرات ولی با حفظ مفاهیم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین به‌منظور درک عمیق‌تر و مؤثرتری از مطالب ارائه‌شده در این مقاله و بیان شفاف‌تر و کارآمدتر از این رویه در نسخه‌های مختلف آن، سه پیوست شامل سوالات راهنمای نسخه به‌روز شده رویه ODD (پیوست A)، الگو (فرمت) راهنمای استفاده از رویه $ODD+D$ در مقالات (پیوست B) و نمونه‌ای از کاربرد این رویه در مقالات گذشته در حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری، به همراه نقد و بررسی آن (برگرفته از شاهنکیان و همکاران، ۱۳۹۹d) و اشاره به تعدادی از مقالاتی که در این حوزه از رویه ODD یا $ODD+D$ بهره گرفته‌اند (پیوست C)، ارائه شده است.

رویه ODD (مرور اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات)

همانطور که اشاره شد، Grimm و همکاران (۲۰۰۶) نسخه اولیه رویه ODD را در سال ۲۰۰۶ به‌عنوان استاندارد برای توصیف مدل‌های فرد-محور از جمله مدل‌های عامل بنیان، مطرح کردند. این نسخه رویه از سه دسته^{۱۷} (جزء اصلی) شامل: (۱) بررسی اجمالی^{۱۸}، (۲) مفاهیم طراحی^{۱۹} و (۳) جزئیات^{۲۰} و هفت عنصر (جزء

فرعی) شامل: (۱) هدف^{۲۱}، (۲) متغیرهای حالت و مقیاس‌ها^{۲۲}، (۳) فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی^{۲۳}، (۴) مفاهیم طراحی (شامل ۹ زیر عنصر)، (۵) ورودی‌سازی (مقادیر اولیه)^{۲۴}، (۶) ورودی^{۲۵} و (۷) زیرمدل‌ها^{۲۶} تشکیل شده است. در این رویه دسته اول، یعنی بررسی اجمالی، شامل سه عنصر (۱) هدف، (۲) متغیرهای حالت و مقیاس‌ها و (۳) فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی است که مروری بر ساختار و هدف کلی از مدل را فراهم می‌کند. با مطالعه این بخش، به سرعت می‌توان از تمرکز مدل، دقت و پیچیدگی آن ایده گرفت. پس از بررسی اجمالی، می‌توان به ساختار و بدنه برنامه‌ای که مدل فرد-محور (IBM) را در محیط یک زبان برنامه‌نویسی شی‌گرا (OOP)^{۲۷} اجرا می‌کند، اشاره کرد. این بدنه، شامل بیان تمامی اشیا (کلاس‌ها) است که موجودیت‌های مدل (انواع مختلف افراد یا محیط‌ها) و فرآیندهای برنامه‌ریزی مدل را توصیف می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). دسته دوم، یعنی مفاهیم طراحی که به‌عنوان عنصر نیز در این رویه حضور دارد و شامل ۹ زیر عنصر است، خود مدل را توصیف نمی‌کند؛ بلکه مفاهیم کلی را که اساس و زیربنای طراحی مدل هستند، شرح می‌دهد. هدف از این دسته از رویه ODD، پیوند طراحی مدل با مفاهیم کلی شناخته‌شده در زمینه سیستم‌های انطباق‌پذیر پیچیده است. این مفاهیم شامل سؤالاتی است در مورد بروز (ظهور)، نوع تعاملات بین افراد، چه افرادی را برای پیش‌بینی‌ها در مورد شرایط آینده باید در نظر گرفت، یا اینکه چرا و چطور تصادفی بودن در نظر گرفته می‌شود. با اشاره به این چنین مفاهیمی از طراحی کلی، هر مدل فرد-محور از جمله عامل بنیان درون یک چارچوب بزرگتر از علم سیستم‌های سازگار پیچیده تلفیق و ادغام می‌شود. دسته سوم این رویه یعنی جزئیات، شامل سه عنصر (۱) ورودی‌سازی، (۲) ورودی و (۳) زیرمدل‌ها است که جزئیات نادیده گرفته‌شده در دسته بررسی اجمالی را نشان می‌دهد. در این دسته باید زیرمدل‌هایی که فرآیندهای مدل را اجرا می‌کنند، با جزئیات توضیح داده شوند. استفاده از رویه ODD، به معنای استفاده دقیق از این شناسه‌ها و به همان ترتیبی است که توسط این رویه مشخص شده است؛ یعنی ابتدا محتوا و اطلاعات کلی مدل (بررسی اجمالی)، سپس ملاحظات استراتژیک‌تر (مفاهیم طراحی) و در نهایت جزئیات فنی‌تر (جزئیات) ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

در ادامه Grimm و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی کاربردهای موجود از نسخه اولیه رویه ODD، بخش‌هایی از این رویه را که نیازمند بهبود و شفاف‌سازی بودند، شناسایی و در سال ۲۰۱۰ نسخه به‌روزرسانی‌شده این رویه را ارائه کردند. در این ارزیابی تمامی مقالات انتشار یافته در پایگاه علمی Web of Science که به نسخه اولیه این رویه ارجاع داده‌اند، به لحاظ اینکه آیا فرمت این رویه که شامل استفاده دقیق از شناسه‌ها و توالی همه هفت عنصر آن (نسخه اولیه رویه ODD) است به‌طور کامل رعایت و

دنبال شده است یا خیر، بررسی و ارزیابی شدند. بنابراین در این بررسی، هریک از عنصرهای رویه بر مبنای استفاده یا عدم استفاده، استفاده صحیح یا غلط و غیره از نسخه اولیه رویه ارزیابی شدند. با بررسی‌های انجام‌شده، نسخه به‌روزرسانی‌شده رویه ODD برای رفع مشکلات و ابهامات نسخه اولیه این رویه، جایگزین آن شده و نسخه قبلی منسوخ شد؛ اگرچه هدف اصلی و منطق ارائه‌شده در نسخه اولیه این رویه، کماکان معتبر است. به‌منظور روشن شدن تفاوت بین عنصرهای اشاره شده در دو نسخه این رویه، جدول (۱) ارائه و در ادامه، هریک از عنصرهای نسخه به‌روز شده این رویه (یعنی نسخه ۲۰۱۰) بر مبنای مراجع Grimm و همکاران (۲۰۰۶) و (۲۰۱۰) شرح داده شده‌اند. براساس توصیه ارائه‌دهندگان این رویه برای استفاده از رویه ODD در تحقیقات، باید به‌صورت زیر به آن ارجاع داده شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰): "توصیف مدل، رویه ODD (بررسی اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات) را دنبال می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰)^{۲۸}. مزایای بارز رویه ODD عبارتند از (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰): (۱) ترویج فرمولاسیون دقیق از مدل، (۲) تسهیل بررسی و مقایسه مدل‌های عامل بنیان با یکدیگر و (۳) ترویج رویکردهای جامع‌تر به مدل‌سازی و تئوری. نسخه به‌روزرسانی‌شده این رویه، هر عنصر را به‌وسیله سؤالات و توضیحاتی بررسی می‌کند که در ادامه مقاله به‌طور کامل شرح داده شده است.

۱- هدف

هدف کلی تحقیق از انجام مدل‌سازی عامل-محور چیست؟ هر مدل باید از یک سوال، مشکل یا فرضیه واضح و روشن شروع شود. بنابراین، رویه ODD با شرح مختصری از هدف یا اهداف کلی توسعه مدل شروع می‌شود. در اینجا، در ارتباط با نحوه عملکرد مدل توضیحی داده نمی‌شود و فقط کاربرد آن بیان می‌شود. براساس توصیه ارائه‌دهندگان این رویه، بهتر است نویسندگان به این عنصر در بخش مقدمه و پاراگرافی مستقل از توضیحات هدف کلی مقاله اشاره کنند (در واقع منظور این است که هدف ساخت مدل عامل بنیان، به‌صورت جداگانه از هدف کل مقاله در پاراگرافی مستقل، اما در بخش مقدمه ارائه شود)؛ زیرا خود این رویه، مستقلاً (و نه در ارتباط با کل مقاله) باید کامل و قابل‌فهم باشد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). بدون ارائه هدف مدل، نمی‌توان درک کرد که چرا برخی جنبه‌های واقعیت در مدل گنجانده و در مقابل، برخی دیگر نادیده گرفته شده‌اند. همچنین، داشتن یک فرمولاسیون شفاف، مختصر و خاص از هدف مدل، بسیار مهم است؛ زیرا این امر، به اینکه چرا در یک تحقیق نیاز به ایجاد یک مدل پیچیده وجود دارد و نویسندگان قرار است با مدل خود چه کاری را انجام دهند، کمک می‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۱- تفاوت‌های بین عنصرهای نسخه اولیه رویه ODD و نسخه به‌روز شده آن (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)

دسته Blocks	عنصرها در نسخه اولیه رویه ODD Elements of the original ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶)	عنصرها در نسخه به‌روز شده رویه ODD Elements of the updated ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)
بررسی اجمالی (Overview)	هدف (Purpose)	هدف (Purpose)
	متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (State variables and scales)	موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (Entities, state variables, and scales)
	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)
مفاهیم طراحی (Design concepts)	مفاهیم طراحی (Design concepts)	اصول اساسی (Basic principles)
		بروز (Emergence)
		پذیرش (Adaptation)
		اهداف (Objectives)
		یادگیری (Learning)
		پیش‌بینی (Prediction)
		حس کردن یا سنجیدن (Sensing)
		تعامل (Interaction)
		تصادفی بودن (Stochasticity)
		گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)
		مشاهده (Observation)
		-
جزئیات (Details)	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)
	ورودی (Input)	داده‌های ورودی (Input data)
	زیرمدل‌ها (Submodels)	زیرمدل‌ها (Submodels)

۲- موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها

چه نوع موجودیت‌هایی در مدل وجود دارند؟ این موجودیت‌ها، به‌وسیله چه متغیرهای حالت یا خصوصیات توصیف می‌شوند؟ دقت و گستره زمانی و مکانی مدل چیست؟ یک موجودیت، یک شیء یا بازیگر متمایز یا مجزا است که به‌عنوان یک واحد رفتار می‌کند و ممکن است با دیگر موجودیت‌ها در تعامل باشد یا تحت تأثیر عوامل محیطی بیرونی قرار بگیرد. وضعیت فعلی یک موجودیت، توسط متغیرهای حالت یا خصوصیات آن مشخص می‌شود. یک متغیر حالت یا خصوصیت، متغیری است که یک موجودیت را از سایر موجودیت‌های همان نوع یا دسته متمایز می‌کند و یا چگونگی تغییر آن با گذشت زمان را ردیابی می‌کند. علاوه بر این، توضیح این عنصر باید روشن کند که متغیرهای حالت می‌توانند شامل چه ویژگی‌های رفتاری و پارامترهایی از مدل باشند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). متغیرهای حالت می‌توانند در طول زمان تغییر کنند (وزن) و یا ثابت باقی بمانند (جنس). متغیرهای حالت باید در سطوح پایین یا ابتدایی تعریف شوند، به این معنا که آن‌ها را نتوان توسط متغیرهای حالت دیگر محاسبه کرد؛ زیرا آن‌ها مشخصات

ابتدایی موجودیت‌های مدل هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). موضوع مهم این است که نباید متغیرهای سطوح پایین را با متغیرهای کمکی یا تجمعی اشتباه گرفت. متغیرهای کمکی اطلاعاتی هستند که از موجودیت‌ها در سطوح پایین و از طریق متغیرهای حالت آن‌ها، استنباط و تجمیع می‌شود. انواع موجودیت‌های مدل عامل بنیان عبارتند از (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰):

- **عامل‌ها یا افراد:** یک مدل می‌تواند انواع مختلفی از عامل‌ها را داشته باشد، مانند ارگانیسم‌ها، انسان‌ها یا نهادها. در یک نوع مشخص می‌تواند زیر گروه‌هایی نیز وجود داشته باشد؛ برای نمونه انواع گیاهان و یا مراحل مختلف زندگی حیوانات.

- **واحدهای مکانی (مانند سلول‌های شبکه):** نمونه‌ای از متغیرهای حالت شامل موارد زیر است: مکان (موقعیت)، لیستی از عامل‌های موجود در سلول و توصیف‌کننده‌های شرایط محیطی که توسط سلول نمایش داده می‌شوند. در نقش‌ها امکان وجود هم‌پوشانی نیز، وجود دارد؛ برای نمونه یک سلول از شبکه ممکن است موجودیتی با ویژگی‌های خود باشد (مثل رطوبت خاک) و در عین حال، به‌عنوان یک مکان، ویژگی و یا ارگانیسم شناخته شود.

- گروهی از موجودیت‌ها^{۲۹}: گروه‌هایی از عامل‌ها هستند که می‌توانند رفتارهای خاص خود را داشته باشند، به‌طوری‌که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان موجودیت‌ها تفکیک کرد (مانند خانوارها). معمولاً یک گروه به‌وسیله لیستی از عامل‌های خود و اقدامات خاصی که تنها توسط آن‌ها انجام می‌شود، توصیف می‌شود و توسط موجودیت‌های سازنده آن‌ها توصیف نمی‌شود.

- محیط: درحالی‌که واحدهای مکانی اغلب نشان‌دهنده شرایط محیطی‌ای هستند که در طول مکان تغییر می‌کند، این موجودیت به محیط کلی یا محرک‌هایی اشاره دارد که باعث بروز رفتار و پویایی در همه عامل‌ها یا سلول‌های شبکه است. نمونه‌هایی از متغیرهای محیطی عبارتند از: دما، بارندگی، قیمت و تقاضای بازار و غیره. طول گام و افق زمانی، اندازه سلول‌ها و گستره دنیای مدل و دلیل انتخاب این مقیاس‌ها، باید به‌طور خلاصه بیان شود؛ زیرا انتخاب مقیاس، تصمیمی اساسی است که تعیین‌کننده طراحی کل مدل است. به‌عنوان نمونه یک گام زمانی، می‌تواند یک سال را نشان دهد و شبیه‌سازی‌ها برای ۱۰۰ سال اجرا شود و یک سلول شبکه می‌تواند، یک هکتار را نشان دهد و چشم‌انداز محیطی مدل شامل 1000×1000 هکتار (۱۰ هزار کیلومتر مربع) باشد (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

۳- فرآیند مرور اجمالی و برنامه‌ریزی

چه کسی (موجودیتی)، چه کاری را و به چه ترتیبی انجام می‌دهد؟ چه زمانی متغیرهای حالت به‌روز می‌شوند؟ زمان در مدل به چه نحوی مدل‌سازی شده است، به‌صورت زمان گسسته یا به‌عنوان زنجیره‌ای پیوسته که در طول آن هر دو فرآیند پیوسته و گسسته می‌تواند اتفاق بیفتد؟ بهتر است از یک شبه‌کد^{۳۰} (توضیحی از قاعده عملکرد یک برنامه کامپیوتری یا الگوریتمی بدون به‌کار بردن یک زبان برنامه‌نویسی خاص) برای توصیف برنامه‌ریزی با تمام جزئیات استفاده شود تا بتوان به کمک آن، دوباره مدل را اجرا کرد. "مدل" چه می‌کند؟ این اولین سوالی است که به فرآیندهای مدل اشاره دارد. در این عنصر از ODD فقط باید نام‌های خود-توضیح‌دهنده^{۳۱} از فرآیندهای مدل لیست شوند. این اسامی عناوینی از زیرمدل‌هایی هستند که در آخرین عنصر از ODD، یعنی عنصر زیرمدل‌ها شرح داده می‌شوند. فرآیندها هم توسط یکی از موجودیت‌های مدل (مثل حرکت) و هم به‌وسیله یک کنترل‌گر در سطوح بالاتر که وظایفی مانند به‌روزرسانی برنامه‌ها یا نوشتن خروجی بر روی فایل‌ها را به عهده دارند (بستر نرم‌افزاری ABM مانند Swarm و NetLogo)، انجام می‌شوند. سوال "به چه ترتیبی؟" هم به‌ترتیب اجرای فرآیندهای مختلف و هم به‌ترتیب انجام یک فرآیند توسط مجموعه‌ای از عوامل، اشاره می‌کند. سؤال "چه زمانی متغیرها به‌روزرسانی می‌شوند؟" به این مفهوم است که آیا یک متغیر حالت بلافاصله بعد از اینکه مقدار آن توسط یک فرآیند محاسبه شد، مقدار جدیدی به آن اختصاص

داده می‌شود (به‌روزرسانی غیرهم‌زمان)، یا اینکه آیا مقادیر جدید ذخیره می‌شوند تا زمانی‌که همه عامل‌ها این فرآیند را انجام دهند و سپس همه به یکباره به‌روز می‌شوند (به‌روزرسانی هم‌زمان). در تعریف برنامه‌ریزی مدل، نیاز به مشخص کردن نوع مدل‌سازی زمان در صورتی‌که در عنصرهای موجودیت‌ها، متغیرها و مقیاس‌ها مشخص نباشد، وجود دارد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

۴- مفاهیم طراحی

• اصول اساسی^{۳۲}

کدام مفاهیم عمومی، نظریه‌ها (تئوری‌ها)، فرضیه‌ها یا رویکردهای مدل‌سازی، پایه و اساس طراحی مدل را تشکیل می‌دهند؟ باید در مورد رابطه بین این اصول اساسی، پیچیدگی گسترش‌یافته در این مدل و هدف از مطالعه توضیح داده شود. آن‌ها چگونه لحاظ می‌شوند؟ آیا در سطح زیرمدل‌ها به‌کار گرفته می‌شوند یا دامنه آن‌ها، سطح (کل) سیستم است؟ آیا این مدل دیدگاه‌هایی درباره اصول اساسی خود آن‌ها، یعنی دامنه، کاربرد و فایده آن‌ها در سناریوهای دنیای واقعی، اعتبارسنجی و یا اصلاح آن‌ها را ارائه می‌دهد؟ آیا این مدل از تئوری جدید یا تئوری‌ای که قبلاً توسعه‌یافته برای خصوصیات عامل‌ها که پویایی سیستم^{۳۳} از آن بروز می‌کند، استفاده می‌کند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• بروز (ظهور)^{۳۴}

کدام پدیده در سطح سیستم واقعاً از صفات یا رفتارهای تطبیق‌پذیر افراد بروز می‌کند و کدام یک تنها به مدل تحمیل می‌شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). به‌عبارت دیگر، هنگامی که ویژگی‌ها و مشخصات خاصی از افراد یا محیط آن‌ها تغییر می‌کند، چه نتایجی از مدل در روش‌های پیچیده و شاید غیرقابل پیش‌بینی، انتظار می‌رود تفاوت داشته باشند؟ آیا نتایج دیگری وجود دارد که به‌شدت تحت تأثیر قوانین مدل باشد و کمتر به اقدامات افراد وابسته باشد و به این ترتیب به‌جای نتایج بروز یافته (نوظهور)، نتایج ناشی از ساختار از پیش ساخته‌شده برای آن باشند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• پذیرش^{۳۵}

افراد در مدل چه خصوصیات تطبیق‌پذیری دارند که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، می‌تواند سازگاری^{۳۶} بالقوه آن‌ها را در پاسخ به تغییرات در خود آن‌ها یا محیط آن‌ها بهبود بخشند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). چه قوانینی برای تصمیم‌گیری یا تغییر رفتار آن‌ها در پاسخ به تغییرات در خود آن‌ها یا محیط آن‌ها وجود دارد؟ آیا این صفات به‌طور صریح (مستقیم) به‌دنبال افزایش برخی از معیارهای موفقیت فردی، با توجه به اهدافشان هستند؟ یا در عوض، آیا این صفات صرفاً باعث می‌شوند که افراد رفتارهای مشاهده‌شده‌ای را تکرار (بازتولید) کنند که به‌طور ضمنی (غیر مستقیم) فرض می‌شود موفقیت یا سازگاری را منتقل می‌کنند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• اهداف^{۳۷}

اگر صفات تطبیقی به طور صریح منجر به افزایش برخی از معیارهای موفقیت افراد در رسیدن به بعضی از اهداف شوند، این اهداف به درستی چه هستند و چگونه اندازه گیری می شوند؟ افراد چه زمانی به وسیله گزینه های رتبه بندی شده تصمیم گیری می کنند و از چه معیارهایی برای تصمیم گیری استفاده می کنند؟ برخی از مترادف ها برای اهداف عبارتند از: (۱) سازگاری و (۲) مطلوبیت^{۳۸} (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• یادگیری^{۳۹}

بسیاری از افراد یا عامل ها (نه تنها افراد، بلکه سازمان ها و غیره) به دلیل تجربیات خود، صفات تطبیقی خود را با گذشت زمان تغییر می دهند. اگر چنین است، باید نحوه و چگونگی آن توضیح داده شود؟ (آیا فرآیند یادگیری در مدل سازی وجود دارد؟) (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• پیش بینی^{۴۰}

پیش بینی، برای تصمیم گیری موفق اساسی و واجب است. اگر صفات تطبیقی یا فرآیندهای یادگیری عامل ها مبتنی بر تخمین عواقب آینده ناشی از تصمیمات آنها باشند، عامل ها چگونه شرایطی را که در آینده تجربه خواهند کرد (چه محیط و چه خود عامل ها) را پیش بینی می کنند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). بهتر است اشاره شود که عامل ها از چه مدل های داخلی برای تخمین شرایط آینده یا عواقب ناشی از تصمیمات خود استفاده می کنند؟ به چه پیش بینی های ضمنی یا پنهانی در فرضیات این مدل داخلی اشاره شده است؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• حس کردن (سنجیدن)^{۴۱}

چه متغیرهای حالت داخلی و محیطی فرض شده تا افراد در تصمیمات خود احساس کنند و در نظر بگیرند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). چه متغیرهای حالتی را از دیگر افراد و موجودیت ها می توانند درک کنند؟ احساس کردن اغلب به صورت محلی فرض می شود، اما می تواند از طریق شبکه ها اتفاق بیفتد یا حتی می توان فرض کرد در سطح جهانی است. اگر عامل ها یکدیگر را از طریق شبکه های اجتماعی^{۴۲} احساس کنند، ساختار شبکه تحمیل شده یا بروز یافته است؟ آیا مکانیسم هایی وجود دارد که به وسیله آن، عامل ها اطلاعاتی که به صورت صریح مدل سازی می شوند را به دست آورند، یا فرض بر این است که افراد به سادگی از این متغیرها اطلاع دارند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• تعامل^{۴۳}

چه نوع تعاملاتی بین عامل ها یا افراد فرض می شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). آیا تعاملات مستقیمی وجود دارد که در آن افراد با دیگران مواجه شوند و آن ها را تحت تأثیر قرار دهند یا تعاملات غیرمستقیم است؟ اگر تعاملات شامل ارتباطات باشند، چگونه چنین ارتباطاتی نمایش داده می شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• تصادفی بودن^{۴۴}

آیا تصادفی بودن، بخشی از مدل است؟ دلایل آن ها چیست؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). چه فرآیندهایی با فرض اینکه تصادفی یا تا حدی تصادفی هستند، مدل می شوند؟ آیا از تصادفی بودن به عنوان نمونه برای باز تولید تغییرپذیری در فرآیندهایی که برای مدل سازی دلایل واقعی تغییرپذیری مهم نیستند، استفاده می شود؟ آیا آن برای ایجاد وقایع مدل یا رفتارهایی که با فرکانس مشخص اتفاق می افتند، استفاده می شود؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• گروهی از موجودیت ها (تجمع-اجتماع)

آیا افراد اجتماعی را تشکیل می دهند یا متعلق به تجمعاتی هستند که بر دیگر افراد تأثیرگذار باشند و یا تحت تأثیر آن ها قرار گیرند؟ چنین تجمعاتی می توانند یک سطح واسطه مهم از سازمان در یک مدل عامل بنیان باشند. چگونه اجتماعات نمایش داده می شوند؟ آیا یک اجتماع خاص یک مشخصه بروز یافته از افراد است که در نتیجه رفتارهای فردی گرد آمده اند، یا اجتماعی است که صرفاً توسط مدل ساز تعریف شده است؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

• مشاهده^{۴۵}

چه داده هایی از مدل عامل بنیان برای آزمون، درک و تجزیه و تحلیل آن جمع آوری می شود و چگونه و چه زمانی جمع آوری می شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). آیا همه داده های خروجی، آزادانه استفاده می شوند یا فقط از داده های خاصی برای الگوبرداری از آنچه می توان در یک مطالعه تجربی مشاهده کرد، نمونه برداری شده و استفاده می شود؟ عنصر "مفاهیم طراحی" در رویه ODD اگرچه به مشخصات قطعی مدل عامل بنیان منجر می شود، نیاز به تکرار مدل ندارد. همچنین مفاهیم طراحی برای تفسیر خروجی های مدل بسیار حیاتی هستند؛ زیرا خروجی ها را نمی توان صرفاً با روش های قدیمی مانند معادلات و نمودارها تفسیر کرد. بنابراین، این مفاهیم در رویه ODD قرار داده شده که به صورت چک لیستی به اطمینان از تصمیمات طراحی کمک کند و خوانندگان را از این تصمیمات آگاه سازد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

۵- ورودی سازی (مقادیر اولیه)

وضعیت اولیه دنیای مدل، یعنی در زمان $t=0$ از اجرای شبیه سازی چگونه است؟ چگونه محیط و افراد ایجاد شده در شروع شبیه سازی، اجرا می شوند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)، یعنی با ذکر جزئیات اشاره شود، چند موجودیت و از چه نوعی، در ابتدای شبیه سازی وجود دارند و مقادیر دقیق متغیرهای حالت آن ها چه هستند؟ آیا مقادیر اولیه همواره یکسان هستند یا مجاز است که در طول شبیه سازی ها متفاوت باشند (تغییر کنند)؟ آیا مقادیر اولیه به طور اختیاری انتخاب می شوند یا براساس داده ها هستند؟ اطلاعات مربوط به داده ها باید ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰).

۶- داده‌های ورودی

آیا این مدل از منابع خارجی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (به‌عنوان نمونه فایل‌های داده یا مدل‌های دیگر برای نشان دادن فرآیندهایی که تحت تأثیر گذشت زمان تغییر می‌کنند)؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). در مدل‌های سیستم‌های واقعی، پویایی اغلب از یک سری زمانی از متغیرهای محیطی که در فضا و زمان تغییر می‌کنند و گاهی محرک‌های (فشارهای) خارجی نامیده می‌شوند، نشأت گرفته می‌شود. به‌عنوان نمونه، بارندگی سالانه ممکن است با گذشت زمان (فصول یا سال‌ها) و تغییر در مکان (الگوهای مکانی مختلف بارندگی در مناطق مختلف) تغییر کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). نشأت گرفتن (ایجاد محرک) به این معنی است که یک یا چند متغیر حالت یا فرآیندها، تحت تأثیر چگونگی تغییر این متغیرهای محیطی با گذشت زمان قرار می‌گیرند، اما این متغیرهای محیطی خود تحت تأثیر متغیرهای داخلی مدل نیستند. از طرف دیگر از مدل‌های خارجی می‌توان برای تولید ورودی (به‌عنوان نمونه یک سری زمانی) استفاده کرد (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). خوانندگان باید بدانند از چه داده‌های ورودی استفاده می‌شود، چگونه این داده‌ها تولید می‌شوند و چگونه می‌توان آن‌ها را به‌دست آورد (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶). اگر مدلی نیز از داده‌های خارجی استفاده می‌کند، با این حال در مقاله باید به عدم استفاده از آن اشاره شود. باید توجه داشت داده ورودی به مقادیر پارامتر یا مقادیر اولیه متغیرهای حالت اشاره نمی‌کند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)؛ بلکه این شرایط محیطی به‌عنوان ورودی مدل، پویایی تحمیل‌شده‌ای از متغیرهای حالت خاص به مدل هستند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶).

۷- زیرمدل‌ها

تمام زیرمدل‌هایی که فرایندهای ذکر شده در عنصر فرآیند بررسی اجمالی و برنامه‌ریزی را نشان می‌دهند، باید با ذکر جزئیات و به تفصیل بیان شود که چه مواردی را شامل می‌شوند؟ (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰). پارامترهای مدل، ابعاد و مقادیر مرجع آن‌ها چیست؟ چگونه زیرمدل‌ها طراحی یا انتخاب شده‌اند و چگونه پارامتری می‌شوند و سپس مورد آزمایش قرار می‌گیرند؟ زیرمدل‌ها باید با ذکر جزئیات و به‌طور کامل ارائه شوند. توضیحات عملی زیرمدل‌ها، یعنی معادله‌ها و الگوریتم‌ها، در ابتدا باید ذکر شوند و به‌صورت کاملاً آشکار، از اطلاعات اضافی جدا شوند. اینکه زیرمدل از چه مدل قبلی گرفته شده یا اینکه آیا زیرمدل جدیدی فرمول‌بندی و ارائه شده و دلیل انتخاب آن چه بوده است، می‌تواند توضیح داده شود. اگر پارامتری کردن در خارج از توضیحات ODD بحث نشده باشد، می‌تواند در اینجا گنجانده و ارائه شود. تعاریف پارامترها، واحدها و مقادیر مورد استفاده (در صورت لزوم) باید در جدولی ارائه شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

رویه ODD+D (ODD+Decision)

باتوجه به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل‌سازی عامل بنیان، Müller و همکاران (2013) نسخه جدیدی از رویه ODD تحت عنوان ODD+D (ODD+Decision) را خاص مدل‌سازی‌های عامل بنیان توسعه داده و ارائه کردند تا تصمیم‌گیری انسانی را نیز دربرگیرد. هدف نسخه جدید این رویه، توسعه و اصلاح رویه ODD به‌منظور ایجاد استاندارد برای توصیف مدل‌های عامل بنیان بود؛ به‌نحوی که توصیف شفاف و جامعی را از مدل‌های عامل بنیان به روشی استاندارد، با تأکید بر تصمیمات انسانی فراهم کرده و مبانی تجربی و نظری برای انتخاب مدل تصمیم‌گیری را درون مدل لحاظ کند. ایده اصلی از ارائه رویه ODD+D، حفظ ساختار اصلی رویه ODD (که به همین علت در بخش دوم مقاله، به شرح کامل دسته‌ها و عنصرهای رویه ODD پرداخته شد) و تقویت ساختار آن به‌عنوان یک استاندارد است. تغییرات انجام‌شده در رویه ODD+D، عمدتاً در دسته (جزء اصلی) مفاهیم طراحی بوده که در ادامه مقاله به شرح آن پرداخته می‌شود. علاوه بر این، بخشی نیز به‌عنوان "پیش‌زمینه نظری و تجربی" به این رویه اضافه شده است تا طراحی‌ها و فرضیات مدل را به‌گونه‌ای ترغیب کند که ارتباط نزدیک‌تر و بیشتری با تئوری داشته باشند. علاوه بر این در این رویه، مفاهیم طراحی و سؤالات راهنمای مرتبط با عنصرها مورد بازبینی قرار گرفته، گسترش یافته و بازتنظیم شده است تا تصمیم‌گیری، سازگاری و یادگیری عامل‌ها را به شکلی جامع و ساختاری واضح، متمایز و توصیف کند (Müller و همکاران، 2013). براساس Müller و همکاران (۲۰۱۳)، رویه ODD توصیف مناسبی از نحوه و چگونگی مدل‌سازی تصمیم‌گیری انسانی را ارائه نمی‌دهد، زیرا در آن: 1- به جنبه‌های اصلی مدل‌سازی تصمیم‌گیری انسانی، از جمله الگوریتم‌های تصمیم‌گیری، شکل‌گیری انتظار، خصوصیات زمانی تصمیم‌گیری و غیره، صراحتاً پرداخته نشده است؛ 2- تأکید کافی بر مبانی نظری و تجربی برای زیرمدل‌های تصمیم‌گیری انتخاب‌شده، وجود ندارد؛ و 3- بخش مفاهیم طراحی، ساختار مناسبی برای توصیف تصمیم‌گیری انسانی ارائه نمی‌دهد.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، این رویه به‌منظور در نظر گرفتن تصمیمات انسانی در مدل‌های پیچیده عامل بنیان طراحی و توسعه داده شده است. هرچند برای عامل‌های غیرانسانی، بدون هیچ‌گونه محدودیتی برای توصیف اقدامات شبیه‌سازی‌شده آن‌ها قابل استفاده است. علاوه بر این در این رویه مفاهیمی که ابهام دارند، براساس تعریف Müller و همکاران (۲۰۱۳) به شرح زیر ارائه شده است:

- **عامل:** یک عامل، به‌عنوان داده‌ها و روش‌های رفتاری دسته‌بندی شده‌ای که نشان‌دهنده موجودیتی است که بخشی از یک دنیای محاسباتی را تشکیل می‌دهد، تعریف می‌شود.
- **تصمیم‌گیری:** اشاره به روش‌هایی دارد که عامل‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند تا درباره رفتارهایشان تصمیم‌گیری کنند.

- سازگاری و یادگیری: سازگاری، قوانین تصمیم‌گیری عامل‌ها است و جایی رخ می‌دهد که اطلاعات توسط قوانین برای تولید تغییرات در تصمیم، استفاده می‌شوند و یادگیری، جایی اتفاق می‌افتد که قوانین خودشان با گذشت زمان، تغییر می‌کنند.

- موجودیت‌ها و متغیرهای حالت: یک موجودیت، یک شیء یا بازیگر مجزا یا متمایز است که به‌عنوان یک واحد رفتار می‌کند و می‌تواند با موجودیت‌های دیگر در تعامل باشد یا تحت تأثیر عوامل بیرونی (محرک‌ها) قرار گیرد. وضعیت فعلی یک عامل، با متغیرهای حالت آن مشخص می‌شود. یک متغیر حالت، متغیری است که یک موجودیت را از دیگر موجودیت‌ها متمایز می‌کند یا سیر تحول آن موجودیت را در طول زمان، بررسی و دنبال می‌کند. بنابر تعریف بالا، عامل یک نوع خاصی از موجودیت است. همچنین متغیرهای حالت، حداقل مجموعه‌ای از متغیرها هستند که سیستم را به درستی توصیف می‌کنند و پویا هستند؛ درحالی‌که پارامترها ایستا هستند اما می‌توانند بین شبیه‌سازی‌ها، سناریوها یا عامل‌ها متفاوت باشند.

- عوامل درونی و بیرونی: Müller و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند، توصیف شفافی برای درک متغیرهای حالت داخلی و محیطی در رویه ODD وجود ندارد؛ زیرا متغیرهای محیطی خود می‌توانند متغیرهای داخلی نیز باشند، به‌عنوان نمونه می‌توان به بارندگی که وابسته به تبخیر و تعرق محاسبه شده در مدل است، اشاره کرد. از این‌رو در رویه ODD+D، از اصطلاح عوامل درونی و بیرونی استفاده شده است. بنابر تعریف Müller و همکاران (۲۰۱۳) متغیرهایی که می‌توانند تحت تأثیر سایر متغیرهای مدل قرار گیرند، به‌عنوان عوامل درونی و متغیرهایی که نمی‌توانند تحت تأثیر متغیرهای دیگر قرار گیرند، به‌عنوان عوامل بیرونی شناخته می‌شوند. توسعه‌دهندگان این رویه تأکید دارند، برای استفاده کاربردی‌تر از رویه ODD، عوامل بیرونی (محرک‌ها) باید در لیستی جداگانه ارائه شوند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تغییرات انجام شده در رویه ODD، بیشتر در دسته (جزء اصلی) مفاهیم طراحی بوده و ساختار این رویه به شرح ذیل تغییر کرده تا رویه ODD+D ایجاد شود (Müller و همکاران، ۲۰۱۳):

۱- در دسته مفاهیم طراحی، عنصر "اصول اساسی" به "پیش‌زمینه نظری و تجربی" تغییر نام داده شده و به‌منظور تأکید بر اهمیت اطلاعات مربوط به منابع فرضیات و داده‌های استفاده شده در یک مدل، گسترش یافته است. هدف از این بخش توصیف مفاهیم کلی، تئوری‌ها یا فرضیه‌هایی است که پایه و اساس طراحی مدل را تشکیل می‌دهند. همچنین در اینجا، درباره رویکرد مدل‌سازی سوالی مطرح نمی‌شود، زیرا این رویه خاص مدل‌سازی‌های عامل‌بنیان است؛ ۲- در این دسته، عنصر "اهداف" درون عنصر جدیدی که تحت عنوان "تصمیم‌گیری فردی" تعریف شده، ادغام شده است که پیشینه مفهومی مدل تصمیم‌گیری را به‌صورت خلاصه بیان می‌کند و به مفاهیمی که فراتر از آن قرار دارد، می‌پردازد؛ ۳- عنصر "سازگاری" به‌عنوان

عنصری جداگانه، از دسته مفاهیم طراحی حذف و به‌عنوان جزئی از "تصمیم‌گیری فردی"^{۴۶} در نظر گرفته شده است؛ ۴- عنصرهای "حس کردن (سنجیدن)" و "پیش‌بینی" گسترش یافته‌اند و ترتیب آن‌ها معکوس شده تا ویژگی‌ها و جدول زمانی تصمیم‌گیری انسان را منعکس کند؛ ۵- به دلیل مشابه، عنصر "تعامل" نیز توسعه یافته است؛ ۶- عنصر جدید دیگری در این دسته، تحت عنوان "ناهمگونی"^{۴۷} معرفی شده؛ زیرا این یک ویژگی بسیار مهم در مدل‌های عامل بنیان است که اغلب، این مدل‌ها را از دیگر مدل‌ها متمایز می‌کند. بنابراین می‌تواند شناخت اساسی و مهمی در رابطه با ویژگی‌های آن‌ها فراهم کند. عامل‌ها می‌توانند در پارامترها و یا تصمیم‌گیری‌ها از نظر مدل‌ها یا اهداف متفاوت تصمیم‌گیری، ناهمگون باشند؛ ۷- با وجود اینکه اهمیت عنصر "ظهور" در مدل‌سازی عامل بنیان غیرقابل انکار است، این عنصر درون عنصر "مشاهده" ادغام شده است تا ریسک این موضوع که کاربران این رویه، عنصر ظهور را با خصوصیات ایجاد شده به‌جای یک نتیجه از فعل و انفعالات موجودیت‌های مدل اشتباه بگیرند، کاهش یابد. با این کار، فرمت‌های تصادفی که در مدل قرار می‌گیرند و الگوهایی را که در نتایج مدل ظاهر می‌شوند، می‌توان به‌روشنی تشخیص داد؛ و ۸- سرانجام، عنصر "جزئیات اجرایی (پایه‌سازی)"^{۴۸} در دسته جزئیات قرار گرفته است؛ زیرا این اطلاعات قابلیت مقایسه و امکان باز تولید مدل را بهبود می‌بخشد. این بخش شامل بیان زبان برنامه‌نویسی یا بستر مدل‌سازی است که در آن مدل اجرا (پایه‌سازی) شده است. در جدول (۲) تفاوت‌های بین عنصرهای رویه ODD (نسخه به‌روز رسانی شده) و رویه ODD+D با استخراج از مراجع Grimm و همکاران (۲۰۱۰) و Müller و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده است.

لازم به توضیح است، هرچند حجم بالای سوالات راهنما در این دو رویه، خارج از حوصله بحث اصلی این مقاله است؛ اما اشاره به آن‌ها می‌تواند کمک شایانی در فهم مطالب ارائه شده، نحوه کاربرد و استفاده مفید از این رویه‌ها باشد. از این‌رو در پیوست A این مقاله، سوالات راهنمای مربوط به رویه ODD براساس مراجع (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰ و گردآوری و ارائه شده است. همچنین Müller و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور ایجاد یک الگوی (فرمت) راهنما برای استفاده از رویه ODD+D در تحقیقات عامل بنیان، لیست کاملی از سوالاتی که برای استفاده از رویه ODD+D مورد نیاز است و همچنین نمونه‌هایی از پاسخ به این سوالات را ارائه کرده‌اند که این سوالات نیز در پیوست B این مقاله ارائه شده است. مطالعه این پیوست‌ها، دید مناسبی را از تغییرات بین رویه به‌روز شده ODD و رویه ODD+D ارائه می‌دهد. همچنین برای درک بهتر از کاربرد این رویه در تحقیقات گذشته در حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری، مثالی در پیوست C این مقاله ارائه و نحوه کاربرد آن نیز، نقد و بررسی شده است. علاوه بر این، به تعدادی از مقالاتی که در این حوزه از رویه ODD یا ODD+D بهره گرفته‌اند، اشاره شده است.

جدول ۲- تفاوت‌های بین عنصرهای نسخه به‌روز شده رویه ODD و رویه ODD+D

دسته Blocks	عنصرها در نسخه به‌روز شده رویه ODD Elements of the updated ODD protocol (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰)	عنصرها در نسخه رویه ODD+D Elements of the ODD+D protocol (Müller و همکاران، ۲۰۱۳)
بررسی اجمالی (Overview)	هدف (Purpose)	هدف (Purpose)
	موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (Entities, state variables, and scales)	متغیرهای حالت و مقیاس‌ها (State variables and scales)
	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی (Process overview and scheduling)
مفاهیم طراحی (Design concepts)	اصول اساسی (Basic principles)	پیش‌زمینه نظری و تجربی (Theoretical and Empirical Background)
	بروز (Emergence)	تصمیم‌گیری فردی (Individual Decision-Making)
	پذیرش (Adaptation)	یادگیری (Learning)
	اهداف (Objectives)	حس کردن یا سنجش فردی (Individual Sensing)
	یادگیری (Learning)	پیش‌بینی فردی (Individual Prediction)
	پیش‌بینی (Prediction)	تعامل (Interaction)
	حس کردن یا سنجیدن (Sensing)	گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)
	تعامل (Interaction)	ناهمگونی (Heterogeneity)
	تصادفی بودن (Stochasticity)	تصادفی بودن (Stochasticity)
	گروهی از موجودیت‌ها (Collectives)	مشاهده (Observation)
	مشاهده (Observation)	-
	-	جزئیات اجرایی یا پیاده‌سازی (Implementation Details)
جزئیات (Details)	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه (Initialization)
	داده‌های ورودی (Input data)	داده‌های ورودی (Input data)
	زیرمدل‌ها (Submodels)	زیرمدل‌ها (Submodels)
	-	-

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، در حوزه‌های مختلفی از علوم از جمله اکولوژی، ارزیابی محیط‌زیستی، علوم اجتماعی، رباتیک و بازی‌های کامپیوتری، به‌کار گرفته می‌شود و در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیری در زمینه کاربرد این رویکرد مدل‌سازی در حوزه مدیریت منابع آب و به‌ویژه مدیریت آب شهری صورت گرفته و پیرو آن زمینه‌های تحقیقاتی گسترده‌ای شکل گرفته‌اند. بنابراین باتوجه‌به استفاده گسترده از مدل‌سازی عامل بنیان به‌منظور بررسی سیستم‌های پیچیده دربرگیرنده موجودیت‌های مستقل، استفاده از یک استاندارد مدل‌سازی برای مطالعه دقیق و امکان بازتولید این مدل‌ها بسیار لازم و ضروری است (شاهنکیان و همکاران، ۱۳۹۹d). از این‌رو باتوجه‌به اهمیت موضوع، تلاش‌های متعددی در زمینه ایجاد یک چارچوب، طرح طبقه‌بندی‌شده و یا رویه استاندارد برای ارائه و توصیف مدل‌های عامل بنیان انجام شده است. اما در این بین از رویه ODD در جامعه علمی به خوبی استقبال شده است. این رویه برای اولین بار در سال ۲۰۰۶، برای توصیف مدل‌های فردمحور از جمله مدل‌های عامل بنیان ارائه شد. سپس در سال ۲۰۱۰ با

بررسی کاربرد این رویه در مقالات علمی، نسخه اولیه رویه ODD بازبینی شد و با حل مشکلات و ابهامات آن، نسخه به‌روزرسانی‌شده آن ارائه و جایگزین نسخه قبلی شد و به این ترتیب، نسخه اولیه منسوخ شد. علاوه‌براین، با توجه به نقش اساسی تصمیمات انسانی در مدل‌سازی عامل بنیان، نسخه جدیدی از این رویه تحت عنوان ODD+D در سال ۲۰۱۳، با حفظ ساختار اصلی رویه ODD و با هدف ایجاد استاندارد برای توصیف و لحاظ تصمیم‌گیری انسانی در مدل‌سازی‌های عامل بنیان توسعه داده شد؛ به‌نحوی که توصیف شفاف و جامعی را از مدل‌های عامل بنیان به روشی استاندارد، با تأکید بر تصمیمات انسانی فراهم کرده و مبانی تجربی و نظری برای انتخاب مدل تصمیم‌گیری را درون مدل لحاظ کند.

با بررسی انجام شده پیرامون این تحقیق، می‌توان دریافت باوجوداینکه از ارائه نسخه اولیه این رویه بیش از یک دهه و از نسخه به‌روزرسانی‌شده آن در حدود یک دهه می‌گذرد، هنوز در تحقیقات داخلی، برخلاف تحقیقات بین‌المللی، ردپای ملموسی از استفاده از رویه ODD یا ODD+D به چشم نمی‌خورد. از طرفی این رویه، ساختاری به مقالات و تحقیقات علمی می‌بخشد که با استفاده از آن، می‌توان به درک عمیق‌تری از مدل توسعه‌یافته دست

5-Process-based models	6-Autonomous
7-Heterogeneous	8-Protocol
9-Rational-choice theory	10-Bounded rationality theory
11-Model Representing Potential Objects That Appear in The Ontology of Human-Environmental Actions & Decisions	
12-Individual-based Models	
13-Overview, design concepts, and details protocol	
14-Network for Computational Modelling for Socioecological Science: CoMSES Net is an international open research community dedicated to fostering good practices for computational/agent based modeling	
15-OpenABM is a node in the CoMSES Network, providing a growing collection of tutorials and FAQs on agent-based modeling, a model library intended to provide a locus for authors and modelers to share their models, and .forums for modeling-related discussions and job postings	
16-Element	17-Block
18-Overview	
19-Design concepts	20-Details
21-Purpose	
22-State variables and scales	
23-Process overview and scheduling	
24-Initialization	25-Input
26-Submodels	27-Object-oriented programming
28-The model description follows the ODD (Overview, Design concepts, Details) protocol (Grimm et al., 2006 & 2010)	
29-Collectives	30-Pseudo-code
31-Self-explanatory	
32-Basic principles	33-System dynamics
34-Emergence	
35-Adaptation	36-Fitness
37-Objectives	
38-Utility	39-Learning
40-Prediction	
41-Sensing	42-Social networks
43-Interaction	
44-Stochasticity	45-Observation
46-Individual decision-making	
47-Heterogeneity	48-Implementation details

منابع

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م. و صفرپور، ه. ۱۳۹۹ا. مدل سازی عامل بنیان، رویکردی قدرتمند در ارزیابی سیاست های مدیریت تقاضای آب شهری در بخش خانگی. بررسی الزامات و مفاهیم اصلی در ساختار مدل سازی. هشتمین کنگره هوش محاسباتی. دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م. و صفرپور، ه. ۱۳۹۹ب. مروری بر چارچوب مفهومی چرخه تعاملاتی و فرآیند مدل سازی مورد استفاده در حوزه مدیریت آب شهری. مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۶(۳): ۶۳-۷۹.

شاهنگیان، س.ا.، تابش، م.، صفرپور، ه.، خاشعی، م. و عباسی، م. ۱۳۹۹c. الزامات و ضرورت های ارائه یک چارچوب یکپارچه و جامع در ارزیابی

یافت و علاوه بر آن، امکان بازتولید و توسعه مدل را نیز تسهیل نمود. بنابراین خلاء ارائه تحقیق یا تحقیقاتی در زمینه رویه ODD و نحوه استفاده از آن، که علاوه بر تشویق نویسندگان به استفاده از این رویه در ساختار تحقیقات خود، نحوه استفاده دقیق و صحیح از آن را نیز به طور شفاف برای محققین در زمینه مدل سازی عامل بنیان بیان کند، به شدت احساس می شود (شاهنگیان و همکاران، ۱۳۹۹d). از این رو، باتوجه به اهمیت استفاده از رویه ODD یا ODD+D در مقالات کنفرانسی، ژورنالی و به طور کلی تحقیقات دانشگاهی که از رویکرد مدل سازی عامل بنیان در فرآیند تحقیق خود استفاده می کنند، این مقاله بر روی بررسی دقیق این رویه در نسخه های مختلف آن و روند و سیر تحول آن در سال های اخیر متمرکز شد. همچنین در این مقاله سعی شده است، با ایجاد یک ساختار تحقیقاتی مناسب و به کمک شرح مفصلی از این رویه همراه با ارائه پیوست های متعدد به منظور درک نحوه کاربرد آن، بتوان شناخت صحیحی را از این رویه و کاربرد دقیق آن ارائه کرد. در نهایت، به عنوان جمع بندی از مطالب ارائه شده در این مقاله، می توان اظهار داشت، بهره گیری از رویه ODD یا ODD+D، می تواند کمک شایانی به جامعه علمی و پیشرفت تحقیقات در حوزه مدل سازی عامل بنیان و یا به طور کلی، مدل سازی عامل-محور نماید. در واقع با به کارگیری هر یک از این رویه ها در ساختار تحقیقات این حوزه، درک و بینش شفاف تر و عمیق تری از مطالعات انجام شده در این حوزه ایجاد می شود و به این ترتیب، می توان با آگاهی از روند مدل سازی، اهداف، فرمولاسیون، استدلال ها و مفروضات مدل و غیره، از یک سو امکان بازتولید مدل های عامل بنیان (یا عامل-محور) را تسهیل و مقایسه نتایج تحقیقات با یکدیگر را امکان پذیر کرد و از سوی دیگر، از انجام تحقیقات تکراری و یا موازی جلوگیری کرد. علاوه بر این، اگرچه ساختار دقیق و شفاف پروتکل ODD و همچنین طیف گسترده استفاده از این پروتکل در تحقیقات بین المللی، اهمیت استفاده از این رویکرد را نشان می دهد، اما به نظر می رسد، ماهیت رویه ODD+D با مدل سازی هایی که به کمک مدل سازی عامل بنیان انجام می شوند و توصیف و لحاظ تصمیم گیری انسانی در آنها حائز اهمیت است، سازگارتر باشد، از جمله حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری.

پیوست ها

برای دسترسی به پیوست های مقاله، به صفحات ۱۱۰ تا ۱۲۲ مراجعه کنید.

پی نوشت

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1-Complex systems | 2-Agent-based modelling |
| 3-Emergent behaviour | 4-Complex adaptive systems |

- mental Modelling and Software, 47: 159-181.
- Koutiva I. and Makropoulos C. 2016. Modelling domestic water demand: An agent based approach, *Journal of Environmental Modelling and Software*, 79: 35-54.
- Koutiva I. and Makropoulos C. 2017. Exploring the effects of domestic water management measures to water conservation attitudes using agent based modelling. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(2): 552-560.
- Lin Z., Lim S.H., Lin T. and Borders M. 2020. Using Agent-Based Modeling for Water Resources Management in the Bakken Region. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(1)05019020: 1-12.
- López-Paredes A., Saurí D. and Galán J.M. 2005. Urban water management with artificial societies of agents: The FIRM-ABAR simulator. *Journal of Simulation*, 81(3): 189-199.
- Mei S., Zarrabi N., Lees M. and Sloot P.M. 2015. Complex agent networks: An emerging approach for modeling complex systems. *Journal of Applied Soft Computing*, 37: 311-321.
- Müller B., Bohn F., Dreßler G., Groeneveld J., Klassert C., Martin R., Schlüter M., Schulze J., Weise H. and Schwarz N. 2013. Describing human decisions in agent-based models-ODD+ D, an extension of the ODD protocol. *Journal of Environmental Modelling and Software*, 48: 37-48.
- Parker D.C., Brown D.G., Polhill J.G., Deadman P.J. and Manson S.M. 2008. Illustrating a new 'conceptual design pattern' for agent-based models and land use via five case studies: the MR POTATOHEAD framework. In: Paredes A.L. and Iglesias C.H. (Eds.), *Agent-based Modelling in Natural Resource Management*, Universidad de Valladolid, Valladolid, Spain.
- Ramsey E. and Berglund E.Z., 2021. Developing an Agent-Based Model of Dual-Flush Toilet Adoption. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147(10): 4021067.
- Richiardi M., Leombruni R., Saam N.J. and Sonnessa M. 2006. A common protocol for agent-based social simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 9(1): 16-31.
- Voinov A. and Shugart H.H. 2013. 'Integronsters', integral and integrated modeling. *Journal of Environmental Modelling and Software*, 39: 149-158.
- Zechman E.M. 2007. Agent-based modeling to simulate contamination events and to analyze threat management strategies in water distribution systems. In *World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat*. Tampa, Florida, USA.
- سیاست‌های مدیریت تقاضای آب شهری. مجله علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۵(۴): ۱۶-۲۳.
- شاهنکیان، س.ا.، تابش، م.، صفرپور، ه. و رضائی، م. ۱۳۹۹د. بررسی کاربرد پروتکل ODD برای مدل‌سازی عامل بنیان در حوزه مدیریت آب شهری. سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- قلعه‌بان تکمه‌دش، م.، طاهری تیزرو، ع. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۴. چهارچوب مدل‌های عامل بنیان در شبیه‌سازی رفتار ذی‌نفعان برای مدیریت منابع آب. مجله آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۸۷-۹۴.
- Alvi M.S.Q., Mahmood I., Javed F., Malik A.W. and Sarjoughian H. 2018. Dynamic behavioural modeling, simulation and analysis of household water consumption in an urban area: a hybrid approach. In *2018 Winter Simulation Conference (WSC)*, Gothenburg, Sweden.
- Athanasiadis I.N., Montes A.K., Mitkas P.A. and Mylopoulos Y.A. 2005. A hybrid agent-based model for estimating residential water demand. *Journal of Simulation*, 81(3): 175-187.
- Berglund E.Z. 2015. Using agent-based modeling for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(11): 04015025.
- Grimm V., Berger, U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., Goss-Custard J., Grand T., Heinz S.K., Huse G. and Huth A. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Journal of Ecological Modelling*, 198(1-2): 115-126.
- Grimm V., Berger U., DeAngelis D.L., Polhill J.G., Giske J. and Railsback S.F. 2010. The ODD protocol: A review and first update. *Journal of Ecological Modelling*, 221(23): 2760-2768.
- Grimm V., Polhill G., Touza J. (2017) Documenting Social Simulation Models: The ODD Protocol as a Standard. In: Edmonds B., Meyer R. (eds.) *Simulating Social Complexity. Understanding Complex Systems*. Springer, Cham, Manchester, United Kingdom.
- Hare M. and Deadman P. 2004. Further towards a taxonomy of agent-based simulation models in environmental management. *Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, 64(1): 25-40.
- Helbing D. 2012. Agent-Based Modeling. In: Helbing D. (eds.) *Social Self-Organization. Understanding Complex Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kelly R.A., Jakeman A.J., Barreteau O., Borsuk M.E., ElSawah S., Hamilton S.H., Henriksen H.J., Kuikka S., Maier H.R., Rizzoli A.E. and van Delden H. 2013. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. *Journal of Environ-*

Article Type: Regular article

نوع مقاله: پژوهشی

The Position of Economic Sectors in Isfahan Province Based on the Consumption Approach Using the Input-Output Model

E. Operajouneghani¹, Z. Nasrollahi^{2*}

1,2- MSc Student and Associate Professor, Department of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran.

*(Corresponding Author Email: nasr@Yazd.ac.ir)

Received: 08-01-2021

Accepted: 05-04-2021

جایگاه بخش‌های اقتصادی استان اصفهان براساس رویکرد مصرف با استفاده از مدل داده-ستانده

الهام اپراجونقانی^۱، زهرا نصراللهی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد محیط زیست و دانشیار، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: nasr@Yazd.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۱۶

Abstract

Restriction of water supply along with increasing demand in recent years has made water scarcity a serious problem in Iran. Today, researchers emphasize that the solution to the problem of water scarcity is not only to increase supply but also to demand management. Because water plays a key role in sustainable development and regional planning focuses on regional potentials and benefits, water resources management is an appropriate strategy for achieving sustainable development. Therefore, the purpose of this study is to analyze and evaluate water consumption in the economic sectors of Isfahan province using the water footprint index and data-output table. The results of this study showed that according to the water footprint index, although the "agriculture" sector is still in the first place in water consumption, but its share of total consumption has decreased from about 91.73% to 67.81% and the share of the "products industry" Food, Beverage and Tobacco "has increased from 0.40% to 14.74%. This result shows the difference in water consumption with the water footprint approach compared to the traditional approach. Also, the results of this study showed that the per capita water footprint of each citizen in Isfahan province in 1390 was equal to 2767 m3.

Keywords: Sustainable Development, Water footprint, Input-output model, Isfahan province.

چکیده

محدودیت عرضه منابع آب همراه با افزایش تقاضا در سال‌های اخیر، کمبود آب را به یک مسأله جدی در کشور ایران تبدیل کرده است. امروزه محققان تأکید دارند راهکار حل مسأله کمبود آب، تنها تمرکز بر افزایش عرضه نیست بلکه باید به مدیریت تقاضا نیز توجه کرد. از آنجایی که آب نقش اساسی در توسعه پایدار دارد و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای که پتانسیل‌ها و مزیت‌های منطقه‌ای را مرکز توجه قرار می‌دهد، مدیریت منابع آب یک استراتژی مناسب در راستای رسیدن به توسعه پایدار است. بر این اساس هدف از پژوهش حاضر تحلیل و ارزیابی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان با استفاده از شاخص ردپای آب و جدول داده-ستانده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، براساس شاخص ردپای آب اگرچه بخش «کشاورزی» همچنان در رتبه نخست مصرف آب قرار دارد اما سهم آن از کل مصرف، از حدود ۹۱/۷۳ درصد به ۶۷/۸۱ درصد کاهش یافته و سهم بخش «صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات» از ۰/۴۰ درصد به ۱۴/۷۴ درصد افزایش پیدا کرده است. این نتیجه نشان‌دهنده تفاوت در میزان مصرف آب با رویکرد ردپای آب نسبت به رویکرد سنتی است. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، سرانه ردپای آب هر شهروند در استان اصفهان در سال ۱۳۹۰ برابر با ۲۷۶۷ مترمکعب بود.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، ردپای آب، مدل داده-ستانده، استان اصفهان.

در طول چند دهه اخیر، نقش مردم در بهره‌برداری از منابع و تخریب محیط‌زیست به یکی از موضوعات چالش برانگیز در بین دانشمندان و کارشناسان محیط‌زیست تبدیل شده است. از یک طرف کشورهای توسعه‌یافته، کشورهای درحال توسعه را برای کاهش نرخ زادوولد تحت فشار قرار داده و از طرف دیگر کشورهای درحال توسعه، کشورهای توسعه‌یافته را به خاطر شیوه زندگی اسراف آمیز آن‌ها مورد انتقاد قرار می‌دهند (نصراللهی و هادیان، ۱۳۹۷). در واقع مصرف‌گرایی امروزی انسان‌ها که منجر به افزایش سید مصرفی از منابع طبیعی شده، اگرچه در کوتاه‌مدت رفاه و رشد اقتصادی به همراه دارد، اما در بلندمدت باعث آسیب به اکوسیستم می‌شود. با وجود تردیدهای جدی ناشی از ایجاد کاستی در ظرفیت اکوسیستم و عدم دسترسی به منابع طبیعی مورد نیاز برای تولید کالاهای اساسی، باز هم بشر از خواست مصرف‌گرایی تبعیت می‌کند و بدون تفکر عاقلانه در مورد نحوه مصرف خود به از بین بردن منابع طبیعی از جمله آب و خاک دامن می‌زند. یکی از این منابع طبیعی که با تهدیدات جدی روبه‌رو است منابع آبی می‌باشد.

آب به‌عنوان کالایی اقتصادی-اجتماعی اهمیت ویژه‌ای دارد و نیاز روزافزون به آن در همه ابعاد زندگی بشر، آب را به کالایی کمیاب تبدیل کرده است. از طرف دیگر هم تغییرات آب‌وهوایی و هم افزایش جمعیت منجر به ایجاد درگیری و تنش بر سر منابع آبی شده که مانعی در برابر توسعه اقتصادی و رونق جهان تلقی می‌شود (Liu و همکاران، ۲۰۱۸). گزارش‌های سالانه تهیه‌شده توسط نهادهای بین‌المللی، اهمیت توجه به این منبع کمیاب را نمایان‌تر می‌کند. برای مثال طبق گزارش سازمان ملل در سال ۲۰۱۷ حدود دوسوم مردم جهان در مناطق خشک و تحت فشار کم‌آبی زندگی می‌کنند. گزارش‌هایی از این دست نشان‌دهنده افزایش مشکلات اکولوژیکی حاصل از کمبود آب بوده که ممکن است محیط‌زیست را بیش‌ازپیش شکننده و آسیب‌پذیر سازد، به همین علت می‌توان بیان کرد، تخصیص عادلانه و صحیح منابع آبی در سراسر کره زمین به یک چالش گسترده تبدیل شده است (Liu و همکاران، ۲۰۱۸). در واقع وقوع خشکسالی، تغییرات اقلیمی و پدیده گرمایش جهانی به‌عنوان مهمترین عوامل طبیعی در ارتباط با کم‌آبی بوده و برخی از عوامل و دخالت‌های نابه‌نجار انسانی از قبیل مدیریت نادرست به این موضوع دامن می‌زند. علاوه بر این اهمیت توجه به آب در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که منابع آب تجدیدپذیر محدودتری دارند، بیشتر است و بر کسی پوشیده نیست. به اعتقاد بسیاری از کارشناسان این مناطق بر اثر تغییرات اقلیمی در آینده خشک‌تر نیز خواهند شد (Okadera و همکاران، ۲۰۱۵). براساس پیش‌بینی‌های موسسه منابع جهانی^۱ در سال ۲۰۱۵، کشور ایران در

سال ۲۰۴۰ با تنش آبی بسیار بالا مواجه خواهد شد و از این لحاظ در رتبه ۱۳ جهان قرار دارد (زارعی، ۱۳۹۵).

از طرف دیگر وضعیت استان اصفهان با قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران بسیار حساس است. رشد جمعیت به همراه خشکسالی‌های اخیر، علی‌رغم طرح‌هایی همچون انتقال آب، تامین آب در استان را با چالش روبه‌رو کرده است. درحالی‌که استان اصفهان سومین استان پرجمعیت کشور بوده و رتبه سوم تولید ناخالص داخلی را به خود اختصاص داده و جایگاه ویژه‌ای در میان استان‌های کشور دارد (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، ۱۳۹۶). مجموع شرایط موجود نمایانگر ضرورت مدیریت منابع آب با نگرشی جامع و دقیق است. در راستای حل مسئله موجود، اقدامات مختلفی انجام‌شده که بعضی از آن‌ها به مرحله اجرا درآمده، اما نکته موردتوجه این است که بسیاری از این اقدامات در راستای افزایش ظرفیت منابع آب در دسترس، بدون توجه به طرف تقاضا است. درحالی‌که باتوجه به پیچیدگی‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و تبعات محیط‌زیستی رویکردهای عرضه محور، امروزه به‌منظور دسترسی پایدار به منابع آبی استفاده از مدیریت طرف تقاضا به‌عنوان یک رویکرد جایگزین به جای افزایش عرضه توجه بیشتری را به خود معطوف کرده است (United Nations، ۲۰۰۶). تقاضای تولید هر کالا در هر منطقه توسط شاخصی به اسم ردپای آب اندازه‌گیری می‌شود که نخستین بار توسط Hoekstra و Hung (۲۰۰۲) معرفی شد. مفهوم ردپای آب ارتباط نزدیکی با تجارت آب مجازی دارد. به عبارتی می‌توان بیان کرد، کل حجم آب شیرین مورد استفاده برای تولید محصولات مصرف شده توسط ساکنان یک منطقه را ردپای آب می‌نامند (Hoekstra و Chapagain، ۲۰۰۷). از جمله دستاوردهای بهره‌گیری از این شاخص، اولویت‌بندی مناطق تولیدکننده کالا متناسب با مصرف کمتر آب برای تولید کالا است، درواقع این شاخص می‌تواند کار آمایش سرزمین را انجام دهد (محمدی و یوسفی، ۱۳۹۹). کاربرد دیگر این شاخص، نشان دادن اثر الگوی مصرف بر منابع طبیعی است. ردپای آب دارای سه مؤلفه (ردپای آب آبی، سبز و خاکستری) است، ردپای آب آبی، همان آب مورد استفاده در تولید محصول و ردپای آب سبز به سهم آب حاصل از بارندگی مربوط است (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱). آب خاکستری حجم آبی است که طی فرآیند تولید آلوده‌شده و کیفیت اولیه خود را از دست داده است و از آنجایی که وارد سیستم آب‌های طبیعی می‌شود، به حجم آبی که موردنیاز است تا بتوان کیفیت آب‌های آلوده را به سطح استاندارد و مطلوب رساند ردپای آب خاکستری گفته می‌شود (Hoekstra و Mekonnen، ۲۰۱۱). مطالعات متعددی در سراسر جهان توسط پژوهشگران در زمینه ردپای آب انجام شده است. در ابتدا بیشتر مطالعات برای برآورد ردپای آب (آبی، سبز

و خاکستری) در مقیاس کلی جهان صورت می‌گرفت، اما رفته‌رفته و باتوجه‌به اهمیت روزافزون منابع آب در مقیاس‌های کوچکتر، ارزیابی این شاخص در ابعاد محلی مورد توجه واقع شده است (Lovarelli و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zhuo و Hoekstra، ۲۰۱۷). در پژوهش حاضر منظور از ردپای آب، ردپای آب آبی است. در بحث‌های مربوط به ارتباط بین رشد اقتصادی و محیط‌زیست معیارهای مبتنی بر مصرف (نه تولید) دیدگاه روشن‌بینانه‌تری ارائه می‌دهند (Bagliani و همکاران، ۲۰۰۸). در ادامه به چند مورد از مطالعات انجام شده در زمینه ردپای آب و آب مجازی اشاره شده است.

Feng و همکاران (۲۰۱۱) ردپای آب مناطق مختلف بریتانیا را از منظر تولید و مصرف محاسبه کردند نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد ردپای آب مصرفی این کشور بیش از سه برابر بزرگتر از ردپای آب تولید آن است. در مطالعه‌ای Feng و همکاران (۲۰۱۲) آب مجازی و ردپای آب رودخانه زرد چین برای سه محدوده را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد در محدوده پایین‌دست با وجود محدودیت شدید آبی ۳۷ درصد از منابع آبی از طریق مبادلات بین منطقه‌ای به مناطق دیگر صادر می‌شود. Lutter و همکاران (۲۰۱۶) ردپای آب و تبادل آب مجازی در اتحادیه اروپا برای سال ۲۰۰۷ را ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد اتحادیه اروپا سالانه به‌طور غیرمستقیم مقادیر زیادی آب به شکل مجازی از طریق تجارت با سایر مناطق جهان وارد می‌کند که این حجم از واردات آب مجازی بیشتر از آب مصرف شده از منابع داخلی این اتحادیه است. Zhang و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی ردپای آب چین طی دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ پرداختند، نتایج این مطالعه نشان دهنده افزایش ردپای آب کشور طی این سال‌ها است. Liu و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از شاخص ردپای آب و آب مجازی تأثیر رشد جمعیت، شهرنشینی، تغییر ساختار رژیم غذایی، توسعه صنعت انرژی، تجارت غلات و تغییرات آب‌وهوایی، را بر روی امنیت غذایی و منابع آبی شمال غربی چین برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ بررسی کردند. Hong و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل داده-ستانده ضرایب آب مصرفی بخش‌های صنعتی شهر پکن را محاسبه کردند، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد ضرایب آب مصرفی بخش‌های صنعتی تفاوت قابل ملاحظه‌ای با هم دارند. تهامی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) وضعیت آب مجازی ایران در تجارت محصولات صنعتی با شرکای عمده تجاری را بررسی کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد کشور ایران از واردکننده خالص آب مجازی در سال ۱۳۹۰ (با حجم ۱۱۲ میلیون مترمکعب) به صادرکننده خالص آب مجازی در سال ۱۳۹۳ (با حجم ۱۱۵ میلیون مترمکعب) تبدیل شده است. زارعی و نصراللهی (۱۳۹۷) به تحلیل مصرف آب بخش‌های اقتصادی ایران مبتنی بر رویکرد مصرف پرداختند،

نتایج حاصل از این پژوهش نشان از تفاوت وضعیت مصرف آب با رویکرد مصرف نسبت به رویکرد سنتی دارد.

از آنجایی که کشور ایران تنوع بالای جغرافیایی، اقلیمی، فرهنگی و اجتماعی دارد و این تنوع نهفته نیازمند برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای است و اولین گام در بهره‌برداری بهینه از منابع و مدیریت منابع، شناسایی و تعیین وضعیت فعلی منبع است، هدف اصلی پژوهش حاضر تحلیل مصرف آب بخش‌های مختلف اقتصادی در استان اصفهان است. این امر با شناسایی وضعیت موجود مصارف آب، اولین گام در راستای مدیریت بهینه منابع آب در منطقه تلقی می‌شود. یکی از روش‌های حل مسئله کمبود آب استفاده از شاخص ردپای آب است. محاسبه ردپای آب یک مبنای علمی برای مدیریت منابع آب فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

جدول داده-ستانده به‌عنوان یکی از ابزارهای قوی به‌منظور انجام تحلیل‌های مختلف اقتصادی، موقعیتی را برای سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران ایجاد می‌کند تا آثار برنامه‌ها و سیاست‌ها را قبل و بعد از اجرای آن‌ها ارزیابی نموده و ابعاد مختلف آن را بررسی نمایند. در حقیقت این جدول با نمایان کردن روابط میان بخش‌ها امکان تحلیل روابط بین بخشی و اتخاذ راهبردهای توسعه‌ای مناسب را فراهم می‌سازد. اگر یک سیستم اقتصادی را متشکل از n بخش تولیدی در نظر بگیریم، کل ستانده بخش i که با x_i نشان داده می‌شود می‌تواند برای تقاضای واسطه‌ای یا نهایی استفاده شود که براساس آن معادله ستانده یا تراز تولیدی که همان رابطه اساسی مدل داده-ستانده است به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (نصراللهی و همکاران، ۱۳۹۱).

$$x_i = \sum_j x_{ij} + y_i \quad (1)$$

در رابطه (۱) x_{ij} برابر با نهاده‌ای است که از بخش i به بخش j واگذار می‌شود و y_i نشان‌دهنده تقاضای نهایی بخش i است. با در نظر گرفتن تابع تولید خطی، بردار ستانده هر بخش به‌وسیله رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$x_{ij} = a_{ij} x_j \quad (2)$$

عنصر a_{ij} نشان می‌دهد برای تولید یک واحد ستانده در بخش j چقدر از نهاده بخش i نیاز است، x_j کل تولیدات بخش j است. با جایگذاری رابطه (۲) در رابطه (۱)، رابطه (۳) به‌دست می‌آید. رابطه (۳) را به‌صورت فرم ماتریسی که در رابطه (۴) و (۵) ارائه شده می‌توان نمایش داد.

$$x_i = \left(\sum_j a_{ij} x_j \right) + y_i \quad (3)$$

$$X = AX + Y \quad (4)$$

$$X = (A - I)^{-1} Y \quad (5)$$

به ترتیب x بردار روابط بین بخشی، A ماتریس ضرایب فنی، Y بردار تقاضای نهایی بخش‌های اقتصادی، I ماتریس واحد و $(I-A)^{-1}$ ماتریس معکوس لئونتیف نامیده می‌شود، عنصر l_{ij} از ماتریس معکوس لئونتیف نشان‌دهنده کل میزان ستانده بخش I است و برای افزایش یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش j مورد نیاز است (Zhao و همکاران، ۲۰۰۹).

در این پژوهش به منظور رسیدن به اهداف موردنظر از به‌روزترین جدول داده-ستانده ایران که برای سال ۱۳۹۰ و در ۹۹ بخش اقتصادی توسط مرکز آمار (www.amar.org.ir) به هنگام شده است استفاده شد و با استفاده از آمار حساب‌های منطقه‌ای

استان اصفهان برای اولین بار با استفاده از روش سهم مکانی خاص صنعتی فلگ (SFLQ) جدول داده-ستانده استان اصفهان محاسبه شد^۲، در ادامه با استفاده از این جدول شاخص ردپای آب و آب مجازی محاسبه شد. باتوجه به ساختار بخش‌های اقتصادی و داده‌های در دسترس مصرف آب که از منابع مختلف آماری مانند سازمان جهاد کشاورزی، نتایج طرح آمارگیری از معادن درحال بهره‌برداری، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران گردآوری شده و برای برخی از بخش‌ها تخمین زده شد^۳. این جدول برای استان اصفهان در بیست بخش تجمیع شد (جدول ۱).

جدول ۱- بخش‌های اقتصادی استان اصفهان در جدول داده-ستانده مورد استفاده در این پژوهش

شماره بخش	نام بخش	شماره بخش	نام بخش
۱	کشاورزی	۱۱	ساخت فلزات اساسی
۲	نفت خام و گاز طبیعی و سایر معادن	۱۲	ساخت محصولات فلزی فابریکی به جز ماشین‌آلات و تجهیزات
۳	صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات	۱۳	ساخت تعمیر و نصب محصولات رایانه‌ای،... و ساخت تعمیر و نصب تجهیزات برقی
۴	ساخت منسوجات	۱۴	ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر
۵	ساخت پوشاک، دباغی و پرداخت چرم	۱۵	ساخت وسایل نقلیه موتوری و سایر تجهیزات حمل‌ونقل
۶	ساخت چوب و محصولات چوبی	۱۶	ساخت مبلمان و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر
۷	ساخت کاغذ و محصولات کاغذی و چاپ	۱۷	آب، برق و گاز
۸	ساخت کک و فرآورده‌ای حاصل از آن و ساخت محصولات شیمیایی	۱۸	ساختمان
۹	ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک	۱۹	حمل‌ونقل
۱۰	ساخت محصولات کانی غیرفلزی	۲۰	خدمات

• محاسبه ردپای آب

شاخص ردپای آب در سطح ملی با عنوان ردپای آب ملی (NWF)^۴ شناخته می‌شود. برای یکسان‌سازی نمادها در سطح ملی ردپای استان اصفهان با (NWF) نشان داده می‌شود. NWF برابر با کل حجم آب شیرینی است که برای تأمین مصارف نهایی استان اصفهان به کار گرفته شده است (زارعی، ۱۳۹۵). همان‌گونه که اشاره شد ردپای مورد نظر در این پژوهش ردپای آب آبی است. به عبارتی تنها منابع آب شیرین تجدیدپذیر به کاررفته در تولید کالاها و خدمات مورد نظر را شامل می‌شود. در این پژوهش ردپای آب به تفکیک بخش‌های اقتصادی و با استفاده از روش ارائه‌شده توسط Zhao و همکاران (۲۰۰۹) محاسبه شد. باتوجه به تعریف ردپای آب نحوه محاسبه آن در ادامه تشریح شده است.

در گام اول میزان آب‌بری مستقیم بخش‌های مختلف اقتصادی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد.

$$w_j^d = \frac{w_j}{x_j} \quad (6)$$

در رابطه (۶) w_j^d نشان‌دهنده آب‌بری مستقیم بخش زام است،

نشان‌دهنده مقدار آبی است که بخش زام به‌ازای یک واحد پولی افزایش در ستانده خود مصرف می‌کند، w_j نشان‌دهنده کل مصرف آب در بخش زام و x_j ستانده بخش زام را نشان می‌دهد. در مرحله بعد مقادیر VWC^۵ (محتوای آب مجازی) با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد.

$$VWC = [w_j^t], w_j^t = \sum_{i=1}^n w_i^d \times l_{ij} \quad (7)$$

در رابطه (۷) w_j^t نشان‌دهنده کل آب مصرف شده توسط همه بخش‌های اقتصادی برای تأمین یک واحد پولی تقاضای نهایی در بخش زام است، این شاخص آب‌بری کل (مستقیم و غیرمستقیم) را در هر بخش نشان می‌دهد، عناصر ماتریس معکوس لئونتیف در جدول داده-ستانده است و آب‌بری غیرمستقیم از تفاوت آب‌بری کل و مستقیم به دست می‌آید. پس از محاسبه محتوای آب مجازی، ردپای آب که شامل دو مولفه (ردپای آب داخلی و خارجی) است، محاسبه می‌شود. ردپای آب داخلی هر بخش عبارت است از:

$$T = [t_j], t_j = w_j^t \times f_j \quad (8)$$

در رابطه (۸) نشان دهنده ردپای آب داخلی بخش زام و نشان دهنده کل آب استفاده شده از منابع داخلی برای تأمین مصارف نهایی داخلی بخش ز است و f_j نشان دهنده بخشی از تقاضای نهایی است که در داخل مصرف می شود. به منظور محاسبه ردپای آب خارجی، باتوجه به این که واردات در هر بخش شامل دو بخش واردات واسطه ای و واردات نهایی است، ردپای آب خارجی به صورت رابطه (۹) تعریف می شود.

$$ENWF = S^f + S^{in} \quad (9)$$

که در آن k برابر با حجم آب مجازی است، برای تأمین مصارف نهایی داخلی استفاده می شود. k برابر با واردات نهایی در محتوای آب مجازی است و با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه می شود. m_j^f ارزش واردات نهایی بخش ز را نشان می دهد.

$$S^f = [s_j^f], s_j^f = w_j^t \times m_j^f \quad (10)$$

s^{in} برابر با واردات واسطه ای آب مجازی است که با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می شود.

$$S^{in} = [s_j^{in}], s_j^{in} = \left(\sum_{j=1}^n w_j^t \times m_{ij} \right) \times v_j \quad (11)$$

m_{ij} محصولات وارداتی بخش زام است که به عنوان نهاده واسطه ای در بخش ز استفاده می شود. از آنجایی که بخشی از واردات واسطه ای برای تولید محصولات صادراتی استفاده می شود، همه آب مجازی تعبیه شده در واردات واسطه ای به وسیله تقاضای نهایی داخلی مصرف می شود و بخشی از آن صرف تأمین تقاضای خارجی می شود. بنابراین برای محاسبه دقیق تر واردات واسطه ای آب مجازی عنصر v_j به عنوان ضریب تعدیل در رابطه (۱۱) ضرب می شود، این عنصر از نسبت تفاضل تقاضای نهایی از صادرات بر تقاضای نهایی به دست می آید. در نهایت با محاسبه ردپای آب داخلی و ردپای آب خارجی، کل ردپای آب به دست آمد.

از آنجایی که مجموع ردپای آب خارجی در یک منطقه نشان دهنده واردات آب مجازی است، با استفاده از رابطه (۱۲) می توان صادرات آب مجازی را به دست آورد:

$$U = [u_j], u_j = w_j^t \times e_j \quad (12)$$

در رابطه (۱۲)، e_j نشان دهنده ارزش کل صادرات محصولات u_j حجم کل صادرات آب مجازی در بخش زام است. خالص واردات آب مجازی با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می شود:

$$NWI = (S^f + S^{in}) - U \quad (13)$$

نتایج

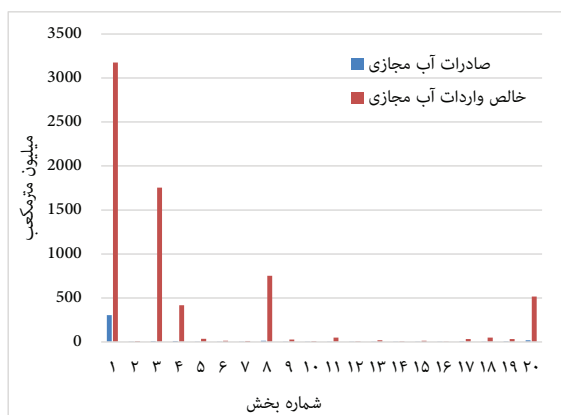
در جدول (۲) نتایج حاصل از محاسبات این پژوهش نشان داده شده است. باتوجه به نتایج، بخش «کشاورزی» بزرگترین مصرف کننده آب و بخش «ساخت چوب و محصولات چوبی» کوچکترین

مصرف کننده آب در بخش های اقتصادی استان اصفهان است. اگر مصارف مستقیم آب در هر بخش در نظر گرفته شود، بخش کشاورزی با ۱۹۷۳۰ مترمکعب بر میلیون جایگاه نخست آب بری را به خود اختصاص می دهد. باتوجه به نتایج حاصل از محاسبات، مشاهده می شود، در بسیاری از بخش ها تفاوت قابل توجهی از نظر میزان آب بری مستقیم و غیرمستقیم وجود ندارد. اما در بخش های ساخت «صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات»، «ساخت منسوجات»، «ساخت پوشاک، دباغی و پرداخت چرم» و «ساخت چوب و محصولات چوبی» نسبت آب بری غیرمستقیم به آب بری مستقیم بیشتر است. به طوری که آب غیرمستقیم مصرف شده در این بخش ها به ترتیب برابر با ۷۳۶، ۴۳/۲۰، ۱۹/۶۰، ۲۵/۲۵، میزان آب مستقیم مصرف شده است (شکل ۱).

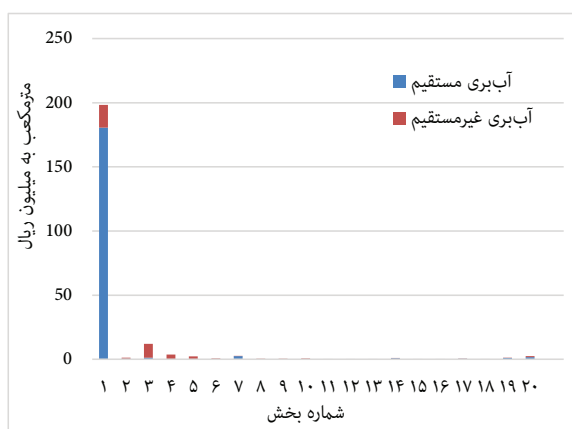
در سال ۱۳۹۰ مقدار کل آب مصرف شده برای تولید محصولات اقتصادی ۶۹۵۰/۳ میلیون مترمکعب و کل ردپای استان حدود ۱۳۵۰۲ میلیون مترمکعب است که بیش از نیمی از آن از طریق منابع خارجی تأمین می شود. سرانه ردپای آب ۲۷۶۷ مترمکعب به ازای هر نفر در استان برآورد شده است. باتوجه به شاخص ردپای آب و رویکرد مبتنی بر مصرف، بخش های «کشاورزی»، «صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات» به ترتیب بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص دادند. باتوجه به نتایج حاصل از پژوهش، در سال ۱۳۹۰ اگرچه بخش «کشاورزی» با رویکرد سنتی (کل مصرف مستقیم آب) ۹۱/۷۳ درصد از منابع آبی را مصرف می کند اما این مقدار باتوجه به رویکرد ردپای آب به مقدار ۶۷/۸۱ درصد کاهش یافته است. از طرفی بخش «صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات» که تنها ۰/۴۰ درصد از کل مصرف آب را به خود اختصاص داده است متناسب با رویکرد ردپای آب این مقدار به ۱۴/۷۴ درصد افزایش می یابد. تفاوت مقادیر محاسبه شده در رویکرد سنتی و رویکرد ردپای آب، اهمیت توجه به رویکرد ردپای آب را نمایان می سازد. در سال ۱۳۹۰ مقدار ۳۸۲ میلیون مترمکعب از آب برای تولید کالاهایی مصرف شده که از این استان صادر می شوند، باتوجه به یافته های پژوهش، بخش «کشاورزی» با ۳۰۶/۵ میلیون مترمکعب بزرگترین صادرکننده آب مجازی است. شاخص ردپای آب خارجی نشان می دهد در هر بخش چه مقدار از این آب به شکل آب مجازی از مناطق دیگر وارد شده است (واردات آب مجازی)، براساس یافته های پژوهش ردپای آب خارجی برای استان اصفهان، ۷۳۳۰/۹ میلیون مترمکعب برآورد شده است و بزرگترین واردکننده آب مجازی، بخش «کشاورزی» با ۳۴۸۱/۴ میلیون مترمکعب آب است و بخش «صنایع محصولات غذایی، آشامیدنی و دخانیات» با ۱۷۶۳/۹ میلیون مترمکعب جایگاه دوم را به خود اختصاص داده است. براساس مقدار کل این شاخص استان اصفهان سالانه به میزان ۶۹۴۹ میلیون مترمکعب خالص واردات آب مجازی داشته و بخش «کشاورزی» رتبه اول را به خود اختصاص داده است (شکل ۲).

جدول ۲- نتایج تفصیلی میزان مصرف آب ردپای آب و آب مجازی در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان

شماره بخش	کل مصرف آب	آب‌بری مستقیم	آب‌بری کل	ردپای آب داخلی	ردپای آب خارجی	کل ردپای آب	صادرات آب مجازی	خالص واردات آب مجازی
	(میلیون مترمکعب)	درصد	(مترمکعب به میلیون ریال)	(میلیون مترمکعب)	(میلیون مترمکعب)	(میلیون مترمکعب)	درصد	(میلیون مترمکعب)
۱	۶۳۷۵/۵	۹۱/۷۳	۱۸۰/۶۹	۱۹۸/۳۰	۵۶۷۵/۴	۳۴۸۱/۴	۳۰۶/۵	۳۱۷۴/۸
۲	۱/۳	۰/۰۲	۰/۵۱	۱/۲۴	۱/۲	۱۰/۶	۱/۷	۸/۹
۳	۲۸	۰/۴۰	۱/۲۹	۱۲/۰۹	۲۲۷/۲	۱۷۶۳/۹	۸/۷	۱۷۵۵/۱
۴	۲/۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۳/۷۳	۶۸/۲	۴۲۹/۱	۱۰/۶	۴۱۸/۴
۵	۰/۳	۰/۰۰	۰/۱۱	۲/۳۶	۵/۷	۳۷/۳	۰/۳	۳۷
۶	۰/۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۷۷	۳/۲	۱۴/۲	۰/۰۲	۱۴/۲
۷	۹/۲	۰/۱۳	۲/۵۵	۲/۷۷	۶/۸	۱۱/۳	۰/۲	۱۱/۱
۸	۷۰/۵	۱/۰۱	۰/۳۲	۰/۴۶	۷۰/۵	۷۶۷/۸	۱۵/۵	۷۵۲/۳
۹	۲/۳	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۵۲	۳/۳	۲۹/۶	۰/۴	۲۹/۲
۱۰	۱۰/۶	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۶۲	۱۳/۵	۱۱/۷	۱/۲	۱۰/۴
۱۱	۱۹/۹	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۲۲	۱۶/۴	۵۲/۹	۲/۵	۵۰/۴
۱۲	۲	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۱۹	۲/۵	۷	۰/۱	۶/۹
۱۳	۱/۲	۰/۰۲	۰/۱۰	۰/۲۱	۲/۱	۲۱/۴	۰/۱	۲۱/۳
۱۴	۶/۲	۰/۰۹	۰/۹۸	۱/۰۳	۵/۴	۵/۹	۰/۵	۵/۵
۱۵	۲/۵	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۲۳	۳/۸	۱۳/۳	۰/۰۵	۱۳/۲
۱۶	۰/۵	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۹	۴/۳	۰/۰۶	۴/۲
۱۷	۱۳/۱	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۷۱	۷/۲	۴۰/۹	۷/۶	۳۳/۳
۱۸	۲/۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۹	۹/۶	۴۹/۳	۰/۲	۴۹/۲
۱۹	۴۲/۳	۰/۶۰	۱/۱۳	۱/۱۹	۲۸/۷	۴۰/۵	۵/۵	۳۵
۲۰	۳۵۹/۷	۵/۱۷	۱/۷۵	۲/۴۳	۱۹/۸	۵۳۷/۵	۱۹/۸	۵۱۷/۶
کل	۶۹۵۰/۳	۰/۱۰۰		۶۱۷۲	۷۳۳۰/۹	۱۳۵۰۲/۹	۳۸۲	۶۹۴۹



شکل ۲- صادرات و خالص واردات آب مجازی در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان



شکل ۱- آب‌بری مستقیم و غیرمستقیم در بخش‌های اقتصادی استان اصفهان

علاوه بر مصرف مستقیم، به مصارف غیرمستقیم آب در بخش‌های اقتصادی نیز توجه شود.

- باتوجه به اینکه مصارف غیرمستقیم آب در بخش‌های اقتصادی وابسته به بخش کشاورزی صورت گرفته است از این رو افزایش کارایی در بخش کشاورزی منجر به کاهش قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب بخش‌های اقتصادی می‌شود. بنابراین ارتقای تکنولوژی تولید در این بخش می‌تواند به صورت غیر مستقیم از آب‌بری بخش‌های تولیدی بکاهد.

- از آنجایی که مبادله آگاهانه تجارت آب مجازی به عنوان یک تدبیر سیاسی و اساسی در مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. در این راستا پیشنهاد می‌شود، براساس یک برنامه‌ریزی بلندمدت و متناسب با شرایط (مزیت نسبی، امنیت غذایی و اشتغال‌زایی در استان) حداقل صادرات آب مجازی و حداکثر واردات آب مجازی صورت گیرد.

پی‌نوشت

1- World Resources Institute (WRI)

۲- براساس مطالعات نویسندگان این پژوهش اولین مطالعه‌ای است با استفاده از روش سهم مکانی (SFLQ) به محاسبه جدول داده-ستانه استان اصفهان پرداخته است.

۳- از جمله محدودیت‌های این پژوهش جمع‌آوری داده‌های مصرف آب است اگرچه این داده‌ها از همه منابع آماری مربوط به آن گردآوری شده است اما باتوجه به محدودیت‌ها بعضی از بخش‌ها با در نظر گرفتن یک سری فرضیات تخمین زده شده است.

4- National Water Footprint

5- Virtual Water Content

منابع

- پایگاه اینترنتی مرکز آمار ایران (www.amar.org.ir).
تهامی‌پور زرنندی، م.، دشتیان فاروجی، س.، و جواهردهی، س. ۱۳۹۶. ارزیابی تجارت محصولات صنعتی ایران با کشورهای مختلف از دیدگاه آب مجازی. نشریه علمی-پژوهشی اقتصاد و الگوسازی، ۸(۳۰): ۱۴۳-۱۸۷.
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان. ۱۳۹۶. اسناد راهبردی برنامه توسعه ششم استان اصفهان (۱۴۰۰-۱۳۹۶). جلد سوم حوزه فرابخشی.
زارعی، م. ۱۳۹۵. سنجش و بررسی مصرف آب در بخش‌های اقتصادی ایران و استان یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری. دانشگاه یزد.
زارعی، م. و نصراللهی، ز. ۱۳۹۷. تحلیل مصرف آب در اقتصاد ایران با یک رویکرد مبتنی بر مصرف (دیدگاه ردپای آب).

خشک‌سالی‌های سال‌های گذشته در استان اصفهان به همراه افزایش تقاضا، خسارات قابل توجهی در بخش‌های مختلف استان از جمله خشک شدن زاینده‌رود (به عنوان یک ثروت ملی) را به همراه داشته و منابع آبی سطحی و زیرزمینی را با تنش آبی مواجه کرده است. از آنجایی که حجم زیادی از تقاضای آب مربوط به تولیدات در بخش‌های اقتصادی است، بررسی چگونگی مصرف آب گامی اساسی در راستای مدیریت صحیح منابع آبی است. یکی از روش‌های پرکاربرد در این راستا استفاده از شاخص ردپای آب و جدول داده-ستانه است. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در این راستا نشان از تفاوت چشمگیر میان میزان مصرف آب بخش‌های اقتصادی براساس دیدگاه ردپای آب (مبتنی بر مصرف) با نتایج مبتنی بر شاخص‌های سنتی است. در راستای شناسایی و تعیین وضعیت فعلی آب منطقه در ابعاد اقتصادی، مسئله اصلی پژوهش حاضر تحلیل و ارزیابی مصرف آب در بخش‌های مختلف اقتصادی و محاسبه تجارت آب مجازی و ردپای آب در استان اصفهان است. در شرایط کنونی استان اصفهان علاوه بر خشک‌سالی‌های اخیر، تغییرات اقلیمی، افزایش رو به رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی کمبود آب را تشدید می‌کند که نشان‌دهنده اهمیت بررسی این موضوع است. باتوجه به نتایج این پژوهش، کل ردپای آب استان اصفهان در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۳۵۰۲ میلیون متر مکعب و سرانه آن به ازای هر نفر ۲۷۶۷ مترمکعب برآورد شده است.

بخش «کشاورزی» از نظر میزان آب مصرفی با استفاده از دو رویکرد سنتی و ردپای آب جایگاه اول مصرف آب را به خود اختصاص داده است با این تفاوت که با در نظر گرفتن شاخص ردپای آب این مقدار از ۹۱/۷۳ درصد به ۶۷/۸۱ درصد تنزل می‌یابد. به ترتیب بخش «کشاورزی» بزرگ‌ترین واردکننده و صادرکننده آب مجازی است. در سال ۱۳۹۰ استان اصفهان صادرکننده ۳۸۲ میلیون متر مکعب حجم آبی و واردکننده خالص حجم آبی برابر ۶۹۴۹ میلیون متر مکعب است. در یک جمع‌بندی کلی از نتایج پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد الگوی تجارت در استان اصفهان به نفع منابع آب داخلی استان است. به عبارتی این الگو باعث شده استان اصفهان در تجارت خارجی وارد کننده خالص آب مجازی باشد. چنانچه تجارت این استان از الگوی دیگری استفاده می‌نمود و این مقدار آب را وارد نمی‌کرد تامین آب از منابع داخلی فشار زیادی بر این منابع وارد می‌کرد. در نهایت افزایش بازدهی بخش «کشاورزی» به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده و صادرکننده آب می‌تواند کمک شایانی در مدیریت منابع آب در استان اصفهان باشد.

در پایان، براساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر پیشنهاداتی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

- در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی مرتبط با مدیریت منابع آب،

- blue and green water footprints based on land - use types: A case study of the Yangtze River Economic Belt. *Sustainability*, 10(10): 1-27.
- Liu X., Shi L., Engel B.A., Sun S., Zhao X., Wu P. and Wang Y. 2020. New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective. *Journal of Cleaner Production*, 245: 1-14.
- Lovarelli D., Bacenetti J. and Fiala M. 2016. Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548: 236-251.
- Lutter S., Pfister S., Giljum S., Wieland H. and Mutel C. 2016. Spatially Explicit Assessment of Water Embodied in European Trade: A Product-level Multi-regional Input-output Analysis. *Global Environmental Change*, 38: 171-182.
- Mekonnen M.M. and Hoekstra A.Y. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and Consumption. Value of Water Research Report Series No. 50, Delft, The Netherlands, IHE.
- Okadera T., Geng Y., Fujita T., Dong H., Liu Z., Yoshida N. and Kanazawa T. 2015. Evaluating the water footprint of the energy supply of Liaoning Province, China: A regional input – output analysis approach. *Energy Policy*, 78: 148-157.
- United Nations. 2006. Water demand management strategy and implementation plan for JABALPUR. Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya.
- Zhang Y., Chen Y. and Huang M. 2019. Water footprint and virtual water accounting for China using a multi-regional input-output model. *Water*, 11(1): 1-14.
- Zhao X., Chen B. and Yang Z.F. 2009. National water footprint in an input–output framework—a case study of China 2002. *ecological modelling*, 220(2): 245-253.
- Zhuo L. and Hoekstra A.Y. 2017. The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4(2): 185-194.
- فصلنامه مجلس و راهبرد. ۲۵(۹۶): ۳۵-۷۰.
- محمدی، ع. و یوسفی، ح. ۱۳۹۹. پتانسیل سنجی تولید انرژی زیستی حاصل از محصول ذرت با رویکرد ردپای آب. *نشریه اکوهیدرولوژی*، ۷(۱): ۱۲۱-۱۲۹.
- نصراللهی، ز.، احمدی، ز. و عشرتی، س. ۱۳۹۱. اندازه گیری آثار زیست محیطی فعالیت های اقتصادی در ایران با رویکرد جدول داده-ستانده. *نشریه مدل سازی اقتصادی*، ۱(۱۷): ۴۵-۶۴.
- نصراللهی، ز. و هادیان، ا. ۱۳۹۷. اثر رشد جمعیت بر محیط زیست در ایران و سایر کشورهای منطقه منا. *فصلنامه سیاست های راهبردی و کلان*، ۶(۳۱): ۴۰-۶۰.
- Bagliani M., Bravo G. and Dalmazzone S. 2008. A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicator. *Ecological Economics*, 65(3): 650-661.
- Feng K., Hubacek K., Minx J., Siu Y. L., Chapagain A., Yu Y., Guan D. and Barrett J. 2011. Spatially explicit analysis of water footprints in the UK. *Water*, 3(1): 47-63.
- Feng K., Siu Y.L., Guan D. and Hubacek K. 2012. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: A Consumption based approach. *Applied Geography*, 32(2): 691-701.
- Hoekstra A.Y. and Hung P.Q. 2002. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No.11, Delft, The Netherlands: IHE.
- Hoekstra A.Y. and Chapagain A.K. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water resources management*, 21(1): 35-48.
- Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. and Mekonnen M. M. 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Water Footprint Network 2011, London, Washington, DC.
- Hong S., Wang H. and Cheng, T. 2020. Analysis of water use characteristics in industrial sectors in Beijing based on an input-output method. *Water Supply*, 20(1): 219-230.
- Liu G., Shi L. and Li K.W. 2018. Equitable allocation of

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Investigating the Status of the Combined Water Security Index of Iranian Provinces in the Period of 2012-2017: Application of Multi-Criteria Analysis Methods

N. Maleki¹, R. Shakeri Bostanabad^{2*}, M. Salehi Komroodi³, S. Seyedabadi⁴

1- MSc of Economics, Management and Planning Organization of Semnan Province, Iran. 2- PhD Student, Department of Agricultural Economics, University of Tehran, Iran. 3- PhD, Agricultural Economics, University of Tabriz, Iran. 4- Undergraduate Student, Shahrood University of Technology, Iran.

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

Received: 08-03-2021

Accepted: 06-05-2021

بررسی وضعیت شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰-۱۳۹۵: کاربرد روش‌های تحلیل چندمعیاره

نادر مالکی^۱، رضا شاکری بستان آباد^{۲*}، محسن صالحی کمرودی^۳، سعیده سیدآبادی^۴

۱- کارشناسی ارشد اقتصاد، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان سمنان، ایران. ۲- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران. ۳- دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران. ۴- دانشجوی کارشناسی اقتصاد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: reza.shakeri@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶

Abstract

Drought and water shortage in Iran is a climatic reality and due to the increasing need for water in various sectors, especially the agricultural sector, the problem of drought will become more acute in the coming years. Meanwhile, the approach of maintaining water security is less seen in the country's development policies, especially in the agricultural sector, and development policy in Iran has led to the threat of the country's water resources and has posed a serious challenge to establishing water security in the country. Therefore, the management of water resources and how to use it in Iran needs a serious review and therefore it is necessary that the water resources of different regions in terms of physical, social and economic factors and development policies based on it to be continuously assessed. Therefore, the purpose of this study is to investigate the situation of water security in the provinces of the country in 2012 and 2017 based on water security indicators and identify the most important variables affecting it. For this purpose, first, using the method of hierarchical analysis and the opinions of experts and researchers, the relative importance of water security indicators was determined and using multi-criteria analysis methods, the combined water security index of the provinces of Iran in 2012 and 2017 was constructed. According to the results, the provinces of Khuzestan, Tehran, East Azerbaijan, Kurdistan and Mazandaran are in a better situation and the provinces of Qom, Yazd, Kerman and Sistan and Baluchestan are in a worse situation in terms of water security than other provinces in the country.

Keywords: Combined Water Security Index, Iran, Water Resources, Multi-Criteria Analysis, Spearman-Shannon Index.

چکیده

خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و باتوجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب به‌ویژه بخش کشاورزی، مشکل خشکسالی در سال‌های آینده حادتر خواهد شد. این در حالی است که رویکرد حفظ امنیت آبی در سیاست‌های توسعه کشور به‌ویژه در بخش کشاورزی کمتر دیده می‌شود و سیاست‌گذاری توسعه در ایران منجر به تهدید منابع آب کشور شده و برقراری امنیت آبی را در کشور با چالش جدی مواجه نموده است. از این رو مدیریت منابع آبی و چگونگی به‌کارگیری آن در ایران نیازمند بازنگری جدی است و ضروری است منابع آب مناطق مختلف از لحاظ فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی مورد سنجش مستمر قرار گرفته و براساس آن سیاست‌های توسعه‌ای صورت پذیرد. از این رو هدف مطالعه حاضر بررسی وضعیت امنیت آبی استان‌های کشور در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ براساس شاخص‌های امنیت آبی و شناسایی مهمترین متغیرهای موثر بر آن است. به این منظور ابتدا با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و نظرات کارشناسان و پژوهشگران اهمیت نسبی شاخص‌های امنیت آبی تعیین شد و با استفاده از روش‌های تحلیل چند معیاره شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌های ایران در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ ساخته شد. براساس نتایج استان‌های خوزستان، تهران، آذربایجان شرقی، کردستان و مازندران در وضعیت بهتر و استان‌های قم، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان در وضعیت بدتری از نظر امنیت آبی نسبت به سایر استان‌های کشور دارند.

واژه‌های کلیدی: شاخص ترکیبی امنیت آبی، ایران، منابع آبی، تحلیل چند معیاره، شاخص اسپیرمن-شانون.

در سال‌های اخیر افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، خسارت‌های غیرقابل جبرانی بر منابع آب زیرزمینی کشور وارد کرده است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث افزایش سفره‌های آب شور و شور شدن منابع آب شیرین در نقاط مختلف کشور شده است. تداوم افت بارندگی در کشور در مقایسه با روند بلندمدت و بهره‌برداری نادرست از منابع آب کشور به‌ویژه در بخش کشاورزی منجر شده در چند دهه گذشته سطح آب سفره‌های زیرزمینی کشور حدود ۱۸ متر کاهش یابد.

امروزه دستیابی ایمن به منابع آب برای رسیدن به هدف رشد و توسعه اقتصادی پایدار، به‌عنوان یکی از هدف‌های اصلی جوامع بشری مطرح می‌باشد. به‌طوری‌که در اهداف توسعه هزاره سوم بر دسترسی کافی به منابع آب و کاهش خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی ناشی از ناامنی‌های آبی تأکید شده است (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳). در این راستا محققان انجمن جهانی اقتصاد در سال ۲۰۰۹ معتقدند باتوجه به ارتباط نزدیک امنیت آبی و تولید مواد غذایی، انرژی، آب و هوا، رشد اقتصادی و امنیت انسانی، عمده‌ترین خطری که جهان امروز را به چالش می‌کشد، ناامنی آبی است. از این‌رو صیانت و حفظ منابع آبی، بهره‌برداری اقتصادی و عادلانه از آب و برقراری امنیت آبی یک مسئله مهم جهانی است (Pan و همکاران، ۲۰۱۴).

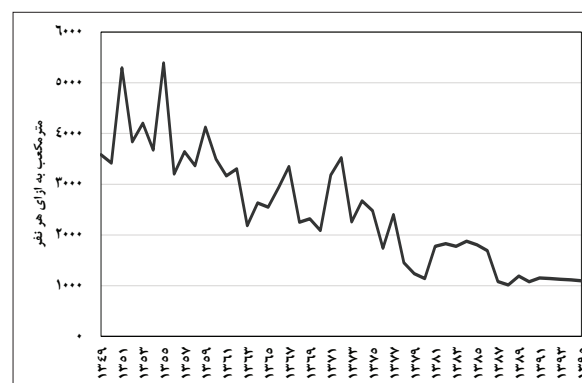
تعاریف متعددی از مفهوم امنیت آب توسط طیف وسیعی از سازمان‌های بین‌المللی به‌ویژه مشارکت جهانی آب و مجمع جهانی اقتصاد صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه از دیدگاه برنامه ارزیابی جهانی آب سازمان ملل متحد چهار شاخص اصلی به‌عنوان مؤلفه‌های امنیت آبی بیان می‌شود. این چهار شاخص عبارتند از: تأمین آب برای نیاز پایه انسانی، تأمین آب برای امنیت تمدنی، تأمین آب برای حفظ محیط‌زیست و تأمین آب برای صنعت و انرژی. در کشورهایی که امنیت آب مترادف با خودکفایی در تولید آب است، مساله آب بسیار حساس و استراتژیک می‌شود. در این کشورها، آب یک مساله شناخته شده است و امنیت آب در دسته سیاست‌های با اولویت اصلی قرار دارد. در طول دو دهه گذشته توجه به مفهوم امنیت آب هم از لحاظ سیاسی و هم از لحاظ دانشگاهی افزایش قابل توجهی داشته است. ایران نیز باتوجه به شرایط اقلیمی خود در این دسته از کشورها قرار می‌گیرد. سازمان آموزش آب یونسکو با پی‌بردن به اهمیت این موضوع، مفهوم امنیت آب را جز اولویت‌های پژوهشی خود قرار داده است (UNESCO، ۲۰۰۹). انجمن آب آسیا و اقیانوسیه اولین نشست خود را تحت عنوان امنیت آب، رهبری و تعهد در سال ۲۰۰۷ برگزار کرد (Noriko، ۲۰۰۷). در دهه اخیر امنیت آب به موضوع مورد بحث داخلی برنامه‌های مدیریتی تبدیل شده است. به‌ویژه ارتباط موضوع امنیت آب با تروریسم منجر شده این موضوع به یکی از موضوعات کلیدی مورد بحث در مجامع دولتی و غیر دولتی تبدیل شود.

درحالی‌که رویکرد حفظ امنیت آبی در سیاست‌های توسعه کشور به‌ویژه در بخش کشاورزی کمتر دیده می‌شود. به‌عنوان نمونه، مقایسه

موقعیت جغرافیایی، میزان بارش دریافتی و شرایط دما موجب حاکمیت اقلیم خشک و نیمه‌خشک در ایران شده است. در کشورهایی با این اقلیم، کمبود و محدودیت منابع آب امری طبیعی است، اما به آن معنی نیست که شرایط فعلی بحران آب فقط زاییده شرایط طبیعی است؛ بلکه حکایت از نقش مهم و پررنگ عوامل انسانی، دست‌اندازی، زیاده‌خواهی، بی‌برنامگی و اجرای برنامه‌های غلط در ایجاد و عمق این بحران دارد (نصرآبادی، ۱۳۹۴).

بررسی مقدار آب استحصال‌شده در کشور، افزایش جمعیت، روند تخریب جنگل‌ها و مراتع طی سال‌های گذشته، برداشت بیش از حد و بدون برنامه‌ریزی از منابع آب زیرزمینی و عدم الگوی بهینه مصرف موجب کاهش چشمگیر منابع آب شده و زمینه بروز خشکسالی در مناطقی از کشور را فراهم آورده است. خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و باتوجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب به‌ویژه بخش کشاورزی، مشکل خشکسالی در سال‌های آینده حادتر خواهد شد. به‌طوری‌که براساس گزارش موسسه بین‌المللی مدیریت آب کشور ایران برای حفظ وضع فعلی تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴).

بررسی آمار و ارقام نشان می‌دهد میانگین بارش در ایران از ۳۲۵ میلیمتر در سال ۴۸-۱۳۴۷ به ۲۳۸/۴ میلی‌متر در سال ۹۵-۹۴ رسیده است و میزان رواناب از ۱۸۲ میلیارد مترمکعب در سال ۴۸-۱۳۴۷ به ۵۹ میلیارد متر مکعب کاهش یافته است. ماکزیمم رواناب در کل این دوره معادل ۱۸۲ میلیارد مترمکعب در سال ۴۸-۱۳۴۷ رخ داده است اما متوسط رواناب در ۵ سال اخیر به ۴۸ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است. کاهش رواناب باعث افزایش شدت برداشت از منابع آب زیرزمینی شده است، به‌طوری‌که اثرات این کاهش در تغییرات میزان سرانه منابع آبی به خوبی قابل لمس است. در شکل (۱) مشاهده می‌شود در بازه ۱۳۴۹-۱۳۹۵ سرانه منابع آبی به حدود ۱۰۰۰ متر مکعب رسیده است که تقریباً یک پنجم مقدار اولیه آن در دوره مورد بررسی است (شریعتمدار، ۱۳۹۷).



شکل ۱- تغییرات سرانه منابع آب (شریعتمدار، ۱۳۹۷)

چگونگی رشد سطح زیرکشت محصولات زراعی آبی با وضعیت اقلیمی استان‌های مختلف نشان می‌دهد در برخی از استان‌های کشور توسعه سطح زیرکشت محصولات، هماهنگ با شرایط اقلیمی مناطق صورت نگرفته است. برای نمونه در استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان که باتوجه به آمارهای متوسط بلندمدت بارندگی از استان‌های کم‌آب کشور محسوب می‌شوند (متوسط بارندگی به ترتیب ۱۳۸ و ۸۵ میلیمتر) سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای آبی که محصولی آب‌بر است به ترتیب از ۱۰۵۸ و ۶۶۴ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۲۵۴۵۲ و ۵۷۶۳ هکتار در سال ۲۰۱۵ افزایش یافته است. به‌طور مشابه سطح زیرکشت گندم آبی در استان‌های یزد و هرمزگان متوسط بارندگی ۶۷ و ۲۱۰ میلیمتر، به ترتیب از ۱۴۵۲۵ و ۵۵۰۳ هکتار در سال ۱۹۸۹ به ۲۶۵۷۳ و ۱۳۷۱۳ هکتار در سال ۲۰۱۳ توسعه یافته است. در مورد محصولات و استان‌های دیگر هم، وضعیت مشابه‌ای مشاهده می‌شود. این عدم همخوانی نشان می‌دهد، در تدوین و اجرای سیاست‌های گوناگون از سوی دولت جهت توسعه فعالیت‌های مختلف اقتصادی در مناطق مختلف، ملاحظات محیط زیستی مرتبط با منابع آب کمتر مدنظر قرار می‌گیرد. این‌گونه سیاست‌گذاری توسعه در ایران منجر به تهدید منابع آب کشور شده و برقراری امنیت آبی را در کشور با چالش جدی مواجه نموده است. وقوع چالش‌های پرشمار همچون تخلیه آب‌های زیرزمینی، نشست زمین، خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و آب دریاچه‌ها، آلودگی آب و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی بر این حقیقت اشاره دارد که مدیریت منابع آبی و چگونگی به‌کارگیری آن در ایران نیازمند بازنگری جدی است. این بازنگری نیازمند سازگار نمودن سیاست‌های توسعه بخش‌های مختلف با وضعیت منابع موجود استان‌های کشور است. بنابراین ضروری است، منابع آب مناطق مختلف از لحاظ فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی سنجش مستمر شوند و براساس آن سیاست‌های توسعه‌ای صورت پذیرد. از این رو هدف مطالعه حاضر بررسی وضعیت امنیت آبی استان‌های کشور در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ براساس شاخص‌های امنیت آبی و شناسایی مهمترین متغیرهای موثر بر آن است.

پیشینه پژوهش

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد، ارزیابی وضعیت منابع آبی و سنجش امنیت آبی در مناطق مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. مرور این مطالعات می‌تواند در شناسایی شاخص‌های مناسب برای اندازه‌گیری امنیت آبی مفید باشد. Hailu و همکاران (۲۰۲۰) شاخص‌های امنیت آب خانوارها را براساس موجودی منابع آب، دسترسی به آب، مصرف آب، ظرفیت، و محیط‌زیست و موسسات آب در اتیوپی بررسی کردند. نتایج نشان داد، اکثر خانوارها با ناامنی آب مواجه هستند و علت اصلی آن موسسات ضعیف سازمان یافته و همچنین عدم وجود سیستم و دانش کافی در مورد

سیستم‌های مدیریت آب است. Arreguin-Cortes و همکاران (۲۰۲۰) امنیت آب ایالت‌های مکزیک را براساس روش تجزیه و تحلیل جهانی مطالعه کردند، در این زمینه شاخص‌های دسترسی به آب، ایمنی و کیفیت و همچنین مدیریت آب را لحاظ کردند. براساس شاخص جهانی محاسبه شد، ایالت‌های بحرانی از منظر امنیت آب شامل سونورا، باخا کالیفرنیا و گواناجواتو هستند و پس از آنها مکزیکو سیتی، کولیمیا، آگواسکالینتس و سینالوا قرار دارند. López Álvarez و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص فقر آبی منابع آب مناطق نیمه گرمسیری در هوآستکا پوتوسینا مکزیک را ارزیابی کردند. برای این منظور آنها از مجموع وزنی استاندارد شده شش مؤلفه منابع آبی، دسترسی، مصرف، ظرفیت، کیفیت و محیط‌زیست استفاده نمودند. برای محاسبه این مؤلفه‌ها از متغیرهای منابع آب سطحی، منابع آب زیرزمینی، حجم مصرف، سهم جمعیتی که به آب آشامیدنی دسترسی دارند، سهم جمعیتی که به آب پاکیزه دسترسی دارند، سهم اراضی آبی از کل نواحی کشاورزی، درآمد، نرخ مرگ و میر در کودکان زیر پنج سال، شاخص آموزش، ضریب جینی، مصرف آب داخلی، مصارف آب کشاورزی، مصرف آب صنعتی، اراضی به‌کار گرفته شده، مناطق حفاظت شده و اطلاعات کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی استفاده کردند. نتایج نشان داد، ارزش نهایی شاخص فقر آبی برای حوضه آبریز والم ریو برابر با ۵۹ از ۱۰۰ می‌باشد.

Pan و همکاران (۲۰۱۴) امنیت آبی و ارزیابی مشکلات اصلی پیش‌روی مدیریت و بهره‌برداری آب در حوضه‌های رودخانه‌های هابه^۱، شیول^۲ و شیانگ^۳ در استان گانسو^۴ چین را بررسی کردند. برای این منظور آنها از شاخص فقر آبی استفاده نمودند که پنج مؤلفه منابع آبی، دسترسی، مصرف، ظرفیت و محیط‌زیست در آن مد نظر قرار گرفت. در این مطالعه مؤلفه منابع شامل متغیرهای منابع آب سرانه و ضریب جریان سطحی، مؤلفه دسترسی شامل متغیرهای تعداد پزشکان به ازای هر هزار نفر، عرضه آب سطحی و عرضه آب زیرزمینی؛ مؤلفه مصرف شامل متغیرهای آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، خانگی، صنعت و بوم‌شناختی؛ مؤلفه ظرفیت شامل متغیرهای سطح آموزش، تولید ناخالص داخلی، درآمد خالص سالانه روستاییان و درآمد قابل تصرف سالانه شهرنشینان و مؤلفه محیط‌زیست شامل متغیرهای نرخ رقیق‌سازی^۵، تخریب مراتع، اراضی جنگلی حمایت شده، میزان مناطق دارای خاک شور، اراضی کویری و اراضی ماسه‌ای تثبیت شده بوده است. نتایج پژوهش آنها نشان داد، حوضه رودخانه شیول وضعیت مناسبی از نظر امنیت آبی دارد و وضعیت مؤلفه محیط‌زیست در حوضه رودخانه هابه و وضعیت مؤلفه‌های ظرفیت و منابع در حوضه رودخانه شیانگ مساعد نیست. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) با به‌کارگیری شاخص فقر آبی میزان تنش آبی حوضه رودخانه شیانگ در چین را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد منطقه مین کین با مقدار شاخص فقر آبی ۲۶/۳ وضعیت مناسبی ندارد اما منطقه جینگ چانگ با ارزش نهایی

۶۶/۹ برای شاخص فقر آبی وضعیت نسبی بهتری دارد. سلامی و طاهری ریکنده (۱۳۹۸) وضعیت امنیت آبی استان‌های ایران را سنجیدند. براساس شاخص فقر آبی محاسبه شده برای استان‌های مختلف کشور، استان‌های سیستان و بلوچستان، قم، کرمان، هرمزگان و گلستان با ناامنی آبی شدید و استان‌های تهران و گیلان با امنیت آبی ضعیف روبه‌رو می‌باشند. همچنین پنج استان آذربایجان شرقی، زنجان، سمنان، کرمانشاه و لرستان در طبقه امنیت آبی بالا و پنج استان بوشهر، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، کردستان و مرکزی در طبقه امنیت آبی کامل می‌باشند. عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۳) امنیت آبی در اقلیم‌های خشک را از دیدگاه شاخص رد پای آب با تاکید بر استان خراسان جنوبی بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد، برای به‌دست آوردن امنیت غذایی، نیاز به تأمین حدود ۴۴۸ هزار تن انواع محصولات غذایی است که با در نظر گرفتن شرایط واقعی و راندمان ۳۵ درصد، معادل ۲۰۶۵ میلیون متر مکعب آب به شکل مجازی است. کل حجم شاخص رد پای آب در استان ۱۱۴۲ میلیون متر مکعب است که به ازای هر نفر ۱۷۲۳/۷ متر مکعب در سال برآورد شد. محمدجانی و یزدانیان (۱۳۹۳) وضعیت بحران آب در کشور را با بررسی شاخص‌های بین‌المللی آب تحلیل کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد در شرایطی که بخش کشاورزی بیش از ۹۰ درصد از مصرف آب در کشور را به خود اختصاص می‌دهد، به واسطه مشکلات ساختاری حاکم بر این بخش، روند رو به رشد جمعیت و مصرف مواد غذایی و باوجود فشار گسترده به منابع آب‌های زیرزمینی کشور، کسری تراز بازرگانی این بخش به بیش از ۸ میلیارد دلار در سال ۱۳۹۲ رسیده است. مرور مطالعات نشان داد: ۱- ساخت شاخص ترکیبی برای وضعیت امنیت آبی استان‌های ایران با استفاده از روش‌های تحلیل چند معیاره کمتر مورد توجه پژوهشگران بوده است، ۲- به اهمیت روش جمع‌سازی در ساخت شاخص امنیت آبی پرداخته نشده است. از این رو نوآوری مطالعه حاضر آن است که با استفاده از روش‌های مختلف شاخص ترکیبی برای استان‌های ایران را محاسبه می‌کند و با مقایسه نتایج دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵، تصویر قابل اعتمادی از وضعیت امنیت آبی استان‌های کشور ارائه کند.

روش بررسی

ارزیابی منابع آب همواره اقدامی دشوار بوده، زیرا مستلزم آن است که ابعاد مختلف فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، سازمانی و محیط زیستی به‌صورت همه جانبه ملاحظه شود. (Manandhar و همکاران، ۲۰۱۲؛ Van Ty و همکاران، ۲۰۱۰). در طول سال‌های اخیر پیش‌بینی تشدید وضعیت بحرانی و تداوم روند نامطلوب وضعیت منابع آبی در سطح جهان موجب شد، محققان و سازمان‌های بین‌المللی جهت ارزیابی وضعیت امنیت آبی رویکردهای

متفاوتی را ارائه کنند. یکی از رویکردهای متداول در این زمینه، تدوین، توسعه و استفاده از شاخص‌ها در سطوح مختلف می‌باشد، (Jonsson و Wilk، ۲۰۱۴) زیرا امنیت آبی یک مفهوم چندبعدی است و امکان استفاده از یک متغیر برای نشان دادن ابعاد مختلف آن وجود ندارد. بنابراین از روش شاخص‌سازی برای بیان این کمیت استفاده می‌شود (Sullivan، ۲۰۰۲). باتوجه به چارچوب توصیه شده توسط مشارکت جهانی آب، به‌منظور مشخص کردن اجزای شاخص کمی امنیت آبی باید مراحل چندگانه‌ای طی شود. ابتدا باید ابعاد کلیدی مرتبط با امنیت آبی تعیین شود. سپس باتوجه به آمار و اطلاعات در دسترس، شاخص‌ها و زیرشاخص‌هایی که این ابعاد کلیدی را به خوبی منعکس می‌کنند، انتخاب شود. پس از آن باید از میان رویکردهای آماری موجود در ادبیات روش مناسبی برای استانداردسازی این شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تعیین شود. در ادامه معادلات مناسبی برای ترکیب شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در هر یک از ابعاد امنیت آبی تدوین شده و در نهایت به‌منظور ارزیابی و مقایسه وضعیت مناطق مختلف امنیت آب کلی محاسبه شود (سلامی و طاهری، ۱۳۹۸).

تاکنون شاخص‌های متعددی جهت بررسی وضعیت منابع آبی در سطوح مختلف، توسط محققان ارائه شده که یکی از مناسب‌ترین آنها شاخص فقر آبی می‌باشد. این شاخص که برای نخستین بار توسط Sullivan (۲۰۰۲) معرفی شد به‌عنوان یک ابزار چندبعدی و جامع با یکپارچه‌سازی جنبه‌های فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی مرتبط با آب در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف، می‌باشد. این شاخص درک بهتری از پیچیدگی‌های مربوط به مدیریت بهینه منابع آب را فراهم می‌کند (Ford و Korc، ۲۰۱۳؛ Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳). از این رو می‌توان به واسطه آن وضعیت منابع آبی مناطق مختلف را سنجش کرد و جایگاه‌شان را از لحاظ فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی مرتبط با کمبود آب رتبه‌بندی کرد و از این طریق به اولویت‌بندی تمرکز سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و عمومی پرداخت. همچنین می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص عملکرد در جهت نظارت و ارزیابی سیاست‌های دولت در حوزه آب استفاده نمود (Pandey و همکاران، ۲۰۱۱).

شاخص فقر آبی از پنج مؤلفه اصلی مرتبط با آب تشکیل شده است که عبارتند از: ۱- منابع، ۲- دسترسی، ۳- ظرفیت، ۴- مصرف و ۵- محیط‌زیست. هر کدام از این مؤلفه‌ها توسط شاخص‌ها و متغیرهایی اندازه‌گیری می‌شوند. باتوجه به اینکه هر کدام از شاخص‌های تشکیل‌دهنده مؤلفه‌ها واحدهای متفاوتی دارند، جهت تجمیع، مقایسه و تفسیر، ابتدا مقدار آنها استانداردسازی می‌شود تا اندازه عددی هر کدام از این شاخص‌ها در بازه ۰ تا ۱۰۰ قرار گیرد. برای این منظور در رابطه با متغیرهایی که دارای واحد هستند از روش حداقل-حداکثر استفاده می‌شود (Van Ty و همکاران، ۲۰۱۰). مؤلفه منابع از طریق شاخص دستیابی ارزیابی می‌شود. کاهش

دستیابی به منابع آب به مفهوم افزایش فقر آبی و دستیابی به آب بیشتر، موجب انعطاف‌پذیری بیشتر جامعه در رابطه با منابع آب می‌شود. این شاخص از طریق متغیر حجم منابع آب زیرزمینی و سطحی سالانه بر حسب متر مکعب به‌دست می‌آید و به‌صورت سرانه در نظر گرفته می‌شود تا فشار جمعیت را بر روی منابع آب نشان دهد (Sullivan، ۲۰۰۱؛ Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳؛ سلامی و طاهری، ۱۳۹۸).

مؤلفه دسترسی دومین مؤلفه شاخص فقر آبی است که دسترسی کافی به آب در بخش‌های مختلف تقاضاکننده و سیستم‌های تخلیه و تصفیه فاضلاب را مد نظر قرار می‌دهد. این مؤلفه موجب بهبود وضعیت اقتصادی و بهداشت مناطق مختلف می‌شود که جهت حفظ رشد اقتصادی و ارتقا سلامت جامعه بسیار ضروری است. عدم کفایت در دسترسی به منابع آب علاوه‌بر کاهش روند توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی مناطق، موجب اتلاف زمان و هزینه بیشتر افراد جهت به‌دست آوردن آب می‌شود که می‌توانست در فعالیت‌های تولیدی و اقتصادی صرف شود. ازاین‌رو در مؤلفه دسترسی میزان منابع آب در دسترس بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعتی مد نظر قرار گرفته که براساس شاخص‌هایی مانند سرانه تعداد انشعاب آب در نقاط شهری و روستایی تحت پوشش شرکت‌های آب و فاضلاب روستایی و درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت در تجزیه و تحلیل‌ها وارد می‌شوند (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۶؛ سلامی و طاهری، ۱۳۹۸).

مؤلفه ظرفیت بیانگر توانایی و کارایی سیستم مدیریت منابع آب است. باتوجه‌به ارتباط میان شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی مناطق مختلف و مدیریت منابع آب آن‌ها، اهمیت این شاخص‌ها در مطالعات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است. این مؤلفه شامل دو شاخص ظرفیت‌های اجتماعی و ظرفیت‌های اقتصادی می‌باشد. جهت ارزیابی ظرفیت‌های اجتماعی مناطق، می‌توان از متغیرهای نرخ باسوادی و نرخ مشارکت اقتصادی استفاده نمود. متغیر نرخ باسوادی به‌صورت درصد جمعیت باسواد شش سال به بالا تعریف می‌شود. ارزش بالاتر این متغیر بیانگر ظرفیت اجتماعی بالاتر افراد مناطق مختلف در تطبیق شرایط زندگی آن‌ها با شرایط کم‌آبی و نقش مثبت در مدیریت منابع آب می‌باشد (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳؛ Brooks و همکاران، ۲۰۰۵). متغیر نرخ مشارکت اقتصادی، از تقسیم جمعیت فعال ۱۰ ساله و بیشتر بر کل جمعیت ۱۰ ساله و بیشتر به‌دست می‌آید. این متغیر به نوعی بیانگر توان فیزیکی بالاتر افراد در واکنش به تنش کم‌آبی بوده که ارزش بالاتر آن موجب افزایش ظرفیت‌های اجتماعی مناطق خواهد شد. برای اندازه‌گیری ظرفیت‌های اقتصادی مناطق می‌توان از متغیرهای تولید ناخالص داخلی سرانه و میزان اشتغال غیرکشاورزی استفاده نمود. متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه بیانگر توان اقتصادی مناطق مختلف در دستیابی به تکنولوژی، انجام سرمایه‌گذاری در پروژه‌های آب،

افزایش توانایی عرضه آب و بهبود وضعیت مدیریت منابع آب می‌باشد (Pandey و همکاران، ۲۰۱۱).

باتوجه‌به اینکه فعالیت‌های کشاورزی معمولاً همراه با ریسک بالا و بازدهی پایین هستند، افزایش کسب و کار غیرکشاورزی می‌تواند ظرفیت اقتصادی جامعه را در مدیریت منابع آب افزایش می‌دهد؛ لذا متغیر میزان اشتغال غیرکشاورزی در تجزیه و تحلیل‌ها وارد خواهد شد. در مؤلفه مصارف باید میزان آب مورد استفاده در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب خانگی، کشاورزی و صنعتی در تجزیه و تحلیل‌ها وارد شود. بنابراین، از متغیر سرانه مصرف آب خانگی در مناطق شهری و روستایی مترمکعب به‌ازای هر نفر استفاده خواهد شد. اما باتوجه‌به نبود اطلاعات آماری قابل اطمینان در مورد مصارد آب در بخش کشاورزی از متغیر درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت استفاده خواهد شد. اساساً مناطق مختلف جهت در امان ماندن از خشکسالی‌ها و افزایش عملکرد به کشت آبی روی می‌آورند. از این رو افزایش سهم اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت می‌تواند بیانگر تنش آبی موجود در منطقه باشد. لذا این متغیر دارای تأثیر منفی بر اندازه شاخص فقر آبی است (سلامی و طاهری، ۱۳۹۸).

باتوجه‌به اینکه بقای سیستم‌های محیط‌زیستی یکی از پیش‌نیازهای توسعه پایدار است در محاسبه شاخص فقر آبی، مؤلفه محیط‌زیست مد نظر قرار می‌گیرد. زیرا یکپارچگی محیطی موجب افزایش ظرفیت غلبه‌بر تنش‌های ناشی از کم‌آبی و تداوم منافع اقتصادی کالاها و خدمات اکوسیستم‌ها خواهد شد (Van Ty و همکاران، ۲۰۱۰). در مؤلفه محیط‌زیست مقدار توزیع کودهای شیمیایی، میزان فروش سموم شیمیایی به‌ازای هر هکتار از اراضی زیرکشت و شاخص پوشش گیاهی در تجزیه و تحلیل‌ها وارد می‌شود. کودها و سموم شیمیایی در صورتی که به‌طور بی‌رویه مصرف شوند از طریق هرز آب‌ها موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی خواهند شد. از این‌رو می‌توان مصرف کودها و سموم شیمیایی بیشتر در واحد سطح را به منزله افزایش احتمال آلودگی منابع آب و ایجاد تنش‌های محیط زیستی بیشتر پذیرفت. بنابراین، متغیرهای مقدار مصرف کودها و سموم شیمیایی به‌ازای هر هکتار از اراضی زیرکشت در استان‌های مختلف جهت تجزیه و تحلیل مؤلفه محیط‌زیست استفاده می‌شود (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳؛ سلامی و طاهری، ۱۳۹۸).

در شاخص پوشش گیاهی، میزان حفاظت از یکپارچگی محیط‌زیستی ارزیابی می‌شود. محققان معتقدند روی آوردن به اقدامات ناپایداری از قبیل تغییر کاربری اراضی، به زیر کشت بردن زمین‌های غیرکشاورزی، کشت غیرعلمی و چرای بیش از حد دام موجب تخریب پوشش گیاهی مناطق مختلف می‌شود. ازاین‌رو باید میزان پوشش گیاهی استان‌های مختلف در محاسبات شاخص فقر آبی مد نظر قرار گیرد. اما باتوجه‌به عدم دسترسی به آمارهای مورد نیاز در طول دوره تحت بررسی، از درصد مساحت مناطق حفاظت

شده تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست از کل مساحت استان به عنوان متغیر جایگزین استفاده شده است. زیرا هر چقدر سهم بیشتری از مساحت استان ها تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست مورد محافظت قرار گیرد، آن استان ها در نهایت می توانند پوشش گیاهی مناسب تری داشته باشند (Pandey و همکاران، ۲۰۱۱؛ Manandhar و همکاران، ۲۰۱۲).

برای ساخت شاخص کلی جهت بررسی وضعیت امنیت آبی از شاخص های ترکیبی استفاده می شود. شاخص های ترکیبی، تجمیعی از شاخص های منفرد می باشند و مسئله مورد بررسی را از ابعاد مختلف اندازه گیری می کنند. امروزه شاخص های ترکیبی با مزیت توانایی در خلاصه کردن مقدار فراوان اطلاعات، در جهت دستیابی به سادگی در درک و فهم عمومی و ارائه تحلیل نهایی، بیشتر محل توجه پژوهشگران قرار دارد. در سال های اخیر استفاده از شاخص های ترکیبی در حال افزایش است؛ به طوری که Bandura (۲۰۰۶) به ۱۶۰ نمونه از این شاخص ها اشاره کرده است و این شاخص های ترکیبی، مقایسه عملکرد کشورها یا عملکرد سال های مختلف کشوری خاص را به صورتی ساده و فهم پذیر فراهم می کند؛ به طوری که برای تشریح و توصیف مسائل پیچیده و مختلف در زمینه های گوناگون از جمله اقتصاد کاربرد دارد (Joint Research Centre-European Commission، ۲۰۰۸).

مسئله قابل توجه در تجمیع و وزن دهی شاخص های منفرد در ساخت شاخص ترکیبی نهایی این است که روش های مورد استفاده از تکنیک های تحقیق در عملیات به ویژه تحلیل پوششی داده ها (DEA)^۷ و تحلیل تصمیم گیری چند معیاره (MCDA)^۸ استخراج شدند (Zhou و Ang، ۲۰۰۹). در حالی که طیف وسیعی از روش های MCDA از قبیل تاپسیس، روش مجموع ساده وزن، ستانده وزنی، ایده آل جانشین وزنی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و همچنین تحلیل مولفه های اصلی، تحلیل عاملی و انحراف از اپتیمم وجود دارد (Nardo و همکاران، ۲۰۰۵)، اما هیچ کدام نمی تواند به عنوان یک روش برتر برای ساخت شاخص ترکیبی استفاده شود (Guitouni و Martel، ۱۹۹۸). جهت انتخاب روش های مناسب ساخت و تجمیع شاخص ها روش های کیفی و کمی مختلف تدوین شده است. روش های کیفی، مبتنی بر وجود مبانی نظری قوی، قابل فهم بودن، سهولت استفاده و اعتبار شاخص ها است اما روش های کمی، مبتنی بر مقایسه نتایج از طریق معیارهایی نظیر ضریب همبستگی، ضریب اختلاف، درصد تغییر نتایج، شدت تغییرات رتبه و معیار اسپیرمن-شانون^۹ است (Zhou و Ang، ۲۰۰۹، بدری و اکبریان رونیزی، ۱۳۸۵). برخی پژوهشگران با استفاده از تحلیل همبستگی رتبه بندی های به دست آمده روش های مختلف را مورد آزمون قرار دادند و براساس شدت همبستگی بین روش ها نسبت به هم راستا بودن نتایج تحقیق خود قضاوت کردند (بدری و اکبریان رونیزی، ۱۳۸۵؛ تقوایی و شیخ بیگلر، ۱۳۹۲). در برخی تحقیقات معیار ضریب تغییرات،

ملاک انتخاب روش های تجمیعی قرار گرفته است و روش های با ضریب اختلاف کمتر قدرت بیشتری در تمایز واحدهای مورد مطالعه داشتند (سلیمی فر و همکاران، ۱۳۸۸). بر مبنای معیار از دست رفتن اطلاعات، Zhou و همکاران (۲۰۰۷) معیار اسپیرمن-شانون را برای مقایسه روش های تجمیع شاخص ها در فرآیند ساخت شاخص ترکیبی تدوین کردند. اثربخشی این معیار در مقایسه روش های MCDA برای ساخت شاخص ترکیبی در برخی از مطالعات آزمون شده است (Zhou و Ang، ۲۰۰۹). بنابراین ضرورت دارد، طبق معیار بیان شده که مبتنی بر حفظ ماهیت اطلاعات اصلی، روش های مختلف ساخت شاخص ترکیبی مقایسه شده و مزیت آن ها برای به کارگیری در تحقیقات آینده تبیین شود.

• روش های رتبه بندی شاخص ها

در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی و از روش های تاپسیس، تاکسونومی عددی، میانگین وزنی برای رتبه بندی استان ها از نظر شاخص های امنیت آبی استفاده می شود. علاوه بر این، با روش اسپیرمن-شانون این سه روش با یکدیگر مقایسه می شوند. این روش ها جز معروف ترین و معتبرترین روش های رتبه بندی شاخص ها هستند (Zhou و Ang، ۲۰۰۹). عبدالله زاده و همکاران (۱۳۹۴) برای رتبه بندی استان ها از نظر شاخص های توسعه و مهدیار اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸) برای ارزیابی تاب آوری اقتصادی کشورهای تک محصولی از این روش استفاده کردند. روش های مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین اهمیت نسبی معیارها و مقایسات زوجی در ساختارهای سلسله مراتبی چند لایه استفاده می شود (Saaty و Vargas، ۲۰۱۲). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع ترین تکنیک های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را دارد. در این روش انجام مقایسات زوجی منتهی به محاسبه اهمیت نسبی هر یک از معیارها در سطوح مختلف طبقه بندی می شود. و گزینه ها را در سطوح پایین به منظور تعیین بهترین گزینه ارزیابی می کند. همچنین این روش برای حل مسائلی که معیارها و زیر معیارهای مسئله تصمیم گیری ساختار سلسله مراتبی دارد، بسیار مناسب خواهد بود (Tuzmen و Sipahi، ۲۰۱۱). در این مطالعه جامعه آماری شامل پژوهشگران و کارشناسان در زمینه منابع آبی و امنیت آبی می باشند که با استناد بر نظرات ایشان و روش تحلیل سلسله مراتبی وزن شاخص های امنیت آبی مورد مطالعه به دست می آید. به این منظور پرسشنامه ای مبتنی بر تحلیل سلسله مراتبی تهیه شد و از مصاحبه با ۱۲۰ نفر از جامعه آماری در دانشگاه تهران، وزارت نیرو و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری تکمیل شد.

جدول ۱- روش‌های مورد استفاده

روش	فرمول
میانگین وزنی ساده	$CI_c^t = \sum_{i=1}^N w_i r_{ic}^t, \quad x_{ic}^t = \frac{r_{ic}^t}{\sqrt{\sum_{i=1}^N r_{ic}^2}}$
تاپسیس	$CI_{ic}^t = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (w_i r_{ic} - \min \{w_i r_{ic}\})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (w_i r_{ic} - \min \{w_i r_{ic}\})^2 + \sum_{i=1}^N (w_i r_{ic} - \max \{w_i r_{ic}\})^2}}$
تاکسونومی	$CI_c^t = \frac{C_{io}}{C_o}, \quad C_o = \bar{C}_{io} + 2\sigma C_{io}, \quad C_{io} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ic} - Z_{oc})^2}$

x_{ic}^t ارزش شاخص i برای واحد مورد مقایسه (استان) c در زمان t است. W_i وزن تخصیص یافته به شاخص i در شاخص ترکیبی کل است. r_{ic} نیز ماتریس نرمال x_{ic}^t است. Z_{ic} مقادیر استاندارد شده، Z_{oc} بیشترین مقدار از مقادیر استاندارد شده است.

شاخص اسپیرمن-شانون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d = \left| \sum_{j=1}^n w_j \left(1 + \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \right) r_{sj} - \left(1 + \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \right) r_s \right| \quad (1)$$

به دست آمده در جدول (۲) گزارش شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود، شاخص‌های منابع آب سطحی سرانه، منابع آب زیرزمینی سرانه و مصرف آب سرانه به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۷، ۰/۲۶ و ۰/۱۴ رتبه‌های اول تا سوم اهمیت را از نظر کارشناسان دارند و نرخ باسوادی، درصد مناطق حفاظت شده در هر استان و سرانه انشعاب آب و فاضلاب کمترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۲- وزن محاسبه شده برای شاخص‌های امنیت آبی براساس رهیافت تحلیل سلسله مراتبی

شاخص‌ها	وزن
منابع آب سطحی سرانه	۰/۲۷
منابع آب زیرزمینی سرانه	۰/۲۶
مصرف آب سرانه	۰/۱۴
نرخ شهرنشینی	۰/۰۶۷
درصد اراضی زیار کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت	۰/۰۵۱
تولید ناخالص واقعی به قیمت سال ۹۰ سرانه	۰/۰۴۶
نرخ مشارکت اقتصادی	۰/۰۴۰
میزان اشتغال غیرکشاورزی	۰/۰۳۰
مصرف کود شیمیایی به ازای یک هکتار	۰/۰۳۰
مصرف سموم شیمیایی به ازای هر هکتار	۰/۰۲۵
نرخ باسوادی	۰/۰۲۰
درصد مناطق محافظت شده	۰/۰۱۱
سرانه انشعاب آب و فاضلاب روستایی و شهری	۰/۰۱۰

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

$$P_i = \frac{CI_i}{\sum_{i=1}^m CI_i} \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3)$$

و در آن i شاخص‌ها، j استان‌ها، w وزن شاخص‌ها و x مقدار شاخص است. نماد r_{sj} ضریب همبستگی اسپیرمن بین وزن شاخص s ام و j ام است که از روش آنتروپی به دست آمده و رتبه شاخص s ام را مشخص می‌کند. نماد r_{ij} ضریب همبستگی بین مقدار شاخص‌ها و رتبه‌ها در هر روش نشان می‌دهد. هر چقدر مقدار d در روش مورد نظر کمتر باشد، اطلاعات کمتری از دست رفته است و آن روش می‌تواند به عنوان روش برتر شناخته شود (Ang و Zhou، ۲۰۰۹). آمار مورد نیاز پژوهش از شرکت مدیریت منابع آب، سالنامه‌های آماری سازمان آمار و سازمان جهاد کشاورزی ایران برای سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به تفکیک استان‌های ایران جمع‌آوری شد.

یافته‌ها و بحث

برای ساخت شاخص ترکیبی امنیت آبی برای استان‌های ایران، ابتدا با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن و اهمیت نسبی هر یک از شاخص‌های تشریح شده استفاده شده است. به این منظور پرسشنامه طراحی شده در قالب این روش با مصاحبه با کارشناسان و پژوهشگران تکمیل شده و بعد از انجام مقایسات زوجی نتایج

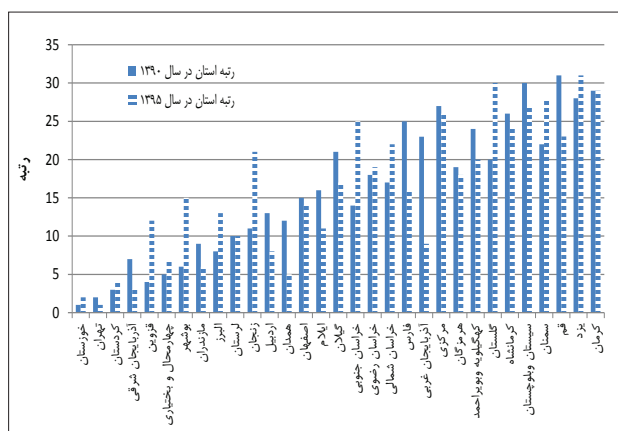
بعد از محاسبه وزن‌ها و اهمیت هر یک از شاخص‌ها، شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌ها در سال ۱۳۹۰ با استفاده از سه رهیافت تاپسیس، تاکسونومی و میانگین وزنی محاسبه شده است و نتایج آن در جدول (۳) گزارش شده است. براساس نتایج محاسبه شده استان‌های خوزستان، تهران و کردستان در روش تاپسیس و میانگین وزنی رتبه‌های اول تا سوم و استان‌های خوزستان، بوشهر و تهران رتبه‌های اول تا سوم را در روش تاکسونومی به خود اختصاص دادند. همچنین قم، یزد و کرمان در روش تاپسیس، سیستان و بلوچستان، قم و کرمان در روش تاکسونومی و میانگین وزنی بدترین وضعیت امنیت کشور را در سطح کشور داشته‌اند. به منظور کاربرد شاخص اسپیرمن-شانون برای مقایسه روش‌ها، مقدار این شاخص برای هر سه روش مورد استفاده محاسبه شد. مشاهده می‌شود که شاخص به دست آمده از روش میانگین وزنی کمترین مقدار را دارد، در حالی که شاخص تاکسونومی بیشترین مقدار را دارد. در روش‌های تاپسیس و تاکسونومی میزان محاسبات برای رسیدن به شاخص‌های ترکیبی بسیار بیشتر از میانگین وزنی است، به همین علت میزان از دست رفتن اطلاعات نیز بالاتر است. بنابراین شاخص میانگین وزنی کمترین میزان از دست رفتن اطلاعات را در بین روش‌های مورد استفاده در این مطالعه داشته است که منطبق بر نتیجه مهدیار اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۸) است. نتایج به دست آمده از سه روش با همدیگر همبستگی مثبت و بالایی دارند که این موضوع بیانگر همراستی بودن نتایج سه روش مورد نظر است.

در ادامه شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌های کشور در سال ۱۳۹۵ نیز محاسبه شده است تا تغییر وضعیت استان‌های کشور در این بازه زمانی بررسی شود. براساس شاخص اسپیرمن-شانون مقدار شاخص به دست آمده از روش میانگین وزنی کمترین مقدار را دارد (مانند نتایج سال ۱۳۹۰)، بنابراین شاخص میانگین وزنی کمترین میزان از دست رفتن اطلاعات را در بین روش‌های مورد استفاده در این مطالعه داشته است.

همانطور که در نتایج گزارش شده در جدول (۴) مشاهده می‌شود، براساس هر سه روش استفاده شده، استان‌های تهران، خوزستان و آذربایجان شرقی بهترین وضعیت را از نظر امنیت آبی در بین استان‌های کشور در سال ۱۳۹۵ داشته‌اند. استان‌های یزد، قم، کرمان و سیستان و بلوچستان همانند سال ۱۳۹۰ وضعیت مناسبی در سطح کشور ندارد و در آخرین رتبه‌های این اولویت بندی قرار دارند. استان کردستان نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش رتبه داشته است و به رتبه‌های پایین‌تری افت کرده است. استان همدان وضعیت نسبی بهتری پیدا کرده است و رتبه آن از محدوده ۱۲ در سال ۱۳۹۰ به محدوده ۵ در سال ۱۳۹۵ رسیده است. آذربایجان غربی در سال ۱۳۹۰ وضعیت نامناسبی داشت و در رتبه‌های آخر مشاهده

می‌شود، در سال ۱۳۹۵ وضعیت نسبی بهتری پیدا کرده است و رتبه این استان به محدوده بالاتری رسیده است. اردبیل نیز شرایط مشابه داشته است و رتبه نسبی آن در سطح کشوری بهبود یافته است. اما این نتایج بیانگر بهبود وضعیت امنیت آبی کشور نیست. بلکه مقایسه میانگین شاخص ترکیب امنیت آبی در سال ۱۳۹۵ با سال ۱۳۹۰ در هر سه روش استفاده شده بیانگر آن است که امنیت آبی تمام استان‌های کشور در این بازه کاهش پیدا کرده است و میانگین کشوری نیز افت کرده است. این امر بیانگر وضعیت نامناسب مدیریت منابع آب کشور و امنیت آب استان‌ها در این بازه کوتاه بوده است.

برای بررسی بهتر تفاوت رتبه‌های استان‌های کشور در دوره مورد بررسی، رتبه‌های استان‌ها در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ براساس روش میانگین وزنی مقایسه شده است. براساس شکل (۲)، بدترین افت نسبی وضعیت امنیت آبی استان‌ها در این بازه، مربوط به استان‌های خراسان جنوبی، زنجان و گلستان می‌باشد که به ترتیب از رتبه‌های ۱۴، ۱۱ و ۲۰ به رتبه‌های ۲۵، ۲۱ و ۳۰ رسیده‌اند. همچنین بهترین بهبود نسبی متعلق به استان‌های آذربایجان غربی و فارس است که از رتبه‌های ۲۳ و ۲۵ کشوری به رتبه ۹ و ۱۶ رسیدند. این تفاوت در وضعیت استان‌ها نشان می‌دهد استان‌های کشور وضعیت متفاوتی در زمینه شاخص‌های امنیت آبی دارند و اتفاقات این دوره موجب تغییرات وضعیت نسبی استان‌ها نسبت به همدیگر شده است، همچنین این وضعیت ممکن است ناشی از تفاوت در مدیریت و عملکرد سازمان‌های مرتبط با مدیریت آب در استان‌های مختلف باشد. ثانیاً کاهش میانگین شاخص امنیت آبی در کل کشور بیانگر افزایش بحران منابع آبی کشور است و فارغ از تغییرات رتبه استان‌ها، میانگین کشور در زمینه آبی روند نزولی دارد.



شکل ۲- مقایسه رتبه استان‌های کشور در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۰
براساس روش میانگین وزنی

جدول ۳- نتایج محاسبه شاخص ترکیبی امنیت آبی برای استان‌های ایران در سال ۱۳۹۰

تاپسیس		تاکسونومی		میانگین وزنی	
استان	مقدار شاخص	رتبه	مقدار شاخص	رتبه	مقدار شاخص
خوزستان	۰/۵۸۶	۱	۰/۴۶۳	۱	۰/۶۳۶
تهران	۰/۴۶۵	۲	۰/۶۳۰	۳	۰/۴۹۵
کردستان	۰/۲۹۸	۳	۰/۷۱۱	۵	۰/۳۳۸
آذربایجان شرقی	۰/۲۴۴	۴	۰/۷۷۱	۶	۰/۲۳۴
قزوین	۰/۲۱۴	۵	۰/۹۲۳	۱۹	۰/۲۶۴
چهارمحال و بختیاری	۰/۲۱۱	۶	۰/۸۳۲	۷	۰/۲۴۱
بوشهر	۰/۱۹۵	۷	۰/۶۱۴	۲	۰/۲۳۵
مازندران	۰/۱۸۲	۸	۰/۶۳۴	۴	۰/۱۷۲
البرز	۰/۱۶۷	۹	۰/۸۸۴	۱۱	۰/۲۱۷
لرستان	۰/۱۲۵	۱۰	۰/۹۰۲	۱۳	۰/۱۵۵
زنجان	۰/۱۱۱	۱۱	۰/۸۶۱	۸	۰/۱۵۱
اردبیل	۰/۱۰۱	۱۲	۰/۸۶۳	۹	۰/۱۳۸
همدان	۰/۱۰۰	۱۳	۰/۸۹۹	۱۲	۰/۱۵۰
اصفهان	۰/۰۹۹	۱۴	۰/۹۰۷	۱۵	۰/۱۲۹
ایلام	۰/۰۹۸	۱۵	۰/۸۷۶	۱۰	۰/۱۲۰
گیلان	۰/۰۸۶	۱۶	۰/۹۲۱	۱۷	۰/۰۹۵
خراسان جنوبی	۰/۰۸۱	۱۷	۰/۹۲۳	۲۰	۰/۱۳۱
خراسان رضوی	۰/۰۸۰	۱۸	۰/۹۰۵	۱۴	۰/۱۱۰
خراسان شمالی	۰/۰۷۵	۱۹	۰/۹۲۵	۲۱	۰/۱۱۵
فارس	۰/۰۷۰	۲۰	۰/۹۳۴	۲۲	۰/۰۸۵
آذربایجان غربی	۰/۰۷۰	۲۱	۰/۹۵۲	۲۵	۰/۰۹۱
مرکزی	۰/۰۶۵	۲۲	۰/۹۴۱	۲۳	۰/۰۷۶
هرمزگان	۰/۰۶۴	۲۳	۰/۹۲۰	۱۶	۰/۱۰۴
کهگیلویه و بویراحمد	۰/۰۵۹	۲۴	۰/۹۶۲	۲۸	۰/۰۸۵
گلستان	۰/۰۵۱	۲۵	۰/۹۵۹	۲۷	۰/۱۰۱
کرمانشاه	۰/۰۵۰	۲۶	۰/۹۴۲	۲۴	۰/۰۸۰
سیستان و بلوچستان	۰/۰۴۵	۲۷	۰/۹۶۲	۲۹	۰/۰۴۹
سمنان	۰/۰۴۴	۲۸	۰/۹۲۲	۱۸	۰/۰۹۵
قم	۰/۰۴۳	۲۹	۰/۹۷۶	۳۰	۰/۰۳۴
یزد	۰/۰۴۳	۳۰	۰/۹۵۷	۲۶	۰/۰۷۵
کرمان	۰/۰۴۳	۳۱	۰/۹۸۴	۳۱	۰/۰۶۰
میانگین	۰/۱۳۴		۰/۸۶۶		۰/۱۶۳
شاخص اسپیرمن-شانون	۰/۲۱		۰/۲۴		۰/۱۷

جدول ۴- نتایج محاسبه شاخص ترکیبی امنیت آبی برای استان‌های ایران در سال ۱۳۹۵

تاپسیس		تاکسونومی		میانگین وزنی	
استان	مقدار شاخص	رتبه	مقدار شاخص	رتبه	مقدار شاخص
تهران	۰/۴۵۷	۱	۰/۴۹۵	۱	۰/۵۰۷
خوزستان	۰/۴۱۹	۲	۰/۴۹۶	۲	۰/۴۴۸
آذربایجان شرقی	۰/۲۱۳	۳	۰/۵۲۶	۳	۰/۲۵۳
مازندران	۰/۲۰۸	۴	۰/۵۷۸	۶	۰/۱۹۷
کردستان	۰/۱۷۱	۵	۰/۵۶۲	۵	۰/۲۲۱
همدان	۰/۱۷۰	۶	۰/۵۶۱	۴	۰/۲۰۰
اردبیل	۰/۱۱۹	۷	۰/۶۱۲	۷	۰/۱۵۹
ایلام	۰/۱۱۱	۸	۰/۶۷۹	۱۰	۰/۱۴۰
چهارمحال و بختیاری	۰/۱۱۰	۹	۰/۶۶۰	۹	۰/۱۵۹
البرز	۰/۱۰۵	۱۰	۰/۶۳۲	۸	۰/۱۳۵
لرستان	۰/۱۰۰	۱۱	۰/۶۹۷	۱۱	۰/۱۴۰
قزوین	۰/۰۹۸	۱۲	۰/۷۴۳	۱۴	۰/۱۳۸
آذربایجان غربی	۰/۰۹۸	۱۳	۰/۷۴۲	۱۳	۰/۱۴۸
بوشهر	۰/۰۹۸	۱۴	۰/۷۶۵	۱۶	۰/۱۲۸
اصفهان	۰/۰۹۱	۱۵	۰/۷۶۱	۱۵	۰/۱۳۱
گیلان	۰/۰۹۱	۱۶	۰/۷۳۱	۱۲	۰/۱۲۰
کهگیلویه و بویراحمد	۰/۰۹۰	۱۷	۰/۸۱۲	۱۹	۰/۱۰۱
هرمزگان	۰/۰۸۹	۱۸	۰/۸۰۱	۱۷	۰/۱۱۹
فارس	۰/۰۸۸	۱۹	۰/۸۱۶	۲۱	۰/۱۲۸
خراسان جنوبی	۰/۰۸۸	۲۰	۰/۸۷۲	۲۳	۰/۰۷۸
خراسان شمالی	۰/۰۸۸	۲۱	۰/۸۱۳	۲۰	۰/۰۸۸
خراسان رضوی	۰/۰۸۷	۲۲	۰/۸۴۶	۲۲	۰/۱۱۷
کرمانشاه	۰/۰۸۰	۲۳	۰/۸۹۳	۲۴	۰/۰۸۱
گلستان	۰/۰۵۵	۲۴	۰/۸۹۶	۲۵	۰/۰۴۵
زنجان	۰/۰۵۰	۲۵	۰/۸۱۱	۱۸	۰/۱۰۰
سمنان	۰/۰۳۵	۲۶	۰/۹۱۲	۲۶	۰/۰۶۵
مرکزی	۰/۰۳۴	۲۷	۰/۹۳۴	۲۷	۰/۰۷۴
سیستان و بلوچستان	۰/۰۳۳	۲۸	۰/۹۴۶	۲۹	۰/۰۷۰
قم	۰/۰۳۳	۲۹	۰/۹۷۴	۳۰	۰/۰۸۳
کرمان	۰/۰۳۳	۳۰	۰/۹۷۸	۳۱	۰/۰۶۳
یزد	۰/۰۳۰	۳۱	۰/۹۳۴	۲۸	۰/۰۲۳
میانگین	۰/۱۱۵		۰/۷۵۷		۰/۱۴۳
شاخص اسپیرمن-شانون	۰/۲۴		۰/۲۸		۰/۱۹

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر وضعیت امنیت آبی استان‌های مختلف بابه‌کارگیری شاخص فقر آبی و روش‌های تحلیل سلسله مراتبی، تاکسونومی،

تاپسیس و میانگین وزنی ارزیابی شد و در ادامه رتبه‌بندی شدند. ابتدا با استفاده از مصاحبه با کارشناسان و پژوهشگران در زمینه امنیت آبی اهمیت شاخص‌های امنیت آبی در ایران به دست آمد. براین اساس مهمترین شاخص‌ها به ترتیب منابع آب سطحی سرانه، منابع آب زیر

پی‌نوشت

1-Heihe

2-Shule

3-Shiyang

4-Gansu

5-Dilution-ratio

۶-رابطه محاسبه این روش به صورت $X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 100$ است که در آن در این رابطه X_{min} کوچکترین مقدار هر شاخص و X_{max} بیشترین مقدار هر شاخص و X_{norm} مقادیر شاخص نرمال شده است.

7-Data envelopment analysis

8-Multiple-criteria decision analysis

9-Spearman -Shannon

منابع

- بدری، س. و اکبریان رونیزی، س. ۱۳۸۵. مطالعه تطبیقی کاربرد روش‌های سنجش توسعه یافتگی در مطالعات ناحیه‌ای. مجله جغرافیا و توسعه، (۷)۴: ۲۲-۵.
- تقوایی، م. و شیخ بیگلر، ر. ۱۳۹۲. ابداع و معرفی مدل RALSPI: مدلی جدید جهت ارزیابی گزینه‌ها و سنجش سطح توسعه سکونتگاه‌ها. مطالعات پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۴(۱۶): ۱-۲۲.
- سلامی، ح. و طاهری ریکنده، ع. ۱۳۹۸. سنجش وضعیت امنیت آبی در استان‌های ایران. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۳(۱): ۷۵-۹۴.
- سلیمی فر، م.، نوروزی، ر. و مطهری، م. ۱۳۸۸. سنجش توسعه صنعتی و توسعه منطقه‌ای استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی، پژوهش‌های اقتصادی، ۹(۴): ۱۷۵-۱۹۶.
- شریعتمدار، م. ح. ۱۳۹۷. مدیریت آب، خشکسالی و عوارض اقلیمی در اقتصاد مقاومتی. سازمان برنامه و بودجه کشور، معاونت امور اقتصادی و هماهنگی برنامه و بودجه (دبیرخانه ستاد فرماندهی اقتصاد مقاومتی). آب و اقتصاد مقاومتی. یازدهمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران. دانشگاه تهران، تهران.
- عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. جلد اول. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. نوبت چاپ اول. تهران. ایران.
- عبدالله‌زاده، غ.، شریف‌زاده، م. و ترحمی، ب. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های تجمیع شاخص‌ها برای ساخت شاخص ترکیبی توسعه منطقه‌ای، مطالعات و پژوهش‌های شهری منطقه‌ای، ۷(۲۷): ۱-۲۰.
- عربی یزدی، ا.، نیک‌نیا، ن.، مجیدی، ن. و امامی، ح. ۱۳۹۳. بررسی امنیت آبی در اقلیم‌های خشک از دیدگاه شاخص رد پای آب (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۴): ۷۳۵-۷۴۶.
- محمدجانی، ا. و یزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. روند (روند پژوهش‌های اقتصادی)، ۲۱(۶۵-۶۶): ۱۱۷-۱۴۴.
- مه‌دی‌اراسماعیلی، م.، صالحی کمرودی، م. و شاکری بستان‌آباد، ر. ۱۳۹۸. ارزیابی

زمینی سرانه، مصرف آب سرانه، نرخ شهر نشینی، درصد اراضی زیر کشت آبی از کل زمین‌های زیرکشت، تولید ناخالص واقعی سرانه، نرخ مشارکت اقتصادی، میزان اشتغال غیر کشاورزی، مصرف کود شیمیایی به‌ازای یک هکتار، مصرف سموم شیمیایی به‌ازای هر هکتار، نرخ باسوادی، درصد مناطق محافظت شده و سرانه انشعاب آب و فاضلاب روستایی و شهری می‌باشد.

براساس شاخص ترکیبی به‌دست‌آمده استان‌های خوزستان، تهران، آذربایجان شرقی، کردستان و مازندران وضعیت بهتر و استان‌های قم، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان در وضعیت بدتری از نظر امنیت آبی نسبت به سایر استان‌های کشور قرار دارند. مقایسه نتایج سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ نشان داد در طول این دوره اگرچه وضعیت نسبی بعضی از استان‌ها تغییر پیدا کرده و بعضی استان‌ها بهتر و بعضی استان‌ها بدتر شده‌اند، اما وضعیت امنیت آبی تمام استان‌های کشور نامناسب‌تر شده و شاخص محاسبه شده کاهش پیدا کرده است.

باتوجه‌به اینکه مولفه‌های منابع آب و دسترسی به آب یعنی منابع آب سطحی و زیرزمینی سرانه و مصرف آب سرانه از نظر کارشناسان بیشترین اهمیت امنیت آبی کشور را دارند، به‌نظر می‌رسد در طول بازه مورد بررسی هم از طرف جامعه و هم دولت، مدیریت مناسب و توجه شایانی برای این شاخص‌های کلیدی در تعیین وضعیت امنیت آبی وجود نداشته است که موجب کاهش شاخص ترکیبی در سال ۱۳۹۵ نسبت به سال ۱۳۹۰ شده است.

علاوه‌بر این به نظر می‌رسد که وضعیت واقعی برخی از استان‌های مختلف کشور با آنچه که عقیده عموم افراد بر آن است، متفاوت بوده است. به‌عنوان نمونه استان گیلان که وضعیت چندان مناسبی را در این ارزیابی‌ها نداشته است و یا استان فارس که بار زیادی از تولید محصولات کشاورزی و مصرف منابع آبی را به‌خود اختصاص می‌دهد، در وضعیت تنش آبی قرار گرفته است. این بیانگر آن است که قضاوت‌های تک‌بعدی در مورد وضعیت منابع آبی و پتانسیل‌های مناطق ممکن است نادرست باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در راستای برقراری مدیریت یکپارچه منابع آب به‌طور مداوم با استفاده از رویکردهای جامع‌نگر به ارزیابی وضعیت امنیت آبی مناطق پرداخته شود تا منابع مالی محدود دولت به مناطق واقعی درگیر با مسائل ناشی از ناامنی‌های آبی اختصاص داده شود.

باتوجه‌به بدتر شدن وضعیت امنیت آبی استان‌ها و اهمیت مولفه منابع، توصیه می‌شود دولت با استفاده از تجهیزات و امکانات کنترلی بر میزان مصرف منابع محدود آبی نظارت کند. انجام این مورد در بخش کشاورزی که مصرف‌کننده بیش از ۹۰ درصد منابع آب کشور می‌باشد، اهمیت فراوانی دارد. به‌کارگیری سیاست‌های حمایتی از پروژه‌های تأمین و انتقال منابع آب، تدوین الگوی کشت آب اندوز و ترویج صرفه‌جویی در مصرف آب در راستای برقراری مدیریت یکپارچه منابع آب بسیار ضروری است.

- Pan Y.H., Gu C.J., Ma J.Z., Zhang T.S. and Zhang H. 2014. Water Poverty Index in the inland river basins of Hexi Corridor, Gansu province. In *Advanced Materials Research*, 864: 2371-2375.
- Pandey V.P., Babel M.S., Shrestha S. and Kazama F. 2011. A framework to assess adaptive capacity of the water resources system in Nepalese river basins. *Ecological Indicators*, 11(2): 480-488.
- Saaty T.L. and Vargas L.G. 2012. *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Springer Science & Business Media, 175: 23-40.
- Sullivan C. 2001. The potential for calculating a meaningful water poverty index. *Water international*, 26(4): 471-480.
- Sullivan C. 2002. Calculating a water poverty index. *World development*, 30(7): 1195-1210.
- Sullivan C.A., Meigh J.R. and Giacomello A.M. 2003. The water poverty index: development and application at the community scale. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. In *Natural resources forum*, 27(3): 189-199.
- Sullivan C., Meigh J. and Lawrence P. 2006. Application of the Water Poverty Index at Different Scales: A Cautionary Tale: In memory of Jeremy Meigh who gave his life's work to the improvement of peoples lives. *Water international*, 31(3): 412-426.
- Tuzmen S. and Sipahi S. 2011. A multi-criteria factor evaluation model for gas station site selection. 2nd International Conference on Business and Economic Research, Kedah, Malaysia
- UNESCO-IHE. 2009. Research Themes. Water Security. <http://www.unesco-ihe.org/Research/Research-Themes/Water-security> (accessed 15.06.11).
- Van Ty T., Sunada K., Ichikawa Y. and Oishi S. 2010. Evaluation of the state of water resources using Modified Water Poverty Index: A case study in the Srepok River basin, Vietnam-Cambodia. *International Journal of River Basin Management*, 8(3-4): 305-317.
- Zhang R., Duan Z., Tan M. and Chen X. 2012. The assessment of water stress with the Water Poverty Index in the Shiyang River Basin in China. *Environmental Earth Sciences*, 67(7): 2155-2160.
- Zhou P., Ang B.W. and Poh K.L. 2007. A mathematical programming approach to constructing composite indicators. *Ecological Economics*, 62: 291-297.
- Zhou P. and Ang B. W. 2009. Comparing MCDA aggregation methods in constructing composite indicators using the Shannon-Spearman measure. *Social Indicators Research*, 94(1): 83-96.
- و تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری اقتصادی برای کشورهای تک‌محصولی. دوفصلنامه جستارهای اقتصادی، ۱۶(۳۲): ۲۱۱-۲۳۷.
- نصرآبادی، ا. ۱۳۹۴. شواهد زیست‌محیطی بحران آب ایران و برخی راه‌حل‌ها. فصلنامه راهبرد اجتماعی فرهنگی، ۴(۱۵): ۶۵-۸۹.
- Arreguin-Cortes F.I., Saavedra-Horita J.R., Rodriguez-Varela J.M., Tzatchkov V.G., Cortez-Mejia P.E., Llaguno-Guilberto O. J. and Sainos-Candelario A. 2020. State level water security indices in Mexico. *Sustainable Earth*, 3: 1-14.
- Bandura R. 2006. A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance: 2006 Update, United Nations Development Programme -Office of Development Studies.
- Brooks N., Adger W.N. and Kelly P.M. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global environmental change*, 15(2): 151-163.
- Guitouni A. and Martel J.M. 1998. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2): 501-521.
- Hailu R., Tolossa D. and Alemu G. 2020. Household Water Security Index: Development and Application in the Awash Basin of Ethiopia. *International Journal of River Basin Management*, 9: 1-17.
- Joint Research Centre-European Commission. 2008. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. OECD publishing.
- Jonsson A.C. and Wilk J. 2014. Opening Up the Water Poverty Index—Co-Producing Knowledge on the Capacity for Community Water Management Using the Water Prosperity Index. *Society & Natural Resources*, 27(3): 265-280.
- Korc M. E. and Ford P.B. 2013. Application of the Water Poverty Index in border colonias of west Texas. *Water Policy*, 15(1): 79-97.
- López Álvarez B., Santacruz de León G., Ramos Leal J. A. and Morán Ramírez J. 2015. Water poverty index in subtropical zones: The case of Huasteca Potosina, Mexico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31: 173-184.
- Manandhar S., Pandey V.P. and Kazama F. 2012. Application of water poverty index (WPI) in Nepalese context: A case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). *Water Resources Management*, 26(1): 89-107.
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman H. and Giovannini E. 2005. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Statistics Working Paper JT00188147, OECD, France.
- Noriko Yamaguchi. 2007. Asia Pacific Water Forum. Asia-Pacific Water Summit, Beppu, Japan.

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Conservation Prioritization of the Iran's Surface Water Resources based on Ecological Sensitivity

M. Azizi Jalilian^{1*}, A. Danehkar², A.R. Salmanmahiny³,
K. Shayesteh⁴, F. Taheri Sarteshnizi⁵

1,4- PhD and Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Iran. 2,5- PhD and Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran. 3- Professor, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

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

Received: 20-10-2020

Accepted: 23-01-2021

اولویت‌بندی حفاظتی منابع آب سطحی ایران براساس حساسیت اکولوژیک

منا عزیزی جلیلیان^{۱*}، افشین دانه‌کار^۲، عبدالرسول سلمان‌ماهیانی^۳،
کامران شایسته^۴، فریدون طاهری سرتشنیزی^۵

۱ و ۴- به‌ترتیب دکتری و استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ایران. ۲ و ۵- به‌ترتیب دکتری و استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. ۳- استاد، دانشکده شیلات و علوم محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

Abstract

Conservation of water resources is one of the main features of sustainable development and international and national documents emphasize the need to protect them in protected areas in order to preserve biodiversity and their many services such as drinking water supply. In the first step of the present study, the country's surface water resources including important water bodies, permanent rivers, and glacial areas were studied and after preparing the current status maps of these resources, their ecological sensitivity was determined according to the proposed criteria and expert opinions. In the second step, the coverage of all three surface water sources by the network of protected areas was investigated. The results showed that the criteria of flow regime, naturalness, Extent, species richness of fish and birds, and conservation management status were prioritized for the management of these resources. Also, according to these criteria, Bakhtegan, Arjan, Miankaleh, Choghakhor, Shadegan, and Anzali wetlands, and Kor, Karaj, Sardabrud, Chelgerd, and Sefidrood wetlands were identified as the most sensitive water sources. It was concluded that the two management classes of the protected area and the national natural effect are weaker in covering water resources than the other classes, and the rivers are less present in the network of the areas than other sources. The findings of the present study can be used as a guide for land protection planners in order to pay proper attention to sensitive water resources in selecting protected areas in the country.

Keywords: Sensitive Surface Water Resources, Water Resources Conservation, Network of Protected Areas, Sensitivity Prioritization.

چکیده

حفاظت از منابع آبی از ویژگی‌های اصلی توسعه پایدار است و در اسناد بین‌المللی و ملی بر لزوم حمایت از آنها در مناطق تحت حفاظت با هدف حفظ تنوع‌زیستی و خدمات بسیار آنها نظیر تأمین آب شرب تأکید شده است. در گام نخست مطالعه حاضر، منابع آبی سطحی کشور شامل پیکره‌های آبی مهم، رودخانه‌های دائمی و مناطق یخچالی بررسی و پس از تهیه نقشه‌های وضع موجود این منابع، حساسیت اکولوژیک آنها با توجه به معیارهای پیشنهادی و نظرات کارشناسی مشخص شد. در گام دوم، میزان پوشش‌دهی هر سه منبع آب سطحی توسط شبکه مناطق تحت حفاظت بررسی شد. نتایج نشان داد، معیارهای رژیم جریان، طبیعی بودن، وسعت، غنای گونه‌ای ماهی‌ها/پرنده‌گان، و وضعیت مدیریت حفاظتی در اولویت توجه برای مدیریت این منابع قرار گرفتند. همچنین، براساس این معیارها، تالاب‌های بختگان، ارژن، میانکاله، چغاخور، شادگان و انزلی و رودخانه‌های کر، کرج، سردآبرود، چهلگرد و سفیدرود حساس‌ترین منابع آبی شناخته شدند. این نتیجه به‌دست آمد که دو طبقه مدیریتی منطقه حفاظت شده و اثر طبیعی ملی نسبت به سایر طبقه‌ها در پوشش‌دهی منابع آبی ضعیف‌تر عمل می‌کنند و رودخانه‌ها نسبت به سایر منابع، کمتر در شبکه مناطق حضور دارند. یافته‌های مطالعه حاضر می‌تواند به‌عنوان راهنمای برنامه‌ریزان حفاظت سرزمین به منظور توجه مناسب به منابع آبی حساس در انتخاب مناطق تحت حفاظت در کشور استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: منابع آبی سطحی حساس، حفاظت منابع آبی، شبکه مناطق تحت حفاظت، اولویت‌بندی حساسیت.

حفاظت از منابع آبی یکی از ویژگی‌های اصلی توسعه پایدار است. افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای منابع طبیعی منجر به رقابت بین افراد به‌منظور فراهم نمودن غذا می‌شود و حراست و استفاده منطقی از این منابع را می‌طلبد (Ashoori و همکاران، ۲۰۱۶). آب مهمترین منبع برای تولیدات کشاورزی و امنیت غذا است. باتوجه‌به کمبود منابع آبی و تقاضای بالا برای آن، مدیریت و برنامه‌ریزی برای پایدار نگهداشتن آن بسیار ضروری است (Gholamrezai and Sepahvand، ۲۰۱۷). امروزه بحران کم‌آبی یکی از مهمترین موضوعات در سراسر جهان است به این دلیل که حدود یک چهارم جمعیت دنیا با کمبود آب مواجه هستند. استفاده بیش از حد منابع آبی، مدیریت ضعیف آب در بخش کشاورزی، تغییر اقلیم و آلودگی، منجر به خشک شدن رودخانه‌ها و افت تراز آب‌های زیرزمینی شده است (FAO، ۲۰۱۴). این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل میزان بارش بسیار کم و تبخیر بالا جدی‌تر است. مدیران منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید درک بسیار روشنی از موانع و فرصت‌های مرتبط با منابع آبی موجود داشته باشند. این امر توسعه چارچوب‌های رسمی مناسب برای رویارویی با چالش مدیریت منابع آبی را تسهیل می‌کند. از دیگر پیش‌نیازها، سیاست مناسب، قوانین و دستورالعمل‌هایی است که باید به درستی مدیران را هدایت نماید (Heyns، ۲۰۰۹). بیش از ۴۳ کشور در جهان با بحران کمبود آبی روبه‌رو هستند (WWAP، ۲۰۱۲) و کشور ایران نیز به‌عنوان بخشی از سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک آسیا، از این موضوع جدا نیست.

از راه‌های حفاظت منابع آبی می‌توان به حمایت از آنها در قالب مناطق حفاظتی با هدف حفظ تنوع زیستی این اکوسیستم‌ها و همچنین خدماتی مانند تأمین آب شرب اشاره نمود (Dudley و همکاران، ۲۰۱۶). در این راستا می‌توان به منابع و اسنادی اشاره کرد که این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. مواردی مانند حفاظت حداقل ۱۷ درصد از سطح خشکی و آب‌های داخلی هر سرزمین که از اهداف کنفرانس ناگویا در ژاپن در سال ۲۰۱۰ بود، برنامه آب آی یو سی ان در سال ۱۹۸۵ در پاسخ به نیاز جوامع به حمایت و حفاظت از منابع آبی، حفاظت آب‌خیزها در مناطق حساس و شکننده‌ای که در آبریز آنها رودخانه‌های عمده‌ای جریان دارد یا مخازن آبی احداث شده‌اند (به‌عنوان نیاز اساسی به‌منظور تأمین هدف حفظ و نگهداری فرآیندهای اکولوژیک اساسی و سیستم‌های حیات‌بخش استراتژی جهانی حفاظت)، و حفاظت از زیستگاه‌هایی که اکوتون تالاب‌ها، برکه‌ها و دریاچه‌های کشور به شمار می‌آیند. همچنین زیستگاه‌هایی که در تأمین آب مردم ناحیه و یا منطقه نقش حیاتی دارند (به‌عنوان سرزمین مناسب در

مدل ارزیابی توان اکولوژیک برای حفاظت در کشور)، و حفاظت از آب‌خیزهایی که در تأمین آب مردم نقش حیاتی دارند (به‌عنوان مناطق ویژه زیستی براساس مدل توان اکولوژیک حفاظت) از موارد دیگری هستند که می‌توان به آنها اشاره نمود (مجنونیان، ۱۳۷۹؛ مخدوم، ۱۳۹۳؛ Juffe-Bignoli و همکاران، ۲۰۱۶). در برخی از مطالعات به‌منظور حفاظت از منابع آبی سطحی، این منابع بررسی و اولویت‌بندی شدند. به‌عنوان مثال، ۲۰۰ تالاب شناسایی شده در ایالت آیداهو آمریکا در مطالعه‌ای توسط Hahn و همکاران (۲۰۰۵)، براساس سه معیار نوع تالاب، ارزش و عملکرد تالاب و تهدیدهای تالاب اولویت‌بندی حفاظتی شدند. Arzamendia و Giraudo (۲۰۱۲) بخش‌هایی از سه رودخانه بزرگ و اصلی حوزه Plata در کشورهای برزیل، پاراگوئه و آرژانتین که برای حفاظت مناسب بودند را اولویت‌بندی کردند. در این مطالعه شناخت مناطق مناسب حفاظت و اولویت‌بندی آنها براساس تعداد گونه مارهای وابسته به رودخانه انجام شد. Elkins و همکاران (۲۰۱۶) اولویت‌بندی اکوسیستم‌های آبی (رودخانه و دریاچه) جنوب شرقی ایالت متحده به‌منظور اقدامات حفاظتی در آینده را مورد توجه قرار دادند. ارزیابی در این مطالعه براساس گونه‌های ماهی، صدف و خرچنگ انجام شد. Lee و همکاران (۲۰۱۷) براساس شاخص‌های ارزیابی شامل؛ تنوع زیستی، طبیعی بودن، نادر بودن و پتانسیل برای تخریب، به رتبه‌بندی حفاظتی تالاب‌های داخلی بخشی از استان Gyeongsangnam-do در کره جنوبی پرداختند. در ایران حسن‌زاده کیابی و همکاران (۱۳۸۳) مطابق با معیارهای پیشنهادی به ارزیابی جایگاه حفاظتی تالاب‌های کشور پرداختند و آنها را اولویت‌بندی کردند. رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در استان مازندران براساس معیار ماهی‌ها توسط اعظم‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، اولویت‌بندی حفاظتی شد. سلمان‌ماهینی و سفیدیان (۱۳۹۱) براساس ویژگی‌های آب‌شناختی، تالاب‌های بین‌المللی کشور را ارزیابی و از نظر حساسیت طبقه‌بندی نمودند. خروشی و همکاران (۱۳۹۶) براساس ویژگی تغییرات هیدرولوژیک، سلامت رودخانه‌های استان اردبیل را ارزیابی کردند و آنها را درجه‌بندی نمودند. Yousefi و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از معیار ماهی‌های بوم‌زاد آب شیرین، رودخانه‌های با اولویت بالای حفاظتی تحت تاثیر تغییر اقلیم را در کشور شناسایی کردند. علاوه‌بر منابع یاد شده Bastin و همکاران (۲۰۱۹) مطالعه‌ای در سطح جهان انجام دادند و میزان تحت پوشش قرار گرفتن منابع آب‌های سطحی توسط شبکه مناطق تحت حفاظت را ارزیابی کردند. در مجموع، بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان داد، منابع آب‌های سطحی و برخی ویژگی‌های مرتبط با آنها با هدف حفاظت، توسط پژوهشگران متعددی ارزیابی شده است. اما مواردی قابل ذکر هستند که در ارزیابی‌های صورت گرفته کمتر به آنها پرداخته شده است یا اینکه از آنها غفلت شده است. در این خصوص می‌توان به یخچال‌های

طبیعی اشاره کرد که در این مطالعات مورد توجه قرار نگرفتند. کاربرد مفهوم حساسیت اکولوژیک منابع آبی به منظور اولویت بندی حفاظت آن ها و همچنین بررسی منابع آبی که تحت پوشش مناطق حفاظتی قرار دارند به منظور تحلیل کمبودهای حفاظتی آن ها، موارد دیگری هستند که کمتر بررسی شدند. بنابراین در مطالعه حاضر بنا بر ضرورت و کاستی های مطرح شده، منابع آبی سطحی در مقیاس ملی بررسی و براساس ویژگی های مرتبط با حساسیت اکولوژیک، اولویت بندی شدند و سپس با این فرض که به میزان

کافی در حمایت شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت هستند، ارزیابی شدند. اهدافی که در این مطالعه دنبال شد به صورت ذیل می باشد:

- ۱- تهیه فهرست و نقشه های منابع آبی سطحی حساس شامل پیکره های آبی مهم، رودخانه های اصلی دائمی و مناطق یخچالی،
- ۲- اولویت بندی منابع یاد شده از نظر حساسیت آنها نسبت به اثرات و پیامدهای منفی انسانی براساس معیارهای پیشنهادی و
- ۳- میزان پوشش دهی این منابع توسط شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت کشور.

مواد و روش ها

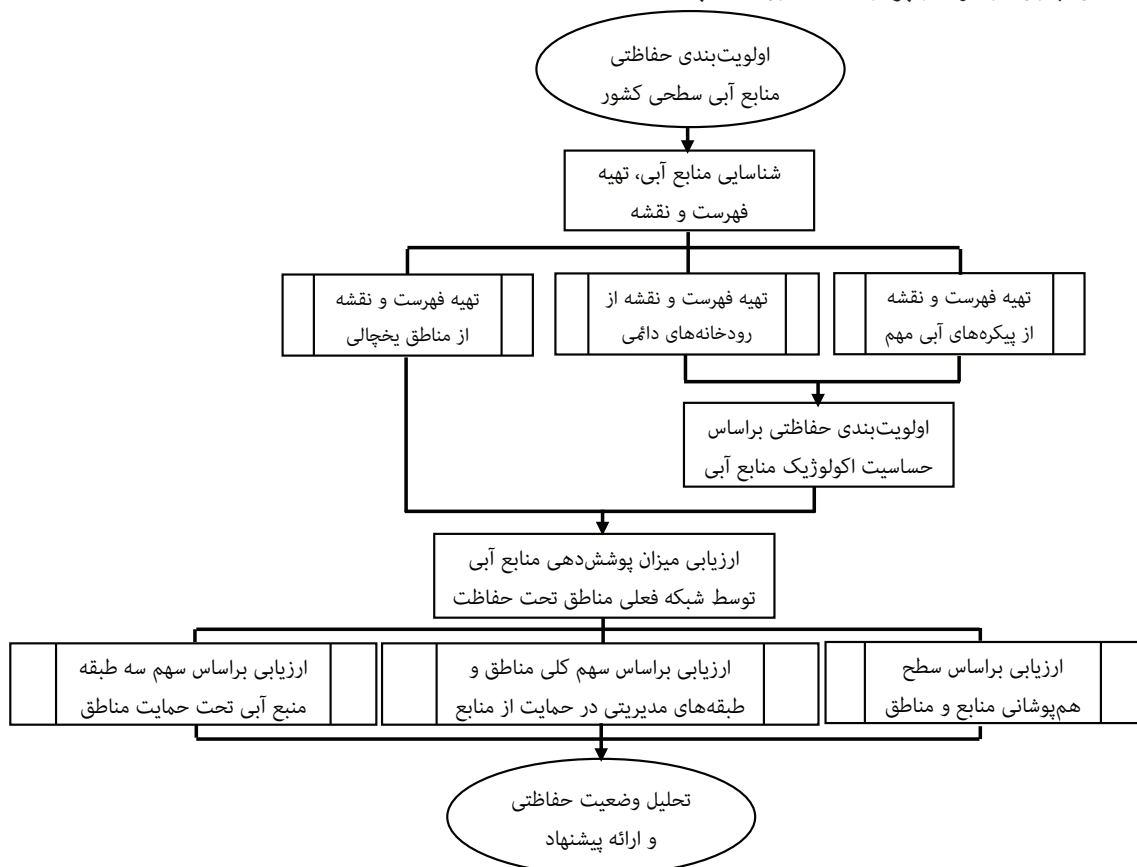
• محدوده مورد مطالعه

گستره خشکی ایران با وسعت تقریبی $1/63$ میلیون کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیایی 44 درجه و 2 دقیقه تا 63 درجه و 9 دقیقه طول شرقی و 25 درجه و 3 دقیقه و 45 ثانیه تا 39 درجه و 46 دقیقه و 30 ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (جعفری، 1391). ایران با متوسط بارندگی 251 میلی متر در سال، کمتر از یک سوم متوسط جهانی، در بردارنده $0/36$ از منابع آب شیرین جهان است (Ardekanian, 2005). پنج حوزه آبریز اصلی در کشور وجود دارد. رودخانه های جاری در آنها در بردارنده 133 رودخانه با مساحت

حوزه آبریز بیش از 1000 کیلومتر و 306 رودخانه با مساحت حوزه آبریز کمتر از 1000 کیلومتر است (آزادبخت و نوروزی، 1387). آمار دقیقی از تالاب ها و دریاچه های کشور در دست نیست، اما از میان آنها 25 سایت (دربگیرنده 41 تالاب) به عنوان تالاب بین المللی در فهرست کنوانسیون رامسر تحت حفاظت هستند (طرح حفاظت از تالاب های ایران، 1393).

• روش بررسی

مطالعه حاضر مطابق با مراحل نشان داده شده در شکل (۱) انجام شد. در ادامه، این مراحل با جزییات بیشتری توضیح داده شده است.



شکل ۱- مدل مفهومی مراحل انجام مطالعه

• تهیه فهرست و نقشه‌های منابع آبی سطحی

منابع آبی سطحی حساس در مطالعه حاضر شامل؛ تالاب‌ها و پیکره‌های آبی مهم و رودخانه‌های اصلی دائمی در سطح کشور است. علاوه بر این در مطالعه حاضر به مناطق یخچالی کشور به عنوان منابع آب شیرین توجه شد. به منظور شناسایی پیکره‌های آبی مهم، از فهرست تالاب‌های مهم کشور، که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست در "گزارش طرح جامع مدیریت زیست بومی تالاب‌های کشور" سال ۱۳۹۰ ارائه شده بود، به عنوان منبع اولیه استفاده شد، سپس دریاچه‌های مهم به آن اضافه شد و در نهایت براساس سایر منابع موجود (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ آزادبخت و نوروزی، ۱۳۸۷؛ بهروزی‌راد، ۱۳۸۷؛ بالی و بهمن‌پور، ۱۳۹۱) این فهرست اصلاح و تکمیل شد.

لایه تالاب‌های بین‌المللی تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست در سال ۱۳۹۷ در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ در این بخش استفاده شد. محدوده سایر تالاب‌ها و دریاچه‌ها براساس منابع موجود، بروی گوگل ارث تعیین و در محیط ArcGIS تبدیل به لایه وکتوری و به لایه تالاب‌های بین‌المللی اضافه شد. برای تهیه لایه رودخانه‌های دائمی، رودخانه‌های اصلی و طبقه‌بندی دائمی و یا فصلی بودن آنها از لایه‌های توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور در سال ۱۳۸۲، استخراج شد. به دلیل زیاد بودن تعداد رودخانه‌ها تنها اسامی آنهایی که عنوان حفاظتی داشتند و زیستگاه گونه‌های ماهی حفاظتی و بوم‌زاد بودند، مورد توجه قرار گرفت. برای تهیه لایه مناطق یخچالی کشور ابتدا براساس داده‌های پژوهشکده منابع آب موسسه تحقیقات آب و برخی منابع دیگر (موسسه تحقیقات آب، ۱۳۹۱؛ وزیری، ۱۳۸۲؛ رضایی و همکاران، ۱۳۸۸)، فهرست و موقعیت تقریبی یخچال‌ها مشخص شد، سپس با استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ (اواسط مرداد ماه، اوایل ماه August سال ۲۰۱۹)، موقعیت نهایی یخچال‌ها شناسایی شد. به منظور پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI۵،۱ باندهای مورد نظر یکپارچه شدند و سپس بروی آنها انواع تصحیحات رادیومتریکی و تصحیح اتمسفری با الگوریتم Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) انجام گرفت (Perkins و همکاران، ۲۰۱۲؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۹b). روش تفسیر داده‌های ماهواره‌ای به منظور پایش یخچال‌های طبیعی در این مطالعه ترکیبی از دو روش بصری و رقومی است. در گام اول با استفاده از نسبت‌گیری‌های طیفی مناسب، شاخص Normalized-Difference Snow Index (NDSI)، محدوده یخچال‌های طبیعی شناسایی شد. با استفاده از این روش فقط می‌توان یخچال‌های برونزد را شناسایی نمود. شاخص ذکر شده به عنوان

یک الگوریتم استخراج اتوماتیک برف به همراه مجموعه‌ای از آستانه‌ها به کار می‌رود و بر مبنای این حقیقت که برف بازتابندگی بالا در ناحیه مرئی و بازتابندگی پایین در مادون قرمز میانی دارد برای تشخیص برف از ابر و مناطق فاقد برف استفاده می‌شود (Liang و Nolin، ۲۰۰۰). در مرحله بعد با استفاده از تحلیل رقومی تصاویر ماهواره‌ای، محدوده‌های یخچالی پوشیده شده با خاک و سنگریزه شناسایی شدند. در این مرحله با استفاده از داده‌های طیف مادون قرمز حرارتی، شاخص دمای سطحی زمین، Land Surface Temperature (LST)، در محدوده مناطق یخچالی برآورد شد و سپس مناطق دارای دمای سطحی صفر درجه سانتیگراد و کمتر تحت عنوان منطقه یخچالی شناسایی شدند. در این مطالعه به منظور برآورد دمای سطحی زمین از الگوریتم پنجره مجزا (split-window algorithm) (SW) استفاده شد. بر مبنای بسیاری از مطالعات این روش کامل‌ترین روش در جهت برآورد این شاخص است (Jiménez-Muñoz و همکاران، ۲۰۱۴؛ Chatterjee و همکاران، ۲۰۱۷؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۹a).

• معیارهای اولویت‌بندی حساسیت

امتیازدهی به منابع آبی از نظر حساسیت ذاتی اکولوژیک نسبت به آثار و پیامد منفی فعالیت‌های انسانی، براساس برخی ویژگی‌های آنها ارزیابی شد. به این منظور پس از بررسی مطالعات مشابه در سطح جهان و ایران، معیارهایی شناسایی و در مطالعه حاضر برای حساسیت‌سنجی منابع آبی سطحی (پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها) پیشنهاد و استفاده شد. این معیارها به شرح ذیل است.

- **طبیعی یا انسان‌ساخت بودن:** تالاب‌ها را می‌توان براساس داده‌های مورد استفاده از هر منبع بوم‌شناختی شامل فیزیکی یا زیستی و همچنین اهداف مورد نظر، به روش‌های مختلف طبقه‌بندی کرد (سلمان‌ماهینی و سفیدیان، ۱۳۹۱). کنوانسیون رامسر در یک دسته‌بندی تالاب‌ها را در سه گروه کلی؛ تالاب‌های ساحلی/ دریایی، درون خشکی و مصنوعی جای داده است (Annex B, Ramsar Classification System for Wetland Type، ۲۰۰۹). در مطالعه حاضر به منظور امتیازدهی به ویژگی طبیعی یا انسان‌ساخت بودن از این طبقه‌بندی استفاده شد.

- **وسعت:** اندازه تالاب یکی از ویژگی‌های ارزیابی شرایط اکولوژیک آن است (Cobbaert و همکاران، ۲۰۱۱). مطابق با مطالعات انجام شده تالاب‌هایی با اندازه کوچک نسبت به اثرات و پیامدهای انسانی حساس‌تر هستند (Lafferty و همکاران، ۱۹۹۹؛ Nyandwi و همکاران، ۲۰۱۶) و تالاب‌های وسیع تشکیل شده از زیستگاه‌های متنوع، نقش کلیدی در حفاظت تنوع‌زیستی دارند (Guareschi و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه

حاضر پهنه‌های آبی مورد مطالعه براساس وسعت و برخی طبقه‌بندی‌های مرتبط (Ramsar Convention Secretariat, ۲۰۱۳؛ Bolpagni و همکاران، ۲۰۱۹؛ Solheim و همکاران، ۲۰۱۹)، به پنج طبقه تقسیم‌بندی شدند.

- **دوام هیدرولوژیک (رژیم جریان):** رژیم جریان طبیعی آب در رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها از ویژگی‌هایی است که ساختار و فرآیند این اکوسیستم‌ها را شکل می‌دهد و در ارزیابی شرایط اکولوژیک آنها استفاده می‌شود. براساس آیین‌نامه جلوگیری از تخریب و آلودگی غیرقابل جبران تالاب‌ها (تصویب‌نامه هیئت وزیران، ۱۳۹۷)، تالاب‌های دائمی نسبت به تالاب‌های فصلی درجه حساسیت بالاتری دارند. به‌علاوه در مطالعه Cobbaert و همکاران (۲۰۱۱) ارزش زیستی تالاب‌های بزرگ و دائمی به دلیل تنوع و تراکم بالای پوشش گیاهی و ویژگی‌های زیستگاهی، بیشتر از سایر تالاب‌ها معرفی شده است. به ارزش اکولوژیک رودخانه‌های دائمی و نیز خدمت تأمین منبع آب آنها در برخی مطالعات اشاره شده است (ZumBerge و Hargett، ۲۰۱۴؛ Seeteram و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعه حاضر مطابق با منابع بررسی شده، دو طبقه دائمی و فصلی بودن برای پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها در نظر گرفته شد.

- **غناي گونه‌ای (پرنده‌گان و ماهی‌ها):** اکوسیستم‌های تالابی و رودخانه‌ای حساس، تنوع بالای گونه‌ای دارند و زیستگاه مناسبی برای گونه‌های با اهمیت حفاظتی فراهم می‌آورند. بنابراین حضور گونه‌های متنوع حفاظتی از ویژگی‌های حساس بودن و ارزش حفاظتی آنها محسوب می‌شود (Kleynhans، ۱۹۹۹؛ حسن‌زاده‌کیابی و همکاران، ۱۳۸۳؛ بهباش و همکاران، ۱۳۸۸؛ اعظم‌پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ نصیراحمدی و منوری، ۱۳۹۰؛ رحیمی‌بلوچی و ملک‌محمدی، ۱۳۹۱؛ احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳؛ van der Westhuizen، ۲۰۱۵؛ Belcher و Grobler، ۲۰۱۶؛ جهانی‌شکیب و همکاران، ۱۳۹۶؛ Gotze، ۲۰۱۸؛ Yousefi و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه حاضر حضور گونه‌های پرنده آبی و کنار آبی در پیکره‌های آبی مهم با استفاده از بررسی ۵۲ منبع شامل؛ کتاب، مقاله‌های پژوهشی و گزارش‌های سازمانی و همچنین آخرین آمار سرشماری زمستانه سازمان حفاظت محیط‌زیست انجام شد. به‌علاوه بررسی گونه‌های حفاظتی ماهی براساس آخرین داده‌های حضور گونه‌ها، مطابق با منبع Jouladeh Roudbar و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفت.

- **وضعیت مدیریت حفاظتی:** اهمیت حفاظتی تالاب‌ها و رودخانه‌ها مرتبط با تنوع گونه‌ها، اندمیسیم (گونه‌ها یا فرآیندهای منحصر به فرد) و حضور بالایی از گونه‌ها یا اکوسیستم‌های در معرض تهدید و حمایت شده از طریق قانون است و از معیارهای حساسیت آنها به شمار می‌رود (Kleynhans، ۱۹۹۹؛ حسن‌زاده کیابی و همکاران، ۱۳۸۳؛ van der Westhuizen، ۲۰۱۵؛

Belcher و Grobler، ۲۰۱۶؛ Gotze، ۲۰۱۸). به این ترتیب در مطالعه حاضر عنوان‌ها و ویژگی‌های حفاظتی که برای تالاب‌ها و رودخانه‌ها در سطح کشور وجود دارد در چند طبقه مورد توجه قرار گرفت. طبقه‌ها در جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است.

معیارهای یاد شده براساس عملکرد اکولوژیک منبع، به واسطه اقدامات حفاظتی صورت گرفته برای آن منبع و همچنین داده‌های در دسترس در مقیاس ملی انتخاب شدند. براین اساس منابعی که ویژگی‌های اکولوژیک قابل توجهی دارند و همچنین تحت حفاظت یا وابسته به مناطق حفاظتی هستند، حساس‌تر از سایر منابع محسوب می‌شوند و باید در برنامه‌ریزی حفاظت سرزمین مورد توجه قرار گیرند. داده‌ها و اطلاعات مرتبط با این معیارها در سطح ملی گردآوری و براساس دامنه پراکنش به پنج طبقه تقسیم‌بندی شد. معیارها در طبقات مختلف در جدولی توسط کارشناسان و متخصصان ذی‌صلاح (گروه پنج نفره) فرم‌دهی و اولویت‌بندی شد (جدول‌های ۱ و ۲). فرم حساسیت برای هر طبقه یک معیار، بین ۱ (کمترین حساسیت) تا ۵ (بیشترین حساسیت)، همچنین اولویت‌بندی معیارهای مرتبط با پیکره‌های آبی بین ۱ (بیشترین حساسیت) تا ۶ (کمترین حساسیت) و رودخانه‌ها بین ۱ (بیشترین حساسیت) تا ۳ (کمترین حساسیت) در نظر گرفته شد. اولویت‌های داده شده با استفاده از روش ارائه شده توسط دانه‌کار و یعقوب‌زاده (۱۳۹۶) به ضریب اهمیت (وزن) تبدیل شد. برای هر یک از پیکره‌های آبی براساس اطلاعات موجود آن، امتیاز حساسیت مطابق با رابطه (۱) و برای رودخانه‌ها مطابق با رابطه (۲) محاسبه شد.

$$P_W = \sum_{i=1}^n W_{C_i} \times S_{C_i} \quad (1)$$

در این رابطه P_W : مجموع امتیاز حساسیت پیکره آبی، W_{C_i} : وزن ویژگی i ام، S_{C_i} : فرم ویژگی i ام است.

$$P_R = \sum_{i=1}^n W_{C_i} \times S_{C_i} \quad (2)$$

P_R : مجموع امتیاز حساسیت رودخانه، سایر مولفه‌ها همانند رابطه (۱) است.

پس از اولویت‌بندی منابع آبی مورد مطالعه از نظر حساسیت، وضعیت حضور و پوشش‌دهی آنها در شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت بررسی شد. به این ترتیب که سهم کلی مناطق و هر یک از طبقه‌های چهارگانه مدیریتی (پارک ملی، اثر طبیعی ملی، پناهگاه حیات وحش، منطقه حفاظت شده) در حمایت از منابع آبی مشخص شد، همچنین میزان تحت پوشش قرار گرفتن منابع آبی توسط مناطق تحت حفاظت نیز به‌صورت جداگانه (پیکره آبی، رودخانه، منطقه یخچالی) در محیط ArcGIS ۱۰٫۲ بررسی شد.

جدول ۱- جدول مرجع طبقه‌بندی منابع آب‌های سطحی کشور (رودخانه‌ها)
براساس معیارهای پیشنهادی و امتیازدهی آنها از نظر حساسیت

معیار	طبقات	نمره حساسیت	اولویت معیار از نظر حساسیت
دوام هیدرولوژیک	دائمی فصلی		
غناى گونه‌ای ماهی‌ها	وابستگی بیش از ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی ۵۱ تا ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی ۲۶ تا ۵۰ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی ۱۱ تا ۲۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی حدود ۱۰ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد		
وضعیت مدیریت حفاظتی	رودخانه‌های حفاظت شده رودخانه‌هایی که از مناطق حفاظتی عبور می‌کنند رودخانه‌هایی که در مسیر آنها آبشار حفاظت شده قرار دارد رودخانه‌هایی که از تنگه حفاظت شده عبور می‌کنند رودخانه‌هایی که مصب و دهانه آنها در مناطق حفاظتی قرار دارد سایر رودخانه‌ها		

جدول ۲- جدول مرجع طبقه‌بندی منابع آب‌های سطحی کشور (تالاب‌ها و دریاچه‌ها)
براساس معیارهای پیشنهادی و امتیازدهی آنها از نظر حساسیت

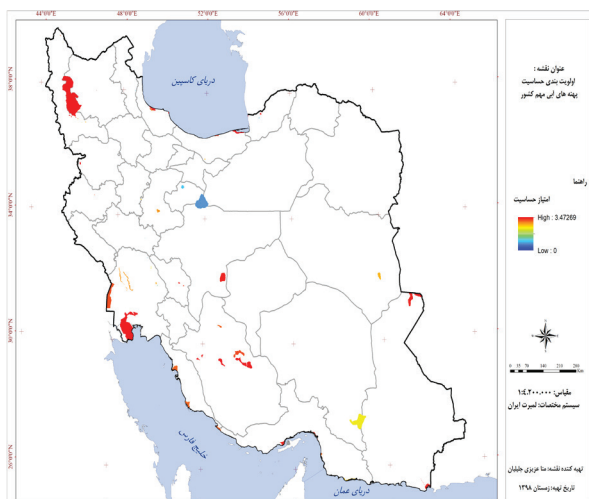
معیار	طبقات	نمره حساسیت	اولویت معیار از نظر حساسیت
طبیعی یا انسان‌ساخت بودن	طبیعی درون خشکی ساحلی - دریایی مصنوعی		
وسعت	برکه (کوچک تر از ۲ هکتار) آبگیر (۲-۷ هکتار) دریاچه کوچک (۸-۵۰ هکتار) دریاچه متوسط (۵۱-۲۰۰ هکتار) دریاچه بزرگ (بزرگ تر از ۲۰۰ هکتار)		
دوام هیدرولوژیک	دائمی غیر دائم (فصلی و دارای سابقه خشک‌شدگی)		
غناى گونه‌ای پرندگان	وابستگی بیش از ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی آبی و کنار آبی وابستگی ۵۱ تا ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی آبی و کنار آبی وابستگی ۲۶ تا ۵۰ درصد گونه‌های حفاظتی آبی و کنار آبی وابستگی ۱۱ تا ۲۵ درصد گونه‌های حفاظتی آبی و کنار آبی وابستگی حدود ۱۰ درصد گونه‌های حفاظتی آبی و کنار آبی فاقد اطلاعات ^۱		
غناى گونه‌ای ماهی‌ها	وابستگی بیش از ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی ۵۱ تا ۷۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد وابستگی ۲۶ تا ۵۰ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد		

معیار	طبقات	نمره حساسیت	اولویت معیار از نظر حساسیت
غناي گونه‌ای	وابستگی ۱۱ تا ۲۵ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد		
ماهی‌ها	وابستگی حدود ۱۰ درصد گونه‌های حفاظتی / بوم‌زاد		
وضعیت	دارای عنوان پارک ملی		
مدیریت	دارای عنوان پناهگاه حیات وحش یا حفاظت شده		
حفاظتی	دارای عنوان منطقه سایت رامسر		
	دارای عنوان منطقه شکار ممنوع		
	دارای عنوان منطقه مهم پرنده (IBA)		
	دارای عنوان منطقه بوم‌زاد پرنده (EBA)		

نتایج

و مناطق یخچالی که توسط مناطق تحت حفاظت پوشش داده شدند به تعداد کل هر یک از این منابع بیشتر از رودخانه‌ها است (شکل ۶ ب). نکته قابل ذکر در ارتباط با رودخانه‌ها این است که در مطالعه حاضر با وجودیکه انشعاب برخی رودخانه‌ها در مناطق حفاظتی قرار داشتند، اما تنها هفت رودخانه؛ کرج، چالوس، جاجرو، کشف‌رود، تجن، سردآبرود و هراز که عنوان حفاظتی دارند به‌عنوان رودخانه‌های تحت پوشش مناطق در نظر گرفته شدند و براین اساس محاسبه میزان پوشش‌دهی رودخانه‌ها در شکل (۶ ب) نشان داده شد.

در میان ۱۵ پیکره آبی که ۱۰ اولویت اول حساسیت را به خود اختصاص دادند (جدول ۳)، ۱۱ پیکره آبی تحت حمایت شبکه مناطق حفاظتی کشور قرار دارند. چهار پیکره باقیمانده که شامل؛ تالاب‌های چغاخور، انزلی، آلاگل و دورگه سنگی است به‌عنوان تالاب‌های بین‌المللی مورد حمایت هستند. مناطق یخچالی دنا، اشترانکوه، دماوند، تخت سلیمان و سبلان در میان ۱۱ منطقه شناسایی شده تحت عنوان دو منطقه حفاظت شده و سه اثر طبیعی ملی در حال حاضر مورد حمایت هستند.



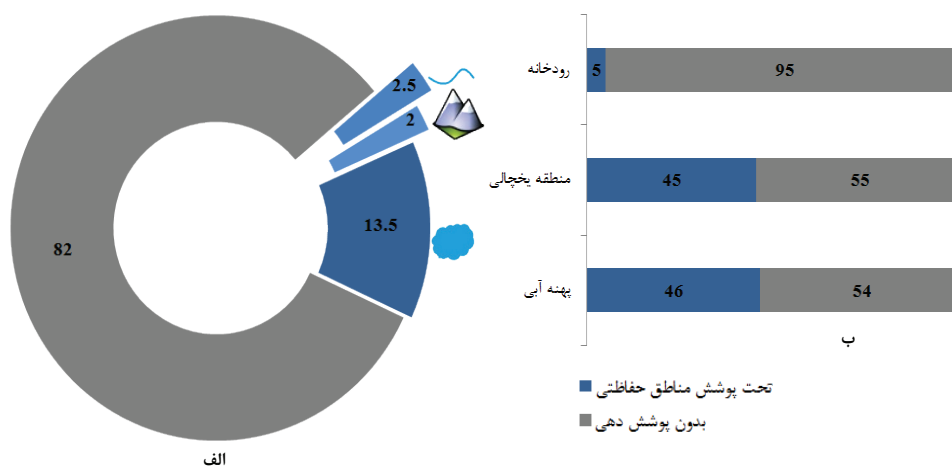
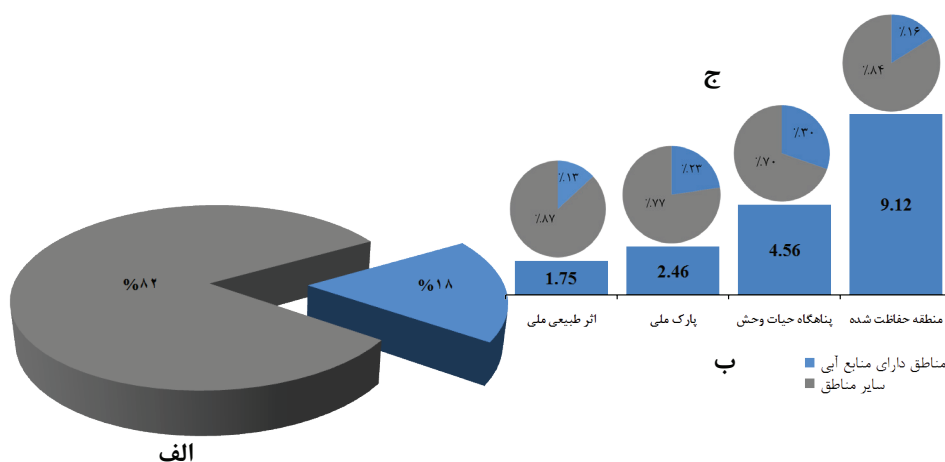
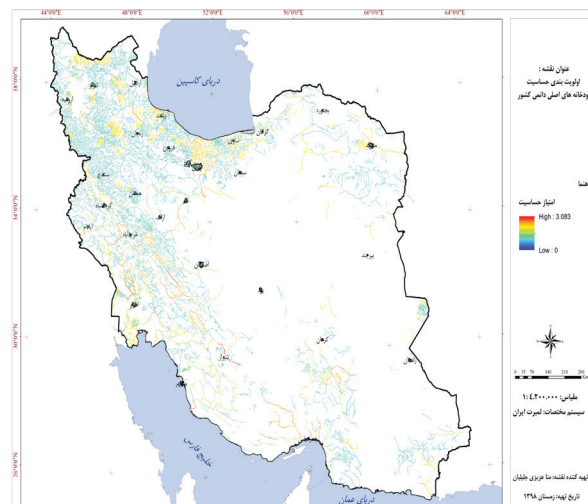
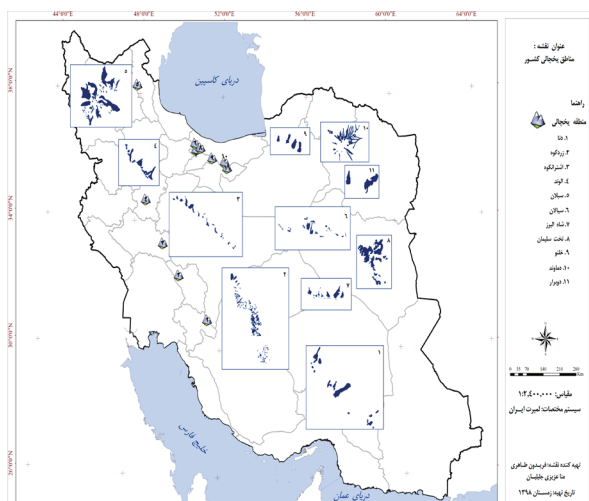
شکل ۲- اولویت‌بندی پیکره‌های آبی مهم کشور از نظر حساسیت نسبت به فعالیت‌ها و پیامدهای انسانی

مطابق با نتایج به‌دست آمده ۸۵ پیکره آبی مهم در کشور شامل تالاب‌ها و دریاچه‌ها مورد توجه قرار گرفتند و براساس ویژگی‌های ذکر شده در بخش روش بررسی، از نظر حساسیت، اولویت‌بندی شدند. در جدول (۳) پیکره‌های آبی و امتیاز حساسیت آنها و در شکل (۲) موقعیت مکانی این منابع مشاهده می‌شود. پنج اولویت اول را به‌ترتیب تالاب‌های بختگان، ارژن، میانکاله، چغاخور، شادگان و انزلی به خود اختصاص دادند (جدول ۳). تمامی رودخانه‌های اصلی دائمی نیز در مطالعه حاضر بررسی و به لحاظ حساسیت مطابق با ویژگی‌های جدول (۱) اولویت‌بندی شدند. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، رودخانه‌هایی که حساسیت بالایی دارند بیشتر در نیمه غربی کشور قرار دارند که از بین آنها می‌توان به رودخانه‌های کر، کرج، سردآبرود، آب کوهرنگ (چهلگرد) و سفیدرود اشاره کرد. یخچال‌های طبیعی نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، در ۱۱ منطقه واقع در شمال، شمال‌غربی و غرب کشور شناسایی شد (شکل ۴).

نتایج ارزیابی هم‌پوشانی منابع آبی و شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت نشان داد، حدود ۱۳/۷ درصد از سطح این منابع تحت حمایت مناطق حفاظتی قرار دارند. مناطق تحت حفاظت کشور که در حال حاضر برخی از منابع آبی مورد مطالعه را تحت پوشش دارند، ۱۸ درصد از کل مناطق هستند که در این میان طبقه مدیریتی منطقه حفاظت شده بیشترین سهم و اثر طبیعی ملی کمترین سهم را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۵ الف و ب). اما بررسی مناطق چهارگانه به‌صورت جداگانه نشان داد، درصد پناهگاه‌های حیات وحش در بر دارنده منابع آبی به کل پناهگاه‌های موجود در مقایسه با سه طبقه مدیریتی دیگر، بیشترین میزان است و کمترین میزان این درصد متعلق به طبقه اثر طبیعی ملی است (شکل ۵ ج). مطابق با شکل (۶ الف) پیکره‌های آبی در مقایسه با سایر منابع، بیشتر تحت حمایت مناطق هستند و رودخانه‌ها و مناطق یخچالی در رده‌های بعدی قرار دارند. از سویی دیگر نسبت پیکره‌های آبی

جدول ۳- امتیازدهی حساسیت پیکره‌های آبی مهم کشور

ردیف	نام پیکره آبی	امتیاز نهایی	ردیف	نام پیکره آبی	امتیاز نهایی	ردیف	نام پیکره آبی	امتیاز نهایی
۱	تالاب نی‌ریز و کمجان (بختگان)	۳/۴۷۳	۳۰	تالاب گندمان	۲/۹۲۳	۵۹	تالاب شیمبار	۲/۱۳۳
۲	تالاب ارژن	۳/۴۷۳	۳۱	آبندان لپو زاغمرز	۲/۸۹۲	۶۰	تالاب‌های پلدختر (فصلی)	۲/۰۸۱
۳	شبه جزیره میانکاله و خلیج گرگان	۳/۴۶۳	۳۲	آبندان از باران و سرخرود	۲/۸۹۲	۶۱	تالاب گروس	۲/۰۶۵
۴	تالاب چغاخور	۳/۴۳۱	۳۳	دریاچه طشک	۲/۸۳۵	۶۲	تالاب شورابیل	۲/۰۶۵
۵	تالاب شادگان	۳/۳۷۳	۳۴	تالاب هورالعظیم	۲/۷۹۳	۶۳	تالاب پیراحمد کندی	۲/۰۱۷
۶	تالاب انزلی	۳/۳۷۳	۳۵	تالاب قره قشلاق	۲/۷۶۳	۶۴	دریاچه تار	۲/۰۱۱
۷	تالاب آلاکل	۳/۳۳۴	۳۶	تالاب هشیلان	۲/۷۶۳	۶۵	دریاچه هویر	۲/۰۱۱
۸	دریاچه ارومیه	۳/۲۷۱	۳۷	تالاب آق گل (آذربایجان غربی)	۲/۷۱۵	۶۶	تالاب بورالان	۲/۰۰۱
۹	تالاب امیرکلایه	۳/۲۷۱	۳۸	تالاب کافتز	۲/۷۱۵	۶۷	تالاب جازموریان	۱/۹۵۳
۱۰	تالاب دورگه سنگی	۳/۲۷۱	۳۹	دهانه رودهای حرا و گز (سیریک)	۲/۷۱۳	۶۸	دریاچه اوان	۱/۸۷۹
۱۱	تالاب کانی برازان	۳/۲۷۱	۴۰	تالاب نای بند	۲/۷۰۷	۶۹	تالاب پیرسلیمان	۱/۸۷۹
۱۲	تالاب قوریگل	۳/۲۷۱	۴۱	دهانه رود مند	۲/۷۰۵	۷۰	تالاب‌های پلدختر (دائم)	۱/۸۷۹
۱۳	تالاب پریشان	۳/۲۷۱	۴۲	دهانه رود حله	۲/۷۰۵	۷۱	تالاب کنیکور	۱/۷۵۱
۱۴	تالاب یادگارلو	۳/۲۲۳	۴۳	تالاب سیاه کشیم	۲/۶۳۳	۷۲	تالاب چنگیز گلی	۱/۷۰۳
۱۵	کولاب بندر کیشهر و دهانه سفیدرود	۳/۲۱۳	۴۴	تالاب سلکه	۲/۵۷۵	۷۳	تالاب چکر	۱/۶۲۹
۱۶	تالاب گمیشان	۳/۲۱۳	۴۵	دریاچه‌های هفت برم	۲/۵۲۹	۷۴	تالاب سیاب درویش	۱/۶۲۹
۱۷	تالاب مهارلو	۳/۱۲۵	۴۶	تالاب قویی	۲/۵۲۱	۷۵	تالاب بندون	۱/۳۱۳
۱۸	تالاب فریدونکنار	۳/۰۲۱	۴۷	تالاب گرده قیط و میمند	۲/۵۱۳	۷۶	تالاب بندعلیخان	۱/۰۶۳
۱۹	تالاب شورگل	۳/۰۲۱	۴۸	تالاب دز	۲/۵۱۳	۷۷	دریاچه نئور	۰/۸۶۱
۲۰	تالاب آجی گل	۳/۰۲۱	۴۹	تالاب کرخه	۲/۵۱۳	۷۸	دریاچه اینچه برون	۰/۸۶۱
۲۱	دریاچه زریوار	۳/۰۲۱	۵۰	تالاب لوندویل (تالاب آق)	۲/۴۵۵	۷۹	دریاچه حوض سلطان	۰/۸۱۳
۲۲	هامون پوزک	۳/۰۲۱	۵۱	تالاب میقان	۲/۴۵۳	۸۰	دریاچه دوقلوی سیاه گاو	۰/۷۸۱
۲۳	تالاب آماگل	۳/۰۲۰	۵۲	دریاچه لار	۲/۳۸۶	۸۱	دریاچه ولشت	۰/۷۳۹
۲۴	هامون صابری و هیرمند	۲/۹۷۳	۵۳	تالاب سد نوروزلو	۲/۳۸۴	۸۲	دریاچه مورد زند زیلابی	۰/۷۳۹
۲۵	تالاب گاوخونی	۲/۹۷۳	۵۴	تالاب میانگران	۲/۳۸۳	۸۳	دریاچه گهر	۰/۶۷۵
۲۶	خلیج گواتر و خور باهو	۲/۹۶۳	۵۵	تالاب کجی نمکزار	۲/۳۳۵	۸۴	دریاچه شط تمبی	۰/۶۷۵
۲۷	خور موسی	۲/۹۶۳	۵۶	تالاب گل بی‌بی (بزنگان)	۲/۲۶۰	۸۵	دریاچه نمک	۰/۶۱۱
۲۸	دهانه رودهای شور و شیرین میناب	۲/۹۶۳	۵۷	دهانه رودهای جگین و گابریک	۲/۲۰۵			
۲۹	تالاب خورخوران و حرا	۲/۹۶۳	۵۸	تالاب آق گل (همدان)	۲/۲۰۳			



آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع مورد تقاضای انسان، امروزه به دلایل مختلفی مانند استفاده بیش از حد، انتشار آلاینده‌ها، تغییر اقلیم و سایر موارد با بحران کمبود مواجه شده است. بنابراین برنامه‌ریزی و مدیریت برای استفاده پایدار و منطقی از آن به شیوه‌های کارآمد و متناسب با شرایط منبع از اهداف ضروری در هر سرزمین محسوب می‌شود. این موضوع به‌ویژه در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، به‌طوری‌که نیازمند توجه جدی در فرآیند توسعه پایدار کشور توسط مدیران سرزمین است. حمایت از منابع آبی در قالب مناطق تحت حفاظت با عنوان‌های مدیریتی مختلف می‌تواند در حفظ و نگهداری آن‌ها بسیار مؤثر و مفید واقع شود. از این‌رو در مطالعه حاضر پس از بررسی منابع آبی سطحی کشور و تهیه فهرستی از آنها، نقشه‌های وضع موجود این منابع تهیه و دو منبع پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها براساس برخی معیارهای پیشنهادی، از نظر حساسیت اکولوژیک نسبت به اثرات و پیامدهای منفی ناشی از فعالیت‌های انسانی، اولویت‌بندی شدند. در نهایت با بررسی تطبیقی منابع آبی (پیکره‌های آبی، رودخانه‌ها و مناطق یخچالی) و شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت، میزان پوشش‌دهی آن‌ها مشخص شد. تلاش بر این بود که با بررسی جامع منابع و مطالعات موجود، بتوان معیارهای متنوعی برای اولویت‌بندی حساسیت پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها پیشنهاد داد، به‌گونه‌ای که ویژگی‌های بیشتری در اولویت‌بندی استفاده شوند، اما به دلیل کمبود داده و اطلاعات در سطح کشور، معیارهای محدودی قابل استفاده بود. با این وجود، با توجه به گستردگی منابع آبی بررسی شده در مطالعه حاضر، معیارهای بیشتری در مقایسه با مطالعات اعظم‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، سلمان‌ماهینی و سفیدیان (۱۳۹۱)، و Yousefi و همکاران (۲۰۲۰)، به کار برده شد. در مطالعه حاضر، ارزیابی گونه‌های ماهی به‌عنوان یکی از ویژگی‌هایی مرتبط با حساسیت اکولوژیک منبع آبی با مطالعات Elkins و همکاران (۲۰۱۶)، حسن‌زاده کیابی و همکاران (۱۳۸۳)، اعظم‌پور و همکاران (۱۳۸۹) و Yousefi و همکاران (۲۰۲۰)، همخوانی دارد. دو معیار طبیعی یا انسان‌ساخت بودن و وسعت که در مطالعه حاضر در ارزیابی حساسیت پیکره‌های آبی استفاده شد، در سایر مطالعات بررسی شده مورد توجه نبود. در ارتباط با معیار دوام هیدرولوژیک (رژیم جریان) لازم به توضیح است که بررسی تغییرات این فاکتور برای تمام پیکره‌های آبی و رودخانه‌های مورد نظر در مطالعه حاضر امکان‌پذیر نبود و در نتیجه به اطلاعات مرتبط با دائمی یا موقتی بودن جریان

آبی آنها که در منابع معتبر وجود داشت، بسنده شد. اما در مطالعه خروشی و همکاران (۱۳۹۶) با ارزیابی تغییرات رژیم جریان رودخانه‌های استان اردبیل در یک دوره آماری، سلامت هیدرولوژیک رودخانه‌ها تعیین شد و بر این اساس درجه‌بندی صورت گرفت. براساس نتایج این مطالعه، کاهش جریان به کاهش درجه سلامت رودخانه و به خطر افتادن تداوم حیات این اکوسیستم منجر می‌شود و حساسیت آن را نسبت به عوامل تهدید افزایش می‌دهد. به منظور ارتقاء نتایج مطالعه حاضر، چنین ارزیابی نیز در سطح کشور در صورت تأمین داده و اطلاعات قابل انجام و پیشنهاد است.

مطابق با نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر، از میان پنج تالاب بختگان، ارژن، میانکاله، چغاخور و شادگان که در اولویت اول تا چهارم حساسیت قرار گرفتند، به دو تالاب میانکاله و ارژن در فهرست چهار تالاب انتخاب شده در مطالعه حسن‌زاده کیابی و همکاران (۱۳۸۳) و دو تالاب ارژن و چغاخور در فهرست چهار تالاب با حساسیت درجه یک مطالعه سلمان‌ماهینی و سفیدیان (۱۳۹۱) اشاره شده است. در برخی مطالعات انجام شده ویژگی‌هایی از تالاب بین‌المللی ارژن بررسی شد و نتایج به‌دست آمده، حساس بودن این منبع آبی و همچنین برنامه‌ریزی و مدیریت هر چه بهتر آن را تأیید می‌کند. طبیعی و نصیری (۱۳۹۲) در مطالعه خود به نوسان شاخص غنا و تنوع گونه‌ای پرندگان آبی تالاب ارژن در طول دوره ۱۵ ساله و بالا بودن این شاخص‌ها در برخی سال‌ها دست یافتند. صادقی و رئیسی اردکانی (۱۳۹۰) با بررسی عوامل مؤثر بر خشک‌شدن تالاب ارژن شامل احداث چاه‌های بهره‌برداری متعدد در اطراف آن و نیز وجود فروچاله‌های کارستی در انتهای آن، پیشنهادهایی را ارائه دادند. وجود فلور غنی (۳۹۳ گونه شناسایی شده) در دو منطقه ارژن و پریشان که از نتایج مطالعه دولتخواهی و همکاران (۱۳۹۰) است، ویژگی دیگری برای حساس بودن این تالاب محسوب می‌شود، اما قابل ذکر است که این معیار در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار نگرفت. رودخانه‌های کر، کرج و چهلگرد که بر اساس نتایج مطالعه حاضر با حساسیت بالا شناخته شدند، در مطالعه Yousefi و همکاران (۲۰۲۰) به‌عنوان رودخانه‌هایی با اولویت بالای حفاظتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، معرفی شدند.

همچنین نتایج نشان داد، میزان هم‌پوشانی منابع آبی با شبکه فعلی مناطق تحت حفاظت (۱۳/۷ درصد) در مقایسه با سطح حفاظتی اعلام شده در کنفرانس ناگویا به میزان کافی نیست. یکی از اهداف این کنفرانس رسیدن سطح حفاظتی خشکی‌ها و آب‌های داخلی هر سرزمین به میزان ۱۷ درصد تا سال ۲۰۲۰ بود (Woodley و همکاران، ۲۰۱۲). ذکر این نکته ضروری است که با بررسی تمام پیکره‌های آبی و رودخانه‌ها،

تشکر و قدردانی

نویسندگان از آقای مهندس محفوظی و خانم مهندس امینی کارشناسان دفتر حفاظت و احیاء تالاب‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست، خانم مهندس توحیدی کارشناس دفتر حفاظت و مدیریت حیات‌وحش سازمان حفاظت محیط‌زیست، آقای مهندس مشهدی رفیعی مسئول بخش GIS شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران و آقای مهندس مسافری کارشناس بخش آب و محیط‌زیست شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران به خاطر تأمین برخی از داده‌ها و اطلاعات و همچنین بهره‌مندی از مشاوره‌های علمی ایشان، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

پی‌نوشت

۱- تعدادی از پیکره‌های آبی فاقد اطلاعات از لحاظ گونه‌های پرندگان آبی و کنار آبی هستند. با تکمیل اطلاعات این پیکره‌ها دقت مکانی مدل تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد.

منابع

احمدپور، م.، احمدپور، م.، حسینی، ح.، هوشیار، ف.، حسن‌زاده حسین‌آبادی، ح.، و سینکا کریمی، م. ۱۳۹۳. بررسی جایگاه حفاظتی تالاب بین‌المللی سرخورد با استفاده از وضعیت پرندگان، انطباق با معیارهای انتخاب IBA و کنوانسیون رامسر. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۶(۴): ۲۰-۵.

اعظم‌پور، ح.، دانه‌کار، ا.، فاطمی، م. و نیکوبدل‌راد، ا. ۱۳۸۹. اولویت‌بندی حفاظتی رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در استان مازندران با استفاده از معیار ماهی‌ها. اولین همایش ملی اکولوژی حفاظت. دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

آزادبخت، ب. و نوروزی، غ. ۱۳۸۷. جغرافیای آب‌های ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. چاپ اول. تهران.

آقائاتی، ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور. چاپ اول. تهران.

بالی، ع. و بهمن‌پور، ا. ۱۳۹۱. نقشه پراکنش مناطق چهارگانه، شکار ممنوع و تالاب‌های بین‌المللی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان حفاظت محیط‌زیست، معاونت محیط طبیعی و تنوع زیستی، دفتر زیستگاه‌ها و امور مناطق.

بهباش، ر.، امینی، ا.، الوندی، ر. و خاک جسته، خ. ۱۳۸۸. تالاب خرمشهر (ناصری) بررسی وضعیت پرندگان، انطباق با معیارهای انتخاب IBA کنوانسیون رامسر و تعیین جایگاه حفاظتی. علوم محیطی، ۷(۲): ۱۱-۲۰.

میزان هم‌پوشانی، متفاوت از نتیجه به‌دست آمده خواهد شد، به این دلیل که در مطالعه حاضر تنها پیکره‌های آبی مهم و رودخانه‌های دائمی مورد توجه قرار گرفت. این موضوع در مطالعه Bastin و همکاران (۲۰۱۹) تأیید شد. نتیجه این مطالعه که در مقیاس جهانی انجام شد، نشان داد از نظر درصد هم‌پوشانی منابع آبی سطحی (دائمی و فصلی) با مناطق حفاظتی، کشور ایران در طبقه بیش از ۵۰ درصد قرار می‌گیرد و در مقایسه با برخی کشورها (مانند کشورهای همسایه) پوشش‌دهی بسیار خوبی دارد. اما باید توجه داشت، ارزیابی در مقیاس جهانی نسبت به مقیاس ملی دقت پایین‌تری دارد و برای تعیین میزان هم‌پوشانی دقیق‌تر بهتر است ارزیابی جامع‌تری در سطح کشور انجام شود.

براساس نتایج مطالعه حاضر، دو طبقه مدیریتی منطقه حفاظت شده و اثر طبیعی ملی نسبت به پناهگاه حیات وحش و پارک ملی در پوشش‌دهی منابع آبی ضعیف‌تر هستند و در برنامه‌ریزی آینده می‌توان منابع آبی بیشتری را در این دو طبقه مدیریتی تحت حمایت درآورد. به بیانی دیگر، بهتر است معیار حضور منابع آبی حساس در انتخاب منطقه حفاظت شده و اثر طبیعی ملی جایگاه ویژه‌ای پیدا کند. یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد رودخانه‌ها نسبت به پیکره‌های آبی و مناطق یخچالی کمتر در شبکه مناطق حضور دارند بنابراین حضور آنها در انتخاب‌های آینده بیشتر مورد توجه خواهد بود.

یافته‌های مطالعه حاضر به‌عنوان راهنمایی کلی به برنامه‌ریزان سرزمین کمک می‌کند که دیدگاهی جدید در ارتباط با کاربرد معیار منابع آبی حساس در انتخاب مناطق تحت حفاظت در کشور، پیدا کنند. علاوه بر این، شناخت منابع آبی با ارزش حفاظتی در این مطالعه، اولین گام برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از این منابع خواهد بود که در صورت اجرای صحیح برنامه‌ها تداوم حیات این اکوسیستم‌ها را به دنبال خواهد داشت. مطالعه حاضر با توجه به داده‌ها و اطلاعات در دسترس منابع آبی به انجام رسید، اما به‌منظور تکمیل و ارتقاء آن در مطالعات آینده موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

۱- به معیار پرندگان حفاظتی وابسته به رودخانه‌ها و ویژگی‌های مورفولوژیک رودخانه‌ها در اولویت‌بندی حساسیت توجه شود،

۲- ویژگی‌های آب‌شناختی پیکره‌های آبی در اولویت‌بندی حساسیت آنها در نظر گرفته شود،

۳- معیارهایی برای طبقه‌بندی حساسیت مناطق یخچالی پیشنهاد و استفاده شود و

۴- رویکرد مورد استفاده در مطالعه حاضر در سطح حوزه‌های آبریز درجه ۱ و ۲ دارای مناطق تحت حفاظت، به‌کار برده و تدقیق شود.

- بهریزی راد، ب. ۱۳۸۷. تالاب‌های ایران. انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. چاپ اول. تهران.
- تصویب‌نامه هیئت وزیران. ۱۳۹۷. آیین‌نامه جلوگیری از تخریب و آلودگی غیر قابل جبران تالاب‌ها.
- جعفری، ع. ۱۳۹۱. شناسنامه جغرافیای طبیعی ایران. موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی. چاپ چهارم. تهران.
- جهانی‌شکیب، ف.، ملک‌محمدی، ب.، یوسفی‌روبیات، ا. و عالی‌پور، م. ۱۳۹۶. تدوین راهبردهای مدیریتی به کمک روش نوین ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های تالابی (مطالعه نمونه: تالاب چغاخور). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۹(۵): ۳۷۷-۳۹۱.
- حسن‌زاده کیابی، ب.، مجنونیان، ه.، گشتاسب‌میگونی، ح. و منصوری، ج. ۱۳۸۳. معیارهای پیشنهادی برای ارزیابی جایگاه حفاظتی تالاب‌های ایران. محیط شناسی، ۱۴: ۳۳-۸۹.
- خروشی، س.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعیلی‌عوری، ا. و رئوف، م. ۱۳۹۶. ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص سلامت هیدرولوژیک رودخانه در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل اکوهیدرولوژی، ۴(۲): ۳۷۹-۳۹۳.
- دانه‌کار، ا. و یعقوب‌زاده، م. ۱۳۹۶. پیشنهاد شیوه‌ای جدید برای تعیین ترجیح‌های صحیح از طریق اولویت‌بندی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. مدیریت محیط زیست، ۲(۶): ۹-۱۸.
- دولتخواهی، م.، عصری، ی. و دولتخواهی، ع. ۱۳۹۰. بررسی فلورستیک منطقه حفاظت‌شده ارژن- پریشان در استان فارس. تاکسونومی و بیوسیستماتیک، ۳(۹): ۳۱-۴۶.
- رحیمی‌بلوچی، ل. و ملک‌محمدی، ب. ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های تالابی براساس ارزش‌های بوم‌شناختی و هیدرولوژیکی آنها. علوم محیطی، ۱۱(۲): ۵۵-۶۶.
- رضایی، ی.، ولدان‌زوج، م. ج. و وزیر، ف. ۱۳۸۸. بررسی یخچال طبیعی خرسان زردکوه بختیاری به وسیله تصاویر ماهواره‌ای. علوم زمین، ۷۷: ۱۶۷-۱۷۲.
- سلیمان ماهینی، ع. و سفیدیان، س. ۱۳۹۱. طبقه‌بندی آب‌شناختی تالاب‌های بین‌المللی ایران و دسته‌بندی آسیب‌پذیری آنها. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۳(۶): ۴۵-۵۶.
- صادقی، م. و رئیسی اردکانی، ع. ۱۳۹۰. بررسی عوامل مؤثر بر خشک شدن تالاب ارژن. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم، تهران. ایران.
- طبیعی، ا. و نصیری، م. ۱۳۹۲. بررسی تنوع گونه‌ای پرندگان آبی و کنار آبچر مهاجر زمستان گذران تالاب بین‌المللی ارژن در استان فارس. زیست‌شناسی جانوری، ۶(۱): ۲۹-۴۰.
- طرح حفاظت از تالاب‌های ایران با همکاری مهندسين مشاور آساراب. ۱۳۹۳. راهنمای تعیین نیاز آبی تالاب‌ها. نشر طلایی. تهران.
- مجنونیان، ه. ۱۳۷۹. مناطق حفاظت‌شده ایران (مبانی و تدابیر حفاظت از پارک‌ها و مناطق). انتشارات سازمان حفاظت محیط‌زیست. چاپ اول. تهران.
- مخدوم، م. ۱۳۹۳. شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ چهاردهم. تهران.
- موسسه تحقیقات منابع آب، پژوهشکده منابع آب. ۱۳۹۱. نقشه موقعیت یخچال‌های ایران.
- نصیراحمدی، ک. و منوری، م. ۱۳۹۰. ارزیابی کارکردهای اکولوژیک اکوسیستم میانکاله با استفاده از رویکرد هیدروژئومورفولوژیک (HGM). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۱(۴): ۳۲-۴۷.
- وزیری، ف. ۱۳۸۲. هیدرولوژی کاربردی در ایران: (شناخت منابع آب‌های سطحی در ایران) شناسایی مقدماتی یخچال‌های طبیعی ایران. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. چاپ اول. تهران.
- Annex B, Ramsar Classification System for Wetland Type, Strategic Framework for the List. 2009.
- Ardekanian R. 2005. Overview of water management in Iran. Water conservation, reuse, and recycling. Proceedings of an Iranian-American Workshop. National Academy of Sciences, Available at (Accessed on 2 June 2009).
- Arzamendia V. and Giraudo A.R. 2012. A panbio-geographical model to prioritize areas for conservation along large rivers. Diversity and Distributions, 18:168- 179.
- Ashoori D., Bagheri A., Allahyari M.S. and Al-Rimawi A.S. 2016. An examination of soil and water conservation practices in the paddy fields of Guilan province, Iran. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88(2):959-971.
- Bastin L., Gorelick N., Saura S., Bertzky B., Dubois G., Fortin M. J. and Pekel J. F. 2019. Inland surface waters in protected areas globally: Current coverage and 30-year trends. PloS one, 14(1):e0210496.
- Belcher T. and Grobler D. 2016. Aquatic and water quality assessment: specialist report for the two rivers urban park development framework, Cape town. Bluescience, Western Cape.
- Bolpagni R., Poikane S., Laini A., Bagella S., Bartoli M. and Cantonati, M. 2019. Ecological and conservation value of small standing-water ecosystems: a

- Idaho Conservation Data Center, Idaho.
- Hargett E.G. and ZumBerge J.R. 2014. Water quality condition of perennial streams and rivers in the Bighorn and Yellowstone basins, results of the 2010 Bighorn/Yellowstone probabilistic survey. Wyoming Department of Environmental Quality, Water Quality Division, Watershed Protection Program, Cheyenne, Wyoming.
- Heyns P. 2009. Water conservation in arid and semi-arid regions. In: Savenije H.H.G. and Hoekstra A.Y., (editors). Water resources management. EOLSS Publishers/ UNESCO. Paris.
- Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., Skoković D., Mattar C. and Cristóbal J., 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 11(10): 1840-1843.
- Jouladeh-Roudbar A., Ghanavi H.R., and Doadrio I. 2020. Ichthyofauna from Iranian freshwater: Annotated checklist, diagnosis, taxonomy, distribution and conservation assessment. *Zoological Studies*, 59: 21.
- Juffe-Bignoli D., Harrison I., Butchart S. H., Flitcroft R., Hermoso V., Jonas H., Lukasiewicz A., Thieme M., Turak E., Bingham H., Dalton J., Darwall W., Deguignet M., Dudley N., Gardner R., Higgins J., Kumar R., Linke S., Milton G.R., Pittock J., Smith K.G. and Soesbergen A.V. 2016. Achieving aichi biodiversity target 11 to improve the performance of protected areas and conserve freshwater biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26: 133-151.
- Kleynhans C.J. 1999. Resource directed measures for protection of water resources: River ecosystems, Appendix R7: Assessment of ecological importance and sensitivity. Institute for Water Quality Studies, Department of Water Affairs and Forestry, South Africa.
- Lafferty K.D., Swift C.C. and Ambrose R.F. 1999. Extirpation and recolonization in a metapopulation of an endangered fish, the tidewater goby. *Conservation Biology*, 13(6): 1447-1453.
- systematic review of current knowledge and future challenges. *Water*, 11(3): 402.
- Chatterjee R.S., Singh N., Thapa S., Sharma D. and Kumar D. 2017. Retrieval of land surface temperature (LST) from landsat TM6 and TIRS data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 58: 264-277.
- Cobbaert D., Robinson M., Trites M. and Dam A. 2011. An assessment of wetland health and values in Alberta's industrial heartland. Alberta Environment, Northern Region, Environmental Management, and Department of Biological Sciences, University of Alberta.
- Dudley N., Harrison I. J., Kettunen M., Madgwick J., and Mauerhofer V. 2016. Natural solutions for water management of the future: freshwater protected areas at the 6th World Parks Congress. *Aquatic conservation*, 26: 121-132.
- Elkins D. C., Sweat S. C., Hill K. S., Kuhajda B. R., George A. L. and Wenger S. J. 2016. The southeastern aquatic biodiversity conservation strategy. Final report. University of Georgia River Basin Center, Athens.
- FAO .2014. Coping with water scarcity in agriculture a global framework for action in a changing climate. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Gholamrezai S. and Sepahvand F. 2017. Farmers' participation in water user association in western Iran. *Journal of Water and Land Development*, 35(1): 49-56.
- Gotze A.R. 2018. Wetland Assessment. Environmental Research Consulting, Benah Con cc, Noordbrug.
- Guareschi S., Laini A., Viaroli P. and Bolpagni R. 2020. Integrating habitat-and species-based perspectives for wetland conservation in lowland agricultural landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 29(1): 153-171.
- Hahn L., Murphy C., Schmidt A. and Fields, T. 2005. Idaho wetland conservation prioritization plan.

- Van der Westhuizen E. 2015. Environmental impact assessment and authorization process for the proposed solar photovoltaic power plant with associated infrastructure at the Arnot coal fired power station, MPUMALANGA province. Section D: Wetland assessment. Scientific Aquatic Services CC, Malvern East, Germiston.
- Wang K., Jiang Q.G., Yu D.H., Yang Q.L., Wang L., Han T.C. and Xu X.Y. 2019a. Detecting daytime and nighttime land surface temperature anomalies using thermal infrared remote sensing in Dandong geothermal prospect. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80: 196-205.
- Wang D., Ma R., Xue K. and Loiselle S. A. 2019b. The assessment of Landsat-8 OLI atmospheric correction algorithms for inland waters. *Remote Sensing*, 11(2): 169.
- Woodley S., Bertzky B., Crawhall N. 2012. Meeting aichi target 11: what does success look like for protected area systems?. *Parks*, 18(1): 23-37.
- WWAP .2012. International decade for action water for life 2005-2015. World water assessment program. Available at <https://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Yousefi M., Jouladeh-Roudbar A. and Kafash A. 2020. Using endemic freshwater fishes as proxies of their ecosystems to identify high priority rivers for conservation under climate change. *Ecological Indicators*, 112: 106-137.
- Lee S. D., Kim M. J. and Kim J. S. 2017. Selection and application of ecosystem evaluation index for ranking inland wetland conservation. *People Plants Environ*, 20(3): 201-217.
- Nolin, A. W., and Liang, S. 2000. Progress in bidirectional reflectance modeling and applications for surface particulate media: Snow and soils. *Remote Sensing Reviews*, 18(2-4): 307-342.
- Nyandwi E., Veldkamp T. and Amer Sh. 2016. Regional climate sensitivity of wetland environments in Rwanda: the need for a location-specific approach. *Regional Environmental Change*, 16:1635-1647.
- Perkins T., Adler-Golden S. M., Matthew M. W., Berk A., Bernstein L. S., Lee J. and Fox M. 2012. Speed and accuracy improvements in FLAASH atmospheric correction of hyperspectral imagery. *Optical Engineering*, 51(11): 111707.
- Ramsar Convention Secretariat. 2013. The Ramsar convention manual: a guide to the convention on wetlands (Ramsar, Iran, 1971). Ramsar Convention Secretariat. 6th ed Gland.
- Seeteram N.A., Hyera P.T., Kaaya L.T., Lalika M. and Anderson E.P. 2019. Conserving rivers and their biodiversity in Tanzania. *Water*, 11(12): 2612.
- Solheim A.L., Globevnik L., Austnes K., Kristensen P., Moe S.J., Persson J., Phillips G., Poikane S., van de Bund W. and Birk S. 2019. A new broad typology for rivers and lakes in Europe: Development and application for large-scale environmental assessments. *Science of the Total Environment*, 697: 134043.

Article Type: Technical paper/ Applied

نوع مقاله: فنی ترویجی/ کاربردی

Designing Potential Evaporation Evaluation Software Linkable to NASA POWER Database and Capable of Feasibility Assessment of Evaporation Reduction due to Photovoltaic Panels over Water Bodies

M. Asmani¹, K. Bashirnezhad^{2*}, P. Bashishahabi³, I. Zahmatkesh⁴

1,2,3,4- PhD Student, Assistant Professor, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Mechanics, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Mashhad, Iran.

* (Corresponding Author Email: bashirnezhad@mshdiau.ac.ir)

Received: 25-11-2020

Accepted: 09-05-2021

طراحی نرم افزار برآورد تبخیر پتانسیل با قابلیت اتصال به پایگاه داده NASA POWER و برآورد امکان کاهش تبخیر ناشی از نصب صفحات فتوولتائیک بر روی پهنه های آبی

مازیار اسمنی^۱، کاظم بشیرنژاد^{۲*}، پیمان باشی شهابی^۳، ایمان زحمتکش^۴

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار، استادیار و دانشیار، گروه مکانیک، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: bashirnezhad@mshdiau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۹

Abstract

Online evaluation of potential evaporation can be useful in water resources management. In this research, the use of software for smartphones to estimate the potential evaporation from free water surface and ground surface and also to estimate the possibility of reducing evaporation due to the installation of photovoltaic panels on water bodies is considered. The data used is extracted from the NASA-POWER cloud network database and the software intelligently detects the selected point in relation to two states of dry area or water area and performs the relevant calculations. The proposed relation for the evaluation of potential evaporation was analyzed by considering 10 year average data of Doosti dam (2008–2017) and its error rate and some experimental relation of potential evaporation and evaporation from the free water surface with the rate of evaporation from the evaporation pan located at the site were determined. The results indicated that the proposed relation yielded a smaller error compared with all the other relations. In order to evaluate the efficiency of the proposed relation and the data extracted from the NASA POWER database, the evaluations done by the software were compared against the values from the evaporation pans in the synoptic stations in six cities. This revealed the validity of the software outputs to be within 8–16%.

Keywords: Estimation of Potential Evaporation, Smart Software, Evaporation Reduction, Water Resources Management, Photovoltaic Panels.

چکیده

برآورد تبخیر پتانسیل به صورت برخط می تواند در مدیریت منابع آبی پر کاربرد باشد. در این تحقیق استفاده از یک نرم افزار برای گوشی های هوشمند جهت برآورد تبخیر پتانسیل از سطوح آزاد آب و سطح زمین و همچنین، برآورد امکان کاهش تبخیر ناشی از نصب صفحات فتوولتائیک بر روی پهنه های آبی مد نظر می باشد. داده های مورد استفاده از پایگاه داده شبکه ابری NASA-POWER استخراج می شود و نرم افزار به صورت هوشمند نقطه انتخابی را نسبت به دو حالت خشکی یا پهنه آبی تشخیص داده و محاسبات مربوطه را انجام می دهد. رابطه پیشنهادی تحقیق برای برآورد تبخیر پتانسیل با در نظر گرفتن داده های میانگین ده ساله سد دوستی (سال های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت و میزان خطای آن و برخی روابط تجربی تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطح آزاد آب با میزان تبخیر صورت گرفته از تشت تبخیر مستقر در محل تعیین گردید که نتایج نشان داد، این رابطه نسبت به تمامی روابط مورد بررسی دارای خطای کمتری است. به منظور ارزیابی کارایی رابطه پیشنهادی و داده های دریافتی از پایگاه NASA-POWER، مقدار تبخیر خروجی نرم افزار با مقادیر داده های تشت تبخیر در ایستگاه های سینوپتیک برای شش شهر مقایسه شده و صحت مقادیر خروجی نرم افزار، در بازه ۸ الی ۱۶ درصد برآورد گردید.

واژه های کلیدی: برآورد تبخیر پتانسیل، نرم افزار هوشمند، کاهش تبخیر، مدیریت منابع آب، صفحات فتوولتائیک.

تخمین تبخیر بسیاری از روش‌های تجربی طی ۵۰ سال گذشته بیان شده و بر اساس پارامترهای هواشناسی، روابط تجربی مختلفی ارائه شده است (Asmani و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌های اخیر امکان محاسبه تبخیر به صورت بر خط فراهم گردیده که این امر مدیریت منابع آبی را بهینه می‌نماید (Adhikari و همکاران، ۲۰۱۷). یکی از مزایای بزرگ استفاده از برنامه‌های گوسی‌های هوشمند در دسترس بودن و برخط بودن آن است که کمک بزرگی برای تصمیم‌گیری‌های این حوزه می‌باشد. محققان کشاورزی و متخصصان آب‌شناسی از این برنامه‌ها برای مصارف گوناگونی از تعیین آفات تا جدول زمانی آبیاری استفاده می‌کنند (Vellidis و همکاران، ۲۰۱۶). بر همین اساس، چندین برنامه جهت گوسی‌های همراه ایجاد شده است. به طور مثال Vellidis و همکاران (۲۰۱۵) برای جدول زمان‌بندی آبیاری کتان نرم‌افزاری ایجاد نمودند. با این وجود، تاکنون در مجلات علمی هیچ مقاله‌ای در مورد نرم‌افزارهای گوسی‌های هوشمند به منظور محاسبه تبخیر و کاهش میزان تبخیر بر اثر نیروگاه‌های شناور صفحات فتوولتائیک به صورت خودکار و بر اساس داده‌های شبکه‌های ابری هواشناسی از نقاط مختلف جغرافیایی منتشر نشده است. محدودیت اصلی توسعه چنین امری در مقیاس گسترده، داده‌های ورودی آب و هوایی است که اکثر از ایستگاه‌های زمینی خودکار جمع‌آوری می‌شود. داده‌های شبکه‌ای نظیر NASA-POWER که براساس دریافت داده‌ها از ایستگاه‌های زمینی و ماهواری‌های فعالیت می‌نمایند، می‌تواند چنین محاسباتی را به صورت هوشمند و برخط برای هر نقطه از دنیا عملی سازد.

می‌آید که API^۱ مورد نظر در نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته تا بتوان داده‌های مورد نیاز در محاسبات نرم‌افزار را دریافت نمود. دسترسی به این داده‌ها از طریق وبگاه اینترنتی به نشانی <https://power.larc.nasa.gov/> امکان‌پذیر است.

• **روابط تجربی تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطوح آزاد آب**
برخی روابط تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطوح آزاد آب که کاربرد بیشتری دارند، در جدول (۱) ارائه شده‌اند. از این روابط در این پژوهش مطابق جدول (۲) استفاده گردیده است. در معادلات این جدول، T میانگین دمای هوا برحسب درجه سانتی‌گراد، e_s فشار بخار اشباع آب در هوا برحسب میلی‌متر جیوه، e_a فشار واقعی بخار آب در هوا برحسب میلی‌متر جیوه، U سرعت باد در ارتفاع ۲ متری برحسب متر بر ثانیه، RH میانگین رطوبت نسبی هوا برحسب درصد، C ضریب ثابت برای دریاچه‌های عمیق برابر با ۳/۵ و برای دریاچه‌های کم‌عمق ۰/۵ و D ساعات روشنایی روز می‌باشد.

براساس مقادیر محاسبه شده متوسط جهانی، استفاده از آب در مصارف کشاورزی به تنهایی ۷۰ درصد از آب موجود در رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی را شامل می‌شود (Siebert و همکاران، ۲۰۱۳). کل مساحت زیر کشت جهان برابر با ۳۰۷/۶ میلیون هکتار بوده که کشورهای چین و هند با مجموع ۷۰ میلیون هکتار به ترتیب مقام‌های اول و دوم سطح زیر کشت را دارند (FAO، ۲۰۱۶). در کشورهای در حال توسعه، ۹۰٪ مصرف آب، صرف کشاورزی شده و آب نقش اساسی در امنیت و تولیدات غذایی دارد (Siebert و همکاران، ۲۰۱۳). به عنوان مثال، در برزیل ۶۷/۲٪ منابع آب صرف کشاورزی می‌شود که این میزان متوسط سالانه برابر با $969 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد (An و همکاران، ۲۰۱۷). آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی ایران در بخش‌های زراعت، باغبانی، دام، طیور، آبخیزداری، بیابان‌زدایی، شیل‌ت، آبی‌پروری و صنایع تبدیلی و تکمیلی برابر با ۹۲٪ منابع آبی کشور است. استفاده خارج از کنترل آب در نهایت منجر به نابودی منابع آب می‌شود (Silva و همکاران، ۲۰۱۶). بر همین اساس، طی ده سال گذشته تلاش‌های فراوانی به منظور حفظ منابع آب و مدیریت آن صورت پذیرفته است (Siebert و همکاران، ۲۰۱۳).

سنجش میزان تبخیر از پهنه‌های آبی یک پارامتر مهم در مطالعات هواشناسی، آب‌شناسی و مدیریت منابع آبی می‌باشد (Allen و همکاران، ۲۰۱۱؛ de Sousa Lima و همکاران، ۲۰۱۳). برای

مواد و روش‌ها

• داده‌های هواشناسی

سیستم برخط داده‌های هواشناسی (NASA، ۲۰۲۰) به منظور تأمین اطلاعات هواشناسی برای استفاده مستقیم در کشاورزی، تولید برق و هواشناسی کاربردی، ایجاد شده است (Stackhouse و همکاران، ۲۰۱۵).

از این پایگاه داده در مقالات معتبر متعددی استفاده شده است که این امر موید صحت داده‌های آن می‌باشد (Junior و همکاران، ۲۰۱۹). این سیستم، اطلاعات را به صورت مستقیم از منابع داده و از سیستم‌های داده‌های شبکه‌ای مختلف جمع‌آوری می‌کند. برای مثال، داده‌های روزانه برخط برای دمای هوا و رطوبت نسبی از مدل جهانی GEOS-4 و داده‌های بارشی ایستگاه‌های سینوپتیک، جمع‌آوری می‌شود. داده‌های مورد نیاز از پایگاه داده NASA-Power با استفاده از پروتکل <http> قابل استخراج است. برای این منظور لازم

جدول ۱- روابط تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطح آزاد

پارامتر مورد ارزیابی	نام روش	معادله
تبخیر از سطح آزاد	ایوانف	$E = 0.0018(T+25)^2(100-RH)$
	هنفر	$E = 0.028U_2(e_s - e_a)$
	شاهتین	$E = 0.0(0.116+0.017U_2)(e_s - e_a)$
	مارسیانو	$E = 0.03U_2(e_s - e_a)$
	دفتر عمران امریکا	$E = 0.883(4.57T + 43.3)$
	مایر	$E = (1+U_2/16)C(e_s - e_a)$
تبخیر پتانسیل	هامون	$E = 0.03523R_s(0.014T-0.37)$
	جنسن-هیز	$E = 0.63D^2 10^{(7.5T)/(T+273)}$

• معرفی و بکارگیری رابطه پیشنهادی برآورد تبخیر اسمنی- بشیرنژاد- شهابی

در سال ۱۳۹۹ در آزمایشگاه انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد با استفاده از آزمایش‌های متعدد در دستگاه شبیه‌ساز تبخیر، رابطه (۱) استخراج شده و با استفاده از سه پارامتر دمای متوسط، شدت تابش و سرعت باد، تبخیر از سطوح آزاد آب/ تبخیر پتانسیل را برآورد می‌کند (Asmani و همکاران، ۲۰۲۰).

$$E = 1.16 (0.278 T_a + 2.697 W - 0.023 R_s) \quad (1)$$

در این رابطه، T_a به‌عنوان دمای میانگین روزانه برحسب سلسیوس، W سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و R_s نیز شدت

تابش بر حسب وات بر مترمربع است و تبخیر بر حسب میلی‌متر در روز محاسبه می‌شود. رابطه (۱) با در نظر گرفتن داده‌های میانگین ده ساله سد دوستی (سال‌های ۲۰۰۸ الی ۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت و میزان خطای رابطه فوق و برخی روابط تجربی تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطح آزاد آب (جدول ۱) با میزان تبخیر صورت گرفته از تشت تبخیر مستقر در محل تعیین گردید که مطابق جدول (۲)، این رابطه نسبت به تمامی روابط مورد بررسی دارای خطای کمتری است. میزان تبخیر از سطح دریاچه پشت سد دوستی، بر اساس تبخیر تشت با ضریب اصلاح شده ۰/۷ در جدول (۲) به عنوان شاهد درج گردیده است. همچنین میزان خطای هر روش نسبت به تبخیر محاسبه شده از تشت تبخیر، از رابطه (۲) محاسبه شده است.

بر این اساس چنانچه تبخیر پتانسیل مد نظر باشد از رابطه (۱) استفاده می‌گردد و در صورت پوشیده شدن پهنه‌های آبی با صفحات فتوولتائیک می‌توان به میزان زیادی از تبخیر جلوگیری نمود و چنانچه پهنه آبی با صفحات فتوولتائیک پوشیده گردد برآورد تبخیر از سطح آزاد آب با در نظر گرفتن میزان پوشش از روابط (۳) الی (۶) انجام می‌شود. لازم به ذکر است که در صورت پوشش ۱۰۰٪ به دلیل ساختار سازه‌های مورد استفاده و وجود باد در فاصله مابین صفحات فتوولتائیک و سطح آب، تبخیر تا میزان حدود ۷۰٪ کاهش خواهد یافت (Asmani و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۲- مقایسه خطای رابطه (۱) و روابط تبخیر پتانسیل و تبخیر از سطح آزاد با تبخیر حاصل از تشت، بر اساس داده‌های میانگین ده ساله سد دوستی (سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷)

تبخیر از سطح آزاد (میلی‌متر در سال)		تبخیر پتانسیل (میلی‌متر در سال)			تبخیر اصلاح شده سال‌های مورد مطالعه	
ایوانف ^۲	هنفر ^۳	شاهتین ^۴	مارسیانو ^۵	دفتر عمران امریکا ^۶	مایر ^۷	هامون ^۸ جنسن-هیز ^۹
۲۹۲۵	۱۸۸	۶۳۳	۲۰۱	۱۷۳۱	۲۴۴۷	۲۸۵۶
۲۶٪	۹۲٪	۷۳٪	۹۱٪	۲۵٪	۶٪	۲۳٪
میزان خطا در مقایسه با تبخیر تشت						

- (۲) درصد خطای تبخیر در هر روش = مقدار تبخیر تشت / ۱۰۰ × (مقدار برآوردی تبخیر از روش‌های مختلف - مقدار تبخیر تشت)
- (۳) با پوشش ۲۵ درصد
- (۴) با پوشش ۵۰ درصد
- (۵) با پوشش ۷۵ درصد
- (۶) با پوشش ۱۰۰ درصد
- $$E_{25\%} = 0.2693 T_a + 2.6171 W - 0.0226 R_s$$
- $$E_{50\%} = 0.2571 T_a + 2.4006 W - 0.0207 R_s$$
- $$E_{75\%} = 0.1826 T_a + 1.7748 W - 0.0153 R_s$$
- $$E_{100\%} = 0.0998 T_a + 0.97 W - 0.0084 R_s$$

(۳) می‌باشد. داده‌های سه شهر مشهد، اندیمشک و میناب با گستردگی نقاط مختلف ایران از وبگاه داده‌های هواشناسی^{۱۰} صورت گرفت. سه شهر دمشق، بمبئی و فرانکفورت نیز که امکان دریافت داده‌های هواشناسی و مقایسه آن‌ها از پایگاه

برای بکارگیری رابطه (۱) در برآورد تبخیر پتانسیل، با استفاده از داده‌های موجود در پایگاه داده NASA-POWER؛ شش شهر مشهد، اندیمشک، میناب، دمشق، بمبئی و فرانکفورت انتخاب شد که داده‌های مورد استناد و محاسبه تبخیر مطابق جدول

داده^{۱۱} meteoblue امکان‌پذیر بود، انتخاب گردیدند و سعی گردید گستردگی وسیعی در انتخاب شهرها در نظر گرفته شود. از پایگاه‌های داده مذکور داده‌های مربوط به تبخیر انتخاب و بر اساس خروجی مورد نیاز به نرم افزار اکسل منتقل و پس از آن در محاسبات مقایسه‌ای از آن‌ها استفاده شد.

به دلیل در دسترس نبودن داده‌های کامل موقعیت‌های جغرافیایی، از داده‌های موجود بصورت میانگین سالانه در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استفاده گردید که اطلاعات موردنظر از پایگاه داده‌های مرتبط بصورت میانگین سالانه قابل استخراج می‌باشد. در بررسی‌های متعدد به وضوح دیده می‌شود که

میزان تبخیر بصورت ماهانه یا سالانه قابل استفاده می‌باشد و در صورت نیاز به داده‌های روزانه میزان تبخیر می‌توان مقادیر ماهانه تقسیم بر تعداد روز در ماه را در نظر گرفت. داده‌های تشت در مقادیر روزانه دارای خطاهای معناداری بوده که در ایستگاه‌های سینوپتیک نیز داده‌های تشت تبخیر معمولاً به صورت ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول (۳) مشاهده می‌شود که خطای رابطه (۱) بر مبنای داده‌های هواشناسی نسبت به تشت تبخیر، در بازه ۸ تا ۱۶ درصد می‌باشد که با توجه به فراگیری داده‌های دریافتی از پایگاه- NASA POWER می‌توان آن را قابل قبول در نظر گرفت.

جدول ۳- مقایسه میزان تبخیر از رابطه (۱) براساس پارامترهای مرتبط و تبخیر روزانه تشت

موقعیت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال	سرعت باد (متر بر ثانیه)			دما (درجه سانتی‌گراد)			شدت تابش (وات بر متر مربع)	تبخیر تشت (میلی‌متر)	متوسط ماهانه (میلی‌متر)	از رابطه (۱) (میلی‌متر)	متوسط ماهانه تبخیر در برآورد تبخیر درصد میزان خطا
				کمینه	پیشینه	متوسط	کمینه	پیشینه	متوسط					
مشهد	۳۶,۲۳	۵۹,۴۲	۲۰۱۸	۱,۰۶	۴,۶۷	۲,۸۷	۵,۹۵	۲۰,۳۳	۱۲,۴۶	۲۹۰	۱۸۷	۱۵۸	۱۶	
			۲۰۱۹	۱,۰۹	۴,۶۳	۲,۸۶	۵,۸۲	۱۹,۶۶	۱۲,۰۷	۲۹۱	۱۷۶	۱۵۹	۱۴	
اندیمشک	۳۲,۴۶	۴۷,۹۳	۲۰۱۸	۱,۰۴	۴,۱۰	۲,۵۷	۱۹,۹۸	۳۳,۹۶	۲۶,۴۴	۳۵۳	۱۸۶	۲۱۵	۱۵	
			۲۰۱۹	۱,۰۹	۴,۱۱	۲,۶۰	۱۸,۸۸	۳۲,۷۳	۲۵,۲۴	۳۴۳	۱۸۹	۲۱۴	۱۳	
میناب	۲۷,۱۵	۵۷,۱۱	۲۰۱۸	۰,۶۲	۵,۱۹	۲,۹۱	۲۱,۶۴	۳۴,۸۱	۲۷,۵۲	۳۵۸	۲۱۸	۲۵۳	۱۶	
			۲۰۱۹	۰,۶۵	۵,۱۲	۲,۸۹	۲۰,۸۷	۳۳,۴۷	۲۶,۵۴	۳۶۳	۲۱۹	۲۳۷	۸	
دمشق	۳۳,۳۸	۳۶,۴۳	۲۰۱۸	۰,۸۷	۴,۵۲	۲,۷۰	۱۱,۶۸	۲۵,۴۱	۱۷,۸۷	۳۱۴	۲۰۱	۱۷۵	۱۳	
			۲۰۱۹	۰,۸۳	۴,۴۹	۲,۶۶	۱۰,۹۲	۲۴,۷	۱۷,۱۱	۳۰۷	۱۹۷	۱۷۳	۱۲	
همبئی	۱۸,۸۶	۷۳,۸	۲۰۱۸	۱,۳۶	۴,۴۷	۲,۹۲	۱۸,۷۶	۳۰,۹۴	۲۴,۱۵	۳۸۶	۲۲۶	۱۹۸	۱۲	
			۲۰۱۹	۱,۳۱	۴,۵۶	۲,۹۴	۱۹,۲۲	۳۰,۸۹	۲۴,۳۷	۳۹۲	۲۳۳	۱۹۸	۱۵	
فرانکفورت	۵۰,۰۸	۸,۶۳	۲۰۱۸	۱,۲۹	۳,۸۵	۲,۵۷	۶,۵۳	۱۶,۰۹	۱۱,۱۷	۳۱۱	۱۱۷	۱۰۱	۱۴	
			۲۰۱۹	۱,۳۰	۳,۹۶	۲,۶۳	۶,۰۵	۱۵,۴۱	۱۰,۶۱	۳۰۹	۱۱۵	۱۰۲	۱۱	

• توسعه نرم‌افزار گوشی هوشمند مبتنی بر اندروید

اصول طراحی در این نرم‌افزار که با عنوان Evap-Soft (قابل ارائه در گوگل پلی و دیگر پایگاه‌های داده نرم‌افزارها) شناخته می‌شود، این بوده که بتوان با آن برای کاربر، برای مکان مورد تقاضای او برآوردی از تبخیر بر اساس رابطه اسمنی-شیرنژاد-شهابی ارائه نمود. از آنجا که استفاده از نیروگاه‌های فتوولتائیک شناور به دلیل کاهش میزان تبخیر منابع آبی، رو به افزایش می‌باشد، این نرم‌افزار علاوه بر محاسبه میزان تبخیر پتانسیل، پیش‌بینی میزان کاهش تبخیر بر اثر وجود صفحات فتوولتائیک را نیز میسر می‌سازد. این نرم‌افزار در صورت انتخاب پهنه‌های آبی قادر

به شناسایی آن بوده و میزان کاهش تبخیر را نیز براساس پوشش صفحات فتوولتائیک بیان می‌دارد. کاربر در این نرم‌افزار ابتدا نقطه مورد نظر خود را بر روی نقشه گرافیکی انتخاب نموده و داده‌های پایگاه داده NASA-Power دریافت و محاسبات براساس رابطه برآورد تبخیر (رابطه ۱) انجام می‌گردد و کاربر، نتیجه را بر حسب میلی‌متر بر روز مشاهده می‌نماید. چنانچه سیستم موقعیت‌یاب جغرافیایی گوشی فعال باشد، کاربر قادر به مشاهده موقعیت برخط خود نیز می‌باشد.

برنامه گوشی هوشمند برای دستگاه‌های با سیستم عامل اندروید تدارک دیده شده است و با زبان برنامه‌نویسی

به MPAndroidChart (Shangavi و همکاران، ۲۰۱۸) و Android Sliding Up Panel (Umano، ۲۰۱۸) اشاره کرد. با دریافت داده‌ها از پایگاه NASA-POWER، براساس متغیرهای جدول (۴)، محاسبات صورت می‌پذیرد (NASA، ۲۰۲۰). فلوچارت استفاده از نرم‌افزار نیز مطابق شکل (۱) می‌باشد.

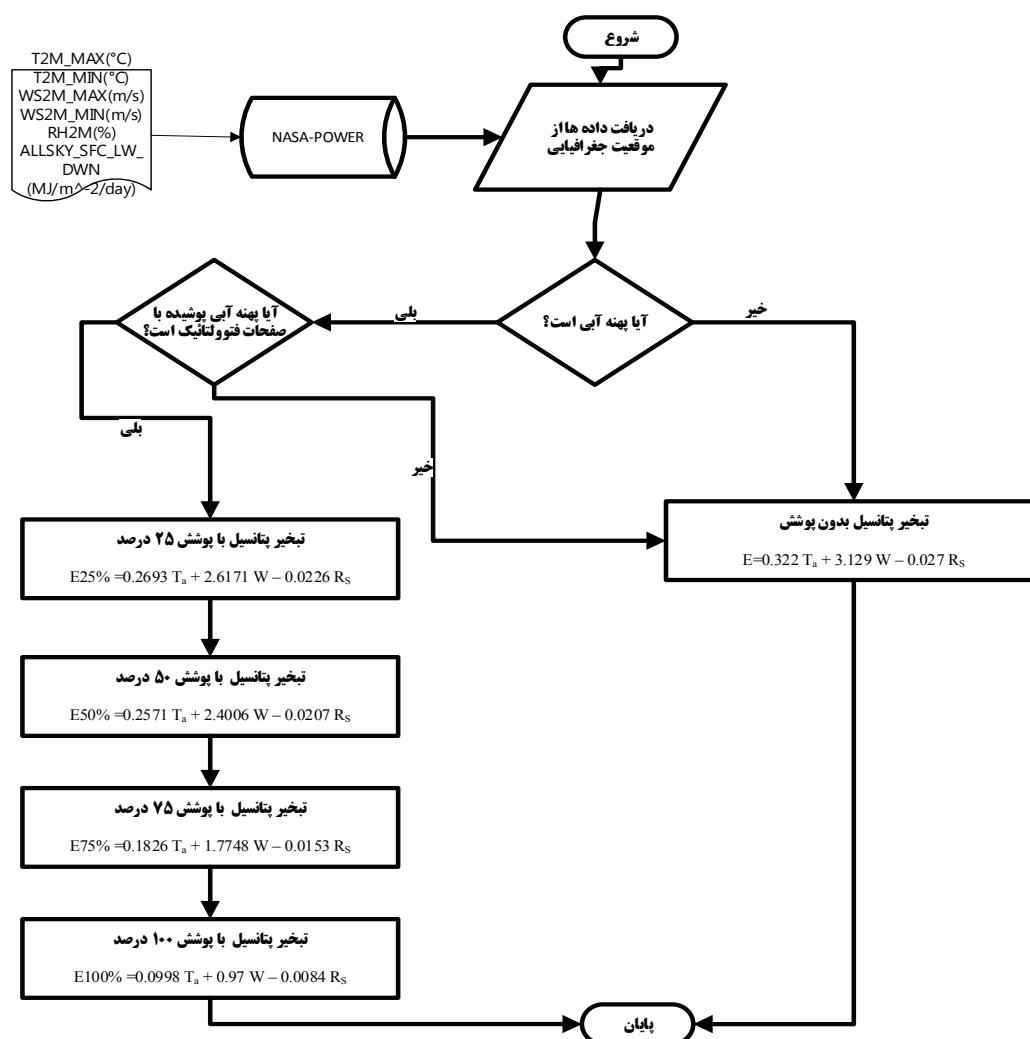
Java به کمک Android Studio 4.0.1 ارائه شده است. این برنامه از توابع برنامه‌نویسی موجود در Volley می‌تواند به‌صورت همزمان داده‌ها را با استفاده از پروتکل http دریافت و محاسبات لازم را انجام دهد (Inc، ۲۰۱۷). از دیگر توابع کتابخانه‌ای استفاده شده در این برنامه می‌توان

جدول ۴- متغیرهای مورد استفاده از پایگاه NASA-POWER

واحد	شرح	داده هواشناسی پایگاه داده
°C	دمای هوای ماکزیمم در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	T2M_MAX
°C	دمای هوای مینیمم در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	T2M_MIN
m/s	سرعت باد ماکزیمم در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	WS2M_MAX
m/s	سرعت باد مینیمم در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین	WS2M_MIN
%	رطوبت نسبی در ارتفاع ۲ متری	RH2M
MJ/m ² /day	شار تابشی مادون قرمز (شدت تابش)*	ALLSKY_SFC_LW_DWN

* از آنجا که در رابطه (۱) مقدار شدت تابش دارای واحد W/m² می‌باشد، جهت تبدیل مقدار موجود

در پایگاه داده کافیت آنرا در ۱۱/۶ ضرب نماییم (Service N.R.C، ۲۰۲۰).



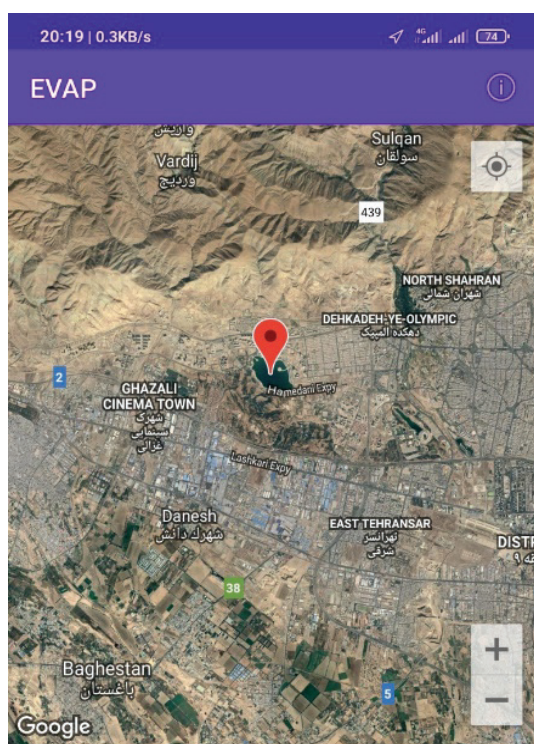
شکل ۱- فلوچارت عملکرد نرم‌افزار

نتایج

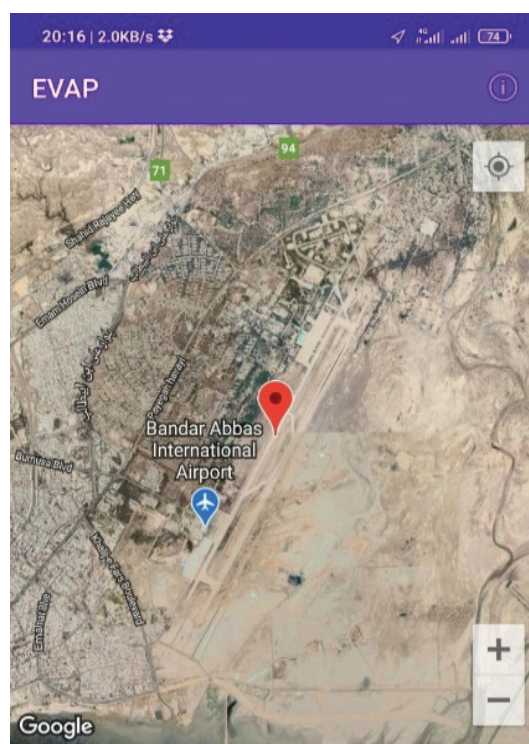
با استفاده از نرم افزار ایجاد شده مطابق شکل های (۲) و (۳)، ابتدا نقطه مورد نظر بر روی نقشه انتخاب می شود. سپس، متغیرهای مورد استفاده از پایگاه NASA-POWER برای نقطه مورد نظر قابل مشاهده و محاسبات مربوط به تبخیر پتانسیل برای پهنه آبی در نقطه مورد نظر انجام و با واحد میلی متر در روز ارائه می شود. لازم به ذکر است محاسبات با استفاده از داده های برخط صورت می پذیرد. در صورتی که نقطه مورد نظر سطح زمین باشد در کادر قرمز رنگ و در صورت انتخاب سطح آزاد آب دارای کادر آبی می باشد. همچنین مقادیر استخراج شده و موقعیت جغرافیایی نقطه مورد نظر در بخش پایین کادر سنجش

تبخیر ارائه می شود.

مطابق این شکل ها، چنانچه نقطه مورد نظر در یک پهنه آبی قرار داشته باشد، میزان تبخیر در کادر رنگ آبی و در غیر این صورت در کادر رنگ قرمز ارائه می شود. لازم به ذکر است که داده های خروجی نرم افزار با داده های تحت تبخیر ایستگاه های سینوپتیک مقایسه شده و مطابقت نسبی داشته است. به عنوان مثال در ایستگاه سینوپتیک فرودگاه بندرعباس در تاریخ اول آذرماه ۱۳۹۹ میزان تبخیر تحت مقدار ۸/۲ میلی متر ثبت شده که با در نظر گرفتن ضریب ۰/۷، مقدار تبخیر برآورد شده برابر ۵/۷۴ میلی متر خواهد بود که در مقایسه با مقدار ۶/۰۶ میلی متر خروجی از نرم افزار، خطای حدود ۵ درصد را نشان می دهد.



شکل ۳- انتخاب موقعیت جهت محاسبه تبخیر در پهنه آبی (دریاچه چیتگر تهران- تاریخ ۱۳۹۹/۰۹/۰۱)



شکل ۲- انتخاب موقعیت جهت محاسبه تبخیر پتانسیل (فرودگاه بندرعباس- تاریخ ۱۳۹۹/۰۹/۰۱)

تبخیر دست یابیم، لازم است از پایگاه داده هواشناسی هر نقطه جغرافیایی استفاده گردد. همچنین بر روی این نرم افزار قابلیت ارائه برآورد تبخیر پتانسیل بر اساس سایر روش‌های تجربی که بتوان طبق داده‌های پایگاه NASA-POWER محاسبه نمود، وجود دارد.

تقدیر و تشکر

مازیار اسمنی کمال تشکر خود را از استاد اخلاق محمد صالح پردل اعلام می‌دارد که همچون همیشه مشوق وی بوده و هستند.

Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 9(2): 239-246.

Asmani M., Bashirnezhad K., & BashiShahabi P. 2020. Determining the Empirical Relation for Estimating the Evaporation from Open Water Surfaces. International Journal of Future Generation Communication and Networking, 13(4): 1091-1103.

de Sousa Lima J. R., Antonino A. C. D., de Souza E. S., Hammecker C., Montenegro S. M. G. L., & de Oliveira Lira C. A. B. 2013. Calibration of Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in sub-humid region of Brazil. Journal of Water Resource and Protection, 5: 1-5.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2016. AQUASTAT website. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquastat/en/>.

Inc, G. Recursions do Android Studio | Android Studio [WWW Document]. 2017. Available from: <https://developer.android.com/studio/features.html>.

Júnior W. M., Valeriano T. T. B., & de Souza Rolim G. 2019. EVAPO: A smartphone application to estimate potential evapotranspiration using cloud gridded meteorological data from NASA-POWER system. Computers and Electronics in Agriculture, 156: 187-192.

NASA, NASA-POWER, in On-Line. 2020. NASA: USA. <https://power.larc.nasa.gov/>

Evap-Soft یک نرم‌افزار گوشی هوشمند برای سیستم عامل اندروید می‌باشد که قادر است تبخیر روزانه را در هر موقعیت جغرافیایی محاسبه کند. داده‌های مورد استفاده از پایگاه داده شبکه ابری NASA-POWER استخراج می‌شود و نرم‌افزار به صورت هوشمند نقطه انتخابی را نسبت به دو حالت خشکی یا پهنه آبی تشخیص داده و محاسبات مربوطه را انجام می‌دهد. این برنامه علاوه بر محاسبه تبخیر می‌تواند میزان کاهش تبخیر ناشی از نصب صفحات فتوولتاییک بر روی پهنه را نیز محاسبه نماید. چنانچه بخواهیم به میزان دقیق‌تری از مقادیر

پی‌نوشت‌ها

1-Application Programing Interface

2-Ivanof

3-Hefner

4-Shahtin

5-Marciano

6-USBR

7-Meyer

8-Hamon

9-Jensen Haise

10-data.irimo.ir

11-<https://www.meteoblue.com/en/weather/archive/era5>

منابع

Adhikari P., Omani N., Ale S., DeLaune P. B., Thorp K. R., Barnes E. M., & Hoogenboom G. 2017. Simulated effects of winter wheat cover crop on cotton production systems of the Texas Rolling Plains. Transactions of the ASABE, 60(6): 2083-2096.

Allen R. G., Pereira L. S., Howell T. A., & Jensen M. E. 2011. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. Agricultural Water Management, 98(6): 921-929.

An N., Hemmati S., & Cui Y. J. 2017. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables.

- ture in the municipality of altamira-pa/agricultura irrigada no contexto amazonico: uma abordagem sistematica do uso da agua em uma horticulura no municipio de altamira-pa. *Revista Internacional de Ciências*, 6(1): 29-43.
- Stackhouse P. W., Westberg D., Hoell J. M., Chandler W. S., & Zhang T. 2015. Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)-Agroclimatology methodology-(1.0 latitude by 1.0 longitude spatial resolution). Hampton, NASA Langely Research Center.
- Umano. News Read To You. 2018. Android Sliding Up Panel; Available from: <https://github.com / umano/AndroidSlidingUpPanel>.
- Vellidis G., Liakos V., Andreis J. H., Perry C. D., Porter W. M., Barnes E. M., ... & Migliaccio K. W. 2016. Development and assessment of a smart-phone application for irrigation scheduling in cotton. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127: 249-259.
- Service N.R.C. 2020. Solar Radiation Unit Conversions. Available from: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/null/?cid=stel-prdb1043619>.
- Shangavi S., Jeyamaalarukan S., Jathevan A., Umatharsini M., & Samarasinghe P. 2018. October. Self-Speech Evaluation with Speech Recognition and Gesture Analysis. In 2018 National Information Technology Conference (NITC) (pp. 1-7). IEEE.
- Siebert S., Henrich V., Frenken K., & Burke J. 2013. Update of the digital global map of irrigation areas to version 5. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Silva E. C. R., Alves F. B., & da Silva I. I. S. 2016. Irrigated Agriculture in the Amazon Context: A Systematic approach to the use of water in a horticultural

Article Type: Technical paper/Applied

نوع مقاله: فنی ترویجی/ کاربردی

Locating the priority of implementing various types of pressurized irrigation systems using GIS software and AHP model, Case study: Dez plain

H. Poursamsam¹, E. Akbari^{2*}, H. Ghorbanizade-Kharazi³, S. Boroomand Nasab⁴

1- Irrigation Expert, Agricultural Jihad Management of Dezful, Dezful, Iran. 2,4- Master of River Engineering and Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. 3- Assistant Professor, Department of Water, Islamic Azad University, Shushtar Branch, Shushtar, Iran.

*(Corresponding Author Email: elliakbari@yahoo.com)

Received: 08-02-2021

Accepted: 11-05-2021

مکان‌یابی اولویت اجرای انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از نرم‌افزار GIS و مدل AHP، مطالعه موردی: دشت دز

حامد پورصمصام^۱، الهام اکبری^{۲*}، حسین قربانی‌زاده خرازی^۳، سعید برومندنسب^۴

۱- کارشناس آبیاری، مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان دزفول، دزفول، ایران. ۲ و ۴- به ترتیب کارشناس ارشد مهندسی رودخانه و استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. ۳- استادیار، گروه آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: elliakbari@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۱

Abstract

Efficient use of water, in addition to increasing production efficiency, can lead to a return on investment with an emphasis on conserving water resources and the environment. One of the ways to use water optimally in agriculture can be the application of technology of pressurized irrigation systems. In this study, using AHP hierarchical analysis process in GIS software environment, the priority of implementing different pressurized irrigation systems (classical fixed, Wheel Move, linear and localized mechanization) in Dez plain was investigated. This plain is the widest plain and one of the most important agricultural hubs of Khuzestan province. For this purpose, effective criteria in the implementation of each irrigation method, including two main criteria of socio-economic and field physics, each of which has several sub-criteria were considered. Then, the criteria and sub-criteria were scored from 1 to 9 according to the hierarchical scoring table, and after calculating the geometric mean of the final weight of the criteria and sub-criteria for each option, the final scores were entered into the GIS and graphic maps were obtained to prioritize the implementation of each irrigation method. The final maps were obtained to several levels of classification and the final score of each irrigation system by weighting the average percentage of area and the priority of each type of pressurized irrigation methods to be implemented in Dez plain was determined. The results showed that 80.46 and 18.54% of the total area of the plain are suitable for sprinkler and local irrigation, respectively, and the fixed classic irrigation system with the highest score was selected as a higher priority for this research.

Keywords: Pressure Irrigation, Plain, AHP Hierarchical Analysis, GIS Software, Fixed Classic Irrigation System.

چکیده

استفاده کارآمد از آب، علاوه بر افزایش عملکرد تولید، می‌تواند سبب بازگشت سرمایه با تأکید بر حفظ منابع آب و محیط‌زیست شود. یکی از راه‌های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، می‌تواند کاربرد فناوری سامانه‌های آبیاری تحت فشار باشد. در این پژوهش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP در محیط نرم‌افزار GIS، اولویت اجرای سامانه‌های مختلف آبیاری تحت فشار (کلاسیک ثابت، آبفشان غلطان، مکانیزه خطی و موضعی) در دشت دز بررسی شد. این دشت، پهناورترین دشت و از مهمترین قطب‌های کشاورزی استان خوزستان است. بدین منظور معیارهای تأثیرگذار در اجرای هر یک از روش‌های آبیاری شامل دو معیار اصلی اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی مزرعه که هرکدام چند زیرمعیار دارند، در نظر گرفته شد. در ادامه، معیارها و زیرمعیارها با توجه به جدول امتیازبندی سلسله مراتبی از ۱ تا ۹ امتیازدهی شدند و پس از محاسبه میانگین هندسی وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها برای هر گزینه، امتیازهای نهایی وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد و نقشه‌های گرافیکی برای اولویت اجرای هر روش آبیاری به‌دست آمد. نقشه‌های نهایی به چندین سطح امتیازی طبقه‌بندی و امتیاز نهایی هر سیستم آبیاری با میانگین‌گیری وزنی نسبت به درصد مساحت حاصل شد و اولویت هر یک از انواع روش‌های آبیاری تحت فشار جهت اجرا در دشت دز تعیین گردید. نتایج نشان داد که به‌ترتیب ۸۰/۴۶ و ۱۸/۵۴ درصد از مساحت کل دشت برای اجرای انواع آبیاری بارانی و موضعی مناسب است و سامانه آبیاری کلاسیک ثابت با بیشترین امتیاز، به‌عنوان اولویت بالاتر جهت اجرا در این تحقیق انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تحت فشار، دشت دز، تحلیل سلسله مراتبی AHP، نرم‌افزار GIS، سامانه آبیاری کلاسیک ثابت.

قرار دادند و نتایج نشان داد که سامانه آبیاری قطره‌ای امتیاز بالاتری دارند.

از آنجاییکه از مهمترین عوامل تأثیرگذار در صرفه‌جویی مصرف آب در بخش کشاورزی که بزرگترین مصرف‌کننده آب است، استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار است. هدف از انجام این تحقیق، تلفیق روش AHP و نرم‌افزار GIS برای اولویت‌بندی مکانی اجرای انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار در دشت دز است. در این دشت به دلیل توسعه و رونق کشاورزی و وجود منابع آب، استفاده درست از این منابع منوط به انتخاب بهترین سامانه آبیاری است. سامانه آبیاری سطحی، رایج‌ترین سامانه آبیاری مورد استفاده در این منطقه است. با توجه به اجرای موفق سامانه‌های آبیاری تحت فشار در سال‌های اخیر در منطقه، مکان‌یابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار با در نظر گرفتن زیرمعیارهای مختلف تأثیرگذار بر عملکرد آنها امری ضروری می‌باشد، که در این تحقیق به این مهم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

دشت دز پهناورترین دشت و از مهمترین قطب‌های کشاورزی استان خوزستان است. این دشت در شمال استان خوزستان واقع است و نقش مهمی در کشاورزی استان دارد (شکل ۱). وسعت دشت ۲۰۷۳ کیلومترمربع می‌باشد و ارتفاع آن حداقل ۳۷ و حداکثر ۳۸۹ متر است. میانگین درجه حرارت متوسط دشت، ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین سرعت باد ۱/۳۶ متر بر ثانیه می‌باشد که حاکی از آرامش نسبی در منطقه است. میانگین بارندگی سالانه ۳۱۴ میلی‌متر می‌باشد، از این رو بر اساس طبقه‌بندی‌ها اقلیم دشت دز، در محدوده نیمه‌خشک قرار می‌گیرد (حسینی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). به جز قسمت شمالی دشت در دیگر قسمت‌های دشت، شبکه‌های آبیاری وجود دارد و علاوه بر استفاده از منابع چاه از آب‌های سطحی برای کشاورزی استفاده می‌شود.

نیازهای آبی در دشت‌های دز غربی، دز شرقی و سبیلی از دو منبع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود. در دشت لور اکثر نیازها از آب زیرزمینی تأمین می‌شود و در دشت دیمچه آب کشاورزی از منبع آب سطحی و آب شرب از منبع آب زیرزمینی تأمین می‌شود (آذری و همکاران، ۱۳۹۲). جهت بررسی پهنه‌بندی کیفی آب‌های زیرزمینی این دشت، از اطلاعات کیفی ۹۳ حلقه چاه برداشت شده توسط سازمان آب و برق خوزستان طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است. با توجه به نتایج تحلیل نمونه آب چاه‌ها و براساس دیاگرام ویلکاکس عمده کیفیت آب زیرزمینی به ترتیب در کلاس c3-s1 و c2-s1 قرار دارد که برای کشاورزی مناسب می‌باشند.

شمال آفریقا و خاورمیانه با قرار گرفتن در مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین جزء کم‌آب‌ترین مناطق جهان می‌باشند. به‌طوری که ۱۲ کشور از ۱۵ کشور کم‌آب جهان در این منطقه واقع شده‌اند (Roudi-Fahimi و همکاران، ۲۰۰۲). ایران به‌عنوان یکی از این کشورها همواره با کم‌آبی و مشکلات همراه با آن مواجه بوده است. با این حال، تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های شدید و پیایی، رشد جمعیت و افزایش فزاینده تقاضای آب، بحران کمبود آب را در این کشورها از جمله ایران وخیم و نگران‌کننده کرده است (Balali و همکاران، ۲۰۰۹؛ Kahil و همکاران، ۲۰۱۵). کشاورزی بیش از سایر بخش‌های اقتصادی از کمبود آب صدمه می‌بیند؛ زیرا کمبود این نهاده به شدت محدودکننده توسعه و رشد کشاورزی است (Koundouri و همکاران، ۲۰۰۶) و در نهایت آسیب‌هایی همچون عدم امنیت غذایی، کاهش بهره‌وری اقتصادی، افزایش مهاجرت به شهرها و افزایش فقر و بیکاری را در بین کشاورزان در پی خواهد داشت (Khan و همکاران، ۲۰۰۹). با توجه به این مسأله و اهمیت روز افزون آب در کشاورزی ایران، اصلاح راهبردها و فناوری‌ها در استفاده از منابع آب برای برطرف کردن مشکلات ناشی از کمبود و پایین بودن راندمان استفاده از آب، ضروری به نظر می‌رسد. براساس گزارش فائو بیش از یک دهه است که افزایش تولید غذا با حداقل استفاده از آب آبیاری، مهمترین هدف سیاسی مدیران مزرعه، مخصوصاً در کشورهایی است که با محدودیت آب و زمین مواجه‌اند (Michailidis و همکاران، ۲۰۱۱). استفاده کارآمد از آب نه تنها می‌تواند افزایش عملکرد تولید را افزایش دهد، بلکه می‌تواند باعث بازگشت سرمایه با تأکید بر حفظ منابع آب و محیط‌زیست شود یکی از راه‌های استفاده بهینه از آب در کشاورزی، پذیرش فناوری نوین سامانه‌های آبیاری تحت فشار است (Khan و همکاران، ۲۰۰۹).

روش تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است (saaty، ۱۹۷۷). زیرا امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌کند.

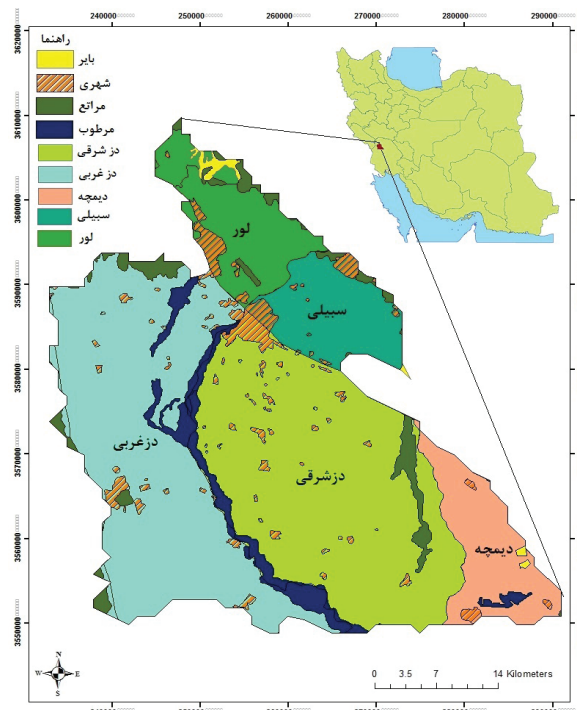
در زمینه پتانسیل‌یابی امکان اجرای آبیاری تحت فشار، Anane و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتبی، سیستم آبیاری بارانی مناسب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی با استفاده از آب نامتعارف را ارزیابی کردند، نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تنها ۳۱ درصد از کل اراضی حوضه، مناسب آبیاری بارانی با آب‌های نامتعارف بود، همچنین Neissi و همکاران (۲۰۲۰) در دشت ایذه چهار روش آبیاری مکانیزه خطی، مکانیزه دوار، ارابه‌ای و قطره‌ای را مورد ارزیابی

و زیرمعیارها در رابطه با مکان‌یابی انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار ارائه شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، برای گریز از ناهمگنی قضاوت‌ها در مقایسه دودویی، معیارها و زیرمعیارها طوری انتخاب شده‌اند که ابعاد ماتریس مقایسه، کوچک باشد و مقایسه به‌سهولت صورت گیرد. در این شکل، سطح هدف (انتخاب سامانه آبیاری مناسب تحت فشار) در بالاترین قسمت نمودار قرار گرفته است. معیارها که شامل دو معیار اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی هستند، در سطح اول قرار گرفته‌اند و بعد از معیارها، زیرمعیارها قرار گرفته‌اند که به‌عنوان سطح دوم در این نمودار محسوب می‌شوند و این زیرمعیارها نیز خود به چندین زیرمعیار دیگر تقسیم می‌شوند که این معیارها در سطح سوم قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه امتیازدهی معیارها با مشورت متخصصان خبره این امر انجام شد، معیار اقتصادی- اجتماعی در منطقه مورد مطالعه دارای زیرمعیارهای واضحی است و وجود زیرمعیارهایی در سطح سوم در این معیار توصیه نمی‌شود؛ اما میزان مزیت زیرمعیارهای معیار اقتصادی- اجتماعی در هر سامانه آبیاری متفاوت است. زیرمعیارهای فیزیک مزرعه در سطح دوم به‌طور مشخصی جزئیات مد نظر را بیان نمی‌کند و لازم است زیرمعیارهایی در سطح سوم در نظر گرفته شوند که بیانگر جزئیات بیشتری باشند و دقت مطالعه افزایش یابد.

با استفاده از نمودار درخت سلسله‌مراتبی، به مقایسه معیارهای هر سطح در قالب ماتریس پرداخته شد. برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها از مقایسه زوجی استفاده شد (Saaty, ۱۹۸۰). ارجحیت معیارها بر اساس اهمیت نسبی آنها برای انواع آبیاری تحت فشار مورد مطالعه و بر اساس نظرات علمی بدست آمده از اساتید گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناس آب و خاک مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان دزفول که آگاه به منطقه دشت دز می‌باشد، تعیین گردید. بدین صورت که به هر مقایسه زوجی یک عدد از ۱ تا ۹ نسبت داده شد که مقصود از این ارقام در جدول (۱) ارائه شده است (Saaty, ۱۹۸۰).

جدول ۱- مقیاس ۹ کمیتی Saaty (۱۹۸۰) برای مقایسه زوجی معیارها

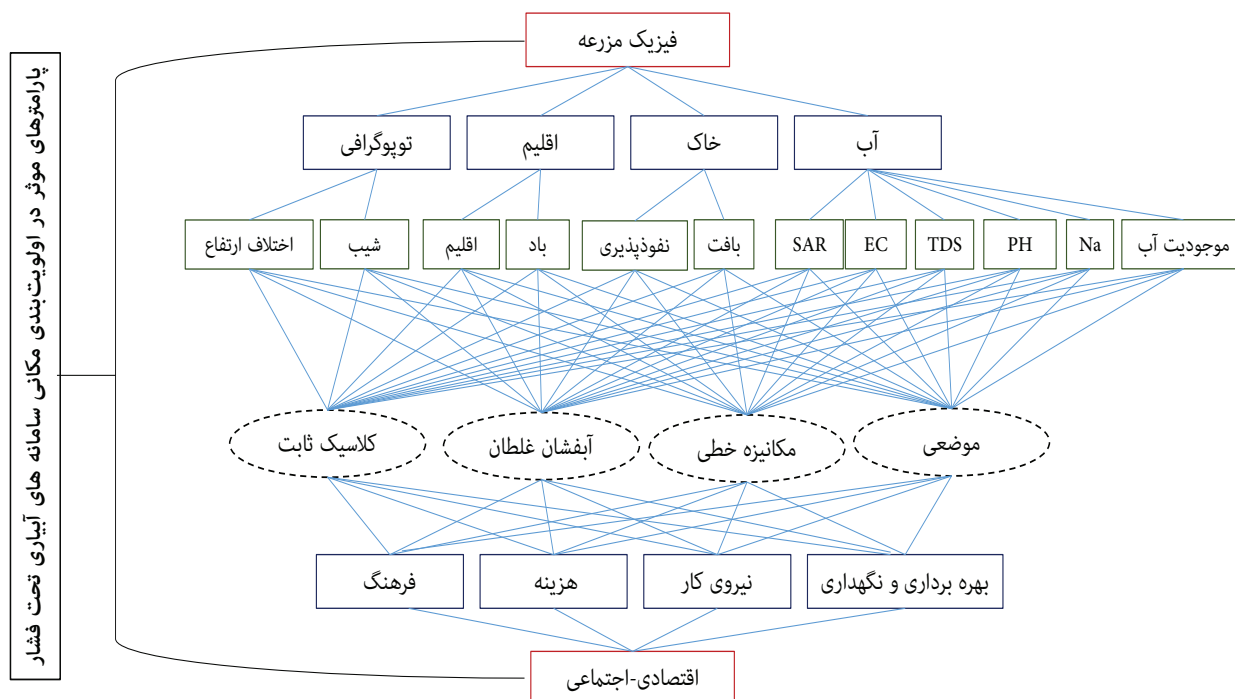
ردیف	ترجیحات	امتیاز
۱	اهمیت مساوی	۱
۲	اهمیت اندکی بیشتر	۳
۳	اهمیت بیشتر	۵
۴	اهمیت خیلی بیشتر	۷
۵	اهمیت مطلق	۹
۶	ترجیحات بین فواصل فوق	۲, ۴, ۶, ۸



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت دز و زيردشت‌های آن

• روش تحلیل سلسله مراتبی برای مکان‌یابی سامانه‌های آبیاری تحت فشار

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه در نرم‌افزار (GIS) است. زیرا امکان درنظرگرفتن معیارهای کمی و کیفی را فراهم می‌کند. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را امکان‌پذیر می‌سازد؛ علاوه بر این، بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که باعث می‌شود، قضاوت و محاسبات ساده شود. همچنین، میزان سازگاری و ناسازگاری سیستم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این فرآیند در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. مبنای تئوری این روش برای اولین بار توسط Saaty (۱۹۷۷) مطرح شده است. اولین گام، در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی است. این سلسله مراتب دارای چهار سطح هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌هاست. تبدیل موضوع یا مسأله مورد بررسی به یک ساختار سلسله مراتبی، مهمترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود؛ زیرا در این قسمت، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مسائل پیچیده و مشکل را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی (که به صورت سلسله مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسأله با پایین‌ترین سطح سلسله مراتبی مشخص است) به شکل ساده تری در می‌آورد. در شکل (۲) نمودار سلسله‌مراتبی معیارها



شکل ۲- نمودار سلسله‌مراتبی معیارها و زیرمعیارها در رابطه با اولویت‌بندی مکانی انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار

تقسیم شاخص سازگاری (CI^2) به شاخص تصادفی‌بودن حاصل می‌شود (رابطه ۱). چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است. در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. به عبارت دیگر ماتریس مقایسه دودویی معیارها باید مجدداً تشکیل شود.

$$CI = (I_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

$I_{\max}$ میانگین عناصر بردار ناسازگاری.

n : تعداد گزینه‌های موجود در تحقیق.

شاخص تصادفی‌بودن (RI) با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول (۳) قابل استخراج است.

جدول ۲- ماتریس مقایسه معیارهای اصلی آبیاری موضعی

عوامل مؤثر	اقتصادی- اجتماعی	فیزیک مزرعه	وزن
اقتصادی- اجتماعی	۱	۰/۳۳۳	۰/۲۵
فیزیک مزرعه	۳	۱	۰/۷۵
CR : ۰/۰			

با توجه به اینکه امتیازدهی معیارها با مشورت اساتید دانشکده علوم آب شهید چمران اهواز انجام شد، وزن هر کدام از معیارها بدست آمد. سپس با ضرب کردن این وزن‌ها در امتیازهای کسب شده، وزن هر زیرمعیار به‌دست آمد و امتیاز نهایی هر زیرمعیار محاسبه گردید. با جمع جبری امتیازهای نهایی زیرمعیارها، امتیاز کل برای هر یک از مناطق محدوده مورد مطالعه طرح در رابطه با هر یک از گزینه‌های سامانه‌های آبیاری به‌دست آمد. برای نمونه در جدول (۲) ماتریس دو معیار اصلی برای آبیاری موضعی بر اساس نظرات اساتید آبیاری و با استفاده از جدول شاخص وزن‌دهی (Saaty, ۱۹۸۰) به‌صورت مقایسه زوجی وزن‌دهی شد و در نهایت با استفاده از روش AHP، مقدار اوزان مناسب برای هریک از معیارها طبق جدول (۱) محاسبه شد.

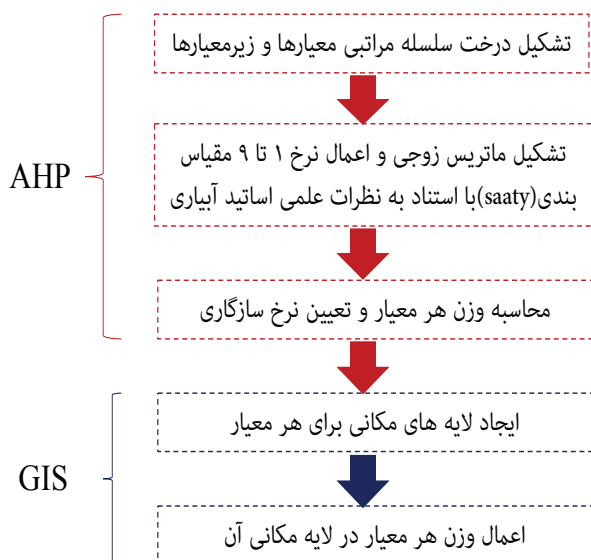
• بررسی سازگاری در قضاوت

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، بررسی سازگاری ماتریس‌های مقایسه‌ای است. سازوکاری که Saaty (۱۹۸۰) برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب سازگاری (CR^2) است (رابطه ۲) که از

جدول ۳- شاخص تصادفی بودن (RI)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

وزن‌گذاری شده و هم‌پوشانی شد. شکل (۳) روند مربوط به مکان‌یابی انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳- روش‌شناسی مراحل مکان‌یابی اولویت اجرای هریک از روش‌های آبیاری تحت فشار

نقشه‌های نهایی به چندین سطح امتیازی، طبقه‌بندی و امتیاز نهایی هر سیستم آبیاری با میانگین‌گیری وزنی نسبت به درصد مساحت حاصل شد. طبقه‌بندی از امتیاز ۳ که مربوط به اولویت پایین‌تر مناطق و به‌ترتیب تا امتیاز ۶ که اولویت بالاتر مناطق جهت اجرای آبیاری مربوطه است، انجام شد (جدول ۵).

مطابق جدول (۴) مشاهده می‌شود که سیستم آبیاری کلاسیک ثابت دارای امتیاز بالاتری است. نتایج خروجی نقشه‌های مکان‌یابی انواع آبیاری تحت فشار شامل آبیاری موضعی، آبفشان غلطان، کلاسیک ثابت و مکانیزه خطی در محیط GIS تهیه گردید و به‌ترتیب در شکل‌های (۴) تا (۷) آمده است. در این شکل‌ها، مناطق دارای اولویت عالی تا ضعیف برای هر نوع سامانه آبیاری به صورت گرافیکی ارائه شده به نحوی که امتیاز ۶ مناطق دارای اولویت بالا و امتیاز ۳ مناطق با اولویت ضعیف برای روش آبیاری مورد نظر می‌باشند.

در نهایت نتایج هم‌پوشانی طبقه‌بندی اولویت‌های انواع سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه بر اساس بیشترین امتیاز در نرم‌افزار GIS تهیه گردید که در شکل (۸) ارائه شده است. بر این اساس، درصد مساحتی که هر یک از چهار روش آبیاری امتیاز بیشتری داشته، برای دشت دز و به تفکیک زیر دشت‌های آن در جدول (۶) ارائه شده است.

بررسی سازگاری قضاوت‌ها در ماتریس مقایسه دودویی معیارها، حاکی از آن است که سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است. هر ماتریس مقایسه زوجی ممکن است سازگار یا ناسازگار باشد. در حالتی که این ماتریس سازگار باشد، محاسبه وزن w_i ساده بوده و از نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به دست می‌آید. اما در حالتی که ماتریس ناسازگار باشد، محاسبه وزن ساده نبوده و برای به دست آوردن آن از روش‌های دیگری استفاده می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۹۲).

پس از ایجاد نمودار سلسله‌مراتبی، مقایسه و محاسبه وزن‌ها با استفاده از مدل AHP در محیط نرم‌افزار GIS انجام شد که به‌طور خودکار نسبت سازگاری نیز محاسبه گردید. مقدار ضریب سازگاری در سامانه‌های آبیاری موضعی بین صفر تا ۰/۰۱۰۷، آبفشان غلطان بین صفر تا ۰/۰۰۷، آبیاری بارانی مکانیزه خطی بین صفر تا ۰/۰۲۲۵ و در سامانه آبیاری کلاسیک ثابت، مقدار آن بین صفر تا ۰/۰۵۷ متغیر بود که نشان‌دهنده سازگاری در مقایسه‌هاست.

درنهایت، جهت تعیین اولویت اجرای روش‌های آبیاری تحت فشار در هر مکان، تمامی لایه‌های مکانی (رستری) معیارها و زیرمعیارها در نرم‌افزار GIS ترسیم گردید و از طریق اعمال وزن‌های نهایی و براساس مدل Weight-overlay، لایه‌های

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر با استفاده از مطالعات صورت گرفته، ارزیابی منابع و قابلیت اراضی دشت دز انجام گردید، ۱۶ عامل مؤثر در انتخاب سامانه‌های آبیاری تحت فشار تأثیر داده شد و مکان‌یابی مناطق دشت دز برای اولویت‌بندی چهار نوع سامانه آبیاری با تشکیل لایه‌های مکانی و تلفیق آنها در وزن‌های نهایی مربوطه برای هرکدام از سامانه‌ها براساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گردید که نتایج محاسبات وزن نهایی برای هرکدام از سامانه‌های آبیاری تحت فشار در جدول (۴) ارائه شده است. لازم به ذکر است که تمامی وزن‌های نسبت داده شده برای گزینه‌ها و معیارها با توجه به نظرات اساتید آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز و مطالعه دقیق منابع، صورت گرفته و قابل اطمینان هستند.

پس از محاسبه وزن هر معیار و زیرمعیار با استفاده از روش AHP، وزن‌های بدست آمده، به هر لایه مربوطه در محیط نرم‌افزار GIS اختصاص یافتند و در نهایت اولویت‌بندی مکان‌ها برای روش‌های آبیاری تحت فشار در قالب تصاویر خروجی گرافیکی به دست آمد و نتیجه‌گیری نهایی بر اساس بالاترین امتیاز به دست‌آمده توسط خروجی‌های گرافیکی تعیین شد.

جدول ۴- نتایج محاسبات و وزن نهایی سامانه‌های آبیاری تحت فشار

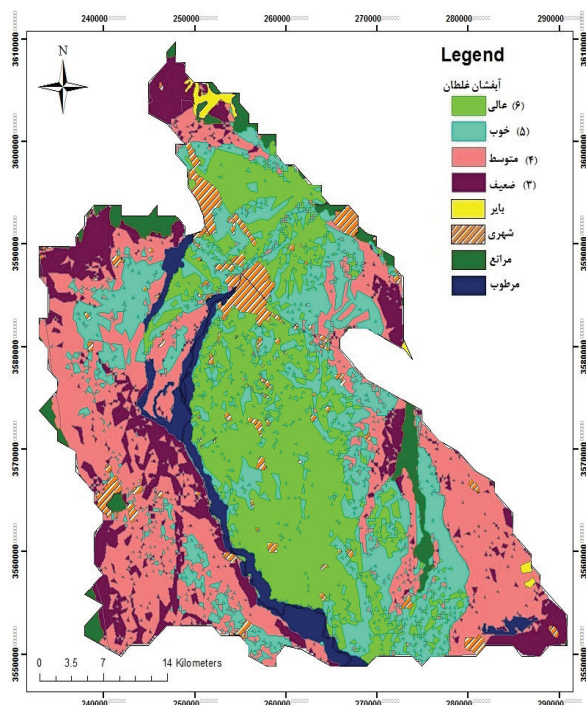
معیار اصلی	زیرمعیار در سطح اول	زیرمعیار در سطح دوم	وزن نهایی انواع سامانه آبیاری		
			مکانیزه خطی	آبفشان غلطان	کلاسیک ثابت موضعی
اقتصادی- اجتماعی	نگهداری- بهره‌برداری نیروی کار هزینه فرهنگی		۰/۰۶۳	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸
			۰/۰۲۱	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸
			۰/۰۶۳	۰/۰۴۲	۰/۱۶۷
			۰/۰۲۱	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸
فیزیک مزرعه	توپوگرافی	اختلاف ارتفاع شیب	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۳۸
			۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	۰/۰۳۸
			۰/۰۴۹	۰/۰۴۲	۰/۰۵۶
			۰/۱۴۵	۰/۱۲۵	۰/۰۱۹
	خاک	نفوذپذیری آب قابل دسترس	۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۰۱۹
			۰/۱۲۵	۰/۱۲۵	۰/۰۵۶
			۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۶
			۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷
	آب	غلظت سدیم موجودیت آب TDS SAR EC PH	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۱۴۲
			۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۴۵
			۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۱۴۲
			۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۱۴۲

جدول ۵- خلاصه نتایج بدست آمده برای سامانه‌های آبیاری تحت فشار با استفاده از نقشه‌های GIS

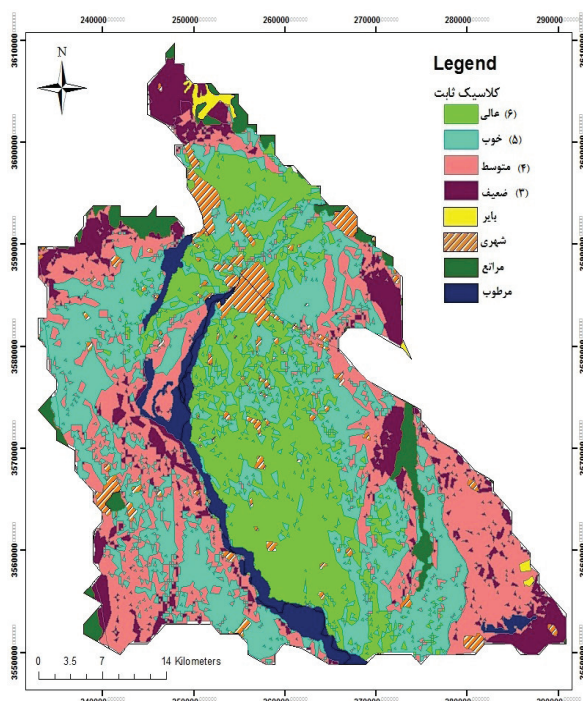
طبقات امتیازی	درصد مساحت کل دشت برای انواع سامانه آبیاری			
	کلاسیک ثابت	آبفشان غلطان	مکانیزه خطی	موضعی
۶	۲۴,۶۱	۲۷,۴۷	۲۵,۵۲	۲۱,۲۴
۵	۳۶,۳۵	۲۵,۶	۲۶,۳۸	۳۲,۸
۴	۲۸,۲۴	۳۳,۱۵	۳۳,۳۵	۲۷,۶۹
۳	۱۰,۸	۱۳,۷۹	۱۴,۷۵	۱۸,۲۸
امتیاز نهایی	۴/۷۵	۴/۶۸	۴/۶۳	۴/۵۷

جدول ۶- درصد مساحت‌های حاصل از همپوشانی طبقه‌بندی اولویت‌های اجرای انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار بر اساس بیشترین امتیاز

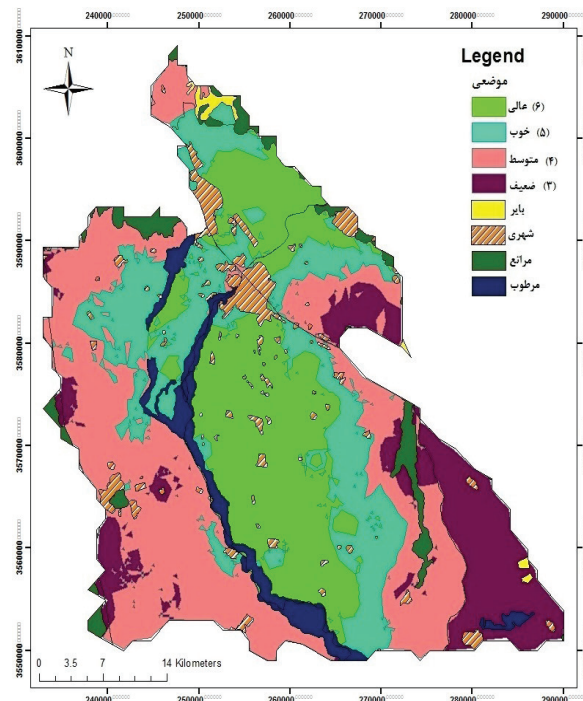
درصد مساحت به تفکیک زیردشت‌ها	درصد مساحت کل دشت	نوع سیستم آبیاری			
		کلاسیک ثابت	آبفشان غلطان	مکانیزه خطی	موضعی
دیمچه	۴۱/۷۹	۰	۰/۲۸	۵۷/۷۴	۴۱/۹۶
لور	۲۱/۳۱	۳/۴	۱۸/۱۵	۲۴/۷۷	۲۱/۰۱
سبیلی	۳۵/۶۱	۲۱/۳۱	۳۵/۶۱	۱۲/۴۳	۲۱/۰۱
دز غربی	۳/۴	۳/۴	۱۸/۱۵	۲۴/۷۷	۲۱/۰۱
دز شرقی	۵۳/۷۸	۲۷/۳	۲۴/۲۹	۳۰/۵۴	۱۸/۵۸



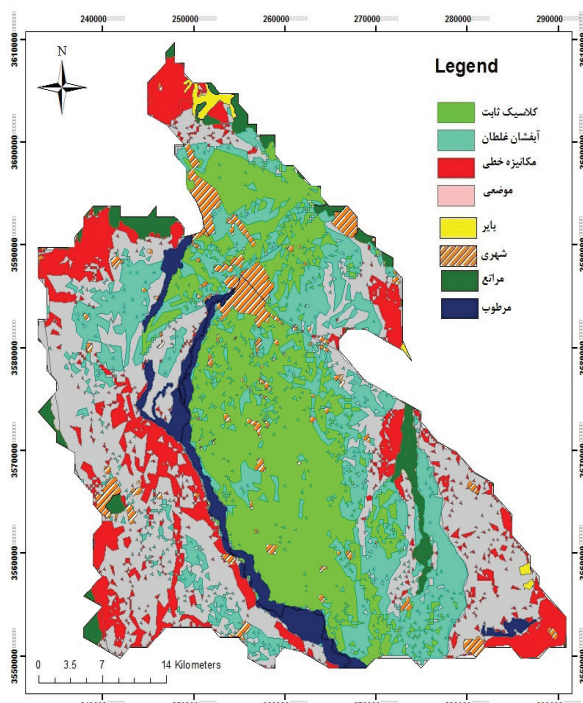
شکل ۴- طبقه‌بندی مکانی برای اولویت اجرای سامانه آبیاری آبفشان غلطان در دشت دز



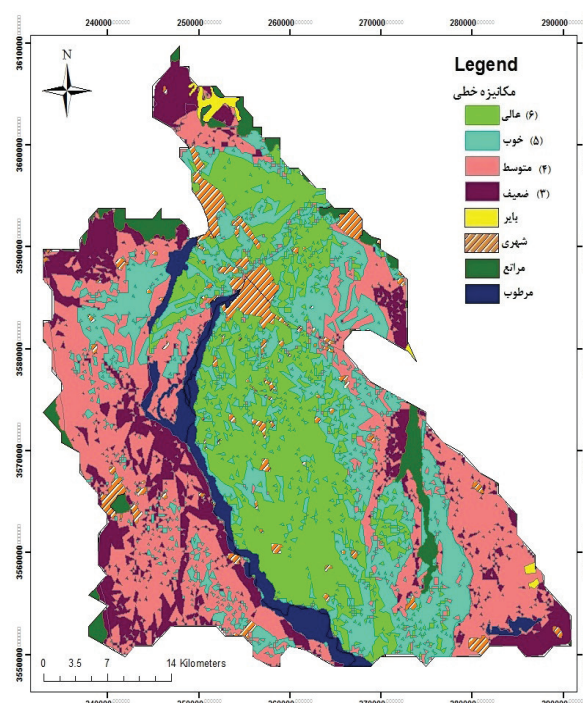
شکل ۷- طبقه‌بندی مکانی برای اولویت اجرای سامانه آبیاری کلاسیک ثابت در دشت دز



شکل ۵- طبقه‌بندی مکانی برای اولویت اجرای سامانه آبیاری موضعی در دشت دز



شکل ۸- نقشه همپوشانی طبقه‌بندی اولویت‌های اجرای انواع سامانه‌های آبیاری مورد مطالعه براساس بیشترین امتیاز



شکل ۶- طبقه‌بندی مکانی برای اولویت اجرای سامانه آبیاری مکانیزه خطی در دشت دز

- آذری، الف، آخوندعلی، ع.م، رادمنش، ف. و حقیقی، ع. ۱۳۹۴. شبیه سازی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در شرایط بهره برداری تلفیقی (مطالعه موردی: دشت دز). فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، دوره: ۳۸ (۲): ۳۳-۴۷.
- حسینی زاده، ع، کابلی، ح، زارعی، ح. و آخوندعلی، ع.م. ۱۳۹۵. تحلیل شدت و دوره بازگشت خشکسالی در شرایط تغییر اقلیم آتی (مطالعه موردی: دشت دزفول - اندیمشک). فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، ۱: ۳۳-۴۳.
- قدسی پور، ح. ۱۳۹۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ یازدهم.
- Anane M., Bouziri L., Limam A. and Jellali S. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul- Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources. Conservation and Recycling, 65: 36-46.
- Balali M.R., Keulartz J. and Korthals M. 2009. Reflexive water management in arid regions: The case of Iran. Journal of Environmental, 18(1): 91-112.
- Kahil M.T., Dinar A. and Albiac J. 2015. Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. Journal of Hydrology, 522: 95-109.
- Khan S., Hanjra M.A. and Mu J. 2009. Water management and crop production for food security in China: A review. Agricultural Water Management, 96(3): 349-360.
- Koundouri P., Nauges C. and Tzouvelekas V. 2006. Technology adoption under production uncertainty: Theory and application to irrigation technology. American Journal of Agricultural Economics, 88(3): 657-670.
- Michailidis A., Koutsouris A. and Nastis S. 2011. Adoption of sustainable irrigation practices in waterscarce areas. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 17(5): 579-591.
- Neissi L., Albaji M. and Boroomand Nasab S. 2020. Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. Agricultural Water Management, 231: 1-8.
- Roudi-Fahimi F., Creel L. and De Souza R.M. 2002. Finding the balance: Population and water scarcity in the Middle East and North Africa. Population Reference Bureau Policy Brief.
- Saaty T.L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structure. J. Math. Psychol, 15: 228-234.
- Saaty T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill, New York.

مدیریت اصولی و برنامه ریزی درست و بهره‌وری بهینه از منابع، نیازمند اطلاعات دقیق و به‌روز از عرصه مورد نظر می‌باشد. در این راستا، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توانایی تجزیه و تحلیل‌های مکانی، تحلیل و تلفیق اطلاعات نقشه‌ای، جدولی و گزارش‌گیری، مطابق با روش‌های شناخته شده مورد تأیید، می‌تواند نقش به‌سزایی در رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده، از جمله کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی سرمایه‌گذاری ایفا نماید. مکان‌یابی مناطق جهت اولویت‌بندی اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار از طریق بررسی کلیه عوامل کمی و کیفی آب، خاک، اقلیم و پستی و بلندی در کنار عوامل اقتصادی - اجتماعی منطقه با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی، امری ضروری است؛ زیرا با محدودیت‌های منابع موجود در بخش کشاورزی می‌بایست مناطقی که انطباق منطقی بیشتری برای اجرای سامانه‌های آبیاری تحت فشار دارند، تعیین گردند تا منابع آب و خاک موثرتر بکار گرفته شود. در این تحقیق با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با کارگیری تحلیل سلسله مراتبی AHP، اولویت بالاتر جهت انتخاب و اجرای هر یک از طرح‌های آبیاری تحت فشار در دشت دز شناسایی شد. با توجه به نقشه خروجی حاصل از هم‌پوشانی لایه‌های امتیازبندی مکانی روش‌های آبیاری مورد مطالعه در دشت دز، نتیجه گردید که ۵۳/۷۸ درصد دشت دز شرقی دارای اولویت برای آبیاری کلاسیک ثابت، ۳۵/۶۱ درصد دشت سیبلی برای آبیاری آبفشان غلطان، به‌ترتیب ۵۷/۷۴ و ۵۲/۴ درصد از مساحت دشت دیمچه و دز غربی برای آبیاری مکانیزه خطی و ۴۱/۹۶ درصد از مساحت دشت دیمچه با اولویت بیشتر جهت اجرای آبیاری موضعی می‌باشد. وجود شبکه بزرگ آبیاری دز در مرکز دشت و دیگر رودخانه‌های بزرگ در سطح دشت در کنار دیگر عوامل اقتصادی- اجتماعی و فیزیکی مناسب، سبب شده است که ۸۱/۴۶ درصد از مساحت کل دشت دز جهت اجرای انواع آبیاری بارانی (شامل: بارانی آبفشان غلطان، مکانیزه خطی و کلاسیک ثابت) مناسب باشد. لذا پیشنهاد می‌شود مسائل بهره‌برداری شامل مناسب‌ترین فشار طراحی به لحاظ فنی و اقتصادی، نوع و تعداد آب‌پاش‌ها برای این منطقه تعیین شود. زیرا در صورت طراحی و استفاده مناسب از سامانه‌های آبیاری بارانی با افزایش راندمان، میزان تولید و درآمد بهره‌برداران و همچنین بهره‌وری منابع آب افزایش خواهد یافت و با به‌کارگیری این سامانه‌ها، تخصیص بهینه منابع آب بهتر صورت خواهد گرفت.

پی‌نوشت

- 1-Consistency Ratio
- 2-Consistency Index

Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

Presenting a Joint Model of Wastewater Management in Mashhad (Implementation of Part of Wastewater Treatment and Water Supply Projects in Mashhad in Exchange for the Transfer of Wastewater)

H. Esmailian¹, S.M. Taffazoli², N. Rajabzadeh Moghani^{3*}, S.A. Ghodsizadeh Azarmi⁴

1,3- Master of Civil Engineering and Ph.D of Economics, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran. 2- Master of Civil Engineering, Tehran University, Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran. 4- Master of Agricultural Engineering, Azad University of Ferdows, Mashhad Water and Wastewater Company, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: rajabzadehn@abfamashhad.ir)

Received: 20-12-2020

Accepted: 23-03-2021

ارائه مدل مشترک مدیریت پساب در شهر مشهد (اجرای بخشی از پروژه‌های تصفیه فاضلاب و تأمین آب شهر مشهد در ازای واگذاری پساب)

حسین اسماعیلیان^۱، سید محمد تفضلی^۲، ناهید رجب‌زاده^۳، سیدعلیرضا قدسی‌زاده‌آزرمی^۴

۱-۳ به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران و دکتری علوم اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران. ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تهران، شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران. ۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی فردوس، شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: rajabzadehn@abfamashhad.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۳

Abstract

According to the forecast of future population growth and recent droughts in the country, one of the major challenges for policymakers on the one hand is to provide safe drinking water and on the other hand, is to solve environmental and health problems caused by undesirable wastewater disposal. To solve this problem in Mashhad, the regional water company of Khorasan Razavi and the water and wastewater company of Mashhad in multilateral cooperation have developed an effluent model to construct a wastewater treatment plant, water supply, and effluent recycling. In this model, due to the lack of public budget and internal resources of companies, the use of private capital by transferring wastewater to the investor to achieve environmental goals and water supply in Mashhad, which has significant benefits for the private sector and community is defined. In this model, two investment packages have been developed between the two companies, the details of which are discussed in the paper. What is very important in this project is to achieve a sustainable effluent model for achieving the defined goals. In this investment model, a total of 93% of water needs and 29% of the required capacity for wastewater treatment will be provided.

Keywords: Joint Effluent Model, Wastewater Plant, Water Supply, Investment, Buyback.

چکیده

با توجه به پیش‌بینی رشد جمعیت در آینده و خشکسالی‌های اخیر در کشور، یکی از چالش‌های اساسی سیاست‌گذاران از یک طرف تأمین آب شرب سالم و از طرفی دیگر حل معضلات محیط‌زیستی و بهداشتی ناشی از دفع نامطلوب فاضلاب می‌باشد. در راستای حل این مشکل در کلان‌شهر مشهد مقدس، دو شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و آب و فاضلاب مشهد با همکاری چندجانبه مدل مشترک پساب را با هدف ساخت و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب، تأمین آب مورد نیاز و بازچرخانی پساب تدوین نموده که به کلیات آن در این مقاله پرداخته شده است. در این طرح به دلیل کمبود اعتبارات عمرانی و منابع داخلی شرکت‌ها استفاده از سرمایه بخش خصوصی به روش واگذاری پساب به سرمایه‌گذار در راستای رسیدن به اهداف محیط‌زیستی و تأمین آب شهر مشهد مطرح شده که مزایای قابل توجهی از دیدگاه بخش خصوصی و کلان جامعه دارد. در این طرح دو بسته سرمایه‌گذاری مشترک بین دو شرکت تدوین شده است که به جزئیات آن پرداخته می‌شود. آنچه که در این پروژه بسیار مهم است دستیابی به یک مدل مشترک پساب بوده تا بتوان با اجرای آن به درستی به اهداف تعریف شده رسید. اجرایی شدن این طرح کمک قابل توجهی در اجرای بخشی از پروژه‌های تصفیه فاضلاب و تأمین آب شهر مشهد در ازای واگذاری پساب می‌نماید. در این مدل سرمایه‌گذاری مجموعاً ۹۳ درصد نیاز آبی و ۲۹ درصد ظرفیت مورد نیاز تصفیه فاضلاب تأمین خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: مدل مشترک پساب، تصفیه‌خانه فاضلاب، تأمین آب، سرمایه‌گذاری، بیع متقابل.

پایداری منابع آب، توجه به ایجاد طرح‌های توسعه‌ای منابع آبی و حفظ پایداری آن اهمیت ویژه‌ای دارد. در این طرح به هر دو چالش و دغدغه اصلی سیاستگذاران آب (لزوم توجه به جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و تامین آب مورد نیاز شهر مشهد) توجه شده است.

هدف مقاله پیش‌رو، ارائه استراتژی طراحی مدل پایدار مشترک مدیریت پساب شهر مشهد بین دو شرکت آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب با هدف توسعه قسمتی از تاسیسات تصفیه فاضلاب و بخشی از پروژه‌های تأمین آب مشهد از طریق واگذاری بخشی از پساب تولیدی شهر به سرمایه‌گذاران در یک بازه زمانی مشخص و شناسایی کلیه عوامل اثرگذار که به هر دلیلی می‌تواند پایداری این طرح را تحت تأثیر قرار دهد، می‌باشد.

در صنعت آب و فاضلاب به روشی که در آن سرمایه‌گذار بتواند در ازای اجرای پروژه تعریف شده مستقیماً از محل فروش محصول تولیدی (پساب) اصل و فرع سرمایه خود را طی دوره زمانی مشخص بازپایی نماید، بیع متقابل گویند. طرح مبانی قراردادهای بیع متقابل در بخش بالادستی نفت و گاز نشأت می‌گیرد و برای اولین بار در سال ۱۳۷۳ در صنعت نفت و گاز ایران منعقد شد. در این صنعت، قرارداد بیع متقابل را در ردیف قراردادهای خرید خدمت طبقه‌بندی می‌نمایند و علت آن این است که بازپرداخت هزینه‌های نفتی قراردادهای مزبور به همراه سود سرمایه‌گذاری آن، از محل نفت، مایعات گازی و فراورده‌های نفتی یا عواید حاصل از آن صورت می‌گیرد و در نتیجه پرداخت‌ها به صورت نقدی یا تحویل محصول صورت می‌پذیرد (منتظر و ابراهیمی، ۱۳۹۲). در رابطه روش سرمایه‌گذاری بیع متقابل در صنایع بالادستی نفت و گاز تحقیقات گسترده‌ای صورت پذیرفته است که به نوعی به بررسی سطوح مختلف قراردادی بیع متقابل در این صنایع و مزایا و انتقادهای وارده به آن پرداخته‌اند. اما در خصوص تحقیقات پیرامون روش سرمایه‌گذاری بیع متقابل در صنعت آب و فاضلاب جزء قاسمی و همکاران (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان ارزیابی واگذاری طرح‌های فاضلاب به سرمایه‌گذار در قالب قرارداد بیع متقابل (مطالعه مورد شهرستان ابهر) انجام دادند. در این مطالعه استفاده از پساب خروجی از تأسیسات جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و واگذاری آن به سرمایه‌گذار به عنوان یک راه‌حل پایدار و مناسب برای مشکل محدودیت منابع مالی دولتی عنوان شده که منجر به اهداف توسعه‌ای شهر نیز می‌شود. آن‌ها نشان داند مشارکت بخش خصوصی به روش بیع متقابل منجر به کاهش هزینه‌ها، رفع مشکل تأمین منابع مالی مورد نیاز جهت تکمیل طرح و اخذ منابع مالی مازاد از سرمایه‌گذار جهت سرمایه‌گذاری

یکی از مهمترین دغدغه‌های جوامع انسانی در کنار تأمین آب سالم برای مصارف شرب و بهداشت، دفع فاضلاب می‌باشد. امکان بازچرخانی پساب حاصل از تصفیه فاضلاب جمع‌آوری شده و مصرف بهینه آن، باعث شده متولیان امر با نگاهی متفاوت با گذشته، پساب را به عنوان کالایی ارزشمند و یکی از منابع آبی پایدار و مطمئن در نظر گرفته و برای مدیریت آن به دنبال راهکارهای مناسبی باشند. هزینه‌های سنگین تأمین آب شرب و احداث و بهره‌برداری از تاسیسات فاضلاب به خصوص در کلانشهرها، از جمله مسائلی است که باتوجه به نیاز جمعیتی و ضرورت و حساسیت‌های بهداشتی و محیط زیستی مرتبط با آن، همواره به عنوان یکی از چالش‌های پیش‌روی مدیران و تصمیم‌گیران شهری بوده و تأمین مالی آن نیاز به اتخاذ تصمیمات و برنامه ریزی‌های مدیریتی جامع خواهد داشت و یکی از بزرگترین چالش‌های پیش‌روی شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب به شمار می‌آید.

در حال حاضر سلامتی انسان و محیط‌زیست به دلیل عقب ماندگی ساخت تصفیه‌خانه فاضلاب، از طریق تزریق فاضلاب انسانی به سفره‌های آب زیرزمینی و سطحی، رهاسازی فاضلاب خانگی در کوچه‌ها و خیابانهای حاشیه شهر، به خطر انداختن زندگی آبزیان، آبیاری محصولات کشاورزی با آب‌های آلوده و انتشار بیماری‌های گوارشی و ایجاد مناظر زشت و ناخوشایند محیط‌زیستی و جلب حشرات ناقل بیماری، به مخاطره افتاده است و این عوامل اهمیت جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب را بیش از پیش نمایان می‌سازد. بنابراین به جهت حفظ منابع آبی (زیرزمینی و یا سطحی)، توجه به محدودیت منابع آبی به لحاظ کمی و کیفی و جایگزینی و بازچرخانی پساب و ایجاد زمینه برای مصرف پساب برای مصارف غیرشرب (آبیاری فضای سبز، کشاورزی و صنعت)، حفاظت محیط‌زیست، تامین شرایط بهداشتی جامعه و کاهش هزینه‌های جانی و مالی درمانی و همچنین تعهدات اخلاقی نسل حاضر نسبت به آینده و اهمیت سیاست‌های توسعه پایدار باید برای رفع این معضل مهم بهداشتی تمام ابزارها و سیاست‌های لازم جهت ایجاد ظرفیت تصفیه فاضلاب را به کار بست. علاوه بر معضل بهداشتی ناشی از عدم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، در حال حاضر به دلیل رشد جمعیت و قطب‌یاری کشور و نیاز روز افزون شرب، صنعت و کشاورزی به آب، کاهش نزولات جوی و افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی و آلودگی منابع آب ناشی از ورود فاضلاب، کاهش بهره‌وری مصارف آب به خصوص در کشاورزی، پاسخگو نبودن منابع آب سد دوستی به تعهدات برنامه‌ریزی شده و لزوم توجه به رویکرد

بیان مسأله

۱- وضع موجود

باتوجه به مطالعات جمعیتی شهر مشهد میزان شبکه جمع آوری فاضلاب مورد نیاز تا افق ۱۴۲۰، ۴۸۰۰ کیلومتر می باشد. از این میزان ۳۳۷۳ کیلومتر آن اجرا شده است که بیش از ۷۰ درصد جمعیت را تحت پوشش قرار می دهد. اما در بخش تصفیه خانه فاضلاب ظرفیت مورد نیاز براساس جمعیت حال حاضر ۵۴۲۰۰۰ متر مکعب در شبانه روز و تا افق ۱۴۲۰، ۸۱۴۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز می باشد. از این مقدار تنها ۲۶۳۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز ظرفیت تصفیه از محل احجام موافقت نامه ایجاد شده است که اختلاف قابل توجهی با میزان مورد نیاز حتی در زمان حاضر دارد. همچنین نیاز آبی شهر مشهد، ۳۹۶ میلیون مترمکعب در سال برای افق طرح ۱۴۲۰ می باشد که در حال حاضر با منابع موجود، صرفاً ۲۳۵ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است. باتوجه به هزینه بسیار بالای پروژه های تأمین آب و احداث تصفیه خانه های فاضلاب، اجرای باقیمانده احجام مورد نیاز از محل اعتبارات عمرانی قوانین بودجه سالانه غیرممکن می باشد.

ظرفیت تأمین آب و تصفیه فاضلاب شهر مشهد باتوجه به جمعیت در سال های ۱۳۹۸ و ۱۴۲۰ در جدول (۱) ارائه شده است. این جدول نشان می دهد باید تا افق طرح کمبود ظرفیت تصفیه فاضلاب و تأمین آب از طریق تعریف پروژه های مناسب صورت پذیرفته و این امر باید در دستور کار تصمیم گیران و سیاست گذاران شرکت های آب و فاضلاب و آب منطقه ای قرار گیرد. براساس پیش بینی های صورت گرفته در فاز اول سرمایه گذاری ۳۵ میلیون مترمکعب آب و در فاز دوم سرمایه گذاری ۱۱۵ میلیون مترمکعب آب برای شهر مشهد تأمین خواهد شد و لذا بخش اعظمی از نیاز آبی شهر از این طریق تأمین می شود. همچنین در بخش ظرفیت تصفیه فاضلاب، در فاز اول ۶۸۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز و در فاز دوم ۹۳۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز به ظرفیت تصفیه فاضلاب افزوده شده و بخشی از نیاز تصفیه فاضلاب در افق طرح را جبران خواهد نمود.

جدول ۱- ظرفیت تأمین آب و تصفیه فاضلاب شهر مشهد

عنوان	واحد	سال ۹۸	افق طرح (سال ۱۴۲۰)
جمعیت	نفر	۳۳۶۰۰۰۰	۴۹۳۷۰۰۰
نیاز آبی	مترمکعب در سال	۲۳۵۰۰۰۰۰	۳۹۶۰۰۰۰۰۰
ظرفیت ایجاد شده تصفیه فاضلاب	مترمکعب در شبانه روز	۲۶۳۰۰۰	۸۱۴۰۰۰

در سایر طرح های فاضلاب استان شده و هزینه های تحمیل شده مربوط به بازسازی و نگهداری از تاسیسات از تعهد شرکت های آب و فاضلاب حذف خواهد شد.

در راستای رفع محدودیت های مالی دولت جهت اجرای تاسیسات آب و فاضلاب قوانین و بخشنامه هایی وضع شده است. از جمله این قوانین می توان به ماده ۳۷ قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۰-۱۳۹۶) اشاره نمود. در این قانون دولت مکلف است تمهیدات لازم را با استفاده از انواع روش ها از جمله سازوکارهای ذیل تا پایان اجرای قانون برنامه، علاوه بر وضع موجود جهت افزایش حداقل بیست و پنج درصد (۲۵٪) پوشش شبکه فاضلاب شهری کشور فراهم نماید.

الف- استفاده از سرمایه گذاری بخش خصوصی داخلی و خارجی و سازمان های بین المللی در ازای واگذاری پساب استحصالی ب- استفاده از منابع حاصل از فروش پساب فاضلاب جهت توسعه و تکمیل طرح های فاضلاب شهری با پیش بینی منابع و مصارف آن در قانون بودجه سنواتی

در ماده ۲۷ قانون الحاق برخی مواد به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت (۲) و آیین نامه اجرایی آن روش های واگذاری پروژه، فرآیند آن و روش های مختلف تأمین مالی از جمله استفاده از روش های خودگردان که دریافت بهای محصول پروژه مستقیماً از کاربران و مصرف کنندگان نهایی توسط سرمایه گذار دریافت می شود، عنوان شده است.

در بخشنامه بهره برداری از پساب شهری و روستایی مصوب ۹۸/۰۵/۱۹ ابلاغی توسط وزارت نیرو، بهره برداری بهینه از پساب های موجود و تسریع در احداث و تکمیل و به بهره برداری رساندن طرح های فاضلاب و ارتقای کیفی تصفیه خانه های موجود و تسهیل در فرآیند سرمایه گذاری با استفاده از واگذاری بخشی از پساب قابل تولید به سرمایه گذار تعیین تکلیف شده است. لازم به ذکر است در این مدل اجرایی ملاحظات مربوط به بخشنامه فوق نیز در نظر گرفته شده است.

براین اساس استفاده از روش واگذاری پساب به سرمایه گذار (بیع متقابل) جهت تأمین مالی پروژه های اولویت دار در بخش تاسیسات فاضلاب در سطح کشور در دستور کار قرار گرفته است و تاکنون قراردادهای متعددی منعقد شده است. شایان ذکر است مدل مشترک مدیریت پساب شهر مشهد برای اولین بار در سطح کشور پایه ریزی شده که علاوه بر اجرای بخشی از پروژه های فاضلاب به تأمین آب شهر مشهد هم نگاه ویژه ای نموده و لذا پروژه ها به صورت مشترک برای دو شرکت آب و فاضلاب و آب منطقه ای تنظیم و نهایی شده است. می توان عنوان نمود این پروژه از بسیاری جهات دارای نوآوری بوده و قابل استفاده برای سایر شهرها و استان ها می باشد.

۲- تأمین مالی طرح‌های تأمین و توزیع آب تا جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب

جهت ارائه خدمات مطلوب به شهروندان و براساس شرح وظایف شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی و آب و فاضلاب مشهد، باید کلیه هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری، بازسازی و توسعه‌ای از نقطه تأمین آب تا دفع فاضلاب، از محل منابع مالی مختلفی مانند:

درآمدهای داخلی دو شرکت، منابع اعتباری دولتی طرح‌های عمرانی، تبصره‌های قانونی، تسهیلات داخلی و خارجی، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و ... تأمین شود. به همین منظور براساس صورت‌های مالی دو شرکت و پیش‌بینی اعتبارات دولتی دریافتی و برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و توسعه تأسیسات مطابق جداول (۲) و (۳)، سهم‌بندی منابع مختلف تأمین مالی مشخص شد.

جدول ۲- هزینه‌های توسعه‌ای آب و فاضلاب (سرمایه‌گذاری ثابت) و بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب مشهد*

ردیف	شرح عملیات توسعه	هزینه (میلیارد ریال)	ردیف	شرح عملیات بهره‌برداری	هزینه (میلیارد ریال)
۱	احداث تصفیه‌خانه خانه اولنگ ۳	۷۴۴۰	۱	بهره‌برداری اولنگ ۳	سالانه ۱۳۰
۲	احداث تصفیه‌خانه فاضلاب طبرسی شمالی	۵۴۴۰	۲	بهره‌برداری طبرسی شمالی	سالانه ۹۵
۳	ارتقاء پرکندآباد ۱	۲۰۰۰	۳	بهره‌برداری خین عرب ۲	سالانه ۱۵۷
۴	اجرای شبکه فاضلاب جاری	۳۲۴۸	۴	بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌های موجود	سالانه ۱۷۳
۵	به میزان ۱۴۰۰ کیلومتر تبصره	۷۰۵۶	۵	بهره‌برداری شبکه فاضلاب	سالانه ۲۱۰
۶	ظرف مدت ۱۲ سال طرح	۸۹۶	۶	خرید تضمینی پرکند آباد ۲	۴۰۰ برای سال اول
۷	بازسازی شبکه فاضلاب به میزان ۷۴۴ کیلومتر طی دوره طرح	۹۶۷۲	۷	بازپرداخت تسهیلات بانک IDB	۸۶,۳۵ میلیون یورو طی ۱۱ سال
۸	توسعه تأسیسات آب از محل طرح قملک دارایی سرمایه‌ای	سالانه ۴۴۶	۸	بازپرداخت تسهیلات فاینانس خارجی	۴۶,۹۲ میلیون یورو طی ۵ سال
۹	اورهال تأسیسات	طبق نشریه ۰۳	۹	بهره‌برداری تأسیسات آب	سالانه ۲۸۷۵
			۱۰	خرید تضمینی کیفی‌سازی چاه‌ها	سالانه ۳۸۱

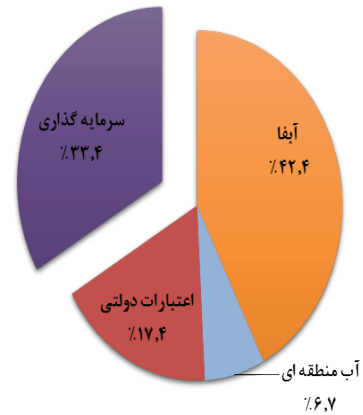
* برآوردها براساس صورت‌های مالی شرکت آب و فاضلاب مشهد، برآوردهای سرمایه‌گذاری براساس پروژه‌های اجرا شده مشابه، اورهال پروژه‌ها براساس نشریات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، قیمت خرید تضمینی قراردادهای منعقد شده و تسهیلات اخذ شده از بانک توسعه اسلامی

جدول ۳- هزینه‌های توسعه‌ای (سرمایه‌گذاری ثابت) و بهره‌برداری تأسیسات آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی*

ردیف	شرح عملیات توسعه	هزینه (میلیارد ریال)	ردیف	شرح عملیات بهره‌برداری	هزینه (میلیارد ریال)
۱	انتقال آب از یال شمالی هزار مسجد	۲۰۰۰۰	۱	انتقال آب از یال شمالی هزار مسجد	سالانه ۳۱۴
۲	انتقال پساب به غرب آبخوان	۳۰۰۰	۲	انتقال پساب به غرب آبخوان	سالانه ۶۰
۳	انتقال آب از غرب دشت مشهد	۴۰۰۰	۳	انتقال آب از غرب دشت مشهد	سالانه ۸۰
۴	خرید ۱۰۰ حلقه چاه کشاورزی	۱۰۰۰۰	۴	خرید ۱۰۰ حلقه چاه کشاورزی	سالانه ۵۸
۵	انتقال آب از سد شوريجه به مشهد	۲۰۰۰	۵	انتقال آب از سد شوريجه به مشهد	سالانه ۴۰
۶	اورهال تأسیسات	طبق نشریه ۰۳	۶	بهره برداری سدهای موجود تأمین کننده آب شرب	سالانه ۳۴

* برآوردها براساس صورت‌های مالی و میزان سرمایه‌گذاری لازم شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی

براساس برآورد هزینه‌های فوق، مدل مالی جهت تعیین قیمت یک مترمکعب پساب برای سال پایه (۱۳۹۸) تهیه که در آن نرخ تورم ۱۷ درصد، نرخ بازده داخلی ۲۲ درصد، دوره ساخت و بهره‌برداری تجاری تا سال ۱۴۲۵ در نظر گرفته شده است. سهم هر یک از منابع تأمین مالی از قیمت برآوردی پساب که نتیجه برآوردهای نویسندگان این مقاله می‌باشد به شرح شکل (۱) می‌باشد.



شکل ۱- سهم منابع مختلف تأمین اعتبار در پروژه‌های تأمین و توزیع آب و جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب مشهد

در نمودار فوق سهم آبفا شامل منابع داخلی (جاری و سرمایه‌ای و تبصره) که عمدتاً صرف بخش بهره‌برداری از تاسیسات آب و فاضلاب، اصلاح و توسعه شبکه‌های آب و فاضلاب، توسعه بخشی از منابع تولید آب (چاه‌ها، قنات، چشمه‌ها و ...)، خرید تضمینی آب و پساب می‌باشد. سهم آب منطقه‌ای شامل منابع داخلی و عمدتاً صرف بهره‌برداری و توسعه بخشی از تاسیسات تأمین و انتقال آب (سدها، چاه‌ها و ...) و جایگزینی پساب (خطوط انتقال و ایستگاه‌های پمپاژ) می‌باشد. سهم اعتبارات دولتی شامل منابع طرح‌های تملک دارایی سرمایه‌ای، بازپرداخت تضمین شده تسهیلات مالی خارجی، خرید تضمینی آب و پساب می‌باشد. سهم سرمایه‌گذاری بخش خصوصی براساس یک پکیج سرمایه‌گذاری مشترک بین شرکت‌های آب منطقه‌ای خراسان رضوی و آب و فاضلاب مشهد برای اجرای پروژه‌های اولویت‌دار تأمین آب و تصفیه فاضلاب از محل واگذاری بخشی از پساب تولیدی شهر مشهد پیش‌بینی شده است. لازم به ذکر است این مدل برای اولین بار در سطح کشور تدوین و حاصل تعامل و توافقات دو شرکت با هدف تأمین هزینه‌های اجرای پروژه‌های کلیدی دو شرکت و برگزاری جلسات متعدد کارشناسی و مدیریتی می‌باشد.

سهم‌بندی پساب

باتوجه به مطالعات جامع تأمین آب مشهد و براساس نیاز آبی سال‌های طرح، مقدار پساب تولیدی با اعمال ضرایب ذیل در حجم تولید آب، برای دوره طرح پیش‌بینی شد:

- ضریب هدررفت آب در شبکه
- ضریب پوشش شبکه فاضلاب
- ضریب اتصال انشعابات فاضلاب به شبکه
- ضریب تبدیل آب به فاضلاب
- ضریب تلفات فرآیند تصفیه

پس از برآورد حجم پساب تولیدی در سال‌های طرح و کسر احجام تعهد شده شرکت آب منطقه‌ای و حقابه کشاورزان، مقدار پساب باقیمانده با هدف سرمایه‌گذاری در اجرای بخشی از پروژه‌های تصفیه فاضلاب و تأمین آب، قابلیت واگذاری به سرمایه‌گذار را دارد. در واقع با واگذاری بخشی از پساب به سرمایه‌گذار، ۱- هزینه‌های اجرای پروژه‌های تأمین آب و فاضلاب تأمین می‌شود و ۲- تقریباً معادل پساب واگذار شده می‌توان به تأمین نیاز آبی شهر مشهد کمک نمود.

از طرفی باتوجه به بیلان آب دشت مشهد، امکان استفاده از منابع آبی موجود (سطحی یا زیرزمینی) برای مصارف جدید و موجود در بخش صنعت و کشاورزی نیست، با استفاده از

اقدامات مشترک دو شرکت

با هدف تأمین بخشی از نیاز آبی شهر مشهد و امکان تصفیه فاضلاب تولیدی از طریق ایجاد تاسیسات تصفیه فاضلاب، از سال ۱۳۹۶ تاکنون اقدامات مشترکی در خصوص برنامه‌ریزی سرمایه‌گذاری پساب شهر مشهد و دستیابی به یک مدل پایدار صورت گرفته است. شایان ذکر است توافق صورت گرفته برای اولین بار در سطح کشور بین دو شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و آبفا مشهد با هدف نیل به اهداف مشترک آن‌ها که همان بازچرخانی پساب، جبران کمبود ظرفیت تصفیه فاضلاب و هدف تأمین آب شهر مشهد می‌باشد، صورت پذیرفته است. دو شرکت باتوجه به اعتبارات عمرانی و منابع داخلی ناکافی با همکاری همه جانبه و توافق مشترک پس از برگزاری جلسات متعدد به یک مدل مشترک پساب به روش واگذاری پساب به سرمایه‌گذار بخش خصوصی جهت اجرای پروژه‌های اولویت‌دار رسیدند. در این راستا ابتدا به برآورد و تدقیق نیاز آبی و تولید پساب تا افق طرح توسط تیم کارشناسی دو شرکت پرداخته و پس از بحث و بررسی پیرامون سناریوهای مختلف اجرای پروژه‌ها، مدل اجرایی انتخاب و مذاکرات اولیه و تاییدات لازم از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور گرفته شد.

پساب کیفی خروجی تصفیه‌خانه‌ها می‌توان بخشی از این آب مورد نیاز را تأمین نمود. لازم به ذکر است در مدل مشترک تهیه شده، علاوه بر سهم سرمایه‌گذاری، بخشی از پساب تولیدی دوره طرح به پروژه‌های بازچرخانی تعریف شده در شرکت آب منطقه‌ای تعلق گرفته است.

بسته‌های مشترک سرمایه‌گذاری پساب

باتوجه به نیاز آبی شهر و کمبود ظرفیت تصفیه فاضلاب و همچنین تسهیل پیاده‌سازی پروژه‌های مورد نظر، در نهایت سهم ۳۴ درصد سرمایه‌گذاری بخش خصوصی که نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه به میزان ۶۰۰۰۰ میلیارد ریال بوده، با توافق صورت گرفته بین دو شرکت آبفای مشهد و آب منطقه‌ای

خراسان رضوی به دو فاز تقسیم شدند. در فاز اول، بخشی از پروژه‌ها با حجم سرمایه‌گذاری اولیه ۲۰۰۰۰ میلیارد ریال و در فاز دوم سایر پروژه‌های مورد نظر با حجم سرمایه‌گذاری اولیه ۴۰۰۰۰ میلیارد ریال پس از اخذ تاییدیه از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به فراخوان گذاشته خواهد شد. همچنین جهت برگشت اصل و فرع سرمایه‌گذاری انجام شده بخش خصوصی، با توافق دو شرکت و تاییدیه از نهادهای بالادستی بخشی از پساب به سرمایه‌گذار واگذار می‌شود تا از محل فروش آن به مصرف‌کنندگان نهایی (شهرداری، صنایع و ...) به سود قابل انتظار خود دست یابند. پروژه‌های مندرج در جدول (۴) پکیج اول سرمایه‌گذاری و پروژه‌های مندرج در جدول (۵) پکیج دوم سرمایه‌گذاری را تشکیل خواهند داد.

جدول ۴- فاز اول سرمایه‌گذاری مشترک

پروژه‌های آب و فاضلاب	پروژه‌های آب منطقه‌ای
۱- ساخت و بهره‌برداری و بازسازی تصفیه‌خانه فاضلاب طبرسی شمالی به همراه هاضم بیهوازی و نیروگاه CHP (فرآیند: A ₂ O، ظرفیت: ۶۸۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز)	۱- اجرای بخشی از طرح آبرسانی از یال شمالی هزارمسجد به مشهد (خط انتقال سد قره تیکان، چهچه) به طول تقریبی ۱۲۰ کیلومتر با لوله فولادی ۲- اجرای خط انتقال سد شوربچه به طول ۱۹ کیلومتر با لوله فولادی و اجرای تصفیه‌خانه RO به ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه
برآورد هزینه ثابت سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای اجرای پروژه: ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال سرمایه مازاد: ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال که طی یک دوره ۱۵ ساله از سرمایه‌گذار اخذ خواهد شد.	

جدول ۵- فاز دوم سرمایه‌گذاری مشترک

پروژه‌های آب و فاضلاب	پروژه‌های آب منطقه‌ای
۱- ساخت و بهره‌برداری و بازسازی تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ ۳ به همراه هاضم بیهوازی و نیروگاه CHP (فرآیند: A ₂ O، ظرفیت: ۹۳۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز)	۱- اجرای باقیمانده طرح انتقال آب از یال شمالی هزار مسجد به طول ۱۰۰ کیلومتر ۲- اجرای خط انتقال آب از غرب مشهد به طول ۶۵ کیلومتر با لوله فولادی ۳- اجرای خط انتقال پساب به غرب مشهد به طول تقریبی ۶۰ کیلومتر ۴- خرید ۱۰۰ حلقه چاه کشاورزی به حجم ۵۰ میلیون مترمکعب
برآورد هزینه ثابت سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای اجرای پروژه: ۳۸۰۰۰ میلیارد ریال سرمایه مازاد: ۲۰۰۰۰ میلیارد ریال که طی یک دوره ۵ ساله از سرمایه‌گذار اخذ خواهد شد.	

جاذبیت‌ها و مزایای طرح

طرح مشترک مدیریت پساب شهر مشهد از نگاه کلان و سرمایه‌گذار جذاب است که در این بخش خلاصه آن ارائه می‌شود. در حال حاضر کشاورزان به دلیل هزینه بالای تمام شده محصول پساب و همچنین در اختیار داشتن منابع آبی

بسیار ارزان‌تر و راندمان پایین مصرف آب در بخش کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده نهایی پساب تمایلی به خرید پساب با قیمت پیشنهادی سرمایه‌گذار ندارند و به دلیل کم‌آبی‌های موجود، صنایع آب‌بر در استان خراسان رضوی شکل نگرفته است. اجرای این طرح از نگاه اقتصاد کلان منجر به رشد اشتغال و کارآفرینی در سطح استان می‌شود. حجم بالای پساب

تولیدی واگذار شده به سرمایه‌گذار به‌عنوان نهاده تولیدی بسیار ضروری و مهم زمینه ورود صنایع آب‌بر را در سطح استان فراهم می‌نماید. به عبارت دیگر پساب بزرگترین پتانسیل بالقوه عرضه آب و منبع پایدار تامین آب در آینده بوده و تولید پساب با کیفیت، در دسترس و پایدار می‌تواند منجر به شکل‌گیری صنایع آب‌بر در میان‌مدت و بلندمدت در دشت مشهد شود. بنابراین از این طریق به رشد و توسعه اقتصادی، اشتغال‌زایی و کارآفرینی استان کمک قابل توجهی می‌شود. علاوه بر این رفع موانع مالی احداث تصفیه‌خانه فاضلاب و طرح‌های تامین آب از طریق جذب سرمایه بخش خصوصی از دیگر نتایج اجرای طرح بوده که به دنبال آن کاهش آلودگی منابع آبی، کمک به حفظ محیط‌زیست، دستیابی به توسعه پایدار، افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه فاضلاب و تامین آب شرب پایدار برای شهر مشهد از دستاوردهای اجرای این طرح مشترک می‌باشد.

از نگاه سرمایه‌گذار، ورود به این پروژه جذاب است از جمله این جذابیت‌ها می‌توان به موجود بودن پساب تصفیه شده و با کیفیت و امکان تخصیص پساب از شروع سرمایه‌گذاری اشاره نمود. همچنین وجود تقاضای مناسب پساب به‌عنوان یک نهاده ضروری تولیدی (شهرداری، صنایع مختلف فولاد و ...)، وجود مازاد تقاضا در بازار پساب و پیش‌بینی رشد آینده بازار از دیگر مزایای این طرح می‌باشد. علاوه بر این مشوق‌های دولتی

همانند تسهیلات تبصره ۱۹ قانون بودجه سنواتی در راستای توجیه‌پذیری اقتصادی طرح در نظر گرفته شده است. همچنین تسریع در دوره بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی مناسب و سودآوری بالای پروژه و واگذاری پساب به‌صورت بلندمدت به سرمایه‌گذار، طرح را دارای توجیه اقتصادی می‌نماید. شایان ذکر است تنوع زمینه کاری در پروژه‌های تعریف شده و ورود تامین کنندگان به‌صورت شرکت پروژه می‌تواند ریسک‌های مالی و فنی را سهم‌بندی نموده و به مدیریت بهتر پروژه کمک نماید. دسترسی بهتر به منابع تامین مالی، استفاده از تخصص و به‌کارگیری دانش فنی مناسب و کارایی بهتر در مدیریت و برنامه‌ریزی گام‌های پروژه از دیگر مزایای این طرح مشارکتی می‌باشد.

در این طرح به بیلان آب در دشت مشهد در بلندمدت توجه شده است. به عبارتی در هر فاز سرمایه‌گذاری معادل پسابی که به سرمایه‌گذار واگذار می‌شود، آب از خارج حوزه برای شهر مشهد تامین خواهد شد. همچنین در راستای تامین آب کلان‌شهر مذهبی کشور پروژه‌های کلان تعریف شده و به جای دریافت سرمایه مازاد امکان تعریف پروژه در راستای اهداف تعریف شده وجود دارد. در این مدل سرمایه‌گذاری شفاف‌سازی در نظام گردش کار اتفاق افتاده و همچنین با کلیه بخشنامه‌های بالادستی و سیاست‌های وزارت نیرو سازگاری کامل دارد.

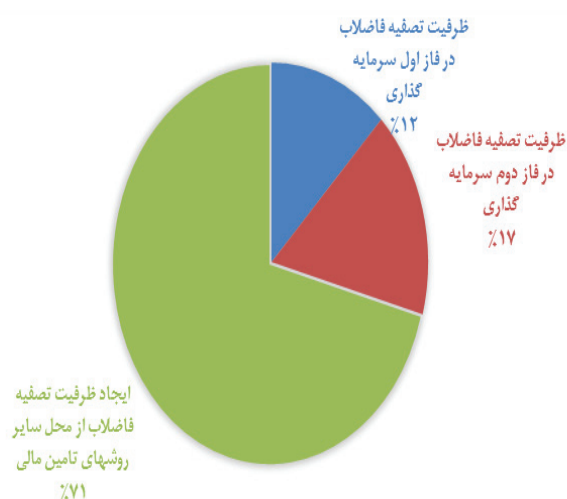
نتیجه‌گیری

مدل مشترک مدیریت پساب شهر مشهد برای اولین بار در سطح کشور با همکاری و توافق دو شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و آب و فاضلاب مشهد و پس از بحث و بررسی‌های کارشناسی و با هدف ساخت و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب مورد نیاز، بازچرخانی پساب حاصل از در تامین آب شرب سالم و تأمین نیاز آبی شهر مشهد تعریف و در حال حاضر فاز اول آن به فراخوان گذاشته شده است. فاز دوم پس از موفقیت فاز اول و با اخذ مجوزهای مربوطه به فراخوان گذاشته خواهد شد. در این مدل سرمایه‌گذاری باتوجه به فقدان منابع تامین مالی دولتی و منابع داخلی شرکت‌ها، محصول تولیدی (پساب) براساس ماده ۳۷ قانون برنامه ششم توسعه تا سقف تعیین شده به سرمایه‌گذار (براساس بخشنامه‌های بالادستی) واگذار شده تا از محل فروش آن به مصرف‌کنندگان نهایی به اصل و سود مورد انتظار خود دست یابد.

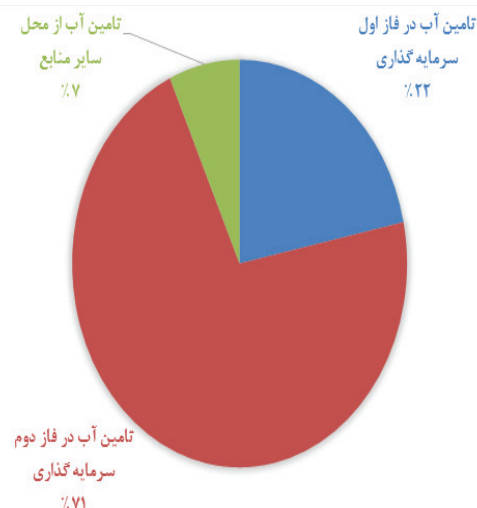
به طور کلی در پروژه‌های تامین و توزیع آب و جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب مشهد، سهم تامین مالی آبفای مشهد از محل منابع داخلی ۴۲/۴ درصد می‌باشد. همچنین سهم آب منطقه‌ای

خراسان رضوی از محل منابع داخلی ۶/۷ درصد بوده و سهم دولت که شامل بازپرداخت اقساط تسهیلات خارجی، اعتبارات تملک دارایی سرمایه‌ای و خرید تضمینی آب و پساب می‌باشد ۱۷/۴ درصد است. سایر پروژه‌های اولویت‌دار از طریق سرمایه‌گذاری بخش خصوصی که دارای سهمی حدود ۳۳/۴ درصد از منابع تامین مالی موجود است، تامین خواهد شد.

به همین منظور مدل سرمایه‌گذاری با برآورد سرمایه ۶۰۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد که به دلیل تسهیل سرمایه‌گذاری و تسریع در اجرای پروژه‌های مورد نظر، به دو فاز تقسیم شد. همان‌گونه که در شکل (۲ و ۳) ارائه شده است، ۲۲ درصد نیاز آبی و ۱۲ درصد ظرفیت تصفیه فاضلاب مورد نیاز تا افق طرح در فاز اول سرمایه‌گذاری به ارزش ۲۰۰۰۰ میلیارد ریال و ۷۱ درصد نیاز آبی و ۱۷ درصد ظرفیت تصفیه فاضلاب مورد نیاز تا افق طرح در فاز دوم سرمایه‌گذاری به ارزش ۴۰۰۰۰ میلیارد ریال تأمین خواهد شد. باقیمانده ظرفیت تصفیه فاضلاب مورد نیاز از طریق سایر روش‌های تامین مالی تعریف شده است. با اجرایی شدن مدل مشترک هر دو شرکت به اهداف خود که همان جبران کمبود تصفیه فاضلاب، بازچرخانی پساب و تامین آب سالم برای شهر مشهد است خواهند رسید.



شکل ۳- سهم ظرفیت تصفیه فاضلاب مورد نیاز در افق طرح در مدل سرمایه‌گذاری مشترک



شکل ۲- سهم تأمین آب مورد نیاز در افق طرح در مدل سرمایه‌گذاری مشترک

منابع

ماده ۳۷ قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۰-۱۳۹۶) (مصوب ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ مجلس شورای اسلامی).
منتظر، م. و ابراهیمی، س.ن. ۱۳۹۲. جایگاه قراردادی بیع متقابل در پروژه‌های بالادستی نفت و گاز ایران و مقایسه آن با قراردادهای مشارکت در تولید، مجله حقوق بین‌المللی، ۳۰(۴۹): ۲۱۵-۲۳۲.
نشریه ۰۳ دفتر تجهیز منابع مالی و توسعه مشارکت غیردولتی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. ۱۳۹۵. انتشارات شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. تهران.

بخشنامه ابلاغی وزارت نیرو در خصوص برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از پساب‌های شهری و روستایی به شماره ۹۸/۲۵۹۰۷/۳۱/۱۰۰ مورخ ۹۸/۰۵/۱۹.
جزء قاسمی، ع.، کابلی، ر.، موسوی، م. و عبدالرضاقی، ص. ۱۳۹۵. ارزیابی واگذاری طرح‌های فاضلاب به سرمایه‌گذار در قالب قرارداد بیع متقابل (مطالعه موردی شهرستان ابهر). کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران، دانشگاه تهران، تهران.
ماده ۲۷ قانون الحاق برخی مواد به قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت (۲) (مصوب مورخ ۱۳۹۳/۱۲/۴ مجلس شورای اسلامی).

Article Type: Regular article

نوع مقاله: پژوهشی

Investigation of The Effect of Physicochemical Factors of Water on Bioavailability, Toxicity and the Level of Effectiveness of Metal Nanoparticles in Aquatic Ecosystems

A.R. Radkhah A.R.^{1*}, E. Sadeghinejad Masouleh²

1- PhD Student in Aquatic Ecology, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. 2-Instructor of Inland Waters Aquaculture Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IF-SRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar-e Anzali, Iran.

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

Received: 20-02-2021

Accepted: 04-04-2021

بررسی تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی آب بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبی

علیرضا رادخواه^{۱*}، اسماعیل صادقی‌نژاد ماسوله^۲

۱- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی آبیان، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ۲- مربی پژوهشکده آبی‌پروری آب‌های داخلی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرانزلی، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

Abstract

Aquaculture is known as a growing industry in the world. This important industry provides food and income to local communities. Hence, it plays an important role in the economic development of countries. So far, nanotechnology has been used as an emerging knowledge in many industries, including the aquaculture sector. One of the manifestations of nanotechnology in the aquaculture industry is the use of metal nanoparticles, which is used to feeding aquatic animals, improving water quality and controlling diseases. Although these materials are widely used in aquaculture, the increase in their production and application has raised many concerns about the potential toxicity to human health and the environment. So far, several studies have been conducted on the toxic effects of metal nanoparticles in aquatic environments, but the role of environmental factors in the toxicity of these materials has received less attention. The present study was conducted to investigate the effect of some physicochemical factors of water (including temperature, salinity, oxygen content, water hardness, pH and organic matter) on bioavailability, toxicity and level of impact of metal nanoparticles in aquatic ecosystems. The findings showed that the factors play an important role in reducing or increasing the effectiveness of pollutants in aquatic ecosystems. Therefore, it is necessary to consider the importance and effectiveness of these factors in studies aimed at evaluating the toxicity of nanoparticles. **Keywords:** Metal Nanoparticles, Bioavailability, Toxicity, Organic Matter, Aquatic Systems.

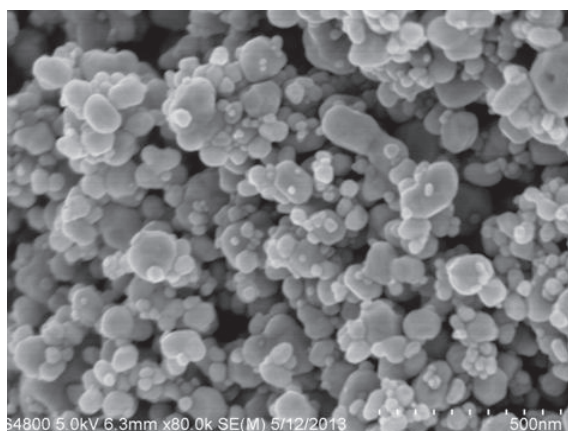
چکیده

پرورش آبزیان به عنوان یک صنعت در حال رشد در جهان شناخته می‌شود. این صنعت مهم تأمین کننده مواد غذایی و درآمد جوامع محلی است. از این رو، نقش مهمی در پیشرفت اقتصادی کشورها ایفا می‌کند. تاکنون فناوری نانو به عنوان یک دانش نوظهور در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به بخش آبی‌پروری اشاره کرد. یکی از جلوه‌های فناوری نانو در صنعت آبی‌پروری کاربرد نانو ذرات فلزی می‌باشد که با هدف تغذیه آبزیان، بهبود کیفیت آب و کنترل بیماری‌ها انجام می‌گیرد. اگرچه این مواد کاربرد گسترده‌ای در بخش آبی‌پروری دارند، اما افزایش تولید و استفاده از آن‌ها نگرانی‌های زیادی در مورد سمیت بالقوه برای سلامت انسان و محیط‌زیست ایجاد کرده است. تاکنون تحقیقات متعددی در رابطه با تأثیرات سمی نانو ذرات فلزی در محیط‌های آبی صورت گرفته است، اما نقش عوامل محیطی در میزان سمیت این مواد کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر برخی از فاکتورهای فیزیکوشیمیایی آب-درجه حرارت، شوری، میزان اکسیژن، سختی آب، میزان اسیدیته (pH) و ترکیبات آلی-بر زیست‌فراهمی، میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات فلزی در اکوسیستم‌های آبی انجام شد. یافته‌های به‌دست آمده نشان داد، فاکتورهای مورد نظر نقش موثری در کاهش یا افزایش سطح تاثیرگذاری مواد آلاینده در سیستم‌های آبی دارند، بنابراین لازم است اهمیت و اثربخشی این فاکتورها در مطالعاتی که با هدف ارزیابی سمیت نانو ذرات انجام می‌شود، مورد توجه قرار گیرد. **واژه‌های کلیدی:** نانو ذرات فلزی، زیست‌فراهمی، سمیت، مواد آلی، سیستم‌های آبی.

این مواد به محیط زیست و آلودگی های ناشی از آن به طور ناخواسته رو به افزایش است و از نظر سمیت برای موجودات آبی به ویژه برای ماهیان نگرانی هایی را ایجاد کرده است (Thummabancha و همکاران، ۲۰۱۶).

باتوجه به کاربرد گسترده نانو مواد در صنعت آبی پروری و رهاسازی آن ها به محیط های آبی، ارزیابی خطرات اکولوژیکی ناشی از این مواد امری بسیار ضروری است. باتوجه به این مسئله، تاکنون پژوهش های مختلفی پیرامون سمیت این مواد و اثرگذاری آن ها روی شاخص های مختلف از قبیل شاخص های خون شناسی، بافت شناسی و ایمنی در گونه های مختلف ماهیان صورت گرفته است (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹، ۱۴۰۰). اما با این وجود، نقش عوامل محیطی در میزان سمیت نانو ذرات و نرخ اثرگذاری آن ها روی موجودات مختلف در اکوسیستم های آبی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات اندکی در این زمینه وجود دارد. باتوجه به این موضوع، مطالعه حاضر قصد دارد نقش عوامل محیطی موثر بر میزان سمیت نانو ذرات در اکوسیستم های آبی و مکانیسم اثرگذاری این عوامل مداخله گر را بررسی نماید. شایان ذکر است ارائه اطلاعات در این زمینه می تواند در راستای ارزیابی دقیق سمیت نانو ذرات در محیط های آبی مورد استفاده کارشناسان مربوطه قرار گیرد.

رابطه با کاربرد گسترده نانو مواد اعلام کرد "در سال ۲۰۱۷، فناوری نانو ارزش بازاری نزدیک به ۴۹ میلیارد دلار آمریکا در سراسر جهان داشته است و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۲۰ به حدود ۷۶ میلیارد دلار آمریکا افزایش یابد". نانو ذرات براساس نوع ماده تشکیل دهنده به دو بخش نانو ذرات فلزی و غیر فلزی تقسیم می شوند. از جمله نانو ذرات فلزی مرسوم می توان به اکسید آلومینیوم، طلا، اکسید مس، نقره (شکل ۱)، اکسید روی، اکسید آهن و اکسید تیتانیوم اشاره کرد.

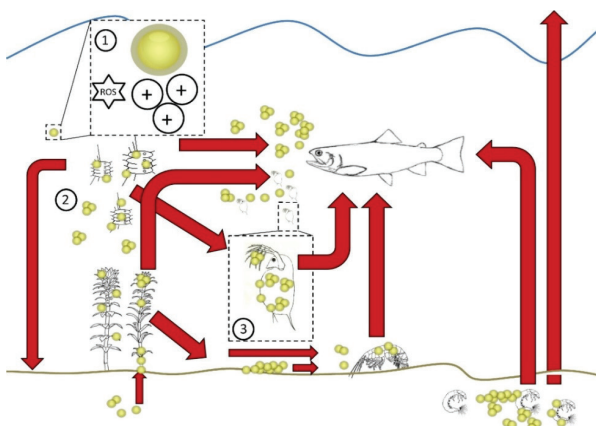


شکل ۱- نانو ذرات نقره (Torres-Martínez و همکاران، ۲۰۱۹)

امروزه آبی پروری سریع ترین و پُر رونق ترین صنعت جهانی محسوب می شود و در تحقق افزایش تقاضا برای پروتئین های حیوانی نقش اساسی دارد. با این حال، عوامل مختلف از جمله شیوع بیماری ها، آلودگی های شیمیایی و تخریب محیط زیست به طور چشمگیر مانع از دستیابی این بخش به امنیت جهانی غذا می شوند (Radkhah، ۲۰۱۷؛ Shah و Mraz، ۲۰۱۹). برای مقابله با این چالش ها در آبزیان، شیوه های جدیدی در علم و فناوری هموار شده است. در میان این شیوه ها، فناوری نانو پتانسیل فوق العاده ای برای بهبود آبی پروری دارد. یکی از جلوه های فناوری نانو در صنعت آبی پروری کاربرد نانو ذرات (NPs) می باشد که با هدف تغذیه آبزیان، بهبود کیفیت آب و کنترل بیماری ها انجام می گیرد (Márquez و همکاران، ۲۰۱۸؛ Luis و همکاران، ۲۰۱۹). اگرچه امروزه هزاران محصول نانو در بازار وجود دارد، اما همچنان تعداد محصولات جدیدی که مبتنی بر فناوری نانو هستند، به سرعت در حال افزایش است. رشد سریع تجاری سازی نانو ذرات باعث افزایش میزان مواجهه این مواد با محیط زیست و فشارهای احتمالی بر آن می شود (Liu و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی منابع جهانی نشان می دهد رهاسازی

نانو ذرات

نانو ذرات موادی هستند که در مقیاس نانو سنتز می شوند و به طور معمول در ابعاد ۱-۱۰۰ نانومتر می باشند (شکل ۱) (Rather و همکاران، ۲۰۱۱). خواص فیزیکی شیمیایی این مواد از قبیل اندازه، شکل، مساحت سطح، شارژ و حلالیت به گونه ای است که این مواد را برای بازارهای صنعتی در سراسر جهان جالب و چالش برانگیز کرده است (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹؛ Thummabancha و همکاران، ۲۰۱۶). نانو ذرات به دلیل ویژگی های خاصی که دارند، در طیف گسترده ای از بخش ها شامل انرژی (تولید، کاتالیز، ذخیره سازی)، مواد (روان کننده ها، ساینده ها، رنگ ها، لاستیک ها و وسایل ورزشی)، الکترونیک (تراشه و صفحه)، حمل و نقل و ارتباط از راه دور، تصویربرداری، مهندسی مکانیک، حسگرهای شیمیایی و بیولوژیک، اپتیک و اصلاح (جذب آلودگی، فیلتر و ضد عفونی آب)، مواد غذایی (مواد افزودنی و بسته بندی)، مواد آرایشی (لوسیون های پوستی) و داروها (تشخیص و انتقال دارو) کاربرد دارند (رادخواه و همکاران، ۱۴۰۰؛ Buzea و همکاران، ۲۰۰۷؛ Joner و همکاران، ۲۰۰۸؛ Rana و Kalaichelvan، ۲۰۱۳؛ Torres-Martínez و همکاران، ۲۰۱۹). Garside (۲۰۱۹) در

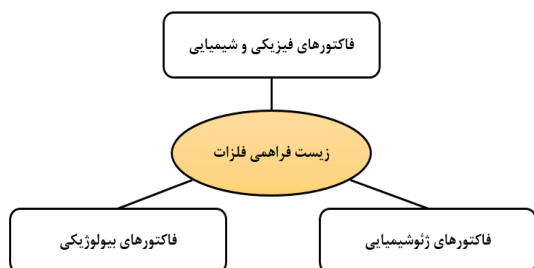


شکل ۲- تصویری شماتیک از مسیرهای احتمالی نانو ذرات در محیط‌های آبی (Bundschuh و همکاران، ۲۰۱۶)

• زیست‌فراهمی و سمیت نانو ذرات

زیست‌فراهمی قابل دسترس بودن فلز به‌عنوان کسری از غلظت کل فلز است که قابلیت تجمع در بدن را دارد. عواملی که زیست‌فراهمی فلزات را کنترل می‌کنند عبارتند از (شکل ۳): زیست‌شناسی ارگانیسم (راندان جذب فلزات، استراتژی‌های تغذیه‌ای، اندازه یا سن، مرحله تولیدمثل). ژئوشیمی فلز (توزیع در رسوبات و ستون آب، مواد معلق و مشخصات فلز)؛ عوامل فیزیکی و شیمیایی (دما، شوری، pH، استحکام یونی، غلظت کربن آلی محلول، مواد جامد معلق) (Bonnail و همکاران، ۲۰۱۶؛ Gheorghe و همکاران، ۲۰۱۷).

در ادامه این مطالعه، نقش تعدادی از عوامل فیزیکی و شیمیایی موثر بر زیست‌فراهمی نانو ذرات در محیط‌های آبی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تأثیرات افزایشی (synergic) یا کاهش (antagonistic) این فاکتورها در میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات بررسی می‌شود.



شکل ۳- عوامل موثر بر زیست‌فراهمی فلزات (Gheorghe و همکاران، ۲۰۱۷)

• سمیت ناشی از نانو ذرات در محیط‌های آبی

مطالعات متعددی در مورد خصوصیات سم‌شناسی نانو ذرات وجود دارد. تحقیقات انجام شده نشان دادند برخی از این مواد قادر هستند از موانع مختلف حفاظتی موجودات زنده عبور کنند. نانو ذرات استنشاق شده پس از عبور از تمام مکانیسم‌های محافظتی در بخش‌های تنفس یا دستگاه گوارش می‌توانند در جریان خون قرار گیرند. سپس در اندام‌های مختلف توزیع شده و در مکان‌های مشخص تجمع می‌یابند. این مواد می‌توانند در امتداد اعصاب بویایی حرکت کنند و به طور مستقیم درون مغز نفوذ کنند، درست همان‌طور که می‌تواند از موانع سلولی عبور کنند. یکی از ویژگی‌های خاص نانو ذرات این است که سمیت آن‌ها به مساحت سطح‌شان مرتبط است. نانو ذرات آنقدر ریز هستند که در مقادیر اندک (به لحاظ جرم بیان می‌شوند) به دلیل سطح زیاد می‌توانند تأثیرات سمی قابل توجهی داشته باشند (Oberdörster و همکاران، ۲۰۰۵؛ Kalaichelvan و Rana، ۲۰۱۳). این مطلب توسط Klaine و همکاران (۲۰۱۲) نیز تایید شده است. آن‌ها بیان کردند نانو ذرات با توجه به اندازه کوچکی که دارند، بسیار واکنشی هستند و به‌طور بالقوه بر ساختار و عملکرد اکوسیستم تأثیر می‌گذارند (رادخواه و همکاران، ۱۳۹۹).

بررسی منابع پیشین نشان می‌دهد که ماهی می‌تواند برای ارزیابی آلودگی، سلامت اکوسیستم آبی و تغییرات فیزیولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، از آن به‌عنوان شاخص بیولوژیکی در مطالعات سم‌شناسی استفاده می‌شود (Rajkumar و همکاران، ۲۰۱۶؛ Naguib و همکاران، ۲۰۲۰). ماهی به‌عنوان یکی از مهمترین مؤلفه‌ها در سیستم‌های آبی شناخته می‌شود و مسیر اولیه برای جذب و تجمع زیستی نانو ذرات در انسان را فراهم می‌کند. از این‌رو، برخی از اثرات ناشی از سمیت نانو ذرات در ماهی می‌تواند منعکس‌کننده خطرات احتمالی آن‌ها در مورد سایر مهره‌داران از جمله انسان باشد. تاکنون مطالعات متعددی با توجه به سمیت نانو ذرات در ماهیان انجام شده است و اطلاعات قابل توجهی در مورد اثرات بیولوژیک این مواد ناشی از جذب و تجمع زیستی در اندام‌های مختلف ماهی از جمله آبشش، کبد، مغز، روده و غیره فراهم شده است (Liu و همکاران، ۲۰۱۶).

در شکل (۲) تصویری شماتیک از مواجهه و مسیرهای احتمالی سمیت نانو ذرات (قرمز) در محیط‌های آبی ارائه شده است. در این شکل، مسیر (۱) خاصیت سمی، مسیر (۲) پتانسیل تجمع زیستی ناشی از جذب و مسیر (۳) جذب نانو ذرات بر روی موجودات آبی شامل ماهی، گیاهان آبی، بی‌مهرگان، جلبک‌ها و ارگانیسم‌های مختلف را نشان می‌دهد.

• دما

دما به عنوان یک فاکتور کلیدی در محیط‌های آبی شناخته می‌شود و در فرآیندهای بیولوژیکی نقش موثری ایفا می‌کند. محققان اظهار می‌کنند عوامل مختلفی روی کیفیت پیکره‌های آبی تأثیر می‌گذارند، اما درجه حرارت به عنوان محرک اصلی کیفیت آب شناخته می‌شود زیرا بسیاری از عوامل مانند شیمی آب تا حدی با توجه به دمای آب کنترل می‌شوند. دما به عنوان یک فاکتور مهم و کلیدی تعیین می‌کند که واکنش‌های شیمیایی در کجا و در چه زمانی در اکوسیستم‌های آبی (مانند دریاچه‌ها) رخ دهند. این واکنش‌های شیمیایی اهمیت ویژه‌ای دارند زیرا می‌توانند منجر به رهاسازی مواد مغذی، به طور بالقوه از رسوبات شوند و در نتیجه بر میزان سمیت و تجمع نانو ذرات (NPs) در پیکره‌های آبی اثرگذار باشند (Krysanov و همکاران، ۲۰۱۰).

در مطالعاتی که با هدف بررسی تأثیر عوامل محیطی بر رفتارهای نانو ذرات و سمیت آن‌ها صورت گرفته است، اثرات دما خیلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد ترمودینامیک متقابل NPs و تغییر ترکیبات درشت مولکول زیستی^۱ بر روی نانو ذرات دو عامل برجسته برای تأثیر دما بر سمیت نانو ذرات هستند (Ren و همکاران، ۲۰۱۶). انتشار یون‌های فلزی حاصل از نانو ذرات با دمای محیط ارتباط نزدیک دارد. علاوه بر این، میزان و درجه انحلال نانو ذرات به دما، عملکرد سطح و غلظت آن‌ها بستگی دارد (Kittler و همکاران، ۲۰۱۰). Rispoli و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند با افزایش دمای محیط، سمیت نانو ذرات مس^۲ (ZVCN) نسبت به اشریشیا کَلِ^۳ افزایش یافته است. آن‌ها علت این پدیده را به اثرات دما بر توزیع نانو ذرات مس نسبت دادند؛ زیرا میانگین اندازه سنگدانه‌ها (aggregates) در دمای بالا کاهش می‌یابد. مشابه این نتیجه در مطالعه Walters و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شد. آنها بیان کردند تشکیل سنگدانه‌های کوچک‌تر نانو ذرات در دماهای بالاتر نشانگر سمیت بیشتر است.

بر اساس تحقیقات انجام شده، افزایش دما روی انحلال یونی نانو ذرات تأثیر می‌گذارد. این مسئله در مطالعه Wong و Leung (۲۰۱۴) مطرح شد. آن‌ها بیان نمودند، دما بر اندازه و انحلال یونی نانو ذرات اکسید روی^۴ تأثیر گذاشته است، بنابراین نانوسمیت آن را تغییر داده است. علاوه بر این Liu و Hurt (۲۰۱۰) در مطالعه خود میزان انحلال بالاتر نانو ذرات نقره^۵ را همراه با افزایش دما گزارش کردند. Ren و همکاران (۲۰۱۶) در توضیح این پدیده بیان کردند با افزایش دما سمیت نانو ذرات نقره افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان به افزایش میزان انتشار Ag + نسبت داد.

روی هم‌رفته شوری در محیط دریایی نسبتاً ثابت است و تأثیر کمی بر غلظت فلزات سنگین دارد. در مصب رودخانه که اختلاط آب‌های شیرین و شور صورت می‌گیرد، شوری نقش مهمی در میزان تأثیرگذاری غلظت فلزات در آب ایفا می‌کند. در آب دریا غلظت فلزات سنگین محلول بسیار کمتر از آب شیرین است. علاوه بر این مقدار نمک بالا باعث تغییر در pH محیط و در نتیجه حلالیت فلز می‌شود (Forstner و Wittmann، ۱۹۸۳). در رابطه با ارگانوسم‌های موجود در آب شور، اختلاف منفی دیواره داخلی بدن با شوری کمتر افزایش می‌یابد. در نتیجه انتقال یونی به داخل بدن موجودات افزایش می‌یابد (Fletcher، ۱۹۷۰). علاوه بر این، هیچ‌گونه رقابتی در محیط آب شیرین بین کلسیم و منیزیم به عنوان مبدل‌های کاتیون از نظر فلزات سنگین وجود ندارد (Forstner و Wittmann، ۱۹۸۳).

تاکنون تحقیقات قابل توجهی پیرامون تأثیرات شوری بر میزان سمیت نانو ذرات فلزی در محیط‌های آبی انجام شده است و از موجودات آبی مختلف به عنوان مدل و شاخص زیستی برای تأثیر سمیت نانو ذرات استفاده شده است. Bryan و Hummerstone (۱۹۷۳) در آزمایشی بر روی *Nereis diversicolor* انجام شده بود، نشان دادند میزان جذب فلز روی در هر واحد توده و مدت زمان با افزایش شوری کاهش می‌یابد. در مورد فلز مس نیز Bryan و Hummerstone (۱۹۷۱) بیان نمودند یک وابستگی بین شوری و غلظت مس در *N. diversicolor* وجود دارد. اما هیچ ارتباط مستقیمی در این مورد نمی‌تواند برقرار شود و شوری ظاهراً فقط نقش ثانویه را ایفا می‌کند.

Joo و همکاران (۲۰۱۸)، سمیت خون‌شناسی و بافت‌شناسی نانو ذرات نقره (AgNPs) بر قرل‌آلی رنگین‌کمان در سه شوری مختلف آب را (۰/۴ ppt) (شوری کم)، ۶ ppt (شوری متوسط) و ۱۲ ppt (شوری زیاد) بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده افزایش تعداد برخی از گلبول‌های سفید (ترومبوسیت‌ها، مونوسیت‌ها و لنفوسیت‌های بزرگ) و کاهش تعداد برخی دیگر از گلبول‌های سفید (نوتروفیل و لنفوسیت‌های کوچک) در تیمارهای AgNP در شوری کم نسبت به شوری‌های متوسط و زیاد بود. علاوه بر این، حجم گلبول‌های قرمز به طور قابل توجهی در همه گروه‌های آزمایش به ویژه در گروه شوری کم که در معرض غلظت‌های بالاتر AgNP قرار داشتند، افزایش یافت. در شوری‌های متوسط و زیاد، پروتئین کل پلاسماي خون کاهش یافت، اما آلبومین در گروه‌های با شوری کم افزایش یافت. نتایج نشان داد علی‌رغم کاهش مواجهه غلظت AgNP، ماهیان نگهداری شده در شوری کم، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به نانو ذرات نقره نسبت به سایر شوری‌ها داشتند. این نتیجه با یافته‌های ارائه شده در مطالعه Kalbassi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. آن‌ها بیان کردند

نانو ذرات نقره در آب شیرین نسبت به آب دریا (شور) سمیت بیشتری دارند. بنابراین رها سازی این مواد در اکوسیستم های آب شیرین می تواند منجر به اثرات غیرقابل برگشت بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی بیشتر بر روی این اکوسیستم ها و ماهیان ساکن آن ها در مقایسه با اکوسیستم های آب شور شود. علاوه بر یافته های ارائه شده، محققان تاثیر شوری بر روی سمیت نانو ذرات در موجودات دیگر را نیز مورد بررسی قرار دادند و به نتایج مشابه دست یافتند. Park و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر شوری های مختلف (۵‰، ۱۵‰، ۲۵‰ و ۳۵‰) بر سمیت یون های فلزی (مس و روی) و نانو ذرات مس و روی را در یک گونه کپه بود به نام تیگریکوس جاپونیکوس^۱ بررسی کردند. این مطالعه نشان داد، افزایش شوری باعث کاهش غلظت های قابل حل یون های مس و روی شد و در نتیجه کاهش سمیت حاد برای تیگریکوس جاپونیکوس را به همراه داشت.

• اکسیژن محلول (DO)

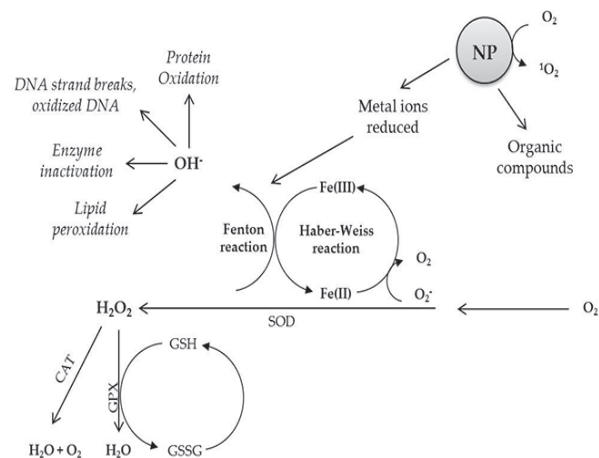
اکسیژن به عنوان یک عامل مهم می تواند به واسطه چندین مکانیسم تاثیرات خود را در میزان سمیت نانو ذرات نشان دهد. یک مکانیسم به محیط آب بر می گردد که با کاهش اکسیژن شرایط بی هوازی برای انجام واکنش های شیمیایی فراهم می شود. ایجاد شرایط بی هوازی بستر مناسبی برای فعالیت عوامل میکروبی در پیکره های آبی به ویژه دریاچه ها فراهم می کند. مواد آلی می توانند نقش مهمی در روند آزاد سازی فلزات سنگین از رسوبات به آب های سطحی ایفا کنند. در واقع، هنگامی که تجزیه ترکیب آلی رخ می دهد، فلزات محدود در آب آزاد می شوند. همین میزان اکسیژن محلول می تواند بر میزان اکسیداسیون ترکیبات آلی تاثیر بگذارد و باعث آزاد شدن فلزات شود (Li و همکاران، ۲۰۱۳).

محلول فلزی باعث افزایش فعالیت تنفسی می شود. Jones (۱۹۴۶) این مورد را برای ماهیان آبنوس (*Gasterosteus aculeatus*) در مواجهه با محلول سولفات مس و نیترات سرب آزمایش کرد. نتایج نشان داد نوسانات تنفس ماهیانی که در معرض فلز مس قرار گرفتند کمتر از ماهیان مواجه شده با فلز سرب بود. این موضوع نشان می دهد فعالیت تنفسی ماهیان آبنوس در مواجهه با فلز سرب بیشتر است و این امر می تواند روی میزان سمیت این فلز تاثیر داشته باشد. علاوه بر مطالعه Jones (۱۹۴۶) سایر محققان تاثیرات سمی جیوه، متیل جیوه و فنیل جیوه استات را در رابطه با گونه *Salmo gairdneri* بررسی کردند (Forstner و Wittmann، ۱۹۸۳). Lloyd (۱۹۶۵) اثرات اکسیژن موجود در آب را بر ماهی *S. gairdneri* بررسی کرد و بیان کرد وابستگی به اشباع اکسیژن در آب

برای مس، سرب و روی یکسان است. جدا از تاثیرات دمای آب و میزان اکسیژن بر سمیت فلزات سنگین در نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی موجود در ارگانیسم، این دو پارامتر می توانند به دلیل فرآیندهای شیمیایی موجود در آب و رسوبات (برای نمونه محیط کاهش دهنده-اکسید کننده)، به طور قاطعانه زیست فراهمی فلزات سنگین را تحت تاثیر قرار دهند. بنابراین، غلظت فلزات سنگین در آب هایی که با رسوبات بی هوازی در تماس هستند، می تواند تا ۱۰ برابر بیشتر از آب های سطحی باشد (Reinhard و Forstner، ۱۹۷۶؛ Forstner و Wittmann، ۱۹۸۳).

Compton و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند نانو ذرات نقره (AgNPs) در سیستم آبی نسبت به توده فلز نقره سمی تر هستند. دلیل این موضوع را می توان به وجود اکسیژن محلول، کاهش آن در نانو ذرات و سپس انتشار H_2O_2 از AgNPs نسبت داد (Khalili Fard و همکاران، ۲۰۱۵). این مسئله از منظر Batchelor-McAuley و همکاران (۲۰۱۴) نیز تایید شده است.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان داد، تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS)^۲ همچون رادیکال سوپراکسید، رادیکال هیدروکسیل و هیدروژن پراکسید از نانو ذرات فلزی بیشتر از تجمعات خود آن فلز است. این موضوع توسط Batchelor-McAuley و همکاران (۲۰۱۴) تایید شده است، به طوری که آن ها اظهار نمودند تولید ROS از نانو ذرات نقره بیشتر از توده فلز نقره است. عدم تعادل بین تولید ROS و توانایی سلول ها در کاهش ROS به عنوان استرس اکسیداتیو تعریف می شود و ممکن است نتیجه افزایش تولید ROS، کاهش مکانیسم های دفاعی سلول یا ترکیبی از هر دو باشد (شکل ۴). اختلال در وضعیت طبیعی رد اکس سلول ها ممکن است از طریق تولید پراکسیدها و رادیکال های آزاد باعث ایجاد اثرات سمی شود که به نوبه خود منجر به آسیب در بخش های مختلف سلول ها از جمله پروتئین ها، لیپیدها و DNA می شود. ارگانیسم های آبی برای مقابله با این رخداد و سایر عوامل استرس زا قادر به تعدیل متابولیسم فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی خود از طریق دفاع های آنتی اکسیدانی هستند که بیشتر از آنزیم های آنتی اکسیدانی تشکیل شده و اثرات مخرب پراکسید هیدروژن (H_2O_2) را کاهش می دهند تا از تولید رادیکال های هیدروکسیل (OH) جلوگیری کنند. نشانگرهای زیستی مربوط به استرس اکسیداتیو به طور گسترده به عنوان علائم هشدار دهنده اولیه برای استرس های محیطی مورد استفاده قرار می گیرند (Walters و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۴- تصویری شماتیک از چرخه رداکس شامل تولید ROS توسط نانو ذرات (NPs) و سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی (Walters و همکاران، ۲۰۱۶)

• میزان اسیدیته (pH)

pH نقش مهمی در تعامل بین فلزات سنگین و پارامترهایی مانند سختی کربنات و ترکیبات آلی ایفا می‌کند. از این رو، این فاکتور اهمیت بسیار بالایی دارد و در هنگام تعیین حدود سمیت نانو ذرات فلزی موجود در محلول در نظر گرفته می‌شود. اگرچه در برخی تحقیقات بیان شده است، سمیت فلزات سنگین می‌تواند با مقادیر پایه pH افزایش یابد، اما Whitley (۱۹۶۸) تاثیر سرب روی کرم‌های توبیفیسید^۱ را بررسی کرد و نتایج متناقضی ارائه نمود. Whitley (۱۹۶۸) گزارش کرد، میزان سرب در pH ۸/۵ نسبت به pH ۶/۵ سمی‌تر است. وی بیان کرد در این آزمایش‌ها، سرب رسوب یافته با مقدار pH ۸/۵ به صورت خوراکی گنجانیده شده است. این امر این واقعیت را تأیید می‌کند سرب ضریب توزیع پایینی در محیط آب دارد (Koppe, ۱۹۷۳). بنابراین، یون‌های سرب ممکن است وقتی pH بالاتر باشد، رسوب کنند. باتوجه به حضور مواد آلی، تغییر در مقادیر pH آب می‌تواند به شدت بر جذب یا دفع کاتیون‌ها تأثیر بگذارد. برای نمونه اسیدهای آمینه که در مقادیر قابل توجهی هم در آب‌های آزاد و هم در رسوبات آلوده وجود دارند، به دلیل خاصیت آمفوتریک^۲ وابسته به pH اسیدها، قادر به جذب یا دفع کاتیون‌ها هستند (Forstner و Wittmann, ۱۹۸۳).

بار سطح نانو ذرات (NP) با pH تغییر می‌کند، که توسط نقطه ایزوالکتریک^۱ منعکس می‌شود (IEP؛ یعنی مقدار pH که در آن NP بار خالص ندارد). IEP در میان نانو ذرات تفاوت دارد و به همین دلیل سرنوشت و در نتیجه تعامل نانو ذرات با ارگانیسم‌ها ممکن است بسیار متفاوت باشد. علاوه بر این، مواد آلی طبیعی (NOM)^{۱۱} می‌توانند ثبات کلئیدی NP را به عنوان تابعی از کیفیت و کمیت آن و همچنین قدرت یونی محیط افزایش یا کاهش دهند (Philippe و Schaumann, ۲۰۱۴؛ Bundschuh

و همکاران، ۲۰۱۸). در استحکام یونی کم، NOM با استفاده از نیروهای الکترواستاتیکی و یا استریکی نانو ذرات را با بار منفی تثبیت می‌کند. باتوجه به شکل‌گیری پل‌های کاتیون-NOM در بین نانو ذرات، NOM می‌تواند تجمع نانو ذرات را در استحکام یونی بالا افزایش دهد (Bundschuh و همکاران، ۲۰۱۸). NP با بار مثبت نیز ممکن است تجمع را در حضور NOM افزایش دهد. Zhou و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند این پدیده برای ترکیب NOM با بار منفی و TiO_2NP رخ داده است. اگرچه تاکنون، در پژوهش‌های مختلف از قبیل Chen و Elimelech (۲۰۰۷) و Walters و همکاران (۲۰۱۶)، اثرات چند عامل مانند پوشش سطحی NP، استحکام یونی و نوع کاتیون‌ها به طور جداگانه بر سرنوشت نانو ذرات بررسی شده است، اما در مورد چگونگی اثرات متقابل این فاکتورها بر سرنوشت نانو ذرات در شرایط واقعی محیط اطلاعات اندکی وجود دارد. بنابراین، بسیار ضروری است در تحقیقات آینده به سوالات مطرح شده پیرامون این موضوع پاسخ داده شود.

• سختی آب

آزمایش‌های قابل توجهی برای اثبات تأثیر سختی آب بر سمیت فلزات انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به مطالعه Schweiger (۱۹۵۶) اشاره کرد. درجه سختی آب بر سمیت و در نتیجه فعالیت فلزات سنگین با تشکیل کربنات‌های نامحلول یا با جذب روی کربنات کلسیم تأثیر می‌گذارد. این مسئله به طور ویژه در مورد مناطق اختلاط آب که از منابع مختلف نشأت می‌گیرند (مثلاً ورود فاضلاب به پیکره‌های آب طبیعی)، صادق است. این مناطق در حقیقت مکانی هستند که میزان سمیت حاد فلزات به دلیل دسترس‌پذیری کمتر، کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد در آب سخت، غلظت فلزات سنگین مورد نیاز برای رسیدن به سطح دوز گشنده باید بیشتر باشد و هنگامی که سختی آب پایین است، غلظت دوز گشنده کمتر می‌شود (Forstner و Wittmann, ۱۹۸۳).

نکته مهم دیگری که در رابطه با سختی آب مطرح می‌شود، فعل و انفعالات و واکنش‌هایی است که بین فلزات سنگین و ترکیبات معدنی صورت می‌گیرد. Zitko و Carson (۱۹۷۶) نشان دادند یون‌های منیزیم و کلسیم با یون‌های فلزات سنگین برای بخش‌های فعال در بافت‌های ماهیان رقابت می‌کنند، به طوری که این امر ممکن است به واسطه سختی آب به یک مکانیسم تاثیرگذار و گشنده از سوی فلزات سنگین تبدیل شود.

تاکنون آزمایش‌های مختلفی با هدف بررسی تأثیر سختی آب بر روی سمیت فلزات در محیط‌های آبی صورت گرفته است. Tabata (۱۹۶۹) در رابطه با دافنی (*Daphnia sp*) اظهار داشت باینکه کاهش سمیت فلزات ناشی از افزایش سختی آب است

اما نسبت سمیت فلزات مورد بررسی نسبت به یکدیگر تغییری نمی‌کند. براساس نتایج این مطالعه، شواهدی از واکنش‌های مختلف فلزات در هنگام افزایش سختی آب ارائه شد. برای نمونه، جیوه به طرز دشواری تحت تأثیر سختی آب قرار می‌گیرد. Tabata (۱۹۶۹) با تمایز بین سختی کلسیم و منیزیم، تأیید کرد که برای گونه دافنی تأثیر سختی کلسیم غالب است. مکانیسم دیگری که به موجب آن سمیت فلزات سنگین در مواجهه با افزایش سختی آب کاهش می‌یابد، تحت عنوان واکنش‌های شیمیایی بین یون‌های فلزی و کربنات‌ها مطرح می‌شود (Wittmann و Forstner، ۱۹۸۳).

• مواد آلی

در اکثر مطالعات انجام شده از سیستم‌های آزمایشگاهی استفاده شده است که تفاوت چشمگیری با محیط طبیعی داشتند. محیط طبیعی حاوی ترکیبات پیچیده‌ای مانند مواد آلی طبیعی (NOM) است. NOM ها مخلوط‌های چندشکلی از ماکرومولکول‌های پلیمری با وزن مولکولی طبیعی هستند که از بقایای موجودات زنده حاصل می‌شوند. اگرچه خصوصیات شیمیایی NOM هنوز به خوبی درک نشده است، اما سرنوشت، تحرک، تثبیت، انتقال، تحول، زیست‌فراهمی و سمیت نانو ذرات به شدت به تعامل آن‌ها با NOM وابسته است (Phenrat و همکاران، ۲۰۱۰). Lin و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند NOM با نانو ذرات (NP) آزاد شده در تعامل بوده و در نتیجه خصوصیات فیزیکی شیمیایی آن‌ها را تغییر می‌دهد.

NOM می‌تواند با پوشاندن سطوح آن‌ها با بارهای اضافی و با دفع استریک^{۱۲}، ثبات نانو ذرات را افزایش دهد، یا می‌تواند ثبات را از طریق مکانیسم‌های مختلف شامل ایجاد اتصال کاهش دهد (Ren و همکاران، ۲۰۱۶). فعل و انفعالات خاص بین NOM و NP ها منجر به تغییر در وضعیت توزیع، رفتار تجمع و سرنوشت نانو ذرات در اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد (Ottofuelling و همکاران، ۲۰۱۱). تشکیل سنگدانه‌های بزرگتر توسط ترکیبات NOM با وزن مولکولی بالا باعث حذف نانو ذرات به داخل رسوبات می‌شود و در نتیجه زیست‌فراهمی آن‌ها کاهش می‌یابد. در مقابل، حل شدن توسط سورفاکتانت‌های طبیعی مانند ترکیبات NOM با وزن مولکولی پایین باعث افزایش تحرک و در نتیجه زیست‌فراهمی آن‌ها خواهد شد. با افزایش پایداری NP ها توسط NOM در سیستم‌های آبی، افزایش مقدار NP ممکن است به صورت مواد معلق صورت گیرد و در نتیجه احتمال تعامل با موجودات آبرزی افزایش یابد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۲).

مکانیسم‌های دیگری برای تأثیر NOM بر سمیت نانو ذرات وجود دارد. برای نمونه سمیت نانو ذرات نقره بیشتر ناشی از

تغییر تجمع این مواد یا اتصال به یون‌های Ag توسط اسید هیومیک است (Ren و همکاران، ۲۰۱۶). این اثرات توسط سایر محققان گزارش شده است. برای نمونه Chen و Elimelech (۲۰۰۷) گزارش دادند اسید هیومیک جذب شده بر روی نانو ذرات فولرن منجر به دفع استریک، پایداری تعلیق NP و کاهش تجمع آن می‌شود.

نتیجه‌گیری

افزایش تولید و استفاده از نانو ذرات نگرانی‌های زیادی را در مورد سمیت بالقوه این مواد برای بخش آبی‌پروری، محیط‌زیست و در نتیجه سلامت انسان ایجاد کرده است. مطالعه حاضر نشان داد، میزان سمیت نانو ذرات در اکوسیستم‌های آبی مختلف با یکدیگر تفاوت دارد و علت آن را می‌توان به تغییرات فاکتورهای محیطی مرتبط دانست. باتوجه به این موضوع، در هنگام ارزیابی تأثیرات سمیت نانو ذرات فلزی باید نقش فاکتورهای محیطی به عنوان عوامل کلیدی باید مورد توجه قرار گیرد. چرا که این فاکتورها می‌توانند تأثیرات افزایشی (synergic) یا کاهش‌ی (antagonistic) در میزان سمیت و سطح اثرگذاری نانو ذرات داشته باشند. بدون شک درک جامع و صحیح از این مسئله می‌تواند در کنترل و مدیریت آلودگی نانو ذرات در محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. این مطالعه پیشنهاد می‌نماید، در تحقیقات آتی علاوه بر بررسی نقش هر یک از عوامل محیطی در میزان سمیت نانو ذرات فلزی، اثرات متقابل این فاکتورها نیز مورد توجه قرار گیرد.

پی‌نوشت

- 1-Biomacromolecule
- 2-Zero-valent copper nanoparticles
- 3-Escherichia coli
- 4-ZnO-NPs
- 5-AgNPs
- 6-Tigriopus japonicus
- 7-Reactive Oxygen Species
- 8-Tubificid
- 9-Amphoteric character
- 10-Isoelectric point
- 11-Natural Organic Matter
- 12-Steric repulsion
- 13-Fullerene NPs

- rials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*, 2: 17–71.
- Chen K.L. and Elimelech M. 2007. Influence of humic acid on the aggregation kinetics of fullerene (C60) nanoparticles in monovalent and divalent electrolyte solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 309: 126–134.
- Fletcher C.R. 1970. The regulation of calcium and magnesium in the brackish water polychaete *Nereis diversicolor*. *Journal of Experimental Biology*, 53: 425–443.
- Forstner U. and Wittmann G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environment. 2nd edition. Volume 2, Springer International Publishing. New York, USA.
- Garside M. 2019. Global nanotechnology market value 2010–2020. <https://www.statista.com/statistics/1073886/global-market-value-nanotechnology> (visited 25 April 2020).
- Gheorghe S., Stoica C., Vasile G.G., Nita-Lazar M., Stanescu E. and Lucaci I.E. 2017. Metals toxic effects in aquatic ecosystems: Modulators of water quality. *IntechOpen*, 4: 75–87.
- Joner E.J., Hartnik T. and Amundsen C.E. 2008. Environmental fate and ecotoxicity of engineered nanoparticles. Report no. TA 2304/2007. Joner E.J., Hartnik T. and Amundsen C.E. (Eds.). Volume 1. Bioforsk Publishing, Ås Municipality, Norway.
- Jones J.R.E. 1946. The oxygen consumption of *Gasterosteus aculeatus* L. in toxic solutions. *Journal of Experimental Biology*, 23: 298–311.
- Joo H.S., Kalbassi M.R. and Johari S.A. 2018. Hematological and histopathological effects of silver nanoparticles in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)-how about increase of salinity? *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16): 15449–15461.
- Kalbassi M.R., Salari-joo H. and Johari A. 2011. Toxicity of silver nanoparticles in aquatic ecosystems: salinity as the main cause in reducing toxicity. *Iranian Journal of Toxicology*, 5(1-2): 436–443.
- Khalili Fard J., Jafari S. and Eghbal M.A. 2015. A review of molecular mechanisms involved in toxicity of nanoparticles. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 5(4): 447–454.
- رادخواه ع، ایگدری س. و صادقی نژاد ماسوله ا. ۱۳۹۹. بررسی خواص ضد میکروبی نانو ذرات نقره (AgNPs) به منظور کنترل بیماری‌ها و مدیریت بهداشت در سیستم‌های آبی‌پروری. *مجله آبزیان زینتی*، ۷(۱): ۷–۱۵.
- رادخواه ع، ایگدری س. و موسوی ثابت ح. ۱۴۰۰. مروری بر فواید و مضرات فناوری نانو در صنعت آبی‌پروری. *مجله آبزیان زینتی*، ۸(۲): ۴۳–۵۸.
- Batchelor-McAuley C., Tschulik K., Neumann C., Laborda E. and Compton R.G. 2014. Why are silver nanoparticles more toxic than bulk silver? Towards understanding the dissolution and toxicity of silver nanoparticles. *International Journal of Electrochemical Science*, 9(3): 1132–1138.
- Bonnail E., Sarmiento A.M., DelValls T.A., Nieto J.M. and Riba I. 2016. Assessment of metal contamination, bioavailability, toxicity and bioaccumulation in extreme metallic environments (Iberian Pyrite Belt) using *Corbicula fluminea*. *Science of the Total Environment*, 544: 1031–1044.
- Bryan G.W. and Hummerstone L.G. 1971. Adaptation of the polychaete *Nereis diversicolor* to estuarine sediments containing high concentrations of heavy metals. I. General observations and adaptation to copper. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 52: 845–863.
- Bryan G.W. and Hummerstone L.G. 1973. Adaptation of the polychaete *Nereis diversicolor* to estuarine sediments containing high concentrations of zinc and cadmium. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 53: 839–857.
- Bundschuh M., Seitz F., Rosenfeldt R.R. and Schulz R. 2016. Effects of nanoparticles in fresh waters: risks, mechanisms and interactions. *Freshwater Biology*, 61(12): 2185–2196.
- Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M.S., Metreveli G., Schaumann G.E., Schulz R. and Wagner S. 2018. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? *Environmental Sciences Europe*, 30(1): 6.
- Buzea C., Pacheco I.I. and Robbie K. 2007. Nanomate-

- L.F. 2019. Trends in aquaculture sciences: from now to use of nanotechnology for disease control. *Reviews in Aquaculture*, 11: 119–132.
- Márquez J.C.M., Partida A.H., Dosta M.D.C.M., Mejía J.C. and Martínez J.A.B. 2018. Silver nanoparticles applications (AgNPS) in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2): 5–11.
- Naguib M., Mahmoud U.M., Mekawy I.A. and Sayed A.E.H. 2020. Hepatotoxic effects of silver nanoparticles on *Clarias gariepinus*; biochemical, histopathological and histochemical studies. *Toxicology Reports*, 7: 133–141.
- Oberdörster G., Oberdörster E. and Oberdörster J. 2005. Nanotechnology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, 113(7): 823–839.
- Ottoufelling S., Von Der Kammer F. and Hofmann T. 2011. Commercial titanium dioxide nanoparticles in both natural and synthetic water: comprehensive multidimensional testing and prediction of aggregation behavior. *Environmental Science and Technology*, 45(23): 10045–10052.
- Park J., Kim S., Yoo J., Lee J.-S., Park J.W. and Jung J. 2014. Effect of salinity on acute copper and zinc toxicity to *Tigriopus japonicus*: The difference between metal ions and nanoparticles. *Marine Pollution Bulletin*, 85(2): 526–531.
- Phenrat T., Song J.E., Cisneros C.M., Schoenfelder D.P., Tilton R.D. and Lowry G.V. 2010. Estimating attachment of nano- and submicrometer-particles coated with organic macromolecules in porous media: development of an empirical model. *Environmental Science and Technology*, 44(12): 4531–4538.
- Philippe A. and Schaumann G.E. 2014. Interactions of dissolved organic matter with natural and engineered inorganic colloids: a review. *Environmental Science and Technology*, 48(16): 8946–8962.
- Radkhah A.R. 2017. Introduction to some species of *Argulus* (Crustacea: Branchiura), parasitic infections in the freshwater fishes. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 21(7): 1268–1271.
- Rajkumar K., Kanipandian N. and Thirumurugan R. Kittler S., Greulich C., Diendorf J., Koller M. and Epple M. 2010. Toxicity of silver nanoparticles increases during storage because of slow dissolution under release of silver ions. *Chemistry of Materials*, 22(16): 4548–4554.
- Klaine S.J., Koelmans A.A., Horne N., Carley S., Handy R.D., Kapustka L., Nowack B. and von der Kammer F. 2012. Paradigms to assess the environmental impact of manufactured nanomaterials. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31: 3–14.
- Koppe P. 1973. Untersuchungen tiber das Verhalten von Inhaltsstoffen der Abwiisser der metallverarbeitenden Industrie im Wasserkreislauf und ihren Einflull. auf die Wasserversorgung. *GWF Wasser Abwasser*, 114: 170–175.
- Krysanov E., Pavlov D., Demidova T. and Dgebuadze Y. 2010. Effect of nanoparticles on aquatic organisms. *Biology Bulletin*, 37: 406–412.
- Li M., Lin D.H. and Zhu L.Z. 2013. Effects of water chemistry on the dissolution of ZnO nanoparticles and their toxicity to *Escherichia coli*. *Environmental Pollution*, 173: 97–102.
- Lin D.H., Ji J., Long Z.F., Yang K. and Wu F.C. 2012. The influence of dissolved and surfacebound humic acid on the toxicity of TiO₂ nanoparticles to *Chlorella* sp. *Water Research*, 46(14): 4477–4487.
- Liu J.Y. and Hurt R.H. 2010. Ion release kinetics and particle persistence in aqueous nano-silver colloids. *Environmental Science and Technology*, 44(6): 2169–2175.
- Liu W., Long Y., Yin N., Zhao X., Sun C., Zhou Q. and Jiang G. 2016. Engineered nanoparticles and the environment: biophysicochemical processes and toxicity, First edition. Xing, B., Vecitis, C.D. and Senesi, N (eds.). Volume 1. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, USA.
- Lloyd R.M. 1965. Factors that affect the tolerance of fish to heavy metal poisoning. *BioI. Problems in Water Pollution*, 3rd Seminar 1962. United States Department of Health, Education, and Welfare, Washington, USA.
- Luis A.I.S., Campos E.V.R., Oliveira J.L. and Fraceto

- Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to silver nanoparticles. *Journal of Immunotoxicology*, 13(6): 909–917.
- Torres-Martínez Y., Arredondo-Espinoza E., Puente C., González-Santiago O., Pineda-Aguilar N., Balderas-Rentería I., López I. and Ramírez-Cabrera M.A. 2019. Synthesis of silver nanoparticles using a *Mentha spicata* extract and evaluation of its anticancer and cytotoxic activity. *PeerJ- Life and Environment*, 7: 1-13.
- Walters C., Pool E. and Somerset V. 2013. Aggregation and dissolution of silver nanoparticles in a laboratory-based freshwater microcosm under simulated environmental conditions. *Toxicology and Environmental Chemistry*, 95(10): 1690–1701.
- Walters C., Pool E. and Somerset V. 2016. Nanotoxicology: A review, toxicology - new aspects to this scientific conundrum. *IntechOpen*, 1: 20-40.
- Whitley L.S. 1968. The resistance of tubificid worms to three common pollutants. *Hydrobiologia*, 32: 193-205.
- Wong S.W.Y. and Leung K.M.Y. 2014. Temperature-dependent toxicities of nano zinc oxide to marine diatom, amphipod and fish in relation to its aggregation size and ion dissolution. *Nanotoxicology*, 8: 24–35.
- Zhang S.J., Jiang Y.L., Chen C.S., Spurgin J., Schwehr K.A., Quigg A. and et al. 2012. Aggregation, dissolution, and stability of quantum dots in marine environments: importance of extracellular polymeric substances. *Environmental Science and Technology*, 46(16): 8764–8772.
- Zhou D.X., Ji Z.X., Jiang X.M., Dunphy D.R., Brinker J. and Keller A.A. 2013. Influence of material properties on TiO₂ nanoparticle agglomeration. *PLoS ONE*, 8(11):1239-1247.
- Zitko V. and Carson W.G. 1976. A mechanism of the effects of water hardness on the lethality of heavy metals to fish. *Chemosphere*, 5: 299-303.
2016. Toxicity assessment on haematology, biochemical and histopathological alterations of silver nanoparticles-exposed freshwater fish *Labeo rohita*. *Applied Nanoscience*, 6: 19–29.
- Rana S. and Kalaichelvan P.T. 2013. Ecotoxicity of nanoparticles. *International Scholarly Research Notices*, 10: 1-11.
- Rather M.A., Sharma R., Aklakur M., Ahmad S., Kumar N., Khan M. and Ramya V.L. 2011. Nanotechnology: a novel tool for aquaculture and fisheries development. A prospective mini-Review. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 16: 1–6.
- Reinhard D. and Forstner U. 1976. Metallanreicherungen in Sedimentkernen aus Stauhaltungen des mittleren Neckars. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 5: 301–320.
- Ren C., Hu X. and Zhou Q. 2016. Influence of environmental factors on nanotoxicity and knowledge gaps thereof. *NanoImpact*, 2: 82–92.
- Rispoli F., Angelov A., Badia D., Kumar A., Seal S. and Shah V. 2010. Understanding the toxicity of aggregated zero valent copper nanoparticles against *Escherichia coli*. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3): 212–216.
- Schweiger G. 1956. The toxic action of heavy metals salts on fish and organisms. *Archive Fishereiwiss*: 8: 54-78.
- Shah B.H. and Mraz J. 2019. Advances in nanotechnology for sustainable aquaculture and fisheries. *Reviews in Aquaculture*. Accepted for publication.
- Tabata K. 1969. Studies on the toxicity of heavy metals to aquatic animals and the factors to decrease the toxicity. *Bulletin Tokai Regional Fisheries Research Laboratory*, 58: 203–261.
- Thummabancha K., Onparn N. and Srisapoom P. 2016. Analysis of hematologic alterations, immune responses and metallothionein gene expression in

Article Type: Regular article

نوع مقاله: پژوهشی

Leak Modeling in Water Supply Networks Using WaterGEMS Model and Artificial Neural Network

P. Miserjani¹, N. Sayari^{2*}, S. Sayari³

1,2,3-MSc Student, Assistant Professor and Guest Master, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

*(Corresponding Author Email: na_sa@uk.ac.ir)

Received: 20-01-2021

Accepted: 16-06-2021

مدل سازی نشت در شبکه های آبرسانی با استفاده از نرم افزار WaterGEMS و شبکه عصبی مصنوعی

پروانه میسرجانی^۱، نسرين سياري^{۲*}، ساره سياري^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، استادیار و استاد مدعو، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: na_sa@uk.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۶

Abstract

Loss of more than 30% of the incoming water to the country's drinking water distribution networks due to leakage from the network, has caused serious concern to the officials of the country's water and sewage companies and finding the location of leakage in distribution networks is one of the important issues and concerns of users and related organizations. Reducing the amount of leakage in water supply networks is one of the main methods of managing the water distribution network in different countries. Currently, several methods have been proposed to detect leaks in water supply networks. In this paper, hydraulic modeling of a real network flow by WaterGEMS hydraulic software and inverse solution of flow equations, having measured values of pressure in a number of network nodes, location prediction and leakage rate in the network Water distribution works were carried out in Mohiabad city located in Kerman province. First, the hydraulic model of the studied network was prepared and calibrated in the hydraulic analysis software and the amount of existing leaks was collected, and then by analyzing the network for different states and number of hypothetical leaks, the pressure values in different network nodes were calculated. In the second stage, using artificial neural networks, after network training, by presenting the measured pressures in some network nodes as input data to the neural network, the position and amount of possible leaks were predicted. Investigation and comparison of the results of hydraulic analysis of the network and artificial neural network showed a very high accuracy of artificial neural networks in estimating the amount and position of leaks.

Keywords: Leak Modeling, Water Loss, Pressure Difference, WaterGEMS Model, Artificial Neural Network.

چکیده

اتلاف بیش از متوسط ۳۰ درصد آب ورودی به شبکه های توزیع آب شرب کشور در اثر نشت از شبکه، موجب نگرانی جدی مسئولین شرکت های آب و فاضلاب کشور شده و یافتن موقعیت نشت در شبکه های توزیع یکی از مسائل و دغدغه های مهم کاربران و سازمان های مربوطه می باشد. کاهش میزان نشت در شبکه های آبرسانی یکی از روش های اصلی مدیریت شبکه ای توزیع آب در کشورهای مختلف به شمار می رود. در حال حاضر روش های متعددی برای شناسایی نشت در شبکه های آبرسانی ارائه شده است. در این مقاله، مدل سازی هیدرولیک جریان یک شبکه واقعی توسط نرم افزار هیدرولیکی WaterGEMS و حل معکوس معادلات جریان، با داشتن مقادیر اندازه گیری شده فشار در تعدادی از گره های شبکه، پیش بینی محل و میزان نشت موجود در شبکه های توزیع آب شهر محی آباد واقع در استان کرمان انجام شد. ابتدا مدل هیدرولیکی شبکه مورد بررسی در نرم افزار تحلیل هیدرولیکی تهیه و کالیبره شده و مقدار نشت های موجود برداشت و سپس با تحلیل شبکه برای حالات و مقادیر مختلف وجود نشت های فرضی، مقادیر فشار در گره های مختلف شبکه محاسبه شد. در مرحله دوم با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، پس از آموزش شبکه، با ارائه فشارهای اندازه گیری شده در برخی از گره های شبکه به عنوان داده های ورودی به شبکه عصبی، موقعیت و مقدار نشت های احتمالی موجود، پیش بینی شد. بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل هیدرولیکی شبکه و شبکه عصبی مصنوعی نشان دهنده دقت بسیار بالای شبکه های عصبی مصنوعی در تخمین مقدار و موقعیت نشت ها بود.

واژه های کلیدی: مدل سازی نشت، هدررفت آب، اختلاف فشار، مدل WaterGEMS، شبکه عصبی مصنوعی.

مدیریت فشار می‌توان مقدار نشت را حدود ۳۶ درصد کاهش داد. روشی دیگر بر مبنای تشخیص هشدار زودهنگام و کنترل نشت خط لوله توسط Nicolinie و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شد. این روش شامل کالیبراسیون و مدیریت مطلوب نشت بود. نتایج آنها نشان داد با انجام کالیبراسیون میزان خطاها به ۳/۷ متر برای فشارها و ۰/۲ لیتر بر ثانیه برای دبی جریان محدود شد و در این روش استفاده از دریچه‌های کاهش فشار برای مدیریت نشت پیشنهاد شد. Roy (۲۰۱۷) برای تشخیص نشت در شبکه‌های آبرسانی از مدل شبکه عصبی ترکیبی جهت بررسی نوسانات فشار استفاده نمود. روش پیشنهادی یک رویکرد نوآورانه برای تشخیص نشت در خطوط لوله های آبرسانی بود و برای به دست آوردن موقعیت دقیق یک نقطه نشت، از الگوریتم مکان‌یابی استفاده شد. نتایج او نشان دهنده دقت بالا و توانایی تشخیص دقیق نشت در خطوط لوله بود.

Jafari و همکاران (۲۰۱۸) مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه‌های توزیع آب را با هدف حداقل کردن نشت بررسی و از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر یکی از انواع الگوریتم‌های فراکاوشی تحت عنوان الگوریتم فرهنگی (CA) بررسی کردند. آن‌ها در این مدل الگوریتم بهینه‌سازی CA در محیط Matlab را با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدل Epanet تلفیق کردند. نتایج آنها نشان داد، با به کار بردن روش ارائه شده برای جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشار شکن، ضمن رعایت قیود مسئله، میزان نشت متوسط شبکه در سه شرایط تقاضای آبی حداکثر، متوسط و حداقل به میزان ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت.

AhmadFouad و همکاران (۲۰۱۹) به منظور تشخیص نشت در شبکه توزیع آب از سنسور یا حسگرهای بی‌سیم استفاده کردند. سنسورهای مبتنی بر زمان واقعی هرگونه بروز را اطلاع می‌دهند و الگوریتم قبل از تجسم و اطلاع‌رسانی، نشتی را پیش‌بینی می‌کند. در این بررسی روش تشخیص نشت مبتنی بر زمان واقعی و فناوری شبکه آب بی‌سیم است. سنسورها مجهز به اندازه‌گیری جریان، نمونه‌برداری صدای گذرا و سوابق فشار هستند. لازم به ذکر است، مدل‌سازی هیدرولیک سنسورهای بی‌سیم راه حل در دسترس برای تشخیص نشت هستند. سنسورهای نظارت بر زمان به اپراتور آب کمک می‌کنند تا وضعیت شبکه آب خود را کنترل کند افزون به سنسورها و یکپارچه‌سازی بین آنها با دیگری امکان نظارت مستمر را فراهم کرده و می‌توان نشت را قبل از وقوع پیش‌بینی نمود.

کنترل هوشمند فشار، روشی مناسب برای کنترل نشت و کاهش صدمات ناشی از فشارهای زیاد در شبکه است. نتایج کنترل هوشمند فشار پس از مدل‌سازی و تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و نصب شیر فشار شکن در شیر ورودی شبکه، همچنین تحلیل هیدرولیکی، نشان می‌دهد، می‌توان با استفاده از روش مدیریت فشار، ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵ درصد،

در گذشته مطالعات و بررسی‌های اندکی در خصوص کاهش آب به حساب نیامده در شهرهای بزرگ و کلان‌شهرهای کشور صورت گرفته است. درحالی‌که نتایج این تحقیقات در شهرهای کم‌جمعیت و کوچک کارساز نبوده و قابلیت تعمیم به شهرهای کمتر از ده هزار انشعاب (شهرهایی با جمعیت کمتر از ۳۵۰۰۰ نفر) نخواهد داشت. همچنین با سکونت نزدیک به ۳۷ درصد جمعیت شهرنشین کشور در شهرهای کوچک نیاز به مطالعه خاص در این مورد بسیار ضروری به نظر می‌رسد (طالبی، ۱۳۹۵). هدف اصلی کاهش نشت و در نتیجه آن کاهش آب به حساب نیامده^۱ یا آب بدون درآمد^۲ در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مقابله با کم‌آبی به دلیل خشکسالی‌ها و محدودیت منابع آب می‌باشد. اما هدف مهم دیگر مربوط به جنبه‌های اقتصادی آن می‌باشد، به‌طوری‌که با کاهش میزان آب‌های به حساب نیامده، هزینه‌های ناشی از مصرف برق، ذخیره‌سازی، تصفیه و پمپاژ کاهش یافته و در عوض به دلیل پرداخت آب‌بها، درآمدی برای شرکت‌های آب و فاضلاب به همراه خواهد داشت. همچنین اگر بتوان با کاهش آب‌های به حساب نیامده به تقاضاهای جدید مشترکین پاسخ داد، در هزینه مربوط به توسعه منابع آب، برای نمونه ساخت سد و مخزن جدید، ساخت و تجهیز تصفیه‌خانه‌های جدید و دیگر موارد صرفه‌جویی زیادی خواهد شد (ایدی و قاضی زاده ۱۳۸۸).

به‌طورکلی عامل اصلی انتقال آب در شبکه‌ها، اختلاف هد فشاری بین دو نقطه است. اما فشار بیشتر از حد استاندارد در نقاط مختلف شبکه باعث نشت آب می‌شود. بسیاری از شبکه‌های توزیع آب در معرض بحران کمبود منابع آبی، محدودیت‌های اقتصادی جهت بهره‌برداری بهینه و کهنگی و فرسودگی اجزای خود قرار داشته و فرسودگی آنها باعث ایجاد شکست مکانیکی و هیدرولیکی در اجزای شبکه و در نتیجه افزایش نشت می‌شود. لذا، مدیریت مصرف در شبکه‌های توزیع آب شهری، از مهمترین راهکارهای مبارزه با تلفات آب و کاهش هدر رفت این سرمایه ملی است. انتخاب صحیح محل احداث مخازن ذخیره، اجرای طرح ناحیه‌بندی فشار، کنترل پمپاژ، کنترل سطح آب در مخازن ذخیره، احداث حوضچه‌های تعدیل فشار و استفاده از شیرهای کنترل جریان و فشار، از جمله ابزارهای مناسب جهت مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب است (Zhi-Hong و Jing، ۲۰۱۲). به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر در ایجاد نشت، شناسایی محل‌های احتمالی نشت و نیز مقدار نشت در شبکه‌های توزیع آب، تحقیقات متعددی توسط محققین مختلف صورت گرفته است. (Soltani Asl و Maghrebi، ۲۰۰۸) با استفاده از نرم‌افزار EPANET و با در نظر گرفتن نشت در گره‌ها نشان دادند با

توزیع فشار را نیز در شبکه یکنواخت تر نمود (سلطانی اصل، ۱۳۸۸). فاضل ولی پور و فغفور مغربی (۱۳۸۸)، مکان نشت و تعیین مقدار آن، براساس روشی بر پایه بهینه سازی از طریق کالیبراسیون مدل هیدرولیکی فشارهای گره های شبکه و سیستم توزیع آب شهری را به کمک نرم افزار WaterGEMS بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد، روش در شناسایی گره های دارای نشت و مقدار نشت در زمان حداقل جریان شبانه کارآمد است. کلیایی و محمدولی سامانی (۱۳۹۰) مطالعاتی جهت پیش بینی محل نشت در شبکه های توزیع آب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند. آنها به منظور پیش بینی محل و میزان نشت در شبکه های توزیع آب، با داشتن فشار اندازه گیری شده در تعدادی از گره های شبکه، روشی مبتنی بر مدل سازی هیدرولیکی و حل معکوس معادلات جریان ارائه نمودند. مغربی و عطاری (۱۳۹۲) به انجام فشارسنجی در حالت وجود و عدم وجود نشت در شبکه در حالت وجود دو نشت هم زمان، موقعیت نشت ها را در شبکه آبرسانی تعیین کردند. عطاری و فغفور مغربی (۱۳۹۷) یک ایده جدید برای تعیین موقعیت و مقدار نشت های موجود در شبکه های توزیع آب ارائه کردند. آنها با اعمال نشت فرضی در گره های مشخصی از شبکه، تولید داده های آموزشی و اعمال آن به شبکه عصبی، مقدار و موقعیت نشت های موجود گرهی را با دقت مناسبی تعیین کردند.

آزادفر و همکاران (۱۳۹۸) مطالعه ای جهت معرفی جدیدترین الگوریتم های ژنتیک چندهدفه NSGA-II به عنوان ابزار بهینه سازی انجام دادند. آنها جهت حل مدل های بهینه سازی، یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم افزار Matlab نوشته و از نرم افزار Epanet برای شبیه سازی هیدرولیکی شبکه توزیع آب استفاده کردند. نتایج نشان داد، نصب و تنظیم شیرآلات فشارشکن مطابق با موقعیت ها و تنظیمات بهینه خروجی مدل های پیشنهادی بهبود قابل توجهی در اهداف مورد نظر به وجود خواهد آورد.

شیرزاد و همکاران (۱۳۹۹) پس از تهیه مدل هیدرولیکی کالیبره شده برای شبکه توزیع آب شهر اشنویه واقع در استان آذربایجان غربی، قابلیت اطمینان شبکه مذکور را ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد مقدار متوسط شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در طول شبانه روز برابر $3/3$ بوده و این به معنی وضعیت بهره برداری پر تنش می باشد. بررسی دلایل پایین بودن قابلیت اطمینان آنها منجر به شناسایی نقاط ضعف و نارسایی این شبکه شد که از جمله این نقاط ضعف می توان به قطر نامناسب برخی لوله ها، ضعف و نارسایی در اجرای برنامه مدیریت فشار، وضعیت نامناسب بخش حلقوی شبکه و مقدار بالای نشت از شبکه (حدود 52 لیتر در ثانیه) اشاره نمود.

شیرزاد و همکاران (۱۳۹۹) پس از تهیه مدل هیدرولیکی کالیبره شده برای شبکه توزیع آب شهر اشنویه واقع در استان آذربایجان

غربی، قابلیت اطمینان شبکه گفته شده را ارزیابی کردند. در این پژوهش پس از تهیه مدل هیدرولیکی کالیبره شده برای شبکه توزیع آب شهر اشنویه واقع در استان آذربایجان غربی، اقدام به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه مذکور شد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار متوسط شاخص قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب شهر اشنویه در طول شبانه روز برابر با $3/3$ بود که به معنی وضعیت بهره برداری پرتنش است. آنها با بررسی دلایل پایین بودن قابلیت اطمینان به شناسایی نقاط ضعف و نارسایی این شبکه پرداختند که از جمله آنها می توان به قطر نامناسب برخی لوله ها، ضعف و نارسایی در اجرای برنامه مدیریت فشار، وضعیت نامناسب بخش حلقوی شبکه و مقدار بالای نشت از شبکه (حدود 52 لیتر در ثانیه) اشاره نمود. نتایج پژوهش آنها نشان داد که با ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع آب می توان نقاط ضعف موجود را شناسایی و نسبت به ارتقاء سطح سرویس دهی آنها و افزایش رضایت مندی مشترکین اقدام نمود.

مروار تحقیقات انجام شده، نشانگر لزوم تداوم مطالعه در زمینه بررسی پدیده نشت در شبکه های توزیع آب است. لذا در این پژوهش، ایده ای جدید به منظور تعیین موقعیت و مقدار نشت های موجود در شبکه های توزیع آب شهری محی آباد واقع در استان کرمان با استفاده از مدل WaterGEMS و شبکه عصبی مصنوعی معرفی می شود. با تولید داده های آموزشی و اعمال آن به شبکه های عصبی مصنوعی، شبکه قادر خواهد بود، با دریافت فشار، موقعیت و مقدار دقیق نشت گرهی را تعیین کند. همچنین با مدل نمودن شبکه آب و کالیبره نمودن آن، مقدار نشت هر کدام از گره های شبکه توزیع آب با استفاده از مدل تحلیل هیدرولیکی WaterGEMS برآورد و در نهایت نتایج حاصل، با استفاده از شاخص های آماری R^2 و RMSE با یکدیگر مقایسه شدند.

مواد و روش ها

• منطقه مورد مطالعه

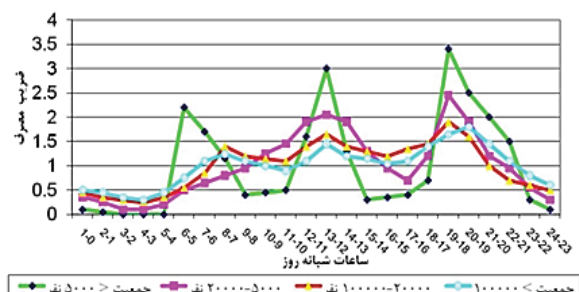
شبکه مورد بررسی در این پژوهش قسمتی از شهر محی آباد است که موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است. محی آباد در فاصله 18 کیلومتری جنوب شهرستان کرمان در مسیر بزرگراه هفت باغ در میان شهرهای ماهان و جویبار قرار دارد و در ارتفاع بالاتری نسبت به شهر کرمان است. این شهر از ادغام سه روستای محی آباد، کوثرخیز و حسین آباد تشکیل شده است. این شهر دارای جمعیت حدود چهارهزار نفر و اقلیم معتدل در فصول گرم از ویژگی های آب و هوایی محی آباد است که باعث تمرکز اغلب فعالیت های تفریحی و توریستی در فصول گرم سال شده است.

برای دستیابی به مصارف نرمال شبکه در یک ساعت به خصوص لازم است، نوسانات ساعتی مصرف را در مصرف متوسط روزانه لحاظ نمود. برای این منظور می‌توان بیان کرد مصرف متعارف مردم در هر ساعت به صورت ضریبی از مصرف متوسط روزانه می‌باشد. به عبارتی مصرف نرمال در ساعت h با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$Q_{\text{normal}}^h = \alpha Q_m^d \quad (1)$$

که در آن Q_m^d ضریب مصرف نرمال نامیده می‌شود، α متوسط مصرف روزانه شهر نامیده می‌شود.

تعیین ضریب α مهمترین بخش از محاسبه مصارف نرمال در شبکه می‌باشد تنها روش به دست آوردن این ضریب، تجزیه و تحلیل آماری مصارف ساعتی ساکنین یک شهر است. یک راه به دست آوردن ضریب مصرف نرمال α ، استفاده از شکل (۳) که شماتیک شدت نوسانات ساعتی مصرف را نشان می‌دهد، می‌باشد. با توجه به جمعیت شهر تعیین و سپس درصد مصرف در ساعت موردنظر از روی نمودار به دست می‌آید.



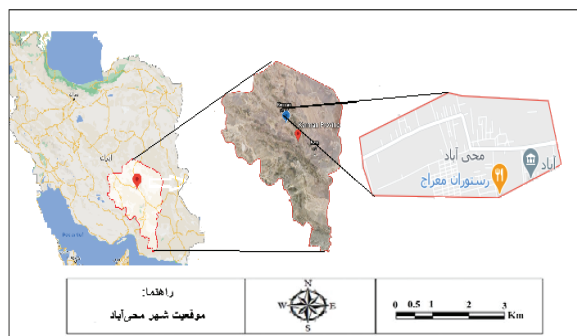
شکل ۳- نمونه‌ای از نوسانات ساعتی مصرف (ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی، نشریه ۳۸۰-الف).

• اندازه‌گیری‌های میدانی و کالیبراسیون

پس از وارد کردن مشخصات کامل و مورد نیاز شبکه و ساخت مدل شبکه توزیع، مدل باید با استفاده از اطلاعات میدانی، بازبینی شود. این فرآیند کالیبراسیون شبکه است و اولین گام برای کالیبراسیون، جمع‌آوری اطلاعات میدانی می‌باشد. مهمترین اطلاعات جمع‌آوری شده میدانی معمولاً اندازه‌گیری‌های فشار و جریان می‌باشند.

کالیبراسیون فرآیند مقایسه نتایج مدل با نتایج میدانی برداشت شده و در صورت نیاز تنظیم پارامترهای شبکه تا رسیدگی به هماهنگی مناسب بین نتایج مدل با نتایج میدانی در بازه گسترده‌ای از شرایط مختلف عملکردی سیستم می‌باشد (Ormsbee, ۱۹۸۹). نرم‌افزار WaterGEMS از جمله قوی‌ترین نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب می‌باشد، علاوه بر تحلیل هیدرولیکی توانایی انجام فرآیند کالیبراسیون با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک را دارد. الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌یابی و جستجو می‌باشد

همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، این شبکه دارای ۱۱۵ گره و ۱۱۶ لوله و یک مخزن که به صورت نقطه قرمز نمایش داده شده است. طول کل شبکه مورد بررسی برابر ۱۵ کیلومتر و اختلاف ارتفاع بالاترین و پایین‌ترین نقطه شبکه ۱۳۵ متر است. ابتدا شبکه در نرم‌افزار WaterGEMS مدل شده و مشخصات شبکه از جمله اطلاعات رقومی گره‌ها و مخزن، جنس و طول لوله‌ها (جدول ۱) به طور کامل به نرم‌افزار داده شد. سپس با داشتن مقادیر فشارهای واقعی تعدادی از گره‌ها، کالیبراسیون شبکه انجام می‌گیرد تا شبکه طراحی شده به واقعیت نزدیک‌تر شود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (استان کرمان، شهر محی آباد)



شکل ۲- مدل اسکلت‌بندی شده شبکه توزیع آب شهر محی آباد

جدول ۱- جنس و طول لوله‌های موجود در شبکه

جنس لوله	طول لوله (کیلومتر)
آزبست	۷/۳۴
پلی اتیلن	۴/۸۵
چدن	۲/۸۱

• اطلاعات مربوط به مصرف نرمال

در یک شبکه توزیع آب با توجه به نیاز مصرف آب ساکنین در هر ساعت از شبانه‌روز، یک مصرف ویژه وجود خواهد داشت. جهت انجام آزمایشات مربوط به نشتیابی لازم است تا مصرف نرمال ساکنین شهر در ساعت خاصی که قرار است آزمایش انجام گیرد، به دست آورده شود.

که ایده اولیه آن از نظریه تکامل الهام گرفته شده و در بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک، در هر نسل مقادیر متغیرهای تصمیم مسأله تنظیم و اصلاح می‌شوند (Tabesh و همکاران، ۲۰۱۱). یکی از روش‌های نشت‌یابی در شبکه توزیع آب، استفاده از کالیبراسیون فشارهای گره‌ای با برداشت فشار در چند نقطه شبکه است. با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS علاوه بر کالیبراسیون شبکه، مقادیر و موقعیت نشت را در شبکه توزیع آب تخمین می‌زنند (مغربی و همکاران، ۱۳۹۳).

گره‌های آزمون گره‌هایی هستند که اندازه‌گیری فشار در آنها امکان‌پذیر است. این گره‌ها در نتیجه بررسی نقشه‌های موجود و بازدید محلی، شناسایی می‌شوند. بدیهی است هرچه تعداد گره‌های آزمون در یک شبکه بیشتر باشد، مطالعات نشت‌یابی صورت گرفته در این شبکه دقت عمل و قابلیت اطمینان بیشتری خواهند داشت. در این تحقیق ۱۰ گره به‌عنوان گره آزمون بررسی شد. فشارهای اندازه‌گیری شده در گره‌های آزمون شبکه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- فشار در گره‌های آزمون شبکه در ساعت آزمون (۴ بامداد)

فشار (متر آب)	شماره گره
۴۳/۸۵	۶
۳۸/۷۵	۱۸
۲۱/۴۱	۴۶
۴۰/۷۹	۵۳
۸۱/۵۸	۶۲
۴۸/۹۵	۶۹
۲۰/۳۹	۸۳
۲۰/۳۹	۸۷
۳۲/۶۳	۱۰۶
۴۰/۷۹	۱۱۰

• ساختار مدل‌سازی نشت در مدل هیدرولیکی

با افزایش مقدار نشت، فشار به‌صورت غیر خطی کاهش می‌یابد (بی‌نام، ۱۳۸۹). برای پیش‌بینی تغییرات نشت با کنترل فشار، نیاز به رابطه‌ای است که نشت در هر نقطه از شبکه را به‌صورت تابعی از فشار در آن نقطه نمایش دهد. برای نشت آزاد (تخلیه در هوا)، می‌توان از معادله تئوری دبی خروجی از روزنه، با فرض سطح مقطع ثابت به‌صورت رابطه (۲) استفاده کرد.

$$Q = KP^{0.5} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Q دبی نشت از روزنه موجود بر روی لوله، P فشار در محل نشت و K ضریب ثابتی است که بستگی به شکل و سطح مقطع روزنه دارد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این

رابطه میزان نشت متناسب با جذر فشار در محل وقوع نشت در نظر گرفته شده است. برخی از تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند دبی نشت به مقدار قابل توجهی از آنچه دبی روزنه پیشنهاد می‌کند، بیشتر است (تائبی، ۱۳۷۸). بنابراین به‌عنوان یک رابطه کلی برای تخمین نشت از رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$Q = CP^n \quad (3)$$

ضریب C بستگی به ویژگی‌های خاص هر روزنه دارد. در منابع مختلف و برای کشورهای مختلف با توجه به وضعیت شبکه توزیع آنها مقادیر مختلفی برای توان n پیشنهاد شده است.

روش‌های مختلفی برای تخصیص نشت روزنه‌های فرضی در نظر گرفته شده بر روی لوله به گره‌های موجود در شبکه و محاسبه وجود دارد، با توجه به امکان استفاده از خاصیت آفشان‌های نرم‌افزار WaterGEMS، در این مقاله از این امکان استفاده شده است. آفشان‌ها، تأسیسات متصل به انشعابات هستند که جریان عبوری از یک نازل یا روزنه، که به اتمسفر تخلیه می‌شود را مدل می‌کنند. دبی عبوری از یک آفشان به‌صورت تابعی از فشار موجود، در گره تغییر می‌کند. برای مدل‌سازی آفشان‌ها در WaterGEMS از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

$$Q_i = C_i P_i^N \quad (4)$$

که Q_i دبی جریان آفشان i ام، P_i فشار در محل پخش‌کننده i ام، C_i ضریب شدت جریان و N توان فشار است (اسدیانی یکتا، ۱۳۸۳).

• شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی سیستم‌های دینامیکی هستند که با پردازش داده‌های تجربی، دانش و یا قانون نهفته در داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند. به همین خاطر این سیستم‌ها را هوشمند می‌نامند، چرا که براساس انجام محاسبات بر روی داده‌های عددی یا نمونه‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند. تا آنجایی که این سیستم‌های مبتنی بر هوش محاسباتی سعی در مدل‌سازی ساختار نرو-سیناپتیکی مغز بشر دارند. شبکه‌های عصبی چند بخش مهم دارند که اساس آن‌ها را تشکیل می‌دهد. هریک از این بخش‌ها با یک دلیل منطقی و یک وظیفه مشخص استفاده می‌شوند و مهمترین آنها عبارتند از:

- ۱- ورودی p : پارامترهای ورودی یک مقدار اولیه خام است که بدون هیچ تغییری به نرون وارد می‌شود اما مستقیماً وارد عمل نمی‌شود.
- ۲- تابع انتقال f : این قسمت که در برخی مراجع با عنوان تابع فعال‌سازی^۴ نیز نام‌گذاری شده است، عمل پردازش بر روی داده‌های ورودی را انجام می‌دهد. توابع فعال‌سازی از طریق طراح شبکه تعیین می‌شوند. بسته به دلخواه طراح، توابع فعال‌سازی در لایه‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد.
- ۳- وزن w : یک پارامتر اسکالر است که در ورودی p ضرب می‌شود؛

به این معنی که با استفاده از وزن، تأثیر ورودی در خروجی نرون مشخص می‌شود. هر ورودی در ضریب وزنی مربوط به خودش ضرب می‌شود.

۴- بایاس b : پارامتری است که مرز تشخیص را جابه‌جا می‌کند و با ضریب واحد وارد می‌شود؛ در واقع آستانه تحمل نرون توسط این پارامتر تعیین می‌شود و با تغییر آن، تغییر خواهد کرد.

۵- خروجی a_n : پس از انجام عملیات پردازش بر روی داده‌های ورودی، در نهایت داده خروجی توسط نرون ایجاد خواهد شد. ارتباط بین خروجی و ورودی‌های نرون را می‌توان به صورت رابطه (۵) نشان داد:

$$a_n = f(wp + b) \quad (5)$$

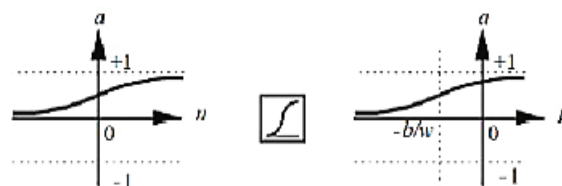
نحوه آرایش و در واقع کنار هم قرار گرفتن انواع نرون‌ها را معماری^۷ (ساختار) شبکه می‌نامند. با ایجاد معماری‌های متفاوت می‌توان شبکه‌های ساده و یا پیچیده‌تر طراحی نمود. در واقع قابلیت شبکه بر حسب نوع معماری آن تغییر می‌کند و دقت محاسبات صورت گرفته در آن کمتر یا بیشتر می‌شود.

تابع محرک لگاریتمی زیگموئید:

این تابع به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$a = f_s(n) = \frac{1}{1 + e^{-cn}} \quad c > 0 \quad (6)$$

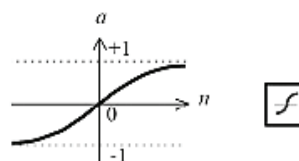
شکل این تابع به اِزاء $C=1$ در شکل (۴) رسم شده است. مقدار C وسعت ناحیه خطی بودن تابع را تعیین می‌کند. این تابع، در شبکه‌های عصبی استفاده زیادی دارد که به عنوان نمونه می‌توان به شبکه‌های عصبی چند لایه با قانون یادگیری پس انتشار خطا اشاره کرد.



$$a = \text{logsig}(n)$$

شکل ۴- تابع محرک لگاریتمی زیگموئید

تابع محرک تانژانت زیگموئید:



$$a = \text{tansig}(n)$$

شکل ۵- تابع محرک تانژانت زیگموئید

• تهیه داده‌های مورد نیاز جهت آموزش شبکه عصبی مصنوعی

پس از ایجاد مدل، درحالتی که هیچ نشانی در گره‌ها وجود ندارد، شبکه تحلیل هیدرولیکی شده و کلیه مقادیر فشار در گره‌های شبکه اندازه‌گیری شد. سپس به منظور تحلیل معکوس شبکه، در چندین حالت مختلف با استفاده از خاصیت آبفشان‌های WaterGEMS نشت در گره‌های مختلف شبیه‌سازی شد. جهت تهیه داده‌های مورد نیاز برای آموزش شبکه عصبی باید رفتار شبکه در صدها یا هزاران حالت مختلف با وجود مقادیر متفاوت نشت در هر کدام از گره‌ها و وجود نشت در بیش از یک گره به صورت هم‌زمان، مدل شود و مقادیر فشار در هر کدام از حالت‌های مختلف این امر به دست آورده شود.

پس از چندین بار تکرار مراحل بالا، داده‌های مورد نیاز جهت آموزش شبکه که متشکل از ۱۰۵۰ سری داده می‌باشند، فراهم می‌شود. مقادیر فشارها در کلیه گره‌های شبکه به عنوان بردار ورودی شبکه و مقادیر نشت متناظر با آنها به عنوان بردار هدف به شبکه داده می‌شود.

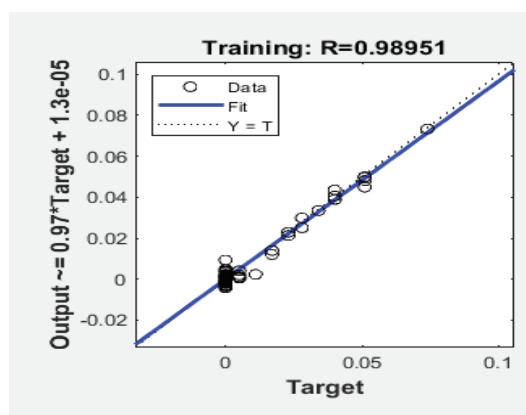
پس از آماده‌سازی ماتریس ورودی و خروجی، باید تقسیم‌بندی داده‌ها به سه بخش داده‌های آموزشی، داده‌های صحت‌سنجی و داده‌های آزمون، صورت گیرد تا شبکه ضمن انجام محاسبات بهینه‌سازی جهت بهبود وزن و بایاس در هر لینک، بتواند گزارش مناسبی از چگونگی عملکرد خود را در اختیار قرار دهد. در این پژوهش داده‌های آموزشی ۷۰ درصد از مقدار کل را دربر می‌گیرند و داده‌های صحت‌سنجی و تست هر یک به میزان ۱۵ درصد خواهند بود (Zhang, ۲۰۰۲).

• مقایسه نتایج حاصل از شناسایی نشت توسط WaterGEMS

و شبکه عصبی مصنوعی

شاخص‌های پرباربرد که به منظور ارزیابی نتایج حاصل از محاسبات و مقایسه آن با سایر روش‌ها به کار می‌روند، شامل: NS ، CRM ، R^2 و $RMSE$ می‌باشند. شاخص نش-ساتکلیف یا به اختصار NS ، اختلاف نسبی مقادیر را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است؛ عدد یک بیانگر انطباق کامل بین نتایج و سایر روش‌ها می‌باشد و هرچه عدد کوچک‌تر شود، اختلاف بیشتر بین نتایج را نشان می‌دهد (Nash و Sutcliffe, ۱۹۷۰). شاخص‌های آماری دیگر، ضریب مجموع باقی‌مانده CRM و ضریب تعیین R^2 و ریشه دوم میانگین مربع خطاها $RMSE$ می‌باشند. CRM اندازه گرایش شبیه به سمت تخمین اندازه‌گیری بیش از حد یا کمتر از حد است. CRM مثبت نشانگر گرایش به سمت تخمین بیش از حد است، در شرایطی که مقدار محاسبات و مشاهداتی باهم برابر باشند. در حالت آرمانی، مقدار این شاخص‌ها به ترتیب $CRM=0$ ، $RMSE=0$ و $R^2=1$ خواهند بود (Santhi و همکاران, ۲۰۰۱).

خطای MSE	ضریب همبستگی	الگوریتم آموزش	ساختار شبکه
۰/۰۱۳۳	۰/۹۵۰۷۱	Trainlm	۱-۲۰-۱
۰/۰۱۵۳	۰/۹۳۲۵	Trainlm	۱-۱۳-۱
۰/۰۱۰۵	۰/۸۹۲۳	Trainlm	۱-۱۳-۱۱-۱
۰/۰۲۰۶	۰/۹۵۲۲	Trainlm	۱-۱۹-۱۷-۱
۰/۰۰۵۶	۰/۹۸۹۵۱	Trainlm	۱-۱۵-۱۳-۱
۰/۰۱۹۳	۰/۹۲۴۰	Trainscg	۱-۱۷-۱۵-۱
۰/۰۲۵	۰/۸۸۹۱	Trainscg	۱-۲۰-۱
۰/۰۶۵۰	۰/۷۳۰۶	Trainscg	۱-۱۶-۱
۰/۰۵۸۳	۰/۶۴۰۲	Trainscg	۱-۱۷-۱۳-۱

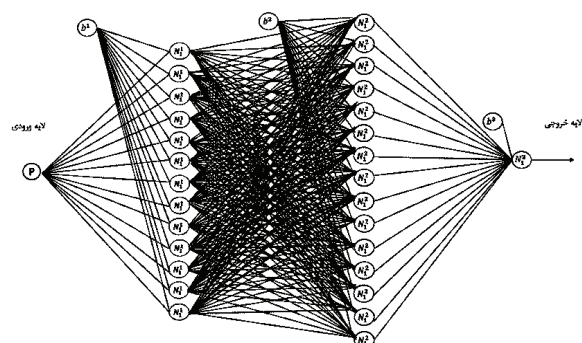


شکل ۷- مقایسه ضرایب نشت مدل‌سازی شده با خروجی شبکه عصبی و تعیین ضریب رگرسیون

با بررسی ضرایب c به دست آمده برای گره‌ها، می‌توان نواحی مشکوک به نشت را شناسایی کرد. در جدول (۴) نتایج حاصل از ضرایب نشت مدل‌سازی شده و حاصل از شبکه عصبی در شبکه مورد بررسی در حالت پویا و در ساعت آزمون ۴ بامداد ارائه شده است. باتوجه به جدول (۴) و با مقایسه ضرایب نشت دریافتی از شبکه عصبی و ضرایب نشت مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار WaterGEMS، کارایی خوب شبکه‌های عصبی برای حل اینگونه مسائل تأیید می‌شود. با بررسی ضرایب نشت به دست آمده برای گره‌های شبکه می‌توان گره‌ها و در نتیجه لوله‌های مشکوک به نشت را شناسایی کرد. نتایج این بررسی با مقدار فشارهای تعیین شده در ساعت آزمون، در جدول (۵) قابل مشاهده است. لازم به توضیح است معمولاً برای تأیید کارایی شبکه به جای یک بردار ورودی، از یک سری داده که در مرحله آموزش به شبکه داده نشده‌اند به عنوان تست استفاده می‌شود و باتوجه به مقادیر خطا و آنالیز رگرسیون بین مقادیر خروجی و هدف، در صورت به دست آمدن نتایج قابل قبول، کارایی مطلوب شبکه تأیید می‌شود.

• جزئیات شبکه عصبی

جهت بررسی این مدل از شبکه مورد بحث، یک شبکه پرسپترون دو لایه با تعداد ۱۳ نرون در لایه پنهان اول و ۱۵ نرون در لایه پنهان دوم ایجاد شد. تعداد نرون‌های لایه خروجی برابر با تعداد مؤلفه‌های بردار هدف می‌باشد. توابع فعالیت به کار رفته تابع $\logsig$ برای هر دو لایه پنهان و تابع $purelin$ برای لایه خروجی بوده و جهت آموزش شبکه از تابع $trainlm$ و الگوریتم پس انتشار استفاده شد. همه پارامترهای شبکه عصبی پس از تعداد دفعات زیاد ایجاد شبکه با معماری‌های مختلف و توابع فعالیت و آموزش متفاوت و انتخاب بهینه‌ترین حالت از بین همه حالات مورد آزمایش به روش سعی و خطا برگزیده شدند که ملاک این گزینش بر مبنای کمترین میزان خطای ایجاد شده (میانگین مربعات خطا یا MSE) و بیشترین مقدار ضریب همبستگی R بین بردارهای خروجی و هدف (هرچه مقدار این معیار به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی مطلوب و دقت بالاتر مدل است) قرار گرفت. باتوجه به مشخصات بهینه شبکه، ساختار شبکه عصبی برای پیش‌بینی نشت شبکه توزیع آب به صورت شکل (۶) است.



شکل ۶- ساختار بهینه شبکه عصبی

• نتایج حاصل از روندیابی نشت توسط شبکه عصبی

با انتخاب بهترین معماری و پارامترهای بهینه برای شبکه عصبی، شبکه ایجاد شده تا حدود زیادی توانایی پیش‌بینی محل و مقدار نشت را در گره‌های مختلف شبکه برای حالت‌های متفاوت نشت در شرایط واقعی خواهد داشت. در جدول (۳) مقایسه‌ای بین چند معماری مختلف و خروجی آنها انجام شده است. جزئیات عملکرد بهترین معماری انتخاب شده از بین کلیه شبکه‌های آزمایش شده در شکل (۷) قابل مشاهده است. در بهترین حالت انتخاب شده از بین کلیه شبکه‌های آزمایش شده، ضرایب نشت حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی نسبت به مقادیر مدل‌سازی شده توسط WaterGEMS، دارای ضریب همبستگی ۰/۹۸ و خطای MSE شبکه برابر ۰/۰۰۵۶ است.

جدول ۴- ضرایب نشت مدل‌سازی شده و حاصله از شبکه عصبی در شبکه شاخص در ساعت آزمون (۴ بامداد)

شماره گره	ضریب نشت به دست آمده از شبکه عصبی	ضریب نشت مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار
۷	۰	۰
۱۹	۰/۰۷۱	۰/۰۷
۲۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲
۳۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵
۵۳	۰/۰۳۸	۰/۰۴
۶۲	۰	۰
۶۳	۰/۰۵۹۶	۰/۰۶
۶۹	۰/۰۷۱	۰/۰۷
۷۰	۰/۰۰۳	۰
۷۸	۰/۰۰۱	۰
۸۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲
۸۷	۰/۰۳۳	۰/۰۳
۹۳	۰	۰

جدول ۵- گره‌ها و لوله‌های مشکوک به نشت

لوله‌های مشکوک به نشت	گره‌های نشت‌دار
۱۵-۲۲-۶۱	۱۹
۴۲	۲۲
۳۷-۴۰-۸۲	۳۷
۹۶	۵۳
۳۳-۵۳-۵۴	۶۳
۵۷-۵۸-۹۳	۶۹
۴-۵-۶۶	۸۳
۱۴-۲۹	۸۷

در این تحقیق با مقایسه نشت‌های حاصل از مدل تحلیل هیدرولیکی WaterGEMS و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از مقادیر شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE و MSE که به ترتیب برابر ۰/۹۸۵، ۰/۰۰۳ و ۰ می‌باشند، می‌توان به دقت بالای شبکه‌های عصبی و تخمین دقیق آن اشاره نمود.

از مزایای روش پیشنهادی سادگی و عدم نیاز به آزمایشات پیچیده و یا وسایل خاص یا گران قیمت می‌باشد. برای بررسی وجود نشت در یک شبکه خاص با مدل‌سازی شبکه و ایجاد یک شبکه عصبی آموزش دیده، توانایی پیش‌بینی نشت تا مدت زیادی با استفاده از همین شبکه میسر است و هر بار، در صورت لزوم تنها باید یک سری تغییرات جزئی در برنامه‌های مورد استفاده ایجاد شود. لحاظ کردن این تغییرات نیازمند صرف زمان یا هزینه زیادی نخواهد بود. دقت نتایج به دست آمده به صحت اطلاعات ورودی مربوط به مشخصات شبکه مورد بررسی و همچنین دقت پیش‌بینی شبکه عصبی وابسته است. بنابراین با افزایش دقت این موارد می‌توان قابلیت اطمینان نتایج به دست آمده را بهبود بخشید. از طرفی مدل‌های شبیه‌سازی صرفاً برای تعیین موقعیت نشت و نه برای تعیین مقادیر نشت در گره‌ها کاربرد دارند. این روش‌ها هزینه محاسباتی بسیار کمی دارند، می‌توانند در بهره‌برداری شبکه‌ها استفاده شوند.

پی‌نوشت

- 1-Unaccounted for Water
- 2-Non-Revenue Water
- 3-Transfer Function
- 4-Activation Function
- 5-Weight

نتیجه‌گیری

با وجود اینکه نشت در شبکه‌های توزیع آب باعث هدر رفت منابع ارزشمند آب شیرین می‌شود، اما خطر بزرگ‌تر ورود مواد آلاینده به شبکه است. روش‌های رایج نشت‌یابی که بر پایش شبکه، منطقه به منطقه نشت را جستجو می‌کنند بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشند، لذا اخیراً روش‌هایی که با مدل‌سازی شبکه به صورت فراگیر موقعیت نقاط با پتانسیل نشت را شناسایی می‌کند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مقاله به منظور تعیین موقعیت و مقدار نشت‌های موجود در شبکه، از حل معکوس معادلات نشت و کارایی دقیق شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد.

شبکه‌های عصبی در مرحله آموزش، نیازمند تعداد زیادی سری داده آموزشی با نتایج از پیش تعیین شده هستند. بدیهی است امکان تهیه این حجم زیاد اطلاعات برای حالات واقعی وجود نشت در شبکه مورد بررسی میسر نیست، لذا این نیاز با مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی شبکه به وسیله نرم‌افزار WaterGEMS تأمین شده است. بسته به میزان توانایی مدل در شبیه‌سازی شرایط واقعی، دقت این داده‌ها تغییر می‌کند. کاملاً مشخص است که در هیچ حالتی این شبیه‌سازی صد درصد دقیق نبوده و لذا این داده‌ها و به تبع آن نتایج حاصل از شبکه عصبی حتی در صورت عملکرد بسیار خوب شبکه، همواره درصدی خطای اجتناب ناپذیر خواهند داشت.

- 6-Bias or Offset
7-Network Architectures
8-Nash-Sutcliffe
9-Coefficient of Residual Mass
10-Coefficient of Determination
11-Root Mean Square Deviation

منابع

- فاضل ولی پور، ب. فغفور مغربی، م. ۱۳۸۸. نشت یابی شبکه های آبرسانی شهری با اندازه گیری میدانی فشارهای گره ای (مطالعه موردی شهرک گلپهار)، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- کلیایی، پ. و محمد ولی سامانی، ح. ۱۳۹۰. پیش بینی محل نشت در شبکه های توزیع آب با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- مغربی، م. و عطاری، م. ۱۳۹۲. روش نوین نشت یابی در شبکه آبرسانی با استفاده از حداقل فشارسنجی در حالت وجود دو نشت همزمان. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- مغربی، م.، منوریان، ع. و ترابی، ف. ۱۳۹۳. استفاده از اصل جمع آثار قوا در یافتن موقعیت نشت در شبکه های آبرسانی. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشکده مهندسی عمران. زابل، ایران.
- AhmadFouad Z., Eddy H. S., Badronnisa Y. and Syazwani I. 2019. Water leak detection method in water distribution network. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Jafari Asl J., SamiKashkooli B. and Bahrami M. 2018. Optimal Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Networks. Journal of Water and Sustainable Development, 4(2): 49-56.
- Jing K., and Zhi-Hong Z. 2012. Time Prediction Model for Pipeline Leakage Based on Grey Relational Analysis. J. Physics Procedia. 25: 2019-2024.
- Nash J.E., and Sutcliffe J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models: PART 1. A discussion of principles. Journal Hydrol, 10: 282-290.
- Nicolini M., Giacomello C. and Deb K. 2010. Calibration and optimal leakage management for a real water distribution network. Journal of Water Resources Planning and Management, 137(1): 134-142.
- Ormsbee L.E. 1989. Implicit network calibration", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 115(2): 243-257.
- Roy U. 2017. Leak Detection in Pipe Networks Using Hybrid ANN Method. Water Conserv Science Engineering, 2: 145-152.
- Santhi C., J.G. Arnold J.R. Williams W.A. Dugas R. Srinivasan and Hauck L. 2001. Validation of the
- آزادفر، م.، بارانی، غ. و حسامی کرمانی، م. ۱۳۹۸. بهینه سازی نشت در شبکه توزیع آب شهری به وسیله مدیریت فشار با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه. دومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، سازه و زلزله، تهران، ایران.
- اسدیانی یکتا، ا.ح. ۱۳۸۳. تهیه بسته نرم افزاری محاسبه آب به حساب نیامده با استفاده از مدل تحلیل هیدرولیکی و GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- ایدی، ض. و قاضی زاده، م. ۱۳۸۸. تهیه مدل تعیین نشت لحظه ای در لوله های شبکه توزیع آب با تلفیق مدل هیدرولیکی (WaterGEMS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، ایران.
- بی نام. ۱۳۸۹. نشریه "راهنمای شناخت و بررسی عوامل مؤثر در آب به حساب نیامده و راه کارهای کاهش آن". شماره ۳۰۸-الف.
- تائی، ا. ۱۳۷۸. ارتباط بین فشار و میزان نشت در شبکه توزیع آب. دومین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- سلطانی اصل، ف. ۱۳۸۸. مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد. مجله آب و فاضلاب، ۳(۲۰): ۹۹-۱۰۴.
- شیرزاد، ا.، حیدرزاده، م. و محمدی، م. ۱۳۹۹. تهیه مدل هیدرولیکی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع آب (مطالعه موردی: شهر اشنویه). نشریه علمی علوم و مهندسی آب و فاضلاب، ۵(۲): ۳۹-۴۷.
- طالبی، ا.ح. ۱۳۹۵. شناسایی عوامل و کاهش آب به حساب نیامده در شبکه های آبرسانی شهری، مطالعه موردی شهرهای کمتر از ۱۰۰۰۰ انشعاب استان آذربایجان شرقی. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. تهران.
- عطاری، م. و مغربی، م. ۱۳۹۷. روش نوین نشت یابی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۱): ۲۶-۱۴.

- Tabesh M., Jamasb M. and Moeini R. 2011. Calibration of water distribution hydraulic model: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses, *Journal of Urban Water*, 8: 93-102.
- Zhang W.J. 2002. An artificial neural network approach to mechanism kinematic chain isomorphism identification. *Mechanism and Machine Theory*, 37: 549-551.
- SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 37: 1169-1188.
- Soltani Asl M. S. and Maghrebi M. F. 2008. Intelligent pressure management to reduce leakage in urban water supply networks, a case study of Sarafrazan District, Mashhad, *Journal of Water and Wastewater*, 20(3): 99-104.

Investigation Role and Function of Rangelands on Water

N. Khatoony¹, M. Kolahi^{2*}

1,2-BSc Student of Nature Engineering and Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Received: 26-12-2020

Accepted: 31-03-2021

بررسی نقش و کارکرد مراتع در زمینه آب

نگین خاتونی^۱، مهدی کلاهی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی مهندسی طبیعت و استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، پژوهشکده آب و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۱

Abstract

Rangelands, as one of the most important natural ecosystems, play a prominent role in the production, support, refinement, regulation, and culture of water. In other words, the social life of water is related to the rangelands. This article explores the relationship between rangelands and water, examines their two-way action, and deals with supporting and habitat, provisioning, regulating, and cultural and information dimensions of rangelands in the field of water. Rangelands determine various water-related capabilities due to the creation of an integrated socio-ecological system. Finally, to deal with water shortages, restoration and preservation of rangelands should be one of the basic activities of today's society. Just as water is the savior of rangelands, these ecosystems are the savior and refuge of water. Therefore, sustainability in the water supply is related to the biosustainability of rangelands.

Keywords: Social Water, Biostability, Vegetation Cover, Water Supply, Social-Ecological System.

چکیده

مراتع به عنوان یکی از اکوسیستم‌های طبیعی مهم، نقش برجسته‌ای در تولید، پشتیبانی، پالایش، تنظیم و فرهنگ آب دارند. به عبارت دیگر، زندگی اجتماعی آب به مراتع مرتبط است. این مقاله با پرداختن به موضوع ارتباط بین مراتع و آب، کنش دو سویه آنها را بررسی می‌کند و به ابعاد تنظیمی، تولیدی-تأمین‌کننده، زیستگاهی-حمایتی و اطلاعاتی-فرهنگی مراتع در زمینه آب می‌پردازد. مراتع به دلیل ایجاد سیستم یکپارچه اجتماعی-اکولوژیکی، تعیین‌کننده قابلیت‌های مختلف مرتبط با آب هستند. در نهایت برای مقابله با کمبود آب، احیا و حراست از مراتع باید به یکی از فعالیت‌های بنیادین جامعه امروزی تبدیل شود. همان‌گونه که آب ناجی مراتع است، مراتع نیز ناجی و مامن برای آب است. بنابراین، پایداری در تامین آب، به پایداری زیستی مراتع مرتبط است.

واژه‌های کلیدی: آب اجتماعی، پایداری زیستی، پوشش گیاهی، تامین آب، سیستم اجتماعی-اکولوژیکی.

اکوسیستم‌های طبیعی، خدمات و کالاهای متعددی را بی‌دریغ و سخاوتمندانه در اختیار جوامع بشری قرار می‌دهند (Thornton و همکاران، ۲۰۱۵). اما درک بشر در مورد جایگاه چنین اکوسیستم‌هایی از وقتی هدفمند شد که اهمیت منابع طبیعی به عنوان بستری برای هر گونه توسعه و پشتوانه‌ای برای حیات طبیعی جوامع انسانی مشخص‌تر شد. با این وجود، تخریب اکوسیستم‌های طبیعی به عنوان یک معضل جهانی (سجادی و همکاران، ۱۳۹۴) و اهمیت آنها به عنوان عاملی پویا و موثر بر شرایط زیستی، فکر برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران را برای برآورد کالاهای خدمات اکوسیستم‌ها از بعد کمی و کیفی در بازه‌های زمانی مختلف به خود معطوف داشته است (صابر فر و همکاران، ۱۳۹۷). دانش انسان نسبت به کالاهای خدمات اکوسیستم‌های طبیعی، ناقص یا محدود است و در زمینه ارزش‌گذاری این کالاهای خدمات، ضعیف عمل کرده است.

آب، سرچشمه هستی و گرانبهاترین نعمت خدادادی است. بدون آب، زندگی بر روی این کره خاکی ممکن نیست، به همین دلیل در زندگی انسان اهمیت بسیار بالایی دارد. با در نظر گرفتن جمعیت فعلی جهان که بالغ بر ۷/۸ میلیارد نفر می‌باشد، توقع قانونی و مشروع جمعیت مذکور برای بهبود سطح زندگی، نیاز روزافزون به آب را گوشزد می‌کند (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). البته باید در نظر داشت که منابع آب شیرین محدود بوده و توزیع آن ناهمگن است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸). اما از آنجایی که کشور ایران جز مناطق خشک و کم آب است (داور پناه، ۱۳۸۴) و گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بزرگترین تهدید برای تنوع زیستی و معیشت در کشورهای در حال توسعه می‌باشد (Field، ۲۰۱۴)، توجه به کالاهای خدمات اکوسیستم‌های طبیعی به‌ویژه مراتع در مورد تولید و پالایش آب، امری حیاتی است.

مراتع به عنوان گسترده‌ترین بخش اکوسیستم‌های خشکی (کاوایان پور و همکاران، ۱۳۹۸)، بیش از نیمی از وسعت کشور را در بر گرفتند (پیچند، ۱۳۹۶) و جز مهمترین منابع طبیعی تجدیدشونده محسوب می‌شوند (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۸). به این ترتیب، مراتع، سرمایه‌ای ملی و با ارزشی هستند که از عوامل مهم در فرایند توسعه به شمار می‌آیند (عوض‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). با این وجود، مراتع ایران در طی یک بازه زمانی ۵۰ ساله، تغییرات زیادی داشتند، نقطه اوج این تغییرات به‌ویژه در زمینه مدیریتی در سال ۱۳۳۹، بعد از اصلاحات ارضی و در سال ۱۳۴۱ بعد از ملی شدن مراتع به وقوع انجامیده است. از این رو با ملی شدن مراتع، حضور و جایگاه دولت پررنگ‌تر شد. نهادها و سازمان‌های مرتبط از طریق قانون‌گذاری، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری، اقدامات زیادی در جهت حفظ مراتع انجام دادند (میردیلیمی، ۱۳۹۴). اما با وجود این رویکردها، مراتع ایران دچار مشکلات متعددی هستند که امروزه یکی از بارزترین موضوعات

در نظام مدیریت مراتع، عدم وجود تصویری شفاف و واضح از کالاهای و خدمات مراتع می‌باشد (شامخی و میرمحمدی، ۱۳۹۱). در واقع شاید بتوان بیان کرد نامیدن واژه مرتع، عنوانی ناقص بر مجموعه‌ای از اکوسیستم‌ها است چراکه این عرصه‌ها علاوه بر ظرفیت چرا، نقش برجسته‌ای در حفظ تنوع زیستی، خاک‌زایی و تولید آب ایفا می‌کنند (جلیلی، ۱۳۹۸).

آب همواره یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است که برای توسعه اجتماعی-اقتصادی و بقای حیات اکوسیستم‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد (صمدی بروجنی و شمسایی، ۱۳۸۵). با این تفاسیر اگر یکی دیگر از کارکردهای اکوسیستم‌های مرتعی را، حفظ آب بدانیم، نقش این اکوسیستم در چرخه هیدرولوژیکی حائز اهمیت خواهد شد (Ngaruiya، ۲۰۱۵). به این سان کارشناسان و متخصصان حوزه منابع طبیعی و محیط زیست، مرتع را یکی از ثروت‌های چشمگیر، برای نسل‌های کنونی و آینده دانسته‌اند (عوض پور و همکاران، ۱۳۹۷) و معتقدند این سرمایه و دارایی باید با وضعیتی بهتر از آنچه که تحویل گرفته‌اند، به نسل‌های بعد واگذار شود (احسانی و همکاران، ۱۳۸۶).

مراتع با حفظ آب، موجب تغییر در کیفیت زندگی انسان می‌شوند، زیرا آب، منبع الهام بخش زندگی است و علاوه بر جنبه‌های فنی و طبیعی، رویکردی متنوع از جنس اجتماع و فرهنگ دارد. آب سرچشمه قدرت، همکاری و تضاد است. لغت آب، واژه‌ای درگیر با احاد کل جامعه است. آب به عنوان منبعی پویا، توجه به ابعاد اجتماعی همراه با عوامل فرهنگی چون اعتقادات، ارزش‌ها، عادات و سنت‌های یک جامعه را گرد هم می‌آورد. یعنی آب علتی برای شکل‌گیری زندگی است. براساس ارزشی که اجتماعات انسانی برای آب قائل هستند آب یک کالای عمومی و عینی در اکوسیستم‌های طبیعی است (رابینگن و واینبرگ، ۱۳۹۱) که گاهی انسان خواستار تغییر در آن خواهد شد و همین امر موجب پیوند آب و مرتع است. در نهایت نقش این پیوند در تشدید پیامدهای ناگوار طبیعی، درمانی و سلامتی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی بسیار حائز اهمیت است (سبزه‌ای و کولیوند، ۱۳۹۶).

براین اساس، مطالعه حاضر با هدف تعیین نقش و کارکرد مرتع در زمینه آب، سعی دارد جایگاه مرتع را به وسیله آب برجسته کرده و اهمیت وجود مراتع را در مقایسه با حالتی که کم‌رنگ و ناشناخته است، متمایز سازد. در این پژوهش، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات با مشاهده و به صورت اسنادی (کتابخانه‌ای) و بر مبنای تجزیه و تحلیل کیفی می‌باشد. به این ترتیب این روش مطالعاتی می‌تواند راهکارهایی برای مقابله با خسارات احتمالی، حمایت و حفظ موقعیت مراتع، افزایش بازدهی و تولید مراتع، تبیین نقش مراتع در تولید آب، شناسایی مشکلات مدیریتی، توسعه اقتصادی و رفاه کشور و روشی برای برون رفت از چالش‌های مدیریتی در حیطه آب ارائه دهد. امید است نتیجه این پژوهش گامی خطیر در جهت استمرار استفاده بهینه و پایا از مراتع و مدیریت آن باشد.

مرتج، نمادی از اکوسیستم‌های طبیعی، با پوشش علفی خودرو هستند که کارکردهای متنوع آن عبارتند از:

۱- تولیدی (علوفه مورد استفاده برای دام‌های اهلی و وحشی، تولید چوب، گیاهان دارویی و ...)، ۲- تامین اراضی مورد نیاز جهت توسعه امورات کشاورزی، شهرسازی و صنعتی (فرزانه پی و همکاران، ۱۳۹۶)، ۳- تشکیل خاک و حاصلخیزی خاک، ۴- گرده افشانی و تنوع ژنتیکی، ۵- تولید گیاهان دارویی، ۶- کنترل بیولوژیکی و تنظیم جریان هیدرولوژیکی (تنظیم و تولید آب و ...)، ۷- کنترل سیل و کاهش فرسایش آبی و بادی، ۸- تفریحی و توریستی. یکی از کارکردهای مرتج، تامین آب است که به نقش اکوسیستم در چرخه هیدرولوژیکی بستگی دارد (بستان و همکاران، ۱۳۹۷). کارکرد تولید آب، یکی از بیشترین ارزش‌های وجودی مرتج بوده و در بین سایر کالاهای و خدمات اکوسیستم مرتجی جایگاه ویژه‌ای یافته است (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۸).

آب، اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده برای پراکنش دام و دسترسی به منابع آب، در مرتج است و استفاده صحیح از همه بخش‌های مرتج و تنظیم فشار چرای دام را به دنبال دارد (Lammel و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین استفاده دام‌ها از علوفه موجود در مرتج، به میزان آب موجود در مرتج بستگی دارد. کمبود آب، به طور چشمگیری عملکرد دام را نسبت به کمبود مواد غذایی دیگر کاهش می‌دهد (Ngaruiya، ۲۰۱۵). علاوه بر میزان آب مورد نیاز برای شرب دام، فراهم کردن آب کافی در همه زمان‌ها برای حفظ سلامت محصولات دامی، امری ضروری است (Field، ۲۰۱۴). به همین علت مرتج با داشتن پوشش گیاهی، نقش به‌سزایی در حفاظت و نگهداری از آب دارند و هر جا پوشش گیاهی انبوه یا مرتج غنی وجود داشته باشد، فرسایش خاک از طریق آب یا باد کمتر اتفاق می‌افتد و در بارندگی‌های شدید، سیلاب‌های کمتری جاری می‌شود.

بارندگی، ضروری‌ترین و مهم‌ترین شاخص اقلیمی است (احسانی و همکاران، ۱۳۸۶) که به‌عنوان یک متغیر در تولید علوفه، نقش اصلی (Silvertown و همکاران، ۱۹۹۴) دارد. پوشش گیاهی مرتج سبب شده آب بیشتری در زمین نفوذ کند و آب‌های سطحی مهار شود (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۸). وجود پوشش گیاهی مرتج موجب افزایش چشمه‌سارها، دائمی شدن رودها، پرشدن قنات‌ها و همچنین زیاد شدن آب‌های زیرزمینی خواهد شد. اما در حال حاضر بسیاری از مرتج، به دلیل تخریب بیش از حد، با بحران سختی مواجه شده و با ادامه این روند کشور ما با مشکلات متعددی مانند کم‌آبی، سیل‌های مخرب، شن‌های روان، طوفان، آلودگی محیط‌زیستی، قحطی، خشکسالی و حتی عدم ذخیره آب در مخازن سدها به علت فرسایش خاک و انباشتگی مخازن از گل و لای‌ها رو به‌رو می‌شود. بنابراین برجسته‌سازی اهمیت مرتج در تولید آب ضروری است.

برای افزایش ظرفیت مرتج با هدف حفظ آن از بعد تولید آب اقدامات ذیل قابل انجام است:

الف) مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در مرتج

ب) عملیات آبخیزداری (Field، ۲۰۱۴)

ج) امکان‌پذیری استحصال

د) انباشت و بهره‌برداری از سیلاب‌ها برای دستیابی به اهداف چند منظوره به صوص حل معضلات کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک

ه) تعیین ظرفیت مرتج و تولید علوفه جهت تغلیف دام (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۸) چراکه علاوه بر تامین آب مورد نیاز دام، علوفه هم برای رشد نیازمند آب است. باتوجه به میزان خوش خوراکی و آب موجود در علوفه، نیاز آبی دام برطرف شده، مصرف آب تقلیل یافته و آب بیشتری ذخیره و انباشت می‌شود. از این‌رو می‌توان با اجرای روش‌هایی برای ذخیره نزولات با هدف جمع‌آوری رواناب و کمک به استقرار گیاهان مانند کنتورفارو یا شیار، هلالی آبگیر، رپینگ یا شخم عمیق، فاروئینگ و پتینگ یا چاله کپه، نسبت به افزایش عملکرد محصول، کاهش تولید رواناب و تولید آب در مرتج اقدام کرد (قربانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴؛ گرشاسبی و همکاران، ۱۳۹۴؛ زرین‌آبادی و واعظی، ۱۳۹۵؛ حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). اما این روش‌ها می‌توانند آخرین و موثرترین روش‌ها باشند. به همین علت باید از راهکارهای مدیریتی دیگری که تنها در محیط مرتج قابل اجرا است و یکی از اهداف اصلی آنها حفظ منابع آبی در مرتج می‌باشد؛ مانند طرح‌های مرتعداری (رئوفی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴) استفاده شود. از طرف دیگر، با در نظر گرفتن بخش دامداری که حدود هشت درصد از مصرف جهانی آب توسط انسان را شامل می‌شود و افزایش میزان درجه حرارت سیاره زمین، احتمال افزایش این نسبت وجود دارد (Miyan، ۲۰۱۵)، باید نسبت به بهینه‌سازی دامداری و دامپروری اقدام شود. این بهینه‌سازی می‌تواند با مدیریت درست دام و همچنین مدیریت تعداد و تنوع یا کیفیت دام صورت گیرد (فلاح قلهراری و همکاران، ۱۳۹۵).

اتخاذ سیستم‌های مدیریتی چون، سایه‌اندازی موجب کاهش ۳۰ درصدی تبخیر و تعرق شده و با تامین منابع جدید آب (انتقال آب از رودخانه با لوله‌کشی) (Howden و همکاران، ۲۰۰۸) باعث کاهش استرس و گرمای ناشی از ازدیاد دما، تغییر ترکیب گله، استفاده از دام‌هایی با بازدهی بالاتر و همچنین با تکنیک‌های بومی و ساده موجب مدیریت منابع آب نیز می‌شود، این اقدام را می‌توان راهی برای رهایی از بحران در نظر گرفت (کاویان‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). به بیانی دیگر به دلیل نقش پر رنگ دام در مصرف آب، محاسبه فاصله اسکان دام تا مرتج، بسیار مهم است چراکه جابجایی‌های اضافی روزانه را که بخشی از انرژی دام را هدر داده و منجر به کاهش تولید می‌شود، باید کاهش داد تا نقش مرتج در تولید آب نمایان‌تر شود (کاویان‌پور و همکاران، ۱۳۹۸).

برای رسیدن به یک نتیجه بهتر، می‌توان از شیوه‌های تکمیلی دیگری

مانند نظارت بر منابع آبی مشترک (Egeru, 2012)، احداث بندها، کنترل و پخش سیلاب برای جبران افت و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی (گرشاسبی و همکاران، 1394)، استفاده از دستگاه تقسیم جریان به منظور حفظ آب‌ها به مقدار بیشتر در اکوسیستم‌های بهاری و انحراف به داخل فرورفتگی‌ها (Gurrieri, 2020) و در نهایت با احداث سازه‌های کنترل آب بتنی (Nichols و همکاران، 2018) که مانند دروازه‌هایی، محافظ آب هستند می‌توان مانع هدر رفت آب شد، بهره برد. برخی از دانشمندان در جنوب مادرید اسپانیا، جهت بررسی نقش مراتع در تولید آب دست به کار شدند و طی یک سری آزمایشات صحرایی اثبات کردند، مقدار بارش شبیه‌سازی شده منطقه، با کارایی پوشش گیاهی در کاهش رواناب و رسوب ارتباط معناداری دارد (Nikkami و Vahabi, 2008).

صبح زاهدی و همکاران (1381) و تلوری و شادمانی (1384) نشان دادند، بهره‌برداری‌های غیر اصولی سبب افزایش دبی اوج سیلاب و کاهش آبدی می‌شود. وهابی و همکاران (1376) بیان کردند در مراتع قرق شده به دلیل عدم لگدکوبی دام، افزایش تراکم و تنوع گونه گیاهی، تاج پوشش، مواد آلی و بهبود ساختمان خاک، میزان آب ذخیره شده (صادقی و همکاران، 1387) و در دسترس، نسبت به مراتع فقیر و تحت بهره‌برداری غیر اصولی بسیار بیشتر است. تجربه تعدادی از مرتعداران نشان داد، زمانیکه علوفه به صورت دستی جمع‌آوری می‌شود، میزان نفوذ و ذخیره آب به مراتب از زمان‌های دیگر بیشتر خواهد بود (صادقی و همکاران، 1383). همچنین یوسف زاده و همکاران (1395) دستیابی به بهره‌وری بیشتر از آب را در مصرف صحیح آب و حفظ تعادل آبخوان‌ها می‌دانند و به کاهش سهم تخصیص آب به بخش کشاورزی و بازتخصیص قسمتی از آب صرفه‌جویی شده به مراتع، نسبت به نقش مراتع در تولید و مدیریت آب تاکید بیشتری دارند.

در اراضی مرتعی احداث سد‌های مخزنی به عنوان ابزاری مؤثر، در بهره‌برداری و کنترل منابع آب مورد تایید، تاکید شده است (صمدی بروجنی و شمسانی، 1385). لازم به ذکر است توجه به سیاست‌های مدیریتی اهمیت بالایی دارد، به همین دلیل کشوری مانند استرالیا این سیاست را در اولویت قرار داده و خود را یکی از پیشگامان در به کارگیری نظام حسابداری آب معرفی کرده و این روند را برای تمام ایالات خود در پیش گرفته است (Vardon و همکاران، 2007). منظور از نقش مراتع در تولید آب، به این معنی نیست که پوشش گیاهی مراتع، آبی جدا از آب حاصل از نزولات یا منابع آبی حمایتی، تولید می‌کنند بلکه حضور پوشش گیاهی غنی، به همراه شیوه‌های مدیریتی ذاتی و مکمل در طرح‌های آب‌خیزداری، می‌تواند راهی برای بهره‌برداری پایدار و اصولی در جهت حفظ و ذخیره آب بیشتر باشند. مسئولان منابع طبیعی، به دلیل بحران‌های پیش‌رو و مخاطرات طبیعی، باید بیمه شدن مراتع را به عنوان یکی از راهکارهای ضروری برای کاهش مخاطره و افزایش اطمینان خاطر در ذهن بهره‌برداران برای سرمایه‌گذاری و مدیریت مراتع در نظر بگیرند. وجود بیمه برای

مرتعدار، انگیزه‌ای برای حفاظت و نگهداری از مراتع در جهت حفظ منابع آب کشور است. زیرا مرتعدار اطمینان دارد، در صورت بروز هرگونه خسارت ناشی از بلایای طبیعی، از طرف سازمان‌های ذی‌ربط مورد حمایت قرار گرفته و زیان وارده جبران می‌شود (Miyani, 2015). در مجموع حفظ طبیعت اصلی مراتع، اصلاح، بهبود و احیاء آن می‌تواند تاثیر به‌سزایی در جهت ایفای نقش صحیح مراتع در تولید آب داشته باشد. چرا که حضور آب، عاملی برای رشد پوشش گیاهی است و به طبع پوشش گیاهی، ستاده‌ای برای مدیریت و تولید آب است.

مرتع و پشتیبانی آب

آب مهمترین مولفه‌ای است که نقش زیستگاه‌های مرتعی را پررنگتر از قبل جلوه می‌دهد و به همین سبب وجود مراتع به عنوان یک حامی در عرصه‌های طبیعی امری ضروری و غیر قابل انکار به شمار می‌آید. در واقع مراتع، گروه‌های کارکردی گیاهی^۱ را که پاسخ‌های نسبتاً مشابه به تغییرات محیطی دارند، تشکیل می‌دهند (شهریاری و همکاران، 1398). از این‌رو، در شرایطی که میانگین بارش سالیانه کمتر از 300 میلیمتر بوده و بافت خاک ریزدانه و عمق آن زیاد باشد، کشت بذر و نهال که رشد آن منجر به افزایش تولید و پشتیبانی از آب خواهد شد، می‌تواند اولین راه برای جمع‌آوری ریزش‌های جوی در یک محل باشد (جنگجو، 1388).

گونه‌های گیاهی به طور هم‌زمان کارکردهای اکولوژیکی زیادی دارند که تشخیص این گروه‌های کارکردی تا حد زیادی وابسته به اهداف و مفهوم طبقه‌بندی است (Noble و Gitay, 1996). طبقه‌بندی‌ها اصولاً براساس ویژگی‌های گیاه از قبیل فرم، تثبیت نیتروژن، عملکرد رویشی، اندازه برگ، ویژگی‌های برگ، چگالی چوب و غیره است (Deng و همکاران، 2008). در نتیجه مکانیسم بازخورد گیاه در پشتیبانی از آب، بستگی به گروه‌های کارکردی، گونه‌های گیاهی و تفاوت خاص زیستگاه در ویژگی‌های زنده و غیرزنده خاک دارد (Bezemer و همکاران، 2006). یکی از مفاهیم مهم در علم اکولوژی، بحث تنوع‌زیستی می‌باشد (مریدی و همکاران، 1386) که نوع و گونه گیاهی، مشخص‌کننده نقش حمایتی گیاه و مقدار عناصر موجود در خاک است.

در هر منطقه هر گونه خاص می‌تواند شرایط نگهداری آب مراتع را تغییر دهد، چراکه ترکیب و تنوع گیاهی علاوه بر تامین مواد آلی (منبع اصلی غذای گیاه)، اثر معناداری بر بیوماس^۲ سطحی خاک دارد (Hector و همکاران، 1999). از آنجایی که مواد آلی در خاک سطحی، بیشتر از خاک عمقی می‌باشد این امر موجب شده تا موقعیت مناسب‌تری برای گیاهان علفی با سیستم ریشه‌ای سطحی‌تر، نسبت به گیاهان چوبی ایجاد شود (Nangendo و همکاران، 2002). همچنین بالا بودن تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ها در مراتع، نشان از جذب رطوبت بیشتر دارد که به طور واضح حمایت از آب در مراتع را تصدیق می‌نماید (حسینی، 1395).

تقویت پوشش گیاهی در سطح مراتع به خصوص مناطقی که بارش بالای ۲۸۰ میلیمتر دارند، بسیار قابل توجه بوده و نقش به سزایی در پشتیبانی از آب دارد. از این رو، حاصلخیزی خاک، توام با انتخاب گونه های مناسب و سازگار، نقش مثبت و مفیدی در افزایش خلل و فرج، حمایت از آب، نفوذ، کاهش سرعت رواناب سطحی و آبراهه ای دارد (وزارت جهادکشاورزی، ۱۳۸۸). برای نمونه، یکی از کارکردهای بیوم گراسلند نشان دادن تغییرات اقلیمی، همراه با نوسانات پیوسته دما و رژیم های بارندگی است. به این منظور بررسی ها نشان داد گراسلندهای مرطوب، نسبت به تغییرات بارندگی حساس بوده و جایگاه خاصی در پشتیبانی از آب دارند (Knapp و همکاران، ۲۰۰۵).

وابستگی و واکنش گیاهان نسبت به بارندگی تحت تاثیر عواملی چون سیستم ریشه، فرم رویشی، زمان و کیفیت بارش متفاوت خواهد بود. مقاومت برخی گیاهان مرتعی مانند گراس های دائمی، نسبت به شرایط اقلیمی بیشتر بوده و با حضور در شرایط کم آبی از هدر رفت آب جلوگیری کرده (احسانی و همکاران، ۱۳۸۶) و می توانند در اقلیم های متفاوت (Abtahi و Navidi، ۲۰۰۰) نزولات باران را به وسیله اندام های هوایی، جذب کنند و به عنوان مانع فیزیکی در برابر وقوع فرسایش و جریان رسوب عمل نمایند (اسدالهی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین پوشش تاجی گراس های دائمی با تاثیر بر توزیع، قدرت و شدت بارش، تبخیر و تعرق، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک، توازن آب، خصوصیات آب، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تغییر داده و سبب کاهش انرژی جنبشی باران، فرسایش و تولید رواناب شده و در نهایت با حمایت از آب، کاهش حرکت ذرات رسوبی را به دنبال خواهد داشت.

بارندگی، به علت نقش دوطرفه مرتع و آب، تاثیر به سزایی در توسعه شاخه، ریشه، تقویت گیاه و تولید آن داشته (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱) و به دنبال آن سیستم پیچیده گیاهی (مرتع)، خدمات پشتیبانی حیات مانند تولید مواد اولیه (مواد مغذی) و نگهداشت آب را برعهده می گیرد (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۸). به این ترتیب فرسایش خاک، یکی از مهمترین تهدیدکننده های منابع آب و خاک بوده (صفاری و همکاران، ۱۳۹۷) که از این جهت پوشش گیاهی، نه تنها عاملی برای ازدیاد ذخایر کربن آلی خاک می باشد، بلکه مانند عاملی برای حفاظت فیزیکی خاک، در برابر بارش باران محسوب می شود (بارانیان و همکاران، ۱۳۹۶). برای مثال، گیاه آتریپلکس در تابستان با ذخیره رطوبت و حفاظت از خاک و آب می تواند مسافت طی شده توسط گوسفندان را به ۲-۳ کیلومتر کاهش دهد (قاسمی آریان و همکاران، ۱۳۹۲). علاوه بر گیاه آتریپلکس، رویش تعدادی از گیاهان بوته ای در مرتع، که به دلیل عمق توسعه ریشه، از رطوبت عمقی خاک استفاده کرده و به زنده ماندن خود و رشد برخی از گیاهان علفی کمک می کنند، موجب شده محافظی در مقابل فرسایش (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱) باشند. با این تفاسیر وجود گیاهانی مانند، گز، توت روباه، برگ نقره ای (اروشیا)، اشنان،

Tamarix ramosissima، *K.prostate* و هزاران گیاه دیگر در عرصه های مرتعی می تواند علاوه بر زیبایی و خاصیت دارویی از نظر استقرار، شادابی، نوع پوشش گیاهی نسبت به دیگری برتری داشته (میردوودی، ۱۳۹۳) و یا با افزایش نسبت سطح ذخیره نزولات به سطح کشت، در تولید و رشد گونه دیگر موثر بوده و به غنی شدن مراتع جهت حمایت از آب کمک نماید (Li و همکاران، ۲۰۰۵).

میزان وابستگی و نیاز به رطوبت در گیاهان متفاوت است، سرما یا گرما تعیین کننده فصل کشت می باشد و گیاه را در تحمل سختی ها یاری می کند (قربانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). از تحقیقاتی که عبداللهی و همکاران (۱۳۸۵) بر روی تیپ گیاهی اشنان انجام دادند، مشخص شد این گیاه نسبت به شوری مقاوم بوده و در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا، به آسانی رشد کرده و سپر حفاظتی برای خاک است چراکه با جذب رطوبت حاصل از بارش، بخش قابل توجهی از انرژی قطرات باران را کاهش داده، از اثر پاشماني آن جلوگیری کرده، باعث استحکام تراکم خاک شده (Zhang و همکاران، ۲۰۱۰b) و درصد رواناب را تقلیل داده تا میزان آب قابل دسترس گیاه، افزایش یابد (Li و همکاران، ۲۰۰۵). مراتع با پوشش گیاهی مناسب و غنی، بستر را برای پشتیبانی و حمایت از آب، در مناطق خشک و نیمه خشک مهیا می سازند.

مرتع و تنظیم آب

تامین آب با کیفیت مطلوب یکی از مباحث مهم برای توسعه پایدار در اواخر قرن بیستم بوده است. در این زمینه، تحقیقات زیادی وجود دارند که روابط بین پوشش گیاهی و آب شیرین توام با کیفیت مناسب را در مناطق معتدل، حاره ای و حتی در مناطق نیمه خشک ثابت نمودند. مراتع در ابعاد مختلف به ویژه تنظیم جریان آب در طبیعت، نقش چشمگیری دارند (Caskey و Tenure، ۱۹۶۹). به همین دلیل در سال ۲۰۰۲، مدیریت عرصه های مرتعی به عنوان کلیدی برای تامین آب شیرین قلمداد شد و حفاظت آب به دو کارکرد، خدمت تنظیم و خدمت تامین و عرضه آب تقسیم شد. خدمت تنظیم آب، به نقش اکوسیستم های طبیعی در تنظیم جریان های هیدرولوژیکی وابسته می باشد (بستان و همکاران، ۱۳۹۷).

گردش آب، در يك فضای محدودتری از طبیعت مانند حوضه آبخیز می تواند اثر پوشش گیاهی مراتع را در کاهش مؤلفه سیلاب، رواناب و در افزایش ذخیره، نفوذ و تنظیم جریان آب به خوبی نشان دهد (تلوری و شادمانی، ۱۳۸۴). از این پس، نفوذ آب به درون خاک و پارامترهای آن باید ب عنوان یکی از نمادهای بیان کننده کیفیت، استفاده شود. از این رو، وجود گیاه در مرتع، انعکاسی از تعادل بلندمدت میان نفوذ باران و مقدار تبخیر تحمیلی از سوی محیط و میزان آب ذخیره شده در خاک به عنوان يك متغیر اصلی است، زیرا درصد رشد گیاه و عوامل دیگر میزان تنظیم آب را تحت تاثیر قرار می دهند (قیومی محمدی و همکاران، ۱۳۹۲).

بین مقدار بارندگی و رطوبت خاک، یا میان رطوبت خاک و تولید گیاه در مراتع، ارتباط مستقیمی برقرار است (تلوری و شادمانی، ۱۳۸۴). با این حال کمبود یا عدم پوشش گیاهی، مراتع را با وضعیت حساسی روبه‌رو کرده است. آلودگی آب، کمبود، هدر رفت و بهره‌برداری ناکارآمد باعث عدم دسترسی صحیح به منابع آب برای مصارف گوناگون شده و آن را به یکی از موثرترین موانع رشد و توسعه پایدار در منطقه تبدیل کرده است (کرم‌زادی، ۱۳۹۷). به عبارت دیگر، با سرعت گرفتن فعالیت‌های بشر مانند گسترش صنایع، احداث سدها و غیره، کیفیت منابع آب رو به کاهش گذاشته و از بعدی دیگر، سدی در مقابل رویکرد تنظیمی مراتع نیز شده است.

خاک مراتع با داشتن مواد آلی نسبتاً زیاد و ساختار مناسب، همیشه مورد توجه کشاورزان بوده و این خصوصیات، موجب تغییر در کاربری مراتع به اراضی کشاورزی شده، به نحوی که این تغییر باعث شور شدن پیوسته خاک و آب شده و تسهیل کننده فرسایش سطحی و سرایت‌دهنده رسوبات ریز، سموم کشاورزی، مواد مغذی به آب‌های سطحی شده (قیومی محمدی و همکاران، ۱۳۹۲) و کیفیت آب را کاهش داده است.

آلودگی آب، یکی از نگرانی‌های روبه رشد است (Karthé و همکاران، ۲۰۱۷). برای مثال، کودهای مورد استفاده در مزارع، ممکن است وارد رودخانه شده و غلظت عناصر غذایی را در آب افزایش دهند. به تبع، عناصر غذایی می‌توانند منجر به کاهش اکسیژن محلول در آب و ایجاد اختلال در حیات سیستم‌های آبی شوند. در نهایت این موقعیت، لزوم تحلیل و پیش‌بینی کیفیت آب در شرایط آبی را طلب می‌کند (Alam و همکاران، ۲۰۱۷). از این‌رو، منابع بزرگ آلاینده نظیر فاضلاب‌های شهری و صنعتی یا زه‌آب‌های کشاورزی، بر غلظت آلاینده‌ها در رودخانه تاثیر گذاشته و زمانی که دبی رودخانه کاهش می‌یابد متعاقباً غلظت آلاینده‌ها بیشتر شده (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) و صدای زنگ خطر مرتع برای تنظیم کیفیت آب شنیده شده است.

آب‌هایی با شوری بالا و یا حاوی عناصر سمی، ممکن است سلامت دام را به خطر انداخته و یا گوشت و شیر آنها را غیرقابل استفاده سازد. همچنین کیفیت نامناسب آب، روی بازه تولید تاثیر نامطلوب داشته و برای همین در تعیین قابلیت استفاده از آب باید شرایط منطقه، جایگزین‌های دیگر، سن و نژاد دام و ترکیب غذایی آن‌ها را در نظر گرفت (مهدوی، ۱۳۷۴). پس با آگاهی بیشتر از مراتب تغذیه‌ای و سوخت و ساز بدن دام و روش‌های مدیریت مرتع، می‌توان عملکرد دام را بیشتر و دسترسی و کیفیت آب را برای سلامتی و بهره‌برداری افزایش داد (Nardone و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه بررسی کیفیت آب، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸).

جهت پایش تغییرات کیفیت آب، روش‌های گوناگونی مانند رگرسیون و سری‌های زمانی، آزمون‌های آماری، روش‌های چند متغیره و غیره وجود دارد (Fox و همکاران، ۲۰۱۷). سری زمانی ماهانه مانند پارامترهای کیفیت آب شامل یون سولفات، هدایت الکتریکی، نسبت

جذب سدیم، یون کلر، بی‌کربنات و pH است. به این‌سان، رهیافتی توسط Box و همکاران (۱۹۹۴) به عنوان مدلی در نظر گرفته شد که شامل سه مرحله تخمین پارامترها، کنترل پارامترها و تشخیص مدل می‌باشد. از این‌رو، شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان داده‌های مربوط به یون‌های کلسیم، سدیم، بی‌کربنات منیزیم، کربنات، سولفات، کلر، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، دبی، PH، تمام ذرات محلول و کدورت را جمع‌آوری کرده و از میان این پارامترها، نسبت جذب سدیم، یون سولفات، یون بی‌کربنات، هدایت الکتریکی، یون کلر و PH را برای بررسی از بقیه مهمتر دانسته (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) و آنان را ملاکی برای سنجش کیفیت آب، در عرصه مراتع معرفی کرده است.

پایش کمی و کیفی عناصر مشخص می‌کند، کیفیت خاک و ظرفیت و نقش‌های آن در عرصه طبیعی، بهره‌گیری گیاه و دام را به طور پایدار تامین کرده، کیفیت آب و هوا را افزایش داده و سلامت انسان و محیط زندگی او را تامین می‌کند (نظری سامانی و همکاران، ۱۳۹۷). به همین علت برای بهبود کارایی در مصرف و کیفیت آب، از طریق راه‌های مختلف به خصوص حفظ رطوبت و افزایش نگهداری آب در خاک پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است. یکی از این راه‌ها جهت کاهش رواناب و نفوذ عمقی استفاده از مواد شیمیایی جذب‌کننده رطوبت با هدف تأمین آب مورد نیاز گیاهان، رشد بیشتر، تاثیر مستقیم پوشش گیاهی بر تنظیم آب و کاهش اثرات زیان‌بار خشکسالی می‌باشد (داور پناه، ۱۳۸۴).

شایان ذکر است چگونگی ذخیره آب مهم بوده، چراکه فرایند ذخیره‌سازی آب با کاهش جریان به طرف خروجی‌ها، آلودگی را نیز افزایش خواهد داد (Karimov و همکاران، ۲۰۱۲). از این‌رو، مرتع با داشتن فرم فشرده‌تر از پوشش گیاهی، نقش به‌سزایی در بهبود شاخص‌های عملکردی از جمله نفوذپذیری، پایداری و چرخه عناصر غذایی در مقایسه با اشکال نسبتاً فشرده و نیز گونه‌های چوبی دارد. به‌طوری‌که هرچه ارتفاع گونه‌های چوبی کم‌تر باشد، عملکرد آنها در پایداری خاک بیشتر خواهد شد (Kamali و Heshmati، ۲۰۱۶). برای تعیین نفوذپذیری از فاکتورهایی مانند پوشش گیاهی چند ساله، درجه تجزیه شدگی لاشبرگ، منشاء مواد رسوب‌گذاری شده، بافت خاک، آزمون پایداری، پستی و بلندی سطح خاک، نوع و شدت فرسایش استفاده شده (موقری و خلاصی، ۱۳۹۷) که همگی در عملکرد تنظیمی مراتع نقش مهمی دارند.

تعیین پایداری خاک، از طریق شاخص‌های حفاظت خاک، خرد شدن سله‌ها، پوشش کریپتوگام، مواد رسوب‌گذاری شده، نوع و شدت فرسایش، آزمون پایداری و ماهیت سطح خاک نیز مشخص می‌شود (Hindley و Tongway، ۲۰۰۳). از این جهت، لایه‌های از لاشبرگ‌ها نیز سطح خاک را محافظت و با ایجاد ناهمواری سطحی، از گسستگی ذرات خاک جلوگیری کرده، رسوبات معلق آب را جذب و حرکت خاک دانه‌ها را به سمت پایین شیب به حداقل می‌رساند (Zhang و Wang، ۲۰۰۱؛ Zhang و همکاران، ۲۰۰۳؛ Casermeiro

و همکاران، ۲۰۰۴؛ Miyata و همکاران، ۲۰۰۷؛ Gomi و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین با افزایش آب و کاهش حرارت، وضعیت مرتج بهبود یافته و جهت گیری مثبتی شکل می گیرد (قائمی و عابدی، ۱۳۸۸). در مراتع غنی از پوشش گیاهی، املاح جذب شده توسط گیاه در ساقه و برگ های آن تجمع یافته و موجب تقلیل آلاینده های آب و ارتقاء کیفیت آن خواهد شد (عبداللهی و همکاران، ۱۳۸۵). از دیگر عواملی که با تاثیر بر مرتج و پوشش گیاهی کارکرد تنظیمی مرتج را با مشکل روبه رو می کنند خشکسالی ها هستند، که موجب کاهش تولید و تأثیرات مخربی چون، فرونشست زمین، از دست رفتن تنوع زیستی، شور شدن خاک و منابع آب زیرزمینی می شوند (کرمزادی، ۱۳۹۷). فرسودگی منابع آبی، سبب اختلال در کارکرد مراتع، بدتر شدن کیفیت آب و کمبود بیشتر آن شده که به شدت برروی اقتصاد و رفاه کشور تأثیر منفی دارد (Demin، ۲۰۱۶). بی نظمی در عملکرد یا نابودی اکوسیستم های مرتعی به خصوص در زمین های کوهستانی و شیب دار، نه تنها به افزایش شدت فرسایش خاک کمک می کند، بلکه منجر به شسته شدن لایه سطحی غنی از مواد آلی می شود، این روند کاهش ظرفیت نگهداری آب را در پی خواهد داشت. همچنین با افزایش حجم رواناب، تغییر کارکردهای تنظیم و ذخیره سازی آب، مراتع متحمل آسیب های بسیاری خواهند شد (مبرقعی، ۱۳۸۹). بنابراین با افزایش پوشش گیاهی، شدت سیلاب ها کاهش و سهم دبی رودخانه افزایش می یابد (صمدی بروجنی و شمسائی، ۱۳۸۵).

افزایش پوشش گیاهی دو فایده دارد: ۱- از شست و شوی خاک و ۲- از فرسایش خاک جلوگیری می شود (کاویان پور و همکاران، ۱۳۹۸). فرسایش خاک یک مبحث جهانی است و از کیفیت آب و حاصلخیزی خاک کاسته و رسوبزایی و احتمال رخداد سیل را افزایش می دهد (کاویان پور، ۱۳۹۴). مطالعات کشور چین نشان داد هدر رفت فسفر و رسوب حاصل به وسیله جریان سطحی با افزایش پوشش گیاهی کاهش می یابد (Zhang و همکاران، ۲۰۱۰a). برای تایید این امر نویسندگان ادعا کردند، ایجاد اکوسیستم زیر اشکوب، موجب بقای میکروارگانیسم ها و فعالیت های خاک سازی شده و در این بین گیاهان زیر اشکوب با مصرف نیترات ها، از ورود مواد غذایی حاصل شده از لاشرگ ها و یا جذب شده اتمسفری به آب های زیرزمینی جلوگیری کرده و از آلودگی آب می کاهند. گونه ای به نام توسکا، از انتقال و جذب نیترات از لایه های زیرین خاک و ورود آن به آبخوان ها ممانعت می کند (تلوری و شادمانی، ۱۳۸۴). این گونه درختی، به واسطه خاک غنی از هوموس و مواد آلی، باعث جذب بیشتر آب در خاک شده و نفوذ آب در افق های تحتانی خاک را افزایش می دهد که به تغذیه سفره های آب زیرزمینی کمک می کند (De Groot و همکاران، ۲۰۰۲). در کل مراتع، عرصه های طبیعی هستند که اگر به حساب ماهیانه آب آن ها، خدشه وارد نشود، در قبال دریافت آب کافی، مسئولانه از آن استفاده کرده و آب را تنظیم می کنند. چه بسا مراتع بهترین تنظیم کننده آب هستند.

وجود آب به عنوان منشاء حیات، موثر در ایجاد نظم و پیدایش تمدن بشری، امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین منزلت آب، در فرهنگ های گوناگون بشری به تناسب موقعیت طبیعی، شرایط اقلیمی، تعداد، چگونگی و مقدار آب در دسترس، شیوه معیشت و درصد پیشرفت فناوری را در هر سرزمینی متفاوت خواهد ساخت. از این رو، منابع آب سالم و مورد اطمینان به دفع بهداشتی فاضلاب، سلامتی و رفاه، شهرها و جوامع پایدار، انرژی مقرون به صرفه و پاک، مصرف و تولید مسئولانه، زندگی زیر آب، زندگی روی زمین و اقدامات اقلیمی مربوط می شود. لازم به ذکر است به دنبال این عوامل، پنج هدف نبود فقر، نبود گرسنگی، صنعت، نوآوری و زیرساخت، کار مناسب، رشد اقتصادی و کاهش نابرابری وجود دارد که بدون حضور آب تحقق نخواهد یافت. از این جهت اجرای صلح و عدالت، با وجود نابرابری در دستیابی به منابع آب و کمبود آن، محقق نخواهد شد. با قطعیت می توان بیان کرد مهمترین شاخص در بین اهداف توسعه پایدار، آب است که بروز اختلال در تأمین آن، تمام اهداف رفاه و توسعه انسانی را در برخواهد گرفت (گریفیتس، ۱۳۹۰). عناصر اقلیمی، مهمترین عامل تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی مراتع می باشند. به همین علت پیش بینی واکنش تنوع زیستی به تغییر اقلیم، بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است (Dillon و همکاران، ۲۰۱۰؛ McMahon و همکاران، ۲۰۱۱). لذا مراتع، طیف وسیعی از کارکردها، تولیدات، کالاهای و خدمات ضروری برای زندگی انسان نظیر خدمات تولیدی همچون غذا، آب، سوخت و فیبر توام با خدمات تنظیمی همچون تعدیل بیماری ها، ترسیب کربن، خاک های حاصلخیز، آب آشامیدنی سالم و خدمات فرهنگی حمایتی را برای جامعه مهیا می سازند (Skaggs، ۲۰۰۸). از این رو کارایی هر نظامی با لحاظ کردن ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی) مشخص خواهد شد. پس یکی از ابزارهای مهم مدیریت و بهره برداری از مراتع توجه به مقدار تولید به ویژه علوفه، به عنوان یک ویژگی بوم شناسی می باشد که با مسائل فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی بهره بردارها (مانند تعداد بهره بردار، تعداد دام، سطح مرتع و...) ارتباط، مستقیم و غیرمستقیم دارد (Arzani و همکاران، ۲۰۰۵؛ مقدم، ۱۳۹۳). باتوجه به جایگاه مراتع و فرهنگ آب در زمینه اقتصادی و اجتماعی، لزوم برنامه ریزی برای آینده بهره برداران با لحاظ کردن دانش و تجربیات آنان امری الزامی است (Polley و همکاران، ۲۰۱۳). در حقیقت دانش بهره برداران محلی، ریشه در عقاید دیرینه داشته و از دیدگاه مردم که نمایانگر باورها و تسلط بر علوم مختلف است نشأت گرفته است (Riggs، ۱۹۷۳؛ Kimengsi و Azibo، ۲۰۱۵). انسان از محیط پیرامون مرتع، واژه آب را به امانت گرفت تارمزشایی کند. آب رمز تمام چیزهایی است که به شکل بالقوه موجود است. آب سرچشمه موهبات هستی و نمادی از تطهیر و نوزایی سبز است (ویسی، ۱۳۸۶). آب در شرق و غرب از منظر مصریان خلوص

جادویی برگرفته از طبیعت (مرتج) است که جنبه‌ای نمادین و حیات بخش دارد. ریختن آب بر زمین در مراسم تدفین، موجب زنده شدن متوفی در جهان دیگر و رفع امراض و شرارت‌ها خواهد بود (هال، ۱۳۸۰). به بیانی دیگر، آب مظهر تفکر انسانی است.

واژه آب برگرفته از روابط انسانی، فرهنگی و حوادث است چراکه ترکیب واژگانی چون، آبریزگان تاکید بر این محتوا است. این اصطلاح، به جشنی اطلاق می‌شد که در روز سی بهمن ماه برگزار شد و شاه عباس این جشن را در زمان جلوس خود در چهارباغ برگزار می‌کرد. از دیگر فرهنگ‌های آبی برگرفته از طبیعت (مرتج) نقاشی‌های ایران باستان بود که نقش گیاهان مرتعی و درختچه‌ها را بر دیوارهای تخت جمشید ترسیم می‌کرد و آثار آبیاری حاصل از آن‌را به تصویر می‌کشید (شارپ، ۱۳۴۳). ترانه‌سرایی و آوازخوانی در زمهره آب نیز از این قبیل هنرها است. در آن زمان، عواطف مشترک مردمان به مرحله ظهور می‌رسید و راهی برای کاهش فشار جمعی و غم‌هایشان بود. مانند ترانه‌هایی که برای روزهای کم‌آبی مرتج، جهت طلب کردن آب خوانده می‌شد (دوستی و بهرامی سامانی، ۱۳۸۸).

آب، عنصر مقدس ایرانیان باستان است. از دوران باستان، جهان‌بینی کهن و از ایرانیان باستان، سومری‌ها به نقش‌آفرینی آب در جهان هستی معتقد بودند. مورخان، ایرانیان را به‌عنوان ستایشگران آب نام می‌برند و می‌گویند، معرف آنان مراسمی با نام هرودوت بوده است و طی این مراسم به آب قربانی و هدیه می‌دادند و یا نام بردن از آب‌ان به‌عنوان فرشته آب‌هایی از اصیل‌ترین نام‌گذاری‌ها در ماه آب‌ان است و آن را عید می‌نامیدند و یا تصویری از آب‌انگاه، فرشته‌ای موکل بر آب که در ذهنشان تجسم می‌کردند. آب‌انگاه، خاص روز دهم فروردین است، اگر در آن روز در طبیعت (مرتج) باران ببارد آب‌انگاه مردان است و اگر در آن روز باران نبارد آب‌انگاه زنان است. در واقع استفاده از این آب برحسب بارش یا غیر آن، شگون و مبارک است (دهخدا، ۱۳۶۲).

مصرف آب به‌عنوان یک الگوی رفتاری متأثر از آداب و سنن، سلايق، تبلیغات، آموزه‌های دینی و سایر جنبه‌ها است. مهمترین مصداق مصرف در زندگی انسان آب است و نقش پررنگی در شکل‌گیری فرهنگ ایرانی دارد. آب، مهم‌ترین فاکتور برای حفظ حیات پوشش گیاهی و موجودات است، برای آبیاری مزارع، مراتع، کشاورزی، صنعتی، مصارف خانگی، تجاری و تولید مواد غذایی امری بسیار ضروری است. این کالای بی‌رنگ، ارزشی به اندازه حیات دارد (دوستی و بهرامی سامانی، ۱۳۸۸). انسان‌ها برای مصارف شخصی از آب با استفاده از روش‌هایی چون سیستم‌های انتقال آب بهره می‌گرفتند و آب برایشان تصویر نمایشی زیبایی در باغ‌های ایرانی بوده است که در سیستم آبیاری مرتعی برای نمایش فرهنگ آب از آب نماها، تعبیه فواره‌ها، استخرها، آبشارها، شترگلوها و آب‌بندها استفاده می‌شد (نقی‌زاده، ۱۳۸۲) و بخشی از فرهنگ آن‌ها را شکل داد. برای مثال، باغ‌فین کاشان و عقیده مردم به آب درمانی، از این دسته موارد است. به‌طورکلی انسان‌ها در هر فرصتی سعی در کشف و ذخیره آب داشتند (خسروی، ۱۳۷۸).

موضوع مهمی دیگری که پیوند مرتج و فرهنگ را با آب تصدیق می‌کند دریافت محصولات دامی مرتج به منزله یک کالای ضروری برای امنیت غذایی جمعیت جهان است (Riggs, ۱۹۷۳; Azibo و Kimengsi, ۲۰۱۵). یکی از کارکردهای مهم مراتع تولید گوشت و فراورده‌های لبنی می‌باشد (Henry و همکاران، ۲۰۱۲; Miyan, ۲۰۱۵). مراتع به‌عنوان منبع تولید آب، علوفه، گوشت و خاک نقش مهمی را در اقتصاد کشور ایفا می‌کنند. از این‌رو ازدیاد بهره‌برداران و تعداد دام در مراتع هماهنگی میان تولید و برداشت را از بین برده، زیرا گاهی تعداد دام کم است و بهره‌بردار زیاد و یا گاهی تعداد دام زیاد بوده و علوفه کم و مشکلاتی از این قبیل که تأثیر فرهنگ را هم‌راستا با نقش مراتع به نمایش می‌گذارد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۸).

در موضوعات پیرامون فرهنگ آب، جهت انجام طرح‌های مشارکتی، هزینه و زمان دو عامل حائز اهمیت است و بررسی سرعت گردش اعتماد، همکاری در بین بهره‌برداران، اتحاد و یگانگی و زمان و هزینه جهت هماهنگ شدن آنان، در سیاست‌های مشارکتی مرتج، بسیار مورد توجه می‌باشد (جنتی چنار و همکاران، ۱۳۹۹؛ کلاهی و پایسته، ۱۳۹۹؛ مرادی و کلاهی، ۱۳۹۹؛ میرزایی و کلاهی، ۱۳۹۹). همچنین سرعت کم گردش پیوند اعتماد، همکاری و عدم اتحاد در میان بهره‌برداران از چالش‌های خطیر در سازماندهی مدیریت مشارکتی مرتج در این عرصه است (عوض‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). اعتماد می‌تواند یک عامل تسهیل‌گر در حل تعارضات بین بهره‌برداران در فرآیند مدیریت مشارکتی مرتج، به‌ویژه در مکان‌هایی که مالکیت مشاعی در میان بهره‌برداران رایج است، باشد (Kolahi و همکاران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۴a؛ ۲۰۱۴b؛ ۲۰۱۴c؛ Khashtabeh و همکاران، ۲۰۲۰).

اعتماد زیاد در بین بهره‌برداران، سبب بالا رفتن آگاهی افراد در شبکه و همکاری آزادانه آنها در اقدامات جمعی، وابستگی به عرف و سنت‌های محلی در رابطه با روش‌های بهره‌برداری از مراتع شده و حس مسئولیت‌پذیری افراد نسبت به بهره‌برداری و حفاظت از آن افزایش می‌یابد. در نهایت تأثیر بسیار مطلوبی بر روند مدیریت مشارکتی مرتج خواهد داشت (Ward and Pretty, ۲۰۰۱). به‌گونه‌ای که با شروع ارتباطات شبکه‌ای میان بهره‌برداران و استفاده از فکر و عمل گروهی، مرتج حرکت مناسبی را از وضعیت موجود به وضعیت مطلوب طی خواهد نمود (عوض‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). به‌این‌ترتیب یکی از مهمترین شاخص‌های کنترل‌کننده این روابط، مدیریت میزان آب مورد نیاز گیاه است که خود نیز تحت تأثیر فاکتورهایی از قبیل دما، بارش و بافت خاک می‌باشد.

بروز بلایایی چون سیلاب‌های شدید و مخرب و خشکسالی، ناپایداری دامنه‌ها، گرد و غبار و افت منابع آب زیر زمینی را به دنبال دارد که باعث آسیب‌های جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی، بی‌ثباتی اجتماعی و فقر اقتصادی می‌باشند (گرشاسبی و همکاران، ۱۳۹۴). World Economic Forum (۲۰۰۲)، در گزارش پایانی

سالانه خود، بحران آب را به علت تأثیر بالقوه آن به منزله بزرگترین خطر جهانی در نظر گرفته و این خطر را به خصوص در مناطق کم آب، تهدید بزرگتری به شمار می آورد زیرا در آینده ای نه چندان دور به سبب تغییرات اقلیمی، نوسانات چرخه آب جهانی شدت خواهد گرفت، به طوری که مناطق مرطوب، مرطوب تر و مناطق خشک، خشک تر خواهد شد (کرم زادی، ۱۳۹۷) به دنبال این موضوع، چشم اندازهای طبیعی جهان، بنابر فعالیت های انسانی به شدت در حال تغییر می باشند (Chuai و همکاران، ۲۰۱۳). تخریب های انسانی و فشارهای ناشی از آن، تأثیر قابل توجهی بر ترکیب گونه های گیاهی در عرصه های مرتعی و یکپارچگی آنها دارد، این امر موجب کاهش تنوع و غنا گونه های گیاهی می شود (پیچند، ۱۳۹۶). با این تفاسیر ممانعت از تخریب مراتع، موجب پایداری آب شده و حفظ تنوع زیستی را برای ادامه حیات بشر به دنبال دارد.

فرهنگ غلط استفاده از آب موجب برداشت بی رویه و مازاد بر توان تولیدی مراتع که ناشی از ازدیاد تعداد دام، جمعیت بهره بردار و موارد دیگری مانند، چرای مفرط و زودرس، بوته کنی، استفاده به عنوان گیاهان دارویی و تبدیل مراتع به اراضی کم بازده بدون توجه به توانایی اکولوژیکی مراتع بوده که منجر به کاهش پوشش گیاهی و کاهش تولید علوفه شده است (مقدم، ۱۳۹۳). توجه بشر به دامداری، هم زمان با فشار چرا (Malekpour و همکاران، ۲۰۱۱) و به دنبال آن تقلیل بازگشت بقایای گیاهی به خاک و کربن وارده به اکوسیستم، کمتر از مقدار کربن خروجی شده (پیچند، ۱۳۹۶) و تراکم پایین گیاهان مرتعی در شرایط مساوی، میزان دریافت نزولات جوی و نفوذ عمقی آب به خاک را کمتر کرده که در نتیجه آبشویی کمتر منجر به افزایش درصد آهک خاک سطحی و همچنین افزایش میزان PH می شود. این تغییرات موجب بروز مشکلاتی در محصولات دامی و امنیت غذایی خواهد شد. به همین دلیل آب را مهمترین فاکتور برای پراکنش دام مطرح کردند (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۸) که تحت تأثیر تغییرات اقلیم (آب و هوا) و رقابت فرهنگی قرار دارد (Rosegrant و همکاران، ۲۰۰۹).

بروز خسارات فراوان در سطح مراتع نیاز به راهکارهای پیشگیرانه ای مانند کاهش تعداد دام، افزایش تولید و افزایش سطح مراتع دارد. علاوه بر موارد فوق می توان در این زمینه به توازن دام و بهره بردار، تغییر شیوه دامداری با ایجاد مشاغل جدا از مراتع اشاره کرد که موجب هماهنگی تعداد بهره بردار با توان تولیدی مراتع خواهد شد. این امر منجر به ایجاد تعادل و برقراری ارتباط معنی داری میان تولید و تعداد بهره برداران می شود (رتوفی راد و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین می توان از دامداری مبنی بر مراتع به سمت دامداری های صنعتی یا نیمه صنعتی و مصمم در اجرای برنامه های اصلاحی، استفاده شود که شاید بیشتر از هر راهکار دیگری مثرتر باشد. در این راستا، واگذاری تسهیلات کم بهره و بلندمدت هم، می تواند کمک شایانی در خصوص این امر باشد.

(رتوفی راد و همکاران، ۱۳۹۴). توجه به مراتع، دلیلی بر نقش مراتع، به عنوان زمینه ای برای تحولات اجتماعی، اقتصادی، ایلات و عشایر ایران است و اهمیت ویژه ای برای پیوند فرهنگ ها دارد. شناخت پوشش گیاهی و تعیین وضعیت مراتع با بهره گیری از روش های شناخته شده، در استفاده بهتر از آن و جلوگیری از خسارات ها و رعایت تعادل موثر خواهد بود (فرزانه پی و همکاران، ۱۳۹۶). محصولات مورد برداشت مراتع برای بهره برداران یا طبیعت نشینان تنها گوشت نیست و آنها از اثرگذاران مستقیم بر مراتع به شمار می آیند، که آگاهی از دانش و بینش آنان نسبت به مشکلات، در مدیریت مراتع حائز اهمیت است (محمدی و خاتون آبادی، ۱۳۷۸). از طرف دیگر، گیاهان دارویی به علت تغییرات شدید رویشگاه، تأثیرات تغییر اقلیم و بهره وری بی رویه، در معرض تخریب و نابودی قرار گرفته اند. با اعمال سیاست بر منابع آب، مانند شناخت محل هایی برای بهره وری مناسب آب، وضع خط مشی های ارزش گذاری آب و تعیین تعادل عرضه و تقاضای آب، رفع این معضل میسر خواهد شد (یوسف زاده چابک و همکاران، ۱۳۹۵). چراکه کمبود حضور این گیاهان در عرصه، نشانگر کم رنگی نقش مراتع و آسیب پذیر شدن فرهنگ بهره برداری است.

تخریب در منابع گیاهی می تواند درجه آسیب پذیری انسان به بیماری های منتقل شده از هوا و آب را به ویژه در جوامعی با زیرساخت بهداشتی ناکافی افزایش دهد، در پی آن نوسانات اقلیمی با هر بازه زمانی، سبب تشدید اختلال در تولیدات و کاهش امنیت غذایی نیز می شوند (Azibo و Kimengsi، ۲۰۱۵). بسیاری از محققان عنوان کردند، جانشینی گونه هایی به جای گونه بومی می تواند میزان بارش حوزه را به پایین تر از ۲۰ درصد برساند (Brooks و همکاران، ۲۰۰۳). بشر وظیفه دارد در حفظ کیفیت مراتع، ذخیره بلندمدت منابع زیست شناختی و حق نسل های آتی بر منابعی که ارزشی مساوی با منابع مصرف شده امروز دارند، کوشا باشد. براساس چارچوب فکری جدید در شاخص عملکرد محیطی، عرصه های طبیعی هر کشور فقط وابسته به آن کشور نیست، بلکه با همسایگان و سایر نقاط جهان مشترک می باشد (گریفیتس، ۱۳۹۰) که این شاهدهی برای تایید بر نقش مراتع در کنار فرهنگ آب است.

نتیجه گیری

مرتع از منظر تولید آب، جایگاه ویژه ای دارد و پیوند نقش آن با آب، نیازمند ارتباطی چند شاخه است. برای تاکید بر نقش حفاظتی، حمایتی و تولیدی مراتع نسبت به آب، یک نوآوری از نوع تلفیق مطالعات در راستای شرح مراتع و آب در زمینه بهره برداری، مدیریت، احیاء، اصلاح و غیره شکل گرفت که بیان پیشینه فرهنگی (مرتع و فرهنگ آب) این ارتباط، تأثیرگذاری و مقبولیت را در همه سطوح اعم از متخصصان، اساتید، دانشجویان

و حتی عموم مردم فراهم کرد. شیوه نوین این پژوهش، گردآوری دانش عملی-تجربی متخصصان، پژوهشگران در کنار دانش بومی است تا اهمیت مرتع در زمره آب خاطرنشان شود.

در نهایت نتایج این مطالعه، مدیریت ناصحیح و فرهنگ بهره‌کشی را یکی از علت‌های مهم نابودی مراتع و هدر رفت فرصت تولید آب می‌داند و نیز عوامل اقلیمی (خشکسالی و غیره) را، از عوامل تشدیدکننده نابودی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آورد. به این ترتیب شناسایی موقعیت رویشگاه و سازگاری گیاهان مرتعی مهمترین عامل در حفظ و مدیریت آب تولیدی توسط مراتع است. همچنین اقدام به حفظ مراتع و استفاده بهینه، گام بزرگی در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار می‌باشد که ظرفیت‌سازی و اعتماد، اساس موفقیت در حفظ اکوسیستم‌های طبیعی است. از این‌رو تاکید بر نقش چشمگیر گیاهان مرتعی در تولید، ذخیره و تنظیم کیفیت آب می‌تواند شرحی از جایگاه مرتع در زندگی اجتماعی آب باشد.

پی‌نوشت

1-Plant functional group

2-Biomass

منابع

احسانی، ع.، ارزانی، ح.، فرح‌پور، م.، احمدی، ح.، جعفری، م.، جلیلی، ع.، میرداودی، ح.ر.، عباسی، ح.ر. و السادات عظیمی، م. ۱۳۸۶. تاثیر شرایط اقلیمی بر تولید علوفه مراتع در منطقه استپی اختر آباد ساوه. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲): ۲۴۹-۲۶۰.

احسانی، ع.، ارزانی، ح.، فرح‌پور، م.، احمدی، ح.، جعفری، م. و اکبرزاده، م. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار Cropwat ۸.۰ (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۱): ۱۶-۱۶.

ارزانی، ح.، اژدری، غ. و زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۸. بررسی کارایی روش صفحه مشبک برای برآورد تولید و میزان بهره‌برداری از مرتع. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۳(۴): ۶۱۱-۶۲۲.

اسدالهی، ز.، سلمان ماهینی، ع.ا.، میرکریمی، س.ح. و عظیمی، م.ا. ۱۳۹۴. مدل سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک با نرم افزار InVEST (مطالعه موردی: بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۵(۳): ۶۱-۷۵.

بارانیان کبیر، ا.، موسوی، س.ع.، بشری، ح.، مصدقی، م.ر. و بصیری، م. ۱۳۹۶. پیامدهای اقتصادی تغییر کاربری مراتع به دیم‌زار از جنبه کارکردهای حفظ آب و خاک. مجله علمی-پژوهشی بوم شناسی کاربردی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۶(۲): ۱-۱۴.

بستان، ی.، فتاحی، ا.، صادقی‌نیا، م. و فهرستی ثانی، م. ۱۳۹۷. برآورد ارزش اقتصادی کارکردهای تنظیمی خاکی و آبی اکوسیستم‌های مرتعی (مطالعه موردی: اکوسیستم مرتعی شیخ‌موسی شهرستان بابل). نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۲(۴): ۴۶۴-۴۸۰.

پیچند، م. ۱۳۹۶. مطالعه تاثیر تبدیل مرتع به سایر کاربری‌های کشاورزی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز امامه). فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۸(۱): ۹۹-۱۲۲.

تلوری، ع.ا. و شادمانی، ع. ۱۳۸۴. برآورد ارزش کارکردهای غیرتجاری و مراتع کشور از دیدگاه آبخیزداری. همایش ملی فرسایش و رسوب. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

جعفرزاده، ع.ا.، مهدوی، ع.، فلاح شمس، س.ر. و یوسف پور، ر. ۱۳۹۸. ارزش گذاری اقتصادی برخی از خدمات اکوسیستم مراتع زاگرس در استان ایلام. نشریه علمی-پژوهشی مرتع، ۱۳(۳): ۴۳۶-۴۴۹. جلیلی، ع. ۱۳۹۸. مرتع عنوان ناقص بر مجموعه‌ای از اکوسیستم‌ها. نشریه طبیعت ایران، ۴(۶): ۳-۱.

جنتی چنار، م.ع.، کلاهی، م. و مصدقی، م. ۱۳۹۹. تعارضات اجتماعی و مدیریت مراتع: مطالعه موردی مراتع شهرستان کلات نادر. بوم شناسی کاربردی، ۹(۳): ۷۷-۹۷.

جنگجو، م. ۱۳۸۸. اصلاح و توسعه مرتع. انتشارات جهاد دانشگاهی. چاپ اول. مشهد، ایران.

حبیب زاده، ا.، گودرزی، م.، مهرورزمغانلو، ک. و جوانشیر، ع. ۱۳۸۶. تاثیر پیتینگ، ریبینگ و کنتورفارو در ذخیره رطوبت و افزایش پوشش گیاهی. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۶۰(۲): ۳۹۷-۴۱۰.

حسینی، ا. ۱۳۹۵. اثر گرادیان ارتفاع از سطح دریا بر تنوع گونه‌های درختی در جنگل‌های بلوط هیانان ایلام. فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۷(۱): ۸-۱.

خسروی، م.ب. ۱۳۷۸. آب در فرهنگ، هنر و معماری ایانی. فصلنامه هنر، ۱(۴۲): ۹-۱.

داورپناه، غ. ۱۳۸۴. بررسی اثر مواد جاذب رطوبت بر تامین آب درختکاری در مناطق نیمه خشک. آب و فاضلاب، ۱۶(۱): ۶۲-۶۹. دوستی، ش. و بهرامی‌سامانی، ش. ۱۳۸۸. جلوه‌های مصرف آب و نان در فرهنگ مردم با رویکرد ارزش. فصلنامه فرهنگ مردم ایران، ۱۸(۱۹): ۱-۱۸.

دهخدا، ع. ۱۳۶۲. لغت نامه. جلد ۱۴. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران، ایران.

رابینگن، ا. و واینبرگ، م. ۱۳۹۱. رویکردهای نظری هفتگانه در بررسی مسائل اجتماعی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دهم. تهران، ایران. رئوفی راد، و. ا.، حیدری، ق.ا. و باقری، س. ۱۳۹۴. تحلیل رابطه بین تولید با سطح، تعداد دام و تعداد بهره‌بردار مرتعی (مطالعه موردی: طرح‌های مرتعداری بیلاقی استان اصفهان). فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۶(۴): ۵۷-۶۸.

زرین آبادی، ا. و واعظی، ع.ر. ۱۳۹۵. تولید رواناب و هدر رفت خاک در مراتع با پوشش ضعیف تحت تاثیر تغییر کاربری زمین و جهت شخم. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۷(۱): ۸۷-۹۸.

سبزه‌ای، م.ت. و کولیوند، ش. ۱۳۹۶. بررسی جامعه شناختی مسئله

اجتماعی آب در ایران با نگرش توسعه پایدار. فصلنامه علوم اجتماعی، ۴۳۳-۴۰۴: (۷۷).

سجادی، ن.، محمد اسمعیلی، م.، بهنمش، ب.، شهرکی، م. ر.، واسکندری، ف. ۱۳۹۴. بررسی عوامل اقتصادی-اجتماعی موثر بر مشارکت بهره‌برداران در اجرای طرح‌های مرتعداری (مطالعه موردی: شهرستان سنجند). نشریه مرتعداری، ۲(۱): ۳۵-۵۱.

سلطانی، س.، مختاری، ف.، زارع بیدکی، ر. و رئیسی، س. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات پارامترهای کیفیت آب در حوضه آبخیز سد زاینده رود. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۲(۴): ۴۴۵-۴۵۸. شارب، ر. ن. ۱۳۴۳. فرمان‌های شاهنشاهان هخامنشی. انتشارات دانشگاه شیراز. چاپ سوم. شیراز، ایران.

شامخی، ت. و میرمحمدی، س. م. ۱۳۹۱. چالش‌های جنگل‌ها و مراتع ایران و پیشنهادهایی برای رفع مشکلات. گزارش راهبردی معاونت پژوهش‌های اقتصادی، ۱۵۰(۱): ۳۱-۳۱.

شهریاری، ح. ا.، ابراری واجباری، ک.، پیله ور، ب. و حیدری، م. ۱۳۹۸. عکس العمل گروه‌های کارکردی گیاهی به برخی عوامل محیطی در جنگلهای کوهستانی زاگرس جنوبی (مطالعه موردی استان خوزستان- شهرستان باغ ملک). مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۲(۴): ۱۷-۱۷.

صابرفرو، ر.، فلاحکار، س. و کیا، س. ح. ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی در سنجنده‌های ماهواره لندست (مطالعه موردی: ارس زارهای شرق پارک ملی گلستان و منطقه حفاظت شده قرخود). فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹۱(۱): ۷۱-۹۱.

صادقی، س. ح. ر.، نجفی، د. ع. و وفاخواه، م. ۱۳۸۳. بررسی نقش تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: منطقه لنجان علیا در استان اصفهان). کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، کرمان، ایران. ۱۱۵-۱۲۳. صادقی، س. ح. ر.، قادری وانگاه، ب. و صفاتیان، ن. ا. ۱۳۸۷. مقایسه نفوذ آب به خاک در مراتع تحت چرای آزاد و دست کاشت در شمال ایران. پژوهش کشاورزی، ۸(۱): ۲۱۹-۲۲۹.

صبح زاهدی، ش.، تلوری، ع. ا.، قدرتی، ع. و غیرانیان، م. ۱۳۸۱. تاثیر بهره‌برداری جنگل در سیل‌خیزی رودخانه شفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات اولین همایش نقش و جایگاه آبخیزداری در توسعه منابع طبیعی و کشاورزی حاشیه دریای خزر. رشت.

صفاری، ا.، نوری، ع. ع. و کرمی، ج. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک حوضه قره سو گرگانرود. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۱): ۱-۱۴.

صمدی بروجنی، ح. و شمسا، م. ر. ۱۳۸۵. نقش جایگاه آبخیزداری در آینده کنترل و بهره‌برداری منابع آب کشور. مدیریت منابع آب ایران، ۱: ۸-۸.

عبداللهی، ج.، ارزانی، ح.، باغستانی، ن. و میرعسکرشاهی، ف. ا. ۱۳۸۵. بررسی آثار تغییرات بارندگی و سطح ایستابی آب زیرزمینی بر پوشش، تراکم و تولید گونه اشنان در منطقه چاه افضل اردکان یزد. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳(۲): ۷۴-۸۱.

عوض‌پور، ل.، قربانی، م. و عرفانزاده، ر. ۱۳۹۷. تحلیل خصوصیات ساختاری سرمایه اجتماعی بهره‌برداران در راستای استقرار مدیریت مشارکتی

مرتع (منطقه مورد مطالعه: سامان عرفی نردین، شهرستان میامی، استان سمنان). نشریه علمی-پژوهشی مرتع، ۱۲(۴): ۳۹۱-۴۰۰.

فرزانه پی، ف.، علی‌پور، ن.، پاک، ن.، کابلی، ح. و مصباح زاده، طیه. ۱۳۹۶. بررسی و ارزیابی وضعیت گرایش مرتع در تپ‌های گیاهی منطقه علاء سمنان. فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۸(۴): ۷۰-۵۹.

فلاح قلهراری، گ.، احمدی، ه. و فاخری، م. ۱۳۹۵. ارزیابی تقویم اقلیمی زنبورداران در استان آذربایجان غربی بر اساس شرایط حرارتی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۱(۱): ۱۳-۳۰.

قاسمی آریان، ی.، ارزانی، ح. و فیله کش، ا. ۱۳۹۲. تعیین شایستگی منابع آب شرب دام برای چرای گوسفند با استفاده از GIS (مطالعه موردی: مراتع جنوب غربی سبزوار). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۰(۴): ۶۳۴-۶۴۳.

قائم، م. ط. و عابدی، ش. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر خشکسالی در وضعیت گرایش و تغییرات پوشش گیاهی مراتع گردنه قوشچی آذربایجان غربی، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران.

قربانی مقدم، م.، جنگجو برزل آباد، م.، دستورانی، م. ت. و زادبر، م. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر استحصال آب باران به وسیله کنتورفارو، چاله‌های کپه و هلالی آبیگری در استقرار سه گونه مرتعی در مرتع چاهدر مشهد. چهارمین همایش بین‌المللی انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبیگر باران. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، مشهد، ایران.

قیومی محمدی، ا. م.، قربانی دشتکی، ش.، رئیسی، ف. و طهماسبی، پ. ۱۳۹۲. اثر رهاسازی اراضی بر تغییرات نفوذ آب به خاک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲(۴): ۴۲-۵۰.

کاویان‌پور، ا. ح.، جعفریان، ز.، اسمعیلی، ا. و کاویان، ع. ا. ۱۳۹۴. اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدر رفت خاک با استفاده از شبیه سازی باران در مراتع نشو استان مازندران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۶(۲): ۱۷۹-۱۹۰.

کاویان‌پور، ا. ح.، بارانی، ح.، سپهری، ع. و بهره‌مند، ع. ا. ۱۳۹۸. اثرات تغییرات اقلیمی بر فعالیت‌های بهره‌برداران مرتع (مطالعه موردی: مراتع حوزه آبخیز هراز). نشریه علمی-پژوهشی مرتع، ۱۳(۱): ۲۶-۳۸. کرم زادی، م. ۱۳۹۷. آب و توسعه پایدار در آسیای مرکزی. مطالعات آسیای مرکزی و قفقاز، ۲۴(۱۰۲): ۱۵۵-۱۸۴.

کلاهی، م. و پایسته، م. ۱۳۹۹. اثرات طرح‌های منابع طبیعی بر مسائل اجتماعی-اقتصادی روستاییان حوضه آبخیز چاه‌نوروز. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۱(۲۱): ۱۵۴-۱۶۴.

گرشاسبی، پ.، فتاحی اردکانی، م. ع.، شفق، م. و فرضی، ح. ۱۳۹۴. تجربیات و راهکارهای استحصال آب در کشور با اجرای عملیات آبخیزداری. چهارمین همایش بین‌المللی انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبیگر باران. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، مشهد، ایران.

گرفیتس، م. ۱۳۹۰. دانشنامه روابط بین الملل و سیاست جهان. انتشارات نی. چاپ دوم. تهران، ایران.

- مهرقعی، ن.، شرزه‌ای، غ.ع. و قدوسی، ج. ۱۳۸۹. نقش بوم سازگان جنگلی در حفاظت از منابع آبی و برآورد ارزش این عملکرد در جنگل‌های خزری ایران. جنگل ایران، ۲(۳): ۱۸۷-۱۹۶.
- محمدی، ذ.ا. و خاتون آبادی، ا. ۱۳۷۸. بررسی نهادهای سنتی بهره‌برداری از منابع منطقه چنگلوا و نقش آنها در اصلاح و احیا مراتع. وزارت علوم و تحقیقات و فناوری، ۶۴: ۵۵-۵۵.
- مرادی، ا. و کلاهی، م. ۱۳۹۹. روستازیستی پایدار در حوضه آبخیز بخش موسی‌آباد شهرستان تربت جام. فصلنامه علوم محیطی، ۱۸(۴): ۱۸۳-۲۰۲.
- مریدی، ت.، کرمی، پ.، شکری، م. و جوری، م. ۱۳۸۶. رابطه تنوع و تولید در علفزارها و بوته‌زارهای زاگرس. مجله علمی- پژوهشی مرتع، ۱(۱): ۱-۱۰.
- مقدم، م. ر. ۱۳۹۳. مرتع و مرتعداری. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هشتم. تهران، ایران.
- موقری، م. و خلاصی، ل. ۱۳۹۷. ارزیابی ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک با استفاده از روش (LFA). فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹(۳): ۶۳-۷۸.
- مهدوی، م. ۱۳۷۴. هیدرولوژی کاربردی. جلد ۱: هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. تهران، ایران.
- میردآوودی، ح. ر. ۱۳۹۳. بررسی خصوصیات رشد و استقرار چند گونه گیاه مرتعی در مناطق استپی استان مرکزی (مطالعه موردی منطقه آبخوان خشک‌رود زندیه). فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۱(۱): ۱۶۵-۱۷۵.
- میردیلیمی، س.ز.، سپهری، ع. و بارانی، ح. ۱۳۹۴. ریشه یابی مشکلات مراتع از دیدگاه بهره‌برداران (مطالعه موردی: مراتع شمال شرق ایران). نشریه مرتعداری، ۲(۱): ۷۹-۹۹.
- میرزایی، م. و کلاهی، م. ۱۳۹۹. روستازیستی پایدار در شهرستان تربت حیدریه. روستا و توسعه، ۲۳(۳): ۷۹-۹۶.
- نظری سامانی، ع.ا.، جعفری، م.، نصرتی، ک.، فرزاد مهر، ج.، عبدالشاه‌نژاد، م. و رحیمی، ف. ۱۳۹۷. تعیین نمایه‌های موثر بر تغییر کیفیت خاک در رابطه با نوع کاربری اراضی. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۱(۲): ۲۳۹-۲۵۳.
- نقی‌زاده، م. ۱۳۸۲. مشخصه‌های آب در فرهنگ ایرانی و تاثیر آن بر شکل‌گیری فضای زیست. محیط شناسی، ۳۲(۳): ۷۱-۹۲.
- نوروزی، ع.، حقیان، ا. و شیدای کرکچ، ا. ۱۳۹۸. طرح‌های مرتعداری و سلامت مرتع (مطالعه موردی: مراتع شهرستان تربت حیدریه). منابع طبیعی ایران، ۷۲(۴): ۱۱۳۱-۱۱۴۵.
- وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری. ۱۳۸۸. گزارش سیمای آبخیزداری ایران.
- وهابی، م.ر.، بصیری، م. و خواجه‌الدین، س.ج.ا. ۱۳۷۶. بررسی تغییرات پوشش گیاهی، ترکیب گونه‌ای و تولید علوفه در شرایط قرق و چرا در منطقه فریدن اصفهان. نشریه علوم و خاک، ۱(۱): ۵۹-۷۱.
- ویسی، ا. ۱۳۸۶. ریشه‌شناسی واژه‌های آب و آتش و باد در فرهنگ و ادبیات ایرانیان از دیدگاه زبان‌شناسی زیست‌محیطی. پیک نور، ۵(۳): ۷۰-۸۰.
- هال، ج. ۱۳۸۰. فرهنگ نگاره‌ای نمادها در هنر شرق و غرب. انتشارات فرهنگ معاصر. چاپ اول. تهران، ایران.
- یوسف‌زاده چابک، م.، باقری، ع. و داوری، ک. ۱۳۹۵. ارزیابی سیستم منابع آب با رویکرد یکپارچه براساس چارچوب حسابداری آب در محدوده مطالعاتی مشهد. نشریه آب و فاضلاب، ۲۷(۱۰۵): ۱-۱۴.
- Alam M.Z., Carpenter-Boggs L., Rahman A., Haque M.M., Miah M.R.U., Moniruzzaman M., Qayum M.A. and Abdullah H.M. 2017. Water quality and resident perceptions of declining ecosystem services at Shitalakka wetland in Narayanganj city. Sustainability of Water Quality and Ecology, 9: 53-66.
- Arzani H., Azarnivand H. and Mehrabi A.A. 2005. Minimum rangeland area for rural pastoralism of Markazi province. Rangeland and Desert Research, 2(10): 327-338.
- Azibo B.R. and Kimengsi J.N. 2015. Building an indigenous agro-pastoral adaptation framework to climate change in Sub-Saharan Africa: experiences from the North West Region of Cameroon. Procedia Environmental Sciences, 1(29): 126-127.
- Bezemer T.M., Lawson C.S., Hedlund K., Edwards A.R., Brook A.J., Igual J.M., Mortimer S.R. and Van der Putten W.H. 2006. Plant species and functional group effects on abiotic and microbial soil properties and plant-soil feedback responses in two grasslands. Ecology, 94(5): 893-904.
- Box G. E., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. 1994. Time series analysis. forecasting and control, 282-285
- Brooks K.N., Ffolliott P.E., Gregersen H.M. and DeBano L.F. 2003. Hydrology and the Management of Watersheds. Iowa State University Press.
- Casermeyro M.A., Molina J.A., De la Cruz Caravaca M.T., Costa J.H., Massanet M.H. and Moreno P.S. 2004. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. Catena, 57(1): 91-107.
- Caskey R. and Tenure L. 1969. The pastoralist's viewpoint on rangelands. Arid Lands of Australia.
- Chuai X., Huang X., Lai L., Wang W., Peng J. and Zhao R. 2013. Land use structure optimization based on carbon storage in several regional terrestrialecosystems across China. Environmental Science & Policy, (25): 50-61.
- De Groot R.S., Wilson M.A. and Boumans R.M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological economics, 41(3): 393-408.
- Demin, A.P. 2016. Problems with water use in countries of East, South and Central Asia. Geography and Natural Resources, 37(3): 181-191.
- Deng, F., Zang, R. and Chen, B. 2008. Identification of func-

- tural water management, 108: 61-72.
- Karthe D., Abdullaev I., Boldgiv B., Borchardt D., Chalov S., Jarsjo J., Li L. and Nitttrouer J.A. 2017. Water in Central Asia: an integrated assessment for science-based management. *Environ. Earth Sci*, 76(20): 1-690
- Khashtabeh R., Akbari M., Kolahi M. and Talebanfard A. 2020. Assessing the effects of desertification control projects using socio-economic indicators in the arid regions of eastern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-15.
- Knapp A.K., Blair J.M., Fay P.A., Smith M.D., Collins S.L. and Briggs J.M. 2005. Long-Term responses of meadow grassland to manipulation of rainfall quantity and pattern. In *International Grassland congress*, Ireland United Kingdom.
- Kolahi M., Sakai T., Moriya K. and Makhdoum M.F. 2012. Challenges to the future development of Iran's protected areas system. *Environmental management*, 50(4): 750-765.
- Kolahi M., Sakai T., Moriya K., Makhdoum M. F. and Koyama L. 2013. Assessment of the Effectiveness of Protected Areas Management in Iran: Case Study in Khojir National Park. *Environmental management*, 52(2): 514-530.
- Kolahi M., Sakai T., Moriya K., Yoshikawa M. and Trifkovic S. 2014a. Visitors' Characteristics and Attitudes towards Iran's National Parks and participatory conservation. *PARKS Journal IUCN*, 20(1): 49-62.
- Kolahi M., Sakai T., Moriya K., Yoshikawa M. and Esmaili R. 2014b. From Paper Parks to Real Conservations: Case Study of Social Capital in Iran's Biodiversity Conservation. *International Journal of Environmental Research*, 8(1): 101-114.
- Kolahi M., Moriya K., Sakai T., Khosrojerdi E. and Etemad V. 2014c. Introduction of Participatory Conservation in Iran: Case Study of the Rural Communities' Perspectives in Khojir National Park. *International Journal of Environmental Research*, 8(4): 913-930.
- Lammel A., Dugas E. and Guillen E. 2011. Traditional way of thinking and prediction of climate change in New Caledonia (France). *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 10(1): 13-20
- Li X.Y., Liu L.Y., Gao S.Y., Shi P.J., Zou X.Y. and Zhang C.L. 2005. Microcatchment water harvesting for growing *Tamarix ramosissima* in the semiarid loess region of China. *Forest Ecology and Management*, 214(1-3): 111-117.
- Malekpour B., Ahmadi T. and Kazemi Mazandarani S. 2011. Effect of land use change on physical and chemical characteristics of soil in Kohneh Lashak Kajur, Noshahr. *Science of Technol Nat Res*, 6: 115-126.
- tional groups in an old-growth tropical montane rain forest on Hainan Island, China. *Forest Ecology and Management*, 255(5-6): 1820-1830.
- Dillon M.E., Wang, G. and Huey R.B. 2010. Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*, 467(7316): 704-706.
- Egeru A. 2012. Role of indigenous knowledge in climate change adaptation: A case study of the Teso Sub-Region, Eastern Uganda. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 11(2): 217-224.
- Field C.B. 2014. *Climate change 2014-Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*. Cambridge University Press.
- Fox W.E., Medina-Cetina Z., Angerer J., Varela P. and Chung J.R. 2017. Water quality & natural resource management on military training lands in central Texas: Improved decision support via Bayesian networks. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 9: 39-52.
- Gomi T., Sidle R.C., Ueno M., Miyata S. and Kosugi K.I. 2008. Characteristics of overland flow generation on steep forested hillslopes of central Japan. *Journal of Hydrology*, 361(3-4): 275-290.
- Gurrieri J.T. 2020. *Rangeland water developments at springs: best practices for design, rehabilitation, and restoration*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-405. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Hector A., Schmid B., Beierkuhnlein C., Caldeira M.C., Diemer M., Dimitrakopoulos P.G., Finn J.A., Freitas H., Giller P.S., Good J. and Harris R. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *science*, 286(5442): 1123-1127.
- Henry B., Charmley E., Eckard R., Gaughan J.B. and Hegarty R. 2012. Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop Pasture Sci*, 63: 191-202.
- Heshmati G.H.A. and Kamali P. 2016. Effects of Woody Plants on Rangeland Ecosystems Function. *Journal of Natural Ecosystems*, 6(4): 12-25.
- Howden S.M., Crimp S.J. and Stokes C.J. 2008. Climate change and Australian livestock systems: impacts, research and policy issues. *Australian journal of experimental agriculture*, 48(7): 780-788.
- Karimov, A., Molden, D., Khamzina, T., Platonov, A. and Ivanov, Y. 2012. A water accounting procedure to determine the water savings potential of the Fergana Valley. *Agriculture*

- mad, H., de Fraiture, C., Eickhour B., Fonseca, J., Huang J., Koyama O., Omezzine A.M., Pingali P., Ramirez R., Ringler C., Robinson S., Thornton P., van Vuuren D., Yana-Shapiro H. 2009. Looking into the future for agriculture and AKST. IN: McIntyre B.D., Herren, H.R., Wakhungu J., Watson R. T. (Eds.). International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD): Agriculture at a Crossroads, global report. Washington, DC, USA: Island Press.
- Silvertown J., Dodd M.E., McConway K., Potts J. and Crawley M. 1994. Rainfall, biomass variation, and community composition in the Park Grass Experiment. *Ecology*, 75(8): 2430-2437.
- Skaggs, R.K. 2008. Ecosystem services and western US rangelands. *Choices*, 23(316-2016-6900): 37-1.
- Thornton PK, Boone RB, Ramirez-Villegas J. 2015. Climate change impacts on livestock. CCAFS Working Paper no. 120. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Tongway D.J. and Hindley N. 2003. Indicators of Ecosystem Rehabilitation Success. Stage Two. Verification of EFA Indicators Final Report.
- Vahabi J. and Nikkami D. 2008. Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. *International Journal of Sediment Research*, 23(4): 376-386.
- Vardon M., Lenzen M., Peevor S. and Creaser M. 2007. Water accounting in Australia. *Ecological Economics*, 61(4): 650-659.
- Wang L.X. and Zhang Z.Q. 2001. Impacts of forest vegetation on watershed runoff in dryland areas. *Journal of Natural Resources*, 16(5): 439-444.
- World Economic Forum, 2002. The global competitiveness report. World Economic Forum.
- Zhang Z., Yu X., Zhao Y. and Qin Y. 2003. Advance in researches on the effect of forest on hydrological process. *Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology*, 14(1): 113-116.
- Zhang G.H., Guo-Bin L.I.U. and Guo-Liang, W.A.N.G. 2010a. Effects of Caragana Korshinskii Kom. cover on runoff, sediment yield and nitrogen loss. *International Journal of Sediment Research*, 25(3): 245-257.
- Zhang W.T., Dong-Sheng Y.U., Xue-Zheng S.H.I., Man-Zhi T.A.N. and Liu-Song L.I.U. 2010b. Variation of sediment concentration and its drivers under different soil management systems. *Pedosphere*, 20(5): 578-585.
- McMahon S.M., Harrison S.P., Armbruster W.S., Bartlein P.J., Beale C.M., Edwards M.E., Kattge J., Midgley G., Morin X. and Prentice I.C. 2011. Improving assessment and modelling of climate change impacts on global terrestrial biodiversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(5): 249-259.
- Miyan M.A. 2015. Droughts in Asian least developed countries: Vulnerability and sustainability. *Weather and Climate Extremes*, 7: 8-23.
- Miyata S., Kosugi K.I., Gomi T., Onda Y. and Mizuyama T. 2007. Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(17): 2365-2376.
- Nangendo G., Stein A., Gelens M., de Gier A. and Albricht R. 2002. Quantifying differences in biodiversity between a tropical forest area and a grassland area subject to traditional burning. *Forest ecology and management*, 164(1-3): 109-120.
- Nardone A., Ronchi B., Lacetera N., Ranieri M.S. and Bernabucci U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3): 57-69.
- Navidi M.N., and Abtahi A. 2000. Effect of climate and topography on forest soil genesis in kheyrudkenar in Mazandaran province. *Journal Science Water and Soil*, 15(2): 299-316.
- Ngaruiya G.W. 2015. Reweaving stakeholder networks: Promoting climate mitigation and Maasai culture using medicinal plants in Kenya. *Ecosystem Services*, 15: 103-112.
- Nichols M.H., Magirl C., Sayre N.F. and Shaw J.R. 2018. The geomorphic legacy of water and erosion control structures in a semiarid rangeland watershed. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(4): 909-918.
- Noble I.R. and Gitay H. 1996. A functional classification for predicting the dynamics of landscapes. *Journal of Vegetation science*, 7(3): 329-336.
- Polley H.W., Briske D.D., Morgan J.A., Wolter K., Bailey D.W. and Brown J.R. 2013. Climate change and North American rangelands: trends, projections, and implications. *Rangeland Ecology & Management*, 66(5): 493-511.
- Pretty J. and Ward H. 2001. Social capital and the environment. *World development*, 29(2): 209-227.
- Riggs T.J. 1973. The use of canonical analysis for selection within a population of spring barley. *Annals of Applied Biology*, 74(2): 249-258.
- Rosegrant M. W., Fernandez M., Sinha A., Alder J., Aham-



درآمد

قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی کالیفرنیا که به اختصار، SGMA (سیگما) شناخته می‌شود، در سال ۲۰۱۴ در بحبوحه خشکسالی پنج‌ساله کالیفرنیا از ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ به تصویب رسید. این قانون به شکل اساسی نقش‌ها، مسئولیت‌ها، و اختیارات مراجع محلی مسئول پیاده‌سازی مدیریت آب زیرزمینی در کالیفرنیا و دستگاه‌های ایالتی ناظر را دگرگون کرده است. در این نوشتار به اختصار، سابقه سیاست‌های آب زیرزمینی کالیفرنیا توصیف می‌شود تا پیشینه و جایگاه قانون جدید در روند تکاملی سیاست آب زیرزمینی روشن شود. سپس به اجمال، مؤلفه‌های اصلی قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی معرفی و تشریح می‌شود.

سیاست مدیریت آب زیرزمینی در کالیفرنیا

جمعیت رو به افزایش کالیفرنیا و گسترش صنعت کشاورزی در قرن بیستم، تقاضاهای آب و استفاده از آب زیرزمینی را برای تأمین تقاضاها افزایش داد. در پاسخ به اتکای رو به رشد به آب زیرزمینی و پیامدهای آن، رسیدگی قضایی به عنوان یک ابزار مدیریت در دهه ۱۹۲۰ آغاز شد. ضرورت مدیریت رسمی‌تر و هماهنگ‌تر آب زیرزمینی، رفته‌رفته در دهه ۱۹۴۰ با اُفت سریع ترازهای آب زیرزمینی و فرونشست ناشی از آن آشکار شد. از اواخر ۱۹۷۰ تا دهه ۱۹۹۰، کالیفرنیا شاهد شکل‌گیری و رشد بازارهای آب بود که علت اصلی آن، نیاز به جابجایی آب از یک منطقه به منطقه دیگر در خشکسالی‌های طولانی

بود. در دهه ۱۹۹۰، قانون‌گذاران کالیفرنیا، حفاظت از این منبع گرانبها را به طور جدی مورد توجه قرار دادند. قوانینی به تصویب رسید و کمک‌های مالی برای دستگاه‌های محلی برای تشویق به مدیریت داوطلبانه آب زیرزمینی فراهم آمد. قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، نقطه عطفی در سیاست آب کالیفرنیا به شمار می‌آید، اما مبتنی بر تحولات گذشته در سیاست‌های مربوط به آب زیرزمینی است. به بیانی دیگر، این قانون، نتیجه و استمرار جهت‌گیری سیاست‌های پیشین است، و رویدادی گسسته و جدا از روند تکامل سیاست آب زیرزمینی به شمار نمی‌آید. این قانون، نخستین تلاش دولت ایالتی در واداشتن دستگاه‌ها و بهره‌برداران محلی آب به مدیریت آب زیرزمینی نبود. سیگما نقطه اوج چندین دهه برنامه‌ریزی و کنش‌های تقنینی در دهه‌های گذشته بود (جدول زیر). در واقع، قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی (سیگما) را باید جدیدترین تبلور نقش تغییریابنده دولت ایالتی در مدیریت آب زیرزمینی و یک قرن تحول در سیاست‌های مربوط به آب زیرزمینی به شمار آورد. سیاست آب زیرزمینی ایالت کالیفرنیا، سه دوره را سپری کرده است: (۱) عصر طولانی اولیه- اعطای اختیارات و پشتیبانی از مدیریت محلی آب زیرزمینی از تقریباً ۱۹۰۰ تا دهه ۱۹۸۰، (۲) دوره تشویق به کنش در سطح محلی از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴، و (۳) دوره اجباری کردن اقدام در بیش از ۱۰۰ حوضه از ۲۰۱۴ به بعد. در فراز و نشیب مسیر پیموده‌شده، سوابق گوناگونی از نوآوری و بی‌تحریکی و عدم فعالیت در سطح محلی را می‌توان مشاهده کرد که در ترکیب با بدترشدن شرایط آب زیرزمینی در بیشتر مناطق کالیفرنیا، ضرورت تغییر در نقش دولت ایالتی را آشکار ساخت.

سیر تحولات قانون‌گذاری درباره آب زیرزمینی در کالیفرنیا

سال	قانون
۱۹۹۲	قانون مدیریت آب زیرزمینی در شورای قانون‌گذاری کالیفرنیا به تصویب رسید. این قانون، دستگاه‌های محلی مسئول را همکاری در مدیریت منابع آب زیرزمینی تشویق و روش‌شناسی تهیه برنامه مدیریت آب زیرزمینی را ارائه می‌کند.
۲۰۰۲	لایحه ۱۹۳۸ در سنا به تصویب رسید. تهیه برنامه‌های مدیریت آب زیرزمینی، الزامی بود و ضوابط دریافت بودجه ایالتی برای پروژه‌های آب زیرزمینی تعریف شده بود. برنامه‌ها، الزام‌آور نبودند و دستگاه‌های محلی نمی‌توانستند برداشت‌ها را محدود سازند.
۲۰۰۹	لایحه مصوب سنا، برنامه پایش تراز آب زیرزمینی را به منظور رصد روندهای فصلی و بلندمدت در سرتاسر کالیفرنیا مقرر کرد.
۲۰۱۱	لایحه ۳۵۹ در شورای قانون‌گذاری کالیفرنیا به تصویب رسید. دستگاه‌های محلی به شناسایی محدوده‌های تغذیه در برنامه مدیریت آب زیرزمینی ملزم شدند تا بتوانند از بودجه ایالتی برای پروژه‌های آب زیرزمینی بهره‌مند شوند.
۲۰۱۲	کالیفرنیا شدیدترین خشکسالی را از سال ۱۹۷۷ تجربه کرد. کمبودهای شدید تأمین از منابع آب سطحی به اتکای بیشتر بر پمپاژ آب زیرزمینی منجر شد و در بسیاری از نقاط، چاه‌های خانگی خشک شدند.
۲۰۱۴	قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی به تصویب رسید. کالیفرنیا به آخرین ایالت غربی در قانون‌گذاری درباره آب زیرزمینی تبدیل شد.

دستگاه‌های محلی، بسنده نباشد یا اگر قادر به مدیریت پایدار استفاده آب زیرزمینی در حوضه مورد نظر نباشند.

۲- دستگاه‌های مدیریت آب زیرزمینی: قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، ساختار حکمرانی جدیدی را برای مدیریت منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا در سطح محلی مقرر کرده است. برابر قانون، تأسیس دستگاه‌های عمومی در سطح محلی اجازه داده شده است. برابر زمان‌بندی پیاده‌سازی قانون، در حوضه‌های آب زیرزمینی با اولویت بالا و متوسط (براساس شدت بهره‌برداری)، تا ۳۰ ژوئن ۲۰۱۷، دستگاه محلی مسئول مدیریت آب زیرزمینی باید تأسیس می‌شد. در این مهلت قانونی، ۲۶۰ دستگاه مدیریت در ۱۴۳ حوضه آب زیرزمینی برای مدیریت آب زیرزمینی تشکیل شد. در حوضه‌هایی که اولویت کم تا خیلی کم دارند، تأسیس دستگاه مدیریت توصیه می‌شود، اما برابر قانون الزامی نیست.

۳- برنامه‌های پایداری آب زیرزمینی: برابر قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، ابزارهای برنامه‌ریزی و اختیار تهیه و پیاده‌سازی برنامه‌های پایداری آب زیرزمینی برای تعادل‌بخشی عرضه و تقاضا در حوضه‌ها از طریق شناخت شرایط حوضه، تعیین معیارهای مدیریت پایدار، و پیاده‌سازی پروژه‌ها و تدابیر مدیریت، برای دستگاه‌های محلی مقرر شده است. حوضه‌هایی که اولویت بالا و متوسط دارند، ملزمند برنامه پایداری آب زیرزمینی را به وزارتخانه منابع آب ارائه نمایند و هر پنج سال، برنامه را بازنگری کنند تا میزان تحقق پایداری برای حوضه مورد نظر مشخص شود. حوضه‌هایی که در وضعیت اضافه‌برداشت بحرانی قرار داشتند، ملزم شدند تا ۳۱ ژانویه ۲۰۲۰، برنامه پایداری آب زیرزمینی را ارائه نمایند و تا سال ۲۰۴۰، به پایداری آب زیرزمینی دست یابند. دیگر حوضه‌هایی که اولویت بالا و متوسط دارند، باید تا ۳۱ ژانویه ۲۰۲۲، برنامه را به تصویب برسانند و تا سال ۲۰۴۲ به پایداری آب زیرزمینی دست یابند.

قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، بنیاد مدیریت آب زیرزمینی را در کالیفرنیا پی‌ریزی کرده است و عملی‌سازی آن را شتاب می‌بخشد. در این قانون، مدیریت پایدار آب زیرزمینی چنین معنا شده است: مدیریت و استفاده آب زیرزمینی به گونه‌ای که بتواند در افق برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی، استمرار یابد، بدون آنکه نتایج نامطلوب را سبب شود. شش نتیجه نامطلوب در این قانون مشخص شده است که در واقع، معیار ارزیابی پیشرفت مدیریت آب زیرزمینی در راستای دستیابی به پایداری به شمار می‌آیند:

- کاهش مستمر تراز آب زیرزمینی؛
- کاهش قابل ملاحظه و نامعقول ذخیره آب زیرزمینی؛
- نفوذ قابل ملاحظه و نامعقول آب شور؛
- کاهش قابل ملاحظه و نامعقول کیفیت آب؛
- فرونشست قابل ملاحظه و نامعقول زمین که تداخل اساسی با کاربری اراضی پیدا کند؛ و
- کاهش جریان آب سطحی و اثرات منفی بر استفاده‌های مفید از آب سطحی.

۱- سیگما و نقش دستگاه‌های ایالتی: قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی بر این باور استوار شده است که آب زیرزمینی به بهترین شکل در سطح محلی مدیریت می‌شود. وزارتخانه منابع آب کالیفرنیا، برابر قانون مدیریت پایدار آب زیرزمینی، دو نقش را در پشتیبانی از دستگاه‌های محلی در پیشبرد مدیریت پایدار آب زیرزمینی بر عهده دارد: ۱) ضابطه‌گذاری، که شامل طراحی ضوابط مربوط به مرزهای حوضه و تهیه و ارزیابی برنامه پایداری آب زیرزمینی، گزارش پیشرفت سالانه، و بهنگام‌سازی در هر ۵ سال است؛ و ۲) ارائه کمک‌های فنی، که شامل تأمین اطلاعات فنی و مدل‌ها، ابزارهای برنامه‌ریزی و داده‌ها، و پشتیبانی مالی از دستگاه‌های محلی است. همچنین، این قانون اختیار ضابطه‌گذاری و مداخله را به شورای ایالتی آب می‌دهد، در صورتی که تلاش



از هر دری ...

مصاحبه با دکتر عادل سپهر



رئیس گروه پژوهشی حفاظت اکوسیستم و مدیریت مخاطرات محیطی، پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد

پرسش: لطفاً در ابتدا به اختصار بفرمایید که امروزه شرایط آب و محیط زیست کشور چگونه است؟

پاسخ: کهن بوم ایران به سبب قرارگیری در کمربند خشک و نیمه خشک جهان و نیز به واسطهٔ چیرگی فعالیت‌های زمین‌ساخت بر زمین ناآرام قلب خاورمیانه، پهنه‌ای است گسترده از خشک‌بوم‌ها، اشکال، پدیده‌ها و ساختارهای گوناگون اکولوژیک و زمینی.

پیوند سپهر کم‌بارش با زمین بی‌قرار از زمین‌ساخت فعال و وجود ستیغ‌های بلند در شمال و غرب این کهن بوم، زمینه‌ساز گسترش چهره بیابان و قرارگیری بخش گسترده‌ای از زیست‌بوم‌های این منطقه تمدن‌ساز در اقلیم خشک و نیمه خشک شده است، به طوریکه امروز نزدیک به ۸۰ درصد از مساحت ایران را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در برگرفته‌اند.

البته نباید واژه خشک را با بیابان برابر دانست، زیرا هر اقلیم خشک لزوماً رخساری بیابانی ندارد و هر چشم‌انداز بیابانی نیز لزوماً در اقلیم خشک واقع نیست، با این حال از آنجا که اقلیم‌های خشک به سبب خاک تشنهٔ باران، پذیرای اندک پوشش گیاهی مقاوم به خشکی و شوری و با تنوع و تراکم متفاوتی نسبت به سایر اقلیم می‌باشند، فرصت را برای کاوش شدیدتر و مستمتر آب و باد، در اختیار این دو فرآیند شکل‌زا گذاشته، نتیجه این برهمکنش، چیرگی چهره‌ها و زیست‌بوم‌های بیابان در این اقلیم است. لذا بخش عمده‌ای از بیابان‌های بزرگ دنیا در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارند. همچنین تاب‌آوری شکنندهٔ مناطق خشک و درجه تحمل‌پذیری آسیب‌پذیر این مناطق، آن‌ها را در برابر عوامل گوناگون بیابانی شدن حساس‌تر و مستعدتر می‌سازد. غبار و سیلاب موجود در این چشم‌اندازها، گاه نفس را در سینه ساکنین این زیست‌بوم‌ها بند آورد و گاه بندهای رودها و مسیل‌هایشان را ویران.

جدای از آنچه در خصوص خشک‌بوم‌ها و ویژگی‌های زمین‌شناسی ایران مطرح شد، نباید تحولات کواترنری را از نظر دور داشت. دوره‌ای از مقیاس زمانی دوران سوم پیدایش، تکوین و تکامل زمین که هر چند عمری نزدیک به دو میلیون سال دارد، اما اثری شگرف

در آفرینش بخش بزرگی از ساختارهای فرسایشی و رسوب‌گذاری گذاشته است. دوره‌ای که با عصر یخبندان شناخته می‌شود و با تکامل انسان هوشمند، اهمیتی دو چندان می‌یابد. انسانی که به واسطهٔ آذ و طمع سیری‌ناپذیر خویش، موجب گشته است که عصری جدید در این دوره کوتاه با نام آنتروپوسن باز شود. عصری که با فعالیت‌های گوناگون انسان امروز، تغییرات شتابان اقلیمی، گرمایش جهانی و نابودی گونه‌های گیاهی و جانوری پیوند خورده است. حال امروز گر به خاورمیانه از نگاه محیط‌زیست بنگریم، بر کسی پوشیده نیست. نابودی عرصه‌های طبیعی، پوشش گیاهی، بهره‌برداری شتابان از منابع آب و خاک، کشاورزی ناپایدار، افزایش جمعیت و نیاز برای تأمین آب، غذا و شغل، نبود نگاه اکولوژیک در زمامداران و حاکمان، حاکمیت تفکر برنامه‌ریزی در بهره‌برداری از زمین و بسیاری عوامل دیگر، سبب شده است که چهرهٔ زیست‌بوم‌های این خاک کهن با دریاچه‌هایی خشک، دشتهایی با ترک‌هایی ژرف بر رخسار، جنگل‌هایی رو به نابودی، خاکی با سینه‌های پر ز غبار و گرد بیابان، مردمانی ناامید به آینده، از دست رفتن سرمایه‌های اجتماعی، گسترش فقر، نابودی زیستگاه‌ها، مهاجرت و در ختم کلام، تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در پهنه گسترده‌ای از خاک یک میلیارد و چند صد میلیون هکتاری این کهن بوم، جلوه نماید.

اکنون کمبود منابع آبی، خود به عنوان عامل پیش‌برنده تخریب سرزمین در بسیاری از زیست‌بوم‌های ایران به‌ویژه خشک‌بوم‌ها عمل می‌کند. اگر از پیامدهای محیط‌زیستی و مخاطرات ژئومورفولوژیک از دست رفتن منابع آبی مانند خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، فرسایش بادی و گرد و غبار، فرونشست دشت‌ها، فرسایش‌های تونلی و توسعه فروچاله‌ها و بسیاری پدیده مخاطره‌آمیز دیگر که بر کسی پوشیده نیست، گذر کنیم، بدون شک پیامدهای اقتصادی و به دنبال آن ناپایداری‌های اجتماعی نابودی منابع آب، مهم‌ترین پیامد تخریب سرزمین محسوب می‌شود.

آیندهٔ بخش وسیعی از کهن بوم ایران از زنده‌رود در مرکز ایران تا دریاچهٔ مهارلو در جوار خاک مصلی و آب رکن‌آباد، از پایتخت کنونی کشور در دامنه‌های البرز تا قلمرو سربداران در شرق، از دیار خیام و عطار تا سرزمین رستم در هامون، با ناپایداری‌های اکولوژیک و عبور از آستانه‌های بردباری گره خورده است، به گونه‌ای که نابسامانی‌های اجتماعی و فروپاشی اکوسیستم، تهدیدی جدی برای آینده و حیات ایران است. سرزمینی که خود خاستگاه یکی از بزرگترین تمدن‌های بشری در تاریخ مدنیت بوده است، اکنون در آستانه عبور از گذرهای برگشت‌ناپذیر اکوسیستم در بسیاری از زیست‌بوم‌های این کهن بوم است، بطوریکه ادامه حیات در بسیاری از خاک‌های تمدن‌ساز این دیار، غیرممکن خواهد شد.

پرسش: چه مواردی در شرایط محیط زیست استان خراسان رضوی قابل توجه است؟

پاسخ: استان خراسان رضوی، به عنوان چهارمین استان پهناور کشور و خاستگاه پارت‌ها در تاریخ این کهن‌بوم، در برگرفته دومین کلان‌شهر ایران، مشهد و همجوار با کشورهای واقع در قلمرو خراسان بزرگ، پهنه گسترده‌ای از زیست‌بوم‌های گوناگون با تنوع اکولوژیک، اقلیم و ژئومورفولوژیک را شامل می‌شود. کهن‌بومی با گوناگونی اقلیمی از اقلیم‌های سرد کوهستانی تا اقلیم گرم و خشک بیابانی و در برگرفته تنوع زمین شناختی بالا، از اشکال و پدیده‌های واقع در کوهستان‌های سترگ تا اشکال انحلالی و فرسایشی و ناهموازی ویژه در دشت‌ها و بیابان‌های بزرگ این دیار کهن.

اما آنچه امروز، چهره محیط زیست پهنه خاوری ایران را در خراسان رضوی، آرایش جدیدی داده است، جدای از ویژگی‌های مرتبط با زمین و اقلیم، بهره‌برداری گسترده از منابع آب و خاک به سبب اهمیت ویژه این استان در رشد اقتصادی و مناسبات سیاسی کشور و نقش آن در جذب گردشگر مذهبی است. بطوریکه سرمایه‌گذاری و رشد اقتصادی در این استان به‌ویژه توسعه غیربردار کلان‌شهر مشهد در چند دهه اخیر، این استان را، به منطقه‌ای مهاجرپذیر با ترکیبی از اقوام و فرهنگ‌ها و نمایشی از سکونتگاه‌های غیررسمی در مرکز این استان، تبدیل کرده است. بهره‌برداری از منابع آب و خاک بدون توجه به بردباری‌های اکولوژیک و نیز شرایط خشک و بیابانی حاکم در محدوده وسیعی از این استان، موجب شده است تا چهره محیط زیست در چند دهه اخیر، شادابی و نشاط خویش را از دست بدهد.

آثار حاصل از فرونشست در دشت‌ها، مانند گسترش ترک و شکاف‌هایی با درازا و ژرفای بسیار، نابودی حیات را در بسیاری از دشت‌های تمدن‌ساز این استان چون نیشابور، نشانه رفته است.

طبق آمار رسمی کشور، خراسان رضوی از زمره استان‌های بحرانی در نرخ فرونشست محسوب می‌شود، بطوریکه در دشت‌هایی چون کاشمر و نیشابور، نرخ فرونشست سالانه از مرز ۱۵ سانتی‌متر عبور کرده است. روند افت آبخوان در دشت‌هایی چون نیشابور در طول دودهمه اخیر بسیار نگران‌کننده است، بطوریکه میانگین کسری مخزن دشت نیشابور حدود ۸۰ میلیون مترمکعب در سال اعلام شده است. علاوه بر مخاطرات حاصل از فرونشست و آثار و پیامدهای آن، فرسایش‌های زیرزمینی، توسعه اشکال فرسایش، ایجاد فروچاله ناشی از فرسایش و افت آبخوان، فرسایش بادی، افت و از دست رفتن خاک حاصلخیز، گرد و غبارهای ناشی از نبود رطوبت در خاک و در نهایت بیابان‌زایی، تخریب سرزمین، فقر و مهاجرت، وضعیت امروز و حال زیست‌بوم‌های سرزمین طلوع خورشید است.

اگر از مشکلات گریبانگیر زیست‌بوم‌های استان گذر کنیم، باید

تأکید داشت که استان خراسان رضوی به سبب برخورداری از تنوع زمین‌شناختی بالا، می‌تواند منطقه‌ای با توان بالای شناسایی و ثبت ژئوسایت‌های زمین ریخت‌شناسی محسوب شود. وجود اشکال متنوع ژئومورفولوژی از اشکال انحلالی و کارستی گرفته تا تپه‌های ماسه‌ای و سنگفرش‌های بیابانی، این استان را به یکی از بهترین مناطق زمین‌شناسی ایران برای شناسایی ژئوپارک‌ها و حفظ تنوع زمین‌شناختی این استان تبدیل کرده که گامی بنیادی در حرکت در مسیر توسعه بردبار اکوسیستم محسوب می‌شود. از طرف دیگر مدیریت منابع آب استان، صرف‌نظر از مدیریت آبخوان‌ها و منابع آب سطحی، نیازمند درک صحیح از وضعیت آب‌های کارستی و پنهان این استان پهناور است. وجود منابع فراوان آب‌های کارستی، حفظ و بهره‌برداری درست از این منابع زمینی، بسیار مهم است، بطوریکه هر گامی در این جهت باید در راستای اهداف ژئوتوریسم، نگهداشت طبیعت و توسعه بردبار منطقه باشد.

پرسش: در خصوص اثر تغییر اقلیم بر «حفاظت اکوسیستم و مدیریت مخاطرات محیطی (عنوان گروه پژوهشی)» چه نظری دارید؟

پاسخ: گروه پژوهشی مدیریت اکوسیستم و مخاطرات محیطی با هدف مطالعات اکوسیستم و پیامدهای حاصل از فعالیت‌های انسان هوشمند امروز و رفتارهای اقلیم دگرگون‌کواترنری بر پایه تفکر مدیریت سیستمی در پژوهشکده آب و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، پیشنهاد و با حضور صاحبان اندیشه و اصحاب خرد در حوزه مدیریت اکوسیستم، گروه پژوهشی کوچک با اندیشه‌هایی بزرگ را تشکیل داده است.

در این گروه، کوشش می‌شود بر پایه تفکر سیستمی، شیوه‌های مدیریت اکوسیستم با تأکید بر خشک‌بوم‌ها که پهنه وسیعی از ایران را در برگرفته‌اند، در مواجهه با مخاطرات محیطی، پیاده‌سازی شوند. مخاطراتی که گاه زایشی است از تغییرات اقلیم متغیر و گاه پاسخی از زمین متحرک و گاه نیز کنش انسان با طبیعت را واکنشی است که برایش حکم مخاطره دارد.

مخاطرات را مدیریت ریسک می‌طلبد و شیوه‌هایی که قبل از آنکه مخاطره را به بلیه‌ای بدل سازد که جان و مال انسان را نشانه رود، توان زیست‌بوم را بر پایه تاب‌آوری و بردباری آن بالا برد، فعالیت‌هایی که رسالت آن حفاظت است. هرچند تمرکز بر شیوه‌های مدیریت بحران و کوشش در جهت کوتاه‌کردن زمان برگشت‌پذیری پس از رخداد مخاطره، امری است ضروری.

گروه پژوهشی مدیریت اکوسیستم و مخاطرات محیطی کوشش می‌کند تا نقش تحولات کواترنری و به‌طور برجسته نوسانات و تغییر اقلیم این دوره کوچک از نگاه زمان و بزرگ از نگاه اثرگذاری را در

بروز مخاطرات محیطی بررسی کند. همچنین تأثیری که اقلیم بر زیست‌بوم‌های امروز ایران با تأکید بر مخاطرات حاصل از نابودی منابع آب و خاک همچون فرسایش و تخریب خاک، فرونشست، فروچاله، بیابان‌زایی و تخریب سرزمین دارد، عمده تمرکز این گروه بر مخاطرات محیطی است.

پرسش: انتظارات شما از دولت جدید در خصوص آب و محیط‌زیست چیست؟

پاسخ: تاریخ زمام‌داری چهاردهه اخیر نشان داده است که تغییر زمامداران، هر چند موجب تغییر در چیدمان افراد، افکار، رفتار و کردارهای سیاسی و اجتماعی می‌شود، اما دست کم این تغییر با ثبات چشم‌گیر در تفکر غیر اکولوژیک تصمیم‌گیرندگان در مسائل مرتبط با محیط‌زیست همراه بوده است. دست کم می‌توان گفت که تصمیم‌گیرندگان این حوزه در کشور، گام‌هایی متفاوت بر پایه یک تفکر راسخ در این چهار دهه برداشته‌اند. تفکری که با انتقال آب بین حوضه‌ای، کشاورزی ناپایدار، مهار آب در پشت سدها، تغییر مسیر مسیل‌ها و فشردن گلوی رودخانه‌ها برای تأمین آب، تولید محصولات با شعار خودکفایی و دیگر نمونه‌های مشابه، شکاف‌های عمیق بر چهره دشت‌های این دیار، خشک‌شدن دریاچه‌ها، زیست‌بوم‌هایی با ریه‌هایی پر از غبار و هوایی گرفته از آلودگی، برای رخسار محیط‌زیست کشور به ارمغان آورده‌اند.

دولت مردمی حاضر که پس از پاشیدن بذر تدبیر و امید، در کنکاش برای رسیدن به ایران قوی، کار خود را آغاز کرده است، مفروض ذهنی خود را بر این فرض استوار ساخته است که ایران کنونی، ضعیف است و اکنون باید با مشارکت مردم، سعادت برای این کهن‌بوم ارزانی داشت و ایران را قوی ساخت. جدای از اینکه دولت کنونی با چه رویکردی به محیط‌زیست ایران می‌نگرد، چند اصل مهم اکوسیستمی استوار بر تفکر سیستمی و ریشه در اصول ترمودینامیک را به عنوان پیشنهاد در مسأله مدیریت محیط‌زیست کشور بیان می‌کنم.

۱. دولت حاضر باید بداند که تنوع، اساس پایداری یک سیستم باز محسوب می‌شود. به دیگر سخن، سیستم‌هایی با تنوع ساختاری و عملکردی بالاتر، امکان بقاء بیشتر به سبب تاب‌آوری و درجه تحمل‌پذیری بالاتر خواهند داشت. از این روست که نگهداشت تنوع‌زیستی و تنوع زمین‌شناختی، اصل اولیه در برنامه‌ها و اهداف توسعه بردبار سرزمین‌ها محسوب می‌شود. هر اندازه یک اکوسیستم متنوع‌تر، پاسخ‌هایش به آشوب‌های محیطی حساب‌شده‌تر است. از همین رو، سرزمین هفتاد و دو ملت را باکی از دگرگونی‌های سیاسی به سبب دگرگونی بالای قومی، دیدگاه و اعتقاد در مقایسه با هراس اقتصاد برتر جهان، چین از فروپاشی، به سبب تکیه بر یکنواختی و حرکت در مسیر جامعه یکدست نیست.

۲. سیستم‌های باز همچون اکوسیستم‌ها، سیستم‌هایی با سطوح تعادلی چندگانه هستند. به دیگر سخن، موقعیت سیستم در طول زمان از نقطه‌نظر انرژی تغییر می‌کند و یک سیستم باز، سطوح گوناگون انرژی را در طول حیات کنکاش می‌کند، این تغییرات انرژی، تغییرات سیما و چهره اکوسیستم را رقم می‌زند. آنچه در این جستار ترمودینامیک مهم است، این است که هر اندازه در این فراز و نشیب ترمودینامیک، سیستم دورتر از آستانه‌های انرژی یا نقاط قله قرار گیرد، امکان تغییرات برگشت‌ناپذیر کم‌تری دارد و مدیریت سیستم در برهه‌ای از زمان و مکان که سیستم نزدیک به ستیج‌های انرژی و یا ایستاده بر آستانه‌های ناپایدار لحظه‌ای است، بسیار سخت خواهد بود، چرا که کوچکترین تغییر در اکوسیستم، موجب حرکت به سطح تعادلی دیگر و اثرات شگرف در چهره و عملکرد اکوسیستم می‌شود. کنون باید دانست که بخش وسیعی از زیست‌بوم‌های ایران در چند دهه اخیر به سبب شرایط اقلیمی حاکم بر این کهن‌بوم، وجود سپهری خشک و نوسانات اقلیمی و نیز به واسطه تفکر حاکمان در حوزه محیط‌زیست و طمع مردمان این دیار در بهره‌برداری از منابع آب و خاک، نزدیک به آستانه‌های فروپاشی هستند.

۳. آنچه دولت مردمی، ایران قوی باید در نظر گیرد این است که بخشی از انرژی دولت را در سال‌های زمامداری، باید معطوف به مدیریت ناپایداری‌های اجتماعی ناشی از بحران آب و پیامدهای محیط‌زیستی آن، چون فرونشست زمین کند. انتظار است این نابسامانی‌ها و اعتراضات دامنه‌شکیبایی ساکنین مجاورین زنده‌رود، از کوه‌رنگ تا گاوخونی را بیش از سایر نقاط، نشانه رود. بنابراین مواجهه دولت با این گسست‌های اجتماعی اجتناب‌ناپذیر است.

لذا انتظار می‌رود دولت حاضر تفکر اکولوژیک را در سطوح تصمیم‌گیری محیط‌زیست نهادینه کند. دولت یکدست امروز باید بداند که سرنوشت امروز و فردای ایران در گرو سرنوشت محیط‌زیست این مرز و بوم است. سرنوشتی را که امکان از سر نوشتن آن اکنون غیر ممکن است، اما می‌توان با مدیریت منطقی، به دور از احساسات و هیجانات، داشتن تفکر سیستمی، حاکمیت اندیشه اکولوژیک در تصمیم‌گیری‌ها و از همه مهم‌تر، تقویت و پایه‌ریزی مدیریت استراتژیک محیط‌زیست، آنچه در ایران مغفول مانده است، اجازه عبور بیشتر زیست‌بوم‌ها از آستانه‌های فروپاشی را نداد.

اگر دولت مردمی به دنبال رسیدن به ایرانی قوی است، باید از اندیشه‌ها، افکار و عقاید گوناگون در تصمیم‌گیری بهره برد، چرا که راز ماندگاری در تکرار طبیعی و غیریکنواختی بالا است. توجه به مدیریت استراتژیک محیط‌زیست و حفظ تنوع اکولوژیک، اولین گام در مدیریت محیط‌زیست باید باشد. نگهداشت منابع آب و خاک، مدیریت محیط و نه برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری، اساس حفظ محیط‌زیست است.



پیوست A: سوالات راهنمای رویه ODD

جدول A-1- سوالات راهنمای مربوط عنصرهای نسخه به روز شده رویه ODD (Grimm و همکاران ۲۰۰۶، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷)

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال های راهنما Guiding questions
بررسی اجمالی (Overview)	هدف (Purpose)	هدف تحقیق چیست؟ What is the purpose of the study?
	موجودیت ها، متغیرهای حالت و مقیاس ها Entities, state variables, and scales	انواع موجودیت های مدل کدامند؟ آیا آن ها نمایانگر مدیرها، رای دهندگان، صاحبان زمین، نهادها و غیره هستند؟ این موجودیت ها با چه متغیرهای حالت یا ویژگی هایی مشخص می شوند؟ دقت زمانی و مکانی مدل چیست؟ What kind of entities are in the model? Do they represent managers, voters, landowners, firms, or something else? By what state variables or attributes are these entities characterised? What are the temporal and spatial resolutions and extents of the model?
	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه ریزی Process overview and scheduling	هر موجودیت چه کاری و بر چه ترتیبی انجام می دهد؟ آیا این روند و ترتیب، احتمالی است و یا پویا؟ متغیرهای حالت چه زمانی به روز می شوند؟ زمان چگونه مدل می شود: به عنوان یک گام مجزا و یا پیوسته که در آن هم فرآیندهای مداوم و هم رویدادهای گسسته امکان پذیرند؟ What entity does what, in what order? Is the order imposed or dynamic? When are state variables updated? How is time modelled: as discrete steps or as a continuum over which both continuous processes and discrete events can occur?
مفاهیم طراحی (Design concepts)	اصول اساسی Basic principles	چه مفاهیم، تئوری ها، یا فرضیه های اساسی در طراحی مدل لحاظ شده اند؟ چگونه در نظر گرفته شده اند؟ آیا در سطح زیرمدل ها در نظر گرفته شدند یا در سطح سیستم؟ Which general concepts, theories, or hypotheses approaches are included in the model's design? How were they taken into account? Are they used at the level of submodels or at the system level?
	بروز Emergence	چه نتایج کلیدی از ویژگی های یا رفتارهای انطباقی افراد به دست می آید؟ چه نتایج پیچیده و یا غیرقابل پیش بینی ای با تغییر یک مشخصه خاص تغییر می کند؟ آیا نتایج دیگری وجود دارند که به شدت تحت تاثیر قوانین مدل باشند و در نتیجه کمتر به رفتار افراد وابسته باشند؟ What key results are emerging from the adaptive traits or behaviours of individuals? What results vary in complex/unpredictable ways when particular characteristics change? Are there other results that are more tightly imposed by model rules and hence less dependent on what individuals do?
	پذیرش Adaptation	چه ویژگی های انطباقی افراد دارند؟ آن ها چه قوانینی برای تصمیم گیری یا تغییر رفتار خود در پاسخ به تغییرات در خودشان یا محیط اطرافشان دارند؟ آیا عامل ها به دنبال افزایش برخی از معیارهای موفقیت هستند یا رفتارهای مشاهده و شناخته شده ای را که از نظر آنها موفقیت آمیز است، تکرار می کنند؟ What adaptive traits do the individuals have? What rules do they have for making decisions or changing behaviour in response to changes in themselves or their environment? Do agents seek to increase some measure of success, or do they reproduce observed behaviours that they perceive as successful?

دسته Blocks	عنصرها Elemnets	سوال‌های راهنما Guiding questions
مفاهیم طراحی (Design concepts)	اهداف Objectives	اگر عامل‌ها (یا گروه‌ها) برنامه‌ریزی شدند تا به روشنی به هدف مشخصی برسند، آن هدف دقیقاً چیست و چگونه سنجش می‌شود؟ وقتی افراد براساس اولویت‌بندی گزینه‌ها تصمیم‌گیری می‌کنند، معیارهای مورد استفاده آن‌ها چیست؟ توجه داشته باشید که اهداف این عامل‌ها به‌عنوان عضوی از گروه ممکن است به خود آن‌ها باز نگردد بلکه به گروه مرتبط باشد. If agents (or groups) are explicitly programmed to meet some objective, what exactly is that, and how is it measured? When individuals make decisions by ranking alternatives, what criteria do they use? Note that the objective of such agents as group members may not refer to themselves but the group.
	یادگیری Learning	آیا ممکن است که افراد ویژگی‌های انطباقی خود را در طول زمان و براساس تجربیات خود تغییر دهند؟ اگر بله، چگونه؟ May individuals change their adaptive traits over time as a consequence of their experience? If so, how
	پیش‌بینی Prediction	پیش‌بینی می‌تواند بخشی از تصمیم‌گیری باشد؛ اگر روند یادگیری یک عامل براساس تخمین نتایج و عواقب آینده از تصمیم‌ها باشد، آن‌ها چگونه این کار را انجام می‌دهند؟ عامل‌ها از چه مدل‌های داخلی برای تخمین شرایط آینده یا نتایج استفاده می‌کنند؟ چه پیش‌بینی‌های ضمنی در فرضیات مدل‌های داخلی در نظر گرفته می‌شود؟ Prediction can be part of decisionmaking; if an agent's learning procedures are based on estimating future consequences of decisions, how they do this? What internal models do agents use to estimate future conditions or consequences? What 'tacit' predictions are implied in these internal model's assumptions?
	حس کردن یا سنجیدن Sensing	فرض می‌شود که افراد چه جنبه‌هایی را حس می‌کنند (می‌سنجند) یا در نظر می‌گیرند؟ یک فرد، چه جنبه‌هایی از سایر موجودیت‌ها را درک می‌کند (به‌عنوان نمونه، "علامت‌های" نمایش داده‌شده)؟ این سنجش، محلی است، یا در طول شبکه و یا جهانی؟ سازوکار شبکه تحمیل شده است یا بروز یافته؟ آیا سازوکارهایی که در آن‌ها عامل‌ها اطلاعات دریافت می‌کنند، به صراحت در یک روند مدل‌سازی شده است و یا به‌سادگی قابل شناسایی است؟ What aspects are individuals assumed to sense and consider? What aspects of which other entities can an individual perceive (e.g. displayed 'signals')? Is sensing local, through networks or global? Is the structure of networks imposed or emergent? Are the mechanisms by which agents obtain information modelled explicitly in a process, or is it simply 'known'?
	تعامل Interaction	چه نوع تعاملاتی بین عامل‌ها فرض شده است؟ آیا تعاملات مستقیم هستند و در آن افراد با دیگران مواجه می‌شوند و آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند و یا غیرمستقیم، به‌عنوان نمونه رقابت برای منابع واسطه؟ اگر تعاملات شامل ارتباطات می‌شود، چگونه این ارتباطات بیان شده است؟ What kinds of interactions among agents are assumed? Are there direct interactions where individuals encounter and affect others, or are interactions indirect, e.g. via competition for a mediating resource? If the interactions involve communication, how are such communications represented?

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما Guiding questions
مفاهیم طراحی (Design concepts)	تصادفی بودن Stochasticity	کدام فرآیندها با فرض تصادفی بودن یا تا حدی تصادفی بودن مدل شده‌اند؟ آیا اتفاقی بودن، به‌عنوان نمونه، برای بازتولید تغییرپذیری در فرآیندهایی که در آنها مدل‌سازی دلایل واقعی تغییرپذیری مهم نیست یا ایجاد وقایع یا رفتارهای مدل برای رخ دادن با یک فرکانس مشخص، در نظر گرفته شده است؟ What processes are modelled by assuming they are random or partly random? Is stochasticity used, for example, to reproduce variability in processes for which it is unimportant to model the actual causes of the variability, or to cause model events or behaviours to occur with a specified frequency?
	گروهی از موجودیت‌ها Collectives	آیا افراد تجمعی را تشکیل می‌دهند و یا متعلق به آنها هستند که در آن سایر افراد را تحت تأثیر خود قرار دهند یا تحت تأثیر آنها قرار گیرند؟ چنین گروهی از موجودیت‌ها می‌توانند سطح میانی مهمی از یک سازمان باشند. گروهی از موجودیت‌ها چگونه بیان می‌شوند، به‌عنوان یک مشخصه بروز یافته از افراد یا به‌عنوان یک نوع مجزا از موجودیت‌ها با متغیرهای حالت و مشخصات خود؟ Do the individuals form or belong to aggregations that affect, and are affected by, the individuals? Such collectives can be an important intermediate level of organisation. How are collectives represented—as emergent properties of the individuals or as a separate kind of entity with its own state variables and traits?
	مشاهده Observation	چه داده‌هایی از ABM برای آزمودن، فهم و آنالیز گردآوری و چگونه جمع‌آوری شده‌اند؟ آیا همه داده‌های خروجی برای دنبال کردن نتایج در یک مطالعه تجربی آزادانه استفاده می‌شوند یا فقط داده‌های مشخصی نمونه‌گیری شده و استفاده می‌شوند؟ What data are collected from the ABM for testing, understanding, and analysing it, and how are they collected? Are all output data freely used, or are only certain data sampled and used, to imitate what can be observed in an empirical study?
	ورودی‌سازی یا مقادیر اولیه Initialization	وضعیت اولیه دنیای مدل چیست، یعنی در زمان صفر؟ چه تعداد موجودیت، از چه نوعی و با چه مقداری از متغیرهای حالتشان به‌عنوان داده ورودی وجود دارند (یا در کجا قرار داده شده‌اند)؟ آیا تعیین مقادیر اولیه همیشه یکسان است یا تغییر می‌کند؟ آیا ورودی‌ها به‌صورت دلخواه انتخاب می‌شوند یا براساس داده‌های موجود هستند؟ What is the initial state of the model world, i.e. at time $t=0$? How many entities of what type are there initially, and what are the values of their state variables (or how were they set)? Is initialisation always the same, or is it varied? Are the initial values chosen arbitrarily or based on available data?
	داده‌های ورودی Input Data	آیا مدل از ورودی‌هایی از منابع خارجی مثل فایل داده‌ها یا مدل‌های دیگر برای نشان دادن روند تغییرات در طول زمان استفاده می‌کند؟ Does the model use input from external sources such as data files or other models to represent processes that change over time?
	زیرمدل‌ها Submodels	زیرمدل‌هایی که فرایندهای ذکر شده در "بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی" را نشان می‌دهند، کدام‌ها هستند؟ پارامترهای مدل، ابعاد آن‌ها و مقدار آن‌ها چیست؟ زیرمدل‌ها چگونه طراحی یا انتخاب، آزمایش و پارامتری‌سازی می‌شوند؟ What are the submodels that represent the processes listed in 'process overview and scheduling'? What are the model parameters, their dimensions, and reference values? How were submodels designed or chosen, tested, and parameterised?

پیوست B: سوالات راهنمای رویه ODD+D به همراه مثال

جدول B-1 - سوالات راهنمای مربوط به عنصرهای رویه ODD+D (Müller و همکاران، ۲۰۱۳)

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
بررسی اجمالی (Overview)	هدف Purpose	هدف تحقیق چیست؟ What is the purpose of the study?	سوالات تحقیق شامل آزمودن فرضیه، فهم سیستم، توسعه تئوری، پیش‌بینی‌های کمی، مدیریت یا حمایت از تصمیم، ارتباطات و یادگیری (مدل‌سازی مشارکتی) Research question incl. test of hypothesis, system understanding, theory development, quantitative predictions, management or decision support, communication and learning (participatory modeling)
		مدل برای چه کسانی طراحی شده است؟ For whom is the model designed?	محققان، دانش‌جویان/استادان، تصمیم‌گیران، ذی‌نفعان Scientists, students/teachers, decision makers, stakeholders
مفاهیم طراحی (Design concepts)	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی Process overview and scheduling	چه نوع موجودیت‌هایی در مدل وجود دارد؟ What kinds of entities are in the model?	عامل‌ها/افراد (انسان‌ها، نهادها): نوع‌ها و زیرنوع‌ها، واحدهای مکانی (سلول‌های شبکه‌ای)، محیط، گروهی از موجودیت‌ها (گروه‌های عامل‌ها) Agents / individuals (humans, institutions): types and subtypes, spatial units (grid cells), environment, collectives (groups of agents)
		موجودیت‌ها چه مشخصه‌هایی (یعنی متغیرهای حالت و پارامترها) دارند؟ By what attributes (i.e. state variables and parameters) are these entities characterized	برای عامل‌ها: شماره شناسایی، سن، جنسیت، سن حداکثر، حافظه، موقعیت، سطح منابع، تملک زمین، دیدگاه (سیاسی)، اشتغال، مدل تصمیم (فقط به عنوان استراتژی اشاره شود که بعداً توضیح داده خواهد شد)، هر عامل بیانگر یا یک فرد یا یک خانوار یا یک مزرعه یا همه افراد از یک نوع است. برای واحدهای مکانی: موقعیت، لیست عامل‌ها در یک سلول، تملک زمین توسط کشاورز، توضیح شرایط محیطی (ارتفاع، پوشش گیاهی، نوع خاک)، کاربری اراضی فعلی برای گروهی از موجودیت‌ها: لیست عامل‌ها، عملکردهای مشخص واحد اندازه‌گیری Of Agents: identity number, age, sex, maximum age, memory, location, level of resources, ownership of land, (political) opinion, occupation, decision model (only mention the name of the strategy, which is explained later on), one agent represents one individual / one household / one farm / all individuals of one specific type, of spatial units: location, a list of agents in a cell, land owned by farmer, descriptor of environmental conditions (elevation, vegetation cover, soil type), current land use of collectives: list of agents, specific actions Units of measurement

دسته Blocks	عنصرها Elemnets	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی (Design concepts)	بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی Process overview and scheduling	مدل دارای چه فاکتورها یا محرک‌های برون‌زا (بیرونی) است؟ What are the exogenous factors / drivers of the model?	بیماری، اقلیم، سطح آب دریاچه، تغییر پوشش اراضی، تغییرات تکنوتیکی، گونه‌های مهاجم، قانون‌گذاری Disease, climate, lake water level, land cover change, tectonic disturbances, invasive species, legislation
		در صورت استفاده، فضا در مدل چگونه در نظر گرفته شده است؟ If applicable, how is space included in the model?	شامل بیان ضمنی، صریح و جغرافیایی (GIS) مکانی نمی‌شود. Not included, spatial implicit, spatial explicit, georeferenced (GIS)
		چه دقت زمانی و مکانی‌ای در مدل منظور شده است؟ What are the temporal and spatial resolutions and extents of the model?	یک گام زمانی، بیانگر یک سال است و شبیه‌سازی برای ۱۰۰ سال اجرا می‌شود، هر سلول بیانگر یک هکتار است و مدل ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ هکتار است. One time step represents one year and the simulations were run for 100 years, one grid cell represents 1 ha and the model landscape comprises 1000 x 1000 ha
	متغیرهای حالت و مقیاس‌ها State variables and scales	هر موجودیت چه کاری انجام می‌دهد و به چه ترتیبی عمل می‌کند؟ What entity does what, and in what order?	اسم‌های خود توضیحی از فرآیند مدل، شامل روندهای تصمیم‌گیری، برنامه‌های شبه کد، به‌روزرسانی‌های همگام یا غیر همگام Self-explanatory names of the model's processes, including decision making processes, pseudo-code of the schedule, synchronous / asynchronous update
		کدام مفاهیم، تئوری‌ها یا فرضیه‌های اساسی، زمینه‌ساز طراحی مدل در سطح سیستم یا در سطح زیرمدل‌ها (جدا از مدل تصمیم‌گیری) هستند؟ رابطه بین پیچیدگی و هدف مدل چیست؟ Which general concepts, theories or hypotheses are underlying the model's design at the system level or at the level(s) of the submodel(s) (apart from the decision model)? What is the link to complexity and the purpose of the model?	-
	پیش‌زمینه نظری و تجربی Theoretical and Empirical Background	مدل یا مدل‌های تصمیم مشخص بر چه مبنایی انتخاب می‌شوند؟ Why is a/certain decision model(s) chosen?	در دسترس بودن یا نبودن داده، مدل‌سازی الگو-محور، ارجاع به سایر تحقیقات، ملاحظات تئوریک Data (non-) availability, pattern-oriented modeling, reference to other studies, theoretical considerations
		اگر مدل یا زیرمدل (به‌عنوان نمونه مدل تصمیم) براساس داده‌های تجربی است، این داده‌ها از کجا به دست می‌آیند؟ If the model / a submodel (e.g. the decision model) is based on empirical data, where does the data come from?	رویکردهای مشارکتی (نقش بازی کردن)، پیمایش، مصاحبه، مشاهده مستقیم، سرشماری آماری، بایگانی، GIS، آزمون‌های آزمایشگاهی یا در محل از خانوارها Participatory approaches (role playing games), household surveys, interviews, direct observations, statistical census, archives, GIS, field or lab experiments

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی Design Concepts	پیش‌زمینه نظری و تجربی Theoretical and Empirical Background	مدل یا مدل‌های تصمیم‌گیری عامل‌ها براساس چه فرض یا فرض‌هایی بنا نهاده شده است؟ On what assumptions is/are the agents' decision model(s) based?	تئوری‌های موجود (مدل‌های میکرو اقتصادی: همواقصدی، کامل/عقلانیت محدود؛ مدل‌های شناختی: روانشناختی-اجتماعی، مدل‌های ذهنی؛ مدل‌های براساس تئوری-مکانی) مشاهدات واقعی (توضیحات سازوکاری/فهم موجود فرآیند-محور؛ جعبه سیاه، استفاده از اکتشافات، مدل‌های رگرسیون آماری) قوانین تک کاره یا موقتی (قوانین ساختگی، به‌عنوان نمونه فرض ثبات)؛ ترکیبی از تئوری و مشاهدات Established theories (micro-economic models: homo oeconomicus, full / bounded rationality; cognitive models: social psychology, mental models; space-theory based models) real-world observations (mechanistic explanations / process-based understanding available; black-box, use of heuristics, statistical regression methods) ad-hoc rules (dummy rules, e.g. constancy assumption) combinations of theory and observations
		در چه سطحی از تجمع (منظور تجمع عامل‌ها و تشکیل گروهی از موجودیت‌ها است) داده‌ها موجود هستند؟ At which level of aggregation were the data available?	در سطح خانوار/افراد، در سطح گروه Household / individual level, group level
	تصمیم‌گیری فردی Individual Decision Making	موضوع و اهداف تصمیم‌گیری چیست؟ در چه سطحی از تجمع تصمیم‌گیری مدل می‌شود؟ آیا سطوح چندگانه تصمیم‌گیری را شامل می‌شود؟ What are the subjects and objects of decision-making? On which level of aggregation is decision-making modeled? Are multiple levels of decision making included?	نام بردن موضوعات (عامل‌های فردی/خانوارها، در سطح همگانی، تصمیم‌گیری بالا به پایین) و اهداف تصمیم‌ها برای مثال: نحوه استفاده از اراضی، توزیع نیروی کار، انتخاب‌ها برای خرید و فروش Name subjects (individuals agents / households, on communal level, top down decision maker) and objects of decisions, e.g.: Form of land use, distribution of labor, choices of buying and selling
		اصول منطقی و رای تصمیم‌گیری عامل‌ها در مدل چه هستند؟ آیا عامل‌ها اهداف مشخصی را دنبال می‌کنند یا ضوابط موفقیت دیگری دارند؟ What is the basic rationality behind agents' decision-making in the model? Do agents pursue an explicit objective or have other success criteria?	انتخاب منطقی (رویکرد بهینه‌سازی کلاسیک، ماکزیمم کردن مطلوبیت)، عقلانیت محدود (رویکرد راضی‌کننده)، بدون هدف (روند معمول، سعی و خطا) Rational choice (classical optimization approach, utility maximization), bounded rationality (satisficing approach), no objectives (routine based, trial and error)
		عامل‌ها چگونه تصمیم می‌گیرند؟ How do agents make their decisions?	درخت تصمیم‌گیری، تابع مطلوبیت، انتخاب تصادفی Decision tree, utility function, random choice

دسته Blocks	عنصرها Elemnets	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی (Design concepts)	تصمیم‌گیری فردی Individual Decision Making	آیا عامل‌ها رفتار خود را بر اساس تغییر متغیرهای حالت درون‌زا (درونی) و برون‌زا (بیرونی) انتخاب می‌کنند؟ اگر بله، چطور؟ Do the agents adapt their behavior to changing endogenous and exogenous state variables? And if yes, how?	تطبیق سطح استخراج منابع وابسته به وضعیت اکولوژیکی منابع Adaption of resource extraction level in dependence of ecological state of resource
		آیا هنجارهای اجتماعی یا ارزش‌های فرهنگی در روند تصمیم‌گیری موثرند؟ Do social norms or cultural values play a role in the decision-making process?	هنجارهای فرهنگی، اعتماد Cultural norms, trust
		آیا جنبه‌های مکانی بر روند تصمیم‌گیری موثرند؟ Do spatial aspects play a role in the decision process?	مدل‌های برپایه تئوری-مکانی Space-theory based models
		آیا جنبه‌های زمانی بر روند تصمیم‌گیری موثرند؟ Do temporal aspects play a role in the decision process?	تخفیف، حافظه Discounting, memory
		در چه محدوده‌ای و چطور عدم قطعیت در قوانین تصمیم‌گیری عامل‌ها منظور شده است؟ To which extent and how is uncertainty included in the agents' decision rules?	به هیچ وجه / عنصرهای تصادفی عدم قطعیت‌ها را در رفتار عامل‌ها تقلید نمی‌کنند / عامل‌ها صریحاً شرایط غیرقطعی یا ریسک را انتخاب می‌کنند. Not at all / stochastic elements mimic uncertainties in agents' behavior / agents explicitly consider uncertain situations or risk
	یادگیری Learning	آیا یادگیری افراد در فرآیند تصمیم در نظر گرفته شده است؟ افراد در طول زمان براساس تجربیات خود چگونه تصمیم‌شان را عوض می‌کنند؟ Is individual learning included in the decision process? How do individuals change their decision rules over time as consequence of their experience?	تغییر سطح خواسته‌ها بسته به تجربیات گذشته Change of aspiration levels depending on past experiences
		آیا یادگیری تجمعی در مدل اعمال شده است؟ Is collective learning implemented in the model?	تکامل، الگوریتم ژنتیک Evolution, genetic algorithms

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی (Design concepts)	حس کردن یا سنجش فردی Individual Sensing	چه متغیرهای حالت درون‌زا (درونی) و برون‌زا (بیرونی) برای افراد فرض شده تا طی تصمیم‌گیری خود بسنجند (حس کنند) و در نظر بگیرند؟ آیا روند حس کردن (سنجش) غلط است؟ What endogenous and exogenous state variables are individuals assumed to sense and consider in their decisions? Is the sensing process erroneous?	-
		چه متغیرهای حالتی از افراد را دیگر افراد می‌توانند درک کنند؟ آیا روند حس کردن (سنجش) غلط است؟ What state variables of which other individuals can an individual perceive? Is the sensing process erroneous?	منابع (چندگانه) (شامل قدرت کار، منابع مالی، سایر منابع درآمدی) و رفتار سایر عامل‌ها resources (Multiple) (including working power, monetary resources, other income resources) and behavior of other agents
		مقیاس مکانی حس کردن (سنجش) چیست؟ What is the spatial scale of sensing?	محلی، شبکه‌ای، جهانی (تمام فضای مدل) Local, network, global (whole model space)
		آیا مکانیزم دریافت اطلاعات توسط هر عامل به روشنی مدل‌سازی شده یا به طور ساده فرض شده است که افراد این متغیرها را می‌شناسند؟ Are the mechanisms by which agents obtain information modeled explicitly, or are individuals simply assumed to know these variables?	حس کردن (سنجش) اغلب فرض می‌شود که به صورت محلی است، اما می‌تواند در طول شبکه‌ها اتفاق بیفتد یا حتی به صورت جهانی فرض شود. Sensing is often assumed to be local, but can happen through networks or can even be assumed to be global.
		آیا هزینه‌های شناخت و جمع‌آوری داده در مدل منظور شده است؟ Are costs for cognition and costs for gathering information included in the model?	-
	تعامل Interaction	تعامل بین عامل‌ها و موجودیت‌ها به صورت مستقیم فرض شده است یا غیر مستقیم؟ Are interactions among agents and entities assumed as direct or indirect?	تعاملات مستقیم، تعاملات غیرمستقیم (با واسطه محیط / فروشگاه، مزایده) Direct interactions, indirect interactions (mediated by the environment / the market, auction)

دسته Blocks	عنصرها Elemnets	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی (Design concepts)	پیش‌بینی فردی Individual Prediction	عامل از چه داده‌هایی برای پیش‌بینی آینده استفاده می‌کند؟ Which data uses the agent to predict future conditions?	استخراج از تجربیات، از مشاهدات مکانی Extrapolation from experience, from spatial observations
		چه مدل‌های داخلی فرض شده که افراد برای پیش‌بینی شرایط آینده یا نتیجه تصمیمشان استفاده می‌کنند؟ What internal models are agents assumed to use to estimate future conditions or consequences of their decisions?	-
		آیا ممکن است که عامل‌ها در روند پیش‌بینی اشتباه کنند و اینکه چطور اجرایی می‌شود؟ Might agents be erroneous in the prediction process, and how is it implemented?	عدم قطعیت (بیرونی)، توانایی عامل (دورنی) uncertainty (External), capability of the agent (internal)
		تعاملات به چه چیزهایی بستگی دارند؟ On what do the interactions depend?	فاصله مکانی (همسایگی)، شبکه‌ها، نوع عامل Spatial distances (neighborhood), networks, type of agent
		آیا تعاملات شامل ارتباطات می‌شوند، این ارتباطات چگونه بیان می‌شوند؟ If the interactions involve communication, how are such communications represented?	پیغام‌های صریح Explicit messages
		آیا مختصات شبکه وجود دارد و چگونه بر رفتار عامل اثر می‌گذارد؟ آیا ساختار شبکه تحمیل شده است یا بروز یافته؟ If a coordination network exists, how does it affect the agent behaviour? Is the structure of the network imposed or emergent?	متمرکز در مقابل غیرمتمرکز، وظایف بر اساس گروه Centralized vs. decentralized, group based tasks
	تصادفی بودن Stochasticity	چه روندهایی (شامل ورودی‌سازی) با فرض تصادفی یا تا جدی تصادفی بودن مدل شده‌اند؟ What processes (including initialization) are modeled by assuming they are random or partly random?	-

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
مفاهیم طراحی (Design concepts)	گروهی از موجودیت‌ها Collectives	آیا افراد تجمعی را تشکیل می‌دهند و یا متعلق به آنها هستند که در آن سایر افراد را تحت تأثیر خود قرار دهند یا تحت تأثیر آنها قرار گیرند؟ آیا این گروهی از موجودیت‌ها توسط مدل‌ساز تحمیل می‌شوند یا در طول شبیه‌سازی بروز پیدا می‌کنند؟ Do the individuals form or belong to aggregations that affect, and are affected by, the individuals? Are these aggregations imposed by the modeller or do they emerge during the simulation?	گروه‌های اجتماعی، شبکه‌های انسانی و شرکت‌ها Social groups, human networks and organizations
		گروهی از موجودیت‌ها چگونه بیان می‌شوند؟ How are collectives represented?	گروهی از موجودیت‌ها به عنوان مشخصه بروز یافته در مقابل تعریف شده توسط مدل‌ساز (نوع جداگانه‌ای از موجودیت با متغیرهای حالت و مشخصه‌های مربوط به خود) Collective as emergent property vs. as a definition by the modeler (separate kind of entity with its own state variables and traits)
	ناهمگونی Heterogeneity	آیا عامل‌ها ناهمگون هستند؟ اگر بله چه متغیرهای حالت یا/و روندهایی بین عامل‌ها فرق می‌کنند؟ Are the agents heterogeneous? If yes, which state variables and/or processes differ between the agents?	آیا تغییر یک عامل با دیگری در ابتدا کار بر روی شبیه‌سازی اثر می‌گذارد؟ Would an exchange of one agent with another at the beginning have an effect on the simulation?
		آیا عامل‌ها در تصمیم‌گیری‌شان ناهمگون هستند؟ اگر بله، چه مدل‌های تصمیم یا اهداف تصمیمی در میان عامل‌ها فرق می‌کند؟ Are the agents heterogeneous in their decision-making? If yes, which decision models or decision objects differ between the agents?	-
	مشاهده Observation	چه داده‌هایی از مدل ABM برای آزمون، فهمیدن، و آنالیز کردن آن جمع‌آوری شده‌اند و چطور و چه زمانی جمع‌آوری شده‌اند؟ What data are collected from the ABM for testing, understanding, and analyzing it, and how and when are they collected	-
		چه نتایج کلیدی، خروجی یا مشخصات مدل از افراد بروز پیدا می‌کند؟ (بروز یا ظهور) What key results, outputs or characteristics of the model are emerging from the individuals? (Emergence)	-

دسته Blocks	عنصرها Elements	سوال‌های راهنما	مثال‌هایی از پاسخ‌ها
جزئیات Details	جزئیات اجرایی یا پیاده‌سازی Implementation Detail	مدل چگونه پیاده‌سازی می‌شود؟ How has the model been implemented?	سیستم کامپیوتر، زبان برنامه‌نویسی/بستر شبیه‌سازی، زمان اجرای شبیه‌سازی، زمان توسعه Computer system, programming language / simulation platform, simulation runtime, development time
		آیا مدل قابل دسترسی است؟ اگر بله، از کجا؟ Is the model accessible and if so where?	آدرس صفحه نخست؟ (لینک) Homepage?(link)
	ورودی‌سازی یا مقدار اولیه Initialization	شرایط اولیه دنیای مدل چیست، یعنی در زمان صفر از اجرای مدل؟ What is the initial state of the model world, i.e. at time t=0 of a simulation run?	نوع و تعداد موجودیت‌ها شامل خود عامل‌ها، مقادیر/توزیع تصادفی متغیرهای حالت آن‌ها Types and numbers of entities including the agents themselves, values / random distribution of their state variables
		آیا ورودی‌سازی همیشه یکسان است یا می‌تواند در بین شبیه‌سازی‌ها متفاوت باشد؟ Is initialization always the same, or is it allowed to vary among simulations?	-
		آیا مقادیر اولیه اختیاری (تصادفی) هستند یا براساس داده انتخاب می‌شوند؟ Are the initial values chosen arbitrarily or based on data?	ارجاع به داده‌ها در صورت وجود، انتخاب ذی‌نفعان References to data if any, stakeholder choice
	داده‌های ورودی Input Data	آیا مدل از ورودی‌هایی از منابع بیرونی، مثل فایل داده یا سایر مدل‌ها برای نشان‌دادن روندی که در طول زمان تغییر می‌کند، استفاده می‌کند؟ Does the model use input from external sources such as data files or other models to represent processes that change over time?	سری‌های زمانی مشاهده شده، به‌عنوان نمونه بارش سالانه، سری‌های زمانی تولید شده توسط مدل‌های دیگر، و نه: مقادیر پیرامون‌ها، مقادیر اولیه متغیرهای حالت Observed time series e.g. annual rainfall, time series generated by other models, not: parameter values, initial values of state variables
	زیرمدل‌ها Submodels	چه جزئیاتی در زیرمدل‌هایی که فرایندهای ذکر شده در "بررسی اجمالی فرآیند و برنامه‌ریزی" وجود دارد؟ What, in detail, are the submodels that represent the processes listed in 'Process overview and scheduling'?	معادلات، الگوریتم‌ها، اطلاعات اضافی Equations, algorithms, additional information
		پارامترهای مدل، ابعاد و مقادیر خروجی آن‌ها چه هستند؟ What are the model parameters, their dimensions and reference values?	جدول پارامترها Tables of parameters
		زیرمدل‌ها چگونه طراحی و انتخاب شده‌اند، چطور پارامتری‌سازی و آزمایش شده‌اند؟ How were submodels designed or chosen, and how were they parameterized and then tested?	توجیه، ارجاع به مقالات، پیاده‌سازی غیروابسته، آزمایش کردن، کالیبره کردن، تحلیل زیرمدل‌ها Justifications, references to literature, independent implementation, testing, calibration, analysis of submodels

پیوست C: نمونه‌ای از کاربرد این رویه به همراه نقد و بررسی آن (شاهنکیان و همکاران، ۱۳۹۹د)

Alvi و همکاران (۲۰۱۸) با هدف بررسی دقیق میزان مصرف آب، یک چارچوب مدل‌سازی و شبیه‌سازی هیبرید (ترکیبی) ارائه دادند. مدل شبیه‌سازی رفتاری توسعه‌یافته در این مقاله، مصرف آب خانگی را در دو مقیاس میکرو و ماکرو و به کمک یک رویکرد ترکیبی با ادغام دو رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان و پویایی سیستم، بررسی می‌کند. در این مدل، رویکرد مدل‌سازی عامل بنیان، رفتار مصرف آب افراد را در مقیاس میکرو مدل‌سازی، و رفتار و ویژگی‌های افراد را بررسی می‌کند. همچنین رویکرد پویایی سیستم، رفتار مدل‌شده افراد را در یک منطقه شهری در مقیاس ماکرو تجمیع می‌کند و به منظور پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت تقاضا استفاده می‌شود. در این تحقیق، برای توصیف مدل عامل بنیان از رویه ODD استفاده شده که جزئیات آن به شرح زیر است:

- **هدف:** این مدل به منظور تخمین میزان آب مصرفی افراد مختلف یک خانه در طی ۲۴ ساعت و تولید الگوی مصرف آب خانوار طراحی شده است.

- **موجودیت‌ها، متغیرهای حالت و مقیاس‌ها:** عامل‌ها در این مدل شامل افراد، خانوارها و محله‌ها هستند. دقت (مقیاس) زمانی به صورت ساعتی انتخاب و از دقت مکانی نیز صرف نظر شده است. در این مدل، رفتار مصرف آب هر فرد با نمودار حالت (که نشان‌دهنده رفتار مصرف هر فرد در هر یک از اجزاء مصرف خانگی مانند استحمام، شستن ظروف و غیره است) مدل‌سازی شده و مصرف آب یک خانوار وابسته به نوع افراد ساکن در آن خانه است. عامل‌ها براساس رده سنی، وضعیت اشتغال و یا احتمال (مدت) حضورشان در خانه دسته‌بندی و توصیف شده‌اند. مصرف آب تنها در طول فعالیت‌های خانگی و در طی مدت زمانی که اشخاص در خانه خود حضور دارند، انجام می‌شود و وابسته به نوع و سن عامل‌ها است. مصرف آب افراد، خانوارها و محله‌ها، از طریق مجموع مصرف آب افراد در واحد زمان محاسبه می‌شود.

- **فرآیند مرور اجمالی و برنامه‌ریزی:** در این مدل رفتار هر فرد در یک خانه به کمک یک نمودار حالت مدل‌سازی می‌شود که در آن (۱) "حالت‌ها" بیانگر فعالیت‌های مختلف مصرف آب و (۲) "گذارها" (انتقالات) که این فعالیت‌ها را براساس برخی از الگوهای تصادفی شامل احتمال وقوع، زمان وقوع و مدت فعالیت اجرا می‌کند. زمان در این فعالیت‌ها به طور گسسته (عدد صحیح) مدل‌سازی می‌شود و برای فعالیت‌ها نیز، محدودیت در تعداد دفعات وجود دارد (مانند استحمام به حداکثر سه بار در روز محدود می‌شود). در این مدل هنگامی که فرد فعالیت را شروع می‌کند، مصرف آب از فعالیت مربوط به آن در جزء خانگی شروع و به کمک یک تابع احتمال توقف که به اجزاء مختلف اختصاص داده شده است، متوقف می‌شود. در این بخش به نمودارهای مورد استفاده برای احتمال ساعتی مصرف آب و درصد مصرف آب در هر فعالیت نیز اشاره شده است.

- **بروز:** رفتار مصرف آب تجمعی که از تعامل عامل‌های فردی بروز می‌کند.

- **پذیرش (انطباق‌پذیری):** استفاده از یک تکنیک کالیبراسیون برای انطباق‌پذیری رفتار عامل‌ها به منظور بهینه‌سازی مصرف آب روزانه آن‌ها براساس داده‌های تجربی.

- **سازگاری:** عامل‌ها در فعالیت یکدیگر تداخل ایجاد نمی‌کنند.

- **پیش‌بینی:** استفاده از توابع احتمالاتی برای پیش‌بینی تصمیم عامل.

- **احساس کردن:** استفاده از داده‌های دمای روزانه همراه با یک تابع احتمال برای فعالیت‌های حساس به دما (مانند استحمام و مصرف آب در فضای باز).

- **تصادفی بودن:** اختصاص توزیع‌های احتمالاتی با مقادیر گسسته برای مدل‌سازی مدت زمان انجام فعالیت.

- **گروهی از موجودیت‌ها:** خانه نشان‌دهنده یک گروه از افراد و محله نشان‌دهنده گروهی از خانه‌ها است.

- **مشاهده:** اندازه‌گیری آب مصرفی از فعالیت‌های مختلف در طول زمان.

- **ورودی‌سازی (مقادیر اولیه):** این مدل با تعداد مشخصی خانه در یک محله و با توزیع یکنواخت جمعیت در هر خانه تنظیم و آماده‌سازی می‌شود. مدل در ساعت ۰۰:۰۰ بامداد (۰۰:۰۰ am) شروع به اجرا می‌کند و به مدت ۲۴ ساعت با مقیاس زمانی ساعتی اجرا می‌شود.

- **داده‌های ورودی:** داده‌های کلیدی ورودی به مدل برای اجرای آن، عبارتند از: تعداد افراد در یک خانه، تعداد خانه‌ها در یک محله، احتمال حضور هر نوع عامل در خانه، احتمال رخداد هر جزء مصرف، مدت زمان هر فعالیت مصرف آب، نرخ مصرف آب در هر فعالیت مصرف آب و داده‌های دما در طول ۲۴ ساعت.

- **زیرمدل:** در این مدل، هیچ‌گونه زیرمدلی وجود ندارد. به منظور شناخت بهتر و عمیق‌تر نسبت به رویه ODD و کاربرد صحیح آن در تحقیقات مرتبط با مدل‌سازی عامل بنیان، لازم است، عملکرد مقاله Alvi و همکاران (۲۰۱۸) در استفاده دقیق از این رویه و شناسه‌های آن، بررسی شود. بنابراین در ادامه لازم است با نقد و بررسی نحوه و چگونگی استفاده این مقاله از رویه ODD در رابطه با هر یک از عناصر آن، به نکات حائز اهمیت که در استفاده از این رویه وجود دارند اشاره شود که در ادامه بحث به آن‌ها پرداخته می‌شود.

اولین و مهمترین نقدی که بر نحوه استفاده این مقاله از رویه ODD وجود دارد این است که نویسندگان این مقاله در استفاده از این رویه، در بخشی از مقاله خود از عنصرهای نسخه به‌روزرسانی‌شده (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰) و در بخشی دیگر از عنصرهای نسخه منسوخ‌شده (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶) این رویه استفاده کردند. در دسته "مفاهیم طراحی"، از عنصرهای نسخه منسوخ‌شده و در سایر دسته‌ها، یعنی "مرور اجمالی" و "جزئیات" از نسخه به‌روزرسانی‌شده این رویه استفاده کردند؛ درحالی‌که ارائه‌دهندگان

رویه ODD تأکید کردند باید از نسخه بروز شده این رویه استفاده شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰).

براساس توصیه ارائه دهندگان رویه ODD، برای استفاده از این رویه در تحقیقات باید به صورت ذیل به آن ارجاع داده شود (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰): "توصیف مدل، رویه ODD (بررسی اجمالی، مفاهیم طراحی و جزئیات) را دنبال می کند (Grimm و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰)". در صورتی که این مقاله، با ادبیات دیگری به این موضوع اشاره کرده است.

نکته حائز اهمیت دیگر در این مدل، اشاره به سه عامل فرد، خانوار و محله است؛ درحالی که در تشریح عنصرهای رویه در این مقاله، تنها به عامل فردی پرداخته شده است. درحالی که در اکثر عنصرهای رویه ODD، نیاز به توضیح شفاف از هر عامل در رابطه با هر یک عنصر وجود دارد.

همان طور که پیش تر در عنصر اول از رویه یعنی "هدف" اشاره شد، براساس توصیه ارائه دهندگان این رویه بهتر است نویسندگان به عنصر اول از رویه به طور جداگانه از هدف کل مقاله و در پاراگرافی مستقل، اما در بخش مقدمه به آن اشاره کنند (Grimm و همکاران، ۲۰۱۰). در صورتی که در این مقاله، توصیف مدل براساس رویه ODD و تشریح مدل براساس عنصرهای مختلف آن در بخشی جداگانه بررسی شده و در مقدمه آورده نشده است.

در عنصر دوم از رویه ODD یعنی "موجودیت ها، متغیرهای حالت و مقیاس ها"، نوع موجودیت ها و مقیاس های زمانی و مکانی براساس رویه ارائه شده در مقاله شرح داده شده است؛ اگرچه اشاره به نحوه محاسبه مصرف آب، مربوط به عنصر سوم یعنی "فرآیند مرور اجمالی و برنامه ریزی" و در پاسخ این سوال از عنصر سوم که "مدل چه می کند؟" است. همچنین باتوجه به مطالب ذکر شده در این عنصر، می توان این گونه برداشت کرد که سن عامل های فردی، مدت حضور آن ها در خانه و رفتار مصرف آب آن ها، متغیرهای حالتی هستند که در این مدل و تنها برای عامل فردی در نظر گرفته شده است؛ هرچند بیان شفاف از آن وجود ندارد و به عامل خانوار و محله نیز پرداخته نشده است. بهتر است متغیرهای حالتی که در مدل در نظر گرفته می شوند، در جدولی ارائه شوند که شامل نام متغیر حالت، کلمه اختصاری و واحد آن و نیز توضیحی شفاف و در عین حال مختصر از آن باشد.

-در توصیف عنصر سوم، یعنی "فرآیند مرور اجمالی و برنامه ریزی" باید به چند سوال پاسخ داد: (۱) موجودیت ها چه کاری انجام می دهند؟ (۲) به چه ترتیبی؟ (۳) چه زمانی متغیرهای حالت به روزرسانی می شوند؟ و (۴) زمان به چه نحوی مدل سازی می شود؟ همچنین اشاره به یک شبه کد و بستر نرم افزاری مورد استفاده، از دیگر موضوعات مهم در این عنصر هستند. در این مقاله پاسخ به سه سوال اول باتوجه به توضیحاتی که در این مقاله به آن ها اشاره شده، مشکل است؛ هرچند نحوه مدل سازی زمان بیان شده است. همچنین در این عنصر از شبه کد استفاده نشده و بستر نرم افزاری مورد استفاده که در این مقاله

نرم افزار AnyLogic بوده است، معرفی نشده است. بهتر بود در این عنصر به جای توضیح و پاسخ به هر کدام از این سوالات به طور جداگانه، از یک شبه کد استفاده می شد تا نحوه عملکرد مدل به کمک آن برای خواننده ترسیم شود.

- عنصر "بروز" در این مقاله، "رفتار مصرف آب تجمعی که از تعامل عامل های فردی بروز می کند" تعریف شده؛ درحالی که از عنصر "تعاملات" صحبتی به میان نیامده است.

- در عنصر "پذیرش"، بیان شده از تکنیک کالبراسیون و داده های تجربی برای رفتار مصرف آب افراد استفاده شده؛ در صورتی که توضیحات این عنصر در رویه ODD، حاکی از اشاره به خصوصیات تطبیق پذیر و قوانینی است که عامل ها از آن ها برای تصمیم گیری و تغییر رفتار خود استفاده می کنند.

- در عنصر "پیش بینی"، از توابع احتمالاتی برای پیش بینی تصمیم عامل استفاده شده است؛ اما به این موضوع که مبنای پیش بینی چیست و چه تأثیری بر روی تصمیم عامل دارد، اشاره ای نشده است.

- در عنصر "تصادفی بودن"، عنوان شده توزیع های احتمالاتی با مقادیر گسسته برای مدل سازی مدت زمان انجام فعالیت اختصاص یافته است. درحالی که در عنصر "فرآیند مرور اجمالی و برنامه ریزی" بیان شده فعالیت های مصرف آب هر فرد در یک خانه براساس برخی از الگوهای تصادفی شامل احتمال وقوع، زمان وقوع و مدت زمان است. پس تصادفی بودن در وقوع و مدت زمان انجام یک فعالیت مصرف آب وجود دارد که در این عنصر به آن ها پرداخته نشده است. - در عنصر "مشاهده" اشاره نشده داده های مصرف آب چه زمانی چگونه جمع آوری شده اند که باید به طور خاص این موارد را در این عنصر، ذکر کرد.

- در عنصر "ورودی سازی (مقادیر اولیه)"، باید به سوالات متعددی پاسخ داده شود که در این مقاله به هیچ یک از آن ها پرداخته نشده است؛ از جمله این موارد می توان به تعداد عامل هایی که از هر گروه و هر نوع در ابتدای شبیه سازی حضور دارند، مقادیر دقیق متغیرهای حالت در آن ها و غیره اشاره کرد.

در توضیح عنصر "داده های ورودی"، باید بیان شود آیا مدل ارائه شده از منابع خارجی به عنوان ورودی استفاده می کند یا خیر؟ بسیاری از این مواردی که در این بخش از رویه در این مقاله ذکر شدند، مربوط به عنصر "ورودی سازی (مقادیر اولیه)" (از جمله تعداد افراد در یک خانه، تعداد خانه ها در یک محله و غیره) هستند. همچنین نمودارهای مورد استفاده برای احتمال ساعتی مصرف آب و درصد مصرف آب در هر فعالیت که در بخش فرآیند مرور اجمالی و برنامه ریزی بیان شده است، باید در این بخش ذکر شود.

همچنین با مراجعه به مقالات Burgland (۲۰۱۵)، Koutiva و Makropoulos (۲۰۱۶) و Lin (۲۰۱۷) و همکاران (۲۰۲۰) و Zechman و Ramsey (۲۰۲۱)، نمونه های دیگری از کاربرد رویه ODD یا ODD+D در مقالات بین المللی که در حوزه مدیریت منابع آب و مدیریت آب شهری ارائه شدند، قابل مشاهده می باشد.

In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development



Volume 8 - Issue 2 (Serial No. 20) - Summer 2021

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 and 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 Ferdowsi University of Mashhad and the Hydraulic Association of Iran.

Grantee
Manager in Charge
Editor in Chief

College of Agriculture , Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Ghahraman, B. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Alidadi, H. Prof., Mashhad University of Medical Sciences
Ansari, H. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University
Davary, K. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi
Nassery, H.R. Prof., Shahid Behesti University, Tehran

Guiding Council

Sayahi, A., Assistance of research and industrial relations center of National Water and Wastewater Engineering Company (Chairman of the council)
Esmailian, H., Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company
Alaei, M., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Mousavi, S. Y., Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Shahnooshi Foroushani, N., Manager in charge
Ghahraman, B., Editor in chief

Advisory Editors

Noori Esfandiari, A., Representative of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Sajadifar, S.H., Representative of National Water & Wastewater Company
Ghezelsoflo, A.A. Assis. Prof., Islamic Azad University of Mashhad
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad
Kalaei, GH., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Tavakoli Aminian, S., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company

Executive Expert
Editor
Graphic
Order of publication
Publisher
ISSN
Website/E-Mail
Address
Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Quchanian, M., Talebi Hossein Abad, F., Shahedi, M., Oskouhi, M.
Shaikhi, M.R.
Quarterly
Ferdowsi University of Mashhad
2423-5474
<https://jwsd.um.ac.ir/> Email: jwsd@um.ac.ir
Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. P.O.Box: 91775- 1163
Mashhad Water & Wastewater Company

Articles in issue:

- **Overview of the ODD Protocol Development Process as a Standard for Agent-Based Modeling**

S. A. Shahangian, M. Tabesh, H. Safarpour

- **The Position of Economic Sectors in Isfahan Province Based on the Consumption Approach Using the Input-Output Model**

E. Operajouneghani, Z. Nasrollahi

- **Investigating the Status of the Combined Water Security Index of Iranian Provinces in the Period of 2012-2017: Application of Multi-Criteria Analysis Methods**

N. Maleki, R. Shakeri Bostanabad, M. Salehi Komroudi, S. Seyedabadi

- **Conservation Prioritization of the Iran's Surface Water Resources based on Ecological Sensitivity**

M. Azizi Jalilian, A. Danehkar, A.R. Salmanmahiny, K. Shayesteh, F. Taheri Sarteshnizi

- **Designing Potential Evaporation Evaluation Software Linkable to NASAPOWER Database and Capable of Feasibility Assessment of Evaporation Reduction due to Photovoltaic Panels over Water Bodies**

M. Asmani, K. Bashirnezhad, P. Bashishahabi, I. Zahmatkesh

- **Locating the priority of implementing various types of pressurized irrigation systems using GIS software and AHP model, Case study: Dez plain**

H. Poursamsam, E. Akbari, H. Ghorbanizade-Kharazi, S. Boroomand Nasab

- **Presenting a Joint Model of Wastewater Management in Mashhad (Implementation of Part of Wastewater Treatment and Water Supply Projects in Mashhad in Exchange for the Transfer of Wastewater)**

H. Esmailian, S.M. Taffazoli, N. Rajabzadeh Moghani, S.A. Ghodsizadeh Azarmi

- **Investigation of The Effect of Physicochemical Factors of Water on Bioavailability, Toxicity and the Level of Effectiveness of Metal Nanoparticles in Aquatic Ecosystems**

A.R. Radkhah, E. Sadeghinejad Masouleh

- **Leak Modeling in Water Supply Networks Using WaterGEMS Model and Artificial Neural Network**

P. Miserjani, N. Sayari, S. Sayari

- **Investigation Role and Function of Rangelands on Water**

N. Khatoony, M. Kolahi

ISSN (Print): 2423-5474

