

آب و توسعه پایدار

سال نهم - شماره چهارم (پیاپی ۲۶) - اسفند ۱۴۰۱

مدل سازی در سیستم های منابع - مصارف آب



فهرست مقالات

- تخمین عمق آبشستگی حوضچه استخرات جت های متقاطع متقارن به روش ماشین بردار پشتیبان
محمد باقرزاده، میرعلی محمدی
- طراحی مدل مفهومی و ساختاردهی زنجیره تأمین آب شیرین با استفاده از رویکرد ترکیبی روش شناسی سیستم های نرم و مدل سازی معادلات ساختاری
محمد مهدی مهتدی، پوریا فرح گل، سپیده خوشاب، سهیلا مرادی
- متابولیسم آب شهری، ابزاری کارآمد جهت ارزیابی عملکرد مدیریت آب شهری (مطالعه موردی شهر اصفهان)
نیما نظامی، مصطفی تیزقدم، مهدی ضرغامی، مریم عباسی
- کاربرد و ارزیابی توانایی توابع مفصل در تخمین بارش روزانه در شرق حوضه دریاچه ارومیه
محمد خالدي علمداری، ابوالفضل مجنونى هريس، احمد فاخرى فرد
- تحلیلی بر نقش گروداران کلیدی در مدیریت تالاب های اقماری جنوب دریاچه ارومیه
سید مهدی مجتهدی، اصغر طهماسبی، سید محمد شبیری، علیرضا علوی تبار، بهمن زندی
- اخلاق آب
مسعود رضایی
- مدل مفهومی ریشه های اخلاقی بحران محیط زیست
احسان تمسکی، مهدی کلاهی
- بررسی اثر پارامترهای جاذب، هدایت الکتریکی و عمق آب در مخازن استحصال آب (تقطیرگر) خورشیدی به منظور آبیاری تقطیری در گلخانه
زینب حمید، سعید برومند نسب، امیر سلطانی محمدی
- تعیین کننده های مدیریت پایدار مصرف آب در بین مرکبات کاران شهرستان گچساران
فاطمه علی پناهیان، آیت اله کرمی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سردبیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی/ استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

کامران داوری/ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی/ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

حسین انصاری/ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

علی باقری/ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

محمد جلیلی/ دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

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

سعید مرید/ استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

حمیدرضا ناصری/ استاد گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

شورای سیاست گذاری

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

علیرضا طاهری/ 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

کامران داوری/ سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری/ اندیشکده تدبیر آب ایران

سید حسین سجادی فر/ شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

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 شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

مرجان قوچانیان، مهری شاهدی (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)



- سرمقاله: ارزیابی تغییرات مصرف آب در طرح «کشت یک میلیارد درخت» بامدل سازی «حسابداری آب سبز و آبی» / سعید مرید (عضو هیئت تحریریه نشریه) | الف
- یادداشت کوتاه: لزوم تدوین نقشه راه در توسعه سامانه های یکپارچه پایش و پردازش اطلاعات در حوزه مدیریت منابع آب / علی شهبازی ت
- تخمین عمق آبشستگی حوضچه استغراق جت های متقاطع متقارن به روش ماشین بردار پشتیبان
محمد باقرزاده، میرعلی محمدی | ۱
- طراحی مدل مفهومی و ساختاردهی زنجیره تأمین آب شیرین با استفاده از رویکرد ترکیبی روش شناسی سیستم های نرم و مدل سازی معادلات ساختاری
محمد مهدی مهتدی، پوریا فرح گل، سیده خوشاب، سهیلا مرادی | ۱۳
- متابولیسم آب شهری، ابزاری کارآمد جهت ارزیابی عملکرد مدیریت آب شهری (مطالعه موردی شهر اصفهان)
نیما نظامی، مصطفی تیزقدم، مهدی ضرغامی، مریم عباسی | ۲۳
- کاربرد و ارزیابی توانایی توابع مفصل در تخمین بارش روزانه در شرق حوضه دریاچه ارومیه
محمد خالدی علمداری، ابوالفضل مجنونی هریس، احمد فاخری فرد | ۳۷
- تحلیلی بر نقش گروداران کلیدی در مدیریت تالاب های اقماری جنوب دریاچه ارومیه
سید مهدی مجتهدی، اصغر طهماسبی، سید محمد شبیری، علیرضا علوی تبار، بهمن زندگی | ۴۷
- اخلاق آب
مسعود رضایی | ۵۹
- مدل مفهومی ریشه های اخلاقی بحران محیط زیست
احسان تمسکی، مهدی کلاهی | ۷۷
- بررسی اثر پارامترهای جاذب، هدایت الکتریکی و عمق آب در مخازن استحصال آب (تقطیرگر) خورشیدی به منظور آبیاری تقطیری در گلخانه
زینب حمید، سعید برومند نسب، امیر سلطانی محمدی | ۸۹
- تعیین کننده های مدیریت پایدار مصرف آب در بین مرکبات کاران شهرستان گچساران
فاطمه علی پناهیان، آیت اله کرمی | ۹۷
- یادداشت تحلیلی (ترجمه): معرفی معیارهای دستیابی به پایایی آب زیرزمینی (برگرفته از قانون SGMA کالیفرنیا) / هاشم درخشان | ۱۰۷
- یادداشت تحلیلی: مدل سازی منابع و مصارف منابع آب حوضه های آبریز از طریق پیاده سازی حکمرانی داده در رصدخانه آب و انرژی
مصطفی معصومی، عارف وائلی، غلامحسین کریمی، کیوان بوالحسنی، اردشیر کلانی، حسین انصاری | ۱۲۳
- یادداشت تحلیلی: چالش های تصمیم گیری در مدیریت منابع آب کشور و ظرفیت های مدل های شبیه سازی هیدرولوژیکی
جامع در پشتیبانی از آن / مجید دلاور | ۱۳۱
- گزارش: گزارشی از برگزاری «اولین همایش بین المللی و دومین همایش ملی مدل سازی و فناوری های جدید در مدیریت آب» و
«همایشگاه تخصصی صنعت آب» | ۱۳۶



ارزیابی تغییرات مصرف آب در طرح «کشت یک میلیارد درخت» با مدل سازی «حسابداری آب سبز و آبی»

اصولاً در تهیه طرح‌های بخش آب، کشاورزی و محیط زیست، بحث یکپارچگی و ارزیابی تبعات متقابل آنها برهم نقش چندان برجسته‌ای نداشته است (Raeisi و همکاران، ۲۰۱۹). فرایندهای مشخص سازمانی و بین سازمانی نیز در این راستا وجود ندارد که نمونه بارز آن تدوین برنامه‌های توسعه ۵ ساله کشور می‌باشد (مرید، ۱۳۹۷). اما، واقعیت‌ها و زوال منابع آبی کشور و تغییرات اقلیم ضرورت توجه به جزئیات کارکرد و اثرات اینگونه طرح‌ها را بر «منابع و مصارف آبی» بسیار حیاتی ساخته است. براین اساس نیز لازمست از رویکردها و ابزارهای جدیدی که جهت مدیریت دقیق‌تر و پایدارتری منابع آب توسعه یافته است به شکل منطقی استفاده به عمل آید.

از موارد قابل ذکر در رویکردهای نسبتاً جدید، بحث «حسابداری آب سبز و آبی» می‌باشد (Rodrigues و همکاران، ۲۰۱۴) که در ارزیابی‌ها جامع و یکپارچه مدیریت منابع آب اهمیت زیادی پیدا کرده است. دلیل آن نیز کاهش منابع آب آبی و توجهات بیشتر به به سمت آب سبز می‌باشد. اما، متأسفانه اندرکنش و تعامل این دو به اندازه کافی مورد توجه واقع نمی‌شود. در این خصوص، Rockström و Falkenmark (۲۰۰۶) گزارش نمودند که بارگذاری بر منابع آب سبز و نادیده گرفتن اثرات آن بر اکوسیستم حوضه، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبعات منفی را بدنبال دارد. به همین ترتیب نیز Rockström و همکاران (۲۰۰۹) اذعان می‌دارند که این دو مولفه برهم اثرگذاری دارند و تغییر در آب سبز باعث تغییر در آب آبی و بالعکس می‌شود. با این نگاه، مطالعاتی نقش تغییرات پوشش و کاربری زمین و وضعیت جدید شار تبخیر از زمین به جو از منبع آب سبز را بررسی کرده و سپس نقش آنها را بر کاهش تولید رواناب (آب آبی) و جریان‌های محیط زیستی اشاره داشته که در مرجع Mao و همکاران (۲۰۱۹) قابل مشاهده هستند. برای حصول به این مهم مدل‌سازی‌های مختلفی پیشنهاد شده است. Hoekstra (۲۰۱۹) چارچوب را برای پایش مصرف آب سبز و آبی و تعاملات آنها را پیشنهاد نمود. همچنین برای مقیاس‌های وسیع‌تر، مدل‌های مفهومی مانند SWAT در تلفیق با حسابداری آب بطور وسیعی مورد توجه قرار گرفته‌اند (Rodrigues، ۲۰۱۴). متأسفانه نتیجه عدم استفاده از رویکرد و ابزارهای فوق و از

طرفی باور نبود ارتباط بین دو منبع سبز و آبی و مستقل پنداشتن آنها، برنامه‌ریزی‌هایی در سطح کشور رقم زده شد که بارگذاری‌های جدیدی را بر منابع آب آبی شکل داد و می‌دهد. نمونه آن طرح توسعه باغات دیم در سطح ۵۰۰ هزار هکتار در ماده ۳۱ (بند پ) قانون برنامه ششم توسعه کشور بود که براساس همین فرض و عدم بارگذاری بر منابع آبی مورد تصویب قرار گرفت. بررسی جامع این طرح موضوع گزارش دلاور و همکاران (۱۳۹۹) قرار گرفت. آنها با اتصال مدل SWAT سفارشی شده برای حوضه طشک-بختگان، حسابداری آب +WA (Karimi و همکاران، ۲۰۱۳) و ترکیبی از شاخص‌هایی که مبین پایداری آب سبز و آب آبی بودند (Hoekstra و همکاران، ۲۰۱۱) تبعات این توسعه را بررسی نمودند. حوضه‌ای که سبزه بالایی در تولید انجیر دیم دارد. نتایج نشان داد، این اعمال این بند قانونی برای اراضی که پتانسیل اعمال آن را در این حوضه دارد، تا ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال مصرف را بالا می‌برد و تبعات منفی بر جریان‌های محیط‌زیستی تا ۳۰ میلیون مترمکعب در سال خواهد داشت.

طی هفته‌های اخیر نیز طرح جدید «کشت یک میلیارد درخت» را شاهد هستیم. هرچند مستندات این برنامه در دست نیست و به این بسنده شده که کمیته علمی خاصی به مدت ۸ ماه بر روی آن کار کرده است، اما حتی برخی مسئولین انجمن علمی جنگلداری کشور نیز در خصوص آن ابهاماتی را مطرح کرده‌اند. حضور مولف این نوشتار نیز در یکی از جلساتی که در خصوص توجیه این طرح با حضور مسئولین مربوط برگزار شد، کاملاً موید این بود که این طرح با فرض استقلال آب سبز و آبی و عدم بارگذاری بر منابع آب آبی طراحی شده است. به عنوان هشدار و به منظور جلوگیری از بارگذاری جدید بر منابع شکننده آبی کشور، لازمست این طرح بطور علمی با جامعیت لازم و استفاده از مدل‌سازی‌هایی فوق مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، می‌بایست مصرف آب آبی و تغییرات ممکن در آن در تمامی مراحل طرح «کشت یک میلیارد درخت» از جمله: تولید نهال؛ محل کاشت آنها، تبعات حفر چاله‌ها در آبخیزها برای استحصال آب بارندگی و نقش آنها در کاهش رواناب‌ها، تغذیه سفره‌ها، افزایش تبخیر و تعرق و تأثیر بر حقایقه‌های محیط زیستی و نهایتاً مراحل نگهداری آن (اذعان شده برخی مناطق شناسایی شده پادگان‌ها هستند که به‌نظر نمی‌رسد بدون آبیاری قابل نگهداری باشند) مورد بررسی قرار گیرد. مواردی که به‌خوبی در قالب «حسابداری آب سبز و آبی» قابل تحلیل و ارزیابی هستند و بحمدالله مراکز تحقیقاتی کشور ظرفیت بسیار خوبی در استفاده از این نوع مدل‌ها را دارند.

نهایتاً اینکه وزارت نیرو به عنوان ارگان رسمی صیانت از منابع

- green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3): 129–132
- Karimi P., Bastiaanssen W., Molden D. and Cheema M. 2013. Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (7): 2013
- Mao G., Liu J., Han F. et al. 2020. Assessing the interlinkage of green and blue water in an arid catchment in Northwest China. *Environ Geochem Health*, 42: 933–953. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00406-3>
- Raeisi L.G., Morid S., Delavar M. and Srinivasan R. 2019. Effect and side-effect assessment of different agricultural water saving measures in an integrated framework. *Agric. Water Manag.* 223: 105685. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105685>
- Rodrigues D.B.B., Gupta H.V. and Mendiondo M.M. 2014. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. *Water Resources Research*. <https://doi.org/10.1002/2013WR014274>
- Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin F. S. I. I. I., Lambin E., et al. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity.
- آب کشور، نقش برجسته‌ای را در این خصوص دارد و انتظار می‌باشد، وظیفه حاکمیتی خود را در این باره به انجام رساند. ضمن اینکه استدعا دارد، تجربه طرح‌های مشابه مانند «طرح طوبی» و تبعات منفی آن بر تغییر کاربری اراضی در عرصه‌های منابع طبیعی را دست‌اندرکاران این طرح بیاد داشته باشند.

منابع

دلور م، عباسی ح، بیگدلی نعلبندان ر. و رئیسی ل. ۱۳۹۹. ارزیابی راهبردهای ممکن بخش آب در سازگاری با تغییر اقلیم (ویرایش فنی). پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و موسسه تحقیقات آب. دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو.

مرید س. ۱۳۹۷. مروری بر اقدامات کشور در مدیریت خشکسالی و ظرفیت آنها برای مواجهه با بحران‌های آبی. مجله تحقیقات منابع آب، ۱۴(۱): ۲۵۲-۲۳۹.

Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M. and Mekonnen M.M., 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK, p. 224. <https://doi.org/10.1080/0969160x.2011.593864>.

Hoekstra A.Y. 2019. Green-blue water accounting in a soil balance. *Advances in water resources*, 129: 112-117.

Rockström J. and Falkenmark M. 2006. The new blue and



لزوم تدوین نقشه راه در توسعه سامانه‌های یکپارچه پایش و پردازش اطلاعات در حوزه مدیریت منابع آب

فرایند پایش، پردازش و تحلیل اطلاعات منابع و مصارف آبی باهدف ایجاد یک تصویر صحیح، دقیق و با جزئیات کافی از سیستم‌های منابع آب از مهمترین ارکان تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع و مصارف آبی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت بوده و تشکیل‌دهنده اجزای هرم تولید دانش در این زمینه می‌باشند. افزایش اثرگذاری فرایند مذکور نیز تابعی از زمان دست‌یابی تصمیم‌گیران به دانش تولید شده در این فرایند می‌باشد. اگرچه بکارگیری فرایند مذکور سابقه طولانی دارد ولی به لطف پیشرفت‌های حاصل شده در ابزارهای سنجش داده‌ها، بانک‌های اطلاعاتی و نیز مدل‌های ریاضی، زمان دستیابی به نتایج حاصل از این فرایند روز به روز کوتاه‌تر و به گام‌های زمانی بهنگام نزدیک‌تر شده است و از این طریق امکان برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر و مبتنی بر واقعیت‌های میدانی و عملیاتی را فراهم آورده است.

اگرچه از دیدگاه نظری فرایند پایش و پردازش اطلاعات و بکارگیری آن در حوزه منابع آب شفاف می‌باشد ولی در عمل چالش‌های زیادی در بکارگیری و عملیاتی‌سازی آن وجود دارد. بررسی دقیق قالب‌های حاکم بر فرایند پایش و پردازش داده و اطلاعات می‌تواند در شناخت این چالش‌ها بسیار موثر باشد. بانک‌های اطلاعاتی، بانک مدل‌های نرم‌افزاری و نیروی انسانی متخصص سه مولفه مهم و کلیدی این فرایند می‌باشد. محتوای هر یک از مولفه‌ها در چارچوب اشاره شده متناسب با شرایط هر حوزه آبریز و مقیاس تحلیل‌های مورد نیاز باید تنظیم گردد. باید توجه نمود دستیابی به مزیت‌های مورد انتظار از این چارچوب

زمانی محقق می‌شود که کل مولفه‌ها و فرایند، اجرایی گردد و عملیاتی‌سازی یک بخش به تنهایی، نه تنها شرایط بهره‌برداری پایدار را فراهم نمی‌آورد بلکه می‌تواند تحلیل غیرمنطبق با شرایط واقعی را ایجاد نماید.

تدوین استانداردهای جامع بان‌کهای اطلاعاتی در مبحث منابع و مصارف آبی، در برگیرنده پروتکل‌های تبادل داده، تدوین فرایندهای استاندارد صحت‌سنجی اطلاعات، خصوصاً در زمینه داده‌های بهنگام، ناحیه‌بندی کشور متناسب با شرایط سیستم‌های منابع آب و نیازهای مدل‌سازی و توسعه مدل‌های تخصصی در هر ناحیه، و در نهایت آموزش نیروهای متخصص در زمینه مدل‌سازی و مباحث بین رشته‌ای خصوصاً هیدروانفورماتیک از ملزومات عملیاتی‌شدن سامانه‌های یکپارچه پایش و پردازش اطلاعات می‌باشد.

نمونه عملیاتی در زمینه بهره‌برداری از چنین سامانه‌هایی در حوضه‌های آبریز منتهی به استان خوزستان راه‌اندازی و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. سامانه‌های مورد استفاده در این سازمان شامل یک شبکه گسترده از تجهیزات برخط پارامترهای آب و هواشناسی، شبکه سنجش پهنپای، فرایند منسجم صحت‌سنجی اطلاعات شامل صحت‌سنجی برخط و صحت‌سنجی توسط متخصصان در بازه‌های زمانی روزانه، بانک‌های اطلاعاتی، جفت‌سازی مدل‌های ریاضی در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی مولفه‌های سیستم‌های منابع آب و در نهایت کارگروه ویژه تخصصی به منظور تصمیم‌سازی بر مبنای تمامی اطلاعات تولید شده می‌باشد.

با توجه به پیچیدگی‌ها و چالش‌های عدیده مدیریت منابع و مصارف آبی کشور، بهره‌گیری و فعال‌سازی فرایندهای پایش و پردازش داده‌ها نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت می‌باشد. در این راستا جهت‌گیری بخش تحقیقات در تدوین پروتکل استاندارد در بخش‌های مختلف تولید داده، بانک‌های اطلاعاتی، مدل‌سازی، تدوین نقشه راه توسعه سامانه‌های پشتیبان تصمیم و کمی‌سازی ارزش اقتصادی توسعه این سامانه‌ها اهمیت بسزایی دارد.

Estimation of the Scouring Depth of the Plunge Pool of the Symmetrical Crossing Jets by Support Vector Machine

M. Bagherzadeh¹, M.A. Mohammadi^{2*}

1, 2- PhD Student and Associate Professor, Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

* (Corresponding Author Email: m.mohammadi@urmia.ac.ir)

Received: 16-06-2022

Revised: 13-08-2022

Accepted: 03-09-2022

Available Online: 11-03-2023

تخمین عمق آبشستگی حوضچه استغراق جت‌های متقاطع متقارن به روش ماشین بردار پشتیبان

محمد باقرزاده^۱، میرعلی محمدی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ارومیه، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: m.mohammadi@urmia.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

Abstract

At the downstream end of the large dam spillways, the plunge pool is used for energy dissipation due to the flow. This type of structure has a scouring hole downstream of the dam, which needs to be explored for the issue. The present research work aimed to examine the performance of the support vector machine (SVM) method as one of the familiar soft computing techniques used for estimating the scouring depth of symmetrical crossing jets of a plunge pool. Firstly, an appropriate percentage run and Kernel of the SVM were determined by using laboratory data. Then, the parameters involved the scouring depth including Dencimetric Froude Number, Tailwater Depth, vertical jet angle, angle of the impact point of the jet, and the relative distance between of impact of the jet up to the water surface (Fr_{d90} , T_w , α_v , α_c , δ), were divided into different models and the runs were performed. Numerical values of the evaluation criteria as R, RMSE, and NRMSE related to the test stage results for the best model to estimate the scouring depth were found as 0.9563, 0.688 and 18.47%, respectively. The results of this model confirm the acceptable performance of the SVM for estimating the scouring depth studied in present work. To find a best model, the results of sensitivity analysis reveals that the parameters T_w and α_v have the highest and lowest effects on the accuracy amount of estimation for scouring depth, respectively.

Keywords: Scouring, Dencimetric Froude Number, Tailwater Depth, Soft Computing.

چکیده

در پایین‌دست سرریز سدهای بلند به منظور افزایش میزان استهلاك انرژی جریان از حوضچه‌های استغراق استفاده می‌شود. این نوع سازه‌ها یک گودال آبشستگی در پایین‌دست سد بوده که به بررسی مسئله آبشستگی نیازمند است. تحقیق حاضر با هدف بررسی عملکرد روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) به عنوان یکی از تکنیک‌های شناخته شده محاسبات نرم که در برآورد عمق آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت‌های متقاطع متقارن به کار برده می‌شود. در ابتدا با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به تعیین درصد اجرا و کرنل مناسب روش SVM پرداخته شد. سپس پارامترهای کارآ در عمق آبشستگی دربرگیرنده عدد فرود دنسیمتریک، عمق نسبی پایاب، زاویه قائم جت، زاویه برخورد جت و فاصله نسبی محل برخورد جت تا سطح آب (Fr_{d90} , T_w , α_v , α_c , δ), به مدل‌های مختلف تقسیم‌بندی و اجرا شدند. مقادیر عددی معیارهای ارزیابی R، RMSE و NRMSE مربوط به نتایج مرحله آزمون برای مدل برتر در برآورد عمق آبشستگی به ترتیب برابر ۰/۹۵۶۳، ۰/۶۸۸ و ۱۸/۴۷٪ به دست آمد. نتایج خروجی از این مدل، عملکرد قابل قبول SVM در برآورد عمق آبشستگی این پژوهش را می‌پذیرد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت بر روی مدل برتر در تحقیق حاضر نیز آشکار نمود که پارامترهای T_w و α_v به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی در میزان درستی پیش‌بینی عمق آبشستگی را دارند.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، استهلاك انرژی، عدد فرود دنسیمتریک، عمق پایاب، محاسبات نرم.

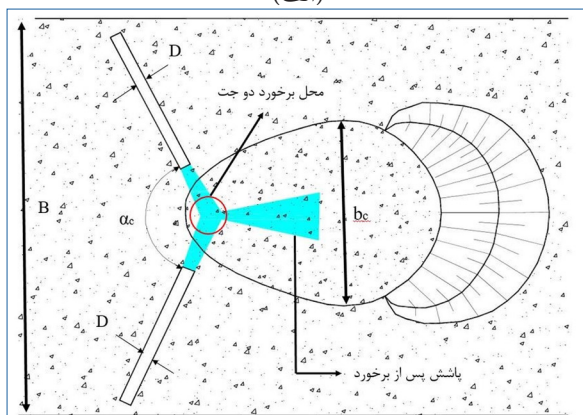
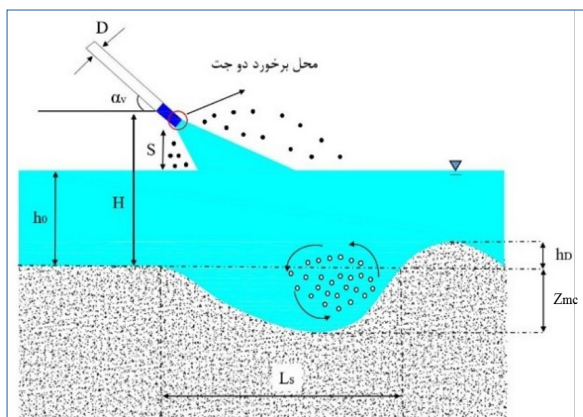
باوجود مطالعات گسترده آزمایشگاهی در زمینه آبشستگی، پژوهشگران در دهه اخیر گرایش بیشتری به استفاده از روش‌های محاسبات نرم در پیش‌بینی و شبیه‌سازی رفتار سازه‌های هیدرولیکی نشان دادند. در سالیان گذشته به‌کارگیری روش‌های محاسبات نرم در زمینه علم هیدرولیک به دلیل دقت بالا و صرف زمان کمتر نسبت به روش‌های کلاسیک گسترده شده است. شبیه‌سازی عددی مراحل آبشستگی در يك حوضچه استغراق با بستر سست و مصالح یکنواخت در اثر يك جریان دو بعدی نشان داد، نتایج به‌دست آمده از مدل عددی هم‌خوانی خوبی با نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری واقعی دارد (Jia و همکاران، ۲۰۰۱). سنجش دقت شبکه‌های عصبی مصنوعی چند لایه با الگوریتم گرادیان نزولی خطا برای برآورد عمق آبشستگی اطراف پایه های پل نشان داد، نتایج خروجی به مقادیر واقعی نزدیک است و در مقایسه با روابط تجربی دقت بالایی دارد (Lee و همکاران، ۲۰۰۷). استفاده از داده‌های میدانی جهت برآورد آبشستگی موضعی اطراف پایه پل با روش‌های SVR و MLP نشان داد که روش SVR نسبت به روش MLP و روابط تجربی خطای کمی دارد (Pal و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین نتایج بررسی عددی حوضچه استغراق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D نیز آشکار ساخت که در حوضچه‌های استغراق برای رسیدن به شرایط پایدار عمق آبشستگی، زاویه قرارگیری جت کلیدی‌ترین پارامتر به‌شمار می‌رود (Epely-Chauvin و همکاران، ۲۰۱۴). پیش‌بینی میزان بار انتقالی بستر به روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) نیز مشخص نمود، این روش در برابر روابط تجربی موجود در این زمینه کارایی خوبی دارد (Koosheh و Roushangar، ۲۰۱۵). استفاده از مدل اویلری اصلاح شده برای بررسی آبشستگی جت قائم روی رسوبات غیرچسبنده نیز نشان داد هم‌خوانی خوبی بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی وجود داشته و مدل اویلری اصلاح شده، آبشستگی ایجاد شده توسط جت را به‌صورت دقیق و مؤثر شبیه‌سازی می‌کند (Yan و همکاران، ۲۰۲۰). با شبیه‌سازی عمق آبشستگی پایه‌های پل با هندسه‌های متفاوت بر پایه داده‌های واقعی با سه روش برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP)، SVM و مدل رگرسیون غیرخطی معلوم شد SVM با دو روش دیگر، پیش‌بینی بهتر و کارایی مناسبی در برآورد عمق آبشستگی دارد (Majedi Asl و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین به‌کارگیری روش SVM برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن قائم مجهز به صفحه‌های مشبک افقی دوگانه و صفحه‌های مشبک با قطرهای متفاوت نشان داد، SVM می‌تواند به خوبی پارامترهای جریان را پیش‌بینی نماید (Daneshfaraz و همکاران، ۲۰۲۱a,b). همچنین در پژوهشی دیگر Daneshfaraz و همکاران (۲۰۲۱c) کاربرد SVM در پیش‌بینی استهلاک نسبی انرژی در کانال غیرمنشوری با بستر زبر با المان‌های ذورنقه‌ای

موضوع آبشستگی در پایین‌دست سدهای بلند همواره از موضوعات چالش برانگیز در مهندسی سازه‌های هیدرولیکی است. در پایین دست سرریز سدهای بلند یکی از راهکارهای متداول جهت کنترل آبشستگی، مستهلک نمودن انرژی جریان خروجی با استفاده از حوضچه استغراق ناشی از جت‌های متقاطع متقارن می‌باشد. این حوضچه‌ها در مناطقی که مصالح و سنگ بستر در پایین‌دست سازه مناسب باشد به‌گونه‌ای که آبشستگی ایجاد شده شالوده سد را در معرض خطر قرار ندهد، به‌کار می‌رود (Bollaert، ۲۰۰۲). آشفته‌گی ایجاد شده در این حوضچه سبب استهلاک انرژی می‌شود و عواملی مانند شرایط محیطی، ارتفاع و ضخامت جت ریزشی بر اندازه انرژی وارد شده از سوی آب خروجی بر حوضچه کارا هستند. پارامترهایی مانند عدد فرود دنسی‌متریک و شکل جت ریزشی به‌ترتیب بیشترین و کمترین کارایی را در آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت منفرد دارند (Pagliara و همکاران، ۲۰۰۶). از سویی دیگر با افزایش زاویه قرارگیری نازل جت، شکل چاله آبشستگی در این حوضچه حلقوی شده و با کاهش آن شکل چاله بیضوی می‌شود (Pagliara و Palermo، ۲۰۰۸). بررسی‌ها بر روی آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت‌های متقاطع متقارن با زاویه قائم ثابت ۴۵ درجه نشان داد در عمق پایاب کم، جت‌های متقاطع در برابر جت منفرد عمق آبشستگی بیشتری ایجاد می‌کند (Pagliara و همکاران، ۲۰۱۱a). همچنین در پژوهشی دیگر که بر روی آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از برخورد دو جت متقاطع قائم انجام شد، پیدا شد که ابعاد چاله آبشستگی متاثر از پارامترهای عدد فرود دنسی‌متریک، عمق پایاب، زوایای عمودی جت‌ها و فاصله نقطه تقاطع جت‌ها تا سطح آب است (Pagliara و همکاران، ۲۰۱۲). بررسی آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت آزاد منفرد روی بستر رسوبی غیرچسبنده نشان داد، اگر ضخامت لایه بستر رسوبی کم باشد، عمق نفوذ حباب‌های هوا کم می‌شود، زیرا کف کانال نفوذناپذیر بوده و از نفوذ بیشتر حباب‌های هوا جلوگیری می‌کند. بنابراین با کاهش ضخامت لایه رسوبی، حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد (Taştan و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی تغییرات شکل بستر حوضچه استغراق برآمده از برخورد جت قائم با رسوبات غیرچسبنده نشان داد، عمق دینامیک چاله آبشستگی با افزایش ارتفاع جت کاهش می‌یابد و ابعاد حفره آبشستگی با عدد فرود جت رابطه مستقیم دارد (Armaghani و همکاران، ۲۰۱۷). از سویی دیگر افزایش عدد فرود دنسی‌متریک و کاهش عمق پایاب سبب گسترش عمق آبشستگی و چاله ایجاد شده در پایین‌دست جام پرتابی سرریز اوجی روی بستر رسوبی غیرچسبنده می‌شود (Khalifehei و همکاران، ۲۰۲۰).

مواد و روش‌ها

• آنالیز ابعادی

از آنالیز ابعادی برای استخراج روابط حاکم بر زمینه پژوهش استفاده شد. به این منظور براساس شکل (۱) متغیرهای موثر بر موضوع آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت‌های متقاطع متقارن به صورت رابطه (۱) می‌باشد.



(ب)

شکل ۱- شمایی از مدل آزمایشگاهی: (الف) نمای جانبی، (ب) نما از بالا

$$z_{mc} = f_1(D_{eq}, V, \alpha_c, \alpha_v, S, h_0, g^*, d_{90}) \quad (1)$$

با استفاده از قضیه پی-باکینگهام و پس از ساده‌سازی، رابطه (۱) به صورت روابط (۲) و (۳) بیان می‌شود:

$$z_{mc}/D_{eq} = f_2(Fr_{d90} = V/\sqrt{g^* d_{90}}, \alpha_c, \alpha_v, \delta = S/D_{eq}, T_w = h_0/D_{eq}) \quad (2)$$

$$z_{mc} = f_3(Fr_{d90}, \alpha_c, \alpha_v, \delta, T_w) \quad (3)$$

در رابطه (۳)، Fr_{d90} ، δ و T_w به ترتیب حداکثر عمق آبشستگی بی‌بعد، عدد فرود دنیسمتريک، فاصله نسبی محل برخورد جت تا سطح آب و عمق نسبی پایاب می‌باشند. محدوده این پارامترهای بی‌بعد مستقل در جدول (۱) نشان داده شده است.

را بررسی کردند. این پژوهشگران استهلاك انرژی در بستر زبر را در دو سناریوی متفاوت که وابسته به ارتفاع زبری بود، برآورد کردند. نتایج به دست آمده نشان داد در هر دو سناریو هنگام استفاده از همه پارامترهای مستقل بهترین پیش‌بینی رخ داد و سناریوی دوم با ارتفاع زبری بیشتر نسبت به سناریوی اول، نتایج نزدیکی به داده‌های آزمایشگاهی داشته است. همچنین براساس آنالیز حساسیت انجام گرفته نشان دادند پارامتر مستقل ارتفاع نسبی زبری H/y_1 کارآترین پارامتر برای پیش‌بینی استهلاك نسبی انرژی در کانال غیرمنشوری با بستر زبر می‌باشد. Dasineh و همکاران (۲۰۲۱) پرش‌های هیدرولیکی روی بستر زبر مثلثی شکل با استفاده از روش‌های مدل سازی عددی و محاسبات نرم را پیش‌بینی کردند. بخش شبیه‌سازی در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D انجام شد و همچنین با استفاده از روش‌های RF، SVM و GEP دقت نتایج مدل‌سازی عددی بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان داد میانگین کلی خطای نسبی میان نتایج خروجی از FLOW-3D و نتایج تجربی ۴/۱ درصد است و از میان روش‌های هوش مصنوعی به کارگیری شده در این پژوهش، مدل SVM توانایی بالایی در مقایسه دیگر روش‌ها در هم‌خوانی نتایج با مدل عددی را دارد. شبیه‌سازی عددی و کاربرد محاسبات نرم در تخمین استهلاك انرژی شیب‌شکن قائم با لبه دندانه‌ای افقی به دست Bagherzadeh و همکاران (۲۰۲۲) انجام شد، در این پژوهش ابتدا با نرم‌افزار FLOW-3D و با دندانه‌دار کردن لبه شیب‌شکن، استهلاك انرژی جریان پایین دست آن بررسی شد. سپس با استفاده از روش‌های ANN، SVM و GEP اندازه دقت مدل عددی و مقایسه نتایج بررسی شد. نتایج نشان داد از بین پارامترهای مورد بررسی، افزایش ابعاد لبه‌ها سبب افزایش استهلاك انرژی می‌شود. نتایج پیش‌بینی استهلاك انرژی با استفاده از روش‌های ANN، SVM و GEP نشان داد با اینکه هر سه مدل دقت مناسبی برای تخمین استهلاك انرژی دارند، اما دقت روش ANN با مقادیر $RMSE = 0.0125$ و $R^2 = 0.9805$ برای حالت تست در مقایسه با دو روش دیگر بیشتر است.

براساس پژوهش‌های گذشته مشاهده شد، یکی از مهمترین موضوعات پژوهشی در علم هیدرولیک مربوط به برآورد عمق آبشستگی پایین دست سازه‌های هیدرولیکی همانند حوضچه استغراق سدهای بلند می‌باشد. با وجود مطالعات آزمایشگاهی گسترده در زمینه حوضچه استغراق جت‌های منفرد، مطالعات انجام شده حوضچه استغراق جت‌های متقاطع متقارن بسیار کم بوده و تاکنون استفاده از روش‌های محاسبات نرم نیز مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین این پژوهش برآورد و توانایی روش ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی عمق آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت‌های متقاطع متقارن براساس داده‌های آزمایشگاهی پژوهش Pagliara و همکاران (۲۰۱۱b) را بررسی نموده است.

جدول ۱- محدوده پارامترهای مستقل بی بعد

عنوان پارامتر	محدوده تغییر	
	حداقل	حداکثر
زاویه قائم جت ها	۴۵	۸۵
زاویه برخورد جت ها	۳۰	۱۲۰
عمق نسبی پایاب	۰/۷	۷/۱
عدد فرود دنیسمتیک	۶/۸۹	۱۴/۸۷
فاصله نسبی محل برخورد جت تا سطح آب	۰	۷

• مشخصات آزمایشگاهی

در این پژوهش داده های مورد نیاز از پژوهش آزمایشگاهی Pagliara و همکاران (۲۰۱۱b) تهیه شد. آزمایش های این پژوهشگران در یک فلوام آزمایشگاهی به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۶، ۰/۸ و ۰/۹ متر انجام شد. در پژوهش این پژوهشگران از دو لوله به قطر $D = 0.022$ سانتی متر برای ساخت نازل جت استفاده شد و دبی به صورت مساوی در دو نازل جت، جریان پیدا می کند. از دبی سنج الکترومغناطیسی ASA-MAG با دقت اندازه گیری ۰/۵ درصد برای اندازه گیری دبی استفاده شد. ذرات رسوبی به قطر (d_{90}) ۱۰/۲۶ میلی متر با ضریب یکنواختی ۱/۱۷ در نظر گرفته شده است. همچنین از یک دریچه در پایین دست فلوام آزمایشگاهی برای ایجاد عمق پایاب استفاده شد. در مجموع از ۱۱۹ سری داده آزمایشگاهی این پژوهش، برای بررسی عملکرد ماشین بردار پشتیبان (SVM) در پیش بینی عمق آبستگي استفاده شد.

• ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین های بردار پشتیبان مثل شبکه های عصبی مصنوعی، یک نوع الگوریتم داده محوری می باشد. این روش دسته ای از روش های یادگیری با ناظر هستند که برای مسائل طبقه بندی، رگرسیون، پیش بینی و سایر مسائلی که در این زمینه قرار می گیرند، به کار می رود. الگوریتم SVM یک نوع الگوریتم داده کاوی است که کاربردهای مختلفی همچون دسته بندی و پیش بینی داده ها دارد. مبنای کار SVM دسته بندی خطی داده ها می باشد و سعی بر این است که در تقسیم خطی داده ها، خطی انتخاب شود که حاشیه اطمینان بالایی دارد. در این الگوریتم داده های ورودی به دو مرحله آموزش (Train) و آزمون (Test) تقسیم می شود. ماشین های بردار پشتیبان بر خلاف دیگر روش های هوش مصنوعی به جای اینکه خطای محاسباتی را کاهش دهد، ریسک عملیاتی را به عنوان تابع هدف قرار داده و مقدار بهینه آن را به دست می آورد، بنابراین مدل SVM رگرسیونی توانایی این را دارد که مسئله را توسط ترنند کرنل به فضای با ابعاد بیشتر برسد (Roushangar و

همکاران، ۲۰۱۸). در ماشین بردار پشتیبان انواع مختلف تابع کرنل وجود دارد که باتوجه به طبیعت مسئله هر یک کاربرد خاصی دارند (جدول ۲).

جدول ۲- انواع مختلف توابع کرنل (Roushangar و همکاران، ۲۰۱۸)

Function	Expression
Linear	$K(x_p, x_j) = (x_p, x_j)$
Polynomial	$K(x_p, x_j) = ((x_p, x_j) + 1)^d$
Radial basis function	$K(x_p, x_j) = \exp(-\ x_i - x_j\ ^2 / 2\sigma^2)$
Sigmoid	$K(x_p, x_j) = \tanh(-a(x_p, x_j) + c)$

پارامترهای به دست آمده از آنالیز ابعادی براساس جدول (۳) به صورت مدل های مختلف به ماشین بردار پشتیبان معرفی شدند.

جدول ۳- مدل های پژوهش

Model	Input parameters
Model 1	Fr_{d90}, T_w
Model 2	Fr_{d90}, T_w, α_v
Model 3	Fr_{d90}, T_w, α_c
Model 4	Fr_{d90}, T_w, δ
Model 5	$Fr_{d90}, T_w, \alpha_v, \alpha_c$
Model 6	$Fr_{d90}, T_w, \alpha_v, \delta$
Model 7	$Fr_{d90}, T_w, \alpha_c, \delta$
Model 8	$Fr_{d90}, T_w, \alpha_v, \alpha_c, \delta$

برای کار با روش SVM ابتدا داده های آزمایشگاهی براساس آنالیز ابعادی به صورت پارامتر وابسته و مستقل به محیط نرم افزار Statistica-10 معرفی شد. سپس به تعیین درصد مرحله آموزش و آزمون و انتخاب نوع کرنل ماشین بردار پشتیبان پرداخته شد. در این مرحله مدل شماره ۸ برای وجود همه پارامترهای مستقل در برآورد عمق آبستگي انتخاب شد. نتایج تعیین درصدهای مختلف و انواع کرنل در ماشین بردار پشتیبان برای مدل شماره ۸ در جداول (۴) و (۵) نشان داده شده است. براساس جدول (۴) مشخص شد بهترین پیش بینی برای مدل شماره ۸ زمانی پیش می آید که ۸۰ درصد داده ها آموزش داده می شود و ۲۰ درصد داده ها برای آزمون باقی می ماند.

همچنین براساس معیارهای ارزیابی، از میان کرنل های متفاوت موجود در نرم افزار تابع کرنل RBF به عنوان کرنل مورد استفاده در این پژوهش انتخاب شد.

جدول ۴- نتایج تعیین درصد Run

۸۰-۲۰	۷۵-۲۵	۷۰-۳۰	۶۵-۳۵	۶۰-۴۰	(%) Sampling
Evaluation criteria					
۰/۹۵۳	۰/۹۲۲	۰/۸۸۴	۰/۸۷۰	۰/۸۶۷	R (Test)
۰/۷۳	۰/۹۸	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۱۵	RMSE (Test)

جدول ۵- نتایج برای تعیین نوع کرنل

Sigmoid	RBF	Polynomial	Linear	Kernel Function
Evaluation criteria				
۰/۸۵۰	۰/۹۵۳	۰/۸۴۵	۰/۸۵۹	R (Test)
۱/۱۱	۰/۷۳	۱/۱۶	۱/۰۷	RMSE (Test)

نتایج و بحث

در این پژوهش برای پیش‌بینی عمق آبشستگی حوضچه استغراق برآمده از جت‌های متقاطع متقارن از روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. ابتدا برای رسیدن به نتایج دقیق و بهتر به پیش‌پردازش داده‌ها (Preprocessing) جهت تعیین درصد مناسب برای مراحل آموزش و آزمون پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد نتایج نزدیک به داده‌های آزمایشگاهی هنگامی به دست می‌آید که ۸۰ درصد داده‌ها آموزش داده شوند و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون باقی بماند (جدول ۴). پس از آن براساس نتایج کرنل RBF به عنوان کرنل مناسب برای روش SVM در نظر گرفته شد (جدول ۵). براساس آنالیز ابعادی انجام شده، عمق آبشستگی به پارامترهای F_{d90} , T_w , α_v , α_c , δ بستگی دارد. این پارامترها براساس جدول (۳) به مدل‌های مختلفی تقسیم شدند. نتایج کلی همه مدل‌های این پژوهش در جدول (۶) نشان داده شده است. برای رسیدن به پیش‌بینی نزدیک به واقعیت، روند آموزشی مدل‌ها چندین بار تکرار شد تا حداقل خطا در حین مراحل برآورد حاصل شود. معیار انتخاب بهترین مدل در این پژوهش مدلی می‌باشد که از دیدگاه آماری ضریب همبستگی میان داده‌های آزمایشگاهی و برآورد شده R بالایی داشته باشد و مقادیر RMSE و NRMSE کمتری در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد.

• معیارهای ارزیابی

برای بررسی و ارزیابی دقت مدل‌ها در این پژوهش از معیارهای ارزیابی R ضریب همبستگی بین مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی شده، RMSE جذر میانگین مربعات خطاها و NRMSE جذر میانگین مربعات خطاهای نرمال‌سازی شده استفاده شد (روابط ۶، ۷ و ۸). در روابط ذیل، X_{Exp} شناساننده مقادیر داده‌های آزمایشگاهی، $\bar{X}_{Exp}$ میانگین داده‌های آزمایشگاهی، X_{Pre} مقادیر داده‌های پیش‌بینی شده توسط ماشین بردار پشتیبان، $\bar{X}_{Pre}$ میانگین داده‌های پیش‌بینی شده و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد (Daneshfaraz و همکاران، ۲۰۲۱d).

$$R = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Exp} - \bar{X}_{Exp})(X_{Pre} - \bar{X}_{Pre})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{Exp} - \bar{X}_{Exp})^2 \sum_{i=1}^n (X_{Pre} - \bar{X}_{Pre})^2}} \right) \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{Exp} - X_{Pre})^2} \quad (۷)$$

$$NRMSE(\%) = \frac{RMSE}{\sum_{i=1}^n X_{Exp}} \times 100 \quad (۸)$$

جدول ۶- نتایج پیش‌بینی عمق آبشستگی برای مدل‌های مختلف

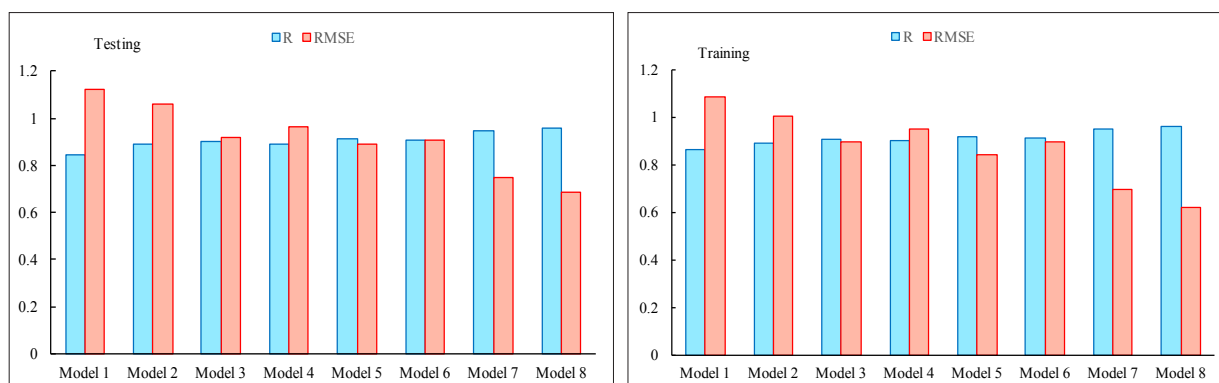
Model	Training			Testing		
	R	RMSE	NRMSE (%)	R	RMSE	NRMSE (%)
Model 1	۰/۸۶۱۵	۱/۰۸۷	۲۷/۸۶	۰/۸۴۵۰	۱/۱۲۲	۳۰/۱۳
Model 2	۰/۸۹۰۷	۱/۰۰۳	۲۵/۷۱	۰/۸۸۷۹	۱/۰۵۹	۲۸/۴۱
Model 3	۰/۹۰۸۰	۰/۸۹۴	۲۲/۹۲	۰/۹۰۰۲	۰/۹۱۷	۲۴/۶۰
Model 4	۰/۹۰۱۶	۰/۹۴۸	۲۴/۳۲	۰/۸۹۰۱	۰/۹۶۵	۲۵/۹۲
Model 5	۰/۹۱۹۹	۰/۸۴۳	۲۱/۶۲	۰/۹۱۱۷	۰/۸۹۲	۲۳/۹۳
Model 6	۰/۹۱۴۶	۰/۸۹۶	۲۲/۹۷	۰/۹۰۷۳	۰/۹۰۵	۲۴/۲۹
Model 7	۰/۹۴۸۹	۰/۶۹۸	۱۷/۹۰	۰/۹۴۴۸	۰/۷۴۶	۲۰/۰۳
Model 8	۰/۹۵۸۷	۰/۶۲۲	۱۵/۹۶	۰/۹۵۶۳	۰/۶۸۸	۱۸/۴۷

جدول (۶) نشان می‌دهد مشخص است که مقادیر ضریب همبستگی مرحله آموزش همواره بیشتر از مرحله آزمون هست و خطای مرحله آموزش به مراتب کمتر از مرحله آزمون است. این نتیجه نشان می‌دهد آموزش شبکه ماشین بردار پشتیبان در زمان پیش‌بینی دچار هیچ خطایی نشده است و مدل‌های شماره ۸ و ۷ به ترتیب کمترین خطا را در پیش‌بینی عمق آبشستگی دارند.

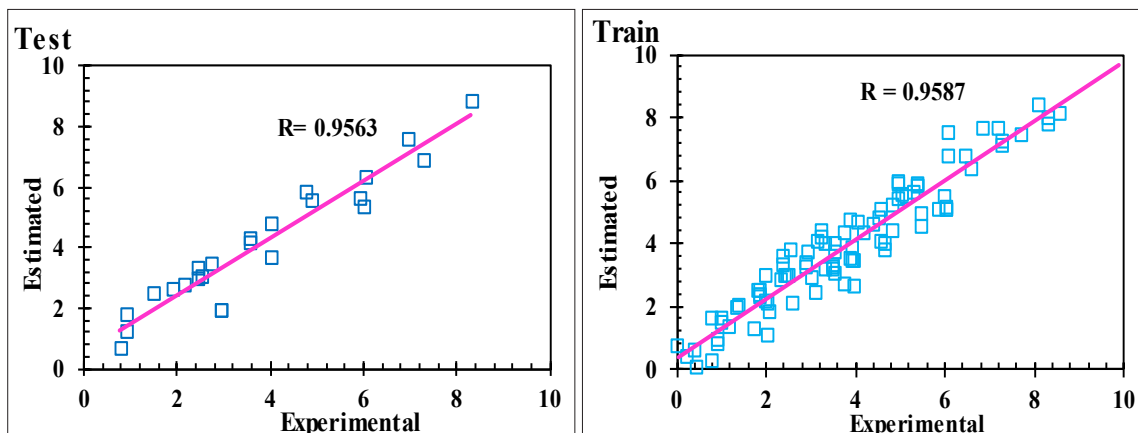
نمودار پراکنش میان مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده عمق آبشستگی حوضچه استخرق ناشی از جت‌های متقاطع متقارن با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای مدل برتر در شکل (۳) نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود برای هر دو مرحله آموزش و آزمون، داده‌های برآورد شده برای عمق آبشستگی برابری و همپوشانی خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

با بررسی نتایج جدول (۶) مشخص می‌شود مدل شماره ۸ از دیدگاه معیارهای ارزیابی، نتایج مناسب‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها دارد. در مدل شماره ۸ شبیه‌سازی برای همه متغیرهای کارآ در عمق آبشستگی و با ترکیب انجام شد. نتایج این مدل برای مرحله آموزش $R=0/9587$, $RMSE=0/622$ و $NRMSE=15/96\%$ و مقادیر ارزیابی برای مرحله آزمون $R=0/9563$, $RMSE=0/688$ و $NRMSE=18/47\%$ می‌باشد. بنابراین نتایج به‌دست آمده از SVM نشان می‌دهد از میان مدل‌های این پژوهش، مدل شماره ۸ معرف مدل برتر این پژوهش است.

شکل (۲) به‌صورت گرافیکی نتایج ضریب همبستگی بین مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر پیش‌بینی شده (R) و جذر میانگین مربعات خطاها ($RMSE$) برای همه مدل‌های این پژوهش در دو مرحله آموزش و آزمون را نشان می‌دهد.



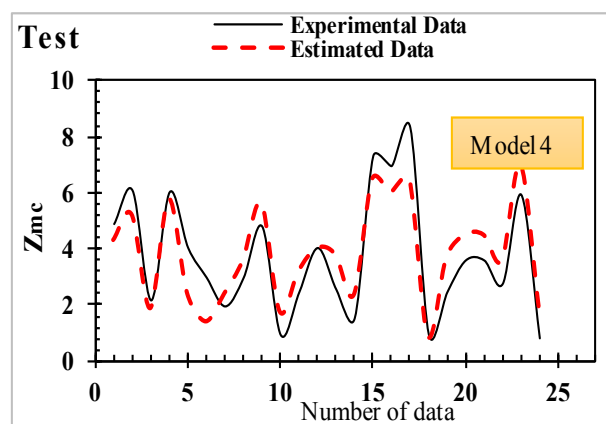
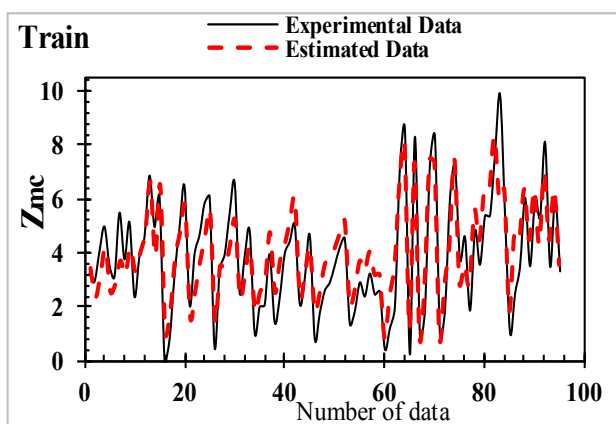
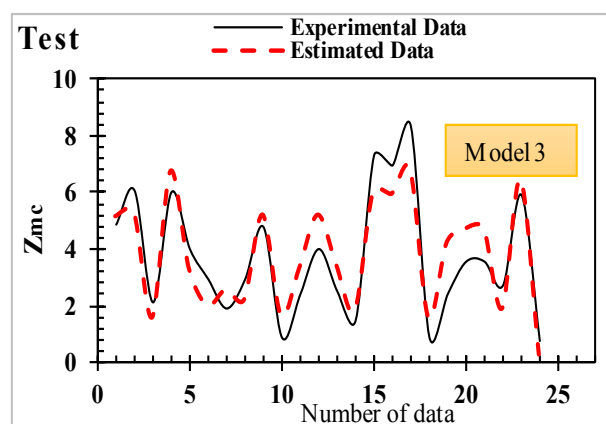
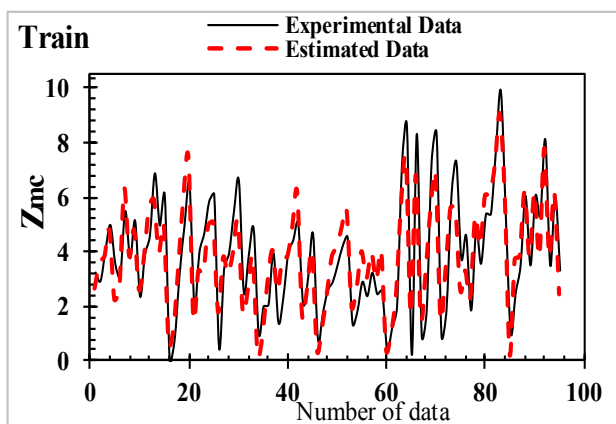
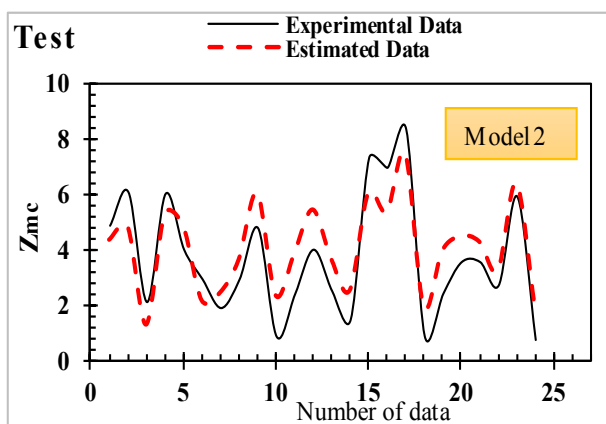
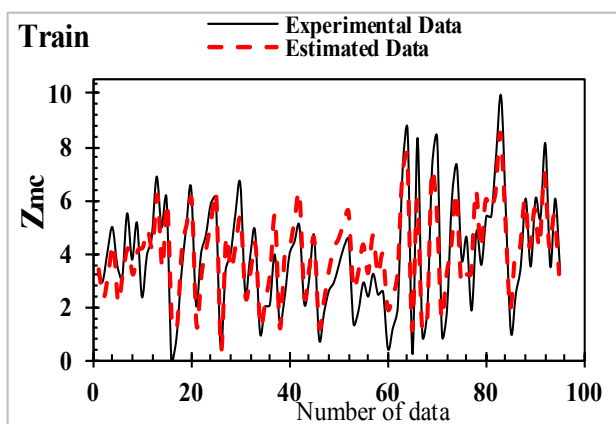
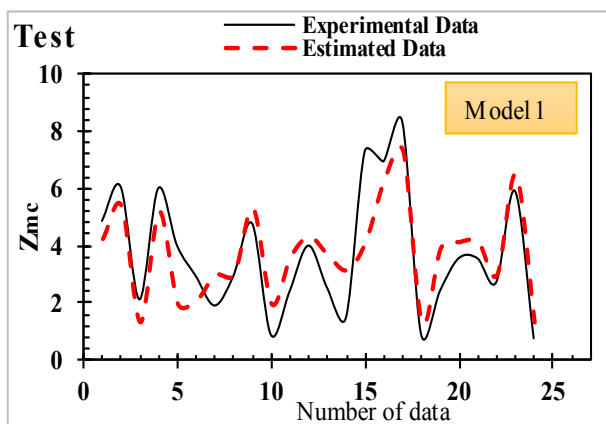
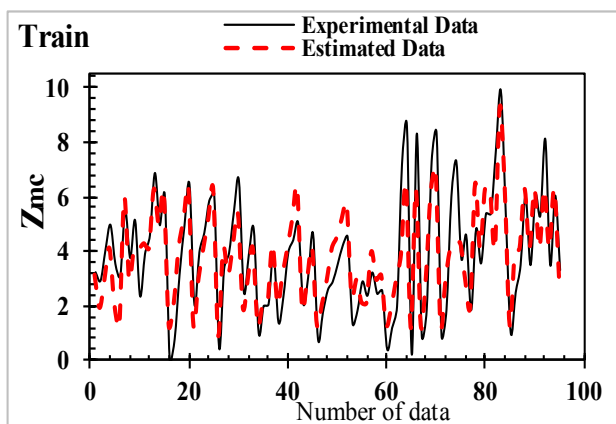
شکل ۲- نتایج نموداری ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطاها مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده برای همه مدل‌های پژوهش



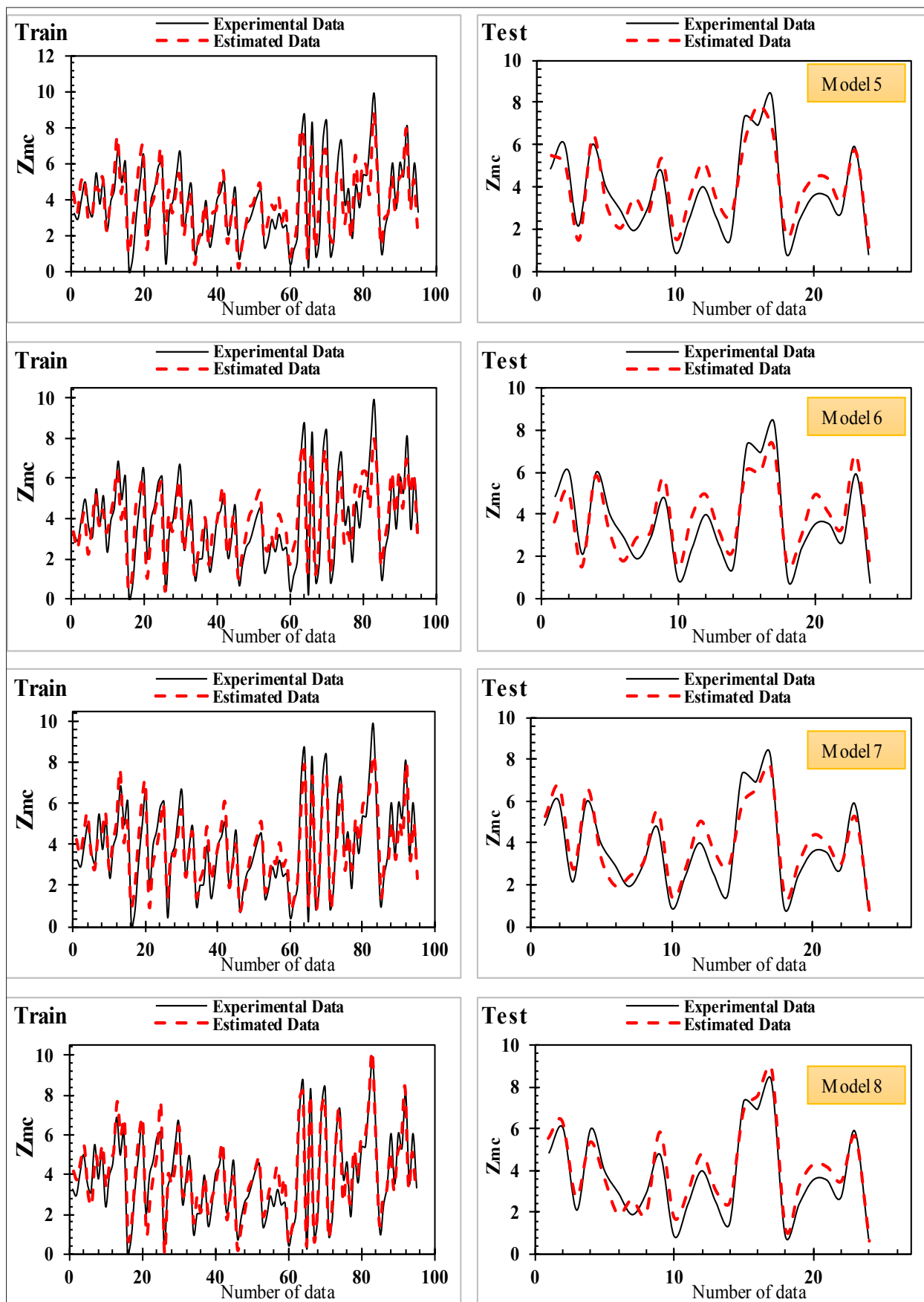
شکل ۳- داده‌های عمق آبشستگی بی‌بعد آزمایشگاهی در مقابل داده‌های تخمینی

می‌شود. در برابر افزایش زاویه برخورد جت‌ها انتشار جانبی برخورد جت افزایش یافته و همین امر سبب مستهلک شدن انرژی جت‌ها شده و به دنبال آن عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. براساس این نتیجه و نتایج مدل‌های این پژوهش می‌توان بیان نمود در مدل‌هایی که در ترکیب ورودی آن‌ها از پارامتر α_c به همراه پارامترهای T_w و Fr_{d90} استفاده شده است، خطای پیش‌بینی کاهش یافته است. اندازه محل برخورد جت تا سطح آب، تابع زاویه برخورد بین دو جت و عمق پایاب بوده و تأثیر فاصله برخورد جت تا سطح آب تحت تأثیر این دو عامل و به خصوص عمق پایاب است، از این رو افزایش اندازه محل برخورد جت تا سطح آب به افزایش عمق آبشستگی می‌انجامد. این یافته آزمایشگاهی نیز در نتایج پیش‌بینی توسط ماشین بردار پشتیبان مشاهده شد. به‌طوریکه در ترکیب ورودی مدل‌هایی که پارامتر δ در هنگام حضور هم‌زمان پارامترهای α_c و T_w وجود داشت، مدل عملکردی به مراتب بهتر نسبت به دیگر مدل‌ها داشت. به عبارت دیگر در ترکیب ورودی مدل‌های ۴ و ۶ که پارامتر δ بدون وجود هم‌زمان پارامترهای α_c و T_w بود، خطای ماشین بردار در برآورد عمق آبشستگی افزایش داشته است.

همچنین برای بررسی بهتر مدل‌های این پژوهش در شکل (۴) نمودار مقادیر عمق آبشستگی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده به ازای تعداد داده نمایش داده شده است. در میان مدل‌ها، پس از مدل ۸ که به عنوان مدل برتر شناخته شد، مدل ۷ نتایج نزدیکی به نتایج آزمایشگاهی دارد. مدل ۷ با ترکیب ورودی $(Fr_{d90}, T_w, \alpha_c, \delta)$ و با داده‌های آماری $R = 0.9448$ و $RMSE = 0.746$ در مرحله آزمون نشان داد نبودن پارامتر زاویه قائم قرارگیری جت (α_c) در میان پارامترهای ورودی تأثیر زیادی در دقت پیش‌بینی ندارد. براساس مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج پیش‌بینی شده مشخص شد، با افزایش زاویه قائم قرارگیری جت، پس از برخورد به بستر، جت گرایش دارد مصالح شسته شده را از درون چاله به بیرون منتقل کند، از این رو سبب افزایش عمق آبشستگی خواهد شد. البته باتوجه به برخورد جت‌ها و مستهلک شدن انرژی آن‌ها تأثیر زاویه قائم برخورد جت‌ها بسیار ناچیز بوده و این قضیه در زاویه‌های برخورد کم به درستی نمایان است. همچنین براساس یافته‌های آزمایشگاهی Pagliara و همکاران (۲۰۱۱b) برای زاویه‌های برخورد کم (α_c) برخورد دو جت انتشار جانبی بسیار کمی داشته و عملکرد جت متقاطع مانند جت منفرد



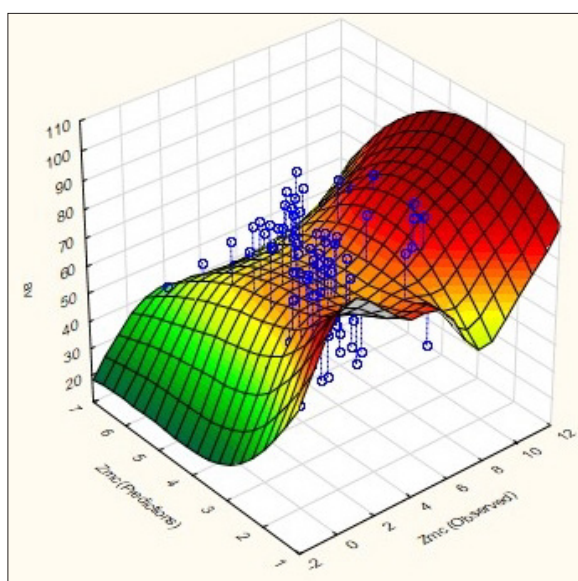
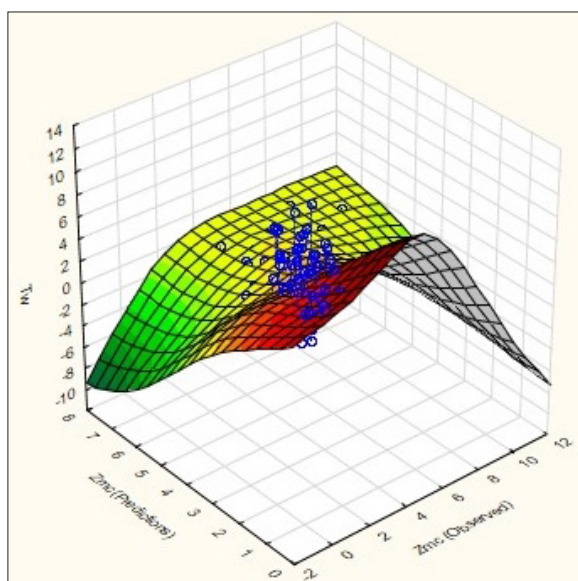
شکل ۴- نمودار مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده عمق آبستگي بی‌بعد به ازای تعداد داده



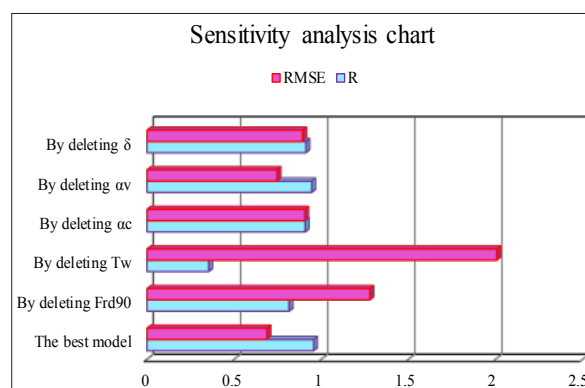
ادامه شکل ۴- نمودار مقادیر آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده عمق آبستگي بی‌بعد به ازای تعداد داده

• آنالیز حساسیت

برای تعیین میزان کارایی هر کدام از پارامترها در برآورد عمق آبشستگی باید آنالیز حساسیت انجام شود. به همین دلیل با حذف یکی از پارامترها از سری پارامترهای ورودی ترکیب برتر، مدل دوباره اجرا شد و تأثیر آن در دقت پیش‌بینی بررسی شد. در شکل (۵) نتایج مقایسه بهترین مدل پیش‌بینی عمق آبشستگی با دیگر مدل‌ها نشان داده شده است. در این بخش با حذف یک پارامتر ورودی از میان پارامترهای ورودی برای مرحله آزمون برای مدل برتر میزان کارایی هر کدام از پارامترها در برآورد عمق آبشستگی بررسی شده است. باتوجه به شکل (۵) مشخص شد پارامترهای T_w , Fr_{d90} , α_c , δ , α_v به ترتیب (از چپ به راست) بیشترین کارایی را در دقت پیش‌بینی عمق آبشستگی حوضچه استغراق ناشی از جت‌های متقاطع متقارن دارند. به عبارت دیگر با حذف پارامترهای T_w , Fr_{d90} میزان همبستگی میان داده‌های آزمایشگاهی و برآورد شده به شدت کاهش پیدا می‌کند و خطا به صورت چشمگیری افزایش پیدا می‌کند. در مقابل حذف پارامتر α_v از میان ترکیب ورودی به ماشین بردار کارایی فراوانی در دقت مدل نداشته است.



شکل ۶- تأثیر پارامترهای T_w و α_v (بی‌بعد) در عمق آبشستگی (محورها بدون بعد هستند)



شکل ۵- نتایج آنالیز حساسیت برای مدل برتر

براساس مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج پیش‌بینی شده مشخص شد، با افزایش عمق پایاب T_w ، از شدت برخورد جت به بستر کاسته شده و به‌گونه‌ای باعث مستهلک شدن انرژی جت می‌شود که در نتیجه با افزایش عمق پایاب، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. بنابراین این پارامتر تأثیر فراوانی در پیش‌بینی عمق آبشستگی جت‌های متقاطع متقارن دارد. از طرفی با افزایش عدد فرود دنسی‌متریک، نیروی به‌دست آمده از برخورد جت به بستر افزایش یافته و تنش ناشی از آن بیش از تنش برشی بحرانی بستر شده که به افزایش عمق آبشستگی می‌انجامد و این پارامتر پس از پارامتر T_w بیشترین کارایی را دارد. شکل (۶) کارایی موثرترین پارامتر T_w و پارامتر با کمترین تأثیر α_v در عمق

ارزیابی برای مرحله آموزش $R = 0.9587$, $RMSE = 0.622$ و برای مرحله آموزش و مقادیر ارزیابی $NRMSE = 15.96\%$ و $RMSE = 0.688$, $R = 0.9563$ برای مرحله آزمون به عنوان بهترین مدل شناخته شد. مقادیر بالای ضریب همبستگی و درصد خطای پایین به دست آمده از روش SVM برای این مدل نشان از همخوانی خوب مقادیر با نتایج آزمایشگاهی دارد. آنالیز حساسیت نشان داد برای پارامترهای کارآ در آبشستگی مدل برتر این پژوهش مشخص شد پارامترهای α_v و T_w به ترتیب بیشترین و کمترین کارایی را در عمق آبشستگی حوضچه استغراق ناشی از جت‌های متقاطع متقارن دارند.

جدول ۷- لیست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت	عنوان	علامت
حداکثر عمق آبشستگی با بعد	Z_{mc}	شتاب گرانش	g
قطر معادل جت‌های متقاطع	$D_{eq} = (2D^2)^{0.5}$	چگالی آب	ρ
سرعت جت با قطر معادل	V	چگالی رسوب	ρ_s
زاویه برخورد جت‌ها	α_c	قطری که ۹۰ درصد ذرات از آن کوچکترند	d_{90}
زاویه قائم جت‌ها	α_v	حداکثر عمق آبشستگی بی‌بعد	Z_{mc}
فاصله محل برخورد جت‌ها تا سطح آب	S	عدد فرود دنیسمتريک	Fr_{d90}
عمق پایاب	h_0	فاصله نسبی محل برخورد جت تا سطح آب	δ
شتاب گرانشی کاهش یافته	g^*	عمق نسبی پایاب	T_w

mance of support vector machine for predicting vertical drop hydraulic parameters in the presence of dual horizontal screens. Water supply, 21(1): 217-231.

- Daneshfaraz R., Aminvash E. Ghaderi A. Abraham J. and Bagherzadeh M. 2021b. SVM performance for predicting the effect of horizontal screen diameters on the hydraulic parameters of a vertical drop. Applied sciences, 11(9): 4238.
- Daneshfaraz R., Aminvash E. Mirzaee R. and Abraham J. 2021c. Predicting the energy dissipation of a rough sudden expansion rectangular stilling basins using the SVM algorithm. Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 8(2): 98-106.
- Daneshfaraz R., Bagherzadeh M. Ghaderi A. Di Francesco S. and Asl M. M. 2021d. Experimental investigation of gabion inclined drops as a sustainable solution for hydraulic energy loss. Ain Shams Engineering Journal, 12(4): 3451-3459.

- Armaghani A., Lashkarara B. and Akhond A. A. M. 2017. The Process of Plunge Pool Bed Form Changes by a Vertical Jet Impinging Upon Non-Cohesive Sediment. Irrigation Sciences and Engineering, 40(3): 77-85.
- Bollaert E. 2002. The influence of plunge pool air entrainment on the presence of free air in rock joints. Rock scour due to falling high-velocity jets Conference. Lisse, The Netherlands <http://infoscience.epfl.ch/record/103498>.
- Bagherzadeh M., Mousavi F. Manafpour M. Mirzaee R. and Hoseini K. 2022. Numerical simulation and application of soft computing in estimating vertical drop energy dissipation with horizontal serrated edge. Water Supply, 22(4): 4676-4689.
- Daneshfaraz R., Bagherzadeh M. Esmaeeli R. Norouzi R. and Abraham J. 2021a. Study of the perfor-

- scour with protection structures. *Journal of Hydro-environment Research*, 2(3): 182-191.
- Pagliara S., Roy D. and Palermo M. 2011a. Scour due to crossing jets at fixed vertical angle. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 137(1): 49-55.
- Pagliara S., Palermo M. and Carnacina I. 2011b. Scour process due to symmetric dam spillways crossing jets. *Intl. J. River Basin Management*, 9(1): 31-42.
- Pal M., Singh N. K. and Tiwari N. K. 2011. Support vector regression-based modeling of pier scour using field data. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(5): 911-916.
- Pagliara S., Palermo M. and Roy D. 2012. Stilling basin erosion due to vertical crossing jets. *Journal of Hydraulic Research*, 50(3): 290-297.
- Roushangar K. and Koosheh A. 2015. Evaluation of GA-SVR method for modeling bed load transport in gravel-bed rivers. *Journal of Hydrology*, 527: 1142-1152.
- Roushangar K., Alami M. T. Shiri J. and Asl M. M. 2018. Determining discharge coefficient of labyrinth and arced labyrinth weirs using support vector machine. *Hydrology research*, 49(3): 924-938.
- Taştan K., Koçak P. P. and Yildirim N. 2016. Effect of the bed-sediment layer on the scour caused by a jet. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41(10): 4029-4037.
- Yan X., Mohammadian A. and Rennie C. D. 2020. Numerical modeling of local scour due to submerged wall jets using a strict vertex-based, terrain conformal, moving-mesh technique in Open FOAM. *International Journal of Sediment Research*, 35(3): 237-248.
- Dasineh M., Ghaderi A. Bagherzadeh M. Ahmadi M. and Kuriqi A. 2021. Prediction of Hydraulic Jumps on a Triangular Bed Roughness Using Numerical Modeling and Soft Computing Methods. *Mathematics*, 9(23): 3135.
- Epely-Chauvin G., De Cesare G. and Schwindt S. 2014. Numerical modelling of plunge pool scour evolution in non-cohesive sediments. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 8(4): 477-487.
- Jia Y., Kitamura T. and Wang S. S. 2001. Simulation of scour process in plunging pool of loose bed-material. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(3): 219-229.
- Khalifehei K., Azizyan G. Shafai-Bajestan M. and Chau K. W. 2020. Experimental modeling and evaluation sediment scouring in riverbeds around downstream in flip buckets. *International Journal of Engineering*, 33(10): 1904-1916.
- Lee T. L., Jeng D. S. Zhang G. H. and Hong J. H. 2007. Neural network modeling for estimation of scour depth around bridge piers. *Journal of hydrodynamics*, 19(3): 378-386.
- Majedi-Asl M., Daneshfaraz R. Fuladipناه M. Abraham J. and Bagherzadeh M. 2020. Simulation of bridge pier scour depth base on geometric characteristics and field data using support vector machine algorithm. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(2): 137-143. doi: 10.22126/arww.2021.5747.1189
- Pagliara S., Hager W. H. and Minor H. E. 2006. Hydraulics of plane plunge pool scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5): 450-461.
- Pagliara S. and Palermo M. 2008. Plane plunge pool

Conceptual Model Design and Freshwater Supply Chain Structuring Using The Combined Approach of Soft Systems Methodology and Structural Equation Modeling

M.M. Mohtadi¹, P. Farahgol^{2*}, S. Khoshab³, S. Moradi⁴

1- Assistant Professor, Department of Systems Management, Faculty of Management and Economics, Imam Hussein University, Tehran, Iran. 2- PhD Student of Systems Management, Faculty of Management and Strategic Planning, Imam Hussein University, Tehran, Iran. 3- MSc in Industrial Management, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran. 4- PhD Student of Business Administration, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

* (Corresponding Author Email: pouriafarahgol@ihu.ac.ir)

Received: 27-06-2022

Revised: 13-11-2022

Accepted: 14-11-2022

Available Online: 11-03-2023

طراحی مدل مفهومی و ساختاردهی زنجیره تأمین آب شیرین با استفاده از رویکرد ترکیبی روش‌شناسی سیستم‌های نرم و مدل‌سازی معادلات ساختاری

محمد مهدی مهدی^۱، پوریا فرح‌گل^{۲*}، سیده خوشاب^۳، سهیلا مرادی^۴

۱- استادیار گروه مدیریت سیستم‌ها، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۲- دانشجوی دکتری مدیریت سیستم‌ها، دانشکده مدیریت و برنامه‌ریزی راهبردی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران. ۳- کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران. ۴- دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: pouriafarahgol@ihu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

Abstract

Supplying fresh water is one of the issues of humanity today and among the concerns of the United Nations and the FAO. Due to sudden changes in freshwater supply and demand patterns in the current world, its supply management is followed as a challenge. The purpose of this research is to design a conceptual model and structuring of fresh water supply chain using the combined approach of soft systems methodology and structural equation modeling. By conducting an open interview and posing a single and comprehensive question to 20 active experts and experts in a snowball manner, and then the role of researchers in system placement, the model will be presented. Qualitative model extraction was done with the SSM method and then in the quantitative part, the factors involved and identified by this method were measured in the form of hypothesis generation by researchers and their testing in PLS-SMART software, the findings showed that if the fresh water supply chain is considered as a system, The input and supply of this high-quality water system, rain and flood; disruption in the processing and analysis of this stakeholder tapping system; control for culturalization as an influencing and modulating factor of this system; Multiple weather, policy instability, natural disasters as environmental and political factors; The policy of order and quantity consumption and quality control to shape the cultural control; disturbing demand and output in this logistics distribution system are water wastage and prediction of wrong consumption and tax evasion and finally the optimal achievements of the water footprint identification model, analysis of water sustainability issues and water shortage control.

Keywords: Conceptual Model, Structuring, Freshwater Supply Chain, Soft Systems Methodology, Structural Equation Modeling.

چکیده

فراهم کردن آب شیرین، امروزه یکی از چالش‌های بشریت و از نگرانی‌های سازمان ملل متحد و سازمان فائو می‌باشد. بنابر تغییرات ناگهانی الگوهای عرضه و درخواست آب شیرین در جهان کنونی، مدیریت فراهم کردن آن به صورت چالشی دنبال می‌شود. هدف از این پژوهش، طراحی مدل مفهومی و ساختاردهی زنجیره تأمین آب شیرین با استفاده از رویکرد ترکیبی روش‌شناسی سیستم‌های نرم و مدل‌سازی معادله‌های ساختاری می‌باشد. با شیوه گلوله برفی مصاحبه‌ای باز و طرح پرسش واحد و جامع از ۲۰ تن از خبرگان و صاحب‌نظران فعال انجام شد. پس از آن نقش پژوهشگران در سازماندهی و ساختاردهی عوامل شناسایی شده از جمع‌آوری اطلاعات، مدل سیستمی ارائه شد. سپس مدل کیفی ناشی از تفکر سیستمی افراد شرکت‌کننده در پژوهش در بخش کمی برای اعتبارسنجی، در چارچوب فرضیه و آزمون فرض، در نرم‌افزار PLS-SMART اندازه‌گیری شد. یافته‌ها نشان داد چنانچه زنجیره تأمین آب شیرین یک سیستم در نظر گرفته شود، ورودی و عرضه این سیستم آب باکیفیت، باران و سیل است، اختلال در پردازش و تحلیل این سیستم ضربه زدن ذی‌نفعان است؛ کنترل برای فرهنگ‌سازی به‌عنوان عامل اثرگذار و تعدیل‌کننده این سیستم؛ آب‌وهوای چندگانه، بی‌ثباتی سیاست‌ها، فجایع طبیعی به‌عنوان عامل‌های محیطی و سیاسی‌کاری؛ سیاست سفارش و مصرف مقداری و کنترل کیفیت برای شکل‌دهی به کنترل فرهنگ‌ساز؛ تقاضا و خروجی مختل‌کننده در این سیستم توزیع لجستیک، هدررفت آب و پیش‌بینی مصرف اشتباه و فرار مالیاتی بوده و سرانجام دستاوردهای بهینه مدل شناسایی ردپای آب، واکاوی مسائل پایداری آب و کنترل کمبود آب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مدل مفهومی، ساختاردهی، زنجیره تأمین آب شیرین، روش‌شناسی سیستم‌های نرم، مدل‌سازی معادله‌های ساختاری.

مهرگان و همکاران (۱۳۹۸) برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین آب آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس با رویکرد اقتصادی و محیط‌زیستی در استان هرمزگان در افق زمانی ۲۰ ساله، دریافتند سهم هزینه بخش‌های زنجیره تأمین آب آب‌شیرین‌کن با به‌شمار آوردن هزینه‌های محیط‌زیستی برحسب دلار آمریکا در متر مکعب آب شیرین شامل هزینه کل زنجیره تأمین ۵۳۳۴/۰ (۱۰۰ درصد)، کارخانه آب‌شیرین‌کن ۳۶۴۰/۰ (۶۸/۲۴ درصد)، خط انتقال ۴۵۸/۰ (۸/۵۹ درصد)، مالیات دی‌اکسیدکربن ۸۵/۰ (۱۶/۵۹ درصد) و رقیق‌سازی پساب ۳۵۱/۰ (۶/۵۸ درصد) می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد رقیق‌سازی پساب موجب کاهش زیان‌های محیط‌زیستی می‌شود و با کاهش مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی در آب‌شیرین‌کن‌ها، مقدار گاز دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد.

Wang و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهش خود، سهم گره‌ها و مسیرهای مختلف زنجیره تأمین آب مجازی را با تحلیل مسیر ساختاری برای حسابداری تجاری و اقتصاد آب تعیین کردند. آن‌ها جریان‌های عمده بین بخش‌های مرتبط با انرژی (کشاورزی و حمل‌ونقل) را براساس شاخص تنش آب شناسایی کرده و روش‌هایی را برای کاهش مصرف آب در فعالیت‌های تجاری و دستیابی به نقشه راه پایدار برای صرفه‌جویی در مصرف آب تصفیه شده و آب فاضلاب ارائه دادند.

Koleva و همکاران (۲۰۱۸) ابزارهایی برای نشان دادن اقتصادی‌ترین گزینه سرمایه‌گذاری باتوجه به قابلیت اطمینان زیرساخت فنی و محیط‌زیستی برای طراحی زنجیره‌های تأمین آب در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی پیشنهاد دادند. چارچوب‌های ارائه شده در این پژوهش می‌تواند فرآیندهای تصمیم‌گیری چندجانبه دولتی را برای سرمایه‌گذاری‌های کافی و استراتژیک در زیرساخت‌های تأمین آب منطقه‌ای آسان کند.

Yang و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی طیف کامل مصرف آب و انرژی در کل زنجیره تأمین آب در کشور چین را بررسی نمودند و پیامدهای توسعه پایدار منطقه‌ای در این کشور را با رویکرد تولید و مصرف بیان کردند.

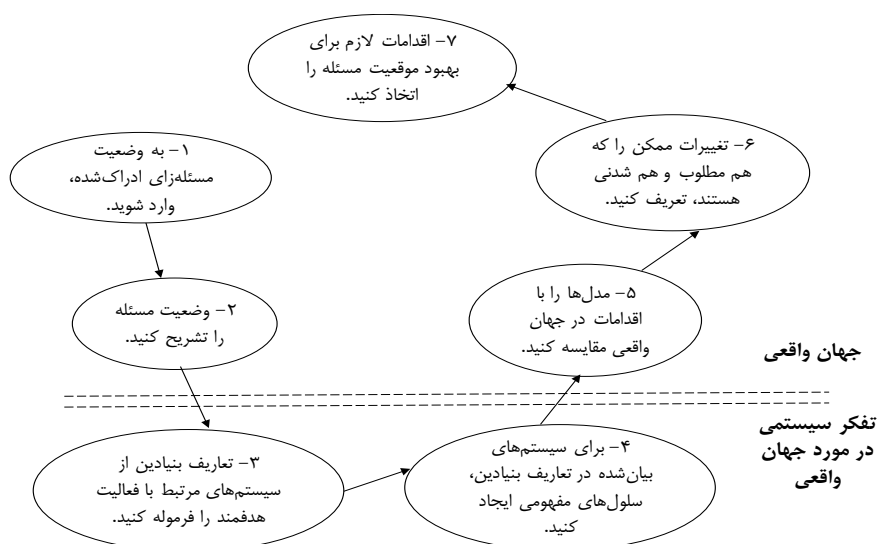
Firoz velani و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی نقش علوم کامپیوتر مدرن در مدیریت منابع زنجیره تأمین آب را از راه فناوری حسگر، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ، اینترنت اشیا، یادگیری ماشین و محاسبات ابری، به‌منظور یافتن راه‌هایی برای بهینه‌سازی منابع آب با استفاده از اینترنت اشیا و علوم کامپیوتر مدرن بررسی کردند.

Jacobus Botha و همکاران (۲۰۲۲) داده‌های زنجیره تأمین آب در گزارش‌های پایدار و یکپارچه ۴۹ شرکت مواد غذایی و نوشیدنی استرالیا را برای تعیین شاخص حسابداری آب جدید با استفاده از داده‌های منابع زنجیره تأمین آب، فهرست و ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند ارزیابی و مقایسه روش‌های مرتبط با حسابداری آب در زنجیره فراهم‌آوری باید توسط شرکت‌ها برای تأمین آب پایدار و حسابداری داده‌های وابسته به آب در زنجیره فراهم‌آوری، به‌کار گرفته شوند.

آب شیرین یکی از اجزای اساسی سیستم‌های تولید عمده است. به‌طور خاص، کشاورزی و بخش‌های صنعتی به ترتیب ۷۰٪ و ۲۲٪ از منابع آب شیرین جهانی استفاده می‌کنند (Water U.N، ۲۰۱۸). علاوه بر این، افزایش جمعیت جهان، تغییرات آب‌وهوایی و ادامه صنعتی‌شدن، تنش‌ها را برای دسترسی به آب شیرین می‌افزاید (Manzardo و همکاران، ۲۰۱۴). کمبود عرضه آب می‌تواند بر عملکرد صنایع از جمله صنعت کشاورزی تأثیر بگذارد. ناتوانی در پرداختن به استفاده و مدیریت آب شیرین، به‌طور کلی در زمینه زنجیره تأمین به‌درستی نمایان است. علاوه بر دیدگاه بشردوستانه منابع آب شیرین، آب جزء محوری‌ترین فعالیت‌های اقتصادی مانند کارهای کشاورزی و صنعتی است (Jefferies و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین در روند تأمین این آب، علاوه بر مخاطره‌های طبیعی و غیرطبیعی، بازیگران و ذی‌نفعانی وجود دارند. به همین روی، ناسازگاری منافع بازیگران، یکپارچه‌نشدن سیستماتیک و شرایط گوناگون در سرتاسر زنجیره تأمین آب شیرین، چالشی به نظر می‌آید. آشکار است مانند شیوه ثابت و همیشگی بحث‌های مدیریت، کاهش هزینه و افزایش سود، دو رکن اساسی در برخورد با مسائل مدیریت آب در صنایع گوناگون می‌باشد. به سمت ارزیابی و مدیریت آب شیرین در کشاورزی و صنعت که قدم نهاده شود، نمایان است به‌طور مشخص حتی پروژه EcoWater (پروژه‌ای که سلامت آب را بهبود می‌بخشد و آب را از آلودگی‌ها پاک‌سازی می‌کند، این پروژه راه‌حلی برای بهبود طعم و افزایش کیفیت آب ارائه می‌کند) با هدف ارزیابی کارایی اقتصادی و محیط‌زیستی برای به‌کارگیری روش‌های متنوع و سازگار تهیه آب به‌منظور حمایت بهتر از تصمیم‌گیری در سیستم‌های مختلف مصرف آب است (Levidow و همکاران، ۲۰۱۶). بهره‌برداری بیش از حد و کمبود آب شیرین به تغییرات گسترده در الگوهای درخواست برای محصولات سازگار با آب می‌انجامد. از آنجایی که چندین فعالیت کشاورزی و صنعتی با مصرف آب درهم‌تنیده هستند، در دسترس بودن منابع آب شیرین کافی، پیش‌شرط مهمی برای پوشش نیازهای مصرف‌کنندگان جهانی است. در این زمینه، طراحی و مدیریت زنجیره‌های فراهم‌آوری از نظر حفظ منابع آب شیرین به‌عنوان چالش‌های اصلی در دستورکار شرکت‌ها قرار گرفته است (Aivazidou و همکاران، ۲۰۱۶). از طرفی ممکن است اعضای زنجیره تأمین آب، در هدررفت آب نقش داشته باشند که این مشکل، تأمین را دشوار می‌کند. ارزیابی عوامل هدررفت آب نه تنها ابزاری برای کمک به فرآیندهای تصمیم‌گیری است، بلکه می‌تواند برای مدیریت فرآیندهای زنجیره فراهم‌آوری مواد غذایی فاسدشدنی، کسب اطمینان از بهبود عملکرد فرآیندها، قابلیت ردپای کیفیت مواد غذایی و محیط‌زیست مفید باشد (Agnusdei و همکاران، ۲۰۲۲). سیستم‌های تولید مواد غذایی در سراسر جهان، به‌طور فزاینده‌ای در معرض شوک‌های کمبود آب قرار دارند (Sutcliffe و همکاران، ۲۰۲۱).

در دنیای پویای امروز، بسیاری از مسائل بدساختار یافته و پیچیده‌اند و ساختار آن‌ها به دلیل درگیر بودن بازیگران (ذی‌نفعان) فعال و منفعل در آن موقعیت، مسئله‌زا قلمداد می‌شود. مسائل بدساختار یافته می‌توانند با استفاده از معیارها، محدودیت‌ها، روابط و در چارچوب پژوهش در کارهای کلاسیک فرمول‌بندی شوند، درحالی‌که چالش‌های پیچیده در جهان واقعی که با ابزار کلاسیک حل نمی‌شوند، به خلق روش‌های ساختاردهی می‌انجامد. ویژگی‌های این چالش‌ها عبارتند از: ذی‌نفعان چندگانه، ابعاد چندگانه، منابع گنگ یا ناسازگار، عوامل نادیدنی و قطعیت نداشتن (Mingers, 2011). چالش‌های فراهم‌آوری آب به دلیل ماهیت اجتماعی-فرهنگی و انسانی در این دسته‌بندی قرار می‌گیرند. از این‌رو تفکر سیستمی نرم با استفاده از نگرش سیستمی برای موقعیت‌های مسئله‌زا، ساختار تفکر و یادگیری را پی‌ریزی می‌کند و هدف آن بحث و توافق بر سر ماهیت مسئله است، نه ارائه راه‌حل آن (روزنهد و مینجرز، ۱۳۹۶). یکی از این روش‌ها در دنیای مباحث نرم، روش‌شناسی سیستم‌های نرم (SSM)^۱ می‌باشد. این روش‌شناسی، برای موقعیت‌هایی که فرمول‌بندی مسئله برای مفهوم‌سازی کارا و به‌منظور دستیابی به پایانی مشخص به‌کار می‌رود، امکان‌پذیر نیست. از این‌رو جایی که مسئله پایان می‌یابد، اهداف و دلایل به نوبه خود مسئله‌زا می‌شوند (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۸). این پژوهش با رویکرد ترکیبی، ابتدا کیفی است و بعد از اقدام‌پژوهی و ساختاردهی مراحل هفت‌گانه روش‌شناسی سیستم‌های نرم (شکل ۱)، کمی می‌شود. در فاز کمی، به اندازه‌گیری سازه‌های شناسایی‌شده در بخش کیفی پرداخته می‌شود که این فرآیند در چارچوب سیستم زنجیره فراهم‌آوری آب شیرین با بهره‌گیری از مدل‌سازی معادله‌های ساختاری در نرم‌افزار pls-smart صورت می‌گیرد.

Tsolakis و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی پویایی سیستم توسعه و پایداری زنجیره تأمین مرغ در بریتانیا با شاخص کلیدی آب را بررسی نمودند. نتایج نشان داد جریمه‌ها و مالیات‌هایی که بر مصرف آب اعمال می‌شود، به رابطه بین سودآوری و مصرف آب در سراسر زنجیره تأمین پرنندگان کمک می‌کند. همچنین سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید سازگار با آب، می‌تواند برای زنجیره فراهم‌آوری پایدار از نظر بهره‌وری و سودآوری آب در مقایسه با به‌کارگیری استراتژی‌های مدیریت موجودی، مؤثرتر باشد. از آنجایی که نیروی انسانی نقش اساسی در تأمین‌کنندگی آب شیرین دارد و نیز باتوجه به اینکه مسائلی که با انسان سروکار دارند بخشی از مسائل بدساختار محسوب می‌شوند، لذا متدولوژی‌هایی به‌کار می‌آیند که بتوانند پیچیدگی این‌گونه مسائل بدساختار را رفع کنند. بنابراین تسهیل ارتباط اعضای بالادستی و پایین‌دستی زنجیره تأمین آب شیرین و پیروی از مدلی کارآمد، می‌تواند راهکارهای جدیدی را در صنعت آب ایجاد کند. سیستم زنجیره تأمین آب شیرین در بسیاری از مناطق زندگی انسان، وضعیت پایداری ندارد و از این‌رو شناسایی عوامل ناپایدارکننده یا بررسی عوامل پایدارکننده می‌تواند با آگاه‌سازی پیاده‌سازی بهینه و واکاوی منابع تأمین‌کنندگی آب شیرین، سازوکارهای توسعه‌سازی را نمایان کند. بنابراین پرسش‌های پژوهش به این صورت مطرح می‌شود که طراحی مدل مفهومی و ساختاردهی زنجیره تأمین آب شیرین با روش‌شناسی سیستم‌های نرم (Soft System Methodology) چگونه خواهد بود؟ و نیز مدل‌سازی معادله‌های ساختاری سازه‌های مشخص شده در روش‌شناسی سیستم‌های نرم برای زنجیره تأمین آب شیرین به‌صورت سیستماتیک (ورودی‌محور، پردازشی و خروجی‌محور)، در چارچوب فرضیه‌های پی‌درپی (حلقه‌ای و زنجیره‌ای) چگونه خواهد بود و اندازه‌گیری میزان روابط و اثرگذاری آن‌ها چگونه می‌باشد؟



شکل ۱- الگوی مفهومی مراحل SSM (روزنهد و مینجرز، ۱۳۹۶)

جامعه آماری این پژوهش، متشکل از خبرگان و صاحب نظران در زمینه آب می باشد. در این پژوهش، نمونه گیری به شیوه گلوله برفی از ۲۰ نفر از افراد (۱۰ نفر فعال دانشگاهی، ۵ نفر فعال صنعتی، ۵ نفر فعال کشاورزی) با پیشینه ای بیش از ۱۰ سال در بخش های مختلف فراهم آوری آب، انجام پذیرفت. پس از اشباع نظری مصاحبه های شفاهی انجام شده (طرح سؤالی باز: چه عواملی در پایداری یا ناپایداری زنجیره تأمین آب شیرین به صورت سیستمی دخالت دارند؟) و کفایت به آن ها در دستیابی به مدل مفهومی و ساختاردهی مورد انتظار، با استفاده از اکتشافات مدل ذهنی مصاحبه شوندگان و دسته بندی هریک از عوامل در یک تفکر سیستماتیک توسط پژوهشگران، مفهومیت و ساختاریت مدل ایجاد شد.

نتایج و بحث

با در نظر گیری شناخت خبرگان از موقعیت مسئله، نظرات آن ها برای ایجاد و توسعه مدل مفهومی دریافت شد. بنابراین براساس دیدگاه خبرگان، نظرهای افراد در صورتی مورد استفاده قرار می گیرد که نهایتاً ما را به یک مطلوبیت برساند، به طوری که همپوشانی و سازگاری گروهی دیدگاه ها را به همراه داشته باشد. براساس مراحل هفت گانه قسمت قبل و یافته های مصاحبه ها، تعامل میان ایده های ذهنی و تجربیات جهان واقعی به شرح زیر است.

۱- تعریف موقعیتی که گمان می رود چالش داشته باشد:

آیا تعادل الگوهای مصرف آب و میزان منابع در دسترس با توجه به شرایط اجتماعی، فرهنگی، جغرافیایی، سیاسی و اقتصادی کشور مناسب است؟ آیا رسیدن به کارآمدی زنجیره فراهم آوری مطلوب آب، تنها با واسطه هایی چون اجبار قانونی و ساختاری (مانند مالیات، عوارض و محاسبه تصاعدی و...) و یا شرطی شدن، قابل کنترل است؟ آیا تعارض منافع ذی نفعان، در زنجیره فراهم آوری آب اختلال ایجاد می کند؟ آیا مدیریت زنجیره فراهم آوری با ریسک و عدم قطعیت همراه خواهد بود؟ آیا صنایع جایگزین آب وجود دارد؟ آیا منابع سرمایه گذاری های کلان بر روی تجهیزات مدرن قابل انجام است؟ واکنش های اضطراری برای شرکت های تابع چیست؟ براساس مطالعات کتابخانه ای و جمع بندی آن ها درباره زنجیره تأمین آب و چالشی که دارد، با پرسش های فوق و چالش های برآمده از آن ها روبه رو می شویم.

۲- بیان موقعیت توسط کنشگران:

بیان موقعیت مشکل دار توسط کنشگران و تصمیم گیرندگان، دومین مرحله از روش شناسی سیستم های نرم است. به منظور درک بهتر موقعیت مسئله، تحلیل گر می تواند به ترتیب از سه دسته تحلیل خودمداخله، تحلیل اجتماعی و تحلیل سیاسی استفاده کند.

در تحلیل خودمداخله، پژوهشگر کارفرمایان، مجریان و صاحبان موضوع را شناسایی می کند و برای رسیدن به این هدف، نقش های سازمانی را بررسی می کند. در تحلیل اجتماعی، به واقعیت اجتماعی موقعیت مسئله پرداخته می شود، زیرا بیشتر محرک های فعالیت های انسانی، منطقی نیستند و ریشه در هنجارهای فرهنگی و احساسات دارند. تحلیل سیاسی می تواند بر اجرا نشدن یک تصمیم تأثیر بگذارد. بنابراین تحلیل سیاسی برای شناسایی پایه های قدرت و توزیع قدرت باید انجام شود (حنفی زاده و محرابیون محمدی، ۱۳۹۲). با بررسی های دقیق می توان دریافت که بسیاری از ناکامی ها در حل چالش های مربوط به آب، به دلیل عدم وجود یک الگوی فرهنگ ساز بومی می باشد. براین اساس، مدیریت مسائل آب نه تنها جنبه اجتماعی ندارد، بلکه با دیدگاه تقلیل گرا تا حد زیادی در گروه جنبه انفرادی است. از این رو بومی سازی فرهنگی الگوی مدیریت آب در تمامی زنجیره های تأمین آن، یک گزینه انتخابی نیست، بلکه یک نیاز ضروری است. همگرایی دیدگاه تحلیل گرا و دیدگاه سیستمی در بلندمدت، کارکرد مدیریت کارا و اثربخش زنجیره تأمین آب را ممکن می سازد.

۳- انتخاب مفاهیمی که ممکن است با فعالیت سیستم مرتبط باشند:

از ویژگی های این مرحله، بررسی ارتباط بین دنیای واقعی و دنیای سیستمی است. ابعاد مرتبط با مسئله زنجیره تأمین آب شیرین، به عنوان یک سیستم مدیریتی تحلیل می شود. این تحلیل با مؤلفه های CATWOE^۲ که مرتبط با کل سیستم بوده است، بررسی می شود. در شکل (۲) اجزای تحلیل CATWOE نمایش داده می شوند.

C (ذی نفعان): سودبرندگان و قربانیان سیستم چه کسانی هستند؟ مخاطبان، مصرف کنندگان، تولیدکنندگان، واسطه ها، خرده فروشان، عمده فروشان، قیمت گذاران، فروشنده ها و مشتریان را می توان ذی نفع یک سیستم زنجیره تأمین آب شیرین قلمداد نمود.

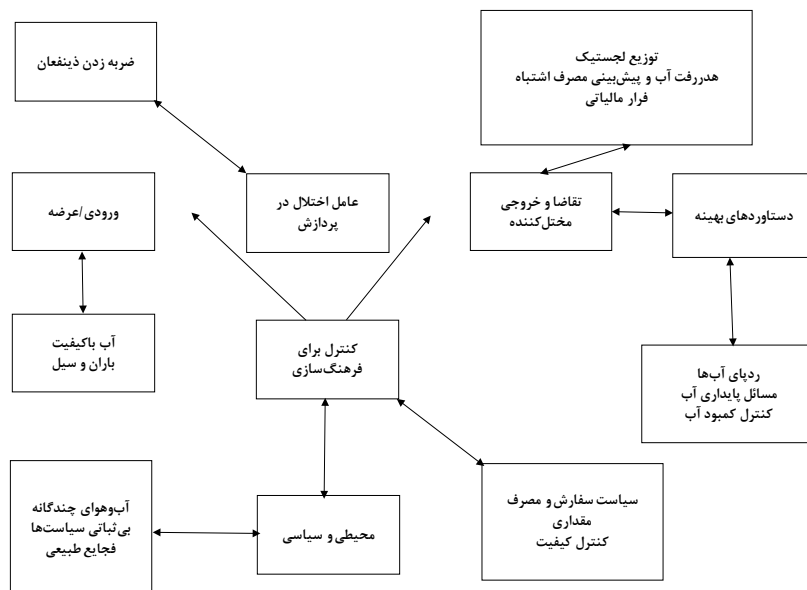
A (بازیگران): بازیگران و مشارکت کنندگان در سیستم چه کسانی هستند؟ مدیرانی که وظیفه برنامه ریزی، سازماندهی، بسیج منابع و امکانات، هدایت و رهبری و کنترل و فرماندهی را انجام می دهند.

T (فرآیند پردازش و تبدیل): داده و ستاده سیستم چیست؟ ورودی قابل امکان و خروجی قابل انتظار چیست؟ محقق شدن کارایی و اثربخشی و سرانجام بهره وری چالش های فراهم آوری آب.

W (جهان بینی): جهان بینی سیستم چیست؟ چه کسی قدرت اختلال و توقف در سیستم تأمین کنندگی آب را دارد؟ در بخش خصوصی، سهام و سرمایه گذاران سازمان ها و در بخش دولتی، واحدهای حکمران و بالادستی.

O (مالک، صاحب): مالکیت آب های شیرین مربوط به شخص خاصی است؟ اجازه دخل و تصرف و جلوگیری دارد؟

E (عوامل محیطی): چه محدودیت های محیطی باید در نظر گرفته شود؟ عوامل سیاسی، اقتصادی، اجتماعی، فن آوری، قانونی، طبیعی (باران، برف، سیل و...)، جغرافیایی و فرهنگی.



شکل ۲- طراحی مدل جامع مدیریت زنجیره تأمین آب شیرین با روش‌شناسی سیستم‌های نرم

۴- جمع‌آوری مدل‌های مفهومی در یک ساختار ذهنی:

هر یک از دیدگاه‌های متفاوت نسبت به مسئله، سیستم فعالیت‌های انسانی منحصر به فردی را ایجاد می‌نماید که ناشی از سیستم فعالیت‌ها و سیستم اجتماعی هر یک از جناح‌های فکری است. در نتیجه، فرآیند یکپارچه‌سازی نظرهای افراد شرکت‌کننده در پژوهش حاضر در نظر دارد که این سیستم فعالیت‌های انسانی منحصر به فرد را در طی تکرارهای محدودی، به یک سیستم فعالیت انسانی قابل پذیرش توسط جناح‌های فکری مختلف (مصاحبه‌شوندگان) تبدیل نماید. ابتدا یک سری از کارها را که اهمیت بیشتری دارد و نشان‌دهنده اتفاق نظر میان افکار گوناگون هستند، مشخص می‌شوند. Polter و Chuckland (۲۰۱۴) برای ارزیابی مدل، سه معیار کفایت (Efficacy)، کارایی (Efficiency) و اثربخشی (Effectiveness) را در نظر می‌گیرند:

E1: مدل چه فعالیتی قرار است انجام دهد؟

E2: مدل چگونه فعالیت را انجام می‌دهد؟

E3: مدل چرا فعالیت انجام می‌دهد؟

کفایت: تجدید نظری پایدار و قابل توسعه‌سازی در رویه تأمین‌کنندگی آب شیرین.

کارایی: حداقل استفاده از سازوکارها و بیشینه‌سازی منابع برای تأمین‌کنندگی آب شیرین.

اثربخشی: توسعه‌سازی پایدار زنجیره تأمین آب شیرین و رفع نیاز و دغدغه بشر در مناطق گوناگون.

۵- به‌کارگیری ساختار ذهنی به‌دست آمده برای کشف موقعیت:

منظور از مدل مفهومی در روش‌شناسی سیستم‌های نرم، نموداری از فعالیت‌ها با ارتباطات مربوط به آن‌ها است که فرآیند حل مسئله نظام‌مند را مشخص می‌سازد. واکاو بررسی‌های خبرگان نشان

می‌دهد، زنجیره تأمین آب شیرین برحسب ویژگی‌های سیستمی و تفکر سیستمی (دیدگاه کل‌گرا: ورودی- پردازش- خروجی و بازخورد) و تجمیع برداشت‌های متفاوت آن‌ها به صورت ذیل «به آنچه که سیستم باید انجام دهد» می‌پردازد. ابعاد و مؤلفه‌های شناسایی شده و شاخص‌های الگوی مدیریت آب به صورت شکل (۲) می‌باشد.

اگر مدل استخراج شده یک سیستم خدمت‌دهی براساس صف‌بندی اعضای زنجیره و فرآیندهای تصادفی در نظر گرفته شود، آنگاه می‌تواند دو خاصیت استوک استیکی داشته باشد: (۱) تولد و مرگ، (۲) تعادل.

(۱) تولد و مرگ: هنگامی که تولدی در سیستم زنجیره تأمین اتفاق می‌افتد، فرآیند از حالت n به $n+1$ می‌رود. هنگامی که مرگی در سیستم زنجیره تأمین اتفاق می‌افتد، فرآیند از حالت n به $n-1$ می‌رود. این فرآیند را می‌توان با نرخ تولد $\{\lambda_i\}_{i=1,\dots,\infty}$ و نرخ مرگ $\{\mu_i\}_{i=1,\dots,\infty}$ مشخص نمود (شکل ۳).

(۲) تعادل: تعادل در یک سیستم صف یعنی اگر حد $\lim_{t \rightarrow \infty} p_k(t)$ وجود داشته باشد. برای این مورد $p_k(t)$ باید صفر باشد.

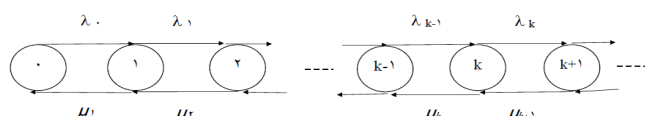
حالت همیشگی (تعادل) اگر به صورت زیر تعریف شود:

$$\lambda \cdot p_k(t) = \mu \cdot p_{k-1}(t) \quad (1)$$

$$(\lambda_k + \mu_k) p_k(t) = \lambda_{k-1} p_{k-1}(t) + \mu_{k+1} p_{k+1}(t)$$

$\lambda_k = \lambda$ و $\mu_k = \mu$ (حالت همگن). این فرض می‌تواند به معادله زیر بیانجامد.

$$\lambda p_k(t) = \mu p_{k+1}(t) \text{ for } k \geq 0. \quad (2)$$

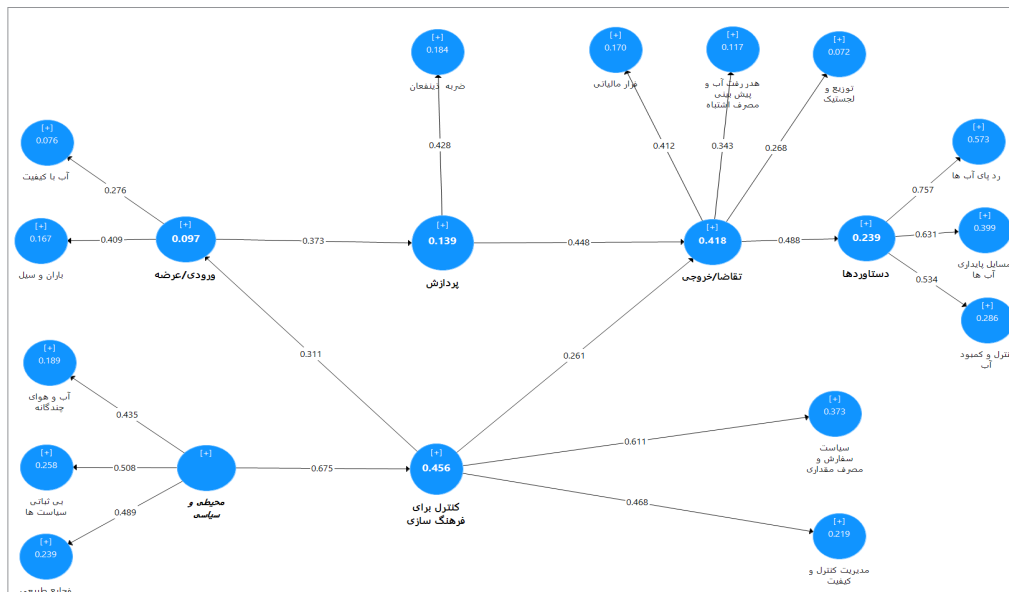


شکل ۳- فرآیند تولد و مرگ در زنجیره تأمین آب شیرین

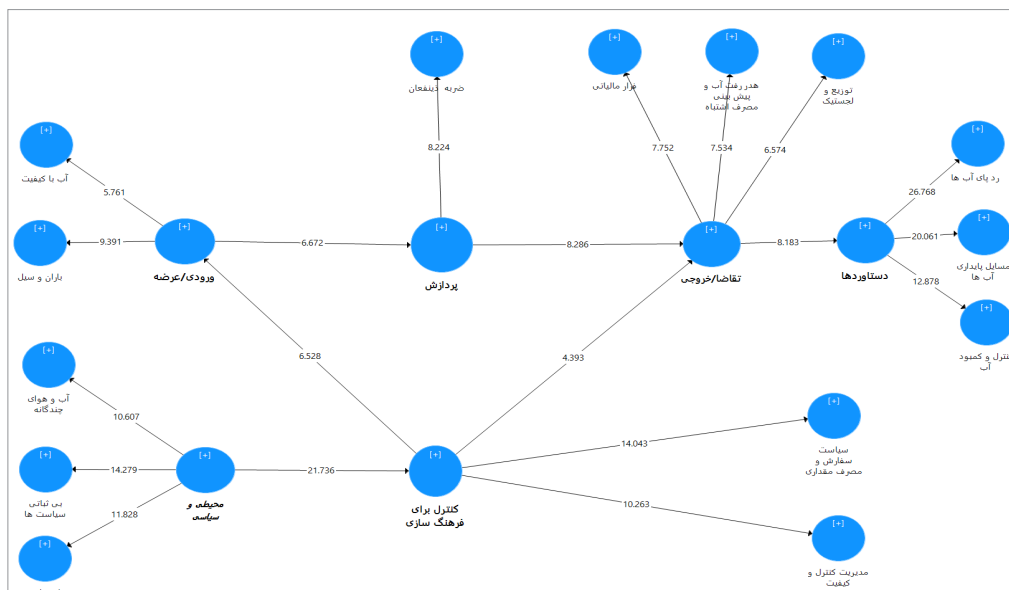
۶- تحلیل عملی و مطلوب به تغییرات برای موقعیت مورد نظر:

در این مرحله، جهت برآورد رسمی‌تر و اندازه‌گیری مدل استخراج شده، ارزیابی ساختار برای به‌دست آوردن تغییرات قابل انجام و امکان‌سنجی و آزمودن چگونگی‌های مدیریت زنجیره تأمین آب، از مدل‌سازی معادله‌های ساختاری استفاده می‌شود. بنابراین با توجه به ماهیت روش‌شناسی سیستم‌های نرم و کمک مرسوم مدل CATWOE در مرحله سوم از مراحل هفت‌گانه این رویکرد و مشخص کردن مفاهیم مرتبط با سیستم قابل بررسی که در گام سوم مدل SSM انجام شد، به اندازه‌گیری ساختاری پرداخته می‌شود. ابتدا مدل پژوهش با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری^۲،

در نرم‌افزار PLS-SMART اجرا شد تا بتوان در چارچوب قوانین آمار استنباطی به کشف الگوها در نمونه و تعمیم آن به جامعه پرداخت. الگوهای کشف شده در نمونه پژوهش حاضر، در چارچوب بیرونی (اندازه‌گیری) و درونی (ساختاری) ارائه می‌شود. البته باتوجه به ماهیت کوواریانس محور، تنها یک مدل در نرم‌افزار اجرا می‌شود و پژوهشگر باید یک‌بار روابط بین پرسش‌ها و متغیرهای پنهان را در چارچوب مدل درونی به سنجش گذارد. بنابراین در این قسمت از پژوهش، ابتدا آزمون مدل بیرونی که بررسی پایایی و روایی سازه است، انجام شده و سپس آزمون فرضیه‌ها در چارچوب مدل درونی انجام می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴- تصویر مدل اولیه بیرونی در حالت تخمین ضریب استاندارد



شکل ۵- تصویر مدل اولیه بیرونی در حالت تخمین ضریب معناداری

• آزمون‌های مدل مفهومی پژوهش

این آزمون‌ها در دو بخش مدل درونی (اندازگیری) پژوهش و مدل بیرونی (مفهومی) پژوهش بررسی می‌شود.

الف) بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری پژوهش:

مطابق با الگوریتم تحلیل داده‌ها در روش حداقل مربعات جزئی (PLS)، برای بررسی برازش بخش اول یعنی برازش مدل اندازه‌گیری سه عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد: پایایی پرسشنامه، روایی همگرا و روایی واگرا. پژوهش پیش رو توسط چهار شاخص اصلی آلفای کرونباخ (α) (معیاری برای سنجش پایایی درونی)، آزمون میانگین واریانس استخراجی (AVE)^۲، پایایی ترکیبی (CR)^۳ و rho-A بررسی شده است (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول (۱) قابل مشاهده است، مقدار خروجی به‌دست آمده برای تمامی سازه‌های مدل، مقدار معیار حداقل برابر ۰/۵ به‌دست آمده است. در نتیجه، مدل و برازش مدل‌های اندازه‌گیری تأیید می‌شود.

از آنجا که میزان آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷، پایایی ترکیبی و میانگین واریانس استخراجی از ۰/۵ بزرگتر شده است، در نتیجه روایی واگرا مورد تأیید است.

نتایج به‌دست آمده از مقایسه دو آزمون CR و AVE نشان می‌دهد CR > AVE است و ضریب همبستگی بین این متغیرها بین ۱- و ۱+ است. در نتیجه روایی همگرا نیز تأیید می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، پرسشنامه پژوهش پایایی مناسبی دارد و مناسب بودن مدل اندازه‌گیری تأیید می‌شود.

ب) مدل بیرونی (مفهومی) پژوهش (بررسی فرضیه‌های پژوهش):

براساس مدل کیفی و استخراجی و همچنین فراهم کردن و غربالگری فرضیه‌های شدنی، ابتدایی‌ترین معیار برای سنجش رابطه بین سازه‌ها در مدل ساختاری اعداد معناداری است. در صورتی که میزان این اعداد بالاتر از ۱/۹۶ شود نشان از صحت رابطه بین سازه‌ها و تأیید فرضیه‌های پژوهش در سطح ۹۵ درصد است. براساس نتایج ارائه شده جدول (۲)، می‌توان تأیید شدن هر ۹ فرضیه و مسیر سیستمی قابل بررسی پژوهش را مشاهده کرد.

۷- اجرای فرآیندهای تغییر:

هر اقدامی برای بهبود در این مرحله می‌تواند شکل بگیرد. در این مرحله، تغییرات شناسایی‌شده برای بهبود سیستم در مرحله قبل، به اجرا در می‌آید. از این رو یک مدل مفهومی (پنهان)، عملیاتی (آشکار) می‌شود. همچنین فرآیندهای تغییر برای هریک از اجزای چالش‌های پایداری و توسعه زنجیره تأمین آب شیرین، به‌منظور بالا بردن فرهنگ مصرف- دسترسی و نیز چگونگی مدیریت کلان این چالش‌ها تبیین می‌شود.

جدول ۱- ضرایب پایایی پرسشنامه

ضرایب پایایی	α	rho_A	CR	AVE
آب با کیفیت	۰/۸۰۰	۰/۵۳۰	۰/۸۷۳	۰/۷۰۱
آب‌وهوای چندانگانه	۰/۷۱۴	۰/۷۱۰	۰/۷۹۰	۰/۵۶۲
باران و سیل	۰/۷۸۶	۰/۷۱۱	۰/۸۲۱	۰/۶۰۷
بی‌ثباتی سیاست‌ها	۰/۸۰۳	۰/۸۸۰	۰/۸۶۳	۰/۶۱۷
تقاضا/خروجی	۰/۷۵۷	۰/۷۵۷	۰/۷۳۲	۰/۵۵۰
توزیع و لجستیک	۰/۷۷۸	۰/۷۱۶	۰/۷۷۱	۰/۵۳۱
دستاوردها	۰/۷۶۵	۰/۷۱۲	۰/۷۷۸	۰/۵۴۸
ردپای آب‌ها	۰/۸۲۴	۰/۸۲۶	۰/۸۹۴	۰/۷۳۹
ضربه ذی‌نفعان	۰/۷۸۵	۰/۷۴۴	۰/۸۲۱	۰/۶۰۸
فجایع طبیعی	۰/۷۷۷	۰/۷۲۳	۰/۸۰۰	۰/۵۰۵
فرار مالیاتی	۰/۷۵۹	۰/۷۶۳	۰/۸۱۳	۰/۵۹۳
محیطی و سیاسی	۰/۷۰۶	۰/۷۵۸	۰/۷۳۸	۰/۵۰۹
مدیریت کنترل و کیفیت	۰/۷۰۸	۰/۷۴۳	۰/۸۳۴	۰/۶۲۷
مسائل پایداری آب‌ها	۰/۷۸۲	۰/۷۰۶	۰/۸۲۲	۰/۶۰۶
ورودی/عرضه	۰/۶۲۰	۰/۷۴۱	۰/۷۸۲	۰/۵۶۰
پردازش	۰/۷۹۵	۰/۸۲۸	۰/۸۷۹	۰/۷۰۹
کنترل برای فرهنگ‌سازی	۰/۷۰۳	۰/۷۱۲	۰/۸۳۴	۰/۶۲۷
کنترل و کمبود آب	۰/۷۳۴	۰/۵۴۸	۰/۷۰۸	۰/۵۹۲
سیاست سفارش و مصرف مقداری	۰/۷۷۷	۰/۷۶۶	۰/۸۰۶	۰/۵۳۰
هدرفت آب و پیش‌بینی مصرف اشتباه	۰/۵۸۴	۰/۶۰۰	۰/۷۷۶	۰/۵۳۷

جدول ۲- بررسی فرضیه‌های پژوهش

ردیف	فرضیه‌ها	ضریب استاندارد	ضریب معناداری t
۱	ورودی/عرضه سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، آب باکیفیت می‌باشد.	۰/۲۸۴	۵/۷۸۷
۲	عرضه/ورودی سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، باران و سیل می‌باشد.	۰/۴۱۷	۹/۵۶۰
۳	عامل اختلال در پردازش سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، ضربه ذی‌نفعان می‌باشد.	۰/۴۳۲	۸/۳۲۶
۴	عامل اثرگذار و تعدیل‌کننده در سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، کنترل برای فرهنگ‌سازی می‌باشد.	۰/۳۱۴	۶/۸۹۵
		۰/۲۶۲	۴/۰۷۹
۵	کنترل برای فرهنگ‌سازی اثرگذار در سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، از محیط و سیاست ناشی می‌شود.	۰/۶۷۶	۲۳/۸۰۹
۶	عوامل محیط و سیاست جهت شکل‌گیری کنترل برای فرهنگ‌سازی اثرگذار در سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، از آب‌وهوای چندگانه، بی‌ثباتی سیاست‌ها و فجایع طبیعی ناشی می‌شود.	۰/۴۳۹	۱۰/۴۵۰
		۰/۵۱۳	۱۴/۷۸۳
		۰/۴۹۳	۱۲/۴۸۶
۷	کنترل برای فرهنگ‌سازی اثرگذار در سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، از سیاست سفارش و مصرف مقداری و کنترل ناشی می‌شود.	۰/۶۱۳	۱۴/۵۴۱
		۰/۴۶۸	۱۰/۲۵۶
۸	تقاضا و خروجی مختل‌کننده در سیستم زنجیره تأمین آب شیرین، مسائل توزیع لجستیک، هدررفت آب و پیش‌بینی مصرف اشتباه و فرار مالیاتی می‌باشند.	۰/۲۷۶	۶/۳۷۹
		۰/۳۵۰	۷/۶۷۹
		۰/۴۱۷	۷/۹۹۷
۹	دست‌آورد بهینه مدل زنجیره تأمین آب شیرین، شناسایی مسائل ردپای آب، پایداری آب و کنترل کمبود آب می‌باشند.	۰/۷۵۷	۲۹/۸۶۱
		۰/۶۳۲	۲۰/۳۸۲
		۰/۵۳۷	۱۳/۲۲۹

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، می‌توان بیان کرد وجه اشتراک پژوهش حاضر با دیگر مطالعات همگن، پیگیری مسائل تأمین‌کنندگی آب است و وجه تمایز آن با دیگر پژوهش‌ها بر سر مسائل انسانی می‌باشد، چراکه دیگر پژوهش‌ها به‌گونه‌ای پراکنده در ابعاد اقتصادی، حسابداری، سیاسی، انرژی، محیط‌زیستی، اطلاعاتی و فناوری‌های کامپیوتر به بررسی این نوع تأمین‌کنندگی پرداخته‌اند. پژوهش پیش‌رو، ۱- با دغدغه حل مسائل انسانی و بهره‌گیری از مواردی که در دخل و تصرف انسان باشد یا نباشد؛ ۲- با برخورداری از نگاه سیستمی و جامع، سعی کرده است دیگر عوامل را در درون خود داشته باشد. اگر رفع کمبود تجهیزات و امکانات تأمین‌کنندگی آب با حالت فرسایشی و مانع‌تراشی همراه است، باید به‌طور مدام و پیوسته برای حل این مشکل بحرانی، در بین همه خریداران، تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان مدیریت و هماهنگی ایجاد شود تا زنجیره تأمین آب یک زنجیره ارزش‌آفرین شود. شرکت‌ها باید ارزیابی کنند که چگونه کمیت و کیفیت آب ممکن است بر استراتژی کسب‌وکار (و زنجیره فراهم‌آوری) آن‌ها تأثیر بگذارد. کاهش مصرف آب، بازایی و استفاده دوباره از فاضلاب‌ها ازجمله راهکارهای تغییر در روش تأمین‌کنندگی آب است. از آنجایی‌که

زنجیره‌های تأمین محصولات کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده صنعتی آب هستند، فرصت‌های زیادی برای بهبود مصرف آب می‌توانند فراهم آورند. برای دستیابی به کاهش ردپای کمبود آب، نیاز به کارهای بزرگ در فرمول‌بندی و مهندسی دوباره در فناوری آشکار است. استراتژی‌های آماده‌سازی صنایعی چون کشاورزی و مواد غذایی برای تأکید بر مدیریت آب و انتخاب تأمین‌کننده، اهمیت یکسانی در تصمیم‌گیری‌های جبرانی و غیرجبرانی دارد، بنابراین نباید آن‌ها را جدا از هم دانست. با جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل ریسک‌ها، می‌توان نیازمندی‌ها، بودجه و برنامه‌های اجرایی را توسعه داد و به‌سوی یک زنجیره فراهم‌آوری متمرکز پیش رفت که اعضای بالادستی و پایین‌دستی بتوانند همکارانه هم‌افزایی بیافرینند و این‌گونه حل چالش‌های فراهم‌آوری آب تحقق یابد. بنابراین سیاست‌های کاهش مصرف و کمبود آب، بهبود عملکرد پایداری و پیکربندی دوباره زنجیره فراهم‌آوری، استراتژی‌های صرفه‌جویی در مصرف آب را در زنجیره‌های تأمین‌کنندگی در سرتاسر بخش‌های تولیدی می‌تواند هموار سازد. ازاین‌رو، بخشنامه‌های صنایع و سازمان‌ها برای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی‌های بهینه در مورد شناسایی خطرات مرتبط با آب و توسعه پیکربندی‌های شبکه آب، ساختارهای شبکه آب، جریان‌های فرآیند و معماری محصولات آبی بسیار اهمیت دارد.

چگونگی پیاده‌سازی نتایج می‌تواند مدیریت منابع آب شیرین را بهبود بخشد. ازاین‌رو ناهماهنگی در امنیت غذایی و کمبود آب در هر دو سطح محلی و جهانی، استراتژی‌های شرکتی منحصر به فرد را برای افزایش سودآوری همه ذی‌نفعان زنجیره فراهم‌آوری دچار نوسان می‌کند. به عبارتی دیگر، بررسی تمام خطرات و چالش‌های مرتبط با آب و شناسایی فرصت‌ها به منظور پیروی از روندهای معاصر که مدیریت را دیکته می‌کنند، دشواری‌های منابع آب شیرین را از ابتدا تا انتها آشکار می‌سازد. بنابراین از آنجایی که چندین فعالیت کشاورزی و صنعتی با مصرف آب درهم‌تنیده هستند، در دسترس بودن منابع آب شیرین کافی پیش‌شرط مهمی برای پوشش نیازهای مصرف‌کنندگان است. در این زمینه، طراحی و مدیریت زنجیره‌های فراهم‌آوری پایدار از دیدگاه حفظ منابع آب شیرین به عنوان چالش‌های اصلی در دستورکار قرار می‌گیرد. آنچه می‌تواند اساس کار پژوهشگران و مجریان باشد، ارزیابی سیستماتیک شاخص‌های عملکردی ارکان بالادستی و پایین‌دستی یک زنجیره تأمین‌کنندگی در استفاده، آماده‌سازی و حکمرانی آب شیرین است.

از آنجایی که پژوهش‌های علمی با تمرکز بر رویکردی جامع در مورد بهره‌برداری از آب شیرین در گستره زنجیره فراهم‌آوری کم‌وبیش محدود هستند، هدف در این مقاله، طراحی مدل زنجیره فراهم‌آوری آب شیرین با رویکردی سیستمی بوده است. بنابراین برای هدایت‌شوندگی این مبحث و با درآمدی چون نگاه جامع بر نظارت مدیریت آب، می‌توان دستاوردها را عملیاتی کرد. به همین دلیل، نتایج به دست آمده از استخراج مدل کیفی و آزمون روابط و اندازه‌گیری اثرگذاری و معناداری هریک از ۹ فرضیه قابل بررسی و مدنظر پژوهشگران، نشان داد چنانچه زنجیره تأمین آب شیرین، یک سیستم در نظر گرفته شود، ورودی و عرضه این سیستم آب باکیفیت، باران و سیل، اختلال در پردازش و تحلیل این سیستم ضربه زدن ذی‌نفعان؛ کنترل برای فرهنگ‌سازی به عنوان عامل اثرگذار و تعدیل‌کننده این سیستم؛ آب‌وهوای چندانگانه، بی‌ثباتی سیاست‌ها، رویدادهای طبیعی به عنوان عامل‌های محیطی و سیاسی‌کاری؛ سیاست سفارش و مصرف مقداری و کنترل کیفیت برای شکل‌دهی به کنترل فرهنگ‌ساز؛ تقاضا و خروجی مختل‌کننده در این سیستم توزیع لجستیک، هدررفت آب و پیش‌بینی مصرف اشتباه و فرار مالیاتی و سرانجام دستاوردهای بهینه مدل شناسایی ردپای آب، واکاوی مسائل پایداری آب و کنترل کمبود آب می‌باشند. این مدل به صورت سیستمی در طول زمان، با پیروی از متغیرها و پدیده‌های انباشت و جریان، روند چرخه‌ای و حلقه بازخورد دارد، بنابر اینکه هر علتی، معلولی دارد. مدل استخراجی را به‌مانند اساس پژوهش‌های دیگر روش‌شناسی سیستم‌های نرم

می‌توان جهت شناخت پدیده‌ها و عوامل، در راستای هرچه بهتر مدیریت کردن زنجیره تأمین آب شیرین با توجه به اختیارات موجود به سازمان‌ها و شرکت‌های تابعه پیشنهاد کرد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Soft System Methodology
- 2-Customer Actors Transformation Process World view Owners Environmental constraints
- 3-Structural Equation Model
- 4-Average Variance Extracted
- 5-Composite reliability

منابع

- حنفی‌زاده، پ. و محرابیون محمدی، م. ۱۳۹۲. طراحی سیستم الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت: یک رویکرد سیستمی نرم. کنفرانس الگوی اسلامی ایرانی پیشرفت. مرکز پژوهش‌های فرهنگی و مطالعات اسلامی بنیان مرصوص، تهران، ایران.
- روزنهد، ج. و مینجرز، ج. ۱۳۹۶. تحقیق در عملیات نرم روش‌های ساخت‌دهی مسئله در شرایط پیچیدگی، عدم اطمینان، تعارض. مترجمان: عادل آذر و علی انوری. نگاه دانش. چاپ اول. تهران، ایران.
- فاطمی، س.ز، آذر، ع.، مقبل باعرض، ع. و خدیور، آ. ۱۳۹۸. واکاوی مفهوم نوسازی استراتژیک با رویکرد روش‌شناسی سیستم‌های نرم. اندیشه مدیریت راهبردی، ۱۳ (۲۵): ۱۶۵-۱۸۸.
- مهرگان، م.، عموزاد مهدیرجی، ح.، بینایی، ش.، علی‌پور، و. و رضوی حاجی آقا، ح. ۱۳۹۸. بهینه‌سازی زنجیره تأمین آب آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس با رویکرد اقتصادی و زیست‌محیطی (پژوهش موردی زنجیره تأمین آب آب‌شیرین‌کن در استان هرمزگان). محیط‌شناسی، ۴۵ (۴): ۷۷۳-۷۸۶.
- Agnusdei G.P., Coluccia B., Pacifico A.M. and Miglietta P.P. 2022. Toward circular economy in the agrifood sector: water footprint assessment of food loss in the italian fruit and vegetable supply chains. Ecological indicators, 137: 108781.
- Aivazidou E., Tsolakis N., Iakovou E. and Vlachos D. 2016. The emerging role of water footprint in supply chain management: A critical literature synthesis and a hierarchical decision-making framework. Journal of Cleaner Production, 137: 1018-1037.

- and Scipioni A. 2014. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. *Journal of Cleaner Production*, 72: 167-173.
- Mingers J. 2011. Soft or comes of Age-But Not Everywhere!. *Omega*, 39(6): 729-741.
- Sutcliffe Ch., Knox J. and Hess T. 2021. Managing irrigation under pressure: how supply chain demands and environmental objectives drive imbalance in agricultural resilience to water shortages. *Agricultural Water Management*, 243: 106484.
- Tsolakis N., Srari J.S. and Aivazidou E. 2018. Blue Water Footprint Management in a UK Poultry Supply Chain under Environmental Regulatory Constraints. *Sustainability*, 10: 625.
- Wang S., Cao T. and Chen B. 2021. Identifying critical sectors and supply chain paths for virtual water and energy-related water trade in China. *Applied Energy*, 299: 117294.
- Water U.N. The United Nations World Water Development Report 3. 2018. *Water in a Changing World*. Sustainability licensee. Mdpi, Basel, Switzerland. Available online: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001819/181993e.pdf> (accessed on 23 May 2018).
- Yang L., Li Y., Wang D., Wang Zh., Yang Y., Lv H. and Zhang Xi. 2022. Relieving the water-energy nexus pressure through whole supply chain management: Evidence from the provincial-level analysis in China. *Science of The Total Environment*, 807: 150809.
- Chuckland P. and Polter J. 2014. *Learning to practice*. Mohammad Reza Mehregan, Mahmoud Dehghan, Mohammad Reza Akhavan and Kamyar Raisifar. Practice (1). Mehraban Publications. 2. Tehran, Iran.
- Firoz velani A., Narwane V.S. and Gardas B.B. 2022. Contribution of Internet of things in water supply chain management: A bibliometric and content analysis. *Journal of Modelling in Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print, 1746-5664.
- Jacobus Botha M., Middelberg S.L. and Oberholzer M. 2022. Supply chain water-reporting practices in the food, beverage and tobacco sector: A comparative study. *Water International*, 47: 383-399.
- Jefferies D., Muñoz I., Hodges J., King V.J., Aldaya M., Ercin, A.E. and Hoekstra A.Y. 2012. Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production*, 33: 155-166.
- Koleva M.N., Calderon A.J., Zhang D., Styan C.A. and Papageorgiou G. 2018. Integration of environmental aspects in modelling and optimisation of water supply chains. *Science of The Total Environment*, 636: 314-338.
- Levidow L., Lindgaard-Jørgensen P., Nilsson Å., Skenhall S.A. and Assimacopoulos D. 2016. Process eco-innovation: assessing meso-level eco-efficiency in industrial water-service systems. *Journal of Cleaner Production*, 110: 54-65.
- Manzardo A., Ren J., Piantella A., Mazzi A., Fedele A.

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Urban Water Metabolism, an Efficient Tool for Evaluating Urban Water Management Performance (Case study: Isfahan City)

N. Nezami¹, M. Tizghadam^{2*}, M. Zarghami³, M. Abbasi²

1,2- PhD in Environmental Engineering and Assistant Professor, Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran Iran. 3- Professor, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz and Policy Research Institute, Sharif University of Technology, Iran.

*(Corresponding Author Email: m_tizghadam@sbu.ac.ir)

Received: 27-07-2022

Revised: 04-12-2022

Accepted: 11-12-2022

Available Online: 11-03-2023

متابولیسم آب شهری، ابزاری کارآمد جهت ارزیابی عملکرد مدیریت آب شهری (مطالعه موردی شهر اصفهان)

نیما نظامی^۱، مصطفی تیزقدم^{۲*}، مهدی زرغامی^۳، مریم عباسی^۲

۱ و ۲- به ترتیب دکترای مهندسی محیط زیست و استادیار، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران- آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. ۳- استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تبریز و استاد مدعو پژوهشکده سیاست گذاری دانشگاه صنعتی شریف، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: m_tizghadam@sbu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

Abstract

With the increase in climate and social change, the issue of water security in cities is becoming more highlighted and urban decision makers are paying attention to issues such as water productivity and reuse of sewage to achieve sustainable municipal water management. In this study, a framework of urban water metabolism was developed based on the water balance. The water flow patterns in the urban areas examined and the performance of water management in Isfahan was evaluated. In this article, previous equations of urban water metabolism reviewed and new relationships were defined by adding parameters such as Non-revenue water, taking into account the conditions of urban water management in developing countries such as Iran. The developed water metabolism model was first used on Isfahan city as a real sample for 2019 and the pattern of water use and urban water performance of Isfahan were analyzed. The city of Isfahan is largely dependent on surface water (water of the Zayandeh-Rud Dam and River), While having a lot of domestic consumer, it has a high potential in terms of gray water and treated wastewater. Studies showed that more than 80% of Isfahan's water requirement is provided from foreign sources, and this indicates that Isfahan's sustainable water supply is weak and there is severe dependence on the surrounding areas for water supply. These results show that the water metabolism framework helps to facilitate more comprehensive understanding and evaluations of city water performance.

Keywords: Urban Water Metabolism, Water Management, Urban Water, Isfahan, Mass Balance.

چکیده

با افزایش تغییرات آب و هوایی و اجتماعی، چالش امنیت آبی شهرها پررنگ تر می شود و تصمیم گیران شهری برای دستیابی به مدیریت پایدار آب شهری در زمینه هایی مانند بهره وری آب و استفاده مجدد از فاضلاب حرکت می کنند. در این پژوهش یک چارچوب متابولیسم آب شهری براساس موازنه جرمی آب گسترش داده شد. با استفاده از آن الگوهای جریان آب در بخش های شهری بررسی و کارایی مدیریت آب در شهر اصفهان ارزیابی شد. در این مقاله معادله های پیشین متابولیسم آب شهری بررسی و رابطه های تازه ای با در نظر گرفتن جایگاه مدیریت آب شهری در شهرهای کشورهای درحال توسعه مانند ایران، با اضافه شدن پارامترهایی مانند آب بدون درآمد، تعریف شد. مدل متابولیسم آب ساخته شده برای اولین بار بر روی شهر اصفهان به عنوان یک نمونه واقعی برای سال ۱۳۹۸ به کار گرفته شد و الگوی استفاده از آب و کارایی آب شهری اصفهان تحلیل شد. شهر اصفهان تا اندازه بسیاری به آب سطحی و منابع آب سد و رودخانه زاینده رود وابسته است. درحالی که با داشتن تعداد بسیاری مصرف کننده خانگی پتانسیل بالایی از دیدگاه منابع آب خاکستری و فاضلاب تصفیه شده دارد. بررسی ها نشان داد بیش از ۸۰ درصد از نیاز آبی شهر اصفهان از منابع خارجی تأمین می شود و همین مورد گویای شکننده بودن فراهم کردن آب پایدار و وابستگی شدید شهر اصفهان به بخش های پیرامون برای فراهم کردن آب خود است. این نتایج نشان می دهد، چارچوب متابولیسم آب به آسان کردن درک و ارزیابی های فراگیرتر از کارایی آب شهرها کمک می کند.

واژه های کلیدی: متابولیسم آب شهری، مدیریت آب، آب شهری، اصفهان، موازنه جرمی.

معدنی، غذا و گازهای گلخانه‌ای تمرکز دارند (Warren-Rhodes و Koenig، ۲۰۰۱؛ Forkes، ۲۰۰۷؛ Baker، ۲۰۰۹؛ Barles، ۲۰۰۹؛ Zhang و همکاران، ۲۰۰۹) و تنها ۳ مقاله به جریان آب پرداخته بود (Hermanowicz و Asano، ۱۹۹۹؛ Gandy، ۲۰۰۴؛ Baker، ۲۰۰۹). Wolman (۱۹۶۵) پیشگام در استفاده از متابولیسم شهری به عنوان یک چارچوب ارزیابی برای تحلیل یک شهر فرضی آمریکایی (نیویورک) با جمعیت یک میلیون نفری بود. Wolman این مفهوم را برای پرداختن به کیفیت آب و هوای شهرهای آمریکایی توسعه داد (Wolman، ۱۹۶۵؛ Kennedy و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعه وی فقط شامل ورودی‌های جریان‌های متمرکز آب مدیریت شده توسط زیرساخت‌های شهری بود و در آن تخمین زده شد که ورودی آب برای یک میلیون نفر جمعیت در ایالات متحده حدود ۶۲۵ هزار تن در روز است. بیشتر این جریان به عنوان فاضلاب تخلیه می‌شد و بقیه آن توسط فعالیت‌های مختلف انسانی از بین می‌رفت. این مطالعه نشان داد که فاضلاب خروجی بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد آب تأمین شده (جریان ورودی) را نشان می‌دهد (Wolman، ۱۹۶۵). Larsen و همکاران (۲۰۱۶) این موضوع را در ادامه بررسی و تأکید نمودند. در باور آنان مقدار زیادی از این فاضلاب را می‌توان برای برآورده کردن تقاضای آب شهری به منظور جلوگیری از واردات منابع آب از راه دور، که نیازمند صرف انرژی قابل توجهی است، استفاده کرد. علاوه بر آن، هدررفت آب از سیستم‌های متمرکز آب شهری نیز در بسیاری از شهرهای کشورهای در حال توسعه بین ۳۰ تا ۵۰ درصد است. جلوگیری از این هدررفت آب می‌تواند پتانسیل بالایی برای کاهش نیاز آبی و کاهش تولید آب ایجاد کند (Mehta و همکاران، ۲۰۱۴). López و Giampietro (۲۰۱۵) استدلال کردند ترسیم یک جریان مستقیم از آب دشوار است زیرا جریان‌های چرخه‌ای آب با جریان مواد یک طرفه و برگشتناپذیر از منابع دیگر مانند سوخت‌های فسیلی متفاوت است.

توجه به منابع آب و راندمان آب یا چگونگی به حداکثر رساندن بهره‌وری هر واحد آب ورودی از طریق استفاده بهینه و بازیافت داخلی، یکی از اهداف مهم شهرها است (Renouf و همکاران، ۲۰۱۷). شهرها طیف وسیعی از اهداف مرتبط با آب از جمله تأمین امنیت آبی، عملکرد خدمات آب، حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت ریسک دارند (Renouf و همکاران، ۲۰۱۷). به منظور نظارت و پایش پیشرفت این اهداف، تعیین عملکرد آب شهری اهمیت پیدا می‌کند. در حالی که بخش زیادی از پژوهش‌های موجود به موضوع مدیریت و عملکرد آب می‌پردازد، دیدگاه‌ها، روش‌ها و دامنه‌های کاربرد آن‌ها متفاوت است و ارزیابی سیستماتیک و جامع عملکرد آب شهری را پیچیده می‌کند (Park و Jeong، ۲۰۲۰). Renouf و Kenway (۲۰۱۷) نبود رویکرد جامعی برای ارزیابی عملکرد آب در مقیاس کلان شهری را مهم دانستند و اظهار داشتند، رویکرد متابولیسم آب شهری بیشترین کمک را برای دستیابی به این هدف دارد.

شیوه‌های کنونی مدیریت آب شهری توان پاسخگویی به تغییرات ناشی از رشد جمعیت، افزایش سرانه درخواست آب و تغییرات اقلیمی را ندارند. در سال ۲۰۱۴، ۵۴ درصد مردم دنیا در شهرها ساکن بودند ولی پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، ۷۰ درصد جمعیت جهان ساکن بخش‌های شهری باشند (United Nations، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۸b). این رشد شتابنده می‌تواند شهرها را با توجه به محدودیت منابعی مانند آب، انرژی و مواد غذایی در فراهم کردن نیازهای اساسی ساکنان دچار چالش‌های بنیادی کند. در حال حاضر، بسیاری از شهرها در سراسر جهان در برابر کمبود آب آسیب‌پذیر هستند و پیش‌بینی می‌شود که شاید یک شهر از هر شش شهر بزرگ دنیا تا سال ۲۰۵۰ درگیر خطر کسری چشمگیر آب باشند (Ffion Atkins و همکاران، ۲۰۲۱). این استفاده فزاینده از منابع به دست شهرها گویای رشد آن‌ها، افزایش آلودگی و همچنین فشار بر محیط طبیعی است. آب یک منبع بنیادی در سیستم شهری است که نیاز به توجه و مدیریت ویژه دارد (Jeong و Park، ۲۰۲۰). برای شناسایی فرآیندهای بارز شهری که توسعه پایدار شهرها را تهدید می‌کنند، رویکرد متابولیسم شهری با ردیابی و کنترل جریان مواد و چرخه‌های داخلی شهرها معرفی شده است. یک چارچوب متابولیسم شهری تصویری گسترده‌تر از جریان منابع و همچنین تجزیه و تحلیل کمی از ورودی‌ها و خروجی‌ها، چگونگی آب، انرژی، زیاله، مواد مغذی و مواد دیگر را نشان می‌دهد که می‌تواند به عنوان یک چارچوب مفهومی و تحلیلی استفاده شود (Wolman، ۱۹۶۵؛ Kennedy و همکاران، ۲۰۱۱؛ Farooqui و همکاران، ۲۰۱۶؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۶). متابولیسم شهری به سیاست‌گذاران شهری کمک می‌کند تا کارایی منابع را برای ارائه کالاها و خدمات با توجه به ظرفیت منطقه خود ارزیابی کنند (Park و Jeong، ۲۰۲۰). متابولیسم شهری را می‌توان در مقیاس‌های مختلف از سطح جهانی تا شهر و خانوار استفاده کرد (Agudelo-Vera و همکاران، ۲۰۱۲) و می‌تواند فهرستی از موجودی جریان منابع (آب، انرژی، مواد مغذی/آلاینده‌ها، کربن و سایر مواد) را با گذشت زمان تولید کند (Kennedy و همکاران، ۲۰۰۷). چنین حسابداری همچنین به مقایسه شهرها با یکدیگر کمک می‌کند (Kennedy و همکاران، ۲۰۱۱). با وجود انجام مطالعات بسیاری در حوزه متابولیسم شهری در مورد منابع مختلف، منابع آب توجه نسبتاً کمتری را به خود جلب کرده است (Jeong و Park، ۲۰۲۰). Kennedy و همکاران در سال ۲۰۱۱، پژوهش‌های کتابخانه‌ای جامعی در مورد مقاله‌های مرتبط با متابولیسم شهری انجام دادند. آن‌ها در این پژوهش بیش از ۵۰ مقاله را در مورد شهرهایی از ۸ منطقه جهانی بررسی کردند (Kennedy و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعه آن‌ها نشان داد بیشتر مطالعات متابولیسم شهری بر روی کمی‌سازی جریان‌های انرژی، مواد زائد، مواد مغذی، مواد

تعداد کمی از شهرها در سطح جهان حسابداری جامع و دقیقی از منابع آبی شهر خود دارند. یک کمی‌سازی جامع و سیستماتیک به داده‌های خوب و درک کاملی از منابع موجود نیاز دارد (Kennedy و همکاران، ۲۰۱۱؛ Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۶). رویکردها و روش‌های گوناگونی برای تجزیه و تحلیل جریان منابع در سیستم‌های آب شهری، مانند ارزیابی چرخه عمر (LCA)^۲، ردپاهای محیط‌زیستی^۲ و مدل‌سازی یکپارچه چرخه آب وجود دارد. LCA میزان منابع موجود در کالاها و خدمات (مانند ردپاهای آب و انرژی) را در یک سیستم شهری مشخص می‌کند. ردپاهای محیط‌زیستی از LCA سرچشمه می‌گیرد و تحلیل ورودی-خروجی یک روش از بالا به پایین برای تعیین کمیت جریان منابع در طول یک سیستم شهری یا اقتصاد است. مدل‌سازی یکپارچه چرخه آب، یک سیستم آب را در یک واحد شهری مانند منطقه در نظر می‌گیرد، اما کل منطقه شهری یا کل اقتصاد را بررسی نمی‌کند (Bach و همکاران، ۲۰۱۴).

پژوهش‌های متابولیسم آب شهری پس از Wolman (۱۹۶۵) در شهرهای هنگ کنگ، تورنتو، توکیو، وین، بروکسل، لندن، کیپ‌تاون، بنگلور، ایرلند، سیدنی و سایر شهرهای استرالیا انجام گرفته است (Hendriks و همکاران، ۲۰۰۰؛ Sahely و همکاران، ۲۰۰۳؛ Gandy، ۲۰۰۴؛ Kennedy، ۲۰۰۷؛ Browne و همکاران، ۲۰۰۹؛ Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۶؛ Paul و همکاران، ۲۰۱۸). برخی از پژوهش‌های قبلی که به بررسی جریان آب شهری پرداخته بودند تصاویر ناقصی در مورد متابولیسم آب ارائه داده‌اند. به عنوان مثال، Binder و همکاران (۱۹۹۷) متابولیسم آب را برای شهر Tunja در کشور کلمبیا توسعه دادند، اما با مشکلات بسیاری در مورد در دسترس بودن و کیفیت ضعیف داده‌ها مواجه بودند (Binder و همکاران، ۱۹۹۷). Sahely و همکاران (۲۰۰۳) جریان آب را به عنوان بخشی از جریان‌های بزرگ‌تر منابع شهری در نظر گرفتند و به جزئیات آن نپرداختند (Sahely و همکاران، ۲۰۰۳). Kenway و همکاران (۲۰۱۱) یک چارچوب جامع موازنه جرمی آب را برای درک بهتر آب و جریان‌های مرتبط انرژی و مواد با آن در شهرها ایجاد کردند. در مدل آن‌ها، هدررفت سیستم نادیده گرفته شده بود که می‌تواند یک مؤلفه مهم موازنه جرمی آب شهری در یک شهر در حال توسعه باشد. علاوه بر آن، تحلیل موازنه جرمی آب شهری تاکنون برای تعداد محدودی از شهرها به عنوان مطالعات موردی واقعی انجام شده است (Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Farooqui و همکاران، ۲۰۱۶). Kenway و همکاران (۲۰۱۱) گزارش جامعی از متابولیسم آب شهری و شاخص‌هایی که می‌توانند به سرعت بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل متابولیکی اندازه‌گیری شوند، ارائه دادند. آن‌ها دریافته‌اند که شهرهای خاصی از استرالیا جریان آب خطی دارند و جریان زیادی از آب باران، رواناب‌ها و فاضلاب بدون استفاده باقی‌مانده است. چارچوب متابولیسم

آب شهری که توسط Kenway و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شد در سال‌های بعد برای ارزیابی عملکرد آب شهری در چندین مطالعه اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (Singkran، ۲۰۱۷؛ Paul و همکاران، ۲۰۱۸؛ Ghosh و همکاران، ۲۰۱۹). به علاوه برای انجام تحلیل استاتیک متابولیسم آب، Farooqui و همکاران (۲۰۱۶) برای ارزیابی شش گزینه خدمات آبی (مانند جمع‌آوری آب باران/رواناب و استفاده مجدد از فاضلاب و آب خاکستری در مقیاس‌های مختلف شهری) یک تحلیل سناریو محور را انجام دادند. آن‌ها شاخص‌های جدیدی مانند «عملکرد هیدرولوژیکی» را برای اندازه‌گیری میزان تغییر جریان هیدرولوژیکی نسبت به قبل از توسعه را ارائه دادند. Renouf و Kenway (۲۰۱۷) مجموعه‌ای از شاخص‌های متابولیسم آب شهری را با توجه به چهار هدف آب شهری شامل بهره‌وری منابع، تأمین درونی، حفاظت از منابع آب و عملکرد آب ارائه دادند. این اهداف که می‌توانند با تحلیل متابولیسم ارزیابی شوند، به‌ویژه با امنیت تأمین آب مرتبط هستند. درحالی‌که شهرها طیف گسترده‌تری از اهداف مانند مدیریت ریسک یا حفاظت از محیط‌زیست را مدنظر دارند (Renouf و همکاران، ۲۰۱۷).

نقطه قوت رویکرد متابولیسم آب شهری در جامع بودن و درستی آن است که در استفاده از موازنه جرمی هیدرولوژیکی، نهفته است (Renouf و Kenway، ۲۰۱۷). ابزارهای مدل‌سازی سیستم آب شهری مانند Aquacycle، Urban Water Optioneering Tool، Dynamic Urban Water Simulation model و City Water Balance model هم جریان آب را بر اساس موازنه آب در نظر می‌گیرند، اما تمایل دارند روی کمیت آن دسته از جریان‌های مدیریت شده توسط زیرساخت‌های شهری، بیشتر در مقیاس حوضه آبریز یا منطقه تمرکز کنند و تأثیر چارچوب شهری را بر هیدرولوژی شبیه‌سازی می‌کنند. شاخص‌هایی مانند سرانه مصرف آب که روی آب‌رسانی خانگی متمرکز است، به‌طور معمول اندازه‌گیری می‌شود، درحالی‌که شاخص‌های بازده آب حاصل از متابولیسم آب شهری میزان مصرف کل آب در بخش‌های مختلف مناطق شهری را اندازه‌گیری می‌کند. با در نظر گرفتن تمام جریان‌های آب، رویکرد متابولیسم آب شهری به سرعت می‌تواند یک نمای کلی از مدیریت آب شهری را ایجاد کند و بهره‌وری آب را در سیستم آب شهری ارزیابی کند (Renouf و همکاران، ۲۰۱۷). یک تعادل جامع آب با توجه به تمام مؤلفه‌های چرخه آب شهری (آب باران، منابع ورودی، آب‌های غیرمتمرکز، فاضلاب، رواناب‌ها، تبخیر و تعرق، تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده مجدد از پساب)، به‌جای شمارش فقط ورودی‌ها و خروجی‌ها، برای درک بهتر متابولیسم آب شهری در شهرهایی که با افزایش کمبود آب روبه‌رو هستند، یافتن منابع جایگزین آب محلی و تعیین کمیت پتانسیل‌های استفاده مجدد، اهمیت بسیار زیادی دارد. در این پژوهش ابتدا به معرفی منطقه و ابعاد سیستم مورد مطالعه پرداخته شده، سپس چارچوب متابولیسم آب شهری و ابعاد و روابط

آن تشریح شده است. در گام بعد شاخص‌های عملکردی آب شهری معرفی شد و چارچوب متابولیسم آب شهری برای شهر اصفهان پیاده‌سازی و تجزیه و تحلیل شده است. این مطالعه بر اهمیت بررسی کل سیستم آب شهری برای بهینه‌سازی استفاده از منابع آب داخلی و دستیابی به اهداف آب شهری تأکید دارد. هدف پژوهش بررسی چگونگی کاربرد چارچوب متابولیسم آب در ارزیابی مدیریت آب شهری مناطق مختلف به منظور ارتقای وضعیت بهره‌وری آب است. از آنجایی که توسعه و کاربرد متابولیسم آب شهری و شاخص‌های مربوط به آن در مرحله‌ای نسبتاً اولیه قرار دارد (Renouf و Kenway، ۲۰۱۷)، این پژوهش با آزمایش این چارچوب در کشور ایران به توسعه دانش موجود کمک می‌کند. به طور خاص، این پژوهش به بررسی مسائل مربوط به داده‌های مربوط به مطالعه مدیریت آب شهری می‌پردازد، همچنین بحث در مورد انواع و اشکال داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی متابولیسم آب شهری، گام زمانی، مقیاس، واحد و همچنین مطمئن بودن داده‌ها از نظر درستی و دقت از دیگر موارد مورد بررسی است.

معرفی مدل مفهومی متابولیسم شهری

در سال‌های اخیر کاربرد متابولیسم شهری در برنامه‌ریزی‌ها برای بهبود وضعیت آب، انرژی و بهره‌وری مواد افزایش یافته است. چارچوب متابولیسم شهری تصویری گسترده‌تر از جریان منابع و همچنین تجزیه و تحلیل کمی از ورودی‌ها و خروجی‌ها، وضعیت آب، انرژی، زیاله، مواد مغذی، آلاینده‌ها و سایر مواد را ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان مدل مفهومی و تحلیلی مورد استفاده قرار گیرد (Farooqui و همکاران، ۲۰۱۱؛ Kennedy و همکاران، ۱۹۶۵؛ Wolman، ۲۰۱۶؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۶). به صورت ساده متابولیسم شهری موازنه جرمی مواد موجود در سیستم شهری را در نظر می‌گیرد (Sahely و همکاران، ۲۰۰۳). متابولیسم شهری به سیاست‌گذاران شهری کمک می‌کند تا کارایی منابع را برای ارائه کالاها و خدمات با توجه به ظرفیت منطقه خود، ارزیابی کنند. متابولیسم شهری را می‌توان در مقیاس‌های مختلف از سطح جهانی تا شهر و خانوار استفاده کرد (Agudelo-Vera و همکاران، ۲۰۱۲؛ Jeong و Park، ۲۰۲۰). این نحوه حسابداری منابع همچنین به مقایسه شهرها با یکدیگر کمک می‌کند (Kennedy و همکاران، ۲۰۱۱). Fischer-Kowalski (۱۹۹۸) عقیده داشتند ایده متابولیسم شهری، قوی‌ترین پارادایم و رویکرد بین‌رشته‌ای برای بررسی تجربی روابط بین جامعه و محیط است. با وجود انجام مطالعات بسیاری در حوزه متابولیسم شهری در مورد منابع مختلف، آب توجه نسبتاً کمتری را به خود جلب کرده است (Park و Jeong، ۲۰۲۰). در متابولیسم شهری جریان‌های آب، مواد و انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد ولی متابولیسم آب شهری به بررسی جریان آب در سیستم می‌پردازد.

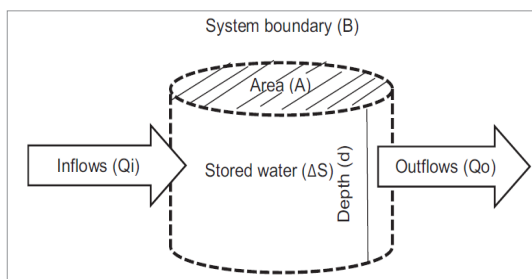
در تعریف متابولیسم آب شهری می‌توان گفت متابولیسم آب شهری، یک شهر را به عنوان سیستمی با مرزهای سه‌بعدی در نظر می‌گیرد که از موازنه جرمی برای تعیین تمام جریان‌های آب بین محیط زیست استفاده می‌کند. به این ترتیب می‌توان مشخص کرد این سیستم چگونه با محیط ارتباط برقرار می‌کند. مطالعه ذخایر منابع و تبادل‌های جریان آب در شهرها دیدگاهی را برای تحلیل سیستم‌های شهری و پتانسیل درک خودکفایی، کارایی و انعطاف پذیری ارائه می‌دهد. مزیت متابولیسم شهری را می‌توان در بررسی منابع مورد نیاز، در دسترس بودن، توجه به نرخ تغییر و انباشت دانست. متابولیسم شهری درکی از منابع (جریان‌های ورودی) مورد نیاز برای حفظ رشد و توسعه شهر، یا توانایی‌های شهر در جهت تنظیم جریان، جذب یا تصفیه مواد زائد و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌دهد.

چارچوب متابولیسم آب شهری نگاه جامعی از سیستم آب شهری را حاصل می‌کند. مهمترین چالش در تهیه یک مدل متابولیسم دقیق، جمع‌آوری و گردآوری داده‌ها است. این چالش‌های از موجود نبودن داده‌ها تا ناسازگاری در روش‌ها و قالب‌های جمع‌آوری و گزارش‌دهی داده‌ها، عدم قطعیت و قابلیت اطمینان داده‌ها را در بر می‌گیرد. علاوه بر آن یک شهر و سیستم آب آن رفتاری ماهیتی پویا دارند در صورتی که ویژگی پویا بودن جریان آب در مدل متابولیسم آب شهری در نظر گرفته نمی‌شود. هر چند این مدل نمی‌تواند جزئیات دقیق جریان پویای آب را شبیه‌سازی و مدل‌سازی کند ولی توانایی ارزیابی راندمان کلی آب را با در نظر گرفتن تمام داده‌های ورودی و خروجی دارد.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

شهر اصفهان بعد از تهران و مشهد سومین شهر بزرگ ایران است. این شهر در ارتفاع ۱۵۷۵ متر از سطح دریا، مرکز شهرستان و استان اصفهان است. محدوده شهری اصفهان شامل پانزده منطقه شهری است و در خارج از محدوده شهری نیز از سمت شمال به شاهین‌شهر از شرق به دشت سگری از جنوب کوه صفه و سپاهان شهر و از غرب به سمت خمینی‌شهر و نجف‌آباد محدود می‌شود. رودخانه زاینده‌رود که بزرگ‌ترین رودخانه فلات مرکزی محسوب می‌شود، با طول حدود ۳۶۰ کیلومتر از شهر اصفهان عبور می‌کند. این رود از ارتفاعات زردکوه بختیاری سرچشمه گرفته و در راستای غرب به شرق با عبور از شهر اصفهان و تقسیم آن به دو قسمت شمالی-جنوبی، به باتلاق گاوخونی که در ۱۴۰ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان قرار دارد می‌ریزد (Safavi و همکاران، ۲۰۱۵؛ شهرداری اصفهان، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۹). براساس گزارش مرکز آمار ایران جمعیت شهر اصفهان در یک دوره ۵۰



شکل ۲- تعریف محدوده سیستم (Kenway و همکاران، ۲۰۱۱)

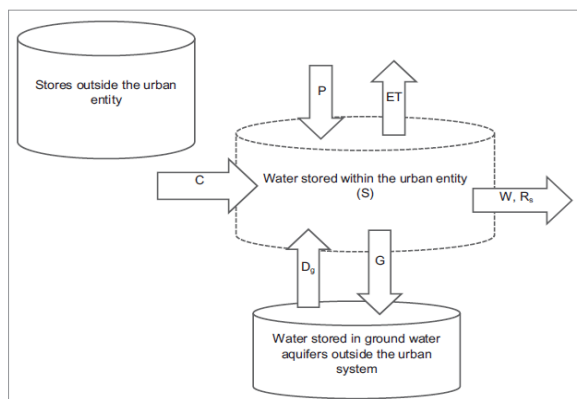
اگر B یک مرز سیستم تعریف شده باشد و A منطقه مرزی با عمق D باشد، موازنه جرمی آب بر اساس اصول پایستگی جرم برابر است با ورودی (Q_i)، منهای خروجی (Q_o) و تغییر در ذخیره (حجم یا جرم) ΔS در محدوده سیستم در طی یک دوره زمانی T_1-T_2 که می‌توان مانند رابطه (۱) بیان کرد.

$$\Delta S = (S_{t1} - S_{t2}) = Q_i(t_1 - t_2) - Q_o(t_1 - t_2) \quad (1)$$

برای یک سیستم مشخص، اگر بازه زمانی و محدوده سیستم تعریف شده باشد و تمام واحدها به‌عنوان جریان حجم یا جرم در واحد زمان بیان شوند، رابطه (۱) می‌تواند به شرح زیر ساده شود:

$$\Delta S = Q_i - Q_o \quad (2)$$

در شکل (۳) P: بارش، ET: تبخیر و تعرق، C: تأمین آب متمرکز، S: آب ذخیره‌شده توسط زیرسیستم‌های مختلف، W: فاضلاب، Rs: رواناب‌های سطحی، G: آب زیرزمینی، Dr: آب غیرمتمرکز ناشی از بارش باران و Dg: آب غیرمتمرکز ناشی از آب زیرزمینی است.



شکل ۳- چارچوب موازنه جرم آب با توجه به آب‌های زیرزمینی در زیر شهر و مخازن خارج از شهر (برگرفته از: Kenway و همکاران، ۲۰۱۱)

براساس رابطه (۲) و شکل (۳) خواهیم داشت:

$$S = (P + C + D_g) - (W + R_s + G + ET) \quad (3)$$

Kenway و همکاران (۲۰۱۱) این چارچوب موازنه جرمی آب را برای مطالعات موردی در شهرهای ملبورن، سیدنی، بریزبن، پرت و گولد کوست استرالیا برای ارزیابی پتانسیل گزینه‌های جایگزین تأمین آب به‌منظور تقویت جریان‌های متمرکز ورودی و کاهش

ساله ۶/۵ برابر شده است و از ۲۸۷۸۹۸ نفر در سال ۱۳۳۵ به ۱۹۶۱۲۶۰ نفر در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). مرز سیستم (شکل ۱) به‌عنوان مرز منطقه‌ای تعیین شده است که مناطق شهری و حریم آن را در بر می‌گیرد.

جدول ۱- ویژگی‌های شهر اصفهان

عنوان	مقدار
مساحت (Km^2)	۵۵۰٫۷۲
جمعیت (نفر)*	۱٫۹۶۱٫۲۶۰
بارش (mm)	۱۳۹
منبع اصلی آب	سد زاینده‌رود (رودخانه زاینده‌رود)

* بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ (مرکز آمار ایران ۱۳۹۵)



شکل ۱- مرز سیستم در محدوده شهری و حریم شهر اصفهان (شهرداری اصفهان ۱۳۹۹)

• روش تحلیل جریان مواد

اغلب پژوهش‌های گذشته از روش تحلیل جریان مواد^۴ (MFA) استفاده کرده‌اند. این روش جریان‌های کلی منابع (انرژی، مواد، غذا و آلاینده‌هایی مانند مواد مغذی و کربن) را فراهم می‌کند، به درک استفاده از منابع و روند آن‌ها در طول زمان کمک می‌کند و به گزارش‌گیری‌های محیط‌زیستی کمک می‌کند (Kennedy و همکاران، ۲۰۰۷؛ Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۶). اما وقتی صحبت از آب می‌شود MFA نمی‌تواند جریان‌های مجزا (مانند منابع آب غیرمتمرکز) یا جریان هیدرولوژیکی (مانند آب باران، نفوذ آب زیرزمینی، رواناب سطحی و تبخیر و تعرق) را یکپارچه در نظر بگیرد، بنابراین نمی‌تواند اطلاعاتی را برای بهبود مدیریت جامع منابع آب ارائه دهد. نخستین بار این موضوع را Kenway و همکاران (۲۰۱۱) توجه نمودند که یک چارچوب جامع موازنه جرمی آب شهری را برای درک بهتر جریان آب و جریان‌های مرتبط انرژی و مواد در یک شهر تهیه کردند. Kenway و همکاران (۲۰۱۱) اهمیت اساسی یک مرزبندی شفاف سیستم را برای تعریف حجم جریان در مرز سیستم و حجم ذخیره شده در محدوده توضیح دادند. در شکل (۲) نشان داده شده است (Kenway و همکاران، ۲۰۱۱).

جریان‌های خروجی استفاده کردند. این چارچوب شامل منابع جایگزین آب مانند آب باران، رواناب سطحی، فاضلاب، تأمین آب غیرمتمرکز، تبخیر و تعرق و نفوذ به آب‌های زیرزمینی بود. این چارچوب بعدها توسط Farooqui و همکاران (۲۰۱۶) با اضافه شدن جریان‌های دیگری مانند آب بازیافتی غیرمتمرکز در داخل و خارج از سیستم شهری تکمیل شد. اما Renouf و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کردند این چارچوب با ترکیب استفاده از آب برای خدمات اکوسیستمی، زمینه دیگری برای توسعه دارد. باین‌حال، آن‌ها بیان نکردند که چگونه این چارچوب می‌تواند جدا از نیاز به ترکیب استفاده از آب برای خدمات اکوسیستمی، در یک کشور درحال توسعه استفاده شود.

هر شهر از نظر مدیریت آب و موقعیت جغرافیایی ویژگی‌های منحصر به فرد خود را دارد. یک چارچوب ارزیابی متابولیسم آب شهری (UWMF)^۵ ممکن است بر اساس مشخصات شهری از یک شهر به شهر دیگر متفاوت باشد (مرز سیستم، انواع منابع آب ورودی، مصارف، استفاده مجدد، هدررفت، مقیاس، زمان و سایر عوامل). مطالعات گذشته نیز از مقیاس‌ها، رویکردها و دیدگاه‌های مختلف UWMF پیروی می‌کنند (Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Farooqui و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر آن، آخرین مدل ارزیابی متابولیسم آب شهری گسترش یافته نیز مؤلفه‌هایی مانند هدررفت آب را که یک مؤلفه قابل توجه در متابولیسم آب شهری در شهرهای درحال توسعه (۳۰ تا ۵۰ درصد کل جریان) و سایر مناطق جهان است در نظر نگرفته است (Mehta و همکاران، ۲۰۱۴)، همچنین تأثیر زیادی در چرخه هیدرولوژیکی دارد. یکی از شواهد این موضوع در مطالعه انجام شده توسط Mehta و همکاران (۲۰۱۴) قابل مشاهده است. آن‌ها با توجه به هدررفت آب در خطوط لوله و جریان بازگشتی با انجام فرضیاتی به دلیل دسترسی نداشتن به داده‌ها برای اندازه‌گیری جریان آب زیرزمینی در بنگلور، از یک مدل توده‌ای در یک چارچوب اجتماعی-اکولوژیکی استفاده کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد سطح آب‌های زیرزمینی در بنگلور در منطقه اصلی شهر افزایش یافته است، اما در حاشیه شهر که مردم کمبود آب بیشتری را تجربه می‌کنند و آب‌های زیرزمینی را استخراج می‌کنند این اتفاق نیفتاده است (Mehta و همکاران، ۲۰۱۴). از جمله دیگر جریان‌های آب در کشورهای درحال توسعه که در حال افزایش است، تأمین آب توسط خرده‌فروشان یا تانکرهای آب است. این شرکت‌ها در تأمین آب کافی برای مردم شهرها هم ناکام هستند. چنین مؤلفه‌هایی برای تحلیل جامع موازنه جرمی آب باید در UWMF گنجانده شوند.

Kenway و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند وجود یک مرز سیستم مشخص به تعریف و ترکیب تمام جریان‌های ورودی و خروجی آب در سیستم آب شهری کمک می‌کند (Kenway و همکاران

۲۰۱۱). قبل از Kenway و همکاران (۲۰۱۱) تعادل آب در حوضه شهری توسط Mitchell و همکاران (۲۰۰۳) و Sahely و همکاران (۲۰۰۳) شرح داده شده بود. آن‌ها تلاش کردند جریان‌های ورودی و خروجی کلیدی را در نظر بگیرند، اما به خاطر عدم وجود مرز سیستم بسیاری از مؤلفه‌ها را در تجزیه و تحلیل خود حذف کردند. علاوه بر آن‌ها Mitchell و همکاران (۲۰۰۳) از معادله موازنه آب برای درک عملکرد هیدرولوژیکی حوضه آبریز استفاده کردند، اما رویکرد آنان مناسب بررسی عملکرد در یک منطقه شهری نبود. اگرچه Sahely و همکاران (۲۰۰۳) به مرز سیستم توجه داشتند ولی این محدوده مرزی برای منطقه بزرگی از تورنتو در نظر گرفته شد. همچنین آن‌ها فاضلاب و رواناب‌های سطحی را با هم دیگر به عنوان یک خروجی در نظر گرفتند که در کنار جریان‌های دیگر قابل تشخیص نیستند. همچنین Kenway و همکاران (۲۰۱۱) و Paul و همکاران (۲۰۱۸) تعدادی شاخص عملکردی از جمله متمرکزسازی تأمین، قابلیت جایگزینی تأمین از منابع متمرکز و قابلیت جایگزینی استفاده از فاضلاب، آب باران و رواناب‌های سطحی در مصرف کل آب را تعریف کردند و روش‌هایی را برای محاسبه این شاخص‌ها برای یک شهر توسعه دادند که در جدول (۲) آمده است.

آن‌ها این شاخص‌ها را در تعدادی از شهرهای استرالیا به کار بردند و مشاهده شد بین شهرهای مختلف در جمع‌آوری آب باران از ۰/۱ تا ۲۲ درصد، در جایگزینی منابع متمرکز با آب باران ۲۵۷ تا ۳۹۷ درصد، در پتانسیل جایگزینی و استفاده مجدد از پساب ۲۶ تا ۸۶ درصد، در پتانسیل استفاده مجدد از آب سطحی ۴۷ تا ۱۰۴ درصد و در استفاده مجدد از جریان‌های ورودی انسان‌ساخت بین ۱ تا ۴ درصد در سال ۲۰۰۴-۲۰۰۵ تفاوت وجود دارد. این شاخص‌ها نشان می‌دهد این شهرها به طور مناسب برای استفاده کامل از پتانسیل این جریان‌های قابل توجه، طراحی نشده‌اند و به تأمین آب شیرین از منابع متمرکز وابسته هستند. همان‌طور که پیش‌از این اشاره شد، UWMF به عوامل مختلفی در یک محیط شهری خاص بستگی دارد و جریان‌های مختلف آب در داخل و خارج از شهر را در نظر می‌گیرد. همچنین شاخص‌های جدیدی نیز مانند بازیابی هدررفت آب قابل تعریف هستند و می‌توانند به شاخص‌های مهم عملکرد آب شهری در یک کشور درحال توسعه تبدیل شوند. براساس بررسی مطالعات پیشین مشاهده شد که چارچوب متابولیسم شهری ساخته شده مبتنی بر موازنه جرمی آب کارایی لازم را برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده آب شهری دارد، ولی این چارچوب تا به حال برای یک شهر واقعی در یک کشور درحال توسعه پیاده‌سازی نشده است. چارچوب متابولیسم آب شهری Kenway و همکاران (۲۰۱۱) که توسط Farooqui و همکاران (۲۰۱۶) توسعه داده شد بر روی یک شهر فرضی در استرالیا اجرا شده است.

جدول ۲- شاخص‌های عملکردی و تعریف آن‌ها (Kenway و همکاران، ۲۰۱۱؛ Paul و همکاران، ۲۰۱۸)

شاخص	روش محاسبه	رابطه
سیستم‌های متمرکز آب	تأمین متمرکز آب (%)	$C/(C+D) \times 100$
پتانسیل جمع‌آوری آب باران (%)	آب تأمین‌شده از منابع متمرکز / مصرف آب کل	$D/P \times 100$
پتانسیل استفاده از آب باران	قابلیت جایگزینی با سیستم متمرکز	$P/C \times 100$
پتانسیل استفاده مجدد از پساب	قابلیت جایگزینی برای کل مصارف	$P/(C+D)$
پتانسیل استفاده از رواناب سطحی	قابلیت جایگزینی با سیستم متمرکز	$W/C \times 100$
پتانسیل استفاده از رواناب سطحی	قابلیت جایگزینی برای کل مصارف	$W/(C+D)$
شبکه درهم فاضلاب و رواناب سطحی	پتانسیل قابلیت جایگزینی برای کل مصارف	$R_p/C \times 100$
	پتانسیل بازگردانی هدررفت آب برای جایگزینی مصارف آب کل	$R_p/(C+D)$
	پتانسیل قابلیت جایگزینی برای کل مصارف	$(W+R_p)/(C+D) \times 100$
	پتانسیل بازگردانی هدررفت آب برای جایگزینی مصارف آب کل	$C_{WL}/(C+D) \times 100$

• چارچوب متابولیسم آب شهری

در این مطالعه، براساس چارچوب‌های متابولیسم آب شهری که Kenway و همکاران (۲۰۱۱) و Renouf و همکاران (۲۰۱۸) ساختند، چارچوب جدیدی با اضافه شدن آب بدون درآمد و سایر منابع برای سازگاری با شرایط یک کشور درحال توسعه مانند ایران توسعه داده شده و ارتقا یافته است. رابطه (۴) این چارچوب را نشان می‌دهد. جریان‌های انسان‌ساخت، که توسط زیرساخت‌های آب شهری اداره می‌شوند، شامل منابع آب متمرکز و غیرمتمرکز، جریان فاضلاب، هدررفت آب و جریان بازچرخانی شده هستند. جریان هیدرولوژیکی طبیعی شامل بارش، رواناب سطحی، نفوذ به آب‌های زیرزمینی و تبخیر و تعرق است. براساس اصل تعادل جرم، کل جریان‌های ورودی باید از نظر تئوری با کل خروجی‌ها در مرز سیستم و در کلیه فرآیندهای اصلی سیستم آب شهری برابر باشند. فرض بر این بود که هیچ تغییری در ذخیره آب مانند خاک یا مخازن ایجاد نشده است.

(۴) $P+C+D+Re=ET+SW+WW+NRW+G+Re+\Delta S$

که در آن، P: آب باران جمع‌آوری نشده در محدوده شهری، C: کل آب متمرکز (خارجی) تأمین‌شده از آب‌های سطحی (C_s) و آب زیرزمینی (C_g)، D: کل منابع آب غیرمتمرکز (داخلی) برداشت شده از بارش (D_p) و آب چاه (D_g)، ET: تبخیر و تعرق از محدوده درون شهری، SW: رواناب سطحی که از محدوده سیستم تخلیه می‌شود، WW: فاضلاب تخلیه شده از محدوده سیستم، به استثنای بخشی که بازیافت شده است، NRW: آب بدون درآمد شامل هدررفت و مصارف غیرمجاز و مجاز بدون درآمد، G: نفوذ به آب‌های زیرزمینی، Re: استفاده مجدد و بازچرخانی فاضلاب و S: تغییر در آب ذخیره‌شده در سیستم است. یکی از نکات مهم در مدیریت آب شهری، مدیریت جریان‌های مختلف آب

• داده‌های مدل متابولیسم آب شهری

داده‌های مورد نیاز براساس چارچوب موازنه جرمی آب که در رابطه (۵) بیان شد جمع‌آوری شده‌اند. باتوجه به در دسترس بودن داده‌ها، دوره زمانی فروردین تا اسفند سال ۱۳۹۸ برای پژوهش در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است داده‌های سال‌های دیگر نیز برای کشف روندهای زمانی و ارزیابی قابلیت اطمینان داده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های مربوط به آب زیرزمینی از گزارش‌های دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب برداشت شده است. داده‌های مصارف آب و آب سطحی، تولید فاضلاب و استفاده مجدد از فاضلاب نیز از سالنامه آماری شهر اصفهان منتشرشده توسط شهرداری اصفهان براساس اطلاعات شرکت آب و فاضلاب اصفهان جمع‌آوری شده است. برای برآورد اندازه جریان‌های هیدرولوژیکی طبیعی مانند بارش (P)، رواناب سطحی (SW)، نفوذ به آب‌های

زیرزمینی (G) و تبخیر و تعرق (ET) از داده‌ها و روابط موجود و پژوهش‌های پیشین استفاده شده است. مساحت محدوده سیستم، جمعیت، آب‌وهوا و بارندگی و سایر پارامترها نیز از گزارش‌های مختلف، مقاله‌ها و اسناد رسمی مانند گزارش سنتز مطالعات آمایش استان اصفهان منتشر شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، گزارش سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ منتشر

شده توسط مرکز آمار ایران و سالنامه اقلیمی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ منتشر شده توسط اداره کل هواشناسی استان اصفهان جمع‌آوری شده‌اند. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای مدل متابولیسم آب شهری اصفهان در جدول (۳) آمده است. باتوجه به این تنوع داده‌ها، متابولیسم آب شهری برای شهر در شکل (۴) ترسیم شده است.

جدول ۳- مقادیر داده‌ها و اطلاعات موردنیاز برای مدل متابولیسم آب شهر اصفهان

دسته	عنوان	مقدار
اطلاعات محلی	مساحت (Km^2)	۵۵۰٫۷۲
	جمعیت تحت پوشش شبکه آب (نفر)*	۱٫۹۶۱٫۲۶۰
	تعداد مشترکین دسترسی به آب آشامیدنی	۴۲۶٫۹۹۰
	متوسط جمعیت هر خانوار	۴/۵۹
منابع آب	سرانه منابع آب سطحی در دسترس ($\text{m}^3/\text{year/capita}$)	۱۴۸
	مقدار آب زیرزمینی در دسترس (MCM/year)	۱۳۷
	تعداد منابع آب سطحی	۱
	تعداد منابع آب زیرزمینی (چاه)	۵۴
	ظرفیت تولید آب سطحی (مترمکعب)	۱۶۱٫۵۳۳٫۳۱۱
	ظرفیت تولید آب زیرزمینی (مترمکعب)	۱۲٫۷۷۴٫۰۴۷
	مجموع ظرفیت تولید آب (مترمکعب)	۱۷۴٫۳۰۷٫۳۵۸
	هدر رفت آب (%)	۱۶
	سرانه آب مصرفی مسکونی (لیتر بر روز)	۱۴۹
	سرانه آب مصرفی کل (لیتر بر روز)	۱۹۸
نیاز آبی		

• شاخص‌های عملکرد آب شهری

این پژوهش بر روی دو هدف خاص، راندمان آب و خودکفایی (تأمین از منابع داخلی یا عدم وابستگی به منابع خارجی) متمرکز شده است، که هر دو مربوط به اطمینان از تأمین کارآمد و پایدار آب هستند (Renouf و همکاران، ۲۰۱۷). برای ارزیابی عملکرد آب شهری، در این پژوهش براساس نتایج متابولیسم آب شاخص‌های مصرف آب، شدت استخراج آب، تأمین آب از منابع داخلی، پتانسیل سایر منابع آب برای جایگزینی و نرخ جریان‌های انتقالی ورودی محاسبه شده است (Farooqui و همکاران، ۲۰۱۶؛ Renouf و همکاران، ۲۰۱۸). شدت مصرف آب، به‌ازای مصرف آب هر فرد اندازه‌گیری می‌شود و می‌توان آن را به مصرف آب در بخش‌های مختلف مانند مصارف شهری، خانگی یا صنعتی تفکیک کرد. این شاخص هم منابع آب متمرکز و هم غیرمتمرکز در کل محدوده شهری از جمله هدررفت آب را در نظر می‌گیرد، درحالی‌که شدت استخراج آب نشانگر برداشت آب از منابع متمرکز است. شدت استخراج آب به‌صورت نرخ برداشت آب خارجی به‌ازای هر نفر در سال محاسبه می‌شود ($\text{m}^3/\text{year/capita}$). وابسته نبودن به منابع

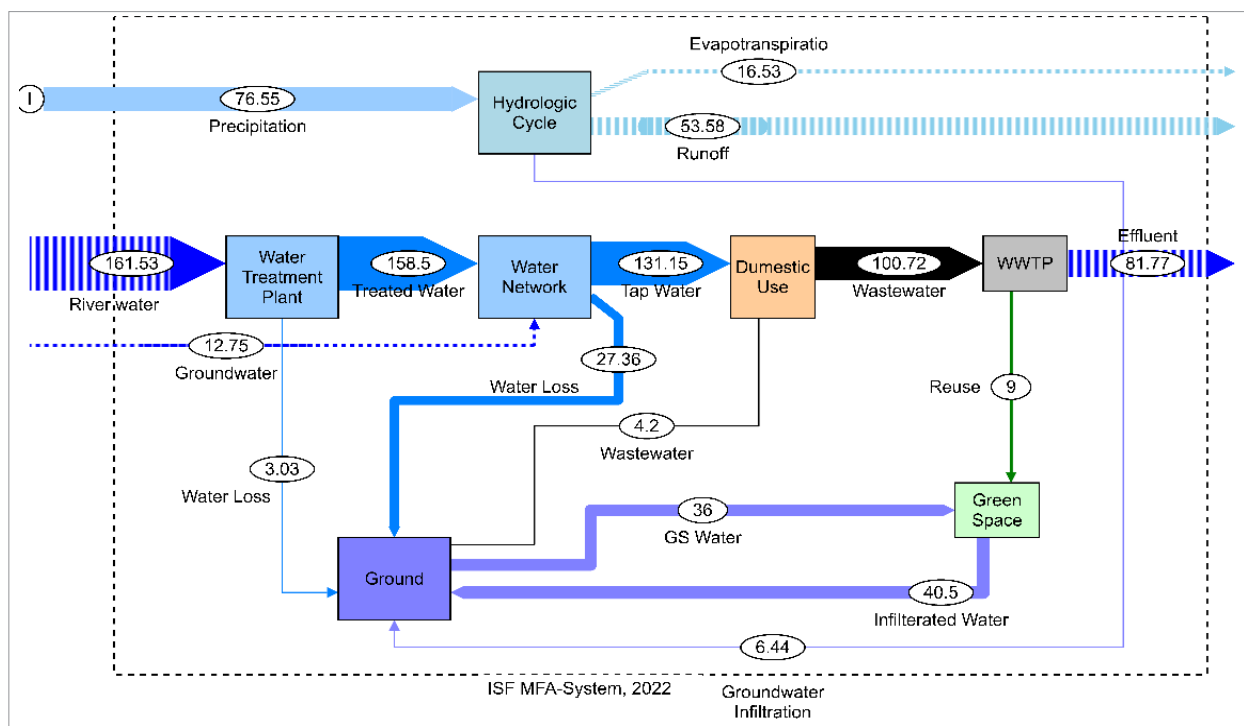
آب خارجی و داخلی‌سازی آب‌رسانی نشان‌دهنده میزان استفاده از منابع آب جایگزین است. این شاخص به‌عنوان سهم کل تقاضای آب شهری که در داخل از طریق برداشت آب باران، استفاده از آب خاکستری یا استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده تأمین شده است بیان می‌شود. شاخص‌های پتانسیل به عنوان نسبت منابع جایگزین آب به کل تقاضای آب محاسبه می‌شوند. علاوه بر این شاخص‌ها، میزان آب انتقالی ورودی از خارج حوضه نیز محاسبه شد، که نسبت میزان واردات آب در مقایسه با کل تقاضای آب به صورت ویژه برای ارزیابی خودکفایی یک سیستم آب شهری یا میزان وابستگی به مناطق دیگر برای تأمین آب است.

نتایج

پس از ترسیم مدل متابولیسم آب شهر اصفهان مانند شکل (۴) مشاهده می‌شود این سیستم جریان خطی دارد، به این معنا که آب باران و فاضلاب تولید شده بدون استفاده بیشتر تخلیه و از سیستم خارج می‌شود. این امر باعث می‌شود شهر اصفهان

در برابر هرگونه خطری که ممکن است در دسترس بودن آب و دسترسی به رودخانه زاینده‌رود را کاهش دهد، آسیب پذیر باشد. ترسیم جریان در چارچوب مدل متابولیسم آب شهری کمک می‌کند تا دید یکپارچه، همه‌جانبه و کلی‌نگری به سیستم آب شهری حاصل شود و بتوان از نظر کمی بهره‌وری مصرف آب را بررسی و سیاست‌های مدیریتی جدیدی تعریف کرد. با بررسی شکل (۴) می‌توان دریافت مصرف آب شهری اصفهان در سال ۱۳۹۸ تقریباً دو برابر حجم بارش بوده است. بیش از ۸۰ درصد نیاز آبی شهر از خارج تأمین می‌شود (منابع آب ورودی به سیستم شامل خط انتقال از آب سد و آب زیرزمینی و بارش) و این نشان می‌دهد شهر اصفهان در تأمین منابع آب خود، خودکفا نیست. اگرچه در سال‌های اخیر سعی در توسعه استفاده از منابع آب جایگزین مانند استفاده از پساب تصفیه شده و استفاده از آب خاکستری انجام گرفته است ولی این کارها کافی نیست و این شهر در درجه اول به برداشت آب از رودخانه و سد متکی است. داخلی‌سازی تأمین آب در اصفهان تنها ۳ درصد بود (شامل استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده در فضای سبز شهری) (جدول ۴). برنامه‌ای برای جمع‌آوری و استفاده از آب باران در این شهر وجود ندارد، ۲۱ درصد بارش‌ها تبخیر، حدود ۷۰ درصد به‌صورت رواناب روی زمین جاری می‌شود و تنها ۹ درصد در زمین نفوذ می‌کند. علاوه‌براین از این حجم آب استفاده‌ای نمی‌شود، هر ساله مشکلات متعددی از آبگرفتگی

معاير و بالا‌زدگی فاضلاب را ايجاد می‌کند. باتوجه‌به پاسخگو نبودن ظرفیت شبکه آب‌های سطحی در مواقع بارندگی شدید، آب باران به شبکه جمع‌آوری فاضلاب هدایت می‌شود که این کار باعث پس‌زدگی فاضلاب در انشعابات فاضلاب زیر تراز ۶۰ سانتی‌متر یا انشعابات قدیمی خواهد شد و حتی ورود با فشار آب به شبکه فاضلاب می‌تواند سبب ریزش لوله‌های بتنی شبکه شود. از سوی دیگر شن، نخاله و زباله نیز همراه رواناب‌ها وارد شبکه فاضلاب می‌شود، بنابراین شبکه دچار گرفتگی و در نهایت پس‌زدگی فاضلاب خواهد شد. از آنجایی‌که اصفهان حجم بالایی فاضلاب خانگی تولید می‌کند، از نظر تئوری امکان تأمین بخش زیادی از تقاضای آب توسط فاضلاب تصفیه شده (پتانسیل فاضلاب تصفیه‌شده ۶۸/۸٪) امکان پذیر است و با در نظر گرفتن ملاحظه‌های بهداشتی می‌توان اغلب مصارف شهری به جز مصارف شرب و بهداشتی را از این طریق پوشش داد. درحالی‌که جریان آب اصفهان طی سال‌های گذشته خطی بوده است ولی مصرف آب آن کارآمدتر شده است. بررسی زمانی از متابولیسم آب شهری اصفهان نشان داد شدت مصرف آب از حدود ۳۸۲ مترمکعب در سال به‌ازای هر مشترک در سال ۱۳۸۸ به ۳۴۳ مترمکعب در سال به‌ازای هر مشترک در سال ۱۳۹۸ کاهش یافته است. آموزش و افزایش آگاهی اجتماعی و کاهش آب بدون درآمد و هدررفت آب که با ارتقا و نگهداری زیرساخت‌های آب امکان‌پذیر می‌شود از دیگر محرک‌های افزایش بهره‌وری است.



شکل ۴- متابولیسم آب شهری اصفهان

• وضعیت متابولیسم آب شهری اصفهان در مقایسه با چند شهر دنیا

مشاهده می‌شود شدت مصرف آب و شدت استخراج آب اصفهان در مقایسه با سایر شهرها بالاست. این موضوع نشان‌دهنده الگوی مصرف آب بالا در این شهر است که نیاز به اصلاح دارد. باتوجه به کاهش پتانسیل بارش و خشکسالی‌های چند سال اخیر در این منطقه که پیامدهای اجتماعی و گاهی اعتراض‌های مردمی را نیز در پی داشته است افزایش بهره‌وری و کاهش فشار بر منابع و استخراج آب این شهر باید از اولویت‌های تصمیم‌گیران قرار گیرد. شهرهای با جمعیت بیشتر و بافت مسکونی پتانسیل فاضلاب بالاتری دارند. اصفهان در مقایسه با شهرهای پرجمعیت مانند ملبورن و بنگلور پتانسیل فاضلاب بالاتری را نشان می‌دهند. در شهر ملبورن تقریباً ۲۶ درصد آب در بخش مسکونی مصرف

می‌شود. شهر سئول نیز به دلیل ساختار مصرف‌کنندگان آب آن که بیشتر مصارف خانگی است بیشترین پتانسیل فاضلاب را دارد. در میان این شهرها، شهر بنگلور باتوجه به میزان بارندگی، باران‌های موسمی و آب‌وهوای معتدل و مرطوب، با وجود سیستم‌های جمع‌آوری آب باران بالاترین میزان تأمین داخلی آب را دارد. در نتیجه تأمین آب آن نسبتاً پایدار است و شهر اصفهان کمترین میزان تأمین داخلی و خودکفایی را دارد. با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر پتانسیل آب باران اصفهان نیز از حدود ۶۴ درصد در سال ۸۸ به ۵۲/۳ درصد در سال ۹۸ رسیده است ولی همچنان پتانسیل بالایی محسوب می‌شود و نیازمند توجه و برنامه‌ریزی برای استفاده است. شهر ملبورن استرالیا نیز پتانسیل بالایی برای استفاده از آب باران دارد ولی نزدیک به ۸ درصد از بارش‌ها داخل زمین نفوذ می‌کند و بقیه به‌صورت رواناب از سیستم خارج یا تبخیر می‌شود. در سال ۲۰۱۴ حدود ۱/۵ درصد از فاضلاب تولیدی شهر ملبورن نیز بازچرخانی و مورد استفاده مجدد قرار گرفته بود.

جدول ۴- شاخص‌های عملکردی متابولیسم آب شهر اصفهان و مقایسه با چند شهر دنیا

شاخص	اصفهان	سئول	ملبورن	بنگلور	دهلی
سال	۱۳۸۸	۱۳۹۸	۲۰۱۳-۲۰۱۴	۲۰۱۳-۲۰۱۴	۲۰۱۶
جمعیت (میلیون نفر)	۱/۷۹	۲/۰۲	۴/۳۵	۹/۵	۱۷/۳۵
شدت مصرف آب (m ³ /capita/year)	۱۲۱/۷	۱۰۸/۲۳	۱۰۷	۷۹/۷	۵۳/۶
شدت استخراج آب (m ³ /capita/year)	۱۰۵/۴۶	۸۶/۱۸	۹۰	۴۲/۶	۴۰/۵
تأمین داخلی آب (%)	۰	۳	۱۶	۴۸	۲۴/۵
پتانسیل آب باران (%)	۶۳/۹۲	۵۲/۳	۴۸۹	۸	۶۵/۳
پتانسیل فاضلاب (%)	۶۸	۶۸/۸	۵۸	۵۵	۷۸/۲
نرخ واردات آب (%)	۳۳	۳۶/۴۲	-	-	-

• مدیریت منابع آب جایگزین در شرایط فعلی و آینده

در سال‌های اخیر باتوجه به بروز مشکلات شدید ناشی از کم‌آبی در مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی و تأمین نشدن حق آبه محیط زیستی تالاب گاوخونی که ناشی از دو عامل اصلی متناسب نبودن تقاضا با ظرفیت منابع آب و کاهش بارش و خشکسالی است، منابع آب جایگزین مانند پساب تصفیه شده، آب باران و آب خاکستری بسیار پراهمیت شده‌اند. براساس برنامه عملیاتی شهر اصفهان حدود ۳۵ درصد از منابع آبی فضای سبز از طریق پساب تأمین خواهد شد. برای استفاده از این منابع احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تکمیلی و توسعه ظرفیت تصفیه‌خانه‌های موجود در دستور کار قرار گرفته و در حال بهره‌برداری است. همچنین در راستای استفاده از آب خاکستری دستگاه‌های اجرایی استان در تدوین «سند اجرایی تصفیه و بازچرخانی آب‌های خاکستری» همکاری دارند تا بتواند ساختمان‌های با مساحت بیش از ۲۰۰۱ متر

مربع و شش طبقه به بالا را متعهد به تصفیه، ذخیره‌سازی و پمپاژ آب‌های خاکستری تصفیه شده کنند. در راستای طرح‌های کارگروه سازگاری با کم‌آبی استان اصفهان نیز کاشت گونه‌های گیاهی سازگار با اقلیم این منطقه در فضای سبز شهر انجام شده و کاشت درختان کم‌آبر در طرح‌های جدید در دستور کار سازمان پارک‌ها و فضای سبز اصفهان قرار گرفته است.

وجود برنامه‌ریزی و توسعه اجرای طرح‌های استفاده از پساب تصفیه‌شده در آبیاری فضای سبز، مصارف صنعتی و تغذیه منابع آب زیرزمینی نشان دهنده پیگیری جدی هدف استفاده مجدد از فاضلاب است. براساس جدول (۳) فاضلاب پتانسیل بالایی برای تأمین نیاز آبی شهر دارد و در صورت برنامه‌ریزی صحیح و جایگزینی در مصارف مناسب می‌تواند نقش پررنگی در بهبود شرایط آبی شهر اصفهان داشته باشد. در مورد آب خاکستری و آب باران نیز مشاهده شد استفاده قابل توجهی از این منابع انجام نگرفته است و این

ظرفیت‌ها بدون استفاده از سیستم خارج می‌شوند و حتی با آب گرفتگی معابر چالش‌هایی را برای شهروندان و نظام خدمات شهری ایجاد می‌کنند. در نمونه‌های مشابه کشورهای خارجی عوامل مهمی مانند عدم تقاضا به دلیل نرخ پذیرش پایین و احساس منفی نسبت به کیفیت آب، عدم جذابیت اقتصادی به دلیل هزینه نگهداری بالا و نقص عملکرد و کمبود بهره‌برداران حرفه‌ای مانع گسترش سیستم‌های جمع‌آوری آب باران و آب خاکستری در ساختمان‌های مسکونی بوده است (Seoul Metropolitan Government, 2013) که با فراهم کردن پیش‌نیازهای قانونی، اقتصادی و اجتماعی می‌توان تمایل به استفاده از این منابع را نیز افزایش داد.

• مزایا و محدودیت‌های چارچوب متابولیسم آب شهری

چارچوب متابولیسم آب شهری درک مناسبی از ساختار جامع سیستم‌های آب شهری را نمایش می‌دهد. استراتژی‌های مدیریت آب باید متناسب با شرایط هر منطقه باشد. مشاهده شد شهر اصفهان جریان آب خطی دارد (یعنی تأمین آب از منابع داخلی کم است) و در درجه اول وابستگی به برداشت آب سد و رودخانه زاینده‌رود دارد. این ساختار متابولیک آب ناپایدار باعث شده است شهر اصفهان درگیر چالش‌های زیادی مانند انتقال آب از شهرهای اطراف و انجام هزینه‌های بالاتر شود. از آنجایی که پتانسیل تقاضای بالایی برای آب در بخش صنعت و کشاورزی در اطراف شهر اصفهان وجود دارد، این شهر باید تمرکز ویژه‌ای بر ترویج و گسترش بازچرخانی فاضلاب برای مصارف صنعتی، کشاورزی و فضای سبز داشته باشد. تأمین آب این مصارف از منابع آب جایگزین، در مقابل شرایط را برای استفاده از منابع آب محدود سطحی و زیرزمینی بهبود می‌بخشد و از فشار وارده بر این منابع می‌کاهد. البته توجه به تغذیه منابع آب زیرزمینی و احیای آبخوان‌ها نکته مهم دیگری است که نباید به آن بی‌توجهی شود و ساماندهی رواناب‌های سطحی و نفوذ آن‌ها به داخل زمین در محدوده شهری راه‌حل مناسبی برای این موضوع خواهد بود. داخلی‌سازی بالاتر باعث کاهش برداشت آب از منابع خارجی و کاهش رواناب سطحی و همچنین آلودگی و تخلیه فاضلاب می‌شود. فاضلاب تصفیه شده می‌تواند علاوه بر حفاظت از رودخانه برای برآورده کردن نیازهای جریان محیط‌زیستی نیز استفاده شود. با این حال، انتظار می‌رود با افزایش جمعیت، تقاضای آب نیز افزایش یابد، درحالی که سطح و کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی رو به کاهش است برای پاسخ به این تغییرات، پژوهش‌ها و کارهای تکمیلی در مورد آلودگی‌ها و مدیریت مواد مغذی مورد نیاز خواهد بود.

شاخص‌های عملکردی به دست آمده از متابولیسم آب شهری به ارزیابی وضعیت مدیریت آب شهری کمک می‌کنند. در این پژوهش مجموعه‌ای از شاخص‌های مربوط به راندمان آب و خودکفایی محاسبه شد. یکی از شاخص‌ها شدت مصرف آب بود، که ممکن

است با سرانه آبرسانی اشتباه شود. سرانه آبرسانی، تنها تأمین سرانه آب لوله‌کشی را اندازه‌گیری می‌کند، ولی شاخص شدت مصرف آب مورد استفاده در مطالعه نشان دهنده تمام منابع ورودی آب به محدوده سیستم از جمله آب لوله‌کشی، آب‌های زیرزمینی و منابع آب جایگزین است. این رویکرد نشان می‌دهد چارچوب متابولیسم آب شهری با ارائه تصویری جامع از جریان آب شهری به ارزیابی عملکرد آب شهری کمک می‌کند. شاخص‌های عملکرد همچنین امکان مقایسه سریع عملکرد شهرها را همانطور که در جدول (۳) نشان داده شده است فراهم می‌کنند. همچنین، موازنه جرمی مورد استفاده برای ساخت یک متابولیسم شهری در بررسی داده‌های مفقود (به عنوان مثال نشت آب و هدررفت در برخی موارد) و بررسی قابلیت اطمینان داده‌ها مفید است. در واقعیت جریان ورودی باید با جریان خروجی برابر باشد (Kenway, 2011). در این پژوهش تفاوت بین جریان ورودی و خروجی حدود ۱۹/۵ درصد بود. بخشی از این تفاوت را می‌توان ناشی از تفاوت در محاسبه مقدار نفوذ به آب‌های زیرزمینی، خطا در ضریب فرضی رواناب و محاسبه حجم جریان‌های ناشی از بارندگی و نفوذ به سیستم فاضلاب و دقت پایین سایر داده‌ها دانست. Paul و همکاران (2018) برای شهر بنگلور و Jeong و Park (2020) برای شهر سئول تفاوت مقدار جریان‌های ورودی و خروجی به ترتیب ۱۷/۵ و ۲۹ درصد گزارش شده است. Jeong و Park (2020) نبود تخمین‌های کافی از مقدار نفوذ و رواناب و منابع نامشخص آن‌ها را از دشواری‌های محاسبات دانسته و نبود تطابق در اندازه‌های پارامترهای گزارش شده توسط نهادهای مختلف را از عوامل بروز این خطا دانسته اند. با این حال، داده‌ها، در هر صورتی که جمع‌آوری شوند مانند اندازه‌گیری مستقیم، مدل‌سازی و گزارش خوداظهاری، عدم قطعیت‌های ذاتی دارند. به‌طور کلی، جریان‌های رواناب سطحی، نفوذ به آب زیرزمینی و جریان تخلیه شده به محیط‌زیست به دلیل فرضیات ما در رابطه با تبدیل داده‌ها، میزان عدم قطعیت و عدم اطمینان زیادی دارند. درحالی که متابولیسم آب شهری تصویری جامع از مدیریت آب شهری را براساس آمار ملی موجود ارائه می‌دهد، در تهیه یک مدل متابولیک دقیق، چالش‌ها و محدودیت‌های مختلفی وجود دارد. از آنجایی که آمار منابع مختلف با استفاده از روش‌ها و قالب‌های مختلف جمع‌آوری داده‌ها گردآوری شده است، یکپارچه‌سازی چنین داده‌هایی باعث ناسازگاری و تفاوت می‌شود. محدوده داده‌ها اغلب شفاف نبود و پرسش‌هایی در مورد همپوشانی و نقاط تکراری داده‌ها مطرح می‌شد. همچنین واحدها و مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری چالش‌هایی را برای رویکرد متابولیسم آب ایجاد کردند. برخی از داده‌ها، به ویژه داده‌هایی که از طریق نظرسنجی و گزارش‌های خوداظهاری گردآوری شده‌اند، ممکن است قابلیت اطمینان بالایی نداشته باشند. از آنجایی که این آمار و اطلاعات به منظور ایجاد یک متابولیسم جامع آب شهری

تولید نشده و از مجموعه داده‌ها و گزارش‌های مختلف جمع‌آوری شده است، ممکن است با اطلاعات ناقص به‌عنوان مثال در مورد منابع یا مصارف خاصی از آب همراه باشد. برای گنجاندن چنین اطلاعاتی در مدل و تکمیل و یکنواخت کردن اطلاعات، نیاز به پژوهش‌های اضافی در زمینه متابولیسم وجود دارد. در شرایطیکه اطلاعات دقیق در دسترس نبود، منطقی‌ترین فرضیات در نظر گرفته شده و محاسبات انجام گرفته است. این موضوع نیاز به ایجاد یک پلتفرم داده آب هماهنگ، یکپارچه و استاندارد را پررنگ‌تر می‌کند. علاوه بر این، اساس ایجاد و محاسبه متابولیسم آب فرآیندی پیچیده است، زیرا آب از طریق یک چرخه هیدرولوژیکی پویا در جریان است و داده‌های جریان طبیعی آب، به‌ویژه رواناب‌های سطحی، تبخیر و تعرق و نفوذ به آب‌های زیرزمینی، باید با استفاده از سایر پژوهش‌ها و مدل‌سازی وارد مدل متابولیسم شوند. در این شرایط ویژگی پویا بودن جریان طبیعی آب در مدل متابولیسم شهری ساده شده و نادیده گرفته می‌شود. اگرچه چارچوب متابولیسم شهری نمی‌تواند جریان پویای آب را با جزئیات زیاد مدل کند، ولی می‌تواند راندمان کلی آب را ارزیابی کند، زیرا تمام داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد که هر کدام چنین جریان‌هایی هستند (به‌عنوان مثال جریان ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب شامل برخی از جریان‌های آب باران و نفوذ آب زیرزمینی می‌شود و پیوستگی آن‌ها در مدل لحاظ می‌شود).

• پژوهش‌های آینده

با استفاده از آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده به‌صورت سالانه، مدل متابولیسم آب شهری برای شهر اصفهان ساخته شد. این مطالعه اولین مطالعه کاربردی و واقعی متابولیسم آب شهری بر روی شهرهای ایران است. اگر داده‌های با دقت و جزئیات بالاتر در دسترس باشد، متابولیسم آب می‌تواند به‌صورت فصلی، ماهانه و یا در سطح منطقه بازسازی شود. این امر به‌ویژه برای بررسی شرایط کم آبی، مانند دوره‌های خشک‌سالی یا فصول مختلف سال مفید خواهد بود. دقت مدل متابولیسم آب را می‌توان با داده‌های با کیفیت بالاتر که در بخش‌های تأمین آب، تصفیه‌خانه فاضلاب و سایر بخش‌ها استاندارد و یکنواخت شده‌اند، افزایش داد. مطالعات تکمیلی و جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر که بخشی از عوامل زمینه‌ای و فرآیندهای سیستم آب شهری را روشن‌تر کنند، می‌توانند به ارزیابی کمی عدم قطعیت در جریان کمک کنند (Laner و همکاران، ۲۰۱۶). یکپارچه‌سازی و هماهنگی بیشتر نهادی در مدیریت آب و تلاش برای ارتقاء مدیریت یکپارچه منابع آب که در برنامه محیط‌زیست سازمان ملل نیز به آن اشاره شده است (United Nations، ۲۰۱۸a)، به همراه استفاده از فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی برای مدیریت جریان آب در طول چرخه عمر خود، در درجه اول به مدیریت

یکپارچه داده‌ها و در نهایت به توسعه حساب‌های دقیق‌تر و جامع آب کمک می‌کند. این مطالعه بر ساخت مدل متابولیسم آب شهری بر اساس داده‌های فیزیکی جریان آب متمرکز بود، اما می‌توان در راستای تکمیل و ارتقای مدل، تجزیه و تحلیل مواد مغذی، آلاینده‌ها و یا هزینه‌ها را نیز به مدل اضافه کرد. با ادغام یکپارچه‌سازی متابولیسم آب و بررسی جریان مواد مغذی مانند نیتروژن، مسئله کیفیت آب زیرزمینی ممکن است بهتر درک شود. تحلیل جریان مواد ایزاری است که به‌طور گسترده در سیستم‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی به‌کار رفته است و همچنین می‌تواند در سیستم‌های آب نیز به‌کار گرفته شود (Jakrawatana و همکاران، ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری

متابولیسم شهری می‌تواند یک رویکرد جامع برای ارزیابی مدیریت آب شهری و تکمیل روش‌های دیگر فراهم کند. با تکیه بر پژوهش‌های اخیر در مورد متابولیسم آب شهری، در این پژوهش یک نمونه تجربی و واقعی متابولیسم آب شهری برای شهر اصفهان ارائه شد. در این مطالعه سعی شد تا چگونگی استفاده از چارچوب متابولیسم آب برای بررسی مدیریت آب در زمینه‌های مختلف بررسی و پیشنهادهایی متناسب با منطقه مورد مطالعه ارائه شود. نتایج و بررسی‌ها نشان داد، چارچوب متابولیسم آب می‌تواند ارزیابی‌های کمی از عملکرد آب شهری ارائه دهد. همچنین امکان مقایسه در مناطق مختلف و نظارت بر عملکرد را در طول زمان‌های مختلف فراهم می‌کند. علاوه بر این موارد به درک کلی از جریان‌های آب شهری و شناسایی مناطقی که نیازمند یا پتانسیل بهبود راندمان آب دارند کمک می‌کند. شهر اصفهان با بهبود زیرساخت‌های آب و آگاهی‌رسانی‌های اجتماعی راندمان آب خود را افزایش داده است. این شهر برنامه‌هایی برای ترویج منابع جایگزین آب (به‌عنوان مثال استفاده مجدد از پساب و آب خاکستری) دارد ولی وابستگی آن به برداشت از آب سطحی و منابع آب خارجی زیاد است. همین عوامل مشکلات بسیاری را برای تأمین آب پایدار این شهر ایجاد کرده است و اهمیت توجه هرچه سریع‌تر به استفاده از پتانسیل‌های منابع آب موجود داخلی، افزایش بهره‌وری آب در مصارف گوناگون و اجرایی کردن برنامه‌های از پیش تعیین‌شده را پررنگ‌تر می‌نماید. با استفاده از مجموعه داده‌های مختلف موجود در مورد سامانه آب‌رسانی شهر اصفهان، این پژوهش علاوه بر بررسی درستی حساب جریان آب براساس تعادل و موازنه جرمی، تصویری جامع از مدیریت آب ایجاد کرد. با این حال، ایجاد یک متابولیسم دقیق‌تر آب به داده‌های بهتری با کیفیت و انسجام بالاتر در اندازه‌گیری‌ها نیاز دارد.

- ban water metabolism of Cape Town: Towards becoming a water sensitive city. *South African Journal of Science*, 117(5-6): 1-11.
- Fischer-Kowalski M. 1998. Society's metabolism: the intellectual history of materials flow analysis, Part I, 1860-1970. *Journal of industrial ecology*, 2(1): 61-78.
- Forkes J. 2007. Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto, Canada. *Resources, conservation and recycling*, 52(1): 74-94.
- Gandy M. 2004. Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*, 8(3): 363-379.
- Ghosh R., Kansal A. and Venkatesh G. 2019. Urban Water Security Assessment Using an Integrated Metabolism Approach—Case Study of the National Capital Territory of Delhi in India. *Resources*, 8(2): 62.
- Hendriks C., Obernosterer R., Müller D., Kytzia S., Baccini P. and Brunner P. H. 2000. Material flow analysis: a tool to support environmental policy decision making. Case-studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands. *Local Environment*, 5(3): 311-328.
- Hermanowicz S. W. and Asano T. 1999. Abel Wolman's "The Metabolism of Cities" revisited: a case for water recycling and reuse. *Water Science and Technology*, 40(4-5): 29-36.
- Jakrawatana N., Ngammuangtueng P. and Gheewala S. H. 2017. Linking substance flow analysis and soil and water assessment tool for nutrient management. *Journal of Cleaner Production*, 142: 1158-1168.
- Jeong S. and Park J. 2020. Evaluating urban water management using a water metabolism framework: A comparative analysis of three regions in Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 155: 104597.
- Kennedy C., Cuddihy J. and Engel-Yan J. 2007. The changing metabolism of cities. *Journal of industrial ecology*, 11(2): 43-59.
- Kennedy C., Pincetl S. and Bunje P. 2011. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental pollution*, 159(8-9): 1965-1973.
- Kenway S., Gregory A. and McMahon J. 2011. Urban water mass balance analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 15(5): 693-706.
- 1-Urban Metabolism
- 2-Life Cycle Assessment (LCA)
- 3-Environmental Footprint
- 4-Mass Flow Analysis
- 5-Urban Water Metabolism Evaluation Framework
- منابع
- شهرداری اصفهان، ۱۳۹۶. سالنامه آماری سال ۱۳۹۶ شهر اصفهان.
- شهرداری اصفهان، ۱۳۹۹. سالنامه آماری سال ۱۳۹۹ شهر اصفهان.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵. سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵. اصفهان.
- Agudelo-Vera C. M., Leduc W. R., Mels A. R. and Rijnaarts H. H. 2012. Harvesting urban resources towards more resilient cities. *Resources, conservation and recycling*, 64: 3-12.
- Bach P. M., Rauch W., Mikkelsen P. S., McCarthy D. T. and Deletic A. 2014. A critical review of integrated urban water modelling—Urban drainage and beyond." *Environmental modelling & software*, 54: 88-107.
- Baker L. A. 2009. New concepts for managing urban pollution. *The water environment of cities*, Springer: New York, USA.
- Barles S. 2009. Urban metabolism of Paris and its region. *Journal of industrial ecology*, 13(6): 898-913.
- Binder C., Schertenleib R., Diaz J., Bader H.-P. and Baccini P. 1997. Regional water balance as a tool for water management in developing countries. *International Journal of Water Resources Development*, 13(1): 5-20.
- Browne D., Regan B. O' and Moles R. 2009. Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region. *Waste Management*, 29(10): 2765-2771.
- Farooqui T. A., Renouf M. A. and Kenway S. J. 2016. A metabolism perspective on alternative urban water servicing options using water mass balance. *Water research*, 106: 415-428.
- Ffion Atkins J., Flügel T. and Hugman R. 2021. The ur-

- A. 2018. Understanding urban water performance at the city-region scale using an urban water metabolism evaluation framework. *Water research*, 137: 395-406.
- Safavi H. R., Golmohammadi M. H. and Sandoval-Solis S. 2015. Expert knowledge based modeling for integrated water resources planning and management in the Zayandehrud River Basin. *Journal of hydrology*, 528: 773-789.
- Sahely H. R., Dudding S. and Kennedy C. A. 2003. Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(2): 468-483.
- Seoul Metropolitan Government. 2013. Seoul's Management Plan for Water Reuse. Seoul Metropolitan Government. Seoul, Korea.
- Singkran N. 2017. Water budget analysis and management for Bangkok Metropolis, Thailand. *Water Science and Technology*, 76(6): 1545-1554.
- United Nations. 2014. World urbanization prospects: The 2014 revision, highlights. , United Nations, Department of economic and social affairs. New York, USA.
- United Nations. 2018a. Progress on Level of Water Stress: Global baseline for SDG indicator 6.4. 2., Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- United Nations. 2018b. World Urbanisation Prospects: The 2018 Revision (Key Facts). United Nations, Department of International Economic and Social Affairs. New York, USA.
- Warren-Rhodes K. and Koenig A. 2001. Escalating trends in the urban metabolism of Hong Kong: 1971-1997. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(7): 429-438.
- Wolman A. 1965. The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3): 178-193.
- Zhang Y., Yang Z. and Yu X. 2009. Evaluation of urban metabolism based on emergy synthesis: A case study for Beijing (China). *Ecological modelling*, 220(13-14): 1690-1696.
- Laner D., Feketitsch J., Rechberger H. and Fellner J. 2016. A novel approach to characterize data uncertainty in material flow analysis and its application to plastics flows in Austria. *Journal of industrial ecology*, 20(5): 1050-1063.
- Larsen T. A., Hoffmann S., Lüthi C., Truffer B. and Maurer M. 2016. Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science*, 352(6288): 928-933.
- Madrid-López C. and Giampietro M. 2015. The water metabolism of socio-ecological systems: Reflections and a conceptual framework. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5): 853-865.
- Mehta V. K., Goswami R., Kemp-Benedict E., Muddu S. and Malghan D. 2014. Metabolic urbanism and environmental justice: the water conundrum in Bangalore, India. *Environmental Justice*, 7(5): 130-137.
- Mitchell V. G., McMahon T. A. and Mein R. G. 2003. Components of the total water balance of an urban catchment. *Environmental Management*, 32(6): 735-746.
- Paul R., Kenway S., McIntosh B. and Mukheibir P. 2018. Urban metabolism of Bangalore city: a water mass balance analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 22(6): 1413-1424.
- Renouf M., Kenway S., Serrao-Neumann S. and Low Choy D. 2016. Urban metabolism for planning water sensitive cities: Concept for an urban water metabolism evaluation framework, Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities. Clayton, VIC, Australia.
- Renouf M., Serrao-Neumann S., Kenway S., Morgan E. and Choy D. L. 2017. Urban water metabolism indicators derived from a water mass balance-bridging the gap between visions and performance assessment of urban water resource management. *Water research*, 122: 669-677.
- Renouf M. A. and Kenway S. J. 2017. Evaluation approaches for advancing urban water goals. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4): 995-1009.
- Renouf M. A., Kenway S. J., Lam K. L., Weber T., Roux E., Serrao-Neumann S., Choy D. L. and Morgan E.

Application and Evaluation of the Ability of Copulas in Estimating Daily Precipitation in the East of Lake Urmia Basin

M. Khaleedi-Alamdari¹, A. Majnooni-Heris^{2*}, A. Fakheri Fard³

1, 2, 3- Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Associate Professor and Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* (Corresponding Author Email: majnooni@tabrizu.ac.ir)

Received: 19-06-2022

Revised: 15-09-2022

Accepted: 27-09-2022

Available Online: 11-03-2023

کاربرد و ارزیابی توانایی توابع مفصل در تخمین بارش روزانه در شرق حوضه دریاچه ارومیه

محمد خالیدی علمداری^۱، ابوالفضل مجنونی هریس^{۲*}، احمد فاخری فرد^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، دانشیار و استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: majnooni@tabrizu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

Abstract

The use of accurate and continuous data series is a necessary condition for most statistical and hydrological studies. Due to the importance of precipitation as one of the most important climatic and hydrological variables, in the present study, in order to predict the daily precipitation of Tabriz, Copula functions were used and the results were compared with intelligent methods and classical statistics. To predict precipitation in Tabriz station, precipitation data of Sarab, Sahand, and Maragheh stations were also used as auxiliary stations. Based on the obtained results, among all the methods studied, the M5 method with RMSE values of 3.14 mm, and the MAD method with 2.13 mm and the RF method with RMSE values of 5.18 mm and MAD 3.04 mm have the highest and lowest accuracy in estimating precipitation events, respectively. Among Archimedean copulas, the RMSE and MAD values for the Gambel function are 3.89 and 2.51 mm, respectively. Despite the range of estimation data is still very close to other methods, considering the capabilities of Copula functions, including the ability to apply multiple conditions and its probabilistic nature, which considers the behavior of the phenomenon, it can be acknowledged that in similar circumstances, the ability of Copula functions to estimate the missing data of phenomena such as rainfall is acceptable.

Keywords: Probabilistic Analysis, Missing Data, Forecasting, Archimedean Copulas.

چکیده

استفاده از سری داده‌های صحیح و بدون داده گم‌شده، شرط لازم برای انجام بیشتر مطالعات آماری و هیدرولوژیکی است. با توجه به اهمیت بارش به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی، در این پژوهش به منظور پیش‌بینی بارش روزانه تبریز، از توابع مفصل استفاده شده و نتایج آن با روش‌های هوشمند و آمار کلاسیک مقایسه شد. به منظور پیش‌بینی بارش در ایستگاه تبریز، از داده‌های بارش ایستگاه‌های سراب، سهند و مراغه نیز به عنوان ایستگاه‌های کمکی استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده در بین همه روش‌های مورد بررسی، روش مدل درخت با مقادیر RMSE معادل ۳/۱۴ میلی‌متر و MAD معادل ۲/۱۳ میلی‌متر و روش جنگل تصادفی با مقادیر RMSE معادل ۵/۱۸ میلی‌متر و MAD معادل ۳/۰۴ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین دقت را در برآورد رویدادهای بارش دارند. در میان مفصل‌های ارشمیدسی، تابع گامبل مقادیر RMSE و MAD به ترتیب ۳/۸۹ و ۲/۵۱ میلی‌متر می‌باشد. از آنجایی که محدوده خطای داده‌های تخمینی به دست آمده از توابع مفصل بسیار نزدیک به سایر روش‌ها می‌باشد؛ با توجه به قابلیت‌های توابع مفصل از جمله توانایی اعمال شرط‌های متعدد و ماهیت احتمالاتی آن، که رفتار پدیده را در نظر می‌گیرد، می‌توان گفت در شرایط مشابه توانایی توابع مفصل در برآورد داده‌های گم‌شده پدیده‌های احتمالاتی مانند بارندگی مناسب است.

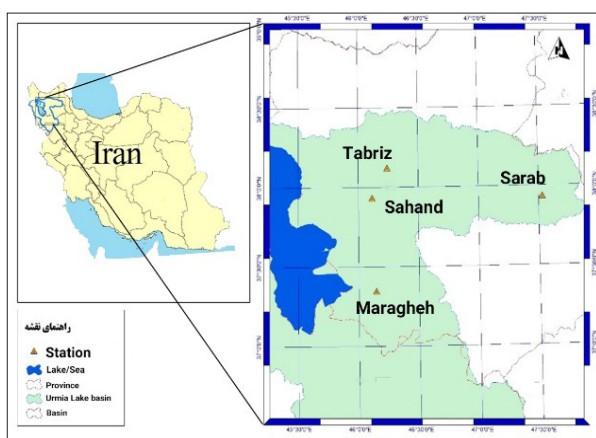
واژه‌های کلیدی: تحلیل احتمالاتی، داده‌های گم‌شده، پیش‌بینی، مفصل‌های ارشمیدسی.

و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین کویلاها به صورت گسترده برای مدل سازی آماری و پیش بینی در رسته های مختلف دربرگیرنده انرژی (Bessa و همکاران، ۲۰۱۲؛ Zhang و Singh، ۲۰۱۴)، ریسک اقتصادی (Huang و همکاران، ۲۰۰۹؛ Lu و همکاران، ۲۰۱۴)، پیش بینی بارندگی و تغییرات اقلیم (Nguyen-Huy و همکاران، ۲۰۱۷) و هیدرولوژی (Kao و Govindaraju، ۲۰۱۰؛ Liu و همکاران، ۲۰۱۵) به کار گرفته شده اند. از کاربرد مدل های کویلا می توان به تحلیل وقوع هم زمان رویدادهای شدید و متعدد آب و هوایی، که از آن به عنوان یک رویداد ترکیبی یاد می شود، نام برد (Manning و همکاران، ۲۰۱۸؛ Zscheischler و Seneviratne، ۲۰۱۷).

باتوجه به اهمیت بارش به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای هواشناسی در بیشتر مطالعات اکوهیدرولوژیکی و نقش برجسته آن در توسعه پایدار، در مطالعه حاضر از توابع مفصل در پیش بینی بارش روزانه استفاده شده و نتایج آن با روش های هوشمند و آمار کلاسیک مقایسه خواهد شد.

مواد و روش ها

در پژوهش حاضر، بازسازی داده های بارش روزانه در ایستگاه همدید تبریز مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور از فصل مشترک داده های رویداد بارش روزانه (روزهایی که بارش اتفاق افتاده است) چهار ایستگاه همدید شامل تبریز، سراب، سهند و مراغه در یک بازه زمانی ۳۰ ساله از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. برای بازسازی داده های بارش روزانه از روش های آماری، روش های هوشمند و نیز توابع مفصل استفاده شده است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه تبریز به عنوان ایستگاه هدف و ایستگاه های سراب، سهند و مراغه به عنوان ایستگاه های کمکی به منظور برآورد داده، ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه

پایه و اساس انجام مطالعات هیدرولوژیکی، استفاده از داده های صحیح و بدون گم شدگی است. نتایج تجزیه و تحلیل داده های مترولوژیکی، هیدرولوژیکی و محیط زیستی بیشتر به برآورد قابل اعتماد داده های گم شده وابسته است. از سویی دیگر انجام همه مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی وابسته به وجود داده های بارش هستند. از این رو برآورد داده های گم شده بارش اهمیت به سزایی در مطالعات هیدرولوژیکی دارد. در این راستا مطالعات متعددی در رابطه با برآورد داده های گم شده بارش در نواحی مختلف جهان انجام شده است که باتوجه به ماهیت روش های مورد استفاده و نیز خصوصیات اقلیمی هر منطقه، نتایج متفاوتی نیز به دست آمده است. Armanuos و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه ای با استفاده از داده های ۱۵ ایستگاه در بازه زمانی ۳۴ ساله، بیست و یک روش مختلف برای تخمین داده های گم شده بارش در منطقه اتیوپی را ارزیابی کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، روش های نسبت نرمال (NR)، رگرسیون خطی چندگانه (MLR)، وزن دهی معکوس فاصله (IDW)، ضریب همبستگی وزنی (CCW) و میانگین حسابی (AA) مطمئن ترین روش ها در بین روش های مورد مطالعه هستند.

Abebe و همکاران (۲۰۰۰) روش های منطق فازی، شبکه های عصبی مصنوعی و نسبت نرمال را برای بازسازی داده های بارش روزانه مقایسه و گزارش کردند روش منطق فازی در مقایسه با دو روش دیگر، دقت بیشتری در بازسازی داده های بارش دارد. با بهره گیری از امکانات موجود، که دربرگیرنده روابط آماری و احتمالاتی توسعه داده شده می باشد، مدل های بسیاری به منظور شفاف سازی تأثیرات عوامل اقلیمی توسعه داده شده است. به عنوان مثال Yuan و Yamagata، ۲۰۱۵؛ Nguyen-Huy و همکاران، ۲۰۱۷؛ Jarvis و همکاران، ۲۰۱۸، این مدل ها را با فرض مشترک بودن توزیع نرمال بین متغیرها، روابط خطی را بین تعداد محدودی از شاخص های اقلیمی و عملکرد محصول به کار گرفتند. درحالی که یک مدل رگرسیون خطی بسیار ساده می باشد و تنها یک دیدگاه کلی از روند متغیرهای مورد نظر ارائه می دهد. این گونه مدل ها ممکن است به شدت تحت تأثیر داده های پراکنده همچون رویدادهای شدید باشند که به ایجاد رابطه ناصحیح در همبستگی بین متغیرهای در نظر گرفته شده می انجامد (Hassani، ۲۰۱۶). از طرف دیگر، ممکن است فرض توزیع نرمال داده ها درست نباشد (Nguyen-Huy و همکاران، ۲۰۱۸). برای برداشتن چنین مشکلاتی، شمار فراوانی مدل آماری مفصل^۱ برای پیش بینی میزان بارندگی در مناطق زراعی محیط زیستی استرالیا تهیه شده است (Nguyen-Huy

• روش‌های هوشمند

- رگرسیون ماشین بردار پشتیبان^۲ (SVR)

ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری است که بر مبنای تئوری یادگیری آماری در سال ۱۹۹۲ میلادی معرفی شده است (Boser و همکاران، ۱۹۹۲). گسترش ماشین بردار پشتیبان بر اساس رگرسیون نیز در سال ۱۹۹۵ به نتیجه رسید (Vapnik، ۱۹۹۵). ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر کمینه کردن ساختاری ریسک می‌باشد که از نظریه آموزش آماری گرفته شده است (Vapnik، ۱۹۹۸). مدل‌های ماشین‌های بردار پشتیبان به دو گروه عمده مدل طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و مدل رگرسیون بردار پشتیبان تقسیم‌بندی می‌شوند. در یک مدل رگرسیونی SVR لازم است وابستگی تابعی متغیر وابسته y به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل x تخمین زده شود. فرض بر این است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به همراه یک مقدار اضافی خطای ناگزیر که $noise$ نامیده می‌شود مشخص می‌شود (رابطه ۱).

$$y = f(x) + noise \quad (1)$$

بنابراین موضوع اصلی پیدا کردن فرم تابع f است که بتواند به‌صورت صحیح موارد جدیدی را که SVR تاکنون تجربه نکرده است، پیش‌بینی کند. این تابع به‌وسیله آموزش مدل SVR بر روی یک مجموعه داده به‌عنوان مجموعه آموزش که شامل فرآیندی به‌منظور بهینه‌سازی دائمی تابع خطا است، قابل دسترسی است.

- شبکه‌های عصبی مصنوعی^۳ (ANN)

شبکه‌های عصبی مصنوعی از شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی موجودات زنده الهام گرفته شده است که به‌عنوان ابزاری قدرتمند الگوی پردازش اطلاعات دارند (منهاج، ۱۳۸۴). تکنیک شبکه عصبی مصنوعی از دسته روش‌های هوشمند است که به‌طور گسترده‌ای در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه‌ها از نورون‌ها تشکیل می‌شوند که در گروه‌هایی به نام لایه قرار گرفته و از راه اتصالات وزن‌دار به یکدیگر متصل می‌شوند. هر ساختار ساده شبکه از سه لایه تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. وقتی داده‌های ورودی به لایه ورودی وارد می‌شوند، از طریق شبکه عصبی عبور کرده و در لایه میانی بر روی آن‌ها پردازش انجام می‌شود تا زمانی که خروجی در لایه خروجی به‌دست آید. هر نورون از راه اتصالات وزنی ورودی‌های زیادی را از سلول‌های عصبی دیگر دریافت می‌کند. این ورودی‌های وزنی جمع شده و یک تابع انتقالی را ایجاد می‌کنند که در نهایت خروجی نهایی نورون را تولید می‌کند (Talebizadeh و همکاران، ۲۰۱۰). باتوجه‌به اینکه شبکه عصبی مصنوعی به اطلاعات موبه‌مو در مورد روند فیزیکی به‌کار رفته در سیستم‌ها نیاز ندارد، به‌طور مؤثری برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده استفاده می‌شود.

شبکه‌های عصبی مصنوعی انواع مختلفی دارند که متداول‌ترین آن‌ها پرسپترون چندلایه^۴ (MLP) می‌باشد و در این مطالعه از این مدل استفاده شده است. مدل MLP توسط سلول‌های عصبی ساده‌ای به نام پرسپترون تشکیل می‌شود (White و Kuan، ۱۹۹۴). پرسپترون با ایجاد یک ترکیب خطی باتوجه‌به وزن ورودی خود و سپس تعیین خروجی از طریق یک تابع انتقال غیرخطی، یک خروجی منفرد از چندین ورودی را محاسبه می‌کند.

- جنگل‌های تصادفی^۵ (RF)

روش جنگل‌های تصادفی را اولین بار بریمن در سال ۲۰۰۱ با توسعه درخت‌های تصمیم، به‌عنوان یک تکنیک جدید ارائه داده است که پیش‌بینی چندین الگوریتم منفرد را با هم با استفاده از قوانین مرتبط ترکیب می‌کند. این روش در بین روش‌های درختی، تکنیک کم‌وبیش پیچیده‌ای است که به‌منظور افزایش دقت مدل در آن چندین درخت تصمیم آموزش داده می‌شود. نتیجه به‌دست آمده پیش‌بینی گروهی از درختان تصمیم است (Breiman، ۲۰۰۱). ریشه بسیاری از تکنیک‌های آموزش گروهی بر پایه این فرض است که دقت آن‌ها از دیگر الگوریتم‌های آموزشی بالاتر است چون ترکیبی از چند مدل پیش‌بینی، دقیق‌تر از یک مدل می‌باشد و گروه‌ها قدرت مجموعه‌های منفرد و منحصر‌به‌فرد از طبقه‌ها را بیشتر می‌کنند، درحالی‌که هم‌زمان نقاط ضعف طبقه‌ها را کاهش می‌دهند (Kotsiantis و Pintelas، ۲۰۰۴).

- مدل درخت M5

زیرساخت مدل‌های درختی برپایه روش جدا سازی و چیرگی^۶ است. جایگزینی معادله رگرسیون خط به‌جای برجسب در گره‌ها، شیوه‌ای است که در مدل M5 اجرا می‌شود و می‌تواند متغیرهای عددی پیوسته را پیش‌بینی یا برآورد کند. ساخت مدل درخت در دو مرحله انجام می‌گیرد. در مرحله اول، درخت تصمیم با انشعاب‌سازی داده‌ها تشکیل می‌شود. اندازه انشعاب در مدل M5 بیشینه‌سازی کاهش انحراف معیار داده‌ها در گره فرزند است. مرحله دوم نیز دربرگیرنده کوچک کردن درخت بیش از حد بزرگ شده از راه هرس کردن شاخه‌ها و جایگزین شدن با توابع رگرسیون خطی است.

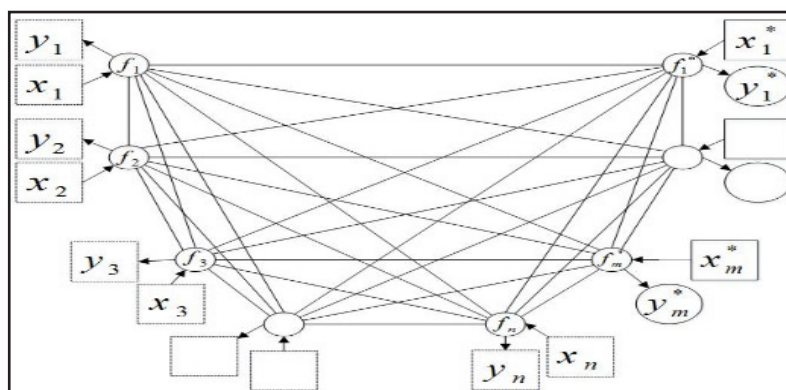
- رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR)

مجموعه داده S با n مشاهده را در نظر بگیرید:
$$S = \{(x_i, y_i) | i = 1, \dots, n\}$$
که در آن x_i بردار ورودی با D بعد و y_i خروجی اسکالر یا هدف می‌باشد. این مجموعه متشکل از دو جز ورودی و خروجی به‌عنوان نقاط نمونه یا تجربی معرفی خواهند شد. شکل برداری داده ورودی‌های مجموعه در ماتریس $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ و

که در آن $f(x)$ بیانگر تابع رگرسیون دلخواه و ε نیز مقدار خطای توزیع گاوسی با میانگین صفر و واریانس σ^2 می‌باشد، یعنی $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$. علاوه بر این، فرض می‌شود $f = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)]^T$ داشته و به گونه‌ای که $p(f|X) = N(0, K)$ است و در آن K ماتریس کواریانس با درایه‌های $k_{ij} = k(x_i, x_j)$ می‌باشد (رابطه ۶).

$$K(X, X) = \begin{pmatrix} k(x_1, x_1) & k(x_1, x_2) & \dots & k(x_1, x_n) \\ k(x_2, x_1) & k(x_2, x_2) & \dots & k(x_2, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x_n, x_1) & k(x_n, x_2) & \dots & k(x_n, x_n) \end{pmatrix} \quad (6)$$

مقدار k_{ij} کواریانس بین مقادیر توابع نهان $f(x_i)$ و $f(x_j)$ می‌باشد. رگرسیون فرآیند گاوسی به منظور محاسبه توزیع پیش‌بینی شده برای مقادیر تابع f^* در نقاط تست $X^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*]$ به کار می‌رود. مدل تصویری فرآیند گاوسی در شکل (۲) ارائه شده است. در این شکل f_i بیانگر $f(x_i)$ می‌باشد. مجموعه توابع نهان f_i که با شاخص x_i نشان داده شده‌اند، به طور کامل به یکدیگر پیوسته می‌باشند. هر اتصال نشان دهنده یک رابطه بین دو متغیر نهان بوده که توسط تابع کواریانس تعریف می‌شود.



شکل ۲- مدل تصویری رگرسیون فرآیند گاوسی

در شکل (۲) مربعات نشان‌دهنده متغیرهای مشاهداتی و دایره‌ها نمایانگر پارامترهای ناشناخته می‌باشند. توزیع y مشروط به اندازه‌های f بوده که با یک گاوسین همگرا و دارای خواص فیزیکی مشابه به شکل زیر ارائه می‌شود (رابطه ۷):

$$p(f_* | X, y, X_*) \sim N(\bar{f}_*, \text{cov}(f_*)) \quad (9)$$

$$\bar{f}_* = K(X_*, X)[K(X, X) + \sigma^2 I]^{-1} y \quad (10)$$

$$\text{cov}(f_*) = K(X_*, X_*) - K(X_*, X)[K(X, X) + \sigma^2 I]^{-1} K(X, X_*) \quad (11)$$

- مختصات جغرافیایی^۵ (روش گرافیکی)

از دسته روش‌های مورد استفاده برای بازسازی داده‌های گم‌شده، روش مختصات جغرافیایی یا روش گرافیکی می‌باشد. در این روش فاصله هر نقطه که داده گم‌شده دارد با نقاط اطرافش که

خروجی‌ها در ماتریس $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ گردآوری می‌شوند. وظیفه رگرسیون، ایجاد یک ورودی جدید x^* به منظور دستیابی به توزیع پیش‌بینی شده برای مقادیر متناظر داده‌های مشاهداتی y^* و بر پایه مجموعه داده S می‌باشد. فرآیند گاوسی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است که تعداد محدودی از آن‌ها با توزیع‌های گاوسی یکی شده‌اند. توزیع گاوسی در واقع توزیع بین متغیرهای تصادفی است؛ اما فرآیند گاوسی بیانگر توزیع بین توابع می‌باشد. فرآیند گاوسی $f(x)$ توسط توابع میانگین $m(x)$ (رابطه ۲) و کواریانس به شکل رابطه ۳ تعریف می‌شود (Kuss, ۲۰۰۶):

$$m(x) = E(f(x)) \quad (2)$$

$$k(x, x') = E(f(x) - m(x))(f(x') - m(x')) \quad (3)$$

که در آن، $k(x, x')$ تابع کرنل بوده که در نقاط x و x' محاسبه می‌شود. فرآیند گاوسی $f(x)$ به صورت ذیل بیان می‌شود (رابطه ۴):

$$f(x) \sim GP(m(x), k(x, x')) \quad (4)$$

برای ساده‌سازی، مقدار تابع میانگین صفر فرض می‌شود. در فرآیند گاوسی رابطه بین بردار ورودی و هدف به صورت ذیل می‌باشد (رابطه ۵):

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon \quad (5)$$

در آن: I ماتریس همانی می‌باشد. باتوجه به ویژگی‌های تابع گاوسی، توزیع حاشیه‌ای y به شکل ذیل تعیین می‌شود (رابطه ۸):

$$p(y | f, X) = N(f, \sigma^2 I) \quad (7)$$

$$p(y | X) = \int p(y | f, X) p(f | X) df = N(0, K + \sigma^2 I) \quad (8)$$

توزیع یکپارچه شده اندازه‌های مشاهداتی که خروجی مورد نظر می‌باشند و اندازه‌های تابع در نقاط تست به صورت ذیل نوشته می‌شوند:

- نسبت نرمال با مختصات جغرافیایی

روش NRGC هر دو روش GC و NR را ترکیب می‌کند. این روش برای پیش بینی داده‌های از دست رفته بارندگی استفاده شده و بیشتر به‌عنوان یکی از بهترین روش‌ها برای تخمین داده‌های از دست رفته در نظر گرفته می‌شود. زیرا موقعیت ایستگاه‌ها را برای دستیابی به بهترین کارایی ساماندهی می‌کند و جنبه‌های هر دو روش را با هم ترکیب می‌کند. برای روش NRGC، داده‌های از دست رفته با رابطه (۱۶) محاسبه می‌شوند.

$$N_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\left(\frac{1}{x^2 + y^2} \right) \left(\frac{\bar{N}_x}{\bar{N}_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{x^2 + y^2} \right) \left(\frac{\bar{N}_x}{\bar{N}_i} \right)} \right) N_i \quad (16)$$

- روش وزن‌دهی معکوس

IDW یک روش گسترده برای پر کردن داده‌های از دست رفته است. در این روش، محاسبه اندازه‌های از دست رفته بارندگی به فاصله بین ایستگاه هدف و ایستگاه‌های اطراف بستگی دارد. بیشترین وزن به نزدیکترین ایستگاه اعمال می‌شود. در این روش، داده‌های گم‌شده با استفاده از داده‌های مشاهده شده در ایستگاه‌های مجاور، با استفاده از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شوند.

$$N_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\left(\frac{1}{d_i^k} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^k} \right)} \right) N_i \quad (17)$$

که در آن d فاصله هر ایستگاه از ایستگاه هدف و k حساسیت هر ایستگاه می‌باشد.

- توابع مفصل

کوپلاها توابعی هستند که یک توزیع دو یا چند متغیره را براساس دو یا چند تابع توزیع حاشیه‌ای تک متغیره تشکیل می‌دهند. با در نظر گرفتن ایستگاه مبدا و هدف تحت دو متغیر تصادفی X و Y به‌منظور تخمین اطلاعات گم شده با توابع توزیع حاشیه‌ای $F_X(x)$ و $F_Y(y)$ باشد و با در نظر گرفتن $F_{X,Y}(x,y)$ به‌عنوان تابع توزیع تجمعی پیوسته (Joint Cumulative Distribution Function)، کوپلای C به شکل زیر تعریف می‌شود (رابطه ۱۸):

$$F_{X,Y}(x,y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (18)$$

استفاده از توابع مفصل برای مدل‌سازی انعطاف بالایی دارد، چرا که برای ساخت یک مدل چند متغیره، توزیع‌های حاشیه‌ای می‌توانند به‌صورت مستقل از هم انتخاب شوند (Srinivas و همکاران، ۲۰۰۶). توابع مفصل ارشمیدسی به‌طور گسترده‌ای در تحلیل‌های دو یا چند متغیره استفاده می‌شود (Genest و Rivest، ۱۹۹۳).

برای برآورد در نظر گرفته شده‌اند، محاسبه می‌شود. روشن است ایستگاه‌های نزدیک‌تر به ایستگاه مدنظر سهم بیشتری در بازسازی آن خواهند داشت؛ بنابراین لازم است ضریب وزنی بزرگتری به آن اختصاص داده شود. این ضریب وزنی با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$W = 1/(x^2 + y^2) \quad (12)$$

که در آن x و y به‌ترتیب طول و عرض مختصات ایستگاه می‌باشد. در نهایت داده‌های گم‌شده در ایستگاه هدف با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$N_x = \frac{\sum_{i=1}^n W_i N_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (13)$$

که در آن N_x مقدار برآورد شده داده گم‌شده در ایستگاه x ، N_i اندازه داده موجود در ایستگاه i و n شناساننده شمار ایستگاه‌هایی است که برای برآورد داده گم‌شده، از داده‌های آن‌ها استفاده شده است.

- نسبت نرمال^۱

روش نسبت نرمال ابتدا توسط (Paulhus و Kohle، ۱۹۵۲) برای تخمین داده‌های گم‌شده بارندگی به‌کار رفت و در ادامه توسط (Young، ۱۹۹۲) اصلاح شد. این روش بیشتر به میانگین نسبت داده‌های بین ایستگاه‌های شاهد و ایستگاه هدف بستگی دارد. در این روش بارش روزانه در ایستگاه هدف با نسبت میانگین بارش روزانه در ایستگاه هدف به میانگین بارش روزانه در ایستگاه‌های شاهد ضربدر بارش روزانه هم‌زمان ایستگاه شاهد هماهنگ است و که با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$N_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_x}{\bar{N}_i} N_i \quad (14)$$

که در آن $\bar{N}_x$ میانگین داده‌های بارش روزانه در ایستگاه هدف، $\bar{N}_i$ میانگین داده‌های بارش روزانه در ایستگاه شاهد i ام و N_i داده‌های بارش روزانه در ایستگاه i ام می‌باشند.

- ضریب همبستگی وزنی^۲

در این روش به‌منظور برآورد داده گم‌شده در ایستگاه هدف، از ضرایب همبستگی ایستگاه‌های شاهد استفاده می‌شود. کارایی این روش به قدرت همبستگی بین ایستگاه هدف و ایستگاه‌های اطراف بستگی دارد. برای برآورد داده گم‌شده با استفاده از این روش از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود (Teegavarapu و Chandramouli، ۲۰۰۵).

$$N_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(r_i)}{\sum_{i=1}^n (r_i)} \right) N_i \quad (15)$$

که در آن r_i ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش روزانه ایستگاه هدف و ایستگاه شاهد i می‌باشد.

- مفصل‌های ارشمیدسی

مفصل‌ها در طبقه‌بندی‌های مختلفی همچون T، بیضی، گاوسی و ارشمیدسی جای می‌گیرند. در این میان، خانواده مفصل‌های ارشمیدسی در علوم و مهندسی آب کاربرد بیشتری دارد. توابع مفصل ارشمیدسی در رده دو متغیره به شکل زیر تعریف می‌شود (رابطه ۱۹):

$$C_{\theta}(u,v) = \varphi^{-1}(\varphi(u) + \varphi(v)) \quad (19)$$

φ به عنوان مولد مفصل معرفی شده و ویژگی‌های پیوسته،

محدب و نامنفی بودن را دارد. مفصل‌های ارشمیدسی مختلف به‌ازای مقادیر مختلفی از φ ایجاد می‌شوند. نمایش ریاضی توابع پرکاربرد ارشمیدسی دربرگیرنده کلایتون، گامبل هوگارد و فرانک در جدول ذیل آورده شده است. در این توابع پارمتر تتا بیانگر درجه وابستگی بین متغیرهای وابسته را بیان می‌کند. همچنین u و v تابع پراکندگی تجمعی متغیرهای مورد بررسی می‌باشند. روابط مربوط به محاسبه تاو کندال و مولدهای هرکدارم از مفصل‌ها در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- توابع مفصل ارشمیدسی و ویژگی‌های مرتبط با آن‌ها

Copula	$C(u,v)$	Generator $\varphi(t)$	Generator inverse $\varphi^{-1}(t)$	Kendall's Tau
Clayton	$(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}$	$(t^{\theta} - 1)/\theta$	$(1 + \theta t)^{-1/\theta}$	$\theta/(\theta + 2)$
Gumbel	$e^{-[(-\ln u)^{\theta} + (-\ln v)^{\theta}]^{1/\theta}}$	$(-\ln(t))^{\theta}$	$\exp(-t)^{1/\theta}$	$(\theta - 1)/\theta$
Frank	$-\frac{1}{\theta} \ln \left[1 + \frac{(e^{-u\theta} - 1)(e^{-v\theta} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)} \right]$	$-\ln \left(\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right)$	$-\frac{1}{\theta} \ln(1 + \exp(-t)(\exp(-\theta) - 1)^{\frac{1}{\theta}})$	$\frac{1 - 4\{1 - D_1(\theta)\}}{\theta}$

* در رابطه مربوط به خانواده فرانک، D_1 تابع دیبای (Debye) مرتبه ۱ بوده و به صورت $D_1(\theta) = \int_0^{\theta} \left(\frac{1}{t(e^t - 1)} \right) dt$ تعریف می‌شود. در جدول فوق، u و v توزیع‌های تک متغیره و θ پارامترهای وابستگی هستند.

- ایجاد داده‌های تصادفی با هدف پرکردن داده‌های گمشده

به‌منظور پر کردن داده‌های گمشده یکسری داده تصادفی (v_2) بین ۰-۱ و هم‌سایز با داده‌های گمشده ایجاد می‌شود. سپس از روش سری v_2 ایجاد شده، مقادیر t براساس معادله زیر محاسبه

خواهد شد. روابط مربوط به $K(t)$ (توزیع کندال) در جدول (۲) آورده شده است.

$$t = K^{-1}(v_2) \quad (20)$$

$$K(t) = t - (\varphi(t)/\varphi'(t)) \quad (21)$$

جدول ۲- اجزای مربوط به $K(t)$ به جداسازی هر مفصل

Copula	$K(t) = t - (\varphi(t)/\varphi'(t))$	Generator $\varphi(t)$	$\varphi'(t)$
Gumbel	$t - (u \ln u / \theta)$	$(-\ln(t))^{\theta}$	$-\theta(\ln(t))^{(\theta-1)}(1/t)$
Clayton	$t - ((t^{\theta+1} - t)/\theta)$	$(t^{\theta} - 1)/\theta$	$-\theta t^{(\theta-1)}$
Frank	$u - \frac{\ln \left(\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right)}{\theta} (e^{-\theta t} - 1)$	$-\ln \left(\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right)$	$\theta/(1 - e^{\theta t})$

• ارزیابی نتایج

به‌منظور ارزیابی دقت روش‌های برآورد بارش با اندازه‌های بارش واقعی، از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (r)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAD) و شاخص نش ساتکلیف (NSE) استفاده شد (روابط ۲۲ تا ۲۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (23)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad (24)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2} \quad (25)$$

در این روابط x_i و y_i به‌ترتیب i امین داده واقعی و برآورد شده، $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به‌ترتیب میانگین داده‌های واقعی و برآورد شده و n تعداد گام‌های زمانی هستند.

$$r = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right) \quad (22)$$

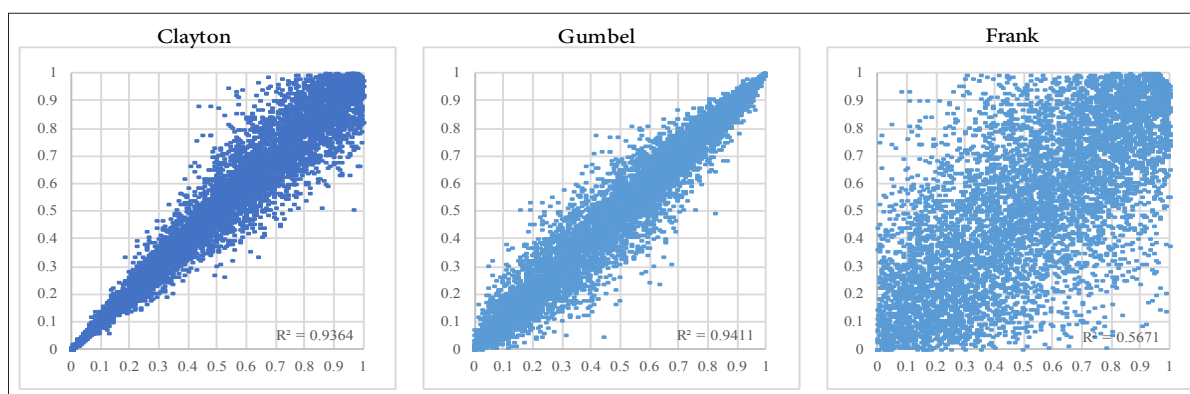
در راستای تخمین داده‌های گم‌شده، داده‌های رویداد بارش (بزرگتر از صفر) در دو دسته آموزش و آزمون تقسیم‌بندی شدند که در میان ایستگاه‌های موجود، ایستگاه همدید تبریز بیشترین همبستگی غیر پارامتری (کندال) را با ایستگاه سهند داشت که در محاسبات و توابع مفصل شرکت داده شدند. به‌منظور تخمین داده‌های روزانه بارش ایستگاه تبریز، سه مفصل فرانک، گامبل و کلایتون بر روی توزیع متناسب با ایستگاه‌های تبریز و سهند که بیشترین همبستگی کندال را با ایستگاه تبریز داشت، برازش داده شدند که نتایج آن‌ها

براساس جدول (۳) می‌باشد.

بر اساس ابر داده‌های تشکیل شده (شکل ۳)، مشخص است که مفصل گامبل همبستگی و تمرکز بالاتری پیرامون نیمساز دارد، بنابراین می‌توان بیان کرد این نوع مفصل در برآورد داده‌های گم‌شده روزانه بارش در ایستگاه همدید تبریز نسبت به سایر انواع مفصل برتری نسبی داشته و انتخاب می‌شود.

جدول ۳- مقادیر مرتبط با توابع توزیع حاشیه هر ایستگاه

CDF	Type	Parameters	
		Tabriz	Sahand
$F(x)=1-\exp(-\lambda(x))$	Exponential	$\lambda: 0.26565$	$\lambda: 0.30376$



شکل ۳- ابر تشکیل یافته از داده‌های تصادفی مرتبط با هر مفصل

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های ارزیابی روش‌های مورد استفاده

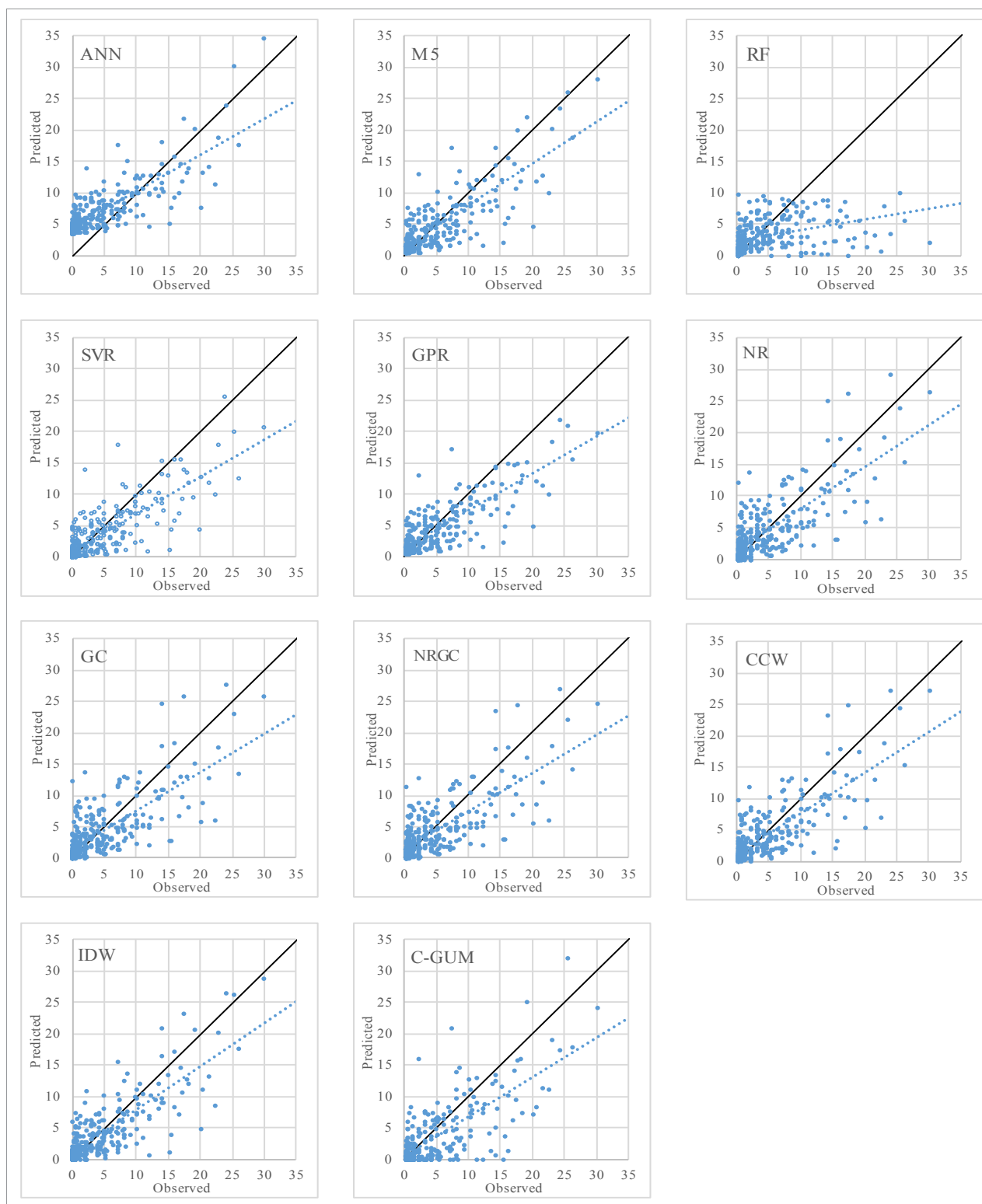
Method	r	RMSE	MAD	NS
ANN	۰٫۸۱	۴٫۲۸	۳٫۷۶	۰٫۳۹
M5	۰٫۸۲	۳٫۱۴	۲٫۱۳	۰٫۶۷
RF	۰٫۳۹	۵٫۱۸	۳٫۰۴	۰٫۱۰
SVR	۰٫۸۱	۳٫۳۶	۲٫۰۹	۰٫۶۲
GPR	۰٫۸۲	۳٫۱۲	۲٫۱۷	۰٫۶۶
NR	۰٫۷۵	۳٫۶۶	۲٫۵۳	۰٫۵۵
GC	۰٫۷۴	۳٫۷۳	۲٫۵۵	۰٫۵۴
NRGC	۰٫۷۵	۳٫۶۳	۲٫۴۸	۰٫۵۶
CCW	۰٫۷۸	۳٫۴۵	۲٫۳۴	۰٫۶۰
IDW	۰٫۸۱	۳٫۲۱	۲٫۱۲	۰٫۶۶
C-GUM	۰٫۷۴	۳٫۸۹	۲٫۵۱	۰٫۵۰

در جدول (۴) مقادیر آماره‌های ارزیابی روش‌های برآورد داده‌های بارش روزانه نشان داده شده است. براین‌اساس، در بین روش‌های هوشمند، به‌طور مشترک روش‌های M5 با مقادیر RMSE برابر ۳/۱۴ میلی‌متر و MAD برابر ۲/۱۳ میلی‌متر و GPR با اندازه‌های RMSE معادل ۳/۱۲ میلی‌متر و MAD برابر ۲/۱۷ میلی‌متر بالاترین دقت و روش RF با اندازه‌های RMSE برابر ۵/۱۸ میلی‌متر و MAD برابر ۳/۰۴ میلی‌متر و ضریب همبستگی ۰/۳۹ کمترین دقت را در برآورد رویداد بارش روزانه دارند. در بین روش‌های آماری نیز روش IDW با اندازه‌های RMSE برابر ۳/۲۱ میلی‌متر و MAD برابر ۲/۱۲ میلی‌متر به‌عنوان بهترین روش برآورد رویداد بارش روزانه معرفی شد. در نقطه مقابل، روش GC با مقادیر RMSE برابر ۳/۷۳ میلی‌متر و MAD برابر ۲/۵۵ میلی‌متر، کمترین دقت را در برآورد رویداد بارش روزانه دارد. قابل توجه است که NSE تابع مفصل گامبل در آستانه مقبولیت واقع شده و نتایج ارزیابی این روش بسیار نزدیک به سایر روش‌های برتر از نظر برآورد می‌باشد.

- شکل مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی

در شکل (۴) اندازه رویدادهای واقعی بارش در برابر اندازه برآورد شده با استفاده از هر یک از روش‌های مورد بررسی نشان داده شده است. تراکم بیشتر نقاط پیرامون خط نیمساز نشان دهنده کارایی

بیشتر و دقت بالاتر هر روش در برآورد داده بارش است و هرچه خط روند داده‌ها به خط نیمساز نزدیکتر باشد به معنای دقت بالاتر روش خواهد بود. براین اساس روش RF و پس از آن ANN با اختلاف مشهودی کمترین دقت را در پیش‌بینی رویداد بارش دارند.



شکل ۴- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده رویدادهای بارندگی (میلی‌متر)

باتوجه به نتایج به دست آمده، توابع مفصل هرچند نسبت به برخی روش‌های آماری و هوشمند خطای بیشتری دارند، با این حال محدوده خطای داده‌های برآوردی بسیار نزدیک به سایر روش‌ها است. از این رو باتوجه به قابلیت‌های توابع مفصل از جمله توانایی به کار بردن شرط‌های بیشمار و ماهیت روش که براساس احتمالات پایه‌گذاری شده، می‌توان بیان کرد در شرایط مشابه توانایی توابع مفصل در برآورد داده‌های گمشده پدیده‌های تصادفی و احتمالاتی همچون بارندگی و سایر پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی قابل قبول و مورد اطمینان می‌باشد، چرا که از توزیع آماری ویژه هر ایستگاه و ایستگاه مفصل شده بهره می‌گیرد. با استفاده از این برتری، مفصلی که تعیین شده می‌تواند شرط‌های احتمالاتی مد نظر، همچون آستانه بارش و یا بیشینه و کمینه بارندگی را در برآورد داده‌های گمشده لحاظ نماید. این قابلیت در پیش‌بینی و تحلیل ریسک نیز بسیار اهمیت دارد و با اتکا بر آن می‌توان مدیریت و برنامه‌ریزی آینده را باتوجه به شرط‌های احتمالاتی مد نظر مشخص و فراهم کرد. همچنین باتوجه به اینکه کاربرد توابع مفصل در برآورد داده گم‌شده و یا بازسازی داده‌ها کمتر مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته، از این رو توصیه می‌شود از این توابع برای بازسازی دیگر داده‌های هیدرولوژیکی استفاده و نتایج آن بررسی شود. همچنین باتوجه به اثر اقلیم هر منطقه در انتخاب و معرفی روش برگزیده، بحث اقلیم نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به اهمیت بارش در بیشتر مطالعات هیدرولوژیکی، در پژوهش حاضر، کاربرد توابع مفصل و مقایسه نتایج به دست آمده از آن در پیش‌بینی رویدادهای بارش روزانه با روش‌های هوشمند و آماری ارزیابی شد. به طور کلی نتایج به دست آمده برای هر سه دسته روش‌های آماری و هوشمند و مفصل در پیش‌بینی رویدادهای بارش دقت قابل قبول را نشان می‌دهد. به طور کلی در نتایج روش M5 بالاترین دقت را در برآورد رویدادهای بارش روزانه نشان داد. در بین روش‌های آماری نیز روش IDW به عنوان روش برگزیده معرفی شد. در نقطه مقابل روش RF کمترین دقت برآورد داده‌های بارش روزانه را دارد. همچنین باتوجه به قابلیت‌های توابع مفصل در برگزیده توانایی به کار بردن شرط‌های بیشمار و ماهیت احتمالاتی آن، استفاده از آن برای پیش‌بینی متغیرهای هیدرولوژیکی توصیه می‌شود. در حالی که توابع مفصل، با در نظر گرفتن چندجانبه رفتار و خود پارامتر و همچنین دوره‌های بازگشت آن، نسبت به سایر روش‌های کلاسیک و هوشمند برتری دارد. همچنین باتوجه به

اینکه کاربرد توابع مفصل در پیش‌بینی و برآورد داده‌های هیدرولوژیکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از این رو ارزیابی کارایی توابع مفصل در برآورد متغیرهای مختلف هیدرولوژیکی و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و تأثیر آن در معرفی مدل مناسب و مقایسه نتایج حاصل از توابع مفصل با روش‌های آماری و هوشمند توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

- 1-Copula
- 2-Support Vector Regression
- 3-Artificial Neural Networks
- 4-Multi-Layer Perceptron
- 5-Random Forests
- 6-Divide and Conquer
- 7-Geographical Coordinates (GC)
- 8-Normal Ratio (NR)
- 9-Correlation Coefficient Weighted (CCW)

منابع

- منهاج، م.ب. ۱۳۸۴. مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی). جلد اول. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر. چاپ سوم. تهران، ایران.
- Abebe A.J., Solomatine D.P. and Venneker R.G. 2000. Application of adaptive fuzzy rule-based models for reconstruction of missing precipitation events. *Hydrological Sciences Journal*, 45(3): 425-36.
- Armanuos A.M., Al-Ansari N. and Yaseen Z.M. 2020. Cross assessment of twenty-one different methods for missing precipitation data estimation. *Atmosphere*, 11(4): 389.
- Bessa R.J., Miranda V., Botterud A., Zhou Z. and Wang J. 2012. Time-adaptive quantile-copula for wind power probabilistic forecasting. *Renewable Energy*, 1;40(1): 29-39.
- Boser B.E., Guyon I.M. and Vapnik V.N. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*. Pennsylvania, Pittsburgh, USA.
- Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning*, 45(1): 5-32.

- Nguyen-Huy T., Deo R.C., An-Vo D.A., Mushtaq S. and Khan S. 2017. Copula-statistical precipitation forecasting model in Australia's agro-ecological zones. *Agricultural water management*, 191: 153-72.
- Nguyen-Huy T., Deo R.C., Mushtaq S., An-Vo D.A. and Khan S. 2018. Modeling the joint influence of multiple synoptic-scale, climate mode indices on Australian wheat yield using a vine copula-based approach. *European journal of agronomy*, 98: 65-81.
- Paulhus J.L. and Kohler M.A. 1952 Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, 80(8): 129-33.
- Srinivas S., Menon D. and Meher Prasad A. 2006. Multivariate simulation and multimodal dependence modeling of vehicle axle weights with copulas. *Journal of transportation engineering*, 132(12): 945-55.
- Talebizadeh M., Morid S., Ayyoubzadeh S.A. and Ghasemzadeh M. 2010. Uncertainty analysis in sediment load modeling using ANN and SWAT model. *Water Resources Management*, 24(9): 1747-61.
- Teegavarapu R.S. and Chandramouli V. 2005. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of hydrology*, 312(1-4): 191-206.
- Vapnik V.N. 1998. *Statistical learning theory*. Wiley, New York.
- Vapnik V. 1995. *The nature of statistical learning theory*. Springer, New York.
- Young K.C. 1992. A three-way model for interpolating for monthly precipitation values. *Monthly Weather Review*, 120(11): 2561-9.
- Yuan C. and Yamagata T. 2015. Impacts of IOD, ENSO and ENSO Modoki on the Australian winter wheat yields in recent decades. *Scientific reports*, 5(1): 1-8.
- Zhang L. and Singh V.P. 2014. Trivariate flood frequency analysis using discharge time series with possible different lengths: Cuyahoga river case study. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(10): 05014012.
- Zscheischler J. and Seneviratne S.I. 2017. Dependence of drivers affects risks associated with compound events. *Science advances*, 3(6): e1700263.
- Genest C. and Rivest L.P. 1993. Statistical inference procedures for bivariate Archimedean copulas. *Journal of the American statistical Association*, 88(423): 1034-43.
- Hassani B.K. 2016. *Dependencies and relationships between variables. Scenario Analysis in Risk Management*. Springer International Publishing Switzerland.
- Huang J.J., Lee K.J., Liang H. and Lin W.F. 2009. Estimating value at risk of portfolio by conditional copula-GARCH method. *Insurance: Mathematics and economics*, 45(3): 315-24.
- Jarvis C., Darbyshire R., Eckard R., Goodwin I. and Barlow E. 2018. Influence of El Niño-Southern oscillation and the Indian Ocean Dipole on winegrape maturity in Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 502-10.
- Kao S.C. and Govindaraju R.S. 2010. A copula-based joint deficit index for droughts. *Journal of Hydrology*, 380(1-2): 121-34.
- Kotsiantis S. and Pintelas P. 2004. Combining bagging and boosting. *International Journal of Computational Intelligence*, 1(4): 324-33.
- Kuan C.M. and White H. 1994. Artificial neural networks: An econometric perspective. *Econometric reviews*, 13(1): 1-91.
- Kuss M. 2006. *Gaussian process models for robust regression, classification, and reinforcement learning*. Ph. D. dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany.
- Liu Z., Zhou P., Chen X. and Guan Y. 2015. A multivariate conditional model for streamflow prediction and spatial precipitation refinement. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(19): 10-16.
- Lu X.F., Lai K.K. and Liang L. 2014. Portfolio value-at-risk estimation in energy futures markets with time-varying copula-GARCH model. *Annals of operations research*, 219(1): 333-57.
- Manning C., Widmann M., Bevacqua E., Van Loon A.F., Maraun D. and Vrac M. 2018. Soil moisture drought in Europe: a compound event of precipitation and potential evapotranspiration on multiple time scales. *Journal of Hydrometeorology*, 19(8): 1255-71.

The Role of Key Stakeholders in Management of Urmia Lake Southern Satellite Wetlands

S.M. Mojtahedi¹, A. Tahmasebi², S.M. Shobeiri^{3*}, A.R. Alavitarbar⁴, B. Zandi³

1,3- PhD Student in Environmental Education & Professor, Environmental Education Department, Faculty of Educational Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. 2- Professor, Department of Human Geography, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. 4- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Environment, Karaj, Iran.

* (Corresponding Author Email: M.Mojtahedi@student.pnu.ac.ir)

Received: 28-06-2022

Revised: 14-09-2022

Accepted: 14-09-2022

Available Online: 11-03-2023

تحلیلی بر نقش گروه‌داران کلیدی در مدیریت تالاب‌های اقماری جنوب دریاچه ارومیه

سید مهدی مجتهدی^۱، اصغر طهماسبی^۲، سید محمد شبیری^{۳*}، علیرضا علوی تبار^۴، بهمن زندی^۳

۱ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری آموزش محیط زیست و استاد، گروه آموزش محیط زیست، دانشکده علوم تربیتی، دانشگاه پیام نور تهران، ایران. ۲- استاد گروه جغرافیای انسانی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ۴- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران.

* (نویسنده مسئول، E-Mail: M.Mojtahedi@student.pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

Abstract

The ecosystem-based approach has been accepted in Iran as a holistic way of wetlands management which is based on public participation and collaboration among different stakeholders that can affect and are impacted by wetlands basin. Surveys on the level of communication and interactions among these stakeholders have gotten very little attention in the existing literature, yet, are necessary and crucial for understanding the current situation of the region. This study aims to identify the key stakeholders and the level of their participation and cooperation in the sustainable use of satellite wetlands in the southern Urmia lake basin. For this purpose, after identifying the key stakeholders using the snowball sampling method and interviewing the stakeholders and activists effective on the protection and restoration of the wetland, the data was collected using interview tools and questionnaires, and the cooperation network matrix was formed. Then, the data was analyzed in UCINET software using the indices of in-degree, out-degree and betweenness centrality. The results of the research show that governmental organizations such as jahade keshavarzi, regional water company and urban water and sewage compared to other stakeholders, it has the most control and power in the organizational cooperation network and in contrast to civil society organizations, such as non-governmental organizations, farmers' organizations have the lowest in-degree centrality. Improper power and influence of NGOs and the local community in the stakeholder collaboration network could be a symptom of the dominant centralized, top-down, and hierarchical planning system in the watershed and wetlands resource management in this region.

Keywords: Social Network Analysis, Wetland Conservation and Management, Level of Collaboration, Stakeholders, Urmia Lake Satellite Wetlands.

چکیده

رویکرد مدیریت زیست‌بومی نگاهی جامع‌نگر به مدیریت تالاب‌ها است که بر مدیریت مشارکتی و تعامل میان‌بخشی و فرابخشی دستگاه‌های دست‌اندرکار و جوامع محلی حوضه آبخیز تأکید دارد. با این وجود، تحلیل روابط و تعاملات گروه‌داران در مدیریت تالاب‌ها، کمتر در مطالعات پیشین مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد تحلیل شبکه‌های اجتماعی به بررسی نقش و جایگاه گروه‌داران کلیدی در شبکه همکاری سازمانی در تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه پرداخته است. بدین منظور پس از شناسایی گروه‌داران کلیدی از روش نمونه‌گیری گلوله برفی و مصاحبه با دست‌اندرکاران و کنشگران موثر بر حفاظت و احیای تالاب، داده‌ها با ابزار مصاحبه و پرسشنامه گردآوری و ماتریس شبکه همکاری تشکیل شد. سپس داده‌ها در نرم‌افزار Ucinet با استفاده از شاخص‌های مرکزیت درجه ورودی، مرکزیت درجه خروجی و مرکزیت بینابینی تحلیل شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که دستگاه‌ها دولتی مانند جهاد کشاورزی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب شهری در مقایسه با سایر گروه‌داران، بیشترین کنترل و قدرت در شبکه همکاری سازمانی برخوردار بوده و در مقابل سازمان‌های جامعه مدنی، همچون سازمان‌های مردم‌نهاد، تشکلهای کشاورزان از کمترین درجه مرکزیت ورودی برخوردارند. قدرت و نفوذ پایین سمن‌ها و تشکلهای محلی در شبکه همکاری سازمانی، از علائم غلبه نظام برنامه‌ریزی متمرکز، از بالا به پایین و سلسله‌مراتبی در مدیریت حوضه آبخیز تالاب‌های منطقه است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل شبکه اجتماعی، مدیریت و حفاظت تالاب، میزان همکاری، گروه‌داران، تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه.

گذشته در محدوده‌های پیرامون دریاچه با نام تالاب‌های اقماری^۵ هستند (بهریزی‌راد، ۱۳۸۷) که با اکوسیستم دریاچه، پیوستگی بوم‌شناختی دارند (Dehghanipour و همکاران، ۲۰۲۰). برخی از تالاب‌های اقماری مانند: قوری‌گل، کانی‌برازان، گویی باباعلی، یادگارلو و درگه سنگی (شکل ۱)، به عنوان رامسر سایت، ثبت کنوانسیون جهانی تالاب‌ها شده‌اند. تالاب قره‌قشلاق، به عنوان بزرگ‌ترین تالاب اقماری حوضه دریاچه ارومیه، از پیش از انقلاب به عنوان منطقه مهم پرندگان^۶ به صورت شکار ممنوع، تحت حفاظت سازمان محیط‌زیست قرار دارد. با بارگذاری بیش از ظرفیت انواع توسعه، بدون توجه به ارزیابی توان سرزمین، از جمله: توسعه کشاورزی آب‌بر، افزایش جمعیت شهری، همچنین گرمایش جهانی، روند پسروی آب دریاچه ارومیه طی چند دهه گذشته، تسریع شد (Zebardast و همکاران، ۲۰۲۱). در این شرایط اهمیت تالاب‌های اقماری حوضه آبخیز دریاچه، به دلیل برخورداری از منابع آب شیرین به عنوان سیستم پشتیبان حیات^۷ و زیستگاه تنوع‌زیستی و همزمان منبع پویا در حمایت از معیشت اهالی روستاهای منطقه، بیش از پیش اهمیت یافته است (AghaKouchak و همکاران، ۲۰۱۵).

مدیریت تالاب‌ها در ایران توجه زیادی را طی سال‌های اخیر جلب نموده، درحالی‌که به دلیل کمبود اطلاعات لازم در مورد ماهیت مشکلات مدیریتی و ناکارآمدی، اجرای بسیاری از اقدامات مدیریتی موثر در حفاظت تالاب‌ها متوقف می‌ماند (طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۹۷). برنامه جامع مدیریت زیست‌بومی^۸ که رویکردی کل‌نگر^۹ در مدیریت منابع آب و خاک و تنوع‌زیستی دارد، به دنبال حفاظت از تالاب‌های اقماری با کارکردهای متنوع و حیاتی آن است. این امر تنها با نقش‌آفرینی موثر جامعه محلی و جلب مشارکت کلیه دستگاه‌های گردوار کلیدی چون: استانداری، فرمانداری، سازمان آب منطقه‌ای، سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، سازمان میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی، وزرات صنعت، معدن و تجارت و غیره در کنار سازمان حفاظت محیط‌زیست به عنوان متولی رسمی حفاظت از تالاب‌ها، ممکن است. این رویکرد با به رسمیت شناختن بهره‌برداری پایدار اقتصادی و در نظر گرفتن نقش انسان، به ویژه جوامع محلی، به عنوان بخشی از اکوسیستم، به دنبال حفاظت و بهره‌برداری پایدار در سطح حوضه آبخیز تالاب‌ها است.

تدوین برنامه مدیریت تالاب‌ها با رویکرد مشارکتی، ضمن افزایش آگاهی گردواران، با ایجاد شبکه‌ای از دانش بومی و فنی، زمینه حفاظت پایدار تالاب را فراهم می‌سازد (مجتهدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Zebardast و همکاران، ۲۰۲۱). برخلاف رویکردهای سنتی حفاظت که تنها بر «محدودیت برداشت منابع» متمرکز بود، مدیریت زیست‌بومی به موضوعاتی چون بهره‌برداری خردمندانه^{۱۰} و منافع بهره‌برداران توجه دارد، می‌کوشد بستر

تالاب‌ها در سرزمینی چون ایران که از نظر اکولوژیک، خشک محسوب می‌شود و در برابر نوسانات اقلیمی آسیب‌پذیری بیشتری دارد، اهمیت دوچندان دارند (مجنونیان و همکاران، ۱۳۹۹). تالاب بین‌المللی دریاچه ارومیه و تالاب‌های کوچک و بزرگ شیرین و لب‌شور وابسته به آن، مجموعه‌ای باستانی^{۱۱} است. این سرزمین تغییرات طبیعی را بارها تحمل نموده، اما در پی دخالت‌ها و فشارهای انسان‌ساخت، در خطر از بین رفتن زیستگاه و انقراض گونه‌های جانوری و گیاهی قرار گرفته است. در گذشته باورهای نادرستی در خصوص عدم امکان حیات و ارزش‌های محیط‌زیستی تالاب‌های آب شور مطرح بود، اما امروزه اهمیت اکولوژیک تالاب‌های آب شور نظیر دریاچه ارومیه اثبات شده است (مهندسین مشاور آبان‌پژوه، ۱۳۹۷). تالاب‌ها، تأمین‌کننده کالاها و خدمات لازم برای پایداری رفاه جوامع انسانی هستند. براساس مطالعات، ارزش‌های گوناگونی برای دریاچه ارومیه شناسایی شده که در چهار گروه عمده اکولوژیک، تولیدی^{۱۲}، تنظیمی^{۱۳} و اجتماعی- فرهنگی قابل تقسیم‌بندی است (Abbaspour و Nazaridoust، ۲۰۰۷). به دلیل رقابت میان گروه‌های گوناگون با منافع متفاوت، مدیریت پایدار تالاب‌ها در پی ناسازگاری میان منافع پیچیده، نیازمند مشارکت گردواران مختلف می‌باشد. با این وجود در مدیریت تالاب‌ها، عموماً توجه اندکی به تحلیل سیستماتیک مشارکت گردواران گوناگون شده است (Emmanuel و Sylvere، ۲۰۱۶).

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران، زیستگاهی کم‌نظیر برای تنوع زیستی جانوری و گیاهی است که از سال ۱۳۴۶ جزء اولین مناطق حفاظت شده ایران انتخاب شد، سپس با عنوان پارک ملی تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست قرار گرفت. این دریاچه در سال ۱۳۵۴ به عنوان تالاب بین‌المللی (سایت رامسر) تعیین و به دلیل کارکردهای گوناگون اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی به عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره ثبت برنامه انسان و کره مسکون یونسکو از سال ۱۳۵۶ شده است (مجنونیان، ۱۳۹۰). دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین تالاب داخلی اران، از بارزترین اکوسیستم‌های آبی ملی و جهانی است. حوضه آبریز آن با مساحت حدود ۵۲ هزار کیلومتر مربع، در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی و بخشی از کردستان در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز، به عنوان یکی از شش حوضه آبخیز اصلی کشور، حوضه‌ای بسته است و کلیه رودخانه‌ها و رواناب‌های جاری به دریاچه می‌ریزند (Hamidi و همکاران، ۲۰۲۱). مهم‌ترین رودهای این حوضه: زربینه‌رود، سیمینه‌رود و مهابادرود، از جنوب دریاچه وارد آن می‌شوند. به عنوان یک سیستم همبسته^{۱۴}، علاوه بر رودخانه‌های منتهی به دریاچه، آبگیرها و تالاب‌های فراوانی به صورت پهنه‌های آبدار از

مناسب تحقق مشارکت گرداران در حفاظت تالابها را فراهم سازد. در این راستا، مبحث همسوسازی^{۱۱} حفظ طبیعت مطرح می‌شود. حفظ محیط زیست و طبیعت امروزه، تنها وظیفه یک سازمان نیست، بلکه نیازمند همراهی کلیه سازمان‌های ذی‌ربط و مستلزم ایفای نقش مردم و جوامع محلی است. در این فرآیند، تداوم ارتباط انسان و طبیعت، همگرایی جوامع انسانی، مراجع دولتی و غیردولتی، زمینه لازم برای پایداری حفاظت است (Pouladi و همکاران، ۲۰۱۹؛ آل محمد و همکاران ۱۳۹۳).

پیشینه مطالعات حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، به ویژه چالش خشک شدن دریاچه، در دو گروه قابل دسته‌بندی است. گروه اول به بررسی عوامل خشک شدن تالاب در پی عوامل طبیعی، شامل خشکسالی (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۳)، تغییرات اقلیمی (ناظری‌تهرودی و همکاران، ۱۳۹۴) و عوامل انسانی و مدیریتی از جمله برداشت بی‌رویه منابع آب در بالادست (واعظی‌هیر و همکاران، ۱۳۹۵) و فقدان برنامه‌ریزی راهبردی در سطح حوضه آبخیز (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) می‌پردازد. گروه دوم، به تحلیل راهکارها و چالش‌های خشک شدن دریاچه ارومیه از ابعاد محیط‌زیستی (ایرانخواه و همکاران، ۱۳۹۶)، اقتصادی (صادقی و خان‌زاده، ۱۳۹۸) و اجتماعی-فرهنگی (ایرانخواه و همکاران، ۱۳۹۶) پرداخته‌اند. گرچه تالاب‌های اقماری نقش تعیین‌کننده‌ای در تنظیم چرخه‌های بوم‌شناختی و هیدرولوژیک دریاچه ارومیه دارند، اما در تحقیقات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. با وجود تأکید بر نقش‌آفرینی گرداران مختلف در مدیریت تالاب‌ها، میزان همکاری و ارتباط نهادهای مرتبط و تأثیرگذار بر مدیریت تالاب‌ها، به صورت سیستماتیک کمتر بررسی شده است. به‌علاوه مطالعات گوناگون مرتبط با دریاچه ارومیه و مباحث احیای آن، تاکنون با دیدگاه بوم‌شناسی سیمای سرزمین^{۱۲} انجام نشده، که در آن حوضه آبخیز دریاچه، نظامی طبیعی و به هم پیوسته، دربرگیرنده رودخانه‌ها از بالادست تا پایین‌دست است و تالاب‌های اقماری با کارکردهای بوم‌شناختی‌شان، به عنوان بخشی از این اکوسیستم یکپارچه در نظر گرفته می‌شوند. این پژوهش با تحلیل گرداران، گامی در جلب توجه و حمایت‌گیری از نهادها و ذینفعان مرتبط، جهت حفاظت از اکوسیستم ارزشمند تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه است.

بررسی پیشینه پژوهش تحلیل گرداران و شناخت انگیزه‌های مشارکت دست‌اندرکاران، نقش و اهمیت این تحلیل را در فرآیند مدیریت و توسعه نشان می‌دهد. اغلب تحقیقات پیشین، برای مثال توکلی (۱۳۹۸)، بهروزی‌خوگو و محمدی‌کنگرانی (۱۳۹۶) و اکبری‌رونیزی و بدری (۱۳۹۴)، گرداران کلیدی را به صورت منفصل و جدا از هم و با رویکرد انفرادی، بررسی کردند و کمتر به تحلیل ارتباط متقابل و تعاملات گرداران توجه داشتند. حفاظت و مدیریت مشارکتی منابع طبیعی، در سیستم‌های اجتماعی -

اکولوژیکی خاصی موثرتر است که در آن بهره‌برداران منابع، شامل دست‌اندرکاران مختلف و مردم محلی، می‌توانند بر تصمیمات مدیریتی سیاستگذاران اثرگذار باشند (Prell و همکاران، ۲۰۰۹؛ Groce و همکاران، ۲۰۱۹). تحلیل شبکه‌های اجتماعی^{۱۳} به عنوان یک تکنیک مفید بررسی روابط بین کاربران منابع، ایجاد شد (Ahmadi و همکاران، ۲۰۱۹؛ Rhodes و همکاران، ۲۰۲۰) و می‌توان از آن برای کمک به مدیران و بهره‌برداران، جهت آگاهی از پیامدهای اجتماعی تصمیم‌گیری‌هایشان استفاده نمود (Prell و همکاران، ۲۰۰۹).

ماهیت پیچیده و پویای مشکلات محیط‌زیستی، ضرورت وجود یک فرآیند منعطف و شفاف تصمیم‌سازی که دربرگیرنده تنوعی از ارزش‌ها و دانش‌ها باشد را ضروری می‌سازد. از این‌رو مشارکت گرداران در تصمیم‌سازی و مدیریت محیط‌زیست، مورد تأکید است (Reed، ۲۰۰۸). اکولوژی کاربردی ریشه در برهمکنش جوامع انسانی و سیستم‌های طبیعی دارد، در نتیجه بوم‌شناسان همیشه با چالش چگونگی کاربست دانش بوم‌شناسی در اثرگذاری بر مدیریت اکوسیستم‌ها مواجه‌اند، بدین منظور باید برج عاج مدیریتی-دانشگاهی را ترک کرده و در عمل با گرداران گوناگون با منافع متفاوت‌شان مواجه شوند (Mishra و همکاران، ۲۰۱۷).

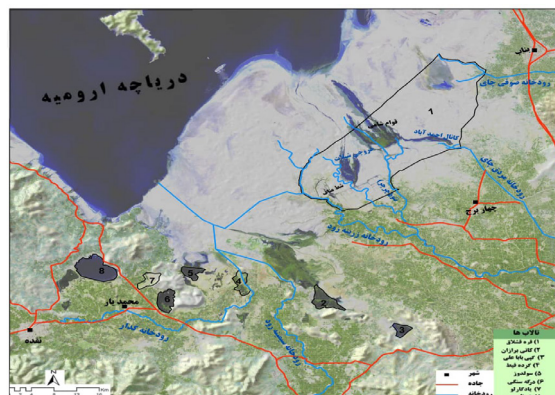
شناخت شبکه‌های اجتماعی، نقش موثر در دستیابی به نتایج محیط‌زیستی مورد نظر طرح‌های حفاظتی دارد. امروزه چگونگی تأثیر شبکه‌ها و فرآیندهای اجتماعی (نظیر تعامل بین افراد) بر یکدیگر (Bodin و Crona، ۲۰۰۹) و به نوبه خود بر پیامدهای اجتماعی (نظیر تصمیم‌گیری یا اجرای اقدامات)، اهمیت ویژه‌ای در حفاظت یافته است (Hukkinen، ۲۰۱۲؛ Jiren و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات گوناگونی جهت تعیین ساختار شبکه و این که پیامدهای اجتماعی چگونه در تعیین وضعیت محیط نقش دارند، انجام شده است (Prell و Bodin، ۲۰۱۱؛ Guerrero و همکاران، ۲۰۲۰). شناخت مکانیزم‌های رفتار جمعی و فرآیندهای اجتماعی موثر بر محیط‌زیست که با شاخص‌های اجتماعی و اکولوژیک قابل سنجش است در تحلیل شبکه‌های اجتماعی مورد پژوهش است (Groce و همکاران، ۲۰۱۹؛ Guerrero و همکاران، ۲۰۲۰). کاربرد تحلیل شبکه گرداران در مدیریت منابع طبیعی به سرعت در حال گسترش بوده، بنابراین لازم است جامعه حفاظت‌گران، که پایگاه قوی در سطح جامعه دارند، برای کسب نتایج مطلوب محیط‌زیستی و اجتماعی طرح‌های حفاظتی، از گستره مزایا و نقش‌آفرینی شبکه‌های اجتماعی در حفظ منابع‌زیستی طبیعت فعالانه استفاده نمایند (Schröter و همکاران، ۲۰۱۸؛ Jasny و همکاران، ۲۰۲۱، ۲۰۲۲؛ Barraclough و همکاران، ۲۰۲۲).

در مدیریت زیست‌بومی تالاب‌ها، مجموعه‌ای از گرداران دولتی و کنشگران جامعه‌مدنی در تعامل هستند که جایگاه و نقش آنها در شبکه همکاری‌ها، کمتر در مطالعات پیشین بررسی شده

گروه ۲	گروه ۱
گروداران در سطح جامعه مدنی	گروداران دولتی
استانداری	شهرداری
فرمانداری	شورای شهر
اداره کل حفاظت محیط زیست	شورای روستاها
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری	دانشگاه و مراکز پژوهشی
سازمان جهاد کشاورزی	سازمان‌های مردم نهاد
شرکت سهامی آب منطقه‌ای	تعاونی آب‌بران
شرکت آب و فاضلاب	صندوق‌های خرد معیشتی
سازمان صنعت، معدن و تجارت	کشاورزان محلی
اداره کل آموزش فنی و حرفه‌ای	
اداره کل تعاون، کار و رفاه اجتماعی	
اداره کل شیلات	
سازمان صدا و سیما	
مجلس شورای اسلامی	
ستاد احیای دریاچه ارومیه	
اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی	

است. این پژوهش به دنبال پاسخگویی به این سوال است که گرووداران بخش دولتی و غیردولتی، چه جایگاهی در شبکه همکاری سازمانی دارند؟ لذا با تحلیل شبکه‌های اجتماعی، نوع ارتباط، میزان همکاری و تعامل، نقش گرووداران کلیدی، همچنین میزان همخوانی برنامه کاری سازمانی‌شان با اهداف حفاظت و احیای تالاب‌های اقماری حوضه آبخیز دریاچه ارومیه بررسی شد. در ادامه به این سؤال که گروه‌های مختلف در شبکه همکاری و ارتباط میان گرووداران حفاظت و مدیریت تالاب‌ها، چه جایگاهی دارند؟ پاسخ داده شد.

در این مطالعه به منظور تحلیل شبکه همکاری سازمانی در مدیریت تالاب‌های کشور و بررسی نقش گردوداران کلیدی در شبکه همکاری، تالاب‌های اقماری قره‌قشلاق و کانی‌برازان (شکل ۱) به عنوان نمونه‌ای از تالاب‌های اقماری جنوب دریاچه ارومیه که طرح مدیریت زیست‌بومی مصوب در شورای برنامه‌ریزی استان‌های آذربایجان شرقی و غربی را دارند، انتخاب شد. سپس با استناد به مطالعات انجام شده در زمینه دریاچه ارومیه و تالاب‌های اقماری پیرامون آن (طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۸۹؛ مجتهدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ طرح حفاظت از تالاب‌های ایران، ۱۳۹۷) و همچنین انجام مصاحبه و روش نمونه‌گیری گلوله برفی، تعداد ۲۳ گردودار کلیدی و مرتبط با تالاب‌ها در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی، شناسایی و در دو گروه گردوداران بخش دولتی و جامعه مدنی، دسته‌بندی شدند (جدول ۱). بدین منظور نهادهایی که از منابع بودجه عمومی دولت برای پیگیری مسئولیت‌ها و وظایف خود استفاده می‌کنند، جزء سازمان‌های دولتی و در غیر این صورت در دسته‌بندی نهادهای مدنی قرار گرفتند. سپس داده‌های میزان همکاری و ارتباط هر کدام از گردوداران در رابطه با حفاظت و احیای تالاب‌های اقماری حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با سایر گردوداران کلیدی، با استفاده از ابزار پرسشنامه جمع‌آوری شد.



نشریه آب و توسعه یابدار

در مدیریت زیست‌بومی تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه، گروداران بسیاری مرتبط و دخیل هستند که فعالیت‌ها، برنامه‌ها و سیاست‌های هریک به نوعی بر این تالاب‌ها و شرایط بوم‌شناسی حوضه‌آبخیز آن، اثرگذار است. در یک دسته‌بندی کلی، گروداران در منطقه شامل: گروه‌های بهره‌بردار محلی، کشاورزان، تشکلهای تعاونی‌های محلی از جمله صندوق‌های معیشت روستایی و تشکلهای آب‌بران، دهیاری و شورای روستاها، همچنین کشاورزان و دامداران در سطح جامعه محلی و سازمان‌های مردم‌نهاد، همزمان دستگاه‌ها و ادارات دولتی مرتبط که امکان بهره‌برداری مستقیم و یا نظارت بر برداشت از منابع این تالاب‌ها را دارند، هستند. شناخت و تحلیل درست از وضع موجود ارتباط و میزان همکاری گروداران، بر ارتقاء مدیریت و پایداری حفاظت تالاب‌ها تأثیر گذار است. چنانچه در چارچوب مفهومی این مقاله اشاره شد، این پژوهش بر تحلیل نقش و جایگاه گروداران کلیدی در شبکه اجتماعی و میزان همکاری و ارتباط بین دست‌اندرکاران مدیریت زیست‌بومی تالاب‌ها، همچنین میزان سازگاری و انطباق فعالیت‌ها و برنامه‌های اجرایی گروداران با اهداف مدیریت به‌هم‌پیوسته حوضه‌آبخیز و حفاظت تالاب‌های اقماری جنوب دریاچه ارومیه، تمرکز دارد. بر این مبنا نتایج و یافته‌های پژوهش در سه بخش زیر ارائه می‌شود.

الف) ارتباطات و تسهیل جریان اطلاعات

در این تحلیل، درجه مرکزیت خروجی^{۱۶} به میزان نفوذ و ارتباط گروداران در تعامل و همکاری سازمان‌های مرتبط با موضوع مدیریت حوضه‌آبخیز تالاب‌های اقماری اشاره دارد. گروداران با درجه مرکزیت خروجی بالا در تصمیم‌سازی و جریان اطلاعات شبکه گروداران این حوضه، نقش مهم‌تری دارند. شکل (۲)، مرکزیت درجه خروجی شبکه همکاری سازمانی مدیریت حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری جنوب دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد. در این شکل اندازه گره‌ها، میزان مرکزیت درجه خروجی گروداران و دو رنگ قرمز و آبی، به ترتیب دسته‌بندی آنها را در دو گروه گروداران دولتی و جامعه مدنی نشان می‌دهد.

چنانچه شکل (۲) نشان می‌دهد، ادارات کل حفاظت محیط‌زیست و فرمانداری- بخش‌داری، در درجه اول میزان ارتباط بین بخشی قرار دارند. علت این امر می‌توان تلاش ادارات کل حفاظت محیط‌زیست در زمینه تصویب طرح‌های جامع مدیریت زیست‌بومی و پیگیری دریافت حق‌آبه و احیای تالاب‌های اقماری منطقه، با این نگاه که تالاب‌ها زیستگاه حساس تنوع زیستی و دارای اهمیت ملی هستند، دانست. بر اساس نتایج تحلیل شبکه، فرمانداری و بخش‌داری به عنوان دو نهاد فرابخشی هماهنگ‌کننده، بیشترین تعامل و همکاری با سایر گروداران را دارند، لذا دارای بیشترین نفوذ در شبکه همکاری

خروجی^{۱۵} و مرکزیت درجه بینابینی، جهت بررسی جایگاه هر کدام از گروداران در شبکه همکاری سازمانی، مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین جهت ترسیم نمودارهای شبکه همکاری، از نرم‌افزار Netdraw استفاده شد. در این راستا، افراد مطلع و آشنا با شرایط مدیریت و حفاظت و بهره‌برداری از تالاب‌های اقماری، به عنوان نمونه، انتخاب و مصاحبه شدند. این پژوهش از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ در فرآیند به‌روزرسانی برنامه مدیریت جامع تالاب قره‌قشلاق انجام شد.

- شاخص‌های اندازه‌گیری

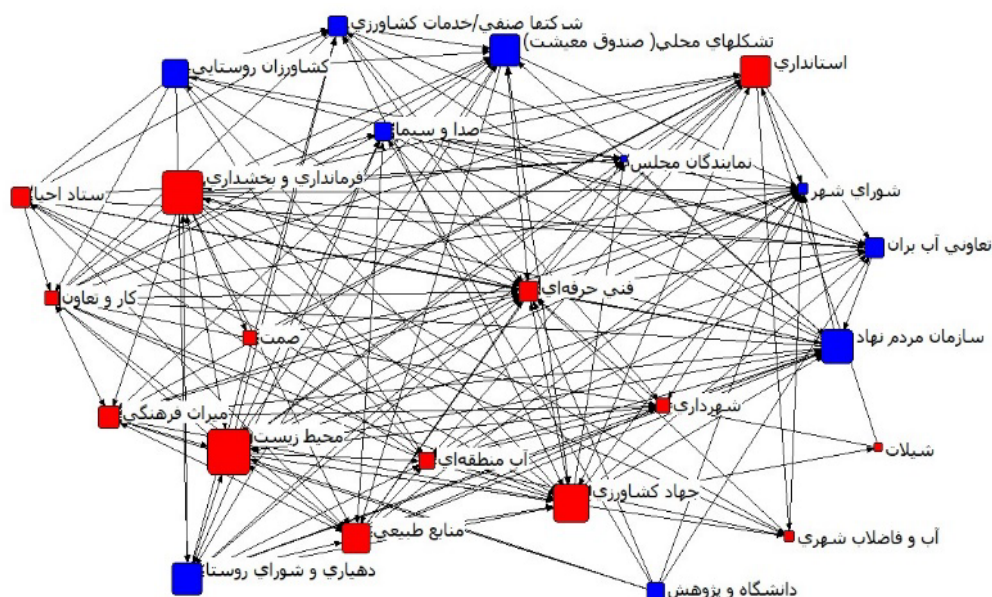
شاخص مرکزیت درجه: این شاخص بیانگر میزان ارتباطات مستقیم هر گرودار با سایر گروداران در شبکه است. ارزش مرکزیت هر گرودار با شمارش تعداد تعاملات آن با سایر گروداران، به دست می‌آید. در مواردی که روابط بین گروداران یک‌سویه باشد (برای مثال دریافت اطلاعات)، باید جهت رابطه را نیز در تعیین مرکزیت درجه، لحاظ کرد. همچنین مرکزیت درجه ورودی از مرکزیت درجه خروجی، تفکیک می‌شود. لذا لازم است مشخص شود یک گرودار مرکزی چند رابطه ورودی را دریافت می‌کند (مرکزیت درجه ورودی) و چند رابطه خروجی (مرکزیت درجه خروجی) دارد (Prell و Bodin، ۲۰۱۱). میزان مرکزیت درجه ورودی یک گرودار، بیانگر میزان دسترسی و کنترل آن به منابع شبکه است، در نتیجه قدرت بیشتری در شبکه دارد. درجه خروجی نشان‌دهنده میزان نفوذ گرودار در شبکه تعاملات می‌باشد. بنابراین شناخت چگونگی و میزان انتقال اطلاعات در تحلیل شبکه، کارایی بیشتری دارد، زیرا نشان می‌دهد این گرودار در جریان اطلاعات درون شبکه و ظرفیت‌سازی سایر گروداران، می‌تواند نقش تعیین‌کننده داشته باشد (ورجواند ناصری و همکاران، ۱۳۹۹).

شاخص مرکزیت بینابینی: این شاخص بر اساس موقعیت گروداران در شبکه و قرار گرفتن در کوتاه‌ترین مسیر میان دیگر گروداران محاسبه می‌شود. براساس این شاخص، نقطه‌ای مرکزیت بینابینی بیشتری دارد که بین بسیاری از جفت نقاط قرار گرفته و راه ارتباط نقاط دیگر، از آن بگذرد. براین اساس گرودار می‌تواند بر همکمنش‌های دو گرودار دیگر کنترل داشته باشد، به عبارتی این شاخص قدرت کنترلی هر گرودار در شبکه را مورد سنجش قرار می‌دهد. گرودارانی با درجه بینابینی بالا، قادرند جریان منابع بین سایر گروداران را تحت تأثیر قرار داده و از طریق پیوندهای برون گروهی، موجب تنوع در منابع اطلاعات شوند. با شناسایی و همسوسازی این گروداران، با هزینه و مدت زمان کمتری می‌توان اطلاعات را در شبکه مبادله کرد. اگر گروداران با درجه مرکزیت بینابینی بالا از شبکه حذف شوند، تبادل اطلاعات در شبکه مختل و پیوندهای ارتباطی میان آنها از بین خواهد رفت.

بوده و می‌توانند به عنوان مبادی ورودی اطلاعات در شبکه همکاری گروداران در سطح حوضه آبخیز ایفای نقش نمایند.

سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری در رتبه‌های بعدی تعامل و همکاری میان گروداران منطقه هستند. این امر به ارتباط مستقیم جهاد کشاورزی با جامعه محلی باغدار-کشاورز، همچنین ارتباط منابع طبیعی با روستاییان در زمینه مدیریت چرای دام و فعالیت‌های کنترل کانون‌های ریزگرد و اجرای طرح تعاملی ترسیب‌کربن در منطقه در سال‌های اخیر، قابل تفسیر است. چنانچه حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری با رودخانه‌های اصلی تغذیه‌کننده دریاچه ارومیه در سه استان آذربایجان شرقی و غربی و کردستان ارتباط مستقیم دارد، ستاد احیای دریاچه ارومیه که به عنوان ساختاری فرابخشی با هدف کمک به احیای دریاچه شکل گرفته بود، می‌توانست در کنار ادارات کلیدی و ذی‌نفوذ چون شرکت آب منطقه‌ای، نقش مهم و پررنگی در تعاملات بین بخشی مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه داشته باشد، لذا باید از نفوذ

بالایی در تسهیل جریان اطلاعات و همکاری با سایر گروداران برخوردار می‌بود، اما بر اساس نتایج پژوهش، از نظر گروداران، ستاد احیا در این زمینه، فاقد تعاملات دوسویه بوده، در نتیجه برخلاف تصور درجه نفوذ پایینی در شبکه ارتباط گروداران داشته است. شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای، نظر به خط مشی‌های کلان و جایگاه کلیدی در زمینه مدیریت منابع آب، با شرح وظایف مرتبط و قدرت اثرگذاری بالا در مدیریت منابع آب و سرزمین، از قدرت و امکانات بالایی برای اثرگذاری در شبکه ارتباطات سازمانی برخوردارند. اما بر اساس نظرات سایر گروداران، نقش کم‌رنگی در شبکه تعاملات سازمانی و ارتباط با سایر دست‌اندرکاران داشته‌اند. همچنین سازمان‌هایی چون آب و فاضلاب، شیلات، اداره صنعت، معدن و تجارت و ...، کمترین درجه ارتباط و همکاری با سایر گروداران را دارند. در این تحلیل مجلس شورای اسلامی نیز در زمینه حفاظت و احیای تالاب‌ها درجه تعامل بین بخشی اندک و سطح همکاری پایینی داشته است.



شکل ۲- مرکزیت درجه خروجی شبکه همکاری سازمانی در مدیریت تالاب‌های اقماری جنوب دریاچه ارومیه (گروداران دولتی و جامعه مدنی به ترتیب با دو رنگ قرمز و آبی مشخص شده‌اند)

در سطح جامعه مدنی، تشکلهای معیشتی مانند صندوق‌های خرد محلی در روستاهای منطقه، بالاترین میزان تعامل و همکاری را با سایر گروداران دارند. با این وجود سازمان‌های مردم‌نهاد در این تحلیل در شبکه همکاری کنشگران از سطح پایینی در زمینه ارتباطات و تبادل اطلاعات قرار دارند، که نشان می‌دهد این سازمان‌های در حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری دریاچه ارومیه، با وجود زمینه فعالیت و نفوذ محلی نسبی، در همکاری با سایر دست‌اندرکاران، تبادل جریان اطلاعات، ایجاد همکاری و تعامل با سایر گروداران، فعالیت پررنگ و چشمگیر نداشته‌اند. شوراها و

دهیاری، با وجود برخورداری از ارتباط بی‌واسطه با جوامع محلی و بهره‌برداران بومی، سطح تعامل بالایی با سایر دست‌اندرکاران در راستای حفاظت و احیای تالاب‌ها ندارند. همچنین از نظر گروداران، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی مانند صدا و سیما و رسانه‌ها نیز در تعامل با سایر کنشگران به منظور پرداختن به موضوعات مربوط به حفاظت و احیای تالاب‌ها، امتیاز بالایی نداشتند. این در حالی است که ایجاد زمینه گفتگو و تبادل اطلاعات در کلیه ذی‌نفعان به منظور شکل‌دادن همکاری جهت ایجاد عزم جمعی برای حفاظت تالاب‌های اقماری و مدیریت یکپارچه حوضه آبخیز دریاچه ارومیه،

ج) نقش هماهنگ‌کنندگی در شبکه همکاری سازمانی

شاخص مرکزیت بینابینی از دیگر شاخص‌های تحلیل شبکه‌های اجتماعی است که نقش هماهنگ‌کنندگی و ایجاد انسجام در شبکه را نشان می‌دهد. کنشگران با مرکزیت بینابینی بالاتر، از توان بیشتری در ایجاد انسجام و هماهنگی بین کنشگران شبکه برخوردارند. در بین دستگاه‌های گردوار، جهاد کشاورزی و محیط‌زیست و استانداری بالاترین درجه مرکزیت و انسجام بخشی بین سازمانی را دارند، که به ماهیت فراسازمانی استانداری و نقش تسهیلگری سازمان حفاظت محیط‌زیست در ارتباط با ایجاد کمیته‌های بین‌بخشی مدیریت محلی تالاب‌ها، قابل تفسیر است. جهاد کشاورزی نیز به دلیل ارتباط بی‌واسطه با جوامع محلی و روستاییان، همچنین مجموعه ارتباطات بین سازمانی این دستگاه با اداراتی چون منابع طبیعی و شرکت آب منطقه‌ای و محیط‌زیست، فرمانداری و بخش‌داری و ...، گرداری تأثیرگذار است و نقش هماهنگ‌کنندگی بالایی دارد.

در این بخش نیز نمایندگان جامعه مدنی چون دانشگاه، رسانه‌ها، تشکلهای محلی مانند صندوق‌های معیشتی و تعاونی آب‌بران و غیره، فاقد امکان تأثیرگذاری بالا و ایفای نقش هماهنگ‌کنندگی یا انسجام‌بخشی ترسیم شدند. این شرایط گویای نظام از بالا به پایین، متمرکز و سلسله‌مراتبی تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در زمینه منابع آب و تالاب، همچنین پایین بودن امکان مشارکت گرداران مختلف در حوضه مدیریت یکپارچه منابع طبیعی و محیط‌زیست در حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی میزان ارتباط و همکاری گرداران مرتبط با مدیریت تالاب‌های اقماری جنوب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، پس از تهیه فهرست اولیه کلیه دستگاه‌ها و گروه‌های اثرگذار و تأثیرپذیر بر فرآیند تحقق مدیریت به هم پیوسته تالاب‌ها، از روش تحلیل شبکه‌های اجتماعی استفاده شد. لذا داده‌های همکاری سازمانی از ۲۲ دستگاه گردوار اصلی مرتبط با موضوع حفاظت و بهره‌برداری پایدار حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری، جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار Ucinet مورد تحلیل قرار گرفتند. طبق یافته‌ها و شاخص درجه مرکزیت ورودی، در بعد ظرفیت‌سازمانی و جریان اطلاعات در شبکه همکاری سازمانی، در سطح ادارت دولتی، به ترتیب ادارات محیط‌زیست و فرمانداری، سپس سازمان جهادکشاورزی، اداره آموزش فنی و حرفه‌ای بیشترین میزان نفوذ و توانایی اثرگذاری در شبکه را داشته‌اند. بر اساس این شاخص، در سطح جامعه مدنی، تشکلهای معیشت روستایی (صندوق‌های اعتبار خرد) و سازمان‌های مردم‌نهاد، می‌توانند نقش موثر در فرآیند تبادل داده‌ها در شبکه جریان اطلاعات داشته باشند. از این‌رو این

سازمان‌ها و گروه‌ها در بسیج و جلب همراهی سایر کنشگران و سازمان‌های گردوار، نقش تسهیل‌گر داشته و همزمان اطلاعات مورد نیاز برای ارتقاء حفاظت و بهره‌برداری پایدار را می‌توانند در اختیار سایر اعضای شبکه قرار دهند.

در فرآیند مدیریت زیست‌بومی تالاب‌های اقماری حوضه دریاچه ارومیه، میزان قدرت و کنترل بر سایر گرداران با شاخص درجه مرکزیت ورودی شبکه تعاملات و همکاری سازمانی، سنجش شد. علاوه بر فرمانداری و بخش‌داری، اداره حفاظت محیط‌زیست و جهاد کشاورزی، بالاترین جایگاه را در این بخش کسب کردند. سازمان‌های جامعه مدنی، عمدتاً از درجه پایین‌تر توانایی کنترل شبکه برخوردارند. قدرت پایین‌تر سمن‌ها در شبکه همکاری سازمانی، نشان‌دهنده غلبه نظام برنامه‌ریزی متمرکز و از بالا به پایین و سلسله‌مراتبی موجود است. همچنین شوراها و دهیاری‌ها، با وجود برخورداری از ارتباط بی‌واسطه با جوامع محلی بهره‌بردار و بومی منطقه، از مرکزیت بالایی برخوردار نبوده و نقش و کنشگری فعالی در راستای حفاظت و احیای تالاب‌ها ندارند.

شاخص مرکزیت بینابینی در شبکه تبادل اطلاعات برون‌بخشی، نقشی اساسی دارد. کنشگران با میزان واسطه‌گری و قدرت کنترل بالا، نقش مهمی در برقراری روابط و افزایش تعاملات میان سایر کنشگران و دست‌اندرکاران سازمانی دارند. حذف یا کم‌رنگ شدن نقش این گروه از گرداران، تبادل اطلاعات شبکه را مختل می‌سازد، زیرا راه‌های ارتباطی دیگر گرداران از این مسیر می‌گذرد. همچنین بدون شناخت گرداران با قدرت واسطه‌گری بالا، در شبکه تبادل اطلاعات برون‌بخشی، حفاظت و مدیریت جامع زیست‌بومی تالاب‌ها، زمان و هزینه زیادتری لازم دارد. وظیفه هماهنگی بین بخشی در مدیریت زیست‌بومی تالاب‌های اقماری و شبکه همکاری سازمانی، به ترتیب با اداره حفاظت محیط‌زیست و فرمانداری است. این امر به دلیل شرح وظایف سازمانی آنها قابل پیش‌بینی بود. در این زمینه نقش سازمان جهاد کشاورزی نیز، با بالاترین مرکزیت درجه بینابینی، کلیدی است. لذا توسعه طرح‌های کشاورزی پایدار جهت هم‌سوسازی ادارات کشاورزی در راستای تحقق اهداف مدیریت تالاب‌ها و ارتقاء شاخص‌هایی چون مصرف بهینه آب در مزارع و تغییر الگوی کشت، خاک‌ورزی حفاظتی و جلب همراهی کشاورزان در کنترل توسعه کمی اراضی کشاورزی و مدیریت مصرف سم و کود که تأثیر مستقیم بر تنوع زیستی تالاب دارد، ضروری است. همچنین توجه به تقویت پیوند سازمان‌ها در سطح جامعه مدنی، به ویژه در میان سمن‌ها و تشکلهای محلی با رسانه‌ها و مراکز پژوهشی- دانشگاهی که درجه مرکزیت بینابینی پایین‌تری در شرایط فعلی داشتند، ضروری است و تلاش ویژه می‌طلبد؛ این امر بر تقویت انسجام اجتماعی و تعامل بین‌بخشی اثرگذار خواهد بود.

حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری، بارودخانه‌های اصلی تغذیه‌کننده دریاچه ارومیه و در سه استان آذربایجان شرقی و غربی و کردستان همپوشانی دارد. تشکیل ستاد احیای دریاچه ارومیه به عنوان ساختاری فرابخشی که با هدف احیای دریاچه شکل گرفت، می‌توانست نقش مهم و پررنگی در توسعه تصمیم‌گیری‌های مشترک و تعاملات بین بخشی و بین استانی، به ویژه در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه آبخیز داشته باشد و ستاد با تسهیل جریان اطلاعات و همکاری میان گروداران، درجه نفوذ بالایی در شبکه داشته باشد. اما بر اساس نتایج این پژوهش، از نظر گروداران، ستاد احیا به عنوان نهاد هماهنگ‌کننده، در نقش تسهیل‌گر همکاری‌های بین‌بخشی اقدام نکرده، لذا درجه نفوذ بالایی در شبکه نداشته است. گویا ستاد بیشتر تأمین‌کننده اعتبار طرح‌های بخشی دستگاه‌های مرتبط با دریاچه ارومیه بوده و ساختاری پیشرو و تسهیلگر در زمینه توسعه ارتباطات و تعاملات بین‌بخشی در منطقه نبوده است.

شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای، به ویژه به دلیل نقش کلیدی که در تخصیص و تأمین حق‌آبه و نیاز آبی تالاب‌های اقماری دارند، یکی از مهمترین سازمان‌ها در شبکه همکاری بین‌بخشی تالاب‌ها هستند و نقشی کلیدی در زمینه حفاظت و احیای تالاب‌های اقماری و دریاچه ارومیه دارند. شاید جایگاه و اقتدار این سازمان، مانع از تلاش آن برای ایجاد ارتباط تعاملی بیشتر با سایر کنشگران در شبکه شده است. اما هدف پایداری حفاظت و احیای تالاب‌ها، نیاز به همکاری این گرودار ذی‌نفوذ و ارتباط موثر آن با سازمان حفاظت محیط‌زیست، به عنوان نهاد رسمی متولی مدیریت و حفاظت تالاب‌ها دارد. همزمان لازم است آب منطقه‌ای با سایر کنشگران و گروداران در سطح محلی، به ویژه کشاورزان، جهت مدیریت تخصیص و تحویل حق‌آبه، ارتقاء مدیریت مصرف و بهره‌وری منابع آب در سطح حوضه آبخیز، تعامل فعال داشته باشد.

از دید سایر گروداران، نمایندگان مجلس درجه تعامل بین‌بخشی اندک و سطح همکاری پایینی در زمینه حفاظت و احیای تالاب‌های اقماری دارند، شاید از این رو که خواست دریافت حق‌آبه و احیای تالاب‌های اقماری از مطالبات اصلی موکلین ایشان در سطح جوامع محلی منطقه نبوده است.

با وجود کوشش‌های بسیار جهت تدوین و اجرای برنامه‌های جامع مدیریت زیست‌بومی تالاب‌های اقماری، همچون قره‌قشلاق و کانی‌برازان و... در منطقه، که در یک دهه گذشته، با هدف ایجاد بستر همکاری بین‌بخشی، اقدام به ایجاد ساختارهایی چون کمیته مدیریت محلی تالاب‌ها نمودند، اما سطح تراکم کمتر از ۳۰ درصد در شبکه، در شرایط فعلی، نشانگر سطح پایین همکاری میان گروداران منطقه است. این موضوع نیازمند آسیب‌شناسی جدی، توجه ویژه و یافتن سازوکاری برای اصلاح شرایط در زمینه

ارتقاء سطح ارتباطات، تعامل و همکاری میان کلیه گروداران حوضه آبخیز تالاب‌ها است.

کارایی تحلیل شبکه اجتماعی وقتی نمایان می‌شود که بخواهیم بر اساس الگوهای مشارکتی مدیریت نماییم. تمرکز الگوی تحلیل شبکه بر روابط بین گروداران است، لذا می‌تواند در حوزه کاهش تعارضات و حل اختلافات مدیریت منابع آب و سرزمین بکار گرفته شود (جعفریان و همکاران، ۱۳۹۵). جهت همسوسازی اهداف کلان سازمانی گروداران با چشم‌انداز و اهداف مدیریت (حفظ و احیای تالاب‌های اقماری)، بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل شبکه تعاملات، می‌توان پیشنهادات اجرایی جهت تغییر در برنامه‌ها و سیاست‌های نهادها و گروداران کلیدی ارائه نمود. جهت دستیابی به اهداف مدیریت به هم پیوسته حوضه آبخیز تالاب‌های اقماری، تغییر در سیاست‌ها و رویه فعلی گرودارانی چون ستاد احیا، شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای، آب و فاضلاب، در کنار تغییر رویکرد بخش‌داری، شهرداری‌ها و شوراهای شهر و... در رابطه با تالاب‌ها در اولویت اول پیشنهاد شد. وجود سازمان‌های پیونددهنده^{۱۸} و تسهیل‌گر نقش اساسی در سیستم مدیریت انطباقی مشارکتی^{۱۹} جهت پایداری سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک دارد (Olsson و همکاران، ۲۰۰۷). لذا بر مبنای نتایج تحلیل شبکه همکاری گروداران، مشخص شد که استانداری، سازمان جهاد کشاورزی و اداره کل حفاظت محیط‌زیست با بیشترین درجه مرکزیت بینابینی، به ترتیب موثرترین نقش هماهنگ‌کنندگی و تقویت تعاملات و همکاری سازمانی را جهت مدیریت و حفاظت تالاب‌های اقماری دارند. با توجه به وجود پتانسیل‌های بالقوه و اهمیت تالاب‌های اقماری در ارتقاء معیشت جوامع محلی، در صورت توسعه مشاغل سبز و سازگار با طبیعت، با ایجاد فرصت‌های کارآفرینی و اشتغال، همچنین به دلیل نقش مهمی که خدمات و کارکردهای این تالاب‌ها در بهبود شرایط کیفی زیست‌بوم و زندگی مردم منطقه دارد، گروداران کلیدی، مانند فرمانداری یا مجلس شورای اسلامی، می‌توانند با پیگیری تأمین حق‌آبه تالاب‌ها و کاهش تهدیدات موجود، در حفاظت و احیای این اکوسیستم‌های ارزشمند، موثر باشند.

این پژوهش در دستگاه‌های رسمی و گروداران کلیدی مرتبط با حفاظت و احیای تالاب‌های اقماری حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در سطح سازمانی انجام شد. بررسی نگرش‌ها و مولفه‌های شکل‌گیری رفتار جوامع محلی به ویژه ساکنین منطقه در سطح فردی در خصوص تالاب‌ها، بر اساس تئوری‌های روانشناسی اجتماعی و جامعه‌شناسی محیط‌زیست، همچنین بررسی شرایط موجود در منطقه در سطح سیستمی، زمینه شناخت جامع‌تر از عوامل تأثیرگذار بر همکاری و مشارکت گروداران مختلف در زمینه ارتقاء مدیریت و حفاظت از تالاب‌های اقماری را فراهم می‌سازد.

نویسندگان این مقاله از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان شرقی و طرح ملی حفاظت از تالاب‌های ایران، اعضای سازمان‌های مردم نهاد در استان آذربایجان شرقی و غربی و تشکلهای محلی پیرامون تالاب قره‌قشلاق و کانی‌برازان که در انجام این پژوهش یاری‌گر بودند، تقدیر می‌نمایند.

پی‌نوشت

- 1-Relict
- 2-Provisioning Services
- 3-Regulating Services
- 4-Continuum
- 5-Satellite wetland
- 6-Important Bird Area
- 7-Life support system
- 8-Ecosystem approach
- 9-Holistic
- 10-Wise use
- 11-Mainstreaming
- 12-Landscape ecology
- 13-SNA
- 14-in-degree
- 15-out-degree
- 16-Collaboration outdegree
- 17-Collaboration indegree
- 18-Bridging organizations
- 19-Adaptive co-management

منابع

- آل‌محمد، س.، ملک‌محمدی ب.، یاوری ا. و یزدان‌پناه م. ۱۳۹۳. سیاست‌گذاری حکمرانی و مدیریت پایدار منابع سرزمین در حوضه آبریز ارومیه. راهبرد، ۲۳(۷۲): ۱۴۵-۱۷۳.
- اکبریان‌رونیزی، س.ر. و بدری، س.ع. ۱۳۹۴. تحلیل درک ذی‌نفعان از آثار و پیامدهای توسعه‌ی گردشگری در نواحی روستایی، نمونه موردی: منطقه لواسانات. جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۸): ۴۷-۶۲.
- ایرانخواه، ا.، مومنی، ح. و سلطان‌آبادی، م. ۱۳۹۶. پیامدهای زیست‌محیطی انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه. آفاق علوم انسانی، ۱(۷): ۹۱-۱۰۶.

- بهروزی‌راد، ب. ۱۳۸۷. تالاب‌های ایران. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. چاپ اول. تهران، ایران
- طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. ۱۳۹۸. برنامه مدیریت جامع دریاچه ارومیه. تهران، ایران
- طرح حفاظت از تالاب‌های ایران. ۱۳۹۷. برنامه مدیریت جامع تالاب کانی‌برازان. تهران، ایران
- بهروزی‌خورگو، س. و محمدی‌کنگرانی، ح. ۱۳۹۶. ترسیم و تحلیل شبکه‌های ارتباطی میان ذی‌نفعان صیادی و نقش آن در توسعه گردشگری روستایی، مطالعه موردی: روستای سلخ، جزیره قشم. روستا و توسعه، ۲۰(۲): ۴۷-۶۷.
- توکلی، م. ۱۳۹۸. شناخت و تحلیل نقش قدرت ذی‌نفعان به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه روستایی. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۳(۱): ۳۱-۳۴.
- جعفریان، و.، یزدانی، م. و قربانی، م. ۱۳۹۵. تحلیل شبکه ساختار قدرت دست‌اندرکاران سازمانی مدیریت منابع آب دشت گرمسار، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۳): ۱۱۴-۱۲۹.
- حجازی‌زاده، ز.، جعفرپور، ز. و پروین، ن. ۱۳۸۳. پیش‌بینی خشکسالی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از مدل‌های (SARIMA). اطلاعات جغرافیایی، ۱۳(۵۰): ۵۷-۶۱.
- صادقی، ح. و خان‌زاده، م. ۱۳۹۸. تحلیل راهبردی توسعه بخش کشاورزی به روش SWOT و ماتریس QSPM (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه). اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۷(۱۰۸): ۹۱-۱۲۰.
- مجنونیان، ه. ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر حفاظت و مدیریت تالاب‌ها. انتشارات زعفران. چاپ اول. تهران، ایران.
- مجنونیان، ه.، احمدی، ن.، قلیچی‌پور، ز. و جامعی، ن. ۱۳۹۹. فواید تالاب‌ها (ارزش‌ها و کارکردهای تالاب). انتشارات معارف. چاپ اول. تهران، ایران.
- مجتهدی، م.، ورجاوند ناصری، ح. و عرب‌پور داهوئی، ف. ۱۳۹۲. برنامه مدیریت جامع حوضه آبخیز تالاب قره‌قشلاق به همراه مطالعات شناخت. نشر پریس. تهران، ایران.
- محمدی، ح.، نصیری‌کاشانی، ک.، ملکی، س. و رستمی، ه. ۱۳۹۷. شناسایی و اولویت‌بندی عوامل موثر بر خشک شدن دریاچه ارومیه با استفاده از روش یکپارچه‌سازی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی. مدیریت بحران، ۷(۱۳): ۱۳-۲۶.
- مهندسین مشاور آبان‌پژوه. ۱۳۹۷. دریاچه ارومیه: نتایج پایش لیمنولوژیکی و بیولوژیکی پیکره اصلی و تالاب‌های اطراف دریاچه ارومیه. انتشارات ایران‌شناسی. چاپ اول. تهران، ایران.
- ناظری‌تهرودی، م.، خلیلی، ک. و بهمنش، ج. ۱۳۹۴. بررسی روند حجم خشکی رودخانه با استفاده از آزمون نقاط چرخش، من-کندال و اسپیرمن (مطالعه موردی: رودخانه‌های حوضه دریاچه

- servation Biology, 33(1): 53-65.
- Guerrero A.M., Barnes M., Bodin Ö., Chadès I., Davis K.J., Iftekhhar M.S., Morgans C. and Wilson K.A. 2020. Key considerations and challenges in the application of social-network research for environmental decision making. *Conservation Biology*, 34(3): 733-742.
- Hamidi S. M., Fürst C., Nazmfar H., Rezayan A., & Yazdani M. H. 2021. A Future Study of an Environment Driving Force (EDR): The Impacts of Urmia Lake Water-Level Fluctuations on Human Settlements. *Sustainability*, 13(20): 11495. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/20/11495>.
- Hukkinen J. 2012. Social networks and natural resource management: uncovering the social fabric of environmental governance. *Integrative Environmental Sciences*, 9(4): 279-281.
- Jasny L., Sayles J., Hamilton M., Roldan Gomez L., Jacobs D., Prell C., Matous P., Schiffer E., Guererro A.M. and Barnes M.L. 2021. Participant engagement in environmentally focused social network research. *Social Networks*, 66: 125-138.
- Jasny L., Sayles J., Hamilton M., Roldan Gomez L., Jacobs D., Prell C., Matous P., Schiffer, E., Guererro, A. M., and Barnes M.L. 2022. Reprint of: Participant engagement in environmentally focused social network research. *Social Networks*, 69: 221-234.
- Jiren T.S., Bergsten A., Dorresteijn I., Collier N.F., Leventon J. and Fischer J. 2018. Integrating food security and biodiversity governance: A multi-level social network analysis in Ethiopia. *Land Use Policy*, 78: 420-429.
- Mishra C., Young J.C., Fiechter M., Rutherford B. and Redpath S.M. 2017. Building partnerships with communities for biodiversity conservation: lessons from Asian mountains. *Applied Ecology*, 54(6): 1583-1591.
- Olsson P., Schultz L., Folke C. and Hahn T. 2007. Social networks for ecosystem management: a case study of Kristianstads Vattenrike, Sweden. The Centre for Interdisciplinary Environmental Research (CTM), Stockholm University, Stockholm, Sweden.
- ارومیه). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۶(۳): ۳۱۳-۳۲۸.
- واعظی‌هیر، ع.، ساری‌صراف، ب. و والائی، ا. ۱۳۹۵. بررسی علل کاهش جریان در رودخانه‌های شاخص جنوب شرق دریاچه ارومیه. *فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۳): ۱۲۳-۱۵۰.
- ورجاوند ناصری، ح.، طهماسبی، ا.، دارابی، ح.، یاور، ا.ر.، امیری، م.ج. و نبی‌بیدهندی، غ. ۱۳۹۹. تحلیلی بر کنشگران و نهادهای رسمی حکمروایی چالش کم‌آبی حوضه آبخیز زاینده رود. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۷(۴): ۱۲۷-۱۴۶.
- Abbaspour M. and Nazaridoust A. 2007. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: An ecological approach. *International Journal of Environmental Studies*, 64: 161-169.
- AghaKouchak A., Norouzi H., Madani K., Mirchi A., Azarderakhsh M., Nazemi A., Nasrollahi N., Farahmand A., Mehran A. and Hasanzadeh E. 2015. Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1): 307-311.
- Ahmadi A., Kerachian R., Rahimi R. and Emami Skardi M.J. 2019. Comparing and combining Social Network Analysis and Stakeholder Analysis for natural resource governance. *Environmental Development*, 32, 100451.
- Barracough A.D., Cusens J. and Måren I.E. 2022. Mapping stakeholder networks for the co-production of multiple ecosystem services: A novel mixed-methods approach. *Ecosystem Services*, 56, 101461.
- Bodin Ö. and Crona B.I. 2009. The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference?. *Global Environmental Change*, 19(3): 366-374.
- Bodin Ö. and Prell C. 2011. *Social Networks and Natural Resource Management: Uncovering the Social Fabric of Environmental Governance*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dehghanipour A. H., Moshir Panahi D., Mousavi H., Kalantari Z., and Tajrishy M. 2020. Effects of Water Level Decline in Lake Urmia, Iran, on Local Climate Conditions. *Water*, 12(8): 2153. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/8/2153>
- Groce J.E., Farrelly M., Jorgensen B.S. and Cook C.N. 2019. Using social-network research to improve outcomes in natural resource management. *Con-*

- Schröter B., Hauck J., Hackenberg I. and Matzdorf B. 2018. Bringing transparency into the process: Social network analysis as a tool to support the participatory design and implementation process of Payments for Ecosystem Services. *Ecosystem Services*, 34 (Part B): 206-217.
- Sylvère H. and Emmanuel T. 2016. Using social network analysis to understand actor participation and influence on sustainable management of Rugezi wetland, Rwanda. *Rwanda Journal*, 1(1S).
- Zebardast L., Akbarpour S., Jafari H.R. and Bagherzadeh Karimi M. 2021. Sustainable wetland management through bridging the communication gap between conservation projects and local communities. *Environment, Development and Sustainability*, 23(7): 11098-11119.
- Pouladi P., Afshar A., Afshar M., Molajou A. and Farahmand H. 2019. Agent-Based Socio-Hydrological Modeling for Restoration of Urmia Lake: Application of Theory of Planned Behavior. *Journal of Hydrology*, 576. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.080>
- Prell C., Hubacek K. and Reed M. 2009. Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management. *Society and Natural Resources*, 22(6): 501-518.
- Reed M.S. 2008. Stakeholder participation for environmental management: a literature review. *Biological conservation*, 141(10): 2417-2431.
- Rhodes J.R., Guerrero A.M., Bodin Ö. and Chadès I. 2020. Fundamental insights on when social network data are most critical for conservation planning. *Conservation Biology*, 34(6): 1463-1472.

Water Ethics

M. Rezaei

Associate Professor, Department of Natural Sciences, Institute for Humanities and Cultural Studies, Tehran, Iran.

m.rezaei@ihcs.ac.ir

Received: 29-06-2022

Revised: 26-08-2022

Accepted: 03-09-2022

Available Online: 11-03-2023

اخلاق آب

مسعود رضایی

دانشیار گروه علوم طبیعی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران.

m.rezaei@ihcs.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲

Abstract

Water consumption grew twice as fast as the global population last century, and an increasing number of regions around the world are facing or will face, water scarcity. Access to water has been recognized as a major threat to world peace in the present century, and ethical issues related to water have been given high priority. Using a systematic review method, this paper examines the three fundamental perspectives of deontology, consequentialism, and virtue ethics in environmental philosophy and their implications for water management and policy-making. Each of the three perspectives has led to the emergence of different ethical approaches to water, but what is clear is that in all three perspectives anthropocentric view has prevailed and moral considerations about non-humans have received less attention. In addition, ethical approaches to water face weaknesses, and water management requires an integrated and holistic approach that integrates humans and aquatic ecosystems and avoids unilateralism.

Keywords: Water, Ethic, Anthropocentrism, Non-anthropocentrism.

چکیده

مصرف آب در قرن گذشته دو برابر بیش از جمعیت جهان رشد کرده و سرزمین‌های بی‌شماری از جهان با کمبود آب روبه‌رو هستند یا در آینده مواجه خواهند شد. دسترسی به آب تهدیدی بزرگ برای صلح جهانی در قرن حاضر شناخته شده است و چالش‌های اخلاقی مربوط به آب در اولویت قرار گرفته‌اند. این پژوهش با استفاده از روش مرور نظام‌مند سه دیدگاه بنیادی وظیفه‌گرایی، پیامدگرایی و فضیلت‌گرایی در فلسفه محیط‌زیست و کاربردهای آنها در مدیریت و سیاست‌گذاری آب را بررسی کرده است. هر یک از سه دیدگاه پیدایش رویکردهای اخلاقی گوناگون در زمینه آب را در پی داشته است، اما روشن است که در هر سه دیدگاه انسان محوری نگاه غالب بوده است و نگرش اخلاقی درباره غیرانسان‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه‌براین، رویکردهای اخلاقی به آب با ضعف‌هایی نیز روبه‌رو هستند و برای مدیریت آب به رویکردی یکپارچه و کل‌نگر نیاز است که انسان‌ها و بوم‌نظام‌های آبی را در هم آمیزد و از یک جانبه‌گرایی پرهیز کند.

واژه‌های کلیدی: آب، اخلاق، انسان محوری، غیرانسان محوری.

تمدن نوین بشری در حوضه رودهای نیل، اردن، دجله و فرات، یعنی جایی که ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال پیش اولین اجتماعات به وجود آمدند و اولین دولت‌ها در حدود ۵۰۰۰ سال پیش ساخته شدند، ریشه تکامل تمدن بشری و سازماندهی آن در چارچوب اجتماعات و دولت‌ها به دلیل در دسترس بودن آب چشمه‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌های خاورمیانه امروزی و شمال آفریقا بوده است. بعدها، رودخانه‌های آسیا، آمریکای لاتین و جاهای دیگر اجتماعات و جوامعی را در آن نقاط به وجود آوردند. رودهای نیل، اردن و دجله و فرات و نیز سفره‌های آب زیرزمینی و چشمه‌های سرزمین‌های فلسطین، زادگاه تمدن‌های بشری هستند (Futehally, ۲۰۲۱). باوجود اینکه آب یک نیاز مشترک حیاتی برای همه انسان‌ها و همه گونه‌های حیات از جمله گیاهان و حیوانات بوده و هست، اما اکنون چالش‌های زیادی در ارتباط با این مایه حیات وجود دارد. کمبود و پایداری منابع آب یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بشر در زمان حال با آن روبه‌روست و در آینده به‌طور فزاینده‌ای با آن روبه‌رو خواهد شد. با ورود به دهه بین‌المللی اقدام درباره آب برای توسعه پایدار، نگرانی فزاینده‌ای وجود دارد که کمبود ۴۰ درصدی منابع آب شیرین تا سال ۲۰۳۰، همراه با جمعیت روبه‌رشد، جهان را به سمت بحران جهانی آب رهنمود می‌کند (United Nations, ۲۰۱۹). سازمان بهداشت جهانی برآورد کرده است سالانه بیش از ۲۹۷۰۰۰ کودک زیر ۵ سال، به دلیل بیماری‌های بیرون‌روی برآمده از بهداشت نامناسب یا آب آشامیدنی ناسالم جان خود را از دست می‌دهند (WHO, ۲۰۱۹). اسماعیل سرگلدین معاون بانک جهانی در آگوست ۱۹۹۵ هشدار داده بود اگر جنگ‌های قرن حاضر بر سر نفت صورت می‌گیرد، جنگ‌های قرن آینده بر سر آب خواهد بود و اندرو لیوریس، مدیر اجرایی مواد شیمیایی داو، گفت: «آب، نفت قرن ۲۱ است». درحالی‌که درحال حاضر بسیاری گمان می‌کنند ذخایر آب شیرین پایان‌ناپذیر است و دسترسی به آن نابرابر و به طور فزاینده‌ای مخاطره‌آمیز است (Bickford, ۲۰۲۱) و کاهش مسئله ناامنی آب یک چالش محیط‌زیستی سخت برای سیاست‌گذاران در قرن ۲۱ است. دیدگاه تبیین ریشه اخلاقی برای توزیع و تأمین آب، موضوع جدیدی نیست و همه جوامع در طول تاریخ بشری مجبور بودند با فراوانی یا کمبود آب یا هر دو دست‌وپنجه نرم کنند و رویکردهای اخلاقی و معنوی را برای دستیابی به عدالت و امنیت اجتماعی توسعه دهند (Adeel و Stefanovic, ۲۰۲۱). گفتمان اخلاق آب زمانی شکل گرفت که پژوهشگران شروع به بررسی بی‌عدالتی‌ها، نابرابری‌ها و بی‌انصافی‌ها در توزیع و مصرف آب و نیز چالش‌های مربوط به آلودگی و حفظ آب کردند (Mishori و Levi, ۲۰۱۷). با پیدایش صنعتی شدن در قرن نوزدهم، همراه با توسعه استانداردهای جدید بهداشتی و سلامتی، افزایش سریع جمعیت، شهرنشینی شدید و در پی آن انقلاب سبز تشنه آب در میانه قرن بیستم، زیربنای اخلاقی توزیع

آب به تدریج و نامحسوس تغییر کرد. تجاری‌سازی^۱ و کالایی‌سازی^۲ آب به‌عنوان ویژگی قرن بیست و یکم، تغییرات مهمتری را در درک عمومی از آب ایجاد کردند و این نگرش‌های تغییر یافته، در سیاست‌ها و کارهای دولت‌ها در سطوح و جغرافیای مختلف نیز بازتاب پیدا کرد (Adeel و Stefanovic, ۲۰۲۱). اکنون درحالی‌که توجه به منابع آب به‌عنوان منبع مشترک جهانی یا منبع راهبردی بشریت از ریشه یک چالش اخلاقی است، گفتمان بین‌المللی آب با نبود یک چارچوب اخلاقی قابل قبول در سطح جهان روبه‌رو است. وقتی درباره جنبه‌های علمی و مهندسی آب گفتگو می‌شود، نباید از این واقعیت غافل شد که آب منبع اساسی درک فرهنگی نیز هست که نه تنها حیات بیولوژیکی، بلکه پنداره و روح انسان را نیز حفظ می‌کند. هیچ فرهنگ یا سنت شناخته‌شده‌ای نسبت به آب بی‌تفاوت نبوده و آب منبع قدرت، خلقت و معنویت و نمادی از نابی، زایش دوباره و آشتی است، گرچه سرچشمه دشمنی و درگیری نیز هست (Reynolds, ۲۰۰۳).

اخلاق مجموعه یا نظامی از اصول یا ارزش‌های معنوی است که اعمال یا تصمیم‌های فرد یا گروه را هدایت می‌کند (Matthews و همکاران, ۲۰۰۷). اخلاق، درستی یا نادرستی یا خوبی و بدی را بررسی می‌کند (Pojman و همکاران, ۲۰۱۷) و بر بازگو کردن و ایستادگی در برابر داوری‌ها درباره رفتار درست و نادرست متمرکز است (Smith, ۲۰۱۸) که زمینه همه تصمیم‌ها و رفتارهای انسان را شکل می‌دهد. این واژه به اصول و هنجارهایی اشاره دارد که انسان‌ها هنگام سخن گفتن یا رفتار ناچار به رعایت آنها هستند و با مسئولیت‌ها و پذیرش‌های آنان ارتباط دارد (Huiying, ۲۰۰۴). در ادبیات علمی علم اخلاق^۳ و اخلاق عملی^۴ جدا از هم هستند. علم اخلاق رشته‌ای از فلسفه است که به طور انتقادی و نظام‌مند اخلاق عملی را تحلیل و بازتاب می‌کند. براین اساس، در علم اخلاق درباره اخلاق عملی بحث می‌شود (Meisch, ۲۰۱۷).

مفهوم اخلاق آب در ۱۰ سال گذشته پدیدار شده که انگیزه اصلی آن، نگرانی‌های محیط‌زیستی و بروز نبردهای آبی و چالش‌های مرتبط با توسعه پایدار بوده است. هدف اخلاق آب پاسخ به چالش‌های مختلف مانند تضاد منافع در استفاده از منابع کمیاب آب، آلودگی رودخانه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها و دست‌کاری ویرانگر انسان در سیستم‌های حساس آبی است که در دهه‌های اخیر آشکار شده‌اند. این چالش‌ها برآمده از دست‌کاری انسان در چرخه‌های آب، تغییر ترکیب شیمیایی آب توسط انسان به گونه‌های مختلف استفاده شخصی و صنعتی از آن و دست‌کاری انسان در مناظر طبیعی است. اخلاق آب بر تأثیر دست‌کاری انسانی و پیامدهای آن تمرکز دارد، این دست‌کاری را با توجه به معیارهای اخلاقی ارزیابی و راه‌حلهایی را برای جهت دادن مسئولانه‌تر انسان ارائه می‌کند (Grunwald, ۲۰۱۶). اخلاق آب دیدگاه رایج درباره آب به‌عنوان منبع و زیرساخت‌های آب که فقط جنبه‌های فنی یا تخصصی دارند را به چالش می‌کشد. به‌عنوان مثال درباره ساخت سد پرسش‌های مختلفی مانند احداث سد چه تأثیری بر ماهی‌های رودخانه و جوامع سنتی و فرهنگ‌های

وابسته به ماهی گیری خواهد داشت؟ برق سد برای چه چیزی مصرف خواهد شد و گزینه های انرژی جایگزین چیست؟ و سرنوشت افرادی که در قلمرو سد زندگی می کنند چه خواهد شد؟ را مطرح می سازد. در اخلاق آب به جای توجه صرف بر پروژه ها از دیدگاه فنی (برای نمونه کدام فناوری برای پروژه مناسب تر است)، سهم کلی و تأثیر آنها بر بوم نظام های طبیعی و اجتماعی در نظر گرفته می شود (Levi و Mishori، ۲۰۱۷). اخلاق آب، اخلاقی کاربردگرا است (Meisch، ۲۰۱۷) و می توان آن را به عنوان چارچوب هنجاری هدایت کننده اعمالی که بر آب تأثیر می گذارند، تعریف کرد (Schmidt، ۲۰۱۰) که بر گستره کارهای انسانی مانند آب آشامیدنی و بهداشت، آبیاری و کشاورزی و حفاظت از محیط زیست و طبیعت متمرکز دارد (Ziegler و Groenfeldt، ۲۰۱۷) و به عنوان مسیری نرم^۵ برای مدیریت آب، مجموعه ای از ارزش های اخلاقی را اشکار می کند که تعامل انسان با منابع آب را هدایت می کند و در طراحی قوانین تخصیص آب بازتاب پیدا می کند (Liu و Huang، ۲۰۱۷). اخلاق آب هم انتقادی و هم سازنده است، زیرا هم مفاهیم و سیاست های موجود آب را به طور انتقادی بازتاب می دهد و هم دلیل و برهان برای کارهای متفاوت تر و عادلانه تر درباره آب ارائه می کند (Meisch، ۲۰۱۷).

لونا لئوپولد یکی از برجسته ترین هیدرولوژیست های جهان، قبل از اینکه جهان در گردهمایی ریو در سال ۱۹۹۲ توسعه پایدار را بپذیرد، استدلال کرد که اصول اخلاقی باید زیربنای مدیریت منابع آب باشد و در سخنرانی خود در سال ۱۹۹۰ تاکید کرد، منابع آب براساس دو اصل اخلاقی هدایت کننده، مدیریت شوند. اول، اخلاقی که از کل پیوستار هیدرولوژیکی شامل همه عناصر آنچه بوم نظام یا حوضه آبخیز نامیده می شود (سنگ و خاک، گیاهان و جانوران، هوا، آب و انسان و عناصر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و نیروهایی که بر آنها تأثیر می گذارند) نگهداری می کند، دوم، اصل انصاف که پایبندی به عدالت، میل به در نظر گرفتن منافع گوناگون و رفتار برابر با همه است (Smith، ۲۰۱۷b). به طور کلی، اخلاق آب، مسئله محور و بر سه دغدغه اصلی استوار است: (۱) دسترسی عادلانه گروه های اجتماعی آسیب پذیر (مانند زنان، اقلیت ها و گروه های بومی) به آب؛ (۲) حقوق بشر جهانی درباره آب، از جمله مصرف خانگی آب که برای گذراندن زندگی ضروری است و (۳) تعهدات انسانی برای نگهداری از کیفیت آب و محیط های آبی (James و Wescoat، ۲۰۱۳). Postel (۲۰۱۰) اخلاق آب را به عنوان راهی برای مقابله با کمبود آب می داند. وی با این سوال شروع می کند که چرا مدیریت مدرن آب با وجود هزینه کردن پول بیشتر و مهندسی پیچیده تر، در ارائه راه حل های موثر برای کمبود آب ناکام مانده است. پاسخ او ساده است: درخواست سیری ناپذیر انسان برای آب سرانجام با منابع محدود آب روبه رو می شود. از دیدگاه پستل صرفه جویی در مصرف آب کافی نیست، زیرا موضوع بنیادی تری نادیده گرفته شده است که این بخش گم شده، اخلاق جدید آب است. از این رو، اندیشیدن به آب تنها به عنوان ماده فیزیکی که استفاده از آن فقط (یا حتی در اصل) باید تابع حقوق مالکیت خصوصی باشد، کالایی که در

بازار دادوستد می شود یا منبعی که ارزش آن فقط در رابطه با منافع انسانی مفید است و عرضه آن باید از نظر فنی کنترل شده و در پرتو معیارهای سودمندگرایانه عقلانیت و کارایی مدیریت شود، چندان منطقی نیست (Gwiazdon و Jennings، ۲۰۲۱).

اکنون تمام بحث های اخلاقی استفاده انسان از آب باید با این واقعیت همراه باشد که بشر وارد یک رابطه جدید با سیاره، یعنی حرکت از هولوسن به آنتروپوسن (انسان محور) شده است. تمام تغییرات قبلی در سیستم های زمین، یا به دلیل دینامیک طبیعی زمین یا دینامیک کیهان ایجاد شده اند. در آنتروپوسن، انسان ها محرک اصلی دگرگونی در سیستم های زمین هستند و آنتروپوسن دوره جدیدی را نشان می دهد که در آن فعالیت های جمعی انسان بر سیاره تسلط دارند. اخلاق آب، پیامدهای اخلاقی کارهای انسان در برابر آب را بررسی و کارهای شایسته تر را شرح می دهد و زمینه آن، آن طور که بسیاری از افراد انتظار دارند، آب نیست، بلکه دخالت انسان در سیستم ها و چرخه های آب است (Grunwald، ۲۰۱۶). Selborne (۲۰۰۰) دیدگاه جالبی درباره مبانی اخلاق آب نشان داده است: اول، اخلاقی که به آن نیاز است باید براساس هدفی مشترک و هماهنگ با طبیعت بنا شود. دوم، اخلاق باید براساس تعادل بین ارزش های سنتی انسانی درباره حفاظت و استفاده از پیشرفت های جدید فناوری باشد. هر یک از این ها به تنهایی کارآمد بوده اند و زمان آن رسیده است که آنها روبه روی یکدیگر قرار ندهیم. سوم، اخلاق، در عصر پیشرفته تکنولوژیک ما، باید به دنبال یافتن هماهنگی جدیدی بین پدیده معنوی و سودمندگرایانه و پدیده عقلانی و احساسی درباره آب باشد. درک این نکته ضروری است که آب نه تنها وسیله ای برای رسیدن به اهداف دیگر، بلکه به خودی خود به عنوان یک هدف ارزشمند است. یونسکو ۱۰ اصل را برای اخلاق آب تعیین کرده است که عبارتند از: (۱) اصل کرامت انسانی و حق بر آب؛ (۲) اصل مجاورت؛ (۳) اصل صرفه جویی؛ (۴) اصل دادوستد؛ (۵) اصل استفاده چندگانه و مفید از آب؛ (۶) اصل به کارگیری الزامی معیارهای کمیت و کیفیت؛ (۷) اصل جبران و تلافی بهره برداران؛ (۸) اصل جبران توسط آلوده کنندگان؛ (۹) اصل مشارکت؛ (۱۰) اصل استفاده عادلانه و معقول (Liu و همکاران، ۲۰۱۱). علاوه بر این، پژوهشگران دیگر نیز به اصولی اشاره کرده اند: (۱) اصل برابری و تناسب؛ (۲) اصل انسجام؛ (۳) اصل خیر عمومی و (۴) اصل امانت داری مسئولانه (Gwiazdon و Jennings، ۲۰۲۱).

جوامع گوناگون ویژگی های اخلاقی متفاوتی دارند، اما به نظر می رسد اهمیت آب در همه فرهنگ ها در سراسر جهان ارزشمند و قابل احترام است و ارزش بالایی به آن (به ویژه در مناطقی که کمبود آب زیاد است) داده شده و بیشتر با دستورات اکید درباره استفاده از آن همراه بوده است. یکی از قدیمی ترین قوانین شناخته شده آب ناشی از یک قانون یهودی در بین النهرین، در حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد است. همانطور که در تلمود (مجموعه قوانین شرعی و عرفی یهود) بازتاب شده است آب طبیعی، دارایی مشترک به شمار می رفته و اگر کسی به منبع آبی مانند رودخانه یا نهر برخورد می کرده است، می توانسته از حق

مصرف آب برخوردار شود (Nanni و Caponera, ۱۹۹۲). این قانون تلمودی همان چیزی است که به عنوان حق تشنگی شناخته می‌شود و به موجب آن فردی که به آب نیاز دارد می‌تواند اولویت دسترسی به منبع آب داشته باشد و می‌توان او را از نوشیدن آب بازداشت. در اسلام نیز حق تشنگی وجود دارد. براساس سنت اسلامی، آب هدیه‌ای از جانب خداوند به همه مردمانش است و توزیع آب یک وظیفه مقدس دانسته شده است. آب مورد نیاز برای زندگی، حق مشترک همه افراد در داخل و خارج از جامعه به‌شمار می‌رود. نکته مهم این نمونه‌های تاریخی آن است که در فرهنگ‌ها و دوره‌های تاریخی، مردم کمتر و حتی هرگز، کسانی را که به آب نیاز داشتند، محروم می‌کردند (O'Neill, ۲۰۲۱). شرع و احادیث اسلامی بر اهمیت آب رساندن به مهمانان و وابسته کردن حق تشنگی به حیوانات و گیاهان نیز تأکید دارند (Pradhan و Meinzen-Dick, ۲۰۱۰).

در فرهنگ ایرانی، آبادانی و آب از خاستگاه مشترکی بهره‌مند هستند، زیرا در تفکر ایرانی آب است که تمدن‌ها و آبادی‌ها را پدید می‌آورد و موجب شکوفایی فرهنگی و تمدنی می‌شود (امامقلی زاده و رئیس، ۱۳۹۱). تمدن ایران از دیرباز نظام اخلاقی داشته است که هم واقعیت‌های اکولوژیکی اقلیم بیابانی فلات ایران و هم ضرورت اجتماعی حفظ و توزیع آب به‌گونه‌ای که در دسترس بودن آن برای همگان تضمین شود را به رسمیت می‌شناسد. در دین زرتشتی، دین اصلی ایرانیان پیش از اسلام، هر یک از عناصر چهارگانه را یک خدای (ایزد) نشان می‌دهند و از روش دعاها و ویژه (یشت) مورد احترام قرار می‌گیرند. آب مربوط به الهه آناهیتا (ناهید) است که هرودوت او را با ونوس یونانی یکی دانسته است. خدای دیگری (پات آپام) به عنوان نگهبان رودخانه‌ها، چشمه‌ها و دریاها توصیف شده است. براساس اوستا، آب باید پاک و بدون آلودگی نگهداری شود. هنگامی که زرتشتیان به نهر، آبشار یا چشمه نزدیک می‌شوند، باید از یشت آبان در اوستا ندایی به نام آردویسور بانو (یا ابزوار) بخوانند. هرودوت گزارش کرده است ایرانی‌ها آب روان را نجس نمی‌کنند، آب دهان در آن نمی‌اندازند، حتی دست‌های خود را با آن نمی‌شویند و تاب دیدن آلودگی دیگر را ندارند. آنان در آب غسل نمی‌کنند، جسد یا لاشه مردار را در آن نمی‌اندازند و در مجموع هیچ چیز ناپاکی در آن نمی‌اندازند. در نقاط ویژه‌ای از ایران جشن‌های باستانی مرتبط با قنات همچنان برگزار می‌شود. برخی از روستاهای استان اصفهان هنوز هم سالانه عروسی قنات برگزار می‌کنند که در آن زنان آش مخصوصی تهیه می‌کنند، سپس عروس سالخورده‌ای را انتخاب کرده و در قنات می‌شویند و آش را بر او می‌پاشند. اهالی روستا بر این باورند این آیین تضمین می‌کند که قنات به خاطر عروس خود تا یک سال دیگر به آب آوردن ادامه دهد. در آیینی مشابه، پسر جوانی آب را از یک قنات (یا چاه) به دیگری می‌آورد تا دو منبع آب ازدواج کنند (Foltz, ۲۰۰۲).

آب از دیدگاه دینی هرگز خنثی و منفعل نیست و قدرت و ظرفیتی برای دگرگونی این جهان، نابودی گناهان و ایجاد قداست دارد. آب آلودگی را از بین می‌برد و در زمینه فیزیکی و نمادین، آن را پاک

می‌کند. آب یک ماده زنده و روحانی است که به عنوان واسطه بین انسان‌ها و خدایان عمل می‌کند و بیشتر نشان‌دهنده مرز بین این جهان و جهان دیگر است. سه دین توحیدی یهودیت، مسیحیت و اسلام، نه تنها ریشه‌های مشترک در بزرگداشت معنوی آب دارند، بلکه خاستگاه همه آنها در مناطقی با آب و هوای بیابانی خشک و همراه با کمبود آب (عربستان، خاور نزدیک و صحرای شمالی آفریقا) بوده است. به همین دلیل است که همه آنها جایگاه بالایی برای آب در نظر گرفته‌اند. کتاب مقدس در روزگار باستان و جدید و قرآن، سرشار از نمادهای مربوط به آب هستند که به آب به عنوان منبع حیات اشاره می‌کنند یا از مانند کردن آب به عنوان استعاره برای پیام‌های معنوی استفاده می‌کنند. در مسیحیت معاصر، مراقبت از منابع آب به عنوان بخشی از وظیفه نیکداری طبیعت به‌شمار می‌رود. در یهودیت، دیدگاه تلمود درباره محیط‌زیست بیان می‌کند درحالی‌که ممکن است از گیتی برای نیازهای خود استفاده کنیم، هرگز ممکن نیست به‌طور غیرمسئولانه به محیط‌زیست آسیب بزنیم یا آن را ویران کنیم (Grunwald, ۲۰۱۶). یهودیان از آب در شست‌وشو آیینی برای بازگرداندن یا نگهداری حالت پاکی استفاده می‌کنند و شستن دست‌ها قبل و بعد از غذا واجب است (Liu و همکاران، ۲۰۱۱). آب به‌ویژه در اسلام، یک مسئله اساسی است. کمپابی همواره بر ادراک مسلمانان از آب تأثیر گذاشته و براین اساس رفتار و آداب و رسوم آنان را شکل داده است. آب باران، رودخانه‌ها و چشمه‌ها، در برابر این تجربه، نمادی از مهربانی خداوند است. آب ارمغانی از سوی خداوند به‌شمار می‌رود و باید به‌طور رایگان در دسترس همگان باشد (Grunwald, ۲۰۱۶). پیامبر گرامی (ص) فرموده‌اند منشأ هستی همه موجودات از آب است و امام باقر (ع) فرمودند نخستین آفریده‌ای که خدا خلق کرد، چیزی است که تمام اشیاء از آن است و آن آب است (امامقلی زاده و رئیس، ۱۳۹۱). آب در اسلام، بیش از هر چیز برای شست‌وشو است و اولین و مهمترین آن شستن کل بدن است و قبل از نماز جمعه و قبل از دست زدن به قرآن مستحب است و مسلمانان قبل از هر یک از نمازهای پنجگانه، باید وضو بگیرند (Liu و همکاران، ۲۰۱۱). از مجموع ۱۱۴ سوره قرآن کریم، در ۴۱ سوره اشاره روشن و مستقیم به آب شده است و لغت آب در ۳۰ جزء قرآن به غیر از جزء‌های ۳، ۴، ۱۰ و ۲۸ در جزء‌های دیگر بازگو شده است (محمدی و یزدان‌پناه، ۱۳۹۴). خداوند در آموزه‌های دستوری قرآن از انسان‌ها خواسته است تا در مصرف بهینه و به دور از هر گونه اسراف و تبذیر آب بکوشند، طوریکه هر گونه مصرف نابه‌جا و نادرست آب شیرین، به معنای عمل تباه یا اسراف و زیاده‌روی شناخته شده است و کسانی که از مصرف بهینه تجاوز می‌کنند به عنوان مفسدان در زمین و انسان‌هایی که خدا آنان را دوست نمی‌دارد، شناخته می‌شوند (فروزانی، ۱۳۹۸). در آیین بودا از آب در تشییع جنازه استفاده می‌شود و آن را در کاسه‌ای که در مقابل راهبان و جسد قرار می‌گیرد می‌ریزند تا سرریز شود. راهبان در همان حال که کاسه پر و لبریز می‌شود، می‌خوانند: همان طور که باران رودخانه‌ها را پر می‌کند و به اقیانوس سرازیر می‌شود، امیدواریم

بخشش به درگذشتگان برسد. در مسیحیت، آب به‌طور ذاتی با غسل تعمید مرتبط است. فرد هنگام غسل تعمید ممکن است به‌طور کامل یا تا اندازه‌ای در آب غوطه‌ور شود یا چند قطره آب روی سرش بپاشند. آب در غسل تعمید نماد پاکی و رد گناه اصلی است. آب نزد هندوها سرشار از پاکدامنی و پاکی روحانی است و برای این افراد، استحمام صبحگاهی یکی از واجبات روزانه است. معبد‌های هندوها در نزدیکی آب احداث شده‌اند و پیروان این آیین قبل از ورود به معبد باید بدن خود را بشویند. بسیاری از مکان‌های زیارتی در سواحل رودخانه واقع شده‌اند و مکان‌هایی که دو یا حتی سه رودخانه در آن‌ها به هم می‌رسند، تقدس ویژه‌ای دارند. زائران هندو هزاران مایل را می‌پیمایند تا یک بطری آب از سرچشمه مقدس گنگ جمع‌آوری کنند و آن را با افتخار تا پایان عمر در خانه‌های خود نگهداری می‌کنند. استحمام کل بدن به‌عنوان بخش مهمی از پاکی آیینی در آیین هندو، به‌ویژه در رودخانه‌هایی که مقدس به‌شمار می‌روند، است. در بنارس هند، روزانه ۶۰۰۰۰ هندو در رودخانه گنگ حمام می‌کنند. در بسیاری از ادیان آفریقایی، آب عامل پاکی است که ناپاکی‌ها را می‌زداید و به‌عنوان واسطه بین حیات و مرگ در نظر گرفته می‌شود (Bernard, ۲۰۱۰).

روش‌شناسی

این مقاله از نوع مروری نظام‌مند^۲ است. مرور نظام‌مند، مروری بر ادبیات پژوهش است که برای تعیین، ارزیابی و ترکیب بهترین شواهد موجود در رابطه با پرسش ویژه پژوهش، به‌منظور ارائه پاسخ‌های عمیق و براساس شواهد طراحی می‌شود (Dickson و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین، مرور نظام‌مند چکیده‌ای از ادبیات پژوهش است که بر یک پرسش متمرکز است (Bettany-Saltikov, ۲۰۱۲). مرور نظام‌مند شامل چند گام است: در گام اول باید فهرستی از منابع مرتبط (پایگاه‌های کتاب‌شناسی الکترونیکی، فهرست مقاله‌های دست اول و دست دوم، مجلات مرتبط و غیره) تهیه شود، در گام دوم، باید ربط منابع با سوال پژوهش با هدف تهیه منابع مرتبط، مشخص شود، در گام سوم، منابع باید غربال شوند و مرتبط‌ترین منابع با معیارهای مشخص انتخاب شوند و در پایان این فرایندها به مجموعه‌ای از منابع بیانجامد که مرور براساس آنها انجام می‌شود (Khan و همکاران، ۲۰۱۱). این پژوهش بر این سوال کلیدی متمرکز است که «دیدگاه‌های اخلاقی گوناگون چه تأثیری در شکل‌گیری اخلاق آب دارند؟». برای پاسخ به این سوال به مرور نظام‌مند پژوهش‌های مرتبط پرداخته می‌شود و در پایان تحلیل نهایی انجام می‌شود.

دیدگاه‌های اخلاقی

به‌طور کلی سه دیدگاه بنیادین در فلسفه محیط‌زیست که در مدیریت و سیاست‌گذاری آب اثرگذار بوده‌اند عبارتند از: وظیفه‌گرایی، پیامدگرایی و فضیلت‌گرایی که در ادامه شرح داده می‌شوند.

۱- وظیفه‌گرایی

وظیفه‌گرایی با این سوال آغاز می‌شود که انجام چه کاری خوب یا بد است؟ دیدگاه وظیفه‌گرایی به‌اینکه، درستی و نادرستی کار مربوط می‌شود و دلالت بر این دارد که کار بدون توجه به پیامدهای آن، باید برای خود کار انجام شود (Sahni, ۲۰۰۸) و بر کار و پاکی انگیزه آن متکی است (Jamieson, ۲۰۰۸) و قضاوت‌های اخلاقی، بر اساس نیات عامل اخلاقی و پای‌بندی وی به وظایف یا قوانین صورت می‌گیرد (Kibert و همکاران، ۲۰۱۲). وظیفه‌گرایان معتقد هستند عمل در صورتی درست است که با قانون اخلاقی مطابقت داشته باشد (Sandler, ۲۰۱۷) و انطباق با اصول اخلاقی را مهم‌تر از محاسبات خوشبختی یا هر خیر نتیجه‌گرای دیگری می‌دانند و اولویت را بر حق در مقابل خیر می‌دهند و مسئولیت‌ها و تعهدات را در حقوق بنیادین یا حقوق انسانیت یا در اصل دیگری از این قبیل می‌جویند (Hale, ۲۰۱۷). برای مثال آنان ممکن است دفاع از یک گونه در حال انقراض را جایز بدانند، زیرا کار درستی است، نه لزوماً به این دلیل که جهان را به مکانی بهتر تبدیل می‌کند یا مقرون به صرفه است.

کانت شناخته‌شده‌ترین طرفدار وظیفه‌شناسی در اخلاق است. به عقیده کانت ما عاملان عقلانی هستیم که در جهانی زندگی می‌کنیم که توسط عاملان عقلانی دیگر پر شده است (Jamieson, ۲۰۰۸). وی استدلال کرد جدا کردن خود از قوانینی که می‌خواهید دیگران از آنها پیروی کنند، ممنوع و ضروری است با دیگر موجودات عاقل با احترام رفتار کنید و شکستن استقلال آنها (حق آنان در تصمیم‌گیری برای خودشان) ممنوع است (Mcshane, ۲۰۱۷). نظریه اخلاقی کانت بر اهمیت عقل انسانی و توانایی آن در همسویی با اصل عالی اخلاق متمرکز بود (Adeel و Chocie, ۲۰۱۲).

وظیفه‌گرایان این خواسته که کار درست را می‌توان برحسب پیامدهای خوب آن مشخص کرد نپذیرفتند. آنان گرچه قبول دارند برخی چیزها را می‌توان خوب یا شایسته توصیف کرد، اما استدلال می‌کنند پیامدهای اعمال ما در کنترل ما نیستند و بنابراین قضاوت درباره اعمال براساس پیامدها اشتباه است. اخلاق سزاوار انتخاب است و ما همیشه پیامدهای اعمال خود را انتخاب نمی‌کنیم. علاوه‌براین، آنان استدلال می‌کنند بسیاری از اعمال، مانند گفتن حقیقت، وفای به عهد و بازپرداخت بدهی، صرف‌نظر از پیامدهای آنها درست هستند. وظیفه‌گرایان آنچه را که باور دارند گزارش معقول‌تری از کار درست ارائه می‌دهند، این است که یک کار اگر و تنها اگر براساس تکلیف اخلاقی باشد، درست است. اخلاق در این دیدگاه عبارت از اطاعت از قواعد اخلاقی مانند وظیفه وفای به عهد، نفع رساندن به دیگران، گفتن حقیقت، آسیب نرساندن به دیگران و غیره است. شرح عمل درست شالوده وظیفه‌گرایی را تشکیل می‌دهد (van Zyl, ۲۰۱۹). از دیدگاه وظیفه‌گرایی اخلاق محیط‌زیستی، انسان موظف است بدون توجه به نتایج یا گرایش‌های شخصی، به قوانین محیط‌زیستی احترام بگذارد. اخلاق وظیفه‌گرایی در حفاظت از آب، به‌طور گسترده بر ترویج قوانین، مقررات، سیاست‌ها، استانداردها و غیره برای حفاظت از

منابع آب تاکید دارد. بنابراین کارکرد وظیفه‌گرایی محیط‌زیست لزوماً شناسایی بهترین وضعیت در طبیعت نیست، بلکه شناسایی منبع جمعی از هنجارها است. وظیفه‌گرایان استدلال می‌کنند وضعیت‌ها در تعیین اینکه چه چیزی یک عمل را درست می‌داند، مهم نیستند (Hale, ۲۰۱۷). رویکردهای حقوق و عدالت، رویکردهایی هستند که اخلاق آب را بر پایه وظیفه‌گرایی تبیین می‌کنند.

۱-۱- حقوق بشر

مدیریت آب براساس حقوق، از زمان شکل‌گیری جوامع وجود داشته است و به نظر می‌رسد بسیاری از جوامع باستانی آب آشامیدنی را به‌عنوان یک حق اخلاقی پذیرفته‌اند (O'Neill, ۲۰۲۱). استدلال‌های زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد آب آشامیدنی سالم و خدمات بهداشتی کافی، پیش‌شرط ضروری برای برخورداری از بسیاری از حقوق اساسی بشر مانند حق حیات و حق برخورداری از محیط‌زیست سالم است. هنگامی که مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۱۹۴۸ اعلامیه جهانی حقوق بشر را پذیرفت، حقوق بشر درباره آب و بهداشت به روشنی در متن گنجانده نشد. این حذف را می‌توان در آن شرایط زمانی درک کرد که هنوز سیاست مستعمراتی غالب بود و بسیاری از کشورهایی که جمعیت آنها از عدم دسترسی به آب و بهداشت رنج می‌بردند، در میز گفتگو حضور نداشتند. جامعه با آشکارتر شدن بحران آب و بهداشت در دهه‌های پایانی قرن بیستم و پیامدهای منفی بهداشتی و اقتصادی آن، به‌طور فزاینده‌ای از اهمیت روزافزون آب و بهداشت برای توسعه و حقوق بشر آگاه شد (UN, ۲۰۱۴). گفتگو درباره حق انسان بر آب در اواخر دهه ۱۹۹۰ شروع شد و پیوسته افزایش یافت. همانطور که پیر تیلورگر بیان می‌کند، پژوهشگران و کنشگران حقوق بشر این پرسش را بیان کردند که آیا آب موضوع مناسبی برای یک حق است؟ آیا حقوق بهترین رویکرد برای رفع نیازهای پایه آب است؟ و آیا این حقوق به درستی به‌عنوان حقوق انسانی شناخته می‌شوند؟ (Wellington, ۲۰۲۱).

آب برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ در کنفرانس آب سازمان ملل متحد به‌عنوان یک حق به رسمیت شناخته شد و اعلام شد همه انسان‌ها در هر مرحله از رشد و شرایط اجتماعی و اقتصادی‌شان، حق دسترسی به آب آشامیدنی به مقدار و کیفیت برابر با نیازهای اولیه‌شان دارند. در دسامبر ۱۹۷۹، کنوانسیون برداشتن همه شکل‌های تبعیض در برابر زنان، دستور کار پایان دادن به تبعیض علیه زنان را با اشاره روشن به آب ساماندهی کرد و در نوامبر ۱۹۸۹، کنوانسیون حقوق کودک بی‌پرده به آب اشاره کرد (Singh, ۲۰۱۶). پیش از این، فقط کنوانسیون ژنو در ۱۹۴۹ (ماده ۲۶) حق آب برای اسیران جنگی را به رسمیت شناخته بود (Veiga da Cunha, ۲۰۰۹). در ژانویه ۱۹۹۲ در کنفرانس بین‌المللی آب و محیط‌زیست در دوبلین، به رسمیت شناختن حق اولیه همه انسان‌ها برای دسترسی به آب تمیز با قیمت مقرون‌به‌صرفه، مهم تلقی شد و قطعنامه کنفرانس سازمان ملل درباره محیط‌زیست و توسعه در ریودوژانیرو، تأیید کرد همه انسان‌ها حق دسترسی به آب آشامیدنی را دارند. در سال ۱۹۹۹، در ماده ۱۲ قطعنامه مجمع

عمومی سازمان ملل متحد با عنوان «حق توسعه» تأیید شد که در تحقق کامل حق توسعه، حقوق غذا و آب بهداشتی از اساسی‌ترین حقوق بشر است و ارتقای آنها الزام اخلاقی برای دولت‌های ملی و جامعه بین‌الملل است (Singh, ۲۰۱۶). شورای اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۲ با بیان اینکه حق بر آب ضروری است (UN Economic and Social Council, ۲۰۰۲)، این حق را به رسمیت شناخت و گزارش مهم برنامه توسعه ملل متحد برای اولین بار تأکید کرد دسترسی به آب آشامیدنی و خدمات بهداشتی، حق بشر است (United Nations Development Programme, ۲۰۰۶). در ژوئیه ۲۰۱۰ با قطعنامه مجمع عمومی سازمان ملل متحد، حق آب آشامیدنی سالم و تمیز و بهداشتی به‌عنوان حق بشری که برای برخورداری کامل از زندگی و همه حقوق بشر ضروری است به‌طور رسمی به رسمیت شناخته شد (Mayeda, ۲۰۲۱; Groenfeldt, ۲۰۱۷a; UN General Assembly, ۲۰۱۴; UN Affairs, ۲۰۱۴).

اهمیت آب نه تنها برای حیات بلکه برای شکوفایی، بنیانی را فراهم کرد که سازمان ملل آب را به‌عنوان حق بشری قرار داد. علاوه‌براین، سازمان ملل متحد اهمیت آب را در اهداف توسعه پایدار تکرار کرد و دسترسی به آب سالم و بهداشتی را هدف توسعه پایدار قرار داد (Fioret, ۲۰۲۱). قطعنامه دیگری از کشورهای عضو خواست تا منابع مالی کافی و ظرفیت و انتقال فناوری را به ویژه در کشورهای در حال توسعه ایجاد کنند تا آسودگی به‌دست آید که این حق رعایت می‌شود (UN General Assembly, ۲۰۱۲). شورای حقوق بشر سازمان ملل متحد نیز در سپتامبر ۲۰۱۰ قطعنامه‌ای را پذیرفت که قطعنامه مجمع عمومی را تأیید و جزئیات بیشتری ارائه کرد و به‌ویژه، از کشورهای عضو خواست تا برنامه‌ها و راهبردهای جمعی را برای رسیدگی به چالش‌های آب آشامیدنی و بهداشتی فراهم کنند. علاوه‌براین، نیاز به بازنگری در قوانین موجود و در بسیاری موارد، تصویب قوانین جدید مورد نیاز را تأیید کرد (UN, ۲۰۱۴; UN Human Rights Council, ۲۰۱۰). در سال ۲۰۱۳، مجمع عمومی سازمان ملل متحد و شورای حقوق بشر هر دو بار دیگر درباره حقوق بشر نسبت به آب و بهداشت اجماع و بر آن تأکید کردند (UN, ۲۰۱۴). کوفی عنان (دبیر کل وقت سازمان ملل متحد) در روز جهانی آب در سال ۲۰۰۱، حقوق انسان درباره آب را به خوبی بیان کرد: دسترسی به آب سالم نیاز اساسی بشر و در نتیجه حقوق اساسی بشر است. آب آلوده سلامت جسمی و اجتماعی همه افراد را به خطر می‌اندازد و این توهین به کرامت انسانی است (Wellington, ۲۰۲۱). برخی از نظریه‌پردازان سیاسی معاصر، مانند کریس آرمسترانگ، دسترسی به آب را به دلیل اهمیت آن برای عملکردهای اساسی و حمایت از حیات، به‌عنوان حق اخلاقی تعیین کرده‌اند (Armstrong, ۲۰۱۷).

رویکرد حقوق آب دو جنبه را با هم ترکیب می‌کند. یکم، دلالت بر این دارد که حق آب حق بشری است، به این معنا که هر فرد آن را برای خود مطالبه می‌کند. حقوق بشر بیانگر حقوق جهانی و در عین حال

فردی است. دوم، حق بر آب گرچه به عنوان حق اخلاقی دسته بندی می شود، اما با وظایف نهادهای سیاسی مرتبط است و پیامدهای آن، سیاسی است. این رویکرد زمینه توجیه منابع حقوقی نرم و سخت را فراهم می کند و حق بر آب را به تعهدات قانونی، هم در سطح ملی و هم در حقوق بین الملل تبدیل می کند (Kalloff، ۲۰۱۷). حقوق بشر بر آب، همانطور که کمیته حقوق اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در تبصره کلی خود توضیح داده شامل حقوق و آزادی ها است. این حقوق شامل دسترسی به حداقل مقدار آب آشامیدنی سالم برای حفظ زندگی و سلامتی و دسترسی به آب آشامیدنی سالم در حبس و مشارکت در تصمیم گیری های مرتبط با آب در سطح ملی و اجتماعی به ویژه با تأکید بر مشارکت زنان و دیگر گروه های اجتماعی سنتی محروم است. آزادی ها شامل حفاظت در برابر قطعی های خودسرانه و غیرقانونی، ممنوعیت آلودگی غیرقانونی منابع آب، عدم تبعیض در دسترسی به آب آشامیدنی سالم، به ویژه بر اساس وضعیت زمین یا مسکن، دخالت نکردن در دسترسی به منابع آب موجود، به ویژه به منابع آب سنتی و به دست آوردن آسودگی از اینکه امنیت شخصی در هنگام دسترسی به آب در بیرون از منزل تهدید نمی شود، است (Singh، ۲۰۱۶).

محتوای قانونی حقوق بشر درباره آب و بهداشت شامل ابعاد زیر است: در دسترس بودن آب و بهداشت (مستلزم آن است که امکانات آب و بهداشت پاسخگوی نیازهای مردم در حال حاضر و آینده باشد)، دسترسی فیزیکی به آب و بهداشت (زیرساخت های آب و بهداشت باید به گونه ای مکان یابی و ساخته شوند که واقعاً در دسترس افرادی مانند کودکان، افراد مسن، افراد دارای معلولیت و بیماران مزمن که با موانع خاصی مواجه هستند، باشند)، کیفیت و سلامتی (کیفیت و سلامتی خدمات آب و بهداشت باید تضمین شود تا از سلامت استفاده کنندگان و عموم مردم محافظت شود)، مقرون به صرفه بودن (افراد باید توانایی پرداخت هزینه خدمات آب و بهداشت را داشته باشند) و مقبولیت، کرامت و حریم خصوصی (قابل قبول بودن هر گونه خدمات آب و بهداشتی که ارائه می شود، بسیار مهم است. تاسیسات آب و بهداشت در صورت رعایت نکردن معیارهای اجتماعی یا فرهنگی افرادی که قرار است به آنها خدمت کنند، مورد استفاده قرار نخواهند گرفت. مقبولیت پیامدهای مهم برای کرامت و حریم خصوصی دارد که خود اصول حقوق بشری هستند و از قوانین بین المللی حقوق بشر نشأت گرفته و به ویژه با حقوق بشر برای بهداشت مرتبط هستند (UN، ۲۰۱۴).

انتقادهای زیادی بر رویکرد حقوق بشر به آب وجود دارد. اسناد گوناگون حقوق بین الملل منشا رویکرد حقوق بشر به مدیریت آب هستند که حفاظت از آب را به عنوان یک منبع طبیعی مورد استفاده انسان برای دستیابی به اهداف خود، ترویج می کنند. بند ۲ ماده ۱ میثاق بین المللی حقوق مدنی و سیاسی سازمان ملل بیان می کند انسان ها باید توانایی استفاده از ثروت و منابع طبیعی را برای دستیابی به اهداف خود داشته باشند که در آن، آب به عنوان یک هدف به خودی خود ارزش گذاری نمی شود، بلکه به آب ارزش داده

می شود زیرا برای دستیابی انسان ها به اهداف اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شان ضروری است. این رویکرد ابزاری به آب در بیانیه عمومی درباره حق بر آب، بیشتر تقویت شد (Mayed، ۲۰۲۱). از سوی دیگر، درحالی که در حق بر آب بر نیازهای انسان ها تأکید می شود، نیازهای موجودات زنده غیرانسانی و ضرورت دست نخورده نگه داشتن سیستم های پیچیده طبیعی نادیده گرفته می شود (Kalloff، ۲۰۱۷). علاوه بر این، در رویکرد حقوق بشر بر مالکیت خصوصی تأکید می شود (Fioret، ۲۰۲۱). تمرکز حقوق به حقوق افراد به جای جوامع نیز در برخی زمینه ها بسیار مشکل ساز است. چارچوب قانونی حقوق بشر برای آب هیچ اشاره ای به حقوق جمعی ندارد و مفهوم حقوق با سنت لیبرال که فرد را بالاتر از جامعه در اولویت قرار می دهد، بسیار سازگار است (Mitchell و Schmidt، ۲۰۱۴). تمرکز بر حقوق فردی، می تواند به ویژه با نیازها و اهداف جوامع به حاشیه رانده شده از جمله جوامع بومی در تضاد باشد (Parmar، ۲۰۰۸). توجه حقوق بشر بر آب، به نیازهای خانگی به جای نیازهای معیشتی نیز مورد انتقاد قرار گرفته است، رویکرد تنگ نظانه ای که می تواند دسترسی غیراستاندارد جوامع حاشیه نشین به آب را در پی داشته باشد (Mehta، ۲۰۰۶).

۱-۲- عدالت در آب

عدالت یکی از ارزش های اصلی در اخلاق است و هر دیدگاهی درباره چگونگی سازماندهی جامعه، به گونه ای بیانگر دیدگاه درباره وضعیت عدالت نیز هست. عدالت در آب با افزایش نابرابری ها و تبعیض ها، به موضوعی مهم تبدیل شده است و در بسیاری از مناطق جهان، افزایش درخواست و کاهش دسترسی به آب با کیفیت و توزیع نابرابر آن، فشارهای فزاینده بر جامعه و طبیعت را در پی داشته و رقابت و درگیری های شدیدی را در مصرف آب و میان بهره برداران مختلف آب ایجاد کرده است (Boelens، ۲۰۲۱؛ Boelens و همکاران، ۲۰۱۸). برخی بر این باور هستند که کمبود و ناامنی آب چندان به دسترسی تنها به آب شیرین و بهداشتی مربوط نمی شود، بلکه بیشتر بیانگر نحوه توزیع نابرابر آب و خدمات آب در بین گروه های اجتماعی است (Boelens و همکاران، ۲۰۱۸) و بخش آب از این نظر باید اصلاح شود تا از بحران آب در آینده جلوگیری شود.

عدالت آب یکی از مفاهیمی است که در چند دهه گذشته در ارتباط با اهمیت آب، به ویژه برای بخش آسیب پذیر و فقیر جهان، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این مفهوم برای اندیشه و بررسی درباره از میان بردن مالکیت ناشی از استخراج معادن و گسترش سرمایه داری در پرو و بولیوی، جنبش های ضد خصوصی سازی از آرژانتین تا غنا که برای مقاومت در برابر کنترل بخش خصوصی و سودجویی از منابع آب تلاش کرده اند، تغییر حکومت های نئولیبرالی در کانادا که مردمان بومی را بیشتر به حاشیه رانده اند و گفتگوهای مهمی که به پذیرش حقوق بشر برای آب و بهداشت از سوی سازمان ملل انجامید، مورد استفاده قرار گرفته است (Harris و همکاران، ۲۰۱۸). چارچوب عدالت آب، پارادایم اقتصادی نئوکلاسیک را به عنوان پایه ای برای تصمیم گیری انسان درباره منابع آب رد می کند و اصل کلیدی اقتصاد

نئوکلاسیک (کارایی تخصیصی) را به عنوان هدف مدیریت منابع در درجه دوم اهمیت قرار می‌دهد و استفاده از انگیزه‌های اقتصادی را در جای مناسب خود به عنوان ابزار اجرایی قرار می‌دهد که باید تأثیر آن بر ارزش‌های اخلاقی اصلی بررسی نماید (Smith, ۲۰۱۷).

رویکردهای گوناگونی برای عدالت وجود دارد. پژوهش‌های عدالت در چهار دهه گذشته بر مفهومی از عدالت متمرکز بوده‌اند که تنها به توزیع و بهترین اصول توزیع کالاها در جامعه محدود بوده است (Schlosberg, ۲۰۰۷). درحالی‌که عدالت توزیعی به عدالت در توزیع آب در بین بهره‌برداران و مصارف گوناگون مربوط است، عدالت رویه‌ای عدالتی است که بر اساس آن درباره توزیع تصمیم‌گیری می‌شود و با این اصل مردم سالارانه مرتبط است که مشکلاتی که بر شخص یا گروهی از افراد تأثیر می‌گذارد، باید مستقیماً توسط خود آنان یا نمایندگان‌شان حل و فصل شوند. عدالت رویه‌ای در زمینه آب با موضوع مشارکت و دخالت ذی‌نفعان همراه و به معنای دادن فرصت برابر به ذی‌نفعان برای تأثیرگذاری بر فرآیند تصمیم‌گیری و در نظر گرفتن همه منافع به دست آمده از نتایج است. عدالت به عنوان شناخت رویکرد دیگری است که هدف آن ایجاد جهانی دوستدار تفاوت‌ها است که در آن همگونی با اکثریت جامعه یا هنجارهای فرهنگی غالب، مبنای احترام برابر نیست. عدالت به عنوان شناخت در زمینه آب ممکن است سزاوار این باشد که افراد اجازه داشته باشند به جای اینکه مجبور شوند خانه‌های خود را به شبکه آب متصل کنند، اجتماع خودپایدار خود را توسعه دهند یا بهره‌برداران بومی آب بتوانند فرهنگ آب خود را حفظ کنند و اختیار رسمی برای تصمیم‌گیری درباره تخصیص آب داشته باشند (Doorn, ۲۰۱۹). شلزبرگ مفهوم سه‌گانه‌ای از عدالت در آب را پیشنهاد می‌کند که توزیع را با ابعاد شناخت (مانند اقدامات، حقوق و هویت‌های فرهنگی خاص) و مشارکت (در تصمیم‌گیری) درهم می‌آمیزد. به گفته شلزبرگ، عدالت نه تنها سزاوار درک توزیع ناعادلانه و نبود شناخت است، بلکه به طور قابل توجهی بر نحوه پیوند این دو با یکدیگر در فرآیندهای سیاسی و اجتماعی نیاز دارد (Roth و همکاران، ۲۰۱۸).

تجربه بی‌عدالتی آب به طور معمول نشانگر الگوهای بی‌عدالتی در جامعه بر اساس متغیرهایی مانند نژاد، قومیت، جنسیت و طبقه است. جنسیت متغیری است که بیشتر در رویکردهای سنتی به عدالت نادیده گرفته می‌شود. جنسیت به نقش‌ها، حقوق و مسئولیت‌های مختلف زن و مرد و روابط بین آنها و نابرابری‌های ناشی از آن در قدرت، آزادی و دسترسی به منابع اشاره دارد. زمانی که سازمان ملل متحد دهه تامین آب آشامیدنی و بهداشتی بین‌المللی (۱۹۹۰-۱۹۸۱) را اعلام کرد، برای اولین بار ارتباط جنبه‌های جنسیتی با مدیریت آب توسط نهادهای بین‌المللی به رسمیت شناخته شد. کنفرانس بین‌المللی آب و محیط‌زیست اهمیت مشارکت زنان و مردان در مدیریت آب و بهداشت و مسائل مربوط به دسترسی را به رسمیت شناخت (Doorn, ۲۰۱۹). این واقعیت که زنان بیشتر مسئول آوردن آب و نیز پخت‌وپز، تمیز کردن یا مراقبت از اعضای بیمار یا مسن خانواده هستند، نشان

می‌دهد کیفیت پایین یا دسترسی نامطمئن به آب ممکن است به طور نامتناسبی بر زنان تأثیر بگذارد. بومی بودن یکی دیگر از محورهای مهم است که باید هنگام ارزیابی نگرانی‌های مربوط به عدالت آب در نظر گرفته شود. حقوق سرزمینی و آبی مردمان بومی که بیشتر به خاطر دیرینه منحصربه‌فرد آنان در برابر فرآیندها و شیوه‌های استعماری است، بیشتر به رسمیت شناخته نمی‌شود و در اولویت قرار گرفتن بهره‌برداری‌های تجاری، صنعتی و شهری، کاهش کیفیت و کمیت آب برای بومیان را در پی دارد (Harris و همکاران، ۲۰۱۸). انتقادهایی نیز بر رویکرد عدالت آب وجود دارد. به اعتقاد جکسون هر دو رویکرد عدالت توزیعی و رویه‌ای بر تصویر نآزموده از عدالت متکی هستند، زیرا فرد (نه گروه) به عنوان مرجع به شمار می‌رود. بسیاری از خواست‌های عدالت که در حال حاضر در درون گفتمان حقوق بشر گفته می‌شود، این نوع سوگیری فرهنگی را نشان می‌دهند و بحث درباره آب و اخلاق را در گفتمان‌های فردگرا، لیبرال و غربی بازگو می‌کنند (Jackson, ۲۰۱۸). از سوی دیگر، گفتگوهای مربوط به عدالت آب، به ویژه گفتگوهایی که در چارچوب نظریه لیبرال قرار دارند، بیشتر بر توزیع آب تأکید دارند و از آسیب‌های هنجاری مانند نبود حکمرانی مردم سالارانه در تصمیم‌گیری غفلت می‌کنند. توزیع نادرست، ناشی از روابط اجتماعی-ساختاری قدرت اجتماعی است که نمی‌توان آن را از دریچه پارادایم توزیع به تصویر کشید (Fioret, ۲۰۲۱).

۲- پیامدگرایی

پیامدگرایی در قرن‌های هجدهم و نوزدهم میلادی به وجود آمد و فلسفه غالب روشنگری بود (Jamieson, ۲۰۰۸). قضاوت اخلاقی در پیامدگرایی بر اساس ارزش ذاتی و ارزش پیامدها صورت می‌گیرد. در چارچوب پیامدگرایانه، ابتدا باید تصمیم گرفت چه چیزی به خودی خود ارزشمند است. پرسش‌های ارزش ذاتی لزوماً مهمترین پرسش‌های اخلاقی نیستند، اما باید به آنها پاسخ داد زیرا همه چیز به این پاسخ‌ها بستگی دارد. سپس اقدام‌ها، سیاست‌ها و نهادها بر حسب نتایج ارزیابی می‌شوند (Hausman و همکاران، ۲۰۱۷). دیدگاه‌های پیامدگرایانه، خیر را بر حق ترجیح می‌دهند و پیامدگرایان باور دارند درستی یک عمل وابسته به وضعیت احتمالی امور است (Hale, ۲۰۱۷). مطابق با پیامدگرایی عملی که باید انجام شود از راه مقایسه پیامدهای (پیامدهای مورد انتظار) گزینه‌های موجود، مشخص می‌شود. هر چقدر پیامدها بهتر باشند، آن رفتار، اقدام یا سیاست پسندیده‌تر است (Sandler, ۲۰۱۸). وقتی عاملی تصمیم می‌گیرد عملی را انجام دهد، باید همه پیامدهای عمل خود و نه فقط آنهایی که بر عامل تأثیر می‌گذارند را مورد توجه قرار دهد (Jamieson, ۲۰۰۸). در پیامدگرایی عملی درست است که بهترین (یا به اندازه کافی خوب) نتایج را به همراه داشته باشد (Sandler, ۲۰۱۷). انواع گوناگون پیامدگرایی وجود دارد، اما همه آنها به گونه‌ای به اصل سودمندی (بیشترین خیر برای بیشترین افراد) باور دارند. درستی

اخلاقی در پیامدگرایی با حداکثر کردن پیامدهای مثبت و به حداقل رساندن پیامدهای منفی ارتباط دارد، به طوری که از اثرات مثبت خالص برای توجیه اخلاقی یک عمل استفاده می‌شود (Adeel و Chociej، ۲۰۱۲). انگیزه اصلی در رویکرد پیامدگرایی قضاوت درباره ماهیت پیامدها و سپس توصیف عمل به عنوان درست یا نادرست است (Sahni، ۲۰۰۸). پیامدگرایان می‌گویند یک عمل زمانی درست است که بهترین وضعیت را نسبت به سایر اعمالی که عامل می‌توانست انجام دهد، ایجاد کند. سودمندگرایان کلاسیک (سنتی‌ترین شکل پیامدگرایی) بر این باور هستند که یک عمل تا آنجایی که سودمندی کلی را به حداکثر می‌رساند، درست است و سودمندی ایجاد تعادل بهینه بین بیشترین لذت و کمترین درد است (Hiller، ۲۰۱۷). دو رویکرد تحلیل اقتصادی و سودمندگرایی رویکردهایی هستند که اخلاق آب را بر مبنای پیامدگرایی تبیین می‌کنند.

۲-۱- تحلیل اقتصادی

اقتصاد رفاه، با هدف دستیابی به تخصیص بهینه منابع در جامعه، بر حقوق مالکیت و ابزارهای بازار به عنوان راهی برای انجام آن متمرکز است (Wellington، ۲۰۲۱). پیش فرض اقتصاد رفاه بر نظریه اخلاقی پیامدگرا استوار است که در آن فقط رفاه ارزش ذاتی دارد و اگر نتایج یک سیاست بهتر از سیاست دیگر باشد، آن سیاست از نظر اخلاقی باید انجام شود (Hausman و همکاران، ۲۰۱۷). هدف نهایی تحلیل اقتصادی، به حداکثر رساندن سود خالص (مثبت) از نظر بهره‌وری اقتصادی یا تامین رضایت در اولویت مصرف‌کنندگان و یا در برخی موارد حداکثرسازی ثروت است. مطابق با این نظریه معیار مناسب سودمندی، ارضای اولویت ذهنی است و اگر یک سلسله کار ویژه حداکثر رضایت از اولویت‌ها را در پی داشته باشد، آن کار حداکثر سودمندی خالص را تولید کرده است (Wellington، ۲۰۱۸).

دو اندیشه فکری برای تفسیر مفهوم آب به عنوان کالای اقتصادی وجود دارد: اولین اندیشه، که توسط اقتصاددانان نئوکلاسیک حمایت می‌شود، بیان می‌کند آب باید براساس ارزش اقتصادی آن قیمت‌گذاری شود و بازار، تخصیص آب به بهترین مصارف را پشتیبانی می‌کند (Veiga و Cunha، ۲۰۰۹). گفتگو درباره آب به عنوان کالا با صدور بیانیه دویلین در سال ۱۹۹۲ آغاز شد (Hefny، ۲۰۱۰؛ Jiang، ۲۰۱۸). براساس اصل چهارم این بیانیه که از آن به عنوان اولین درخواست رسمی برای ارزیابی اقتصادی آب یاد می‌شود، آب در تمام مصارف رقابتی ارزش اقتصادی دارد و باید به عنوان کالای اقتصادی شناخته شود و گمان اساسی فرای آن این است که شناخته نشدن ارزش اقتصادی آب در گذشته، نابودی و استفاده زیان‌بار از این منبع در محیط‌زیست را در پی داشته است (Doorn، ۲۰۱۹). در رویکرد اقتصادی استدلال بر این مبنا استوار است که آب از پایه منبعی کمیاب است که ارزش‌های متفاوتی دارد و می‌توان آن را با قیمتی خاص تولید (Jaeger و همکاران، ۲۰۱۳) و در بازارهای محلی یا جهانی خرید و فروش کرد (Mishori و Levi، ۲۰۱۷). از این رو، آب با سایر منابع و کالاهایی که در بازار خرید و فروش می‌شوند تفاوتی ندارد و سازوکارهای بازار تضمین می‌کنند که

از آب به بهترین شکل استفاده شود (Huber-Lee و Fisher، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه تامین آب هزینه دارد و این هزینه باید برگردانده شود، قیمت‌گذاری آب یکی از راهبردها برای تضمین دسترسی به آب آشامیدنی سالم است (O'Neill، ۲۰۲۱). در این رویکرد، تعیین ارزش پولی محصولات و خدمات بیشتر به قوانین بازار واگذار می‌شود و قیمت مناسب در کنش و واکنش بین عرضه و تقاضا، پدیدار می‌شود و مرجع تعیین ارزش، دیگر یک مرجع بیرونی مانند طبیعت، خدا یا کتاب مقدس نیست، بلکه اقتصاد است. دادن ارزش به آب به این معنا است که آب در تمام مصارف رقابتی، ارزش اقتصادی دارد و باید به عنوان کالای اقتصادی شناخته شود (Grunwald، ۲۰۱۶). رم اولین شهر بزرگی بود که از سازوکار قیمت برای مدیریت آب آشامیدنی استفاده کرد. از این رو، برای کسانی که به اندازه کافی ثروتمند بودند که بتوانند آب را لوله‌کشی کنند، آب به عنوان کالای قیمتی در نظر گرفته می‌شد (خود آب مجانی بود، اما ثروتمندان پول می‌دادند تا آب را تحویل بگیرند) (O'Neill، ۲۰۲۱). اندیشه دوم که توسط تصمیم‌سازان آب حمایت می‌شود، وجود فرآیند تصمیم‌گیری یکپارچه برای تخصیص منابع آب را واجب می‌داند که فقط شامل تراکنش‌های مالی نمی‌شود. براساس مبانی فکری این مکتب، به رسمیت شناختن آب به عنوان کالای اقتصادی، که در اصل چهارم دویلین مطرح شده است، باید در چارچوب سه اصل دیگر به ویژه این اصل که آب یک منبع محدود و آسیب‌پذیر است و باید به صورت یکپارچه مدیریت شود، درک شود (Veiga و Cunha، ۲۰۰۹).

در حال حاضر مواجهه با آب به عنوان کالای قابل تجارت و کالایی برای فروش به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است. خصوصی‌سازی خدمات آب که در مقیاس جهانی در حال انجام است، راه را برای آب به عنوان خدمت و کالا باز کرده است و آب دیگر به عنوان هدیه‌ای از جانب خدا تلقی نمی‌شود، بلکه کالایی است که باید برای آن هزینه پرداخت شود. به عنوان مثال اندیشه واردات آب شیرین که اکنون بین کشورهای مختلف نظیر لسوتو و آفریقای جنوبی، ترکیه و سرزمین‌های اشغالی و غیره جریان دارد، برخاسته از نگاه کالایی به آب است که بدون شک در آینده به دلیل کمبود آب در جهان، افزایش خواهد یافت. مناقشات شدیدی در کانادا بر سر صادرات حجمی آب وجود دارد، اما کانادا به عنوان یکی از اعضای نفتا و سازمان تجارت جهانی، باید قوانین یکسانی را رعایت کند، زیرا هر دو سازمان، آب را مانند هر کالای دیگر، کالای قابل تجارت می‌دانند و نمی‌توانند ادعا کنند که آب کالا نیست (Hefny، ۲۰۱۰). ابزارهای مدیریت نئولیبرالی مانند خصوصی‌سازی خدمات آب، اصلاح قیمت‌گذاری آب با هدف جبران کامل هزینه‌ها و تخصیص مجدد آب به بخش‌های مختلف که به راندمان بالاتر منجر می‌شود، با این فرض که مواجهه با آب به عنوان کالای اقتصادی و استفاده از همه این ابزارها برای مدیریت منابع آب، کارایی کلی در این بخش را بهبود می‌بخشد و در نهایت به صرفه‌جویی در مصرف آب و گسترش دسترسی به آب و بهداشت منجر می‌شود، استفاده شده‌اند (Al-Awar و همکاران، ۲۰۱۰). بر

اساس منطق نئولیبرالی، اقدامات سیاستی مانند اعطای امتیاز برای بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع و اجرای جبران کامل هزینه‌ها در قیمت‌گذاری خدمات آب به بهبود خدمات آب، افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و بهره‌برداری و نگهداری کارآمدتر منجر می‌شود (Boelens و همکاران، ۲۰۱۸). به طور کلی، آب را می‌توان به عنوان کالای اقتصادی در نظر گرفت، اما کالایی که به دلیل شش ویژگی مختلف، کالایی ویژه به شمار می‌آید: ۱) آب یک نیاز ضروری است و زندگی، تولید اقتصادی و محیط‌زیست بدون آب وجود ندارد؛ ۲) آب قابل جایگزین نیست و هیچ جایگزینی برای آن وجود ندارد؛ ۳) آب کم است و چرخه هیدرولوژیکی، آب در گردش را محدود می‌کند؛ ۴) آب فرار است و تحت نیروی جاذبه جریان دارد و اگر استفاده نشود، از بین می‌رود؛ ۵) آب یک سیستم است و چندین فرآیند، در گردش و جریان آب به عنوان بخشی از یک سیستم پیچیده باهم ارتباط دارند و ۶) آب حجیم است و این امر حمل‌ونقل طولانی‌مدت آن را مشکل می‌کند (Cunha و Veiga، ۲۰۰۹).

حکمرانی استوار بر بازار به دلیل در نظر نگرفتن دیدگاه‌های محیط‌زیستی مورد انتقاد قرار گرفته است (Schmidt و Groenfeldt، ۲۰۱۳). Sym (۲۰۱۷) باور دارد باید مبارزه در برابر روند بنیادگرایی بازار را که از دهه ۱۹۷۰ شروع شد و تهدید می‌کند همه چیز را به کالا تبدیل کند، ادامه داد. کلید دیدگاه اقتصادی به آب، محدود کردن آن به عنوان یک منبع است. اقتصاد کلاسیک طبیعت را به عنوان مجموعه‌ای از منابع (زمین، مواد خام، مواد معدنی، تنوع‌زیستی و آب) برای استفاده انسان می‌داند. ویلیام مک‌گی، جغرافی‌دان آمریکایی و دبیر کمیسیون آبراهه‌های داخلی ایالات متحده، برای اولین بار این نکته را بیان کرد که تفکر غربی آب را منبع اقتصادی می‌داند که می‌توان و باید آن را مدیریت کرد (Grunwald، ۲۰۱۶). آب به عنوان کالا، شهروندان را به مصرف‌کننده یا مشتری و آب را به محصولی تبدیل می‌کند که باید با بالاترین قیمت بازار به فروش برسد. وقتی به آب از دریچه ارزش اقتصادی نگریسته شود، مسئولیت‌های دولت کاهش و منافع خصوصی برای کسب سود افزایش می‌یابد (Fioret، ۲۰۲۱). علاوه بر این، منتقدان هشدار می‌دهند بازارها از کاستی‌های متعدد و جدی رنج می‌برند و از منافع حاشیه‌ای‌ترین و آسیب‌پذیرترین افراد نگهداری نمی‌کنند و از پشتیبانی فرصت‌هایی برای مشارکت در تصمیم‌گیری توسط کسانی (جوامع و مصرف‌کنندگان) که بیشترین تأثیرپذیری را دارند غفلت می‌کنند. منتقدان در مخالفت با محیط‌زیست‌گرایی بازار، بازگو می‌کنند ارزش‌های زیادی مانند توجه به مسائل برابری و نگرانی‌های جامعه و نیز پیوند هنجارهای تصمیم‌گیری مشارکتی نادیده گرفته می‌شوند. زمانی که دولت‌ها ارائه خدمات عمومی را به نهادهای بخش خصوصی واگذار می‌کنند، از مسئولیت خود کناره‌گیری می‌کنند. با این حال، روی آوردن به بازار به عنوان راه‌حل، به دلیل ناتوانی دولت در برآوردن نیازها و فراهم کردن دسترسی به آب کافی از نظر کمی و کیفی، جبر اداری، نابودی، یا فساد است. انتخاب بین دولت و بازار معضل سیاسی حل‌ناپذیری

را نشان می‌دهد و تمرکز سیاست آب نباید بر روی یک دوگانه ساده یعنی بازار یا دولت باشد. به جای آن، از دیدگاه حقوق بشر، نگرش اساسی این است که هر یک از بازار و دولت کجا، چه زمانی و چگونه باید نقش خود را در پیگیری پایداری و امنیت آب انجام دهند و روابط مناسب بین آنها در بخش آب چگونه باید باشد (Wellington، ۲۰۲۱). برخی استدلال می‌کنند قیمت‌گذاری آب بر افراد فقیر بیش از ثروتمندان تأثیر می‌گذارد و دسترسی افراد فقیر به آب را کاهش می‌دهد (Jiang؛ ۲۰۱۹، Doorn، ۲۰۱۸) و به منافع جمعیت روستایی و فقرای شهری آسیب می‌زند یا امکان‌سنجی اقتصادی کشاورزی آبی را محدود می‌کند (Cunha و Veiga، ۲۰۰۹). کاهش دسترسی فقرا به آب به دلیل ناتوانی آنان در پرداخت هزینه خدمات و در نتیجه افزایش سطح فقر و نیز آلودگی و تخریب محیط‌زیست، در جایی که این سیاست‌ها عملی شده، به خوبی مشهود است (Al-Awar و همکاران، ۲۰۱۰). آب یک کالای اجتماعی حیاتی است که دولت‌ها باید آن را به صورت رایگان یا حداقل با نرخ‌های یارانه‌ای بالا برای فقرا تامین کنند، زیرا آب بیشتر یا بهتر برای یک فرد یا گروه ممکن است به نفع گروه اجتماعی بزرگتری باشد که به سیستم توزیع آب متصل است (Cunha و Veiga، ۲۰۰۹). کالایی‌شدن آب و خصوصی‌سازی خدمات آب با حقوق بشر بر آب در تضاد است (Doorn، ۲۰۱۹) و مفاهیم حق انسانی به آب و آب به عنوان کالای اقتصادی با یکدیگر در تضاد هستند (Jiang، ۲۰۱۸). قیمت‌گذاری آب، بیشتر حقوق آب را نقض می‌کند، درحالی‌که راهبردهای قیمت‌گذاری آب نباید حق آب را نقض کنند (O'Neill، ۲۰۲۱). خصوصی‌سازی و کالایی‌سازی به دموکراسی و نهادهای دموکراتیک نیز آسیب می‌زند و آنها را به طور جدی ناتوان می‌کند. نکته اصلی این آسیب آن است که کالایی‌سازی، ضددموکراتیک و نوعی آزادی نداشتن است که به دلیل به رسمیت نشناختن، عدم مشورت و عدم مشارکت شهروندان به صورت تسلط بر آنان آشکار می‌شود (Fioret، ۲۰۲۱). اخلاق‌دانان آب در رویارویی با چنین چالش‌هایی، گفتگو درباره جایگزین‌ها را آغاز کردند و منابع آب را در پیوندی نزدیک با زیستگاه‌های طبیعی، محلی و جامعه‌محور دانستند (Levi and Mishori، ۲۰۱۷).

۲-۲- سودمندگرایی

سودمندگرایی زمینه تاریخی قوی دارد و پیشینه آن به اپیکوریسم (فلسفه خوش‌گذرانی) در ۳۰۰ سال قبل از میلاد برمی‌گردد که استدلال می‌شد لذت، خیر برتر و درد، شر است. سودمندگرایان می‌خواهند به این پرسش پاسخ دهند که چه کار درستی باید انجام شود تا پیامدهای خوب ایجاد کند؟ سودمندگرایان کلاسیک، از جمله جرمی بنتام و جان استوارت میل باور دارند عامل اخلاقی باید به دنبال انجام کارهایی باشد که بیشترین خیر را برای بیشترین افرادی که منافع آنان تحت تأثیر قرار گرفته است (Wellington، ۲۰۱۸؛ Chociej و Adeel، ۲۰۱۲؛ Brown و Schmidt، ۲۰۱۰)، در طولانی‌ترین زمان (Kindler، ۲۰۰۹) ایجاد کند و هیچ کار یا دستور اخلاقی درست یا نادرست نیست و ممکن است براساس پیامدها درست یا نادرست باشد (Alvaro، ۲۰۱۸).

به عنوان مثال اگر پیامدهای کمک به فقرا بیشترین نارضایتی برای بیشتر انسان‌ها را در پی داشته باشد، کمک به فقرا نادرست به شمار می‌رود. اصل سودمندی به عنوان اصل بیشترین سعادت نیز شناخته می‌شود. سودمندگرایی کلاسیک به تفسیر ذهنی از خیر متکی است که بر به حداکثر رساندن نفع مثبت (سعادت، لذت، رضایت، خوشی) و به حداقل رساندن نفع منفی (ناراحتی، درد، رنج، ناخشنودی، ناخوشی و غیره) استوار است و عامل اخلاقی باید منافع، خواسته‌ها یا رفاه خود را بیشتر یا کمتر از دیگران به شمار نبرد (Wellington, ۲۰۱۸). برای سودمندگرایان دو نوع ارزش وجود دارد: ارزش ذاتی و ارزش ابزاری (Udoudom, ۲۰۲۱). ارزش ذاتی یعنی شی‌ای که به خودی خود ارزش دارد و داشتن ارزش ذاتی باعث ایجاد یک وظیفه اخلاقی مستقیم برای عاملان اخلاقی می‌شود که از آن نگهداری کنند یا حداقل از آسیب رساندن به آن خودداری کنند. در سودمندگرایی خوشبختی یا لذت تنها چیزی است که به خودی خود ارزشمند است و همه چیزهای دیگر مانند سلامتی، ثروت، اشتغال و غیره فقط به این دلیل که وسیله‌ای برای خوشبختی هستند، ارزشمند به شمار می‌رود (van Zyl, ۲۰۱۹) و بر گونه‌ها و بوم‌نظام‌ها به عنوان منابع یا تامین‌کنندگان خدمات برای انسان تاکید می‌شود (Loreau, ۲۰۱۴). میل بیان کرد یک استدلال در دفاع از به حداکثر رساندن سودمندی این است که اساس روشی است که اکثر انسان‌ها به درستی تصمیم‌های اخلاقی می‌گیرند (ما با لذت و درد برانگیخته می‌شویم). با توجه به تأکید بر افزایش خوشبختی روشن است که میل معتقد بود اخلاقی بودن یک عمل به جای انگیزه یا اصولی که عمل بر آن استوار است، با پیامدهایی که به بار می‌آورد مشخص می‌شود (Treanor, ۲۰۱۴).

بدون شک، اصل سودمندگرایی اصل اخلاقی غالب در سیاست مدرن منابع است و مسیر اصلی سیاست عمومی و مدیریت آب، از اخلاق سودمندگرایانه استفاده از منابع، با هدف به حداکثر رساندن کل رفاه خالص انسانی یا سودمندی و منفعت (برونداد ارزشمند) نسبت به هزینه (درونداد ارزشمند) پیروی می‌کند (Gwiazdon و Jennings, ۲۰۲۱). سودمندگرایی در شکل انسان‌محور خود، جهان‌طبیعی را در چارچوب چیزهایی (منابع طبیعی) می‌بیند که می‌توان از آنها برای افزایش شادی انسان استفاده کرد. رویکرد دیوان‌سالارانه یک شیوه کلی در تامین حکم سودمندگرایانه درباره منابع طبیعی است. ویژگی رویکرد دیوان‌سالارانه اتکای آن بر یک مرجع متمرکز و کارشناسانی است که برای مثال، سدهای بزرگ یا پروژه‌های انحرافی را مهندسی می‌کنند تا منافع بیشتری برای جامعه فراهم کنند. به عنوان مثال در آمریکای شمالی براساس این رویکرد، عصر سیستم‌های فاضلاب شهری، پروژه‌های انحرافی، آبیاری و سدهای بزرگ آغاز شد (Brown و Schmidt, ۲۰۱۰). از دیدگاه سودمندگرایی، هر گونه بهره‌برداری از منابع آب که شادی یا خوشبختی انسان را در پی دارد، پسندیده و قابل قبول است. از این رو، انسان‌ها در استفاده از آب و منابع آبی بر موجودات دیگر برتری دارند و نیازهای فرعی آنان بر نیازهای اصلی موجودات دیگر پیشگام است. برای نمونه استفاده زیاد از

آب‌های زیرزمینی برای آبیاری، کمک قابل توجهی به کاهش مسئله گرسنگی یا خشکسالی و تامین آب آشامیدنی شهرها و مناطق روستایی کرده است. رویکرد سودمندگرایی بیش از یک استاندارد هنجاری برای رفتار بین‌فردی، می‌تواند برای ارزیابی درستی اخلاقی نهادهای دولتی و سیاست‌های اجتماعی و تأثیرات آنها بر خوشبختی انسان مورد استفاده قرار گیرد. مهمتر از آن، می‌توان از آن برای ایجاد تعهدات الزام‌آور برای دولت استفاده کرد. از این رو می‌توان استدلال کرد سودمندگرایی توجیهی برای حق انسانی آب و بهداشت فراهم می‌کند تا زمانی که رعایت این هنجار سعادت بیشتر انسان را در پی داشته باشد. به عبارت دیگر، تأمین آب آشامیدنی سالم و خدمات بهداشتی کافی می‌تواند پیامدهای مثبت در جامعه را به حداکثر رساند (Chocie و Adeel, ۲۰۱۲).

انتقادهای زیادی بر رویکرد سودمندگرایی وجود دارد. جرمی بنتام استدلال کرد اگر سود خالص مثبت کلی برای جامعه کافی باشد، نادیده گرفته شدن حقوق فردی قابل توجیه است. منتقدان این جنبه را به عنوان نقص قابل توجه این نظریه مطرح کرده‌اند. چند نمونه مرتبط با آب می‌تواند به آشکار کردن نگرانی درباره حقوق کمک کند. در سال ۱۹۴۶ در هند، دو روستا به دلیل ساخت آب انبار ناپدید شدند. اگرچه آب انبار برای تامین آب آشامیدنی و تولید هیدروالکتریک استفاده می‌شد که خیر بسیاری را برای افراد زیادی ایجاد می‌کرد، اما ویرانی دو روستا و از بین رفتن زندگی ساکنان آنها را دربرداشته است. سد ساردار سارووار که بخشی از طرح توسعه برای افزایش آبیاری و تولید برق آبی بود، در دره رودخانه نارمادا در گجرات هند ساخته و در اواخر دهه ۱۹۷۰ راه‌اندازی شد. در اوایل دهه ۱۹۸۰ یک جنبش اعتراضی به حمایت از صدها هزار نفر که بیشتر دهقان‌ها و مردم قبیله‌ای-بومی بودند، شکل گرفت که بدون جبران زیان بی‌خامان شده بودند. منتقدان این پروژه همچنان استدلال می‌کنند که مزایای پیش‌بینی شده، اغراق‌آمیز بوده و زیان‌ها (یا ناسودمندی‌ها) به طور قابل‌توجهی کم برآورد شده‌اند. نگرانی درباره رویکرد سودمندگرا در سیاست عمومی این است که اهمیت و وزن بیش از حد به نفع مثبت چنین پروژه‌هایی برای تعداد زیادی از ذی‌نفعان بالقوه داده شود، اما در واقع اثرات منفی قابل‌توجه برای کسانی که آواره شده‌اند، خانه‌هایشان نابود شده و معیشت آنها در معرض خطر قرار گرفته، داشته باشد (Wellington, ۲۰۱۸). مثال دیگر احداث سد سیازاخ در شهرستان دیواندره است که به کوچ اجباری ساکنان بالادست سد و از بین رفتن مشاغل آنان، قطع درختان و تملک اراضی بالادست و زیان‌های محیط‌زیستی را دربرداشته است (اکبرزاده و کابلی، ۱۳۹۶) یا احداث سد داریان هورامان که بر سرمایه‌های معیشتی ساکنان اثر مخربی داشته است (امینی و همکاران، ۱۳۹۷). از سوی دیگر، اخلاق در سودمندگرایی برای انسان‌ها در نظر گرفته می‌شود (Udoudom, ۲۰۲۱)، درحالی‌که نگهداری از محیط‌زیست آبی یک باید اخلاقی است و باید به دنبال شناخت ارزش طبیعت، فراتر از سودمندگرایی انسان‌محور بود.

تنها در این صورت است که می‌توان تضادهایی را که در مدیریت آب بین نسل‌های فعلی و آینده، بهره‌برداران انسانی و غیرانسانی و بهره‌برداران رقیب انسان ایجاد می‌شود، حل کرد (Alghwail, Abdusalam, ۲۰۱۹). بنابراین، سودمندگرایی در نگرانی اخلاقی خود جایی برای طبیعت ندارد. براین اساس، توجه به طبیعت از دیدگاه سودمندگرایانه، یعنی فایده‌ای که برای انسان دارد، دیده می‌شود (Udoudom, ۲۰۲۱). گیاهان، اشیای طبیعی، گونه‌ها و بوم‌نظام‌ها زندگی روانی ندارند و در سودمندگرایی نادیده گرفته می‌شوند (Kernohan, ۲۰۱۲). شکست پیایی در حل بحران محیط‌زیست کنونی، کاستی‌های استفاده از استدلال‌های سودمندگرایان برای بالا بردن حفاظت از محیط‌زیست را نشان می‌دهد (Gomez- Muradian و Baggethun, ۲۰۲۱) و هنوز هم پرسش‌های زیادی مانند اینکه آیا از دیدگاه اخلاقی قابل توجهی است که جوامع دورافتاده کوچک‌تر به آب آشامیدنی سالم دسترسی نداشته باشند، درحالی‌که شهرنشینان آب را هدر می‌دهند؟ آیا وقتی آینده اساساً ناشناخته است می‌توان همه پیامدهای کارهای خود را بی‌طرفانه محاسبه کرد؟ وقتی در سودمندگرایی به دلیل توزیع نابرابر، فرد رنج می‌برد درحالی‌که افراد زیادی سود می‌برند، چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا ما هرگز نسبت به افراد ویژه تعهد ویژه نداریم؟ احکام دآوری غیرسودمندگرایانه از کجا و چگونه وارد این معادلات می‌شوند؟ آیا هدف همیشه وسیله را توجیه می‌کند؟ و در پایان، چقدر برای مفاهیم شادی یا لذت ارزش قائل می‌شویم، درحالی‌که این مفاهیم کیفی هستند نه کمی؟ (Stefanovic و Atleo, ۲۰۲۱) بی‌پاسخ مانده‌اند.

۳- فضیلت‌گرایی

اخلاق فضیلت، اخلاق رایج در دوران باستان و قرون وسطی، بر نیاز انسان به ایجاد شخصیت خوب تاکید می‌کند و خواهان این است که باید تأمل اخلاقی را با این پرسش آغاز کرد که چه جور انسانی باید بود و چه فضیلت‌ها و برتری‌های شخصیتی را باید در خود پرورش داد و از چه ردیلت‌ها و لغزش شخصیتی باید دوری کرد؟ (O'Neill و همکاران، ۲۰۰۸). براساس این دیدگاه، انسان‌های با شخصیت خوب افرادی هستند که سرانجام تصمیم‌های خوبی می‌گیرند. اخلاق فضیلت با نوع ویژگی‌های فضیلت‌مندانه که انسان باید در رابطه با شیوه تعامل با زمین و حفظ سلامتی آن داشته باشد، مرتبط است (Marima, ۲۰۱۸) و بر زمینه‌های شخصیت، تعالی و شکوفایی انسان متمرکز است (Cafaro, ۲۰۱۵). در اخلاق فضیلت برخلاف پیامدگرایی و وظیفه‌گرایی که توجه آنها به ترتیب بر پیامدها یا خود عمل بازگردانده می‌شود، رفتار صحیح اخلاقی از راه نیکی‌ها ارزیابی می‌شود. شخصیت فرد نگرانی اصلی در اخلاق فضیلت است و سعی می‌شود اخلاق با تمرکز بر ماهیت فردی که عمل را انجام می‌دهد، درک شود و نقش عامل در هر ارزیابی اخلاقی بسیار مهم می‌باشد (Mokori و Cloete, ۲۰۱۶؛ Sahni, ۲۰۰۸). این سنت اخلاقی با ارسطو آغاز شد، اما پس از انتشار کتاب پس از فضیلت

آل‌سایر مکینتایر در گفت‌وگوهای اخلاقی مدرن غربی رایج شد. به گفته مکینتایر، پروژه روشنگری از نظر اخلاقی شکست خورد، زیرا در ایجاد خردمندی آزاد، که قرار بود تصمیم‌گیری اخلاقی را هدایت کند، موفق نشد. از دیدگاه محیط‌زیستی، شکست پروژه روشنگری یک بحران اکولوژیکی را دربردارد که طبیعت و نیز آینده بشریت را تهدید می‌کند (Levi و Mishori, ۲۰۱۷).

اخلاق فضیلت از سه مفهوم اصلی تعالی یا فضیلت، حکمت عملی یا اخلاقی و سعادت تشکیل شده است (Dursun و Mankolli, ۲۰۲۱). بسیاری از پیروان فضیلت‌گرایی شرح خود از فضایل را از ارسطو برگرفته‌اند که نیکی‌ها را به عنوان منش‌های پایدار ناشی از توالی انتخاب‌ها و نیز حکمت عملی نشان می‌داد. از دیدگاه ارسطو، فضیلت‌ها ویژگی‌های شخصیتی هستند که برای تبدیل شدن به بهترین، کامل‌ترین و بالغ‌ترین فردی که می‌توان شد و مقاومت در برابر احساسات تکانشی (ترس، تنگ‌چشمی و غیره) که توانایی فرد را برای اداره هوشمندانه زندگی سست می‌کنند، ناگزیر هستند (Attfield, ۲۰۱۸). افراد صادق، مهربان، عادل، سخاوتمند، شجاع و غیره سزاوار ستایش هستند. درعین حال، افراد به خاطر ناصداقتی، نامهربانی، خودخواهی و غیره مورد انتقاد قرار می‌گیرند (van Zyl, ۲۰۱۹). پیروان اخلاق فضیلت باور دارند شخصیت مهتر از کار درست است، زیرا باعث می‌شود افراد مورد اطمینان و قابل اعتماد باشند و در آینده رفتاری منصفانه و عادلانه داشته باشند و فرد بافضیلت فردی است که به خوبی تربیت شده باشد و کار درست کاری است که فرد بافضیلت و تربیت شده انجام می‌دهد (Attfield, ۲۰۱۸). Sandler (۲۰۰۷) باور دارد نیکی‌های محیط‌زیستی عبارت است از ویژگی‌های مناسبی که انسان در روابط خود با محیط‌زیست دارد. از دیدگاه دینی، انسان‌ها پیشکاران رحمانی خلقت به‌شمار می‌روند و از این دیدگاه سندلر استدلال می‌کند نیکی‌های محیط‌زیستی آن ویژگی‌ها یا منش‌هایی هستند که انسان را کارگزاران قابل اعتماد و مؤثر می‌سازد. به این ترتیب، فرومایگی محیط‌زیستی با آن ویژگی‌های شخصیتی مرتبط است که این رابطه را سست می‌کند. از دیدگاه راشل کارسون، پرورش فضیلت برای درک ارزش و زیبایی جهان طبیعی نقش اساسی دارد و از دیدگاه هیلز، فردی که با قصد یا برای سود، محیط‌زیست را ویران می‌کند، در شخصیت خود نبود منش‌هایی را آشکار می‌کند که مبنایی طبیعی برای فروتنی، حق‌شناسی و قدردانی از خوبی‌های دیگران است (Marima, ۲۰۱۸).

حداقل چهار رویکرد در گفتگوهای فضیلت و محیط‌زیست پدیدار شده‌اند. یکی از رویکردهای رایج، تبیین پرورش فضایل بین‌فردی گسترش یافته، یعنی فضایی که بیشتر در روابط بین انسان‌ها انجام می‌شود، است. چنین رویکردی فضایل سنتی مانند اعتدال و گشاده‌دستی را گسترش می‌دهد تا نگرانی‌های محیط‌زیستی را پوشش دهد. رویکرد دوم، بر اساس نقشی که شکوفایی در اخلاق فضیلت به کار می‌برد، بر فایده‌ای که فضایل محیط‌زیستی برای عامل دارد و اینکه چگونه چنین منش‌هایی آشکارا به شکوفایی فرد موردنظر کمک

می‌کنند، متمرکز است. رویکرد دیگر این است که فضایل محیط‌زیستی از جمله ویژگی‌های سازنده تعالی انسان، یعنی ویژگی‌هایی که دارند آنها را انسان خوبی می‌سازد، هستند. در پایان، برخی رویکرد الگوی محیط‌زیستی را مطرح می‌کنند که در آن استدلال می‌شود ویژگی‌ها فضیلت هستند، زیرا افرادی را که ستایش می‌شوند و الگو هستند، دارای فضیلت و نمونه‌ای برای این الگو هستند (Treanor، ۲۰۱۴). روزالیند هرست هاوس تأثیرگذارترین و شناخته‌شده‌ترین اصل اخلاق فضیلت برای کار درست را مشخص کرده است: یک عمل درست است چنانچه همان کاری باشد که به‌طور مشخص یک عامل با فضیلت در این شرایط انجام می‌دهد (Sandler، ۲۰۱۷).

انسان‌ها برای حفظ محیط‌زیست سالم و بوم‌نظام‌های آبی، باید فضایل سبزی مانند صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی، بهره‌وری و احتیاط در مصرف آب، آلوده نکردن آب، استفاده نکردن بی‌رویه از آب، بازیافت و استفاده مجدد از آب و غیره را پرورش دهند. یکی از فضایل پسندیده، فضیلت صرفه‌جویی در مصرف آب است که مستلزم ذخیره و استفاده عاقلانه از آب است، زیرا با صرفه‌جویی و حفاظت از منابع آب، از آنها کمتر استفاده می‌شود. صرفه‌جویی در شرایط مدرن، نه تنها یک اصل اقتصادی بلکه مهربانی با محیط‌زیست نیز است و باتوجه به نگرانی‌های محیط‌زیستی، ممکن است فضیلتی مهم در آینده باشد. صرفه‌جویی به عنوان فضیلت فردی و اجتماعی، فضیلتی برد-برد است که باعث افزایش ثروت و کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست می‌شود (McDonald، ۲۰۱۴). فضیلت عدالت در بهره‌برداری از منابع آب نیز فضیلت دیگری است که انسان‌ها را وادار می‌کند تا با یکدیگر به گونه‌ای ارتباط برقرار کنند که برای دستیابی به خیر مشترک آنها مفید باشد و نیازهای دیگران را نیز در نظر بگیرند. به عنوان مثال وقتی عدالت توزیعی در انسان‌ها عادت می‌شود، آنان به صورت فردی یا جمعی گرایش پیدا می‌کنند تا اطمینان به دست آورند دیگران سهم عادلانه خود از آب و منابع آبی را دریافت می‌کنند. عدالت توزیعی همچنین افراد و جامعه را برمی‌انگیزاند تا اطمینان به دست آورند که انسان‌ها در آینده برای نیازهای خود به آب دسترسی خواهند داشت. بین اخلاق فضیلت و وظایف شهروندی در شهرهای آبی نیز ارتباط وجود دارد. براساس استدلال شهرنشینی آبی به عنوان یک چشم‌انداز و جنبش، ساکنان و شهروندان باید از محیط‌های دریایی اطراف خود مراقبت کنند و نسبت به آن متعهد باشند. برای نمونه در نیوزیلند اقیانوس‌ها سالانه پاکسازی می‌شوند و غواصان زباله‌های دریایی را جمع‌آوری می‌کنند (Beatley، ۲۰۲۱). فضیلت فروتنی بیانگر احترام به یک منبع طبیعی مانند آب است که انسان را به یاد قدرت، زیبایی و پیچیدگی آب می‌اندازد و به طور خاص، جایگزینی برای رویکرد منبع‌محور است که ارزش آب را از دیدگاه مزایای اقتصادی تایید می‌کند (Kalloff، ۲۰۱۷). نروژ کشوری است که بیش از ۲ هزار رودخانه دارد و ۱۳۰ درصد برق نروژ، برقابی است و سدهای زیادی در این کشور وجود دارد، ولی این سدها کمترین میزان آسیب و ویرانی به طبیعت و محیط‌زیست

وارد می‌سازند. حفظ طبیعت و محیط‌زیست بر جنبه زیباشناسانه و مهندسی سدها پیشتاز است. فضیلت دیگری که درباره آب می‌توان اشاره کرد قناعت است. فضیلت قناعت در مدیریت آبی ایرانیان، موجب ساخت قنات‌هایی شده است که در طول هزاران سال دوام آورده و آب شرب و کشاورزی ایران را تامین کرده است.

انتقادهایی نیز بر اخلاق فضیلت وارد شده است. برخی اخلاق فضیلت را از منظر دشواری تعیین ماهیت فضایل مورد انتقاد قرار داده‌اند. آنان استدلال می‌کنند که افراد، فرهنگ‌ها و جوامع مختلف دیدگاه‌های بسیار متفاوتی درباره اینکه چه چیزی فضیلت است، دارند و این امر درباره فضایل سبز از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. انتقاد دیگر از اخلاق فضیلت این است که قواعد اخلاقی مطلق ندارد تا بتواند راهنمایی روشنی درباره روش کار در شرایط ویژه ارائه دهد. در پایان وظیفه‌گرایان و پیامدگرایان، اخلاق فضیلت را به دلیل پیچیدگی درباره وجود قواعد و اصول اخلاقی که به روشنی تعیین کنند چه کاری باید انجام شود و کدام کارها درست یا نادرست هستند، مورد انتقاد قرار داده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه کمبود و آلودگی آب از چالش‌های پابرجا در بسیاری از نقاط جهان است و توافق گسترده و درک بین‌المللی از این تفکر وجود دارد که دسترسی به آب شیرین و استفاده هوشمندانه از آن، از نظر اخلاقی برای بشر و کل زیست‌کره اهمیت دارد (Jennings و Gwiazdon، ۲۰۲۱). کارشناسان فلسفه محیط‌زیست، به‌ویژه پژوهشگران اخلاق محیط‌زیست کوشیده‌اند مباحث اخلاقی را در گستره محیط‌زیست وارد کنند و به پرسش‌هایی مانند آیا انسان‌ها نسبت به طبیعت تعهدات یا مسئولیت‌هایی دارند و اگر چنین است، چگونه این مسئولیت‌ها در برابر نیازها و وابستگی‌های انسان متعادل می‌شوند؟ و آیا برخی از وابستگی‌ها مهم‌تر از دیگری هستند؟ پاسخ دهند. اخلاق دانان آب نیز با همین رویکرد تلاش کرده‌اند تا به پرسش‌های آب پاسخ دهند.

به‌طور کلی نظریه‌های فلسفی سنتی که برای تبیین اخلاق محیط‌زیست استفاده شده‌اند، استوار بر این فرض هستند که انسان‌ها فقط تکالیفی درباره انسان‌های دیگر دارند و بسیاری از تصمیم‌های محیط‌زیستی به وسیله این نظام‌های اخلاقی اتخاذ شده‌اند که انسان را در مرکز معادله انسان و محیط‌زیست قرار داده است. دو رویکرد پیامدگرایی و وظیفه‌گرایی بیش از دوپست سال بر گفتمان اخلاقی تسلط داشته‌اند و هنوز در گفتمان اخلاقی معاصر از جمله اخلاق محیط‌زیستی از این سنت‌ها استفاده می‌شود (Treanor، ۲۰۱۴). در زمینه مدیریت آب پیروزی رویکرد ابزاری بر رویکرد ذاتی را دربرداشته است. براساس رویکرد ذاتی، آب به‌خودی‌خود ارزشمند است، جدا از اینکه چقدر برای انسان مفید باشد. در برابر، رویکرد ابزاری، آب را در درجه اول به دلیل نقش آن در حفظ زندگی و کمک به شکوفایی انسان ارزشمند

می‌داند (Mayeda, ۲۰۲۱). انسان‌محوری این دیدگاه کلی را دارد که فقط انسان‌ها ارزش ذاتی دارند و اشکال حیات غیرانسانی چنین ارزش ذاتی ندارند و ارزش آن‌ها از نظر ارزش و کمکی که انسان‌ها از چنین موجودات غیرانسانی می‌گیرند، ابزاری به‌شمار می‌رود. بنابراین، در زمینه آب، بوم‌نظام‌های آبی و منابع مرتبط تنها زمانی می‌توانند ارزشمند و شایسته نگهداری در نظر گرفته شوند که برای انسان و رفاه انسان ارزش داشته باشند (Wet و Odume, ۲۰۱۹). اخلاق‌گرایان محیط‌زیست پشت‌سرهم از اینکه بسیاری از انواع نظریه‌های اخلاقی سنتی، انسان‌محور بوده‌اند ابراز اندوه کرده‌اند (Wellington, ۲۰۱۸) و همیشه یک پرسش اساسی در فلسفه محیط‌زیست مورد بحث بوده است که وقتی سخن از آسیب می‌شود این آسیب را برای چه کسی باید در نظر گرفت؟ آسیب فقط به انسان یا به موجودات ذی‌شعور یا به همه موجودات زنده یا به همه موجودات (به معنای وسیع)؟ امروزه در اکثر کشورها، دسترسی و حفاظت از آب و منابع طبیعی دیگر توسط دولت کنترل می‌شود. چنین آیین‌نامه‌هایی بیشتر ابزاری هستند و فرض بر این است که آب باید نگهداری و کنترل شود، زیرا برای انسان سودمند است (Mayeda, ۲۰۲۱). کاهش تخریب بوم‌نظام‌های آبی نیازمند یک فرآیند تعاملی واقعی از نظر اکولوژیکی است که در آن دولت و نهادهای مرتبط نه تنها به انسان‌ها، بلکه در برابر بقیه طبیعت نیز پاسخگو باشند. چنین شیوه‌های تعاملی حقوق انسان‌ها و نیز حقوق عناصر محیط‌زیستی نظام‌های محیط‌زیستی-اجتماعی را به رسمیت می‌شناسد و ترویج می‌کند و مسئولیت احترام گذاشتن به این حقوق را بر عهده همه افراد به‌عنوان عوامل اخلاقی مسئول می‌گذارد (Hale, ۲۰۱۷). پذیرش مفهوم ارزش ذاتی در بوم‌نظام‌های آبی از دیدگاه غیرانسان‌محوری، بر این ادعا متمرکز است که چنین ارزش ذاتی چه در انسان‌ها و چه در غیرانسان‌ها باید محافظت شود. این مفهوم دلالت دیگری دارد که انسان‌ها به‌عنوان تنها موجودات اخلاقی مسئول (یعنی عواملی که می‌توانند برای اعمال خود پاسخگو باشند) موظف هستند از منافع موجودات زنده غیرانسانی و بوم‌نظام‌های مرتبط نگهداری و مواظبت کنند (Wet و Odume, ۲۰۱۹). سنت‌های بومی در سراسر جهان مدل‌های زیادی را برای مدیریت آب براساس ارزش ذاتی آن، مستقل از مصارف انسانی و رابطه معنوی بین آب، خالق و انسان ارائه کرده‌اند. به‌عنوان مثال فرهنگ‌های تلینگیت و تاگیش در آلاسکا، هزاران سال احترام و ارزش ذاتی را به تمام جهان بیش از بشر تعمیم داده‌اند و از زمان‌های بسیار قدیم به‌دنبال شیوه‌های اکولوژیکی کل‌نگر و آنچه به‌عنوان فضیلت‌های محیط‌زیستی جدید در قرن بیست‌ویکم شناخته می‌شوند، بوده‌اند (Hayman و همکاران, ۲۰۱۷).

مدیریت منابع آب در بستر نظام‌های محیط‌زیستی-اجتماعی مستلزم تغییر اساسی در نحوه درک و تفسیر رابطه و تعامل بین انسان و سایر طبیعت است، زیرا رویکردهای برگرفته از غرب که اخلاق سودمندگرایانه را ترویج می‌کنند، در اکثر نقاط جهان بر مدیریت منابع آب تسلط داشته‌اند (McGee, ۲۰۱۰). از آنجایی که

سودمندگرایی فقط باتوجه به مؤلفه انسانی نظام‌های محیط‌زیستی-اجتماعی تعریف می‌شود، نوع جدیدی از اخلاق لازم است که بر یکپارچگی نظام‌مند اخلاقی نظام‌های محیط‌زیستی-اجتماعی و نه بر حمایت از هر یک از عناصر آن تأکید کند (Wet و Odume, ۲۰۱۹). راهبردها و اهداف مدیریت آب، که با آرمان‌های سودمندگرایانه، پیشرفت‌های فناوری و تصور محدود از آب به‌عنوان یک منبع هدایت می‌شوند، اغلب ناپایدار هستند (Hayman و همکاران, ۲۰۱۷). بشر به‌جای اینکه بپرسد چگونه می‌توان رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و نهرها را بیشتر کنترل و دستکاری کرد تا نیازهای روزافزون خود را برآورده کند، باید بپرسد چگونه می‌توان همزمان با تأمین نیازهای اکولوژیکی بوم‌نظام‌های آبی، نیازهای انسان را به بهترین شیوه برآورده کرد. در دیدگاه آلدو لئوپولد ما از زمین سوءاستفاده می‌کنیم، زیرا آن را کالایی می‌دانیم که متعلق به خودمان است. وقتی زمین را جزئی از اجتماعی بدانیم که به آن تعلق داریم، ممکن است شروع به استفاده از آن با عشق و احترام کنیم (Sandler, ۲۰۰۷). جامعه اخلاق‌مدار دیگر نمی‌تواند این واقعیت را نادیده بگیرد که تصمیم‌های مدیریت آب، پیامدهای مرگ یا زندگی برای گونه‌های دیگر دارد و سیاست آب استوار بر اخلاق باید با این فرض آغاز شود که همه انسان‌ها و همه موجودات زنده باید به آب کافی دسترسی داشته باشند تا بقای خود را تضمین کنند و یک گروه نمی‌تواند بیش از دیگران از آن بهره‌مند شود و از دیدگاه اخلاقی، مهم است که این دو موضوع مرتبط و وابسته به هم، مورد توجه قرار گیرند: الف) الزام اخلاقی تأمین آب آشامیدنی برای فقرا (حق آب یا اخلاق اجتماعی) و ب) الزام اخلاقی اجتناب از بلایای محیط‌زیستی در بوم‌نظام‌های آبی (نجات سیاره) (Llamas و Martínez-Cortina, ۲۰۰۹).

اخلاق وظیفه‌گرایی تا زمانی که نتواند ارزش ابزاری آب را به ارزش ذاتی تغییر دهد و نیازهای موجودات زنده غیرانسانی و بوم‌نظام‌های آبی را مورد توجه قرار دهد و بر حقوق جمعی و حقوق گروه‌های حاشیه‌نشین و حکمرانی استوار بر مردم‌سالاری آب تأکید کند، قادر به حل مسئله پیچیده آب نخواهد بود. از سوی دیگر، اخلاق فضیلت‌گرایی باید ماهیت اخلاقی آب را تشریح کند و فضایل را در بافت فرهنگی-اجتماعی جوامع مختلف تبیین کند تا قابل کاربرد در عمل باشد و راهنمایی روشنی درباره کاربرد در شرایط ویژه ارائه کند. پیامدگرایان نیز باید از محدود کردن آب به‌عنوان منبع و شهروندانی که مشتری یا مصرف‌کننده هستند اجتناب کنند تا مانع از سودجویی از این منبع ارزشمند شوند و آب را به‌عنوان کالایی اجتماعی تحلیل کنند که با ملاحظه افراد و جوامع آسیب‌پذیر، واگذاری فرصت برابر در تصمیم‌گیری برای آب، ایفای نقش حاکمیتی دولت‌ها در برابر مسئله آب و روابط مناسب بین دولت و بازار، ارزشمندی ذاتی آب و منابع آبی، تقویت نهادهای دموکراتیک و توازن مناسب بین حقوق فردی و حقوق جامعه و برآورد دقیق از مزیت‌ها و مضرات پروژه‌های آبی همراه باشد.

در پایان ذکر این نکته ضروری است که هیچ یک از نظریه‌های اخلاقی

به‌طور کامل تامین‌کننده الزام‌های بخش آب نیستند و آنچه مورد نیاز است دیدگاهی ارزشی است که شرایط کارایی را با اصطلاحات بوم‌شناختی و شرایط برابری را با اصطلاحات ارتباطی تفسیر کند. این نگرش از ویژگی بیش از حد فردگرایانه اخلاق مبتنی بر حقوق یا رفاه اجتماعی، که در آن جمعیت‌ها نه به‌صورت کل‌گرا، بلکه به‌عنوان مجموعه‌ای از افراد تصور می‌شوند، اجتناب می‌کند. اخلاق ارتباطی که اکنون در اخلاق محیط‌زیست و سلامت در حال افزایش است، بر اهمیت اخلاقی بافتی که انسان‌ها را در پیوند متقابل با نظام اجتماعی پرمفعت، مراقبت‌کننده از آن و پرورنده آن، در درون بوم‌نظام‌های طبیعی پایدار و انعطاف‌پذیر قرار می‌دهد، تأکید دارد (Jennings و Gwiazdon، ۲۰۲۱). به همین دلیل ضروری است رویکرد مدیریت آب از رویکرد کاملاً سودمندگرایانه به رویکرد یکپارچه و کل‌نگر که انسان‌ها و آب را بخش‌های به‌هم پیوسته یک کل بزرگ‌تر در نظر می‌گیرد، تغییر یابد. بوم‌نظام‌های آبی دارای حق و ارزش ذاتی بیشتر و بالاتر از ارزش سودمندگرایانه آنها برای بشر هستند و این مسئولیت اخلاقی انسان در تعدیل نیازهای خود به آب، برای تطبیق با کارکردهای محیط‌زیستی سالم است. سلامت بوم‌نظام‌های آبی به‌طور اجتناب‌ناپذیری تحت تأثیر استفاده انسان از آب برای کشاورزی، صنایع تولیدی و استخراجی و با سیستم‌های آب شهری و خانگی قرار دارد. درحالی‌که نمی‌توان از برخی اثرات محیط‌زیستی دوری کرد، برخی دیگر را می‌توان و باید دوری کرد. این منطق به معقول بودن یا مشروعیت مصرف آب اشاره دارد. آیا آب برای بهترین هدف استفاده می‌شود؟ هدر دادن آب اخلاق اقتصادی را نقض می‌کند، اما استفاده بهینه از آب برای تولید چیزهای بی‌فایده ناقض اخلاق محیط‌زیستی استفاده معقول است (Groenfeldt، ۲۰۱۷b).

پی‌نوشت

- 1-Commercialization
- 2-Commoditization
- 3-Ethics
- 4-Morals
- 5-Soft pathway
- 6-Systematic review

منابع

- احداث سدها بر معیشت پایدار نواحی روستایی (نمونه موردی: سد داریان هورامان)، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، ۸(۲۷): ۱۵۵-۱۷۶.
- فروزانی، پ. ۱۳۹۸. مدیریت آب از دیدگاه قرآن. دانشنامه پژوه، پژوهشکده باقرالعلوم، تهران.
- محمدی، ز. و یزدان‌پناه، م. ۱۳۹۶. آب و اهمیت حفاظت آن از دیدگاه قرآن کریم. اولین همایش ملی رهیافت‌های علوم کشاورزی در قرآن. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، اهواز.
- Abdusalam Alghwail, A.D. 2019. Environmental Ethics of Water Resources Management. China-USA Business Review, 18(1): 44-49.
- Al-Awar F., Abdulrazzak M.J. and Al-Weshah R. 2010. Water Ethics Perspectives in the Arab Region. In book: Water Ethics: Foundational Readings for Students and Professionals. Island Press. Washington, DC, USA.
- Alvaro, C. 2018. Environmental Ethics: The Virtuous Way. Agricultural Research and Technology: Open Access Journal, 17(2): 1-3.
- Armstrong C. 2017. Justice and Natural Resources: An Egalitarian Theory. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Attfield R. 2018. Environmental Ethics: A Very Short Introduction. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Beatley T. 2021. The Ethics of Blue Urbanism. In book: Ethical Water Stewardship, Springer, Switzerland.
- Bernard P.S. 2010. Messages from the Deep – Water Divinities, Dreams and Diviners in Southern Africa. PhD thesis. Rhodes University. South Africa.
- Bettany-Saltikov, J. 2012. How to do a Systematic Literature Review in Nursing: A step-by-step guide. Open University Press. England.
- Bickford A.L. 2021. Uses of Feminist Eco-Criticism for Water Policy. In book: Ethical Water Stewardship, Springer publishing. Switzerland.
- Boelens R. 2021. Water justice: Blatant grabbing practices, subtle recognition politics and the struggles for fair water worlds. In book: Environmental Justice: key issues. Taylor and Francis. France.
- Boelens R., Vos J. and Perreault T. 2018. Introduction: The Multiple Challenges and Layers of Water Justice Struggles. In book: Water Justice. Cambridge University Press. UK.
- Brown G. and Schmidt J.J. 2010. Editors' Introduction. In book: Water Ethics: Foundational Readings for Students and Professionals, Island Press. Washington, DC, USA.
- Cafaro P. 2015. Environmental virtue ethics. In book: The Routledge Companion to Virtue Ethics. Routledge, England.
- Caponera D.A. and Nanni M. 1992. Principles of water law and

اکبرزاده، پ. و کابلی، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات اقتصادی-اجتماعی سدسازی و تأثیر آن بر نظام بهره‌برداری سنتی (مطالعه موردی: سد سیازاخ شهرستان دیواندره). جغرافیا و پایداری محیط، ۲۳: ۵۳-۶۵.

امامقلی زاده، ص. و رئیسی، م. ۱۳۹۱. فرهنگ مصرف آب از دیدگاه اسلام و قرآن و راهکارهای بهبود آن. نشریه علمی-تخصصی مهندسی فرهنگی، ۶(۶۳ و ۶۴): ۴۷-۶۹.

امینی، ک.، ویسی، ف. و محمدی، س. ۱۳۹۷. تحلیل و تبیین اثرهای

- Hausman D., McPherso, M. and Satz, D. 2017. Economic analysis, moral philosophy, and public policy. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Hayman E., James C., Wedge M. and Katzeek D. 2017. I yá.axch'age? (Can you hear it?), or Héen Aawashaayi Shaawat (marrying the water). A Tlingit and Tagish approach towards an ethical relationship with water. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge. London, United Kingdom.
- Hefny M.A. 2010. Water commoditization: An ethical perspective for a sustainable use and management of water resources, with special reference to the Arab Region. In book: Re-thinking Water and Food Security: Fourth Botín Foundation Water Workshop. Taylor & Francis Group. United Kingdom.
- Hiller A. 2017. Consequentialism in Environmental Ethics. In the Oxford Handbook of Environmental Ethics, Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Huiying H. 2004. Humankind takes up environmental ethics. Chinese Education and Society, 37(4): 16-23.
- Jackson, S. 2018. Indigenous Peoples and Water Justice in a Globalizing World. In book: Water politics and policy. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Jaeger WK, Plantinga AJ, Change H, Dello K, Grant G, Hulse D, McDonnell J, Lancaster S, Moradkhani H., Morzillo A.T., Mote P, Nolin A., Santelmann M. and Wu J. 2013. Toward a formal definition of water scarcity in natural-human systems. Water Resources Research, 49: 4506-17.
- James L. and Wescoat Jr. 2013. The duties of water' with respect to planting: toward an ethics of irrigated landscapes. Journal of Landscape Architecture, 8(2): 6-13.
- Jamieson D. 2008. Ethics and Environment: an introduction. Cambridge University Press. London, United Kingdom.
- Jennings B. and Gwiazdon K. 2021. Water and Ecological Ethics in the Anthropocene. In book: Ethical Water Stewardship. Springer, Switzerland.
- Jiang M. 2018. Towards Tradable Water Rights: Water Law and Policy Reform in China. Springer, Switzerland.
- Kalloff A. 2017. Water Ethics: Toward Ecological Cooperation. In the Oxford Handbook of Environmental Ethics, Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Kernohan A. 2012. Environmental ethics: an interactive introduction. Broadview Press. Canada.
- Khan K., Kunz R., Kleijnen J. and Antes G. 2011. Systematic Reviews to Support Evidence-based Medicine: How to Review and Apply Findings of Healthcare Research. Hodder administration: national and international. CRC Press. second edition. Rotterdam, UK.
- Chociej Z. and Adeel Z. 2012. Legal and Ethical Dimensions of a Right to Water. In book: The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue. Hamilton, Canada.
- Dickson R., Cherry M.G. and Boland A. 2017. Carrying out a systematic review as a Master's thesis. In book: Doing a Systematic Review: A Student's Guide. 2nd edition. Sage Publication. London, UK.
- Doorn N. 2019. Water Ethics: An Introduction. Rowman & Littlefield International Ltd. London, UK.
- Dursun S. and Mankolli H. 2021. The Value of Nature: Virtue Ethics Perspective. An Interdisciplinary Journal of Human Theory and Praxis, 4(1): 1-15.
- Fioet C. 2021. The Ethics of Water: From Commodification to Common Ownership. Ph.D. thesis, The University of Guelph, Guelph. Ontario, Canada.
- Fisher F. and Huber-Lee A. 2005. Liquid Assets: An Economic Approach for Water Management and Conflict Resolution in the Middle East and Beyond, Resources for the Future Press. Washington, DC, USA.
- Foltz R.C. 2002. Iran's Water Crisis: Cultural, Political, and Ethical Dimensions. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 15: 357-380.
- Futehally I. 2021. Water Ethics in the Middle East. In book: Ethical Water Stewardship. Springer, Switzerland.
- Groenfeldt D. 2017a. Incorporating ethics into water decision-making. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge. England.
- Groenfeldt D. 2017b. Developing a Global Water Ethics Charter. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge, England.
- Groenfeldt D. and Schmidt J.J. 2013. Ethics and Water Governance. Ecology and Society, 18(1): 1-10.
- Grunwald A. 2016. Water Ethics – Orientation for Water Conflicts as Part of Inter- and Transdisciplinary Deliberation. In book: Society - Water – Technology: A Critical Appraisal of Major Water Engineering Projects, Springer. London, United Kingdom.
- Hale B. 2017. Rights, Rules, and Respect for Nature. In the Oxford Handbook of Environmental Ethics, Oxford University Press. Oxford, UK.
- Harris L.M., McKenzie S., Rodina L., Shah S.H. and Wilson N.J. 2018. Water justice: key concepts, debates and research agendas. In The Routledge Handbook of environmental justice. Routledge, England.

- Learning. Seventh Edition. USA.
- Mehta L. 2006. Do human rights make a difference to poor and vulnerable people? Accountability for the right to water in South Africa. In book: Rights, Resources and the Politics of Accountability. Zed Books. London.
- Meisch S. 2017. What is water ethics and to what end do we study it? Lessons for the Water Ethics Charter. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge, England.
- Mokori A.S. and Cloete, C.E. 2016. Ethical perspectives on the environmental impact of property development', HTS Theologiese Studies/Theological Studies, 72(3): 1-8.
- Muradian R. and Gomez-Baggethun E. 2021. Beyond ecosystem services and nature's contributions: Is it time to leave utilitarian environmentalism behind? Ecological economics, 185: 1-9.
- O'Neill J., Holland A. and Light, A. 2008. Environmental Values. Routledge, England.
- O'Neill K.E. 2021. Water Pricing: A Strategy for Rights Fulfillment or Rights Violation? In book: Ethical Water Stewardship. Springer, Switzerland.
- Parmar P. 2008. Revisiting the human right to water. The Australian Feminist Law Journal, 28: 77-96.
- Pojman, L.P., Pojman P., and McShane K. 2017. Environmental ethics: readings in theory and application. Cengage Learning. Seventh Edition. USA.
- Postel S. 2010. The missing link: a water ethic. In book: Water Ethics. Foundational Readings for Students and Professionals. Island Press. Washington, DC, USA.
- Pradhan R. and Meinzen-Dick R. 2010. Which Rights Are Right? Water Rights, Culture, and Underlying Values. In book: Water Ethics. Foundational Readings for Students and Professionals. Island Press. Washington, DC, USA.
- Reynolds G.C. 2003. A Native American water ethic. Academy of Sciences, Arts and Letters, 90:143-162.
- Roth D., Zwarteveen M., Joy K.J. and Kulkarni S. 2018. Water Governance as a Question of Justice: Politics, Rights, and Representation. In book: Water Justice. Cambridge University Press. United Kingdom.
- Sahni P. 2008. Environmental Ethics in Buddhism: A Virtue Approach. Routledge, London.
- Sandler R. 2017. Environmental Virtue Ethics. In the Oxford Handbook of Environmental Ethics, Oxford University Press. Oxford., United Kingdom.
- Sandler R.L. 2018. Environmental Ethics: theory in practice. Oxford University Press. Oxford, United Kingdom.
- Arnold. Second edition. London.
- Kibert C.J., Thiele L., Peterson A. and Monroe M. 2012. The Ethics of Sustainability. Portal Rio. London, United Kingdom.
- Kindler J. 2009. Ethics and uncertainty in Integrated Water Resources Management with special reference to transboundary issues. In book: Water Ethics: Marcelino Botín Water Forum 2007, Taylor & Francis Group. London, United Kingdom.
- Llamas, M.R. and Martínez-Cortina, L. 2009. Specific aspects of groundwater use in water ethics. In book: Water Ethics: Marcelino Botín Water Forum 2007, Taylor & Francis Group. London, United Kingdom.
- Levi R. and Mishori D. 2017. Water, virtue ethics and traditional ecological knowledge in Rajasthan: Anupam Mishra and the rediscovery of water traditions. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge. London, United Kingdom.
- Liu J. and Huang X. 2017. An ecocentric water allocation across competing demands in an arid inland river basin of northwest China. In book: Global Water Ethics: Towards a global ethics charter. Routledge, England.
- Liu J., Dorjderem A., Fu J., Lei X., Liu H., Macer D., Qiao Q., Sun A., Tachiyama K., Yu L. and Zheng Y. 2011. Water Ethics and Water Resource Management. UNESCO, Bangkok.
- Loreau M. 2014. Reconciling utilitarian and non-utilitarian approaches to biodiversity conservation. Ethics in Science and Environmental Politics, 14: 27-32.
- Marima P. 2018. The Influence of environmental virtue ethics in water conservation (Thesis). Strathmore University. Available at: <http://suplus.strathmore.edu/handle/11071/5960> (visited 28 June 2022).
- Matthews C., Gibson R.B. and Mitchell B. 2007. Rising waves, old charts, nervous passengers: navigating toward a new water ethic. In book: Eau Canada: the future of Canada's water, UBC Press. Vancouver, Canada.
- Mayeda G. 2021. Philosophical Issues in Water Law. In book: Ethical Water Stewardship. Springer. Switzerland.
- McDonald H.P. 2014. Environmental philosophy: A Revaluation of Cosmopolitan Ethics from an Ecocentric Standpoint. Rodopi B.V.. Amsterdam, Netherland.
- McGee W.J. 2010. Water as a resource. In book: Water Ethics: Foundational Readings for Students and Professionals. Island Press. Washington DC, USA.
- Mcshane K. 2017. What Is Ethics? In book: Environmental Ethics: Readings in Theory and Application, Cengage

- Available at: http://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml. (visited 28 June 2022).
- United Nations Development Programme. 2006. Human Development Report, 2006. In book: *Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis* (Editors: B. Ross-Larson, M. de Coquereauumont and C. Trott), Palgrave Macmillan, New York, USA.
- United Nations Economic and Social Council. 2002. General Comment No. 15: The Right to Water. UN Doc. E/C.12/2002/11, 18pp.
- United Nations General Assembly. 2010. The Human Right to Water and Sanitation. July 26, 2010. A/64/L.63/Rev.1. 3pp.
- United Nations General Assembly. 2012. General Assembly Adopts Resolution Recognizing Access to Clean Water, Sanitation as Human Right, by Recorded Vote of 122 in Favour, None against, 41 Abstentions. Available at: <http://www.un.org/News/Press/docs/2010/ga10967.doc.htm> (visited 28 June 2022).
- United Nations Human Rights Council. 2010. Human Rights and Access to Safe Drinking Water and Sanitation. Sept. 24, 2010. A/HRC/15/L.14. 4pp.
- United Nations. 2019. Sustainable development goals: water action decade. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-action-decade>. (visited 28 June 2022).
- van Zyl L. 2019. *Virtue ethics: a contemporary introduction*. Routledge, London, UK.
- Veiga da Cunha, L. 2009. Water: A human right or an economic resource? In book: *Water Ethics: Marcelino Botín Water Forum 2007*, Taylor & Francis Group. London, United Kingdom.
- Wellington A. 2018. Water ethics. In *Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier. Amsterdam, Netherlands
- Wellington A. 2021. Contextualizing a Human Rights Perspective for Water Ethics: From Exploitation to Empowerment and Beyond. In book: *Ethical Water Stewardship*. Springer. Switzerland.
- Wet C. and Odume O.N. 2019. Developing a systemic-relational approach to environmental ethics in water resource management. *Environmental Science and Policy*, 93(2019): 139-145.
- World Health Organization (WHO). 2019. Drinking-water. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (visited 28 June 2022).
- Ziegler R. and Groenfeldt D. 2017. Introduction. In book: *Global Water Ethics: Towards a global ethics charter*. Routledge, England
- Sandler R.L. 2007. *Character and environment: a value-oriented approach to environmental ethics*. Columbia University Press. New York, USA.
- Schlosberg D. 2007. *Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature*. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Schmidt J.J. and Mitchell K.R. 2014. Property and the right to water: toward a non-liberal common. *Review of Radical Political Economics*, 46(1): 54-69.
- Schmidt J.J. 2010. Water ethics and water management. In book: *Water Ethics. Foundational Readings for Students and Professionals*, Island Press. Washington, DC, USA.
- Selborne L. 2000. *The ethics of freshwater use: a survey*. UNESCO: World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology. Paris. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001220/122049e.pdf>. (visited 28 June 2022).
- Singh N. 2016. Introduction. In book: *The Human Right to Water: From Concept to Reality*. Springer. Switzerland.
- Smith K.K. 2018. *Exploring Environmental Ethics: An Introduction*. Springer. Switzerland.
- Smith S.L. 2017a. Developing an ecumenical framework for water justice. In book: *Global Water Ethics: Towards a global ethics charter*. Routledge, England.
- Smith S.L. 2017b. The historical and intellectual context of global water ethics. In book: *Global Water Ethics: Towards a global ethics charter*. Routledge, England.
- Stefanovic I.L. and Adeel, Z. 2021. Preface. In book: *Ethical Water Stewardship*. Springer. Switzerland.
- Stefanovic I.L. and Atleo C. 2021. *Valuing Water*. In book: *Ethical Water Stewardship*. Springer, Switzerland.
- Sym A. 2017. Water ethics and water stewardship: Personal reflections. In book: *Global Water Ethics: Towards a global ethics charter*. Routledge, England.
- Treanor B. 2014. *Emplotting virtue: a narrative approach to environmental virtue ethic*. State University of New York Press, Albany, USA.
- Udoudom M. 2021. The Value of Nature: Utilitarian Perspective. *GNOSI: An Interdisciplinary Journal of Human Theory and Praxis*, 4(1): 31-46.
- United Nations (UN). 2014. *Realizing the human rights to water and sanitation: A Handbook*. UN Special Rapporteur on the human right to safe drinking water and sanitation, Portugal.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. 2014. *The human right to water and sanitation*.

Conceptual Model for Ethical Roots of Environmental Crisis

E. Tamassoki¹, M. Kolahi^{2*}

1- PhD of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran. 2- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

Received: 19-09-2022

Revised: 31-10-2022

Accepted: 06-11-2022

Available Online: 11-03-2023

مدل مفهومی ریشه‌های اخلاقی بحران محیط زیست

احسان تمسکی^۱، مهدی کلاهی^{۲*}

۱- دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری- زمین، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران. ۲- 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: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

Abstract

In recent decades, the crisis of environmental degradation has become widespread and caused concern. Since this crisis is the consequence of an intellectual and moral crisis, it must be considered independently of the technical and engineering aspects. While analyzing different human-nature interactions and the views of current thinkers on nature, this research attempts to analyze the ethical roots of the environmental crisis by presenting a conceptual model. Environmental crises are exacerbated by attitudes that, while emphasizing humanism, see nature as an inanimate and unconscious object that has no benefit other than mere matter. The conceptual model enlightens us that in the face of the negative impact that the weakness of the creation worldview, self-centeredness, and aversion towards other species have on the universe, the "cosmopolitan ecocentrism" attitude has been developed due to the positive effect of the universe on the environmental crises. As a result, environmental ethics are solely comprehensive ethics. That is, while considering other cultures, species, and habitats, it is cosmopolitan. In other words, environmental ethics are universal, so it must be a fundamental approach to ethics. Since ethics is a way of life, ecological ethics are the universal way of life, the most ethics. Therefore, if we want to know why we have inherited this great amount of environmental degradation, we must be aware of the details of anthropocentric ethics and compare them with environmental ethics. Environmental ethics, or more accurately, ecological ethics, are the most cosmopolitan way of life and universal ethics.

Keywords: Environmental Ethics, Philosophy of Ethics, Ego, Speciesist Anthropocentrism, Ecocentrism.

چکیده

در دهه‌های اخیر، بحران تخریب محیط زیست، ابعاد گسترده‌ای به خود گرفته و موجب نگرانی‌های فراوانی شده است. این بحران، از آن رو که نتیجه بحرانی فکری و اخلاقی است، بایستی فارغ از جنبه‌های فنی و مهندسی، مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش ضمن واکاوی روابط مختلف انسان و دیدگاه‌های متفکران جریان ساز در ارتباط با طبیعت، تلاش می‌شود که با ارائه مدلی مفهومی، ریشه‌های اخلاقی بحران محیط زیست تحلیل شود. بحران‌های محیط‌زیستی در ذیل نگرش‌هایی تشدید می‌شوند که ضمن تأکید بر انسان‌مداری، طبیعت را شی‌ای بی‌جان و فاقد شعور می‌دانند که بهره‌ای جز ماده بودن صرف، ندارد. مدل مفهومی این پژوهش، نشان می‌دهد که در تقابل با نقاط ضعف در جهان‌بینی خلقت، خودمحوری و دیگرگونه‌گریزی، به واسطه اثرات مثبتی که جهان هستی بر بحران‌های محیط‌زیستی دارد، نگرش «بوم‌محوری جهان‌وطنی» توسعه یافته است. اخلاق محیط‌زیست، اخلاقی جامع است؛ یعنی ضمن در نظر گرفتن فرهنگ‌ها، گونه‌ها و زیستگاه‌های دیگر، جهان‌وطنی است. اخلاق محیط‌زیست از آن رو که جهان‌شمول است، می‌تواند مبنایی برای بسط اخلاق در حوزه محیط زیست قرار بگیرد. اخلاق بوم‌شناختی، می‌تواند به عنوان یک اخلاق جهان‌شمول در حل بحران‌های پیچیده و تو در توی جهان امروز، کارا باشد. برای نیل به این هدف، نخست باید از جزئیات اخلاق انسان‌محور آگاه شد و آن را با اخلاق محیط‌زیست مقایسه نمود. در یک کلام، اخلاق محیط‌زیست یا به بیان دقیق‌تر، اخلاق بوم‌محوری، اخلاقی جهان‌وطنی است که قابلیت ایجاد اجماع بر چگونگی حل بحران‌های محیط‌زیستی را دارد.

واژه‌های کلیدی: اخلاق محیط‌زیست، فلسفه اخلاق، خودمحوری، انسان‌محوری گونه‌گرا، بوم‌محوری.

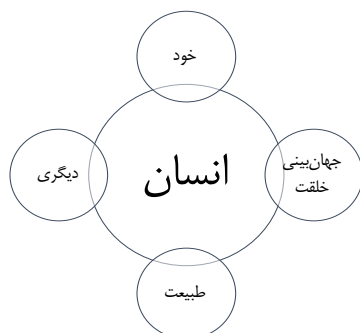
طی دهه‌های اخیر مسأله تخریب محیط‌زیست، مصرف‌گرایی و آلودگی و زیان‌های ناشی از آن، به صورت یکی از بنیادی‌ترین دغدغه‌ها و گرفتاری‌های انسان معاصر درآمده است (فاستر، ۱۳۹۹). در سراسر جهان، جامعه در مخاطره‌ای جهانی قرار گرفته است، مخاطره‌ای که در امواج طوفانی‌اش «همه در یک قایق هستیم» (یک، ۱۳۸۸). رشد غول‌آسای سرمایه‌داری جهان، افزایش قدرت تخریب صنعت در کنار تقویت فردیت، موجب شده است تا بشر در تلاش برای کسب سود بیشتر، منابع طبیعی را همچون یک دارایی بی‌پایان به حساب آورد و تمدن بشری را در معرض تهدید قرار دهد (براون، ۱۳۹۱). بی‌تردید باید ریشه تخریب گسترده محیط‌زیست را در فرآیندهای فکری، سیاسی و اجتماعی قرن‌های اخیر جستجو کرد (فهیمی و مشهدی، ۱۳۹۳). اینکه انسجام و هماهنگی بین انسان و طبیعت از بین رفته، واقعیتی است که بسیاری به آن اذعان دارند، اما آنچه همه به تحقیق نمی‌دانند این است که این عدم توازن، ریشه در تخریب انسجام و هماهنگی بین انسان و خالق هستی دارد (نصر، ۱۳۹۲). پیامدهای ویرانگر بحران محیط‌زیستی در ده‌های گذشته، موجب توجه جریان‌های اصلی تفکر و بسیاری از روشن‌گران به اهمیت نظم طبیعت و نیاز به احیای نوعی الهیات شده است که به خلقت و نجات اهتمام داشته باشد (نصر، ۱۳۸۹). از سویی دیگر، قصور اخلاق سنتی در به قدر کفایت به حساب آوردن منافع موجودات زنده غیر از آدمی، منجر به چالش محیط‌زیست‌گرایی با اخلاق سنتی (استرابا، ۱۳۸۲) و توجه فزاینده فیلسوفان به اخلاق محیط‌زیست در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ شد (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶).

توجه علم اخلاق به طور سنتی بر انسان، به عنوان فاعل و مفعول هر عمل متمرکز بوده است. اما اخیراً تحولاتی در این زمینه رخ داده است که حکایت از بسط و گسترش این توجه طی مراحل، ابتدا به حیوانات، سپس به موجودات زنده در کل و بعد به مجموعه‌هایی نظیر جمعیت، جوامع گیاهی، اکوسیستم‌ها، دریاچه‌ها، جویبارها و کوه‌ها دارد (بنسون، ۱۳۸۲). بسیاری از فیلسوفان محیط‌زیست، به دلیل آنکه نه فقط برای موجودات ماسوای انسان، بلکه برای هویت‌های کلی نیز ارزش قائلند، معتقدند که رشته آنان نیازمند تجدیدنظر کامل در خصوص جایگاه انسان‌ها، در جهان است (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶). Aldo Leopold در مقاله کلاسیک خود با عنوان «اخلاق زمین»^۱، با تفهیم موضوع «گسترش اخلاق»^۲ که در برگیرنده روابط انسان با طبیعت است (دژاردن، ۱۳۹۶)، اخلاق از دیدگاه بوم‌شناسی را محدودیت آزادی در عمل تنازع بقا می‌داند و آن‌را تحت عنوان همزیستی تشریح می‌کند (Leopold، ۲۰۱۴). Leopold مهم‌ترین مانع بر سر راه یک اخلاق زمینی را سیستم آموزشی و اقتصادی می‌داند، سیستمی که به جای اینکه در جهت

آگاهی و هوشیاری نسبت به زمین حرکت کند، در حال دور شدن از آن است. وی در پی اخلاقی است که بتواند رابطه بین انسان، زمین، جانوران و گیاهان را تنظیم کند و با پیشرفت جبهه آن از فرد به جامعه، محصول تکامل اجتماعی باشد (وهاب‌زاده، ۱۳۹۳). یکی از تأثیرگذارترین کتاب‌ها درباره طبیعت و محیط‌زیست در سال ۱۹۴۹ و یک سال پس از مرگ Leopold، با عنوان «سالنامه یک شهرستان شنی»^۳ منتشر شد. این کتاب کمک کرد که محافظت منفعت‌گرایانه سنتی به اولین جنبش‌های سبز متمرکز و اکولوژیک در غرب تبدیل شود، در واقع دستاورد Leopold آن چیزی بود که خود، اخلاق زمین می‌نامد (دژاردن، ۱۳۹۶). بنابر این، اخلاق محیط‌زیست شاخه‌ای از اخلاق کاربردی است (بنسون، ۱۳۸۲) که ضمن پرداختن به چالش‌هایی که تعامل غیر اصولی انسان با محیط پیرامونی‌اش پدید آورده است (دژاردن، ۱۳۹۶)، به بررسی رابطه‌های انسان با محیط غیر انسانی (بهرکاب، ۱۳۹۴) می‌پردازد و استدلال‌هایی را برای محافظت از موجودات طبیعی و استفاده پایدار از منابع طبیعی تدوین می‌کند (Ott، ۲۰۱۹). به طور کلی حوزه اخلاق محیط‌زیست، تحت سیطره دوگانگی‌های چندی قرار گرفته است: انسان‌محوری^۴ در برابر ناهسان‌محوری^۵، فردگرایی^۶ در برابر کل‌گرایی^۷، نظرگاه مبتنی بر شهروند در برابر نظرگاه مبتنی بر مصرف‌کننده، توجیه مبتنی بر علم تجربی در برابر توجیه مبتنی بر علم اجتماعی و معاملات^۸ در برابر معاضدت^۹ (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶).

در ایران، تاکنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با اخلاق محیط‌زیست انجام شده است. عابدی سروستانی و همکاران (۱۳۸۶)، به ارائه رهیافت خودبوم‌شناسی و بررسی رابطه بین خدا، انسان و طبیعت در حوزه اخلاق محیط‌زیست پرداختند. بیدهندی و همکاران (۱۳۹۳)، با توجه به نقش آراء و نظرات Francis Bacon در بروز بحران محیط‌زیست، به بررسی فلسفه وی پرداختند. بر اساس مدعای این پژوهش، فلسفه فرانسیس بیکن، در جرگه اخلاق محیط‌زیستی انسان‌محور قرار می‌گیرد. رئوف و حسن‌زاده (۱۳۹۴)، با بررسی مبانی رابطه انسان و طبیعت از دیدگاه مولوی به ترسیم الگویی پرداختند که بر اساس آن، انسان باید طبیعت را در باطن، همانند خود، تجلی اسما و صفات گوناگون الهی دانسته و در مقام خلیفه الهی، نگهدار آن باشد. عروج‌نیا و هوشنگی (۱۳۹۵)، با واکاوی روابط انسان و طبیعت در متون دینی زرتشتی، تصویری کلی از نوع مواجهه مزدیسنان با طبیعت، نشان دادند. فنایی و بهروزی (۱۳۹۶) با بررسی امکان توافق بر هنجارهای جهان‌شمول اخلاق محیط‌زیست، بیان داشتند که این هنجارها بایستی به گونه‌ای صورت‌بندی شوند که توجیه آنها به جنبه‌های اختصاصی هیچ‌یک از سنت‌های دینی، مکاتب جامع علمی، فلسفی و اخلاقی وابسته نباشد و پیروان سنت‌ها و مکاتب گوناگون عقیدتی با همسک به دلایل پذیرفته‌شده در سنت و مکتب خود، بتوانند بر سر آنها توافق کنند. سبحانیان و صافیان (۱۳۹۸) به بررسی امکان غلبه بر

است. بر این اساس ابتدا با بررسی و مطالعه منابع مرتبط، مفاهیم هم‌دسته، شناسایی و استخراج گردید. سپس مفاهیم احصاء شده، براساس ارتباط موضوعی و مفهومی، دسته‌بندی شدند. همچنین به منظور اطمینان از مقبولیت و عینیت نتایج، یافته‌ها مورد بازنگری چندین باره قرار گرفتند. در نهایت مفاهیم و یافته‌ها در قالب چهار مفهوم کلان و یک مدل مفهومی، سازماندهی شدند.



شکل ۱- چارچوب مفهومی پژوهش

یافته‌ها

«فلسفه اخلاق»^{۱۱} یک شاخه از فلسفه است که با «اخلاقیات» و «ارزش‌ها» سر و کار دارد. «اخلاق محیط‌زیست»^{۱۲} نیز شاخه‌ای از فلسفه اخلاق است که در خصوص روابط اخلاقی بین انسان‌ها و دنیای پیرامون آنها بحث می‌کند (علوی مقدم و قاسمی، ۱۳۸۹). «فلسفه اخلاق» به عنوان دانشی مستقل، نخستین بار به وسیلهٔ (Urmson و Moore، ۱۹۸۹) و با انتشار اثر معروف «مبانی اخلاق»^{۱۳}، در اوایل قرن بیستم سر و سامان یافت (مور، ۱۳۹۷). واژهٔ اخلاق^{۱۴} از واژه‌ای یونانی^{۱۵} به معنای «عرف» و «عادت» گرفته شده است. در این معنا، اخلاق شامل اعتقادات کلی، نگرش‌ها، یا استانداردهایی است که راهنمای رفتار عرفی هستند. بنابراین، طبق این معنا، هر جامعه‌ای، مبانی اخلاقی خودش را دارد، به گونه‌ای که آن جامعه، خود، باورها، نگرش‌ها و استانداردهای خاصی تعیین می‌کند تا عرف باشند. این انتخاب آگاهانه باشد یا نه، اعتقادات، نگرش‌ها و استانداردهای معینی برای رفتار هر فرد تعیین می‌کند. اما از اولین روزهای فلسفه یونان، وقتی سقراط، مقامات آن را به چالش می‌کشید، اخلاق فلسفی به آسانی متقاعد نشد تا عرفی را به عنوان حق بپذیرد. اخلاق به عنوان شاخه‌ای از فلسفه، درصدد بررسی منطقی آن چیزی است که عرف به ما می‌گوید چگونه باید زندگی کنیم (دژاردن، ۱۳۹۶). به طور کلی، در ارتباط با طبیعت، نظام‌های اخلاقی را می‌توان در ذیل دو مکتب عمده طبقه‌بندی کرد: «مکتب انسان‌گرا»^{۱۶} و «مکتب طبیعت‌گرا»^{۱۷}. در مکتب انسان‌گرایی، ارزش‌های اخلاقی ذهن‌گرا^{۱۸} شده‌اند (صانع‌پور، ۱۳۸۸) و حقوق و تکالیف، تنها به جوهر و شخصیت وجودی انسان‌ها،

بحران‌های محیط‌زیستی بر اساس تفکرات Heidegger پرداختند و بیان کردند که اندیشه Heidegger درباره وجود و سکنی گزیدن، می‌تواند نگاه ما را در خصوص نسبت آدمی با خود و جهان تغییر دهد، شیوه‌ای که مطابق آن انسان در مقام نگهدارنده و وارث زمین و موجودات، با آنها نسبت برقرار می‌کند.

در نهایت فعالیت‌های انسان بر کاهش مساحت پوشش جنگلی (Tracewski و همکاران، ۲۰۱۶) کاهش تنوع زیستی (Prakash و Verma، ۲۰۲۲)، تولید رواناب (Khaleghi، ۲۰۱۷)، تغییر اکوسیستم‌های آبی (Häder و همکاران، ۲۰۲۰)، افزایش طوفان‌های گردوغبار (تمسکی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ولی و همکاران، ۱۳۹۳)، مخاطرات اقلیمی و خشک‌سالی (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۲؛ Tamassoki و همکاران، ۲۰۱۴) و بسیاری موارد این‌چنینی تأثیرگذار بوده است. در پی گرمایش جهانی کرهٔ زمین، ذوب یخچال‌های جزیرهٔ گرینلند و غرب قطب جنوب همراه با اتساع حرارتی آب اقیانوس‌ها طی قرن حاضر، ممکن است سطح آب دریاها را تا ۲ متر بالا ببرد (Pfeffer و همکاران، ۲۰۰۸). از سال ۱۹۵۰ میلادی تا ۱۹۹۶، میزان صید ماهی جهان از ۱۹ میلیون تن به ۹۴ میلیون تن در سال افزایش یافت (براون، ۱۳۹۱). پیشروی صحرای که از شخم بیش از حد، چرای بیش از حد و جنگل‌زدایی نشأت می‌گیرد، مرتباً به زمین‌های زراعی بخش صحرایی آفریقا، خاورمیانه، آسیای مرکزی و چین دست‌درازی می‌کند (Wang، ۲۰۰۴) و بیش از ۸۵ درصد از سدهای بزرگ کنونی طی چهار دههٔ اخیر ساخته شده‌اند و در مدت کوتاهی تغییری عمده در اکوسیستم‌های آبی جهان ایجاد کرده‌اند (Postel، ۲۰۱۴). با این اوصاف اگر نوع بشر طرز تفکرش را در مورد درک جهان و معنای تفکر تغییر دهد، به دنبال آن، یک بازاندیشی^{۱۹} کارآمد در ارتباط انسان با طبیعت، جهان و دیگر انسان‌ها روی می‌دهد (Kors، ۱۹۹۸). بنابراین در این پژوهش تلاش می‌شود با غور در منابع مرتبط با اخلاق محیط‌زیست و تبیین ارتباط‌های چهارگانهٔ انسان با خالق، خود، دیگری و طبیعت، چارچوبی مفهومی جهت تحلیل اخلاقی بحران محیط‌زیست ارائه شود.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف، بنیادین و از لحاظ ماهیت و روش، توصیفی-تحلیلی است. پژوهش‌های توصیفی در بعد بنیادی به کشف حقایق و واقعیت‌های جهان خلقت می‌انجامند (حافظ‌نیا، ۱۴۰۱). در این پژوهش پس از تبیین رابطه و نگرش انسان نسبت به خالق، خود، دیگری و طبیعت با استفاده از بررسی منابع و در یک چارچوب مفهومی (شکل ۱)، سعی شده است که مدل مفهومی ریشه‌های بحران محیط‌زیست، ارائه شود. پژوهش حاضر از نوع کیفی و به روش تحلیل مضمون و شناسایی مضامین مربوط به موضوع اخلاق محیط‌زیست، در منابع کتابخانه‌ای انجام شده

چه به صورت فردی و یا اجتماعی مربوط می‌شود. هر چند ممکن است انسان مایل به رعایت و ملاحظه سایر موجودات و گونه‌های حیاتی باشد، ولی سایر موجودات غیر از انسان، هیچ حقوق و مسئولیتی ندارند. اما مکتب اخلاق طبیعت‌گرا، امتیاز یا تقدم جوهر و شخصیت وجودی انسان بر سایر موجودات را رد می‌کند و بیانگر آن است که ارزش‌ها از جوهره وجودی انسان سرچشمه نمی‌گیرند و هیچ پناهگاه اختصاصی برای انسان وجود ندارد. در مقابل، حقوق تنها با ملاحظه و رعایت برخی نظام‌های طبیعی، شامل اجزاء حیاتی و غیرحیاتی، قابل تعریف است (فراهانی فرد و محمدی، ۱۳۹۵).

- جهان‌بینی خلقت

تخریب محیط‌زیست از جهان‌بینی آدمیان نشأت می‌گیرد. چنانچه انسان‌ها خود را مالک زمین بدانند و همانند یک مالک خصوصی با آن مواجه شوند، زمین را به تباهی می‌کشانند، در حالی که اگر زمین را ملک خدا بدانند و خود را خلیفه او در زمین بشناسند، هرگز مفسد در ارض نخواهند شد (محقق داماد، ۱۳۹۳). فرهیختگان غرب باستان همچون ارسطو عقیده داشتند که جهان نه آغازی در زمان دارد و نه پایانی در آن خواهد داشت (فورلی، ۱۳۹۲)؛ نقطه مقابل این فرهیختگان، متفکران مسیحیت بودند که نه فقط مفهوم زمان خطی و تکرارناپذیر، بلکه داستان مشخص خلقت را نیز از یهود به ارث برده بودند. بر اساس تفکر مسیحیان خالق متعال به تدریج روشنایی و تاریکی، اجرام آسمانی، زمین و تمام گیاهان، پستانداران، پرندگان و ماهی‌ها را خلق کرد و بالاخره آدم را آفرید و سپس حوا را تا آدم از تنهایی به درآید. انسان بر تمام جانوران، نام نهاد و به این ترتیب سروری خود را بر آنان مستولی کرد. انسان معتقد است هیچ چیز در خلقت مادی، غایتی جز خدمت به انسان ندارد و گرچه پیکر آدمی از خاک ساخته شده، اما او صرفاً جزئی از طبیعت نیست، او آینه خداوندی است (وهاب‌زاده، ۱۳۹۳؛ White، ۱۹۶۷). در واقع نگرش غربی^{۱۹} به طبیعت، ناشی از آمیزه‌ای از نگرش‌های یهودیان، آن گونه که در نخستین کتاب‌های کتاب مقدس آمده است و فلسفه یونانیان باستان، به خصوص نگرش ارسطو است. بر طبق سنت رایج غربی، جهان طبیعت به جهت منافع انسان‌ها وجود دارد. خداوند، انسان را بر جهان طبیعت مسلط کرده است و برای خداوند مهم نیست که چه رفتاری با طبیعت داشته باشیم. چرا که اخلاق صرفاً در مورد انسان‌ها صدق می‌کند و طبیعت از دایره شمول آن خارج است. خود طبیعت هیچ ارزش ذاتی‌ای ندارد و از بین بردن گیاهان و حیوانات نمی‌تواند گناه‌آمیز باشد، مگر این که با این نابودسازی به انسان‌ها آسیب برسانیم (Singer، ۲۰۱۱). بنابراین در سنت مذهبی و فلسفی غرب، نظراتی پیدا می‌شود که انسان را موجودی برتر از طبیعت می‌داند و سیطره انسان بر طبیعت را توجیه می‌کند (دژاردن، ۱۳۹۶).

Lynn White، استاد تاریخ دانشگاه کالیفرنیا، در مقاله بحث‌برانگیز

خود با عنوان «فلسفه طبیعت از نگاه غربیان»، این مدعا را پیش نهاد که ریشه‌های بحران محیط‌زیستی کنونی، در اصل، معلول نخوت مسیحیت متعارف نسبت به طبیعت است. این نخوت در نگرشی انسان‌مدارانه و تحکم‌آمیز ریشه دارد که سابقه‌اش به سفر تکوین باز می‌گردد. به اعتقاد White، در جهان‌نگری مسیحی، آدمی تا حد زیادی در تعالی که خداوند نسبت به طبیعت دارد، شریک و سهیم است. در واقع به اعتقاد وی، مسیحیت، در تقابل مطلق با ادیان غیر ابراهیمی غرب باستان، نه فقط ثنوبیتی را میان انسان و طبیعت بنیاد نهاد و تثبیت کرد، بلکه بر این مطلب نیز اصرار ورزید که خدا اراده کرده که آدمی طبیعت را به مقتضای غایات خاص خود استثمار کند (ملکیان، ۱۳۹۱؛ Pojman و همکاران، ۲۰۱۶؛ White، ۱۹۶۷). بر خلاف Lynn White که به اشرف مخلوقات^{۲۰} بودن نوع بشر و به گونه برترباوری انسان^{۲۱} اشاره دارد (ملکیان، ۱۳۹۱)، Patrick Dobel، قائل به نوعی اخلاق خلافت در سنت یهودی-مسیحی است. در این طرز تلقی، «وظیفه خلافت» می‌پذیرد که محدودیت‌های اخلاقی و محیط‌زیستی رعایت شود و تکلیف توزیع عادلانه منافع را نیز بر آن می‌افزاید. خلافت واقعی مستلزم این است که هم پاس تولیت و وکالت و وظائف تعهد شده را بدارند، و هم مستلزم اینکه کوشش فعالانه‌ای کنند برای اینکه زمین را برای آینده بهبود بخشند و از آن به نحوی بهره جویند که به نفع دیگران باشد (Dobel، ۱۹۷۷؛ ملکیان، ۱۳۹۱). پس از انتشار مقاله بحث‌برانگیز Lynn White، بسیاری از منتقدان سعی داشتند که اسلام را نیز وارد این مقوله کنند. اما هنگامی که آیات قرآن به طور کامل و بدون گسستگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد، مشخص می‌شود که انسان با اینکه برترین موجودات است، صاحب طبیعت نیست. در واقع خود طبیعت به انسان نشان می‌دهد که او خلیفه^{۲۲} است. انسان مالک طبیعت و جهان هستی نیست که از آن بی‌مهابا و بدون تعهد استفاده کند. این بدان معناست که انسان به عنوان خلیفه‌الله برای هر عملی در روی کره زمین چه خوب و چه ناپسند، می‌بایست پاسخگو باشد (فولتز و همکاران، ۱۳۹۳). در حالی که در سنت یهودی-مسیحی، مفهوم اشرف مخلوقات مورد تأکید قرار گرفته است، در سنت اسلامی مفهوم خلیفه الله برجسته شده است. تأکید و بسط این مفهوم می‌تواند نقطه عزیمتی باشد که از آن پس انسان نه در جایگاه مالک موجودات، بلکه به عنوان نماینده خالق و مسئول، شناخته می‌شود.

- خودمحوری انسان

به طور کلی روابط انسان با خود را می‌توان به دو گروه «روابط شناختی» شامل دربرگیرنده معرفت انسان به خود و داورهای او درباره خود و «روابط عملی» شامل عملکردهای انسان نسبت به خود، تقسیم کرد. در واقع ریشه‌ای‌ترین شکل رابطه شناختی، خودشناسی است. در ادبیات گذشته ما، از این رابطه به «معرفه النفس» یاد کرده‌اند. اما روابط عملی انسان با خویشتن همه

فعالیت‌های او را دربرمی‌گیرد. انسان در روابط خود با خود، محیط و دیگران، در حقیقت به رابطه‌ای با خود، تحقق می‌بخشد. هر چه با دیگران می‌کند، در واقع با خود می‌کند (فتحعلی‌خانی، ۱۳۷۹). از نظر Gabriel Marcel، به عنوان یکی از مهم‌ترین فیلسوفان اگزیستانسیالیسم، نحوه وجود بشری یک واقعیت مادی محض نیست، بلکه عملی سرنوشت‌ساز و یک تصدیق است - نه فقط تصدیق «من هستم»، بلکه تصدیق «ما هستیم». تمایز پیشینی بین هستی و غیبت، بعداً به عنوان تمایز بین «داشتن»^{۲۳} یا «بودن»^{۲۴} بیان شد (مارسل، ۱۳۹۳). از سویی دیگر، Erich Fromm با تحلیل و بررسی دو بحران ماده‌گرایی اخلاقی و مصرف‌زدگی، داشتن و بودن را دو شرط اساسی هستی، دو جهت‌گیری مختلف نسبت به خود و جهان و منش‌های مختلف که مشخص‌کننده میزان جامعیت تفکر، احساس و عمل شخص است، می‌داند. در واقع دو نوع بودن وجود دارد؛ یکی نقطه مقابل «داشتن» است و به معنای زنده بودن و پیوند اصیل با جهان است و دیگری، نقطه مقابل «نمایان شدن» است که به طبیعت واقعی و حقیقت صادق شخص که متباین با حضور فریب‌آمیز او است، دلالت دارد. در مورد داشتن نیز رابطه شخص با این کلمه، رابطه مالکیت و تصاحب است، که سعی دارد هر کس و همه چیز، از جمله خود را دارائی و مایملک خود کند (فروم، ۱۳۹۲). به هر حال، خودمحوری انسان، خودنگری را اساس وجود خود انسان می‌شمارد. پس فرد انسانی هر گونه بهره‌کشی و ظلم به دیگر انسان‌ها و دیگر گونه‌ها را برای خود توجیه می‌کند.

- انسان و دیگرگونه‌گریزی

انسان علاوه بر ارتباط و پیوند افقی با هم‌نوعان خویش، پیوند و ارتباطی عمودی با خداوند و یا در برخی فرهنگ‌ها و اندیشه‌ها، با خدایان نیز دارد. در واقع می‌توان ارتباط بین خود و خدا را فارغ و متمایز از ارتباط بین خود و دیگری قلمداد کرد. حتی ممکن است چنین گفته شود که اینها نه تنها منافاتی با یکدیگر ندارند، بلکه لازم و ملزوم همدیگر نیز هستند. اهمیت این امر در آن است که چنین تعیین نسبتی بین انسان‌ها با یکدیگر و نیز بین ایشان و خداوند، تنها به حوزه‌های معرفتی منحصر نشده و در واقعیت زندگی انسان‌ها نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. Martin Buber، متفکر و دین‌پژوه معاصر، حداقل دو نوع رابطه بنیادین انسانی را چه در ارتباط وی با هم‌نوعانش و چه در شکل رابطه با خداوند و حتی طبیعت، مورد بازشناسی قرار می‌دهد. بر این اساس، می‌توان گفت بنیاد و لبّ رابطه مناسب انسانی با دیگری اعم از خدا، هم‌نوع و یا طبیعت، رابطه‌ای است که مبتنی بر به رسمیت شناختن وجود مستقل طرف دیگر رابطه به مثابه «تو» است. برعکس، هرگاه دیگری در مقام شیء و یا ابزار نگریسته شود، رابطه از حالت اصیل خود خارج شده و دیگری در مقام «آن» تلقی خواهد گردید (نصیری حامد، ۱۳۹۶). با اینکه «من» در هر دو رابطه «من و تو» و «من و آن» واجد

هویت واحد است، بین حالتی که موجودات دور و بر انسان به عنوان هدف مشاهده، تفکر، حاجت و یحتمل اشتیاق یا مساعدت نگریسته می‌شوند و حالتی که انسان با تمام وجود خویش در مقابل هستی دیگری قرار می‌گیرد، تفاوت وجود دارد. در واقع آنچه واجد اهمیت است، این است که کدامیک از این دو، معمار شخصیت انسان است (یوبر، ۱۳۹۳).

در ارتباط با مباحث مربوط به محیط‌زیست، در اغلب موارد، شخص در مورد آنچه خودش یا دیگری باید در وضع خاصی انجام دهد، متحیر و مبہوت است. در این وضعیت، آنچه نیاز است، معرفت و وضوح مفهومی^{۲۵} بیشتر در ارتباط با مباحث مربوطه است (فرانکنا، ۱۳۹۲). بر این اساس فیلسوفان اخلاق، معیارهای گوناگونی را پیشنهاد کرده‌اند، از جمله Emmanuel Levinas، فیلسوف پدیدارشناس معاصر، می‌کوشد تا با وام گرفتن از مفهوم «دیگری»^{۲۶} و به میان کشیدن مفهوم دگرآیینی^{۲۷}، اخلاق لیبرالی مبتنی بر مفهوم خودآیینی^{۲۸} را نقد کند. اخلاق کانتی، به مثابه نمادی از اخلاق لیبرال، با تأکید بیش از حد بر مفاهیم خودآیینی و سوژه^{۲۹} متافیزیکی، در تنسیق و تقریر آموزه‌های اخلاقی خویش، نیازی به در میان آوردن «دیگری» نمی‌بیند، حال آنکه نزد Levinas، اخلاق اساساً با دیگری و به میان کشیدن او آغاز می‌شود. در واقع، «دیگری»، شرط تکنون اخلاق و از خود به درآمدن است (دباغ، ۱۳۸۸).

گرایش علم اخلاق قدیم به جانب اخلاق مبتنی بر فضیلت بود، اما فلسفه اخلاق جدید به شکلی روز افزون و از منظری به شدت قانون‌پرستانه به کردار اهمیت می‌دهد. پیش از دوران جدید، تمامی فلاسفه به اخلاق، نگرشی مبتنی بر فضیلت داشتند. در واقع انقلاب اسپینوزا در فلسفه اخلاق، تغییر این نگرش به اخلاق مبتنی بر کردار بود (هولمز، ۱۳۸۹). «خودگرایی اخلاقی»^{۳۰}، که ذیل اخلاق مبتنی بر کردار قرار می‌گیرد را عموماً دیدگاهی تعریف می‌کنند که می‌گوید آدمی باید هر آن چیزی و فقط هر آن چیزی را انجام دهد که مصلحت، منفعت، مزایا یا خیر خود او را به بیشترین حد برساند (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶). در واقع هر چیزی که خیر شخصی ما را به حداکثر برساند - و فقط همان چیز - درست است (هولمز، ۱۳۸۹). این دیدگاه متفاوت است با «خودمحوری روانشناسی»^{۳۱} که می‌گوید انسان‌ها به واقع، شاید به ضرورت، به همین نحو (یعنی در جهت منافع خویش) عمل می‌کنند (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶). خودمحوری روانشناسی توضیح می‌دهد که یگانه انگیزه‌ای که بر جمیع کردارهای اختیاری آدمی حکم‌رواست، حب ذات است (هولمز، ۱۳۸۹). خودگرایان بر این باورند که در اغلب مواردی که ما عملی را با نیت نوع‌دوستانه و فداکارانه انجام می‌دهیم، از خودگذشتگی و کمک به دیگری، احساس خوشی را در نفس ما پدید می‌آورد و به عبارتی ما را ارضاء می‌کند. از این حالت تعبیر متفاوتی می‌شود، برخی می‌گویند اگر در موقع لزوم از خود، نوع‌دوستی و از خودگذشتگی نشان ندهند، همیشه

از تشویش و تکدر خاطر در عذاب خواهند بود و نمی‌توانند سر راحت بر بالین بگذارند و یا اگر در موقعیتی فداکاری نمی‌کردند، پیش وجدانشان شرم‌منده بودند. به عبارتی، پیروان نظریه خودگرایی روان‌شناختی معتقدند که اگر انگیزه‌های آدمی را در این اعمال به ظاهر فداکارانه و دیگرگرایانه واکاوی دقیق و وسواسانه کنند، خواهیم دید که این اعمال را تنها برای رسیدن به آن حالت خوشایند روحی و ذهنی و یا راحتی وجدان و ارضاء حس شفقت‌ورزی خود، انجام داده‌اند. بنابراین، باز هم جوهره این اعمال، تحصیل نفعی برای خویش‌تن است، نه اعانه و امداد به دیگران (حسینی سورکی، ۱۳۸۵). به هر حال، نگرش دیگرگونه‌گزینی انسان، گونه انسان را فقط شایسته جایگاه اخلاقی می‌داند. پس گونه انسانی هر گونه بهره‌کشی و ظلم به دیگر گونه‌ها را برای گونه خود توجیه می‌کند. در اصل، انسان این دیگرگونه‌گزینی را با نامیدن دیگر گونه‌ها به عنوان «دیگران»، مورد اسارت و استثمار قرار داده است.

- نگرش انسان به طبیعت و بوم‌محوری

در ارتباط با رابطه انسان و طبیعت، نگرش‌های مختلفی از جمله «دائوئیسم»^{۳۳}، «اومانیسیم»^{۳۴}، «بوم‌شناسی ژرف»^{۳۵}، «بوم‌محوری جهان‌وطنی»^{۳۶}، «نگرش عرفانی مولانا»، «نگرش حکمت‌صدایی» وجود دارد (جدول ۱). یکی از نگرش‌های مهم در ارتباط با طبیعت در «دائوئیسم» چینی مطرح می‌شود. دائو در لغت به معنی راه و بستر رودخانه، و در اصطلاح، قانون ثابتی است که جهان طبیعت بر اساس آن و در بستر آن حرکت می‌کند و هماهنگی و توازن حاکم بر جهان، نتیجه حرکت آن بر اساس دائو است. دائوئیسم، مکتبی است که سیر هستی را بر اساس قانون دائو به عنوان ناموس جهان آفرینش، توجیه و تفسیر می‌کند و رستگاری انسان را در گرو هماهنگی و همراهی با سیر ساده و طبیعی دائو می‌داند. انسان از دیدگاه مکتب دائو، موجودی آزاد و مختار است و می‌تواند انجام هر کاری را اراده کند. اما انسانی که می‌خواهد راه مقصد نهایی را پیش گیرد، باید بر طبق دائو، که همان اقتضای طبیعت و ساده‌ترین راه‌هاست، سیر کند تا سرانجام به مقام «انسان برین» برسد. انسان برین، همه چیز را به طبیعت واگذار می‌کند و تسلیم مطلق طبیعت می‌شود که به این حالت «بی‌کرداری» و «تسلیم» گفته می‌شود؛ به عبارت دیگر، تنها کردار انسان برین، بی‌کرداری در برابر طبیعت است (قرایی، ۱۳۸۸).

نگرش دیگر در نوع تعامل انسان با محیط‌زیست و تبیین پیوند و ارتباط انسان با عالم، نگرش «اومانیسیم»، یا مکتب «اصلت بشر» است. این نگرش به شکل افراط‌گونه‌ای بر اهمیت عامل انسانی تأکید داشته است و او را میزان همه چیز قرار می‌دهد. در نگرش اومانیسیم، تمام اندیشه‌های نظری و عملی بر محور انسان چرخیده و در عالم، موجودی کامل‌تر از او تصور نمی‌شود. آن‌چنان که اومانیسیم ادعا می‌کند، از یک طرف انسان- از آن جهت که خودش

باید ملاک‌های خود را تعیین کند- به عنوان اشرف مخلوقات در نظر گرفته می‌شود و از طرف دیگر در صحنه اخلاق و عمل، آزادی مطلق به او اعطا می‌شود. در این صورت درباره پیوند انسان با عالم، پر بی‌راه نخواهد بود که گفته شود بشر با همه موجودات عالم عموماً و نه ضرورت، دل‌خواهانه و بر اساس منافع خود و یا سودجویانه رفتار خواهد کرد. چنان که گفته شد، در نگاه اومانستی، منشأ اخلاق، انسان است. بنابراین رفتار خوب یا بد بر اساس میل یا منفعت شخصی انسان معنا پیدا خواهد کرد و بر اساس همان میل یا نفع شخصی با عالم و موجودات آن مواجه خواهد شد. با توجه به میل برتری‌جویی بشر در این دیدگاه، موجودات عالم باید در خدمت او باشند. با این معیار و معیارهای مشابه، محیط اطراف و جهان پیرامونی انسان، مورد تعدی قرار گرفته و نظم هستی، آسیب دیده است (Hasanzadeh و Raoof، ۲۰۱۶).

نگرش بوم‌شناسی ژرف‌نگر با ارائه‌ی هنجار خودشکوفایی، خواهان آن است که انسان‌ها در مواجهه با محیط‌زیست به ذات اصیل خود رجوع کنند، ذاتی که کمال نهایی خود را وحدت با طبیعت می‌داند. از این رو، کاربست اصل خودشکوفایی به دنبال فرآیندی است که از طریق آن اشخاص همچنان که در یک درهم‌تنیدگی تمام و کمال با بقیه طبیعت وجود دارند، به شناخت خودشان برسند. وجه دیگر این نگرش این است که از طریق آموزه برابری، زیست‌محوری در جستجوی نقشه‌راهی برای احیای حقوق موجودات غیرانسانی است. در این منظر، تمام ارگانسیم‌ها و نهادهای موجود در محیط‌زیست، به عنوان بخش‌هایی از یک کل مرتبط، از حیث ارزش ذاتی برابر هستند (عبادی و امدادی ماسوله، ۱۳۹۹). برخلاف اخلاق زمین، بوم‌شناسی ژرف از یک منبع اصلی، توسعه‌نیافته، و یا به یک فلسفه نظام‌مند اشاره نمی‌کند. بلکه برای توصیف انواعی از فلسفه‌های محیط‌زیستی به کار رفته است که دامنه آن از شرح همه نظریه‌های غیر انسان‌محور تا فلسفه‌های بسیار فنی کشیده شده است (دژاردن، ۱۳۹۶). بوم‌شناسی ژرف‌انگر منعکس‌کننده باور رواقیان و Baruch de Spinoza (de) مبنی است بر اینکه واقعیت اساساً وجود واحد است و بر این اساس در مورد جدایی هر فرد از کل محیط، مناقشه می‌کند. بنیان‌گذار این بوم‌شناسی از آن رو که خود حقیقی انسان خویش را با طبیعت هم‌هویت می‌داند، تحقیر طبیعت را ناب‌خردانه و نوعی تحقیر خویش می‌داند (نیگل و همکاران، ۱۳۹۶).

امروزه، نگرش «اخلاق بوم‌محوری جهان‌وطنی»^{۳۷}، یکی از نگرش‌های مهم در حوزه اخلاق محیط‌زیست است که با جایگزین کردن بوم‌محوری با انسان‌محوری، انقلاب کپرنیکی کانت در اخلاق را تکمیل می‌کند. این نگرش مستلزم گنجاندن گونه‌های دیگر و زیستگاه آنها در ملاحظات اخلاقی است. نگرش بوم‌محوری جهان‌وطنی با تأکید بر مفهوم جهان‌وطنی، انسان‌ها را بخشی از یک کل بزرگ‌تر می‌داند و نه ارباب آن. همچنین این نگرش، چشم‌انداز جدیدی برای جهان‌وطنی ارائه می‌کند، که در آن انسان‌ها می‌توانند جایگاه خود را در یک کل

بزرگ‌تر، یعنی دنیای غیرانسانی ببینند. بوم‌محوری در واقع شامل این ایده است که فلسفه باید به جای تأکید بر انسان‌محوری بر دغدغه‌ها و مسائل محیط‌زیستی متمرکز باشد. در بوم‌محوری جهان‌وطنی، تعامل متقابل با دیگری در روابط اجتماعی از نظر اخلاقی الزام‌آور است، زیرا ما در محیط‌زیست خود به عنوان خود و دیگری زندگی می‌کنیم. دیگری در واقع به شکلی تعمیم‌یافته است، که اجازه یک اخلاق جهانی را می‌دهد (McDonald، ۲۰۱۴). به همین دلیل، همانطور که McDonald (۲۰۱۴) تأکید می‌کند ارزش‌گذاری مجدد اخلاق جهان‌وطنی، بینش‌های اخلاق‌شناسان محیط‌زیست را در اخلاق می‌گنجاند، بدین‌سان اخلاق را دوباره ارزش‌گذاری می‌کند. اخلاق انسان‌محور به عنوان بخشی از اخلاق و نه بخش مرکزی، ارزش‌گذاری مجدد می‌شود. از این‌رو اخلاق محیط‌زیست، «اخلاق کاربردی» نیست، بلکه خود اخلاق است. شروع از ضروریات زندگی، جهان شمول‌تر است: ضرورت هوا، آب، غذا و لازمه‌های دیگر برای هر زندگی. نامیدن این‌ها به عنوان خوبی‌های «فیزیکی» متضمن آن است که آن‌ها پایین‌تر هستند: دیدگاهی روحانی. از این‌رو، جهان‌وطنی باید همخوان با اخلاق محیط‌زیست، ارزش‌گذاری مجدد شود. اخلاق، مبنای ارزشیابی است و محیط‌زیست، مبنای عمل. پس اخلاق محیط‌زیست، اخلاق فلسفی جدید است. در همین راستا، بوم‌محوری بیش از فقط یک اخلاق است. بوم‌محوری شامل این ایده که فلسفه باید بر دل‌مشغولی‌ها و موضوعات محیط‌زیستی، نه دل‌مشغولی‌ها و موضوعات انسان‌محور متمرکز شود. بوم‌محوری جهان‌وطنی، این فلسفه شناخت‌شناسی را به عنوان انسان‌محوری در لباس مبدل می‌داند، چون دانش بشری در مرکز دل‌مشغولی است. فلسفه بوم‌محور دانش رابطه انسان‌ها داخل جهانشان و دانش تعامل بخش‌های متنوع زیستگاه که کارکردی در یک کل دارد را در صف اول قرار می‌دهد. این فلسفه، در کشف جایگاه گونه‌های مخرب در محیطش که برای بقا به آن احتیاج دارد، بر فرزاندگی اخلاقی متمرکز می‌شود.

نگرش آئین زرتشت، به عنوان یکی از ادیان خاور نزدیک (ناس، ۱۳۸۸) از آنجا که گیتی را دارای روان یا جان می‌داند در بررسی رابطه انسان و طبیعت حائز اهمیت است. دیدگاه زرتشتی درباره نظم طبیعت هم در ذات خود و هم به دلیل تأثیرش بر بسیاری از مکاتب بعدی تفکر فلسفی و دینی چه در عالم اسلام و چه در مغرب زمین، اهمیت بسیار دارد (نصر، ۱۳۸۹). جهان در نگاه آیین زرتشت دارای روانی است که همچون انسانی که در آن می‌زید، خواستار شادی و آسایش است و این آسایش و شادمانی را در گیتی با آبادسازی خود و زودده شدن از آلودگی‌ها می‌جوید و به سبب پاکسازی خود نیز می‌تواند به عالم پاک (سپنتامینو) پیوندد و شادمانی و آرامش و آسایش جاودانی داشته باشد. انسان نیز همچون زرتشت، پیمان بسته و برانگیخته شده است تا خواست اهورامزدا را برای پاک کردن جهان از همه نیروهای اهریمنی و به تعبیر دیگر، آبادانی آن محقق

سازد و با آبادانی جهان، خود نیز شادمانی، آرامش و آسایش در گیتی و مینو را به ارمغان برد (Orujnia و Houshangی، ۲۰۱۷). آئین زرتشتی رابطه‌ای مستقیم با عالم طبیعت و عناصر کیهانی از طریق رسومی مذهبی برقرار می‌دارد.

با توجه به جهان‌بینی جامع‌نگر^{۳۷} مولانا، نگرش وی را می‌توان به عنوان یکی از نگرش‌های عرفانی در زمینه ارتباط انسان با طبیعت برشمرد. اگرچه جهان‌بینی مولانا بیشتر به سمت پندارگرایی^{۳۸} تمایل دارد تا مادی‌گرایی^{۳۹}، با این وجود او جهان مادی را نادیده نمی‌گیرد و آن را بی‌ارزش نمی‌شمارد، بلکه تمامی طبیعت (جزء به جزء) را بدون هیچ استثنائی، مستحق تعالی می‌داند. مولانا دیدگاه انسان به طبیعت را عوض می‌کند و پس از آن جهانی پر از اجزاء و ارکان متفاوت که ارتباطی موثر با یکدیگر و با آدمی دارند را جایگزین می‌کند (فولتر و همکاران، ۱۳۹۳). از دید وی، عالم که تجلی اسما و صفات الوهی است، در برابر انسان، همچون پیکره متحد و واحد ظاهر می‌گردد و در برخورد با آن، گویا انسان در برابر موجودی از جنس خود قرار می‌گیرد. از این رو، رفتار ناشایسته انسان با عالم، واکنش متناسب خود را از سوی مقابل به همراه خواهد داشت. بر همین اساس، در پیوند با عالم، از نظر مولانا، بشر باید قاعده عمل و عکس‌العمل را در ذهن خود به یاد داشته و از خودمحوری پرهیزد (Raooft و Hasanazadeh، ۲۰۱۶).

در حکمت اسلامی نیز یکی از نگرش‌های مهم و بنیادین که با اخلاق محیط‌زیستی پیوند دارد «نظریه وحدت شخصیه وجود و نظریه تجلی» است. در این نظریه، ملاصدرا کوشیده است جهانی را مجسم کند که تجانس و سنخیت ذاتی و حقیقی با خالق خویش برقرار می‌کند. بر این اساس، آنچه در عالم وجود دارد، پرتویی از ذات حق تعالی و سایه‌ای از وجود مطلق و نامتناهی حق است. عالم وجود در این نظریه، تجلی ذات حق است، ساخته‌ای جدا از خدا نیست، چراکه پرتو و تجلی حق است. بنابراین چشم‌اندازی که حکمت متعالیه در خصوص عالم طبیعت و دیگر مراتب وجودی آن ارائه می‌دهد، تصویری نورانی و خداگونه است. در این نگرش، طبیعت به عنوان نشئه‌ای از نشئات ربوبی، از نورانیت برخوردار است. در حکمت متعالیه وقتی صحبت از طبیعت می‌شود، باید جامعیت آن حفظ گردد، یعنی فضایی که شامل انسان، حیوان، گیاه و جماد می‌شود. بنابراین در فضای فکری ملاصدرا، انسان جزئی از محیط‌زیست محسوب می‌گردد که در قبال طبیعت و محیط پیرامونی خود، مسئول است. در این نظام فکری، انسان باید بداند که همه موجودات عالم در همه مراتب وجودی ذی‌حیات هستند، لذا حق سلطه انسان بر طبیعت محدود است. بر اساس اصول و قواعد فلسفی حکمت متعالیه، کل عالم به مثابه شخص زنده تلقی می‌شود (رضازاده جودی و حیدری، ۱۳۹۸).

نگرش علامه اقبال لاهوری به عنوان متفکر اسلامی معاصر درباره علل تخریب محیط‌زیست و راه‌حل آن در روزگاری شکل گرفت

که فناوری هنوز اوج نگرفته بود. وی در دیوان خود، شهری آرمانی به نام «مرغدین» تصویر می‌کند که شهروندان آن به معرفتی والا، جهان‌بینی شگرف نسبت به خویش و طبیعت پیرامون نیاز دارند. اقبال برای نسل خود و آیندگان حامل این پیام است که بشر با آلوده کردن و به فساد کشیدن زمین دیگر در کره خاکی جایی ندارد. اقبال به این حقیقت رسیده بود که شرح کامل دیدگاه اسلامی نسبت به مشکلات محیط‌زیستی، نیازمند یک تشریح تفصیلی از باورها و

تعالیم اسلامی درباره خداوند، انسان و جهان است. به نظر اقبال، بحران محیط‌زیستی، يك بحران اخلاقی و معلول دور شدن انسان از آموزه‌های اخلاقی الهی و معلول غرور بشری است. این فیلسوف شرقی به مالکیت خداوند بر ملکوت آسمان و زمین و امانت آدمی و خلافت الهی او توجه می‌کند و با تأکید بر هشدار خداوند نسبت به افساد در ارض در لحظات آغازین خلقت و بحران محیط‌زیست را معلول غفلت انسان از اوامر الهی دانسته است (محقق داماد، ۱۳۸۰).

جدول ۱- نگرش‌های انسان به طبیعت

نگرش	خواستگاه	بنیان‌گذار یا چهره شاخص	طرح کلی
دائوئیسم	چین (سلیمانی اردستانی، ۱۳۹۴)	لائوزه (وینبرگ‌چای، ۱۳۸۶)	انسان با زمین هماهنگ است؛ زمین با آسمان هماهنگ است؛ آسمان با دائو هماهنگ است؛ و دائو با راه طبیعت هماهنگ است (ک. له‌گین، ۱۳۹۰).
اومانیزم	جهان مدرن	فردیناند شیلر ^{۴۰} (راداکیشتان، ۱۳۹۳)	انسان در مرکز اشیاء قرار می‌گیرد (راداکیشتان، ۱۳۹۳).
بوم‌شناسی ژرف	جهان مدرن	آرنه نس (Naess، ۱۹۷۳)	رد تصور محیط‌زیست انسان‌محور به سود تصور حوزه‌ای مرتبط و کلی. ارزش‌های ذاتی را متعلق به تمام موجودات زنده در نظر می‌گیرد. رد دوگانگی انسان/طبیعت و حفظ تمامیت و یکپارچگی زیست‌گه (عبادی و امدادی ماسوله، ۱۳۹۹).
بوم‌محوری جهان‌وطنی	جهان مدرن	هیو پی. مک‌دونالد ^{۴۱} (McDonald، ۲۰۱۴)	این نگرش با جایگزین کردن بوم‌محوری با انسان‌محوری، انقلاب کپرنیکی کانت در اخلاق را تکمیل می‌کند (McDonald، ۲۰۱۴).
نگرش آیین زرتشت	ایران باستان	زرتشت (ناس، ۱۳۸۸)	اصل ششم ^{۴۲} : سپس، آسمان، آب، زمین، گیاه، جانور و انسان را می‌آفریند که هر یک وابسته به دیگری است (بهار، ۱۳۹۱).
نگرش عرفانی مولانا	ایرانی-اسلامی	مولانا جلال الدین بلخی (Raoof و Hasanazadeh، ۲۰۱۶)	از نظر مولانا طبیعت پیوسته پویا، در حال جنب‌وجوش و واجد حیات است و نمی‌توان نگاه مکانیستیک به آن داشت. در اشعار مولانا، پدیده زیست‌محوری Edward Osborne Wilson به چشم می‌خورد (Clarke، ۲۰۰۲).
نگرش حکمت صدرایی	ایرانی-اسلامی	صدرالمثل‌الهی شیرازی (ملاصدرا) (نصر، ۱۳۸۷)	طبیعت در این حکمت فکری نه تنها موجودی زنده و صاحب شعور و کمالات وجودی است، بلکه فردی است که باید با یک نگاه انسانی به آن نگریسته شود و لذا همه حقوقی که در تعاملات انسان‌ها با یکدیگر باید مورد توجه قرار گیرد، در خصوص مواجهه با طبیعت نیز می‌بایستی رعایت گردد (رضازاده جودی و حیدری، ۱۳۹۸).
نگرش علامه اقبال لاهوری	پاکستانی-اسلامی	محمد اقبال لاهوری	بحران محیط‌زیستی کاملاً یک بحران فرهنگی است و راه حل آن هم باید از همین رهگذر پیگیری شود و چاره‌ای جز این نیست (محقق داماد، ۱۳۸۰).

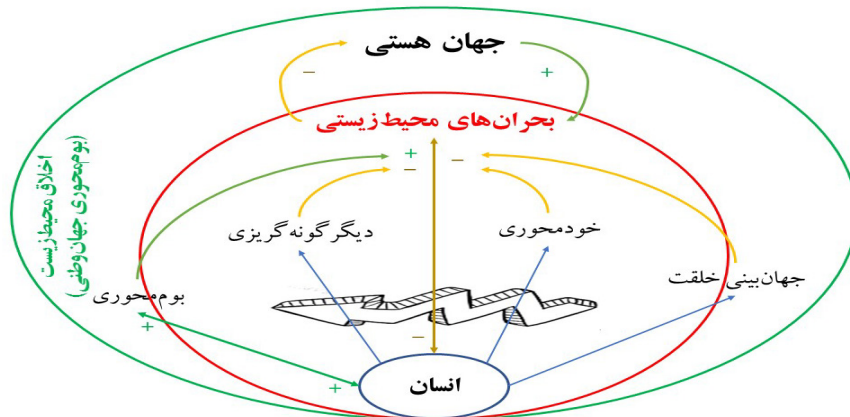
مدل مفهومی پژوهش

رابطه انسان با خالق، خود، دیگری و طبیعت، رابطه‌ای علی است. به این معنا که این روابط به صورت زنجیروار بر یکدیگر اثر می‌گذارند. انسانی که خود را اشرف مخلوقات می‌داند، بیش از آنکه در پی «بودن» باشد، بر «داشتن» همت می‌گمارد و از آنجا که به لحاظ اخلاقی و روانشناسی، خودمحور است، مسبب بحران محیط‌زیستی عصر حاضر می‌شود. در واقع اخلاص روابط انسان در جهان مدرن می‌تواند ریشه اخلاقی بحران محیط‌زیست معاصر باشد. مدل مفهومی تحلیل ریشه‌های اخلاقی بحران محیط‌زیست (شکل ۲) بیان می‌کند که در جهان هستی، انسان، بخش بسیار کوچکی از کل را

تشکیل داده است. او با فعالیت‌های مخرب موجب بروز بحران‌های محیط‌زیستی شده است. انسان و بحران‌های محیط‌زیستی به صورت متقابل بر یکدیگر تأثیر منفی می‌گذارند و شدت خودتخریبی را افزایش می‌دهند. در عین حال، از آنجا که انسان موجودی متفکر است، به اندیشه در باب جهان‌بینی خلقت، خودمحوری، دیگرگونه‌گریزی و بوم‌محوری پرداخته است. در مقوله جهان‌بینی خلقت، از آنجا که متأثر از مکتب‌های انسان‌مدارانه است، خود را اشرف مخلوقات می‌داند. این نگرش باعث تشدید بحران‌های محیط‌زیستی به‌ویژه انقراض یا بهره‌کشی از گونه‌ها و اکوسیستم‌ها شده است. از سویی دیگر، با خودمحوری، خودنگری یا خودمرکز‌انگاری، بر بحران‌های محیط‌زیستی اثر منفی گذاشته است. او همچنین با دیگرگونه‌گریزی،

یعنی با دیگرنگری به گونه‌های دیگر، دیگران‌نگاری یا پست‌انگاری دیگر گونه‌ها و حتی خود هستی، موجب شدت بحران‌ها شده است. با این حال شدت بحران‌های محیط‌زیستی به قدری بوده است که انسان را متوجه اشکال در تفکراتش در باب جهان‌بینی خلقت، خودمحوری و دیگرگونه‌گریزی کرده است. از این رو، نگرش بوم‌محوری و احترام به طبیعت سربرآورده است. این نگرش موجب روبه‌رو شدن انسان با خود و خودآئینه‌نگری گردیده، و جایگاه واقعی انسان را به خودش نشان می‌دهد. این تفکر، محوریت انسان را به جزئی از طبیعت تقلیل داده و باعث شده است، حرکت‌هایی به منظور تقلیل بحران‌های محیط‌زیستی شکل گیرد. انسان دریافته است

که محیط‌زیست، هیچ مرزی، سیاستی و محدودیتی نمی‌شناسد و متعلق به تمام باشندگان جهان هستی است. اما از آنجا که اندیشه‌های مقابل، عمومیت و دامنه گسترده‌تری دارند، تفکر بوم‌محوری تاکنون نتوانسته است موجب کاهش چشم‌گیر بحران‌های محیط‌زیستی شود. در نهایت از آنجا که بحران‌های محیط‌زیستی بر جهان هستی تأثیر منفی می‌گذارند، در حالی که جهان هستی بر کلیت بحران‌های محیط‌زیستی اثر مثبت دارد، این در هم کنش می‌تواند موجب ایجاد فرصتی برای انسان شود که به استناد آن بتواند بوم‌محوری جهان‌وطنی را پایه‌گذاری کند و مسئولیت اجتماعی انسان، نسبت به خود، دیگر گونه‌ها، اکوسیستم‌ها و جهان هستی را پایه‌ریزی نماید.



شکل ۲- مدل مفهومی تحلیل ریشه‌های اخلاقی بحران محیط‌زیست

بحث و جمع‌بندی

برای سنجش بحران محیط‌زیست عصر حاضر در ترازوی اخلاق، بایستی اخلاق انسان‌محوری را که در قرن شانزدهم میلادی شکل گرفت در کف‌های قرار داد و ریشه‌ها و پیامدهای متأثر از بر صدر نشستن این اخلاق را سنجید، پس از آن در پی اخلاقی جهان‌شمول و عالم‌گستر بود که ضمن اینکه هم‌سنگ با کفه نخست باشد، مزایای آن را حفظ کند و پیامدهای زیان‌بار آن دیگری را فرو گذارد. هدف این پژوهش ارائه مدلی مفهومی است که می‌تواند قدمی هر چند کوچک در آغاز این مسیر پر پیچ و خم باشد. در جهان امروز ارزش‌های اخلاقی زیر سایه ارزش‌های اقتصادی قرار گرفته‌اند و سرمایه‌داری نوین از طریق قدرت شگفت‌انگیز رسانه و تشویق به مصرف‌گرایی، میان مردم و طبیعت نزاع افکنده است. در چنین شرایطی موضوع تخریب اکوسیستم‌های طبیعی به حاشیه رانده شده است و موضوعات انسان‌محور بر فلسفه سلطه یافته‌اند. عبور از وضعیت کنونی با تکیه بر اخلاقی انسان‌محور با رویکردی جهان‌شمول در شرایطی که کاهش سطح جنگل‌ها، کاهش تنوع زیستی، تولید رواناب، تغییر اکوسیستم‌های آبی، افزایش طوفان‌های گردوغبار و ... پیامدهای زیان‌باری ایجاد کرده است، یک ضرورت

انکارناپذیر است. کاهش تنوع زیستی و انقراض گونه‌های جانوری در لوی منفعت اقتصادی، شکلی از قتل‌عامی فجیع است که دست کمی از دیگر قتل‌عام‌های قرن بیستم ندارد. آلودگی هوا، خاک و آب که زندگی انسان و هر گونه دیگری برای تداوم به آن احتیاج دارد، خودویرانگری است. تمدنی که بشارت و انزار خبرگان و روشنفکرانش را نادیده بگیرد و جامعه را به سوی یک زندگی خلأ، خردمندانه و فضیلت‌مند سوق ندهند، محکوم به نابودی است.

در تقابل با دیدگاه‌های انسان‌محور، می‌توان اخلاق محیط‌زیست (دژارن، ۱۳۹۶) را قرار داد. اخلاقی جامع، بوم‌محور و جهان‌شمول که ضمن در نظر گرفتن تعدد فرهنگ‌ها، تنوع گونه‌ها و تفاوت زیستگاه‌ها، جهان‌وطنی است. اخلاق محیط‌زیست از آن‌رو که جهان‌شمول است می‌تواند به عنوان رویکردی مبنایی برای تغییر مسیر، مورد توجه قرار گیرد. دغدغه بوم‌محورگرایان، عدالت اجتماعی، به‌ویژه برابری اقتصادی است. اما اگر قرار است عدالت جهان‌شمول باشد، باید شامل همه باشندگان جهان هستی شود و میان محافظت از گونه‌های دیگر و رفاه بشر، توازن برقرار باشد. انقراض گونه‌های دیگر به منظور رفاه بشر، در اخلاق بوم‌محور پذیرفتنی نیست و راه‌حل‌ها برای مسائل فقر و بی‌عدالتی اجتماعی نباید به بهای از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی باشند. این در حالی است که از

11-Philosophy of ethics	12-Environmental Ethics
13-Principia Ethica	14-Ethics
15-ethos	16-Humanist
17-Naturalist	18-Subjective
19-Western view	20-The Crown of Creation
21-Speciesist/ Speciesism	22-Stewardship
23-Having	24-To be
25-Conceptual clarity	26-otherness
27-heteronomy	28-autonomy
29-subject	30-ethical egoism
31-Psychological egoism	32-Daoism
33-Humanism	34-Deep ecology
35-cosmopolitan ecocentrism	
36-cosmopolitan ecocentric ethics	
37-Holistic	38-Idealism
39-Materialism	40-Ferdinand Schiller
41-Hugh P. McDonald	

۴۲- اصول چهارده‌گانه‌ای که از دین زرتشت در دوره‌ی ساسانی در دست است (بهار، ۱۳۹۱).

منابع

استرابا، ج. ۱۳۸۲. سه چالش با اخلاق (فمینیزم، محیط‌زیست‌گرایی، چندفرهنگ‌گرایی). ترجمه علی حقی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. مشهد. ایران.

براون، ل. ۱۳۹۱. نجات محیط‌زیست (پلن B4.0). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ دوم. مشهد. ایران.

بک، ا. ۱۳۸۸. جامعه در مخاطره جهانی. مترجم محمدرضا مهدی‌زاده. نشر کویر. چاپ اول. تهران. ایران.

بنسون، ج. ۱۳۸۲. اخلاق محیط‌زیست (مقدمات و مقالات). مترجم عبدالحسین وهاب‌زاده. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. مشهد. ایران.

بوهر، م. ۱۳۹۳. کسوف خداوند (مطالعاتی در باب رابطه دین و فلسفه). ترجمه عباس کاشف و ابوتراب سهراب. نشر فرزانه روز. چاپ سوم. تهران. ایران.

بهار، م. ۱۳۹۱. ادیان آسیایی. ویراستار ابوالقاسم اسماعیل‌پور. نشر چشمه. چاپ نهم. تهران. ایران.

بهرکاب، س. ۱۳۹۴. جایگاه اخلاق در محیط‌زیست. نشریه دانشجویی زیست سپهر، ۱۰(۱): ۵۴-۵۷.

بیدهندی، م.، کرباسی‌زاده، ع. و شیراوند، م. ۱۳۹۳. انسان‌شناسی فرانسوی بیکن و بحران‌های زیست‌محیطی. تأملات فلسفی، ۴(۱۲): ۱۲۱-۱۴۲.

نگاه طبیعت، منابع طبیعی و محیط‌زیست بین جریان‌های اقتصادی غالب در جهان امروز، تفاوت چندانی وجود ندارد و تنها تفاوتشان در نحوه تقسیم کیک طبیعت است. این جریان‌ها، اکوسیستم‌ها و زیستگاه‌های طبیعی را عرصه بهره‌کشی می‌دانند و هیچ‌یک از آن‌ها نمی‌توانند مبنایی برای رواج عدالتی شوند که نه جانب طبیعت را فرو گذارد و نه انسان را.

در واقع اخلاق محیط‌زیست به دلیل خصوصیت جهان‌وطنی، افق اخلاق را فراتر از گونه بشری می‌گستراند تا حیوانات، گیاهان، چشم‌اندازها و زیست‌کره را نیز در بر بگیرد. اخلاق بوم‌محور جهان‌وطنی، اخلاقی برای حیات‌وحش و حیات اهلی است و اولویت به ارزشیابی اخلاقی داده می‌شود، نه به «منفعت شخصی». طرفداران نفع شخصی، منشأ بی‌ارزش کردن جهان طبیعی، ابزاری کردن طبیعت و بهره‌کشی از آن هستند. تعقیب نفع شخصی، به بحران‌های غالب محیط‌زیستی همچون گرمایش جهانی و تغییر اقلیم انجامیده است. مدل مفهومی این پژوهش می‌کوشد درک و تفکر و پذیرش جایگاه مسئولیت اجتماعی و مسئولیت بین‌گونه‌ای و فراگونه‌ای انسان را برجسته سازد. انسان با پرداختن به فلسفه محیط‌زیست، متفاوت، درست، دقیق، جهان‌شمول و بوم‌محور می‌اندیشد و عمل می‌کند. جنگل‌ها، مراتع، بیابان‌ها، آبخیزها، دریاها، تالاب‌ها و مانند آن‌ها، نه منبع، که «زیستگاه» اند. زیستگاهی برای «دیگران»، یعنی همان موجودات غیرانسانی که تاکنون مگر برای بهره‌کشی در دایره توجه ما انسان‌ها قرار نگرفته‌اند. دانش انسانی باید از برج عاج خویش فرود آید و طبیعت را محتاج مدیریت خود نبیند. زیرا «جنگل‌ها، پیش از دخالت انسان‌ها فراوان‌تر بودند و بیابان‌ها پس از آن». انسان ملتزم به اخلاق بوم‌محور خود را برای هم‌زیستی، و نه تصاحب و چیرگی بر طبیعت آماده می‌کند. بنابراین به جای سرمایه‌گذاری بر فناوری‌های زیست تخریب‌گر، هزینه‌ساز و دیربازده، بر فناوری‌ها و انرژی‌های سبز همچون آسیاب‌های بادی و پنل‌های خورشیدی سرمایه‌گذاری می‌کند.

سپاسگزاری

از جناب آقای استاد مصطفی ملکیان و سرکار خانم مرضیه حسینی، نهایت تشکر و سپاسگزاری را داریم.

پی‌نوشت

1-The land ethic	2-extension of ethics
3-A Sand County Almanac	4-anthropocentrism
5-nonanthropocentrism	6-individualism
7-holism	8-Trade off
9-synergism	10-Rethink

تمسکی، ا. خورانی، ا. درویشی بلورانی، ع. و نوحه‌گر، ا. ۱۳۹۴. پایش و پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های دورکاوی، سیستم اطلاعات مکانی و داده‌های زمینی براساس بررسی تغییرات پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: جنوب و جنوب‌شرق ایران. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۴۴-۲۷: (۴)۷).

حافظ‌نیا، م. ۱۴۰۱. مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی. انتشارات سمت. چاپ ۳۰. تهران. ایران.

حسینی سورکی، س. ۱۳۸۵. بررسی و نقد نظریه خودگرایی اخلاقی. پژوهش‌های فلسفی - کلامی، ۸(۱): ۱۸۷-۲۲۲.

دباغ، سروش. ۱۳۸۸. درس‌گفتارهایی در فلسفه اخلاق. انتشارات صراط. چاپ اول. تهران. ایران.

دژاردن، ج. ۱۳۹۶. اخلاق محیط‌زیست (درآمدی بر فلسفه محیط‌زیست). ترجمه مهدی کلاهی. نشر پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات. چاپ اول. تهران. ایران.

راداگریشتان، س. ۱۳۹۳. تاریخ فلسفه شرق و غرب، جلد ۱ و ۲. ترجمه خسرو جهان‌داری. شرکت انتشارات علمی و فرهنگی. چاپ چهارم. تهران. ایران.

رضازاده جودی، م. و حیدری، ک. ۱۳۹۸. رویکرد اخلاق زیست محیطی بر اساس آیات قرآنی و مبانی حکمت صدرایی در جهت برون رفت از بحران محیط‌زیست. مطالعات قرآنی، ۱۰(۴۰): ۴۶۷-۴۸۶.

رئوف، س. و حسن‌زاده، م. ۱۳۹۴. مبانی رابطه انسان با طبیعت از دیدگاه مولوی. پژوهش زبان و ادبیات فارسی، ۳۹(۳): ۴۳-۲۳.

سبحانیان، خ. و صافیان، م. ۱۳۹۸. حفاظت بنیادین از محیط زیست و زمین با تکیه بر مفهوم سکنی‌گزیدن در اندیشه هیدرگ. تأملات فلسفی، ۹(۲۲): ۶۵-۹۱.

سلیمانی اردستانی، ع. ۱۳۹۴. کتاب ادیان زنده جهان (غیر از اسلام). نشر طه. چاپ اول. قم. ایران.

صانع‌پور، م. ۱۳۸۸. فلسفه اخلاق و دین. نشر آفتاب توسعه. چاپ دوم. تهران. ایران.

عابدی سروسناتی، ا. شاه‌ولی، م. و محقق‌داماد، س. ۱۳۸۶. ماهیت و دیدگاه‌های اخلاق زیست‌محیطی با تأکید بر دیدگاه اسلامی. اخلاق در علوم و فناوری، ۲(۱-۲): ۷۲-۵۹.

عبادی، ا. و امدادی ماسوله، م. ۱۳۹۹. بوم‌شناسی ژرف‌نگر: جنبشی علیه دوگانه انسان/طبیعت و نقد آن (روی آوردی الهیاتی). پژوهشنامه فلسفه دین (نامه حکمت)، ۱۸(۱): ۱۳۱-۱۵۴.

عروج‌نیا، پ. و هوشنگی، ل. ۱۳۹۵. متون دینی زرتشتی و محیط زیست: نقش انسان در آبادانی زمین و طبیعت. پژوهشنامه ادیان، ۱۰(۲۰): ۱۱۱-۱۳۱.

علوی‌مقدم، س. و قاسمی، ا. ۱۳۸۹. اخلاق و فلسفه محیط زیست و ضرورت توجه به نقش آن در جهان امروز. انسان و

محیط زیست، ۸ (۴): ۵۱-۵۶.

فاستر، ج. ۱۳۹۹. اکولوژی مارکس (ماتریالیسم و طبیعت). ترجمه علی‌اکبر معصوم بیگی. نشر نگاه. چاپ دوم. تهران. ایران.

فتحعلی‌خانی، م. ۱۳۷۹. آموزه‌های بنیادین علم اخلاق، جلد ۱. نشر شهریار. چاپ اول. قم. ایران.

فرانکنا، و. ۱۳۹۲. فلسفه اخلاق. ترجمه هادی صادقی. نشر کتاب طاهار. چاپ چهارم. قم. ایران.

فراهانی فرد، س. و محمدی، ی. ۱۳۹۵. مبانی اخلاقی محیط زیست از نگاه اقتصاد متعارف و قرآن. قبسات، ۱۴(۵۳): ۱۷۹-۲۰۸.

فروم، ا. ۱۳۹۲. داشتن یا بودن. ترجمه اکبر تبریزی. نشر فیروزه. چاپ دوازدهم. تهران. ایران.

فنائی، ا. و بهروزی، س. ۱۳۹۶. وظایف انسان‌ها در قبال محیط‌زیست از نظر اخلاق و اسلام: اجماع هم‌پوش در اخلاق محیط‌زیست. هستی و شناخت، ۴(۲): ۳۷-۵۶.

فورلی، د. ۱۳۹۲. تاریخ فلسفه راتلج (از ارسطو تا آگوستین)، جلد دوم. ترجمه علی معظمی. نشر چشمه. چاپ اول. تهران. مشهد.

فولتز، ر. دنی، ف. و بهارالدین، ع. ۱۳۹۳. اسلام و محیط زیست. مترجم: محمد خواجه حسینی و سید شهاب‌الدین معین‌الدینی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. مشهد. تهران.

فهیمی، ع. و مشهدی، ع. ۱۳۹۳. اندیشه‌های حقوق محیط‌زیست. انتشارات دانشگاه قم. چاپ اول. قم. ایران.

قزایی، ف. ۱۳۸۸. ادیان خاور دور. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ دوم. مشهد. ایران.

ک. له‌گین، ا. ۱۳۹۰. دائو ده جینگ. ترجمه عسکری پاشایی. انتشارات نگاه معاصر. چاپ دوم. تهران. ایران.

مارسل، گ. ۱۳۹۳. بودن و داشتن. ترجمه صدیقه فراهانی. بنگاه ترجمه و نشر کتاب پارسه. چاپ اول. تهران. ایران.

محقق داماد، س. ۱۳۸۰. الهیات محیط زیست. نامه فرهنگستان علوم، ۶(۱۷): ۷-۳۰.

محقق داماد، م. ۱۳۹۳. الهیات محیط‌زیست. نشر موسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران. چاپ اول. تهران. ایران.

ملکیان، م. ۱۳۹۱. مهر ماندگار (مقالاتی در اخلاق‌شناسی). انتشارات نگاه معاصر. چاپ سوم. تهران. ایران.

مور، ج. ۱۳۹۷. مبانی اخلاق. ترجمه: غلامحسین توکلی و علی عسکری یزدی. نوبت چاپ اول. سمت. تهران. ایران.

ناس، ج. ۱۳۸۸. تاریخ جامع ادیان. ترجمه علی اصغر حکمت. شرکت انتشارات علمی و فرهنگی. چاپ نوزدهم. تهران. ایران.

نصر، س. ۱۳۸۷. صدر المتألهین شیرازی و حکمت متعالیه. ترجمه حسین سوزنجی. دفتر پژوهش و نشر سهروردی. چاپ دوم. تهران. ایران.

نصر، س. ۱۳۸۹. دین و نظم طبیعت. مترجم انشاء الله رحمتی.

- 121). Island Press/Center for Resource Economics. Washington, D.C. USA.
- Mcdonald H.P. 2014. Environmental Philosophy: A Re-valuation of Cosmopolitan Ethics from an Ecocentric Standpoint: Brill.1. Amsterdam. Netherlands.
- Naess A. 1973. The shallow and the deep, long-range ecology movement. A summary. inquiry, 16(1-4): 95-100.
- Ott K. 2019. Environmental Ethics. Online Encyclopedia Philosophy of Nature. Heidelberg. German.
- Pfeffer W T. Harper J T. and O'neel S. 2008. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st-century sea-level rise. science, 321(5894): 1340-1343.
- Pojman L P. Pojman P. and McShane K. 2016. Environmental ethics: Readings in theory and application. Cengage Learning. Boston. USA.
- Postel S. 2014. The last oasis: facing water scarcity. Routledge.1. London. United Kingdom.
- Prakash S. and Verma Ak. 2022. Anthropogenic Activities and Biodiversity Threats. International Journal of Biological Innovations, IJBI, 4(1): 94-103.
- Singer P. 2011. Practical ethics. Cambridge university press. 1. Cambridge. United Kingdom.
- Tamassoki E., Soleymani Z., Bahrami F. and Abbasgharemani H. 2014. June. A survey of drought and Variation of Vegetation by statistical indexes and remote sensing (Case study: Jahad forest in Bandar Abbas). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) (Vol. 20).
- Tracewski L. Butchart S H. Donald P F. Evans M. Fishpool L D. and Buchanan G M. 2016. Patterns of twenty-first century forest loss across a global network of important sites for biodiversity. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 2(1): 37-44.
- Urmson J. and Ree J. 1989. The concise encyclopedia of western philosophy and philosophers. Routledge. 2. London. United Kingdom
- Wang T., Wu W., Xue X., Sun Q. and Chen G. 2004. Study of spatial distribution of sandy desertification in North China in recent 10 years. Science in China Series D: Earth Sciences, 47:78-88.
- White L. 1967. The historical roots of our environmental crisis. science, 155(3767): 1203-1207.
- نشر نی. چاپ ۳. تهران. ایران.
- نصر، س. ۱۳۹۲. انسان و طبیعت (بحران معنوی انسان متجدد). مترجم عبدالرحیم گواهی. دفتر نشر فرهنگ اسلامی. چاپ ۵. تهران. ایران.
- نصیری حامد، ر. ۱۳۹۶. مارتین بوبر و انسان شناسی صلح. اسفار، ۳(۵): ۸۱-۱۰۶.
- نوحه گر، ا. خورانی، ا. و تمسکی، ا. ۱۳۹۲. تحلیل اقلیمی گردوغبار معلق در ایستگاه هواشناسی سرپل ذهاب (۲۰۰۹ - ۱۹۸۶). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲(۲): ۸۹-۱۰۲.
- نیگل، ت. فرانکنا، و. برنت، ر. اسمیت، پ. سینگر، م. آرمسترانگ، و. و دنسی، ج. ۱۳۹۶. دانشنامه فلسفه اخلاق. ترجمه انشاءالله رحمتی و ویراسته مصطفی ملکیان. نشر سوفیا. چاپ دوم. تهران. ایران.
- ولی، ع. خاموشی، س. موسوی، س. پناهی، ف. و تمسکی، ا. ۱۳۹۳. تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گرد و غبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران. محیط‌شناسی، ۴۰(۴): ۹۶۱-۹۷۲.
- وهاب‌زاده، ع. ۱۳۹۳. بوم‌شناسی علم عصیانگر (مجموعه مقالات کلاسیک در بوم‌شناسی). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول. مشهد. ایران.
- وینبرگ‌چای، چ. ۱۳۸۶. تاریخ فلسفه چین. مترجم ع پاشایی. انتشارات نگاه معاصر. چاپ اول. تهران. ایران.
- هولمز، ر. ۱۳۸۹. مبانی فلسفه اخلاق. ترجمه مسعود علیا. نشر ققنوس. چاپ دوم. تهران. ایران.
- Clarke L. 2002. The universe alive: Nature in the masnavi of Jalal al-Din Rumi. Thinking about the Environment: Our Debt to the Classical and Medieval Past: 159.
- Dobel P. 1977. The Judeo-Christian stewardship attitude to nature. Environmental ethics: Readings in theory and application, 5: 28-33.
- Häder D-P. Banaszak AT. Villafañe VE. Narvarte MA. González RA. and Helbling EW. 2020. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. Science of the Total Environment, 713: 136586.
- Khaleghi MR. 2017. The influence of deforestation and anthropogenic activities on runoff generation. Journal of Forest Science, 63(6): 245-253.
- Kors AC. 1998. The Birth of the Modern Mind: The Intellectual History of the 17th and 18th Centuries. The teaching company.1. Virginia. USA.
- Leopold A. 2014. The Land Ethic: A Sand County Almanac, and Sketches Here and There (1949) (pp. 108-

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Investigating the Effect of Absorbent Parameters, Electrical Conductivity, and Water Depth in Solar Water Extraction Tanks (Distillers) for Distillation Irrigation in Greenhouse

Z. Hamid¹, S. Boroomand Nasab², A. Soltani Mohammadi^{3*}

1, 2, 3 - MSc Student, Professor and Associate Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*(Corresponding Author Email: a.soltani@scu.ac.ir)

Received: 02-05-2022

Revised: 27-09-2022

Accepted: 05-11-2022

Available Online: 11-03-2022

بررسی اثر پارامترهای جاذب، هدایت الکتریکی و عمق آب در مخازن استحصال آب (تقطیرگر) خورشیدی به منظور آبیاری تقطیری در گلخانه

زینب حمید^۱، سعید برومند نسب^۲، امیر سلطانی محمدی^{۳*}

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، استاد و دانشیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: a.soltani@scu.ac.ir)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۴

Abstract

One of the effective methods in the development of water desalination is the use of solar energy, which uses the main principles of water evaporation and distillation. Brine water enters the pan of the machine, and is then heated and evaporated by sunlight, additives and even some microbes that are separated from the water molecules during evaporation and remain in the pan. The production of pure water and no need for conventional energy sources are the advantages of this method. In this research, the effect of polyethylene absorbents with a thickness of one centimeter, and black glass on the bottom of the tanks; The depth and electrical conductivity of water were evaluated based on the volume changes of distilled water. For this purpose, in August 2018, in the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz, four solar still tanks were installed in two directions, north-south and south-north, on the roof of the distillery irrigation greenhouse. Experiments were conducted in three weeks with four treatments. (1- Tanks without polyethylene absorbent, and the water depth in them is two centimeters; 2- Tanks with polyethylene absorbent, and the water depth in them is two centimeters; 3- Tanks containing polyethylene absorbent and the water depth in them is two and four centimeters, north to south; each repetition in one week) the electrical conductivity in the tanks was 10 and 20 dS/m. The results showed that in north-south reservoirs, increasing the depth of saline water from 2 to 4 cm increased the amount of water production by 65%; Also, in this direction, tanks containing water with higher electrical conductivity caused an increase in the amount of distilled water production up to 5%, in the south-north tanks in the first week of measurement, the amount of production in a tank with electrical conductivity of 10 dS/m (tank number two) It was more than 2 liters. Finally, due to the stability of other factors involved, the difference in the total volume of produced water between the presence and absence of polyethylene absorbent in the North-South reservoirs is 22%, and for the South-North reservoirs, this difference reached 84%. The optimal conditions for water production were the presence of polyethylene absorbent, and greater water depth.

Keywords: Distillation Irrigation, Solar Energy, Water Extraction, Polyethylene Absorbent.

چکیده

از روش‌های مؤثر در توسعه آب شیرین‌کن‌ها، استفاده از انرژی خورشیدی است که از قواعد اصلی تبخیر و تقطیر آب استفاده می‌کند. آب شور وارد تشتک دستگاه می‌شود و سپس توسط تابش نور خورشید گرم و تبخیر شده، مواد اضافه و حتی برخی از میکروب‌ها، حین تبخیر از مولکول‌های آب جدا شده و در تشتک باقی می‌مانند. تولید آب خالص و عدم نیاز به منابع انرژی متداول از مزایای این روش است. در این تحقیق اثر جاذب‌های پلی‌اتیلن با ضخامت یک سانتی‌متر و شیشه سیاه‌رنگ کف مخازن؛ عمق و هدایت الکتریکی آب، بر تغییرات حجم آب تقطیری ارزیابی شد. بدین منظور در مرداد ماه سال ۱۳۹۸ در دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، چهار مخزن تقطیرگر خورشیدی، در دو جهت شمالی- جنوبی و جنوبی- شمالی بر بام گلخانه آبیاری تقطیری نصب شدند. آزمایش‌ها در مدت سه هفته، با چهار تیمار بررسی شدند (۱- مخازن بدون جاذب پلی‌اتیلن و عمق آب در آن‌ها دو سانتی‌متر؛ ۲- مخازن با جاذب پلی‌اتیلن و عمق آب در آن‌ها دو سانتی‌متر؛ ۳- مخازن حاوی جاذب پلی‌اتیلن و عمق آب در آن‌ها دو و چهار سانتی‌متر، در جهت شمالی- جنوبی؛ هر تکرار در یک هفته). هدایت الکتریکی در مخازن، ۱۰ و ۲۰ dS/m بود. نتایج نشان داد در مخازن جهت شمالی- جنوبی، افزایش عمق آب شور از ۲ به ۴ سانتی‌متر، سبب افزایش میزان تولید آب تا ۶۵٪ شد؛ همچنین در این جهت مخازن حاوی آب با هدایت الکتریکی بیشتر، سبب افزایش در میزان تولید آب تقطیری تا ۵٪ شدند، در مخازن جنوبی- شمالی در هفته اول اندازه‌گیری، میزان تولید در مخزنی با هدایت الکتریکی ۱۰ dS/m (مخزن شماره دو) تا ۲ لیتر بیشتر بود. در نهایت با توجه به ثابت بودن سایر عوامل دخیل، اختلاف حجم کل آب تولیدی بین دو حالت وجود و عدم وجود جاذب پلی‌اتیلن در مخازن شمالی- جنوبی، ۲۲٪ به‌دست آمد و برای مخازن جنوبی- شمالی، این اختلاف به ۸۴٪ رسید. شرایط بهینه برای تولید آب، وجود جاذب پلی‌اتیلن و عمق آب بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تقطیری، انرژی خورشیدی، استحصال آب، جاذب پلی‌اتیلن.

با شروع انقلاب سبز^۱ در سال ۱۹۶۰، استفاده وسیع از کود، توسعه آبیاری و معرفی محصولات با عملکرد بیشتر، قحطی جهانی را در سالهای اخیر رفع کرد. از طرفی، پیش‌بینی می‌شود با توجه به افزایش جمعیت و محدودیت منابع آب در سال ۲۰۲۵، بسیاری از کشورها با کمبود آب مواجه باشند و رقابت برای آب شیرین افزایش یابد (یوسفی و برومندنسب، ۱۳۹۴). استفاده از آب‌های باکیفیت پایین‌تر، از قبیل آب شور و یا لب‌شور و یا هرزآب‌ها در آبیاری، باعث کاهش شدید عملکرد محصول و عوارض دیگر در خاک خواهد شد. بنابراین، یک راه مناسب برای تولید آب شیرین، استفاده از آب شور و نم‌زدایی آن است. یکی از راهکارهای پیش‌رو استفاده مجدد از آب‌های شور و لب‌شور است تا علاوه بر کاهش میزان پساب، آب حاصل شده در بخش کشاورزی و شرب نیز استفاده گردد. در این میان انرژی خورشید، با توجه به اینکه انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و به‌عنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی از قواعد اصلی تبخیر و تقطیر آب استفاده می‌کنند. آب شور و غیرقابل آشامیدن، وارد تشتک دستگاه می‌شود و سپس توسط تابش نور خورشید گرم و تبخیر می‌شود. مواد اضافه و حتی برخی از میکروب‌ها، حین تبخیر از مولکول‌های آب جدا شده و در تشتک باقی می‌مانند. به عبارت دیگر، مولکول‌های آب عاری از آلودگی به صورت بخار، رو به بالا حرکت می‌کنند. از آنجاکه این سیستم توسط شیشه، پلاستیک یا غیره بسته شده است، بخار آب، راهی به بیرون از سیستم ندارد و روی سطح سرپوش تقطیر می‌شود. سرپوش مذکور شیب‌دار است و با شیب خود، قطرات آب حاصل از تقطیر را به سمت خروجی سیستم هدایت می‌کند. برای جذب حداکثر انرژی خورشید و کاهش اتلاف حرارتی در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی باید نکات زیر را مدنظر داشت: ۱- سرپوش پلاستیکی یا شیشه‌ای آب‌شیرین‌کن باید نور خورشید را به خوبی عبور دهد. ۲- از تشکیل بلورهای نمک در دستگاه باید جلوگیری شود. ۳- فاصله بین آب‌های تشتک و سرپوش آب‌شیرین‌کن باید به حداقل برسد. ۴- تشتک آب شور باید تیره‌رنگ باشد تا انرژی خورشید را بهتر جذب کند. ۵- آب‌شیرین‌کن نباید با فضای خارج ارتباط داشته باشد و محیط آن باید کاملاً بسته باشد. آبیاری تقطیری^۲ (DI) از روش‌های آبیاری است که برای آبیاری گیاهان با استفاده از آب‌های شور و نامتعارف ارائه شده است. این روش با استفاده از ترکیب تقطیر خورشیدی و آبیاری قطره‌ای بر آن است که هم‌زمان آب را نم‌زدایی کرده و آن‌ها را با ردیف‌های گیاهی مورد استفاده قرار دهد. در این روش از یک ابزار ساده که عمدتاً

از ورقه‌های پلاستیکی است، استفاده می‌شود. در آبیاری تقطیری، گیاهان با فاصله بسیار زیادی از هم کشت می‌شوند و در بین آن‌ها جویچه‌های تبخیری قرار می‌گیرد. در جویچه‌ها به منظور جذب بیشتر انرژی خورشیدی، کف آن‌ها با پلاستیک سیاه‌رنگ پوشش داده می‌شود. از مطالعات پیشین می‌توان به طور کلی به نتایج زیر پی برد:

- عمق آب شور موجود در سیستم‌های تقطیرگر باید به حداقل ممکن برسد تا حرارت دریافتی از خورشید، سریعاً آب شور را به دمای بالا با نرخ تبخیر بالاتر برساند.

- علاوه بر پارامترهای اقلیمی و فیزیک سیستم‌های تقطیرگر خورشیدی، حضور جاذب در کف مخزن نیز از جمله عوامل مؤثر در تغییر و افزایش میزان آب تقطیری است.

- در مطالعات پیشین با افزایش میزان هدایت الکتریکی آب؛ میزان تولید نیز کاهش می‌یافت (Akash و همکاران، ۲۰۰۰).

در مناطقی همانند خوزستان به دلیل پتانسیل بالای انرژی خورشیدی، می‌توان از آن برای استحصال آب شیرین از آب‌های نامتعارف استفاده کرد. آب‌های نامتعارف می‌تواند شامل زه‌آب‌ها، پساب‌های فاضلاب و یا حتی آب‌های شور و هر نوع آبی که برای استفاده معینی، نامناسب است، باشد. برای جذب حداکثر انرژی خورشید و کاهش اتلاف حرارتی در آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی، باید نکاتی از جمله این که سرپوش پلاستیکی یا شیشه‌ای آب‌شیرین‌کن باید نور خورشید را به خوبی عبور دهد؛ از تشکیل بلورهای نمک در دستگاه باید جلوگیری شود؛ فاصله بین آب‌های تشتک و سرپوش آب‌شیرین‌کن باید به حداقل برسد؛ تشتک آب شور باید تیره‌رنگ باشد تا انرژی خورشید را بهتر جذب کند؛ و آب‌شیرین‌کن نباید با فضای خارج ارتباط داشته باشد و محیط آن باید کاملاً بسته باشد؛ را در نظر داشت (بهزادمهر و همکاران، ۱۳۹۶).

آب بهداشتی حاصل از تقطیر تولید شده توسط آب‌شیرین‌کن‌ها، دارای مزه نیست؛ اما آب مقطر حاصل از دستگاه‌های دیگر، از آنجاکه حاصل از جوشش می‌باشند، چنین نیستند. پدیده جوشش آب، باعث کاهش pH آب می‌شود. آب‌شیرین‌کن خورشیدی از تبخیر و تقطیر طبیعی استفاده می‌کند، همان پدیده‌ای که موجب باران می‌گردد؛ لذا تغییر pH در آب استحصالی آن‌ها رخ نمی‌دهد و آب تولیدی برای آشامیدن و پخت غذا بسیار مناسب است. دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن خورشیدی، بلافاصله بعد از نصب، قابل بهره‌برداری هستند و موادی نظیر نمک‌ها، عوامل بیماری‌زا، میکرو ارگانیسم‌ها و... را از آب حذف می‌نمایند (بهزادمهر و همکاران، ۱۳۹۶). طراحی و اندازه ابعاد یک تقطیرگر خورشیدی به آب شیرین مورد نیاز، بستگی دارد. برای تولید مقدار زیاد آب شیرین، تقطیرگرهای خورشیدی می‌توانند به صورت ترکیب سری و یا موازی به یکدیگر به صورت مناسب متصل شوند.

تاکنون اثر پارامترهای اقلیمی و خصوصیات فیزیکی مخازن بر میزان آب استحصال یافته، بررسی شده است. Akash و همکاران (۱۹۹۸)، آزمایش‌هایی روی جاذب‌های مختلف برای استحصال بیشتر آب انجام دادند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب مقطر ۳۸ درصد در هنگام استفاده از جاذب مایع لاستیک سیاه، ۴۵ درصد برای جوهرسیاه و ۶۰ درصد برای جذب رنگ سیاه افزایش یافته است (Akash و همکاران، ۱۹۹۸). Akash و همکاران (۲۰۰۰)، در اردن با استفاده از سیستم خورشیدی با زاویه‌های مختلف شیب سقف تقطیرگر شامل ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه، تحقیقی انجام دادند. زاویه شیب بهینه برای تولید آب در ماه May، ۳۵ درجه بود. به‌منظور بررسی تأثیر هدایت الکتریکی در میزان تولید آب، در مخازن از آب شور استفاده شد؛ تولید آب مقطر با افزایش هدایت الکتریکی کاهش یافت، تأثیر عمق آب نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش عمق آب، میزان تولید آب در یک رابطه تا حدودی خطی، کاهش یافته است. Tiwari و Tiwari (۲۰۰۶)، در تحقیقی، تلاش کرده‌اند تا اثر عمق آب بر ضریب انتقال جرم تبخیر شده برای یک سیستم تقطیر خورشیدی تک‌شیب را در شرایط آب‌وهوایی تابستانی بررسی کنند. آزمایش‌ها در یک شیب جنوبی، با ۳۰ درجه شیب پوشش چگالشی در شرایط آب‌وهوایی تابستانی به مدت ۲۴ ساعت در پنج روز مختلف و برای پنج عمق مختلف آب از ۴ تا ۱۸ سانتی‌متر انجام شده است. هدف تحقیق، بررسی تغییرات رفتاری در ضرایب انتقال حرارت داخلی با توجه به عمق آب در سیستم تقطیر خورشیدی بود و نتیجه گرفته شد که ضرایب انتقال گرما به عمق آب بستگی دارد. همچنین مشاهده شد، که تقطیر شبانه در مورد اعماق آب بالاتر به دلیل کاهش دمای محیط و انرژی ذخیره‌شده در داخل، قابل‌توجه است (Anil Kr. Tiwari و G.N. Tiwari، ۲۰۰۶). Hansen و همکاران، مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل سامانه تقطیرگر خورشیدی را با مواد مختلف فیبر، روی پنل‌های مختلف مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس تجزیه و تحلیل آن‌ها، جاذب پشم گوسفندمرجانی، تولید آب بیشتری دارد که حداکثر تولید آب ۴/۲۸ لیتر در روز بوده است (Hansen و همکاران، ۲۰۱۵). Abhay و همکاران، آزمایش‌ها را در اعماق دو تا ده سانتی‌متری انجام دادند و به عنوان جاذب برای جذب نور خورشید، کف مخازن آب شور را سیاه و سفید کردند. نتایج نشان داد که دمای آب موجود در مخازن آب شور با افزایش عمق کاهش می‌یابد؛ با افزایش عمق میزان استحصال آب کم می‌شود؛ میزان آب تولیدی شبانه با افزایش عمق آب مخزن، افزایش می‌یابد. مقادیر نظری و تجربی درصد خروجی تقطیر تجمعی شبانه در عمق ده سانتی‌متری به ترتیب ۸۶ و ۷۵ درصد بالاتر از عمق آب دو سانتی‌متر است؛ کارایی روزانه با افزایش عمق کاهش می‌یابد و عمق بهینه دو سانتی‌متر است (Abhay و همکاران، ۲۰۱۶).

به دلیل فراوان بودن انرژی خورشیدی و آب‌های سطحی شور و لب‌شور فراوان و باکیفیت پایین در خوزستان؛ در این تحقیق، استفاده از انرژی خورشیدی با هدف نمک زدایی و استحصال آب شیرین بررسی می‌شود. ضمناً استحصال آب با مخازن آب شیرین کن خورشیدی به منظور آبیاری تقطیری در محیط گلخانه در شرایط آب‌وهوایی شهر اهواز، در چهار مخزن مختلف در شرایط متفاوت مورد مقایسه قرار گرفت تا شرایط بهینه (تولید آب بیشتر) را پیشنهاد دهد.

مواد و روش‌ها

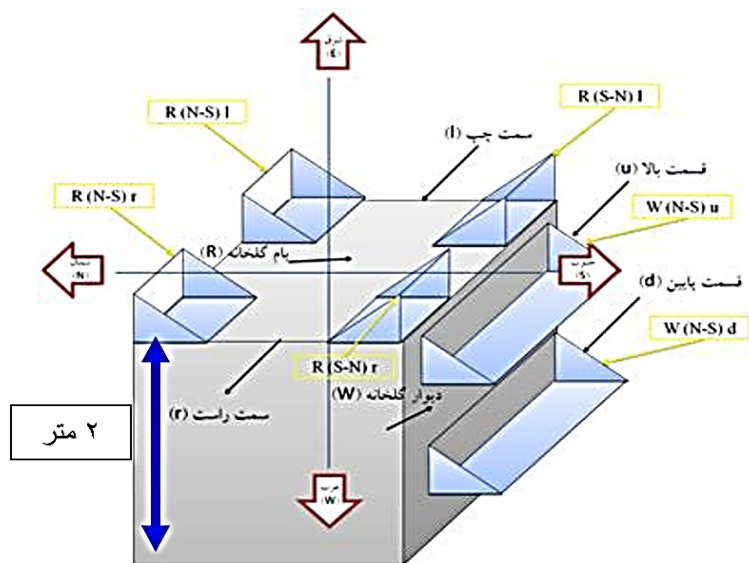
پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر جاذب پلی‌اتیلن با ضخامت یک سانتی‌متر؛ شیشه سیاه‌رنگ کف مخازن به عنوان جاذب؛ تأثیر عمق و هدایت الکتریکی آب در مخازن بر میزان تولید آب شیرین به روش تقطیری، در سال ۱۳۹۸ در دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. بدین منظور چهار مخزن گوه‌ای شکل با سقف‌های شیب‌دار به‌عنوان سیستم تقطیرگر که بر پشت‌بام گلخانه تحقیقاتی نصب شده بود، استفاده شدند. گلخانه دارای مساحت ۱۶ مترمربع و ارتفاع ۲ متر از سطح بستر است. جهت پوشش بام در فضای بین مخازن، ورق پلی‌کربنات سدیم کارگذاری شده است، که با توجه به انعطاف‌پذیری این ورق‌ها، دسترسی به مخازن تقطیرگر، اندازه‌گیری‌ها و نیز استحصال آب، سهل‌تر می‌شود. سیستم آب‌شیرین‌کن، شامل چهار مخزن تقطیرگر واقع بر پشت‌بام گلخانه است که شکل (۱)، نمایی از آن را نشان می‌دهد. طول و عرض کف مخازن آب شور معادل یک متر و ارتفاع حدود ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است و پوشش سقف آن‌ها نیز با زاویه ۳۷ درجه، نصب شده است. جهت شیب سقف مخازن شماره یک و سه به‌صورت شمالی- جنوبی است و مخزن‌های شماره دو و چهار نیز با شیب سقف جنوبی- شمالی، ساخته شده است. به‌منظور سهولت فرآیند داده‌برداری و بررسی نتایج، مخازن چهارگانه شماره‌گذاری شده که نحوه چیدمان مخازن در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. قابل ذکر است، که هر مخزن از یک مکعب مستطیل در قاعده مخزن و یک هرم با وجه جانبی به شکل مثلث قائم‌الزاویه (شکل ۲)، ساخته شده است. به‌منظور افزایش جذب انرژی تابشی خورشید، در وجوه مکعب از شیشه‌های سیاه‌رنگ استفاده شده و شیشه‌های وجوه هرم نیز بی‌رنگ است. از توصیه‌های مطالعات قبلی در جهت افزایش تولید آب شیرین، استفاده از جاذب در کف مخزن به‌منظور افزایش جذب انرژی خورشیدی است. در مطالعه حاضر نیز برای کف مخازن دو نوع جاذب در دو دوره استفاده شد و در زمینه تولید آب برای هرکدام از جاذب‌ها بررسی

مخزن) که محل قرارگیری آب است، به منظور جذب بیشتر انرژی خورشیدی، استفاده و بررسی کردند (شکل ۳).

ها انجام شد. جاذب‌ها شامل، جاذب پلی‌اتیلن با ضخامت یک سانتی‌متر و استفاده از رنگ سیاه، برای شیشه کف مخزن (قاعده



شکل ۱- نمایی از دستگاه تقطیرگر خورشیدی (مخازن آب شور)



شکل ۲- شماتیک مکان و جهت قرارگیری تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تقطیری بر روی بام و دیواره جنوبی گلخانه



ب



شکل ۳- نمایی از جاذب‌های استفاده شده (الف) استفاده از رنگ سیاه؛ (ب) استفاده از جاذب پلی‌اتیلن

تهیه آب شور با حجم لازم و هدایت الکتریکی مشخص از دیگر نکات مهم اجرای آزمایش به شمار می‌رود. از آنجاکه شوری آب‌ها، محدوده تغییرات قابل توجهی دارد، مطالعه حاضر در نظر داشته تا میزان حداکثر و حد واسط شوری را لحاظ نماید. از این رو آزمایش‌ها با دو شوری ۱۰ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر انجام شده است. به منظور تأمین حجم لازم آب شور و عمق مورد نیاز در کف مخازن، محلول حاصل ترکیب و در ظرف‌هایی به ظرفیت معین که حاوی آب شهری بود، نمک تصفیه اضافه شد و هدایت الکتریکی محلول حاصل تا رسیدن به هدایت الکتریکی مورد نظر، با استفاده از دستگاه هدایت سنج اندازه‌گیری شد.

دریچه تعبیه شده روی وجوه مثلثی مخازن، امکان افزودن آب شور به مخزن و رساندن عمق آب به ارتفاع مورد نیاز را فراهم می‌نمود (شکل ۱). سقف مخزن، نقش صفحه تقطیر را ایفا می‌کند. آب شیرین تولید شده به صورت روزانه در ساعت مشخصی استحصال می‌شد. این آب درون کانال‌های جمع‌آوری آب تولیدی که درون مخزن قرار داشت، به سمت شیر خروجی مخزن هدایت می‌شد. حجم آب تولیدی با باز نمودن شیر برداشت، با استفاده از ظروف مدرج اندازه‌گیری می‌شد. شوری آب تولیدی به روش تقطیری نیز به کمک دستگاه هدایت سنج انجام می‌گرفت.

ذکر این نکته لازم است که تزریق آب شور به مخازن، ساعت ۸ صبح انجام می‌گرفت. طی روز به دلیل تأثیر عوامل اقلیمی و محیطی از قبیل دما، تابش خورشید، سرعت باد و رطوبت، تبخیر روی می‌دهد؛ پس از ۲۴ ساعت، عمق قرائت می‌شد. در این مدت، سطح آب شور درون مخزن به دلیل تبخیر کاهش می‌یابد؛ بنابراین میزان آب شور کسر شده تا رسیدن عمق آب کف مخزن به مقدار ارتفاع مورد نظر اضافه می‌شد. آب استحصال شده در ساعت ۹ صبح که تقطیر در آن زمان به حداکثر مقدار خود رسیده و بعد از آن زمان به دلیل افزایش دما، میزان تبخیر از تقطیر بیشتر می‌شود، اندازه‌گیری شد.

آزمایش‌ها طی سه هفته انجام شد. در هفته اول جاذب پلی‌اتیلن در کف مخازن قرار داده شد و با وجود جاذب، میزان آب تولیدی در چهار مخزن بررسی شد؛ در هفته دوم کف مخازن به رنگ سیاه درآمدند و میزان استحصال آب از مخازن اندازه‌گیری شد. در دو هفته اول، در همه دستگاه‌های تقطیر خورشیدی (مخازن) شرایط به این گونه بود که عمق آب شور موجود در مخازن ۲ سانتی‌متر بوده است، مخازن شماره یک و دو حاوی آب با هدایت الکتریکی

۱۰ dS/m بودند و مخازن شماره سه و چهار حاوی هدایت الکتریکی ۲۰ dS/m بودند. با انجام بررسی‌ها و برآورد بهترین جاذب و مخزن در زمینه تولید آب، در هفته سوم، عمق آب بررسی شد. برای بررسی عمق آب، با توجه به بررسی‌های دو هفته اول، بهترین جهت، شوری و جاذب برای تولید بیشتر آب شیرین، انتخاب شدند؛ در هفته سوم اندازه‌گیری در مخازن شماره یک و سه که در بهترین جهت قرار داشتند، به منظور تعیین عمق بهینه برای تولید بیشتر آب شیرین با شرایط زیر بررسی شدند.

هدف از به کارگیری دو عمق مختلف، برآورد عمق بهینه در مخازن برای تولید بیشتر آب شیرین بود. مخازن شماره یک و سه تفاوت زیادی از لحاظ رطوبت، دمای آب، دمای شیشه‌ها و برداشت آب و... باهم نداشتند، بنابراین برای رسیدن به نتایج مطلوب این مخازن با دو عمق مختلف برای ارائه نتایج استفاده شدند. مابقی شرایط اعمالی، بهترین شرایط برداشت شده از آزمایش‌های دو هفته قبل بود. عمق آب شور استفاده شده در مخزن شماره یک، دو سانتی‌متر و در مخزن شماره سه چهار سانتی‌متر بود. هدایت الکتریکی استفاده شده در مخازن ۲۰ dS/m و کف مخازن، جاذب پلی‌اتیلن با ضخامت یک سانتی‌متر قرار گرفت.

از آنجاکه پارامترهای اقلیمی محیط مخزن نیز بر فرآیند تبخیر اثرگذار است، اطلاعات متوسط روزانه دمای هوا، درصد رطوبت هوا و سرعت باد، در روزهای انجام آزمایش‌ها جمع‌آوری گردید. مقایسه میزان آب تولید شده ناشی از عملکرد تقطیرگرهای خورشیدی در شرایط وجود و عدم وجود جاذب پلی‌اتیلن، عمق و شوری آب بکار رفته، بر مبنای محاسبه درصد اختلاف حجم آب تولیدی صورت گرفته است. بدین منظور، حجم آب تولیدی هر مخزن در هر تیمار اندازه‌گیری شد. سپس حجم کل آب استحصال‌ی از چهار مخزن در هر تیمار بدست آمد و بعد درصد اختلاف این مقادیر اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که آزمایش‌ها در فصل تابستان و در ماه مرداد انجام شد.

نتایج و بحث

از آنجایی که عوامل محیطی در هر دوره آزمایش باید یکسان باشند تا بتوان از تأثیر آن‌ها صرف‌نظر کرد و تحلیل‌های مورد نظر را انجام داد؛ در ابتدا تغییرات دما و رطوبت نسبی، بارندگی و سرعت باد در هر هفته بررسی و در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- تغییرات شرایط اقلیمی در هفته اول و دوم

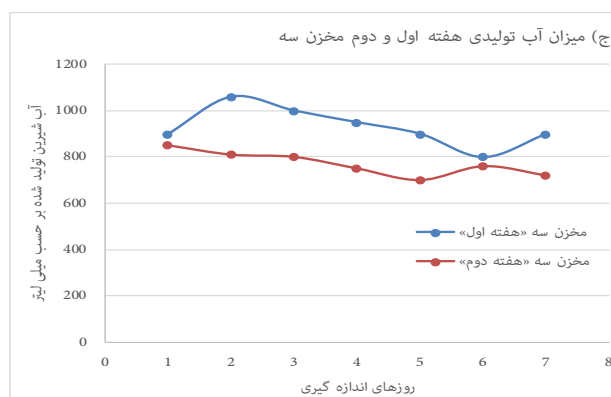
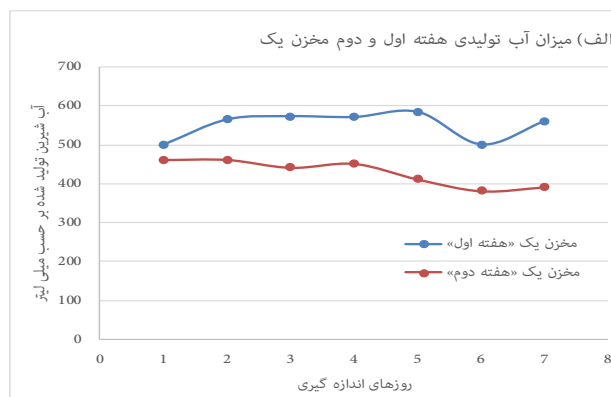
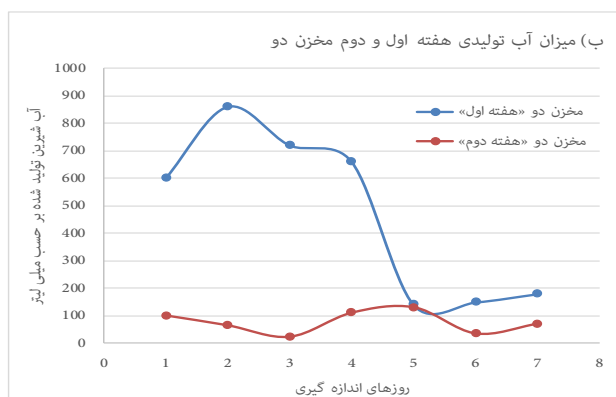
پارامترهای هواشناسی	دمای متوسط	متوسط سرعت باد	درصد رطوبت متوسط	بارندگی (mm)
مقایسه هفته‌ها	(°C)	(km/h)		
هفته اول و	بازه تغییرات	بازه تغییرات	بازه تغییرات	عدم
هفته دوم	(۳۱/۳ تا ۳۵/۶)	(۶/۹ تا ۷/۲)	(۴۰ تا ۴۱)	بارندگی

در شکل (۴)، مجموع آب تولیدی از مخازن در شرایط ثابت: عمق آب شور موجود در مخازن ۲ سانتی‌متر، مخازن شماره یک و دو حاوی آب شور با هدایت الکتریکی ۱۰ dS/m و مخازن شماره سه و چهار حاوی هدایت الکتریکی ۲۰ dS/m مورد بررسی قرار گرفتند. شرایط متغیر حاکم بر آزمایش شامل تغییر در نوع جاذب بود که در هفته اول برای جذب بیشتر انرژی خورشیدی، کف مخازن، جاذب پلی‌اتیلن مشکی با ضخامت یک سانتی‌متر قرار داشت و در هفته دوم کف مخازن گلخانه، مشکی رنگ شدند. استحصال آب در شرایط ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۲)، درصد اختلاف تولید آب، در هفته اول و دوم مشاهده می‌شود. نتایج نشان داد، وجود جاذب پلی‌اتیلن در کف مخازن، اثر بهتری را در تولید آب می‌گذارد، ولی این نتیجه در مخزن شماره چهار، اثر معکوس داشت. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که دما و رطوبت در داخل مخزن شماره چهار نسبت به بقیه مخازن کمتر است. نحوه قرارگیری مخزن شماره ۴، پشت به جهت تابش آفتاب و در اکثر ساعات روز سایه بر آن حاکم بود در نتیجه نسبت به بقیه مخازن، دارای دما و رطوبت کمتری بود. مخزن شماره

چهار کمترین تولید را نسبت به بقیه مخازن داشت. در مخزن شماره چهار در اکثر ساعات، قطرات آب حاصل از تبخیر روی سقف سیستم تقطیرگر بودند، ولی به دلیل فاصله زیاد شیشه تقطیرگر تا کانال جمع‌آوری آب شیرین درون سیستم تقطیرگر و همچنین فاصله سطح آزاد آب شور درون مخزن تا سقف سیستم تقطیرگر، قطرات آب فرصت به هم پیوستن و سنگین شدن و جمع‌آوری در کانال را نداشته و مجدداً تبخیر می‌شدند؛ زمانی که کف مخزن جاذب پلی‌اتیلن نباشد، دمای آب و رطوبت و دمای مخزن کمتر است، در نتیجه قطرات آب فرصت به هم پیوستن و جمع شدن در کانال را ندارند؛ در نتیجه تولید آب شیرین بیشتر می‌گردد. این نتیجه در مخزن شماره چهار که شرایط متفاوت و تفاوت محسوسی در تولید نسبت به مخازن دیگر داشت، استنباط شد.

جدول ۲- درصد اختلاف تولید آب شیرین در هفته اول و دوم

مخازن هفته‌ها	مخزن شماره یک	مخزن شماره دو	مخزن شماره سه	مخزن شماره چهار
هفته اول و دوم	۲۲/۳	۸۴	۱۷/۲	-۷۹/۲

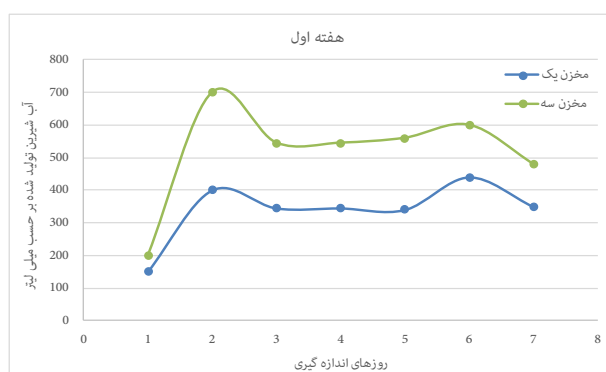


شکل ۴- میزان آب تولید شده در شرایط وجود جاذب پلی‌اتیلن «هفته اول» و شیشه رنگ شده کف مخزن «هفته دوم»؛ (الف)، مخزن شماره یک؛ (ب)، مخزن شماره دو؛ (ج)، مخزن شماره سه؛ (د)، مخزن شماره چهار

• بررسی میزان آب تولیدی در تقطیرگرهای خورشیدی، در اعماق مختلف

با مشاهده شکل (۵)، در همه روزها میزان آب تولیدی در مخزن شماره سه، بیشتر از مخزن شماره یک بود؛ میزان اختلاف در تولید، قابل ملاحظه بود. با توجه به آزمایشات طی دو هفته، میزان تولید در مخزن شماره سه ۱۲۶۰ میلی لیتر بیشتر از مخزن شماره یک بود. در نتیجه در شرایط اعمال شده در مخازن، میزان آب استحصالی در هفته آخر آزمایش نشان داد که زمانی که عمق آب بیشتر باشد، میزان تولید آب نیز بیشتر خواهد بود. در شکل (۵)، مشاهده می شود که هر چه عمق آب شور کمتر گردد، میزان آب استحصالی هم به مراتب کاهش می یابد؛ زیرا در این حالت فاصله بین سطح آزاد آب و شیشه تقطیرگر، زیاد است. هر چه این فاصله کمتر شود، قطرات تبخیر شده آب، مسافت کمتری را طی نموده تا تقطیر شوند، بنابراین میزان آب استحصالی نسبت به زمانی که عمق آب کمتر است، بیشتر می شود. افزایش شیب تقطیرگر و فاصله زیاد بین سطح آزاد آب و شیشه تقطیرگر سبب شده قطرات جمع شده بر روی شیشه تقطیرگر (سقف مخازن) انرژی کافی برای انجام عملیات تقطیر و جمع شدن در کانال جمع آوری آب شیرین را نداشته باشند، و قبل از انجام این فرایند انرژی لازم برای تبخیر مجدد را از انرژی خورشیدی دریافت کرده و مجدداً تبخیر شده و وارد چرخه تبخیر و تقطیر می گردند. در زمانی که انرژی خورشیدی دریافت شده از سیستم افزایش یابد، تقطیر معمولاً رخ نمی دهد و در این بازه زمانی عمل تبخیر بیشتر است و زمانی که انرژی خورشیدی دریافتی کمتر شود، تقطیر صورت می گیرد. در عمق ۲ سانتی متر با توجه به زیاد بودن فاصله بین سطح آزاد آب و سقف تقطیرگر، انرژی استحصالی قطرات آب

برای تقطیر، کم است و در نتیجه عمل تبخیر از تقطیر بیشتر می گردد. حال آنکه در شرایط عمق ۴ سانتی متر، فاصله کم بین سطح آزاد آب و سقف تقطیرگر سبب شده انرژی دریافتی برای انجام تقطیر مناسب بوده و نسبت به فاصله زیاد بین سطح آزاد آب و سقف تقطیرگر، میزان تولید بیشتر گردد. لازم به ذکر است که این افزایش عمق تا بی نهایت نبوده و تا سطح مشخصی افزایش عمق سبب تولید بیشتر می گردد (Al-Hinai و همکاران، ۲۰۰۲). این نتیجه را می توان به مخزن شماره چهار که در جهت جنوبی - شمالی قرار دارد، تعمیم داد و دلیل تولید کم این مخزن را توجه کرد. همچنین می توان این نتیجه را گرفت که اثر عمق در مخازن جنوبی - شمالی، اثر بیشتری نسبت به مخازن شمالی - جنوبی داشته است.



شکل ۵- میزان آب تولیدی در عمق های دو سانتی متر (مخزن یک) و چهار سانتی متر (مخزن سه) آب

در جدول (۳) مقایسه اثر پارامترهای بررسی شده با تحقیقات گذشته مشاهده می شود.

جدول ۳- مقایسه اثر پارامترهای بررسی شده با تحقیقات گذشته

محققین	سال بررسی	نوع پارامتر بررسی شده	اثر پارامترها
Abhay و همکاران	۲۰۱۶	کف مخزن به رنگ سیاه درآمد	افزایش تولید آب
Abhay و همکاران	۲۰۱۶	عمق آب در مخزن دو تا ده سانتی متر	افزایش تولید آب در عمق کمتر
Al-Hinai و همکاران	۲۰۰۲	جاذب پشم گوسفند مرجانی	افزایش تولید آب
Akash و همکاران	۱۹۹۸	هدایت الکتریکی مختلف در مخازن	با افزایش هدایت الکتریکی میزان تولید آب کاهش یافت
تحقیق حاضر	۱۳۹۸	عمق آب در مخزن دو و چهار سانتی متر	افزایش تولید آب در عمق چهار سانتی متر
تحقیق حاضر	۱۳۹۸	جاذب پلی اتیلن	افزایش تولید آب
تحقیق حاضر	۱۳۹۸	هدایت الکتریکی مختلف در مخازن	با افزایش هدایت الکتریکی، میزان تولید آب افزایش یافت

- بهزاد مهر، ا.، فرساد، س. و اکاتی، و. ۱۳۹۶. آب شیرین کن های خورشیدی. انتشارات آوای قلم. ۱۳۵ صفحه.
- یوسفی، ب. و برومند نسب، س. ۱۳۹۴. شوری زدایی با استفاده از سیستم آبیاری چگالشی (مطالعه موردی: مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز). فصلنامه علمی - پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۶(۳): ۱۲۷-۱۳۳.
- Abhay P. U., Paul J., Jayaprakash R., Kumar S., and Denkenberger D. 2016. Augmentation of distillate yield in "V"-type inclined wick solar still with cotton gauze cooling under regenerative effect. *Cogent Engineering*, 3(1): 1202476.
- Akash B. A., Mohsen M. S. and Nayfeh W. 2000. Waleed Nayfeh, Experimental study of the basin type solar still under local climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 41(9): 883-890. DOI:10.1016/S0196-8904(99)00158-2.
- Akash B. A., Mohsen M. S., Osta O. and Elayan Y. 1998. Experimental evaluation of a single-basin solar still using different absorbing materials. *Renewable Energy*, 14(1-4): 307-310.
- Al-Hinai H., Al-Nassari M.S. and Jubran B.A. 2002. Effect of Climatic, Design and Operational Parameters on the Yield of a Simple Solar Still. *Energy Conversion and Management*, 43(13): 1639-1650.
- Hansen R. S., Narayanan C. S. and Murugavel K. K. 2015. Performance analysis on inclined solar still with different new wick materials and wire mesh. *Desalination*, 358: 1-8.
- Rosegrant M.W., CAI X. and Cline S.A. 2002. World water and food to 2025: Dealing with scarcity. International Food policy Research Institute (IFPRI). Washington, DC, USA. ISSN Number: 0896296466.
- Tiwari A.K. and Tiwari G.N. 2006. Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic Condition, *Desalination*, 195(1-3): 78-94.

مطالعه حاضر باهدف بررسی اثر جاذب، شوری و عمق آب در مخازن بر میزان آب شیرین تولیدی در گلخانه به روش آبیاری تقطیری انجام شد. خلاصه نتایج به شرح زیر است:

۱- در مخازن با شیب پوشش شمالی - جنوبی طی دو دوره اندازه گیری، میزان تولید آب در مخزنی با هدایت الکتریکی ۲۰ dS/m (مخزن شماره سه) تا ۳ لیتر (۵ درصد) بیشتر بود، درحالی که در مخازن با شیب پوشش جنوبی - شمالی در هفته اول اندازه گیری میزان تولید در مخزنی با هدایت الکتریکی ۱۰ dS/m (مخزن شماره دو) تا ۲ لیتر بیشتر بود.

۲- با افزایش عمق آب در مخازن از ۲ به ۴ سانتی متر و ثابت بودن مابقی پارامترها؛ افزایش میزان تولید تا ۶۵ درصد، در مخازن با جهت شمالی- جنوبی مشاهده شد.

۳- جاذب پلی اتیلن در مقایسه با شیشه رنگ شده کف مخزن و ثابت بودن مابقی پارامترها، سبب افزایش میزان تولید آب تا ۲۲ درصد شد، ولی در مخزن شماره چهار سبب کاهش میزان تولید آب تا ۷۹ درصد شد. اختلاف درصد تولید آب در مقایسه عملکرد جاذب ها در مخازن با شیب پوشش جنوبی - شمالی بیشتر بود.

۴- آب تولیدی از لحاظ کیفیت، آب مقطر بوده و می توان در بحث ترکیب آب از آن برای شرب و همچنین کشاورزی استفاده نمود.

به منظور تولید آب بیشتر، وجود جاذب پلی اتیلن به عنوان بهترین جاذب در شرایط تحقیقاتی حاضر محسوب شد. همچنین افزایش عمق آب در مخازن سبب بهبود در میزان تولید آب خواهد شد؛ هدایت الکتریکی بیشتر نیز در تولید بیشتر آب تأثیر مثبتی داشت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN:SCU.WI۱۴۰۰,۲۷۳) برای تأمین هزینه های پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

پی نوشت

- 1-Green revolution
- 2-Distillation Irrigation

Determinants of Sustainable Management of Water Consumption among Citrus Growers in Gachsaran City

F. Alipanahian^{1*}, A. Karami²

1,2- Ph.D. Student of Agricultural Development and Associate Professor, Department of Rural Development Management, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*(Corresponding Author Email: f. alipanahian@stu.yu.ac.ir)

Received: 19-06-2022

Revised: 21-11-2022

Accepted: 06-12-2022

Available Online: 11-03-2023

تعیین‌کننده‌های مدیریت پایدار مصرف آب در بین مرکبات‌کاران شهرستان گچساران

فاطمه علی پناهیان^{۱*}، آیت اله کرمی^۲

۱-۲- به ترتیب دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی و دانشیار اقتصاد کشاورزی، گروه مدیریت توسعه روستایی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: f. alipanahian@stu.yu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

Abstract

The agricultural sector is the most key sector that has a strong historical and social connection with water. Water is one of the greatest challenges of the present century. The inherent limitation of water resources is one of the most important challenges in the water sector. The current research was also conducted to investigate the sustainability of water consumption in Gachsaran citrus orchards. The research tool is a researcher-made questionnaire that includes sustainability, social, institutional, physical, knowledge, and attitudinal management. Data analysis was done with SPSS software. The statistical population of the present study is 300 citrus growers of Gachsaran. 169 people were selected as a sample using simple random sampling. The results of the correlation test showed that there is a significant and moderate relationship between the sustainable management of water consumption and the knowledge factor. But the relationship between sustainable management of water consumption and physical, social, attitude and institutional factors is significant and weak. Also, the variables included in the regression analysis explained a total of 29% of the influencing factors on the sustainability variable of water consumption management. Most of the gardeners used animal manure, which leads to water storage and increased moisture retention. But the long-term use of chemical fertilizers can lead to soil destruction and groundwater pollution.

Keywords: Sustainability, Water Consumption, Citrus Gardens, Gachsaran.

چکیده

بخش کشاورزی کلیدی‌ترین بخشی است که پیوند تاریخی و اجتماعی محکمی با آب دارد. آب یکی از بزرگترین چالش‌های سده حاضر آدمیت است. محدودیت ذاتی منابع آب از برجسته‌ترین چالش‌های بخش آب می‌باشد. پژوهش حاضر نیز به منظور بررسی پایداری مصرف آب در باغ‌های مرکبات گچساران انجام شده است. ابزار پژوهش، پرسشنامه‌ای که توسط پژوهشگر ساخته شده است و شامل مدیریت پایداری، اجتماعی، نهادی، فیزیکی، دانشی و نگرشی می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS انجام شد. جامعه آماری پژوهش حاضر ۳۰۰ نفر از مرکبات‌کاران گچساران می‌باشند. با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی ساده تعداد ۱۶۹ نفر به عنوان نمونه انتخاب شدند. نتایج آزمون همبستگی نشان داد بین مدیریت پایدار مصرف آب و عامل دانشی رابطه معنادار و متوسط وجود دارد. ولی رابطه بین مدیریت پایدار مصرف آب و عوامل فیزیکی، اجتماعی، نگرش و نهادی معنادار و ضعیف می‌باشد. همچنین متغیرهای وارد شده در تحلیل رگرسیون، در مجموع ۲۹ درصد عوامل اثرگذار بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب را بازگو کردند. بیشتر باغداران از کود حیوانی استفاده می‌کردند که استفاده از کود حیوانی ذخیره‌سازی آب و افزایش ماندگاری رطوبت را در پیش دارد. اما استفاده بلندمدت از کودهای شیمیایی می‌تواند نابودی خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی را در پیش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، مصرف آب، باغات مرکبات، گچساران.

امروزه بحث توسعه پایدار در همه سطح‌های، بین‌المللی، ملی و محلی نفوذ کرده است و به‌عنوان کارسازترین راه‌حل برای روبه‌رویی با چالش‌های محیط‌زیست پیگیری می‌شود. این اندیشه از آنجایی ناشی می‌شود که ویران کردن منابع طبیعی بعد از انقلاب صنعتی به‌ویژه در نیمه دوم سده گذشته، به آستانه نگران‌کننده‌ای رسیده است. در این بین آب یکی از منابع طبیعی و عامل اصلی محدود کننده تولید می‌باشد (Iglesias و Garrote, ۲۰۱۵). هرچند نتایج قبلی نشان می‌داد ۱/۷ تا ۳/۱ میلیارد نفر در بخشی از سال کمبود آب خواهند داشت، اما نتایج پژوهش‌های جدید نشان داد ۴ میلیارد نفر، یعنی دو سوم جمعیت جهان، در بخشی از سال کمبود شدید آب خواهند داشت (Mekonnen و Hoekstra, ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌ها از ویران‌گرترین رویدادهای آب‌وهوایی هستند که نشانه‌های گسترده‌ای در بخش منابع طبیعی به‌ویژه بر افت سطح آب‌های زیرزمینی داشته‌اند. اما میزان برداشت زیاد از چاه‌ها تا اندازه‌ای بر تغییرات سطح ایستابی مؤثر خواهد بود که حتی ترسالی (افزایش بارش به‌عنوان تغذیه) باعث جبران برداشت بی‌رویه نخواهد شد. از این‌رو عملکرد بهره‌برداران نقش مهمی در پایداری منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی دارد (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۶) از این‌رو استفاده از آب وقتی پایدار خواهد بود که امکان تولید غذا برای نسل فعلی و نسل‌های آینده امکان‌پذیر باشد. مصرف بی‌رویه آب‌های زیرزمینی موجب کاهش کیفیت آب و زیاد شدن عمق سطح ایستابی می‌شود همچنین آبیاری فراوان باعث وارد شدن آب‌های اضافی و آلوده به مواد شیمیایی به آب‌های جاری شده و شوری آب را در بر خواهد داشت (باقری و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین، توجه به امر پایداری و مدیریت منابع آب به‌عنوان یک منبع بسیار حیاتی، در سال‌های اخیر از موضوع فرعی به مسئله اصلی و با اهمیت تبدیل شده است. در این میان بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگترین مصرف‌کننده آب، نقش برجسته‌ای در این برنامه‌ریزی دارد و برای رسیدن به توسعه کشاورزی، تحول و نوسازی در این بخش ضروری می‌باشد (بریم‌نژاد و یزدانی، ۱۳۸۳). مدیریت آب در ایران با مسائل نگران‌کننده روبه‌رو است و آینده مدیریت آب کشور، بدون تغییر جدی در سیاست‌ها و شیوه مدیریت آب در ابعاد مختلف انجام‌پذیر نخواهد بود. برای پیشبرد این تغییرات، اصلاح نگرش و رویه‌ها، لازم است تا مدیران و تصمیم‌گیران و سایر ذی‌نفعان از رویکردها و یافته‌های جدید آگاهی پیدا کنند. از سوی دیگر، تکاپوی جهانی در موضوع آب، به دانش‌ها و بینش‌های جدیدی دست یافته است که متأسفانه در ایران نیست (ارشدی و همکاران، ۱۳۹۱). بخشی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان تحلیل رفتار پایدار آب کشاورزی و شناسایی عامل‌های مؤثر بر آن در بین بهره‌برداران آب زیرزمینی استان

خراسان جنوبی بیان کردند، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق پیشروی آب شور در سفره‌های آب شیرین را ثر پیش خواهد داشت. بنابراین لازم است مروجین کشاورزی برای بالا بردن نگرش و دانش کشاورزان برای بهره‌برداری بهینه از آب‌های زیرزمینی کلاس و کارگاه‌های آموزشی برگزار کنند. نوری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان تحلیل عوامل فرهنگی و اجتماعی مؤثر بر نگرش کشاورزان درباره مدیریت آب زراعی مطالعه موردی: شهرستان شیروان و چرداول، نشان داد، بین پارامترهای چگونگی عملکرد کشاورزان، میزان استفاده از کانال‌های ارتباطی، میزان مشارکت اجتماعی و دانش فنی بهره‌برداران با متغیر نگرش کشاورزان درباره مدیریت آب زراعی رابطه مثبت و معناداری وجود دارد، درحالی‌که بین میانگین‌های نگرش کشاورزان درباره مدیریت آب زراعی از نظر استفاده از کارهای ترویجی و تشکلهای روستایی اختلاف معناداری وجود دارد. همچنین زارع و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با عنوان شبیه‌سازی توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان رضوی نشان دادند با گسترش سیستم‌های نوین آبیاری در سطح مزارع و باغ‌ها، تعادل‌سازی در منابع آب زیرزمینی به‌وجود می‌آید همچنین کار گذاشتن کنتور حجمی و لوله‌گذاری کانال‌های انتقال و توزیع آب باید در اولویت قرار گیرد. عیدی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی با عنوان واکاوی عوامل مؤثر بر نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی گندمکاران روستاهای شهرستان مراغه) نشان دادند بین نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب با سطح زیرکشت، میزان درآمد، عوامل اقتصادی، آموزشی-ترویجی و سیاست‌گذاری و نهادی رابطه مثبت و معناداری در سطح یک درصد وجود داشت. Evevans و همکاران (۲۰۱۹) در نتایج پژوهش خود بازگو می‌کند، آلودگی آب کشاورزی یک مشکل در سطح جهانی می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود با افزایش جمعیت انسانی افزایش تقاضا برای غذا و تغییر به سمت رژیم غذایی با سطح بالاتر پروتئین، آلودگی آب کشاورزی بیشتر شود، چون برای افزایش تولید استفاده از مواد شیمیایی زیاد خواهد شد. همچنین Novoa و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد کیفیت پایین آب آسیب‌های زیادی به زمین‌های کشاورزی وارد می‌کند. همچنین استفاده بیش از حد در فصل‌های گرم فشار قابل توجهی بر مصرف آب وارد می‌کند و باعث کم شدن سطح آب در نتیجه تشدید دوره‌های خشکسالی می‌شود. بنابراین باتوجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه پایداری آب، متغیرهایی مانند استفاده از چاه عمیق و نیمه‌عمیق، میزان استفاده از کانال‌های ارتباطی، میزان مشارکت اجتماعی، دانش فنی بهره‌برداران، استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری، رعایت وقت مناسب (خنک بودن هوا در زمان آبیاری) و غیره استفاده شده‌اند. از این‌رو موارد بیان شده به‌عنوان متغیرهای این پژوهش شناخته شدند.

• توصیف ویژگی‌های فردی

میانگین سن پاسخگویان حدود ۴۳ سال بود که کوچکترین آن‌ها ۲۱ سال و بزرگترین ۸۰ سال داشت. ۴ نفر از پاسخگوها زن (۲/۴ درصد) و ۱۶۵ نفر مرد (۹۷/۶ درصد) بودند. سطح تحصیلات پاسخگویان نشان داد که ۱۹ نفر از آنان (۱۱/۲ درصد) بدون تحصیلات بودند و ۴۹ نفر (۲۹/۱ درصد) تحصیلات زیر دیپلم داشتند. درحالی‌که سطح تحصیلی دیپلم ۵۸ نفر (۳۴/۳ درصد) و کاردانی ۱۳ (۱۷/۷ درصد) و ۲۳ نفر کارشناسی (۳۱/۶ درصد) و ۶ نفر کارشناسی ارشد (۳/۶ درصد) و ۱ نفر دکترا داشتند. میانگین پیشینه کار در زمینه مرکبات ۱۱/۵ سال با انحراف معیار ۵/۶ می‌باشد که اکثر آن‌ها (۱۱۹ نفر (۷۰/۲ درصد)) بیشتر از ۱۰ سال و ۷ نفر (۴/۱ درصد) ۱ سال پیشینه کار داشتند.

• توصیف ویژگی‌های فنی

جدول (۱) ویژگی فنی پاسخگوها را نشان می‌دهد. بیشتر پاسخگوها (۱۶۲ نفر) از چاه عمیق و نیمه عمیق و تنها ۷ نفر از رودخانه و چشمه برای آبیاری استفاده می‌کردند. برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی علاوه بر اینکه مایه افت شدید سطح آب می‌شود، هر چه سطح آب پایین‌تر رود هم کیفیت آن کاهش یافته و شورتر می‌شود از این‌رو افت کیفیت محصول را نیز به همراه خواهد شد. برای آبیاری ۱۴۹ نفر از آب شیرین استفاده می‌کردند که آب شیرین باعث نگهداری ذرات خاک می‌شود و ۲ نفر از آب شور برای آبیاری استفاده می‌کردند. غلظت نمک در منطقه ریشه به دنبال آبیاری پیاپی رسوب می‌کند و با خشک شدن خاک غلظت نمک در خاک بالا رفته و باعث از بین رفتن رطوبت خاک می‌شود. به‌طور کلی در شرایطی که آب آبیاری شور باشد آبیاری سطحی غلظت نمک را در خاک و اطراف ریشه افزایش داده ولی آبیاری سنگین و بارندگی حجم نمک را از ناحیه ریشه خارج می‌کند. همچنین ۱۲ نفر نیز از آب تلخ برای آبیاری استفاده می‌کردند. تلخی آب برای نسبت منیزیم به کلسیم است. هر چه اندازه منیزیم بیشتر باشد آب تلخ‌تر می‌شود. محل جذب منیزیم و کلسیم و پتاسیم روی ریشه یکسان است. بنابراین غلظت هر کدام از عناصر در آب بیشتر شود جذب دو تای دیگر کم می‌شود. همچنین ۱۶۵ نفر از کود حیوانی استفاده می‌کردند، فضولات دامی دربرگیرنده اندازه قابل توجهی عناصر غذایی می‌باشد. نگهداری این عناصر برای کاربری بهداشتی و همچنین محیط‌زیستی (آلودگی منابع، ایجاد گازهای گلخانه‌ای) برای زمین کشاورزی باارزش است. استفاده از کود حیوانی باعث ذخیره‌سازی آب و افزایش ماندگاری رطوبت و افزایش حداکثری مقاومت خاک در برابر تنش خشکی در زمان کم‌آبی می‌شود. ولی

گچساران یکی از شهرستان‌های جنوبی ایران در جنوب غربی استان کهگیلویه و بویراحمد و یکی از مناطق تولید مرکبات در کشور است. این شهرستان دو نوع آب‌وهوای معتدل و خشک در نیمه شرقی و گرمسیری خشک در غرب این شهرستان دارد. در گچساران حدود ۱۱۵۳ هکتار باغ مرکبات است. در این پژوهش باتوجه به ارزش صرفه‌جویی در مصرف آب برای مناطق مختلف کشور مانند مناطق کم بارش مثل گچساران، پایداری مصرف آب برای این مناطق ارزش بالایی دارد. از این‌رو هدف این پژوهش شناسایی تعیین‌کننده‌های مدیریت پایدار مصرف آب در باغ‌های مرکبات این شهرستان در دو نیمه شمالی و شرقی می‌باشد (علی‌پناهیان و کرمی، ۱۴۰۱).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از دیدگاه هدف کاربردی، و از دیدگاه میزان و درجه کنترل متغیرها میدانی و از دیدگاه ماهیت نیز از نوع توصیفی-تحلیلی می‌باشد. روش جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش پیمایشی می‌باشد همچنین از پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شد. براساس هدف پژوهش جامعه آماری مرکبات‌کاران شهرستان گچساران هستند که در مجموع ۳۰۰ نفر بودند و براساس جدول Morgan و Krejcie (۱۹۷۰) تعداد نمونه مناسب برای مطالعه در این جمعیت ۱۶۹ نفر بودند و از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. اجزای پرسشنامه برپایه ویژگی‌های فردی، فنی، گویه‌های سنجش عامل مدیریت پایداری، عامل نهادی، عامل دانشی، عامل فیزیکی، عامل نگرشی و عامل اجتماعی می‌باشد. همچنین پرسشنامه در طیف لیکرت پنج قسمتی (۱=خیلی کم، ۲=کم، ۳=متوسط، ۴=زیاد و ۵=خیلی زیاد) ساماندهی شد. قبل از انجام تحلیل آماری در این تحقیق، داده‌ها با کدگذاری دوباره ویرایش شد و برای نمره‌گذاری در آن تغییر داده شد. به این ترتیب که پرسش‌های مثبت از ۱ تا ۵ و پرسش‌های منفی از ۵ تا ۱ به‌صورت وارونه نمره‌گذاری شدند. روایی پرسشنامه به‌دست کارشناس‌ها پذیرش شد. پایایی آن نیز با انجام پیش‌آزمون با سی نفر براساس میانگین ضریب آلفای کربنباخ ۰/۷۱ برآورد شد که بیانگر مناسب بودن ابزار پژوهش بود. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های توصیفی و استنباطی استفاده شد. در روش توصیفی بعد از به‌دست آوردن میانگین و انحراف معیار، گویه‌های هر عامل براساس ضریب تغییرات اولویت‌بندی شدند. در ادامه از آزمون‌های استنباطی ضریب همبستگی برای مشخص شدن رابطه‌ها و برای گزینش کارایی متغیرهای پژوهش بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب از تحلیل رگرسیون استفاده شد.

استفاده بلند مدت از از کودهای شیمیایی می‌تواند موجب نابودی خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی و آلودگی‌های محیط‌زیستی شود. بنابراین مصرف زیاد کودهای شیمیایی برای افزایش کارایی در بلندمدت به ساختمان خاک آسیب می‌رساند و با نفوذ در خاک، آب‌های زیرزمینی را آلوده می‌کند. همچنین استفاده از کود شیمیایی باعث ذخیره نشدن آب و کاهش مقاومت خاک در برابر تنش خشکی در زمان کم‌آبی می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های فنی پاسخ گویان

ویژگی‌های فنی پاسخ گویان	فراوانی	درصد فراوانی
استفاده از چاه عمیق و نیمه عمیق	۱۶۲	۹۵/۹
استفاده از رودخانه، چشمه	۷	۴/۱
آب شیرین	۱۴۹	۸۸/۲
آب لب شور	۸	۴/۸
آب تلخ	۱۲	۷/۰
استفاده از کود حیوانی و شیمیایی	۱۱۲	۶۶/۳
فقط استفاده از کود حیوانی	۵۳	۳۱/۳
فقط استفاده از کود شیمیایی	۴	۲/۴

جدول (۲) مدیریت پایداری مصرف آب را نشان می‌دهد که دربرگیرنده ۸ گویه می‌باشد. قبل از انجام تحلیل آماری در این تحقیق، داده‌ها با کدگذاری دوباره ویرایش شده است و برای نمره‌گذاری در آن تغییر داده شده است. به این ترتیب که پرسش‌های مثبت از ۱ تا ۵ و پرسش‌های منفی از ۵ تا ۱ به صورت وارونه نمره‌گذاری شدند. میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای مدیریت پایداری مصرف آب بررسی شده است، همان‌طور که در جدول (۲) مشخص است گویه "ورود آب فاضلاب تصفیه

نشده به آب آبیاری" با ضریب تغییرات ۰/۰۷ در اولویت اول می‌باشد. بنابراین آب باغ‌ها سالم و بهداشتی می‌باشد. همچنین استفاده ناکارآمد (مصرف بیش از نیاز آب در یک دور یا کم بودن زمان دو دور آبیاری) در آبیاری با ضریب تغییرات ۰/۱۷ در اولویت دوم قرار داشت. استفاده کارا از منابع آبی در بخش کشاورزی یا به عبارتی دیگر مدیریت پایداری منابع آب کشاورزی ضروری است. چون اگر آب توسط کشاورزان به درستی مدیریت و مصرف نشود، منابع آب هدر می‌رود و اکوسیستم نابود می‌شود. ایجاد گرد و غبار و بیابان‌زایی از پیامدهای محیط‌زیستی مصرف بی‌رویه آب می‌باشد، همچنین مصرف بی‌رویه آب باعث افزایش بیکاری در بخش کشاورزی و به خطر افتادن امنیت غذایی می‌شود. از دیدگاه اجتماعی عامل، مهاجرت روستاییان می‌باشد. در صورتی که کانال‌های آب، سرویس لوله‌ها و تجهیزات آبرسانی به‌طور پیاپی بازرسی نشوند، ناخالصی‌های (سنگ‌ریزه و نمک) موجود در آب با مسدود کردن مجرای خروجی لوله‌های آب هزینه‌های نگهداری را به اندازه فراوان افزایش می‌دهند و زیان‌های برآمده از گرفتگی آبراه را در پی خواهند داشت. گویه رعایت زمان مناسب برای آبیاری مانند خنک بودن هوا در زمان آبیاری با ضریب تغییرات ۰/۲۶ در اولویت آخر قرار دارد. در این باره باید مدیران و برنامه‌ریزان با اجرای برنامه‌های آموزشی انگیزه کشاورزان را به آبیاری در زمان مناسب افزایش دهند. بهترین زمان برای آبیاری گیاهان صبح قبل از شروع گرمای هوا است. آبیاری در این بازه زمانی، جذب بیشتر خاک را در پیش دارد و سبب می‌شود رطوبت بیشتری در دسترس ریشه گیاه قرار گیرد. اگر امکان آبیاری در زمان صبح وجود نداشت، عصر زمان مناسبی برای آبیاری است. آبیاری گیاهان در شرایطی که هوا و خاک خنک است، عمل جذب آب در ریشه را ساده‌تر می‌کند. در آبیاری میانه روز به دلیل گرمای هوا، راندمان تبخیر و تعرق زیاد است و اندازه زیادی از آب بدون اینکه توسط گیاه استفاده شود، تبخیر می‌شود.

جدول ۲- اولویت‌بندی گویه‌های مدیریت پایداری مصرف آب

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۰۷	۰/۳۶	۴/۹۱	۱- ورود آب فاضلاب تصفیه نشده به آب آبیاری
۲	۰/۱۷	۰/۷۷	۴/۵۱	۲- استفاده ناکارآمد (مصرف بیش از نیاز آب در یک دور یا کم بودن زمان دو دور آبیاری) در آبیاری
۳	۰/۱۹	۰/۸۴	۴/۴۱	۳- بازرسی پیاپی کانال‌های آب (برای جلوگیری از تجمع زباله‌ها و یا سوراخ شدن شلنگ‌های آب)
۴	۰/۲۰	۰/۸۹	۴/۵۱	۴- آشنایی با سیستم‌های مدرن آبیاری (مانند آبیاری قطره‌ای، تحت فشار و غیره)
۵	۰/۲۳	۰/۹۶	۴/۲۲	۵- سرویس لوله‌ها و تجهیزات آبرسانی در هر فصل آبیاری
۶	۰/۲۵	۱/۰۲	۴/۰۱	۶- ناخالصی (نمک و سنگ‌ریزه) موجود در آب
۷	۰/۲۶	۱/۰۳	۳/۹۹	۷- رعایت زمان مناسب برای آبیاری مثل خنک بودن هوا در زمان آبیاری

در جدول (۳) گویه‌های عامل نهادی مؤثر بر پایداری مصرف آب نشان داده شده است. این جدول ۷ گویه دارد و میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها بررسی شده است. در این بررسی توجه دولت به کارهای بزرگ (مانند کارگذاشتن کنتور روی چاه آب، مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز) با ضریب تغییرات ۰/۳۲ در اولویت اول می‌باشد که نشان دهنده توجه مسئولین به استفاده بهینه از آب و جلوگیری از هدر رفتن آب می‌باشد. کارگذاشتن کنتور کاری شایسته است که باعث مصرف بهینه آب و جلوگیری از اضافه برداشت می‌شود. بدون اینکه تأثیر منفی بر روی کارکرد محصولات کشاورزی داشته باشد. فرونشست زمین بر اثر برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی تهدید جدی برای آیندگان است. استفاده از آب باید به روشی باشد که سبب بالار رفتن بهره‌وری اقتصادی شود. به گونه‌ای که هم سود کشاورز فراهم شود و هم منابع آب و خاک آسیبی نبیند. بستن چاه‌های غیرمجاز راهی برای برگرداندن کمبود مخازن آبخوان‌ها، سفره‌های آب زیرزمینی و جلوگیری از فرونشست زمین می‌باشد و گویه بازرسی جهاد کشاورزی بر سیستم آبیاری (مانند بررسی

کاستی‌های پروژه‌های آبیاری تحت فشار و غیره) با ضریب ۰/۵۲ در اولویت آخر قرار دارد. بنابراین جهاد کشاورزی باید توجه بیشتری به انجام پروژه‌های آبیاری و همچنین بررسی، و برداشتن چالش‌ها و کاستی‌های طرح بهبود شبکه و سیستم آبیاری داشته باشد. کاستی‌های پروژه‌های آبیاری (مانند گرفتگی قطره چکان‌ها) باعث کاهش تولید محصول و در نهایت سبب کاهش راندمان سیستم آبیاری خواهد شد، بنابراین بهبود سیستم آبیاری درکنار صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش چشم‌گیری در هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت به‌وجود می‌آورد و بدون شک نقش باارزشی در افزایش تولید در بخش کشاورزی و مدیریت مصرف آب دارد. توجه به حریم و فاصله بین منابع آب زیرزمینی (چاه‌های آب) یکی از مهمترین چالش‌ها در حفاظت از این منابع می‌باشد. افزایش حفر چاه مجاز و غیرمجاز باعث کاهش سطح آب زیرزمینی شده است و این موضوع چالش‌های فراوانی را در فراهم کردن آب برای کشاورزی ایجاد نموده است. به‌منظور بهبود این شرایط باید میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی را با در نظر گرفتن فاصله مناسب بین چاه‌های کنترل کرد.

جدول ۳- اولویت‌بندی گویه‌های عامل نهادی

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۳۲	۱/۲۳	۳/۸۶	۱- توجه دولت به کارهای بزرگ عملیاتی (مانند کارگذاشتن کنتور روی چاه آب، مسدود کردن چاه‌های غیر مجاز)
۲	۰/۳۴	۱/۳۰	۳/۸۰	۲- توجه به رعایت حریم و فاصله قانونی بین چاه‌ها در منطقه
۳	۰/۴۲	۱/۲۹	۳/۰۶	۳- هماهنگی بین سازمان‌ها (جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای) برای مدیریت منابع آب (مانند مدرن کردن سیستم آبیاری و غیره)
۴	۰/۴۲	۱/۰۸	۲/۵۷	۴- مشوق‌های بانک‌های عامل (مانند بلندمدت کردن زمان بازپرداخت وام داده شده) برای سیستم آبیاری
۵	۰/۴۵	۱/۳۹	۳/۱۱	۵- جلوگیری مقررات بانکی (لازم بودن چند ضامن و غیره) از گرفتن تسهیلات سیستم‌های آبیاری
۶	۰/۵۱	۱/۱۵	۲/۲۴	۶- سرمایه‌گذاری یا ارائه تسهیلات برای اصلاح و ترمیم سیستم آبیاری
۷	۰/۵۲	۱/۴۱	۲/۷۴	۷- بازرسی جهاد کشاورزی بر سیستم آبیاری (مانند بررسی کاستی‌های پروژه‌های آبیاری تحت فشار و غیره)

جدول (۴) گویه‌های عامل دانش کشاورزان شهرستان گچساران را نسبت به آب نشان می‌دهد. جدول دارای ۴ گویه می‌باشد که میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها بررسی شده است و در این بررسی گویه مفید بودن برنامه‌های آموزش آبیاری تلویزیون در زمینه آبیاری مدرن با ضریب تغییرات ۰/۳۳ در اولویت اول می‌باشد. به این معنا که بیشترین میزان دانش کشاورزان شهرستان گچساران از راه برنامه‌های تلویزیون کسب شده است. بنابراین به دلیل اهمیت و حساسیت تلویزیون در

آموزش باید با برنامه‌ریزی و سازوکارهای مناسب این رسانه را به سمت رسالت اصلی خود یعنی حل بحران راهنمایی کرد. همچنین باید یادآوری کرد که از مهمترین کارهای تلویزیون در قبل و بعد از بحران آموزش پیشگیری و مواجهه با بحران است. استفاده از کانال‌های ارتباطی مناسب برای آموزش به کشاورزان به‌ویژه در زمینه آبیاری بسیار مهم و حساس است. چون هم باعث آشنایی با روش‌های نوین آبیاری و هم صرفه‌جویی در آب می‌شود. مدیریت خوب (صرفه‌جویی در آب) منابع آب باعث برابری و

توازن میان درخواست و فراهم آوردن آب می‌شود و گویه بازدید از باغ نمایشی (باغ‌های نمایشی اهداف گوناگونی دارند و نقش آنها آسان کردن جریان پذیرش اندیشه‌ها و روش‌های نوین است) آبیاری مدرن با ضریب تغییرات ۰/۵۴ و در اولویت آخر قرار دارد.

جدول ۴- اولویت‌بندی گویه‌های عامل دانشی

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۳۳	۱/۲۰	۳/۶۵	۱- مفید بودن برنامه‌های آموزش آبیاری تلویزیون در زمینه آبیاری مدرن
۲	۰/۴۰	۱/۲۸	۳/۲۴	۲- استفاده از کانال‌های ارتباطی (رادیو، و غیره) برای آبیاری بهینه
۳	۰/۵۰	۱/۳۲	۲/۶۶	۳- شرکت در کلاس‌های آموزشی در زمینه آبیاری مدرن
۴	۰/۵۴	۱/۳۲	۲/۴۴	۴- بازدید از باغ نمایشی دارای آبیاری مدرن (آبیاری قطره‌ای و غیره)

است. کار گذاشتن سامانه‌های آبیاری تحت فشار در مناطق گرمسیری باتوجه‌به محدودیت آب‌های جاری و کمبود بارندگی‌های آسمانی نگرانی مسئولان و کشاورزان را برای فراهم آوردن آب از میان برداشته شده است و آسودگی آنان را به بهینه بودن این سیستم‌ها را به همراه داشته است. گویه دسترسی به آب‌های سطحی با ضریب تغییرات ۰/۶۴ در اولویت آخر قرار دارد. دسترسی نداشتن به آب سطحی برای آبیاری باعث استفاده زیاد از آب‌های زیرزمینی و پایین رفتن سطح آب‌های زیر زمینی می‌شود.

جدول (۵) گویه‌های عامل فیزیکی را نشان می‌دهد. جدول دارای ۵ گویه می‌باشد، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات آن‌ها بررسی شده که در این بررسی گویه راندمان (جلوگیری از هدرروی) آب مصرفی باغ با ضریب تغییرات ۰/۲۰ در اولویت اول می‌باشد. بنابراین نشان دهنده کارایی بالا و استفاده بهینه کشاورزان از آب است. چون امروز با وارد شدن علم و فناوری به همه بخش‌ها مانند کشاورزی، آبیاری نوین راهی کارساز برای مدیریت بهینه مصرف آب و پشته‌های برای دگرگونی و پیشرفت در این بخش

جدول ۵- اولویت‌بندی گویه‌های عامل فیزیکی

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۲۲	۰/۹۷	۴/۳۳	۱- راندمان (جلوگیری از هدرروی) آب مصرفی باغ
۲	۰/۲۵	۱/۰۳	۴/۱۱	۲- اطمینان به بهینه بودن سیستم‌های تأمین آب آبیاری
۳	۰/۳۸	۱/۳۲	۳/۴۴	۳- عدالت در تقسیم آب آبیاری منطقه
۴	۰/۴۲	۱/۲۱	۲/۸۶	۴- نیاز به تعمیر سیستم‌های فراهم آوردن آب
۵	۰/۶۴	۰/۹۴	۱/۴۸	۵- دسترسی به آب‌های سطحی

گوناگون همراه با افزایش درخواست کاری بارارزش می‌باشد. اما باتوجه‌به اینکه کشاورزی پرمصرف‌ترین بخش است گسترش سامانه‌های نوین آبیاری از راهکارهای استفاده بهینه از آب است. از این رو صرفه‌جویی در مصرف آب کاری ضروری می‌باشد که می‌تواند به ماندگاری نژاد بشر و دیگر جانداران کمک کند. همچنین گویه هر چقدر ما صرفه‌جویی آب کنیم آب اضافی در جاهای دیگر مصرف (هدر) می‌شود، با ضریب تغییرات ۰/۲۴ در اولویت آخر قرار دارد. این نشان می‌دهد کشاورزان با اینکه در مصرف آب صرفه‌جویی می‌کنند اما نگران هدرروی آب در جاهای دیگر می‌باشند. برای این نگرش نیاز است آگاهی رسانی شود تا میل کشاورزان به صرفه‌جویی بیشتر شود.

جدول (۶) گویه‌های عامل نگرشی را نشان می‌دهد، در این جدول میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات گویه‌ها بررسی شدند. در این بررسی گویه آب مایه زندگی برای کشاورزی می‌باشد. با ضریب تغییرات ۰/۱۱ در اولویت اول می‌باشد که این نشان دهنده پذیرفتن ارزش بالای آب توسط کشاورزان می‌باشد. بنابراین کشاورزان می‌دانند آب عنصری نایاب و بسیار با ارزش نه تنها برای انسان، که برای همه شهروندان اکوسیستم است. امروزه جایگاه منابع آب شیرین در ایران بحرانی می‌باشد. درحالی‌که با گذشت زمان هر سال با تشدید روند گرمایش جهانی بر میزان بحران آب در کشور افزوده می‌شود. بنابراین تصمیم‌گیری در مورد چگونگی به‌کاربردن منابع محدود آب در میان بهره‌برداران

جدول ۶- اولویت‌بندی گویه‌های عامل نگرشی

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۱۱	۰/۵۲	۴/۸۰	۱- آب مایه زندگی برای کشاورزی می‌باشد.
۲	۰/۱۲	۰/۵۸	۴/۸۲	۲- ارزش آب از ارزش بنزین و نفت کمتر نیست.
۳	۰/۱۳	۰/۶۲	۴/۷۶	۳- کم‌آبی معنی ندارد و صرفه‌جویی در مصرف آب ضرورتی ندارد.
۴	۰/۱۴	۰/۶۶	۴/۷۰	۴- هر سال میزان آب شیرین در حال کمتر شدن است.
۵	۰/۱۴	۰/۶۶	۴/۷۷	۵- آب، نعمتی نامحدود است. پس نباید نگران کمبود آن باشیم.
۶	۰/۱۶	۰/۷۲	۴/۶۲	۶- هر اندازه که بخواهیم، می‌توانیم آب استفاده کنیم.
۷	۰/۱۷	۰/۷۹	۴/۶۲	۷- دولت باید اجازه حفر چاه به همه بدهد.
۸	۰/۱۹	۰/۸۶	۴/۵۴	۸- کم و زیاد شدن آب به میزان بارندگی بستگی دارد. ربطی به مصرف ما ندارد.

است. از این‌رو همکاری کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری، علاوه‌بر کاهش هزینه‌های دولتی برای ساخت و نگهداری زیرساخت‌های مورد نیاز آبیاری، باعث افزایش حس مالکیت و مسئولیت در بین کشاورزان، مشارکت در نگهداری، استفاده از این زیر ساخت‌ها، افزایش راندمان آبیاری و توزیع عادلانه آب می‌شود. چنانچه توزیع ناعادلانه آب وجود داشته باشد تنش‌های اجتماعی و افزایش درگیری را به همراه خواهد داشت از این‌رو توزیع آب باید در چارچوب مدار و ساعت‌های مصرف که حق‌آبه کشاورزان است ساماندهی شود. گویه همکاری در نشست‌های بحث و تصمیم‌گیری در پروژه‌های مدیریت آب کشاورزی با ضریب تغییرات ۰/۴۸ در اولویت آخر قرار دارد. بنابراین نیاز است در این زمینه تلاش بیشتری برای همکاری کشاورزان در نشست‌ها تصمیم‌گیری شود تا از چشم‌اندازهای گوناگون گفتگو صحبت کنند.

براساس جدول (۷) عوامل اجتماعی دارای ۴ گویه می‌باشد، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات گویه‌ها بررسی شدند. در این بررسی گویه توجه به صرفه‌جویی آب در آیین‌های بومی با ضریب تغییرات ۰/۳۴ در اولویت اول قرار داشت که نشان دهنده فرهنگ بالای مردم محلی در صرفه‌جویی و استفاده بهینه از آب می‌باشد. یکی از راه‌های استفاده بهینه از منابع آب، همکاری کشاورزان در نگهداری و بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی می‌باشد. مدیریت مصرف آب یک گویه میان بخشی بوده که نهادها و دستگاه‌های بیشماری با آن سر و کار دارند. سیاست تمرکززدایی مدیریت منابع آب باعث همکاری همگانب در همه گام‌های انجام برنامه‌های توسعه منابع آب شده است که نتیجه آن صرفه‌جویی در وقت و هزینه است. از سویی افزایش اعتماد به نفس و خودباوری، خود اتکایی، مسئولیت‌پذیری کشاورزان را به همراه داشته شده

جدول ۷- اولویت‌بندی گویه‌های عامل اجتماعی

اولویت	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	گویه
۱	۰/۳۴	۱/۲۴	۳/۶۳	۱- توجه به صرفه‌جویی آب در آیین‌های بومی
۲	۰/۳۹	۱/۲۵	۳/۱۷	۲- مشارکت عمومی در نگهداری از پروژه‌های آب
۳	۰/۴۱	۱/۵۰	۳/۷۰	۳- درگیری با باغداران دیگر برای آب آبیاری
۴	۰/۴۸	۱/۳۵	۲/۸۳	۴- همکاری در نشست‌های بحث و تصمیم‌گیری در پروژه‌های مدیریت آب (لایروبی کانال آب و غیره)

۰/۴۰ همبستگی ضعیف و ضریب بین ۰/۴۰ تا ۰/۶۰ نشان‌دهنده همبستگی متوسط و ضریب بین ۰/۶۰ تا ۰/۸۰ رابطه قوی و در پایان ضریب بین ۰/۸۰ تا ۱ نشان دهنده همبستگی بسیار قوی می‌باشد (کرمی، ۱۳۹۴). براساس این جدول همبستگی بین عامل مدیریت پایدار مصرف آب و نگرش در سطح یک درصد

• نتایج آزمون همبستگی

جدول (۸) نتایج آزمون همبستگی بین عامل مدیریت پایدار و متغیرهای پژوهش را نشان می‌دهد. همبستگی مثبت یعنی با افزایش اندازه یک متغیر اندازه متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد از این‌رو ضریب بین ۰ تا ۰/۲۰ نشان‌دهنده عدم همبستگی و ۰/۲۰ تا

معنادار و اندازه همبستگی ۰/۲۷ شده است. بنابراین رابطه بین مدیریت پایداری مصرف آب و عامل نگرش معنادار بود اما این رابطه ضعیف می‌باشد، همچنین همبستگی بین مدیریت پایداری مصرف آب و عامل فیزیکی در سطح یک درصد معنادار شده است و اندازه همبستگی ۰/۴۷ شد. بنابراین رابطه بین پایداری و عامل فیزیکی معنادار بود ولی رابطه متوسط می‌باشد، همبستگی مدیریت پایداری با عامل اجتماعی در سطح یک درصد معنادار شده است و اندازه همبستگی ۰/۳۹ است. بنابراین رابطه بین پایداری و عوامل اجتماعی معنادار بود ولی رابطه ضعیف می‌باشد.

همچنین همبستگی مدیریت پایداری با عامل دانشی در سطح یک درصد معنادار شده است و اندازه همبستگی ۰/۴۹ می‌باشد. بنابراین رابطه بین پایداری و عامل دانشی معنادار بود ولی میزان رابطه متوسط می‌باشد و در نهایت همبستگی مدیریت پایداری با عامل نهادی در سطح یک درصد معنادار شده است و همبستگی ۰/۳۶ است. بنابراین رابطه بین پایداری و عوامل نهادی معنادار بود اما رابطه ضعیف است. باتوجه به نتایج جدول می‌توان گفت سطح معناداری مدیریت پایداری با همه عوامل در سطح خوبی می‌باشد اما همبستگی در سطح ضعیف می‌باشد.

جدول ۸- آزمون همبستگی بین متغیرهای پژوهش

عامل	نگرشی	فیزیکی	اجتماعی	دانشی	نهادی	مدیریت پایداری آب
مدیریت	۰/۲۷۴	۰/۴۷۶	۰/۳۹۸	۰/۴۹۰	۰/۳۶۱	۱
پایداری آب	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	
تعداد	۱۶۹	۱۶۹	۱۶۹	۱۶۹	۱۶۹	

• تعیین میزان اثرگذاری متغیرهای تحقیق بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب

برای تعیین میزان اثرگذاری متغیرها بر متغیر وابسته پژوهش (پایداری مدیریت مصرف آب)، از روش تحلیل رگرسیونی استفاده شد. میزان R^2 براساس نتایج تحلیل رگرسیونی ۰/۲۹ به دست آمد. این نکته بیانگر آن است که متغیرهای وارد شده در تحلیل رگرسیون، در مجموع ۲۹ درصد عوامل اثر گذار بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب را بازگو می‌کنند براساس جدول (۹) باتوجه به مقادیر بتا، متغیرهای فیزیکی و دانشی به ترتیب بیشترین اثر را بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب دارند. متغیر عامل فیزیکی در سطح یک درصد معنادار شده و بیانگر آن است که این متغیر با ضریب ۰/۴۹ واحد تأثیر مثبت بر پایداری دارد که بالاترین میزان تأثیر می‌باشد. همچنین عوامل دانشی در سطح پنج درصد معنادار شده و بیانگر آن است که این متغیر با ضریب ۰/۲۷ واحد تأثیر مثبت بر پایداری دارد و در رتبه دوم میزان تأثیر می‌باشد. همچنین متغیر عامل اجتماعی معنادار نشد و در رتبه آخر قرار دارد. به این معنا که

متغیرهای فیزیکی همچون عدالت در تقسیم آب آبیاری منطقه، نیاز به تعمیر سیستم‌های تأمین آب، بهینه بودن سیستم‌های تأمین آب آبیاری، افزایش راندمان آب مصرفی است در تقسیم آب و دسترسی مناسب به آب‌های سطحی، در کنار مولفه‌هایی همچون شرکت در دوره‌های آموزشی، بازدید از مزارع نمایی، استفاده از سیستم نوین آبیاری در برابر متغیرهای دیگر ارزش بالاتری داشته است. بنابراین هر چه سطح دانش و آگاهی شونده بیشتر مورد توجه قرار گیرد متغیرهای فیزیکی پیرو آن جایگاه پسندیده‌تری پیدا خواهد کرد و بهتر می‌تواند موضوع پایداری منابع آبی را پیگیری نمود. در حالی که متغیرهای اجتماعی که مولفه‌هایی همچون توجه به صرفه‌جویی آب در آیین بومی، همکاری همگانی در نگهداری از پروژه‌های آب، درگیری با باغداران دیگر برای آب آبیاری و همکاری در نشست‌های تصمیم‌گیری در پروژه‌های مدیریت آب را در برداشت تأثیری چندانی بر پایداری منابع آبی ندارد. بنابراین برنامه‌ریزی و سیاست‌مداران باید با تمرکز متغیرهای دانشی و فیزیکی بر بهبود روندهای پایداری منابع آبی تمرکز نمایند.

جدول ۹- نتایج تحلیل رگرسیون در زمینه پایداری مدیریت مصرف آب

متغیرهای پیش‌بینی	B	SE	Beta	t	Sig
مقدار ثابت	۳۲/۵۴	۳/۸۴۵		۸/۴۶۳	۰/۰۰۱
نهادی	۰/۰۹۸	۰/۰۶۴	۰/۱۱۹	۱/۵۲۵	۰/۱۲۹
دانشی	۰/۲۷۰	۰/۰۸۷	۰/۲۱۸	۳/۰۹۵	۰/۰۰۵
اجتماعی	۰/۰۵۴	۰/۱۱۹	۰/۰۴۰	۰/۴۵۸	۰/۶۴۸
فیزیکی	۰/۴۹۳	۰/۱۳۵	۰/۳۰۰	۳/۶۴۱	۰/۰۰۱
نگرشی	۰/۱۶۹	۰/۰۸۸	۰/۱۳۵	۱/۹۲۴	۰/۰۵۶
$R^2 = ۰/۳۱۴$ $R^2_{adj} = ۰/۲۹$					

B: ضریب غیر استاندارد SE: خطای استاندارد Beta: ضریب استاندارد t: آماره sig: سطح معناداری

بخش کشاورزی کلیدی‌ترین بخشی است که پیوند تاریخی و اجتماعی محکمی با آب دارد. آب یکی از بزرگترین چالش‌های سده حاضر بشریت است. چنانچه به‌کاری‌گیری و تخصیص میزان آب مورد نیاز، به‌صورت کارا انجام شود، بخش کشاورزی به اهداف خود که همان رشد و توسعه اقتصادی است، دسترسی پیدا می‌کند. این پژوهش به دنبال سنجش اندازه پایداری مصرف آب در باغ‌های مرکبات گچساران می‌باشد. بنابر نتایج این پژوهش بیشتر پاسخ‌گویان از چاه عمیق و نیمه‌عمیق برای آبیاری استفاده می‌کردند، در شرایطی که به دلیل حفاری چاه بیش از حد مجاز، سطح آب‌های زیرزمینی پایین رفته و آب شور می‌شود. شور شدن آب این چاه‌ها و استفاده از آن برای آبیاری نه تنها سودی برای کشاورزان ندارد بلکه زمینه را برای شورتر کردن خاک فراهم می‌کند. همچنین برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی، نخست منابع آب و در ادامه فعالیت‌های کشاورزی و اقتصادی کشور را تهدید می‌کند و مشکلات محیط‌زیستی فراوانی را به دنبال دارد. همه کشاورزان از آب سالم و بهداشتی استفاده می‌کردند. آب فاضلاب تصفیه نشده به آب آبیاری وارد نشده است. کشاورزان آگاهی دارند که آبیاری مزارع کشاورزی با آب فاضلاب رویداد ناگواری است که می‌تواند سلامت جامعه را از سوی‌های گوناگون به خطر بیندازد. یکی از آن‌ها بیماری‌ها عفونی است که استفاده از فاضلاب می‌تواند باعث انتقال این بیماری‌ها شود. علاوه‌برآن مواد شیمیایی‌ای که در فاضلاب‌ها وجود دارد، می‌تواند برای استفاده مردم زیان‌آور باشد. اما زمان مناسب آبیاری گیاهان یکی از عوامل تضمین کننده سلامت گیاه و ادامه زیست آن می‌باشد که باغداران کمتر به این موضوع توجه داشتند. از آنجایی‌که باغداران به برنامه‌های تلویزیونی توجه داشتند، تهیه برنامه‌هایی در راستای استفاده بهینه از آب و رعایت زمان مناسب برای آبیاری گام بزرگی برای پایداری آب می‌باشد. همچنین بیشتر باغداران از کود حیوانی استفاده می‌کردند چون آگاه بودند که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث سوختن بافت گیاه شود. از سویی مواد غذایی را به سرعت آزاد می‌کند بنابراین خاک مواد غذایی خود را به واسطه باران یا آبیاری بسیار سریع از دست می‌دهد. اما کود حیوانی نه تنها ساختار خاک و نفوذ آب به خاک را بهبود می‌بخشد بلکه فعالیت موجودات زنده ریز را که مواد آلی و آلاینده‌ها را در خاک تجزیه و مواد غذایی را برای خاک قابل استفاده می‌کند را تقویت می‌کند. ازاین‌رو اثرات (سودمند) باقیمانده کود حیوانی بر محصولات زراعی نسبت به کود شیمیایی بیشتر و بلندمدت‌تر است. از آنجایی‌که کود

حیوانی از فضولات گندیده شده گیاهان و حیوانات به‌دست می‌آید، گیاه خاکی را برای کشاورزی فراهم می‌کند که ظرفیت حفظ آب در خاک را افزایش می‌دهد. کود حیوانی هیچ‌گونه آسیبی به خاک نمی‌زند و کیفیت خاک را در بلند مدت بالا می‌برد. از طرف دیگر، کود شیمیایی در صورتی‌که بیش از حد استفاده شود برای خاک زیان‌آور است و به موجودات زنده که در خاک هستند، آسیب می‌رساند.

بازرسی جهاد کشاورزی بر سیستم آبیاری (مانند بررسی کاستی‌های پروژه‌های آبیاری تحت فشار و غیره) در سطح پایین بود، درحالی‌که بازرسی نکردن انجام طرح‌های سیستم‌های آبیاری تحت فشار از چالش‌های بزرگ بخش کشاورزی در مدیریت مصرف بهینه آب است. یکی از چالش‌های سیستم‌های آبیاری تحت فشار در کشور پایین بودن کیفیت ابزارهای آبیاری مانند لوله‌ها و پمپ‌ها می‌باشد که باتوجه به محدودیت منابع آبی باید مدیران بازرسی بیشتری داشته باشند. همچنین نتایج ضریب همبستگی نشان می‌دهد که رابطه معناداری بین مدیریت پایداری مصرف آب و متغیرهای این پژوهش وجود دارد. اما بین پایداری مصرف آب و عامل نگرشی به میزان ۰/۲۷۴ همبستگی وجود دارد که ضعیف می‌باشد ولی همبستگی بین عامل مدیریت پایداری مصرف آب، عوامل فیزیکی، دانشی، اجتماعی و نهادی به ترتیب ۰/۴۷۶، ۰/۴۹۰، ۰/۳۹۸ و ۰/۳۶۱ بودند که در حد متوسط می‌باشند و با نتایج پژوهش نوری و همکاران (۱۳۹۲) و شاهرودی و همکاران (۱۳۸۷) هم‌خوانی دارد. در پایان متغیرهای وارد شده در تحلیل رگرسیون، در مجموع ۲۹ درصد عوامل اثرگذار بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب را بازگو می‌کنند. اما باتوجه به مقادیر بتا، متغیرهای فیزیکی و دانشی به ترتیب بیشترین اثر را بر متغیر پایداری مدیریت مصرف آب دارند، متغیر عامل فیزیکی در سطح یک درصد معنادار شده و بیانگر آن است که این متغیر با ضریب ۰/۴۹ واحد تأثیر مثبت بر پایداری دارد که بالاترین میزان تأثیر می‌باشد. همچنین عوامل دانشی در سطح پنج درصد معنادار شده و بیانگر آن است که این متغیر با ضریب ۰/۲۷ واحد تأثیر مثبت بر پایداری دارد و در رتبه دوم میزان تأثیر می‌باشد. بنابراین سرمایه‌گذاری بر متغیرهای دانشی و فیزیکی بر بهبود روندهای پایداری منابع آبی تأثیر بیشتری دارد.

منابع

ارشدی، م، پشتوان، ح. و حسینی، ا. ۱۳۹۱. پارادایم آب نو. فصلنامه بینش، ۱(۱): ۱۴-۱۰.
باقری، م، محمدی، ح، نوری، غ.ر. و میر، ب. ۱۳۹۲. عوامل تعیین‌کننده استفاده پایدار از منابع آب مطالعه موردی استان

- کهکیلویه و بویراحمد. نشریه علمی علوم و فناوری محیط زیست، ۱۵(۱): ۵۱-۶۴.
- بخشی، ع، خسروی پور، ب. و غنیان، م. ۱۳۹۸. تحلیل رفتار پایدار آب کشاورزی و شناسایی عوامل مؤثر بر آن در مصرف کنندگان آب زیرزمینی استان خراسان جنوبی. فصلنامه علوم محیطی، ۱۷(۲): ۱۸۸-۱۷۳.
- بریم نژاد، ج. و یزدانی، س. ۱۳۸۳. تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در کشاورزی با استفاده از برنامه ریزی کسری مطالعه موردی کرمان. فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۲(۶۳): ۱-۱۶.
- پورمحمدی، س، دستورانی، م.ت، جعفری، ه، مساح بوانی، ع.ر، گودرزی، م، باقری، ف. و رحیمیان، م.ج. ۱۳۹۶. بررسی اثرات خشک سالی هواشناسی و هیدروژئولوژیکی بر بیلان آب زیرزمینی دشت توپسرکان. نشریه مهندسی و مدیریت آب، ۹(۱): ۴۶-۵۷.
- زارع، ش، محمدی، ح. و صبحی، م. ۱۳۹۶. شبیه سازی توسعه سیستم های مدرن آبیاری بر تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی خراسان رضوی. فصلنامه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۳۱(۲): ۱۷۹-۱۹۵.
- شاهرودی، ع.ا، چیدری، م. و پزشکی راد، غ.ر. ۱۳۸۷. تأثیر تعاونی آبران بر نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت آب کشاورزی: مطالعه موردی استان خراسان رضوی، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۷۱-۸۵.
- عیدی، ف، کاظمیه، ف. و ظریفیان، ش. ۱۴۰۰. واکاوی عوامل مؤثر بر نگرش کشاورزان نسبت به مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی (مطالعه موردی گندمکاران روستاهای شهرستان مراغه). نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۱(۲): ۳۶۱-۳۷۵.
- کریمی، م. ۱۳۹۴. راهنمای آسان تحلیل آماری با spss. نشر هنگام. چاپ اول. تهران، ایران.
- علی پناهیان، ف. و کرمی، آ. ۱۴۰۱. بررسی پایداری مصرف آب در باغات مرکبات شهرستان گچساران. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱۴(۳): ۹۵-۱۱۰.
- نوری، ه، جمشیدی، ع، جمشیدی، م. و هدایتی مقدم، ز. ۱۳۹۲. تحلیل عوامل فرهنگی و اجتماعی مؤثر بر نگرش کشاورزان درباره مدیریت آب زراعی مطالعه موردی: شهرستان شیروان و چرداول. نشریه تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴۴(۴): ۶۴۵-۶۵۵.
- Evevans A., Sagasta J., Qadir E., Boelee E. and Ippolito A. 2019. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36(1): 20-27.
- Iglesias A. and Garrote L. 2015. Adaption strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water Management*, 155: 113-124.
- Krejcie R. V. and Morgan D. W. 1970. Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30: 607-610.
- Mekonnen M. and Hoekstra M. 2016. Four Billion People Facing Severe Water Scarcity. *Science Advanced*, 2(2): 1-6.
- Novoa V., Rudolph R., Rojasc O., Munizaga J., Sáezd K. and Luis Arumie J. 2019. Sustainability assessment of the agricultural water footprint in the Cachapoal River basin, Chile. *Ecological Indicators*, 98: 19-28.



چکیده: قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی کالیفرنیا (SGMA) شامل سه لایه قانونی است که در مجلس ایالت کالیفرنیا در سپتامبر ۲۰۱۴ به تصویب رسید و توسط جری براون فرماندار این ایالت ابلاغ گردید. شالوده اصلی در این قانون پیاده‌سازی به بهترین نحو در سطح محلی می‌باشد به گونه‌ای که بتواند مدیریت آب در این ایالت را تا سال ۲۰۴۲ به پایایی کامل برساند. در این قانون برای دستیابی به پایایی آب زیرزمینی شش معیار معرفی شده، که این گزارش به معرفی این معیارها پرداخته است. همچنین رابطه بین معیارهای پایایی آب زیرزمینی را با هدف پایایی، پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری به عنوان بخشی مهم از چگونگی تدوین طرح پایایی آب زیرزمینی (GSP) مورد توصیف قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: معیارهای مدیریت پایا، بهترین شیوه‌های مدیریتی، پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه، اهداف قابل اندازه‌گیری

مقدمه

بر اساس تعریف SGMA مدیریت پایای آب زیرزمینی عبارت است از: «مدیریت و استفاده از آب زیرزمینی در طول یک دوره برنامه‌ریزی و اجرای آن به گونه‌ای که، بتوان بدون پیامدهای نامطلوب به حفاظت از منابع آب زیرزمینی پرداخت». بنابراین برای موفقیت یک GSP اجتناب از پیامدهای نامطلوب، کلیدی‌ترین موضوع محسوب می‌شود. مقررات GSP همراه با الزامات آن، ذیل «معیارهای مدیریت پایا» در بخش ۳ ماده ۵ این قانون آورده شده است.^۱ براساس این مقررات معیارهای مدیریت پایا عبارتند از:

- هدف پایایی - پیامدهای نامطلوب
- حداقل آستانه‌ها - اهداف قابل اندازه‌گیری

توسعه این معیارها به اطلاعاتی همچون توسعه مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، تشریح شرایط گذشته و حاضر (تاریخچه تغییرات) آب زیرزمینی و همچنین بیان آب مرتبط است.

الزامات SGMA برای کمی‌سازی پایایی

تصویب SGMA در سال ۲۰۱۴ یک تلاش اساسی برای مدیریت آب زیرزمینی کالیفرنیا به شیوه پایا بود. ضوابط SGMA تعاریفی از پیامدهای نامطلوب، چارچوب‌های قانونی و برنامه زمان‌بندی برای دستیابی به پایایی را معرفی نمود و شرایطی را مشخص کرد که سازمان‌های محلی (یعنی GSA) بتوانند در تعامل با آب‌بران و دیگر بهره‌برداران آب زیرزمینی در یک حوضه، در تعیین بسیاری از موضوعات مهم نقش آفرینی کنند. مقررات GSP که توسط اداره آب توسعه یافته است باید شرایط آب زیرزمینی در یک حوضه، الزامات توسعه و اجرای طرح‌های دستیابی یا حفظ پایایی مورد نیاز SGMA را برآورده نماید. همانطور که در قانون SGMA توضیح داده شده است (Owen و همکاران، ۲۰۱۹)، شرایط پایا در یک حوضه زمانی به دست می‌آید که GSA ها براساس توان آبدهی پایایی^۱ منابع آب زیرزمینی بتوانند هدف پایایی خود را برآورده نمایند. بدیهی است که تنها در صورتی حوضه می‌تواند به پایایی دست یابد که پیامدهایی نامطلوب نداشته باشد. مقررات GSP و نحوه توسعه آن، بر اساس معیارهای کمی تعیین شده (پیامدهای نامطلوب، حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری) متمرکز شده است. پیامدهای نامطلوب باید از طریق اجرای پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی حذف شود و پیشرفت در جهت

اداره منابع آب کالیفرنیا که به اختصار در این نوشتار از اصطلاح «اداره آب» استفاده شده است؛ دستورالعمل بهترین شیوه مدیریتی^۱ (BMP) را برای توصیف فعالیت‌ها، شیوه‌ها، روش‌های تعریف معیارهای مورد نیاز برای مدیریت پایا، طرح پایایی آب زیرزمینی^۲ (به اختصار در این نوشتار «GSP») مورد توسعه داده است. بهترین روش‌های مدیریتی رابطه بین معیارهای مختلف مدیریت پایا را با هدف پایایی^۲، پیامدهای نامطلوب^۳، حداقل آستانه آب زیرزمینی^۴ و اهداف قابل اندازه‌گیری^۵ را مشخص می‌کند و همچنین بهترین شیوه‌های مدیریتی را برای توسعه این معیارها به عنوان بخشی از طرح پایایی آب زیرزمینی (GSP) توصیف می‌کند. قانون مدیریت پایای آب زیرزمینی^۶ (SGMA)، الزامات مورد نیاز برای توسعه یک GSP را مشخص کرده است. در واقع بهترین روش‌های مدیریتی (BMPها) الزامات جدیدی را اعمال نمی‌کند، اما بهترین شیوه‌های مدیریتی را برای بهبود رضایت در رعایت الزامات SGMA و مقررات GSP را توصیف می‌کنند. آژانس پایایی آب زیرزمینی^۷ (GSA) در هنگام ایجاد یک GSP، الزامی برای پیروی از BMPها ندارد، اما هرگونه متدولوژی که توسط GSA به جای BMPها اتخاذ شود باید معقول بوده و توسط بهترین اطلاعات و علوم موجود تدوین شوند. در حالی این دستورالعمل به توصیف روش‌هایی برای برقرار نمودن معیار مدیریت پایا توسط GSAها که جزء بهترین روش‌های مدیریتی معرفی شده توسط اداره آب کالیفرنیا می‌باشد توصیه می‌شوند اما الزاماً اتخاذ روش‌های توصیه شده در این BMPها دستیابی به نتایج GSP را تضمین نمی‌کند.

نمونه‌هایی که در این BMP ارائه شده‌اند عمده‌اً ساده شده بوده، و تنها به منظور توضیح مفاهیم تدوین شده‌اند. GSA ها نباید سطح جزئیات را در هر یک از این نمونه‌های ساده شده در نظر بگیرند (مثلاً تعداد حداقل آستانه آب زیرزمینی تعریف شده در یک حوضه فرضی، حداقل آستانه آب زیرزمینی که بر اساس پیامدهای نامطلوب و غیره) تا برای GSP آن‌ها مناسب‌ترین باشد.

تعیین معیارهای مدیریت پایا

در این بخش توسعه معیارهای مدیریت پایا توصیف شده، شامل: ارزیابی شاخص‌های پایایی، شرایط گسترده و نامعقول، مناطق مدیریتی و سایت‌های پایش معرف، حداقل‌های آستانه، پیامدهای نامطلوب، اهداف قابل‌اندازه‌گیری، هدف پایایی می‌باشد. این ساختار زمانی که GSAها بتوانند از طرح‌شان یا GSP برای توسعه معیار مدیریت پایا استفاده نمایند مورد پیروی قرار می‌گیرد، اگر چه آنها مجبور نیستند که دقیقاً مطابق دستورالعمل پیشنهاد رفتار کنند. علاوه بر این، تعیین معیارهای مدیریت پایا به احتمال زیاد یک فرآیند تکرارشونده خواهد بود. معیارهای اولیه ممکن است نیاز به تصحیح داشته باشد تا بتوانند تأثیرات بالقوه بر استفاده‌های سودمند و بهره‌برداران آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی و منافع مالکان را تنظیم کند. GSA باید ارزیابی کند که آیا معیارهای مدیریت پایا به طور کلی وضعیت و شرایط نامساعد و مهم را مشخص کرده، و مسیری را برای مدیریت پایا آب‌زیرزمینی در حوضه تعریف می‌کنند.

• شاخص‌های پایای

شاخص‌های پایای تحت تأثیر شرایط آب‌زیرزمینی در سراسر حوضه بوده، و زمانی که قابل توجه و نامعقول شود، پیامدهای نامطلوب به وقوع می‌پیوندد. پیامدهای نامطلوب شامل یک یا چندین اثر زیر است:  **افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی:** در صورت ادامه اضافه برداشت، در طول روند برنامه‌ریزی و اجرا (GSP)، باعث می‌شود تا تراز آب‌زیرزمینی از حالت افقی خارج شود. در حقیقت این اضافه برداشت بیشتر در طول دوره‌های خشکسالی به دلیل عدم کفایت منابع برای تأمین نیازهای آبی ایجاد می‌گردد. تغذیه آب‌زیرزمینی و کاهش مصارف در طول دوره خشکسالی می‌توان مانع از این پیامد نامطلوب شده و تراز آب‌زیرزمینی را به حالت اولیه باز گرداند. این معیار نشان دهنده افزایش قابل ملاحظه و غیرمنطقی برداشت آب از منابع آب‌زیرزمینی می‌باشد. اگر میزان پمپاژ و تغذیه آب‌زیرزمینی به درستی مدیریت شود، اضافه برداشت انجام شده در طول دوره خشکسالی و کاهش جدی تراز آب‌زیرزمینی با افزایش تغذیه آب‌زیرزمینی و یا آبخیزداری در طی دوره‌های دیگر (معمولاً ترسالی‌ها) جبران می‌شود.

 **کاهش قابل توجه و نامعقول ذخیره استاتیک آب‌زیرزمینی**
 **نفوذ قابل توجه و نامعقول آب شور به آبخانه (این شاخص بیشتر به نفوذ آب شور به آب‌های شیرین آبخانه از دریا اشاره دارد)**
 **کاهش قابل توجه و نامعقول کیفیت آب، شامل انتقال آلاینده‌هایی که باعث آلودگی منابع آب می‌شوند.**
 **فرونشست قابل توجه و نامعقول زمین که اساساً باعث اختلال در کاربری سطح زمین می‌شود بدیهی است که ظرفیت از دست رفته آبخانه در اثر فرونشست یک پدیده جبران‌ناپذیر است.**
 **اضمحلال ارتباط منابع آب‌زیرزمینی با آب‌های سطحی که اثرات**

حذف آنها با داده‌های تجربی (مثلاً اندازه‌گیری سطح آب‌زیرزمینی یا فرونشست) مشخص خواهد شد. معیارهای کمی مدیریت پایا به GSAs اجازه می‌دهد تا به طور واضح پایایی را مشخص کنند و برای عموم افراد و نیز امکان ارزیابی آسان پیشرفت را فراهم کنند.

اقدامات اولیه

یک GSA قبل از توسعه معیارهای مدیریت پایا نیاز به درک شرایط فیزیکی حوضه، ساختارهای حقوقی، منابع تأمین آب و اولویت‌های حوضه خواهد داشت. در نتیجه، قبل از اینکه GSA روند توسعه معیارهای مدیریت پایا را آغاز کند، فعالیت‌های زیر باید تکمیل شود: **- درک خصوصیات حوضه:** قبل از اینکه معیارهای مدیریت پایا را تنظیم شود ضروری است تا درک کاملی از خصوصیات و وضعیت گذشته و فعلی حوضه حاصل شود. بخش اعظم این درک با توسعه یک مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، بیلان آب و تشریح شرایط آب‌زیرزمینی می‌توان حاصل نمود. برای اطلاعات بیشتر، مدل مفهومی BMP هیدروژئولوژیکی، BMP بیلان آب و BMP مدل‌سازی را ملاحظه نمائید.^{۱۱}

- فهرست‌بندی برنامه‌های پایش موجود: حداقل آستانه‌ها، اهداف قابل اندازه‌گیری در سایت‌های پایش معرف تنظیم می‌شوند. GSA ها باید اطلاعات را از برنامه پایش موجود مانند تعداد چاه‌ها، جزئیات آن‌ها و پایش کل آبخانه گردآوری کنند. معیار مدیریت پایا براساس شبکه‌های پایش که ممکن است نیازمند حداقل‌های آستانه آب‌زیرزمینی و اهداف قابل‌اندازه‌گیری در سایت‌های پایش منتخب تنظیم می‌شوند، باشد. GSAها باید اطلاعات را از برنامه‌های پایش موجود (مثلاً تعداد چاه‌ها و جزئیات ساخت آنها، که آبخانه‌ها را پایش می‌نمایند) جمع‌آوری کنند. معیارهای مدیریت پایا با شبکه‌های پایش ممکن است نیاز به توسعه و به‌روزرسانی داشته، شبکه پایش موجود، و یا برنامه‌های پایش SGMA مورد تنظیم قرار گیرند. اطلاعات اضافی در مورد شبکه‌های پایش شامل: شبکه‌های پایش و شناسایی نقاط فاقد داده در هر BMP تشریح شده است.^{۱۲}

- یاری گرفتن گروه‌های علاقمند در حوضه: هنگام تعیین معیارهای مدیریت پایا، GSAs باید به استفاده‌های مفید و استفاده‌کنندگان آب‌زیرزمینی در حوضه توجه کنند. در نظر گرفتن اثرات بالقوه بر استفاده‌های مفید و بهره‌برداران، حداقل آستانه آب‌زیرزمینی را پایه‌ریزی می‌کند (باید اثرات بالقوه اتخاذ حداقل آستانه آب‌زیرزمینی بر استفاده‌های مفید و دیگر بهره‌برداران توجه شود). GSAs باید فرآیندهای تصمیم‌گیری خود و چگونگی استفاده از نظرات عمومی در توسعه GSPهای خود را توضیح دهند. الزامات خاص SGMA برای GSA جهت برقراری ارتباط با اشخاص علاقه‌مند در یک حوضه وجود دارد. برای اطلاعات بیشتر در مورد الزامات تعامل، به (دستورالعمل‌های مشارکت گروه‌داران و راهنمای ارتباط با گروه‌داران) مراجعه کنید.^{۱۳}

نامطلوبی بر استفاده مفید از آب‌های سطحی دارند و اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی را نابود می‌کند.

وقوع قابل توجه و نامعقول هر کدام از شش شاخص‌های پایای یک پیامد نامطلوب به همراه دارد. GSA ها باید تمام شش شاخص پایایی را برای حوضه‌ی مدیریتی خود به کار برند. اگر GSA بر این باور باشد که شاخصی از شاخص پایایی برای حوضه آن‌ها قابل کاربرد نیست، باید شواهدی و مدارک ارائه دهند که امکان ارزیابی شاخص وجود ندارد و نمی‌تواند در ناحیه مدیریتی ایشان چنین پیامد نامطلوبی رخ دهد. به عنوان مثال، GSA ها در حوضه‌های مجاور اقیانوس آرام، خلیج‌ها، دلتاها ممکن است تعیین کنند که نفوذ آب دریا یک شاخص پایای قابل اندازه‌گیری در محدوده مدیریتی آنها می‌باشد، لذا باید دلایلی ارائه نمایند که چرا نفوذ آب دریا امکان وقوع در محدوده مدیریتی آنها نمی‌تواند رخ دهد. همچنین در مقابل، برای شاخص پایایی فرونشست زمین، مشخص کردن اینکه سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر ثابت بوده است کفایت ندارد و لازم است مستندات برای عدم وقوع فرونشست در محدوده مدیریتی ارائه شود. اداره آب به عنوان بخشی از فرآیند ارزیابی GSP و همچنین ارزیابی GSA ها باید دلایل ارائه شده را پذیرش کند.

شاخص‌های پایایی در قانون SGMA و طرح آب کالیفرنیا

اصطلاح «شاخص پایایی» در مقررات GSP برای اشاره به «هر یک از اثرات ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی که ممکن است اثرات گسترده و نامعقول داشته و سبب پیامدهای نامطلوب گردد مورد استفاده قرار گرفته، لذا این شاخص‌ها کد قانون (x) ۱۰۷۲۱ توضیح داده شده است». لازم به ذکر است که اصطلاح «شاخص پایایی» برای SGMA منحصر به فرد نیست بلکه اصطلاح به‌روزرسانی شده‌ای از طرح آب کالیفرنیا ۲۰۱۳ می‌باشد که شامل یک چارچوب شاخص پایای آب کالیفرنیا است که از اصطلاح شاخص پایای به شیوه‌ای متفاوت از SGMA استفاده می‌کند. اما اکنون شاخص‌های پایایی در چارچوب طرح آب کالیفرنیا در مورد ارتباط وضعیت سیستم منابع آب با اکوسیستم‌ها، سیستم‌های اجتماعی و سیستم‌های اقتصادی اطلاع‌رسانی می‌کند. بدیهی است که مدیران و استفاده‌کنندگان آب نباید شاخص‌های پایایی در زمینه SGMA را با شاخص‌های پایایی طرح آب کالیفرنیا و سایر برنامه‌های مدیریت آب اشتباه بگیرند.

• شرایط گسترده و نامعقول پیامدها

GSA ها باید شرایطی را که در آن هر کدام از شش شاخص پایای در حوضه خود، از نظر گستردگی و نامعقول شدن پیامدهای نامطلوب بررسی و مستند نمایند. برای مثال GSA ممکن است تصمیم بگیرد که فرونشست را در نزدیکی زیرساخت‌های بحرانی نسبت به این پارامتر (به عنوان مثال یک کانال) و کاهش ظرفیت پمپاژ از چاه‌های دام و طیور در تحلیل کاهش سطح آب زیرزمینی، برای بررسی پیامدهای گسترده و نامعقول از هر دو پارامتر استفاده کنند. این شرح کلی شرایط گسترده و نامعقول مبتنی بر پیامدهای نامطلوب و چگونگی کمی‌سازی آنها در این گزارش توضیح داده شده است. ارزشیابی شرایط گسترده و نامعقول باید در هر ناحیه جغرافیایی به صورت جداگانه بررسی شود،

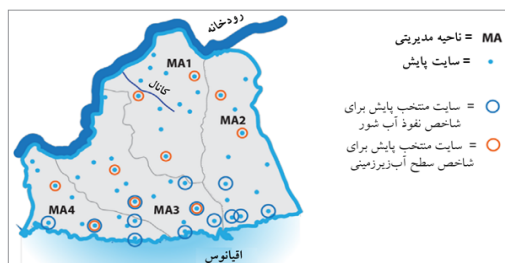
بنابراین GSA می‌تواند مکان‌های سایت پایش مناسب را برای رسیدن به این مهم (پایش دقیق پیامدهای نامطلوب) انتخاب کند.

• استفاده از نواحی مدیریتی

GSA ممکن است بخواهد مناطق مدیریتی را برای بخش‌های حوضه خود برای مدیریت و پایش آب زیرزمینی تعریف کند. مناطق مدیریتی ممکن است از طریق مرزهای طبیعی یا قضایی تعریف شوند و تفاوت ممکن است بر اساس بخش مصرف آب، نوع منبع آب، زمین‌شناسی یا ویژگی‌های آب‌خانه باشد. حوضه‌های مدیریتی ممکن است حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل‌اندازه‌گیری متفاوتی نسبت به حوضه‌های بزرگ داشته باشند و ممکن است با سطح متفاوتی پایش شوند. با این حال، GSA ها در حوضه باید توضیح دهند که چرا این تفاوت‌ها برای هر ناحیه مدیریتی، نسبت به دیگر نواحی مدیریتی حوضه مناسب هستند. GSA ها همچنین می‌توانند حداقل محدودیت‌های آستانه در این منطقه را نسبت به مابقی حوضه تعیین کنند. درحالی‌که در مناطق مدیریتی می‌توان حداقل آستانه‌های متفاوت، اهداف قابل‌اندازه‌گیری و دیگر بخش‌های GSP (به عنوان مثال، مدل مفهومی هیدروژئولوژیکی، بیلان آب، اطلاعات و اجتماعات) را تعریف کرد و همچنین باید کل منطقه GSP را دربرگیرد.

• سایت‌های پایش معرف

سایت پایش معرف زیر مجموعه‌ای از یک شبکه پایش کامل حوضه هستند، جایی که حداقل آستانه‌ها، اهداف قابل‌اندازه‌گیری و مقادیر میانکاره تعیین می‌شوند. سایت پایش معرف می‌تواند برای یک شاخص پایای یا شاخص‌های چندگانه پایای استفاده شوند. شکل (۱) نشان می‌دهد چگونه ترکیب‌های مختلف از سایت‌های پایش معرف می‌تواند برای ارزیابی نفوذ آب دریا و کاهش سطوح آب زیرزمینی در یک حوضه، استفاده شود. GSA ها می‌توانند مبتنی بر شرایط گسترده و نامعقول در یک حوضه سایت‌های پایش معرف را انتخاب کنند. با استفاده از مثال بحث شده در قسمت‌های پیشین، GSA ها تمایل به استفاده از ترکیبی متفاوت از سایت‌های پایش معرف برای فرونشست زمین که ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز است اتخاذ نمایند. GSA باید توضیح دهند که چگونه ترکیب از سایت‌های پایش معرف که برای هر یک از شاخص‌های پایای انتخاب شده‌اند، می‌توانند شرایط گسترده و نامعقول آب زیرزمینی را ارزیابی کنند.



شکل ۱- مثالی از شبکه پایش و سایت‌های منتخب پایش شبکه

• حداقل‌های آستانه

حداقل آستانه مقدار کمی از شرایط آب‌زیرزمینی است که در یک سایت پایش معرف نشان داده می‌شود؛ که در صورت تجاوز از حداقل آستانه در یکی و یا در ترکیبی از سایت‌های پایش معرف، ممکن است باعث به وجود آمدن پیامدهای نامطلوب در حوضه آبریز شود. GSA باید حداقل آستانه‌ها را در سایت‌های پایش معرف برای هر یک از شاخص پایایی با توجه به استفاده‌های مفید و منافع آب‌بران آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی، و منافع مالکین در حوضه تعیین نماید. حداقل آستانه باید به گونه‌ای تعیین شود که در دستیابی به اهداف پایایی برای حوضه‌های مجاور پیامد نامطلوبی به همراه نداشته باشد.

- اجزای مورد نیاز برای تمام حداقل‌های آستانه:

بر اساس مقررات GSP نیاز است تا اطلاعات مورد نیاز برای هر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی از شش معیار مستند شود. این شش معیار و ملاحظات برای اینکه چگونه آنها باید در نظر گرفته شوند به شرح زیر می‌باشد:

۱- اطلاعات و معیارهای مورد نیاز برای ایجاد و توجیه حداقل آستانه برای هر نشانگر پایایی فراهم شود. توجیه حداقل آستانه باید توسط اطلاعات ارائه شده از خصوصیات حوضه، و دیگر داده‌ها یا مدل‌های مناسب، کمی نمودن عدم قطعیت‌ها در فهم خصوصیات حوضه آبریز مورد پشتیبانی قرار گیرد. GSP باید شامل تجزیه و تحلیل و تفسیر اطلاعات، داده و منطق مورد استفاده برای تعیین حداقل آستانه باشد. به عنوان مثال، اگر حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی برای حفاظت از چاه‌های کم عمق (دام و طیور) تعیین شده باشد، GSA باید اطلاعاتی مانند: چاه‌های عمیق دام و طیور در نزدیکی سایت پایش معرف، ابعاد آبخانه، شرایط آب‌زیرزمینی و سایر اطلاعات مرتبط را بررسی کند.

۲- رابطه بین حداقل آستانه برای هر شاخص پایایی، شامل این تشریح که چگونه آژانس شرایط حوضه را در هر حداقل آستانه برای اجتناب از پیامدهای نامطلوب تعیین کرده است. به عبارت دیگر لازم است تا GSP رابطه بین هر شاخص پایایی را با حداقل آستانه را توصیف کند (به عنوان مثال، توصیف کند که چرا یا چگونه یک حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی در یک سایت پایش خاص تعیین شده، مشابه یا متفاوت با حداقل آستانه سطح آب در سایت پایش مجاور می‌باشد). GSP باید همچنین رابطه بین حداقل آستانه انتخاب شده و حداقل آستانه برای شاخص‌های پایایی دیگر را توصیف کند (به عنوان مثال، توصیف کند که چگونه حداقل آستانه سطح آب‌زیرزمینی باعث به بروز پیامدهای نامطلوب فرونشست زمین نخواهد شد).

۳- حداقل آستانه چگونه انتخاب شود تا از ایجاد پیامدهای نامطلوب در حوضه‌های مجاور و یا تأثیر در توانایی حوضه‌های مجاور برای دستیابی به اهداف پایایی، جلوگیری شود. GSP باید توضیح دهد که چگونه حداقل آستانه خسارتی را برای محدوده‌های مدیریتی مجاور به همراه نخواهد داشت. این را می‌توان با تفاهم‌نامه‌های

درون حوضه‌ای، مستندسازی برنامه‌های هماهنگی با GSA مجاور، و همچنین توصیف چگونگی سازگاری حداقل آستانه با معیارهای مدیریت پایا در محدوده مدیریتی مجاور مورد تشریح قرار گیرد. اطلاعات ارائه شده در GSP اولیه با گزارش‌های سالیانه و به روز رسانی‌های پنج ساله مورد توسعه و تکمیل قرار می‌گیرد. این موارد ممکن است که برای شکل‌گیری GSA در حوضه‌های مجاور و همچنین طرح‌ریزی حداقل آستانه و همچنین کمی‌سازی دیگر پارامترها برایشان بسیار مهم و به دردیخور باشد.

۴- گونه حداقل آستانه ممکن است بر منافع آب‌بران و استفاده‌های مفید از آب‌زیرزمینی، کاربری اراضی و یا سایر منافع تأثیر بگذارد. GSP باید چگونگی شرایط آب‌زیرزمینی در انتخاب حداقل آستانه که می‌تواند استفاده‌های مفید آب‌بران را تحت تأثیر قرار دهد تشریح نماید. این اطلاعات باید با استفاده از توصیف و شناسایی کاربردهای مفید آب‌زیرزمینی، مورد حمایت قرار گیرد. به عبارت دیگر GSA باید از طریق توسعه ارتباطات اجتماعی، یاریگری و مشارکت گروه‌های علاقمند، و همراه با هر گونه اطلاعات اضافی در تعیین حداقل آستانه‌ها مورد استفاده قرار دهد.

۵- به چگونه تعیین استانداردهای دولتی، فدرال یا محلی مربوط به شاخص پایایی توجه می‌شود. اگر حداقل آستانه با سایر استانداردهای پایش متفاوت باشد، آژانس باید ماهیت و مبنای تفاوت را توضیح بدهد. GSP باید در مورد استانداردهای مربوط به شاخص پایایی بحث کرده و هر تفاوت بین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی انتخاب شده و آن استانداردها را در نظر بگیرد. به عنوان مثال، GSP باید توجیه کند که اگر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی کیفیت آب در یک سطح متفاوت از سطح حداکثر آلاینده‌های ایالتی یا فدرال تنظیم شده است، چرا سطح متفاوت استفاده شده است.

۶- اندازه‌گیری هر حداقل آستانه چگونه مطابق با الزامات شبکه پایش که در بخش چهارم ذکر شده است، کمی‌سازی می‌شود. مطابق دستورالعمل چهارم که مربوط به چگونگی تنظیم مقررات GSP مرتبط با شبکه‌های پایش است باید توجه شود. در GSP باید کلیه معیارها را مورد پایش قرار دهد و مستندسازی نماید (مانند تغییرات تراز آب‌زیرزمینی، تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی) و همچنین تعداد دفعات پایش و زمان‌سنجی مناسب برای اندازه‌گیری (به عنوان مثال، دو بار در سال بهار و پاییز) را تعیین نماید.

شرح برای این شش مولفه برای تمام حداقل آستانه‌ها لازم است. با این حال، توصیف برای اجزای فردی می‌تواند برای حداقل آستانه آب‌زیرزمینی‌های چند گانه به اشتراک گذاشته شود. (در بعضی مثال‌ها، یک توصیف واحد می‌تواند برای توصیف اینکه چگونه گروهی از حداقل آستانه‌ها برای جلوگیری از پیامدهای نامطلوب در حوضه مجاور انتخاب شدند ارائه شود).

- الزامات کمی‌سازی حداقل آستانه برای هر شاخص پایایی:

علاوه بر شش مؤلفه که در بالا توضیح داده شد، که بر اساس آنها

حداقل آستانه‌ها تعیین شوند، مقررات GSP نیز دارای الزاماتی خاص و کمی‌سازی مربوط به هر شاخص پایایی می‌باشد. هدف از الزامات خاص، اطمینان از سازگاری با حوضه‌های مجاور آب‌زیرزمینی و عدم وقوع پیامد نامطلوب برای این حوضه‌ها می‌باشد. الزامات خاصی برای کمی‌سازی و همچنین اندازه‌گیری هر یک از نشانگرهای پایایی ذکر گردیده، در زیر شرح آن مطابق شکل (۲) آورده شده است:

- حداقل آستانه افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی شاخص پایایی است که با اندازه‌گیری تراز آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف کمی‌سازی شود.

- حداقل آستانه برای کاهش ذخیره آب‌زیرزمینی، حجم آب‌زیرزمینی است که می‌تواند مبتنی بر اندازه‌گیری در چندین سایت پایش منتخب از یک حوضه یا منطقه مدیریتی برداشته شود، به گونه‌ای که منجر به وقوع پیامدهای نامطلوب نشود. بر خلاف قاعده کلی برای تعیین حداقل آستانه‌ها، کاهش ذخیره آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف تعیین نمی‌شود و باید این حداقل آستانه برای یک حوضه و یا منطقه مدیریتی خاص تعیین شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه برای نفوذ آب شور، باید مبتنی بر موقعیت خطوط هم‌کلراید باشد. بر خلاف قانون کلی برای تعیین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی، در یک سایت پایش معرف تعیین نمی‌شود بلکه این حداقل آستانه بر اساس تغییر تمرکز خطوط کنتور در حوضه و یا یک ناحیه مدیریتی تعیین می‌شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب‌زیرزمینی با

اندازه‌گیری کیفیت در سایت‌های پایش مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این شاخص می‌تواند بر اساس جابه‌جایی آلاینده‌ها، تعداد چاه‌های عرضه آلودگی، حجم آب‌زیرزمینی آلوده شده، و یا محل قرار گرفتن (موقعیت) خطوط هم‌کیفیت آب در داخل حوضه باشد. بسته به اینکه چگونه GSA حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب‌زیرزمینی را تعریف می‌کند می‌توان بر اساس سایت پایش، خطوط هم‌کیفیت و یا تعبیر حجم آلودگی محاسبه شده تعیین شود.

- کمی‌سازی حداقل آستانه برای فرونشست زمین باید بر اساس نرخ و وسعت فرونشست زمین تعیین شود.

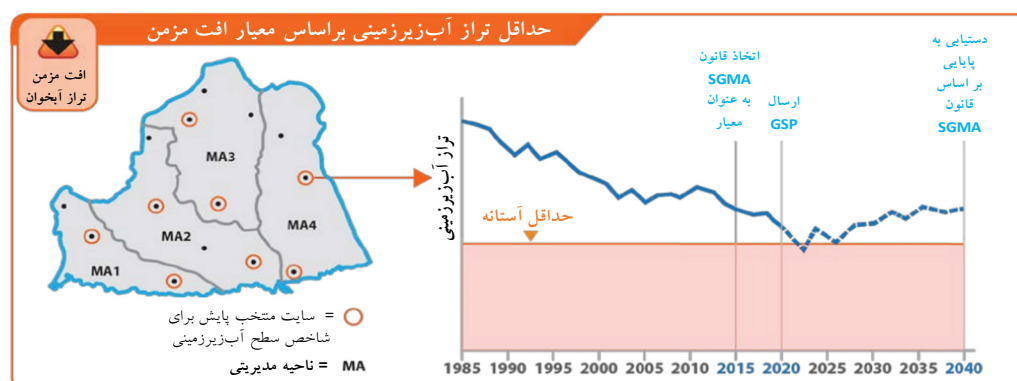
- کمی‌سازی حداقل آستانه تخلیه منابع آب‌سطحی براساس نرخ یا حجم تخلیه آب سطحی تعیین شود.

• حداقل آستانه افت مزمن سطح آب‌زیرزمینی

شکل (۳) هیدروگراف فرضی سطح آب‌زیرزمینی و حداقل آستانه مرتبط با آن را در سایت پایش معرف نشان می‌دهد. در این مثال فرضی GSA حداقل آستانه را در هنگام تحویل GSP تعیین می‌کند. توجه داشته باشید که این مثال و بسیاری از نمونه‌های بعدی در این دستورالعمل، از سال ۲۰۲۰ به عنوان زمان تحویل GSP استفاده می‌کنند. روز واقعی تعیین خواهد شد. GSP‌های مربوط به مناطق دارای اضافه برداشت و اولویت مدیریتی بالا و متوسط باید تا تاریخ ۳۱ ژانویه ۲۰۲۰ تحویل داده شوند.

شاخص‌های پایایی	کاهش تبادلات آب‌زیرزمینی و آب سطحی	فرونشست زمین	کاهش کیفیت آب‌زیرزمینی	نفوذ آب شور به آب‌زیرزمینی	افت ذخیره آب‌زیرزمینی	افت مزمن تراز آب‌زیرزمینی
پارامتر کمی مورد بررسی در مقررات GSP	حجم و یا نرخ تخلیه آب از منابع آب‌زیرزمینی به منابع آب سطحی	نرخ و میزان فرونشست زمین	گسترش آلودگی • تعداد چاه‌های تأمین آب • حجم آلودگی • مکان تراکم خطوط هم‌آلودگی	میزان تراکم خطوط هم‌کلراید	کل حجم آب‌زیرزمینی	تغییرات ارتفاع تراز آب‌زیرزمینی

شکل ۲- کمی‌سازی حداقل آستانه‌ها



شکل ۳- مثالی از تعیین حداقل آستانه افت مزمن تراز آب‌زیرزمینی در سایت پایش معرف

ملاحظات هنگام برقرار نمودن حداقل آستانه، برای آب زیرزمینی در یک سایت پایش معرف، ممکن است شامل موارد زیر باشد اما به آنها محدود نخواهند شد:

- شرایط گذشته آب زیرزمینی در حوضه چیست؟
- میانگین، حداقل و حداکثر عمق چاه‌های شهری، کشاورزی و دام‌وطیور چقدر است؟

- فواصل این چاه‌ها چه مقدار است؟
- تراز آب چه تأثیری بر هزینه‌های پمپاژ (به عنوان مثال هزینه انرژی برای برداشت آب) دارد؟

- حداقل آستانه در حوضه‌های مجاور برای آب زیرزمینی چقدر است؟
- خسارات بالقوه تغییر سطح آب زیرزمینی بر اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی چگونه است؟

- کدام آبخانه و یا آبخانه‌ها، سایت معرف ارزیابی پایش است؟

• حداقل آستانه کاهش ذخیره آب زیرزمینی

شکل (۴) یک گراف فرضی را نشان می‌دهد که حجم ذخیره آب زیرزمینی موجود در زمان حاضر و حداقل آستانه آب زیرزمینی مربوط به حوضه را مشخص می‌کند.

ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی برای کل ذخیره آبخانه ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- روندهای تاریخی، انواع سال‌های آبی و پیش‌بینی آب مصرفی (آب برداشت شده) در حوضه چگونه است؟

- چه مقدار ذخایر آب زیرزمینی برای تاب‌آوری در برابر خشکسالی‌های آینده مورد نیاز است؟

- آیا چاه‌ها تا گنون خشک شده‌اند؟
- ذخیره موثر آب در حوضه چه مقدار است؟ این مطلب ممکن است در برگیرنده درک موارد زیر باشد:

متوسط، حداقل و حداکثر عمق چاه‌های شهری، کشاورزی و دام و طیور. خسارات ناشی از هزینه‌های پمپاژ (به عنوان مثال، هزینه انرژی برای برداشت آب).

- حداقل آستانه آب زیرزمینی حوضه مجاور چقدر است؟

• حداقل آستانه نفوذ آب شور به آب زیرزمینی

شکل (۵)، تمرکز خطوط هم‌غلظت کلرید فرضی را برای دو آبخانه در یک حوضه ساحلی نشان می‌دهد. تمرکز خطوط هم‌غلظت به عنوان حداقل آستانه آب زیرزمینی برای نفوذ آب دریا استفاده می‌شوند.

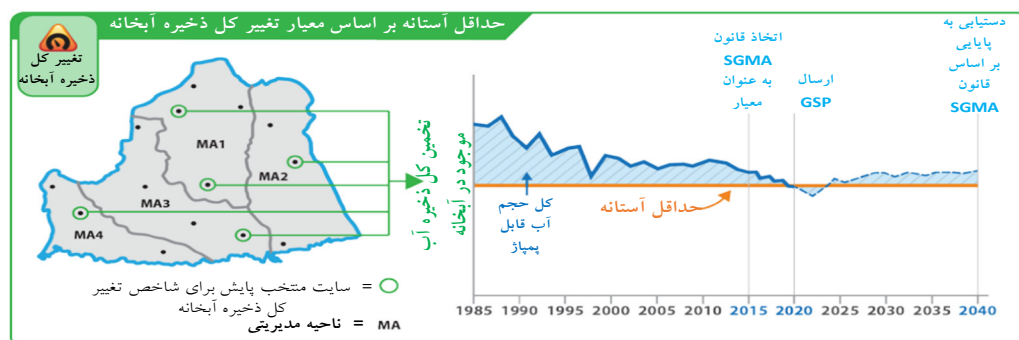
ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه برای نفوذ آب شور بر اساس تمرکز خطوط هم‌شوری (ایزو شوری) در یک مکان مشخص، که ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- نرخ گذشته و میزان نفوذ آب شور به آبخانه‌های اصلی که تحت تأثیر قرار گرفته اند چگونه است؟

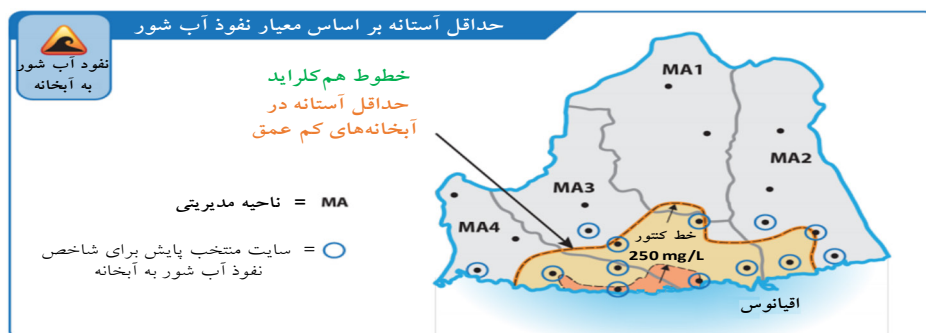
- کاربری اراضی در حوضه حساس به نفوذ آب شور چگونه است؟
- تأثیرات مالی نفوذ آب شور به چاه‌های کشاورزی، شهری و دام و طیور چیست؟

- اهداف برنامه شورای منطقه‌ای کنترل کیفیت آب در حوضه آبریز چیست؟

- حداقل آستانه برای نفوذ آب شور به آب زیرزمینی در حوضه مجاور چقدر است؟



شکل ۴- مثالی از تعیین حداقل آستانه ذخیره آبخانه در مقیاس حوضه آبریز



شکل ۵- مثالی از تعیین حداقل آستانه نفوذ آب شور به آب زیرزمینی بر اساس تمرکز خطوط هم‌کلرید

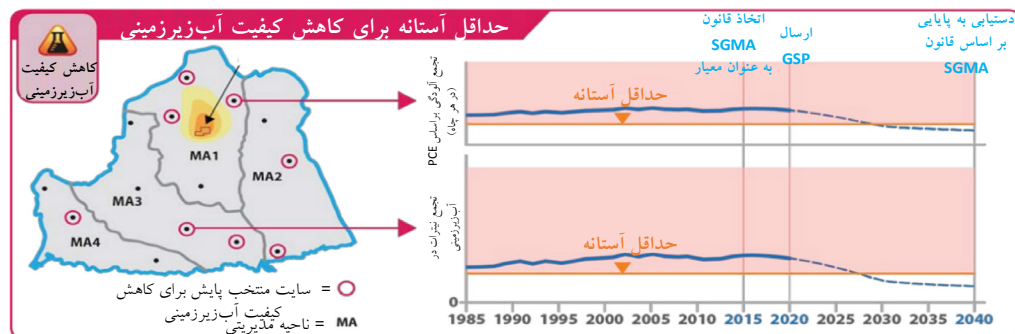
• حداقل آستانه کاهش کیفیت آب زیرزمینی

شکل (۶) دو حالت برای حداقل آستانه تغییر کیفیت آب زیرزمینی در یک حوضه نشان داده شده است. حداقل آستانه آب زیرزمینی نشان داده شده در نمودار بالا مربوط به منبع آلودگی نقطه‌ای (به عنوان مثال، PCE آزاد شده از شوینده‌ها)، در گراف دوم حداقل آستانه آب زیرزمینی مرتبط با منابع آلودگی غیر نقطه‌ای (به عنوان مثال، تغییرات نترات در آب زیرزمینی ناشی از فعالیت کاربری اراضی در مناطق مختلف) نشان داده شده است.

ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی برای کیفیت آب ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- روند تاریخی و تغییرات مکانی کیفیت آب در حوضه چگونه است؟
- تعداد چاه چاه‌های نفوذ آلودگی چقدر است؟
- کدام آب‌خانه‌ها برای اولین بار است که برای تأمین آب استفاده می‌شوند؟

- حجم تخمین زده شده از میزان آلودگی‌ها در حوضه چقدر است؟
- محدوده نفوذ عمده آلاینده‌ها بصورت افقی و یا عمودی در حوضه چیست و چگونه آلودگی‌ها می‌تواند تحت تأثیر الگوهای پمپاژ آب زیرزمینی در منطقه ای قرار گیرد؟
- استانداردهای کیفیت آب محلی، ایالتی و فدرال چیست؟
- منابع عمده آلودگی‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای در حوضه چه هستند و اجزای شیمیایی آنها چیست؟
- در حال حاضر چه پروژه‌های نظارتی و عملی برای رسیدگی به کاهش کیفیت آب در حوضه (برای مثال، یک پمپ آب زیرزمینی موجود و سیستم بهبود کیفیت انجام شده است و چگونه می‌توان با این اقدامات مدیریتی پیامدهای ناپذیر آلودگی بر آینده منابع آب زیرزمینی را مدیریت نمود؟
- حداقل آستانه (برای معیار تغییر کیفیت) آب زیرزمینی حوضه مجاور چقدر است؟



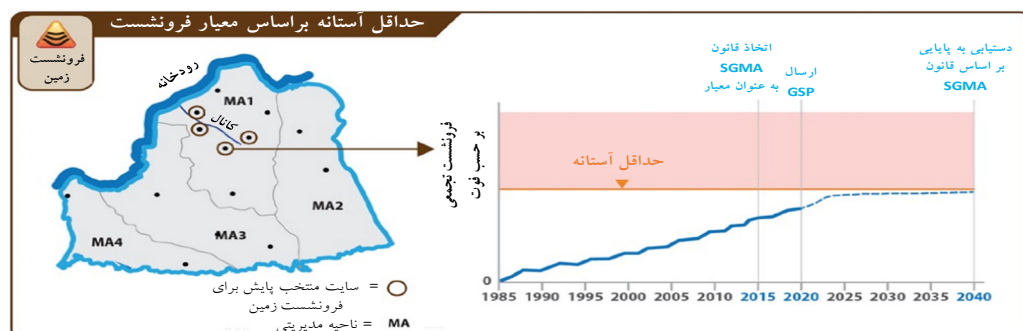
شکل ۶- مثالی از تعیین حداقل آستانه اضمحلال کیفیت آب زیرزمینی برای آلودگی‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای

• حداقل آستانه فرونشست زمین

شکل (۷) یک حداقل آستانه فرضی را برای فرونشست زمین در یک حوضه نشان می‌دهد. حداقل آستانه فرونشست آب زیرزمینی یک مقدار تجمعی از فرونشست را در یک نقطه معین نشان می‌دهد. ملاحظات در هنگام تعیین حداقل آستانه فرونشست زمین در یک سایت پایش منتخب، ممکن است شامل موارد زیر باشند اما به این موارد محدود نمی‌شوند:

- آیا آب‌خانه‌های اصلی در حوضه دارای سازندهای مستعد فرونشست می‌باشد؟

- تراز آب زیرزمینی تاریخی (گذشته)، در حال حاضر و پیش بینی شده، به خصوص پایین ترین نرخ تاریخی چه مقدار است؟
- نرخ گذشته و میزان فرونشست در حال حاضر چه مقدار است؟
- کاربری اراضی و ویژگی‌های آن در مناطق حساس به فرونشست چگونه است؟
- زیرساخت‌های مکانی و ظرفیت مناطق حساس به فرونشست (به عنوان مثال، کانال‌ها، خطوط لوله، خطوط راه آهن، کریدورهای عمده حمل و نقل) چه مقدار است؟
- حداقل آستانه فرونشست در حوضه مجاور چقدر است؟



شکل ۷- مثالی از حداقل آستانه فرونشست زمین

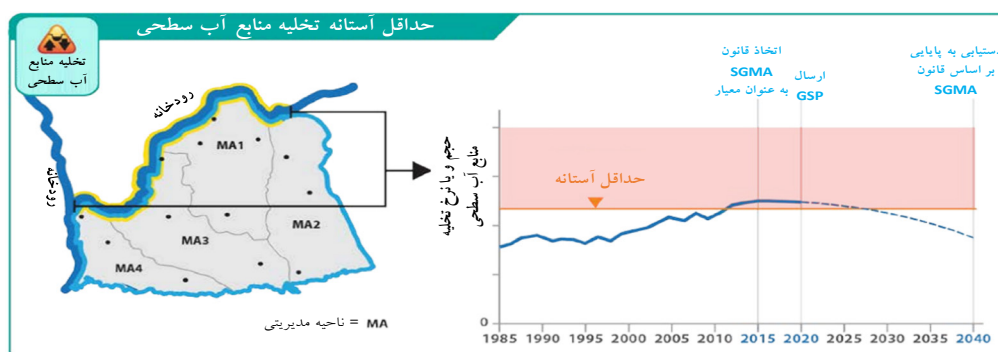
• حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی

شکل (۸) یک آستانه فرضی برای تخلیه حداقلی به منابع آب سطحی را نشان می‌دهد. یک مثال از میزان نرخ تخلیه (یا حجم تخلیه) از طریق پمپاژ آب زیرزمینی توسط مدل هیدرولوژیکی یکپارچه از حوضه شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. رویکردهای دیگر نیز برای نشان دادن کاهش جریان رودخانه‌ها، به جای استفاده از یک مدل عددی، ممکن است معتبر باشند. ملاحظات هنگام تعیین حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی ممکن است شامل موارد زیر باشند، اما به این موارد محدود نمی‌شوند:

- نرخ‌های گذشته تخلیه جریان رودخانه‌ها برای انواع مختلف سال

آبی (ترسالی و یا خشکسالی) چه مقدار است؟

- عدم قطعیت در تخمین میزان جریان رودخانه‌ها با ابزارهای تحلیلی و عددی چه مقدار است؟
- میزان نزدیکی و یا دوری ایستگاه‌های پمپاژ به جریان رودخانه‌ها چه مقدار است؟
- اکوسیستم‌های آبی وابسته به تخلیه آب زیرزمینی در کجای حوضه قرار دارند؟
- نیاز به منابع آب سطحی برای کشاورزی و شهری در این حوضه چقدر است؟
- جریان مناسب از نظر ایالت و یا دولت فدرال چه مقدار است؟



شکل ۸- مثالی از حداقل آستانه تخلیه منابع آب سطحی

• استفاده از ارتفاع آب زیرزمینی به عنوان شاخصی از دیگر نشانگرها

مقررات GSP به GSA ها اجازه می‌دهد که از ارتفاع آب زیرزمینی به صورت یک شاخصی از دیگر نشانگرها انتخاب نماید. این شاخص برای هر یک (و یا به طور بالقوه برای همه) شاخص پایایی در هنگام تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری، استفاده کند. GSP نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی و معیارهای دیگر همبستگی قابل توجهی دارند. دو رویکرد ممکن برای استفاده از تراز آب زیرزمینی به عنوان یک شاخصی از دیگر نشانگرها برای تعریف معیارهای مدیریت پایا عبارتند از:

(۱) حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری برای کاهش شدید تراز آب زیرزمینی به اندازه کافی قابل اطمینان است تا جلوگیری از رخداد‌های قابل توجه و غیر منطقی سایر شاخص‌های پایایی اطمینان حاصل شود. به عبارت دیگر، نشان می‌دهد که تعیین حداقل آستانه آب زیرزمینی، نه تنها برای حداقل آستانه افت مزمن سطح آب زیرزمینی، بلکه برای سایر شاخص‌های پایایی در یک سایت مشخص مورد استفاده قرار گیرد.

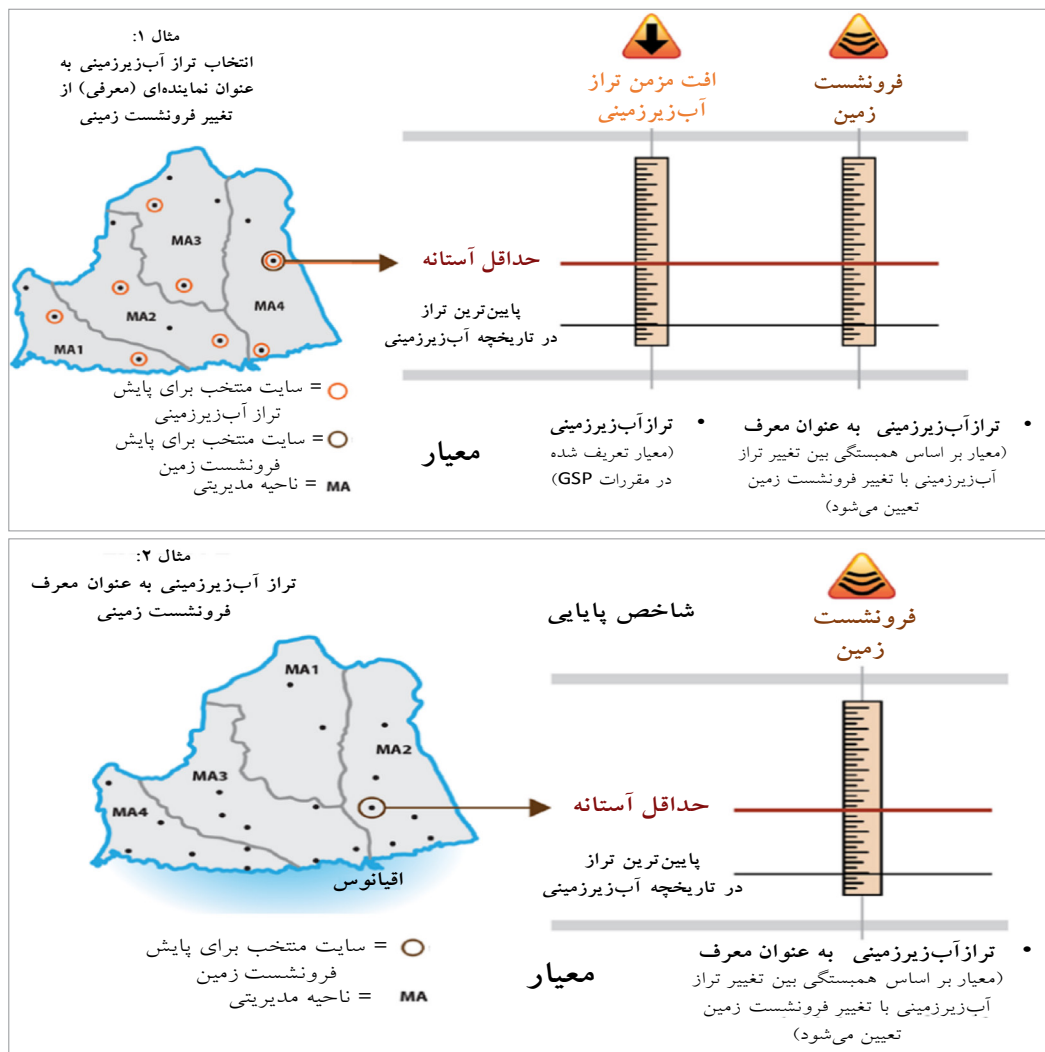
(۲) شناسایی سایت‌های پایش سطح آب زیرزمینی که حداقل آستانه آب زیرزمینی و اهداف قابل اندازه‌گیری بر اساس تراز آب زیرزمینی برای یک شاخص پایایی خاص طراحی شده است. به عبارت دیگر، استفاده از حداقل آستانه تراز آب زیرزمینی برای برآوردن حداقل الزامات آستانه

• فرونشست به عنوان یک مثال

همانطور که در زیر توضیح داده شده است، هر دو رویکرد می‌تواند برای فرونشست استفاده شوند.

رویکرد ۱: حداقل آستانه آب زیرزمینی بالای تراز بلندمدت سطح آب زیرزمینی باشد. GSA تعیین می‌کند و نشان می‌دهد که با اجتناب از حداقل آستانه آب زیرزمینی این اطمینان حاصل می‌شود که از فرونشست جلوگیری خواهد شد. در این رویکرد، GSA یک معیار عددی را برای دو نتیجه نامطلوب - افت مزمن آب زیرزمینی و فرونشست استفاده می‌کند (شکل ۹).

رویکرد ۲: GSA مناطق خاصی را که در معرض فرونشست قرار دارند، تعیین کرده است و پایین‌ترین سطح آب زیرزمینی گذشته در آن مناطق را شناسایی می‌کند و همچنین ثابت کرده است که تا زمانی که سطح آب زیرزمینی در بالاترین حدود تاریخی قرار داشته، هیچ فرونشست رخ نداده است. GSA حداقل آستانه آب زیرزمینی برای فرونشست زمین را بر اساس سطح آب زیرزمینی برای مناطقی که مستعد فرونشست هستند، توسعه می‌دهد (شکل ۹). این سایت‌های پایش معرف فرونشست زمین لزوماً شامل سایت‌های پایش معرف برای افت سطح آب زیرزمینی نیستند.



شکل ۹- مثال استفاده از ارتفاع آب زیرزمینی به عنوان یک نشانگری برای تخمین فرونشست

• پیامدهای نامطلوب

مدیریت پیامد نامطلوب جدید را انتخاب نماید).
GSP باید شامل تشریحی مناسب برای هر پیامد نامطلوب باشد. پیامدهای نامطلوب باید توسط تمام GSA ها در یک حوضه مورد توافق قرار گیرند. اگر بیش از یک GSP در حوضه وجود داشته باشد، باید تنها یک توصیف از پیامدهای نامطلوب که مورد توافق برای ایجاد هماهنگی استفاده شده، و مورد مستندسازی قرار گیرد. مقررات GSP برای هر پیامد نامطلوب به سه جزء نیاز دارد. این سه جزء و ملاحظات برای چگونگی مشخص کردن آنها باید به شرح زیر باشند:

۱- علت شرایط آب زیرزمینی در سراسر حوضه که منجر به پیامدهای نامطلوب می شود بر اساس اطلاعات خصوصیات حوضه، و سایر داده یا مدل ها به صورت مناسب تشریح می گردد^{۱۴}. GSP عواملی که می تواند منجر به پیامدهای نامطلوب شود را مستندسازی می کند. این عوامل ممکن است به صورت محلی و یا حوضه ای باشند. به عنوان نمونه ای از علل محلی برای پیامدهای نامطلوب، می توان به یک فعالیت گروهی برای برداشت از چاه های عمیق اشاره نمود که

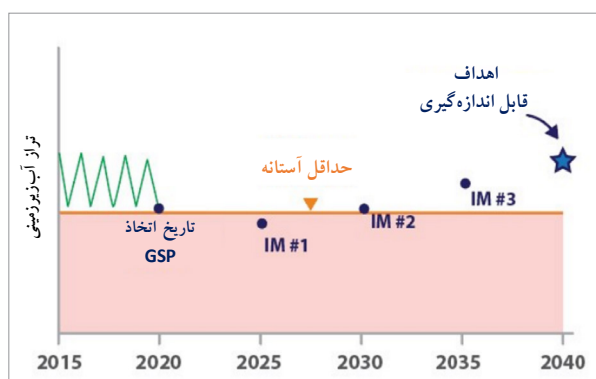
پیامدهای نامطلوب زمانی رخ می دهد که شرایط مربوط به هر کدام از ۶ شاخص پایایی، قابل توجه و غیر منطقی شوند. این پیامدهای نامطلوب توسط اداره آب مورد ارزیابی قرار می گیرد تا میزان دستیابی به هدف پایایی مشخص شود. تمام پیامدهای نامطلوب مبتنی بر عبور از حداقل آستانه آب زیرزمینی خواهد بود. این پیامدهای نامطلوب با عبور از حداقل آستانه در یک سایت پایش، سایت های پایش چندگانه، بخشی از یک حوضه، یک ناحیه مدیریتی، یا یک حوضه کامل تعریف می شود. عبور از حداقل آستانه آب زیرزمینی در یک سایت پایش لزوماً منجر به پیامد نامطلوب نمی شود، اما این امر می تواند باعث تغییر یک یا چند اقدام مدیریتی یا اجرای یک پروژه برای بهبود وضعیت منطقه، قبل از اینکه پیامد نامطلوب در سراسر حوضه توسعه یابد شود. با این حال، GSP هنگامی که یک پیامد نامطلوب ایجاد می شود باید آن را مورد توجه قرار دهد (به عبارت دیگر اقدامات اصلاحی برای

می‌شود یا اینکه در طی دوره ۲۰ ساله پایا نخواهد ماند. با این حال، GSP ها باید به طور شفاف یک مسیر برنامه‌ریزی شده برای دستیابی به پایایی را در قالب مقادیر میانکاره مشخص تعریف کنند و میزان پیشرفت واقعی را در گزارش سالیانه را نشان دهند. عدم حذف پیامدهای نامطلوب در طول دوره ۲۰ ساله و یا عدم پیاده‌سازی GSP برای دستیابی به هدف پایایی یک حوضه، برای اداره آب کالیفرنیا بدین معنا است که مقررات GSP ناکافی بوده و باید با مداخله شورای کنترل منابع آب همراه شود. شکست GSA در برآورده نمودن مقادیر میانکاره می‌تواند نشان‌دهنده این مورد باشد که GSA شانس برای دستیابی به هدف پایای حوضه ندارد.

• مثالی از پیامدهای نامطلوب

این بخش مثال ساده‌ای را برای نشان دادن رابطه بین برخی معیارهای مدیریت پایا ارائه می‌دهد. به عنوان نمونه برای یک شاخص پایای (کاهش سطح آب‌زیرزمینی)، با استفاده از ارتفاع آب‌زیرزمینی است. مفاهیم در این مثال می‌توانند به دیگر شاخص‌های پایای با استفاده از معیارهای دیگر تعمیم داده شوند.

به عنوان نمونه در (شکل ۱۰) یک حوضه فرضی با حداقل مقادیر آستانه، اهداف قابل‌اندازه‌گیری و اهداف قابل‌اندازه‌گیری برای سطوح آب‌زیرزمینی را در شبکه‌ای با هشت نقطه پایش معرف تعیین شده است؛ به منظور ساده‌کردن این مثال، فرض شده است که معیارها در هر چاه یکسان هستند. پس از در نظر گرفتن شرایطی که در آن کاهش سطح آب‌زیرزمینی قابل توجه و نامعقول می‌شود، GSA عبور از حداقل آستانه (به عنوان نمونه پایین افتادن سطح آب‌زیرزمینی به پایین‌تر از حداقل آستانه آب‌زیرزمینی) در سه یا چند سایت پایش معرف (مطابق شکل ۱۰) را می‌تواند به عنوان پیامدهای نامطلوب اعلام کند.



شکل ۱۰- مثال حداقل آستانه آب‌زیرزمینی، مقادیر میانکاره (IM) و اهداف قابل‌اندازه‌گیری

بر اساس هر یک از سناریوها، GSA پایش تراز آب‌زیرزمینی را در هر یک از سایت‌های پایش معرف برای دوره ۲۰ ساله در GSP اعمال و سپس ارسال می‌نماید.

موجب فرونشست قابل توجه و نامعقول زمین در نزدیکی کانال‌ها می‌شوند اشاره نمود. به عنوان نمونه‌ای دیگر از این علل در سطح حوضه‌ای، به برداشت بیش از حد آب‌زیرزمینی که منجر به کاهش قابل توجه و نامعقول ذخیره آب‌زیرزمینی شود اشاره نمود. اغلب چندین دلایلی برای شرایط نامعقول و گسترده آب‌زیرزمینی وجود خواهد داشت و GSA ها باید هر کدام از این عوامل را مورد بررسی قرار دهند. حتی اگر یک حوضه در حال حاضر پیامدهای نامطلوبی نداشته باشد، مطابق مقررات GSP هر GSA نیاز دارد تا دلایلی را که منجر به پیامدهای نامطلوب می‌شوند را بررسی کند و پیامدهای نامطلوب را با استفاده از حداقل آستانه مورد تعریف قرار دهند.

۲- برای تعریف زمان و مکانی که آب‌زیرزمینی تحت شرایط پیامدهای نامطلوب قرار می‌گیرد مطابق کاربرد هر شاخص پایایی از معیارها استفاده می‌شود. معیارها باید مبتنی بر توصیفی کمی برای عبور از حداقل آستانه و همچنین اثرات قابل توجه و نامعقول پیامدهای نامطلوب در حوضه باشند. مقررات GSP نیازمند این است که پیامدهای نامطلوب را با استفاده از عبور از حداقل آستانه کمی نماید. لازم است که GSA ها انعطاف‌پذیری قابل توجهی در تعریف و ترکیب عبور از حداقل آستانه و پیامدهای نامطلوب لحاظ نمایند. GSA ها باید هنگام تعیین معیارهای پیامدهای نامطلوب، مقیاس‌های مکانی مورد ارزشیابی قرار دهند. به عنوان نمونه دو حوضه آبریز را در نظر بگیرید. در حوضه اول، عمق ۵۰ درصد از چاه‌ها پایین‌تر از حداقل آستانه تعیین شده قرار داشته، و در حوضه دوم، عمق همه چاه‌ها به جز یک چاه (که تراز آن ۸۰۰ فوت پایین‌تر از حد آستانه می‌باشد) بالاتر از حداقل آستانه آب‌زیرزمینی قرار داشته باشند. در حقیقت هر دو حوضه پیامد نامطلوب دارند GSA ها باید برای محافظت در برابر پیامدهای نامطلوب این دو حوضه سناریوهای مدیریتی متفاوتی تعریف کنند.

۳- اثرات بالقوه پیامدهای نامطلوب بر آبران، استفاده‌های مفید، کاربری اراضی و ... باید مورد تحلیل قرار گیرد. GSA باید با کسب اطلاع از آبران، کاربری اراضی، مالکین و استفاده‌های مفید آب‌زیرزمینی اثرات بالقوه هر یک از پیامدهای نامطلوب برای حوضه را توصیف کند. این توصیف باید دقیق باشد و مشخص کند که چگونه تأثیرات بالقوه پیامدهای نامطلوب بر آبران و دیگر استفاده‌های مفید در نظر گرفته شده است.

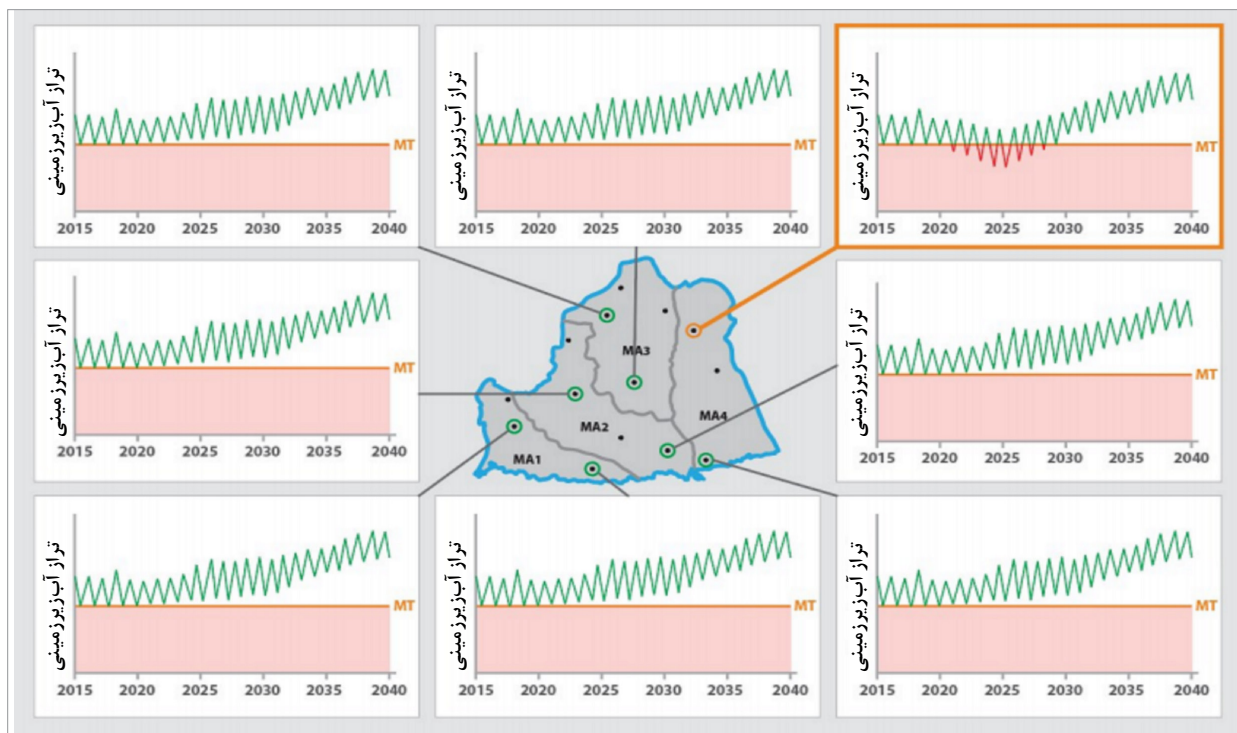
• تجزیه و تحلیل تغییر پیامدهای نامطلوب

اجتناب از پیامدهای نامطلوب تعریف شده باید در طی ۲۰ سال پیاده‌سازی GSP (دوره ۲۰ ساله) به دست آید. بعضی از حوضه‌ها ممکن است پیامدهای نامطلوب در دوره ۲۰ سال را تجربه کنند، به ویژه اگر حوضه‌ای از ۱ ژانویه ۲۰۱۵، پیامدهای نامطلوبی داشته باشد. وقوع یک یا چند پیامد نامطلوب در دوره ۲۰ ساله اول لزوماً نشان‌دهنده این نیست که یک حوضه به طور مداوم مدیریت

سناریو ۱ - گذر از حداقل آستانه بدون ایجاد پیامدهای نامطلوب

در این سناریو (شکل ۱۱)، یکی از هشت سایت پایش معرف، بعد از گذشت چند سال از تحویل GSP از حداقل آستانه گذر کرده است. پس از این دوره، سطح آب زیرزمینی در سایت پایش معرف افزایش می‌یابد و بالاتر از حداقل آستانه آب زیرزمینی باقی می‌ماند. سطح آب زیرزمینی در تمامی دیگر سایت‌های پایش بیش از حداقل آستانه

آب زیرزمینی برای مدت ۲۰ سال پس از تحویل GSP می‌باشد. سطح آب زیرزمینی در تمام سایت‌های پایش بالاتر از هدف قابل اندازه‌گیری در انتهای دوره ۲۰ ساله است. علیرغم گذر یک سایت پایش معرف از حداقل آستانه، این حوضه هرگز پیامد نامطلوب برای شاخص‌های پایای را تجربه نکرده است. GSP اولیه در دوره ۵ ساله اول مدیریتی خود از حداقل آستانه عبور نکرده است.



شکل ۱۱- مثالی از سایت پایش معرف تراز آب زیرزمینی (سناریوی ۱)

سناریو ۲- گذر از حداقل آستانه همراه با پیامدهای نامطلوب حذف شده در دوره ۲۰ ساله

در این سناریو مطابق شکل ۱۲، هشت سایت پایش معرف بعد از چندین سال که GSP به تصویب رسیده است، چگونگی عبور از حداقل آستانه تحلیل شده است. مطابق شکل سه مورد از هشت مورد سایت پایش معرف، در طی این دوره چند ساله از حداقل آستانه گذر کرده‌اند. پس از این دوره، سطح آب زیرزمینی در این سه سایت پایش معرف افزایش می‌یابد و بالاتر از حداقل مربوط به آن باقی می‌ماند. سطح آب زیرزمینی در تمامی سایت‌های پایش معرف دیگر بیش از حداقل آستانه برای کل دوره ۲۰ ساله و پس از تحویل GSP می‌باشد. سطح آب زیرزمینی در تمام سایت‌ها در حدود یا بالاتر از هدف قابل اندازه‌گیری در انتهای دوره ۲۰ ساله است.

در مقایسه با سناریو ۱، این حوضه در طی دوره حداقل عبور آستانه در سه چاه پایش معرف، یک نتیجه نامطلوب را تجربه کرد. با این حال، حوضه به طور مداوم مدیریت می‌شود، زیرا GSA برای مدت زمانی که از حد معین آستانه عبور کرده است، از طریق اهداف قابل اندازه‌گیری خود برنامه‌ریزی شده‌اند و به همین دلیل

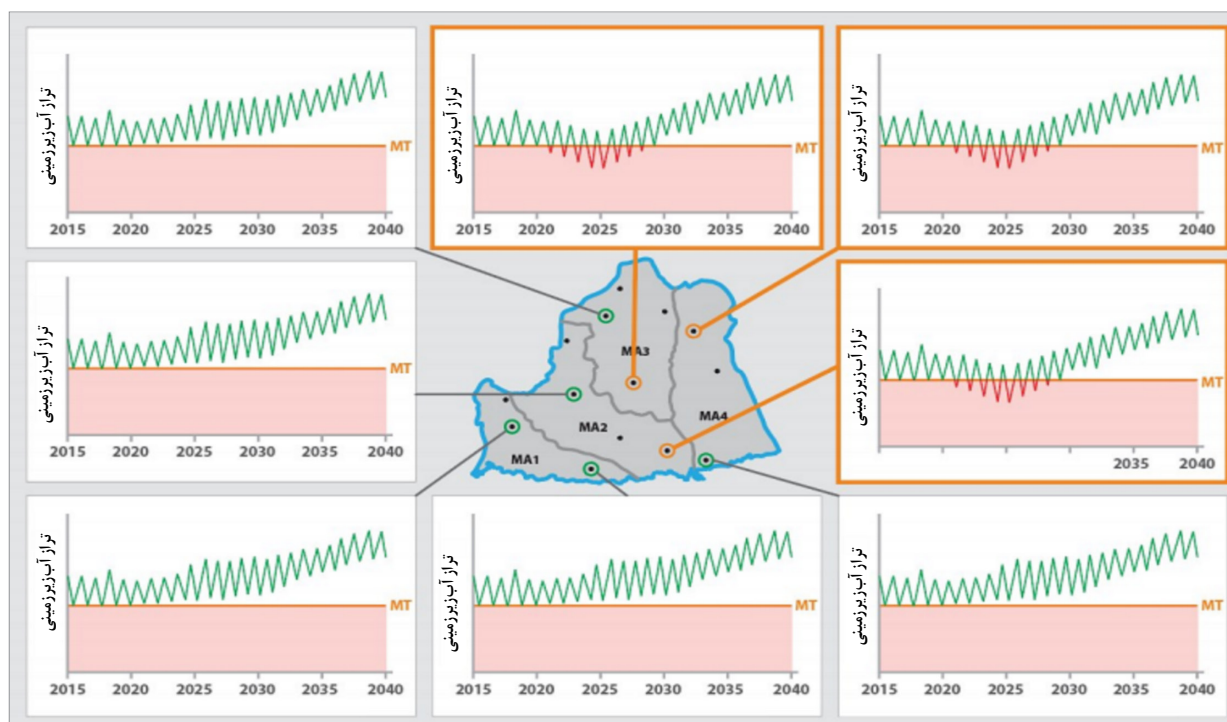
GSA پروژه‌های لازم و اقدامات مدیریتی را برای از بین بردن نتیجه نامطلوب و رسیدن به هدف قابل اندازه‌گیری اجرا کرده است. لازم به ذکر است که باید توجه داشته باشید که اگر GSA‌ها در این حوضه فرضی برای از بین بردن پیامدهای نامطلوب برنامه‌ریزی نکرده بودند و از طریق مقادیر میان‌کاره موقت مناسب یا پروژه‌های لازم و اقدامات مدیریتی اتخاذ نمی‌نمود احتمال اینکه GSA به هدف پایای حوضه در طی دوره ۲۰ ساله برسد خیلی کم است بنابراین آنگاه خود اداره آب می‌توانست اهدافی جدید را برای رسیدن به پایایی به GSA تحمیل نماید.

سناریو ۳- گذر از حداقل آستانه و ایجاد پیامدهای نامطلوب بدون اینکه دوره ۲۰ ساله مورد حذف قرار گیرد

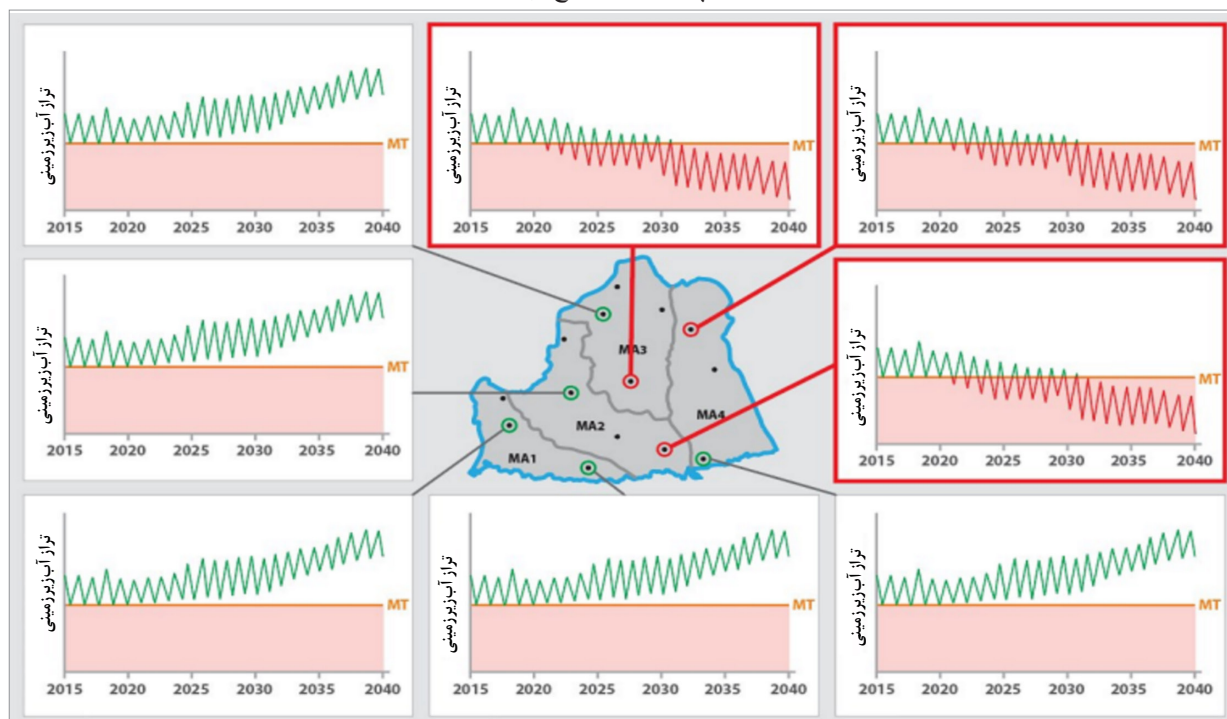
در این سناریو (شکل ۱۳)، سطح آب زیرزمینی در طی دوره ۲۰ ساله پس از ارسال GSP، در سه سایت پایش معرف، کاهش می‌یابد و به طور معنی‌داری کمتر از حد آستانه و مقادیر میانکاره شده است. زمانی که سه سایت پایش از حداقل آستانه عبور می‌کنند و پیامدهای نامطلوب در طول دوره ۲۰ ساله ادامه می‌یابد این حوضه قطعاً پیامدهای نامطلوب قابل توجهی را تجربه می‌کند.

بخش دولتی در دوره ۲۰ ساله خواهد شد. بحث در مورد جزئیات مداخلات فراتر از بحث این یادداشت می‌باشد که به خوانندگان محترم توصیه می‌شود به اصل قانون مراجعه نمایند. لازم ذکر است که مداخلات معطوف به انتهای دوره نمی‌باشد بلکه در طی دوره ۲۰ سال و پس از ارائه GSP نیز برای بخش دولتی فراهم است.

در این سناریو، حوضه اهداف مدیریت پایای آب‌یرزمینی خود نرسیده است. اگرچه این نمونه پیامدهای نامطلوبی را برای دوره ۲۰ سال نشان می‌دهد، اما در یک وضعیت واقعی، اداره احتمالاً تعیین می‌کند که این احتمال وجود ندارد که GSA به هدف پایای در دیگر مقادیر میانکاره برسد و در نتیجه باعث مداخله مستقیم



شکل ۱۲- مثالی از سایت پایش معرف سطح آب‌یرزمینی (سناریوی ۲)

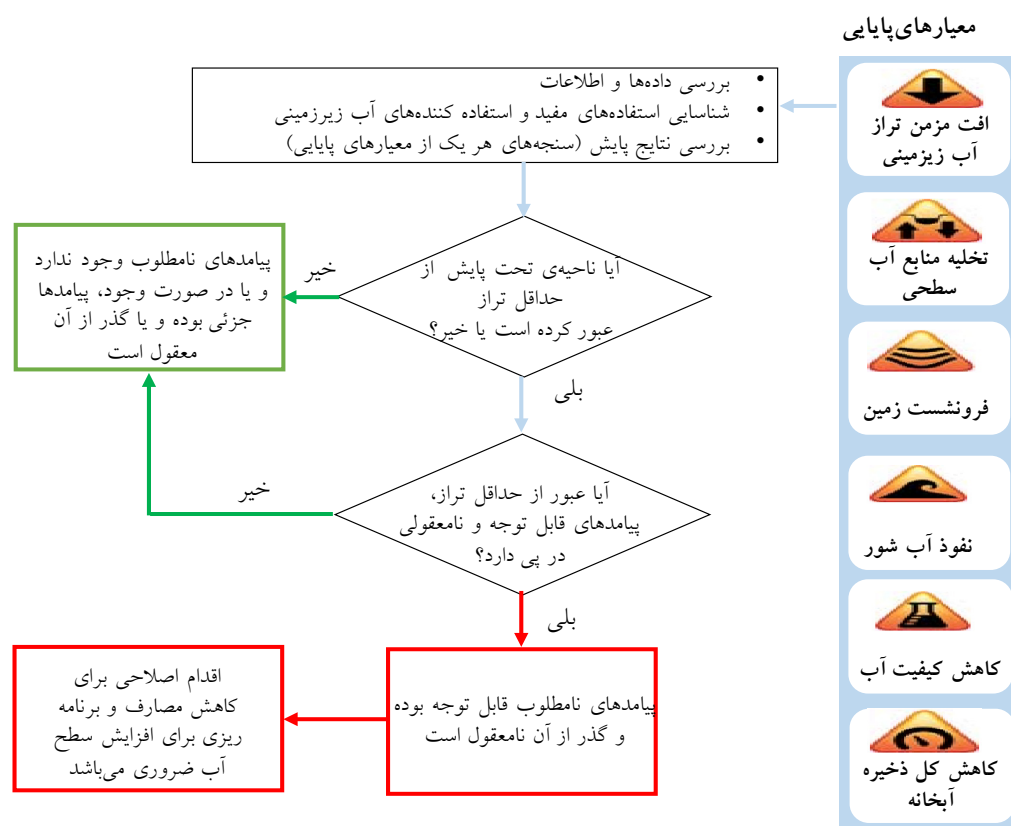


شکل ۱۳- مثالی از سایت پایش معرف سطح آب‌یرزمینی (سناریوی ۳)

• رابطه بین شاخص‌های پایای، حداقل آستانه و پیامدهای نامطلوب

همانگونه که تشریح شد شاخص‌های پایایی شرایط آب‌زیرزمینی را هنگامی که پیامدهای نامطلوب به صورت نامعقولی شروع به گسترش نمایند را در سراسر حوضه نشان می‌دهند. به عنوان مثال، کاهش چشم‌گیر تخلیه از منابع آب‌سطحی به دلیل پمپاژ آب‌زیرزمینی یک شاخص پایای می‌شود زیرا این امکان فراهم است تا این اثر به وسیله شبکه پایش منابع آب‌زیرزمینی مورد ردیابی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. نتایج این بررسی می‌تواند نشان دهد که آیا نقصان در دبی منابع آب سطحی قابل توجه و غیر منطقی می‌باشد یا خیر. شاخص‌های پایای هنگامی می‌توانند مورد کاربرد قرار گیرند که

حداقل آستانه برای هر یک از شاخص‌های پایایی توسط GSA تعریف شود. بدیهی است که هنگامی که شاخص از حداقل تعریف شده تجاوز نماید، پیامدهای نامطلوب قابل تبیین خواهند بود. لذا تجاوز از حداقل آستانه و نیز گسترش پیامدهای نامطلوب به سطح حوضه آبریز نامعقول بوده و باید مورد کنترل قرار گیرد. رابطه بین شاخص‌های پایای، حداقل آستانه آب زیرزمینی و پیامدهای نامطلوب در شکل (۱۴) نشان داده شده است. مبتنی بر این چارچوب هر ناحیه مدیریت می‌تواند در انتها دوره اقدامات گذشته خود را ارزیابی نموده و اقدامات اصلاحی متناسب با شرایط حوضه تجویز نمایند.



شکل ۱۴- کاربست معیارهای پایایی آب زیرزمینی

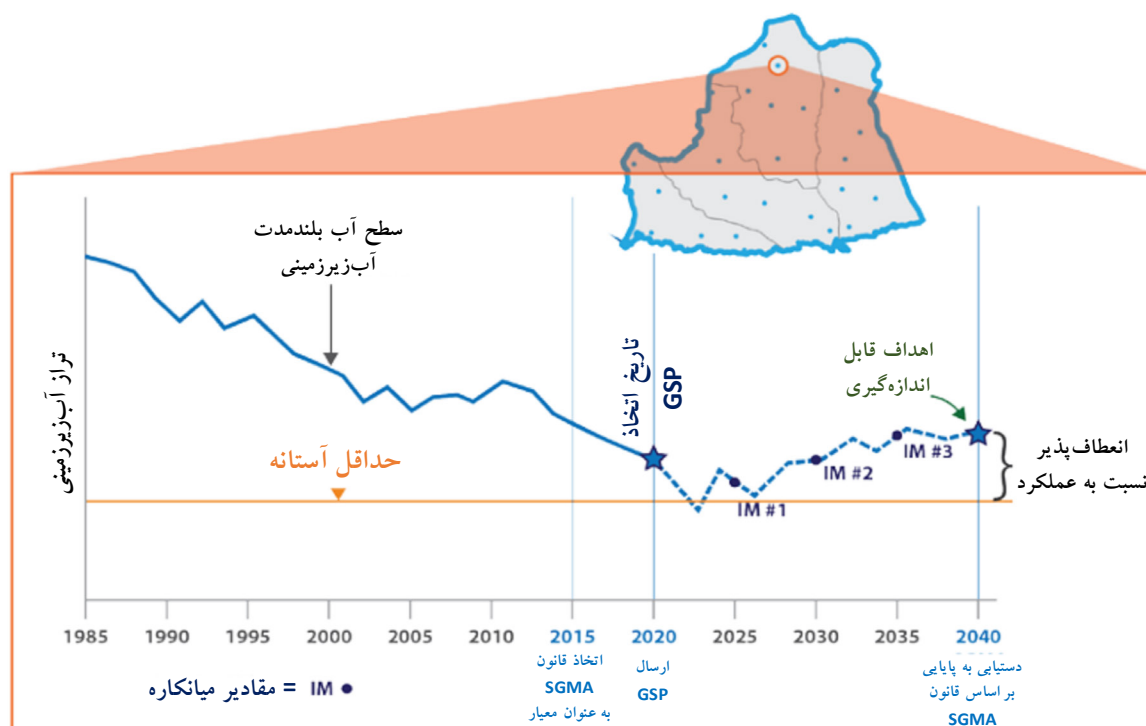
• اهداف قابل اندازه‌گیری

اهداف قابل اندازه‌گیری اهداف کمی هستند که منعکس کننده شرایط آب‌زیرزمینی در حوضه مورد نظر می‌باشد و اجازه می‌دهد که GSA طی ۲۰ سال به هدف پایای دست یابد. اهداف قابل اندازه‌گیری برای هر شاخص پایای در سایت‌های پایش معرف یکسان است و با استفاده از معیارهای مشابه به عنوان حداقل آستانه آب‌زیرزمینی تعیین می‌شود. اهداف قابل اندازه‌گیری باید تنظیم شود تا حاشیه قابل قبولی از انعطاف پذیری عملیاتی (شکل ۱۵) بین حداقل آستانه آب‌زیرزمینی و هدف قابل اندازه‌گیری وجود داشته باشد که به خشکسالی، تغییرات آب‌وهوایی، عملیات استفاده مشترک یا سایر

فعالیت‌های مدیریت آب‌زیرزمینی بستگی دارد. استثنائاتی در این قاعده کلی وجود دارد. برای مثال، اگر حداقل آستانه آب‌زیرزمینی برای تخریب زمین صفر باشد، هدف قابل اندازه‌گیری نیز می‌تواند صفر باشد. پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی که در GSPها موجود است برای رسیدن به اهداف قابل اندازه‌گیری با شرح مختصری از این که چگونه این پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی به اهداف مورد نظر خود دست می‌یابند باید طراحی شوند. علاوه بر هدف قابل اندازه‌گیری، نقاط قوت موقت باید با افزایش دوره‌های پنج ساله در هر سایت پایش معرف، با استفاده از معیارهای مشابه به عنوان هدف قابل اندازه‌گیری، همانطور که در شکل (۱۵)

نشان داده شده است تعریف شوند. این اهداف قابل اندازه‌گیری توسط GSA ها و اداره‌ها برای پیگیری پیشرفت در جهت دستیابی به هدف پایای حوضه استفاده می‌شوند. اهداف قابل اندازه‌گیری باید با پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی پیشنهادی GSA جهت دستیابی به هدف پایای هماهنگ شوند. برنامه‌ای برای اجرای پروژه‌ها و اقدامات مدیریتی، بر چگونگی رسیدن به اهداف قابل اندازه‌گیری

(یعنی مسیر دستیابی به مدیریت منابع آب پایا) موثر خواهد بود. این اداره به صورت دوره‌ای (حداقل هر پنج سال) GSP ها را بررسی می‌کند تا دیگر فاکتورهای مورد نیاز را تعیین نموده، میزان شکست و یا موفقیت در برآورده نمودن اهداف میان‌کاره و همچنین میزان توانایی GSA ها را در یک حوضه برای دستیابی به هدف پایای مورد ارزیابی قرار دهد.



شکل ۱۵- ارتباط بین حداقل آستانه، اهداف قابل اندازه‌گیری، مقادیر میانکاره (IM) و مقدار فاصله برای انعطاف پذیری اقدامات در سایت پایش معرف

• مسیر دستیابی به مدیریت پایای آب زیرزمینی

مسیر و یا راه‌های بسیار زیادی برای دستیابی به مدیریت پایای آب زیرزمینی بر اساس شرایط آب زیرزمینی و تعیین ارزش‌های محلی وجود خواهد داشت. شکل (۱۶) رابطه بین حداقل آستانه آب زیرزمینی، اهداف قابل اندازه‌گیری و اهداف میانکاره عملیاتی برای حوضه فرضی را نشان می‌دهد. در مثالی که برای شکل (۱۶) استفاده شده است، پیش‌بینی می‌شود که با وجود تهیدات در نظر گرفته شده باز هم سطح آب زیرزمینی ابتدای پنج سال اول پس از تصویب GSP کاهش یابد ولی سپس در ۱۵ سال آینده افزایش یابد تا به اهداف قابل اندازه‌گیری برسد. با افزایش دوره پنج ساله، اهداف قابل اندازه‌گیری برای بررسی پیشرفت حوضه به اهداف کوچکتری به نام اهداف میان‌کار تبدیل می‌شوند. در شکل (۱۶)، بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده هرگز اهداف قابل اندازه‌گیری به زیر آستانه حداقل کاهش نمی‌یابند. این فقط یک نمونه از مسیری‌هایی است که برای دستیابی به پایای مورد تشریح قرار گرفته است. اداره آب این حقیقت را که مسیرهای مختلفی در دستیابی به پایای

بر اساس شرایط حوضه، پیش‌بینی عرضه و تقاضا و پیاده‌سازی پروژه‌های تغذیه آب زیرزمینی وجود دارد را تصدیق می‌کند. سه مسیر بالقوه دیگر را نیز که ممکن است تا در مسیر پایایی رخ دهد را در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

SGMA معتقد است که یک GSP ممکن است، پیامدهای نامطلوبی را که پیش از این رخ داده است، و تا تاریخ ۱ ژانویه ۲۰۱۵ اصلاح نشده باشد را بررسی کند. هنگامی که حداقل آستانه آب زیرزمینی توسعه یافته باشد و یک نتیجه نامطلوب به صورت عددی تعریف شده باشد، GSA می‌تواند ارزیابی کند که آیا این نتیجه نامطلوب قبل از ۱ ژانویه سال ۲۰۱۵ وجود داشته است. تا زمانی که GSA مشخص نکرده باشد که چه چیزی شرایط قابل توجه و غیر منطقی (یک نتیجه نامطلوب) را تعیین می‌کند، این ارزیابی امکان‌پذیر نیست. اگر ارزیابی نشان دهد که یک نتیجه نامطلوب قبل از ۱ ژانویه ۲۰۱۵ رخ داده است، GSA باید اهداف قابل اندازه‌گیری را که برای حفظ یا بهبود شرایطی که در سال ۲۰۱۵ اتفاق افتاده است، تعیین کند. GSA باید مسیری را که با اهداف

قابل اندازه‌گیری مناسب مشخص شده است، برای رسیدن به شرایط ۲۰۱۵ و حفظ آن در طی زمان بندی ۲۰ ساله اجرا کند.

GSA ها باید یک هدف پایای را که برای کل حوضه قابل استفاده است، توسعه دهند. اگر چندین GSP برای یک حوضه جداگانه توسعه یافته باشند، هدف پایای باید در تفاهم‌نامه هماهنگی حوضه ارائه شود. هدف پایای باید به طور خلاصه اهداف سازمان GSA، شرایط مطلوب حوضه آب‌زیرزمینی، نحوه دستیابی

حوضه به شرایط مورد نظر و نحوه رسیدن به موفقیت توسط اقدامات برنامه‌ریزی شده را مشخص کند. برخلاف سایر معیارهای مدیریت پایا، هدف پایای کمی نیست. در عوض، با حداقل آستانه آب‌زیرزمینی در سطح محلی تعیین شده و پیامدهای نامطلوب مدیریت می‌شود. بدیهی است که عدم وجود پیامدهای نامطلوب، حاکی از آن است که حوضه مبتنی بر آبدهی پایا اقدام نموده و د و بنابراین هدف پایای حاصل شده است.



شکل ۱۶- پتانسیل‌ها برای طی مسیر دستیابی به پایایی

GSA باید در هنگام توسعه اهداف پایایی موارد زیر را در نظر بگیرد:
شرح هدف: توصیف هدف باید به طور کیفی هدف یا مأموریت GSA را برای حوضه تعیین کند. شرح هدف باید هدف کلی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی را پایا نگه دارد و ارزش های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی درون حوضه را انعکاس دهد.

بحث در مورد نحوه اندازه گیری: هدف پایایی باید به طور خلاصه اقداماتی قابل اجرا را تعیین کند. این شرح اقدامات باید با توصیف پروژه ها و اقدامات مدیریتی که در GSP پیشنهاد شده است هم راستا باشند. هر چند جزئیات کمتری در آن آورده شده باشد. نمونه هایی از اقداماتی که GSA می تواند انجام دهد شامل کاهش تقاضا و توسعه پروژه های تغذیه آب زیرزمینی است. باید تأکید نمود که این اقدامات باید منجر به بهره برداری از حوضه مبتنی بر آبدهی پایا گردد.

تشریح چگونگی دستیابی به اهداف در طی ۲۰ سال: هدف پایایی باید چگونگی پیاده سازی اقدامات پایا را بیان کند. برای مثال، اگر اقدامات شامل کاهش تقاضا و اجرای پروژه های تغذیه آب زیرزمینی باشد، باید مشخص گردد که چگونه این اقدامات منجر به پایایی خواهد شد (به عنوان مثال، افزایش سطح آب زیرزمینی بالاتر از حداقل آستانه و از بین بردن یا کاهش فرونشست زمین را در آینده). توجه داشته باشید که بیشتر اهداف پایایی تنها می توانند پس از تعریف حداقل آستانه آب زیرزمینی، پیامدهای نامطلوب، شناسایی پروژه ها و اقدامات مدیریتی و بررسی تأثیر پیش بینی شده این پروژه ها و اقدامات مدیریتی بر شرایط آب زیرزمینی نهایی شوند. بنابراین، تکمیل اهداف پایایی به احتمال زیاد یکی از اجزای نهایی توسعه GSP خواهد بود.

نتیجه گیری

اجتناب از پیامدهای نامطلوب کلیدی ترین اقدام برای رسیدن به اهداف پایایی می باشد. معیارهای مدیریت پایا، کلیدی ترین پارامتر در GSP بوده، که پایایی فقط در حوضه قابل تعریف می باشد. قبل از تعیین معیارهای مدیریت پایا، GSA ها باید مبتنی بر فهم خصوصیات حوضه، یک مدل مفهومی هیدروژئولوژیک توسعه دهند، و همچنین یاریگری گروداران و تعیین نواحی مدیریتی اصول اولیه می باشد. این دستورالعمل بهترین شیوه های مدیریتی برای توسعه معیارهای مدیریت پایا، از جمله حداقل آستانه آب زیرزمینی، پیامدهای نامطلوب، اهداف قابل اندازه گیری و هدف پایایی مورد اشاره قرار گرفت. تعیین معیارهای مدیریت پایا می تواند روندی بسیار پیچیده، وقت گیر و فرآیندی تکراری باشد، که به پیچیدگی حوضه و گروداران آن

حوضه بستگی دارد. GSA ها باید زمان کافی را برای توسعه معیارها در فرآیند توسعه GSP فراهم کنند. مردم باید در فرآیند توسعه معیارهای مدیریت پایا مشارکت کنند و دیدگاه های آنها مورد توجه قرار گیرد. برای اطمینان از مشارکت به موقع گروداران، تعیین یک جدول زمانی برای توسعه معیارهای مدیریت پایا توسط GSA می تواند مفید واقع شود.

پی نوشت

- 1-Best Management Practice (BMP)
- 2-Groundwater Sustainability Plan (GSP)
- 3-Sustainability Goal
- 4-Undesirable Results
- 5-Minimum Thresholds
- 6-Measurable Objectives
- 7-Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)
- 8-Groundwater Sustainability Agency (GSA)
- 9-See Water Code § 10721(v)
- 10-Sustainable yield
- 11-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/BMP_HCM_Final_2016-12-23.pdf
- 12-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/BMP_Monitoring_Networks_Final_2016-12-23.pdf
- 13-http://water.ca.gov/groundwater/sgm/pdfs/GD_C&E_Final_2017-06-29.pdf
- 14-See 23 CCR 354.26(b)(1)

منابع

- Owen D., Cantor A., Green Nylen N., Harter T. and Kiparsky M. 2019. California groundwater management, science-policy interfaces, and the legacies of artificial legal distinctions. Environmental Research Letters. IOP Publishing, 14(4): 045016. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab0751>
- DWR 2017. Draft Sustainable Management Criteria. Best Management Practice (BMP). California Department of Water Resources, California. Available at: https://www.water.ca.gov/LegacyFiles/groundwater/sgm/pdfs/BMP_Sustainable_Management_Criteria_2017-11-06.pdf



مدل سازی منابع و مصارف آب حوضه های آبریز از طریق پیاده سازی حکمرانی داده در رصدخانه آب و انرژی (مطالعه موردی: پیاده سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف در حوضه آبریز کرخه)



مصطفی معصومی^۱، عارف وائلی^۲، غلامحسین کریمی^۳، کیوان بوالحسنی^۴، اردشیر کلانی^۵، حسین انصاری^۶
^{۱،۲،۳،۴،۵} به ترتیب مدیریت، رئیس گروه اطلاع رسانی و پایش اطلاعات منابع آب و انرژی، رئیس گروه مدل های آب و انرژی و رئیس گروه برنامه ریزی و تلفیق بانک های اطلاعاتی، رصدخانه آب و انرژی، سازمان آب و برق خوزستان، ایران. ^۶ مدیر پروژه مطالعات رصدخانه آب و انرژی، شرکت مهندسی مشاور هیدروتک توس، مشهد، ایران. ^۶ استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران و مشاور عالی شرکت مهندسی مشاور هیدروتک توس، مشهد، ایران.

Karimi.g@kwpa.ir *

چکیده

در سال های اخیر محدودیت منابع آب و انرژی و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آنها، عامل اصلی و محدودکننده توسعه کشور بوده است. از یک طرف جمعیت و بخش های مرتبط با آن، رشد چشم گیری داشته است. از طرف دیگر، حرکت رو به رشد بخش های مختلف مصرف کننده، لزوماً با توسعه منابع آب همسو نبوده است. به عبارت دیگر، افزایش تقاضا برای آب و انرژی در کشور با تخریب شدید کمی و کیفی منابع آب همراه بوده است. همچنین اقلیم خشک و نیمه خشک حاکم بر کشور و کمبود بارش ها و در نتیجه کمبود منابع آب موجب ایجاد چالش برای توسعه پایا شده است. یک ابزار مدیریتی جهت کنترل کمی و کیفی منابع آب، استفاده از ابزارهای مدیریتی برخط و به روز و استفاده از آنها در قالب رصدخانه آب و انرژی جهت مدیریت بهینه منابع و مصارف است؛ و همواره بر این نکته تأکید شده که پایش و ارزیابی برخط^۱ منابع و مصارف آب، کلید موفقیت مدیریت آب خواهد بود. در راستای مدیریت بهینه و ارزیابی برخط منابع و مصارف آب در بخش های مختلف توسعه رصدخانه آب و انرژی می تواند ضمن بهبود «وضعیت داده و اطلاعات»، شرایط مناسبی از جهت «برنامه ریزی»، «مدیریت پویا» و «نحوه تعامل با سازمان های مرتبط» ایجاد نماید. چنین زیرساختی موجب کاهش و یا حذف وضعیت ناکارآمد اطلاعات از لحاظ پراکندگی، تعدد، تناقص، عدم انسجام و ... و نهایتاً سرگردانی تصمیم گیران خواهد شد. همچنین می توان با اعمال سناریوهای برخط در شرایط زمانی و مکانی خاص، امکان کاهش یا افزایش تخصیص آب به واحدهای مختلف را فراهم نمود. علاوه بر آن، ضمن بهینه سازی منابع و مصارف، موجب توجه به آستانه مخاطرات گردید. سازمان آب و برق خوزستان طی خشک سالی های دهه گذشته، رویکرد خود را در توزیع آب به تدریج از مدیریت عرضه (تأمین) که با بهره وری پایین همراه بود، به مدیریت تقاضا (مصرف) معطوف نمود. به عنوان مثال در شرایط خشک سالی مشابه سال ۱۳۹۲ در حوضه کرخه، توزیع آب در رودخانه با اولویت مدیریت عرضه صورت می گرفت. بدین صورت که هنگام رهاسازی جریان از سد مخزنی در بالادست، کنترل برداشت ها (مصارف) در رودخانه پایین دست سد به علت

فقدان ابزارهای لازم (پیشخوان های مدیریتی و ...) صرفاً با استفاده از تجارب و قضاوت های مدیران و کارشناسان مربوطه و با تأخیر صورت می گرفت و چنانچه یک نقطه از رودخانه با کمبود آب مواجه می شد، این کمبود عمدتاً از طریق افزایش رهاسازی جریان از سد (تأمین از منبع) جبران می شد؛ اما از سال ۱۳۹۵ و به ویژه در خشک سالی های اخیر، رویکرد سازمان در توزیع آب به مدیریت مصرف تغییر یافت و به تدریج طی دو سال گذشته، زیرساخت و شرایط لازم برای این نوع مدیریت ایجاد شد، به طوری که در خشک سالی تابستان ۱۴۰۰، رویکرد جدید از طریق: (۱) توسعه و پیاده سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف آب در رودخانه ها، (۲) پایش روزانه منابع و مصارف به منظور تعیین میزان انحراف از برنامه ریزی انجام شده و (۳) تدوین برنامه اقدام برای پاسخ به وضعیت های خارج از برنامه، به طور کامل پیاده سازی و اجرا گردید. در خشک سالی تابستان ۱۴۰۰، مدیریت توزیع آب با رویکرد جدید در رودخانه کرخه در محدوده پایین دست سد مخزنی اعمال شد که طی آن از طریق کنترل مصارف، کاهش قابل توجهی در تلفات آب در طول رودخانه صورت گرفت و بین منابع و مصارف، تعادل مناسبی برقرار شد. مقایسه حجم آب توزیع شده با رویکرد قدیمی (مدیریت عرضه) در شرایط خشک سالی تابستان ۱۳۹۲ و حجم آب توزیع شده با رویکرد جدید (مدیریت مصرف) در شرایط خشک سالی تابستان ۱۴۰۰ نشان می دهد که اعمال رویکرد جدید در سطح ۳۴۲۷۲ هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت تابستانه در محدوده ذکر شده، ضمن افزایش بهره وری باعث صرفه جویی آب به میزان ۶۹۲ میلیون مترمکعب شد. این کار، نوآوری و تجربه منحصر به فردی بود که لازمه آن اهتمام مدیریت و رهبری جهت اجرای حکمرانی داده (ایجاد یکپارچگی و تمرکز در داده ها، اطلاعات، هماهنگی ها و تصمیم گیری ها، تعریف فرآیندها، آستانه ها، برنامه ها و بهره گیری از ابزارها و فن ها) بود که به ابتکار مدیران ارشد سازمان آب و برق خوزستان و همکاری مؤثر معاونت های تخصصی در مجموعه رصدخانه آب و انرژی خوزستان به عنوان پایلوت رصدخانه ملی آب ایران فراهم گردید و روش و الگوی جدیدی برای افزایش بهره وری منابع و مصارف آب در سال های آتی و در سطح کشور تهیه شد. **واژه های کلیدی:** بهره وری مصرف آب، حوضه آبریز کرخه، رصدخانه آب و انرژی، منابع آب.

خوشبختانه، با پیشرفت‌های علوم رایانه (ICT)^۷ در عصر حاضر، امکانات بی‌نظیری برای استقرار نظام «پایش-تصمیم» در قالب رصدخانه و به عنوان یک ابزار «پشتیبانی از تصمیم (DSS)»^۸ در دسترس قرار دارد. در این راستا، طی سالیان گذشته به تدریج امکانات و شیوه‌هایی به شرح زیر فراهم شده و تجمیع آن‌ها در قالب رصدخانه‌های آب و انرژی، موجب ارتقای مدیریت آب خواهد شد.

- داده‌گردانی الکترونیک از سنجش داده تا پالایش و ثبت داده‌های موثق (بانک و مدیریت داده)؛
- تولید و توزیع اطلاعات مدیریتی (MIS)^۹ شامل گزارش وضعیت منابع و مصارف آب و صدور هشدار و اخطار، حسب نیاز؛
- تصویرسازی از فضای تصمیم‌گیری برای هر فرد یا یک گروه برای درک بهتر و سرعت عمل؛ و
- تحلیل شرایط با انواع مدل‌سازی، حسب مورد.
- لازم به یادآوری است، در مسیر تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، به‌ویژه برای اخذ تصمیمات سریع و صحیح در هنگام وقوع بحران‌ها، سه نکته خودنمایی می‌کند که امکانات فوق پاسخگوی آن نیست.
- حساسیت تصمیمات (گاهی تا حد احتمال تلفات جانی)، که بار مسئولیت سهمگینی را بر دوش تصمیم‌گیران می‌گذارد؛
- ضرورت اخذ تصمیمات سریع، که خود می‌تواند به اشتباه در تصمیم‌گیری منجر گردد؛ و

• نبود فرصت برای پالایش داده‌های زمان‌واقعی، که درک صحیح از شرایط واقعی را گاهی غیر ممکن می‌سازد؛ مگر با بهره‌گیری از دانایی و تجارب خبرگان تخصصی.

در این حالت، فرآیند تصمیم‌گیری با فشار شدید روانی برای تصمیم‌گیرنده (فرد حقوقی یا حقیقی) همراه خواهد بود؛ که در صورت تداوم بحران، هر نیروی کارآمدی را از پای در می‌آورد. برای رفع این مشکل، گام جدیدی در تصمیم‌گیری مبتنی بر اخذ تصمیمات تخصصی ۳۶۰ درجه با عنوان «رصدخانه»^{۱۰} و نیز با بهره‌گیری از خبرگان تخصصی، بر امکانات فوق افزوده شده است. این شیوه که ابتدا برای شهرها توسعه یافته؛ امروزه در مدیریت آب نیز جای گرفته است. در ادبیات مدیریت آب، از آن با عنوان سیستم «مراقبت و پاسخ (یا کنترل)»^{۱۱} نیز نام برده می‌شود.

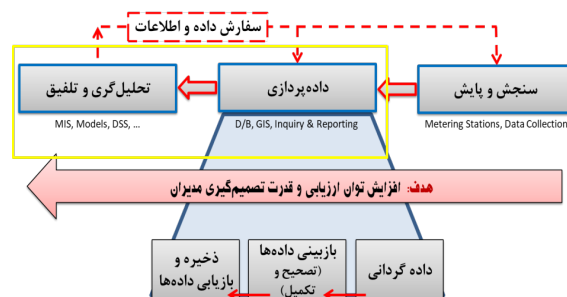
تجربیات جهانی در زمینه رصدخانه آب و انرژی

طی تحقیقی در ادبیات رصدخانه‌ها، داشبوردها و پایشگرهای آب و انرژی، که عمدتاً از تارهای آنها به دست آمده‌اند، در جدول (۱) ارائه شده است. موارد یافت شده در مرور تجربیات جهانی، عمدتاً کاربردهایی از فناوری اطلاعات و ارتباطات در مدیریت یکپارچه منابع آب محسوب می‌شوند.

استان خوزستان در جنوب غربی ایران واقع شده و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک با بارندگی متوسط ۳۳۶ میلی‌متر در سال است. منابع آب این استان از طریق ۹ سد مخزنی تأمین می‌شود که در فصل بارندگی (از ابتدای آذر تا اواخر اردیبهشت‌ماه) آب موردنیاز برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی در فصل خشک (از اواخر اردیبهشت تا اواخر آبان‌ماه) را ذخیره می‌کنند. به دلیل تغییرات اقلیمی، این استان طی پنج سال اخیر به‌طور متناوب با پدیده‌های حدی کم‌سابقه از جمله سیلاب و خشک‌سالی مواجه بوده است. در شرایط سیلاب، وجود تلفات در رهاسازی آب از سدها، باعث تقویت ذخیره آب در تالاب‌ها و بهبود (کاهش) وضعیت شوری در انتهای رودخانه‌ها می‌شود؛ اما در شرایط خشک‌سالی به دلیل کمبود آب، تأمین و توزیع مناسب آب میان ذی‌نفعان و جلوگیری از تلفات آب در رودخانه‌ها، اهمیت حیاتی دارد. به همین منظور طی خشک‌سالی‌های اخیر با تغییر رویکرد در توزیع آب به مدیریت مصرف و ایجاد زیرساخت و شرایط لازم برای این نوع مدیریت، از طریق توسعه و پیاده‌سازی پیشخوان مدیریت منابع و مصارف آب در حوضه‌ها فراهم شد. در ادامه به شرح رویکرد موردنظر اشاره شده است.

ضرورت رصدخانه

دو ضرب‌المثل بسیار مهم دنیای مدیریت و کسب و کار عبارتند از: (۱) «آنچه را نتوان اندازه گرفت؛ نمی‌توان بهبود داد»؛^{۱۲} و (۲) «مدیریت برای انجام صحیح کارها است؛ و رهبری، هدایت‌گر امور، به مسیر کارهای صحیح می‌باشد»^{۱۳}. بعد از شنیدن/خواندن این دو مثل، اولین چیزی که به ذهن‌خطور می‌کند، اهمیت داده و اطلاعات در مدیریت است. در راستای اجرای صحیح برنامه‌ها و ارزیابی مستمر از پیشرفت کارها، در دست داشتن اطلاعات موثق و کافی از جریان کارها الزامی است. بنابراین ضرورت وجود یک نظام «سنجش و پایش، کنترل و ثبت داده‌ها، تحلیل‌گری و تلفیق» (شکل ۱) برای ارزیابی مستمر بازده^{۱۴} و کارایی^{۱۵} فعالیت‌های یک سازمان در سطح عملیاتی و ارزیابی اثربخشی^{۱۶} آن در سطح راهبردی، ضروری است.



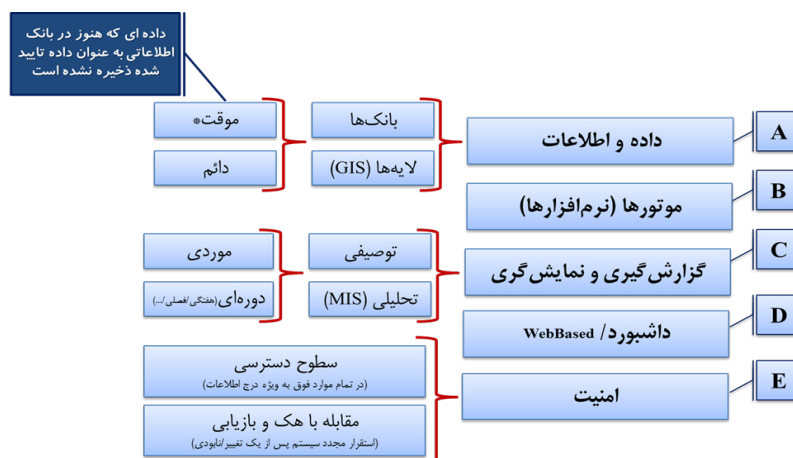
شکل ۱- نمای عمومی نظام «پایش-تصمیم»

جدول ۱- فهرست برخی از رصدخانه‌ها، داشبوردها و مراکز پایش آب و انرژی در سطح جهان

ردیف	نام مرکز	تارنما	موضوع	محل توسعه دهنده	محل تحت پوشش
۱	National Water Center	https://water.noaa.gov/about/nwc	مدیریت و مهندسی آب	NOAA در دانشگاه آلاباما	ایالات متحده آمریکا
۲	California Department of Water Resources	http://www.water.ca.gov/	مهندسی و مدیریت آب	اداره منابع آب کالیفرنیا ساکرامنتو-کالیفرنیا	ایالت کالیفرنیا
۳	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	https://www.csiro.au/	آب / زمین / انرژی / غذا	دولت فدرال استرالیا واقع در شهر سیدنی	استرالیا
۴	Center for Hydrometeorology & Remote Sensing	https://chrs.web.uci.edu/	مهندسی آب / سنجش از دور	وابسته به دانشگاه کالیفرنیا-ایروان	حوضه‌های آبریز محلی تا قاره‌ای
۵	K-Water	https://publications.iadb.org/publications/english/document	مهندسی و مدیریت آب / مدیریت ریسک و بحران	اداره تأمین آب شرب شهری	کره جنوبی
۶	Korea Rural Community Corporation (KRC)	https://www.ekr.or.kr/english/cms/index.krc?ME-NUMST_ID=21410	آب، اقلیم، غذا	مجمع‌همکاری‌های شهری کره جنوبی	جنوب شرق آسیا، غرب آفریقا و آمریکای شمالی
۷	Glo Fast	https://www.globalfloods.eu/glofas-forecasting/	مهندسی و مدیریت آب / مدیریت ریسک و بحران	شرکت های وابسته به اتحادیه اروپا	بین‌المللی
۸	DIAS (Data Integration and Analysis System)	http://waterportal.ceos.org/	آب، تغییر اقلیم، آب و هوا	شرکت مهندسی ژاپنی	مجموعه CEOS
۹	Institute For Water Resources	http://www.iwr.usace.army.mil/	محیط زیست	ارتش ایالات متحده، رسته مهندسان (USACE)	ایالات متحده آمریکا
۱۰	Office of Water Prediction	https://water.noaa.gov/	مهندسی منابع آب	NOAA	ایالات متحده آمریکا
۱۱	Inter-American Development Bank (IDB)	https://publications.iadb.org	مدیریت منابع آب در جمهوری کره جنوبی	وزارت محیط زیست دولت کره جنوبی	کره جنوبی
۱۲	International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM)	https://iciwarm.info	مدیریت منابع آب	ارتش ایالات متحده، سازمان ملل	ایجاد مدل‌های تحلیلی و فنی کاربردی برای ملل
۱۳	National Oceanic and Atmospheric Administration	https://www.noaa.gov/	مدیریت و مهندسی آب / محیط زیست	سازمان پژوهشی فدرال آمریکا	ایالات متحده آمریکا
۱۴	U.S Climate Resilience Toolkit	https://toolkit.climate.gov/topics/water/water-resources-dashboard	مدیریت و مهندسی آب / تاب‌آوری	همکاری چندبخشی از نهادهای دولت ایالات متحده	ایالات متحده آمریکا
۱۵	FEMA Geospatial Resource Center	https://gis-fema.hub.arcgis.com/	مهندسی آب / پدافند غیرعامل	ایالات متحده	ایالات متحده آمریکا
۱۶	WATERS Geo Viewer	https://www.epa.gov	مهندسی آب	دولت ایالات متحده آمریکا	ایالات متحده آمریکا
۱۷	Central Water Commission	http://cwc.gov.in/dashboard	مهندسی آب	وزارت انرژی دولت هند	هند
۱۸	Dam Rehabilitation and Improvement Project	https://damsafety.in	مهندسی آب	وزارت انرژی دولت هند	سدهای هند
۱۹	Orange County WaterAtlas	https://orange.wateratlas.usf.edu	مدیریت و مهندسی آب	نهاد آب ایالت فلوریدای جنوبی	ایالت فلوریدا و شهر اورلاندو
۲۰	Groundwater Watch-USGS	https://groundwaterwatch.usgs.gov/default.asp	مدیریت و مهندسی آب	USGS	سفره‌های آب زیرزمینی ایالات متحده آمریکا
۲۱	Water Watch	https://waterwatch.usgs.gov	مهندسی آب	USGS	ایستگاه‌های ایالات متحده آمریکا

در رصدخانه آب و انرژی، هر سامانه باید قادر به تحویل خدمت خویش، به درستی و به طور کامل و مستمر به کاربرانش باشد. برای ایفای این مهم، نرم افزار باید حداقل

دارای زیربخش‌هایی متعددی مانند: بانک داده، موتورهای محاسباتی، امکانات امنیتی، ابزار نمایشگری، ابزار گزارش‌گیری، و رابط گرافیکی کاربر (GUI) یا داشبورد باشد. سامانه‌ها نیز بر همین اساس طراحی شده و اجزای آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- زیربخش‌های سامانه

اگر امکانات امنیتی به عنوان بستر امن رایانش^{۱۳} در نظر گرفته شود؛ نمای کلی تبادل اطلاعات در درون سامانه به شرح شکل (۳) خواهد بود. در این تصویر منظور از «داده‌ها و اطلاعات»، هرگونه داده و اطلاعات دائم یا موقتی است که در سامانه به کار گرفته می‌شود؛ اعم از داده‌های جدولی یا لایه‌ها، مقادیر ثابت و یا سری‌های زمانی، و هر آنچه که مورد نیاز باشد.

ابزارهای مختلف پشتیبانی‌کننده (ابزارهای نمایشگری، تحلیل، MIS، داده‌های برخط و یا زمان واقعی) و میزهای تخصصی با حضور خبرگان است که در شرایط معمول و بحران به مراکز حساس فقط اطلاع‌رسانی می‌کند و آنها بر اساس برنامه‌های عملیاتی که از قبل در واحدهای خود طراحی کرده‌اند، باید برحسب نوع و سطح هشدار وارد عمل شوند. اگر رصدخانه وارد قضاوت شود، نه تنها کار کارشناسی نکرده، بلکه ممکن است ریسک خطر را هم افزایش دهد و بایستی فقط با فعال کردن میزهای تخصصی و ابزارهای ویژه هر میز (از قبیل سامانه‌ها و مدل‌های پیچیده نرم افزاری و ...) امکان جمع‌آوری نخبگان و اخذ تصمیمات صحیح را فراهم نماید. بدیهی است امکاناتی که در رصدخانه فراهم می‌شود، می‌تواند در شرایط عادی هم به سایر بخش‌های سازمان خدمات‌رسانی کند.

ارکان رصدخانه به شرح زیر می‌باشد:

۱- داشبوردها و اندیکاتورها؛

۲- پروتکل‌های تبادل داده و اطلاعات؛

۳- ارتباطات؛

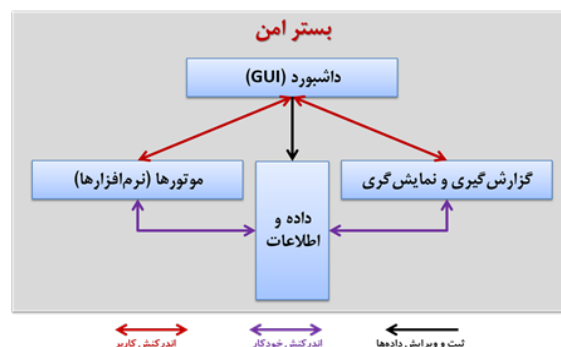
۴- نظام هشدار؛

۵- نمایشگرهای دیواری؛

۶- میزهای تخصصی؛

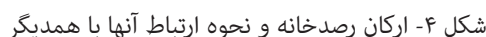
۷- اعضای تخصصی خبرگان؛

۸- دستورالعمل پاسخ به شرایط اضطراری (شکل ۴).



شکل ۳- نمای ساده از تبادل اطلاعات در سامانه

هنر طراح رصدخانه آن است که ارتباط شبکه‌ای مجموعه‌ای از سامانه‌ها را به گونه‌ای طراحی نماید که داده آن با دقت و کفایت مورد نیاز، برای تولید اطلاعات (سفارش داده شده) مفید باشد؛ و در عین حال گردآوری آن کمترین هزینه را به سازمان تحمیل نماید. رصدخانه مجموعه‌ای از سامانه‌های مورد اشاره در شکل (۳) یا



منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز رودخانه کرخه در حدفاصل سد مخزنی کرخه تا تالاب بین‌المللی هورالعظیم است که در این محدوده، طول شاخه اصلی رودخانه و شاخه‌های فرعی آن به نام‌های کرخه نور، هوفل، نیسان و سابل، جمعاً حدود ۵۰۰ کیلومتر است. در شکل (۵)، موقعیت رودخانه و نقاط برداشت در حوضه ارائه شده است.

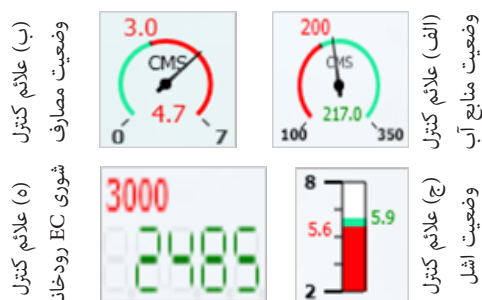
سازمان آب و برق خوزستان از نیمه اول سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ با دریافت اولین نشانه‌ها و هشدارهای وقوع خشک‌سالی و مواجه‌شدن با پیامدهای تنش آبی در اکثر حوضه‌های آبریز رودخانه‌های استان، در ادامهٔ رویکرد جدید خود (مدیریت مصارف)، اقداماتی را با هدف مدیریت خشک‌سالی در فصل خشک پیش‌رو

تجاوز می‌نمود، مراتب سریعاً اطلاع‌رسانی شده و اقدام مقتضی به عمل می‌آمد. در خصوص مصارف نیز مقادیر برنامه یا سهم هر برداشت‌کننده بر اساس نیاز آبی برآورد شده در دوره‌های ۱۰ روزه، تعیین شد. به‌گونه‌ای که اگر یک مجموعه برداشت‌کننده بیش از سهم خود برداشت می‌نمود، مراتب اطلاع‌رسانی شده و اقدام لازم به عمل می‌آمد.

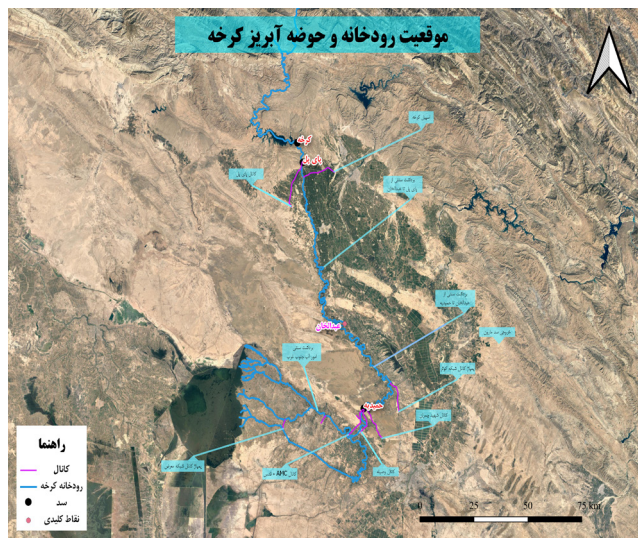
۴. تعیین برنامه رهاسازی آب از سد مخزنی کرخه بر اساس محاسبه مجموع مصارف و سایر محدودیت‌ها: همان‌گونه که ذکر شد، برنامه مصارف بر اساس برآورد نیاز آبی ۱۰ روز آینده برای هر مصرف‌کننده تعیین می‌شد. درنهایت با محاسبه مجموع مصارف و در نظر گرفتن سایر محدودیت‌ها نظیر نیازهای زیست‌محیطی پایین‌دست (تالاب هورالعظیم)، دبی لازم برای حفظ کیفیت آب در انتهای رودخانه و ...، دستورالعمل رهاسازی از سد مخزنی تعیین می‌شد.

۵. توسعه پیشخوان ریسک خشک‌سالی (مدیریت منابع و مصارف): در این خصوص ابتدا بر اساس شناسایی و تعیین نقاط کلیدی منابع و مصارف در پایین‌دست و مجاورت رودخانه کرخه، نقشه شماتیک رودخانه و موقعیت‌های کلیدی تهیه شد، سپس پیشخوان منابع و مصارف، با ایجاد زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری لازم از مرحله دریافت داده‌های به‌روز نقاط کلیدی تا مرحله انتشار اطلاعات، در مقیاس روزانه تهیه گردید. به‌منظور پایش و رصد وضعیت منابع و مصارف حوزه، پارامترهای کمی و کیفی شامل پارامترهای دبی، اشل و هدایت الکتریکی (EC) به همراه غایش مقادیر آستانه‌های کنترلی منابع و مصارف (سهم یا برنامه مصارف) و مقادیر واقعی پارامترها در هر نقطه کلیدی با غمایش علائم کنترلی نشان‌دهنده هشدار و وضعیت پارامترها در نظر گرفته شد که در شکل (۶) نشان داده شده‌اند:

در شکل (۷، الف تا ج) نیز به ترتیب مدل‌های شماتیک پیشخوان منابع در نقاط کلیدی، شماتیک پیشخوان مصارف و زیرمجموعه‌های مصارف نقاط کلیدی (مثال: شرکت بهره‌برداری کرخه و شاوور) نشان داده شده است.



شکل ۶- علائم کنترل وضعیت پارامترهای منابع و مصارف (کمی و کیفی) رودخانه در نقاط کلیدی



شکل ۵- موقعیت حوزه آبریز رودخانه کرخه

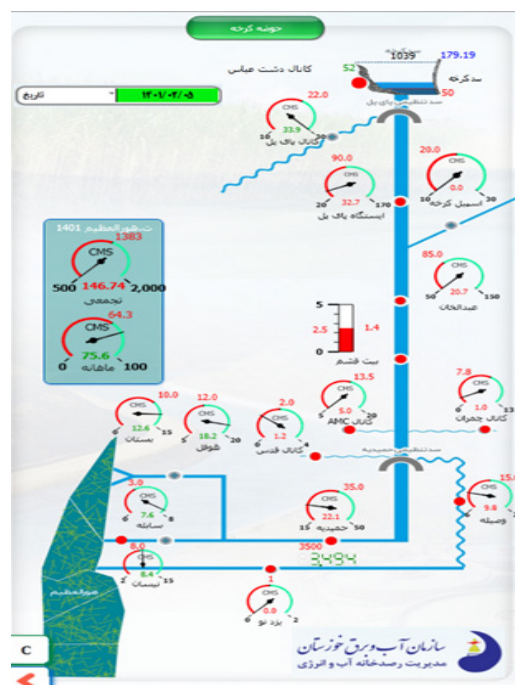
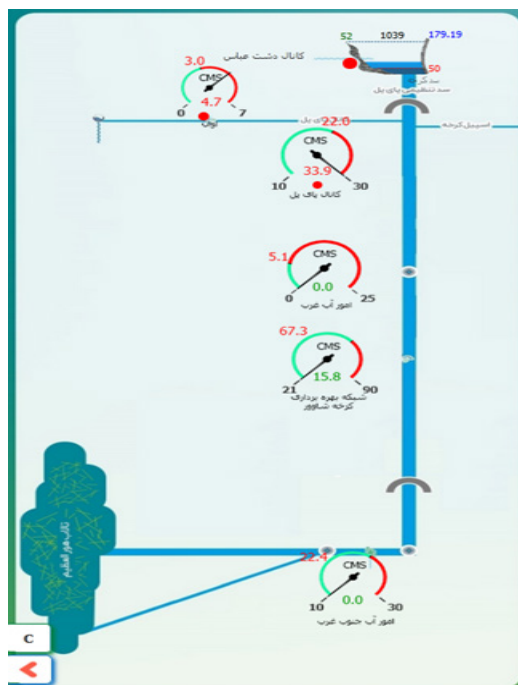
با توجه به پیش‌بینی محدودیت در منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی، در محدوده پایین‌دست رودخانه و سد مخزنی کرخه، باهدف کنترل و مدیریت مصارف و کاهش تلفات در توزیع آب کشاورزی در فصل خشک، اقدام به مدل‌سازی منابع و مصارف از طریق پیشخوان مدیریتی منابع و مصارف حوزه آبریز کرخه، صورت گرفت. در این راستا اقدامات به شرح زیر انجام شد:

۱. تعیین نقاط (ایستگاه‌های) کلیدی به‌منظور پایش منابع و مصارف در رودخانه: در این رابطه، طی نشست‌های تخصصی با حضور مدیران ارشد و کارشناسان مطلع، تعداد ۱۸ نقطه کلیدی از منابع که بر اساس تجربیات سال‌های مشابه می‌بایست در رودخانه کرخه مورد پایش روزانه قرار گیرند، تعیین شد. برای مصارف نیز ۵ مجموعه مصارف کلیدی که جمعاً شامل ۱۰ نقطه برداشت بوده‌اند، تعیین شد.

۲. تعیین پارامترهای مهم (دبی، اشل و EC) در ایستگاه‌های کلیدی تعیین‌شده در مرحله قبل: از ۱۸ ایستگاه تعیین‌شده برای منابع، ۱۶ مورد آن به‌منظور رصد و پایش مقادیر دبی، یک مورد برای پایش اشل (تراز سطح آب) و یک مورد نیز برای پایش شوری (EC) در نظر گرفته شد. در مورد مصارف، ایستگاه‌های تعیین‌شده، تماماً به‌منظور پایش دبی برداشت آب در نظر گرفته شدند.

۳. تعیین آستانه‌های هشدار منابع و برنامه (سهم) مصارف در رودخانه: هم‌زمان با تعیین نقاط کلیدی، بر اساس تجربیات کارشناسی سال‌های قبل، برای هر منبع و متناسب با پارامتر انتخاب‌شده، مقداری به‌عنوان آستانه‌های کنترلی هشدار تعیین شد. مقادیر واقعی هر پارامتر به‌صورت روزانه پایش می‌شدند و اگر در یک ایستگاه کلیدی مقدار واقعی پارامتر از مقدار آستانه

(ب) مدل شماتیک پیشخوان مصارف
کلیدی حوضه آبریز کرخه



(الف) مدل شماتیک پیشخوان منابع در
نقاط کلیدی حوضه آبریز کرخه



(ج) مدل شماتیک پیشخوان مصارف
در یکی از مجموعه‌های کلیدی (شرکت
بهره‌برداری کرخه و شاور)

شکل ۷- مدل‌های شماتیک پیشخوان منابع و مصارف در نقاط کلیدی حوضه آبریز مورد مطالعه

در جدول (۲) مقایسه حجم آب توزیع شده با رویکرد قدیمی در شرایط خشک‌سالی سال ۱۳۹۲ و حجم آب توزیع شده با رویکرد جدید (پیشخوان مدیریتی) در شرایط خشک‌سالی ۱۴۰۰ برای کشت تابستانه در پایین‌دست سد مخزنی کرخه ارائه شده است. میزان صرفه‌جویی صورت گرفته در سطح ۳۴۲۷۲ هکتار از اراضی کشاورزی تحت کشت تابستانه که با پیاده‌سازی مدل منابع و مصارف حوضه از طریق ایجاد پیشخوان‌های مدیریتی جهت افزایش بهره‌وری در توزیع آب حاصل شد، معادل ۶۹۲ میلیون مترمکعب بوده است. به عبارت دیگر از طریق افزایش بهره‌وری و صرفه‌جویی به عمل آمده و با حجم آب توزیع شده یکسان، تأمین آب جهت افزایش سطح زیر کشت تا حد ۷۷ درصد مقدار اولیه مقدور شد که نقش مهمی در تأمین معیشت کشاورزان منطقه داشته است.

برنامه اقدام به منظور اطمینان از تطابق میزان برداشت‌ها با برنامه مصارف (رعایت سهم برداشت از منابع آب)

با رصد و پایش روزانه مقادیر واقعی منابع و مصارف و مقایسه آن‌ها به ترتیب با مقادیر آستانه منابع و مقادیر برنامه یا سهم مصرف در هر نقطه، اقدام لازم جهت رفع انحراف از آستانه یا برنامه، صورت می‌گرفت که در نهایت باعث صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه و کاهش تلفات در شبکه توزیع آب رودخانه گردید. به عنوان مثال، اگر مصرف‌کننده‌ای بیش از سهم اختصاص یافته برداشت آب انجام می‌داد، اقدامات لازم جهت کاهش برداشت آب مصرف‌کننده صورت می‌گرفت. این اقدامات شامل هشدار به خود مصرف‌کننده، هشدار و اقدام از طریق مراجع بالادستی و در بدترین حالت قطع برق ایستگاه پمپاژ در نقطه برداشت آب بوده است.

جدول ۲- مقایسه حجم آب توزیع شده در سطح حوضه در شرایط خشک سالی

رویکرد مدیریتی	خشک سالی	سطح کشت تابستانه (هکتار)	حجم آب توزیع شده (میلیون مترمکعب)	حجم آب توزیع شده در هکتار (میلیون مترمکعب)	حجم صرفه جویی آب (میلیون مترمکعب)
مدیریت عرضه (تأمین)	۱۳۹۲	۱۹۳۳۲	۸۸۳	۰,۰۴۵۶	۶۹۲
مدیریت تقاضا (مصرف)	۱۴۰۰	۳۴۲۷۲	۸۷۳	۰,۰۲۵۴	

پیامدهای محتمل

بررسی سوابق رصدخانه‌ها نشان می‌دهد، سامانه‌های موجود هر کدام در بخشی از مسائل آبی فعالیت می‌کنند. می‌توان با تجمیع این سامانه‌ها در یک سامانه جامع و ایجاد یک پایگاه داده جامع، باعث افزایش بهره‌وری در عملکرد شد. در یک نگاه تخصصی و اجمالی می‌توان گفت:

- رصدخانه‌های چند بخشی مستلزم داشتن نیروهایی با طیفی از تخصص‌های گوناگون هستند.
- مشارکت فعال سیاست‌گذاران ارشد به عنوان استفاده‌کنندگان از اطلاعات، لازم و ضروری است.
- کارشناسان آمار و انفورماتیک/ مدیریت اطلاعات، برای جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل‌های آماری و مکانی می‌بایست به صورت پیوسته در خدمت این مرکز باشند.
- از آنچه به عنوان مرور ادبیات جهانی می‌توان یاد کرد، برداشت می‌گردد که رصدخانه‌های جهانی مرتبط با آب، در ابتدا نسبت به توسعه قسمت‌های مهندسی آب شامل؛ پایش منابع آبی در اختیار در سد و شبکه‌های آبیاری، سیستم پایش شبکه‌های آبرسانی و سیستم‌های پایش آبخوان زیرزمینی مختص مناطق بهره‌بردار از آب زیرزمینی اقدام گردیده‌اند. توسعه این سیستم‌های پایش نه تنها به عنوان ظهور اولین پایشگرها بلکه به عنوان نقطه قوت دولت‌های ملی و محلی در تصمیم‌گیری بر منابع آبی خود، لحاظ شده است.
- اما از آنجا که بشر همواره به دنبال رشد ابزار در جهت بهبود فهم و درک خود برای اتخاذ تصمیم بوده است، هم اکنون عمده موضوعات مورد استفاده در رصدخانه و میزهای تخصصی پس از گذر از مرحله اولیه مذکور را می‌توان در چند بند زیر خلاصه نمود:
- توسعه سامانه‌های پیش‌بینی قدرتمند جوی با قابلیت پیش‌بینی ۷ روزه در رابطه با پدیده‌های طبیعی از جمله باران، برف، طوفان و ...
- مکانی نمودن^{۱۴} داده‌های مربوط به آب و هوا
- توسعه سامانه‌های پیشرفته شبیه‌ساز سیلاب با امکان اعلام از طریق سیستم هشدار برای حاضرین محلی
- توسعه سیستم‌های پایشگر و پیش‌بینی‌کننده خشکسالی
- توسعه سیستم‌های پایش اجتماعی (همچون برابری حق دسترسی به منابع آب با کیفیت و ...)
- توسعه سیستم هدایت‌کننده کاربر به ابزار محاسبه تاب‌آوری^{۱۵}
- توسعه سیستم‌های اقتصادی^{۱۶}.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از مدیریت محترم نوآوری، توسعه فن‌آوری و پژوهش‌های کاربردی، معاونت محترم مطالعات پایه منابع آب و معاونت حفاظت و بهره‌برداری منابع آب سازمان آب و برق خوزستان بابت حمایت‌ها و همکاری‌های بی‌دریغ در راستای این طرح اجرایی که نقش مهمی در مدیریت منابع و مصارف آب استان خوزستان به‌ویژه در عبور از خشک‌سالی سال ۱۴۰۰ داشته است، تقدیر و سپاسگزاری به عمل می‌آید.

پی‌نوشت

- 1-Online
- 2-If you can't measure it, you can't improve it
- 3-Management is doing things right; leadership is doing the right things
- 4-Efficiency
- 5-Performance
- 6-Effectiveness
- 7-Information and communications technology
- 8-Decision support system
- 9-Management information system
- 10-Observatory
- 11-Surveillance and Response / Control
- 12-Graphical user interface
- 13-Computing
- 14-Spatialize
- ۱۵- مقصود از این بند آن است که خود سیستم قابلیت محاسبه تاب‌آوری منابع طبیعی و اقتصادی و اجتماعی را نداشته، اما در ضمن ارائه راهکارها، داده‌ها را به منظور محاسبه این فرآیند طولانی و پرهزینه، راهنمایی می‌کند.
- ۱۶- نمونه قابل توجهی در این زمینه همچنان یافت نگردیده و به کارشناسان مربوط به آن بند شرح خدمات توصیه می‌گردد در ابتدای شروع کار، نسبت به مرور تخصصی آب و اقتصاد اقدام فرمایند.



چالش‌های تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور و ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در پشتیبانی از آن

مجید دلاور؛ دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران. * m.delavar@modares.ac.ir

بحران‌های آبی فعلی و پیش‌رو در کشور و از طرفی ضعف‌های اطلاعاتی و مسائل موجود در زمینه یکپارچه‌سازی و سازماندهی اطلاعات مدیریتی بین‌بخشی، تخمین صحیح منابع و مصارف منابع آب و همچنین ارزیابی جامع گزینه‌های مدیریتی، لزوم وجود ابزارها و زیرساخت‌هایی که امکان بهبود تصمیم‌گیری‌ها و جهت‌گیری‌های مدیریتی را فراهم آورد را آشکار می‌سازد. تحلیل سیستم‌های منابع آب به منظور تدوین راهبردهای مدیریتی مناسب و حل مسائل و موضوعات آبی، مستلزم وجود اطلاعات مختلف به منظور ایجاد درکی مناسب و عمیق از فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه، جریان‌های آب قابل مدیریت و غیرقابل مدیریت، ارتباط با کاربری اراضی و ارائه تصویری جامع در این خصوص است. در این راستا مطالعات «بیان منابع آب» در سطح کشور به عنوان یکی از پشتوانه‌های اصلی تحلیل و تصمیمات مدیریتی در بخش آب تلقی می‌گردد که علیرغم تلاش‌های فراوانی که جهت تهیه و بروزرسانی آن انجام شده است، همچنان نقاط ضعفی دارد که امکان بکارگیری آن را تصمیم‌گیری‌های مدیریتی محدود می‌سازد. این نوشتار ضمن اشاره به مهم‌ترین نقاط ضعف کاربرد اطلاعات مستخرج از مطالعات بیان آبی در کشور، به ارزیابی ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در جهت ارتقای کارایی این‌گونه مطالعات، می‌پردازد.

چالش‌ها و نقاط ضعف رویکرد موجود در مطالعات بیان آبی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور

مهمترین نقاط ضعف رویکرد موجود در مطالعات بیان آبی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور را می‌توان از دو منظر فنی و مدیریتی مورد توجه قرار داد:

الف) چالش‌های فنی و محاسبات اجزای بیان

در این زمینه مهمترین موارد عبارتند از:

- عدم امکان پایش/ضعف سیستم پایش مکانی و زمانی مؤلفه‌های بیان: برآورد مناسب اجزای بیان آبی در درجه اول مستلزم دسترسی به اطلاعات دقیق، کافی و به‌روز از مؤلفه‌های آن است. علیرغم توسعه شبکه پایش هواشناسی و هیدرومتری در کشور، همچنان گستردگی نامناسب مکانی شبکه‌های سنجش، دقت پایین و طول دوره آماری نامناسب آن‌ها به عنوان یکی از مشکلات اساسی در محاسبات بیان مطرح می‌شود. این در حالی است که امکان پایش میدانی و اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های مهم همچون «آب برگشتی» و «تبخیر و تعرق واقعی» نیز در گستره وسیع میسر نیست.
- عدم قطعیت زیاد برآورد برخی از مؤلفه‌های کلیدی بیان: با توجه به ضعف اطلاعاتی و پیچیدگی‌های محاسباتی، برآورد برخی از مؤلفه‌های کلیدی همچون «مصارف آبی/تبخیر و تعرق واقعی»، «تبادلات جریانات سطحی و زیرزمینی» و «آب برگشتی»، در شیوه فعلی محاسبات بیان با عدم قطعیت زیاد و انکارناپذیری مواجه است که عملاً کاربرد اطلاعات بیان در امر تصمیم‌سازی را با ابهامات متعددی روبرو می‌کند.
- عدم امکان به‌روزرسانی سریع با توجه به پیچیدگی‌ها و ضعف زیرساخت‌های محاسباتی و روش‌شناسی برآورد بیان: یکی از مهمترین دغدغه‌ها در محاسبات و کاربرد اطلاعات بیان، ارائه اطلاعات به‌روز و نزدیک به واقعی است. این مهم ریشه در

روش‌شناسی، ساختار ارتباطی سنجش و «دریافت اطلاعات» و زیرساخت‌های محاسباتی آن دارد که علیرغم تلاش‌های که در این حیطه انجام می‌شود، همچنان امکان دسترسی به اطلاعات به‌روز را فراهم نمی‌کند.

ب) چالش‌های مدیریتی و کاربردی اطلاعات بیان

مهمترین موارد در بخش مدیریتی و کاربرد اطلاعات بیان در امر تصمیم‌گیری عبارتند از:

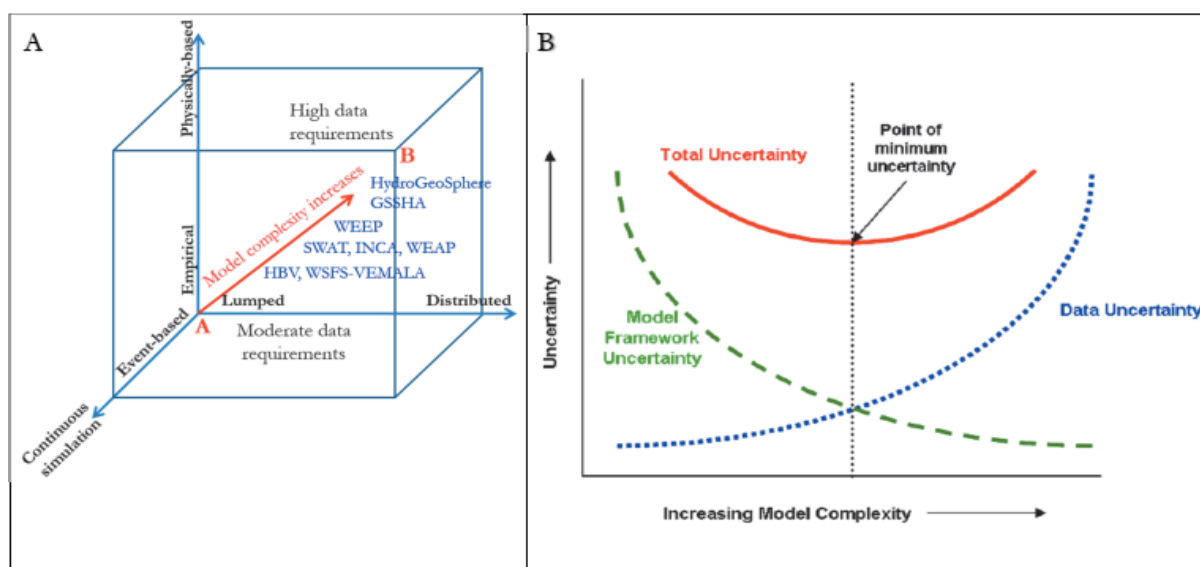
- عدم پویایی و امکان بکارگیری در تجزیه و تحلیل سیاست‌های مختلف مدیریتی: سیستم جاری اطلاعات بیان در سطح کشور، فارغ از مواردی که در بخش فنی بدان اشاره شد، به صورت ایستا و در دوره‌های زمانی خاصی تولید می‌گردد. این مسأله امکان سناریوسازی و بکارگیری آن‌ها در تجزیه و تحلیل سیاست‌های مدیریتی و درک واقع‌بینانه نسبت به چالش‌ها، اثرات جانبی و عملکرد مورد انتظار از این سیاست‌ها را به شدت کاهش می‌دهد.
- عدم جامع‌نگری و درک مناسب از برهمکنش و نحوه تأثیرپذیری اجزای بیان: از جمله مهم‌ترین مسائل در مدیریت پایدار منابع آب، ایجاد توازن بین پتانسیل‌های آبی هر منطقه و حصول اهداف توسعه‌ای نظیر امنیت غذایی است. لذا عدم نگرش سیستماتیک در بکارگیری اطلاعات بیان آب کشور و ارائه راهبردهای مدیریت حوضه‌های آبریز بدون توجه به اثرات بالقوه آن‌ها بر سایر اجزای بیان آبی، علاوه بر ایجاد ناپایداری، می‌تواند منجر به ایجاد ابعاد جدیدی از چالش‌ها در این مناطق گردد. از این‌رو در تدوین و به‌نگام‌سازی برنامه‌ها و سیاست‌های ملی، ارزیابی و بررسی اثرپذیری برنامه‌ها و تبعات جانبی آن‌ها به علت تأثیرات فراگیر آن در سطح کشور، بسیار حائز اهمیت است. چه‌بسا برنامه‌ها و سیاست‌های مختلفی که در اسناد بالادستی کشور مورد توجه قرار گرفته‌اند و به خاطر عدم تحلیل سیستماتیک تأثیرات آن‌ها، نه تنها اهداف خود را محقق ننموده‌اند، بلکه اثرات سوئی هم

مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و سوابق استفاده از آن‌ها در تحلیل سیاست‌های مدیریت منابع آب

استفاده از فناوری‌های به‌روز مانند سنجش از راه دور و مدل‌سازی‌های مفهومی می‌توانند به عنوان یکی از گزینه‌های مهم در تدقیق و برآورد مناسب و به‌هنگام اطلاعات بیلان، از جمله اطلاعاتی که امکان پایش محدودی دارند (نظیر تبخیر و تعرق واقعی) مورد توجه قرار گیرند. گرچه اطلاعات مستخرج از چنین فناوری‌هایی، خود نیازمند واسنجی و ارزیابی بر مبنای داده‌های مشاهداتی می‌باشد، اما بکارگیری و هم‌افزایی این اطلاعات در کنار داده‌های موجود می‌تواند چشم‌انداز مناسبی از وضعیت مؤلفه‌های بیلان آبی را فراهم کند. امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، توسعه بسیاری پیدا کرده و انواع مختلفی از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان سیستم‌های منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های هیدرولوژیکی به عنوان شالوده اصلی غالب شبیه‌سازی‌های انجام شده در حوزه آب در واقع تصویر ساده‌ای از فرآیندهای هیدرولوژیکی واقعی یک حوضه آبریز در قالب معادلات ریاضی، تجربی و آماری هستند. از نظر نوع روابط مورد استفاده در شبیه‌سازی چرخه آب در حوضه، این مدل‌ها به چهار گروه مدل‌های داده‌محور^۱ (یا مدل‌های جعبه سیاه^۲)، مدل‌های تجربی^۳، مدل‌های هیدرولوژیکی پایه‌فیزیکی^۴ و مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی^۵ قرار می‌گیرند. از دیدگاه نحوه تصویرسازی ناهمگنی مکانی حوضه نیز مدل‌های هیدرولوژیکی به سه گروه توده‌ای^۶، توزیعی^۷ و نیمه‌توزیعی^۸ تقسیم می‌شوند. در شکل (۱) نحوه ارتباط طیف‌های مختلف مدل‌های شبیه‌سازی در حوزه آب، پیچیدگی و نیازهای اطلاعاتی و عدم قطعیت حاصل از شبیه‌سازی آورده شده است. همانطور که مشخص است در این بین، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی نیمه‌توزیعی به دلیل ساده‌سازی محاسبات، کاهش نیازهای اطلاعاتی و عدم قطعیت نهایی شبیه‌سازی و در عین لحاظ نمودن ارتباط فیزیکی مفهومی بین پدیده‌های مختلف با اقبال بیشتری روبرو بوده است (Beven, 2012).

داشته‌اند. این مسأله از جنبه دیگری نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و آن درک نامناسب از برخی از واژگان بیلان آبی مانند «مصارف» و «برداشت» می‌باشد. واژگانی که گاه مترادف با هم بکار گرفته می‌شوند، ولی از منظر مفهومی و تحلیلی می‌توانند کاملاً متفاوت باشند و چه بسا همین امر منجر به درک متفاوت و نادرست از مفهوم صرفه‌جویی در یک سیستم آبی گردد. توصیه و برداشت‌های متفاوت از عملکرد سیاست‌هایی نظیر توسعه باغات در اراضی شیب‌دار و آبیاری تحت فشار، نتیجه عدم جامع‌نگری و درک نادرست از چنین مفاهیمی هست. در این زمینه، موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI) با دیدگاه افزایش بهره‌وری آب مفهومی به نام «ذخیره‌سازی واقعی آب» بر اساس تحلیل مصارف آبی (آب تخلیه‌شده و غیر قابل استفاده مجدد) را پیشنهاد کرد که مبتنی بر پارادایم نئوکلاسیک می‌باشد. بر این اساس دست‌یابی به راهبردهایی با تمرکز بر مفهوم ذخیره‌سازی واقعی آب مستلزم استفاده از چارچوبی برای تحلیل «مصارف» و نه برداشت‌ها در سطح حوضه و تفسیر یکپارچه نتایج بر مبنای آن است.

- چارچوب تحلیلی نامناسب و تک بعدی: اطلاعات مستخرج از شیوه‌های معمول و سنتی بیلان آبی به صورت محدود، صرفاً بعد هیدرولوژیکی سیستم‌های آبی را از منظر عرضه و برداشت آب مورد توجه قرار می‌دهند و عموماً تأثیر جنبه‌های مختلف بهره‌برداری از منابع آب از منظر بهره‌وری و مسائل مرتبط به آن را مورد توجه قرار نمی‌دهند. این در حالی است که در تصمیمات مدیریتی، علاوه بر جنبه‌های هیدرولوژیکی، توجه به سایر جنبه‌های مرتبط نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. این مهم ضرورت ایجاد یک چارچوب مفهومی برای سازماندهی اطلاعات بیلان آبی در تلفیق با سایر اطلاعات، جهت مطالعه چند وجهی سیستم‌های آبی و بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب را نمایان می‌کند. این سازماندهی و تقویت شیوه‌های جاری محاسبات «بیلان منابع آب» می‌بایست در پاسخ به چالش‌های موجود و آتی در حوزه عرضه و مصرف و نه تنها از دیدگاه هیدرولوژیکی، بلکه از منظر حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست نیز مورد توجه قرار دهد. چالش‌هایی که در شرایط فعلی کاملاً خودنمایی کرده و انتظار می‌رود تحت پدیده «تغییر اقلیم» نیز تشدید گردد.



شکل ۱- انواع مختلف مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و نحوه ارتباط آن‌ها با داده‌های مورد نیاز و عدم قطعیت فرآیند مدل‌سازی (Grayson و Blöschl، ۲۰۰۰)

در کشور هند نیز که با حمایت انجمن تحقیقات محیط‌زیست طبیعی انگلستان (NERC) و وزارت علوم زمین هند در سال ۲۰۱۲ انجام شد، به منظور بررسی اثرات عوامل اقلیمی بر بخش کشاورزی و ارزیابی راهکارهای مدیریت آبیاری، از مدل‌های جامع استفاده گردید. در این مطالعه طیف متنوعی از اقدامات سازگاری در بخش کشاورزی شامل تغییر راندمان آبیاری، تغییر الگوی کشت و کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. بانک جهانی هم در پروژه‌ای تحت عنوان «ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی» از مدل‌های جامع به عنوان مدل شبیه‌ساز استفاده نمود. این پروژه در کشورهای مختلفی از جمله هند و برزیل (Sanghi و Mendelsohn، ۲۰۰۸)، چین (Wang و همکاران، ۲۰۱۴)، کامرون (Molua و Lambi، ۲۰۰۷)، مصر (Eid و همکاران، ۲۰۰۷)، سریلانکا (Kurukulasuriya و Ajwad، ۲۰۰۷) و همچنین در سطح قاره آفریقا (Kurukulasuriya و همکاران، ۲۰۰۶) و آمریکای لاتین (Seo و Mendelsohn، ۲۰۰۸) انجام شد و نتایج مطالعات حاکی از قابلیت و انعطاف‌پذیری مناسب این‌گونه مدل‌ها در بکارگیری در مطالعات مختلف مدیریت منابع آب است. در جدول (۱) نیز کاربرد مدل‌های جامع در برخی از مطالعات منابع آبی مهم در سطح جهان آمده است. توانایی این طیف از مدل‌ها در مسائل مختلف آبی و شبیه‌سازی طیف متنوعی از راهکارهای مدیریتی، به خوبی در این جدول قابل مشاهده می‌باشد.

از جمله مدل‌های مفهومی پرکاربرد در حوزه مدیریت منابع آب، مدل‌های شبیه‌سازی مفهومی جامع^۱ هستند. این طیف از مدل‌ها به دلیل قابلیت آنها در بررسی تأثیرات متقابل اجزای بیلان آبی حوضه‌های آبریز با شرایط اقلیم و مدیریت حاکم بر آنها در یک بازه زمانی پیوسته و بلندمدت، از اهمیت دو چندانی در زمینه مدیریت منابع آب برخوردار هستند. مدل‌های شبیه‌سازی جامع مختلفی در حوزه مدیریت منابع آب، توسعه و به‌کار برده شده‌اند که مدل‌های HSPF، VIC، WEAP Mike Basi، SWAT و آن جمله هستند. از ویژگی‌های مهم این طیف از مدل‌ها، کاربرد آن، هم در مراکز تحقیقاتی و هم در نهادهای غیر تحقیقاتی (مانند بانک جهانی و اتحادیه اروپا) در راستای تحلیل سیاست‌های مدیریت منابع آب می‌باشد. از جمله کاربردهای این مدل‌ها بدین منظور، می‌توان به پروژه سازگاری با تغییر اقلیم اتحادیه اروپا (CCTAME^۲) در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد. در این مطالعه از مدل SWAT به عنوان یک مدل شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر بخش‌های کشاورزی، انرژی و جنگل‌ها و بررسی اقدامات سازگاری بر بخش‌های یاد شده، استفاده شده است. در مطالعه دیگری توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا در تعدادی از حوضه‌های بزرگ آمریکا نیز این مدل به همراه مدل HSPF برای شبیه‌سازی اثرات عوامل مختلف اقلیمی و انسانی بر کمیت و کیفیت آب و تحلیل راهکارهای مدیریتی مورد استفاده قرار گرفت (Butcher و همکاران، ۲۰۱۰). در پروژه MICCI^۳

جدول ۱- نحوه بکارگیری مدل‌های شبیه‌سازی جامع در برخی از مطالعات منابع آبی

سازمان مطالعه‌کننده	منطقه مورد مطالعه	اهداف	راهکارهای شبیه‌سازی شده	مدل‌های مورد استفاده	مراجع
بانک جهانی (۲۰۱۴-۲۰۰۷)	هند، برزیل، مصر، چین، آمریکا، کامرون، سریلانکا، آمریکای لاتین، قاره آفریقا	شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و سیستم‌های کشاورزی وابسته	تغییر الگو و جایگزینی کشت، تغییر الگوهای آبیاری و کوددهی، تغییر تقویم کشت	EPIC, SWAT	Mendelsohn و Sanghi (۲۰۰۸)، Wang و همکاران، (۲۰۱۴)، Lambi و Molua، (۲۰۰۷)، Eid و همکاران، (۲۰۰۷)، Ajwad و Kurukulasuriya، (۲۰۰۷)، Kurukulasuriya و همکاران، (۲۰۰۶)، Seo و Mendelsohn، (۲۰۰۸)
موسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، ۲۰۱۴	حوضه Koshi در کشور نپال	شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و شرایط توسعه‌ای حوضه	بررسی اثرات توسعه سازه‌ای نظیر سدهای بزرگ و کوچک در کاهش اثرات تغییر اقلیم	SWAT	Bharati و همکاران (۲۰۱۴)
دپارتمان حفاظت محیط‌زیست نیویورک (DEP)، ۲۰۰۸	حوضه آبریز NYC آمریکا	بررسی اثرات مدیریتی و اقلیمی بر تغذیه‌گرایی مخازن سطحی	مدیریت بهره‌برداری از مخازن	,GWLF-VSA SWAT, CEQUAL-W2, OASIS	Webster (۲۰۰۸)
دپارتمان انرژی آمریکا، ۲۰۱۴	جهانی	بررسی عوامل تغییرات جریانات سطحی و تغذیه آب زیر زمینی	مدیریت برداشت آبی	,WEAP SWAT	Hejazi و همکاران (۲۰۱۴)
آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، دپارتمان انرژی آمریکا، سازمان علوم ملی آمریکا، ۲۰۱۴	جهانی	شبیه‌سازی اثرات انسانی و اقلیمی بر منابع آب و شرایط توسعه‌ای	مدیریت سطح کشت و الگوی کشت	Aquacro, SWAT	Schlosser و همکاران (۲۰۱۴)

ظرفیت‌های مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی جامع در پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور

تأکید برنامه‌های توسعه پنج ساله کشور و همچنین اسناد ملی بالادستی بر مدیریت به هم پیوسته منابع آب در کشور، ضرورت انجام مطالعات لازم به منظور بسترسازی اجرای این نوع مدیریت را آشکار می‌سازد. در این راستا توسعه و بکارگیری مدل‌های شبیه‌سازی جامع در شرایط اطلاعاتی کشور و توسعه دانش بومی در این زمینه را می‌توان به عنوان بستر مناسبی جهت پشتیبانی از این نوع مدیریت و اتخاذ تصمیمات واقع‌بینانه‌تر در مدیریت منابع آب کشور قلمداد کرد. توسعه و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی جامع به عنوان یک سامانه یکپارچه و قابل اتکای پشتیبانی از تصمیم، می‌تواند نقش مهمی در پاسخگویی به بسیاری از سؤالات کلیدی در مدیریت به هم پیوسته منابع آب را فراهم نماید، که از جمله این قابلیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. امکان شبیه‌سازی برهمکنش و تحلیل تغییرات کلیه مؤلفه‌های بیلان آبی حوضه در شرایط متنوع اقلیمی و مدیریتی در بخش‌های مختلف حوضه و در دوره‌های مختلف زمانی.
۲. امکان محاسبه پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر و تغییرات آن در دوره‌های زمانی مختلف.
۳. امکان تفکیک منابع آب سبز و آبی و میزان بهره‌برداری از آنها در بخش‌های مختلف و در دوره‌های زمانی مختلف.
۴. امکان تفکیک اثرات عوامل انسانی و اقلیمی بر شرایط هیدرولوژیکی.
- ۵- امکان سناریوسازی و بررسی طیف متنوعی از راهکارهای مدیریتی در حوزه آب.
- ۶- کاهش هزینه‌هایی که هر از چند سال یکبار برای آماربرداری صورت می‌گیرد.
- ۷- شبیه‌سازی و ارزیابی تبعات جانبی برنامه‌ها و طرح‌های توسعه برهم (مانند اثرات جانبی توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و حبابه‌های محیط‌زیستی).

- Hejazi M.I., Edmonds J., Clarke L., Kyle P., Davies E., Chaturvedi V., Wise M., Patel P., Eom J. and Calvin K. 2014. Integrated assessment of global water scarcity over the 21st century under multiple climate change mitigation policies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(8):2859-2883.
- Kurukulasuriya P. and Ajwad M.I. 2007. Application of the Ricardian technique to estimate the impact of climate change on smallholder farming in Sri Lanka. *Climatic Change*, 81:39-59.
- Kurukulasuriya P., Mendelsohn R., Hassan R., Benhin J., Deressa T., Diop M., ... and Dinar A. 2006. Will African agriculture survive climate change?. *The World Bank Economic Review*, 20(3): 367-388.
- Molua E. and Lambi C.M. 2007. The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team. Policy Res. Work, p.4364.
- Sanghi A. and Mendelsohn R. 2008. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, 18(4): 655-665.
- Seo S.N. and Mendelsohn R. 2008. Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management1. *Agricultural economics*, 38(2): 151-165.
- Schlosser C.A., Strzepek K., Gao X., Fant C., Blanc É., Paltsev S., Jacoby H., Reilly J. and Gueneau A. 2014. The future of global water stress: An integrated assessment. *Earth's Future*, 2(8): 341-361.
- Wang X. 2014. Advances in separating effects of climate variability and human activity on stream discharge: An overview. *Advances in Water Resources*, 71: 209-218.
- Webster M. 2008. Incorporating path dependency into decision-analytic methods: An application to global climate-change policy. *Decision Analysis*, 5(2): 60-75.

- 1-Data-driven models
- 2-Black-box
- 3-Empirical models
- 4-Physically based hydrological models
- 5-Conceptual hydrologic models
- 6-Lumped
- 7-Distributed
- 8-Semi-distributed
- Integrated conceptual model 9-
- 10-Climate Change – Terrestrial Adaptation & Mitigation in Europe

- Bharati L., Gurung P., Jayakody P., Smakhtin V. and Bhattarai U. 2014. The projected impact of climate change on water availability and development in the Koshi Basin, Nepal. *Mountain Research and Development*, 34(2): 118-130.
- Beven K. J. 2012. Rainfall-runoff modelling: the primer. John Wiley & Sons, Ltd. DOI:10.1002/9781119951001.
- Butcher J. B., Parker A., Johnson T., and Weaver C. P. 2010. Nationwide watershed modeling to evaluate potential impacts of climate and land use change on hydrology and water quality. In *Watershed modeling, proceedings of the 2010 watershed management conference* (pp. 1078-1089). Madison, WI: ASCE.
- Eid H. M., El-Marsafawy S. M., and Ouda S. A. 2007. Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: a Ricardian approach. *World Bank Policy Research Working Paper*, (4293).
- Grayson R. and Blöschl G. (Eds.). 2000. Spatial patterns in catchment hydrology: observations and modeling. CUP Archive. cambridge university press. The Edinburgh Building, Cambridge, United Kingdom.



گزارش برگزاری «اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب» و «نمایشگاه تخصصی صنعت آب»

دانشگاه بیرجند- ۲ و ۳ اسفندماه ۱۴۰۱

در سالیان گذشته، کمبود بارش‌ها و رشد جمعیت، افزایش استخراج از سفره‌های آب زیرزمینی، منجر به افت شدید این منابع گردیده و از طرفی مصرف ذخایر آب استراتژیک تجدیدنپذیر نیز به وضعیتی نگران‌کننده رسیده است. محدودیت منابع آبی کشور از نظر کمی و کیفی، استفاده نادرست از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، نبود مدیریت و برنامه‌ریزی اصولی و صحیح برای استفاده از مقدار آب موجود، نگرانی‌ها از خشکسالی و شدت گرفتن بحران آب مخصوصاً در مناطق خشک را افزایش داده است.

استفاده از فناوری‌های جدید در مدیریت آب، از قبیل پایش از راه دور منابع آب، مدل‌سازی منابع سطحی و زیرزمینی آب، مدل‌سازی و طراحی شبکه‌های آب و فاضلاب، حسگرهای سنجش کیفیت آب، حسگرهای کشف نشت آب، مدیریت انرژی در فعالیت‌های آب و فاضلاب، سیستم‌های اطلاعات مکانی، مدیریت تقاضا و مصرف آب و بازچرخانی آب، می‌تواند به حل بخشی از مشکلات آب کشور و برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب، کمک شایان توجهی نماید.

اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب در ۲ و ۳ اسفند سال ۱۴۰۱ در دانشگاه بیرجند (شهرعلم و فرهنگ)، با حضور مدیران اجرایی ملی و استانی، پژوهشگران موسسات علمی و تحقیقاتی از کشورهای آلمان، قطر و کره جنوبی، پژوهشگران و اندیشمندان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی و کارشناسان دستگاه‌های اجرایی، علاقه‌مندان و صاحب‌نظران بخش آب، برگزار گردید. در این همایش ۲۴۶ مقاله به دبیرخانه کنفرانس واصل گردید که از این تعداد ۲۲۷ مقاله مورد پذیرش کمیته علمی قرار گرفت و به دو صورت پوستری (۱۷۴ مقاله) و شفاهی (۴۳ مقاله) و در هفت محور فناوری‌های نوین در صنعت آب (۲۰ مقاله)، روش‌های نوین در تصفیه آب (۳۰ مقاله)، کارایی ابزار نوین

(۲۵ مقاله)، مدل‌سازی کمی و کیفی در حوضه آب (۳۵ مقاله)، مدیریت و بهره‌برداری از سیلاب (۲۰ مقاله)، مدیریت و پایش خشکسالی و تغییر اقلیم (۷۱ مقاله) و مدیریت یکپارچه منابع آب (۲۶ مقاله) ارائه گردید. کلیه مقالات این همایش در پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) و سامانه سیویلیکا نمایه خواهند شد و مقالات برتر همایش در ۶ مجله علمی-پژوهشی چاپ خواهد شد. همچنین در این همایش یک نمایشگاه تخصصی با حضور صنعتگران شاخص حوزه آب از جمله شرکت میراب و شرکت‌های مشاور فعال در حوزه آب، یک رویداد استارت‌آپی با محوریت آب، بیش از ۱۰ وبینار علمی در راستای محورهای همایش، ۸ کارگاه علمی-آموزشی و ۲ نشست تخصصی با حضور صاحب‌نظران و متخصصین حوزه آب برگزار گردید. موضوع و سخنرانان نشست‌های تخصصی، سخنرانان کلیدی، کارگاه‌ها و وبینارهای برگزارشده به ترتیب در جداول (۱) تا (۴) نشان داده شده است. در نشست «تحلیلی بر تجارب بین‌المللی و داخلی در مواجهه با پدیده تغییر اقلیم»، در ابتدا به بررسی عوامل موثر در وقوع پدیده تغییر اقلیم و اثرات مخرب وقوع این پدیده در کشورهای آسیب‌پذیر پرداخته شد و راهکارهایی درخصوص نحوه سازگاری با پدیده تغییر اقلیم، با توجه به تجارب بین‌المللی و داخلی عنوان شد. همچنین در نشست تخصصی «ارائه راهبردهای برنامه توسعه هفتم کشور با رویکرد سازگاری با کم‌آبی»، تلاش براین شد تا با حضور متخصصان و اساتید دانشگاه و مسئولین شرکت آب منطقه‌ای به این دو پرسش اساسی پاسخ داده شود: ۱- از چه طریقی می‌توان به اهداف برنامه سازگاری با کم‌آبی رسید؟ ۲- چگونه می‌توان برای رسیدن به اهداف برنامه سازگاری با کم‌آبی، هماهنگی لازم بین سازمان‌ها را ایجاد کرد؟ در این همایش، تعداد ۱۰ وبینار و ۸ کارگاه تخصصی با حضور متخصصان حوزه علوم و مهندسی آب و عمران برگزار و در خصوص موضوعات اساسی و کاربردی حوزه آب بحث گردید.

جدول ۱- موضوع و سخنرانان نشست‌های تخصصی برگزار شده

موضوع	سخنران
تحلیلی بر تجارب بین‌المللی و داخلی در مواجهه با پدیده تغییر اقلیم	دکتر محمدرضا فرزانه، مهندس سیده الهام عزیزی
ارائه راهبردهای برنامه توسعه هفتم کشور با رویکرد سازگاری با کم‌آبی	دکتر مهدی ضرغامی، دکتر بنفشه زهرایی

جدول ۲- سخنرانان کلیدی

نام سخنران	سمت
دکتر علی سلاجقه	معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان محیط زیست
دکتر بنفشه زهرایی	دبیر کارگروه سازگاری با کم‌آبی کشور
دکتر ضرغامی	مدیرکل توسعه اثربخشی و اثرگذاری سرامدان و نخبگان
دکتر یواخیم کاجیکاوسکی	رئیس کارگروه تصفیه و جداسازی آب موسسه فرانهافر
مهندس ضیاء الدین ایزدخواهی	مدیر عامل شرکت میراب
دکتر کامران داوری	عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد
مهندس رفیع پور	نماینده شرکت مینا

جدول ۳- وبینارهای برگزار شده

موضوع	سخنران
اصول و مبانی بازچرخانی آب	دکتر عباس اکبرزاده
ابعاد مدیریت سیلاب در کشور	دکتر مجتبی نوری، دکتر محمدرضا کاویانپور، دکتر بهرام ثقفیان، دکتر علیرضا مساح، دکتر کامران امامی، مهندس محمد جوادی
رویکرد مرتبط با فناوری در مدیریت پایدار منابع آب	دکتر منا مسعودی آشتیانی، دکتر مجتبی نوری، دکتر عباس فقیه خراسانی، دکتر محمدصادق سبطالشیخ انصاری، آقای ابراهیم کاظم نژد، مهندس عباس گلی جیرنده، دکتر محمد فشانی، دکتر عبدالله اسکویی شیروان
استفاده از آب‌های نامتعارف در آبیاری	دکتر صالح تقویان
قنات و قنات‌داری	مهندس حسین اصغری
نقش فناوری‌ها در مدیریت ریسک و بحران شهری	دکتر منا مسعودی آشتیانی، دکتر محمد جواد خسروی پور، دکتر اقبال شاکری، دکتر مرتضی دلفان آذری، مهندس مسعود حمزه ای، دکتر بیژن یاور
استحصال آب باران رهیافتی برای توسعه پایدار	دکتر غلامحسین کرمی، دکتر کوروش کمالی، دکتر سید محمد تاجبخش فخرآبادی، دکتر هادی معماریان
آموخته‌های از برنامه احیاء دریاچه ارومیه (چالش‌ها و راهکارها)	دکتر بهزاد حصاری
حکمرانی آب و پساب با رویکرد مدیریت مشارکتی	دکتر ناصر نیک‌نیا
Applying Different Sources of Meteorological Data for Monitoring and Prediction of Drought events	دکتر نسرين صالح نیا

جدول ۴- کارگاه‌های برگزار شده

موضوع	مدرس
مدیریت سیلاب شهری	دکتر کبارفرد
کاربردهای بنیادین پایتون در هیدرولوژی	مهندس دانیال الله‌یاری
کارگاه مدل‌سازی پیشروی جبهه‌های آب شور در آبخوان‌های کویری	دکتر محسن عزیزی
نواحی ساحلی با استفاده از نرم‌افزار GMS	
کارگاه آشنایی با شیرآلات صنعتی حوزه مهندسی آب	شرکت میراب
کارگاه قنات و قنات‌داری	مهندس حسین اصغری
کارگاه کاربرد R در علوم مهندسی آب	مهندس محمد فولادی نصرآباد
کارگاه آشنایی با ابزار دقیق و سیستم‌های نوین رفتارنگاری در سدهای بتنی و خاکی	دکتر هاشمی
کارگاه کاربردی GIS در هیدرولوژی	مهندس محمد فولادی نصرآباد

• نمایشگاه تخصصی صنعت آب

نمایشگاه تخصصی صنعت آب با حضور جمعی از صنایع تولیدکننده محصولات صنعت آب روز سه شنبه ۲ اسفند ۱۴۰۱ در دانشگاه بیرجند افتتاح شد.

نمایشگاه تخصصی صنعت آب با حضور شرکت بین‌المللی میراب و جمعی از صنایع تولیدکننده محصولات صنعت آب در سالن امید دانشگاه بیرجند آغاز به کار کرد و علاوه بر این شرکت، سایر مجموعه‌ها و متولیان حوزه آب استان و مجموعه‌های علمی و فناوری در این نمایشگاه حضور داشتند.

در این نمایشگاه شرکت میراب، شرکت مهندسين مشاور نام‌آوران هورویدا، زیست بوم نوآوری، فناوری و کارآفرینی، معاونت پژوهش، نوآوری و فناوری، سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب و منطقه‌ای خراسان جنوبی، شرکت فنی و مهندسی پاک‌آب چابک، شرکت مدیریت هوشمند اتابکان، کارخانه اکسید منیزیم سربیشه، کارخانه صنایع معادن و عمران رضوی، شرکت آب و فاضلاب خراسان جنوبی و شرکت خدمات مهندسی آب ابزار باقران، حضور داشتند.

• آیین اختتامیه همایش

مراسم اختتامیه اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب در دانشگاه بیرجند در تاریخ ۳ اسفندماه ۱۴۰۱ برگزار شد.

در این مراسم دکتر کامران داوری، استاد دانشگاه فردوسی مشهد، به صورت آنلاین ایراد سخنرانی نموده و در ادامه دکتر ربیع‌پور، نماینده شرکت مپنا و مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران، با بیان اینکه بحث آب و تغییر اقلیم، موضوع حائز اهمیت است، در این راستا این شرکت دارای چهارچوب و نقشه راه در ساخت تجهیزات و بومی‌سازی تجهیزات صنایع آب، سیستم‌های آب شیرین‌کن، ارائه راه حل‌های صرفه‌جویی در آب، تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی، احیاء اکوسیستم، مدیریت مصرف آب و کشت و صنعت و کشاورزی است.

همچنین دکتر محمد اکبری، دبیر همایش با ارائه گزارشی از روند این همایش همچون برگزاری نشست‌ها و کارگاه‌های تخصصی و همچنین بازخورد چشم‌گیر نمایشگاه تخصصی صنعت آب، چالش‌های صنعت آب خراسان جنوبی را مطرح کرده و اعلام نمود: با یافتن مشکلات موجود در این صنعت باید برای حل این چالش‌ها اقدام نماییم. وی با اعلام اینکه تعداد قابل توجهی از متخصصان، پژوهشگران و صاحبان صنعت در این همایش حضور یافتند، افزود: دانشگاه بیرجند پذیرای همه پژوهشگران و صاحبان صنعت برای بحث و ادامه گفت‌وگوها و ایجاد راه‌حل‌ها است.

در پایان مراسم نیز، از مقالات برتر و حامیان این همایش بین‌المللی از جمله شرکت میراب، بنیاد ملی نخبگان، شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، شرکت مهندسين مشاور نام‌آوران هورویدا و... تقدیر به عمل آمد.

In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development

Volume 9 - Issue 4 (Serial No. 26) - Winter 2023

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
Davary, K. 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
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi
Morid, S. Prof., Tarbiat Modares University
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
Taheri, A., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Mousavi, S. Y., Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company
Shahnooshi Foroushani, N., Manager in charge
Davary, K., Editor in chief

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
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., 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:

- **Estimation of the Scouring Depth of the Plunge Pool of the Symmetrical Crossing Jets by Support Vector Machine**

M. Bagherzadeh, M.A. Mohammadi

- **Conceptual Model Design and Freshwater Supply Chain Structuring Using The Combined Approach of Soft Systems Methodology and Structural Equation Modeling**

M.M. Mohtadi, P. Farahgol, S. Khoshab, S. Moradi

- **Urban Water Metabolism, an Efficient Tool for Evaluating Urban Water Management Performance (Case study: Isfahan City)**

N. Nezami, M. Tizghadam, M. Zarghami, M. Abbasi

- **Application and Evaluation of the Ability of Copulas in Estimating Daily Precipitation in the East of Lake Urmia Basin**

M. Khaledi-Alamdari, A. Majnooni-Heris, A. Fakheri Fard

- **The Role of Key Stakeholders in Management of Urmia Lake Southern Satellite Wetlands**

S.M. Mojtahedi, A. Tahmasebi, S.M. Shobeiri, A.R. Alavitabar, B. Zandi

- **Water Ethics**

M. Rezaei

- **Conceptual Model for Ethical Roots of Environmental Crisis**

E. Tamassoki, M. Kolahi

- **Investigating the Effect of Absorbent Parameters, Electrical Conductivity, and Water Depth in Solar Water Extraction Tanks (Distillers) for Distillation Irrigation in Greenhouse**

Z. Hamid, S. Boroomand Nasab, A. Soltani Mohammadi

- **Determinants of Sustainable Management of Water Consumption among Citrus Growers in Gachsaran City**

F. Alipanahiyani, A. Karami

ISSN (Print): 2423-5474

