

# آب و توسعه پایدار

سال هفتم - شماره دوم (پیاپی ۱۶)  
شهریورماه ۱۳۹۹

## از داده تا تصمیم



### فهرست مقالات

#### ● اهمیت و کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب

مریم سنجری بنستانی، واحد بردی شیخ، آرش زارع گاریزی، آمنه آورند

#### ● برخی چالش‌های مرتبط با محاسبات بیلان حوضه آبریز (مطالعه موردی حوضه آبریز گل - مهران وحله)

سعیده سامانی

#### ● مدیریت تخصیص آب در ایران، پیراهه‌ای در گذر زمان

ابراهیم اسماعیلی نژاد، کامران داوری

#### ● آب و چشم‌انداز آن در منطقه منا (خاورمیانه و شمال آفریقا)

فاطمه عسکری بزایه، رویا محمدزاده، یدالله آذرین‌فر

#### ● بررسی اثر استفاده از لایه‌های پلی استایرن بر کاهش تبخیر مخازن ذخیره آب در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: شهر سمنان)

حمیدرضا قزوینیان، سعید فرزین، حجت کرمی، سید فرهاد موسوی

#### ● مروری بر روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب و معرفی شیوه‌های مناسب کاربردی و اقتصادی

مریم شرایعی، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم

#### ● بررسی اثرات مخرب و راهکارهای محیط‌زیستی برداشت شن و ماسه از رودخانه نازلوچای ارومیه

سجاد چهره‌قانی، حجت حسین‌زاده قره‌قشلاق، علیرضا عابدی

#### ● تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی؛ راهکاری مؤثر در مدیریت کیفی حوضه‌های آبریز

عماد محجوبی

صاحب امتیاز  
مدیر مسئول  
سردبیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد  
بیژن قهرمان / استاد بازنشسته گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه

کاظم اسماعیلی / دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
علی باقری / دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس  
محمد جلیلی / دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی  
کامران داوری / استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
عباسعلی قزل سوفلو / استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد  
مهدی مفتاح هلقی / دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

شورای سیاست گذاری

احمد سیاحی (ریاست شورا) / مدیر کل دفتر تحقیقات، توسعه فن آوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور  
حسین اسماعیلیان / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد  
محمد علایی / مدیر عامل شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی  
سید یحیی موسوی / دبیر اندیشگاه آب شرکت مدیریت منابع آب ایران  
ناصر شاهنوشی فروشانی / مدیر مسئول نشریه  
بیژن قهرمان / سردبیر نشریه

مشاوران هیئت تحریریه

انوش نوری اسفندیاری / اندیشکده تدبیر آب ایران  
سید حسین سجادی فر / شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور  
ثمانه توکلی امینیان / شرکت آب و فاضلاب مشهد  
غلامرضا کلائی / شرکت آب و فاضلاب مشهد  
مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی 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  
مهری شاهدی، مرجان قوچانیان (فنی و ادبی) / آرزو حسینی، مائده اسکوهی (لاتین)  
محمدرضا شیخی

فصلنامه / انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

۵۴۷۴-۲۴۲۳

<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD> / [jwsd@um.ac.ir](mailto:jwsd@um.ac.ir)

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دفتر نشریه، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۹۱۶۳

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

نشریات کشور (MAGIRAN)

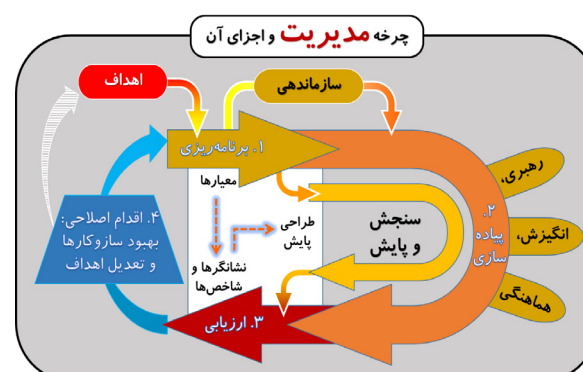


|     |                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| الف | سرمقاله: پایش و مدیریت / کامران داوری (عضو هیئت تحریریه نشریه)                                                                                                                                                             |
| ب   | یادداشت‌های کوتاه: نقش محوری داده‌ها و مطالعات پایه / محمد حاج رسولیها (مشاور وزیر نیرو و قائم مقام شرکت مدیریت منابع آب ایران)<br>از داده تا تصمیم / محمد علایی (مدیرعامل و رئیس هیأت مدیره شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی) |
| ۱   | اهمیت و کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب<br>مریم سنجرى بنستانی، واحدبردی شیخ، آرش زارع گاریزی، آمنه آورند                                                                                                 |
| ۱۳  | برخی چالش‌های مرتبط با محاسبات بیلان حوضه آبریز (مطالعه موردی حوضه آبریز کل-مهران و حله)<br>سعیده سامانی                                                                                                                   |
| ۲۳  | مدیریت تخصیص آب در ایران، بیراهه‌ای در گذر زمان<br>ابراهیم اسماعیلی‌نژاد، کامران داوری                                                                                                                                     |
| ۳۳  | آب و چشم‌انداز آن در منطقه منا (خاورمیانه و شمال آفریقا)<br>فاطمه عسکری بزایه، رویا محمدزاده، یدالله آذرین‌فر                                                                                                              |
| ۴۵  | بررسی اثر استفاده از لایه‌های پلی‌استایرن بر کاهش تبخیرمخازن ذخیره آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: شهر سمنان)<br>حمیدرضا قزوینیان، سعید فرزین، حجت کرمی، سید فرهاد موسوی                                         |
| ۵۳  | مروری بر روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب و معرفی شیوه‌های مناسب کاربردی و اقتصادی<br>مریم شرایعی، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم                                                                                              |
| ۶۳  | بررسی اثرات مخرب و راهکارهای محیط‌زیستی برداشت شن و ماسه از رودخانه نازلوچای ارومیه<br>سجاد چهره‌قانی، حجت حسین‌زاده قره‌قشلاق، علیرضا عابدی                                                                               |
| ۷۳  | تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی؛ راهکاری مؤثر در مدیریت کیفی حوضه‌های آبریز<br>عماد محجوبی                                                                                                                                      |
| ۸۲  | یادداشت تحلیلی: داده و مدیریت / مرجان قوچانیان، محمد فشائی                                                                                                                                                                 |
| ۸۸  | کنگره ملی آب مشهد                                                                                                                                                                                                          |



## پایش و مدیریت

در یک تعریف کوتاه و گویا، مدیریت موفق یعنی: «دستیابی به بیشترین اهداف، با به کارگیری کمترین منابع، با حداقل عواقب ناخواسته»؛ که دستیابی به آن به جز با کارآمدی و بهره‌وری ممکن نیست. در گذشته وظایف مدیر را شامل دو بخش می‌دانستند: «برنامه‌ریزی» و «پیاده‌سازی». اما دِمینگ<sup>۱</sup> در دهه ۱۹۵۰ میلادی، با معرفی چرخه مشهورش، دو مؤلفه دیگر بر این دو افزود: «ارزیابی» و «اقدام اصلاحی»؛ تا به کمک آنها موجب بهبود مستمر سازوکارها بر اساس تجارب گردد. این چرخه، و اجزای مدیریت در تصویر زیر نشان داده شده است. آنچه در این مجال می‌خواهم به آن بپردازم، ارتباط چرخه مدیریت با داده است؛ و یا به عبارت دیگر تبیین اهمیت و جایگاه پایش در چرخه مدیریت دِمینگ است. بنابراین، ابتدا قدری پایش را بیشتر بشناسیم.



پایش و ارزیابی فرآیندی است برای بهبود عملکرد و مقصود آن دستیابی بهتر به اهداف است. در اینجا «بهتر» یعنی: کم‌هزینه‌تر، آسان‌تر، سریع‌تر، کم‌ریسک‌تر، ... و کم‌حاشیه‌تر. کلمه «پایش» دلالت بر کارکردی پیوسته و نظام‌مند برای سنجش و گردآوری داده دارد و مقدمه‌ای برای ارزیابی است. فرآیند «ارزیابی» عبارت است از بررسی عینی موقعیت سیستم نسبت به برنامه (انطباق یا انحراف)؛ و نیز، تحلیل علل انحرافات مشاهده شده و چاره‌جویی برای رفع اشکالات و پرهیز از تکرار اشتباهات. نتیجه این بررسی ممکن است منجر به اصلاح برنامه، تا تغییر در شیوه پیاده‌سازی، و یا حتی تعدیل اهداف گردد.

نظام پایش و ارزیابی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی پیرامون کارایی و اثربخشی سیاست‌ها، روش پیاده‌سازی، و ... ارائه دهد؛ و به کمک

این اطلاعات مدیریت می‌تواند ضمن کسب درکی از عملکرد خود، این عملکرد را ارتقاء بخشد. در عمل، بتدریج مشخص می‌شود که چه سیاست‌ها/ روش‌هایی جواب می‌دهند، و چه سیاست‌ها/ روش‌هایی جواب نمی‌دهند؛ و نیز دلایل اثربخشی (یا بی‌ثبوری) آنها آشکار می‌گردد. در واقع مدیریت برای بهبود عملکرد، نیازمند تمیز دادن میان سیاست‌ها/ روش‌های برتر از میان سایر موارد است؛ که بوسیله پایش نتایج و پیامدها ممکن می‌گردد.

بنابراین می‌توان گفت که چرخه دِمینگ، یک چرخه «عبرت آموز» است؛ که اگر به درستی اجرا و مستند گردد، می‌توان آنرا مدلی سیستماتیک برای مدیریت دانش (عبرت‌اندوزی) نیز دانست. به این ترتیب که مستمراً عبرت‌ها دریافت می‌شوند، و به کمک آنها واقعیت‌های پیرامونی شناسایی شده و در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ می‌گردند؛ در نتیجه برنامه‌های واقع‌گرایانه‌تر و لذا موفق‌تری تدوین خواهد گردید. علاوه بر نکات پیش گفته در تعریف مدیریت کارآمد و بهره‌ور، شرط لازم برای موفقیت این مدل، وجود داده موثق و کافی و به اتکاء آن ارایه اطلاعات معتبر است. شرط کافی نیز، متناسب بودن اطلاعات با هدف و برنامه است؛ و البته این داده و اطلاعات باید با حداقل هزینه ممکن فراهم گردد.

مدیریت نیازمند اطلاعاتی است که نشان دهنده «اندازه دستیابی سیستم به مطلوب» باشد؛ و یا متقابلاً نشان دهنده «اندازه پرهیز سیستم از نامطلوب» باشد. اما پرسش بنیادین این است: چه اطلاعاتی مورد نیاز است (تا داده‌های مورد نیاز آن فراهم گردد). نقطه مرکزی پاسخ به این سؤال، در اهداف و برنامه نهفته است. زیرا با دقت در اهداف (و به تبع آن در برنامه)، مشخص می‌شود که چه عواملی مطلوب و چه عواملی نامطلوب تلقی شده‌اند؟ این عوامل، معیارها (Criteria) و زیرمعیارهای ارزیابی را تشکیل می‌دهند. سپس بر اساس این معیارها، نشانگرها (Indicators) تعریف می‌شوند؛ و نهایتاً برای هر نشانگر (یا ترکیبی از نشانگرها)، شاخص‌ها (Index, Indices) تعیین می‌شوند. بر این روال، اکنون می‌توان دانست که کدام داده مورد نیاز است.

این روش کار را می‌توان «پایش به سفارش» نامید. زیرا به سفارش مدیریت اطلاعاتی باید تهیه شود؛ که تهیه این اطلاعات خود محتاج تأمین داده (سنجش و پایش) از مواضع معین با تواتر معلوم و ... است. هنر طراح شبکه سنجش و پایش آن است که این شبکه را به گونه‌ای طراحی نماید که داده آن برای تولید اطلاعات با دقت مورد نیاز، کافی باشد؛ و در عین حال کمترین هزینه (برای ایجاد و بهره‌برداری) را به سازمان تحمیل نماید. البته باید افزود که تحویل به موقع داده به مدیریت نیز نکته حایز اهمیتی است؛ که نبایستی مغفول بماند.

به نظر می‌آید که امروزه در ایران، ارتباط منطقی چندانی میان



«نیاز مدیریت» با «سنجش و پایش» در حوزه منابع-مصارف آب برقرار نیست. برای نمونه در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی، حداقل اطلاعات مورد نیاز برای تهیه بیلان (ورودی‌ها و خروجی‌ها) فراهم نیست و یا اگر فراهم است با تأخیری در اختیار مدیریت قرار می‌گیرد که از آن سلب انتفاع می‌گردد. این در حالی است که امروزه با استفاده از ابزارهای نوین سنجش، بکارگیری مدل‌های کامپیوتری، و زیرساخت‌های (نرم و سخت) فناوری اطلاعات فرصت‌های بسیاری برای ارتقاء شبکه‌های پایش منابع و مصارف آب با هدف تأمین نیازهای مدیریت فراهم آمده است. نیازهای مدیریت پویا و متغیر هستند؛ لذا بازنگری دوره‌ای (مثلاً هر پنج سال) شبکه پایش ضروری است.

مزید بر آن، مدیریت در سطوح سیاسی (تقسیمات کشوری: استان، شهرستان، ...) و یا در مرزهای آبی (تقسیمات هیدرولوژیکی)، نیازهای متفاوتی دارند که بایستی مد نظر طراح شبکه باشد. مهم این است که نقطه شروع طراحی شبکه همین «نیازهای مدیریتی» است. سفارش مدیریت شامل دقت و زمان‌مندی (تحويل به موقع) است. دقت مورد نیاز (داده موثق و کافی) را می‌توان حداقل شامل: تعداد کافی نقاط داده برداری، پراکنش مناسب مکانی آنها، طول آمار کافی، ابزار سنجش مناسب و قابل اعتماد، و از همه مهمتر سیستم کنترل صحت داده دانست. زمان‌مندی نیز تعریف مشخصی دارد. برای مثال: بیلان در آغاز هر سال آبی، گزارشی از وضعیت موجود است؛ و لذا در تنظیم برنامه تحويل آب بسیار اهمیت دارد. در انتهای هر سال آبی نیز، بیلان کارنامه مدیریت آب است. زیرا به خودی خود، ارزیابی مستقیمی از پیامد سیاست‌ها/ روش‌های مدیریت آب بدست می‌دهد. اگر مدیریت آب در آغاز و انتهای سال آبی (به موقع)

بیلان را دریافت ننماید، دیگر چنین استفاده‌ای از آن ممکن نخواهد بود.

حتما این عبارت را شنیده‌اید که: «چیزی را که نشود سنجید، نمی‌توان مدیریت نمود». مفهوم این عبارت آن است که برای تشخیص موفقیت (یا عدم موفقیت) برنامه‌ها، لازم است موقعیت فعلی سیستم و موقعیت هدف، به نحو قابل سنجشی تعریف شده باشند؛ زیرا بدون آن نمی‌توان موفقیت (یا عدم موفقیت) برنامه‌ها را سنجید. در واقع باید اذعان نمود که اهمیت داده در مدیریت آن قدر بالا است که می‌توان «داده موثق و کافی» را زیربنای مدیریت موفق نامید. در واقع «داده» دریچه فهم بشر از واقعیت است؛ و به کمک داده است که موقعیت سیستم تشخیص داده می‌شود. اطلاعات، چیزی بجز داده فرآوری شده نیست، و از آن فزونت: دانش بشر، نتیجه تراکم و تحلیل همین اطلاعات است. داده‌ی بد، اطلاعات اشتباه و دانش ناکارآمد می‌زاید. در حدیثی از معصوم (ع) نقل شده است: «تمام پلیدی‌ها در خانه‌ای است، و کلید آن خانه دروغ است». با تأسی به این حدیث، شاید بتوان گفت: «تمام خوبی‌ها در خانه‌ای است، و کلید آن راستی است». استناد آگاهانه به داده اشتباه (و یا ناموثق و ناکافی) موجب گمراهی و گسترش نادانی می‌شود و لذا چیزی شبیه به دروغ است. بنابراین از نشر داده بد و یا استناد به آن، باید پرهیز نمود. در مقابل، کوشش در راه دستیابی به داده موثق و کافی، تلاش در راستای راستی و بسیار پسندیده است.

همه راستی کن که از راستی

نیاید به کار اندرون کاستی

(حکیم ابوالقاسم فردوسی)

1-William Edwards Deming (1900 – 1993)

پایه و اثرگذاری داده‌های تولید شده در کلیه تصمیمات و برنامه‌ریزی‌های آب، به صورتی است که می‌توان گفت مطالعات پایه، در وقایع تلخ و شیرین آب کشور نقش محوری داشته است. ضرورت این مهم به ویژه در بحبوحه‌هایی نظیر وقوع شرایط خاص نظیر سیلاب که نیازمند تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری‌های سریع و لحظه‌ای است به صورت روشن‌تری مشهود است؛ چرا که اتخاذ تصمیمات دقیق و صحیح، ضمن مدیریت خسارات مالی فراوان ممکن، مانع از بروز لطمات انسانی غیر قابل جبران شده و یا از شدت خسارات خواهد کاست.

وقوع سیلاب‌های اواخر سال ۹۷ و اوایل سال ۹۸، شاهدی دقیق بر این مدعاست. اگرچه بارش‌های بسیار مناسب این دوران از

## یادداشت کوتاه

### نقش محوری داده‌ها و مطالعات پایه



محمد حاج رسولیها/ مشاور وزیر نیرو و قائم مقام شرکت مدیریت منابع آب ایران

مدیریت کارآمد منابع آب از سطوح کلان تا محلی، به عنوان یک سیستم پیچیده؛ نیازمند پشتوانه‌های دانشی صحیح و داده‌های قابل اعتماد و دقیق است. نقش و اهمیت مطالعات

نگاهی دیگر رحمتی الهی بود که کشور را از فاجعه خشکسالی سالیان قبل دور کرد، از طرفی می‌توانست منجر به رقم خوردن مشکلات فراوانی از طریق وقوع سیلاب برای مردم عزیز مناطق مختلف کشور گردد که الحمدلله با تلاش همه دستگاه‌های اجرایی دخیل در امر مدیریت سیلاب، این مشکلات به کمترین میزان تقلیل یافت.

طی این بارش‌ها، سیلاب‌ها به مناطق وسیعی از کشور گسترش پیدا کردند به طوری که در حدود ۲۰۰ شهر و ۴۳۰۰ روستا در ۲۵ استان کشور تحت تأثیر این سیلاب‌ها قرار گرفتند و به بیش از ۱۵۰ هزار واحد مسکونی و نزدیک به ۱۵۰۰ مدرسه، در معرض تهدید قرار گرفتند. آب و برق چند هزار روستا، آب ده‌ها شهر و گاز بخشی از مشترکین، قطع شد و به زیرساخت‌های مختلفی نظیر پل‌ها، جاده‌ها، شبکه‌های توزیع آب، برق و مخابرات، تأسیسات شهری و روستایی، مراکز درمانی و زیرساخت‌های کشاورزی، صدماتی وارد شد. به اراضی کشاورزی و باغ‌ها خسارت وارد آمد و شاهد تلفات در بخش دام، طیور و آبزیان و خسارات به واحدهای صنعتی و صنفی نیز بودیم.

این سیلاب‌ها، حاوی تجربیات و درس آموزه‌های متعددی بود که در وقایع بعدی قابل استفاده است، بطوریکه توانست در خسارات ناشی از بارش‌های ابتدای سال جاری (۱۳۹۹) سرمایه‌ای ارزشمند محسوب و مورد بهره‌برداری مناسبی در مدیریت و کاهش خسارات قرار گیرد. از آن جمله، تجربه سیلاب‌های مذکور؛ نقش و اهمیت سیستم مانیتورینگ چه از لحاظ فنی و چه از لحاظ روانی را بیش از پیش مشخص ساخت. شرایط خاص بارش‌ها و حجم ذخیره سدها در فروردین ماه ۱۳۹۸؛ تقریباً همه مدیران و کارشناسان شرکت مدیریت منابع آب ایران و شرکت‌های تابعه استانی را به نوعی درگیر کرد؛ به ویژه اعضای ستاد فرماندهی مدیریت سیلاب که ۲۴ ساعته نسبت به رصد شرایط مبتنی بر داده‌های دقیق برداشت شده، اقدام داشته و نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌ها و تصمیم‌سازی‌ها برای مدیریت سیلاب و مخازن سدهای کشور ایفا نمودند.

از دیگر سو، به همان میزان که داده‌های دقیق و صحیح بر تصمیم‌گیری‌های درست موثر هستند، داده‌های غیردقیق و یا نادرست نیز می‌توانند منجر به انحراف و تحلیل‌های نادرست گردند. به عبارت دیگر خطر داده‌های نادرست در بسیاری از موارد از جمله در مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌تواند بیش از نبود اطلاعات و هرگونه داده فنی نامطمئن و غیرقابل اتکا باشد. مبتنی بر این واقعیت، شورای عالی آب در دولت یازدهم؛ دسته اول اقدامات طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی

(مصوب جلسه پانزدهم شورای عالی آب کشور در تاریخ ۲۵ شهریور ۹۳) را بر حول پروژه‌هایی که منجر به تولید و تدقیق داده‌ها و اطلاعات در خصوص منابع و مصارف وضعیت آبخوان‌ها می‌شوند، تعریف کرد.

اقدامات تعریف شده در این دسته عبارت هستند از:

- حفر چاه‌های پیزومتری و اکتشافی

- تجهیز چاه‌های پیزومتری به ابزارهای سنجش

- تهیه بیلان و به‌هنگام‌سازی بانک اطلاعاتی محدوده‌های مطالعاتی کشور

این اقدامات که با سایر پروژه‌های تعریف شده در طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی نظیر تقویت و استقرار گروه‌های گشت و بازرسی پشتیبانی می‌شوند، ضمن فراهم آوردن داده‌های به‌روز از شرایط دشت‌های بحرانی کشور برای مدیران و تصمیم‌گیران؛ بستر مناسبی جهت نشر اطلاعات و داده‌های شفاف برای عموم مردم به‌ویژه گروه‌های بهره‌بردار را فراهم می‌آورد تا در راستای اقدامات آگاهی بخشی و ظرفیت‌سازی اجتماعی ویژه تعریف شده در قالب دستورالعمل دوم طرح با عنوان اطلاع‌رسانی، آموزش و فرهنگ‌سازی، با ایجاد فضایی شفاف و مبتنی بر اعتماد، منجر به جلب مشارکت و همراهی آنان گردد.

بدون تردید؛ با توسعه ابعاد مدیریت آب در کشور؛ نیازهای آب کشور به خصوص در مباحث کیفیت با دهه‌های گذشته روز به روز در حال رشد است و بر این اساس ضروری است تا با سازماندهی مشخص، نسبت به مطالعه و توسعه شبکه پایش کیفی براساس نیازهای جدید در بخش آب کشور اقدام شود و توجه ویژه‌ای نسبت به این امر صورت بگیرد.

هر چند در کنار مباحث مدیریتی در بخش آب به هیچ عنوان ناپستی از اقدامات سازه‌ای غافل بود. چه بسا اگر در بعضی از مناطق سیل‌خیز توجه به احداث سدهایی جهت مهار سیلاب می‌شد، بخشی از خسارات اشاره شده در سیلاب کاهش می‌یافت که در این راه با توجه به منابع مالی محدود در کشور اولویت‌بندی اجرای طرح‌ها، بایستی مد نظر باشد.

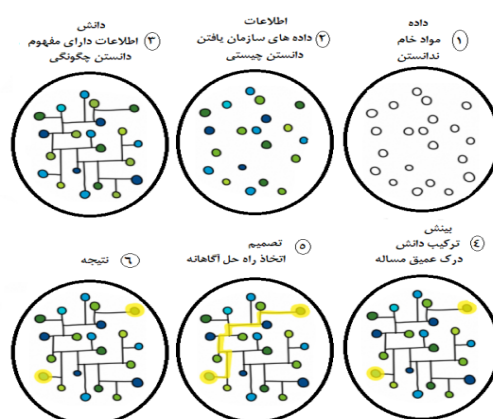
آخرین نکته‌ای که ضرورت دارد اشاره شود این است که در کنار تمامی مباحث سازه‌ای و غیرسازه‌ای، مدیریتی و نرم‌افزاری، اگر به هم پیوستگی در مدیریت بخش آب کشور نباشد و ساختار آب بر این مبنا اصلاح نگردد، قطعاً نتیجه اقدامات، اثربخشی آن‌چنانی نخواهد داشت که در این راستا وزارت نیرو پیاده‌سازی و استقرار مدیریت به هم پیوسته حوضه‌های آبریز (IWB) را در راس فعالیت‌های خود در سال ۱۳۹۹ قرار داده است.

## یادداشت کوتاه



## از داده تا تصمیم

مدیریت را می‌توان تصمیم‌گیری و اجرای تصمیم‌ها دانست. با این باور، مدیریتِ کارآمد و موفق، گرفتن و اجرای تصمیم‌های درست، به‌جا، منصفانه و عادلانه در زمان و مکان مناسب است. برای گرفتن چنین تصمیم‌هایی، باید مسئله‌ای که برای حلش تصمیم می‌گیریم را به‌درستی و کامل و جامع بشناسیم. برای شناخت مسئله و راه‌حل‌های گوناگون آن نیاز به بینش داریم. بینش برآمده از دانش و دانش، دست‌آوردِ داشتنِ اطلاعات درست و به‌جا و تجربه و مهارت و ورزیدگی است. چنین اطلاعاتی فرآوردهٔ پردازش داده‌های دقیق، درست، به‌جا و به‌روز توسط کارشناسان خبره و با تجربه است. داده‌های درست نیز از دیدن و ثبت دقیق و به‌جای رخدادها توسط کارشناسان کاربلد و دقیق به‌دست می‌آید. پس داده‌های درست سنگ بنای تصمیم‌های کارآمد و تصمیم‌های کارآمد پیش‌نیاز حل مسئلهٔ فرد، خانواده، نهادها، سازمان‌ها و جامعه است. روابط یادشده در تصویر زیر نمایش داده شده است.



در علم آب و هواشناسی، رخدادها هیچگاه تکرار نمی‌شوند. هر بارش و سیلاب، ترسالی یا خشکسالی و پدیده‌هایی از این جنس، تنها یکبار رخ می‌دهد. از این‌رو اگر مشخصات داده‌ها، همانی که هست، با دقت و درستی و به شیوه‌ای علمی برداشت نشده و ثبت نگردد، آن داده برای همیشه از بین خواهد رفت.

برای روشن شدن بهتر رابطهٔ داده و تصمیم و مدیریت کارآمد و به‌روز، به مثالی بسیار ساده توجه کنید. مسئله ما تأمین پایدار آب شرب و بهداشت یک روستا برای امروز و در سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۰۵ و ۱۴۵۰ است. برای حل درست مسئله در بازه‌های تاریخی پیش گفته به چه داده‌ها و اطلاعاتی نیاز داریم؟ جمعیت روستا و تعداد دام، منابع آبی، توان و کیفیت آب، شبکه انتقال و توزیع آب، سرانه آب مصرفی هر فرد، حجم آب بدون درآمد و هدررفت و .... با تجربه و مهارت و دانشی که داریم و با داشتن داده‌ها و اطلاعات درست، دقیق و به‌روز می‌توانیم بگوئیم که روستا امروز آب بهداشتی به میزان نیاز دارد یا خیر؟ اگر ندارد حجم کمبود و بهترین راه برای تأمین آب امروز و فردای آن چیست؟ برای حل مسئله، اعتماد مردم روستا به ما هم بسیار مهم است.

حل مسئله برای سال آینده نیاز به داده‌ها و اطلاعات زیادی دارد. در اینجا باید روندها را هم به دقت بشناسیم. روند رشد جمعیت انسان و دام روستا، پایداری کمی و کیفی منابع آب، نوع منابع آبی و تأثیر بارندگی بر کمیت و کیفیت آب روستا، پیش‌بینی حجم بارش، روند تغییرات سرانه آب و حجم آب بدون درآمد و داده‌ها و اطلاعاتی از این جنس. با داشتن آن، می‌توان برآورد کرد که سال آینده کمبود آب خواهیم داشت یا نه؟ اگر کمبود آب داشته باشیم باید پروژه‌ای برای تأمین آب تعریف شود. بر مبنای نتایج مطالعات، حجم کار، اعتبار لازم و زمان بهینه برای اجرای پروژه مشخص خواهد شد.

تأمین پایدار کمی و کیفی آب روستا در افق ۱۴۰۵ و ۱۴۲۰ به داده‌ها و اطلاعات درست، به‌روز و دقیق بسیار بیشتری نیاز دارد. در این بازهٔ زمانی، بسیاری از داده‌ها و اطلاعات با عدم قطعیت زیادی روبرو خواهند بود. روند رشد جمعیت، سرانه نیاز و توان کمی و کیفی آینده منابع آبی، تغییرات آب و هوا، افزایش یا کاهش بارش، تغییرات کمی و کیفی آب در حوضه آبریزی که منابع آبی روستا در آن قرار دارد و تأثیر آن بر کمیت و کیفیت آب روستا، روند رشد دانش و ابزار و بهره‌وری آب و بهبود فرهنگی مردم روستا و تأثیر آن بر مصرف آب و تولید فاضلاب، روند مدیریت مصرف و بهبود و اصلاح شبکه انتقال و توزیع آب، روند افزایش یا کاهش بهره‌وری آب در کشاورزی و صنعت، رشد صنعتی شدن روستا و روند کاهش یا افزایش اعتماد مردم به ما و مشارکت آن‌ها در انجام کار و ...

با داشتن حجم انبوهی از داده‌ها و اطلاعات و به کمک مدل‌های درست و علمی، می‌توان چشم‌انداز نسبتاً روشنی، با عدم قطعیت‌های تأثیرگذار، از آینده به‌دست آورد. هرچه

آینده دورتر باشد، عدم قطعیت‌ها بیشتر خواهد شد و تصمیم‌گیری سخت‌تر و مشکل‌تر. پس از آن، چنانچه کمبود آب شرب و بهداشت داشته باشیم، باید حجم آن در زمان‌های برنامه‌ریزی شده برآورد شود و در هر حالتی راه‌های تأمین حجم کمبود آب، انتخاب گزینه بهینه، تعریف پروژه، زمان‌بندی و بودجه‌بندی آن و راه‌های تأمین اعتبار و اجرای آن هم، باید تعیین شود.

در این مثال ساده در ساده‌ترین گزینه یعنی تأمین آب امروز و فردای روستا، اگر جمعیت روستا، تعداد و نوع دام، منبع آبی، توان آبدهی و کیفیت آب، سرانه مصرف و تغییرات دمای هوا و نسبت آن با مصرف آب و حجم آب برداشت شده را به‌درستی ندانیم، راه‌حلی که برای آن ارائه خواهیم کرد، چندان درست نخواهد بود.

با توجه به آنچه گفته شد، مسئله آب با داشتن داده‌ها و

اطلاعات درست و به‌روز و وجود کارشناسان و مدیرانی توانمند و کارآمد و اعتماد عمومی، بسیار خطرناک و پیچیده و پر از عدم قطعیت است. انسان توانمند با ابزارهای مدرن و کارآمد توان حل مسائل بسیار پیچیده را دارد. اما محیط‌زیست نیز بسیار پیچیده و به‌هم پیوسته است. تجربه دو قرن گذشته، از انقلاب صنعتی تا کنون، نشان داده که حل هر مسئله‌ای، مسئله بزرگ‌تر و پیچیده‌تر با پیامدهای خطرناک‌تری را به‌دنبال داشته است. تأمین امنیت آبی امروز چه پیامدهایی خواهد داشت و آینده را با چه تهدیدها و چالش‌هایی روبرو خواهد کرد؟ انسان جام بلورین پیشگویی ندارد. باید امروز مسائل آبی‌مان را به‌درستی و دقت و در چارچوب طرح آمایش سرزمین حل کنیم. پیامدهای آن را آیندگان خواهند دید. پس بسیار بهوش باشیم تا داوری تاریخ درباره ما ناپسند و گزنده نباشد.



## The Importance and Application of Citizen Science in Hydrology and Water Resources Management

M. Sanjari Banestani<sup>1</sup>, V. Sheikh<sup>2\*</sup>, A. Zare Garzi<sup>3</sup>, A. Avarand<sup>4</sup>

1,2,3- MSc Student, Associate Professor, & Assistant Professor of Watershed Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 4- Ph. D. Student, Agricultural Economics, Payame Noor University, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: sheikh@gau.ac.ir)

Received: 29-11-2019

Accepted: 12-01-2020

## اهمیت و کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی و مدیریت منابع آب

مریم سنجری بنستانی<sup>۱</sup>، واحدبردی شیخ<sup>۲\*</sup>، آرش زارع گازی<sup>۳</sup>، آمنه آورند<sup>۴</sup>

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۴- دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، واحد تهران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: sheikh@gau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۲

### Abstract

The science of hydrology is the basis for decision-making in water resources management and assessing related risks including floods, droughts, and pollution. Despite its vital relevance to the society, this discipline is facing a severe shortage of data in appropriate spatial and temporal scales. This is especially true in low-income and underdeveloped countries due to lack of information and high cost of the monitoring process. Therefore, data collection by local communities and volunteers and monitoring through public involvement is considered effective in this regard. Citizen science entails the involvement of researchers and local volunteers in the process of data collection and analysis, scientific knowledge development, sharing information and encouraging interaction and responsiveness between local communities and natural environment. Literature review shows a limited number of social studies on hydrology and water resources, indicating low leaning to citizen science in water resources management compared to other disciplines such as ecology and astronomy, but there is an increasing trend due to increasing the importance of water resources. Results of researches show that if citizens are adequately educated, the reliability of collected data by citizens can be acceptable. Therefore, considering the potential of citizen science and use of technologies, the reliable, timely and long-term hydrological data can be obtained and used in decision making and management of water resources.

**Keywords:** Crowdsourcing, Participatory monitoring, Watershed stakeholders, Lack of data, Level of participation.

### چکیده

علم هیدرولوژی اساس تصمیم‌گیری در منابع آب و ارزیابی خطرات مربوط به آن مانند سیل و خشک‌سالی و آلودگی است. علی‌رغم اهمیت حیاتی این علم برای جامعه، این زمینه علمی با کمبود شدید داده‌ها در قلمروهای مکانی و زمانی روبه‌رو است. در کشورهای جهان سوم و کم‌درآمد به دلیل محدودیت داده‌ها و اطلاعات آماری و هزینه‌بر بودن فرایند پایش بیشتر با کمبود داده‌ها مواجه هستند. لذا داده‌های جمع‌آوری شده توسط جوامع محلی و داوطلب و پایش از طریق مردم یک روش موثر در این زمینه است. علم شهروندی بیانگر مشارکت بین محققان و جوامع داوطلب با هدف جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، توسعه دانش علمی، اشتراک‌گذاری اطلاعات و تشویق تعامل و تفاهم بین جوامع محلی و محیط‌طبیعی آنها است. مرور منابع نشان می‌دهد به‌کارگیری علم شهروندی در هیدرولوژی و منابع آب نسبت به سایر رشته‌های علمی از قبیل اکولوژی و نجوم محدودتر است، اما به دلیل اهمیت روزافزون منابع آب رو به افزایش است. نتایج تحقیقات نشان داده است در صورتی که آموزش کافی به شهروندان داده شود، داده‌های جمع‌آوری شده توسط شهروندان اعتبار قابل قبولی دارد. بنابراین با توجه به پتانسیل علم شهروندی و گسترش تکنولوژی‌ها می‌توان به جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی قابل اعتماد، به موقع و طولانی مدت دست یافت و در تصمیم‌گیری و مدیریت منابع آب استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** یکپارچه‌نگری، مشارکت، گروه‌داران، جامع‌نگری.

داده‌های جمع‌آوری شده توسط جوامع محلی و داوطلب و پایش داده‌ها از طریق مردم، یک روش موثر در این زمینه تلقی می‌شود (Silvertown, ۲۰۰۹). بنابراین یک نیاز روبه‌رشد در سراسر جهان برای جمع‌آوری داده‌های مقرون‌به‌صرفه در تولید دانش برای مدیریت پایدار منابع طبیعی وجود دارد (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۶). این نیاز به توسعه رویکردهای نوین برای جمع‌آوری و نظارت بر داده‌های محیط‌زیستی در توجه روزافزون اخیر به دانش شهروندان منعکس شده است. علم شهروندی (Citizen Science) در تحقیقات منابع طبیعی و پژوهش‌های هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر محبوبیت‌های زیادی پیدا کرده است (Njue و همکاران، ۲۰۱۹). علم شهروندی به عنوان بخشی از پروژه مشارکتی با دانشمندان حرفه‌ای می‌باشد (Bonney و همکاران، ۲۰۱۶). برخی علم شهروندی را به عنوان یک همکاری موثر بین دانشمندان حرفه‌ای و داوطلبان (که مسئول جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل برخی از آن‌ها هستند) بیان می‌کنند (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹). رویکردهای علم شهروندی از نظر مقیاس، هدف و درجه مشارکت متفاوت می‌باشند. مشارکت غالباً بیانگر یک علم شهروندی مشارکتی است که در آن شهروندان در جمع‌آوری داده‌ها مشارکت دارند (Njue و همکاران، ۲۰۱۹).

شهروندان با استفاده از دامنه وسیعی از دستگاه‌ها و تکنیک‌ها مربوط به خود (از جمله موبایل و تبلت)، رسانه‌های اجتماعی و تکنیک‌های جدید می‌توانند با سهولت بیشتری در توسعه علمی شرکت کنند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار محققان و سازمان‌های مربوطه قرار دهند. علم شهروندی این پتانسیل را دارد که ایجاد دانش و شواهد مبتنی بر علم را تقویت کند و در مدیریت منابع طبیعی نقش ویژه‌ای داشته باشد. بنابراین این مقاله با هدف مروری در مورد پتانسیل‌های علم شهروندی و کاربرد آن در زمینه هیدرولوژی، منابع آب و چالش‌ها و فرصت‌هایی که ممکن است در پیش‌رو باشد، انجام شده است.

داده و اجرای آن وجود دارد که انجام وظایف مختلف علمی با کمک گروه‌های بزرگ، از طریق استفاده از اینترنت انجام می‌شود (Dickinson و همکاران، ۲۰۱۲). علم شهروندی یک مفهوم کاملاً جدید نیست، اما در تحقیقات علمی به‌طور فزاینده‌ای محبوب است (Silvertown, ۲۰۰۹). موضوع مهم در علم شهروندی، میزان حضور دانشمندان یا متخصصان نیست بلکه مشارکت مردم در تحقیقات علمی است. در واقع رویکردی است که در آن داوطلبان به روش‌های مختلف در تولید دانش جدید، مشارکت دارند و به‌طور ذاتی (مثلاً افزایش سواد علمی) و یا بیرونی (به‌عنوان مثال، افزایش

تأمین آب یکی از اساسی‌ترین خدمات اکوسیستم و زیربنای رفاه اجتماعی است. غالباً موضوع قابل توجهی برای توسعه پایدار و کاهش فقر است (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۶). حوضه آبخیز، واحد کار برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع طبیعی و ارزیابی خطرات مربوط به خشک‌سالی، سیل و کیفیت آب است. با وجود اهمیت فراوان سیستم آبخیز و ضرورت مدیریت و بهره‌برداری از آن مبتنی بر روش‌های علمی (جمع‌آوری، پردازش و کاربرد داده‌ها)، اکثر حوضه‌های آبخیز به‌ویژه در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه با کمبود داده‌ها، هم در بعد زمان و هم در بعد مکان، روبه‌رو هستند (Hannah و همکاران، ۲۰۱۱).

علم هیدرولوژی، بیشتر تصمیم‌گیری‌ها در مورد منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مبتنی بر ارزیابی خطرات ناشی از آب مانند سیل و خشک‌سالی است؛ اما علی‌رغم اهمیت ویژه‌ای که در جامعه دارد، این حوزه علمی با کمبود شدید داده‌ها و اطلاعات آماری در هر دو گستره مکانی و زمانی مواجه است (Hannah و همکاران، ۲۰۱۱). پایش هیدرولوژیکی مبتنی بر مشاهدات در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع آب ضروری است. با توجه به پایگاه داده‌های هیدرولوژیکی محدود، لزوم استفاده از روش‌های جایگزین برای جمع‌آوری داده‌ها اهمیت زیادی دارد.

با توجه به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن فرآیند پایش مستمر آبخیزها با استفاده از ابزار و ادوات پیشرفته و تحت نظر مؤسسات و شرکت‌های فنی-تخصصی، اخیراً از رویکرد توسل به شهروندان/آبخیزنشینان و مشارکت دادن آن‌ها در فرآیند پایش و ارزشیابی استقبال شده است. فن‌آوری‌های جدید ارتباطی و تصویربرداری دیجیتال به مردم این امکان را داده است، اطلاعات زیادی از مشاهدات مربوط به سیل را تولید کرده و از طریق رسانه‌های اجتماعی به اشتراک بگذارند.

## تعاریف و مفاهیم اولیه علم شهروندی

علم شهروندی به مشارکت عموم مردم (در کنار دانشمندان) در مراحل مختلف یک تحقیق علمی از جمله طراحی تحقیق، جمع‌آوری داده‌ها و پردازش و تفسیر آن‌ها اطلاق می‌شود. علم شهروندی درگیر شدن اعضای جامعه در مراحل مختلف یک تحقیق علمی مانند جمع‌آوری، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌های علمی است (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹). در این زمینه، طیف گسترده‌ای از رویکردها، از جمله مشارکت دادن عموم مردم در مراحل مختلف پروژه شامل جمع‌آوری

سرمایه اجتماعی) بهره می‌برند. مشارکت شهروندان در علم، یک مفهوم کلی است که از بسیاری از رشته‌ها پدید آمده است. در سال‌های اخیر، علم شهروندی به عنوان راهی برای پاسخ به سؤالات تحقیق مورد توجه قرار گرفته است که این عمل نمی‌تواند بدون داده‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات صورت پذیرد و همچنین به عنوان روشی برای مشارکت مردم و درگیر کردن آن‌ها به منظور آشنایی با مشکلات و بهبود سواد علمی انجام می‌پذیرد (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹).

### تاریخچه علم شهروندی

اگرچه اخیراً علوم شهروندی شناخت گسترده‌تری پیدا کرده است، اما از گذشته در بین مردم رایج بوده است (Bonney و همکاران، ۲۰۰۹؛ Silvertown، ۲۰۰۹). نخستین ابتکار عمل

### ترویج علم شهروندی

مشارکت شهروندان به صورت بالقوه باعث تقویت چشم‌اندازها می‌شود. پایداری دانش تولید شده به صورت طبیعی به محلی که مشارکت در آنجا صورت می‌گیرد بستگی دارد و اگر با مزیت‌های اجتماعی محلی ارتباط داشته باشد پایداری خود را حفظ می‌کند (Danielsen، ۲۰۰۵). در سیستم‌های مختلف به این دلیل که منابع آب در معرض خطر بودن باید به این بخش توجه بیشتری شود.

#### ۱- چگونگی ارتباط و انگیزه برای مشارکت شهروندان

مشارکت می‌تواند به سبب نگرانی محیط‌زیستی، کنجکاوی علمی و حس تحقق بخشیدن به مشارکت در پیدا کردن پاسخ‌ها باشد، ممکن است به صورت داوطلبانه آغاز شود (Cohn، ۲۰۰۸). از سوی دیگر، اعضای یک اجتماع که معیشت آن‌ها بستگی به محیط محلی خود دارد (به عنوان مثال، کشاورزان در کشورهای در حال توسعه)، ممکن است از دانش علمی برای ایجاد درک بهتر محیط خود استفاده کنند و از این امر برای به دست آوردن اهرم سیاسی در جامعه خود بهره ببرند (Overdevest و همکاران، ۲۰۰۴). مطالعاتی که در کشورهای مختلف انجام شده است نشان می‌دهد، در هر کشوری مردم چگونه درگیر مشارکت می‌شوند. مشارکت قوی شهروندان در به اشتراک‌گذاری و جمع‌آوری اطلاعات در نهایت منجر به آمادگی بیشتر نسبت به تغییرات ناگهانی می‌شود. در پروژه‌های علوم شهروندی برای دستیابی به مشارکت داوطلبانه پائیدار، مسیرهای ارتباطی بین متخصصان علمی، داوطلبان شهروندی و اعضای جامعه غیر عضو باید با دقت مورد توجه قرار گیرد و

شهروندان در سال ۱۸۹۰ با سرویس ملی در ایالات متحده آغاز شد، جایی که داوطلبان اندازه‌گیری روزانه دمای هوا و بارندگی را گزارش می‌کردند (Lee، ۱۹۹۴). در اوایل دهه ۱۹۰۰ میلادی، ائتلاف شمارش پرندگان کریسمس آدوبون در ایالات متحده و اتحادیه شرکت‌های مشترک پرندشناسی در انگلستان تأسیس شد. این پایش پرندگان بزرگ‌ترین، طولانی‌ترین و موفقیت‌آمیزترین اشکال فعالیت‌ها در زمینه علوم شهروندی است که تا به امروز ده‌ها هزار نفر از شرکت‌کنندگان بالغ بر یک میلیون رکورد از انواع گونه‌ها را در سراسر جهان جمع‌آوری و ثبت کرده‌اند (Hochachka و همکاران، ۲۰۱۲). از آن زمان به بعد، کاربرد علم شهروندی به طور منظم رشد پیدا نمود، به طوری که این علم از نظر مقیاس، اندازه، هدف، موضوع مورد بررسی، فراوانی، سطح مشارکت و هزینه‌های پایش بسیار متغیر است (Danielsen و همکاران، ۲۰۰۵).

همچنین توجه بیشتری به وضوح آموزش و بازخورد آن در سراسر پروژه صورت گیرد (Rotman و همکاران، ۲۰۱۴). مشارکت مردم در فعالیت‌های جمع‌آوری داده نه تنها شامل مشارکت گسترده مردم می‌شود بلکه اطلاعات مهمی را برای مدیریت آبخیز فراهم می‌کند (Starkey و همکاران، ۲۰۱۷). در حقیقت، پروژه‌های شهروند-دانشمند در مناطق مختلف با اهداف متفاوتی اجرا می‌شود به طوری که در مناطق ثروتمند با هدف افزایش آگاهی و سواد علمی و در مناطق در حال توسعه غالباً با هدف افزایش رفاه اجتماعی و کاهش فقر اجرا می‌شود (Gura، ۲۰۱۳).

#### ۲- مشارکت در علم شهروندی

از دیدگاه پژوهشگران، پنج فاکتور اقدام، حفاظت، تحقیق، آموزش و پرورش بر اساس مشارکت نسبی شهروندان و دانشمندان در طراحی، جمع‌آوری، تفسیر و بهره‌برداری داده‌ها شناسایی شده است که تمایلات علمی شهروندان بر اساس این پنج فاکتور سازمان‌یافته و توسعه داده شده است (Wiggins و Crowston، ۲۰۱۱). مشارکت جمعی می‌تواند به علم شهروندی سمت و سو دهد. مشارکت جمعی را می‌توان در پروژه‌های تحقیقاتی علم شهروندی استفاده کرد، اگرچه شهروندان معمولاً اعضای عمومی هستند و علی‌رغم اینکه در موضوع مورد مطالعه به طور رسمی آموزش دیده نیستند، ورودی و سهم ارزنده‌ای را ارائه می‌دهند (Swan، ۲۰۱۲). مشارکت جمعی و علوم شهروندی روش‌هایی برای تولید ایده‌ها، حل مشکلات و انجام وظایف ارائه می‌دهند، همه این‌ها می‌توانند در فرایندهای تحقیق نقش داشته باشند. همچنین پروژه‌های علمی شهروندی مبتنی بر رویکردهای مشارکت جمعی،

باعث ایجاد گفتگو بین محققان و شهروندان می‌شود که می‌تواند اعضای جامعه را درگیر تحقیق نماید و تحقیقات را جامع‌تر و کامل‌تر کنند (Del Savio و همکاران، ۲۰۱۶). مشارکت جمعی برای کارهای گسترده بسیار مفید است و این امکان را برای انجام کارهایی که برای گروه کوچکی از محققان وقت‌گیر یا پرانرژی است، فراهم می‌کند. فن‌آوری دیجیتالی و اینترنت باعث افزایش چشمگیر و

بالقوه فعالیت‌های مشارکت جمعی و ابتکارات علمی شهروندان شده است. مشارکت جمعی می‌تواند در مراحل مختلف فرآیند تحقیق از جمله جمع‌آوری داده‌ها، پردازش و تفسیر استفاده شود (Afshinnkoo و همکاران، ۲۰۱۶). نمونه‌ای از برنامه‌های علمی و کاربردی که از مشارکت جمعی و پژوهش شهروندی می‌توان در آن‌ها استفاده نمود در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- نمونه‌ای از برنامه‌های مشارکت جمعی در پژوهش‌ها

| برنامه                       | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| جمع‌آوری داده‌ها             | جمع‌آوری اطلاعات: جمع‌آوری یک کاربرد متداول از جمع‌آوری داده‌ها در علم شهروندی است. شهروندان می‌توانند حجم زیادی از داده‌ها را جمع‌آوری کنند و گستره وسیعی از مکان‌های جغرافیایی یا لحظه‌های زمانی را پوشش دهند.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| پردازش داده‌ها               | ۱- تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر: یک کاربرد متداول از علم شهروندی در مشارکت جمعی است. بعضی مواقع انسان‌ها می‌توانند بهتر از کامپیوترها عکس‌ها را تفسیر کنند، مانند تصاویر حاوی حیات وحش.<br>۲- طبقه‌بندی داده‌ها به غیر از تصاویر: انواع داده‌ها شامل صدا، متن دست نوشته و خلاصه‌های علمی است.                                                                                                                                                                                                    |
| حل مسئله                     | ۱- ایجاد زمینه رقابت: مشارکت کنندگان که اغلب مردم عادی هستند، برای حل مشکلات یا توسعه ایده‌های جدید با یکدیگر رقابت می‌کنند. این رویکرد با ترسیم دیدگاه‌های متنوع، مزایایی را می‌تواند ایجاد کند.<br>۲- بازی‌های هدفمند: بازی‌های هدفمند ممکن است مشارکت را تشویق کند، زیرا سرگرم کننده هستند و به سوال‌های تحقیقاتی اساسی احتیاج ندارند.                                                                                                                                                    |
| شکل دادن به اولویت‌های تحقیق | تنظیم برنامه توسط شهروندان: جوامع ذی‌نفع ممکن است حیطه‌های مهمی را که احساس می‌کنند باید در تحقیقات مورد توجه قرار گیرند، شناسایی می‌کنند.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| تولید ایده                   | گروه‌های سازمان‌یافته: تولید ایده یکی از چارچوب‌های مشارکت جمعی است که فضای دیجیتالی و اجتماعی را برای تولید، بحث و گفتگو، پالایش و ارزیابی ایده‌ها ارائه می‌دهد (Saldívar و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین سازمان‌ها یا افراد می‌توانند از این طریق برای ایجاد فضاهای آنلاین استفاده کنند که جوامع ذی‌نفع بتوانند برای به اشتراک گذاشتن ایده‌ها گروه‌های سازمان‌یافته را تشکیل دهند. در نهایت ایده‌های برتر رتبه‌بندی می‌شوند، سپس توسط سازمان‌ها پذیرفته می‌شوند یا به روش‌های دیگر پیش می‌روند. |
| ایجاد اجماع                  | روش‌های مختلفی برای ایجاد اجماع وجود دارد. مشهورترین آن‌ها دلفی است. دلفی تکنیکی برای جمع‌آوری و ترکیب نظرات متخصصان است که در دهه ۵۰ و ۱۹۶۰ در شرکت RAND توسعه یافته است. اکنون مطالعات مبتنی بر روش‌های دلفی معمولاً با استفاده از ابزارهای آنلاین انجام می‌شود.<br>( <a href="https://www.rand.org/pubs/tools/expertlens.html">https://www.rand.org/pubs/tools/expertlens.html</a> )                                                                                                      |

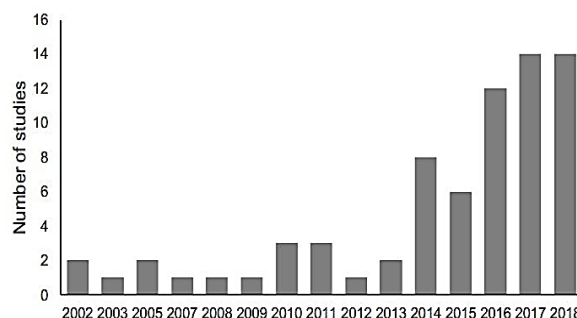
## کاربرد علم شهروندی و مطالعات انجام شده در زمینه هیدرولوژی و منابع آب

علاوه بر اهمیت و مزایای متعدد داده‌های بلندمدت هیدرولوژیکی، مقدار داده‌های جمع‌آوری شده در زمینه هیدرولوژی تا سال ۲۰۰۹ کاهش یافته است. در بسیاری از نقاط جهان، به‌ویژه در آفریقا، آمریکای لاتین، آسیا و حتی آمریکای شمالی میزان جمع‌آوری داده کاهش یافته است (Mishra و Coulibaly، ۲۰۰۹). عوامل متعددی منجر می‌شود که جمع‌آوری داده‌ها کاهش یابد، اما فقدان درک اهمیت داده‌های جریان درازمدت و چالش‌های تأمین مالی مداوم از

دلایل اصلی این کاهش محسوب می‌شوند (Pearson، ۱۹۹۸). درحالی‌که سیستم‌های آب در طول زمان و فضا با فعالیت‌های طبیعی یا انسانی تغییر می‌کنند و به تبع آن تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات مدیریتی باید انجام شود تا از شرایط نامطلوب در حال حاضر و آینده جلوگیری شود. تصمیم‌گیری و انجام اقدامات بهینه نیازمند پایش مستمر و جمع‌آوری داده‌های طولانی مدت از سیستم مورد نیاز است و بدون وجود چنین داده‌هایی تصمیم‌گیری‌ها و اقدامات مبنای علمی قوی نخواهند داشت. امروزه، تکنیک‌های اندازه‌گیری جریان از راه دور (در حال حاضر فقط برای رودخانه‌های بزرگ)، یک روش امیدوار کننده برای جبران کمبود داده‌ها



است (Lowry و Fienen، ۲۰۱۳)، اما Njue و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸، تعداد ۷۱ مطالعه را بررسی کردند، نتایج بررسی آنها نشان داد تعداد پروژه‌های علمی دانش هیدرولوژی در دهه گذشته افزایش یافته است (شکل ۱).

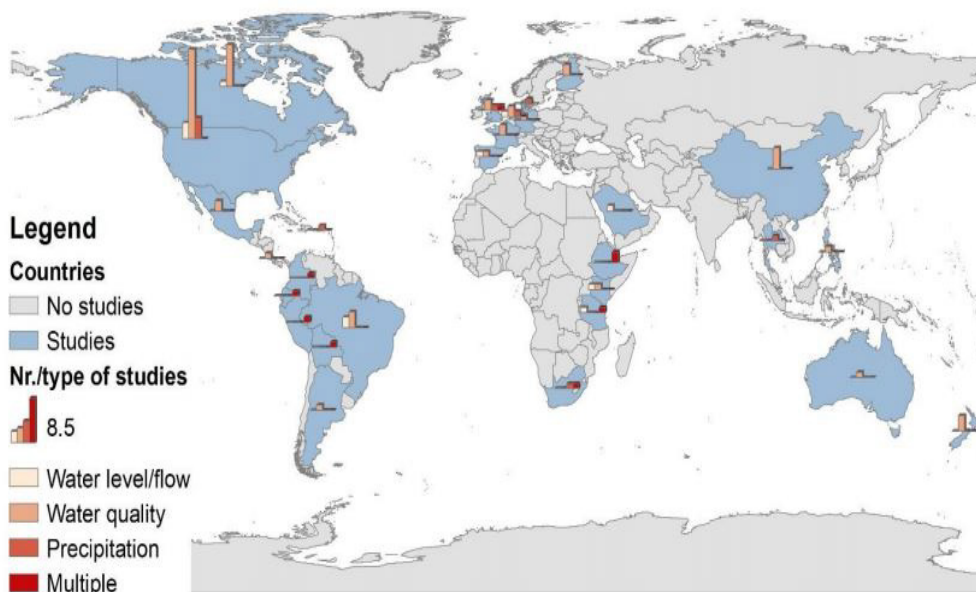


شکل ۱- تعداد پروژه‌های علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)

دلایلی همچون، پیشرفت فناوری‌های نوظهور، افزایش تجهیزات سنجش کم‌هزینه و افزایش علاقه به پژوهش در زمینه کمیت و کیفیت آب در بین شهروندان باعث شده است، تعداد مطالعات در این زمینه به‌ویژه از سال ۲۰۱۴ به سرعت افزایش یابد.

بیشتر مطالعات در مناطق با درآمد بالا صورت گرفته است، آمریکای شمالی و اروپا به‌ترتیب با ۴۵٪ و ۲۰٪ بیشترین میزان مطالعات را داشتند. مطالعات اندکی در رابطه با علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی انجام شده است. این مطالعات در استرالیا ۴٪ و کشورهای در کم درآمد آفریقا و آسیا به‌ترتیب ۱۰٪ و ۹٪ گزارش شده است (شکل ۲). علم شهروندی در هیدرولوژی حتی در کشورهای کم درآمد، اگرچه هنوز در مراحل ابتدایی است، اما به تدریج رو به افزایش است. شکل (۲) پراکنش جغرافیایی مطالعات علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی را نشان می‌دهد.

همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود اکثر برنامه‌های علم شهروندی (۶۳٪) روی نظارت بر کیفیت آب متمرکز بودند، جمع‌آوری داده‌های سطح آب نسبت به پارامترهای کیفیت آب آسان‌تر است که از دلایل عمده این تسهیل در جمع‌آوری داده‌ها: ۱- افزایش آگاهی و نگرانی جهانی در خصوص مسائل و مشکلات کیفیت آب (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)، ۲- وجود کیت‌های تست ارزان قیمت که طیف گسترده‌ای از پارامترهای اساسی کیفیت آب را در زمان کوتاهی اندازه‌گیری می‌کند، می‌باشد (Buytaert و همکاران، ۲۰۱۴). در جدول (۲) تعدادی از مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف جهان در زمینه کاربرد علم شهروندی در هیدرولوژی ارائه شده است.



شکل ۲- توزیع مطالعات علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی در نقاط مختلف جهان (Njue و همکاران، ۲۰۱۹)

جدول ۲- مروری بر کاربرد علم شهروندی در زمینه هیدرولوژی و منابع آب

| مرجع                           | مکان پژوهش            | تعداد سایت‌های اندازه‌گیری                  | طول دوره اندازه‌گیری | پارامتر اندازه‌گیری شده | آموزش        | انتقال داده                            |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------|----------------------------------------|
| Cunha و همکاران (۲۰۱۷)         | برزیل                 | ۶۴ سایت                                     | ۴ ماه                | کیفیت آب                | آموزش یافته  | نمونه‌گیری از آب و انتقال به آزمایشگاه |
| Boss و Leeuw (۲۰۱۸)            | آمریکا                | ۱۴ اندازه‌گیری                              | ۱ روز                | کیفیت آب                | آموزش یافته  | اپلیکیشن تلفن همراه                    |
| Starkey و همکاران (۲۰۱۷)       | بریتانیا              | ۱۰ سایت                                     | بیشتر از دو سال      | بارش، سطح آب و کیفیت آب | آموزش یافته  | وبسایت، ایمیل، برنامه اندروید          |
| Vos و همکاران (۲۰۱۷)           | هلند                  | ۶۳ سایت                                     | ۴ ماه                | بارش                    | آموزش نیافته | وبسایت                                 |
| Ochoa-Tocachi و همکاران (۲۰۱۸) | پرو، اکوادور و بولیوی | ۹ سایت                                      | وجود ندارد           | بارش و جریان آب         | آموزش نیافته | وجود ندارد                             |
| Fienon و Lowry (۲۰۱۳)          | آمریکا                | ۹ سایت / ۱۵۰ اندازه‌گیری                    | بیشتر از ۶ ماه       | سطح آب                  | آموزش نیافته | پیام متنی با تلفن همراه                |
| Little و همکاران (۲۰۱۶)        | کانادا                | ۴۰ سایت                                     | ۵ سال                | سطح آب                  | آموزش یافته  | تلفن، فکس یا ایمیل                     |
| Michelsen و همکاران (۲۰۱۶)     | عربستان سعودی         | ۱۶ فیلم                                     | یک سال               | سطح آب                  | آموزش نیافته | اشتراک‌گذاری فیلم‌ها در یوتیوب         |
| Weeser و همکاران (۲۰۱۸)        | کنیا                  | ۱۳ سایت / ۱۲۵ شرکت کننده / ۱۱۷۵ اندازه‌گیری | یک سال               | سطح آب                  | آموزش یافته  | پیام متنی با تلفن همراه                |

## متغیرهای هیدرولوژیکی اندازه‌گیری شده با رویکرد علم شهروندی

### ۱- بارندگی:

بارندگی یکی از متغیرهای مهم هیدرولوژی است. ریزش‌های جوی که به‌صورت باران و برف و تگرگ و یا مخلوطی از برف و باران و شبنم انجام می‌گیرد، بارندگی نامیده می‌شود. میزان بارندگی و مقدار تبخیر از سطح آب در تعیین میزان ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. اندازه‌گیری مقدار بارندگی در تمام سطح کره زمین به علت نداشتن یک شبکه کامل ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌طور دقیق ممکن نیست. در مطالعات هواشناسی منظور از تعیین میزان بارندگی، جمع مقادیر بارندگی مایع و معادل مایع هر بارندگی جامد از قبیل برف و تگرگ برحسب ارتفاع می‌باشد؛ بنابراین تمام بارندگی‌ها باید به‌طور دقیق و روشن اندازه‌گیری شود. واحد اندازه‌گیری باران اینچ و میلی‌متر است. ساده‌ترین و متداول‌ترین روش اندازه‌گیری ریزش باران استفاده از باران‌سنج ساده می‌باشد. طراحی آسان و مقرون‌به‌صرفه این نوع از باران‌سنج‌ها و سهولت اندازه‌گیری، کاربرد آن‌ها را در

محیط‌های سنتی (اندازه‌گیری توسط افراد محلی) دوچندان می‌کند (World Meteorological Organization, ۱۹۹۴). برای اندازه‌گیری باران به شرایط آیرودینامیک و شرایط محلی بستگی دارد و کیفیت و کمیت اندازه‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای اندازه‌گیری باران، فرصت‌ها و چالش‌هایی وجود دارد. تجهیزات ارزان (به‌عنوان مثال باران‌سنج ساده) می‌تواند به‌عنوان فرصتی تلقی می‌شود که شهروندان و آبخیزنشینان را تشویق به پایش و اندازه‌گیری کند (به دلیل عدم پیچیدگی و سهولت اندازه‌گیری). از جمله مشکلات پیش‌رو در رابطه با باران‌سنج‌ها می‌تواند به نحوه نصب، نگهداری از آن، چگونگی جمع‌آوری داده (داده‌های مطمئن) و پیدا کردن مکان مناسب و استاندارد اشاره کرد.

### ۲- جریان (حجم در واحد زمان):

جریان آب شامل سرعت و سطح مقطع عرضی و تراز سطح آب (عمق) است که اندازه‌گیری آن‌ها تقریباً پیچیده است و نیاز به شرایط خاص و ایده‌آل دارد (Herschey, ۲۰۰۹). از جمله پروژه‌های موفق شهروندی در این زمینه پروژه‌ای در

پرو که سرعت و عمق جریان آب را اندازه‌گیری کردند و نشان دادند نتایج مطلوبی از پروژه‌های شهروندی در اندازه‌گیری جریان آب می‌توان دریافت کرد (Céleri و همکاران، ۲۰۰۹). روش‌های جدید به سرعت در حال معرفی و توسعه هستند که سازگاری بیشتری با پروژه‌های شهروندی دارد. به‌عنوان مثال اندازه‌گیری تراز سطح آب با کمک دوربین (عکس) یکی از ایده‌هایی است که به اندازه‌گیری جریان آب کمک فراوانی می‌کند، به‌گونه‌ای که مردم می‌توانند قبل و حین وقوع و پس از وقوع از مراحل مختلف جریان ایجاد شده عکس بگیرند و آن‌ها را از طریق شبکه‌های اجتماعی با کارشناسان به اشتراک بگذارند (Royem و همکاران، ۲۰۱۲).

### ۳- کیفیت آب:

مشارکت شهروندان در نظارت بر کیفیت آب غالباً به دلیل داشتن دانش تخصصی و یا تجهیزات لازم برای تجزیه و تحلیل پیشرفته‌تر به جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت نمونه آب، پارامترهای پایه هیدروشیمیایی یا سایر شاخص‌ها محدود می‌شود (Overdeest و همکاران، ۲۰۰۴). فناوری‌های جدید چشم‌اندازهای وسیعی از جمع‌آوری داده را ایجاد کرده است. سنسورهای جدیدی برای اندازه‌گیری کیفیت آب (شوری، درجه حرارت، کدورت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی و pH) تولید شده است که به آسانی این پارامترها را اندازه‌گیری می‌کند. به‌عنوان مثال سیستم waterBot شامل یک سنسور است و به‌طور مداوم دمای آب را اندازه می‌گیرد (CREATE، Lab Carnegie Mellon University، ۲۰۱۴).

### ۴- رطوبت خاک:

اندازه‌گیری رطوبت خاک امروزه معمولاً به‌صورت خودکار انجام می‌گیرد. به‌عنوان مثال سنسور TDR و تکنولوژی مربوط رطوبت خاک به‌صورت اتوماتیک اندازه‌گیری می‌کند. محدودیت پیش‌رو تغییرپذیری زیاد متغیر و خاک‌های یخ زده مشکلاتی را به همراه دارد. با این حال اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک می‌تواند مفید باشد و نوسانات رطوبت خاک را قبل و پس از وقایع بارش مشخص کند. علم شهروندی می‌تواند با پایش رطوبت خاک کمک شایانی به دانشمندان در انجام مطالعات مختلف نمایند. به‌عنوان مثال اپلیکیشن GLOBE یک مشارکت در علم و آموزش است که به دانشجویان و عموم مردم در سراسر جهان این فرصت را می‌دهد تا به محققان کمک کنند، محیط و آب‌وهوای جهانی را درک کنند. اپلیکیشن GLOBE پروتکل رطوبت خاک را تکمیل می‌کند و با اندازه‌گیری ماهواره‌ای همسو می‌شود. شهروندان می‌توانند با اندازه‌گیری رطوبت خاک در ساعاتی که ماهواره رطوبت خاک

را پایش نمی‌کند، میزان رطوبت را بسنجند و در اپلیکیشن ثبت نمایند. در نهایت دانشمندان می‌توانند داده‌ها را در وب سایت GLOBE مشاهده کنند و از آنها برای اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک توسط ماهواره استفاده کنند. اپلیکیشن دیگری با عنوان CrowdWater برای اندازه‌گیری رطوبت خاک طراحی شده است. با نصب این اپلیکیشن شهروندان در تلفن همراه خود می‌توانند، با توجه به مشاهدات ساده سطح زمین و بر اساس چسبندگی گل به کفش، میزان فرورفتگی کفش در خاک یا ردپا روی خاک وضعیت رطوبت خاک را در یکی از هشت سطح (خشک تا کاملاً خیس شده در حین بارندگی یا پوشیده شده توسط برف) متفاوت انتخاب در اپلیکیشن ثبت نمایند (Rinderer و همکاران، ۲۰۱۲).

### ۵- پوشش گیاهی:

درحالی‌که روش‌های سنجش‌ازدور برای شناسایی مناطق مختلف دارای پوشش گیاهی به‌کار برده می‌شود، اما نیازمند بازدید و تأیید صحرایی انواع پوشش گیاهی، پویایی مکانی گیاهان و جنبه‌های پایداری اکوسیستم می‌باشد که از طریق سنجش‌ازدور به آسانی قابل تشخیص نیستند. لذا استفاده از فناوری‌های قابل دسترس مانند عکاسی ممکن است فرصت بیشتری در اختیار شهروندان برای تولید داده قرار دهد. علاوه‌براین شهروندان می‌توانند اطلاعاتی را در زمینه میزان پوشش گیاهی در زمان‌های مختلف و شناسایی گونه‌های بومی ارائه دهند. به‌عنوان مثال دانشمندان به‌علت دانش محدود در زمینه انتشار گیاهان مهاجم در تگزاس اپلیکیشنی طراحی کردند تا بتوانند با کمک اپلیکیشن و شهروندان اطلاعات لازم را در این زمینه به‌دست بیاورند. برنامه Invaders of Texas یک برنامه علمی موفق شهروند است که در آن داوطلبان گیاهان مهاجم را در سراسر تگزاس بررسی و نظارت می‌کنند. اپلیکیشن Invaders of Texas دانشمندان شهروند را آموزش می‌دهد تا پراکنش گیاهان مهاجم در مناطق محلی خود را کشف کرده و آنها را به یک پایگاه داده نقشه برداری آنلاین گزارش دهند (Gallo و Waite، ۲۰۱۱).

دانشمندان در ایالت متحده آمریکا جهت شناسایی آفات و بیماری گونه‌هایی از درختان به کمک شهروندان اپلیکیشنی طراحی کردند. TreeSnap یک پروژه علمی شهروند و یک اپلیکیشن موبایل است و شهروندان با استفاده از آن می‌توانند به راحتی مکان‌ها، عکس‌ها و اطلاعات مشاهده‌ای در مورد درختان مورد علاقه دانشمندان را برای آن‌ها به همراه موقعیت جغرافیایی درخت ارسال کنند. کاربران هنگام باز کردن برنامه تلفن همراه TreeSnap، لیستی از درختان مورد علاقه دانشمندان را مشاهده می‌کنند و پس از انتخاب یک

درخت، مجموعه سؤالات مطرح شده توسط دانشمندان در مورد آن درخت را مشاهده می کنند. کاربران برای پاسخ به این سؤالات عکس می گیرند، علائم بیماری یا آفات را در گیاه جستجو می کنند و ارزیابی می کنند آیا درخت سالم است یا خیر و در نهایت در وب سایت TreeSnap، کاربران و دانشمندان می توانند نقشه مشاهدات ثبت شده برای آن درخت را استخراج کنند (Crocker و همکاران، ۲۰۱۹).

#### ۶- سطح رودخانه:

به منظور برنامه ریزی و مدیریت منابع آب، پیش بینی سیل، طراحی مهندسی، کشتیرانی و مدیریت محیط زیستی آگاهی از اطلاعات دبی جریان رودخانه ضروری است. روش های مختلفی برای اندازه گیری دبی جریان در رودخانه ها وجود دارد. طی یک قرن گذشته عمدتاً از اندازه گیری سرعت جریان به وسیله مولینه و کاربرد روش سرعت-سطح مقطع استفاده شده است. این روش زمان بر و نیازمند نیروی انسانی زیاد است؛ اما طی چند دهه اخیر روش های نوینی جهت اندازه گیری جریان توسعه یافته است که می توان به روش های غیرقناری الیتراسونیک، لیزر و رادار اشاره کرد. یکی از روش های ساده و کاربردی رایج از گذشته های دور، اندازه گیری ارتفاع آب رودخانه از طریق نصب اشل و قرائت ارتفاع آب توسط متصدی استخدام شده برای این منظور می باشد. از آنجایی که هزینه پرسنلی این روش

بسیار بالا است، برای قرائت سطح آب رودخانه ها می توان از شهروندان داوطلب بهره برد. در این رویکرد، شهروندان در زمان تردد از کنار یا عرض رودخانه، با عکس گرفتن از اشل های نصب شده یا مارکرهای مشخص شده همچون دهانه پل ها و دیواره های جانبی سنگی یا بتونی رودخانه ها و بارگذاری این تصاویر در اپلیکشن مخصوص (CrowdWater) مجهز به نقشه های آنلاین یا آفلاین در تهیه اطلاعات تراز آب رودخانه ها به ویژه در مواقع سیلابی کمک شایانی به مدیران و متولیان امور می کنند (Rinderer و همکاران، ۲۰۱۲).

#### ۷- استفاده از آب:

آگاهی از میزان مصرف آب برای ارزیابی بحران آب بسیار مهم است. اقدامات بخش های مختلف مصرف آب بیانگر سطح رقابت و وابستگی به منابع آب است. علاوه بر این آب پس از استفاده در صنعت، کشاورزی و سایر بخش ها، به ندرت در شرایط کیفی مناسب به آبخیز برگردانده می شود و این کاهش در کیفیت آب منجر به افزایش سطح تنش آبی به ویژه در مناطق پایین دست می شود. از طرف دیگر، برآورد مصرف آب در پهنه آبخیز، به ارزیابی تأثیر استفاده از آب و میزان دسترسی به منابع آب در مناطق پایین دست آبخیز کمک می کند و برای ارزیابی کمبود آب در سطح حوضه آبخیز و پیامدهای آن از جمله تأثیرات بر اکوسیستم های آبی بسیار ضروری است.

جدول ۳- بعضی از متغیرهای هیدرولوژیکی اندازه گیری شده و چالش ها و فرصت های پیش رو در استفاده از علم شهروندی

| متغیر                    | فرصت ها                                                                                        | چالش ها                                                                                                    |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بارندگی                  | تجهیزات ارزان، تجزیه و تحلیل اثرات محیط زیستی، ادغام با مشاهدات دیگر                           | نصب، نگهداری، جمع آوری داده های بلندمدت، مستندسازی شرایط محیطی                                             |
| جریان (حجم در واحد زمان) | اندازه گیری ارزان، تکنیک تجزیه و تحلیل عکس از مراحل مختلف جریان، جمع آوری داده های کالیبره شده | نصب و نگهداری مناسب، کنترل کیفیت، پشتیبان فنی                                                              |
| کیفیت آب                 | ابزار ارزان، تجزیه تحلیل آسان، اندازه گیری اتوماتیک                                            | چندین پارامتر بسیار پرهزینه و تجزیه و تحلیل سخت، نیاز به مستندات کافی در زمینه مشاهده، استراتژی نمونه گیری |
| رطوبت خاک                | اندازه گیری خودکار از طریق سنسور                                                               | ارتباط با خواص دیگر خاک، وابستگی به متغیرهای هیدرولوژیکی، تنوع مکانی بالا                                  |
| پویایی گیاهان            | تکنولوژی قابل دسترس (عکاسی، GPS)، تصاویر ماهواره ای، شناسایی از راه دور                        | پردازش داده به صورت سیستماتیک، ترکیب با داده های از راه دور                                                |
| استفاده از آب            | در دسترس بودن سنسورهای الکترونیکی، ارتباط داده ای مناسب با کمک اینترنت                         | تفسیر نتایج و اطلاعات، دخالت انسان                                                                         |
| سطح رودخانه              | اندازه گیری دقیق و کم هزینه با استفاده از فناوری دقیق مانند لیدار                              | نگهداری مناسب و استخراج داده ها، نمایش و انتقال زمان واقعی داده ها و دخالت انسان                           |



داده‌های حاصل از اندازه‌گیری را می‌توان از طریق پیام کوتاه، شبکه‌های اجتماعی یا نرم‌افزار قابل نصب روی تلفن‌های همراه (که به‌طور خاص برای این کار طراحی شده است) به گروه تحقیق ارسال کرد. در مورد متغیرهایی که به‌صورت پراکنده در نقاط مختلف اندازه‌گیری می‌شوند، ذکر تاریخ و محل دقیق اندازه‌گیری (ترجیحاً مختصات جغرافیایی) ضرورت دارد. نتایج تحقیقات علوم شهروندی و بازخورد پروژه‌های انجام شده در این زمینه در آرژانتین، فرانسه و نیوزلند نشان داده است، ارتباطات جدید و فن‌آوری‌های تصویر دیجیتال، عموم مردم را قادر به تولید مقادیر زیادی از مشاهدات سیل و به

## مزایا و معایب (فرصت‌ها و چالش‌ها)

### ۱- فرصت‌ها

پتانسیل مشارکت شهروندان و دانش آن‌ها اخیراً توجه بسیار زیادی به خود جلب کرده است. پیشرفت تکنولوژیکی جدید، روش‌های جدید و کارآمد برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، زمینه را برای بحث در خصوص این فرصت‌ها در رشته‌های مختلف (بوم‌شناختی و هیدرولوژی و...) فراهم می‌کند. این فرصت‌ها و چالش‌ها به یکدیگر مرتبط هستند، به گونه‌ای که این فرصت‌ها و کشف به‌موقع و دقیق آن‌ها می‌تواند به بررسی و حل چالش در همه زمینه‌ها به‌خصوص در زمینه مدیریت منابع طبیعی (منابع آب) و در نهایت به‌کارگیری آن‌ها برای رفاه بشری بپردازد. بررسی‌ها در زمینه فن‌آوری نشان می‌دهد پتانسیل زیادی برای افزایش مشارکت شهروندان در جمع‌آوری داده‌ها در زمینه منابع آب به دلیل وجود سنسورهای ارزان، قوی و تمام اتوماتیک وجود دارد. علوم شهروندی می‌تواند تولید دانش سنتی را تکمیل کند و همچنین نوآوری، انطباق، ارائه اطلاعات چندرسانه‌ای، مدیریت ریسک و ایجاد انعطاف‌پذیری محلی را بهبود بخشد.

### ۲- محدودیت‌های کلی علم شهروندی

اگرچه علم شهروندی مزایای متعددی دارد و نقش بسیار مهمی در توسعه و تبادل دانش و اطلاعات ایفا می‌کند اما الزامات یا محدودیت‌هایی دارد که عبارتند از: درک متخصصان و غیرمتخصصان علم شهروندی در بسیاری از جوامع علمی همچنان یک اصطلاح نامعلوم است، اگر ارزش و اعتبار علم شهروندی مشخص نشود، چنین ابهاماتی ممکن است در نهایت، نوآوری آن را از بین ببرد (Potter و Riesch، ۲۰۱۴).

اشتراک‌گذاری آن‌ها از طریق رسانه‌های اجتماعی کرده است. علاوه بر گزارش سیلاب، اطلاعات هیدرولوژیکی ارزشمند مانند حجم و عمق جریان را می‌توان با استفاده از پیام‌ها، عکس‌ها و فیلم‌های تولید شده توسط شهروندان به دست آورد، اکثر اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی فرکانس زمانی کمی دارند (به‌عنوان مثال بارندگی ساعتی، اندازه‌گیری لحظه‌ای جریان آب) که انتقال داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از اینترنت و تلفن همراه کار را آسان می‌کند حتی در مناطق دورافتاده مانند کوه‌ها پوشش تلفن همراه به‌طور فزاینده‌ای رایج است. حتی زمانی که شبکه‌های تلفن همراه امکان اتصال به اینترنت را نداشته باشند، انتقال داده از طریق پیام کوتاه قابل قبول است (Williams و همکاران، ۲۰۱۱).

مهارت و آموزش نیروی کار-در علم شهروندی به دلیل انتخاب افراد مختلف (اعم از بی‌سواد و باسواد) علاوه بر پتانسیل افراد در جمع‌آوری اطلاعات، آموزش و هماهنگی بین آن‌ها امری بسیار مهم و کلیدی است (Gura، ۲۰۱۳).

فناوری-در حالی که تکنولوژی به سرعت در حال پیشرفت است، فناوری مبتنی بر علم شهروندان نیازمند تلاش بیشتر است. اطمینان از اینکه برنامه‌های کاربردی فن‌آوری مقرون‌به‌صرفه، قابل اطمینان، سازگار و همه‌جانبه باشد امری حیاتی است (Silvertown، ۲۰۰۹). با این حال، انتخاب فن‌آوری اگر درست باشد به توانمند ساختن جوامع محلی برای اتخاذ مسئولیت و ارائه راه‌حل برای چالش‌های پیش‌رو کمک می‌کند (Newman و همکاران، ۲۰۱۰).

ارتباط و تبادل دانش-نتایج علمی شهروندان باید به شیوه‌ای ارائه شود که به هیچ‌گونه دانش فنی برای تفسیر نیازی نباشد (Royem و همکاران، ۲۰۱۲). از طرفی دیگر اشتراک‌گذاری داده‌ها در سایت یا App مورد نظر باید به گونه‌ای باشد که هر شخص با گزرواژه مخصوص خود وارد شود (Seymour و Regalado، ۲۰۱۴).

## نتیجه‌گیری

باتوجه به اهمیت منابع آب و مشکلات پیش‌رو در این زمینه، افزایش آگاهی شهروندان و مشارکت آن‌ها در مدیریت منابع آب اهمیت روزافزونی دارد. علم شهروندی و پروژه‌های شهروند-مبنا می‌تواند زمینه مشارکت شهروندان را فراهم کند و به همین دلیل در نقاط مختلف دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله به زمینه‌های مختلف و تحقیقات متعدد علم شهروندی در هیدرولوژی و منابع آب پرداخته

می‌شود، پروژه‌های تحقیقاتی در این زمینه به‌صورت پایلوت در نقاط مختلف کشور اجرا شود. در این راستا، طراحی و ساخت ابزار و ادوات ساده و ارزان قیمت سنجش و پایش متغیرهای هیدرولوژیک و طراحی و ترویج نرم‌افزارهای فارسی ساده و قابل نصب بر روی گوشی‌های همراه برای ثبت داده‌ها توسط شهروندان، حائز اهمیت است. همچنین، آگاهی‌بخشی و ظرفیت‌سازی در مدیران و کارشناسان بخش اجرا در خصوص مزایا و فرصت‌های استفاده از علم شهروندی به‌عنوان یک رویکرد مؤثر و کارا برای پایش و جمع‌آوری داده و اطلاعات متغیرهای هیدرولوژیک، توصیه می‌شود.

#### پی‌نوشت

1- Citizen science: [https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen\\_science](https://en.wikipedia.org/wiki/Citizen_science)

vice management, and sustainable development. *Frontiers in Earth Science*, 2: 1-21.

Céleri R., Buytaert W., De Bièvre B., Tobón C., Crespo P., Molina J. and Feyen J. 2010. Understanding the hydrology of tropical Andean ecosystems through an Andean Network of Basins. *IAHSAISH Publication*, 336(30): 209-212.

Cohn J.P. 2008. Citizen science: Can volunteers do real research? *BioScience*, 58(3): 192-197.

CREATE Lab, Carnegie Mellon University. 2014. Waterbot. Available online at: <http://waterbot.org/> (Accessed July 25 2014).

Crocker E., Condon B., Almsaeed A., Jarret B., Nelson C.D., Abbott A.G., Main D. and Staton M., 2020. TreeSnap: A citizen science app connecting tree enthusiasts and forest scientists. *Plants, People, Planet*, 2(1): 47-52.

Cunha D.G.F., Casali S.P., de Falco P.B., Thornhill I., Loiselle S.A. 2017. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. *Sci. Total Environ*, 584(52): 586-594.

Danielsen F., Burgess N.D. and Balmford A. 2005. Monitoring matters: examining the potential of locally-based approaches. *Biodiversity & Conser-*

شد. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که علی‌رغم چالش‌های موجود، علم شهروندی می‌تواند مجموعه‌ای از داده‌های گسترده با پوشش مکانی و زمانی را ایجاد کند که برای مقاصد نظیر ارزیابی مدل‌ها و پایش تغییرات حوضه‌های آبخیز بسیار مفید و ارزشمند است. با توجه به پتانسیل علم شهروندی و با به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین از جمله تلفن‌های همراه هوشمند و اینترنت، می‌توان به جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژیکی قابل اعتماد، به موقع و طولانی مدت دست یافت و در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار منابع آب استفاده نمود.

استفاده از رویکرد علم شهروندی و اجرای پروژه‌های شهروند-مبنا برای کشور ما که با معضلات زیادی در زمینه مدیریت منابع آب روبه‌روست می‌تواند بسیار مفید و مؤثر باشد. بررسی منابع بین‌المللی و داخلی نشان داد تاکنون کار علمی با این موضوع در کشور منتشر نشده است. بنابراین پیشنهاد

#### منابع

Afshinnkoo E., Ahsanuddin S. and Mason C.E., 2016. Globalizing and crowdsourcing biomedical research. *British medical bulletin*, 120(1): 27-33.

Bonney R., Ballard H., Jordan R., McCallie E., Phillips T., Shirk J. and Wilderman C.C., 2009. Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. *Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE)*, 58p.

Bonney R., Cooper C. and Ballard H., 2016. The theory and practice of citizen science: Launching a new journal. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1(1): 1-4.

Buytaert W., Dewulf A., De Bièvre B., Clark J. and Hannah D.M., 2016. Citizen science for water resources management: toward polycentric monitoring and governance? *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(4): 1-4.

Buytaert W., Zulkafli Z., Grainger S., Acosta L., Alemie T.C., Bastiaensen J., De Bièvre B., Bhusal J., Clark J., Dewulf A. and Foggin M. 2014. Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem ser-

- vironment, 568(15): 189-195.
- Mishra A.K. and Coulibaly P., 2009. Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics*, 47(2): 1-24.
- Newman G., Zimmerman D., Crall A., Laituri M., Graham J. and Stapel L. 2010. User-friendly web mapping: lessons from a citizen science website. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(12): 1851-1869.
- Njue N., Kroese J.S., Gräf J., Jacobs S.R., Weeser B., Breuer L. and Rufino M.C. 2019. Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: State of the art and future prospects. *Science of the Total Environment*, 693(13): 1-18.
- Ochoa-Tocachi B.F., Buytaert W., Antiporta J., Acosta L., Bardales J.D., Céleri R., Crespo P., Fuentes P., Gil-Ríos J., Gualpa M. and Llerena C. 2018. High-resolution hydrometeorological data from a network of headwater catchments in the tropical Andes. *Scientific Data*, 5: 1-16.
- Overdevest C., Orr C.H. and Stepenuck K. 2004. Volunteer stream monitoring and local participation in natural resource issues. *Human Ecology Review*, 11(2): 177-185.
- Pearson C.P. 1998. Changes to New Zealand's national hydrometric network in the 1990s. *Journal of Hydrology New Zealand*, 37(1): 1-17.
- <https://www.rand.org/pubs/tools/expertlens.html> (visited 5 September 2020).
- Riesch H. and Potter C. 2014. Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *Public Understanding of Science*, 23(1): 107-120.
- Rinderer M., Kollegger A., Fischer B.M., Stähli M. and Seibert J. 2012. Sensing with boots and trousers—qualitative field observations of shallow soil moisture patterns. *Hydrological Processes*, 26(26): 4112-4120.
- Rotman D., Hammock J., Preece J., Hansen D., Boston C., Bowser A. and He Y. 2014. Motivations affecting initial and long-term participation in citizen science. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(11): 2507-2542.
- Del Savio L., Prainsack B. and Buyx A. 2016. Crowdsourcing the Human Gut. Is crowdsourcing also 'citizen science'? *Journal of Science Communication*, 15(3): 1-15.
- Dickinson J.L., Shirk J., Bonter D., Bonney R., Crain R.L., Martin J., Phillips T. and Purcell K. 2012. The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6): 291-297.
- Gallo T. and Waitt D. 2011. Creating a successful citizen science model to detect and report invasive species. *BioScience*, 61(6): 459-465.
- Gura T. 2013. Citizen science: amateur experts. *Nature*, 496(7444): 259-261.
- Hannah D.M., Demuth S., van Lanen H.A., Looser U., Prudhomme C., Rees G., Stahl K. and Tallaksen L.M. 2011. Large-scale river flow archives: importance, current status and future needs. *Hydrological Processes*, 25(7): 1191-1200.
- Herschey R. 2009. *Streamflow Measurements*, 3rd Edn. London, UK: Taylor & Francis.
- Hochachka W.M., Fink D., Hutchinson R.A., Sheldon D., Wong W.K. and Kelling S. 2012. Data-intensive science applied to broad-scale citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(2): 130-137.
- Lee V. 1994. Volunteer monitoring: a brief history. *The Volunteer Monitor*, 6(1): 29-33.
- Leeuw T. and Boss E. 2018. The hydrocolor app: Above water measurements of remote sensing reflectance and turbidity using a smartphone camera. *Sensors*, 18(1): 1-15.
- Little K.E., Hayashi M. and Liang S. 2016. Community-based groundwater monitoring network using a citizen-science approach. *Groundwater*, 54(3): 317-324.
- Lowry C.S. and Fienen M.N. 2013. CrowdHydrology: crowdsourcing hydrologic data and engaging citizen scientists. *Ground Water*, 51(1): 151-156.
- Michelsen N., Dirks H., Schulz S., Kempe S., Al-Saud M. and Schüth C. 2016. YouTube as a crowd-generated water level archive. *Science of the Total Environment*, 568(15): 189-195.

- ies: an important emerging complement to clinical trials in the public health research ecosystem. *Journal of Medical Internet Research*, 14(2): 1-13.
- Vos L.D., Leijnse H., Overeem A. and Uijlenhoet R. 2017. The potential of urban rainfall monitoring with crowdsourced automatic weather stations in Amsterdam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2): 765-777.
- Weeser B., Kroese J.S., Jacobs S.R., Njue N., Kemboi Z., Ran A., Rufino M.C. and Breuer L. 2018. Citizen science pioneers in Kenya—A crowdsourced approach for hydrological monitoring. *Science of The Total Environment*, 631-632(5): 1590-1599.
- Wiggins A. and Crowston K. 2011, January. From conservation to crowdsourcing: A typology of citizen science. *Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on System Sciences – 2011 in Kauai, Hawaii, USA*, 1-10.
- Williams M., Cornford D., Bastin L., Jones R. and Parker S. 2011. Automatic processing, quality assurance and serving of real-time weather data. *Computers and Geosciences*, 37(3): 353-362.
- World Meteorological Organization, 1994. *Guide to Hydrological Practices: Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications*. World Meteorological Organization.
- izen science projects in three countries. *iConference 2014 Proceedings in Berlin, Germany (Humboldt University Campus)*, 110-124.
- Royem A.A., Mui C.K., Fuka D.R. and Walter M.T. 2012. Proposing a low-tech, affordable, accurate stream stage monitoring system. *Transactions of the ASABE*, 55(6): 2237-2242.
- Saldivar J., Báez M., Rodriguez C., Convertino G. and Kowalik G. 2016, October. *Idea Management Communities in the Wild: An Exploratory Study of 166 Online Communities*. In *2016 International Conference on Collaboration Technologies and Systems in Orlando Florida, USA (CTS)*. 81-89. IEEE.
- Seymour V. and Regalado C., 2014. Extreme citizen science (excites): one end of the citizen science spectrum. In *British Hydrological Society South East Section Meeting*.
- Silvertown J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(9): 467-471.
- Starkey E., Parkin G., Birkinshaw S., Large A., Quinn P. and Gibson C. 2017. Demonstrating the value of community-based ('citizen science') observations for catchment modelling and characterisation. *Journal of Hydrology*, 548(17): 801-817.
- Swan M. 2012. Crowdsourced health research stud-

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

## Challenges of Catchment Water Balance Calculations, Case Study: Kol-Mehran and Helleh Catchment

S. Samani

PhD in Hydrogeology, Research Assistant Professor, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

E-Mail: s.samani@wri.ac.ir

Received: 23-11-2019

Accepted: 18-03-2020

## برخی چالش‌های مرتبط با محاسبات بیلان حوضه آبریز (مطالعه موردی حوضه آبریز کل-مهران و حله)

سعیده سامانی

دکتری هیدروژئولوژی، استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران.

E-Mail: s.samani@wri.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۸

### Abstract

In Iran with an arid and semi-arid climate, the optimal use of water resources is a necessity. Due to the increasing population on the one hand and the reduction of groundwater resources on the other hand, quantitative assessment and calculation of the water balance of catchments are of great importance. Water balance reports are one of the most prominent study projects in water resources management in the country. Despite the importance of these studies, there are some issues in the process of preparation of water balances that may lead to errors. The purpose of this study is to evaluate water catchment balance calculations and identify the factors that cause the most uncertainty and error in these calculations. In general, the estimation of the water balance will be reliable, by reducing accidental and systematic uncertainties. These improvements can be achieved through the creation of a reliable data bank and turning it into an effective tool for balance assessment, as well as creating an adequate hydrogeology and hydrology knowledge of the study area, sufficient knowledge of the boundary conditions, an appropriate spatial and temporal resolution of the area, and accurate calculation of the input components such as rainfall, recharge, evaporation, irrigation status, and infiltration coefficients, etc.

**Keywords:** Watershed balance challenge, Accidental uncertainty, Systematic uncertainty.

### چکیده

در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع آب یک امر ضروری به شمار می‌رود. به دلیل افزایش روزافزون جمعیت از یک سو و کاهش منابع آب زیرزمینی از سوی دیگر، ارزیابی کمی و محاسبات بیلان حوضه‌های آبریز، اهمیت بالایی دارد. گزارش‌های بیلان منابع آب یکی از شاخص‌ترین پروژه‌های مطالعاتی در مدیریت منابع آب کشور هستند و با وجود اهمیت بالای این مطالعات، مواردی وجود دارند که منجر به بروز خطا در فرآیند تهیه بیلان و نیز نتایج آن می‌گردد. هدف این مطالعه، بررسی چالش‌های محاسبات بیلان حوضه آبریز و شناسایی عواملی است که بیشترین عدم قطعیت و خطا را در محاسبات بیلان ایجاد می‌نمایند. در کل قابل‌اعتماد بودن برآورد بیلان با کاهش عدم قطعیت تصادفی و عدم قطعیت سیستماتیک همراه خواهد بود. کاهش عدم قطعیت تصادفی از طریق ایجاد یک بانک اطلاعاتی قابل‌اعتماد و تبدیل این بانک به یک ابزار مؤثر در ارزیابی بیلان صورت خواهد گرفت. همچنین کاهش عدم قطعیت سیستماتیک از طریق ایجاد دانش کافی در حیطه هیدروژئولوژی و هیدرولوژی در محدوده مورد مطالعه، کسب دانش کافی از شرایط مرزی، تفکیک مناسب زمانی-مکانی منطقه و محاسبات دقیق مؤلفه‌های ورودی بیلان از قبیل (بارندگی، تغذیه، تبخیر، برداشت و وضعیت آبیاری منطقه، محاسبه دقیق ضرایب نفوذ و...)، امکان‌پذیر خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** چالش‌های محاسبات بیلان حوضه آبریز، عدم قطعیت تصادفی، عدم قطعیت سیستماتیک.



مالکین در رابطه با ساعت کارکرد آن‌ها محاسبه شده است، درحالی‌که از طریق آمار سطح زیر کشت در مناطق مختلف و آب مصرفی گیاه می‌توان این عدد را به‌صورت دقیق‌تر محاسبه نمود؛ تفاوت ضرایب ذخیره آبخوان در گزارش‌های مختلف، وسعت متفاوت محدوده بیلان، مقادیر مختلف نفوذ از بارش و جریان‌های سطحی ازجمله عوامل اختلاف خروجی بیلان در گزارش‌های مختلف در دشت رفسنجان بوده است. در این مطالعه ارائه روش‌شناسی یکسان در محاسبه مؤلفه‌های بیلان، به عنوان موثرترین عامل در کاهش عدم قطعیت معرفی شده است.

شفیعی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۸ به بیان و معرفی مسائل حوزه تهیه گزارش بیلان آب در کشور پرداخته‌اند و موارد زیر را به‌عنوان پیشنهاد در جهت بهبود محاسبات بیلان بیان داشته‌اند: شناسایی و اجماع در مسائل حل‌نشده بیلان هم در بعد محتوایی (فنی) و هم‌نهادی (ساختارها و ضوابط)؛ تدوین چشم‌انداز مشترک در ایجاد همگرایی و حل مسائل بیلان آب با مشارکت متولیان و ذی‌نفعان؛ تغییر رویکردها از ساختار عمودی، تفکر سنتی و خود آهنگی به ساختار مشارکتی، تفکر نوین و هم‌آهنگی؛ استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش‌ازدور و داده‌های تکمیلی و در نهایت بهره از تجارب جهانی و تمامی آنچه در قالب مسائل بیلان آب و علاج‌بخشی آن‌ها مطرح گردیده است.

برآورد بیلان آب با توجه به عدم وجود اطلاعات لازم و کافی، عدم امکان اندازه‌گیری برخی از فاکتورهای بیلان آب، وجود خطاهای ناشی از تغییرات شدید توسط عوامل طبیعی یا انسانی و طولانی بودن زمان محاسبات با مشکلات فراوانی از لحاظ دقت پایین تخمین پارامترها مواجه است که بایستی این مشکل را به نحوی حل کرد. هدف این پژوهش بررسی چالش‌های محاسبات بیلان و ارائه روش‌هایی جهت برآورد دقیق پارامترهای بیلان است. در ضمن لازم به ذکر است جهت ملموس شدن مباحث مطرح‌شده در زمینه مشکلات تهیه بیلان، منابع آب حوضه آبریز کل-مهران و حله در قالب مثال در بخش‌های مختلف چالش‌شناسی بیلان آورده شده است و قابل بسط برای محاسبات بیلان در تمام حوضه‌های کشور می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

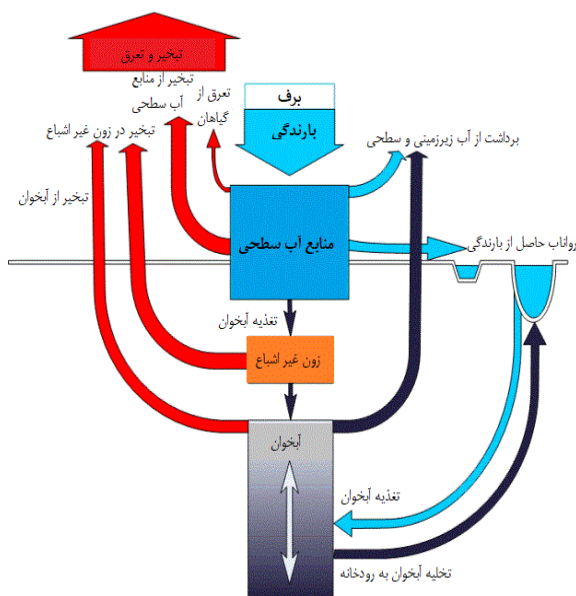
### ۱- نحوه محاسبه بیلان عمومی حوضه آبریز:

محاسبات بیلان شامل دو بخش اصلی یعنی عوامل ورودی و عوامل خروجی در حوضه آبریز هستند. پارامترهای ورودی شامل بارندگی (در ارتفاعات و دشت)، جریان سطحی و

مطالعات بیلان آب زیرزمینی، موضوعی اساسی در مدیریت منابع آبی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ چرا که برداشت پایدار از منابع آب زیرزمینی نیاز به مطالعات دقیق بیلان آب زیرزمینی دارد. همچنین بیلان آبی دشت‌ها از مهم‌ترین مسائلی است که در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منابع طبیعی، محیط‌زیست و کشاورزی توجه می‌شود. این در حالی است که بررسی بیلان آبی به علت ورودی‌ها و خروجی‌های زیاد و عدم قطعیت‌هایی که در تخمین برخی پارامترها در طبیعت وجود دارد، پیچیدگی‌های زیادی را در محاسبات ایجاد می‌کند. بررسی هم‌زمان بیلان آب سطحی و زیرزمینی به علت افزایش مؤلفه‌های ورودی و خروجی در دشت و حوضه‌های آبریز منتهی به آن، این پیچیدگی را دوجندان می‌نماید. برای رسیدن به تعادل بین این پیچیدگی در ساختار مدل و هدف بیلان، با دو خطا مواجه هستیم: ۱- خطای ناشی از ساده‌سازی و ۲- خطای کالیبراسیون که از داده‌های ناکافی و غیرقابل‌اعتماد حاصل می‌شود (Zhang, ۲۰۰۲).

کاربرد محاسبه بیلان شامل موارد زیر است: شناسایی منابع تحت خطر کمی و شناسایی مناطقی که در آن‌ها نیاز به جمع‌آوری اطلاعات بیشتر است؛ مدیریت شرایط خشک‌سالی و کمبود آب؛ پیدا کردن یک دید کلی از تغییرات زمانی و مکانی منابع آب تحت شرایط کنونی و سناریوهای آینده؛ شناسایی مناطق مستعد برای اعمال طرح‌های مدیریتی پایداری از طریق کاهش برداشت یا افزایش تغذیه و تغییر کاربری؛ فراهم کردن یک چارچوب مستعد برای ادغام اطلاعات هیدروژئولوژیکی با اطلاعات اجتماعی - اقتصادی مرتبط با تغییرات آب و هوایی و کاربری اراضی و غیره؛ ارائه چارچوبی جهت نمایش نتایج وضعیت آبخوان به بهره‌برداران و ذی‌النفعان (EU, ۲۰۱۵).

اندیشکده تدبیر آب ایران در سال ۱۳۹۱ به بررسی عدم قطعیت بیلان آب در دشت رفسنجان پرداخته است. تنوع نتایج حاصل از گزارش‌های بیلان در دشت رفسنجان، در این مطالعه بررسی شده است و عوامل اصلی این تفاوت‌ها را در محاسبه میزان آب برگشتی کشاورزی بر اساس درصد‌های نفوذ متفاوت معرفی کرده است و این در حالی است که محاسبه این درصد نیاز به درکی از عوامل متعدد، ازجمله جنس خاک، عمق آب زیرزمینی در فصول آبیاری، ارتفاع آب آبیاری در مزرعه و ... دارد. بهترین گزینه برای محاسبه نفوذ، نصب وسایل اندازه‌گیری مانند لیسیمتر و اینفیلترومتر است؛ عامل دیگر میزان تخلیه چاه‌ها است که از طریق سؤال از



شکل ۱- شکل شماتیک از پارامترهای بیلان

زیرزمینی ورودی و آب‌های سطحی و زیرزمینی انتقالی به محدوده و پارامترهای خروجی نیز شامل تبخیر و تعرق، جریان سطحی و زیرزمینی خروجی و آب‌های انتقالی به خارج محدوده هستند. معادله کلی بیلان بر اساس فرمول زیر است (Todd و Mays, ۲۰۰۴):

$$\Delta S = \text{Inflow} - \text{outflow}$$

معادله عمومی بیلان نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$P + (Q_{s,in} - Q_{s,out}) + (Q_{g,in} - Q_{g,out}) - (E_s + E_g) - (T) - \Delta S = \varepsilon$$
 که در آن‌ها  $P$  حجم ریزش‌های جوی در سطح حوضه آبریز،  $T$  تعرق،  $Q_{s,in}$  و  $Q_{s,out}$  جریان‌های سطحی ورودی و خروجی به حوضه آبریز،  $Q_{g,in}$  و  $Q_{g,out}$  جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی به حوضه آبریز،  $E_s$  حجم تبخیر از منابع آب سطحی،  $E_g$  حجم تبخیر از آبخوان‌های موجود در سطح حوضه،  $\Delta S$  حجم تغییرات ذخیره آب در سطح حوضه آبریز و  $\varepsilon$  خطا در معادله بیلان است. پارامترهایی که در بیلان محاسبه می‌شوند در شکل (۱) نمایش داده شده است. همچنین پروسه گام به گام محاسبات بیلان در جدول (۱) ارائه شده است (EU, ۲۰۱۵).

#### جدول ۱- مراحل گام به گام محاسبات بیلان

##### مراحل محاسبات بیلان

- ۱- تعیین مقیاس مکانی (مرزهای بیلان) و مقیاس زمانی؛
- ۲- شناسایی مؤلفه‌های بیلان مانند میزان برداشت، میزان تخلیه، تغییرات آب و هوایی، کیفیت آب (پتانسیل تغییر کیفیت آب به عنوان مثال نفوذ آب شور دریا)؛
- ۳- تهیه ابزارهای مورد نیاز (به عنوان مثال نرم افزار) برای توسعه بیلان متناسب با اهداف و سطح محاسبه بیلان؛
- ۴- جمع‌آوری داده‌های موجود و اطلاعات مربوط به پارامترهای مورد نیاز در محاسبه بیلان؛
- ۵- پردازش داده‌ها و اطلاعات برای برآورد پارامترها در مقیاس زمانی-مکانی مناسب؛
- ۶- استفاده از روش‌های غیرمستقیم در محاسبه پارامترهایی که داده مورد نیاز برای محاسبه آن‌ها موجود نیست؛
- ۷- توسعه بیلان با استفاده از نرم افزار منتخب، صحت‌سنجی خروجی‌های بیلان، شناسایی تناقضات احتمالی در محاسبات بیلان، انجام آنالیز حساسیت برای ایجاد یک معادله بیلان منسجم؛
- ۸- شناسایی گپ اطلاعاتی، معرفی پارامترهایی که برآورد آن‌ها نیاز به اطلاعات بیشتری دارد؛
- ۹- استفاده از بیلان برای ارزیابی وضعیتی کمی آبخوان، شناسایی فشارهای مهم بر آبخوان، شناسایی فشارهای احتمالی در آینده، محاسبه تغییرات ذخیره منابع آب تحت سناریوهای تغییرات آب و هوایی و فشارهای وارده در آینده؛
- ۱۰- به‌روزرسانی محاسبات بیلان به صورت منظم به دلیل ماهیت دینامیک آبخوان.

در استان بوشهر قرار گرفته است. مساحت کل دشت‌های حوضه آبریز، ۱۷۷۶۷/۷۸ کیلومتر مربع و مساحت کل ارتفاعات، ۴۵۱۲۷/۹۶ کیلومتر مربع است. در بیلان عمومی آب این حوضه حجم کل تغذیه ۱۵۲۹۲/۸۹ میلیون مترمکعب و حجم کل تخلیه از آن ۱۵۵۰۳/۷۸ میلیون مترمکعب است. بنابراین میزان تغییرات حجم ذخیره مخزن از نتایج بیلان عمومی نیز برابر با ۲۱۰/۸۹- میلیون مترمکعب در سال است (شرکت مهندسی مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۵ ب).

در این بخش دو حوضه آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج فارس و حوضه آبریز حله معرفی کلی شده است.

**۲- حوضه آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج فارس:** حوضه آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج فارس آن با مساحت ۶۲۸۹۵/۷۴ کیلومتر مربع در استان فارس، کرمان، هرمزگان و بوشهر واقع شده است. ۲۴ محدوده مطالعاتی در استان هرمزگان و ۱۴ محدوده مطالعاتی در استان فارس، ۲ محدوده مطالعاتی در استان کرمان و ۲ محدوده مطالعاتی

### ۳- حوضه آبریز حله:

حوضه آبریز حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن با مساحت ۲۱۳۰۹/۱۳ کیلومتر مربع در استان فارس و بوشهر واقع شده است. ۵ محدوده مطالعاتی در استان بوشهر و ۸ محدوده مطالعاتی در استان فارس قرار گرفته است. مساحت کل دشت‌های حوضه آبریز، ۷۲۰۳/۳۴ کیلومتر مربع، مساحت کل ارتفاعات، ۱۴۰۵۴/۳۹ کیلومتر مربع و مساحت کل دریاچه‌ها، ۵۱/۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد. در بیلان عمومی آب این حوضه، حجم کل تغذیه ۸۱۲۲/۰۰ میلیون مترمکعب و حجم کل تخلیه از آن ۸۱۵۳/۱۴ میلیون مترمکعب است. بنابراین میزان تغییرات حجم ذخیره مخزن از نتایج بیلان عمومی نیز برابر با ۳۱/۱۴- میلیون مترمکعب در سال است (شرکت مهندسين مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۵ الف).

### ۴- عدم قطعیت‌ها در محاسبات بیلان:

مهمترین کار در برقراری بیلان برای هر منطقه تعیین مؤلفه‌ها و اجزای معادله بیلان است که خود با مشکلات متعددی روبروست. این مشکلات در نهایت منجر به شکل‌گیری یک خطای کلی در معادله بیلان می‌شود. این خطا از سه منبع انسانی، دستگاهی و طبیعی ریشه می‌گیرد. در هر صورت این خطا ناشی از عدم قطعیت است که به دو دسته تصادفی و سیستماتیک تقسیم‌بندی می‌شود (Eder و همکاران، ۲۰۰۵؛ Faybishenko، ۲۰۱۰، شفيعی و همکاران، ۱۳۹۸).

• **عدم قطعیت تصادفی:** این عدم قطعیت زمانی روی می‌دهد که تغییرات ذاتی و طبیعی در ورودی‌ها و پارامترهای مدل وجود دارد و تنها، افزایش اندازه‌گیری‌ها و وجود داده‌های فراوان آن را جبران می‌کند. بهترین راه‌حل برای کاهش عدم قطعیت تصادفی و خطای ناشی از آن، افزایش دقت وسایل و روش‌های اندازه‌گیری اجزا و همچنین راه‌های تخمین برآورد آن‌ها است. افزایش دقت اندازه‌گیری، با توزیع و تراکم مناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری و به‌روزرسانی و تجهیز ابزار اندازه‌گیری نمایان می‌شود. آنچه مشخص است، این کار ما را تا حد بسیار زیادی به حقیقت نزدیک خواهد کرد، اما قطعاً هزینه‌بر بوده و زمان و نیروی انسانی زیادی را طلب می‌کند، ولی لازم به ذکر است، در صورتی که هدف مطالعات بیلان، اعمال تصمیمات مدیریتی در محدوده مطالعاتی باشد، صرف این هزینه‌ها، کمک شایانی به توقف بحران کمبود آب در آینده خواهد بود.

این عدم قطعیت همچنین از ماهیت دینامیک منابع آب حاصل می‌شود. سه مورد از عوامل دینامیک مؤثر در محاسبات بیلان در زیر بیان شده است: ۱) تغییرات آب و هوایی: این تغییرات از نوسانات بارش و دمایی حاصل می‌گردد. دما و رطوبت هوا در میزان تبخیر و تعرق و میزان بارش در رواناب سطح تأثیرگذار است. تغییرات آب و هوایی بر روی تقاضای آب و میزان ذخایر

آب، به‌خصوص منابع آب سطحی تأثیر خواهد گذاشت؛ ۲) برداشت آب: برداشت آب از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان مثال برداشت آب در مصارف کشاورزی بر تبخیر و تعرق، تبخیر و میزان نفوذ آب در زیرزمینی تأثیر می‌گذارد و یا برداشت آب برای مصارف صنعت و شهری که ممکن است از طریق تخلیه پساب تصفیه‌شده مجدداً به چرخه آب بازگردد؛ ۳) تغییر کاربری اراضی: از جمله شهرسازی. لازم به ذکر است که به دلیل این ماهیت دینامیک منابع آب، به‌روزرسانی محاسبات بیلان به‌صورت منظم، ضروری است (EU، ۲۰۱۵).

• **عدم قطعیت سیستماتیک:** دسته دوم عدم قطعیت، یعنی نوع سیستماتیک، وقتی به وجود می‌آید که فقدان اطلاعات در مورد مدل یا فرآیند وجود داشته باشد و یا درک صحیحی از محدوده مورد مطالعه وجود نداشته باشد. این عدم قطعیت با افزایش اطلاعات در رابطه با نحوه محاسبه پارامترها و ساختار مدل کاهش می‌یابد. در کل می‌توان بیان داشت که این نوع از عدم قطعیت از تهیه مدل مفهومی نادرست از محدوده مطالعاتی در محاسبات بیلان ناشی می‌شود. درواقع تهیه مدل مفهومی که از شناخت دقیق محدوده مطالعاتی و پارامترهای بیلان حاصل می‌شود، اولین گام در محاسبات بیلان است.

تهیه یک مدل مفهومی دقیق برای محاسبه بیلان آبرفتی و بیلان عمومی برگرفته از نتایج مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی است. از آنجاکه این اطلاعات بر اساس ابزار و وسایل اندازه‌گیری، فرمول‌ها و محاسبات و یا با نظر کارشناسی (با توجه به اطلاعات قبلی و بازدیدهای صحرایی) تهیه‌شده، بنابراین هر بخش از این اطلاعات می‌تواند دارای خطا باشد. در کل آمار و اطلاعات منابع آبی که پایه و اساس مطالعات بیلان آب زیرزمینی است، به دلیل ویژگی احتمالی آن‌ها با عدم قطعیت همراه است. از این رو، لازم است بر این داده‌ها تحلیل عدم قطعیت انجام شود و ویژگی‌های محدوده مورد بررسی نیز در این روند مدنظر قرار گیرد. همچنین حساسیت بیلان آب زیرزمینی به مؤلفه‌های ورودی آبخوان، مانند نفوذ از بارندگی و جریان سطحی و تغذیه از آب برگشتی مصارف به جهت وابستگی به دقت تخمین نفوذپذیری، ضریب ذخیره سفره، قابلیت انتقال و ضرایب آب برگشتی آبخوان، بسیار زیاد است. به همین دلیل، استفاده از روش‌های کاربردی و صحت‌سنجی این پارامترها، ضروری است. با توجه به مسائل گفته‌شده، برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور با چالش‌های متعددی روبه‌رو است و علاوه بر مشکل ساختاری به جهت نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان، انتخاب مقیاس مکانی و زمانی مناسب و همچنین تحلیل عدم قطعیت‌های موجود در این برآوردها، لازم است. عدم دقت در تعیین بهترین مقیاس زمانی و مکانی جهت محاسبه بیلان آب، مسئله‌ای است که منجر به عدم قطعیت نوع سیستماتیک می‌شود. با توجه به اینکه هیچ

قانون و قاعده مشخصی برای تعیین مقیاس زمانی و مکانی در تهیه بیلان محدوده موردنظر وجود ندارد، بنابراین تصمیم‌گیری در این رابطه، به کاربرد بیلان تهیه‌شده در آینده و داده‌های زمانی و مکانی موجود بستگی دارد (خروجی بیلان در چه موردی قرار است مورد استفاده قرار گیرد و بسته به تصمیم مدیریتی که

قرار است در رابطه با منطقه اعمال گردد). در این مطالعه بررسی چالش‌های محاسبات بیلان بر اساس شکل شماتیک ارائه‌شده در زیر صورت خواهد گرفت و در ادامه به ارائه جزئیات مرتبط با هرکدام از عناوین پرداخته خواهد شد.



شکل ۲- نمای شماتیک از عدم قطعیت‌های موجود در محاسبات بیلان و پیشنهادهایی در رفع این عدم قطعیت‌ها

## بحث و بررسی

• در رابطه با کاهش عدم قطعیت تصادفی، یک سری پیشنهادهایی در زمینه جمع‌آوری داده‌ها ارائه شده است:

۱- احداث ایستگاه‌های آب‌سنجی در ابتدا، انتها و طول مسیر رودخانه‌ها.

- به‌عنوان مثال احداث ایستگاه آب‌سنجی در انتهای محدوده‌ای مانند برازجان و در مسیر رودخانه حله با توجه به مصارفی که حدفاصل ایستگاه حله تا خروجی محدوده وجود دارد و موقعیت آبخوان‌های محدوده؛ امری ضروری است.

۲- تکمیل شبکه پیزومتری تمام آبخوان‌های موجود در سطح کشور.

- به‌عنوان مثال در محدوده مطالعاتی کل-مهران، آبخوان‌های بوشهر، دیلم، گناوه و محدوده مطالعاتی گاوبندی در مرز بوشهر، فاقد شبکه پیزومتری هستند.

۳- حفر یک سری چاه‌های پمپاژ در آبخوان‌های فاقد اطلاعات آزمون پمپاژ با در نظر گرفتن استانداردهای لازم جهت محاسبه ضرایب آبخوان. ازجمله این استانداردها، می‌توان به رعایت

فاصله نسبت به چاه‌های بهره‌برداری و مرزهای منطقه، طراحی بخش مشبک در تمام ضخامت آبخوان و حفاری‌های مجزا در مناطقی با آبخوان‌های دولایه، جهت تعیین خصوصیات هر آبخوان به‌صورت مجزا، اشاره نمود.

- در این رابطه قابل‌ذکر است که در حال حاضر، جهت تهیه بیلان در اکثر آبخوان‌های کشور به دلیل کمبود اطلاعات از یک ضریب ذخیره متوسط برای کل آبخوان استفاده می‌شود که در اکثر مواقع این ضریب با واقعیت منطقه همخوانی ندارد. در ضمن عدم دقت محاسبات ضرایب آبخوان مانند هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال آبخوان، خود منجر به ایجاد خطا در تعیین میزان جریان ورودی و خروجی به آبخوان از طریق معادله داری می‌شود.

- در دو حوضه آبریز حله و کل مهران بر اساس قانون داری و لوله‌های جریان در دشتهایی که نقشه‌های هم‌تراز و ضریب قابلیت انتقال موجود بوده است، میزان ورودی و خروجی آب‌های زیرزمینی محاسبه شده است. اما بعضاً نتایج حاصل از این روش با سایر پارامترهای بیلان همخوانی ندارد که این امر می‌تواند به علت عدم صحیح بودن قابلیت انتقال در اثر توزیع نامناسب چاه‌های آزمون پمپاژ و چاه‌های مشاهداتی و تجمع



زیاد چاه‌های بهره‌برداری بوده و بنابراین امکان رسم تمامی مقاطع و محاسبه کل جریان زیرزمینی ورودی وجود نداشته باشد. بنابراین در این‌گونه محدوده‌ها و سایر محدوده‌هایی که فاقد شبکه چاه‌های مشاهده‌ای بوده‌اند، جهت محاسبه جریان زیرزمینی ورودی و خروجی در آبخوان‌های این حوضه‌های آبریز، از روش بیلان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات استفاده شده است.

۴- در این دو حوضه مطالعاتی ضریب نفوذ رواناب به صورت دقیق محاسبه نگردیده است و بسته به وضعیت آبخوان‌ها میزان متوسط نفوذ از حجم رواناب به آبخوان‌های آبرفتی این دو حوضه آبریز، ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است. این در حالی است که برای محاسبه این ضریب نیاز به اطلاعات رطوبت خاک است که متأسفانه در شبکه پایش کشور اندازه‌گیری نمی‌شود.

۵- نصب کنتور در تمام چاه‌های بهره‌برداری جهت اندازه‌گیری برداشت ماهانه صورت گیرد. با توجه به اینکه در اکثر مواقع برداشتی که در واقعیت وجود دارد با آنچه در بانک اطلاعاتی سازمان‌های آب وجود دارد همخوانی ندارد. در حال حاضر آمار تخلیه چاه‌ها از طریق سؤال از مالکین بر اساس ساعات کارکرد سالیانه آن‌ها برآورد می‌شود و خالی از خطا نیست. در حالیکه برآورد میزان تخلیه از طریق آمار سطح زیر کشت و آب مصرفی گیاه، رقمی مطمئن‌تر خواهد بود.

#### • انواع خطاهایی که منجر به عدم قطعیت سیستماتیک می‌شوند:

##### ۱- خطای شعاع مکانی در محاسبات بیلان آب

مشخص است که با تغییر وسعت منطقه مورد مطالعه، پیچیدگی روابط بین مؤلفه‌های بیلان تغییر می‌کند. در نتیجه منطقی نخواهد بود که دقت یکسانی برای تحلیل بیلان و مؤلفه‌های آن برای محدوده‌های متفاوت مکانی در نظر گرفت. انتخاب مقیاس مکانی اشتباه به عنوان مثال ساختن بیلان برای یک حوضه خیلی کوچک و خیلی بزرگ، تغییرات منابع و تقاضای آب در محدوده مطالعاتی را به خوبی پوشش نمی‌دهد و در نهایت منجر به عدم شناسایی مسائل بحرانی در رابطه با مدیریت آب می‌شود.

- به عنوان مثال بزرگ بودن محدوده‌ها یکی دیگر از عوامل ایجاد خطا در برآورد مؤلفه‌های بیلان است. بطوریکه در محدوده مطالعاتی کل-مهران، محدوده‌ای مانند گناوه دارای ارتفاعاتی با بارش و اقلیم کاملاً متفاوت از بخش‌های کم ارتفاع ساحلی است؛ این مسئله با توجه به کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در بخش ارتفاعات منجر به خطا در پیش‌بینی مقادیر پارامترهای هواشناسی، حجم بارش، حجم تبخیر، حجم رواناب و ... شده و در نهایت بیلان را دچار

مشکل می‌نماید. این محدوده را با توجه به وجود دوشاخه رودخانه (دره گپ و شور) می‌توان به دو محدوده کوچک‌تر تقسیم نمود. این کار را حتی برای محدوده‌های اهرم، بزارجان و دیلم نیز می‌توان انجام داد و در صورت امکان‌پذیر نبودن چنین اقدامی، احداث ایستگاه‌های هواشناسی خودکار در مناطق مرتفع می‌تواند به نحو چشمگیری به کم کردن خطاها کمک کند.

- اعمال دقت بیشتر در تعیین مرز پهنه‌های دشت و ارتفاع در تمام محدوده‌های مطالعاتی در طرح‌های بیلان حوضه آبریز ضروری است و برای این منظور پیشنهاد می‌شود بر اساس مقالات موجود و تعاریف ژئومورفولوژیکی، دستورالعمل جامعی برای تشخیص دشت از ارتفاع توسط کارفرمایان محترم تهیه و در اختیار قرار گیرد و صرفاً نقشه‌های زمین‌شناسی و تعیین مرز سازندهای آبرفتی و سایر سازندها، ملاک ترسیم مرز نباشد.

##### ۲- خطای شعاع زمانی محاسبات بیلان آب

اجزاء معادله بیلان عمدتاً تشکیل یک معادله پویا را می‌دهد که چگونگی محاسبه آن‌ها با افزایش دقت موردتقاضا و نیز تغییر دوره زمانی، تغییر یافته و مستلزم ارائه راهکارهای عملی جهت محاسبه آن‌ها است. در رابطه با مقیاس زمانی، معمولاً بیلان برای دوره یک‌ساله طراحی می‌گردد تا با چرخه داده‌های خاص هیدروژئولوژی موجود مانند سال آبی یا فصل خشک و تر تطابق داشته باشد. تغییر در متغیرهای کلیدی بیلان آب از قبیل تغییر در برداشت آب در طول یک سال، یا تغییر الگوی بارندگی در فصل‌های مختلف، منجر به انتخاب دوره زمانی کوتاه‌تر از قبیل ماه یا هفته می‌شود. در صورتی که منابع آب زیرزمینی در یک حوضه، تأمین‌کننده اصلی آب مصرفی در آن حوضه باشد، باهدف مدیریتی امکان انتخاب مقیاس زمانی بزرگ‌تر از یکسال و نهایتاً تا ۱۰ الی ۲۰ سال نیز وجود دارد (EU, ۲۰۱۵). البته لازم به ذکر است در حالتی که یک دوره زمانی طولانی‌مدت استفاده می‌شود، در برخی از محاسبات نیاز به میانگین‌گیری از داده‌ها در طول دوره است. به‌طوری‌که این داده‌ها ممکن است دارای نوسانات فصلی و سالیانه باشند و میانگین‌گیری طی چند سال منجر به حذف تغییر روند در داده‌ها شود. به عنوان مثال تغییرات مثبت و منفی ذخیره آب که برای سال‌های منفرد وجود دارد، مقدار خالص آن‌ها در پایان یک دوره طولانی صفر می‌شود (Kiang, ۲۰۰۲).

به عنوان مثال در دو حوضه ارائه شده، دوره اندازه‌گیری بیلان یک دوره ۴۵ ساله در نظر گرفته شده است.

##### ۳- یکسان نبودن دوره بیلان

مسئله دیگر در تهیه بیلان منابع آب، یکسان نبودن دوره شاخص آماری برای مؤلفه‌های مختلف بیلان است. این عدم یکسان بودن در داده‌های طولانی‌مدت آب و هواشناسی و



داده‌های محدود منابع آب سطحی و زیرزمینی مشهود است. به‌طوری‌که دوره‌های آماری تراز آب چاه‌های مشاهداتی عموماً کوتاه‌تر از دوره بیلان است و لذا افت متوسط و تغییرات ذخیره آبخوان متعلق به کل دوره بیلان نیست. - در مطالعات انجام‌گرفته در حوضه آبریز حله به جرأت می‌توان گفت که طولانی بودن دوره بیلان، اولین و مؤثرترین عامل ایجادکننده خطا بوده است. چراکه به نظر می‌رسد اقلیم این حوضه در حال تغییری دائمی است و به‌سوی کاهش بارش و افزایش دما و تبخیر پیش می‌رود و به‌عبارت‌دیگر به دلیل کاهش شدید بارش‌ها در ۱۵ سال اخیر، مقادیر بارش‌های برآورد شده خصوصاً در مواردی که ایستگاه هواشناسی در نیمه دوم دوره تأسیس شده است و نیاز به تطویل و تکمیل آماری باشد، خطای زیادی را سبب خواهد شد. از طرف دیگر بسیاری از ایستگاه‌های اداره هواشناسی در حال حاضر به علت کم بودن تعداد سال آماری و یا نقص آماری در دوره ۴۵ ساله، غیرقابل استناد بوده و کم کردن طول دوره بیلان استفاده از آمار این ایستگاه‌ها را امکان‌پذیر می‌نماید. لذا در نظر گرفتن یک دوره ۴۵ ساله برای انجام مطالعه، مناسب و پاسخگو نیست و پیشنهاد می‌شود که محاسبات بیلان برای دوره‌های کوتاه‌تر (حداکثر ۱۰ تا ۲۰ ساله) تهیه گردد. - طولانی بودن دوره بیلان که در بند قبل ذکر شد بر مطالعات هیدرولوژی نیز تأثیرگذار بوده است. خصوصاً در محدوده مطالعاتی کل-مهران در مناطقی مانند دیلم، گناوه و بوشهر -دلوار که یا ایستگاه آب‌سنجی ندارند و یا ایستگاه‌هایی تازه تأسیس دارند که تعمیم اطلاعات آن‌ها به‌کل دوره ۴۵ ساله بسیار نادرست و پر خطا بوده است و به همین دلیل برای انجام این محاسبات از بسط این اطلاعات خودداری شده و از روش‌های تجربی و یا منطقه‌ای استفاده شده که آن‌ها نیز خود خالی از خطا نبوده و اعتبارسنجی مقادیر حاصله از این روش‌ها در مواردی که داده واقعی وجود ندارد، امکان‌پذیر نیست. به‌عنوان نمونه در محدوده‌های دیلم و گناوه مقادیر رواناب و دبی جریان‌های سطحی خروجی بر اساس روش تجربی کتاین (علیزاده، ۱۳۹۰) برآورد شده و همین مقدار رواناب به‌عنوان جریان سطحی خروجی در نظر گرفته شده است. حال آنکه اگر دوره بیلان کوتاه‌تر در نظر گرفته شده بود، استفاده از داده‌های کوتاه‌مدت مطمئن‌تر از روش‌های بکار رفته، بود.

• در رابطه با کاهش عدم قطعیت سیستماتیک در یک سفره آب زیرزمینی لازم است تا گام‌هایی که در ادامه می‌آید انجام شود:

#### ۱- تکمیل شبکه پایش منابع آب

پایداری منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطقی نظیر مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به آن‌ها به‌عنوان منبع اصلی آب وجود دارد، حائز اهمیت فراوان است. بررسی‌ها

نشان می‌دهد که با افزایش برداشت‌ها و در نتیجه افزایش لزوم حفظ پایداری چنین منابعی، ضرورت شناخت و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری مناسب‌تر و پایش مداوم آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. بهینه‌سازی شبکه پایش کنونی از لحاظ مکان‌یابی، پارامترها و تواتر اندازه‌گیری آن‌ها منجر به افزایش دقت در داده‌های ورودی محاسبات بیلان می‌شود. ازجمله پارامترهایی که در شبکه پایش کنونی نیاز به اندازه‌گیری دارد، پارامتر رطوبت خاک است که از طریق آن می‌توان ضریب نفوذپذیری خاک را محاسبه نمود.

توسعه فرمول‌های تجربی با توجه به شرایط کشور برای محاسبه پارامترهای بیلان لازم است. در ایران بیشتر روش‌های تجربی در محاسبه مؤلفه‌های بیلان از کشورهای دیگر با شرایط آب و هوایی متفاوت استخراج گردیده است و درجه اعتبار کافی در تصمیمات مدیریتی را ندارد (به‌عنوان مثال روش تجربی بلانی کریدل). بنابراین پیشنهاد می‌گردد که با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت آب و هوایی ایران یک سری فرمول‌های تجربی توسط متخصصان هیدرولوژی و هیدروژئولوژی طراحی گردد.

۲- استفاده از پتانسیل داده‌های سنجش از دور در محاسبات بیلان برنامه‌های کاربردی معمول در سنجش‌ازدور شامل نقشه‌برداری زمین‌شناسی کواترنری، کاربری اراضی، تعیین نوع محصولات، شور شدگی خاک و فرونشست زمین و تخمین میزان واقعی تبخیر در مزرعه و سطح آبخوان و بررسی تغییرات ذخیره آبخوان است (Tuinhof و همکاران، ۲۰۰۶). ادغام شبکه پایش آب زیرزمینی با داده‌های سنجش‌ازدور منجر به ارزیابی دقیق‌تر مؤلفه‌های بیلان خواهد شد.

۳- شبیه‌سازی جهت کاهش عدم قطعیت‌ها: مهم‌ترین مرحله برای کاهش عدم قطعیت‌های تشریح شده، انجام شبیه‌سازی برای سفره آب زیرزمینی از طریق مدل‌های عدم قطعیت و کالیبره کردن پارامترها از طریق فرآیند کالیبراسیون و دریافت مؤلفه‌های بیلان از طریق این مدل‌ها است (Samani و همکاران، ۲۰۱۸).

۴- استفاده روش‌های دقیق علمی برای محاسبه پارامترها - برآورد مؤلفه تغذیه آب زیرزمینی: یکی از نامطمئن‌ترین مؤلفه‌های بیلان، میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی از سطح یک دشت در یک محدوده مطالعاتی است. همچنین، برآورد مقدار صحیح تغذیه در تهیه یک مدل مفهومی صحیح در فرآیند مدل‌سازی ریاضی آب زیرزمینی در یک دشت امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است. یکی از روش‌های برآورد تغذیه آب زیرزمینی، که مناسب دشت‌های ایران است، روش بیلان آب است. در این روش کلیه مؤلفه‌های معادله بیلان که قابل‌اندازه‌گیری هستند، محاسبه می‌شوند و سپس تغذیه آب زیرزمینی به‌عنوان مؤلفه

مجهول در معادله بیلان برآورد می‌شود. دقت برآورد تغذیه در این روش، به دقت برآورد دیگر مؤلفه‌های بیلان وابسته است و خطاهای کوچک در آن‌ها منجر به برآورد اشتباه از تغذیه می‌شود. بدیهی است که در صورت کاهش خطاهای موجود، می‌توان برآورد دقیق‌تری از مقدار تغذیه داشت.

روش‌های دیگری که در تعیین تغذیه آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل: روش ردیابی، روش مدل جریان معکوس، روش لیسیمتری و معادله ریچارد است. روش ردیابی یک روش گران است ولی کارایی بالایی در محاسبه تغذیه دارد (Rockhold و همکاران، ۲۰۰۹). روش ریچارد یک روش زمان‌بر است و علاوه بر این، برای محاسبه به هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره خاک نیز نیاز دارد. روش مدل معکوس به دلیل اینکه به داده‌های حرکت آب در ناحیه غیراشباع نیاز ندارد، به راحتی قابل استفاده است. لازم به ذکر است که در این روش اگر محاسبات عدم قطعیت مدل مفهومی و عدم قطعیت پارامتر نیز اعمال گردد، یکی از دقیق‌ترین روش‌ها، جهت محاسبه میزان تغذیه آبخوان خواهد بود.

روش بیلان شیمیایی کلرید جهت محاسبه تغذیه از ریزش‌های جوی: این شیوه یک روش توسعه یافته جهت محاسبه تغذیه از بارندگی، مخصوصاً در مناطق نیمه خشک است. به وسیله این شیوه، میزان تغذیه از بارندگی از لحاظ مکانی در حد یک حوضه آبریز، و از لحاظ زمانی از ده‌ها تا هزاران سال را می‌توان محاسبه نمود. برای استفاده از این روش، منطقه مورد مطالعه باید فرض‌های زیر را دارا باشد:

- ۱- هیچ منبعی برای یون کلر غیر از بارندگی در آب زیرزمینی وجود نداشته باشد.
- ۲- کلر به عنوان یک یون پایدار در سیستم باشد.
- ۳- بارندگی در منطقه مورد مطالعه فاقد رواناب باشد، یعنی یا تبخیر شود و یا اینکه در زمین نفوذ کند.
- ۴- هیچ چرخه‌ای از کلرید درون منطقه مورد مطالعه روی ندهد.
- ۵- هیچ تبخیری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه صورت نگیرد (Ordens و همکاران، ۲۰۱۱). معادله‌ای که برای ارزیابی تغذیه به شیوه بیلان کلرید به کار می‌رود به صورت زیر است:

$$q = \frac{PC_{clp}}{C_{clG}}$$

q: میزان تغذیه از بارندگی برحسب میلی‌متر در سال

P: میزان متوسط بارندگی در دوره بیلان برحسب میلی‌متر

C<sub>clp</sub>: متوسط غلظت کلر در آب باران برحسب میلی‌گرم در لیتر

C<sub>clG</sub>: متوسط غلظت کلر در آب زیرزمینی در دوره بیلان برحسب میلی‌گرم در لیتر

محاسبه تغذیه از بارندگی با این روش، از لحاظ هزینه‌ای ارزان است و فقط نیاز به دانستن میزان کلر آب باران و آب زیرزمینی است.

معادله دیگری نیز برای محاسبه تغذیه از بارندگی به صورت زیر است:

$$q = \frac{PC_{clp}}{C_{cls}}$$

C<sub>cls</sub>: غلظت متوسط کلرید در پروفیل خاک برحسب میلی‌گرم در لیتر

برای استفاده از این روش، علاوه بر فرض‌های بالا باید به موارد زیر هم توجه شود:

هیچ منبع تولیدکننده کلرید در خاک منطقه وجود نداشته باشد و باید غلظت کلرید در یک پروفیلی از خاک محاسبه شود.

**- برآورد آب برگشتی کشاورزی:** آب برگشتی کشاورزی یکی از مهم‌ترین جریان‌های ورودی آب به آبخوان‌های کشور به خصوص در نواحی حاصلخیز است. از جمله روش‌های محاسبه میزان این آب برگشتی روش تجربی بلانی- کریدل است. آب برگشتی کشاورزی به آبخوان، به روش، نوبت، نحوه آبیاری، جنس و نفوذپذیری خاک و نوع گیاه بستگی دارد، که مقدار آن را با تعیین مازاد آب مورد نیاز گیاه از آب مصرفی در مزارع می‌توان محاسبه نمود، برای این منظور ابتدا لازم است، مقدار آب مورد نیاز گیاه جهت تبخیر و تعرق مشخص گردد. بنابراین برای محاسبه حجم آب برگشتی، ابتدا میزان نیاز آبی گیاهان زراعی از روش بلانی- کریدل محاسبه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۹۰).

با مشخص شدن نوع کشت و تعیین ضرایب K (ضریب نوع کشت)، P (درصد ساعات روشنایی ماه نسبت به سال) و میانگین درجه حرارت ماهانه، میزان آب مورد نیاز گیاه در هرماه محاسبه و سپس با مشخص بودن دوره کشت و سطح زیر کشت، مقدار کل آب مورد نیاز گیاه معلوم و با کسر آن از آب مصرفی مقدار نفوذ به دست می‌آید.

$$ETC = P (0.46T + 8.1) K$$

ETC: آب مورد نیاز گیاه جهت تبخیر و تعرق، P: درصد ساعات روشنایی ماه نسبت به سال، K: ضریب نوع گیاه، T: میانگین درجه حرارت ماهانه.

## جمع بندی

منابع آب زیرزمینی به عنوان تنها منبع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک اهمیت ویژه‌ای دارد. به منظور شناخت رفتار آبخوان، محاسبه بیلان آب زیرزمینی از جمله ابزارهایی است که استفاده می‌شود. بررسی مستندات موجود و همچنین گزارش مطالعات انجام شده برای دشت‌های کشور نشان می‌دهد که روش‌های حاضر در برآورد بیلان آب‌های زیرزمینی و منابع موجود، عدم قطعیت زیادی به همراه دارند که در محاسبات بیلان در

نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین شدت اثر این عدم قطعیت‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به محدوده مورد مطالعه وابسته است. از جمله این عدم قطعیت‌ها می‌توان به میزان ورودی (تغذیه) به آبخوان، ضریب آب برگشتی مصارف کشاورزی، ورودی و خروجی آبخوان، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آبخوان و حتی آب‌های محاسبه نشده مانند برداشت‌های ثبت نشده، دزدی آب و ... اشاره کرد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد طولانی بودن زمان محاسبات مربوط به بیلان آب با توجه به نبود اطلاعات لازم و همچنین عدم امکان اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های بیلان آب، برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور را با مشکلات فراوانی از لحاظ دقت و زمان کاربرد مواجه کرده است.

قابل‌اعتماد بودن برآورد بیلان، با کاهش عدم قطعیت تصادفی از طریق ایجاد یک بانک اطلاعاتی قابل‌اعتماد و تبدیل این بانک به یک ابزار مؤثر در ارزیابی بیلان، و با کاهش عدم قطعیت سیستماتیک از طریق ایجاد دانش کافی در حیطه هیدروژئولوژی و هیدرولوژی در محدوده مورد مطالعه، دانش کافی از شرایط مرزی، تفکیک مناسب زمانی مکانی منطقه و محاسبات دقیق مؤلفه‌های ورودی بیلان از قبیل (بارندگی، تغذیه، تبخیر برداشت و وضعیت آبیاری منطقه، محاسبه دقیق ضرایب نفوذ)، امکان‌پذیر خواهد بود. درواقع به‌طور کلی تدقیق در برآورد بیلان با کمترین سطح عدم قطعیت، منوط به تدقیق در برآورد مؤلفه‌های بیلان است که خود منوط به تهیه آمار و اطلاعات پایه و همچنین همگام بودن دوره‌های زمانی این آمار و اطلاعات است. اگرچه این رویکرد از منظر اقتصادی ممکن است امری هزینه‌بر باشد، اما در برآورد بیلان و آب قابل‌برنامه‌ریزی آب زیرزمینی و اتخاذ تصمیمات و سیاست‌های اثربخش برای مدیریت پایدار این منابع ارزشمند، بسیار راهگشا و مفید خواهد بود. مهم‌ترین پیشنهاد برای کاهش عدم قطعیت بیلان، کالیبره کردن پارامترهای مختلف بیلان در مدل‌های قطعی شبیه‌سازی شده آب زیرزمینی است.

## منابع

- شرکت مهندسين مشاور فارساب صنعت. ۱۳۹۵ الف. انجام مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰.
- شرکت مهندسين مشاور فارساب صنعت. ۱۳۹۵ ب. انجام مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه‌های کل- مهران و جزایر خلیج فارس منتهی به سال آبی ۱۳۸۹-۹۰.
- اندیشکده تدبیر آب ایران. ۱۳۹۱. پایداری منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت رفسنجان با تأکید بر بررسی منابع
- عدم قطعیت در محاسبات بیلان آب زیرزمینی. اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی استان کرمان.
- شفیعی، م.، قهرمان، ب. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۸. مروری بر مفاهیم مدلسازی هیدرولوژی: بخش دوم، مبانی تحلیل عدم قطعیت. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۱): ۳۵-۴۰.
- شفیعی، م.، مجیدی، م.، جودوی، ع.، سلیمانیها، س. و پشتوان، ح. ۱۳۹۸. پیش‌درآمدی بر سیمپوزیوم ملی مسائل حل نشده بیلان آب کشور: لزوم مشارکت و هم‌افزایی در علاج بخشی مهم‌ترین مولفه برنامه‌ریزی منابع آب ایران. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۲): ۸۳-۸۶.
- علیزاده، امین. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و سوم، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- Eder G., Nachtnebel P., and Sivapalan M. 2005. Water balance modeling with fuzzy parameterizations: application to an Alpine catchment. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. 125-146.
- Faybishenko B. 2010. Fuzzy-probabilistic calculations of water-balance uncertainty. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 24(6): 939-952.
- European Union (EU). 2015. Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD (P.126). Technical Report - 2015 – 090. ISBN 978-92-79-52021-1 doi: 10.2779/352735.
- Tuinhof A., Foster S., Kemper K., Garduno H., Nanni M. 2006. Groundwater Monitoring Requirements - for managing aquifer response and quality threats. 10.13140/RG.2.1.4530.9529.
- Kiang J. E. 2002. Water balance investigations of groundwater depletion in Asia: information needs and uncertainty analysis. Thesis (Ph. D.)-Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering.
- Ordens C. M., Werner A. D., Post V. E. A., Hutson J. L., Simmons C. T., and Irvine B. M. 2011. Groundwater recharge to a sedimentary aquifer in the topographically closed Uley South basin, South Australia, Hydrogeology journal, 20(1): 61-72.
- Rockhold M. L., Wachler S. R., Saunders D. L., Clayton R. E., and Strickland C. E. 2009. Soil Water Balance and Recharge Monitoring at the Hanford

drology, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.

Zhang X. 2002. Linking water balance to irrigation scheduling: A case study in the piedmont of Mount Taihang. Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agriculture in China and Australia, ACIAR Monograph No. 84, 57–69.

Site: FY09 Status Report, Rep., PNNL-18807, Pac. Northwest Natl. Lab., Richland, Wash.

Samani S, Moghaddam A. A, and Ye M. 2018. Investigating the effect of complexity on groundwater flow modeling uncertainty. Stochastic environmental research and risk assessment, 32: 643-659. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1436-6>.

Todd K. D. and Mays L. W. 2004. Groundwater Hy-

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

## Water Allocation Management in Iran: A Deviated Way in the Lapse of Time

E. Esmailinezhad<sup>1\*</sup>, K. Davari<sup>2</sup>

1,2- MSc Student & professor, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

\*(Corresponding Author Email: e.esmailinezhad@gmail.com)

Received: 28-01-2020

Accepted: 13-06-2020

## مدیریت تخصیص آب در ایران، بیراهه‌ای در گذر زمان

ابراهیم اسماعیلی‌نژاد<sup>۱\*</sup>، کامران داوری<sup>۲</sup>

۱-۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: e.esmailinezhad@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۴

### Abstract

The restrictions and challenges of renewable water resources and the increasing demand for water in different urban and service sectors, tourism, industry and agriculture have increased the significance and sensitivity of water resources management. This sensitivity is especially effective during the periods of dehydration. The experience gained in the past years regarding the water resources management has indicated that good management practices which are based on the principles of sustainability and increasing water productivity, reduce the challenges, constraints, and problems of water scarcity. In this regard, systematization of water allocation process is considered as a strategic strategy and a fundamental step to achieve water security and sustainable development of water resources. However, this system of water allocation in Iran has always been associated with problems (environmental issues, conflicts between upstream and downstream regions, etc.) that has been modified twice in 2003 and 2008. Despite the reforms and changes made in this regulation and method, we are witnessing the inefficiency of water allocation in Iran, because in order to achieve a favorable balance in the field of water supply and demand, as an important and essential principle in water allocation and sustainability, It will be possible only with a management that considers all dimensions (political, economic, social). As a result, the water allocation regulation in Iran is currently in need of amendments to determine the exact framework for water allocation and harvest control, in addition to considering the important goals of "water sustainability and productivity" in the water allocation regulation.

**Keywords:** Water Allocation System, Renewable Water, Manageable Renewable Water, Water Withdrawal.

### چکیده

محدودیت و چالش‌های منابع آب تجدیدشونده و افزایش روز افزون تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف شهری و خدمات، توریسم، صنعت و کشاورزی، اهمیت و حساسیت مدیریت منابع آب را افزایش داده است. این حساسیت به ویژه در دوره‌های کم‌آبی، تأثیر بیشتری دارد. تجارب سال‌های گذشته در مباحث مدیریت منابع آب، بازگوکننده این است که اعمال مدیریت درست و صحیح بر اساس اصول پایداری و افزایش بهره‌وری آب، چالش‌ها، محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب را کاهش می‌دهد. در این راستا نظام‌مندسازی فرآیند تخصیص آب، راهکاری راهبردی و اقدامی اساسی جهت دستیابی به امنیت آبی و توسعه پایدار منابع آب تلقی می‌گردد. اما این نظام‌مندی تخصیص آب در ایران همواره با مشکلاتی (مسائل زیست‌محیطی، درگیری‌های بین مناطق بالادست و پایین‌دست و ...) همراه بوده که دوبار در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ اصلاح شده است. با وجود اصلاحات و تغییرات در این نظام‌نامه، شاهد ناکارآمدی تخصیص آب در ایران هستیم؛ زیرا برای رسیدن به یک تعادل مطلوب در زمینه عرضه و تقاضای آب، که یک اصل مهم و حائز اهمیت در تخصیص و پایداری آب می‌باشد، فقط با مدیریتی که همه ابعاد (سیاسی، اقتصادی، اجتماعی) را در نظر بگیرد، میسر خواهد بود. در نتیجه در حال حاضر نظام‌نامه تخصیص آب در ایران نیاز به اصلاحاتی دارد تا علاوه بر در نظر گرفتن اهداف مهم «پایداری و بهره‌وری آب» در نظام‌نامه تخصیص آب، چارچوب دقیقی برای تخصیص آب و کنترل برداشت تعیین شود.

**واژه‌های کلیدی:** نظام تخصیص آب، آب تجدیدپذیر، آب تجدیدپذیر قابل مدیریت، برداشت آب.



محدودیت منابع آب تجدیدشونده و تقاضای روزافزون برای مصرف آب در بخش‌های مختلف مصرف، اهمیت مدیریت منابع آب را افزایش داده است. مدیریت منابع آب در دوره‌های خشکسالی نیاز به توجه بیشتری دارد. تجربه کشورهای مختلف در زمینه مدیریت منابع آب نشان می‌دهد که اعمال مدیریت صحیح بر منابع آب به میزان زیادی محدودیت‌ها و مشکلات ناشی از کمبود منابع آب را تعدیل می‌بخشد. در این راستا نظام‌مندسازی فرآیند تخصیص آب راهکاری راهبردی و اقدامی اساسی جهت دستیابی به امنیت آبی و توسعه پایدار منابع آب تلقی می‌گردد. تدوین و استقرار یک نظام منسجم تخصیص آب با ایجاد تعادل منطقی بین عرضه و تقاضا و بهره‌برداری از منابع متناسب با توان و پتانسیل آنها، یکی از الزامات مدیریت صحیح بر منابع آب می‌باشد. تخصیص آب، فرآیند سهم‌بندی یک منبع طبیعی محدود در میان مناطق مختلف و بهره‌برداران رقیب است. این فرآیند زمانی ضرورت می‌یابد که توزیع و موجودی طبیعی آب نمی‌تواند نیازهای تمام استفاده‌کنندگان آب از نظر کمیت، کیفیت، زمان‌بندی موجودی، یا قابلیت اطمینان را تأمین نماید (Speed و همکاران، ۲۰۱۳). مروری بر سازوکارهای گذشته در نحوه تخصیص آب، حاکی از فقدان یک نظام تخصیص آب به هم پیوسته و عدم وجود معیار مشخصی است که تعیین‌کننده حد و اندازه مجاز برداشت آب از منابع آب باشد. دنباله‌روی برنامه‌های مدیریت آب کشور از گرایش‌های توسعه در سایر بخش‌ها، عدم وجود گردش کار مشخصی برای فرآیند تخصیص آب به متقاضیان و یا طرح‌ها، پراکندگی مسئولیت‌ها در سطح ستاد و صف وزارت نیرو و نیز برخورد‌های متفاوت با تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی بدون توجه به اثرات آن بر روی کل منابع آب حوزه‌آبریز، از جمله نقاط ضعف مدیریت آب کشور به دلیل عدم وجود نظام تخصیص آب بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۷۷).

همین موضوع امروز مدیریت آب کشور را با مشکلات بزرگی چون کسری مخزن آبخوان‌ها، به دلیل برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، کاهش شدید منابع آب ورودی به برخی از طرح‌های توسعه منابع آب در حال بهره‌برداری، عدم تأمین حقایق‌های زیست‌محیطی بدنه‌های آبی (مانند تالاب‌ها و ...) و عدم مدیریت صحیح فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی (که موجب کاهش کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی شده) مواجهه نموده است. ناتوانی پاسخگویی صحیح و مدیریت شده بخش آب کشور به نیازهای آبی روزافزون بخش‌های مختلف به خصوص صنعت، خلاء نبود نظام تخصیص آب در سال‌های گذشته را آشکارتر می‌سازد.

مدیران، چه در کادر دولتی و چه خصوصی، مجبور به تصمیم‌گیری‌های سختی در مسائل مرتبط با تخصیص آب هستند. به مرور زمان، آب قابل عرضه کاهش می‌یابد در حالیکه میزان تقاضا رو به افزایش است. محرک‌هایی چون، افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی منابع آبی را دچار تنش نموده‌اند. رویکردهای تخصیص قدیمی دیگر اعتبار زیادی نداشته و نیاز شدید به رویکردهای جامع‌تر برای مدیریت منابع آب می‌باشد. طبق تعریف نهاد همکاری جهانی آب (GWP)<sup>۱</sup> «مدیریت یکپارچه آب» فرآیندی برای تقویت، توسعه و مدیریت هماهنگ منابع آبی و سرزمینی با هدف افزایش بهره‌وری اقتصادی و رفاه اجتماعی با رویکردی عادلانه بدون برهم زدن پایداری اکوسیستم‌های طبیعی، است (توتونچی و همکاران، ۱۳۹۶).

تعدای از چالش‌هایی که به تحول مهم در برنامه‌ریزی تخصیص در حوضه منجر شده است، عبارتند از:

- افزایش برداشت‌های آب
- تخصیص بیش از حد آب حوضه و فقدان وجود مکان‌های مناسب برای ساخت سازه‌های آبی
- رشد و تغییر اقتصاد، که به تنوع گسترده‌تر بهره‌برداران با تقاضاهای مختلف آب می‌انجامد.
- تنزل وضعیت اکوسیستم‌های آب شیرین و از بین رفتن کارکردهای سیستم رودخانه و ...
- در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم.

در پاسخ به این موارد و چالش‌های دیگر، اکنون برنامه‌ریزی مدرن تخصیص در حوضه، تمرکز بیشتری بر بهینه‌سازی استفاده از منابع موجود و تحلیل‌های تفصیلی اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی و بررسی بده‌بستان‌ها میان استفاده‌کنندگان رقیب، دارد. این روند با روند فاصله‌گرفتن از تأکید سنتی بر ساخت و سازه‌های جدید برای تأمین تقاضای فزاینده ترکیب می‌شود و تدابیر مدیریت تقاضا را در دستور کار قرار می‌دهد (وزارت نیرو، ۱۳۹۸).

سرانجام با گذشت چندین دهه از تصویب نظام‌نامه تخصیص آب و افزایش تعداد تقاضاها و همچنین بروز تنش‌های آبی، شاهد ناکارآمدی تخصیص آب، تصویب تصمیمات نادرست در فرآیند انجام تخصیص و در تضاد بودن تصمیمات تخصیص آب در حوضه‌آبریز هستیم. همچنین در راستای ابلاغیه شورای عالی آب در سال ۱۳۹۳، وزارت نیرو به منظور احیا و تعادل‌بخشی آب‌زیرزمینی، آب قابل برنامه‌ریزی را در برداشت آب در حوضه‌آبریز تصویب کرد تا شاید نقطه عطفی در نظام تخصیص آب باشد، اما با توجه به عدم شفافیت در نحوه تعیین آب قابل برنامه‌ریزی، باعث عدم شفافیت بیشتر در نظام تخصیص آب شده است و همچنان با وجود افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر دشت‌های ایران شاهد تخصیص‌های نادرست مختلفی در حوضه‌آبریز هستیم.

سبب گردیده تا شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در برخی از مناطق در یک حوضه آبریز بسیار مطلوب‌تر از سایر مناطق باشد. این موضوع موجب نارضایتی مردم ساکن در مناطق کمتر توسعه یافته و به وجود آمدن فشارهای مردمی بر مدیریت آب کشور جهت طراحی و اجرای طرح‌های توسعه منابع آب در چنین مناطقی شده است. از طرف دیگر اجرای طرح‌های توسعه در مناطق کمتر توسعه یافته در مواردی اثرات منفی احتمالی بر طرح‌های در حال بهره‌برداری پایین دست که از قبل سرمایه‌گذاری شده‌اند، خواهند داشت.

بنابراین در صورت عدم وجود و اعمال نظام تخصیص آب مبتنی بر مدیریت بهم پیوسته منابع آب در حوضه آبریز و توسعه طرح‌های توسعه منابع آب با دیدگاه‌های مدیریتی استانی و با اهداف نقطه‌ای و محلی، بایستی منتظر بروز چالش‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی که بهره‌برداری پایدار و عادلانه از منابع آب حوضه‌های آبریز کشور را تهدید می‌کند، بود (وزارت نیرو، ۱۳۷۸).

### مروری بر شکل‌گیری فرآیند نظام تخصیص آب

نظام‌های بهره‌برداری از آب در ایران دارای ابعاد مختلف تاریخی، اقتصادی، فنی، اجتماعی و فرهنگی بوده است. در چنین شرایطی به روشنی قابل درک است که هر گونه دخالت قوای مقننه و مجریه در نظام بهره‌برداری آب بدون بررسی عمیق و همه جانبه، منجر به ناهنجاری‌های گسترده اجتماعی و فساد اقتصادی شده است. آگاه و حسنی سعدی (۱۳۹۳) مطالعاتی بر روی روند تاریخی نظام‌های حاکمیتی و قوانین آب کشور و عملکرد مجری انجام داده‌اند که می‌توان از دو دوره متمایز قانون‌نویسی در نظام‌های بهره‌برداری حکایت کرد:

#### • دوره شفافیت

**حاکمیت عرف:** به طور اصولی حاکمیت عرف تا زمانی که روش‌های بهره‌برداری تغییر نکرده باشد، الزاماً بیش از هر قانونی نیازهای جامعه را پاسخگو است. زیرا عرف از دل کنش‌ها و تنش‌های چندین هزار ساله زاده شده و در طول زمان و با سایش تدریجی، هر گونه ناهماهنگی، لاجرم به هماهنگی تبدیل شده است. به عبارتی دیگر، تا زمانی که حفر چاه عمیق رایج نگشته بود، عرف برای آب و مسائل حکمرانی آن، بسنده بود.

**قانون مدنی:** نگارش قانون مدنی منکر رعایت عرف نبود، بلکه عمدتاً مسائل حکمرانی آب را به عرف محلی واگذار کرد. قانون مدنی، قانونی جامع و مانع بود که نگارش آن با وسواسی خاص صورت گرفت. نگارندگان تنها به یک کاستی در قانون مدنی برخورد کرده‌اند که آن هم، استفاده از کلمه «حریم» در دو معنای متفاوت است. به جای مفاهیم «حریم سازه‌ای» و «حریم آبی» در محدوده چاه دستی و قنات، در مواد قانونی تنها کلمه «حریم» به کار رفته است.

رشد اقتصادی، رشد جمعیت و شهرنشینی سریع، فشار بر منابع آب را افزایش داده است. این فرآیند غالباً با تنزل کیفیت آب همراه است، بنابراین محدودیت بیشتری را بر کمیت آب قابل استفاده تحمیل می‌کند. افزون بر این فشارها، عدم توازن قدرت در میان مصرف‌کنندگان (به عنوان نمونه، میان شهری و روستایی، صنعتی و کشاورزی و طبقه نوظهور متوسط و اقشار فقیر)، چالش‌های پیش‌رو را دشوارتر و پیچیده‌تر می‌سازد. مصرف‌کنندگان سنتی یا عرفی آب در این الگوی در حال تغییر مصرف آب، معمولاً متضرر می‌شوند. در چنین شرایطی نظام تخصیص آب اهمیت خاصی پیدا می‌کند (Bird و همکاران، ۲۰۰۹).

اعمال مدیریت‌های محلی و عدم وجود نظام تخصیص آب مبتنی بر رویکرد مدیریت بهم پیوسته بر کل منابع حوضه آبریز در گذشته، برنامه‌ریزی، توسعه و بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های آبریز را امروزه با پیچیدگی‌های فراوان مواجه نموده است که برخی از آنها عبارتند از:

۱. **مسائل زیست‌محیطی:** تعدادی از طرح‌های توسعه منابع آب با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ضعیفی مطالعه و اجرا شده‌اند. لذا عدم تأمین کافی حقابه‌های زیست‌محیطی پیکره‌های آبی، عملاً می‌تواند موجب امکان بروز چالش‌های زیست‌محیطی در حوضه‌های آبریز شود.

۲. **کسری مخازن سفره‌های آب زیرزمینی:** برداشت بیش از توان از سفره‌های آب زیرزمینی در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی کشور، موجب کسری مخزن در این سفره‌ها گردیده است؛ بطوریکه در وضعیت کنونی بیش از یک سوم محدوده‌های مطالعاتی کشور به لحاظ برداشت از آب زیرزمینی ممنوعه شده‌اند. شدت اضافه برداشت‌ها در برخی از سفره‌های آب زیرزمینی به گونه‌ای بوده است که موجب افت شدید سطح آب زیرزمینی و گاهی ایجاد نشست زمین در آنها گردیده است.

۳. **تغییر اهداف طرح‌ها:** در برخی از حوضه‌های آبریز مطالعه و اجرای طرح‌های توسعه منابع آب بدون توجه به اثرات آنها بر سایر طرح‌های پایین دست که نتیجه مدیریت محلی و با نگاه استانی است، موجب کاهش منابع آب ورودی به طرح‌های در حال بهره‌برداری پایین دست شده است. این موضوع موجب گردیده تا علاوه بر عدم تأمین نیاز آبی اهداف اولیه طرح‌های پایین دست با اطمینان‌پذیری مناسب و نارضایتی مصرف‌کنندگان آب، بلااستفاده ماندن سرمایه‌های ملی که صرف احداث چنین طرح‌های بزرگی شده است را نیز به دنبال داشته باشد.

۴. **نامتوازی توسعه در حوضه آبریز:** آب زیربنای توسعه همه بخش‌ها و الفبای آبادانی است. بنابراین اجرای طرح‌های توسعه منابع آب بدون توجه به توسعه متوازن در سطح حوضه‌های آبریز

**قانون آب و نحوه ملی شدن آن:** این اولین قانون جامعی است که بعد از ورود تکنولوژی جدید حفر چاه عمیق وضع شده است. چاه عمیق برای نخستین بار بهره‌برداری از ذخایر آبی تجدیدنپذیر را ممکن ساخت و از این رو دیگر عرف و قانون مدنی نمی‌توانست جوابگوی مسائل حقوقی آب باشد. قواعد حکمرانی آب به طور اساسی نیاز به تحول داشت. با وجود این، بررسی «قانون آب و نحوه ملی شدن آن» تحسین هر محقق را بر می‌انگیزد. در زمان خود، این قانون دستاوردی بزرگ محسوب می‌شد که سرمشق قوانین آب برخی کشورهای دیگر نیز قرار گرفت. کاستی‌های این قانون عمدتاً در زمان آینده جلوه‌گر شد.

#### • دوره ابهام

همگی قوانین حوزه آب که بعد از قانون آب تصویب شده، از منظر قانون‌نویسی مخدوش و فاقد ارزش برای نقد حقوقی می‌باشند. از این پس ایجاد ابهام در مالکیت اموال به روندی عادی در قانون‌نویسی تبدیل و تفسیر به رأی، آویزه دست مجریان می‌گردد. لغو صریح و قانونی مالکیت خصوصی بر آب‌های حیات شده و جایگزین کردن آن با مالکیت دولتی یا اشتراکی به مراتب صدمه کمتری به ذخایر آب زیرزمینی وارد می‌کرد تا ترویج ابهام در مالکیت آب‌های حیات شده و اقتدار بخشیدن به مجری در تعیین سرنوشت اموال مردم. برای نمونه، ریشه‌ای‌ترین و مخرب‌ترین ابهام را می‌توان در تغییر تعریف «دشت ممنوعه» در «قانون توزیع عادلانه آب» سال ۱۳۶۱ مشاهده کرد. با توجه به اینکه در «قانون آب و نحوه ملی شدن آن» در سال ۱۳۴۷ بر اساس یک معادله ساده هیدروژئولوژیکی «دشت ممنوعه» تعریف شده بود، اما در سال ۱۳۶۱، قانون‌گذار و مجری، «طرح- لایحه‌ای» ابهام‌آمیز مصوب کردند که در آن «دشت ممنوعه» به صورت سلیقه‌ای تعریف و واگذار می‌شد که از این پس مجریان می‌توانستند بدون توجه به منفی بودن بیلان آب در دشت ممنوعه سابق، پروانه گران‌بهای چاه عمیق صادر کنند.

در حالت کلی تقسیم‌بندی از قانون‌گذاری و تغییر در شیوه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، که تأثیرگذار در فرآیند تخصیص آب در کشور است، در ذیل ارائه شده که دوره شفافیت و دوره ابهام در نظام بهره‌برداری را در درون خود جای داده است. این تقسیم‌بندی به صورت زیر انجام گرفته است:

**حقوق آب در عرف و شرع،** از دوران باستان تا شروع دوران معاصر: از ویژگی‌های این دوره می‌توان به بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی به اتکای حاکمیت قواعد عرفی و احکام شرعی بر حقوق و مالکیت آب زیرزمینی اشاره کرد.

**شروع قانون‌گذاری مدون،** سال ۱۲۸۵ تا ۱۳۳۴: در این دوران، با پیدایش نظام قانون‌گذاری مدون در کشور، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (چاه دستی و قنات) بر پایه قواعد حاکم بر قانون مدنی و عرف صورت می‌گرفت.

**اشاعه فناوری جدید حفر چاه عمیق و پایایی،** سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۴۷: ویژگی این دوره، تغییر در شیوه بهره‌برداری و نحوه حیات منابع آب زیرزمینی با ورود تکنولوژی جدید در حفر و تجهیز چاه‌های عمیق به کشور است.

**رویکرد قانونی به توسعه پایدار منابع آب،** سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۷: این دوره سر آغاز پی‌ریزی نظام جدید حقوق آب به منظور حفظ منابع آبی تجدیدنپذیر بر پایه صدور مجوز بهره‌برداری است.

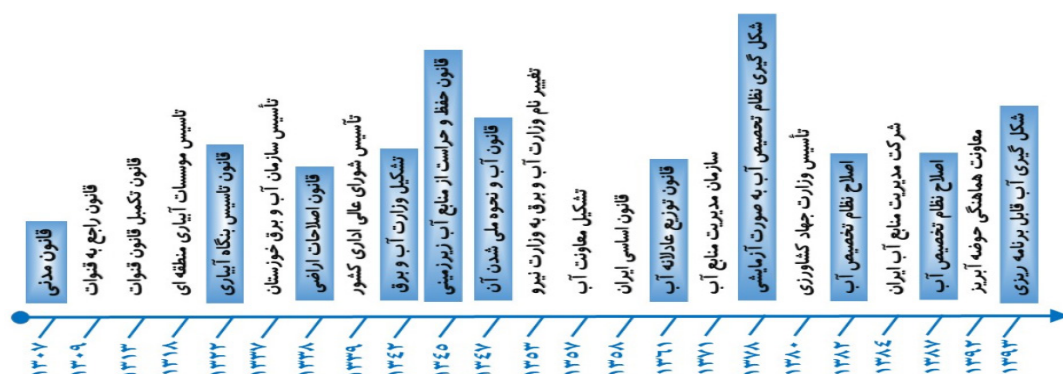
**پیدایش سبک نوین در قانون‌نویسی،** سال ۱۳۵۷ تا ۱۳۶۱: از سال ۱۲۸۵ تا ۱۳۶۱ به طور متوسط ۴۶ قانون مربوط به مباحث آب (قانون تأسیس بنگاه آبیاری، قانون آب و نحوه ملی شدن و ...) در کشور تصویب شده بود. با پیروزی انقلاب اسلامی در ایران، شاهد پیدایش سبک جدید در قانون‌نویسی و همچنین تغییر دیدگاه جامعه از حالت حفاظت به توزیع عادلانه آب بودیم که در اثر آن سرعت‌گیری روند تخریب منابع آبی در کشور رو به افزایش بود (آگاه و حسنی‌سعدی، ۱۳۹۳).

پس از این تحولات در مدیریت منابع آب کشور، تا کنون قوانین و سیاست‌های مختلفی وضع شده تا نظام بهره‌برداری پایدار را به جای نظام مبتنی بر حقایقه‌های گذشته مستقر کند. با وجود تحولات متعدد، به نظر می‌رسد هیچ‌گاه دیدگاه قانون نسبت به نظام حقوق آب به طور شفاف ذکر نشده و در حال‌های از ابهام باقی مانده است. برای مثال، همچنان بعد از گذر چندین دهه هنوز سؤالاتی از این دست که «چه آبی عمومی، دولتی و یا خصوصی است؟»، «اختیارات و وظایف دولت در قبال بهره‌برداری از آب چیست؟» و «حقوق بهره‌برداران پیشین در قبال آبی که استحصال کرده‌اند چیست؟» مطرح است. قانون توزیع عادلانه آب همه منابع آب را جز مشترکات می‌داند (برخلاف قانون اساسی که آن را انفال و در مالکیت حکومت می‌داند) که مسئولیت حفظ و نظارت به بهره‌برداری آب بر عهده دولت است. این قانون اجازه تخصیص آب را منحصراً به وزارت نیرو داده و صدور پروانه مصرف معقول به اندازه نیاز مصرف‌کنندگان (و نه به میزان آب در تملک آن‌ها) را برای کنترل کردن جمیع برداشت‌ها از منابع، در حوزه اختیار خود لحاظ کرده است (طالبی اسکندری و میرنظامی، ۱۳۹۸).

مطابق با ماده ۲۱ قانون توزیع عادلانه آب، «تخصیص و اجاره بهره‌برداری از منابع عمومی آب برای مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و سایر موارد با وزارت نیرو است» (قانون توزیع عادلانه آب، ۱۳۶۲). بنابراین ضرورت داشت تا فرآیندی برای انجام این وظیفه قانونی توسط وزارت نیرو تدوین و به اجرا درآید. در دهه‌های گذشته با توجه به اینکه در اغلب مناطق هنوز تقاضاهای آب کمتر از منابع موجود بود، لذا یا تنش معنی‌داری وجود نداشت و یا در نقاط پر تنش نظیر استان‌های گیلان و خوزستان، که دارای عرصه‌های وسیع زراعی بودند و بنابراین عدم انطباق توزیع نیازآبی با منابع موجود دارای ابعاد گسترده بود،

به طور موردی چاره‌اندیشی لازم صورت می‌گرفت که پیامد این چاره‌اندیشی‌ها وجود سدهای بزرگ و شبکه‌های وسیع و مدرن آبیاری در این مناطق با قدمت زیاد می‌باشد. با گذشت زمان و افزایش تعداد تقاضاها و همچنین بروز تنش‌های آبی با فراوانی زیاد، سبب گردید تا مدیران آب با احداث سازه‌های متعدد تنظیم آب و صدور مجوزهای زیاد برای حفر چاه با رویکرد تأمین آب و پاسخگویی به تقاضاهای موجود در حوضه آبریز به تدریج با پدیده‌های جدیدی مواجه شوند که شکل جدیدی از چالش‌های مدیریت آب را معرفی می‌نمود. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به کاهش منابع آب ورودی به سدهای احداث شده قبلی در اثر ایجاد طرح‌های جدید در بالادست آن‌ها، کاهش مداوم سطح آب زیرزمینی در بسیاری از آبخوان‌ها به دلیل برداشت بی‌رویه از آنها و ایجاد پدیده‌ها و پیامدهای زیست‌محیطی و نظایر این‌ها اشاره نمود. بنابراین با بروز چالش‌های جدید ناگزیر، رویکرد مدیریت آب کشور از رویکرد صرفاً تأمین آب و پاسخگویی به متقاضیان، می‌بایست تبدیل به رویکردی نظام‌مند با لحاظ اثرات فعالیت‌ها

و تصمیمات مختلف بر منابع آب به عنوان منابعی ضروری برای ادامه سایر فعالیت‌ها می‌شد. به عبارت دیگر ضرورت داشت به جای نگاه ساده صرفاً تأمین آب برای متقاضیان مختلف، ابعاد مختلفی نظیر توزیع عادلانه، توسعه پایدار و توجه به منافع ذینفعان مختلف با لحاظ ساختارها و قوانین و مقررات، وارد فرآیندهای تصمیم‌گیری در مدیریت منابع آب کشور شود. با توجه به مطالب فوق و وضعیت (عدم شفافیت، بروز تنش‌های آبی) حاکم بر فرآیند تخصیص آب در کشور، برنامه عملیاتی و اجرایی استقرار یک نظام تخصیص آب منسجم و یکپارچه از اواخر دوره برنامه دوم و اوایل برنامه سوم توسعه در واحد برنامه‌ریزی امور آب وزارت نیرو آغاز شد که هدف اصلی آن نظام‌مند نمودن فرآیند تخصیص آب به متقاضیان و طرح‌های توسعه منابع آب مبتنی بر مدیریت بهم پیوسته حوضه‌های آبریز و توسعه پایدار منابع آب بوده است (ترابی و روزبهانی، ۱۳۸۶). در راستای مطالب بالا، شکل (۱) سیر تاریخی شکل‌گیری برخی از ادارات و سازمان‌ها و قوانین مرتبط با آب که در کشور تأسیس شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- سیر تاریخی شکل‌گیری قوانین و سازمان‌های مرتبط با منابع آب

## نظام تخصیص آب در ایران در گذشته (۱۳۶۱ تا ۱۳۹۳)

یکی از اقدامات اصلی مدیریت آب در هر کشوری تخصیص آب است. چون معمولاً آب کافی با کمیت و کیفیت مورد نیاز برای پاسخگویی به تقاضاها برای استفاده‌های مختلف وجود ندارد، تصمیماتی باید درباره چگونگی به اشتراک‌گذاری آن میان استفاده‌کنندگان و استفاده‌های مختلفی که متقاضی هستند، گرفته شود. اقدامات مرتبط با این تصمیمات را تخصیص آب نامیده‌اند. به بیان دیگر تخصیص آب، فرآیند تسهیم آب موجود میان متقاضیان قانونی در بازه زمان مشخص است (نوری اسفندیاری، ۱۳۹۶). از طرفی در اجرای قانون توزیع عادلانه آب و آئین‌نامه‌های اجرایی آن و به منظور نظام‌مند نمودن مراحل برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع آبی کشور و در راستای حفظ و ایجاد تعادل منطقی و پایدار بین عرضه و تقاضای آب و برقراری فرآیند اصولی و مناسب در

رسیدگی و پاسخگویی به تقاضاهای جدید آب با اولویت‌گذاری در نوع مصارف و بهره‌گیری از ظرفیت‌های توسعه منابع آب و انتقال آب بین حوضه‌ای با رعایت ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی و توجه به جنبه‌های توأمان کمی و کیفی منابع آب و در چارچوب سیاست‌های مصوب وزارت نیرو، دستورالعمل اجرایی تخصیص آب تصویب شد (وزارت نیرو، ۱۳۸۲). بنابراین، از این طریق میزان آب قابل دسترس برای مصارف انسانی و چگونگی تسهیم این آب، میان مناطق و مصرف‌کنندگان رقیب تعیین می‌شود، چون بازارهای آب معمول با شکست مواجه می‌شوند. تخصیص آب میان مصارف مختلف عموماً با در نظر گرفتن هدف‌های متعارض کارایی اقتصادی، انصاف اجتماعی و به هم پیوستگی اکولوژیکی به طور اداری و از طریق صدور مجوز انجام می‌شود. با افزایش کمیابی آب در سطح جهانی، برنامه‌ها و توافقی‌نامه‌های تخصیص آب، اهمیت رو به افزایشی در حل و فصل تعارضات بین‌المللی، منطقه‌ای و



محلّی برای دسترسی به آب پیدا کرده‌اند. این در شرایطی است که هر کشوری نیز برای مدیریت بهره‌برداری از منابع آب محدود خود از نظام صدور مجوز پروانه بهره‌برداری از آب تبعیت می‌کند. این سامانه بر پایه نظام تخصیص آب آن کشور عملیات خود را برای صدور مجوز و یا بازبینی و جرح و تعدیل آن تنظیم می‌کند و خود را با آن تطبیق می‌دهد (نوری اسفندیاری، ۱۳۹۶). محتویات و دامنه برنامه‌های ملی تخصیص آب به نحوه توزیع قدرت تصمیم‌گیری بین مقامات ملی، منطقه‌ای و حوضه بستگی دارد و الگوی استنادردی وجود ندارد. اما یکی از مزیت‌های مهم طرح تخصیص ملی شناسایی میزان آب موجود در مناطق و حوضه‌ها به صورت مستقیم یا غیرمستقیم می‌باشد که این فرآیند باعث تعیین کردن مرزهای تخصیص آب به صورت جزئی و جداگانه در داخل هر منطقه می‌شود. همچنین برای اجرایی کردن برنامه‌های تخصیص ملی باید همه قوانین و مقررات موجود، زیرساخت‌ها، اهداف و کل منابع آب در نظر گرفته شود (Speed و همکاران، ۲۰۱۳).

با توجه به اینکه سپردن وظیفه تخصیص آب به شرکت‌های آب منطقه‌ای، آن هم بدون محدودیت‌های برداشت و چارچوب‌های لازم جهت رعایت در سطح ملی، می‌توانست منجر به رقابت‌های محلی غیر منطقی و تنش‌زا شود و ملاحظات توسعه ملی در طرح‌های توسعه منابع آب را خدشه‌دار سازد، لذا نظام تخصیص آب باید به گونه‌ای طراحی می‌شد که ضمن مخدوش نکردن وظیفه حاکمیتی وزارت نیرو، دامنه معقول و منطقی اختیارات شرکت‌های آب منطقه‌ای را نیز در راستای سیاست‌های تمرکززدایی حفظ نماید. با این هدف، پیش‌نویس اولین دستورالعمل اجرایی نظام تخصیص آب، جهت عملیاتی نمودن این نظام در سال ۱۳۷۸ توسط دفتر برنامه‌ریزی آب وزارت نیرو تهیه و در تاریخ ۱۳۷۸/۴/۱۵ با امضاء معاونت وقت امور آب وزارت نیرو به شرکت‌های آب منطقه‌ای ابلاغ شد. در این دستورالعمل گردش کار متقاضی، طوری طراحی شده بود که شرکت‌های آب منطقه‌ای تا سقف اختیارات خود که توسط ستاد امور آب اعلام می‌گردید، رأساً مجوز برای متقاضی صادر می‌نمودند و برای موارد بالاتر از سقف تعیین شده، پرونده متقاضی به ستاد امور آب ارسال می‌گردید. اما با همه این تصمیم‌گیری‌ها، تعداد پرونده‌هایی که تقاضاهای آبی آن‌ها از سقف تعیین شده‌ای که از سوی ستاد آب مشخص شده بود، بی‌شمار بود و در فاصله زمانی کوتاه مدت توانایی رسیدگی به پرونده‌های آنها نبود؛ به همین دلیل تصمیم به بازبینی نظام‌نامه تخصیص آب گرفته شد (ترابی و روزبهرانی، ۱۳۸۶).

پس از یک دوره اجرای آزمایشی این دستورالعمل، از نیمه دوم سال ۱۳۸۰ و به دستور معاون وقت امور آب وزارت نیرو، دستورالعمل نظام تخصیص آب مورد بازنگری قرار گرفت و پس از انجام هماهنگی و تعامل لازم با شرکت‌های آب منطقه‌ای، ویرایش جدید دستورالعمل در تاریخ ۱۳۸۲/۳/۱۰ توسط معاون وقت امور آب وزارت نیرو به شرکت‌های آب منطقه‌ای ابلاغ گردید. در این ویرایش

رسیدگی به پرونده‌های متقاضیان بایستی تماماً توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای و در قالب سقف تخصیص‌های آب زیرزمینی و سطحی (که توسط مدیریت آب کشور تعیین می‌شود) صورت گیرد و پرونده متقاضیان به ستاد امور آب ارسال نگردد. اگر چه در خصوص طرح‌های توسعه منابع آب که در واقع شرکت‌های آب منطقه‌ای یا منطقه متقاضی آن است، بررسی چنین تقاضاهایی و صدور مجوز برای آن‌ها به عهده وزارت نیرو می‌باشد. به عبارت دیگر وزارت نیرو بررسی‌کننده تقاضاهای کلان مناطق و صادرکننده مجوزهای کلان برداشت آب در سطح واحدهای هیدرولوژیکی بوده و بررسی تقاضاهای خرد و در داخل هر واحد هیدرولوژیکی با اجازه برداشت معین (تعیین شده توسط وزارت نیرو) به عهده شرکت‌های آب منطقه‌ای می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۲). همچنین به منظور نهادینه ساختن فرآیند بررسی امکانات و توانایی‌های منابع آب در امر تخصیص آب، کمیسیون تخصیص آب در معاونت امور آب و آبفا وزارت نیرو و کمیته‌های مدیریت منابع آب در شرکت‌های آب منطقه‌ای تشکیل شد. مهمترین وظیفه کمیسیون تخصیص آب که بالاترین مرجع تصمیم‌گیری درباره تخصیص آب از منابع سطحی و زیرزمینی می‌باشد، تعیین راهبردهای ملی تخصیص آب در چارچوب سیاست‌های مصوب و برنامه‌های آمایش سرزمین و تعیین میزان آب قابل تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به نیازها و مصارف گوناگون در حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی مختلف کشور براساس اولویت و با توجه به محدودیت‌های کیفی و امکان جابه‌جایی تخصیص از یک مصرف به مصرف دیگر و گزارشات و مستندات ارائه شده از طرف دبیرخانه و شرکت‌ها می‌باشد. همچنین اصلی‌ترین وظیفه کمیته مدیریت منابع آب شرکت‌های آب منطقه‌ای، عملیاتی نمودن راهبردهای اعلام شده از سوی کمیسیون تخصیص آب و پیشنهاد میزان آب قابل تخصیص از منابع آب سطحی و زیرزمینی به مصارف گوناگون در حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی مرتبط با حوزه عمل شرکت، به کمیسیون تخصیص آب در چارچوب دستورالعمل‌های مربوطه می‌باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۷). با وجود اصلاحات انجام شده شاهد ناکارآمدی تخصیص آب در حوزه آبریز بودیم، وجود تصمیمات اشتباهی که به صورت کلان و منطقه‌ای در سطح حوزه آبریز گرفته می‌شد، برخی از تصمیمات تخصیص آب در تضاد هم بودند و یا تصمیمات لازم در تخصیص آب، بیش از منابع موجود بود.

با وجود تصمیم‌گیری‌های نادرستی که در سطح حوزه آبریز گرفته می‌شد، ناگزیر تصمیم به اصلاح و ویرایش جدیدی از نظام‌نامه تخصیص آب گرفته شد. در نهایت در سال ۱۳۸۷ ویرایش جدیدی از نظام‌نامه تخصیص آب برای شفافیت در تخصیص آب در سطح حوزه آبریز به صورت کلان و جزئی، به همراه یک شیوه‌نامه به شرکت‌های آب منطقه‌ای ابلاغ شد که در این شیوه‌نامه مسیر بررسی کامل تخصیص‌هایی که از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با ذکر

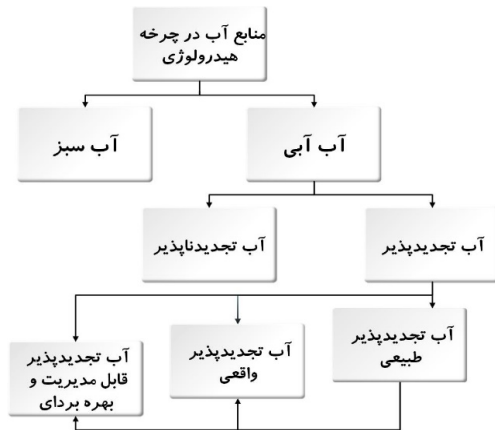


مثال انجام شده بود را نشان می‌داد. با این وجود، اما در ویرایش جدید نظام‌نامه تخصیص آب به مباحث زیست‌محیطی اهمیت خاصی داده نشده و مقدار آب تخصیص داده شده براساس حجم، صورت گرفته است. همچنین کم اهمیت بودن مجوز تخصیص در شروع طرح‌ها، انجام برنامه‌ریزی منابع آب طرح‌ها به صورت منفرد و بدون لحاظ اثرات اجرای طرح بر پایین‌دست، فشارهای سیاسی برای اجرای طرح‌ها بدون توجه به شرایط حوضه‌های آبریز و موازین توسعه پایدار و کمبود اطلاعات و آمار و دقت آن‌ها، بر مشکلات تخصیص آب اضافه شده است.

### وضع موجود تخصیص آب در ایران

در سال ۱۳۹۳ شورای عالی آب تصویب کرد که وزارت نیرو موظف است به منظور احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی، حداکثر تا ۷۵ درصد منابع آب زیرزمینی آب تجدیدپذیر (به منظور تضمین تاب‌آوری توسعه، حد قابل قبول در برداشت از منابع تجدیدپذیر در بسیاری از منابع بین‌المللی حدود ۴۰ و حتی ۳۰ درصد اعلام کرده‌اند؛ در صورتیکه، حد مزبور توسط شورای عالی آب کشور برابر با ۷۵ درصد تعیین شده است) و آب برگشتی را به تفکیک مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و فضای سبز در هر یک از محدوده‌های مطالعاتی تعیین و به دستگاه‌های مربوطه اعلام نماید تا علاوه بر جلوگیری از برداشت بیشتر ذخایر استراتژیک، ظرف مدت ۲۰ سال، سطح آب زیرزمینی به سطح ایستابی اولیه برسد. بدین منظور وزارت نیرو، آب قابل برنامه‌ریزی را برای منابع آب سطحی و زیرزمینی کشور ابلاغ نمود تا مبنایی برای اعلام کاهش مصرف آب باشد. طبق تعریف وزارت نیرو، آب قابل برنامه‌ریزی میزان آبی است که پس از کسر کردن نیازهای زیست‌محیطی در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌گیرد. بر مبنای دستورالعمل‌های طرح احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی، اصلاح و تعدیل پروانه‌های بهره‌برداری بر مبنای آب قابل قبول برنامه‌ریزی پیش‌بینی شده است (طالبی اسکندری و میرنظامی، ۱۳۹۸). همچنین برای مقابله با پیچیدگی‌های ناشی از مسائل مدیریت یکپارچه منابع آب، بحث در زمینه منابع آبی معمولاً به موضوعات مجزایی مانند اقتصادی، کیفیت آب و محیط‌زیست تفکیک شده است. به دلیل ماهیت مشترک مسائل مرتبط با آب، استفاده از ابزارهای خاص اقتصادی یا سیاسی می‌تواند موجب ایجاد تبادلات گردد. برای اینکه امنیت آب به طور مؤثر مدیریت شود، استفاده از ابزارهای اقتصادی و سیاسی را نمی‌توان نادیده گرفت، بلکه به دلیل تأثیر زیاد آن‌ها بر جامعه و محیط‌زیست، می‌بایست بیشتر مورد توجه قرار گیرند. آب تجدیدپذیر در حوضه آبریز، منبعی مشاع است که توسط افراد بسیاری استفاده می‌شود. در حال حاضر کشور دچار سردرگمی شدیدی در مورد تخصیص این منبع مشاع به آحاد ذی‌حق و متقاضی است. همچنین تفاوت نگذاشتن، میان دو مفهوم استفاده<sup>۲</sup> و مصرف<sup>۳</sup>،

موجب اشکالات عدیده دیگر گشته است. ادامه این سردرگمی منجر به ادامه روند مدیریت غلط گذشته در تخصیص منابع آب می‌گردد؛ و البته ادامه تخصیص غیر صحیح می‌تواند عواقب نامطلوبی در پی داشته باشد و وضعیت وخیم منابع آب کشور را وخیم‌تر نماید. شکل (۲) مفاهیمی از آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ارتباط بین منابع آب و آب تجدیدپذیر

### محاسبه آب تجدیدپذیر و مصرف آب

در ادامه نحوه محاسبه انواع آب تجدیدپذیر و مصرف آمده است.  
 $NRW = P - ET + (R_i + G_i)$   
 $NRw = ARW$  - (محدودیت ناشی از تکنولوژی و دانش + حبابه پایین‌دست ناشی از فشار اقتصادی و سیاسی)  
 $ARw = MRW$  - حبابه‌های ناشی از فشارهای اجتماعی و زیست‌محیطی که در شرایط محیط برآورده نمی‌شود.

ظرفیت باقیمانده آب قابل تخصیص  $MRW =$  آب تخصیص داده شده

$$C = W - Re$$

در روابط فوق،  $NRW$  میزان آب تجدیدپذیر طبیعی،  $ARW$  میزان آب تجدیدپذیر واقعی،  $MRW$  میزان آب تجدیدپذیر قابل مدیریت یا آب قابل تخصیص،  $p$  میزان بارش،  $ET$  میزان تبخیر ناشی از آب باران (آب سبز که در خاک ذخیره شده و تبخیر-تعرق می‌شود + آب تبخیرشده از سطوح آزاد آب) است. همچنین  $R_i$  و  $G_i$  به ترتیب، میزان رواناب ورودی (یا آب انتقالی) و جریان زیرزمینی ورودی می‌باشند. پس عبارت  $(R_i + G_i)$ ، آب‌های تنظیم نشده‌ای است که به حوضه وارد می‌شوند. بین تعاریف مختلف آب تجدیدپذیر در تئوری، رابطه  $MRW \leq ARW \leq NRW$  برقرار است. مطابق تعریف بالا، آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری همان میزان آب تجدیدپذیری است که باید بر اساس آن برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب صورت گیرد (آب قابل تخصیص)<sup>۱۱</sup>. همچنین  $C$  مقدار مصرف آب،  $W$  میزان برداشت آب،  $Re$  نشان‌دهنده آب برگشتی می‌باشند (شاهدی و طالبی، ۱۳۹۵).

روند تحولات جمعیت و سبک زندگی انسان در سطح جهانی، بیانگر پدیده عمومی رشد تقاضا برای آب است. از سوی دیگر، مواجهه با تغییرات اقلیمی و دوره‌های خشکسالی و ترسالی شدید، موجب احساس واقعی‌تری از محدودیت منابع آب شده است. این محدودیت‌ها و افزایش تقاضای آب، اهمیت مفهوم اصلاح تخصیص آب را به خوبی نمایان می‌سازد (طالبی اسکندری و میرنظامی، ۱۳۹۸). سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD، ۲۰۱۵)<sup>۱۴</sup> بر اساس گزارشی که با عنوان «تخصیص منابع آب: اشتراک در ریسک‌ها و فرصت‌ها» در سال ۲۰۱۵ منتشر کرد، عنوان کرد که اصلاح ترتیبات نظام تخصیص آب یکی از چالش‌های سیاسی بسیار مهم و مسئله‌ساز محسوب می‌شود. اصلاحات می‌تواند حجم آب در دسترس برخی از بهره‌برداران را کاهش دهد، وضعیت توزیع ریسک کمیابی آب را در بین بهره‌برداران آب تغییر دهد و بر وضعیت زیرساخت‌ها و نحوه سرمایه‌گذاری‌ها تأثیرگذار باشد. حتی تغییرات تدریجی و مرحله‌ای در نظام تخصیص آب موجود، می‌تواند منجر به شکل‌گیری اعتراضاتی شود و نیازمند جبران خسارت‌های پرهزینه برای آزاد کردن منابع آب توسط خرید از بهره‌برداران موجود آب باشد. همچنین وجود عوامل و پیشران‌های متعدد، اصلاح نظام‌های تخصیص را در دستور کار مدیران آب در کشور های مختلف قرار داده است. ازجمله این عوامل و پیشران‌ها که وجود اصلاحات در نظام تخصیص آب را ضروری می‌کند، عبارتند از: نگرانی‌ها درباره کمیابی یا کمبود آب، نگرانی‌ها درباره کاهش کیفیت آب، نگرانی‌ها درباره دسترسی عادلانه به آب، تغییر اقلیم، توسعه اقتصادی، دغدغه‌های حفاظت از محیط‌زیست و دیگر پیشران‌ها. در ایران نظام تخصیص آب علاوه بر مواجه شدن با مسائل و مشکلات بالا که موجب اصلاح چارچوب نظام تخصیص آب می‌باشد، وجود مشکلات زیر دلایل محکمی بر اصلاح نظام تخصیص آب در ایران می‌باشد. در واقع مهم‌ترین مشکلات موجود تخصیص آب در ایران به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- کم رنگ دیده شدن نظام تخصیص آب در قانون جامع آب و قانون توزیع عادلانه آب
  - ۲- ضعیف دیدن شدن مدیریت یکپارچه منابع آب در چارچوب تخصیص آب
  - ۳- در گذشته به مبحث آب تجدیدپذیر اهمیت خاصی داده نشده است.
  - ۴- در مباحث تخصیص آب به اهداف تخصیص آب، یعنی «پایداری و بهره‌وری آب» به درستی اهمیت داده نشده است.
  - ۵- تفکیک اهداف تخصیص آب (پایداری و بهره‌وری آب) در فرآیند انجام تخصیص صورت نگرفته است.
- با توجه به مشکلات موجود فرآیند تخصیص آب در شرایط واقعی و

اینکه توجه و اهمیت خاصی به چالش‌های ذکر شده در دستورالعمل تخصیص آب در ایران، داده نشده است، نیازمند اصلاح تخصیص آب هستیم تا علاوه بر رفع مشکلات موجود تخصیص آب، همه ابعاد اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی حوضه آبریز، در نظر گرفته شود. نظام‌های کارآمد تخصیص آب در تحقق اهداف سیاستی مؤثر هستند: بهره‌وری اقتصادی، با تخصیص آب به استفاده‌های با تولید ارزش افزوده بالا، همچنین مشارکت در نوآوری و سرمایه‌گذاری در کارایی استفاده از آب؛ پایداری زیست‌محیطی از طریق اطمینان از وجود جریان آبی کافی برای تضمین خدمات اکوسیستم و عدالت از طریق تقسیم عادلانه ریسک‌های کمیابی بین همه بهره‌برداران آب (Hellegers و Leflaive، ۲۰۱۵). همچنین با توجه به چند هدفه بودن تخصیص آب، باید اهداف مهم نظیر پایداری و بهره‌وری آب در فرآیند تخصیص، مورد توجه قرار گیرد. در نهایت باید به صورت اجماع، تصمیماتی در حوضه تخصیص آب گرفته شود تا همه اقشار جامعه در تصمیمات مورد نظر شرکت داشته باشند تا اینکه این تصمیمات توانایی پیاده‌سازی داشته باشند. برای دستیابی به اهداف مد نظر و کارآمد بودن تخصیص آب، باید سیاست‌گذاری جدیدی در نظام تخصیص آب در نظر گرفته شود.

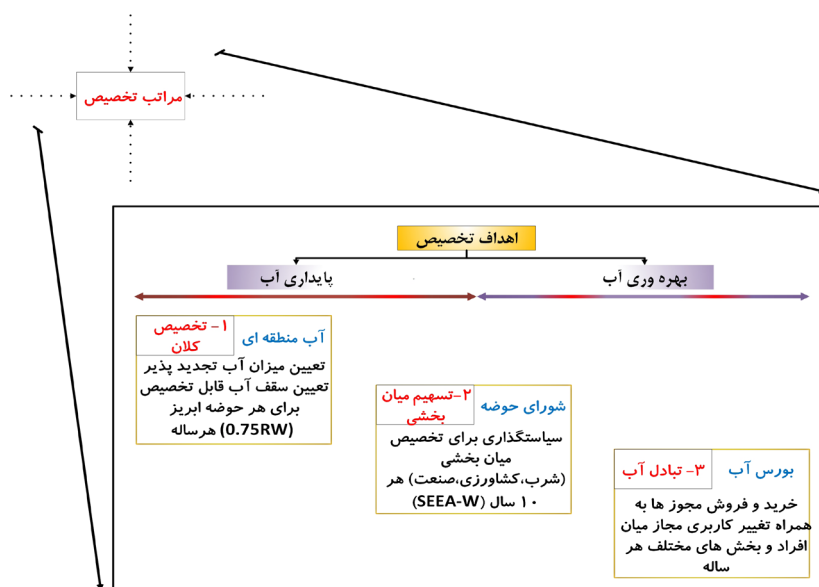
- ۱- بایستی میان «مجاز برداشت» و «تخصیص» تفکیک قایل شد: مجوز برداشت، باید سهمی از کل منابع آب تجدیدپذیر حوضه آبریز باشد. یعنی مجموع این سهام به ۱۰۰٪ برسد.
- بدیهی است برداشت‌کنندگان، در مجموع، حق برداشت تا سقف ۷۵٪ از «آب تجدیدپذیر» حوضه و یا تا سقف «آب قابل تخصیص» را دارند. در حقیقت آب تجدیدپذیر حوضه، منبعی مشاع است که هرساله میزان آن نوسان می‌کند.
- در پایان هر سال آبی، حجم تجدیدپذیری منابع آب حوضه (بر اساس بیان سال قبل) تعیین می‌شود (RW)<sup>۱۵</sup> و مبنای تخصیص سال بعد قرار می‌گیرد.
- بنابراین هر ساله حجم تخصیصی هر برداشت‌کننده براساس سهم وی (بند ۱) قابل محاسبه خواهد بود. شکل (۳) وضعیت آبخوان و تعیین داشتن یک برنامه تخصیص آب را براساس نسبت برداشت آب به آب تجدیدپذیر نمایش می‌دهد.

| وضعیت آبخوان         | برنامه چارچوب تخصیص آب                                                               | W/RW        |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| منطقه پایای توسعه    | راوانی آب داریم و نیاز به چارچوب نیست و فقط نیازمند به پایش می‌باشد                  | $< 0.4$     |
| تعادل کمی کیفی       | نیازمند یک چارچوب واقعی                                                              | $0.4 - 0.7$ |
| عدم تعادل کیفی       | وجود یک چارچوب دقیق و کارآمد، نیازمند به مدل‌های پیچیده تخصیص، وقوع تعارضات گاه گاهی | $0.7 - 1$   |
| عدم تعادل کمی و کیفی | داشتن یک چارچوب دقیق، الزام داشتن یک برنامه احیا و تعادل، وقوع تعارضات مستمر و مزمن  | $> 1$       |

شکل ۳- نسبت برداشت آب به آب تجدیدپذیر (W/RW)

یک برنامه برای احیا و تعادل عرضه و تقاضای آب در بیشتر دشت‌های ایران به همراه یک چارچوب دقیق برای تخصیص آب هستیم.

۲- مراتب تخصیص آب در مقیاس حوضه آبریز، در قالب وظایف هر نهاد در شکل (۴) نمایش داده شده است:



شکل ۴- مراتب تخصیص آب بر اساس سیاست‌گذاری جدید

که بازارهای آب دارای مزایای زیادی می‌باشند و در این نوع از تخصیص، فروشنده تحت شرایط خاصی این فرصت را دارد که سود بخشی را افزایش دهد. خریدار نیز سود می‌کند، زیرا بازار آب باعث می‌شود که آب بیشتری در دسترس و در معرض قرار گیرد. در حالتی که آب بین بخش کشاورزی و شهری تبادل می‌شود، محیط زیست به دو طریق سود خواهد کرد: اول آنکه بازار آب باعث کاهش ترغیب کردن در تغییر مدیریت آب و بهره‌وری بهتر در کشاورزی و کاهش آلودگی مربوط به آبیاری می‌شود. دوم آنکه با بازار آب کشاورزان ممکن است به استطاعت لازم برای درونی کردن هزینه‌های جانبی برسند و یا حتی هزینه اجتماعی بالاتری بابت مسائل ناشی از آلودگی بپردازند.

#### جمع‌بندی

عواملی مانند: «ضعیف دیده شدن نظام تخصیص آب در قوانین مرتبط با آن، دیده نشده یکپارچگی در اجرای طرح‌های نظام تخصیص آب، برداشت بی رویه از منابع آبی و بی توجهی به آب تجدیدپذیر و سایر عوامل» باعث ناکارآمد بودن نظام تخصیص آب در ایران شده است. در نتیجه در حال حاضر نظام تخصیص آب

با توجه به مطالب فوق و قرار گرفتن ایران در قسمت قرمز مربوط به **جدول (۳)**، نشان‌دهنده این می‌باشد که با وجود همه برنامه‌ها و تصمیمات گرفته شده در حوضه، همچنان با محدودیت منابع آب مواجه هستیم و میزان تقاضای آب از منابع آب موجود، بیشتر است. در نتیجه نیازمند داشتن

#### گام‌های پیشنهادی به عنوان راه حل (شکل ۴)

- ۱- شرکت مدیریت منابع آب کشور هر ساله، به استناد داده و اطلاعات موثق و کافی، سقف برداشت را در هر حوضه آبریز با روشی استاندارد، شفاف و مقبول محاسبه و اعلام کند.
- ۲- شورای حوضه آبریز (مرکب از کلیه گرداران؛ اعم از مسئولین و ذی‌نفعان) با توجه به سقف اعلام شده در تعامل با سایر نهادهای ذیربط در حوضه آبریز و در چارچوب اسناد بالادستی، نسبت به تهیه برنامه پایداری آب برای حوضه آبریز (بخشی- منطقه‌ای) اقدام می‌نماید. بدیهی است این برنامه ضمن اینکه مطلوبیت‌هایی چون «پایداری منابع»، «سلامت محیط زیست» و ارتقاء شاخص‌های رفاه را هدف گرفته؛ باید معقول و مقبول باشد.
- بر اساس این برنامه، هر ساله سهم هر بخش و منطقه مشخص خواهد شد. اما این نهاد نمی‌تواند جابجایی تخصیص‌های آب را (از کاربری‌های کنونی به آنچه در برنامه آمده) با روش‌های غیر حقوقی به انجام رساند.
- ۳- بورس یا بازار آب مکانی برای خرید و فروش عادلانه و شفاف مجوزهای برداشت است. در این بازار علاوه بر خرید و فروش رایج، تغییر تدریجی کاربری عطف به سیاست‌گذاری شورا، صورت خواهد پذیرفت. Dinar و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند

در ایران نیاز به اصلاح دارد و عواملی مانند: تفاوت قائل شدن بین مصرف و برداشت آب، توجه کردن به آب تجدیدپذیر و شفاف سازی در نحوه برآورد آن، در نظر گرفتن اهداف «پایداری و بهره‌وری» در نظام تخصیص آب و اهمیت دادن به مراتب تخصیص آب (تخصیص کلان، تسهیم میان بخشی، تبادل آب) در مراحل انجام، در نظام نامه تخصیص آب در نظر گرفته شود و همچنین چارچوبی دقیق برای تخصیص آب و کنترل برداشت تعیین شود.

#### پی‌نوشت

- 1- Global Water Partnership
- 2- USE
- 3- Consumption Water
- 4- Natural water renewable
- 5- Actual water resources
- 6- Exploitable or manageable water resources
- 7- Precipitation
- 8- Evapotranspiration
- 9- Input Runoff
- 10- Input Groundwater
- 11- Allocable water
- 12- Withdrawal
- 13- Return
- 14- Organisation for Economic Co-operation and Development
- 15- Renewable Water

#### منابع

آگاه، م. و حسینی سعدی، م. ۱۳۹۳. حقوق آب در فلات ایران در بستر تحولات اقتصادی اجتماعی. اندیشکده تدبیر آب ایران. چاپ اول.

ترابی پلت کله، ص. و روزبهرانی، ر. ۱۳۸۶. جایگاه نظام تخصیص آب در بهره‌برداری پایدار از منابع آب، اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، تهران، ایران.

توتونچی، ف.، کیائی، ع. و مکنون، ر. ۱۳۹۶. بررسی تاریخچه سیاست‌گذاری آب در ایران. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی ایران معاصر. تهران، ایران.

شاهدی، م. و طالبی حسین‌آباد، ف. ۱۳۹۵. آشنایی با مفاهیم پایه در سیستم منابع آب. نشریه آب و توسعه پایدار، ۳(۲): ۱۱۷-۱۱۹.

طالبی اسکندری، س. و میرنظامی، س. ج. ۱۳۹۸. بازتخصیص آب کشاورزی و تعارض‌های ناشی از آن. اندیشکده تدبیر آب ایران. چاپ اول.

قانون توزیع عادلانه آب، ۱۳۶۲. مجلس شورای اسلامی.

نوری اسفندیاری، ا. ۱۳۹۶. نظام تخصیص آب. اندیشکده تدبیر آب ایران، ۶(۱۸): ۷-۵.

وزارت نیرو. ۱۳۷۷. نظام تخصیص آب و برنامه عمل، نشریه شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

وزارت نیرو. ۱۳۷۸. نظام‌نامه تخصیص آب، نشریه شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

وزارت نیرو. ۱۳۸۲. نظام‌نامه تخصیص آب، نشریه شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

وزارت نیرو. ۱۳۸۷. نظام‌نامه تخصیص آب، نشریه شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

وزارت نیرو. ۱۳۹۸. نظام‌نامه تخصیص آب، نشریه شرکت مدیریت منابع آب ایران. معاونت امور آب و آبفا، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.

Bird j., Arriens w.l. and Custodio d.v. 2009. Water rights and water allocation: issues and challenges for Asia. Asian Development Bank, 17: 14-24.

OECD. 2015. Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities. OECD Studies on Water. OECD Publishing, Paris.

Dinar A., Meinzen D. R. and Rosegrant. Mark w. 1997. Water Allocation Mechanisms Principles and Examples. Word Bank Policy Research Dissemination Center, 1: 13-16.

Speed R., Yuanyuan L., Le Quesne T., Pegram G and Zhiwei Z. 2013. Basin Water Allocation Planning: Principles, Procedures and Approaches for Basin Allocation Planning. Asian Development Bank, GIWP, UNESCO, and WWF-UK.

Hellegers P. and Leflaive. X. 2015. Water allocation reform: what makes it so difficult. Water International, 40(2): 273-285.

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

## Water and its Landscape in the MENA Region (Middle East and North Africa)

F. Askari Bozayeh<sup>1\*</sup>, R. Mohammadzadeh<sup>2</sup>, Y. Azarin Far<sup>3</sup>

1- Researcher of Economic, Social, and Extension Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (AREEO), Rasht, Iran. 2- MSc in Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. 3- MSc in Agricultural Economics, Agricultural Planning, Economic and Rural Development Research Institute, Tehran, Iran.

\*(Corresponding Author Email: f.askari@areo.ir)

Received: 26-02-2020

Accepted: 21-05-2020

## آب و چشم‌انداز آن در منطقه منا (خاورمیانه و شمال آفریقا)

فاطمه عسکری بزایه<sup>۱\*</sup>، رویا محمدزاده<sup>۲</sup>، یدالله آذرین‌فر<sup>۳</sup>

۱- محقق بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز. ۳- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اقتصاد کشاورزی، موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: f.askari@areo.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۰۱

### Abstract

MENA region includes the heterogeneous group of countries with a range of high-income oil-exporting countries in the Persian Gulf to middle-income and lower-middle-income countries as well as least developed countries. It is regarded as one of the world's largest net food importers which faces significant uncertainties from supply and demand. According to the World Economic Forum, the water crisis is the most important challenge that the Middle East and North Africa are the least prepared to face. In this paper with a review approach, the major global hazards, water resources status, consumption and policies of agricultural water, water use productivity in agricultural production, climate change impacts on agricultural production and systems in the region, vulnerability of rain fed agriculture, classifying MENA countries by main water management challenges, possible types of interventions according to the agricultural system, and the status of countries' natural resources have been investigated. Based on the results, environmental protection strategies, water allocation and water service management approaches for the countries of the region have proposed.

**Keywords:** Water, MENA region, Policy, Agriculture, Productivity, Water allocation, Water consumption.

### چکیده

منطقه منا<sup>۱</sup> شامل گروه ناهمگنی از کشورها با طیفی از کشورهای صادرکننده نفت با درآمد بالا در خلیج فارس تا کشورهای با درآمد متوسط و متوسط روبه پایین و کشورهای کمتر توسعه یافته می‌باشد. این منطقه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین واردکنندگان خالص مواد غذایی در جهان می‌باشد و با عدم قطعیت‌های قابل توجه از جانب عرضه و تقاضا مواجه است. بر اساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد، بحران آب مهمترین چالشی است که خاورمیانه و شمال آفریقا دارای کمترین آمادگی برای مواجه با آن است. این مقاله با رویکرد مروری مخاطرات جهانی عمده، وضعیت منابع آب، مصرف و سیاست‌های آب کشاورزی، بهره‌وری آب مصرفی در تولید کشاورزی، اثرات تغییرات اقلیمی بر تولید و نظام‌های کشاورزی در منطقه، آسیب‌پذیری کشاورزی دیم، تقسیم‌بندی کشورهای منا براساس چالش‌های اصلی مدیریت آب، انواع مداخلات احتمالی با توجه به نظام کشاورزی و وضعیت منابع طبیعی کشورها را بررسی می‌نماید. در نهایت بر اساس نتایج، راهبردهای حفاظت از محیط‌زیست، مدیریت تخصیص آب و مدیریت خدمات آب برای کشورهای منطقه پیشنهاد شده است.

**واژه‌های کلیدی:** آب، منطقه منا، سیاست، کشاورزی، بهره‌وری، تخصیص آب، مصرف آب.



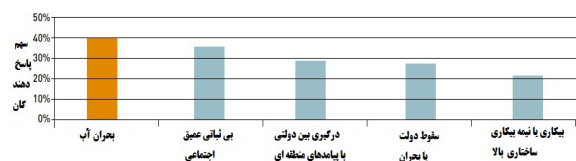
خشک، سطح بالایی از منابع آبی به آبیاری اختصاص می‌یابد و ۰/۹ مصرف آب این منطقه در بخش کشاورزی صورت می‌گیرد (ESCWA و FAO، ۲۰۱۷).

شکندگی و تحولات سیاسی تأثیر قابل‌توجهی بر پیشرفت این منطقه در راستای توسعه پایدار داشته‌است. در برخی کشورها، دستاوردهای توسعه هزاره به دلیل اختلاف و بی‌ثباتی سیاسی معکوس یا متوقف شده‌است. درگیری‌های اخیر در سوریه به‌عنوان یکی از مهمترین نقش آفرینان توسعه هزاره در این منطقه، بیش از ۳ میلیون نفر را به سمت فقر سوق داده است (UNDP ۲۰۱۵) و دسترسی بسیار کم به خدمات آب و فاضلاب منجر به افزایش شیوع بیماری‌ها شده است (WHO، ۲۰۱۵).

با تغییر اقتصاد کشورهای منا، مهاجرت چه به کشورهای منا و چه به کشورهای ثروتمندتر، به مسیری مشترک تبدیل شده است که مردم از این طریق تلاش می‌کنند امنیت معیشت خود را افزایش دهند. در واقع، مهاجرت همیشه یک پاسخ انسانی در برابر خطرات اقلیمی و سایر خطرات بوده است. در بستر تغییرات اقلیمی، در صورتی که امنیت فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی یا سیاسی یک جمعیت کاهش یابد، مهاجرت اتفاق می‌افتد. در منطقه‌ای که بسیج منابع برای انطباق با شرایط جدید کارآمدی خود را از دست می‌دهد، مهاجرت به‌عنوان آخرین راه‌حل در نظر گرفته می‌شود (Waha و همکاران، ۲۰۱۷).

### مخاطرات جهانی عمده منطقه منا-براساس کمترین آمادگی برای مواجهه با آن

براساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد، بحران آب مهمترین چالشی است که خاورمیانه و شمال آفریقا برای مواجهه با آن آمادگی پایینی دارند. براساس نظرسنجی انجام شده از متخصصان و رهبران این منطقه توسط مجمع جهانی اقتصاد، برای بررسی آمادگی مقابله با مخاطرات جهانی (شکل ۱)، بحران آب عمده‌ترین مخاطره‌ای است که آمادگی منطقه برای مواجهه با آن بسیار پایین است (۴۰ درصد متخصصان و رهبران منطقه به این مهم اشاره کرده‌اند) این مخاطره حتی بیشتر از مخاطرات بی‌ثباتی سیاسی یا بیکاری بوده است (WEF، ۲۰۱۵).



شکل ۱- مخاطرات جهانی عمده منطقه منا-براساس کمترین آمادگی برای مواجهه با آن (FAO و World Bank، ۲۰۱۸)

منطقه منا شامل گروه ناهمگنی از کشورها با طیفی از کشورهای صادرکننده نفت با درآمد بالا در خلیج فارس تا کشورهای با درآمد متوسط و متوسط روبه پایین و کشورهای کمتر توسعه یافته مانند سودان، یمن و موریتانی می‌باشد<sup>۲</sup> (سازمان خوار بار و کشاورزی ملل متحد و سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۱۳۹۷). جمعیت این منطقه ۶/۳ درصد جمعیت جهان می‌باشد و سهم آن از آب‌های شیرین تجدیدپذیر جهان، ۱/۴ درصد است (قنادی، ۱۳۹۶). در این منطقه، به این دلیل که بخش‌های مختلف عملیاتی، سازمان‌ها و نهادها و ذی‌نفعان مختلف به‌طور ناگسستنی به هم پیوند خورده‌اند، کمبود مزمن آب مسئله پیچیده‌ای به‌شمار می‌رود و ارزیابی آن آسان نیست. باتوجه به تغییرپذیری آب‌وهوا و نرخ رشد بی‌سابقه جمعیت، سرانه منابع آب، ظرفیت زیست‌پذیری این منطقه همچنان در حال کاهش است و شکاف تقاضا به‌طور جدی روبه گسترش است (Zyadin، ۲۰۱۳).

تمام کشورهای واقع در منطقه به استثنای کشور ترکیه، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند و وجه مشترک این کشورها کمبود فزاینده آب شیرین برای کشاورزی و مصارف دیگر است. این منطقه شامل ۱۵ کشور می‌باشد، یازده کشور ایران، کویت، لبنان، ترکیه، عربستان سعودی، یمن، عمان، قطر، امارات و سوریه در خاورمیانه و کشورهای مصر، مراکش، تونس و لیبی در شمال آفریقا قرار دارند<sup>۳</sup> (سلطانی، ۱۳۹۱). کمبود آب در سراسر منطقه گسترش یافته و اوضاع بسیار نامساعد است، سرانه منابع آب آن یک ششم از میانگین جهانی را تشکیل می‌دهد (FAO، ۲۰۱۵). درحالی‌که منطقه منا یکی از مناطق با محدودیت بسیار زیاد زمین و آب در جهان می‌باشد، اما دارای کمترین تعرفه‌های آب در جهان است و یارانه مصرف آب در حد بالا و تقریباً ۲ درصد تولید ناخالص داخلی منطقه می‌باشد. الگوهای کشت در این منطقه با میزان کمیابی آب همخوانی ندارد. عراق و سوریه به منابع آب سطحی بسیار مهمی دسترسی دارند اما این منبع تا حد زیادی از خارج از مرزهای آن‌ها جریان دارد. علاوه بر آن، همه کشورها در این منطقه در یک حوضه آبریز با کشورهای همسایه قرار دارند. کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب در این منطقه است، اما اکنون تقاضای سایر بخش‌ها به سرعت در حال افزایش است. آب‌وهوای آن خشک تا فراخشک و بسیار بی‌ثبات و در حال تغییر است، خطرات جدیدی را برای منابع آب به دنبال دارد و آسیب‌پذیری افراد وابسته به آن را افزایش می‌دهد (FAO و World Bank، ۲۰۱۸). کشت دیم و به‌طور عمده کشت غلات، نسبتاً کم‌بازده بوده و معیشت حدود دو سوم از جمعیت روستایی این منطقه وابسته به آن است. به دلیل وجود آب‌وهوای

## ناپایایی فزاینده منابع آب، مصرف و سیاست‌های آب کشاورزی در منطقه منا

برآورد اهمیت فزاینده موضوع آب در منطقه منا دشوار است. موضوع آب همراه با کشمکش‌ها، تهدید انسانی بسیار شدیدی برای آینده این منطقه محسوب می‌شود. مسأله به‌کیمیایی آب محدود نمی‌شود، بنابراین سطح ناپایدار بلندمدت و برداشت آب‌های زیرزمینی که خاورمیانه برای تولید کشاورزی بسیار به آن وابسته است، به تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی منجر شده است. ۱۳ کشور منطقه منا از ۲۰ کشور این منطقه (جدول ۱)، برداشت بیش از حد از منابع آب شیرین تجدیدشونده در سال ۲۰۱۴ داشته‌اند. برداشت ناپایدار از آب به دلیل سیاست‌های نامناسب و نظارت ناکافی بر آب انجام می‌شود. این منطقه دارای کمترین تعرفه‌های آب در جهان است. لازم به ذکر است برای استفاده آب یارانه‌ای در حدود ۲ درصد تولید ناخالص داخلی

### بهره‌وری آب به‌عنوان یک نگرانی عمده در کشاورزی منطقه منا

بهره‌وری آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی با دو روش زیر سنجیده می‌شود:

۱. **بهره‌وری فیزیکی آب:** میزان تولید کشاورزی به ازای هر واحد از آب مصرفی در تولید آن محصول می‌باشد. در جدول (۲) سبزیجات و میوه‌ها بیشترین بهره‌وری فیزیکی آب و غلات، بادام زمینی و فراورده‌های دامی کمترین بهره‌وری فیزیکی آب را دارند. به دلیل تفاوت در حاصلخیزی خاک، بیماری‌های گیاهی، حشرات و زمان آب‌دهی و کشت که بر بهره‌وری آب موثر است، طیف گسترده‌ای از بهره‌وری فیزیکی آب برای هر محصول وجود دارد، کشاورزان می‌توانند از طریق عملیات کشاورزی مناسب، آبیاری و کوددهی صحیح و کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی بر بخش عمده این عوامل نظارت کنند و بهره‌وری فیزیکی آب را افزایش دهند.

۲. **بهره‌وری اقتصادی آب:** ارزش تولید هر واحد از آب مصرفی تعریف می‌شود. در جدول (۲)، بیشترین ارزش در هر متر مکعب آب مصرفی در منطقه منا برای میوه‌ها و سبزیجات ارائه شده است. زیتون، خرما، عدس، غلات و گوشت گاو از نظر بهره‌وری اقتصادی آب در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند (FAO و OECD، ۲۰۱۸). مقدار این شاخص به تبعیت از شرایط و ساختار اقتصادی کشورها متفاوت است. بررسی این شاخص در بین کشورهای مختلف جهان تفاوت‌های آشکاری را بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه نشان می‌دهد (محمد جانی و یزدانیان، ۱۳۹۳).

(GDP) پرداخت می‌شود و بهره‌وری کل آب در حدود نصف میانگین جهانی است (FAO و OECD، ۲۰۱۸).

بیشتر کشورهای منطقه منا، زیر خط فقر آبی تعیین شده توسط سازمان ملل (یعنی سرانه سالانه ۱۰۰۰ متر مکعب آب تجدیدپذیر) قرار دارند (FAO و IFPRI، ۲۰۱۸). کشاورزی، مصرف‌کننده غالب آب در هر کشور است، بنابراین بهبود مدیریت آب کشاورزی برای جلوگیری از تخریب خاک و تطبیق با تغییر اقلیم بسیار مهم است (سعدینیا، ۱۳۹۴). کشاورزی تا به امروز بزرگترین کاربر ذخایر آب، خاک و تنوع زیستی جهان به‌شمار می‌آید. حدود ۷۰ درصد از برداشت جهانی آب به فعالیت‌های کشاورزی مربوط می‌شود، اگر به کشورهای در حال توسعه محدود شود، این سهم به ۸۵ درصد می‌رسد (عسکری بزیاه، ۱۳۹۶). کشور ایران با کاهش تقریبی ۳۸ درصدی سرانه منابع آب تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴ در مقایسه با سال پایه (۱۹۷۲) در مرتبه هشتم نسبت به سایر کشورها قرار دارد (جدول ۱).

سهم کشاورزی از تولید ناخالص داخلی و بهره‌وری آب (اندازه‌گیری شده با ارزش افزوده به دلار آمریکا) در بین کشورهای حوزه منا نیز نامتوازن است. قطر، کویت و فلسطین اشغالی با میزان بهره‌وری به‌ترتیب ۳۶۵، ۱۴۷ و ۱۳۷ دلار به ازای هر مترمکعب آب در صدر کشورها قرار دارند و کمترین میزان بهره‌وری برای کشورهای عراق، مصر، سوریه و سودان ثبت شده است که به‌ترتیب ۳، ۳ و ۲ دلار آمریکا به ازای هر متر مکعب آب مصرفی می‌باشد (FAO، ۲۰۱۷). در حال حاضر شاخص بهره‌وری آب محصولات زراعی مناطق مختلف در ایران، چندان مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبر این شاخص در سطح مزارع کشور کافی نیستند و تعیین مقدار این شاخص در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف حائز اهمیت است (کشاورز و دهقانی سانچ، ۱۳۹۱).

منابع آب با عوامل متعددی در ارتباط است که آن را به یک نظام اجتماعی-زیستی تبدیل می‌نماید (Subramanian، ۲۰۰۸). آب تنها نهاده در تولید کشاورزی نیست و عوامل دیگری بر تصمیمات تولیدی محصولات کشاورزی یا دامی تأثیر می‌گذارند. همچنین تصمیمات در مورد گزینه‌های تولیدی به نوع زمین در دسترس (به‌عنوان مثال، مرتع یا زمین زراعی)، وضعیت زمین (برای مثال، دیم یا آبی) و گرایش‌های کشاورزان نسبت به مخاطرات بستگی دارد. یک کشاورز در منطقه منا در شرایط یکسان بودن سایر هزینه‌ها، بیشترین بازدهی را در هر قطره از آب مصرفی در تولید میوه‌ها و سبزی‌ها به‌دست خواهد آورد (FAO و OECD، ۲۰۱۸).

جدول ۱- وضعیت منابع آب در منطقه منا (متوسط ۲۰۱۲-۱۹۸۱) (FAO و IFPRI، ۲۰۱۸)

| کشور                              | میانگین سالانه بارش موثر<br>(میلی متر/سال) | تبخیر تعرق مرجع<br>(میلی متر/سال) | منابع آب تجدیدپذیر داخلی<br>(میلیارد مترمکعب در سال) | سطح زیرکشت آبی<br>(درصد) | سطح زیرکشت در مناطق خشک و نیمه خشک<br>(درصد ناحیه اگرواکولوژیک) | متوسط طول دوره رشد گیاه (روز) | سرانه منابع آب (مترمکعب) |      |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------|
|                                   |                                            |                                   |                                                      |                          |                                                                 |                               | ۲۰۱۴                     | ۱۹۷۲ |
| قطر                               | ۵۷                                         | ۱۹۱۱                              | ۷/۸                                                  | ۷۶                       | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۱۷                       | ۴۵۱  |
| کویت                              | -                                          | -                                 | -                                                    | ۶۳/۲                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۳۵۳                      | ۱۸۰۳ |
| امارات                            | -                                          | -                                 | -                                                    | ۱۰۰                      | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۲۴                       | ۴۲۹  |
| عربستان سعودی                     | ۴۱                                         | ۱۷۶۹                              | ۶/۵                                                  | ۴۵/۹                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۷۸                       | ۳۷۵  |
| بحرین                             | -                                          | -                                 | -                                                    | ۶۵/۲                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۰                        | ۰    |
| عمان                              | -                                          | -                                 | -                                                    | ۸۳                       | ۱۰۰                                                             | ۷۶                            | ۳                        | ۱۷   |
| کشورهای با درآمد بالا             | ۴۹                                         | ۱۷۶۹                              | ۶                                                    | ۷۲                       | ۱۰۰                                                             | ۳۸                            | ۷۹                       | ۵۱۳  |
| لیبی                              | ۲۱                                         | ۱۶۸۰                              | ۱۲                                                   | ۲۰/۲                     | ۴۶/۳                                                            | ۱۶۸                           | ۱۱۳                      | ۳۰۱  |
| ایران                             | ۱۳۵                                        | ۳۱۳                               | ۵۰/۲                                                 | ۴۴/۸                     | ۸۹/۵                                                            | ۸۱                            | ۱۶۳۹                     | ۴۲۷۳ |
| لبنان                             | ۳۵۷                                        | ۱۳۸۳                              | ۳                                                    | ۳۰/۶                     | ۱۱/۱                                                            | ۱۱۸                           | ۸۵۷                      | ۱۹۸۶ |
| عراق                              | ۱۰۷                                        | ۱۵۶۷                              | ۱۴/۱                                                 | ۶۱/۳                     | ۳۰/۴                                                            | ۱۲۹                           | ۱۰۰۶                     | ۳۳۲۱ |
| الجزیره                           | ۴۱                                         | ۱۴۹۳                              | ۲۷/۹                                                 | ۶/۱                      | ۱/۹                                                             | ۳۰                            | ۲۸۸                      | ۷۳۲  |
| اردن                              | ۶۰                                         | ۱۵۷۳                              | ۱/۴                                                  | ۲۴/۹                     | ۴۰/۴                                                            | ۱۲۱                           | ۷۷                       | ۳۶۳  |
| تونس                              | ۱۷۱                                        | ۱۴۱۶                              | ۸/۲                                                  | ۷/۷                      | ۱۰/۱                                                            | ۱۵۸                           | ۳۷۶                      | ۷۹۳  |
| کشورهای با درآمد متوسط روبه بالا  | ۱۲۷                                        | ۱۴۸۹                              | ۱۷                                                   | ۲۸                       | ۳۳                                                              | ۱۱۵                           | ۶۲۲                      | ۱۶۸۱ |
| مصر                               | ۹                                          | ۱۶۵۲                              | ۰/۳                                                  | ۱۰۰                      | ۱۰۰                                                             | ۳۵                            | ۲۰                       | ۴۹   |
| سومالی                            | -                                          | -                                 | -                                                    | -                        | -                                                               | -                             | ۴۴۴                      | ۱۷۲۷ |
| سوریه                             | ۱۵۷                                        | ۱۴۵۹                              | ۹/۲                                                  | ۱۸/۵                     | ۱۳                                                              | ۵۱                            | ۳۷۱                      | ۱۰۴۹ |
| مراکش                             | ۱۲۶                                        | ۱۴۵۱                              | ۲۳/۸                                                 | ۱۴/۶                     | ۱۲                                                              | ۵۰                            | ۸۴۵                      | ۱۷۳۷ |
| کرانه باختری روداردن غربی و غزه   | -                                          | -                                 | -                                                    | ۵/۳                      | ۱۸                                                              | ۱۳۸                           | ۱۸۹                      | -    |
| سودان                             | ۱۷۴                                        | ۱۷۴۸                              | ۵۲/۵                                                 | ۱۱/۵                     | ۵۹                                                              | ۱۱۷                           | ۱۰۲                      | -    |
| یمن                               | ۱۲۸                                        | ۱۹۹۷                              | ۶/۴                                                  | ۳۱/۳                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۸۰                       | ۳۲۸  |
| موریتانی                          | ۶۷                                         | ۱۸۲۲                              | ۷/۹                                                  | ۱۰/۵                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۹۸                       | ۳۲۸  |
| جیبوتی                            | ۱۲۶                                        | ۲۱۰۸                              | ۰/۸                                                  | ۸۷/۱                     | ۱۰۰                                                             | ۳۰                            | ۳۲۹                      | ۱۶۷۴ |
| کومور                             | -                                          | -                                 | -                                                    | ۰/۱                      | ۷                                                               | ۳۰                            | ۱۵۸۰                     | ۵۰۱۶ |
| کشورهای با درآمد متوسط روبه پایین | ۱۱۲                                        | ۱۷۴۸                              | ۱۴                                                   | ۳۱                       | ۵۶                                                              | ۵۷                            | ۴۰۶                      | ۱۴۸۸ |

جدول ۲- میانگین بهره‌وری آب برای محصولات کشاورزی منتخب در منطقه منا (FAO و OECD، ۲۰۱۸)

| شاخص        | بهره‌وری فیزیکی آب، مقدار میانگین محدوده <sup>۴</sup> | میانگین قیمت تولیدکننده در MENA در سال‌های ۱۶-۲۰۱۰ (دلار آمریکا در هر کیلوگرم)** | میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (دلار آمریکا در هر مترمکعب آب در تولید محصولات کشاورزی) |
|-------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| محصول       | (۱)                                                   | (۲)                                                                              | (۳)=(۲)*(۱)                                                                         |
| گوجه‌فرنگی  | ۱۲/۵                                                  | ۰/۴۰                                                                             | ۴/۹۸                                                                                |
| پیاز        | ۶/۵                                                   | ۰/۴۲                                                                             | ۲/۷۶                                                                                |
| سیب         | ۳                                                     | ۰/۸۸                                                                             | ۲/۶۴                                                                                |
| سیب‌زمینی   | ۵                                                     | ۰/۴۵                                                                             | ۲/۲۳                                                                                |
| زیتون       | ۲                                                     | ۰/۹۰                                                                             | ۱/۸۰                                                                                |
| عدس         | ۰/۷                                                   | ۱/۱۷                                                                             | ۰/۸۲                                                                                |
| خرما        | ۰/۶                                                   | ۱/۳۳                                                                             | ۰/۸۰                                                                                |
| باقلا       | ۰/۶                                                   | ۰/۹۸                                                                             | ۰/۵۴                                                                                |
| ذرت         | ۱/۲                                                   | ۰/۴۵                                                                             | ۰/۵۱                                                                                |
| برنج        | ۰/۹                                                   | ۰/۵۹                                                                             | ۰/۵۱                                                                                |
| گوشت گاو    | ۰/۱                                                   | ۷/۴۸                                                                             | ۰/۴۹                                                                                |
| گندم        | ۰/۷                                                   | ۰/۵۱                                                                             | ۰/۳۳                                                                                |
| بادام‌زمینی | ۰/۳                                                   | ۱/۳۳                                                                             | ۰/۳۳                                                                                |

نکته: \* میانگین بر اساس مطالعه (Molden و همکاران، ۲۰۱۰) محاسبه شده است که میانگین حساسی از کوچکترین و بزرگترین مقادیر در سری داده‌ها را در نظر گرفته‌اند. \*\* میانگین از مطالعه FAO (۲۰۱۸b) استخراج شده است.

#### اثرات متفاوت تغییر اقلیم بر شرایط تولیدی کشورهای منطقه منا

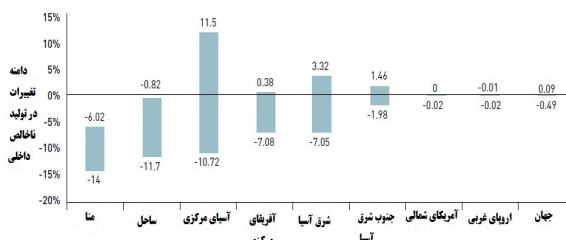
منطقه منا یکی از عمده‌ترین مناطق جهان است که در معرض اثرات منفی تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد (Waha و همکاران، ۲۰۱۷). مخاطرات کشاورزی این منطقه که پیش از این به عنوان منطقه بسیار خشک دنیا محسوب می‌شد در اثر تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت (جدول ۳). کشورهای منطقه منا در معرض خشکسالی‌های بسیاری هستند و در آینده به دلیل برداشت ناپایدار آب‌های زیرزمینی با کمبود آب مواجه خواهند شد. همچنین میانگین دمای هوا در طول قرن گذشته حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و در برخی از مناطق شمال آفریقا و سودان، میزان بارندگی در چند دهه گذشته تا حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است. انتظار می‌رود منطقه منا در آینده گرم‌تر و خشک‌تر شود و میزان بارندگی در بخش‌های غربی منطقه به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. درجه حرارت بالاتر و میزان بارندگی کمتر به کاهش آب‌های سطحی سرعت خواهد بخشید و خشکسالی‌ها را افزایش خواهد داد. میانگین عملکرد محصولات دیم کاهش خواهد یافت و بازده بسیار متغیر خواهد بود. محتمل است تولید کل محصولات کشاورزی در این منطقه تا پایان قرن حاضر در حدود ۲۱ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ کاهش یابد (FAO و OECD، ۲۰۱۸). با توجه به وضعیت فعلی کمبود آب و اراضی قابل کشت که در شرایط بحرانی قرار دارد، گرم شدن کره زمین منجر به افزایش فشارهای بیشتر بر منابع آب و کشاورزی

خواهد شد. رویدادهای احتمالی عبارتند از:

- **اراضی زراعی:** پیش‌بینی می‌شود آب‌وهوای گرم و خشک‌تر، موجب تغییر جهت پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی به سمت شمال این منطقه شود و جابه‌جایی ۷۵ کیلومتر از اراضی زراعی در سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۹۰ نسبت به سال پایه ۲۰۰۹-۲۰۰۰ با در نظر گرفتن افزایش دما به میزان ۴ درجه سانتی‌گراد قابل انتظار است (Evans، ۲۰۰۹). این رویداد (تغییر جهت پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی به سمت شمال کشورها در منطقه منا) عمدتاً برای مناطق زیتون خیز پیش‌بینی شده است (Waha و همکاران، ۲۰۱۷).
- **طول دوره رشد:** بارندگی کمتر و درجه حرارت بالاتر، دوره رشد گندم در این منطقه را تا اواسط این قرن حدود دو هفته کوتاه‌تر می‌کند (Waha و همکاران، ۲۰۱۷).
- **عملکرد محصول:** بیشتر فعالیت‌های کشاورزی در حوضه منا در منطقه اقلیمی نیمه‌خشک، یا نزدیک به ساحل و یا در ارتفاعات انجام می‌شود. با افزایش ۱/۵-۲ درجه سانتی‌گراد دمای هوا، عملکرد محصول تا ۳۰ درصد پیش‌بینی شده است (Waha و همکاران، ۲۰۱۷؛ Drine، ۲۰۱۱).
- **دامپروری:** تغییرات آب‌وهوایی بر تولید دام از راه‌های مختلف مانند تغییر در کمیت و کیفیت خوراک‌های موجود، تغییر در طول فصل چرا، تنش‌های گرمایی مضاعف، کاهش آب آشامیدنی و تغییر در بیماری‌های دام تأثیر خواهد گذاشت (Waha و همکاران، ۲۰۱۷؛ Thornton و همکاران، ۲۰۰۹).

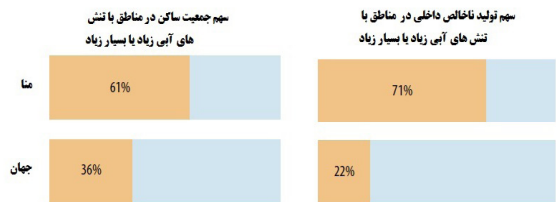
| نظام کشاورزی              | رویدادهای انتظاری مرتبط با تغییر اقلیم                                                                                                                                       | اثر احتمالی بر نظام‌های کشاورزی                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آبی                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش درجه حرارت</li> <li>- کاهش عرضه سطح آبیاری سطحی</li> <li>- کاهش تدریجی تغذیه آب‌های زیرزمینی</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تنش آبی بیشتر</li> <li>- افزایش تقاضا برای آبیاری و انتقال آب</li> <li>- کاهش عملکرد در زمان افزایش بسیار زیاد درجه حرارت</li> <li>- نگرانی به دلیل کاهش آب‌شویی</li> <li>- کاهش شدت کشت</li> </ul> |
| کوهستانی<br>مختلط         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش خشکی</li> <li>- مخاطره خشکسالی طولانی‌تر</li> <li>- طولانی‌تر شدن احتمالی دوره رشد</li> <li>- کاهش عرضه آب آبیاری</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاهش عملکرد</li> <li>- کاهش شدت کشت</li> <li>- افزایش تقاضا برای آبیاری</li> </ul>                                                                                                                  |
| دیم مختلط                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش خشکی</li> <li>- مخاطره خشکسالی طولانی‌تر</li> <li>- کاهش عرضه آب آبیاری</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاهش عملکرد</li> <li>- کاهش شدت کشت</li> <li>- افزایش تقاضا برای آبیاری</li> </ul>                                                                                                                  |
| اراضی خشک<br>دیم          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش خشکی</li> <li>- مخاطره خشکسالی طولانی‌تر</li> <li>- کاهش عرضه آب آبیاری</li> </ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نظام بسیار آسیب‌پذیر به کاهش بارندگی</li> <li>- احتمال تبدیل زمین‌ها به چمنزارها</li> <li>- افزایش تقاضا برای آبیاری</li> </ul>                                                                     |
| شبنی (بیابانی-<br>صحرائی) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- افزایش خشکی</li> <li>- مخاطره خشکسالی طولانی‌تر</li> <li>- کاهش آب برای دام و علوفه</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نظام بسیار آسیب‌پذیر امکان کاهش قابل توجه ظرفیت انتقال آب به دلیل اتفاقات کویرزایی</li> <li>- افزایش فعالیت‌های غیرزراعی</li> <li>- مهاجرت</li> </ul>                                               |

پیش‌بینی می‌شود تحت سناریوی معمول کسب‌وکار، کمبود آب ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش تولید ناخالص داخلی منطقه‌ای بین ۶ تا ۱۴ درصد تا سال ۲۰۵۰ شود (شکل ۲). این سناریوی نگران‌کننده می‌تواند نتیجه هدر رفت آب در کشاورزی، بهداشت، درآمد و دارایی باشد و در نتیجه می‌تواند موجب رشد منفی پایدار کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا شود. بانک جهانی نشان می‌دهد فقدان سیاست‌های مدیریت آب می‌تواند موجب تأثیرات منفی رشد اقتصادی شود و در مقابل آن اصلاح سیاست‌ها منجر به تحریک رشد خواهد شد (World Bank, ۲۰۱۶).



نشریه آب و توسعه پایدار





شکل ۳- سهم تولید ناخالص داخلی ایجاد شده و جمعیت ساکن در مناطق با تنش های آبی زیاد و بسیار زیاد در منطقه منا در مقایسه با میانگین های جهانی

### تقسیم بندی کشورهای منا براساس چالش های اصلی مدیریت آب

کشورهای منا براساس چالش های اصلی مدیریت آب فراتر از آنچه که همه کشورها عمدتاً با آن روبه رو هستند، به سه گروه تقسیم می شوند و هر کدام از آنها به راهبردهای خاصی شامل حفاظت از محیط زیست، مدیریت تخصیص آب و مدیریت خدمات آب نیازمندند. این سه گروه عبارتند از:

• **کشورهای دارای نوسان منابع آب تجدیدپذیر در طول سال و بین بخش های مختلف:** یک گروه از کشورها و سرزمین ها دارای مقادیر کافی از آب تجدیدپذیر در سطح ملی هستند، اما میزان آب تجدیدپذیر در بین بخش های اقتصادی آن کشور و در فصول مختلف متفاوت می باشد. این کشورها شامل الجزایر، جیبوتی، ایران، لبنان، مراکش، تونس و کرانه باختری است. نگرانی اولیه برای این کشورها توزیع داخلی، هم از لحاظ جغرافیایی و هم از لحاظ زمانی است و مستلزم راهبرد مدیریت خدمات آب می باشد.

• **کشورهای فراخشک<sup>۵</sup>:** مشخصه گروه دوم کشورها و سرزمین ها، سطح منابع آبی تجدیدپذیر آن ها پایین است. این گروه به شدت به آب های زیرزمینی غیر تجدیدپذیر وابسته است و منابع آب شیرین را از طریق نمک زدایی از آب دریا یا آب بدمزه تقویت می کند. این کشورها شامل بحرین، غزه، اردن، کویت، لیبی، عمان، قطر، عربستان سعودی، امارات متحده عربی و یمن است. نگرانی های اصلی این گروه شامل مدیریت استخراج آبخوان برای جلوگیری از هدررفت منابع و تجارت کشاورزی است. استخراج آب های زیرزمینی غیرقابل تجدید مانند نفت و گاز خام، مستلزم توازن بین استفاده فعلی و آینده از منابع محدود است. در این سطح، چالش ها در بین کشورها با درآمد سرانه بالا (کشورهای خلیج فارس، لیبی و اسرائیل) و کشورهای با درآمد پایین (غزه، یمن و اردن) متفاوت است. این گروه از کشورها به راهبرد حفاظت از محیط زیست نیازمندند.

• **کشورهای وابسته به آب فرامرزی:** منطقه منا با دو سوم از آب های تجدیدپذیر سالانه که از خارج از منطقه وارد می شود، بیشترین میزان وابستگی جهان به آب های بین المللی را دارد.

کشورهای مصر، عراق و سوریه سهم قابل توجهی از منابع آب (رودخانه ها یا سفره های آبی) را دارند که از کشورهای دیگر می آیند. این کشورها تحت تأثیر تصمیماتی هستند که در بالادست یا سایر مکان های حوضه آبخیز گرفته شده است. بنابراین، در این کشورها توافق های بین المللی برای تخصیص بسیار مهم است و مستلزم استفاده از راهبرد مدیریت تخصیص آب می باشند (World Bank, ۲۰۰۷). در منطقه خاورمیانه و قاره آفریقا؛ کشورهای مصر، سودان و اتیوپی بر سر تقسیم آب رود نیل و کشورهای عراق، سوریه و ترکیه بر سر رودهای دجله و فرات تنش دارند. میزان وابستگی ایران به منابع خارجی نسبتاً کم است و حدود ۷ درصد از منابع آب ایران از منابع خارجی تأمین می شود (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳).

نیمی از جمعیت منطقه منا در شرایط تنش آبی زندگی می کنند. بیشتر کشورها تقریباً از تمام آب های سطحی موجود بهره برداری می کنند و بسیاری از رودخانه های اصلی به اقیانوس نمی رسند. علاوه بر این، با تخمین رشد جمعیت از حدود ۳۰۰ میلیون نفر فعلی به حدود ۵۰۰ میلیون نفر در سال ۲۰۲۵، پیش بینی می شود میزان دسترسی سرانه آب تا سال ۲۰۵۰ نصف شود (Saghir, ۲۰۱۸). این منطقه موطن ۵ کشور اول جهان که در معرض خطر تغییرات اقلیمی قرار دارند، می باشد. تا سال ۲۰۳۰ تأثیر تغییرات اقلیمی با کاهش بارندگی، افزایش تقاضای آب با افزایش دما و گسترش نفوذ آب دریا به سفره های ساحلی، ۲۰٪ دیگر از منابع آب تجدید پذیر را کاهش خواهد داد (UNDP, ۲۰۱۵).

### تحلیل سیاستی نقش ساختار تشویقی در ترویج استفاده بیش از حد و استفاده ناکارآمد از آب در منطقه منا

دولت ها از طریق اصلاح سیاست های قیمت گذاری محصول و نهادهای تولید، بهبود زیرساخت ها، اصلاح حقوق و قوانین حاکم بر بهره برداری از منابع تولید، دسترسی به بازار فروش محصولات کشاورزی و رفع محدودیت های موجود در فعالیت های کشاورزان تأثیر می گذارند. به عنوان مثال، سیاست برخی از دولت های منطقه منا در تأمین آب و انرژی، تشویق برای تولید محصولات «آب بر» است (سلطانی، ۱۳۹۱).

تحلیل سیاست سال های اخیر به نقش ساختار تشویقی در ترویج استفاده بیش از حد و استفاده ناکارآمد از آب اشاره کرده است. با این وجود، کشورهای منطقه به آهستگی به سمت مدیریت و کاهش هزینه های تأمین آب آبیاری پیش می روند. در مدیریت آبیاری توسط بخش دولتی، دولت های خاورمیانه و شمال آفریقا به دنبال جبران هزینه های مدیریت، بهره برداری و نگهداری و گاهی بخشی از هزینه های سرمایه ای هستند.

در این زمینه پیشرفت قابل توجهی اتفاق افتاده است، اما در بسیاری از طرح‌ها کمبود وجود دارد. لازم به ذکر است، عدم بازپرداخت هزینه‌ها زمینه مشارکت بخش خصوصی را محدود می‌کند (EBRD و FAO، ۲۰۱۷).

اگرچه پیشرفت‌هایی در زمینه سیاست‌های قیمتی وجود داشته است، اما حمایت از قیمت‌های درب مزرعه در بسیاری از کشورها بالا است و انگیزه‌ها را تحریف می‌کند. حمایت از تولید داخلی غلات یا حمایت مستقیم از قیمت غلات محلی، انگیزه استفاده از آب را برای تولید غلات با ارزش کمتر، افزایش می‌دهد. بسیاری از کشورها موانع بر سر راه واردات غلات را کاهش داده یا حذف کرده‌اند، زیرا به این نتیجه رسیدند که چنین سیاست‌هایی برای کشورهای آنها بسیار هزینه‌بر است (ESCWA و FAO، ۲۰۱۷).

بیشترین یارانه‌ها مربوط به پمپاژ آب است که در آن قیمت‌های ارزان انرژی باعث کاهش آب‌های زیرزمینی شده است. در بسیاری از کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، یارانه‌های انرژی پمپاژ آب را ارزان‌تر کرده که باعث افزایش سودآوری مالی پمپاژ آب‌های سطحی برای آبیاری و برداشت آب‌های زیرزمینی شده است (Commander و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش سودآوری به کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر در برخی مناطق کمک کرده است (Molle و Closas، ۲۰۱۶). برای بخشی از تولیدات منطقه‌ای کشاورزی، کاهش یارانه‌های انرژی برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی هزینه‌های واقعی تولید را نشان می‌دهد و باعث می‌شود کشاورزی به‌ویژه در مناطقی که به سفره‌های فسیلی عمیق متکی هستند غیراقتصادی باشد.

بررسی بسته‌های سیاستی مرتبط با آب‌وخاک در ایران بیانگر شکست و ناکارامدی برنامه‌های توسعه کشاورزی است که از بهره‌برداران در خصوص طرح‌ریزی و ضرورت یا نبود ضرورت و همین‌طور آسیب‌های برآمده از این سیاست‌ها پرسیده نمی‌شود. همچنین استفاده نادرست و غیربهبینه تولیدکنندگان از این تسهیلات می‌تواند مشکل مدیریت منابع آب را دو چندان نماید. (مختاری، ۱۳۹۴).

جمهوری یمن نمونه‌ای از دشواری اتخاذ گزینه‌های سیاستی است که دولت‌ها باید در زمینه مصرف آب کشاورزی به آن رسیدگی نمایند. در یمن، پمپاژ برای آبیاری و زهکشی ۲۸ درصد از کل برق و مصرف دیزل این کشور را تشکیل می‌دهد (Commander و همکاران، ۲۰۱۵) و از کشاورزی یمن که جز کلیدی اقتصاد و منبع اصلی درآمد مستقیم و غیرمستقیم این

کشور است، حمایت می‌کند.

با این حال، برداشت ناپایدار آب‌های زیرزمینی ناشی از یارانه‌های سوخت می‌تواند در طولانی مدت به کاهش منابع آب زیرزمینی منجر شود و آسیب‌های بسیار شدیدی بر کشاورزی به شدت متکی بر آب‌های زیر زمینی وارد نماید (Ward، ۲۰۱۵). تغییر ساختار تشویقی برای مصرف آب در کشاورزی نیز نیازمند توجه دقیق به پیامدهای تأثیرگذاری بر امنیت غذایی و تأثیرات توزیع است (ESCWA و FAO، ۲۰۱۷؛ Ward، ۲۰۱۵).

### مداخلات نوعی مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه منا

قلب چالش مدیریت آب در منا، کاهش مصرف آب به سطحی سازگار با قابلیت دسترسی بلندمدت و مدیریت پایدار محیط‌زیست و توزیع عادلانه و کارآمد آن است، به‌گونه‌ای که مانع رشد اقتصادی نشود. دولت‌ها دو اهرم اصلی برای دستیابی به این هدف دارند: افزایش قیمت آب، یا محدود کردن مصرف مقدار موجود. تجربه بین‌المللی نشان می‌دهد سازوکارهای قیمت‌گذاری می‌توانند در کاهش تقاضای شهری مؤثر باشند اما در آبیاری کارایی ندارند. قیمت آب آبیاری برای تأثیر بر تقاضا، باید به مراتب بیشتر از هزینه ارائه خدمات افزایش یابد (World Bank، ۲۰۰۷).

مطالعه تطبیقی ساختار مدیریتی بخش آب در ایران نشان‌دهنده مشابهت آن با ۴ کشور مراکش، پاکستان، لبنان، بحرین و امارات می‌باشد. در کشورهای ذکر شده مأموریت‌های متنوعی به همراه «مدیریت منابع آب» با هم تلفیق و به همراه یکدیگر در يك وزارتخانه سازماندهی شده‌اند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵).

گروه‌های مختلف کشاورزان به سیاست‌گذاری‌های متفاوتی نیاز دارند و انتخاب و نوع مجموعه مشخصی از گزینه‌ها بستگی به بستر وضعیت معیشتی آن‌ها دارد. مداخلات باید خاص وضعیت زندگی و معیشت کشاورزان باشند و نیازهای خاص گروه‌های مختلف را مورد توجه قرار دهند. برخی از انواع مداخلات با اغلب گروه‌ها مرتبط هستند درحالی‌که برخی دیگر تنها می‌توانند گروه‌های خاص را بهره‌مند نمایند؛ به‌ویژه، مداخلات سیاسی کمتر از مداخلات فیزیکی گروه‌های خاص را هدف‌گیری می‌نمایند. جدول (۴) مداخلات احتمالی برای گروه‌های مختلف کشاورزان را نشان می‌دهد. این برنامه همچنین شامل مداخلاتی است که می‌تواند به‌طور ویژه برای هدف قرار دادن زنان و کشاورزان بی‌زمین طراحی شود.

جدول ۴- مداخلات نوعی حوزه آب در منطقه منا (FAO, ۲۰۱۴)

| نوع کشاورزان   | مداخلات نوعی در حوزه آب                                                                                                               | مداخلات نوعی فراتر از حوزه آب                                                                                               |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بزرگ           | نوسازی زیرساخت‌های آبیاری و مدیریت، اتخاذ سازوکارهای پایدار مدیریت آب‌های زیرزمینی، مدیریت مخاطرات بلایای طبیعی                       | تسهیل پیوندهای بازار                                                                                                        |
| متوسط          | استفاده تلفیقی از آب کانال و آب زیرزمینی، سرمایه‌گذاری در فناوری‌ها و مدل‌های مدیریتی که به بهبود بهره‌وری آب کمک می‌کند              | تسهیل پیوندهای بازار                                                                                                        |
| تجاری-خرده پا  | اتخاذ سازوکارهای پایدار مدیریت آب‌های زیرزمینی، اتخاذ مدل‌های مدیریتی مؤثرتر در طرح‌های آبیاری مبتنی بر جامعه                         | توسعه مهارت‌های کارآفرینی، تسهیل پیوندهای بازار، ایجاد ارتباط با کسب و کارهای کشاورزی بزرگ، بهبود دسترسی و کیفیت خدمات مالی |
| معیشتی-خرده پا | مدیریت آب باران از طریق اشکال واسطه‌ای کنترل آب، دسترسی به آب‌های زیرزمینی، دسترسی به فناوری‌های کوچک برای جمع‌آوری، ذخیره و توزیع آب | دسترسی به خدمات پایه، زیرساخت‌های روستایی، متنوع‌سازی درآمد، شبکه‌های تأمین اجتماعی.                                        |
| متنوع          | خدمات چندمنظوره آب برای مصارف خانوار و باغچه‌های خانگی، احشام، آبیاری اتمی                                                            | زیرساخت‌های روستایی، آموزش و پشتیبانی از فعالیت‌های غیرکشاورزی                                                              |
| زنان کشاورز    | توانمندسازی مشارکت در انجمن‌های مصرف‌کنندگان آب و فرآیندهای تصمیم‌گیری، توسعه فناوری‌های آبیاری متناسب با نیازهای خاص آن‌ها           | افزایش ظرفیت و مهارت در کشاورزی، بازاریابی، دسترسی به اعتبارات خرد                                                          |
| افراد بی‌زمین  | طراحی خدمات آب که نیازهای خاص افراد بدون زمین را در نظر بگیرد                                                                         | آموزش پشتیبانی از فعالیت‌های غیرکشاورزی                                                                                     |

#### جمع‌بندی و پیشنهادها

آب، به جز نقش حیاتی که در تداوم زندگی هر فرد دارد، نقش‌های گسترده اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در جوامع دارد. در تولید تمام کالاهای مورد نیاز انسان می‌توان ردپای آب را دید، برای تولید انواع محصولات صنعتی و خدماتی در مراحل مختلف، آب مورد نیاز است. نقش آب در تولید غذا، غیر قابل جایگزین است و تأمین امنیت غذایی به دارایی منابع آب هر کشور وابسته است. هدف اصلی این مقاله بررسی و تحلیل مصرف و سیاست‌های آب کشاورزی، وضعیت بهره‌وری آب، اثرات تغییرات اقلیمی بر تولید و نظام‌های کشاورزی در منطقه منا، انواع مداخلات احتمالی باتوجه به نظام کشاورزی و غیره بوده است. این منطقه شامل گروه ناهمگنی از کشورها با طیفی از کشورهای صادرکننده نفت با درآمد بالا در خلیج فارس تا کشورهای با درآمد متوسط و متوسط روبه پایین و نیز کشورهای کمتر توسعه یافته مانند سودان، یمن و موریتانی می‌باشد. کمبود مزمن آب در این منطقه مساله پیچیده‌ای به‌شمار می‌رود و ارزیابی آن آسان نیست. باتوجه به تغییرپذیری آب و هوا و نرخ رشد بی‌سابقه جمعیت، سرانه منابع آب، ظرفیت زیست‌پذیری این منطقه همچنان در حال کاهش است و شکاف تقاضا به‌طور جدی روبه گسترش است. باتوجه به مباحث مطرح شده و منابع موجود در این مقاله، یافته‌های

کلیدی تحقیق را می‌توان به شرح ذیل نام برد:

- بر اساس گزارش مجمع جهانی اقتصاد، بحران آب مهمترین چالشی است که خاورمیانه و شمال آفریقا برای مواجهه با آن دارای کمترین آمادگی می‌باشد. براساس نظرسنجی انجام شده از متخصصان و رهبران این منطقه توسط مجمع جهانی اقتصاد، برای بررسی آمادگی مقابله با مخاطرات جهانی، بحران آب عمده‌ترین مخاطره‌ای است که آمادگی منطقه برای مواجهه با آن بسیار پایین است (۴۰ درصد متخصصان و رهبران منطقه به این مهم اشاره کرده‌اند) این مخاطره حتی بیشتر از مخاطرات بی‌ثباتی سیاسی یا بیکاری بوده است
- ۱۳ کشور منطقه منا از ۲۰ کشور این منطقه، برداشت بیش از حد از منابع آب شیرین تجدیدشونده در سال ۲۰۱۴ داشته‌اند. برداشت ناپایدار از آب به دلیل سیاست‌های نامناسب و نظارت ناکافی بر آب انجام می‌شود. این منطقه دارای کمترین تعرفه‌های آب در جهان است. لازم به ذکر است که برای مصرف آب یارانه‌ای در حدود ۲ درصد تولید ناخالص داخلی (GDP) پرداخت می‌شود.
- بیشتر کشورهای این منطقه، زیر خط فقر آبی تعیین شده توسط سازمان ملل، یعنی سرانه سالانه ۱۰۰۰ متر مکعب آب تجدید پذیر قرار دارند. ایران با کاهش سرانه منابع آب تجدید پذیر در حدود ۳۸ درصد در سال ۲۰۱۴ در مقایسه با سال پایه (۱۹۷۲) از این نظر در جایگاه هشتم کشورهای منطقه قرار دارد.

• بهره‌وری کل آب در این منطقه حدود نصف میانگین جهان است. سبزیجات و میوه‌ها بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب در منطقه منا را دارند. غلات، بادام زمینی و فراورده‌های دامی، کمترین بهره‌وری فیزیکی آب را دارند. روند تغییرات شاخص بهره‌وری آب در ایران، نشان‌دهنده رشد آن طی یک دهه اخیر بوده است. در حال حاضر شاخص بهره‌وری آب محصولات زراعی مناطق مختلف در ایران، چندان مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبر در این زمینه در سطح مزارع کشور کافی نیستند و تعیین مقدار این شاخص برای برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب و اقتصاد کشاورزی در مناطق مختلف حائز اهمیت است.

• منطقه منایکی از عمده‌ترین مناطق جهان است که در معرض اثرات منفی تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد. پیش‌بینی می‌شود آب‌وهوای گرم و خشک‌تر، موجب تغییر جهت پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی به سمت شمال این منطقه شود و جابجایی ۷۵ کیلومتر از اراضی زراعی در سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۹۰ نسبت به سال پایه ۲۰۰۹-۲۰۰۰ با در نظر گرفتن افزایش ۴ درجه سانتی‌گراد قابل انتظار است و این تغییر جهت، بیشتر برای مناطق زیتون‌خیز پیش‌بینی شده است. بارندگی کمتر و درجه حرارت بالاتر، دوره رشد گندم در این منطقه را تا اواسط این قرن حدود دو هفته کوتاه‌تر می‌کند و انتظار می‌رود، با گرم شدن ۲-۱/۵ درجه سانتی‌گراد، بازده محصول ۳۰ درصد کاهش یابد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد سناریوی معمول کسب‌وکار، کمبود آب ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش تولید ناخالص داخلی منطقه‌ای بین ۶ تا ۱۴ درصد تا سال ۲۰۵۰ شود.

• حدود ۶۰ درصد از جمعیت این منطقه در مناطق با تنش‌های آبی بالا یا بسیار بالا زندگی می‌کنند، درحالی‌که میانگین جهانی حدود ۳۵ درصد است. حدود ۷۰ درصد تولید ناخالص داخلی منطقه در مناطقی با تنش زیاد تا بسیار زیاد آبی تولید می‌شود، درحالی‌که میانگین جهانی آن حدود ۲۲ درصد است.

• کشورهای منا براساس چالش‌های اصلی مدیریت آب فراتر از آنچه که همه کشورها عمدتاً با آن روبه‌رو هستند، به سه گروه کشورهای با نوسان منابع آب تجدیدپذیر در طول سال و بین بخش‌های مختلف؛ کشورهای فوق‌خشک و کشورهای وابسته به آب فرامرزی تقسیم می‌شوند و هرکدام از آنها به راهبردهای خاصی شامل حفاظت از محیط‌زیست، مدیریت تخصیص آب و مدیریت خدمات آب نیازمند هستند. در این بین ایران در گروه اول قرار می‌گیرد و وابستگی آن به آب فرامرزی حدود ۷ درصد است.

• تحلیل سیاستی سال‌های اخیر به نقش ساختار تشویقی در ترویج استفاده بیش از حد و استفاده ناکارآمد از آب اشاره

می‌نماید و با این وجود دولت‌ها در تلاش‌اند تا سیاست‌های تحریف‌کننده را اصلاح کنند. اگرچه پیشرفت‌هایی در زمینه سیاست‌های قیمتی وجود داشته است، اما حمایت از قیمت‌های درب مزروع در بسیاری از کشورها بالا است و انگیزه‌ها را تحریف می‌کند. حمایت از تولید داخلی غلات یا حمایت مستقیم از قیمت غلات محلی، انگیزه استفاده از آب را برای تولید غلات با ارزش کمتر، افزایش می‌دهد. بسیاری از کشورها موانع بر سر راه واردات غلات را کاهش داده یا حذف کرده‌اند، زیرا به این نتیجه رسیدند که چنین سیاست‌هایی برای کشورهای آنها بسیار هزینه‌بر است.

• قلب چالش مدیریت آب در منطقه منا، کاهش مصرف آب به سطحی سازگار با قابلیت دسترسی بلندمدت و مدیریت پایدار محیط‌زیست و توزیع عادلانه و کارآمد آن است. دولت‌ها دو اهرم اصلی برای دستیابی به این هدف دارند: افزایش قیمت آب، یا محدود کردن مصرف مقدار موجود. تجربه بین‌المللی نشان می‌دهد سازوکارهای قیمت‌گذاری می‌توانند در کاهش تقاضای شهری مؤثر باشند اما در آبیاری کارایی ندارند. قیمت آب آبیاری برای تأثیر بر تقاضا، باید به مراتب بالاتر از هزینه ارائه خدمات افزایش یابد.

براساس یافته‌های تحقیق، در جهت بهبود مدیریت منابع آب در این منطقه می‌توان توصیه‌های زیر را ارائه کرد:

گروه‌های مختلف کشاورزان به سیاست‌گذاری‌های متفاوتی نیاز دارند و انتخاب و نوع مجموعه مشخصی از گزینه‌ها بستگی به بستر وضعیت معیشتی آنها دارد. مداخلات باید خاص وضعیت زندگی و معیشت کشاورزان باشند و نیازهای خاص گروه‌های مختلف را مورد توجه قرار دهند. نوسازی زیرساخت‌های آبیاری و مدیریت؛ اتخاذ ساز و کارهای پایدار مدیریت آب‌های زیرزمینی؛ مدیریت مخاطرات و بلایای طبیعی؛ استفاده تلفیقی از آب کانال‌ها و آب زیرزمینی؛ سرمایه‌گذاری در فناوری‌ها و مدل‌های مدیریتی تأثیرگذار بر بهبود بهره‌وری آب؛ اتخاذ سازوکارهای پایدار مدیریت آب‌های زیرزمینی؛ اتخاذ مدل‌های مدیریتی مؤثرتر در طرح‌های آبیاری مبتنی بر جامعه؛ مدیریت آب باران از طریق اشکال واسطه‌ای کنترل آب، دسترسی به آب‌های زیرزمینی، دسترسی به فناوری‌های کوچک برای جمع‌آوری، ذخیره و توزیع آب؛ خدمات چندمنظوره آب برای مصارف مختلف؛ توانمندسازی، مشارکت در انجمن‌های مصرف‌کنندگان آب و فرآیندهای تصمیم‌گیری، توسعه فناوری‌های آبیاری متناسب با نیازهای خاص آنها از جمله مداخلاتی می‌باشد که بسته به هدف و نظام کشاورزی می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب در این منطقه کمک نماید.



Closas A. and Molle F. 2016. Groundwater governance in the Middle East and North Africa. IWMI Project Report No 1. IWMI, Colombo, <https://cg-space.cgiar.org/handle/10568/93251>.

Commander S. J., Nikoloski Z. S. and Vagliasindi M. 2015. Estimating the size of external effects of energy subsidies in transport and agriculture (English), Policy Research working paper; no. WPS 7227, Washington, D.C. World Bank Group.

Drine I. 2011. Climate Change Compounding Risks in North Africa. UNU-WIDER Working Paper No. 2011/32, United Nations University-World Institute for Development Economics Research (UNU-WIDER). <https://www.wider.unu.edu/publication/climate-change-compounding-risks-north-africa>

EBRD (European Bank for Reconstruction and Development)/FAO. 2017. Best Practices in Irrigation Financing: Options for EBRD Intervention. London and Rome, <http://www.fao.org/3/ca4445en/ca4445en.pdf>.

ESCWA (Economic and Social Commission for Western Asia)/FAO. 2017. Arab Horizon 2030: Prospects for Enhancing Food Security in the Arab Region, Beirut and Cairo, ESCWA and FAO, [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/rne/docs/arab-horizon-2030-prospects-enhancing-food-security-summary-english.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rne/docs/arab-horizon-2030-prospects-enhancing-food-security-summary-english.pdf).

Evans. J.P. 2009. Twenty-first century climate change in the Middle East, Clim Change 92(3-4):417-432.

FAO. 2014. Water and the rural poor Interventions for improving livelihoods in Asia, <http://www.fao.org/3/a-i3705e.pdf>...

FAO. 2015. towards a Regional Collaborative Strategy on Sustainable Water Management and Food Security in the Near East and North Africa Region. Cairo.

FAO. Database, <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, accessed 13/1/2017.

FAO. 2018. Aquastat Main Database, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>.

#### 1- Middle East and North Africa (MENA)

۲- براساس فائو، منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا شامل الجزایر، بحرین، مصر، ایران، عراق، اردن، کویت، لبنان، لیبی، موریتانی، مراکش، عمان، فلسطین، قطر، عربستان، سودان، سوریه، تونس، امارات و یمن می باشد.

۳- لازم به ذکر است که در منابع مختلف در زمینه تعداد کشورهای منتسب به منا، اختلاف وجود دارد.

#### 4- midrange

۵- بسیار خشک، با شاخص خشکی کمتر از ۵

#### منابع

سازمان خوار بار و کشاورزی ملل متحد و سازمان همکاری و توسعه اقتصادی. ۱۳۹۷. چشم‌انداز کشاورزی در دوره (۲۰۱۸-۲۰۲۷) با تمرکز بر خاورمیانه و شمال آفریقا، ترجمه رویا محمدزاده و فاطمه عسکری‌بزایه، تهران: موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.

سعیدنیا، ا. ۱۳۹۴. بررسی وضعیت منابع آب کشاورزی در جهان، تهران: موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی.

سلطانی، غ.م. ۱۳۹۱. بررسی تطبیقی الگوی مصرف و مدیریت تقاضای آب کشاورزی در کشورهای منطقه منا(خاورمیانه و شمال آفریقا)، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۴(۲): ۱-۲۵.

عسکری بزایه، ف. ۱۳۹۶. تبیین مدیریت مشارکتی نظام بهره‌برداری منابع آب زراعی (مورد: شهرستان رشت)، رساله دکتری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

قنادی، م. ۱۳۹۶. نگاهی بر وضعیت موجود و آینده بازار نمک‌زدایی آب در منطقه خلیج فارس و منا، نشریه آب و توسعه پایدار، ۴(۱): ۸-۱.

کشاورز، ع. و دهقانی سانچ، ح. ۱۳۹۱. شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی، کشور، فصلنامه راهبرد اقتصادی، ۱(۱): ۲۳۳-۱۹۹. محمدجانی، ا. و یزدانیان، ن. ۱۳۹۳. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن، فصلنامه روند، ۲۵(۶۶ و ۶۵): ۱۱۷-۱۴۴.

مختاری، د. ۱۳۹۴. مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی در ایران، جلد ۱: مبانی و درس آموزه‌هایی از تجربه‌ها، شیراز: انتشارات ایلاف.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. ۱۳۹۵. بررسی تطبیقی و ارائه پیشنهادهایی برای بهبود ساختار حاکمیتی مدیریت آب در ایران، <http://rc.majlis.ir/fa>.



- Waha K., Krummenauer L., Adams S., Aich V., Baarsch F., Coumou D., Fader M., Hoff H., Jobbins G., Marcus R., Menge M., Otto I., Perrette M., Rocha M., Robinson A. and Schleussner C.F. 2017. Climate change impacts in the Middle East and Northern Africa (MENA) region and their implications for vulnerable population Groups ,<https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-017-1144-2>.
- Ward C. 2015. the Water Crisis in Yemen: Managing Extreme Water Scarcity in the Middle East. I.B.Tauris, London, <http://b44.gigalib.org/2436000/2d-f60eb541506fec4017142f7501349.pdf>.
- WHO (World Health Organization). 2015. Global Health Observatory Data Repository.
- World Economic Forum (WEF). 2015. Global Risks 2015, Tenth Edition, and Geneva: World Economic Forum, <http://reports.weforum.org/global-risks-2015/>.
- World Bank. 2007. Making the Most of Scarcity Accountability for Better Water Management Results in the Middle East and North Africa, [http://siteresources.worldbank.org/INTMNAREGTOP-WATRES/Resources/Making\\_the\\_Most\\_of\\_Scarcity.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTMNAREGTOP-WATRES/Resources/Making_the_Most_of_Scarcity.pdf).
- World Bank. 2016. High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy. Washington, DC, <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy>.
- World Bank. 2017. Beyond Scarcity: Water Security in the Middle East and North Africa, MENA Development Report, World Bank, Washington, D.C. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27659>.
- Zyadin A. 2013. Water Shortage in MENA Region: An Interdisciplinary Overview and a Suite of Practical Solutions, Journal of Water Resource and Protection, 5: 49-58: [https://www.researchgate.net/publication/270664454\\_Water\\_Shortage\\_in\\_MENA\\_Region\\_An\\_Interdisciplinary\\_Overview\\_and\\_a\\_Suite\\_of\\_Practical\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/270664454_Water_Shortage_in_MENA_Region_An_Interdisciplinary_Overview_and_a_Suite_of_Practical_Solutions).
- FAO and International Food Policy Research Institute (IFPRI). 2018. Agriculture and Economic Transformation in the Middle East and North Africa, a Review of the Past with Lessons for the Future.
- FAO and the World Bank. 2018. Water Management in Fragile Systems, Building Resilience to Shocks and Protracted Crises in the Middle East and North Africa, <http://www.fao.org/3/I9730EN/i9730en.pdf>.
- Molden D., Oweis T., Steduto P. and Bindraben P. 2010. Improving Agricultural Water Productivity: Between Optimism and Caution” Agricultural Water Management, 97(4): 528-535.
- OECD/FAO .2018. OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2018-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en)
- Saghir J. 2018. Water Security and Growth: The case of the Middle East and North Africa Countries, [https://www.mcgill.ca/isid/files/isid/pb-2018-01\\_saghir.watersecurity.pdf](https://www.mcgill.ca/isid/files/isid/pb-2018-01_saghir.watersecurity.pdf).
- Subramanian S. 2008. A systems approach to unravel complex water management institutions, Ecological Complexity, 5(3): 202-215.
- Thornton P.K., van de Steeg J., Notenbaert A. and Herrero M. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. Agric Syst, 101(3): 113-127.
- UNDP (United Nations Development Programme). 2013. Water Governance in the Arab Region. Managing Scarcity and Securing the Future. [https://www.undp.org/content/dam/rbas/doc/Energy%20and%20Environment/Arab\\_Water\\_Gov\\_Report/Arab\\_Water\\_Gov\\_Report\\_Full\\_Final\\_Nov\\_27.pdf](https://www.undp.org/content/dam/rbas/doc/Energy%20and%20Environment/Arab_Water_Gov_Report/Arab_Water_Gov_Report_Full_Final_Nov_27.pdf)
- UNDP (United Nations Development Programme). 2015. The Arab Millennium Development Goals Report, ESCWA, Beirut, [https://www.undp.org/content/dam/rbas/doc/MDGS%20publications/Arab\\_MDGR\\_2013\\_English.pdf](https://www.undp.org/content/dam/rbas/doc/MDGS%20publications/Arab_MDGR_2013_English.pdf).

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

## Investigating the Effect of using Polystyrene sheets on Evaporation Reduction from Water-storage Reservoirs in Arid and Semiarid Regions (Case study: Semnan city)

H. Ghazvinian<sup>1</sup>, S. Farzin<sup>2</sup>, H. Karami<sup>3\*</sup>, S.F. Mousavi<sup>4</sup>

1,2,3,4- Ph.D. student, Assistant Professor, Assistant Professor and Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

\*(Corresponding Author Email: : Hkarami@semnan.ac.ir)

Received: 07-07-2019

Accepted: 14-12-2019

## بررسی اثر استفاده از لایه‌های پلی‌استایرن بر کاهش تبخیر مخازن ذخیره آب در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: شهر سمنان)

حمیدرضا قزوینیان<sup>۱</sup>، سعید فرزین<sup>۲</sup>، حجت کرمی<sup>۳</sup>، سید فرهاد موسوی<sup>۴</sup>

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، استادیار، استادیار و استاد، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: Hkarami@semnan.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۳

### Abstract

There are several water storage reservoirs in different cities of Iran. These reservoirs are used to store irrigation water on agricultural lands. Improper use of water resources, pollution of water resources due to the entrance of urban and industrial wastewaters, as well as natural factors such as evaporation from open water surfaces, leads to available water losses. To reduce water evaporation from storage reservoirs and pools, several methods have been proposed such as using physical and chemical materials. One of the physical materials that can be used to control evaporation is floating covers of polystyrene sheets. In this study, the rate of evaporation reduction in the standard Colorado evaporation pan was investigated by adding 3 mm thick, 50 g/m<sup>2</sup>, 8000 Rials/m<sup>2</sup> polystyrene sheets with 60% coverage. Results revealed that this material has proper function in controlling and reducing evaporation. By doing this test from June 2018 to September 2018 for 4 months in Semnan city, it was observed that polystyrene sheets could reduce evaporation by an average of 44%. Other advantages of this material include its cheapness, good durability against sunlight (about 3 years), water environment and no water contamination.

**Keywords:** Evaporation Reduction, Polystyrene, Storage Reservoirs, Water Resources.

### چکیده

در شهرهای مختلف ایران، مخازن متعددی جهت ذخیره آب وجود دارد. این مخازن برای ذخیره آب آبیاری در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند. استفاده نادرست از منابع آب، آلودگی منابع آب در اثر ورود فاضلاب‌های شهری، صنعتی و عوامل طبیعی نظیر تبخیر از سطح مخازن روباز آب منجر به هدررفت آب در دسترس می‌شود. برای کاهش و جلوگیری از تبخیر آب مخازن و استخرهای ذخیره‌ای راه‌های مختلفی مانند استفاده از مواد فیزیکی و شیمیایی ارائه شده است. یکی از مواد فیزیکی در کنترل تبخیر، پوشش‌های شناور ورقه‌های پلی‌استایرن است. در این پژوهش، به بررسی میزان کاهش تبخیر آب از تشت تبخیر استاندارد کلرادو با اضافه نمودن ورقه‌های پلی‌استایرن با ضخامت ۳ میلی‌متر، جرم ۵۰ گرم در یک مترمربع، قیمت هر مترمربع ۸۰۰۰ ریال و پوشش ۶۰ درصدی پرداخته شد. نتایج نشان داد این ماده عملکرد مناسبی در کنترل و کاهش تبخیر دارد. با انجام آزمایش از خردادماه تا شهریورماه ۱۳۹۷ به مدت ۴ ماه در شهر سمنان، مشاهده شد، لایه‌های پلی‌استایرن می‌توانند به‌طور متوسط تبخیر را حدود ۴۴ درصد کاهش دهند. از دیگر مزیت‌های این ماده ارزان بودن آن، دوام مناسب در برابر تابش خورشید (در حدود ۳ سال) و محیط آب و عدم آلوده کردن آب می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** کاهش تبخیر، پلی‌استایرن، مخازن ذخیره، منابع آب.

امروزه افزایش روزافزون جمعیت و محدود شدن منابع طبیعی کره زمین، بشر را مجبور به اتخاذ روش‌های مختلف به منظور صرفه‌جویی و آینده‌نگری این منابع نموده است. آب از جمله ضروری‌ترین نیازهای بشر می‌باشد. محدودیت‌های زمانی و مکانی و حجم بسیار محدود آب شیرین و قابل بهره‌برداری باعث شده است مدیریت و برنامه‌ریزی آن ضرورت بیشتری نسبت به گذشته پیدا کند (پیری و همکاران، ۱۳۸۸).

کشور ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک، با نزولات جوی اندک واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه این کشور حدود ۲۵۰ میلی‌متر است. در حالی که میزان متوسط بارندگی سالانه در سطح خشکی‌های کل کره زمین تقریباً ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده شده است. در نتیجه بارندگی در ایران از یک سوم میزان بارندگی متوسط در سطح دنیا کمتر می‌باشد (علیزاده، ۱۳۹۴).

آب به عنوان اصلی‌ترین عامل رشد کشاورزی و صنعت در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. مصرف نادرست و بیش از حد منابع آب و هدررفت آن از راه‌های مختلف منجر به ایجاد بحران‌های شدید و تنش آبی شده است (ابراهیمی و یزدانی، ۱۳۹۲).

یکی از منابع تأمین‌کننده نیاز آب شرب، کشاورزی و صنعت در کل کشور، آب ذخیره شده در مخازن پشت سدها می‌باشد (زمانی و رحیم‌زادگان، ۱۳۹۷). تأمین‌کننده نیازهای آبی ذکر شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک استخرهای ذخیره آب قنوات و استخرهای ذخیره آب چاه‌های با دبی کم هستند. مخازن ذخیره آب در شهرها از اجزای اساسی سامانه‌های آبرسانی می‌باشند که باید به دقت طراحی شوند. به‌طوری که علاوه بر جبران تغییرات تقاضای آب، کم شدن نوسانات فشار آب در شبکه توزیع، ذخیره و فراهم نمودن آب مورد نیاز و استمرار آبرسانی و توزیع آن در هنگام قطع برق، از کمبود آب و آلودگی آب نیز جلوگیری نماید. از جمله روش‌های هدررفت آب در دریاچه‌های آب شیرین و مخازن سدها و به‌خصوص استخرها و مخازن روباز آب، تبخیر از سطح آزاد آن‌ها است. این موضوع به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش تعیین‌کننده‌ای در مدیریت منابع آب می‌تواند داشته باشد (زمانی و رحیم‌زادگان، ۱۳۹۷).

از روش‌های رایج تخمین و برآورد میزان تبخیر آب از سطح دریاچه‌ها، استخرهای ذخیره‌ای و مخازن آب و همچنین اندازه‌گیری تبخیرتعرق گیاهان، استفاده از تشت‌های تبخیر است (صفوی، ۱۳۸۵). اندازه‌گیری تبخیر با استفاده از تشت تبخیر به عنوان روشی که هزینه بالایی ندارد می‌تواند به‌طور

مستقیم تبخیر را اندازه‌گیری نموده و نتایج حاصل از آن قابل تعمیم به تبخیر از سطوح دریاچه، مخازن ذخیره‌ای و تبخیرتعرق در کشاورزی در منطقه مورد نظر می‌باشد (Irmak و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین، علاوه بر روش‌های مستقیم اندازه‌گیری تبخیر، روش بیلان انرژی نیز برای محاسبه تبخیر استفاده می‌شود. روش بیلان انرژی در برآورد میزان تبخیر که بیشتر در محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب نظیر دریاچه‌ها به کار می‌رود، بر پایه اصل بقای انرژی استوار است (صفوی، ۱۳۹۳). اثر استفاده از روش‌های کاهش تبخیر از منابع آب نظیر استخرهای ذخیره‌ای در بسیاری از کشورها از جمله آمریکا، استرالیا، هندوستان، ترکیه و کانادا به اثبات رسیده است (Barnes، ۲۰۰۸). تاکنون روش‌های مختلفی برای کاهش تبخیر از مخازن آب پیشنهاد شده است و مهمترین آن‌ها دو دسته روش‌های شیمیایی و فیزیکی می‌باشند (Brown، ۱۹۸۸).

Barnes (۲۰۰۸) در دانشگاه کوپینز لند شمالی اثر الکل بر کاهش تبخیر را بررسی نمود. نتایج این پژوهش نشان داد الکل‌های اکتادکانول و هگزادکانول برای مخازن به‌منظور کاهش تبخیر مناسب‌اند و زمان ماندگاری آن‌ها بین ۱ تا ۲ روز می‌باشد.

Khan و Issac (۱۹۹۰) جهت بررسی روش‌های فیزیکی، در آزمایشی به بررسی استفاده از لایه‌های پلی‌اتیلن که به‌صورت شناور در سطح آب قرار می‌گیرند پرداختند. آن‌ها مدت زمان مورد مطالعه را ۱۹ ماه و درصد پوشش سطح آب را حدود ۷۵ درصد اعلام نمودند. نتیجه حاصل از این آزمایش نشان داد که تبخیر ۶۶ درصد کاهش یافته است. از معایب این آزمایش، از بین رفتن سطح پلی‌اتیلن و به‌وجود آمدن ترک و شکاف بر سطح آن است که می‌توان علت آن را تابش نور خورشید بر سطح این لایه‌ها دانست.

Alvarez و همکاران (۲۰۰۶) اثر پوشش‌هایی که به‌صورت سایه‌انداز روی سطح آب عمل می‌کنند را برای کاهش تبخیر روزانه بررسی نمودند. جنس این پوشش‌ها از آلومینیوم و پلی‌اتیلن بوده است. میزان کاهش تبخیر با این مواد به‌ترتیب ۵۰ و ۸۰ درصد به‌دست آمد. Abbas Dawood و همکاران (۲۰۱۴) استفاده از سطل‌هایی از جنس پلی‌اتیلن با چگالی‌های مختلف و قطر ۸ سانتی‌متر را به‌عنوان پوششی شناور به‌منظور کاهش تبخیر بررسی کردند. نتایج نشان داد این ماده با چگالی ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب تا ۵۷ درصد کاهش تبخیر را نشان می‌دهد. Howard (۲۰۱۵) کارایی استفاده از توپ‌های سایه‌انداز در کاهش تبخیر بررسی کرده است. این مطالعه در مرکز تخصصی انرژی و آب شهر لس‌آنجلس کشور آمریکا در مقیاس بزرگ صورت گرفت. این توپ‌ها در سطح آب شناور مانده و نقش سایه را برای آب دارند و آب زیر آن‌ها خنک

می‌ماند. این راهکار در کاهش تبخیر موثر خواهد بود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از این نوع پوشش‌ها، ۸۵ الی ۹۰ درصد کاهش تبخیر را در پی داشته و موجب صرفه جویی ۱۱۳۴۰۰۰ متر مکعب آب در سطح ۷۰۸۲۲۵ متر مربع در سال شد. Taboada و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی در کشور شیلی، با قرار دادن پوشش شناور و سلول‌های فتوولتاییک در سطح آب، به این نتیجه رسیدند که این پوشش در کاهش تبخیر مؤثر بوده است. Saggai و Bachi (۲۰۱۸) برای کاهش تبخیر، از یک لایه نازک شیمیایی روی سطح آب به مدت ۲۰ هفته روی تشت کلرادو استفاده کردند. نتایج کاهش تبخیر بین ۱۶ تا ۲۲ درصد را نشان داد. Ghazvinian و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی میزان کاهش تبخیر آب از تشت تبخیر استاندارد کلرادو سانکن، با کاربرد ورقه‌های MDF، پرداختند. نتایج نشان داد که ورق MDF می‌تواند به‌طور متوسط حدود ۹۱ درصد تبخیر را کاهش دهد. هاشمی منفرد و همکاران (۱۳۹۷) در یک پژوهش، اثر استفاده از دیوارهای بادشکن در جهت کنترل نرخ سرعت باد که باعث کاهش تبخیر می‌شود را بررسی کردند.

آن‌ها جریان باد عبوری از روی بادشکن با استفاده از مدل عددی FLUENT، تعیین اثر هندسه بادشکن و فاصله بین بادشکن‌ها روی نرخ باد ورودی را شبیه‌سازی کردند. از نتایج پژوهش انجام شده می‌توان دریافت، با طراحی بادشکن‌هایی به ارتفاع دو متر، فاصله بین آن‌ها ۴۸ متر و زاویه ۹۰ درجه در جهت شمال غربی می‌توان نرخ تبخیر را کاهش داد. محققان این تحقیق با بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه کنترل تبخیر به این نتیجه رسیدند، تحقیقات انجام شده در کشور ایران در زمینه کاهش و کنترل تبخیر از مخازن محدود است. در حال حاضر، باتوجه به محدود بودن منابع آب کشور ایران از یک طرف و مسائلی همچون تغییر اقلیم و اثرات منفی ناشی از آن بر منابع آب کشور، باید اقدامات اساسی در اجرایی شدن روش‌های نوین برای کاهش تبخیر، به‌خصوص در مناطق گرم و خشک، انجام شود. هدف این تحقیق، بررسی استفاده از ورقه‌های شناور فوم فشرده (پلی‌استایرن) بروی مخازن آب جهت کاهش تبخیر، در بازه زمانی چهارماهه، در شهر سمنان می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در فضای باز دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان، با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح آزاد آب ۱۱۴۸ متر انجام شد. مطابق شکل (۱)، در ابتدا زمین محوطه برای کندن با بولدوزر تسطیح شد. محل حفر چاله‌ها با نقشه‌برداری و رنگ مشخص شد و مطابق شکل (۲) چاله‌ها با کمک بیل مکانیکی حفر شدند. در این آزمایش، ۶ عدد تشت تبخیر استاندارد کلرادو در داخل زمین جایگذاری

شد که ۳ عدد از این تشت‌ها به‌عنوان تیمار مشاهداتی که محتوای آنها آب بود و ۳ تشت دیگر به‌عنوان تیمارهای آزمایش بودند که علاوه بر آب، ورقه‌های پلی‌استایرن در ابعاد ۴۰×۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر به آن اضافه شد. درصد پوشش ورقه‌های پلی‌استایرن در ۳ تکرار آزمایش ۶۰ درصد سطح آب داخل تشت استاندارد کلرادو بود. تشت تبخیر استاندارد کلرادو، از جنس ورقه‌های گالوانیزه، تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از کف از آب پر شد. ابعاد تشت تبخیر استاندارد کلرادو در جدول (۱) ارائه شده است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۱- مشخصات تشت تبخیر استاندارد کلرادو

| طول (cm) | عرض (cm) | ارتفاع (cm) | ضخامت (mm) | حجم کل تشت (cm <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|-------------|------------|-------------------------------|
| ۹۲       | ۹۲       | ۴۶          | ۳          | ۳۸۹۳۴۴                        |



شکل ۱- مشخص کردن محل حفر گودال با رنگ به‌منظور قراردادن تشت‌های تبخیر کلرادو





شکل ۲- حفر گودال توسط بیل مکانیکی به منظور قرار دادن تشت تبخیر کلرادو

آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها از تاریخ ۲ خرداد ۱۳۹۷ تا ۳۱ شهریور ۱۳۹۷ انجام شد. داده‌های مربوط به تلفات تبخیر از تشت استاندارد کلرادو (یعنی تغییرات در عمق آب) به صورت روزانه برای هر ۶ مخزن و به صورت مستقیم با خط‌کشی‌های نصب شده در داخل مخازن اندازه‌گیری شد. سپس، میانگین سه تکرار به عنوان تبخیر روزانه برای مخازن دارای پوشش و بدون پوشش ثبت شد. در شکل (۳)، جامه‌ای مخازن، مخازن بدون پوشش (شاهد) و دارای پوشش پلی‌استایرن نشان داده شده است.

پلی‌استایرن، که جزو بهترین عایق‌های حرارتی و رطوبتی می‌باشد، کاربردهای متفاوتی در صنعت ساختمان، کشاورزی و پتروشیمی دارد و در ضخامت‌های مختلف تولید می‌شود. یکی از مزیت‌های این پوشش، جذب کم آب و وزن کم این محصول نسبت به حجم آن است. این ماده در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ به ازای هر متر مربع ۸۰۰۰ ریال خریداری شد. با مقایسه هزینه واحد سطح ماده مورد استفاده در این پژوهش نسبت به مواد دیگر موجود در بازار، استفاده از پلی‌استایرن کم‌هزینه‌تر است. انجام



(الف)



(ج)



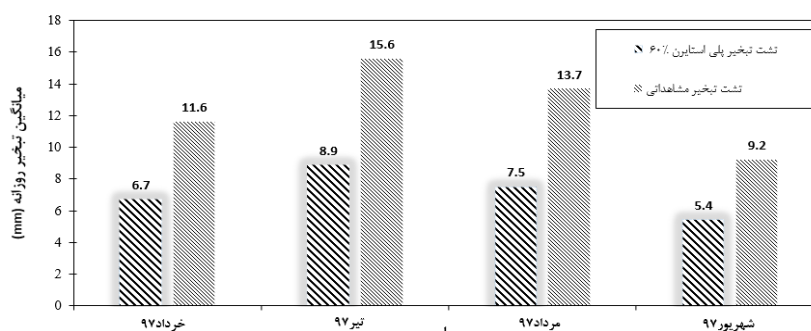
(ب)

شکل ۳: (الف) جامه‌ای تشت استاندارد کلرادو مدفون، (ب) مخزن بدون پوشش (شاهد) و (ج) مخزن دارای پوشش پلی‌استایرن



پلی‌استایرن کم می‌شود. یکی از راه‌حل‌ها برای کارا بودن پوشش پلی‌استایرن در برابر باد و طوفان، قابلیت اتصال آسان ورقه‌های این پوشش به همدیگر است که از جابه‌جایی آن جلوگیری می‌کند و دارای وزن مناسب است و در سطح آب پایدار می‌باشند. استفاده از این روش در مناطقی که متوسط سرعت باد بسیار زیاد است تأثیر مثبتی نخواهد داشت. این نتیجه با تحقیق پیری و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. حداکثر مقدار تبخیر روزانه از مخزن شاهد در کل دوران اندازه‌گیری ۲۰/۳ میلی‌متر در روز در تیرماه بود. مقدار حداکثر تبخیر روزانه از مخزن دارای پوشش پلی‌استایرن در کل دوران اندازه‌گیری ۱۱/۷ میلی‌متر در روز، مربوط به ماه تیر می‌باشد.

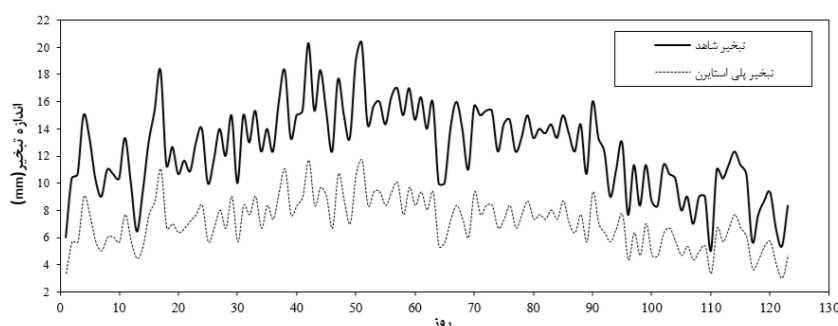
نتایج به‌دست آمده از میانگین ۴ ماه تبخیر تیمار شاهد و تیمار مورد آزمایش در شکل (۴) آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که در تمام ماه‌های آزمایش، میزان تبخیر از تشت تبخیر شاهد بیشتر از تشت تبخیر همراه با ماده پلی‌استایرن می‌باشد. با توجه به شکل (۴)، تبخیر از ماه خرداد ۱۳۹۷ تا ماه تیر ۱۳۹۷ افزایشی است و پس از آن روند کاهشی دارد. این روند افزایش و سپس کاهش، به تغییرات پارامترهای هواشناسی نظیر دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی ارتباط دارد. این روند تغییرات، صحت نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. با افزایش سرعت باد، عملکرد پوشش



شکل ۴- متوسط تبخیر روزانه از مخازن پوشش‌دار و مخزن شاهد

روزهای اندازه‌گیری شده در چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور و محور Y مقدار تبخیر روزانه برای دو تشت شاهد و حاوی پلی‌استایرن را نمایش می‌دهند.

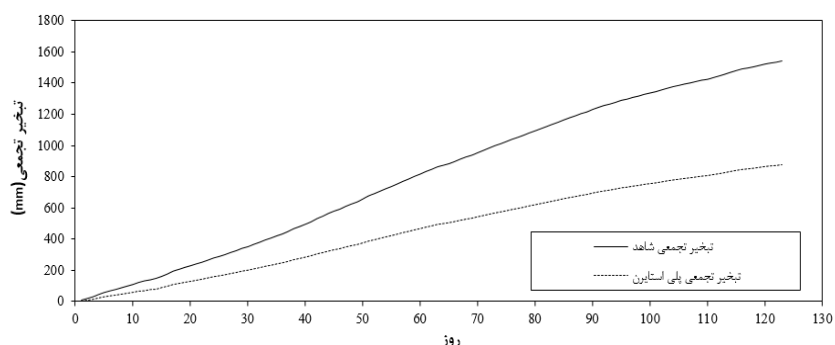
در شکل (۵)، مشاهده می‌شود که مقدار تبخیر از تشت شاهد در تمام روزهای اندازه‌گیری (۱۲۳ روز) از مقدار تبخیر در تشت حاوی پلی‌استایرن بیشتر می‌باشد. در شکل (۵)، محور X تعداد



شکل ۵- مقایسه میزان تبخیر روزانه مخزن شاهد و مخزن دارای پلی‌استایرن

با رسیدن به انتهای بازه کاهش یافته است. کاهش دما با تأثیر بر میزان تبخیر در اواخر مردادماه و شهریورماه منجر به کاهش شیب و تحذب منحنی در تشت شاهد و تشت دارای ورقه‌های پلی‌استایرن شده است.

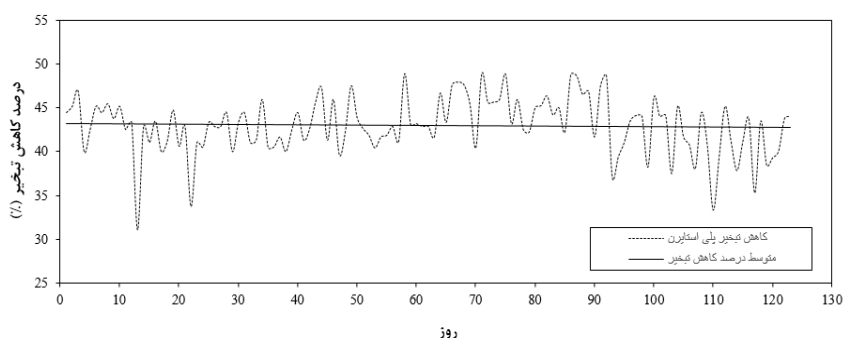
شکل (۶) نمودار میزان تبخیر تجمعی در کل روزهای اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شیب منحنی در ابتدای بازه که مربوط به روز ۲۰ ام اواخر ماه خرداد می‌باشد تا روز ۸۰ ام (اواسط ماه مرداد) تندتر بوده و به مرور



شکل ۶- مقایسه تبخیر تجمعی مخزن شاهد و مخزن دارای پلی استایرن

حداکثر و حداقل کاهش تبخیر، می‌تواند ناشی از تغییرات پارامترهای هواشناسی باشد. خط افقی ترسیم شده در شکل (۷) متوسط عملکرد پوشش پلی استایرن در بازه اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد و مقدار آن  $43/13$  درصد می‌باشد. این پارامترهایانگر کارایی خوب این پوشش در کنترل تبخیر و ذخیره آب می‌باشد.

درصد کاهش تبخیر، یا به عبارت دیگر کارایی پوشش پلی استایرن به صورت روزانه، که حاصل درصد ذخیره به کل حجم آب تلف شده از مخزن شاهد در همان روز می‌باشد، در شکل (۷) ارائه شده است. نوسانات نمودار ترسیم شده نشان می‌دهد که حداکثر کارایی  $48/9$  درصد و حداقل آن معادل با  $31/1$  درصد برآورد شده است. اختلاف بین



شکل ۷- کارایی پوشش پلی استایرن در بازه‌های اندازه‌گیری تبخیر از مخازن آب

از پوشش پلی استایرن (فوم)، درصد کاهش تبخیر متفاوت خواهد بود. تفاوت میانگین و خطای استاندارد تبخیر از تحت شاهد و پوشش پلی استایرن به ترتیب  $5/405$  و  $0/3295$  می‌باشد.

Khan و Issac (۱۹۹۰) با استفاده از لایه‌های پلی اتیلنی روی سطح آب، کاهش تبخیر را حدود ۷۵ درصد گزارش کردند. در پژوهش حاضر، باتوجه به پوشش ۶۰ درصدی سطح آب توسط پلی استایرن، می‌توان از عملکرد نسبتاً مطلوب این ماده استفاده شده رضایت داشت. نتایج این پژوهش در مقایسه با نتایج Howard (۲۰۱۵) که استفاده از پوشش توپ سایه‌انداز را بررسی کرد، می‌توان به کم‌هزینه‌تر بودن ماده پیشنهادی پلی استایرن نسبت به توپ سایه‌انداز پی برد.

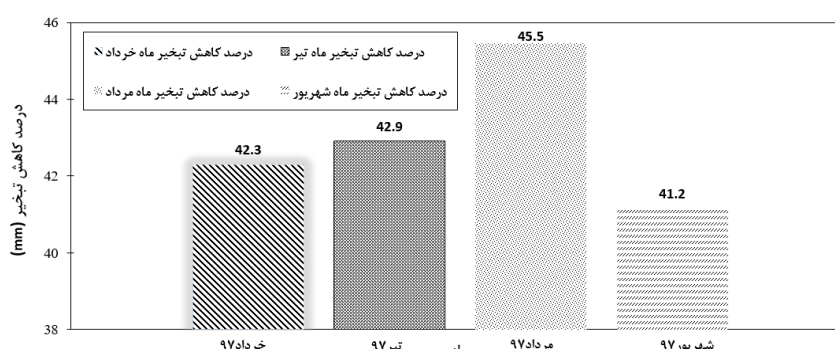
در شکل (۸)، درصد کاهش تبخیر پوشش پلی استایرن نسبت به شاهد در هر ماه ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین میزان کاهش تبخیر در ماه مرداد ( $45/5$  درصد) و کمترین میزان کاهش تبخیر در ماه شهریور ( $41/2$  درصد) می‌باشد. همچنین در شکل (۸) مشاهده می‌شود که به کارگیری پلی استایرن از خرداد تا مرداد باعث افزایش کنترل تبخیر شده و از ماه مرداد تا شهریور درصد کنترل‌کنندگی تبخیر توسط ورق‌های پلی استایرن کاهش یافته است. تفاوت دو به دو میزان کاهش تبخیر پوشش ۶۰ درصد با تحت شاهد، طبق آزمون  $T_3$  Dunnett و در سطح اطمینان ۹۵ درصد در جدول (۲) ارائه شده است. میانگین میزان کاهش تبخیر پوشش در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. استفاده

مرادی مزرعه نو و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از قطعات یونولیت روی استخرهای کشاورزی، میزان کاهش تبخیر و هزینه ماده استفاده شده را بررسی کردند. آن‌ها میزان کاهش تبخیر را با پوشش ۹۰ درصدی، ۵۱ درصد؛ همچنین هزینه یک متر مربع قطعات یونولیت را ۱۰۰۰۰ ریال گزارش کردند

که در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر (هزینه پلی‌استایرن استفاده شده ۸۰۰۰ ریال) قیمت بیشتری دارد. درحالی‌که میزان کاهش تبخیر قطعات یونولیت با ماده استفاده شده در پژوهش حاضر تفاوت چشمگیری ندارد و این اختلاف در حدود ۷ درصد می‌باشد.

جدول ۲- نتایج آزمون Dunnett T۳ تحلیل واریانس به منظور بررسی دو به دو کاهش تبخیر پوشش‌ها

| تیمار ۱ | تیمار ۲     | تفاوت میانگین | خطای استاندارد | Sig   | حد پایین | حد بالا |
|---------|-------------|---------------|----------------|-------|----------|---------|
| شاهد    | پلی استایرن | ۵/۴۰۵۱        | ۰/۹۵۳۲         | ۰/۰۰۰ | ۴/۱۶۶    | ۶/۶۴۴   |



شکل ۸- مقایسه درصد کاهش تبخیر در چهار ماه اندازه‌گیری شده

## نتیجه‌گیری

تبخیر و تأثیر آن بر دوام پوشش ارزیابی شود. به‌طورکلی، باید هزینه‌های اجرا، بهره‌برداری، نحوه نگهداری و زمان دوام پوشش استفاده پلی‌استایرن روی استخرهای ذخیره‌ای آب و سطوح بزرگ مانند مخازن سدها در نظر گرفت.

مطالعه حاضر به‌منظور کاهش تبخیر از منابع آب روباز در تشت‌های تبخیر استاندارد کلرادو مدفون، در شهر سمنان انجام شد و نتیجه آن مدیریت نگهداشت آب می‌باشد. بررسی عملکرد پوشش پلی‌استایرن نشان داد، این پوشش برای کاهش تبخیر از سطح آزاد آب پوشش نسبتاً مناسبی است. با استفاده از این نوع پوشش در این آزمایش که ۶۰ درصد سطح آب را پوشاند، میزان تبخیر حدود ۴۴ درصد کاهش می‌یابد. به‌طورکلی، لایه پلی‌استایرن با پوشش سطح ۶۰ درصد می‌تواند منجر به کاهش تبخیر بین ۳۱ تا ۴۹ درصد شود. در طول مدت انجام آزمایش، میزان تبخیر از تشت مشاهداتی در حدود ۱۵۴۰ میلی‌متر بود. درحالی‌که برای تشت حاوی پوشش پلی‌استایرن این مقدار ۸۷۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در صورت اجرای پوشش پلی‌استایرن در مدت ۴ ماه حدود ۶۶۲ میلی‌متر آب را می‌توان ذخیره کرد. از دیگر مزیت‌های این ماده، ارزان بودن نسبی هزینه آن و دوام نسبتاً خوب این ماده در محیط و در برابر تابش خورشید است. لازم به ذکر است، باید اثر ضخامت‌های مختلف این پوشش بر کاهش

## منابع

ابراهیمی، ح. و یزدانی، و. ۱۳۹۲. محاسبه تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال (مطالعه موردی: پارک ملت مشهد). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۳): ۱۳۳-۱۵۱.  
پیری، م.، حسام، م.، دهقانی، ا.، مفتاح‌هلقی، م. و غزلی، ع. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر استفاده از الکل‌های سنگین بر کاهش تبخیر از سطح مخازن آب. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۲): ۲۸۴-۲۹۳.  
زمانی، س. و رحیم‌زادگان، م. ۱۳۹۷. محاسبه و ارزیابی تبخیر در دریاچه پشت سدها با استفاده از مدل تبخیر و تعرق SEBAL مطالعه موردی: سد امیرکبیر. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، ۲۷(۱۰۶): ۵۷-۶۹.

- Brown J. 1998. The potential for reducing open water evaporation losses: A review. Hydrology and Water Resources Symposium 1988: Preprints of papers (p.108), Institution of Engineers, Australia.
- Ghazvinian H., Karami H., Farzin S. and Mousavi S.F. 2020. Effect of MDF-cover for water reservoir evaporation reduction, experimental and soft computing approaches. Journal of Soft Computing in Civil Engineering, 4(1): 98-110.
- Howard B.C. 2015. Why did LA drop 96 million 'Shade Balls' into its water?. Retrieved August 12, 2015, National Geographic from <http://news.nationalgeographic.com/2015/08/150812-shade-balls-los-angele-california-drought-water-environment/>.
- Irmak S., Haman D. and Jons J. 2002. Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(3): 153-159.
- Khan M.A. and Issac. V.C. 1990. Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. Journal of Hydrology, 119(1-4): 21-29.
- Saggaï S. and Bachi O.E.K. 2018. Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. Water Resources, 45(2): 280-288.
- Taboada M., Caceres L., Graber T., Galleguillos H., Cabeza L. and Rojas R. 2016. Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. Renewable Energy: An International Journal, 105(1): 601-615.
- صفوی، ح. ۱۳۸۵. هیدرولوژی مهندسی. چاپ اول، انتشارات ارکان، اصفهان.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ نهم، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد.
- مرادی مزرعه نو، ح.، طالبی، م. ص. و حسنزاده، م. ۱۳۹۲. ارزیابی کاهش تبخیر از استخرهای ذخیره آب کشاورزی با استفاده از پوشش یونولیتی (مطالعه موردی منطقه عقدا). اولین همایش ملی کاربرد علوم و فناوریهای نوین در کشاورزی و منابع طبیعی، یزد.
- وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی‌سانچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
- هاشمی‌منفرد، س. آ.، رضاپور، م.، رضاپور، ح. و اژدری‌مقدم، م. ۱۳۹۷. استفاده از صفحات خورشیدی شناور به‌عنوان بادشکن به‌منظور کاهش تبخیر و تولید انرژی با استفاده از مدل‌سازی ANSYS FLUENT (مطالعه موردی: چاه نیمه شماره ۴ سیستان). اکوهیدرولوژی، ۵(۴): ۱۳۰۷-۱۲۹۷.
- Abbas Dawood K., Rashid F.L. and Hashim A. 2014. Reduce evaporation losses from water reservoirs. European Journal of Mechanical Engineering Research, 1(1): 14-19.
- Alvarez V.M., Baille A., Martinez J.M. and Real M.G. 2006. Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. Spanish Journal of Agricultural Research, 4(4): 280-288.
- Barnes G.T. 2008. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages. Agricultural Water Management, 95(4): 339-353.

Article Type: Review

نوع مقاله: مروری

## A Review of Methods to Reduce Evaporation from the Free Water Surface and the Introduction of Appropriate Methods of Practical and Economic

M. Sharayei<sup>1\*</sup>, S.A. Haghyeghi moghadam<sup>2</sup>

1- MSc Student, Hydraulic Structures, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Iran. 2- Assistant professor, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

\*(Corresponding Author Email: Maryamsharayei@yahoo.com)

Received: 17-08-2019

Accepted: 15-02-2020

## مروری بر روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب و معرفی شیوه‌های مناسب کاربردی و اقتصادی

مریم شرایعی<sup>۱\*</sup>، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران. ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

\*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: Maryamsharayei@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۶

### Abstract

Due to the importance of water that is one of the first needs of human life and according to the problem that Iran has an average annual rainfall of 240 mm and its population of 80 million, It is a dry and semi-arid country, and it faces a lot of water stress, It is essential to prevent water loss as much as possible. One of these methods is the control of evaporation from water storage tanks, which is possible in different ways. Climate change on earth has also contributed to the cause, and the rate of evaporation has been increasing in recent decades. This can sometimes reduce more than 40% of the volume of water stored in the dam. This study introduces different methods and products of chemical and physical of evaporation control from the water surface and disadvantages and benefits of each. Finally, the methods were compared and prioritized using Analytical Hierarchy Process(AHP) in economic, executive, and environmental terms.

**Keywords:** Evaporation Reduction, Water Tanks, Physical and Chemical Control, AHP.

### چکیده

با توجه به اهمیت آب که یکی از نخستین نیازهای زندگی بشری است و با توجه به این مسأله که ایران با متوسط بارندگی سالانه ۲۴۰ میلی‌متر و جمعیت ۸۰ میلیون نفری آن، کشوری خشک و نیمه‌خشک بوده و با تنش آبی بسیار، مواجه می‌باشد؛ ضروری است تا حد امکان از هدررفت آب جلوگیری شود. یکی از این روش‌ها، کنترل تبخیر از مخازن ذخیره آب می‌باشد که به طرق مختلف امکان‌پذیر است. تغییرات آب‌وهوایی کره زمین نیز مزید بر علت شده و میزان تبخیر در چند دهه اخیر رو به افزایش بوده است؛ بطوریکه این پدیده گاهی می‌تواند بیش از ۴۰ درصد از حجم آب ذخیره شده در دریاچه سد را کاهش دهد. در این پژوهش روش‌ها و محصولات مختلف فیزیکی و شیمیایی کنترل تبخیر از سطح آب معرفی و معایب و مزایای هر یک بیان شده است. در انتها نیز روش‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> از نظر اقتصادی، اجرایی و زیست‌محیطی با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** کاهش تبخیر، مخازن آب، کنترل فیزیکی و شیمیایی، تحلیل سلسله مراتبی.



## روش‌های فیزیکی / مکانیکی

۱- پوشش‌های شناور<sup>۲</sup>

این نوع پوشش‌ها عموماً به صورت يك پرده نفوذناپذیر که بر روی تمام سطح آب شناور است، عمل می‌نمایند و علاوه بر این که میزان تابش خورشیدی دریافتی در سطح آب مخزن را کاهش می‌دهند، تماس جریان هوا با سطح آب را بسیار کم می‌کنند (آهنی و حسینی، ۱۳۹۴). حداکثر اندازه مناسب مخزن برای نصب این محصولات تقریباً ۴ هکتار می‌باشد و از نظر اقتصادی بهتر است تمام سال، مخزن دارای آب باشد. مواد مختلفی که در گذشته به این منظور به کارگرفته می‌شدند شامل پلی‌اتیلن، موم، کف، واکس و پلی‌استر بودند (شمسایی و حسینی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته به شرح جدول (۱) می‌باشد.

بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی، دمای کره زمین رو به افزایش است؛ این مسئله توازن میان آب مصرفی و آب مورد نیاز را برهم می‌زند. بدین ترتیب آب مصرفی بیشتر از ذخایر آبی موجود می‌شود. این عدم توازن علاوه بر کشاورزی و محیط‌زیست، انسان را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد و او را از نعمت داشتن آب تصفیه شده و تغذیه مناسب محروم می‌سازد. یکی از پدیده‌های عمده که موجب تلفات مقادیر زیادی از آب‌های جمع‌آوری شده پشت سد‌ها، استخرها، دریاچه‌ها و ... می‌شود، تبخیر است. نوعی از تبخیر وجود دارد که در هر دمایی رخ می‌دهد که به آن تبخیر سطحی گفته می‌شود. در تبخیر سطحی مولکول‌های روی سطح آب در معرض تابش نور خورشید و یا وزش باد قرار می‌گیرند و با افزایش جنب‌وجوش، از سطح آب جدا شده و به بخار آب تبدیل می‌شوند. روش‌های زیادی برای کنترل تبخیر از سطح آزاد آب موجود است که دارای ماهیت و هزینه‌های متفاوت می‌باشند.

جدول ۱- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد پوشش‌های شناور به منظور کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| منبع                            | نوع محصول           | بازده (%) | ملاحظات                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------|---------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷ | پلی‌اتیلن چند لایه  | -         | ضخامت محصول ۰/۵ میلی‌متر، کاهش انتقال اکسیژن را در پی دارد که باعث شرایط بی‌هوایی شده و نیاز به فرآیند تصفیه آب دارد.                                                                       |
| Craig, ۲۰۰۵                     | پلی‌اتیلن           | ۹۵        | -                                                                                                                                                                                           |
| Craig, ۲۰۰۶                     | E-VapCap            | ۹۵        | عمر مفید محصول ۱۵ سال                                                                                                                                                                       |
| Finn و Barnes, ۲۰۰۷             | SuperSpan suspended | ۹۰        | عمر مفید محصول ۲۰ سال                                                                                                                                                                       |
| Burston, ۲۰۰۲                   | AquaCaps            | ۷۰        | عمر مفید محصول ۱۰ سال                                                                                                                                                                       |
| Craig, ۲۰۰۶                     | Netpro              | ۷۰        | عمر مفید محصول ۱۵ تا ۳۰ سال                                                                                                                                                                 |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰           | موم                 | -         | در آریزونا لایه‌هایی از موم بر روی یک مخزن آب پس از ۴ سال، هنوز قابل استفاده بوده است، حتی اگر لایه موم در زمستان در اثر سرما از هم باز شود در فصل گرما دوباره تشکیل یک لایه پیوسته می‌دهد. |
| Thoma, ۱۹۷۳                     | صفحه نازک آلومینیوم | ۳۷/۳      | -                                                                                                                                                                                           |
| Khan و Issac, ۱۹۹۰              | پلی‌استر            | ۸۲        | در صورت پوشاندن ۹۸٪ سطح آب، بازده ۸۲ درصد حاصل شد و این به خاطر خاصیت جداکنندگی پلی‌استر می‌باشد.                                                                                           |
| Cooley و Mayers, ۱۹۷۳           | استیروفوم           | ۱۰۰       | در صورت پوشاندن ۸۰٪ سطح آب بازده ۱۰۰ درصد حاصل می‌شود.                                                                                                                                      |
| Cooley و Mayers, ۱۹۷۳           | پارافین             | -         | به طور دائمی نمی‌تواند سطح را بپوشاند.                                                                                                                                                      |
| پیری و همکاران، ۱۳۸۹            | پلی‌استایرن         | ۵۵-۳۰     | -                                                                                                                                                                                           |

## ۲- پوشش‌های چندقسمتی<sup>۲</sup>

۱۰۰ درصد سطح آب را پوشش دهد. بنابراین بازدهی این روش از روش پوشش‌های شناور کمتر می‌باشد. این نوع پوشش به صورت پیش ساخته و یا ساخته شده در محل استفاده می‌شود (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶؛ بحرینی مطلق و همکاران، ۱۳۹۱ ب). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته، در جدول (۲) نشان داده شده است.

دقیقاً مشابه پوشش‌های شناور هستند، با این تفاوت که این پوشش از چندین بخش مجزای شناور تشکیل شده و با اتصال تمام تکه‌ها به یکدیگر می‌توان یک پوشش بزرگتر ایجاد نمود. این پوشش‌ها به صورت شش‌وجهی، دایره‌ای و مستطیلی و... موجوداند و در نتیجه اندازه و شکل بخش‌ها همواره نمی‌تواند

جدول ۲- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با کاربرد پوشش‌های شناور چندقسمتی با هدف کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع                           | نوع محصول                | بازده (%) | ملاحظات                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مرادی مزرعه نو و همکاران، ۱۳۹۲ | پوشش یونولیتی            | ۵۱/۶      | در حالت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب این بازده حاصل شد.                                                                                                                                                                |
| افخمی و همکاران، ۱۳۹۶          | پوشش فومتالات            | ۹۰/۳      | این محصول حاصل تزریق صنعتی پلی استایرن در قالب‌های پر شده با بطری دلستر می‌باشد.                                                                                                                             |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰          | بتن سبک پرلیتی           | -         | تحقیق بر روی دریاچه سد کارون ۳ انجام شد و این بتن در کاهش تبخیر موثر بود. محصول به گونه‌ای است که از ورود اکسیژن به آب، جلوگیری نمی‌کند. اما از ورود آلاینده‌ها نظیر ریزگردهای معلق در هوا جلوگیری می‌نماید. |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰          | گونی‌های پلاستیکی        | -         | به صورت بافته شده از مواد پلاستیکی می‌باشد و حدود ۵۰٪ سطح را می‌پوشاند، این پوشش با حرکت موینگی آب به سمت بالا با خیس کردن سطح خود باعث کاهش تبخیر می‌شود.                                                   |
| Issac و Khan، ۱۹۹۰             | اسفنج مصنوعی سفید رنگ    | ۷۵        | در حالت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب این بازده حاصل شد. مشکل اصلی این پوشش جذب گرد و غبار است.                                                                                                                         |
| Issac و Khan، ۱۹۹۰             | لایه‌های شناور پلی‌اتیلن | ۶۶        | در حالت پوشاندن ۷۵٪ سطح آب، این بازده حاصل می‌شود. در پایان دوره، سطح لایه پلی‌اتیلن از بین رفته و ترک و شکاف روی سطح آن مشاهده می‌گردد که می‌توان آن را با پرتوهای خورشیدی مرتبط دانست.                     |

## ۳- ترکیبات سایه‌انداز<sup>۳</sup>

بر میزان تبخیر می‌باشند. حداکثر اندازه مناسب مخزن برای این پوشش، ۵ هکتار (مخازن کوچک) عنوان شده است. این روش بازدهی دو روش قبل را نخواهد داشت (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقات مرتبط با این روش، به شرح جدول (۳) می‌باشد.

این نوع ترکیبات عموماً توسط کابل بر روی سطح آب معلق می‌گردند و بر روی سطح آب، سایه می‌اندازند. این نوع پوشش، باعث کاهش تشعشع خورشید و سرعت باد و گیرانداختن رطوبت هوا در بین پوشش و سطح آب شده که همگی فاکتورهای مؤثر

جدول ۳- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با ترکیبات سایه‌انداز مورد استفاده در کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع                    | نوع محصول | بازده (%) | ملاحظات                                                                                                                                |
|-------------------------|-----------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jennison، ۲۰۰۳          | سایه‌بان  | ۷۶-۵۹     | این تحقیق بر روی تانک‌های ۱۰۰۰ لیتری انجام شده است.                                                                                    |
| Issac و Khan، ۱۹۹۰      | نی‌بامبو  | ۵۴        | در حالت پوشاندن ۹۸٪ سطح آب این بازده حاصل شد. در طول یک دوره ۱۹ ماهه، معلوم شد که ساقه‌های نی با جذب آب سنگین شده و در آب فرو می‌روند. |
| Alvarez و همکاران، ۲۰۰۶ | آلومینیوم | ۵۰        | -                                                                                                                                      |
| Alvarez و همکاران، ۲۰۰۶ | پلی‌اتیلن | ۸۰        | -                                                                                                                                      |

#### ۴- آبدان ها (بادکنک ها)<sup>۵</sup>

این کیسه ها معمولاً از مواد پلی اتیلن و یا پلی استر ساخته شده و یک لایه نفوذناپذیر در بالا و پایین مخزن ذخیره آب تشکیل می دهند. پوشش بالای مخزن و دیواره های آن، با سطح آب مخزن بالا و پایین می رود که می تواند باعث فرسوده شدن پوشش نیز بشود. این کیسه ها تبخیر و تراوش از منبع آب را بطور توأمان کاهش می دهند. این کیسه ها را می توان در حفره های بزرگ زمینی یا در کانال های آبیاری نیز نصب نمود. این محصول مزایا و معایبی مشابه با سایر پوشش های شناور دارد (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷).

#### ۵- بادشکن<sup>۶</sup>

ساختمان بادشکن می تواند از ساختن دیوارهای بلند در اطراف منبع

تا کاشت درختان در اطراف آن را شامل شود. در صورت امکان، بهتر است منبع آب جایی قرار بگیرد که از عوارض طبیعی مثل تپه ها برای کاهش دادن سرعت باد در اطراف آن بهره گیری شود (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷). استفاده از درخت به عنوان بادشکن مزایایی به دنبال دارد، از جمله این که می توان زمان زیادی از آن استفاده کرد. البته باید توجه داشت که درختان نباید بسیار نزدیک به منبع آبی کاشته شوند، زیرا ریشه آن ها جذب آب بیشتری از مخزن خواهند داشت (بحرینی مطلق و همکاران، ۱۳۹۱ ب؛ فرزین و علی زاده صنی، ۱۳۹۴). درختان مناسب به عنوان بادشکن را از نوع درختان مخروطی مثل کاج و سرو، ااقایا و اکالیپتوس می باشند (Wilson و Josiah، ۲۰۰۴). خلاصه برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته، به شرح جدول (۴) می باشد.

| جدول ۴- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از بادشکن برای کاهش تبخیر از سطح آب |               |           |                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| منبع                                                                                         | نوع محصول     | بازده (%) | ملاحظات                                                               |
| Skidmore و Hagan، ۱۹۷۰                                                                       | بادشکن        | ۳۵        | -                                                                     |
| Miller و همکاران، ۱۹۷۳                                                                       | بادشکن        | ۲۰        | -                                                                     |
| Van Eimern و همکاران، ۱۹۶۴                                                                   | بادشکن        | ۱۴        | -                                                                     |
| Gibbins و Raine، ۲۰۰۵                                                                        | درختان ۸ متری | ۳۰        | این تحقیق بر روی یک سد کوچک (سطحی معادل ۳۶۰۰ متر مربع) انجام شده است. |

#### روش های شیمیایی

در روش های شیمیایی کاهش تبخیر، از لایه حاوی ترکیبات شیمیایی کاهنده تبخیر استفاده می شود؛ به طور کلی روش های شیمیایی به اندازه روش های فیزیکی برای کاهش میزان تبخیر، مؤثر نمی باشند. محدوده وسیعی از مقادیر به عنوان بازده روش های شیمیایی در کاهش میزان تبخیر اعلام شده است که مقدار متوسط آن می تواند در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد ارزیابی شود (آهنی و حسینعلی، ۱۳۹۴). این نوع پوشش در مقیاس کوچک با دست و در مقیاس بزرگ با دستگاه اجرا می شود. امروزه این پوشش ها از روش های مناسب برای مخازن بزرگتر از ۱۰ هکتار هستند و برای مخازن آبی که در تمام طول سال آب ندارند نیز، مفید می باشند (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶).

#### ۱- تک لایه ها<sup>۷</sup>

این مواد باید قابلیت پخش شوندگی در سطوح آب را دارا باشند؛ به طوری که در ابعاد مولکولی، در یک جهت مولکول خاصیت هیدروفلیک (جاذب آب) و در سمت دیگر هیدروفوبیک (دافع آب) داشته باشند (انصاری فر و خادم آذریان، ۱۳۹۳). از آنجا که این لایه ها خود تبخیر می شوند، باید هر ۱ الی ۴ روز مجدداً اجرا

#### ۲- الکل های آلیفاتیک<sup>۸</sup>

روش دیگر کاهش تبخیر، استفاده از یک نوع امولسیون متشکل از ۶۰٪ آب و ۴۰٪ الکل های آلیفاتیک می باشد (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷). کاویان پور و همکاران (۱۳۸۸) ادعا کردند که این مواد باعث خارش پوست و چشم و ناراحتی های تنفسی می شود. برای اجرای این روش می توان از ماشین های آتش نشانی محلی، کامیون های مجهز به اسپری و روش دستی بهره جست (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۷).

جدول ۵- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در رابطه با استفاده از مواد مونولایر به منظور کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع                                          | نوع محصول                                   | بازده (%)   | ملاحظات                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hedestrand, ۱۹۲۴                              | ستیل الکل                                   | ۵۰-۳۰       | قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و غیرسمی است. نسبت به اکسیژن قابل نفوذ می‌باشد و برای منابع آب آشامیدنی قابل استفاده است.                                                                                                                           |
| Khan و Issac, ۱۹۹۰                            | ستیل الکل                                   | ۲۰          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| Desai و همکاران, ۱۹۹۰                         | امولسیون مبتنی بر الکل‌های چرب              | ۳۰          | این محصول از گیاهان روغنی بدست آمده است. در صورت استفاده ۵۰ میلی‌گرم در هر متر مربع، بازده ۳۰ درصد حاصل خواهد شد.                                                                                                                             |
| Knights, ۲۰۰۵                                 | ستیل الکل                                   | ۲۰          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| Knights, ۲۰۰۵                                 | Agri-Products                               | -           | محصول روغنی بر پایه سیلیکون است. ادعا می‌شود که نسبت به محصولات مشابه، این محصول مقاوم‌تر بوده، سریع‌تر پخش می‌شود و با محیط زیست سازگارتر است. ضخامت پیشنهادی برای استفاده از این روغن ۶۰۰ نانومتر است و ضخیم‌تر از سایر تک‌لایه‌ها می‌باشد. |
| Obrien, ۲۰۰۶                                  | ترکیب ستیل الکل و هیدروکسید کلسیم و سیلیس   | ۴۰          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| Israelsen و همکاران, ۱۹۶۳                     | مواد الکلی                                  | ۷۲-۲۴       | این نتایج در دماهای متفاوت به دست آمد.                                                                                                                                                                                                        |
| Barnes, ۲۰۰۷                                  | ستیل الکل و استریل الکل                     | -           | برای مخازن بزرگ مناسب بوده و دوام آنها ۱ تا ۲ روز است.                                                                                                                                                                                        |
| Katti و Sansare, ۱۹۷۰                         | اتانول                                      | -           | بیشترین مقاومت تبخیری و بیشترین نرخ پخش‌شوندگی را دارد. اما نمونه عملی این پروژه انجام نشده است.                                                                                                                                              |
| انصاری فر و خادم آذریان, ۱۳۹۳                 | پلی دی‌متیل سیلوکسان                        | ۳۰-۲۰       | این ماده غیرسمی و غیر قابل اشتعال است. دارای کشش سطحی و آب‌گریزی زیاد، انعطاف‌پذیری زیاد در دمای محیط، زیست سازگاری خوب و دمای انتقال شیشه‌ای بسیار کم می‌باشد.                                                                               |
| احدیان, ۱۳۹۳                                  | ترکیبات سیلیکونی با ایزوپروپیل الکل         | ۵۰-۳۰       | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| احدیان, ۱۳۹۳                                  | ترکیبات سیلیکونی                            | بیشتر از ۵۰ | طول عمر این مواد ۱ تا ۷ روز است.                                                                                                                                                                                                              |
| احدیان, ۱۳۹۳                                  | اکسید گرافن با سورفکتانت                    | ۶۰          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| کاویانپور و همکاران, ۱۳۸۸؛ نوذری و میری, ۱۳۹۳ | الکل گیاه جوجوبا                            | ۳۳          | این محصول هیچ آسیبی به محیط‌زیست وارد نمی‌کند. ضد ویروس و ضد قارچ است. طول عمر حدود ۳ تا ۴ روز دارد.                                                                                                                                          |
| یاوری‌زاده و عارف‌زاده, ۱۳۹۳                  | ترکیب نوعی ماده پلیمری و نوعی ماده سطح فعال | ۵۰-۴۰       | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| نوذری و میری, ۱۳۹۳                            | محصول تجاری اکواتین                         | ۴۰          | مایع سفید شیری رنگ، با بوی بسیار ناچیز و عمر ۲ تا ۴ روز است. محدودیت دمایی ۴۲ درجه سانتی‌گراد دارد.                                                                                                                                           |
| نوذری و میری, ۱۳۹۳                            | محصول تجاری واترسیور                        | ۳۰          | طول عمر این مواد ۳ تا ۴ روز است. حداکثر تا ۱۵۰۰۰ هکتار می‌توان آن را اجرا نمود. محدودیت دمایی ۴۲ درجه سانتی‌گراد دارد.                                                                                                                        |

## روش‌های زیستی

در روش‌های زیستی معمولاً از گیاهان آبی یا گیاهانی با قابلیت رشد در نزدیکی مخازن استفاده می‌شود. در این روش میزان برهم‌کنش هوا با لایه مرزی سطح آب و همچنین تابش خورشیدی به سطح آب کم می‌شود و در نتیجه کاهش تبخیر اتفاق می‌افتد (آهنی و حسینی، ۱۳۹۴). برخی از پوشش‌های زیستی، برگ‌های شناور زنبق

آبی و خزه می‌باشند. این گیاهان برای زنده ماندن به آب و تعرق احتیاج دارند، بنابراین نتیجه نهایی ممکن است افزایش تبخیر باشد. در مورد این نوع پوشش‌ها باید دقت شود که در صورت بیشتر بودن ضریب بازتاب مربوط به گیاه از مقدار مربوط به سطح آب، میزان تبادلات تشعشعی و در نتیجه میزان تبخیر افزایش خواهد یافت (شمسائی و حسینی، ۱۳۸۶). برخی از تحقیقاتی که در این زمینه انجام گرفته به شرح جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶- چکیده برخی تحقیقات انجام شده در مورد استفاده از روش‌های زیستی با هدف کاهش تبخیر از سطح آب

| منبع                  | نوع محصول                         | بازده (%) | ملاحظات                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jennison, ۲۰۰۳        | عدسک آبی                          | بیش از ۱۰ | بر روی کیفیت آب اثر گذاشته و بر روی حیات طبیعی اکوسیستم‌ها موثر هستند.                                                                                                                                                 |
| Issac و Khan, ۱۹۹۰    | ساقه‌های سچروم مونجا <sup>۱</sup> | ۵۰-۲۶     | در صورت پوشاندن ۹۰٪ سطح آب، این بازده حاصل خواهد شد. این روش در دو ماه اول، کاهش تبخیر ۵۰٪ را موجب گردید و در پی تغییرات در پایان دوره، ضریب کاهش تبخیر به ۲۶٪ رسید.                                                   |
| رنجبر و همکاران، ۱۳۹۰ | شن و سنگ                          | ۹۰        | این روش برای جلوگیری از تبخیر آب پشت سد می‌باشد. مخزن سد را از شن و سنگ پر کرده که آب بین آنها نگهداری شده و در وقت لزوم با حفر چاه استفاده می‌شود. معمولاً سطح آب ۳۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح سنگ‌ها نگهداری می‌شود. |

### روش‌های طراحی/ ساختمانی

به‌طور کلی هنگام احداث سد باید توجه داشت که در صورت امکان، محل سد طوری انتخاب شود تا نسبت سطح مخزن به حجم آن، حداقل شود. همچنین برای جلوگیری از گسترش سطح آزاد آب دریاچه، دیوارچینی ساحل دریاچه در نواحی کم‌عمق و کم‌شیب صورت گیرد (امین‌نژاد و ولی‌زاده، ۱۳۸۸)، به این منظور می‌توان ساختار سلولی ایجاد نمود که در آن مخازن بزرگ به سلول‌های کوچک تقسیم می‌شوند تا بتوان سرعت و تأثیر باد را کاهش داد، با انتقال آب میان سلول‌ها و استفاده از بادشکن اطراف مخزن، عمق آب را حداکثر نمود (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶). برای حداکثر نگه‌داشتن عمق آب، بایستی به وسیله پمپ‌کردن آب از سلول‌های نیمه خالی به همدیگر، سطح موجود برای تبخیر را به حداقل رسانید. در کشور ژاپن با استفاده از سیستم آبیگری تلسکوپی که در سدهای سامه‌اورا<sup>۱</sup> و تومی‌ساتو<sup>۲</sup> به کار برده‌اند، امکان آبیگری از ترازهای مختلف مخزن را فراهم نموده و در کنترل پدیده لایه‌بندی دمایی آب مخزن و در نظر گرفتن ملاحظات کیفی آب، موفق عمل نموده‌اند (امین‌نژاد و ولی‌زاده، ۱۳۸۸).

### روش‌های مدیریتی

می‌توان با اعمال روش‌های مدیریتی مختلف، میزان تبخیر کل را کاهش داد. آب را می‌توان بین مخازن پمپ نمود تا سطح مقطع در واحد حجم آب ذخیره شده، حداقل گردد. چرخش آب همچنین می‌تواند باعث کاهش دمای سطح آب و کاهش نرخ تبخیر شود (شمسایی و حسنی، ۱۳۸۶).

### استفاده از توپ سایه<sup>۲</sup>

توپ‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی‌متر هستند که از جنس پلی‌اتیلن سیاه ساخته و پر از آب شده‌اند. این توپ‌ها بین ۳۷ تا ۴۰ گرم وزن دارند و در اثر وزیدن باد در سطح آب، کنار می‌روند. وجود یک پوشش مخصوص باعث مقاومت آن‌ها در برابر نور

ماوراءبنفش خورشید و تجزیه و تخریب می‌گردد. توپ‌های سایه مانع جذب تقریباً ۴۰ تا ۵۰ درصد اشعه خورشید می‌شوند. این طرح حتی در حوضچه‌های پرورش ماهی هم قابل استفاده است؛ چون در زمستان از یخ‌زدگی سطح آب جلوگیری می‌کند. ادعای سازندگان این است که استفاده از این روش می‌تواند ۹۰ درصد از کل تبخیر ۷۰ درصدی آب در کشور را کاهش بدهد (دهقان‌یان و همکاران، ۱۳۹۵). فرزین و علی‌زاده صنمی (۱۳۹۴) نیز این روش را برای کاهش تبخیر از سد کارون ۳ پیشنهاد کردند.

### نصب سیستم‌های خورشیدی (فتوولتائیکی<sup>۱۳</sup>)

یکی دیگر از روش‌های کاهش تبخیر، کاربرد دو منظوره پانل‌های خورشیدی با هدف کاهش تلفات تبخیر و تولید انرژی است. در این روش پانل‌ها نور خورشید را جذب کرده و در عمل مانع نفوذ نور خورشید به سطح آب زیرین آن‌ها شده، بدین ترتیب تبخیر کاهش می‌یابد (آلشتی و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۶؛ سهرابی و همکاران، ۱۳۹۱). هزینه‌های بستر پانل‌ها، خنک‌سازی، ردیابی و سیستم رفلکتور با افزایش میزان برق تولیدی کاهش خواهد یافت. این سیستم‌ها ممکن است ثابت و یا شناور باشند. سهرابی و همکاران (۱۳۹۱) این روش را برای کاهش تبخیر دریاچه ارومیه، و آلشتی و سفیدکوهی (۱۳۹۶) برای سد البرز، پیشنهاد کردند. این روش نسبتاً آسان و مقرون به صرفه ارزیابی شده است (Santafe و همکاران، ۲۰۱۴).

### لایروبی مخازن

در صورتی که در مخزن مورد نظر، رسوبات بیش از حد باشد، لایروبی مخزن نیز می‌تواند به کاهش تبخیر کمک کند، که البته فواید و الزامات دیگری نظیر جلوگیری از کاهش حجم مخزن، افزایش کیفیت آب و... دارد. در یک تحقیق بر روی سد کارده مشخص شد که رسوب‌گذاری طی زمان، هندسه این مخزن را به سمت یک مخزن نسبتاً وسیع و کم‌عمق تغییر داده و باعث شده که تبخیر از سطح مخزن در رقوم نرمال آن، حدود ۳۰ درصد نسبت به سال شروع بهره‌برداری افزایش یابد (یزدان‌پرست و همکاران، ۱۳۹۵).



## مقایسه و تحلیل روش‌های مختلف کاهش تبخیر

معیارهای چندگانه (کمی و یا کیفی) است که بر اساس درخت سلسله مراتب تصمیم و پس از آن مقایسات زوجی، بنا نهاده شده و می‌تواند منجر به انتخاب یک سناریو و یا اولویت‌بندی آن‌ها شود. با استفاده از این نرم‌افزار عدد ۱۰۰، بر اساس مقایسات زوجی بین روش‌های مختلف تقسیم گردیده است (به‌طوری که جمع امتیازات تمام روش‌ها به عدد ۱۰۰ می‌رسد) و بدین‌ترتیب امتیازات مربوطه اولویت‌بندی روش‌ها را ممکن می‌سازد.

در جدول (۷) روش‌های مختلف کاهش تبخیر از نظر میزان بازده، مزایا و معایب با هم مقایسه شده‌اند. امتیاز برای هر روش از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice ۱۱ محاسبه گردیده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با

جدول ۷- مقایسه روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| ردیف | نام روش            | بازده (%) | مزایا                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | معایب                                                                                                                                                                                                                                                               | امتیاز |
|------|--------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ۱    | پوشش‌های شناور     | ۱۰۰-۳۰    | ۱. کاهش نفوذ نور و ایجاد جلبک و بهبود برخی جنبه‌های کیفی آب.                                                                                                                                                                                                                                                                         | ۱. کاهش زیستگاه‌های گیاهی و جانوری و به هم خوردن اکوسیستم، ۲. هزینه اولیه بالا، ۳. دشواری برای مخازن بزرگ، ۴. هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالا، ۵. عمر محدود (بسته به نوع محصول حدوداً ۱۰ تا ۱۵ سال)، ۶. محدودیت در اجرا، ۷. کاهش تماس جریان هوا با سطح آب.           | ۶/۶    |
| ۲    | پوشش‌های چند قسمتی | ۹۰-۵۰     | ۱. قابلیت تعمیر و تعویض هر بخش به صورت مجزا، ۲. کاهش جلبک، ۳. کاهش فعالیت‌های موجی، ۴. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۵. هزینه نگهداری کم، ۶. نصب آسان‌تر نسبت به پوشش‌های شناور                                                                                                                                                  | ۱. هزینه اولیه بالا، ۲. عمر محدود، ۳. تخریب در اثر بادهای شدید، ۴. سخت بودن اجرا در شرایط وزش باد.                                                                                                                                                                  | ۷/۴    |
| ۳    | ترکیبات سایه‌انداز | ۸۰-۵۰     | ۱. کاهش تشعشعات خورشیدی، ۲. کاهش سرعت باد، ۳. عدم تأثیر بر کیفیت آب، ۴. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۵. کاهش جلبک، ۶. بسته به نوع محصول حدوداً ۱۰ تا ۱۵ سال عمر می‌کند.                                                                                                                                                         | ۱. هزینه اولیه بالا، ۲. سخت بودن اجرا در شرایط وزش باد، ۳. محدودیت در اجرا، ۴. به هم خوردن اکوسیستم، ۵. هزینه نگهداری بالا.                                                                                                                                         | ۶/۵    |
| ۴    | آبدان‌ها           | ۱۰۰       | ۱. کاهش اثرات شرایط بی‌هوایی.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ۱. عدم امکان ورود آب باران به داخل آن، ۲. با افزایش زمان ماند کیفیت آب کاهش می‌یابد، ۳. به هم خوردن اکوسیستم، ۴. هزینه اولیه بالا، ۵. دشواری برای مخازن بزرگ، ۶. هزینه‌های تعمیر و نگهداری بالا، ۷. عمر محدود، ۸. محدودیت در اجرا، ۹. کاهش تماس جریان هوا با سطح آب | ۱۰/۷   |
| ۵    | انواع بادشکن       | ۳۵-۱۴     | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ۱. سخت‌شدن دسترسی به مخزن، ۲. در صورت استفاده از درختان به عنوان بادشکن: تخریب کناره‌ها و خاکریز مخزن توسط ریشه‌ها، ۳. عدم بازدهی برای مخازن بزرگ.                                                                                                                  | ۶/۶    |
| ۶    | تک‌لایه‌ها         | ۷۲-۲۰     | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۲. قابلیت اعمال در سطوح کوچک و بزرگ، ۳. زیست‌تجزیه‌پذیری سریع، ۴. اثرات زیست‌محیطی کم، ۵. سهولت در استفاده زمان‌بندی شده، ۶. هزینه اولیه و هزینه نگهداری متوسط و نسبتاً پایین، ۷. توانایی اجرا در شرایط موردنیاز، ۸. مناسب برای مخازن بزرگتر از ۱۰ هکتار و مخازنی که در تمام طول سال آب ندارند. | ۱. بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، ۲. رشد جلبک‌ها، ۳. نیاز به کاربرد مجدد در فواصل زمانی کوتاه، ۴. برای محیط‌های با باد شدید مناسب نیست.                                                                                                                                | ۴/۸    |
| ۷    | الکل‌های آلیفاتیک  | ۳۵-۲۳     | ۱. امکان ورود آب باران به داخل مخزن، ۲. قابلیت اعمال در سطوح کوچک و بزرگ، ۳. قابل تجزیه بیولوژیکی، ۴. اثرات زیست‌محیطی کم، ۵. سهولت در استفاده زمان‌بندی شده، ۶. هزینه اولیه و هزینه نگهداری متوسط و نسبتاً پایین، ۷. توانایی اجرا در شرایط موردنیاز، ۸. غیرسمی، ۹. مناسب برای مخازن آب آشامیدنی                                     | ۱. نیاز به کاربرد مجدد در فواصل زمانی کوتاه، ۲. برای محیط‌های با باد شدید مناسب نیست.                                                                                                                                                                               | ۴/۳    |
| ۸    | گیاهان آبی         | ۵۰-۱۰     | ۱. زیبایی، ۲. در برخی موارد پالاینده مواد سمی‌اند.                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ۱. باعث تخریب محیط‌زیست در هنگام خشکسالی می‌شود، ۲. در برخی موارد بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، ۳. در برخی موارد در حیات طبیعی اکوسیستم‌ها تأثیر دارند.                                                                                                               | ۶/۴    |

ادامه جدول ۷- مقایسه روش‌های مختلف کاهش تبخیر از سطح آزاد آب

| ردیف | نام روش                    | بازده (%)     | مزایا                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | معایب                                                                                                                                     | امتیاز |
|------|----------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| ۹    | طراحی ساختمان مخزن         | بسته به طراحی | ۱. عدم تأثیر بر کیفیت آب.                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ۱. منابع عمیق‌تر باعث تقویت پدیده لایه‌بندی آب در مخازن گشته که بر روی کیفیت آب موثر است، ۲. روشی پیچیده و نیازمند لوله‌ها و پمپ می‌باشد. | ۱۰/۱   |
| ۱۰   | مدیریت بهره‌برداری از مخزن | بسته به روش   | ۱. کاهش هزینه‌ها.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                           | ۷/۸    |
| ۱۱   | توپ‌های سایه               | ۹۰            | ۱. در اثر وزش باد کنار نمی‌روند، ۲. مقاوم در برابر نور ماورابنفش خورشید و تجزیه و تخریب، ۳. مانع انجام فعالیت‌های شیمیایی ۴. کاهش جلبک، ۵. بی‌خطر برای آبزیان و کیفیت آب، ۶. رسیدن اکسیژن و نور لازم آب، ۷. قابل استفاده در حوضچه‌های پرورش ماهی به دلیل جلوگیری از یخ‌زدگی در زمستان، ۸. عمر مفید ۲۵ سال. | ۱. هزینه تولید هر توپ در سال ۲۰۱۵، ۳۶ سنت بوده است.                                                                                       | ۱۲     |
| ۱۲   | پنل‌های خورشیدی            | ۸۰            | ۱. تولید برق، ۲. استفاده بهینه از فضای منابع آبی، ۳. جذب توربست، ۴. نسبتاً آسان و مقرون به صرفه، ۵. کاهش هزینه‌ها با افزایش تولید برق، ۶. حفظ کیفیت آب، ۷. عمر مفید ۲۵ سال، ۸. کاهش امواج و خوردگی مخزن، ۹. بر روی کیفیت آب تأثیری ندارد، ۱۰. اثرات زیست‌محیطی کم.                                         | ۱. هزینه اولیه نسبتاً بالا.                                                                                                               | ۱۰/۲   |
| ۱۳   | لایروبی مخزن               | ۳۰            | ۱. استفاده بهینه از فضای مخزن، ۲. افزایش عمر مخزن، ۳. افزایش کیفیت آب.                                                                                                                                                                                                                                     | ۱. هزینه‌های بالا، ۲. اجرای آن مشکل می‌باشد.                                                                                              | ۶/۵    |

### بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به منظور بررسی و معرفی انواع روش‌های کاهش تبخیر از سطح آزاد آب بوده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش‌های معرفی شده را با توجه به شاخص‌های اقتصادی (شامل زیر شاخص‌های هزینه اولیه، هزینه نگهداری و عمر مفید محصول)؛ شاخص‌های اجرایی (شامل زیرشاخص‌های سهولت اجرا و نیاز به نیروی متخصص در اجرا و بهره‌برداری)، شاخص‌های زیست‌محیطی (شامل زیرشاخص‌های حفظ کیفیت آب و حفظ اکوسیستم) و راندمان کل کاهش تبخیر، بررسی و مقایسه نموده و در نهایت به هر روش، امتیازی کلی اطلاق گردید که اولویت این روش‌ها بر یکدیگر را با توجه به شاخص‌ها و زیرشاخص‌های معرفی شده، مشخص می‌سازد که بدین شرح می‌باشد:

(۱) توپ‌های سایه؛ (۲) آبدان‌ها؛ (۳) پنل‌های خورشیدی؛ (۴) طراحی ساختمان مخزن؛ (۵) مدیریت بهره‌برداری از مخزن؛ (۶) پوشش‌های چندقسمتی؛ (۷) پوشش‌های شناور؛ (۸) بادشکن‌ها؛ (۹) ترکیبات سایه‌انداز؛ (۱۰) لایروبی مخزن؛ (۱۱) گیاهان آبی، (۱۲) تک‌لایه‌ها، (۱۳) الکل‌های آلیفاتیک.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به شاخص‌ها و زیرشاخص‌های در نظر گرفته شده، استفاده از توپ‌های سایه بیشترین امتیاز را بدست آورده است. این محصول با راندمانی حدود ۹۰٪، محصولی کم‌هزینه بوده و نیز دارای عمر مفید ۲۵

سال می‌باشد، به سادگی قابل اجرا است و به نیروهای متخصص نیازی ندارد. همچنین به علت فضای موجود بین توپ‌ها، اکسیژن امکان ورود به آب را دارد و بدین ترتیب تأثیر چندانی بر اکوسیستم و کیفیت آب نخواهد داشت. وجود این توپ‌ها روی سطح آب از ورود آلاینده‌هایی نظیر گردوغبار نیز به داخل آب جلوگیری می‌کند (فرزین و علی‌زاده صمنی، ۱۳۹۴). مبدع این روش شخصی ایرانی بوده و در دیگر کشورهای دنیا مورد استفاده قرار گرفته‌است، اما تاکنون کاربردی از این روش در داخل کشور گزارش نشده است.

قابل ذکر است که این مقایسات به طور نسبی صورت گرفته و شرایط محلی و محیطی مخزن مورد نظر نیز باید در انتخاب روش بهینه مورد توجه قرار گیرد.

پی‌نوشت

- 1- Analytical Hierarchy process (AHP)
- 2- Continuous Covers or Floating Covers
- 3- Modular Covers
- 4- Shade Structures
- 5- Water Bladders
- 6- Wind Break
- 7- Monolayer

- 8- Aliphatic alcohols
- 9- Saccharum munja
- 10- Sameura Dam
- 11- Tomisato Dam
- 12- Conservation Balls
- 13- Solar cell or photovoltaic cell

## منابع

- آلاشتی، م.ر. و غلامی سفیدکوهی، م.ع. ۱۳۹۶. کاهش تبخیر آزاد از سطح دریاچه سدها از طریق استحصال انرژی خورشیدی و تولید الکتریسیته (مطالعه موردی: سد البرز). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. انجمن هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
- آهنی، ع. و حسینعلی، ا. ۱۳۹۴. معرفی یک روش هوشمند برای کاهش تبخیر آب از سطح مخازن روباز. رویداد پیوند آب و انرژی شریف. کانون علمی فرهنگی دانشکده برق (رسانا). انستیتو آب و انرژی شریف، تهران، ایران.
- احمدیان، م. ۱۳۹۳. کاهش تبخیر منابع آبی با استفاده از نانومواد. اولین همایش منطقه‌ای دریا، توسعه و منابع آب مناطق ساحلی خلیج فارس. جهاددانشگاهی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- افخمی، ح. ملکی‌نژاد، ح. اسماعیل‌زاده، ع. و عزیزیان، ا. ۱۳۹۶. طراحی و ساخت پوشش فیزیکی فومتالات با استفاده از ضایعات پلیمری به منظور کاهش تبخیر از پساب‌های اسیدی؛ مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، ۳(۱): ۵۴-۶۵.
- امین‌نژاد، م. و ولی‌زاده، س. ۱۳۸۸. تبخیر از سدهای مخزنی و تأثیر آن بر میزان کاهش ذخیره آب و روش‌های کنترل آن. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها. دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- انصاری فر، م. و خادم‌آذریان، ن. ۱۳۹۳. تکنولوژی جدید برای کاهش میزان تبخیر منابع آبی بزرگ. هفتمین همایش ملی و همایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست. دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران، تهران، ایران.
- باقری اردبیلیان، پ. باقری اردبیلیان، م. و مسافری، م. ۱۳۸۷. بررسی روش‌های کاهش تبخیر از منابع و مخازن آب با نگاهی به وضعیت تبخیر در آبهای سطحی استان آذربایجان شرقی. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، تبریز، ایران.
- بحرینی مطلق، م. حسن‌پور، ف. امیری، م. غفوری فرد، س. و احمدیان، ر. ۱۳۹۱. پتانسیل کاهش تبخیر با استفاده از الکل‌های چرب. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
- بحرینی مطلق، م. حسن‌پور، ف. امیری، م. و طباطبایی، س.م. ۱۳۹۱. کاهش تبخیر با استفاده از روش‌های فیزیکی (مرور منابع). اولین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه، ابرکوه، ایران.
- پیری، م. حسام، م. دهقانی. ا. ا. و مفتاح هلقی، م. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر استفاده از روش‌های فیزیکی و شیمیایی بر کاهش تبخیر از سطح آب. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۷(۴): ۱۴۱-۱۵۴.
- دهقانیان، ع. کشاورز، س.ج. دشتی‌زاده، ن. و حیدریان، ف. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های کاهش میزان تبخیر از مخازن آب و بیان معایب و محاسن آن. دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی. مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی، قم، ایران.
- رنجبر، ا. مهدویان، ا. س. و مکنون، ر. ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از صفحات بتن سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخازن سدها. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران، ایران.
- سهرابی، ف. نیک‌نیزی، آ. و طایفه حسنلو، ع. ۱۳۹۱. ابداع روش نصب سیستم‌های فتوولتائیکی (خورشیدی) با هدف کاهش میزان تبخیر دریاچه ارومیه. پنجمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان اسلام، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- شمسایی، ا. و حسنی، ا. ۱۳۸۶. مروری بر روش‌های کاهش میزان تبخیر از سطوح آزاد آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک. اولین همایش سازگاری با کم‌آبی. ماهنامه مهرآب، تهران، ایران.
- فرزین، س. و علی‌زاده صنمی، ف. ۱۳۹۴. توپ سایه، تدبیری برای کاهش تبخیر آب مخازن سد. سومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، کشاورزی و توسعه شهری. دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- کاوایانپور، م. ر. کیانی، آ. و نوذری، ن. ۱۳۸۸. کاهش میزان تبخیر منابع آب با استفاده از الکل جوجوبا. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- مرادی مزرعه‌نو، ح. ر. طالبی، م. ص. و حسن‌زاده، م. ۱۳۹۲. ارزیابی کاهش تبخیر از استخرهای ذخیره آب کشاورزی با استفاده از پوشش یونولیتی (مطالعه موردی: منطقه عقدا). اولین همایش ملی کاربرد علوم و فناوریهای نوین در کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد، ایران.
- نوذری، ن. و میری، م. ۱۳۹۳. مقایسه نانو پوشش‌های اکواتین و واترسیور برای کاهش تبخیر در منابع آب با پوشش با پایه الکل جوجوبا. همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه. مرکز همایش‌های علمی همایش نگار، شیراز، ایران.
- یاوری‌زاده، م.م. و عارف‌زاده، ع. ۱۳۹۳. روش‌های نوین در استفاده از پلیمرها برای کاهش تبخیر از مخازن آب. همایش ملی

- ment and Evaluation of Equipment and Techniques. USBR contract NO: 14-06-D\_4387. prepared by Engineering Experiment station.
- Jennison I. 2003. Methods for reducing evaporation from storages used for urban water supplies. Final Report. GHD Department of Natural Resources and Mines Queensland.
- Katti S.S. Sansare S.D. 1970. Pressure-area isotherms, rates of spreading and equilibrium spreading pressures of n-alkoxypropanols and oxy butanols. *Journal of Colloid Interface Science*, 32(2): 361-366.
- Khan M. A. and Issac V. C. 1990. Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. *Journal of Hydrology*, 119: 21-29.
- Knights S. 2005. Reducing evaporation with chemical monolayer technology. *Australian Cottongrower*, 26(3): 32-33.
- Miller D.R. Rosenberg N.J. and Bagley W.T. 1973. Soybean water use in the shelter of a slat-fence windbreak. *Journal of Agricultural Meteorology*, 11: 405-418.
- Obrien R.N. 2006. Method for making a coated powder for reducing evaporative water loss. International Patent Application. WO 2006/012740 A1: 1-15.
- Santafe M. R. Gisbert P. S. F. Romero F. J. S. Soler J. B. T. Gozalez J. J. F. and Gisbert C. M. F. 2014. Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of Cleaner Productions*, 66: 568-570.
- Skidmore E.L. and Hagan L.J. 1970. Evaporation in sheltered as influenced by windbreak porosity. *Agricultural Meteorology*, 7: 363-374.
- Thoma A. F. 1973. Model tests with thin sheets to reduce evaporation. *Journal of Irrigation and drainage division*, 99(IR2): 117-131.
- Van Eimern J. Karshon R. Razumova L.A. and Robertson G.W. 1964. Windbreaks and Shelterbelts. Secretariat of the World Meteorological Organization. University of Minnesota.
- Wilson J. S. and Josiah S. J. 2004. Windbreak Design. Institute of Agriculture and Natural Resources. World Meteorol. Org Technical Note No: 59.
- راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه. مرکز همایش‌های علمی همایش نگار، شیراز، ایران.
- یزدان‌پرست، م. مساعدی، ا. خداشناس، س.ر. و گل‌کاریان، ع. ۱۳۹۵. تأثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر از دریاچه سد کارده. ششمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
- Alvarez V. M. Baille A. Martinez J. M. and Real M. G. 2006. Effect of black polyethylene shade cover on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4): 280-288.
- Barnes G.T. 2007. The potential for monolayers to reduce the evaporation of water from large water storages: a review. *Journal of Agricultural water management*, 95: 339-353.
- Burston I.A. 2002. Conservation of water from open storages by minimizing evaporation. PhD Thesis. RMIT University. Melbourne, Victoria. Australia.
- Cooley K. R. and Myers L. E. 1973. Evaporation reduction with reflection covers. *Journal of Irrigation and drainage division*, 99(IR3): 353-363.
- Craig I. 2005. Loss of storage water due to evaporation - a literature review. Technical Report. University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture. Toowoomba. Australia.
- Craig I. 2006. Evaporation Mitigation Technology (EMT) Manufactures Liaison Report. Technical Report. University of Southern Queensland, National Centre for Engineering in Agriculture. Toowoomba. Australia.
- Desai A.C. Iyer T.K. Tople V.M. 1990. Use of water evaporation retardants for water conservation. *Journal of Indian Water Works Assoc*, 193-194.
- Finn N. and Barnes S. 2007. The benefits of Shade-cloth cover for potable water storage. *Gale Pacific, East Gippsland Water, Supersan and CSIRO Textile & Fibre Technology*. Belmont, Victoria.
- Gibbins P. and Raine S. 2005. Evaporation of a hydrographic technique. *Agricultural Water Management*, 78 (2005): 209-221.
- Hedstrand G. 1924. The influence of thin surface films on the evaporation of Water. *Journal of Physical Chemistry*, 28: 1-12.
- Israelsen C. Earl Hansen. Vaughn E. 1963. Aerial Application of Evaporation Reducing Chemicals Develop-

## Investigation of Destructive Effects and Environmental Solutions of Sand and Gravel Extraction from Urmia Nazlouchay River

S. Chehreghani<sup>1\*</sup>, H. Hosseinzadeh gharehgheshlagh<sup>2</sup>, A. Abedi<sup>3</sup>

1,3- Assistant professor & MSc. Graduate, Department of Mining Engineering, Urmia University, Iran. 2- Assistant professor, Mining Engineering Department, Faculty of Environment, Urmia University of Technology, Iran.

\*(Corresponding Author Email: s.chehreghani@urmia.ac.ir)

Received: 03-11-2019

Accepted: 09-03-2020

## بررسی اثرات مخرب و راهکارهای محیط‌زیستی برداشت شن و ماسه از رودخانه نازلوچای ارومیه

سجاد چهره‌قانی<sup>۱\*</sup>، حجت حسین‌زاده قره‌قشلاق<sup>۲</sup>، علیرضا عابدی<sup>۳</sup>

۱ و ۳- به‌ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی، معدن دانشگاه ارومیه. ۲- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی ارومیه.

\*(نویسنده مسئول، Email: s.chehreghani@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۱۹

### Abstract

Excessive extraction of sand and gravel from the riverbeds entails many environmental problems. In this paper, the destructive environmental consequences of inordinate extraction of sand and gravel from the bed of the Nazlouchay river is investigated. Qualitative study and physical and chemical analysis of water of the Nazlouchay river at two sampling stations indicate the negative effect of sand and gravel mining activities, so that by increasing the amount of suspended particles from 20 to 98 milligrams per liter, the amount of total solid suspended particles is quintupled, and consequently, the water turbidity in the second station has increased 14 times. Excessive turbidity of the water of the Nazlouchay river and sedimentation of sludge in the lower bed as well as the instability of the riverbed due to sand and gravel extraction has caused the population of aquatic plants such as algae and macrophytes decrease sharply. even reach the brink of extinction. Other environmental consequences include: reduced quality of recreational, sportive, touristic landscape of the Nazlouchay river, bed erosion and river shore, and many other factors. Nowadays, the sand washing plant of the Nazlouchay with 1,800 tons of daily feed consumes more than 1,650 cubic meters of fresh water, and produces about 1,500 tons of screened sand and gravel. The wastewater of this sand washing plant with a solid content of about 10-15% is discharged into one of the extraction points site of the material as a tailings pond and sediment barrier. If the plant uses a Thickener system for water recycling by dewatering of its wastewater, the solid content of the waste output will be around 45% and the water consumption will be about 450 cubic meters, which will decrease to 27% of current water consumption. Also, if the paste tailing system is used in this plant, the water consumption will be only about 220 cubic meters per day, which is only 13% of current water consumption.

**Keywords:** Sand and Gravel, Environment, Nazlouchay, Thickener, Paste Tailing.

### چکیده

برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها مشکلات محیط‌زیستی فراوانی به همراه دارد. در این مقاله پیامدهای مخرب محیط‌زیستی برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه نازلوچای بررسی شده است. مطالعه کیفی و آنالیز فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه نازلوچای در دو ایستگاه نمونه‌برداری، نشان‌دهنده تأثیر منفی فعالیت کارگاه‌های شن و ماسه است. به‌طوری‌که با افزایش میزان ذرات معلق از ۲۰ به ۹۸ میلی‌گرم در لیتر، میزان ذرات جامد معلق افزایش ۵ برابری داشته و به تبع آن کدری آب در ایستگاه دوم ۱۴ برابر شده است. کدری بیش از حد آب رودخانه نازلوچای و ته‌نشست لای و لجن در طبقات زیرین و همچنین ناپایداری بستر رودخانه در اثر برداشت شن و ماسه سبب شده است، جمعیت گیاهان آبزی نظیر جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها به شدت کاهش یافته و حتی به مرز نابودی برسد. از دیگر پیامدهای محیط‌زیستی کاهش کیفیت تفریحی، ورزشی، توریستی چشم‌انداز رودخانه نازلوچای، فرسایش بستر و ساحل رودخانه و بسیاری از عوامل دیگر را می‌توان نام برد. در حال حاضر کارخانه ماسه‌شویی آب‌بند نازلوچای با ۱۸۰۰ تن خوراک روزانه و مصرف بیش از ۱۶۵۰ مترمکعب آب تازه، حدود ۱۵۰۰ تن شن و ماسه دانه‌بندی شده تولید می‌کند. پساب این کارخانه ماسه‌شویی با درصد جامد حدود ۱۰-۱۵ درصد در محل یکی از گودهای برداشت مصالح به‌عنوان سد باطله و رسوب‌گیر تخلیه می‌شود. در صورت استفاده این کارخانه از سیستم تیکتر برای آبگیری پساب و استفاده مجدد از آب برگشتی، درصد جامد پساب خروجی حدود ۴۵ درصد و میزان آب مصرفی آن حدود ۴۵۰ متر مکعب خواهد بود که به ۲۷ درصد وضعیت مصرف فعلی کاهش می‌یابد. همچنین اگر سیستم باطله خمیری در این کارخانه به‌کار گرفته شود، مقدار مصرف آب تنها حدود ۲۲۰ مترمکعب در روز خواهد بود که فقط ۱۳ درصد مصرف کنونی است.

**واژه‌های کلیدی:** شن و ماسه، محیط‌زیست، نازلوچای، تیکتر، باطله خمیری.



دلتای رودخانه و همچنین پدیده تداخل آب شور و شیرین به سمت بالادست رودخانه شده است (Jia و همکاران، ۲۰۰۷).

Sreebha و Padmalal (۲۰۱۱)، اثرات ناشی از برداشت شن و ماسه سه رودخانه مهم در جنوب غربی هند را با استفاده از روش ماتریس ساده ارزیابی اثرات محیط‌زیستی در سه محیط فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی بررسی کردند و راهکارهایی برای کاهش اثرات ارائه دادند.

Gavriletea (۲۰۱۷) محدودیت ذخایر شن و ماسه، استخراج غیرقانونی و همچنین اثرات زیست‌محیطی آنها بر روی تخریب رودخانه‌ها را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد تخریب رودخانه‌ها، از دست دادن تنوع زیستی و فرسایش خاک از جمله آثار منفی استخراج شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها می‌باشد.

در ایران صادقی و خالدي درویشان (۱۳۸۵) با مطالعه بر روی رودخانه واز در استان مازندران نشان دادند برداشت شن و ماسه سبب افزایش توان حمل رسوب رودخانه مذکور شده است. این افزایش، از طریق تغییر در دانه‌بندی رسوبات و به‌ویژه بالابردن غلظت رسوبات معلق و در نتیجه افزایش انرژی جریان آب اتفاق افتاده است.

جباری و فرضی (۱۳۸۸) پس از بررسی تاثیر برداشت شن و ماسه بر پویایی حمل رسوب و شکل بستر رودخانه رازآور کرمانشاه اعلام نمودند، در محل برداشت مصالح، مقدار غلظت بار معلق به شدت افزایش یافته ولی به تدریج از مقدار غلظت آن کاسته شده و بعد از فاصله تقریباً ۶۰۰ متری از محل برداشت، به حالت سابق خود برگشته است.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی اثرات نامطلوب برداشت شن و ماسه بر سیستم رودخانه شیرود تنکابن با انتخاب ۸ سایت نمونه‌گیری آب در طول رودخانه و در دو زمان کم‌آبی و پرآبی، پارامترهای کیفیت آب شامل دما، PH، TSS، TDS و هدایت الکتریکی (EC) کدورت و سختی را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند مقادیر هیچکدام از این متغیرها بیش از مقدار استاندارد نبود و رودخانه در شرایط نرمال قرار دارد. مهمترین پیامد ژئومورفولوژیک این برداشت‌ها، پایین رفتن و افت بستر رودخانه و احتمال ناپایداری کانال شیرود در طی سیلاب‌های زمستانه بوده است.

نتایج حاصل از اطلاعات محیط‌زیستی طرح آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور در سال ۱۳۹۴ مطابق شکل (۱) نشان می‌دهد از تعداد ۴۹۱۳ معدن در حال بهره‌برداری تعداد ۱۲۵۳ معدن (۲۵/۵ درصد) دارای پساب است. از این تعداد، معادن استخراج شن و ماسه، سنگ تزئینی و سنگ آهک به‌ترتیب ۴۹۵، ۳۳۷ و ۲۲۲ بود که بیشترین معادن دارای پساب به‌شمار می‌روند. (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴).

مصالح خرده‌سنگی که اصطلاحاً به آن شن و ماسه گفته می‌شود، پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی هستند. پیشرفت تمدن بشری در امر احداث سازه، نیاز بشر به شن و ماسه را افزایش داده است. امروزه آبرفت‌های رودخانه‌ای یکی از اصلی‌ترین منابع تامین شن و ماسه هستند، اما کمبود منابع رودخانه‌ای مناسب و اثرات مخرب محیط‌زیستی که استخراج این‌گونه منابع به همراه دارند، سبب شده در اکثر نقاط و به‌خصوص مناطقی که با مشکل کمبود و حفظ منابع آب مواجه هستند، تولید مصالح کوهی مورد توجه قرار گیرد. برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه بسته به حجم برداشت و روش آن، موجب تغییرات مورفولوژی، هیدرولیکی، محیط‌زیستی و اقتصادی می‌شود. دامنه این تغییرات فقط محدود به محل استخراج نیست بلکه گاهی تا کیلومترها دورتر از محل برداشت، آثار مخرب آن مشاهده می‌شود. برداشت شن و ماسه موجب حفر عمیق بستر رودخانه‌ها، افزایش رسوبات معلق و کدر شدن آب شده، همچنین روی گیاهان آبی، موجودات کف‌زی، جلبک‌های بستر و ماهیان رودخانه‌ها تاثیر می‌گذارد. برداشت مصالح رودخانه‌ای موجب ایجاد حفره‌هایی در بستر شده و به‌هم ریختن تعادل رسوبات رودخانه، سبب می‌شود، ظرفیت حمل رودخانه در پایین‌دست گودال بیشتر شده و موجبات کف‌کنی آن را فراهم می‌کند. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند برداشت شن و ماسه به میزان چند برابر بیشتر از ذخیره‌سازی طبیعی یک رودخانه، می‌تواند اثرات جدی داخلی و خارجی بر روی رودخانه داشته باشد و در نهایت منجر به تغییر شکل مسیر عبور آب، زیستگاه‌های فیزیکی و شبکه‌های غذایی می‌شود (معروفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

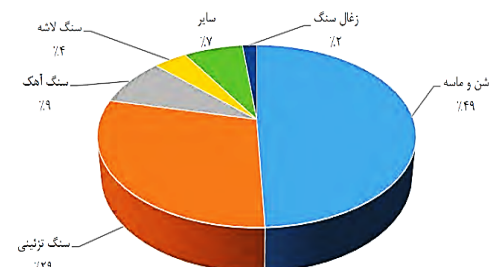
Kondolf و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه تاثیر برداشت شن و ماسه بر رژیم جریان و انتقال بار رسوبی در مناطق مختلف جهان به این نتیجه رسیدند که برداشت شن و ماسه و ایجاد چاله‌هایی به‌منظور برداشت، نه تنها باعث افزایش قدرت حمل رسوب در پایین‌دست و افزایش انتقال رسوبات بستری شده بلکه باعث گسترش چاله‌های برداشت به سمت بالادست نیز شده است.

Jia و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه بروی رودخانه دونگ-جیانگ در چین نشان دادند، برداشت مقادیر زیادی شن و ماسه رودخانه‌ای (۳۲/۳ میلیارد متر مکعب طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۲) موجب تغییرات قابل توجهی در افزایش ظرفیت کانال، پایین رفتن میانگین سطح بستر کانال، افزایش عمق جریان آب، کاهش شیب طولی بستر رودخانه، سیر تکاملی و روند تغییر شکل کانال، حرکات جزر و مدی در بازه‌های پایین‌دست و

است و مساحت کل حوضه آبریز آن ۱۹۸۰ کیلومتر مربع است. شاخه اصلی رودخانه پس از عبور از دشت ارومیه و روستاهای واقع در این دشت که در جوار رودخانه قرار دارند به دریاچه می‌پیوندد. بلندترین نقطه این حوضه آبریز در کشور ترکیه واقع شده که ۳۷۸۱ متر ارتفاع دارد، ارتفاع از غرب به شرق حوضه آبریز کاسته شده و شیب عمومی حوضه از غرب (ارتفاعات) به شرق (دشت) کاهش می‌یابد. شکل (۲) موقعیت رودخانه نازلو چای در استان آذربایجان غربی را نشان می‌دهد. منابع عمده آلوده کننده رودخانه نازلوچای عبارتند از: پساب‌های کشاورزی، پساب کارگاه‌های ماسه‌شویی، فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب‌های خانگی و روستایی که پساب‌های کشاورزی و کارگاه‌های ماسه‌شویی اصلی‌ترین منابع آلودکننده هستند (برهانی‌داریان و فاتحی، ۱۳۸۷).



شکل ۲- موقعیت حوزه آبریز نازلوچای در شمال غرب ایران (برهانی‌داریان، ۱۳۸۷)



شکل ۱- توزیع فراوانی معادن در حال بهره‌برداری دارای پساب بر حسب نوع فعالیت (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)

توزیع استانی معادن، نشان می‌دهد استان آذربایجان غربی اگرچه از نظر حجم تولید فاضلاب معدنی در رتبه ۱۵ کشوری قرار دارد، اما فراوانی معادن شن و ماسه سبب شده است این استان با داشتن ۹۲ معدن تولیدکننده پساب بعد از استان‌های اصفهان، کرمان و خراسان جنوبی و فارس در رتبه پنجم کشوری در تعداد معادن دارای پساب قرار گیرد. در این مقاله اثرات مخرب برداشت غیراصولی شن و ماسه از بستر رودخانه نازلو چای ارومیه مطالعه و راهکارهایی برای جلوگیری از عوامل مخرب محیط‌زیستی ارائه شده است.

#### - رودخانه نازلوچای:

رودخانه نازلوچای در ضلع شمالی شهرستان ارومیه و غرب دریاچه ارومیه واقع شده است. این رودخانه از آب‌های خط‌الرأس بلندی‌های مرز ترکیه و ایران سرچشمه می‌گیرد. رودخانه نازلوچای از حوضه‌های آبریز مهم دریاچه ارومیه

#### اثرات مخرب محیط‌زیستی برداشت شن و ماسه از رودخانه نازلوچای

##### -کاهش کیفیت تفریحی، ورزشی، توریستی چشم‌انداز رودخانه:

جریان آب موجود در رودخانه و پوشش گیاهی مناسب در مجاور، فرسایش‌های ایجاد شده در طول مدت‌های بسیار طولانی که سبب ایجاد مناظر زیبا شده، وجود جانوران آبی و بسیاری از عوامل دیگر باعث ایجاد جاذبه‌های توریستی و ایجاد مکان‌های ورزشی و تفریحی در محدوده اطراف نازلو چای بوده است. در سال‌های اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه تقریباً درصد بالایی از منطقه جاذبه‌های توریستی خود را از دست داده است (شکل ۳). همچنین در شکل (۴) گودبرداری‌های وسیع و نابودی باغات مجاور رودخانه به دلیل برداشت مصالح رودخانه‌ایی به وضوح نشان داده شده است.



شکل ۳- کاهش کیفیت تفریحی، توریستی چشم‌انداز رودخانه. (الف) منطقه گردشگری محدوده آب بند نازلو پیش از فعالیت کارگاه‌های شن و ماسه (ب) تخریب تفرجگاه بر اثر فعالیت کارگاه ماسه‌شویی

#### -افت کیفیت آب و آثار آن بر آبریان:

استخراج شن و ماسه از بستر رودخانه منجر به تولید مقدار زیادی ذرات ریز و معلق در رودخانه می‌شود. هنگام استخراج و شست‌وشوی شن و ماسه حتی اگر تمام اقدامات پیش‌گیرنده انجام شود باز هم مقداری از مواد ریز در رسوبات استخراج شده باقی می‌ماند که در صورت تخلیه به داخل رودخانه آن را آلوده می‌کند. شکل (۵) گل‌آلود شدن آب رودخانه بر اثر فعالیت کارگاه‌های اطراف رودخانه را نشان می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که به‌ازای هر تن مواد برداشت شده از بستر رودخانه، ۲۰۰ کیلوگرم ذرات رسوبی به رودخانه وارد می‌شود (معروفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱). طبق جدول (۱)، کدري آب ایستگاه‌های اول و دوم تفاوت قابل توجهی دارند. این تفاوت عمدتاً ناشی از فعالیت کارگاه شن و ماسه در این منطقه است. در اثر استخراج شن و ماسه در ایستگاه دوم، کدري آب ۱۴ برابر شده است. از آنجایی که کدري عمدتاً به علت وجود ذرات معلق است، افزایش میزان ذرات معلق قابل پیش‌بینی است.



شکل ۵- تعلیق مواد رسوبی و گل‌آلود شدن آب رودخانه بر اثر فعالیت کارگاه‌های اطراف رودخانه

باتوجه به جدول (۱)، غلظت ذرات معلق در ایستگاه دوم ۵ برابر شده است. برداشت شن و ماسه علاوه بر افت مستقیم کیفیت زیستگاه و افزایش کدورت جریان ممکن است به‌طور موقت نفوذ نور را در ستون آب کاهش دهد و از آنجایی که بیشترین فعالیت‌های برداشت در طول روز صورت می‌گیرد، به‌طور مستقیم شدت فتوسنتز گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مشکل بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنها کم آبی نبوده بلکه عدم وجود کیفیت مناسب آب‌های موجود نیز مطرح است. حتی اگر غلظت مواد موجود در آب کم باشد، اما نقش زیادی در وضعیت استفاده از آن برای آشامیدن،



شکل ۴- تصاویر مربوط به گودهای حاصل از برداشت مصالح رودخانه‌ای در باغات مجاور رودخانه (Google Earth)

#### -کاهش کیفیت آب:

برداشت رسوبات آبرفتی و بهره‌برداری بی‌رویه از بستر رودخانه نازلوچای ضمن بالا رفتن سطح اثرات زیان‌بار آلودگی مکانیکی، موجب تغییرات مورفودینامیکی در منطقه برداشت می‌شود. بروز این تغییرات در اکولوژی رودخانه سبب دگرگونی در ترکیب و تعادل جمعیت زیستی رودخانه شده و در نتیجه باروری و کارکرد اکوسیستم و رژیم رودخانه را به شدت کاهش می‌دهد. باتوجه به بررسی‌های انجام شده، بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه شن و ماسه از بستر رودخانه نازلوچای باعث اختلال شدید در تعادل بیولوژیک و اکولوژیک رودخانه می‌شود. این اقدام به دلیل عمیق‌ترسازی بستر و تشدید فرسایش در حاشیه رودخانه و افزایش بار محیط‌زیست با مواد رسوبی معلق (TSS) در نتیجه تخلیه آب مورد استفاده در شست‌وشوی شن و ماسه و همین‌طور عملیات بهره‌برداری از شن و ماسه در رودخانه، سه اثر بنیادی تغییرات در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه، تغییر در الگوی جریان طبیعی آب و در نتیجه تغییر و دگرگونی در مقطع طولی و عرضی رودخانه دارد. (معروفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱).

برای مطالعه کیفی و آنالیز فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه نازلوچای در تحقیقی که توسط معروفی‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) صورت گرفته است، دو ایستگاه در نقاطی که بیشترین تفاوت محیطی را نسبت به هم داشتند، انتخاب شده است. ایستگاه اول بعد از خروجی آب رودخانه از سد نازلو انتخاب شده است که به دلیل عدم وجود هیچ‌گونه کانون آلودگی و کارگاه ماسه‌شویی بیانگر کیفیت آب رودخانه نازلوچای در شرایط طبیعی است. ایستگاه دوم در پایین‌دست محدوده کارگاه‌های شن و ماسه واقع شده و نشان‌دهنده تأثیر منفی فعالیت این کارگاه‌ها است. نتایج حاصل از نمونه‌برداری ایستگاه‌های تعیین شده در جدول (۱) نشان داده شده است.



کشاورزی و صنعت دارد. کدري بیش از حد آب رودخانه نازلوچای و ته‌نشست لای و لجن در طبقات زیرین و همچنین ناپایداری بستر رودخانه در اثر برداشت شن و ماسه سبب شده است تا جمعیت گیاهان آبی نظیر جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها در ایستگاه دوم به شدت کاهش یافته و حتی به مرز نابودی برسد. به‌طوری‌که تراکم جمعیت دیاتومه‌ها در ایستگاه دوم تا حدود ۹۵ درصد نسبت به ایستگاه اول کاهش داشته است. همچنین تأثیر منفی رسوبات معلق با مسدودکردن آبشش

ماهیان بروز می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است از سه گونه ماهی شناسایی شده در ایستگاه اول و بالادست واحدهای شن و ماسه، هیچ یک از این گونه‌ها در ایستگاه دو و پایین‌دست کارگاه‌های ماسه‌شویی شناسایی نشده است. برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه ضمن وادارکردن ماهیان به مهاجرت به بالادست رودخانه، عملاً با فرسایش بستر رودخانه، محل تخم‌ریزی ماهیان را از بین برده و تأثیر زیان‌باری بر تولید مثل جمعیت ماهیان داشته است (معروفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۱- مقادیر متوسط پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده رودخانه نازلوچای (معروفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

| ایستگاه | مشخصات جغرافیایی |             | PH   | Cond<br>ms/cm | Turb<br>JTU | Temp<br>°C | DO<br>mg/l | TDS<br>mg/l | TSS<br>mg/l | COD<br>mg/l | BOD<br>mg/l |
|---------|------------------|-------------|------|---------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|         | E                | N           |      |               |             |            |            |             |             |             |             |
| اول     | ۴۰° ۴۰/۵۱۰'      | ۳۷° ۴۰/۵۱۰' | ۸/۰۳ | ۰/۴۸۹         | ۳۵          | ۸/۵        | ۷/۸۹       | ۵۰۰         | ۲۰          | ۴           | ۱           |
| دوم     | ۳۷° ۰۳/۰۳۵       | ۴۵° ۴۰/۵۱۰' | ۸/۱۰ | ۰/۵۰۶         | ۵۰۶         | ۱۱         | ۶/۷۵       | ۵۲۰         | ۹۸          | ۱۶/۷        | ۳           |

#### فرسایش بستر و ساحل رودخانه:

برداشت مصالح از رودخانه‌ها عموماً موجب ایجاد حفره‌ها و حوضچه‌های بزرگ در مسیر جریان رودخانه می‌شود و با افزایش عمق جریان ورودی و کاهش سریع سرعت آن، بخشی از رسوبات در حال حمل در این حوضچه‌ها رسوب می‌کند، این امر موجب به‌هم خوردن تعادل و توازن عمومی رودخانه گشته و پارامترهای مختلف هیدرولیکی آن مانند عمق جریان، شیب بستر و بار رسوبی جریان دستخوش تغییر خواهد شد. اثرات برداشت شن و ماسه بر نیمرخ طولی بستر رودخانه، مورفولوژی و محیط‌زیست در شکل (۶) کاملاً مشهود است و همچنین اثرات زیست‌تخریبی بر اجتماعات گیاهی و جانوری، پل‌ها، تاسیسات آبی حاشیه‌ای نیز در معرض خطر قرار گرفته و به‌ویژه در مواقع سیلاب بر اثر تغییرات هیدرولیکی و مورفولوژیکی این مسئله نمود بیشتری پیدا می‌کند.



شکل ۶- فرسایش کناری در بستر رودخانه

#### راهکارهایی برای جلوگیری از عوارض مخرب محیط‌زیستی معادن شن و ماسه

**جایگزینی مصالح رودخانه‌ای با شن و ماسه کوهی:**  
اگر برداشت شن و ماسه تحت اصول فنی مناسب و مدیریت صحیح صورت گیرد، نه تنها تبعات منفی آن در بستر رودخانه به حداقل می‌رسد، بلکه به‌عنوان مثال با برداشت جزایر رسوبی در مسیر جریان، عملکرد رودخانه و پایداری آن نیز افزایش می‌یابد. متأسفانه در حال حاضر خسارات و تبعات منفی برداشت مصالح از بستر و حریم رودخانه‌ها بیش از منافع آن می‌باشد. طی دو دهه گذشته در اکثر رودخانه‌ها و مناطق مختلف کشور تخریب پل‌ها، از کار افتادن دهانه‌های آبگیرها (به‌دلیل پایین افتادن بستر رودخانه‌ها) و انواع خسارات محیط‌زیستی ناشی از برداشت غیر اصولی و بی‌رویه شن و ماسه از رودخانه‌ها اتفاق افتاده است. بررسی نظام بهره‌برداری مصالح شن و ماسه از رودخانه‌ها نشان‌دهنده وجود مشکلات متعدد از نظر دستگاه متولی، مسائل مالی و حقوقی و از دیدگاه فنی می‌باشد. در طی سال‌های گذشته در بسیاری از استان‌های کشور همچون گلستان، خوزستان، مازندران و به تازگی خراسان رضوی برداشت مصالح از بستر رودخانه‌ها و زمین‌های مجاور آن ممنوع شده است. باتوجه‌به نیاز جوامع در حال توسعه به این مصالح کلیدی، این امر در شرایط فعلی و باتوجه‌به طرح‌های عمرانی متعدد در کشور امکان‌پذیر نیست و لذا معرفی منابع جدید تامین مصالح شن و ماسه و ارائه راهکارهایی برای کاهش عوارض محیط‌زیستی

خواهد شد (چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۹۶). در یکی از معادن شن و ماسه مجاور رودخانه نازلوچای، یکی از گودهای حاصل از برداشت مصالح به عنوان سد رسوب‌گیر اختصاص یافته و پساب خروجی کارگاه ماسه‌شویی در آن تخلیه می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷- سد رسوب‌گیر پساب کارگاه ماسه شویی نازلوچای

تجمع رسوب به‌دست آمده از طریق سد رسوب‌گیر می‌تواند برای پوشش سطحی گودبرداری‌هایی که در حال بازسازی هستند به‌عنوان لایه خاکی قابل کشت به‌کار گرفته شود. اگرچه استفاده از سد رسوب‌گیر از آلودگی آب در پایین‌دست کارگاه ماسه‌شویی می‌کاهد، اما با توجه به اینکه کل مصرف آب کارگاه ماسه‌شویی از آب تازه رودخانه تامین می‌شود و آب جمع شده در سد رسوب‌گیر برای استفاده مجدد به کارگاه برگردانده نمی‌شود، از منافع سد باطله کاسته می‌شود.

#### -گزینه‌های مبتنی بر رهیافت‌های نوین:

امروزه با پیشرفت تکنولوژی، سامانه جمع‌آوری و دفع پساب‌های صنعتی دستخوش تحولات اساسی شده و روش‌های نوینی برای مدیریت پساب‌های صنعتی ابداع شده است. راه‌های مختلفی برای جداسازی آب از مواد باطله وجود دارد، استفاده از تغلیظ کننده (تیکتر) یکی از این روش‌ها است، با قرار دادن دوغاب (اسلاری<sup>۲</sup>) در مخازن و ایجاد سکون، ذرات سنگین‌تر ته‌نشین و از کف مخازن خارج می‌شوند. استفاده از مواد منعقدکننده و ایجاد پل بین ذرات کلوئیدی باعث سنگین شدن ذرات همراه اسلاری و ته‌نشینی سریعتر آنها می‌شود. استفاده از این مواد ظرفیت جداسازی آب را افزایش داده و می‌توان اسلاری با دانسیته بین ۴۵ تا ۵۵ درصد مواد جامد از آن به‌دست آورد. در صورت نیاز به درصد مواد جامد بیش از این می‌توان با استفاده از فیلترهای خلا دوار و یا تسمه‌های خلا نسبت به جداسازی مقدار آب بیشتر و ایجاد

معادن رودخانه‌ای موجود از ضروری است. خصوصیات منحصر به فرد مصالح کوهی یا شکسته از جمله نوع مصالح، یکنواخت بودن سنگدانه‌های تولیدی از لحاظ جنس، سن، دوام و مقاومت آن‌ها باعث شده هم‌اکنون در برخی از پروژه‌ها همچون بخش‌های خاصی از راه‌سازی، تولید بالاست و غیره از این مصالح استفاده شود. علاوه بر آن این مصالح معمولاً فاقد مواد خارجی و مواد آلی می‌باشند، کیفیت بهتری دارند. جایگزینی معادن شن و ماسه رودخانه‌ای با شن و ماسه کوهی با توجه به مزایایی مانند ایجاد فرصت جهت بازسازی طبیعی رودخانه‌ها، به حداقل رساندن مخاطرات و مسائل و مشکلات فعلی موجود، در جلوگیری از برداشت بی‌رویه از رودخانه‌ها، جلوگیری و کاهش اثرات ناشی از حوادث غیر مترقبه در روستاهای حاشیه رودخانه می‌تواند راهکار موثری در کاهش عوارض مخرب محیط‌زیستی معادن شن و ماسه باشد. لازم به ذکر است رعایت اصول و الزامات محیط‌زیستی در توسعه این دست از معادن ضروری است.

#### -بازیابی آب و کاهش عوارض ناشی از پساب در کارگاه‌های ماسه‌شویی:

گزینه‌های متعددی جهت طراحی سامانه جمع‌آوری و بازیابی پساب‌های صنعتی و جلوگیری از خطرات زیست‌محیطی آن‌ها قابل طرح و بررسی است. این گزینه‌ها که هر کدام ویژگی‌های فنی و اقتصادی متعددی دارند، به دو گروه عمده قابل تقسیم‌بندی است. گروه نخست گزینه‌های مبتنی بر روش‌های سنتی مانند سد باطله را شامل می‌شود و گروه دوم شامل گزینه‌هایی است که شیوه‌های مدرن دفع پساب‌های صنعتی در آنها مد نظر قرار می‌گیرد.

#### -گزینه‌های مبتنی بر رهیافت‌های سنتی:

در این گزینه‌ها ساخت سد باطله اجتناب ناپذیر بوده و این سازه‌های پرهزینه جزو ارکان اصلی سامانه جمع‌آوری و دفع پسماند خواهند بود. سد باطله سدی است از نوع خاکریز و برای نگهداری پسماند دوغابی کارخانه‌ها ساخته می‌شود. سدهای باطله به سدهای رسوب‌گیر معروف هستند و برای دو هدف در نظر گرفته می‌شود: الف) ذخیره کردن دوغاب باطله، ب) تأمین ذخیره موقت آب. این ذخیره پس از آن‌که به مقدار کافی تصفیه و زلال شد، به رودخانه ریخته می‌شود و یا آنکه مجدداً به کارخانه برمی‌گردد (Cincilla و همکاران، ۱۹۹۸). انتخاب محل سد باطله ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی ویژه‌ای را طلب می‌کند. ایجاد سد باطله به‌خصوص برای کارخانه‌هایی که در نواحی خشک واقع هستند، ضروری است زیرا در این مناطق کمبود آب موجب تعطیلی کارخانه و کاهش تولید



خمیر با درصد مواد جامد بالا اقدام نمود. استفاده از سامانه تولید باطله خمیری و کاهش محتوای آب باطله تا بیشینه مقدار ممکن PPSM<sup>۲</sup> یکی از این گزینه‌ها است. ایجاد باطله خمیری با درصد آب کمتر، دانسیته و ویسکوزیته بالا یکی از راه‌های کاهش خطرات احتمالی آلودگی محیط‌زیست و کاستن مشکلات بعدی در مرحله بازسازی و احیا منطقه سد باطله است.

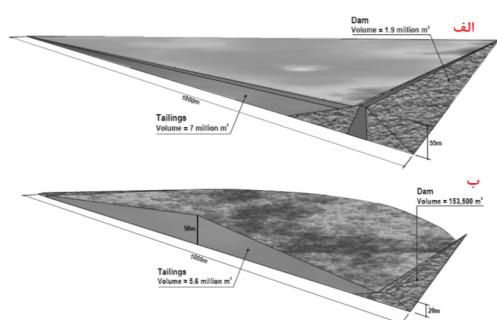
PPSM روش نوینی است که در آن با تغییراتی که در ساختار تیکتر داده می‌شود، ترکیبی از مجموعه تیکتر و فیلتر ایجاد می‌شود (Cincilla و همکاران، ۱۹۹۷). به عبارتی سیستم پیشرفته تیکتر است در یک مرحله کار هر دو سیستم تیکتر و فیلتر را انجام می‌دهد و باطله خمیری با دانسیته بالا تولید می‌کند. در این سامانه امکان افزایش میزان ذرات جامد پساب تا حدود ۷۵ درصد به راحتی امکان‌پذیر است (حقیر چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۹۰).

شکل (۸-الف) باطله معمول خروجی از کارخانه‌های فراوری را نشان می‌دهد که به صورت اسلاری و با میزان جامد حداکثر تا ۵۵ درصد است. این باطله حالت روان آب داشته و بلافاصله بعد از تخلیه، همراه با ته‌نشست ذرات جامد، حجم قابل توجهی از آب را که پتانسیل جریان در سطح یا نفوذ به داخل زمین را دارد، آزاد می‌کند. در کارگاه‌های معمول شن و ماسه از تیکتر استفاده نمی‌شود، درصد جامد پساب بسیار پایین و معمولاً کمتر از ۱۵ درصد جامد است. در شکل (۸-ب) باطله خمیری با میزان جامد تا ۷۵ درصد نشان داده شده است که هیچ تراوش آبی را پس از تخلیه نخواهد داشت و یا میزان آن تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. از این رو خطرات محیط‌زیستی ناشی از آب‌های سطحی و زیرزمینی تا حد زیادی برطرف خواهد شد (حقیر چهره‌قانی و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل ۸- باطله فرآوری مواد معدنی در دو حالت (الف) اسلاری و (ب) باطله خمیری (Crowder، ۲۰۰۳)

برخی از مزیت‌های این سامانه به شرح زیر است: الف) کاهش میزان مواد ورودی به حوضچه سد و در نتیجه نیاز به سدی با ظرفیت کمتر، همان‌طور که در شکل (۹) قسمت الف نشان داده شده است، اگر باطله معدن به صورت اسلاری معمول باشد، در این مثال مخزن سد باطله باید ۷ میلیون مترمکعب گنجایش مواد را داشته باشد و بدنه سد با مصالحی بالغ بر ۱/۹ میلیون تن و به ارتفاع ۵۵ متر ساخته شود. درحالی‌که با استفاده از تکنولوژی باطله خمیری (قسمت ب شکل ۹)، حجم کلی مواد تخلیه شده در سد باطله از ۷ میلیون مترمکعب به ۵/۶ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و ارتفاع بدنه سد ۲۰ متر و مصالح مورد نیاز برای ساخت بدنه به اندازه ۱۵۳۵۰۰ مترمکعب خواهد بود.



شکل ۹- مقایسه ابعاد و حجم سد باطله در دو حالت (الف) باطله اسلاری و (ب) باطله خمیری (Crowder، ۲۰۰۳)

ب) کاهش ظرفیت سد باعث کوتاه‌تر شدن ارتفاع دیواره سد شده و در نتیجه خطر خرابی و ویرانی سد کاهش می‌یابد. ج) پس از خاتمه بهره‌برداری و بسته شدن سد، مشکلات بازسازی سد پر شده با باطله خمیری، به مراتب کمتر از سد محتوی باطله غیرخمیری خواهد بود. د) در صورت سمی بودن باطله، چون در باطله خمیری درصد بیشتری از آب همراه با مواد سمی از مواد باطله جدا و به کارخانه برگشت داده می‌شود، خطرات احتمالی و آسیب‌های محیط‌زیستی بعدی بسیار کمتر از باطله‌های پرآب خواهد بود. ه) هزینه آب‌بند کردن سد به علت عدم جدایی آب از فاز جامد باطله، وجود نخواهد داشت. و) مصرف آب تازه و مواد شیمیایی به نحو موثری کاهش می‌یابد. ز) به علت کاهش رطوبت مواد، در سامانه PPSM فشار وارد بر دیواره سد باطله به نحو موثری کاهش می‌یابد (Crowder، ۲۰۰۳).

در حال حاضر کارخانه ماسه‌شویی آب‌بند نازل‌چای با ۱۸۰۰ تن خوراک ورودی در روز، حدود ۱۵۰۰ تن شن و ماسه دانه‌بندی شده قابل فروش تولید می‌کند. بر اساس ارزیابی‌های به عمل

آمده پساب کارخانه ماسه‌شویی با درصد جامد حدود ۱۵ درصد در محل یکی از گودهای برداشت مصالح به‌عنوان سد باطله و رسوب‌گیر تخلیه می‌شود. این امر به معنای مصرف روزانه بیش از ۱۶۵۰ مترمکعب آب تازه است. درحالی‌که اگر این کارخانه از سیستم تیکز برای آبیگری پساب استفاده نماید و درصد جامد پساب خروجی خود را به ۴۵ درصد برساند میزان آب مصرفی آن حدود ۴۵۰ متر مکعب خواهد بود و برابر با ۲۷ درصد وضعیت مصرف فعلی خواهد بود. همچنین اگر سیستم PPSM در این کارخانه به‌کار گرفته شود، مقدار مصرف آب تنها حدود ۲۲۰ مترمکعب در روز خواهد بود که فقط ۱۳ درصد مصرف کنونی است.

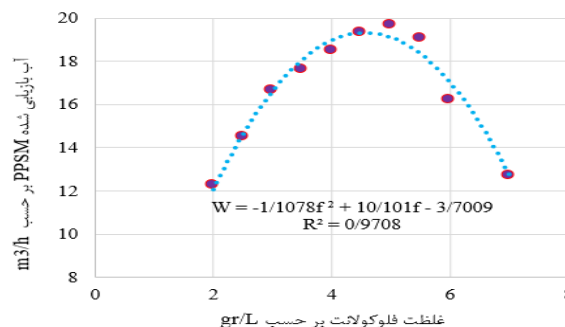
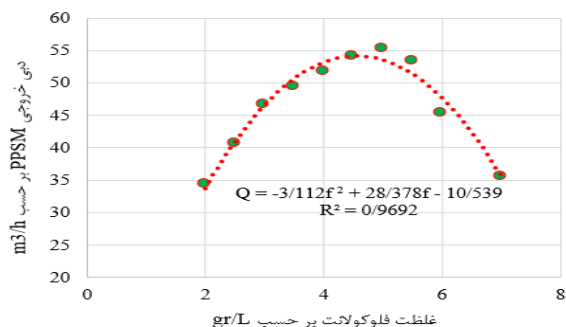
#### -روش تعیین میزان مواد منعقد کننده و بازیابی آب در سیستم PPSM:

بخش قابل توجهی از مشکلات کارگاه‌های ماسه‌شویی مربوط به وجود کانی‌های رسی همراه با شن و ماسه و نیز تولید نرمه‌های رسی در مراحل سنگ‌شکنی و ورود دوباره آنها به بستر رودخانه است که مشکلات محیط‌زیستی فراوانی را در مراحل مختلف به‌وجود می‌آورد. ته‌نشینی نرمه‌ها در تغلیظ کننده توسط مواد منعقد کننده (فلوکولانت‌ها) انجام می‌شود. منعقد کننده‌ها مواد شیمیایی هستند که از آنها برای جمع‌آوری کلوئیدها و دیگر ذرات جامد در اسلاری یا پالپ<sup>۴</sup> استفاده می‌کنند و در فرایند تصفیه آب برای بهبود ته‌نشینی مواد ریز به‌کار می‌روند. باتوجه‌به اینکه وظیفه مواد منعقدکننده کاهش خاصیت دفع الکترواستاتیکی بین ذرات و به‌وجود آوردن خاصیت جذب بین ذرات است، منعقدکننده مورد مصرف باید از نوع با بار مثبت بیشتر باشد، زیرا درصد زیادی از سنگ ورودی را خاک رس تشکیل می‌دهد که دارای بار منفی است. ازاین‌رو برای افزایش بازیابی آب در کارخانه ماسه‌شویی اقدام به استفاده از مواد منعقدکننده نوع AQUISOL شده است، رسوب جامدات با استفاده از این مواد در داخل سد باطله نیز ادامه می‌یابد. باتوجه‌به اینکه به‌کارگیری سیستم تیکز خمیری در معادن شن و ماسه دارای

سابقه و پیشینه‌ای در ایران نبوده است، لذا اقدام به گزارش و تحلیل نتایج به‌کارگیری و مصرف این مواد در یک مجموعه فراوری طلا صورت می‌گیرد. برای به‌دست آوردن میزان مواد منعقدکننده بهینه در کارخانه فراوری معدن طلای آق‌دره تکاب، ظرفیت قابل خروج PPSM برای ۱۰ مقدار مختلف، مواد منعقدکننده اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است، در این کارخانه قبل از سیستم PPSM از تیکز برای آبیگری پساب فراوری استفاده شده، که درصد جامد خروجی تیکز ۵۵ درصد می‌باشد و این درصد ارقام بازیابی آب مربوط به اختلاط سیستم تیکز و سیستم PPSM می‌باشد. در این تحقیق استفاده از مواد منعقدکننده از مقدار ۲ گرم در لیتر تا ۷ گرم در لیتر با دامنه تغییر ۰/۵ گرم در لیتر آزمایش و در هر مرحله میزان خروجی سیستم PPSM و مقدار آب بازیابی شده اندازه‌گیری شد. ظرفیت اندازه‌گیری شده میانگین دبی خروجی PPSM در بازه زمانی دو روز و با مقادیر مواد منعقدکننده مندرج در جدول (۲) به ازای هر آزمایش است. کل دوره آزمایش شامل ۲۰ روز کاری است و در هر دو روز مقدار مواد منعقدکننده ۰/۵ گرم در لیتر افزایش داده شده و نتایج برای ده مرحله مختلف آزمایش ثبت شده است. نتایج این آزمایش در جدول (۲) و روند تغییرات دبی خروجی PPSM و مقدار آب بازیابی شده به‌ازای مقدار مواد منعقد کننده مصرفی در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت فلوکولانت از ۲ گرم تا ۵ گرم در لیتر، ظرفیت PPSM و میزان آب بازیافتی افزایش می‌یابد؛ اما در غلظت‌های بالاتر به‌علت حبس آب در بین ذرات، انفصال مجدد ذرات و چسبیدن خمیر به پاروی PPSM، ظرفیت PPSM و بازیابی آب کاهش می‌یابد. لذا بر اساس نتایج یک آزمایش طی ۲۰ روز، بهترین غلظت مواد منعقدکننده در کارخانه آق‌دره ۵ گرم در لیتر تعیین شده است. در صورت طراحی و به‌کارگیری این سیستم برای معادن شن و ماسه، باید با توجه به تفاوت غلظت پالپ اولیه، نوع باطله و جامد درگیر آزمایشات مستقیم و دقیقی انجام گیرد.

جدول ۲- ظرفیت سیستم PPSM برای ۱۰ مقدار مختلف از فلوکولانت آزمایش شده

| غلظت فلوکولانت<br>(gr/L) | f | ۲     | ۲/۵   | ۳     | ۳/۵   | ۴     | ۴/۵   | ۵     | ۵/۵   | ۶     | ۷     |
|--------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| دبی خروجی<br>PPSM (m3/h) | Q | ۳۴/۴۵ | ۴۰/۷۸ | ۴۶/۷۲ | ۴۹/۵۰ | ۵۱/۸۷ | ۵۴/۲۴ | ۵۵/۴۳ | ۵۳/۴۵ | ۴۵/۵۱ | ۳۵/۶۳ |
| آب بازیابی شده<br>(m3/h) | W | ۱۲/۳۰ | ۱۴/۵۶ | ۱۶/۶۹ | ۱۷/۶۸ | ۱۸/۵۳ | ۱۹/۳۷ | ۱۹/۷۰ | ۱۹/۰۹ | ۱۶/۲۵ | ۱۲/۷۳ |



شکل ۱۰- روند تغییرات دبی خروجی PPSM و مقدار آب بازیابی شده به ازای فلوکولانت مصرفی در کارخانه آق‌دره

۲۷ درصد وضعیت مصرف فعلی کاهش می‌یابد. همچنین اگر سیستم باطله خمیری به کار گرفته شود، مقدار مصرف آب تازه حدود ۱۳ درصد مصرف کنونی خواهد بود. از دیگر راهکارهای کاهش عوارض برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها، تدوین و اجرای برنامه‌های بلندمدت جهت احیای مناطق برداشت شده و همچنین محدود کردن برداشت شن و ماسه در مناطق حساس، ممنوعیت برداشت شن و ماسه در رودخانه‌های حفاظت شده و سیاست‌گذاری و حرکت به سمت افزایش سهم سایر منابع شن و ماسه و مصالح دانه‌بندی شده به غیر از رودخانه‌ها است.

#### پی‌نوشت

- 1- Total Suspended Solids
- 2- Slurry
- 3- paste production and storage mechanism
- 4- pulpe

#### منابع

برهانی داریان، ع. و فاتحی مرج، ا. ۱۳۸۷. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی مطالعه موردی: حوضه آبریز نازلوچای، مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، ۳۵(۳):۲۵-۳۶.

جباری، ا. و فرضی ه. ۱۳۸۸. تولید شن و ماسه و نتایج آن در تغییر الگوی حمل بار رسوب رودخانه رازآور، مجله تحقیقات جغرافیایی، ۲۴(۲):۱۴۵-۱۶۰.

حسین‌زاده، م.، نیکو شیروود ع. و اسماعیلی ر. ۱۳۹۷. اثرات نامطلوب برداشت شن و ماسه بر سیستم رودخانه‌ای، مطالعه موردی: رودخانه شیروود تنکابن (استان مازندران)؛ پژوهش‌های دانش زمین، ۹(۳۴):۱۶۵-۱۷۵.

حقیر چهره‌قانی، س.، حسین‌زاده، ح.، سمیعی فرد، ر. و علی‌پور

#### نتیجه‌گیری

بهره‌برداری از معادن مصالح رودخانه‌ای علی‌رغم اثرات مثبت بروی اشتغال و درآمدزایی، فراهم آوردن خدمات و زیرساخت‌ها در منطقه، در صورت استخراج بی‌رویه پیامدهای مخرب محیط‌زیستی مانند کاهش کیفیت تفریحی، ورزشی و توریستی چشم‌انداز رودخانه، رسوبات معلق و آثار آن بر آبریزان، افزایش غلظت مواد رسوبی در آب رودخانه، فرسایش بستر و ساحل رودخانه، تخریب اجتماعات گیاهی و جانوری، کاهش ظرفیت خود پالایی رودخانه، ایجاد گودال و آبگیر در رودخانه، عریض‌تر شدن کانال رودخانه و بسیاری از عوامل دیگر خواهد داشت. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی، نظارت‌های پیوسته عملیات مجاز از طرف سازمان‌های مربوطه و الزام به به‌کارگیری روش‌ها و اصول صحیح، استخراج و دفع پساب است. این مورد می‌تواند تاثیر زیادی در کاهش پیامدهای منفی برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه داشته باشد. در حال حاضر در اکثر کارگاه‌های شن و ماسه‌شویی هیچ اثری از سد رسوب‌گیر، بازیافت آب و به‌کارگیری آب برگشتی و سایر مواردی که از مصرف آب تازه و عوارض محیط‌زیستی کارگاه‌های ماسه‌شویی می‌کاهند، مشاهده نمی‌شود. هزینه آب مصرفی این کارگاه‌ها اندک است، (به‌عنوان مثال حق آبه یک کارگاه ماسه‌شویی با برداشت روزانه بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب و مجوز نصب دو عدد پمپ آبکشی هریک با قطر خروجی ۳ اینچ) سالیانه حدود ۱۵۰ میلیون ریال است که در قیاس با سایر هزینه‌های یک کارگاه ماسه‌شویی بسیار ناچیز بوده و رغبتی در بهره‌بردار برای مهار و به‌کارگیری آب برگشتی کارخانه ایجاد نمی‌کند. به نظر می‌رسد که شاید افزایش هزینه تامین آب مصرفی این کارگاه‌ها می‌تواند حداقل انگیزه لازم برای مدیریت پساب را ایجاد نماید.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، در صورت استفاده از سیستم تیکز برای آبگیری پساب و استفاده مجدد از آب برگشتی، درصد جامد پساب خروجی حدود ۴۵ درصد خواهد بود که به

- of mineral wastes. Proceedings of the 4th International Conference on Tailings and Mine Waste. Fort Collins, Colorado, 13-16 January. Rotterdam: A. A. Balkema, pp. 343-356.
- Cincilla W., Landriault D., Newman P. and Verburg R., 1998. Paste Disposal. Mining Environmental Management, 6(3):11-15.
- Crowder J.J. 2003. Deposition, consolidation, and strength of a non-plastic tailings paste for surface disposal. Phd thesis. Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, Ont.
- Gavriltea M.D. 2017. Environmental Impacts of Sand Exploitation. Analysis of Sand Market. Sustainability, 9(7): 1118.
- Jia L., Luo Z., Yang Q., Ou S. and Lei Y. 2007. Impacts of the large amount of sand mining on riverbed morphology and tidal dynamics in lower reaches and delta of the Dongjiang River." Journal of Geographical Sciences, 17(2): 197-211.
- Kondolf G.M., Smeltzer M.W. and Kimball L.C. 2002. Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues: White Paper, Washington Department of Fish and Wildlife. Ecology, and Transportation, 122.
- Sreebha S. and Padmalal D. 2011. Environmental impact assessment of sand mining from the small catchment rivers in the southwestern coast of India: a case study." Environmental management, 47(1): 130-140.
- ع. ۱۳۹۰. بررسی تولید باطله خمیری در کارخانه فرآوری طلای آق‌دره و اثرات زیست محیطی آن، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۳(۳): ۲۹-۳۸.
- چهره قانی، س.، کریمی آغسقالی ج. و حسین‌زاده، ح. ۱۳۹۶. اثرات معدن‌کاری طلا بر محیط‌زیست در معدن طلای آق‌دره تکاب. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.
- صادقی، س.ج. و خالدی درویشان ع. ۱۳۸۵. بررسی نقش برداشت شن و ماسه بر افزایش توان حمل رسوب رودخانه، سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۴. نتایج آمارگیری از اطلاعات محیط‌زیستی معادن در حال بهره‌برداری کشور. ۱۳۹۳. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- معروفی‌نیا، ا.، عصمت ساعتلو، س.، گل دوست رضایی، م. و غفاری بالانجی، س. ۱۳۹۱. تغییر کاربری رودخانه نازلوچای بر اثر برداشت و استفاده بی‌رویه از مصالح شن و ماسه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه"، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
- معروفی‌نیا، ا.، عصمت ساعتلو، س.، گل دوست رضایی م. و غفاری بالانجی، س. ۱۳۹۲. تغییر کاربری رودخانه نازلوچای بر اثر برداشت و استفاده بی‌رویه از مصالح شن و ماسه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. کنفرانس ملی تکنیک‌های نوین محاسباتی و بهینه‌سازی در مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سقز.
- Cincilla W., Landriault D. and Verburg R. 1997. Application of paste technology to surface disposal



Article Type: Applied

نوع مقاله: کاربردی

## Pollution Discharge Permits Trading; an Effective Solution to the River Basins' Quality Management

E. Mahjoobi

Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Email: emahjoobi@shahroodut.ac.ir

Received: 19-02-2020

Accepted: 06-04-2020

## تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی؛ راهکاری مؤثر در مدیریت کیفی حوضه‌های آبریز

عماد محجوبی

استادیار گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

E-Mail: emahjoobi@shahroodut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۱۸

### Abstract

Drawing upon five decades of experience in applying pollution control laws and programs, achieving water quality standards will never have been possible simply through the control of point sources. Designing discharge plans with the purpose of managing non-point sources along with point sources can be a solution to dealing with these conditions. As regards, recognizing the uncertainties in estimation of non-point sources pollution considered to be important. The market-based approach to transfer discharge permits between point and non-point sources and implementing it in the form of a proper market structure can be discussed as an efficient management tool in terms of considering inherent uncertainties of non-point sources as well as covering the shortcomings of the laws in this regard. These markets attractiveness would be increased due to the remarkable difference in marginal costs of pollution control of non-point sources with point. The inclination to participate in such a market can be increased by considering factors including the exchange type and optimized trade ratio. Besides, water quality trading market structures have a major role in the formation of exchanges between point and non-point sources. Possible structures to implement these markets include the stock market, bilateral negotiations and clearinghouses. Investigation into the main features of these structures in terms of market productivity and reliability of environmental efficiency indicates the inadequacy of the stock market structure between point and non-point sources. On the other hand, transaction costs and initial investments are key characteristics of the productivity of bilateral negotiations and clearinghouse market structures.

**Keywords:** Pollution Discharge Permits, Trade Ratio, Bilateral Negotiation, Clearinghouse.

### چکیده

تجربه پنج دهه اعمال قوانین و برنامه‌های متعدد کنترل آلودگی بیانگر این واقعیت است که دستیابی به استانداردهای کیفی آب، صرفاً از طریق کنترل منابع نقطه‌ای امکان‌پذیر نخواهد بود. طراحی برنامه‌های انتشار با هدف مدیریت منابع غیرنقطه‌ای در کنار منابع نقطه‌ای، می‌تواند به عنوان راهکاری برای رویارویی با این شرایط مطرح گردد. در این رابطه شناسایی عوامل بروز عدم قطعیت‌های موجود در تخمین میزان انتشار آلودگی منابع غیرنقطه‌ای اهمیت فراوانی دارد. رویکرد بازار تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، و پیاده‌سازی آن در قالب یک ساختار بازار مناسب، می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی کارا در لحاظ عدم قطعیت‌های ذاتی منابع غیر نقطه‌ای، و نیز پوشش کاستی‌های قوانین در این بخش، مطرح شود. اختلاف قابل توجه در هزینه‌های حاشیه‌ای کنترل آلودگی منابع غیر نقطه‌ای با منابع نقطه‌ای، موجبات افزایش جذابیت این بازارها را فراهم می‌آورد. توجه به نوع مبادله و تعیین بهینه نسبت تجارت نیز عوامل افزایش تمایل به مشارکت در چنین بازارهایی هستند. از طرفی ساختارهای بازار تجارت کیفیت آب، نقش اساسی در شکل‌گیری مبادلات میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای دارند. ساختارهای ممکن برای پیاده‌سازی بازار تجارت کیفیت آب عبارت‌اند از: بازار بورس، مذاکرات دوجانبه و اتاق تهاتر. بررسی ویژگی‌های کلیدی این ساختارها از جنبه‌های بهره‌وری بازار و قابلیت اطمینان کارآمدی زیست‌محیطی حاکی از عدم کارایی لازم ساختار بازار بورس در پیاده‌سازی بازار میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای است. از سوی دیگر هزینه‌های تراکنشی و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به عنوان ویژگی‌های اصلی بهره‌وری ساختارهای بازار مذاکرات دوجانبه و اتاق تهاتر هستند.

**واژه‌های کلیدی:** مجوزهای تخلیه آلودگی، نسبت تجارت، مذاکرات دوجانبه، اتاق تهاتر.

از قدیم آلاینده‌های شهری و صنعتی به عنوان منابع نقطه‌ای و آلاینده‌های کشاورزی به عنوان منابع غیر نقطه‌ای معرفی می‌شدند. با گذشت زمان کشورهای صنعتی توجه خود را از آلودگی آب ناشی از منابع نقطه‌ای به سمت آلودگی آب ناشی از رواناب‌های کشاورزی معطوف نمودند (Olmstead, ۲۰۱۰). سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا منبع نقطه‌ای را به عنوان هر انتشار مشخص، قابل ردیابی و مجزا تعریف می‌نماید. بر این اساس منابع نقطه‌ای قابل تشخیص بوده و میزان انتشار آن‌ها با هزینه نسبتاً کم و به طور مناسب قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در این حالت فرض بر این است که هیچ عامل یا خطای تصادفی در اندازه‌گیری انتشارات وجود ندارد و این امر باعث شناسایی و ردیابی آسان منابع آلوده‌کننده و محاسبه میزان انتشار آن‌ها می‌شود. از جمله منابع نقطه‌ای می‌توان به کارخانه‌های صنعتی و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اشاره نمود؛ چرا که آلاینده‌های خود را از یک نقطه مشخص و قابل ردیابی مانند یک لوله تخلیه می‌کنند (Letson, ۱۹۹۲).

منابع غیر نقطه‌ای از بارش، رواناب، نفوذ، زه‌کشی و نشتاب ناشی می‌شود. با جاری شدن رواناب ناشی از بارش یا ذوب برف، آلاینده‌های طبیعی و آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی نیز به همراه آن شروع به حرکت کرده و در نهایت وارد منابع پذیرنده مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، آب‌های ساحلی و آب‌های زیرزمینی می‌شوند (Parry, ۱۹۹۸). با توجه به این که عوامل ذکر شده تابعی از شرایط آب و هوایی بوده و مرتبط با فرآیند پیچیده انتقال از مبدأ به سمت موقعیتی که در آن آلودگی محیطی سنجش می‌شود، هستند؛ آلودگی منابع غیر نقطه‌ای در ذات، تصادفی می‌باشند. منابع غیر نقطه‌ای در نقاط مشخصی تخلیه نمی‌شوند، بلکه انتشارات یا بارگذاری آن‌ها پخش می‌شوند. این طبیعت پخش‌شوندگی انتشارات منابع غیر نقطه‌ای، باعث می‌شود اندازه‌گیری میزان بارگذاری آن‌ها سخت و پر هزینه‌تر از منابع نقطه‌ای باشد. این منابع می‌توانند از انتشارات ناشی از منابع متحرک و یا نشت و رواناب زمین‌های کشاورزی باشند؛ لذا در خصوص سهم هر آلوده‌کننده نسبت به کل میزان آلودگی، عدم قطعیت وجود دارد. برخی از تفاوت‌های انتشار منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای به شرح زیر است: (۱) بارگذاری‌های نقطه‌ای، قطعی بوده در حالی که بارگذاری‌های غیر نقطه‌ای تصادفی هستند؛ (۲) کارآمدی اقدامات کنترلی برای منابع نقطه‌ای مشخص است، اما برای منابع غیر نقطه‌ای با عدم قطعیت روبروست؛ (۳) بارگذاری‌های ناشی از منابع نقطه‌ای به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری است، در حالی که بارگذاری‌های منابع غیر نقطه‌ای صرفاً قابل تخمین است (Malik و همکاران، ۱۹۹۴).

بشر همواره در پی تأمین آب مناسب از لحاظ کمی و کیفی بوده است. در گذشته به علت رشد کم جمعیت و صنایع، خطر چندانی منابع آب را تهدید نمی‌کرد. منابع آبی برای تأمین نیازهای مردم و پالایش پساب‌های وارده با مشکل عظیمی روبرو نبودند و نیاز به مدیریت کارای آن‌ها به صورت جدی احساس نمی‌شد. پس از انقلاب صنعتی با رشد سریع جمعیت و نیاز صنایع به منابع آبی، کارخانه‌های مختلفی در نزدیکی رودخانه‌ها به وجود آمدند و به تبع آن شهرها در مجاورت منابع آبی شکل گرفتند. این موضوع، حیات رودخانه‌ها و بهره‌برداران را با چالش بزرگی روبرو ساخت و بسیاری از منابع آبی در معرض نابودی قرار گرفتند. به خطر افتادن سلامت انسان‌ها با شیوع بیماری‌های مسری، از بین رفتن بسیاری از آبزیان که تأمین‌کننده بخشی از غذای بشر هستند و تبدیل مناظر زیبا و چشم‌نواز به مناظر زشت و آلوده، انسان را به جستجوی راهکارهای مناسب برای حل این مشکل وادار نمود تا در کنار کمک به حفظ کیفیت منابع آبی، توسعه شهرها، کشاورزی و صنایع را از نظر اقتصادی تضمین کند.

آلودگی آب پدیده‌ای است که در آن کیفیت شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب به واسطه ورود فاضلاب، زباله و دیگر زائدات ناشی از فعالیت‌های صنعتی، پساب‌های شهری، کشاورزی و دامداری به خطر می‌افتد. آلاینده‌ها آثار منفی بسیار بر محیط زیست و زندگی انسان داشته و احیای منابع آب نیازمند صرف وقت، هزینه و تلاش فراوان است. هر پیکره آبی قادر به خودپالایی، به مفهوم توانایی یک توده آبی در زدودن آلاینده‌ها از خود، است. به بیان دیگر خودپالایی حذف مواد آلی، مواد مغذی، گیاهان و سایر آلاینده‌ها از دریاچه‌ها و رودخانه‌ها به واسطه فعالیت جوامع بیولوژیکی ساکن در آن می‌باشد (Lee و Wen, ۱۹۹۶). در صورتی که آلاینده‌های دیگری در مسیر پایین‌دست وارد نشود، رودخانه خود را پالایش خواهد نمود.

میزان بارگذاری قابل تحمل برای رودخانه‌های مختلف که طی آن بتوان کیفیت آب را حفظ کرد و همچنین هزینه‌های تصفیه را به حداقل رساند، تابع عوامل زمانی و مکانی مختلف مرتبط با نوع و شدت بار آلودگی ورودی و همچنین شرایط محیطی داخل رودخانه است (Pelletier و Chapra, ۲۰۰۸). بار آلودگی ورودی مازاد بر ظرفیت خودپالایی رودخانه‌ها، باعث کاهش کیفیت آن‌ها از سطح استانداردهای زیست‌محیطی شده و اثرات نامطلوب و غیرقابل جبرانی بر جای می‌گذارد. از طرفی بالا بودن هزینه‌های تصفیه موجب عدم تمایل تولیدکنندگان بار آلودگی برای حذف بار آلودگی تولید شده مازاد بر ظرفیت خودپالایی رودخانه می‌گردد.

آلودگی منابع غیر نقطه‌ای می‌تواند مسائل زیادی در پی داشته باشد؛ برای مثال غلظت‌های بالای نیتروژن و فسفر در کودهای شیمیایی و حیوانی، می‌تواند توسط رواناب‌های سطحی به درون پیکره آب‌های پذیرنده، راه یافته و موجب شکوفایی جلبک شده و در درازمدت باعث پدیده پرغذایی آب‌های سطحی شود. اغلب آلاینده‌های نیتروژنی به خصوص در فرم نیترات‌های بسیار محلول (مانند نیتروژن نیتراتی، نیتروژن نیتروسی و نیتروژن آمونیومی) می‌تواند باعث آلودگی آب‌های آشامیدنی شده و به دنبال آن سلامت بشر را به خطر اندازد (Nangia و همکاران، ۲۰۰۸). محققین متعددی آلودگی منابع غیر نقطه‌ای ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را به عنوان قابل ملاحظه‌ترین منبع آسیب کیفی آب معرفی نموده‌اند (Stephenson و Shabman، ۲۰۱۷). بر اساس گزارش‌های ارزیابی آب آمریکا که ۲۸٪ رودخانه‌ها و نهرها و ۴۳٪ دریاچه‌های ایالات متحده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند، ۵۳٪ رودخانه‌ها و نهرها و ۸۲٪ دریاچه‌ها در آن کشور، با مشکلات کیفی آب برای تأمین مصارف مختلف مواجه هستند. همچنین فعالیت‌های کشاورزی به عنوان اولین عامل آسیب به رودخانه‌ها و نهرها، سومین عامل آسیب به دریاچه‌ها و پنجمین عامل آسیب

#### قوانین و سیاست‌های کنترل آلودگی منابع غیر نقطه‌ای

قوانین آلودگی آب به عنوان اصلی‌ترین چارچوب نظارتی کنترل آلودگی آب نزدیک به پنج دهه است که در مدیریت پیکره‌های آبی کاربرد دارد. این قوانین در نتیجه افزایش نگرانی‌های مرتبط با کیفیت آب در اواخر دهه ۶۰ میلادی شکل گرفتند. بدین ترتیب مقررات سخت‌گیرانه‌ای برای آلاینده‌های صنعتی و شهری (یعنی منابع نقطه‌ای) تعیین گردید. در سال ۱۹۷۲، مجوز نظام حذف تخلیه آلاینده‌ها که هر یک از منابع نقطه‌ای را ملزم به رعایت حدود کمی انتشار برای هر یک از آلاینده‌ها می‌کرد، تصویب شد. تا به امروز، تبعیت منابع نقطه‌ای از این استانداردها موفقیت‌آمیز بوده است؛ اما در سال‌های اخیر، شواهدی مبنی بر کاهش نتایج حاصل از کنترل آن‌ها دیده می‌شود (Olmstead، ۲۰۱۰). در مقابل، علیرغم افزایش شواهد مرتبط با نقش منابع غیر نقطه‌ای به عنوان عامل اصلی آلودگی آب، قوانین بخش آب، اشاره مستقیمی به آن‌ها نمی‌کند. این شرایط در قوانین بخش آب ایران نیز جاری است. به طوری که هیچ ماده قانونی مشخصی در رابطه با منابع آلاینده غیر نقطه‌ای در قوانین برنامه‌های اول تا ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور دیده نمی‌شود.

در حالی که چارچوب‌های قانونی موجود، امکان اعمال مستقیم محدودیت‌ها بر روی منابع غیر نقطه‌ای کشاورزی را نمی‌دهد، در چند دهه گذشته اقتصاددانان کشاورزی و محیط زیست، بر روی

به تالاب‌ها معرفی شده‌اند (Ribaudo، ۲۰۰۹). امروزه اکثر منابع آبی کشور ایران، تحت تأثیر آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های شهری، کشاورزی و صنعتی در حوضه‌های بالادست می‌باشد؛ لذا علیرغم این واقعیت که فعالیت‌های متعددی در راستای بهبود کیفیت آب انجام شده است، نیاز به توجه بر روی تعداد زیادی از منابع آلودگی، شامل رواناب‌های ناشی از مناطق شهری، اراضی کشاورزی و فاضلاب‌ها، با هدف تأمین آب سالم‌تر برای نسل‌های آتی وجود دارد. در نتیجه ضمن تأکید بر اهمیت آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی باید توجه داشت که دستیابی به استانداردهای مورد نظر کیفی آب، صرفاً از طریق کنترل منابع نقطه‌ای امکان‌پذیر نخواهد بود.

هدف از مقاله حاضر تأکید بر لزوم توجه به نقش و ویژگی‌های منابع آلاینده غیر نقطه‌ای در کنار منابع آلاینده نقطه‌ای و نیز معرفی مفهوم تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی به عنوان راهکاری مؤثر در مدیریت کیفی حوضه‌های آبریز است. در این راستا شرایط و الزامات و ساختارهای پیاده‌سازی بازار تجارت کیفیت آب و شکل مبادله مناسب مجوز آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای بررسی شده است.

طراحی برنامه‌های انتشار با هدف حل آلودگی آب منابع غیر نقطه‌ای کشاورزی تمرکز نموده‌اند (Mahjoobi و همکاران، ۲۰۱۶). در حال حاضر گزینه‌های مختلف سیاست‌گذاری جهت کاهش خطرات آلودگی منابع غیر نقطه‌ای، پیشنهاد شده است. این سیاست‌گذاری‌ها، می‌توانند به برنامه‌های داوطلبانه، برنامه‌های دستوری و کنترلی و ابزارهای اقتصادی نظیر مالیات بر ورودی‌ها و تخلیه‌ها و سیستم‌های مجوز قابل مبادله، تقسیم‌بندی شوند. برنامه‌های داوطلبانه شامل انجام داوطلبانه فعالیت‌های خودکنترلی توسط آلوده‌کنندگان، قراردادهای توافق شده میان مسئولین زیست‌محیطی و آلوده‌کنندگان که هر دو طرف سهم شناخته می‌شوند و برنامه‌های داوطلبانه دولت که در آن، یک سازمان دولتی معیارهای تعیین صلاحیت و پاداش‌دهی را برقرار می‌سازد، است (Dowd و همکاران، ۲۰۰۸). برنامه‌های دستوری و کنترلی به برنامه‌هایی اطلاق می‌گردد که در آن سازمان متولی محیط زیست به صورت یک‌جانبه اقدام به اخذ تصمیمات مستقیم در خصوص شرایط مطلوب یک پیکره آبی نموده و از قدرت خود جهت دستیابی به اهداف تعریف شده استفاده می‌کند (Wiesmeth، ۲۰۱۲). برنامه‌های دستوری و کنترلی با موفقیت در تنظیم منابع نقطه‌ای بکار گرفته شده‌اند؛ اما از آنجا که با فقدان چارچوب نظارتی مواجه هستیم، تلاش‌های محدودی در تنظیم منابع غیر نقطه‌ای صورت گرفته است. برنامه‌های دستوری و کنترلی برای منبع غیر نقطه‌ای کشاورزی می‌تواند از طریق الزام مزرع‌داران به انجام اقدامات مختلف در راستای کاهش انتشارات

بکار گرفته شود. از جمله این اقدامات می‌توان به پیاده‌سازی بهترین روش‌های مدیریتی و حفاظتی نظیر سیستم‌های انحراف، کاهش عملیات فراوری خاک، ترانس‌بندی و فیلترهای نواری اشاره نمود. تحمیل استانداردهای عملکردی که بر مبنای آن آلوده‌کنندگان ملزم به رعایت می‌شوند، یکی دیگر از راه‌های اعمال سیاست دستوری و کنترلی است (Dowd و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین ابزارهای اقتصادی مانند مالیات بر ورودی‌ها و تخلیه‌ها نیز به عنوان رویکردهای ممکن برای کنترل منابع غیر نقطه‌ای شناخته شده‌اند. مالیات بر ورودی‌ها می‌تواند بر استفاده از کودهای شیمیایی در یک مزرعه اعمال شود. تعیین مالیات بر ورودی‌ها به میزان برابر با هزینه‌های کاهش آن‌ها، می‌تواند راهی مؤثر در دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی باشد (Shortle و Horan، ۲۰۰۱).

علیرغم تلاش‌های بسیار در کاهش آلودگی آب، بر اساس مطالعات مختلف انجام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست و دیگر سازمان‌های ذی‌ربط، آلودگی آب به عنوان یک مشکل مهم باقی مانده است. گواه آن آلودگی‌های فراوان منابع ارزنده آبی کشور در رودخانه‌های مهمی چون کارون، جاجرود، کرج، زاینده‌رود و غیره است (هاشمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۷؛ ترابی‌ان و همکاران، ۱۳۹۰؛ پیرعلی زفره‌ئی و ابراهیمی، ۱۳۹۴)؛ به طوری که روند افت کیفیت آب در دهه‌های اخیر تشدید شده است. افزایش بدون برنامه‌ریزی سطح زیر کشت محصولات کشاورزی و عدم توجه به مدیریت زهاب‌ها، باعث شده سالانه در حدود ۲۷ میلیارد

### تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی

مطالعات مختلف در زمینه بهره‌برداری کمی و کیفی از سیستم‌های رودخانه‌ای و مدیریت کیفیت منابع آب، منجر به اخذ تصمیم‌های گوناگون و اجرای سیاست‌هایی در زمینه بهره‌برداری سالم از آب‌های جاری شده است. این سیاست‌ها با ممنوعیت تخلیه آلودگی به رودخانه‌ها در گذشته آغاز و به قانون تخلیه آلودگی با درصدهای یکنواخت بین واحدها منتج شده و در سال‌های اخیر سیاست مجوزهای تخلیه قابل انتقال بین واحدها به اجرا گذاشته شده است. رویکرد فروش مجوزهای تخلیه یا همان پیاده‌سازی بازار تجارت کیفیت آب میان واحدهای آلاینده در طول رودخانه، نگرشی نو در مدیریت زیست‌محیطی حوضه آبریز با دیدگاه اقتصادی می‌باشد (Motallebi و همکاران، ۲۰۱۷). در این رویکرد آلودگی می‌تواند به عنوان یک حق مالکیت قابل انتقال به غیر با ارزش ملموس در نظر گرفته شود؛ لذا تخلیه‌کنندگانی که آلودگی خود را بیش از حد نیاز با هزینه کرد معقول تصفیه می‌کنند، می‌توانند مجوزهای مازاد خود را به تخلیه‌کنندگان نسبتاً ناکارآمد که فاضلابی بیشتر از مجوز اولیه

متمکعب زهاب کشاورزی، منابع آب کشور را آلوده سازد. در چنین شرایطی سازمان حفاظت محیط زیست بیش از ۹۰ رودخانه آلوده را در کشور شناسایی کرده است. بررسی تغییرات کیفیت آب در طول رودخانه‌های مهم کشور به وضوح نشان‌دهنده اثرات تخلیه زهاب‌های کشاورزی در کنار پساب‌های شهری و صنعتی به رودخانه است (مریدی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ لذا به نظر می‌رسد که دیگر صرفاً اجرای استانداردهای تخلیه پساب برای جلوگیری از تخریب کیفیت آب رودخانه‌ها و حفظ سلامت اکوسیستم‌ها در کلیه نقاط و شرایط، کافی نخواهد بود. از این رو علاوه بر ضرورت اعمال استانداردهای تخلیه پساب برای کنترل آلاینده‌های نقطه‌ای و اجرای اقدامات مدیریتی در سطح حوضه آبریز، کنترل آلاینده‌های غیر نقطه‌ای و متناسب کردن میزان بارگذاری آلاینده‌ها با توان خودپالایی پیکره‌های آبی امری اساسی است (Mahjoobi و همکاران، ۲۰۱۶b).

ابزارهای بر مبنای بازار، نظیر برنامه‌های تجارت به عنوان ابزارهای موفق برای گستره وسیعی از مشکلات زیست‌محیطی، مانند کنترل آلودگی هوا، حفاظت از زیستگاه‌ها و جبران خسارت به منابع طبیعی مطرح شده‌اند. بر اساس دستاوردهای تاریخی این برنامه‌ها، ابزارهای بر مبنای بازار به دلیل امکان ایجاد رویکرد مقرون به صرفه‌تر جهت دستیابی به اهداف زیست‌محیطی، در حل مشکلات کنترل آلودگی آب نیز مطرح شده‌اند (Corrales و همکاران، ۲۰۱۷).

تخلیه خود تولید می‌کنند، بفروشند. این سیستم پتانسیل بالایی در کاهش هزینه‌های کل ذی‌نفعان داشته و نسبت به رویکرد دستوری و کنترلی از مزایای نسبی قابل ملاحظه‌ای در حفظ و تحقق اهداف زیست‌محیطی برخوردار است. همچنین اطلاعات کافی برای مشارکت‌کنندگان فراهم آورده و آن‌ها را به کاهش داوطلبانه آلودگی تشویق می‌کند؛ در حالی که متولیان حفاظت محیط زیست برای پیاده‌سازی و راهبری رویکرد دستوری و کنترلی اغلب اطلاعات ناقص داشته و با هزینه زیاد آن را به دست می‌آورند (Shaw و Hung، ۲۰۰۵).

به طور معمول ویژگی‌های آلاینده‌هایی که می‌تواند وارد بازار تجارت کیفیت آب شود، عبارت‌اند از: ۱) هر آلوده‌کننده باید قابلیت اندازه‌گیری و سنجش دقیق را داشته باشد؛ ۲) تخلیه آلودگی به شکل قابل ملاحظه‌ای تحت کنترل آلوده‌کننده باشد؛ ۳) موقعیت مکانی آلاینده درون بازار، پیامدهای زیست‌محیطی را تحت تأثیر قرار ندهد (Motallebi و همکاران، ۲۰۱۶). منابع غیر نقطه‌ای این ویژگی‌ها را ندارند، چرا که در تعریف، قابل اندازه‌گیری در مبدأ نبوده، به صورت ذاتی تصادفی هستند و موقعیت مکانی انتشار آن‌ها بر روی کیفیت آب اثرگذار خواهد



بود. به بیان دیگر نحوه پخش و انتقال آلاینده‌ها از منابع غیر نقطه‌ای به پیکره‌های آبی، سنجش دوره‌ای و دقیق آلودگی غیر نقطه‌ای را بسیار دشوار و پرهزینه می‌کند. همچنین شرایط آب و هوایی نقش بسیار بالایی در تعیین حجم، زمان‌بندی و شکل آلاینده‌های آب ناشی از منابع غیر نقطه‌ای دارد. این امر امکان کنترل کامل زمان‌بندی و سطح تخلیه منابع غیر نقطه‌ای را از بین می‌برد (Ribaudo و همکاران، ۱۹۹۹). این عوامل باعث می‌شود یک چارچوب بهینه بازار کیفیت آب شامل منابع غیر نقطه‌ای به شکل قابل ملاحظه‌ای با مدل‌های معمول تفاوت داشته و پتانسیل صرفه‌جویی هزینه را محدود سازد؛ چرا که بازارهای بهینه، نیازمند تعداد زیادی از طرفین تجاری بوده که همگی در عین داشتن اطلاعات کامل، فاقد قدرت بازاری هستند و در حال مبادله یک کالای همگن می‌باشند. در حالی که با ورود منابع غیر نقطه‌ای احتمال ایجاد ناهمگونی در فعالیت‌های اقتصادی، ابعاد اقتصادی و نیز تولید بارهای آلودگی به شدت افزایش خواهد یافت (Sharp و همکاران، ۲۰۱۷). به عنوان مثال مشارکت‌کنندگان احتمالی در یک بازار تجارت مواد مغذی (نیترژن و فسفر) میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای می‌توانند از اراضی کشاورزی کوچک تا تصفیه‌خانه‌های بزرگ را دربرگیرند. همچنین انتشار آلودگی حتی در یک دسته‌بندی مشخص نیز می‌تواند به شدت ناهمگون باشد؛ برای مثال از جنبه مشخصات کیفی آب (مثلاً نوع نیترژن، زمان و مکان انتشار و ...) این عوامل و نیز دیگر ویژگی‌های ذاتی منابع غیر نقطه‌ای، امکان توسعه یک بازار تجارت کاملاً رقابتی را دشوار می‌سازد. از طرف دیگر با توجه به اینکه جذابیت بازار یکی از مهم‌ترین عوامل در اقبال آلوده‌کنندگان به مشارکت در بازار است و نیز رابطه مستقیمی میان اختلاف هزینه‌های حاشیه‌ای مشارکت‌کنندگان در بازار و جذابیت بازار وجود دارد (O'Connell و همکاران، ۲۰۱۷)؛ توجه به اثرات ورود منابع غیر نقطه‌ای به بازار منابع نقطه‌ای از این دیدگاه ضروری به نظر می‌رسد. یکی از دلایل کاهش جذابیت بازارهای تجارت منابع نقطه‌ای، کم بودن اختلاف میان هزینه‌های حاشیه‌ای این منابع است. ورود منابع غیر نقطه‌ای به بازار، می‌تواند با ایجاد اختلاف قابل توجه در هزینه‌های حاشیه‌ای مشارکت‌کنندگان موجب افزایش جذابیت بازار شود. به بیان دیگر ورود این آلاینده‌ها به بازار، باعث افزایش انگیزه منابع نقطه‌ای به مشارکت در بازار (به جای حرکت به سوی سرمایه‌گذاری در ارتقای تأسیسات تصفیه خود) می‌شود. نکته قابل ذکر دیگر این است که هدف منابع نقطه‌ای از مشارکت در بازار، کمینه کردن هزینه‌های تصفیه آلودگی بوده و در مقابل هدف منابع غیر نقطه‌ای کسب سود بیشتر است. این تفاوت در تعریف اهداف، می‌تواند منجر به هم‌افزایی در راستای رسیدن به اهداف و در نتیجه افزایش جذابیت و تمایل به مشارکت در بازار گردد.

سیستم‌های تجارت میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای بر مبنای

این واقعیت که به طور کل هزینه‌های کاهش منابع غیر نقطه‌ای کمتر از هزینه‌های حاشیه‌ای منابع نقطه‌ای است، استوار هستند (Hung و Shaw، ۲۰۰۵). دو سؤال کلیدی تعریف نوع مبادله و نسبت تجارت مناسب برای انجام هر مبادله در ارتباط با این سیستم‌ها مطرح است. برای پاسخ به سؤال اول، دو ایده مطرح است. در ایده اول افزایش‌ها در انتشار منابع نقطه‌ای با کاهش‌ها در بارگذاری‌های تخمینی منابع غیر نقطه‌ای مبادله می‌شوند که به سیستم تجارت انتشار در مقابل بارگذاری، معروف است. بدین معنی که در این سیستم کاهش بار منابع غیر نقطه‌ای از طریق بهره‌گیری از بهترین راهکارهای مدیریتی، مورد توجه قرار می‌گیرد. در ایده دوم، مجوزهای انتشار منابع نقطه‌ای با مجوزهای منابع غیر نقطه‌ای مبادله می‌شوند که به سیستم تجارت انتشار در مقابل ورودی‌ها معروف است. بدین ترتیب مدیریت استفاده از مواد دارای پتانسیل ایجاد آلودگی به عنوان ورودی به مزارع (کودها و سموم) و یا اجرای اقدامات حفاظتی در دستور کار قرار می‌گیرد (Horan و همکاران، ۲۰۰۲).

از آنجا که ممکن است منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای سهم متفاوتی در کل آلودگی داشته باشند، باید نسبت تجارت مناسبی برای دستیابی به اهداف کیفیت آب تعریف شود. نسبت تجارت به صورت تعداد واحدهای تعدیل مورد نیاز منبع غیر نقطه‌ای به منظور جبران یک واحد افزایش آلودگی منبع نقطه‌ای تعریف می‌شود. نسبت تجارت برابر با یک، بیانگر عدم تفاوت در میزان هزینه کنترل میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای است. نسبت‌های بیشتر از یک به مفهوم کمتر بودن هزینه کاهش کنترل منابع غیر نقطه‌ای نسبت به کنترل منابع نقطه‌ای بوده و لذا اولویت با کاهش‌های منابع غیر نقطه‌ای می‌باشد. عکس این قضیه برای نسبت‌های کمتر از یک صادق است. بازه تغییرات این نسبت در برنامه‌های تجارت کیفیت آب، از ۱/۱ به ۱ تا ۴ به ۱ (بدین معنی که برای جبران هزینه یک واحد افزایش آلودگی در منبع نقطه‌ای، نیاز به ۴ واحد تعدیل آلودگی منبع غیر نقطه‌ای است) گزارش شده است (Morgan و Wolverson، ۲۰۰۵). عواملی نظیر سهم حاشیه‌ای نسبی منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، میزان اثرات ریسک زیست‌محیطی، همبستگی میان روابط هزینه‌ای و زیست‌محیطی و سطح کلی ناهمگنی مرتبط با منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، بر مقدار نسبت تجارت بهینه، اثرگذار می‌باشند (Horan و همکاران، ۲۰۰۲). نسبت بهینه باید برای منابعی که میزان انتشار آن‌ها ریسک بیشتری تولید نموده و هزینه کنترل بالاتری را دارد، الزام بیشتری ایجاد کند. با توجه به مطالب فوق و وجود عدم قطعیت زیاد در نتایج واقعی سناریوهای مدیریتی بر روی کیفیت آب، کاهش میزان این عدم قطعیت‌ها با استفاده از تعریف مناسب نسبت تجارت جهت مبادله آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، می‌تواند به عنوان یکی از رویکردهای ممکن بررسی و تحلیل شود.



عملی بودن مبادله به شرایطی نظیر تعریف ساختار مناسب بازار، مشارکت داوطلبانه و مشارکت مردمی، آلاینده مناسب، تعریف صحیح حدود استاندارد و توابع هزینه‌ای و تفاوت‌های کافی در هزینه‌های کنترل در میان منابع بستگی دارد. به طور کلی موفقیت بازارهای مبادله در مقیاس حوضه، متأثر از چندین عامل است که عبارت‌اند از: ۱) آلاینده‌ای که می‌باید کاسته شود و ویژگی‌های فیزیکی حوضه؛ ۲) هزینه کنترل آلاینده برای هر یک از تخلیه‌کنندگان؛ ۳) مکانیسم‌های به کار رفته برای تسهیل مبادله یا ساختار بازار و ۴) توانایی و تمایل ذی‌نفعان به دخیل شدن و مشارکت در مبادله.

بازار تجارت مجوزهای آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای می‌تواند از طریق تعریف مناسب ساختار بازار تجارت به مفهوم تبیین دستورالعمل‌ها و قوانین انتقال اطلاعات و حقوق مبادله در میان مشارکت‌کنندگان بهبود یابد. در این میان چگونگی تعریف اعتبارات و مجوزهای منابع غیر نقطه‌ای و نیز چگونگی طراحی قوانین تجارت جهت مدیریت احتمال بروز پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی ناشی از کنترل و پایش ناکارآمد این منابع اهمیت می‌یابد (Shortle و Ghosh، ۲۰۱۲). مشابه دیگر بازارهای اقتصادی معمول، افراد یا شرکت‌ها جهت خرید یا فروش کالاهای قابل انتقال می‌توانند به صورت مستقیم با یکدیگر مرتبط شوند، یا از واسطه‌ها به عنوان کارگزاران استفاده کنند، یا یک بازار با قوانین و ساختار از پیش تعریف شده را پایه‌ریزی نمایند. بر این اساس ساختارهای اصلی بازار تجارت کیفیت آب عبارت‌اند از: بازارهای بورس، بازار مذاکرات دوجانبه و بازار اتاق تهاتر (Woodward و همکاران، ۲۰۰۲).

بازارهای بورس که معروف‌ترین آن‌ها بازارهای بورس اوراق بهادار است، نسخه‌های بسیار ایده‌آل یک بازار هستند. ویژگی‌های برجسته این ساختار بازار، ساختار اطلاعات باز و جریان تراکنش‌ها میان خریداران و فروشندگان است. اطلاعات مرتبط با قیمت که ارائه و درخواست می‌شوند، در دسترس عموم بوده و محصولاتی که مبادله می‌شوند، تقریباً یکنواخت هستند. اطلاعات مرتبط با منافع خریداران و فروشندگان به سادگی منتقل شده و تراکنش‌ها به راحتی به انجام می‌رسند. تمام کالاها و خدمات می‌توانند در بازارهای بورس، خرید و فروش شوند. یک مشخصه حیاتی برای فروش کالاها در این بازارها، یکنواختی است. بدین مفهوم که تبادلات صرفاً برای کالاهایی که یک واحد آن از یک فروشنده، معادل یک واحد آن از هر منبع دیگری دیده شود، توسعه می‌یابد. این یکنواختی نه تنها هزینه‌های اطلاعاتی را کاهش می‌دهد، بلکه بدان معنی است که شرکت‌کنندگان در بازار در هنگام انجام معاملات، کم‌ترین

اطلاعات را در خصوص فعالیت‌های خود آشکار می‌سازند. چنین شرایطی بیانگر فرصت‌های تجارت کیفیت آب نیست. چرا که به دلیل ویژگی غیر یکنواختی در این بازارها، دستیابی به مجوزها و اعتبارات یکنواخت، دشوار است. همچنین با توجه به تأثیر یک‌جهته آلاینده‌ها (به این مفهوم که هر نقطه از پیکره‌های آبی صرفاً تحت تأثیر آلاینده‌های بالادست خود است نه آلاینده‌های پایین‌دست)، فرصت‌های تجاری محدود بوده و بنابراین ممکن است بازار نسبتاً لاغر و کم حجم باشد.

بازارهای مذاکرات دوجانبه معمولاً به منظور تبادل اطلاعات و مذاکره بر روی شرایط تجارت، تعامل قابل توجهی میان خریدار و فروشنده را به دنبال دارد. این نوع از تجارت معمولاً برای کالاهایی است که از نظر قیمت و کیفیت منحصر به فرد هستند. هزینه‌های قراردادی و اجرایی در این بازارها بالاتر است، با این حال این ساختار توانایی تطبیق با کالاهای غیر یکنواخت که امکان مبادله از طریق تبادلات بورسی را ندارند، دارد. مذاکرات دوجانبه سهم قابل توجهی از تجارت در اقصی نقاط دنیا را تشکیل می‌دهد و می‌تواند گویای این مطلب باشد که اجبار یکنواختی برای تبادلات بورسی اغلب گران‌تر از هزینه‌های تراکنشی ناشی از این ساختار است. مذاکرات دوجانبه به خوبی برای بازارهای تجارت کیفیت آب اجرا شده، چرا که می‌تواند نیاز به تبادل اطلاعات جزئی در خصوص هر یک از اعتبارات را برطرف نموده و اجازه مذاکره بر روی شرایط پایش در طول زمان که بر عهده خریدار است را بدهد.

ساختار بازار اتاق تهاتر، نوعی از بازار است که در آن هر گونه ارتباطی میان خریدار و فروشنده به تمامی توسط یک واسطه قطع می‌شود (Tabaichount و همکاران، ۲۰۱۹). در مفهوم تجارت کیفیت آب، اتاق تهاتر، نهادی صاحب اختیار از آژانس‌های نظارتی است که ظرفیت‌های کاهش آلودگی مازاد را از منابع آلاینده دارای سیستم‌های تصفیه خریداری کرده و سپس این اعتبارات را به منابعی که نیازمند افزایش بارهای مجازشان هستند، می‌فروشد. اتاق تهاتر با حضور یک واسطه در یک مذاکره دوجانبه که کلیه روابط قراردادی و قانونی میان فروشندگان و خریداران را حذف می‌کند تفاوت دارد. اتاق تهاتر، بایستی توسط قانون لازم‌الاجرا شده و تحت سیستم تجارت کیفیت آب، مجاز شمرده شود. این قوانین بایستی به نهادی اختیار دهد تا این نقش را بازی کند؛ یعنی اعتبارات را بر مبنای کاهش‌های به دست آمده تعیین نموده و آن‌ها را به خریداران علاقه‌مند بفروشد. از آنجا که مزیت اتاق تهاتر توانایی آن در ایجاد یک کالای یکنواخت برای فروش نهایی است، این ساختار برای شرایطی که قوانین بر روی مسئولیت خریدار نهایی برای کاهش آلودگی تأکید دارد، مناسب نخواهد بود. با توجه به اینکه در این ساختار خریدار و فروشنده تنها با یک طرف مواجه هستند، هزینه‌های اطلاعات

کاهش می‌یابد. همچنین با داشتن مسئولیت قانونی اتاق تهاتر مبادلات در بازار برای قانون‌گذاران معتبر خواهد بود. نکته قابل توجه دیگر اینکه اگر طرف فروشنده برای عموم مشخص باشد و شیوه‌های استاندارد شده برای تجارت شفاف باشند، هزینه‌های چانه‌زنی و مذاکره نیز کاهش می‌یابد؛ بنابراین هزینه‌های تراکنشی در این ساختار کمتر خواهد بود. محدودیت‌ها و منافع رقابتی متعدد میان ذی‌نفعان شامل: (۱) دستیابی به اهداف زیست‌محیطی؛ (۲) کمینه‌سازی هزینه کل دستیابی به اهداف کنترل آلودگی و (۳) کمینه‌سازی هزینه‌های راه‌اندازی و تراکنشی بازار، محرک‌های اصلی طراحی بازار تجارت آلودگی هستند (Woodward و همکاران، ۲۰۱۶). از آنجا که اولویت‌های ذی‌نفعان مختلف با یکدیگر تفاوت دارد، لذا هر ساختار بازار می‌تواند توسط یکی از آن‌ها مطلوب باشد. ساختار بازاری که در یک شرایط مشخص، مناسب‌ترین است، به طبیعت

فیزیکی مشکل آلودگی و مشخصات آلوده‌کنندگان وابسته است. جدول (۱) تفاوت‌های موجود در ویژگی‌های کلیدی ساختارهای بازار تجارت کیفیت آب را نشان می‌دهد (Woodward و همکاران، ۲۰۱۶).

مطابق جدول (۱) مشاهده می‌شود ساختارهای مختلف بازار می‌تواند منجر به نتایج مختلف در قالب دو برنامه کارآمدی اقتصادی و زیست‌محیطی شوند. با توجه به ویژگی‌های عنوان شده برای ساختار بازارهای بورس، به نظر می‌رسد این ساختار کارایی لازم در پیاده‌سازی بازار تجارت مجوزهای آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای را ندارد. در بررسی دو ساختار بازار دیگر، نکته قابل توجه این است که ساختار اتاق تهاتر هزینه‌های تراکنش به ازای هر مبادله کم و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه زیاد، دارد؛ در مقابل ساختار مذاکرات دوجانبه با هزینه‌های تراکنشی بالا و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمتری همراه است.

جدول ۱- ویژگی‌های کلیدی ساختارهای مختلف بازار تجارت کیفیت آب

| شاخص                                       | ساختار بازار                   |                                                |            |
|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|------------|
|                                            | بورس                           | مذاکرات دوجانبه                                | اتاق تهاتر |
| شاخص‌های بهره‌وری بازار                    | هزینه تراکنش به ازای هر مبادله | کم‌ترین                                        | کم         |
| شاخص‌های قابلیت اطمینان کارآمدی زیست‌محیطی | هزینه سرمایه‌گذاری اولیه       | زیاد                                           | زیاد       |
|                                            | درجه یکنواختی مورد نیاز        | بیشترین                                        | کم         |
|                                            | مسئولیت خریدار                 | خیر                                            | بله        |
|                                            |                                | خیر، اما اتاق تهاتر می‌تواند مسئول را فرض کند. |            |

## جمع‌بندی

تقریباً پنج دهه از اعمال قوانین کنترلی برای بهبود کیفیت آب می‌گذرد و با وجود پیاده‌سازی برنامه‌های متعدد، آلودگی کیفیت آب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی هنوز به عنوان یک مشکل مهم پابرجاست؛ بنابراین دستیابی به استانداردهای مورد نظر کیفی آب، صرفاً از طریق کنترل منابع نقطه‌ای امکان‌پذیر نخواهد بود و بهتر است رویکرد حوضه‌ای در مسائل مدیریت کیفی منابع آب در دستور کار قرار گیرد؛ به این مفهوم که بهترین راه‌حل بسیاری از مشکلات کیفیت آب، نظیر تجمع آلاینده‌ها و مشکلات کیفی رودخانه‌ها، بررسی و شناسایی منابع آلاینده نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در سطح حوضه‌آبریز است. در این میان ضمن تعریف انواع آلاینده‌ها و بررسی ویژگی‌های هر یک به عدم قطعیت‌های موجود در تخمین میزان انتشار آلودگی منابع غیر نقطه‌ای اشاره گردید. مهم‌ترین دلایل این عدم قطعیت‌ها، تأثیر شرایط آب و هوایی

بر زمان‌بندی و میزان تولید آلودگی، پیچیدگی فرآیند انتقال آن از مبدأ به محیط پذیرنده و نیز میزان کارایی اقدامات کنترلی در کاهش آلودگی منابع غیر نقطه‌ای شناخته شدند. بررسی تحقیقات انجام شده بر روی وضعیت کیفی پیکره‌های آبی در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد که علیرغم تلاش‌های بسیار در کاهش آلودگی آب، اجرای استانداردهای تخلیه پساب، کارآمدی مناسب در دستیابی به اهداف کیفی را نداشته و خلاء قوانین بخش آب در کنترل آلودگی منابع غیر نقطه‌ای به شدت احساس می‌شود. طراحی برنامه‌های انتشار با هدف مدیریت منابع غیر نقطه‌ای می‌تواند به عنوان راهکاری برای رویارویی با این شرایط مطرح گردد. رویکرد بازار تجارت مجوزهای تخلیه آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای و پیاده‌سازی آن در قالب یک ساختار بازار مناسب، می‌تواند به عنوان یک برنامه مدیریتی کارا در لحاظ عدم قطعیت‌های حاکم بر فضای منابع غیر نقطه‌ای و نیز پوشش کاستی‌های قوانین در این بخش مورد توجه قرار گیرد.

- با مروری بر ویژگی‌های منابع غیر نقطه‌ای و نقش کلیدی آن‌ها در افزایش جذابیت بازارهای تجارت مجوزهای آلودگی به دلیل اختلاف قابل توجه در هزینه‌های حاشیه‌ای کنترل آلودگی این منابع با منابع نقطه‌ای، دو موضوع نوع مبادله و نسبت تجارت بهینه، مورد بررسی قرار گرفت. در ارتباط با نوع مبادله در سیستم انتشار در برابر بارگذاری، لازم به ذکر است که به دلیل عدم در نظر گرفتن منابع غیر نقطه‌ای و اثرات آن‌ها در تعیین حداکثر بار کل روزانه، حد مجاز تخلیه آلودگی منابع نقطه‌ای به منظور حفظ کیفیت آب در سطح پایینی تعریف می‌شود؛ لذا اقبال منابع نقطه‌ای به استفاده از این نوع مبادله به دلیل تفاوت زیاد میان وضع موجود تخلیه و حد مجاز تخلیه و به تبع آن نیاز به تأمین تعداد زیادی مجوز تخلیه برای جبران این اختلاف، کاهش می‌یابد؛ بنابراین احتمال شکل‌گیری بازار در این نوع مبادله کم خواهد بود. در مقابل، نوع مبادله در سیستم تجارت انتشار در برابر ورودی‌ها به واسطه لحاظ منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای در برآورد حداکثر بار کل روزانه و تعریف حد مجاز تخلیه برای منابع غیر نقطه‌ای، منجر به تخصیص حد مجاز تخلیه بالاتر برای منابع نقطه‌ای نسبت به نوع مبادله قبل می‌گردد. علاوه بر این انتظار می‌رود تمایل به مشارکت در بازار در این نوع مبادله به واسطه الزام منابع غیر نقطه‌ای به کاهش میزان آلودگی تولیدی، افزایش یابد. در ادامه به نقش نسبت تجارت به عنوان یکی از شاخص‌های سنجش جذابیت بازار در شکل‌گیری مبادلات اشاره گردید و اهمیت تعیین نسبت تجارت بهینه در لحاظ عدم قطعیت‌های حاکم بر سیستم، مورد بررسی قرار گرفت.
- ساختارهای بازار تجارت مجوزهای آلودگی به عنوان استانداردهایی برای نحوه گردش اطلاعات و تبادل مجوزها در شکل‌گیری مبادلات میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، نقش اساسی ایفا می‌کنند. بررسی ویژگی‌های کلیدی این ساختارها از جنبه‌های بهره‌وری بازار و قابلیت اطمینان کارآمدی زیست‌محیطی نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها دارای قابلیت‌های مشخصی از دیدگاه ذی‌نفعان مختلف هستند؛ بنابراین بررسی و مقایسه عملکرد ساختارهای بازار بر مبنای شاخص‌های معرفی شده، می‌تواند به عنوان راهکاری جهت بهبود مدیریت منابع آلودگی غیر نقطه‌ای با نگرش تجارت کیفیت آب مطرح شود. در این راستا سه ساختار بازار بورس، مذاکرات دوجانبه و اتاق تهاتر معرفی و بررسی شدند و بر عدم کارایی لازم ساختار بازارهای بورس در پیاده‌سازی بازار تجارت مجوزهای آلودگی میان منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای تأکید شد. از سوی دیگر هزینه‌های تراکنشی و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به عنوان ویژگی‌های اصلی بهره‌وری ساختار بازارهای مذاکرات دوجانبه و اتاق تهاتر معرفی گردید.
- پیرعلی زفره‌ئی، ا. ر. و ابراهیمی، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی کیفی آب رودخانه زاینده‌رود متأثر از دوره خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های زیستی ASPT، BMWP و هلسینهوف. مجله بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۴(۴): ۷۱-۸۵.
- ترابیان، ع.، حسنی، ا. ح. و ایزدپناه، س. ۱۳۹۰. بررسی وضعیت آب رودخانه‌های کرج و جاجرود جهت مصارف تفریحی. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۳(۲): ۵۵-۶۶.
- مریدی، ع.، کراچیان، ر. و ذکایی، م. ۱۳۹۵. تحلیل وضعیت کیفیت منابع آب ایران (دوره ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳). مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۴): ۲۳-۳۵.
- هاشمی‌فرد، ا.، کردوانی، پ. و اسدیان، ف. ۱۳۹۷. تحلیل اثرات مواد آلاینده با منشاء انسانی بر کیفیت آب رودخانه کارون (حداصل سد گتوند تا اهواز). برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۸(۳۰): ۱۴۶-۱۵۵.
- Chapra S. and Pelletier G. 2008. QUAL2Kw: A modeling framework for simulating river and stream water quality, Version 5.1: User Manual – Theory and Documentation. Environmental Assessment Program. Washington State Department of Ecology, Olympia, WA, USA.
- Corrales J., Naja G.M., Bhat M.G. and Miralles-Wilhelm F. 2017. Water quality trading opportunities in two sub-watersheds in the northern Lake Okeechobee watershed. Journal of environmental management, 196: 544-559.
- Dowd B.M., Press D. and Los Huertos M. 2008. Agricultural nonpoint source water pollution policy: The case of california's central coast. Agriculture, Ecosystems & Environment, 128(3): 151-161.
- Ghosh G.S. and Shortle J.S. 2012. Managing pollution risk through emissions trading. FCN Working Paper No. 1/2012.
- Horan R.D., Shortle J.S. and Abler D.G. 2002. Point/Nonpoint nutrient trading in the Susquehanna river basin. Water Resources Research, 38(5): 8-1-8-12.
- Hung M.F. and Shaw D. 2005. A trading-ratio system for trading water pollution discharge permits. Journal of Environmental Economics and Management, 49(1): 83-102.
- Lee C.S. and Wen C.G. 1996. River assimilative capacity analysis via fuzzy linear programming. Fuzzy Sets

- Parry R. 1998. Agricultural phosphorus and water quality: A US environmental protection agency perspective. *Journal of Environmental Quality*, 27(2): 258-261.
- Ribaudo M., Horan R.D. and Smith M.E. 1999. Economics of water quality protection from nonpoint sources: Theory and practice. United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Ribaudo M. 2009. Nonpoint pollution regulation approaches in the US. *The Management of Water Quality and Irrigation Technologies*, 84-101.
- Sharp M., Suter J. and Hoag D. 2017. An Experimental Approach to Resolving Uncertainty in Water Quality Trading Programs, No. 1377-2016-109932, pp. 1-29.
- Shortle J.S. and Horan R.D. 2001. The economics of nonpoint pollution control. *Journal of Economic Surveys*, 15(3): 255-289.
- Stephenson K. and Shabman L. 2017. Where did the agricultural nonpoint source trades go? Lessons from Virginia water quality trading programs. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(5): 1178-1194.
- Tabaichount B., Wood S.L.R., Kermagoret C., Kolinjivadi V., Bissonnette J.F., Zaga Mendez A. and Dupras J. 2019. Water quality trading schemes as a form of state intervention: Two case studies of state-market hybridization from Canada and New Zealand. *Ecosystem Services*, 36: 100890.
- Wiesmeth H. 2012. *Command-and-Control Policy. Environmental Economics: Springer Texts in Business and Economics*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wiesmeth H. (2012) *Command-and-Control Policy. In: Environmental Economics. Springer Texts in Business and Economics*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Woodward R.T., Kaiser R.A. and Wicks A.M. 2002. The structure and practice of water quality trading markets. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4): 967-979.
- Woodward R.T., Newburn D.A. and Mezzatesta M. 2016. Additionality and reverse crowding out for pollution offsets in water quality trading. *Ecological Economics*, 128: 224-231.
- and Systems, 79(2): 191-201.
- Letson D. 1992. Point-Nonpoint source pollution reduction trading: An interpretive survey. *Natural Resources Journal*, 32: 219-232.
- Mahjoobi E., Sarang A. and Ardestani M. 2016a. Management of unregulated agricultural nonpoint sources through water quality trading market. *Water Science and Technology*, 74(9): 2162-2176.
- Mahjoobi E., Ardestani M. and Sarang A. 2016b. Assessment of water quality trading market performance through regulating agricultural nonpoint sources (findings from an analytical case study of Gharesoo watershed in Iran). *Journal of Research in Ecology*, 4(2): 267-288.
- Malik A.S., Larson B.A. and Ribaudo M. 1994. Economic incentives for agricultural nonpoint source pollution control. *Journal of the American Water Resources Association*, 30(3): 471-480.
- Morgan C. and Wolverton A. 2005. Water quality trading in the united states. *National Center for Environmental Economics Working Paper*, 05-07.
- Motallebi M., O'Connell C., Hoag D.L. and Osmond D.L. 2016. Role of conservation adoption premiums on participation in water quality trading programs. *Water*, 8(6): 245.
- Motallebi M., Hoag D.L., Tasdighi A., Arabi M. and Osmond, D.L. 2017. An economic inquisition of water quality trading programs, with a case study of Jordan Lake, NC. *Journal of Environmental Management*, 193: 483-490.
- Nangia V., Gowda P., Mulla D. and Sands G. 2008. Water quality modeling of fertilizer management impacts on nitrate losses in tile drains at the field scale. *Journal of Environmental Quality*, 37(2): 296-307.
- O'Connell C., Motallebi M., Osmond D.L. and Hoag, D.L. 2017. Trading on risk: The moral logics and economic reasoning of North Carolina farmers in water quality trading markets. *Economic Anthropology*, 4(2): 225-238.
- Olmstead S. M. 2010. The economics of managing scarce water resources. *Review of Environmental Economics and Policy*, 4(2): 179-198.



هر سیستم منابع-مصارف آب از زیرسیستم‌های متعددی تشکیل شده است. این زیرسیستم‌ها تعاملات و بازخوردهای درهم تنیده و پویایی دارند. انسجام پایایی سیستم‌های منابع آب معمولاً به‌طور طبیعی برقرار است. اما گسترده شدن دخالت انسان در یک قرن اخیر، اثرات منفی بر منابع آب داشته و پایایی این سیستم‌ها را دچار مخاطره کرده است. اکنون قواعد حاکم بر برداشت‌ها و مصارف آب نقش مهمی در بقاء منابع آب دارند. در واقع، اثربخشی این قواعد و تبعیت بخش انسانی (مستولین، آب‌بران و ...) از آن، می‌تواند موجب پایایی سیستم گردد. اما برای اصلاح یک سیستم (رفع کاستی‌ها و ارتقاء اثربخشی)، مدیریت نیازمند ارزیابی سیاست‌ها و استراتژی‌های خویش است. لذا، نظام ارزیابی باید طراحی و پیاده‌سازی شود. اما منظور از نظام ارزیابی چیست؟ در این مقاله سعی شده تا ارتباط ارگانیک نظام ارزیابی (از داده تا تصمیم) با مدیریت شرح داده شود. به نظر می‌آید، امروزه در ایران باید بر مفاهیم و اهمیت سنجش و پایش و بیش از آن بر نقش اصولی این داده‌ها در مدیریت، تاکید شود. زیرا برای مدیریت یکپارچه منابع آب، نظام ارزیابی نقشی حیاتی دارد. داده‌های اندازه‌گیری شده نه تنها بایستی موثق و کافی باشند، بلکه باید متناسب با نیازهای مدیریتی (در سطوح مختلف) باشند. بنابراین این مقاله به موضوعات «توسعه پایا و منابع آب»، «طرح و برنامه پایش منابع و مصارف آب»، «نقش معیارها/نشانگرها/شاخص‌ها در نظام ارزیابی»، به عنوان ابزار الزامی در توسعه یک نظام ارزیابی هدفمند برای افزایش توان تصمیم‌گیری مدیران در حوزه منابع آب پرداخته است. در این مسیر، مدل مفهومی این نظام ارزیابی برای مدیریت منابع-مصارف آب، به اختصار ارائه شده است.

## مقدمه

امروزه چالش‌های آب در جهان ابعاد پیچیده و درهم تنیده‌ای پیدا کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشتر معضلات موجود در بخش آب، حاصل توسعه ناپایا است. این امر خود ناشی از فقدان درک درست از مفهوم پایایی توسعه در فرآیندهای تصمیم‌گیری کشور می‌باشد؛ که البته منتج از کم‌توجهی به داده‌ها (یا فقدان واقع‌گرایی) است. بدیهی است که همان تفکری که زمینه‌ساز بروز مشکلات بوده است، نمی‌تواند این مشکلات را حل و فصل کند؛ و لذا کشور نیازمند نگاهی نو و متفاوت است.

حل مشکلات در فرآیند مدیریت منابع-مصارف آب در مقیاس خرد تا کلان، مستلزم نگاهی سیستماتیک به فلسفه وجودی داده، جایگاه واقعی آن در نظام تصمیم‌گیری و نحوه بکارگیری موثر آن هم‌سو با اهداف مدیریت (یعنی توسعه پایا) است. در چنین رویکردی، ابتدا بایستی به سوالاتی نظیر اینکه «چرا برای دستیابی به مدیریت پایای منابع آب به داده نیاز است؟»، «داده چگونه در فرآیند تصمیم‌سازی بکار برده می‌شود (نظام ارزیابی)؟»، «معیارها و مبانی ارزیابی کدام باید باشند؟»، «تحلیل معیارها مبتنی بر کدام نشانگرها/ شاخص‌ها باید انجام شود؟»، و در نهایت «برآورد نشانگرها/ شاخص‌های ارزیابی چه داده و با چه دقت و کیفیتی نیاز دارد؟» پاسخ داده شود. آنگاه می‌توان به بهبود مدیریت اطلاعات و توسعه یک سیستم اطلاعات مدیریتی پرداخت. این امر با گام‌های زیر تحقق می‌یابد:

۱- شناسایی کاربردها و کاربران اطلاعات؛ ۲- تعیین انواع اطلاعات و سامانه‌های اطلاعاتی موردنیاز برای این کاربردها و کاربران؛ ۲- شناسایی و بررسی انواع داده و اطلاعات موجود و منابع آن؛

۳- شناسایی شکاف میان ۲ و ۳؛ ۴- طراحی سنجش و پایش، و نوسازی/به‌سازی شبکه پایش موجود؛ و در نهایت ۵- استمرار در سنجش داده و تولید اطلاعات و انتشار آن برای مدیران و گرداران آب. فرآیند مذکور (پاسخ به پرسش‌های فوق و اجرای این گام‌ها) بایستی به صورت دوره‌ای (مثلاً هر ۵ سال یکبار) مجدداً تکرار شوند، تا اطمینان حاصل شود که «نظام ارزیابی منطبق بر نیازهای مدیریت و در امتداد اهداف» است.

لذا، پایش و ارزیابی به موضوعی مهم و حیاتی در سازمان‌ها تبدیل شده است. این مقاله نیز به تشریح ادبیات موضوع و مفاهیم مرتبط با مباحث «استفاده از داده‌ها برای استقرار مدیریت یکپارچه منابع-مصارف آب» پرداخته است. بدیهی است موفقیت هر سازمانی، تابع میزان بهره‌گیری آن سازمان از اطلاعات مفید (مبتنی بر داده موثق و کافی) است که به موقع تولید و در اختیار تصمیم‌گیران قرار گرفته باشد. در واقع، اگر مدیری اطلاعات مورد نیاز تصمیم‌گیری را در زمان خودش و با صحت کافی در اختیار نداشته باشد، قطعاً در ارزیابی و تشخیص خود به خطا می‌رود؛ که نتیجه‌ای بجز اخذ تصمیم اشتباه نخواهد داشت. باید یادآوری نمود که داده به تنهایی دارای ارزش چندانی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری نیست؛ هر چند که با ابزار متناسب، در مکان مناسب، و تحت نظر متصدی ماهر و متعهد فراهم شده باشد. چه بسا، حجم زیاد داده در سازمان‌ها مایه سردرگمی و گمراهی نیز شده است.

البته شرط لازم اخذ تصمیم صحیح، تأمین داده مرتبط و موثق است؛ اما شرط کافی تبدیل این داده به اطلاعات مفید و آرایه به موقع آن به مدیران است؛ و در عین حال، سرعت و سهولت دستیابی به اطلاعات مناسب اهمیت زیادی در مدیریت دارد.

وجود چنین رویه‌ای، به تدریج موجب رشد دانش سازمانی در قالب ضوابط (دستورالعمل، استاندارد، ...) می‌شود. علاوه بر این، این دانش و اطلاعات، موجب ارتقاء بینش و قاطعیت مدیران می‌گردد. در نهایت، انتشار این اطلاعات، نه تنها ارتقاء دهنده شفافیت و پاسخگویی سازمان است؛ بلکه موجب جلب حمایت و همراهی سایر گروداران خواهد گردید.

در حقیقت «داده» زیربنایی‌ترین عنصر در نظام ارزیابی (و نهایتاً در تصمیم‌گیری‌ها) است. اما اینکه چه داده‌ای باید فراهم و پایش گردد، را نظام ارزیابی تعیین می‌نماید؛ و نه برعکس. به عبارت دیگر، می‌توان گفت مدیران برای هدایت سیستم از وضعیت موجود به سوی هدف، نیازمند ارزیابی مستمر موقعیت موجود در قیاس با موقعیت هدف هستند. لذا در برنامه‌ریزی، برای تبیین روش ارزیابی، ابتدا ضروری است تا معیارهای توفیق و عدم توفیق (در دستیابی به هدف) مشخص گردند. سپس، برای هر معیار نشانگرها (و شاخص‌ها) تعریف می‌شوند. شاخص‌ها در مدیریت پایای منابع آب، ابزار موثری برای ارزیابی حرکت به سوی پایایی می‌باشند. به بیانی ساده هر شاخص، سنجه‌ای است که باید وضعیت بخشی از سیستم منابع-مصارف آب را گزارش کند. در حوزه آب، استفاده از شاخص‌های منابع-مصارف بدون شک می‌تواند به مدیریت و تخصیص بهتر منابع آب کمک نمایند (Lee و Kang، ۲۰۱۱). همچنین شاخص‌ها می‌توانند به ساده‌سازی فرآیند مدیریت یکپارچه منابع آب و ایجاد ارتباط موثر بین گروه‌های مختلف در زمینه آب کمک نمایند (WWAP، ۲۰۰۳).

ضمن حفظ منابع آبی موجود، ارزیابی پایایی منابع آب در آینده ضروری است. به این منظور شاخص‌های پایایی منابع آب زیرزمینی به عنوان متغیرهای قابل اندازه‌گیری برای ارائه اطلاعات مربوط به وضعیت سیستم منابع آب معرفی می‌شود. شاخص‌های پایایی ابزاری مفید برای پایش و ارزیابی وضعیت منابع آب هستند؛ اگرچه راه‌حلی برای مشکل ناپایایی به حساب نمی‌آیند. شاخص‌ها، متغیرهای آماری هستند که تغییرات (نسبی شده) یک یا چند عامل را نشان می‌دهد. شاخص‌ها، تسهیل‌کننده مدیریت سیستم هستند؛ زیرا درک شرایط سیستم را به نحوی **هوشمندانه و هدفمند** برای متولیان آب فراهم سازند (Juwana و همکاران، ۲۰۱۲). برای ارزیابی یک سیستم از جنبه‌های مختلف، کافی است، **هوشمندانه** شاخص‌های تخصصی برای هر جنبه طراحی گردند، و سپس یک برنامه پایش **هدفمند**، داده مورد نیاز این شاخص‌ها را فراهم نماید.

در تعریف، ارزیابی یک بررسی نظام‌مند و بی‌طرفانه (بر اساس داده‌های موجود)، در مورد یک برنامه در حال اجرا و یا پایان یافته است. فرایند تصمیم‌گیری، بر اساس نتایج ارزیابی، ارتقاء می‌یابد و تصمیمات بهتری (برای دستیابی به اهداف) اتخاذ

می‌گردد. هدف ارزیابی بررسی نقادانه اثرات متقابل اهداف، سیاست‌ها، و پیامدها است؛ که الزاماً به کارایی و اثربخشی سیاست‌ها و روش‌های مدیریتی می‌پردازد. لذا ارزیابی را باید از ارکان اصلی مدیریت دانست.

### نقش ارزیابی در مدیریت آب

رشد جمعیت، تغییر استانداردهای زندگی و توسعه کشاورزی آبی، سه محرک اصلی در افزایش مصارف آب طی ۱۵۰ سال گذشته هستند که در نهایت موجب رشد بیش از ۷ برابری برداشت از منابع آب شیرین زمین شده‌اند. در همین شرایط، بیش از ۲ میلیارد نفر به آب آشامیدنی سالم و بیش از دو برابر این تعداد به بهداشت عمومی دسترسی ندارند و تقاضای آب تا سال ۲۰۵۰ به میزان یک سوم افزایش خواهد یافت (WWDR، ۲۰۱۸). ادامه این روند حیات بشر بر روی کره خاکی را به مخاطره می‌اندازد. پیشگیری از این عقوبت، تنها با درک صحیح از پایداری توسعه ممکن است. پایداری توسعه به معنای تلفیق اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی برای حداکثرسازی رفاه انسان، بدون آسیب به توانایی نسل‌های آتی برای برآوردن نیازهای آنان است (OECD، ۲۰۰۱). لذا دستیابی به توسعه پایدار، نیازمند راه‌کارهایی برای رفع و یا تعدیل مشکلات اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی حال و آینده است (کارآموز و محمدپور، ۱۳۹۵).

در ایران، بیش از ۹۰٪ از ۶۰۷ محدوده مطالعاتی ممنوعه و حدود ۲۵٪ آنها بحرانی هستند؛ که نشان دهنده شرایط وخیم آبی کشور است. این در حالی است که امروزه نگرش غالب معتقد است که «بحران آب، ناشی از کمبود فیزیکی آب نیست، بلکه نتیجه انبوهی از ناکامی‌های نهادی و سیاسی در مدیریت منابع آب است» (پشتوان، ۱۳۹۶). لازم به ذکر است سیستم‌های منابع-مصارف آب، سیستم‌های پویا و پیچیده‌ای هستند که در دو فضای طبیعی و انسانی بسط یافته‌اند. درک رفتار چنین سیستم‌هایی نیازمند توجه به پویایی آنها و نیز جامع‌نگری (مبتنی بر اندازه‌گیری‌ها و دانش کافی) می‌باشد (Mianabadi، ۲۰۱۶). ساده‌اندیشی در این عرصه، یکی از دلایل اصلی پدیداری شرایط وخیم امروزین کشور است. برای بازگشت به تعادل منابع-مصارف و پایایی، بایستی سیستم‌های منابع-مصارف آب به نحوی طراحی و مدیریت شوند که همزمان اهداف جامعه را برای حال حاضر و آینده، برآورده سازند؛ در حالی که باید این برنامه‌ها با بستر اکولوژیکی و هیدرولوژیکی خویش سازگار باشند.

با توجه به اهمیت بالای داده‌ها، شاخص‌ها، و ارزیابی در مدیریت یکپارچه آب، در ادامه توضیحات بیشتری در مورد این سه ارایه شده است.

عملکرد موفق هر سازمانی، تابعی از کفایت و صحت داده و اطلاعات ورودی آن است. لذا تصمیم‌گیری واقع‌گرایانه و مدیریت کارآمد، نیازمند داده‌های اندازه‌گیری شده متناسب و با کیفیت است. پس از اندازه‌گیری و جمع‌آوری داده‌ها، این داده‌ها باید از طریق یک پایگاه داده قابل اعتماد در دسترس کارشناسان، مدیران و خبرگان قرار گیرد. چنین داده فراهمی، بستری برای بهبود تصمیم‌گیری‌ها است. با نگاه به پیشینه (داده‌های فراهم شده) و پیش‌نگری آینده بررسی سناریوهای محتمل)، مدیران می‌توانند در مورد اینکه کدام چالش‌های مدیریتی آب باید مورد توجه و بررسی قرار گیرند، اتخاذ تصمیم نمایند (عقیلی، ۱۳۹۷). برای پایش و ارزیابی هر چالش، سفارش داده‌های جدید، متناسب با چالش مورد نظر می‌باشد. در کشور هند با استفاده از پرسشنامه‌های عمیق ساختار یافته، داده‌ها برای تولید اطلاعات ارائه می‌شود و این یک گام مهم در جهت ایجاد فرهنگ تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای آب در این کشور می‌باشد (Kumar, ۲۰۱۹).

#### اهمیت شاخص‌ها

تعیین نشانگرها و شاخص‌ها برای ارزیابی سیستم‌های منابع-مصارف آب ضروری است. شاخص‌هایی که هوشمندانه و هدفمند طراحی شده باشند، با فراهم آوردن مبناهای مفید برای مقایسه، پایه‌های اصلی پایش و ارزیابی هستند؛ و با شناسایی مشکلات بحرانی، به بهبود استراتژی‌ها و سیاست‌های آب و روش‌های مدیریتی کمک می‌نمایند. این کارکرد، به سهم خود منجر به بهبود ارزیابی و ارایه گزارش‌های پیشرفت مفیدتری خواهد شد. برای محاسبه شاخص‌ها باید داده‌های معینی اندازه‌گیری، جمع‌آوری و ثبت شوند. اما، بهینه آن است که کمترین تعداد شاخص‌هایی که بتوان به کمک آنها مسیر دستیابی به هدف را پایش نمود و با حداقل نیاز به داده‌ها، شناسایی شوند. زیرا چنین شاخص‌هایی که بیشترین ارتباط و تناسب را با هدف دارند، با صرف کمترین هزینه و زمان قابل دسترسی هستند. Bhowmick و همکاران (۲۰۲۰) اهمیت شاخص را در چارچوب گسترده ظهور مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) تشریح کردند. برای آنکه شاخص بهتر شناخته شود، در ادامه به اختصار مفاهیم معیار و نشانگر شرح داده می‌شوند. معیار (Criteria)، ملاکی برای تشخیص مناسب یا نامناسب بودن حالت سیستم است و ردیابی تغییرات آن می‌تواند برای بررسی موفقیت یا عدم موفقیت یک فعالیت یا برنامه بکار رود. بنابراین معیار، چیزی است که بر اساس آن قضاوت صورت می‌پذیرد. در بسیاری موارد باید‌ها و نباید‌های

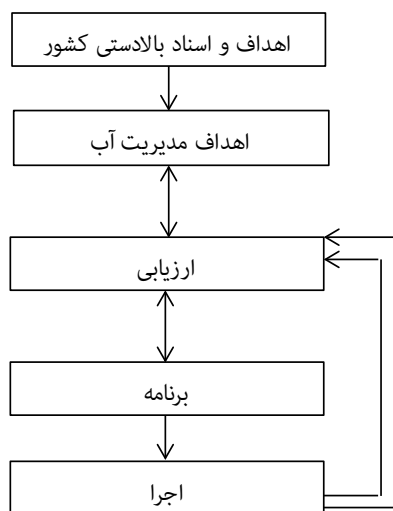
تصمیم‌گیری، در قالب ضوابط الزامی (استاندارد یا قانون) نگارش یافته‌اند. معیارها، حد واسط اهداف و عملیات (اجرا) هستند. همچنین، معیارها بازتاب دهنده دانش هستند؛ و دانش، چیزی به جز تجمیع اطلاعات حاصل از تجربیات در یک دوره طولانی مدت از زمان نیست (خزائی و همکاران، ۱۳۸۵) که به وسیله آن درست و نادرست از یکدیگر تمیز داده می‌شوند.

نشانگر (Indicator)، سنجش‌پذیری معیار را به همراه دارد. ارزیابی در امتداد معیارها صورت می‌پذیرد، اما کارایی سیستم به واسطه نشانگرها سنجش می‌شود. به عبارت دیگر، «معیار» کلی و «نشانگر» کمی است؛ و زمانی که بتوان معیارها را کمی (قابل اندازه‌گیری) نمود، می‌توان آنها را نشانگر نامید. درک ارتباط بین معیارها و نشانگرها بسیار مهم است. شاخص (Index)، به منظور ایجاد مبنای مشترک برای ارزیابی و برای تفسیر آسان داده‌ها (در امتداد معیارها و بر مدار نشانگرها) استفاده می‌شود. در تعریف عمومی، شاخص متشکل است از یک مقدار اندازه‌گیری شده و یک مقدار مبنا (بحرانی، استاندارد، مقدار هدف و غیره)؛ اگرچه، شاخص‌های مرکب می‌توانند از ترکیب چند شاخص مرتبط تشکیل شوند (پشتوان، ۱۳۹۵). بدیهی است، شاخص‌ها باید دسترس‌پذیر و قابل سنجش باشند. شاخص‌ها از نظر ماهیت به چهار دسته کارایی، اثربخشی، بهره‌وری و سودآوری تفکیک می‌شوند. همچنین، شاخص‌ها از نظر جنس به دسته‌هایی مثل کیفیت، هزینه، زمان، و ... تقسیم می‌شوند. به عبارت دیگر، شاخص سازوکار مناسب برای تشخیص وضعیت یک پدیده است (شریف‌زاده و قلی‌پور، ۱۳۸۲). به دلیل مبهم بودن تعریف پایایی، شاخص‌های پایایی عمدتاً برای سنجش روندهای ناپایا می‌توانند مورد استفاده قرارگیرند؛ اما شرایط لازم برای کسب اطمینان از دستیابی به پایایی را ندارند. این محدودیت همچنین در مورد پایایی منابع آب نیز صادق است (Mays, ۲۰۰۶).

معیارها و شاخص‌ها، نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در همه سطوح دارند. بدون سنجش‌های به نام معیار و شاخص، ارزیابی امکان‌پذیر نیست (Newig و Fritsch, ۲۰۰۸). هرگونه بررسی و شناخت واقعی از طریق ابزار ارزیابی نیاز به تدوین معیار و شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری مطلوبیت و یا عدم مطلوبیت وضعیت دارد. پس شاخص، یکی از اجزای ضروری برای ارزیابی کلی میزان پیشرفت به سوی پایداری است و یک معیار برای مرور اطلاعات مربوط به یک پدیده خاص یا یک نشانگر مستقل برای سنجش آن پدیده است (ثقفی اصل و همکاران، ۱۳۹۲).

برای ارزیابی یک سامانه از جنبه‌های مختلف و انعکاس دادن مسائل حال و یا بیان ناپایداری در آینده، نیاز به تعریف مجموعه‌ای از نشانگرها و شاخص‌ها است. به عبارت دیگر استفاده از شاخص‌ها به عنوان اصلی‌ترین ابزار، ساختار

اقتصادی، تکنولوژیکی، محیط‌زیستی و بهداشتی، مدیریت آب باید به‌صورتی منسجم و یکپارچه در ارتباط با کلیه‌گرداران اعمال شود. جایگاه پیشنهادی برای ارزیابی در مدیریت آب در شکل (۲) ارائه شده است. این چارچوب برای محدوده‌های کلان مانند کشور، استان و یا حوزه آبریز قابل اقتباس است (انتظاری، ۱۳۹۳).



شکل ۲- جایگاه پیشنهادی ارزیابی در مدیریت آب (انتظاری، ۱۳۹۳)

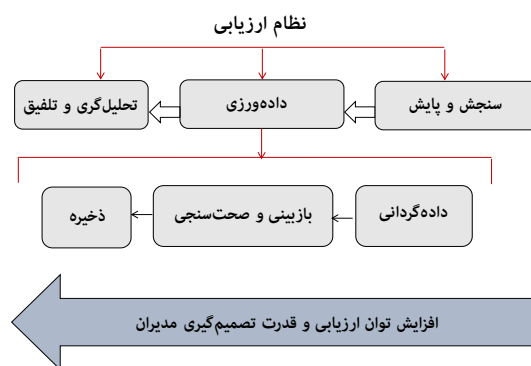
برای تبیین و پیشبرد اهداف در هر حوزه‌ای نیاز به تهیه برنامه‌ای جامع و کامل است؛ تا هر مسئولی با پذیرش مسئولیت خویش در پیشبرد برنامه به سمت اهداف مورد نظر اقدام نماید (انتظاری، ۱۳۹۳). ارزیابی خوب، خواه به‌عنوان جزئی از چرخه طراحی و اجرا دیده شود و یا به‌عنوان یک فعالیت دوره‌ای مجزا، باید قابل تأیید، جامع‌نگر و تطبیق‌پذیر باشد. قابل تأیید باشد، زیرا شرایط، اطلاعات، ارزش‌ها، ظرفیت‌ها و اولویت‌ها دائماً در حال تغییر هستند. جامع‌نگر باشد به‌طوری‌که این تغییرات را بتوان در درون راهبردهای پایداری داخل نمود و تطبیق‌پذیر باشد به‌گونه‌ای که اعمال، رفتار و تصمیمات ما با این تغییرات سازگار و منطبق شود. بنابراین ارزیابی‌های خوب، گروه‌های ذی‌سهم را به تفکر مجدد در مورد اولویت‌ها، تعیین مجدد اهداف و ترسیم مجدد خط‌مشی عمل آن‌ها در واکنش به آگاهی‌های جدید وادار می‌سازد (Najam, ۱۹۹۷).

ارزیابی در مدیریت منابع آب با سه هدف متفاوت، یعنی استراتژیک (شامل مدیریت استراتژیک و تجدید نظر در استراتژی‌ها)، ارتباطی (شامل کنترل موقعیت فعلی، نشان دادن مسیر آینده و ارائه بازخورد) و انگیزشی (شامل تشویق مدیریت) صورت می‌پذیرد. همچنین، این ارزیابی در سطوح متفاوت و توسط نهادهای

و اطلاعات لازم برای ارزیابی وضعیت منابع آب در تدوین سیاست‌های متضمن پایداری، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. شاخص‌ها کمک می‌کنند روندها اندازه‌گیری شده، تغییرات برجسته شوند و ارزیابی‌ها مورد حمایت قرار گیرند. این شاخص‌ها درکی را مطرح می‌کنند که چگونه اقدامات انسانی بر مؤلفه‌های مختلف حکمرانی و نهایتاً پایداری (اقتصادی، محیط زیستی، اجتماعی) اثر می‌گذارد (خزائی و همکاران، ۱۳۸۵).

## اهمیت و مفهوم ارزیابی در مدیریت آب

ارزیابی بخشی ضروری از فرایند پیاده‌سازی و اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و پروژه‌ها محسوب می‌شود. مدیریت بهتر، نیازمند افزایش آگاهی و شناخت منابع آب است. براساس تعریف ارائه شده توسط سازمان مشارکت جهانی آب (GWP) ارزیابی منابع آب ابزاری برای سنجش منابع آب در یک مدل مرجع یا سنجش دینامیک‌های حاکم بر منابع آب در ارتباط با تأثیر یا نیاز انسان فراهم می‌کند (سلیمانی‌ها، ۱۳۸۹). ارزیابی منابع آب شامل سه بخش سنجش و پایش، داده‌ورزی و تحلیل‌گری و تلفیق می‌باشد. هر کدام از این سه بخش می‌تواند داده‌ها و اطلاعاتی را در زمینه محیط، منابع آب و غیره در اختیار مدیران قرار دهد و به تدریج با افزایش سطح اطلاعات موجب افزایش توان مدیریتی در تصمیم‌گیری شود. شناخت و درک ارتباط هر کدام از سه بخش اصلی در نظام ارزیابی منابع (شکل ۱) می‌تواند به تبیین بهتر ارتباط شاخص‌های ارزیابی با مدیریت و حکمرانی آب کمک نماید.



شکل ۱- اجزای نظام ارزیابی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر (داوری و همکاران، جزوه درسی ۱۳۹۸)

پایش و ارزیابی مدیریت آب توسط انواع شاخص، یکی از مهمترین اقداماتی است که در این زمینه انجام می‌شود. به لحاظ اهمیت روزافزون نقش آب در جنبه‌های اجتماعی،



مختلف صورت می‌پذیرد. در سطوح ملی، حوضه آبریز و یا تقسیمات استانی، متولیان آب (وزارت نیرو) تمایل دارند، از چگونگی کمیت و کیفیت آب آگاه شوند. در سطوح پایین‌تر، معمولاً آب‌بران و یا سایر گروداران (به ویژه سمن‌ها) تمایل دارند بدانند نهادهای متولی آیا در انجام وظایف خویش موفق بوده‌اند؟ در واقع این حق گروداران است که نسبت به وضعیت منابع و مصارف آگاه باشند. بدیهی است گروداران از این وضعیت هم تأثیر می‌پذیرند و هم بر آن تأثیر می‌گذارند. به‌عنوان مثال گروداران می‌توانند با هوشیاری و مطالبه‌گری موجب پایداری منابع آب گردند، در مقابل ممکن است گروهی از گروداران با رفتار غیرمسئولانه موجب تشدید خسارت بر منابع آب شوند (اضافه برداشت، دفع آلودگی و غیره). رفتار مثبت گروداران به دو دسته فردی و گروهی قابل تفکیک است. رفتارهای اصلاحی فردی که ناشی از درک

#### نتیجه‌گیری

امروزه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، نیاز است بر مفاهیم و اصول اندازه‌گیری و سنجش تا مدیریت، برای استفاده اصولی از داده‌ها تأکید شود. زیرا توجه به این مفاهیم یکی از الزامات برای مدیریت یکپارچه منابع آب، به‌منظور تعادل و تخصیص بهینه منابع و بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی در حوزه آب است. به‌عبارت دیگر تنظیم اهداف و اقدامات توسعه پایدار برای رسیدن به مدیریت یکپارچه منابع آب بدون شناخت مفاهیم برنامه، اندازه‌گیری و سنجش داده، شاخص و در نهایت ارزیابی داده‌های اندازه‌گیری که فرایندی برای مدیریت بهتر منابع آب است، امکان‌پذیر نخواهد بود. از این‌رو در این مطالعه به بیان مفاهیم طرح و برنامه‌ریزی، اندازه‌گیری داده و سنجش و ارزیابی پرداخته شد. با داشتن هدف، پس از طرح و برنامه‌ریزی یعنی تبیین وضع موجود، داده‌هایی که باید اندازه‌گیری شود مشخص خواهد شد. سپس با استفاده از شاخص‌ها که ابزار قدرتمند تصمیم‌گیری و عناصر کلیدی نظارت بر پیشرفت به سوی توسعه پایدار در بخش آب هستند می‌توان آن‌ها را ارزیابی کرد. هدف از این مطالعه تشریح ادبیات موضوع و مفاهیم استفاده از داده‌ها برای رسیدن به مدیریت یکپارچه منابع آب است. این مطالعه بیان می‌کند با توجه به چالش‌های پیچیده و درهم‌تنیده حوزه آب در جهان، معضلات موجود در این بخش حاصل استفاده از روش‌های ناپایدار که ناشی از فقدان ارزیابی درست داده‌ها است، می‌باشد. بنابراین ضمن توجیه اهمیت روزافزون اندازه‌گیری و سنجش داده‌ها، بیان می‌کند شناسایی شاخص‌ها می‌تواند سهم قابل توجهی در ارزیابی داده‌ها داشته باشد.

#### منابع

و آگاهی از وضعیت منابع و مصارف آب می‌باشد و رفتارهای گروهی که معمولاً در قالب مطالبه‌گری از نهادهای متولی صورت می‌پذیرد. رسیدن به اهداف ارزیابی سبب ارتقای کیفیت مدیریت و افزایش بهره‌وری، تصمیم‌گیری‌های بهتر، ایجاد امکان مقایسه و رقابت سالم، دستیابی به راهکارهای جدید و ایجاد حس مسئولیت‌پذیری برای وصول به اهداف می‌شود. در هر حال برنامه ارزیابی برای هر یک از سطوح مزبور لازم است تدوین و به دقت پیاده‌سازی شود (داوری و همکاران، جزوه درسی ۱۳۹۸).

در جهان امروز، تحقق عملکرد مناسب يك سازمان و امکان رهبری موفقیت‌آمیز آن، مستلزم روشی نظام‌مند، شفاف، تحت هدایت و کنترل است. موفقیت يك سازمان بیش از هر چیز حاصل اجرا و حفظ يك نظام مدیریتی کارآمد است، نظامی که برای بهبود مستمر کارایی سازمان طراحی شده باشد.

انتظاری، ف. ۱۳۹۳. تدوین دستورالعملی کاربردی برای پایش کیفی آب زیرزمینی در دشت نیشابور. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

پشتوان، ح. ۱۳۹۵. رهنمودهای برنامه‌ریزی و مدیریت استراتژیک منابع آب. انتشارات کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، تهران. ثقفی اصل، آ. زبردست، ا. و ماجدی، ح. ۱۳۹۲. شناسایی و اولویت‌بندی معیارها و شاخص‌های موثر در فرآیند تحقق‌پذیری پروژه‌های طراحی شهری در ایران. فصلنامه معماری و شهرسازی آرمان شهر. ۷(۱۳): ۱۸۳-۱۹۷.

خزائی، ح، فلاح، ا. و نوری، ز. ۱۳۸۵. شاخص‌ها و معیارهای مدیریت پایدار جنگل. همایش منابع طبیعی و توسعه پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر. نور. دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور.

داوری، ک.، عمرانیان خراسانی، ح.، سالاریان، م. و اسلامی، ا. ۱۳۹۸. مبانی مدیریت آب "منابع و مصارف"، جزوه درسی. سلیمانی‌ها، س. ۱۳۸۹. ارزیابی منابع آب با رویکرد یکپارچه مطالعه موردی: دشت مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران.

شریف‌زاده، ف. ل.، قلی‌پور، ر. ۱۳۸۲. حکمرانی خوب و نقش دولت. مدیریت فرهنگ سازمانی (فرهنگ مدیریت)، ۱(۴): ۹۳-۱۰۹.

عقیلی، خ. ۱۳۹۷. گزارش مدیریت یکپارچه منابع آب زاینده‌رود- همکاری تحقیقاتی و توسعه‌ای ایرانی-آلمانی برای آینده بهتر. شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان.

- ternational institute for sustainable development (IISD), Canada
- Newig J. and Fritsch O. 2008. Environmental Governance: Participatory, Multi-level – and Effective?, UFZ-Discussion Papers. 15/2008 – GoverNAt 8, November 2008. Editor: Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ Permoserstr. 15, 04318 Leipzig/Germany.
- Mays L. W. 2006. Water resources sustainability. McGraw-Hill Professional.
- OECD. The DAC guidelines, strategies for sustainable development. 2001. UN World Water Development Report.
- Peter H. Gleick. 2000. A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. Water International. 25(1):127-138.
- WWDR. 2018. NATURE-BASED SOLUTIONS FOR WATER, The United Nations World Water Development Report 2018. Published in 2018 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- WWAP- World Water Assessment Program. 2003. Water for people, water for life. The 1st edition of this report was launched on World at the 3rd World Water Forum in Kyoto, Japan.
- کارآموز، م. و محمدپور. پ. ۱۳۹۵. تحلیل پایداری تامین و تقاضا مبتنی بر بیلان آب، حرکت به سوی تدوین یک شاخص ترکیبی (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای). نشریه تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۴): ۱-۱۱.
- Bhowmick S., Ghosh N. and Saha R. 2020. Tracking India's Progress in Clean Water and Sanitation: A Sub-National Analysis. ORF OCCASIONAL PAPER 250.
- Juwana I., Muttill N. and Perera B.J.C. 2012. Indicator-based water sustainability assessment, A review. Science of the Total Environment, 438: 357-371.
- Kang M. G. and Lee G. M. 2011. Multi criteria evaluation of water resources sustainability in the context of watershed management. Journal of the American Water Resources Association, 47 (4):813– 827.
- Kumar R. 2019. Composite Water Management Index, NITI Aayog, In association with Ministry of Jal Shakti and Ministry of Rural Development.
- Mianabadi. H 2016. Hydropolitics and Conflict Management in Transboundary River Basins, Universiteit Delft.
- Najam A. 1997. Assessing progress toward sustainability in developing countries, in assessing sustainable development: principles and practice. In-

سومین جشنواره ملی  
فناوری های نوین  
آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست



www.nwlsm.ir :اطلاعات بیشتر در

۲۸ و ۲۹ و ۳۰ بهمن ماه ۱۳۹۹  
دانشگاه فردوسی مشهد

مطابق جشنواره های رویش  
بنیاد ملی نخبگان



■ جهت کسب اطلاعات بیشتر با شماره موبایل ۰۹۳۸۱۶۹۴۸۰۳ \_ مسئول دبیرخانه مشهد، مهدی محمد نژاد تماس حاصل فرمایید.

■ آدرس دبیرخانه: مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، ساختمان گروه علوم و مهندسی آب



19<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference

# نوزدهمین کنفرانس مدیریت و یکپارچگی ایران



## محور اصلی کنفرانس:

- هیدرولیک خشک رودها و رودخانه های فصلی و سازه های وابسته

## محور های کنفرانس:

- مدیریت رودخانه و رسوب
- سازه های هیدرولیکی و تأسیسات آبی
- هیدرولیک سیلاب و جریانهای حادی
- هیدرولیک محیط های متخلخل
- هیدرولیک محاسباتی
- هیدرولیک محیط زیستی
- اندرکنش رودخانه با دریا، دریاچه و تالاب
- اندرکنش رودخانه با آبخوان ها
- هیدرولیک شبکه آب و فاضلاب
- تجهیزات و فناوریهای سنجش آب
- مدل های فیزیکی و آزمایشگاهی در هیدرولیک
- کیفیت آب و هیدرولیک آلاینده ها



اطلاعات بیشتر در: [WWW.CONF.IHA.IR](http://WWW.CONF.IHA.IR) و [WWW.NWLSM.IR](http://WWW.NWLSM.IR)



■ زمان برگزاری: ۲۷ و ۲۸ بهمن ماه ■ مکان برگزاری: دانشگاه فردوسی مشهد

■ دبیرخانه انجمن: تهران، خیابان ۱۶ آذر، پلاک ۵۴، طبقه ۱، واحد ۱، تلفن: ۰۲۱-۶۶۱۷۶۷۸۴

■ دبیرخانه کنفرانس: مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، ساختمان گروه علوم و مهندسی آب، تلفن: ۰۹۳۸۱۶۹۴۸۰۳

زمان دریافت مقالات:  
۱ شهریور تا ۱۵ آذر



# مدیریت منابع آب ایران



## رویکرد کنفرانس:

- پیوند چرخه آب و اکولوژی برای پایداری سرزمین در شرایط تغییر اقلیم و محدودیت‌های اقتصادی

## محور های کنفرانس:

- برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار و بهم پیوسته منابع آب سطحی و زیرزمینی (IWRM) در حوضه‌های آبریز
- تحلیل همبست آب، غذا و انرژی (NEXUS) در حوضه‌های آبریز و مدیریت آب مجازی
- نقش ساختارهای حاکمیتی در مدیریت منابع آب و تدوین الگوی همکاری بخش خصوصی با دولت
- تبیین نقش اقتصاد به خصوص بازار آب در مدیریت و تعادل بخشی منابع آب
- مدیریت کمی، تخصیص و باز تخصیص منابع آب در شرایط موجود و آینده
- مدیریت کیفیت منابع آب، فاضلاب‌ها، پساب‌های صنعتی، زه‌آب‌های کشاورزی و آب‌های برگشتی
- مدیریت وقایع حدی (خشکسالی و سیل) در شرایط تغییر اقلیم
- نقش مدیریت یکپارچه چرخه آب شهری در بهبود محیط زیست شهری
- تأمین و تخصیص حقابه محیط زیست با هدف پایداری اکوسیستم‌های آبی



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران



دانشگاه تهران  
گروه علوم و مهندسی آب



دانشگاه اصفهان  
پژوهشگاه آب و محیط زیست



انجمن علمی  
گروه مهندسی آب  
دانشگاه فردوسی مشهد



انجمن تخصصی مهندسی آب  
دانشگاه شیراز



■ زمان برگزاری: ۲۷ و ۲۸ بهمن ماه ■ مکان برگزاری: دانشگاه فردوسی مشهد

■ جهت کسب اطلاعات بیشتر یا شماره موبایل ۰۹۳۸۱۶۹۴۸۰۳ \_ مسئول دبیرخانه مشهد، مهدی محمد نژاد تماس حاصل فرمایید.

■ آدرس دبیرخانه: مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده کشاورزی، ساختمان گروه علوم و مهندسی آب

زمان دریافت مقالات:  
۱ شهریور تا ۱۵ آذر

# In the Name of Allah

## Journal of Water and Sustainable Development

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.

Grantee  
Manager in Charge  
Editor in Chief

College of Agriculture , Ferdowsi University of Mashhad, Iran  
Shahnooshi Foroushani, N. Prof., Ferdowsi University of Mashhad  
Ghahraman, B. Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

Bagheri, A. Asso. Prof., Tarbiat Modares University  
Davary, K. Prof., Ferdowsi University of Mashhad  
Esmaili, K. Asso. Prof., Ferdowsi University of Mashhad  
Ghezelsoflo, A.A. Assis. Prof., Islamic Azad University of Mashhad  
Jolaini, M. Asso. Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi  
Meftah Halaghi, M. Asso. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Guiding Council

Sayahi, A., Assistance of research and industrial relations center of National Water and Wastewater Engineering Company (Chairman of the council)  
Esmailian, H., Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company  
Alaei, M., Managing director of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company  
Mousavi, S. Y., Secretary of water Think tank at Iran Water Resources Management Company  
Shahnooshi Foroushani, N., Manager in charge  
Ghahraman, B., Editor in chief

Advisory Editors

Noori Esfandiari, A., Representative of water Think tank at Iran Water Resources Management Company  
Sajadifar, S.H., Representative of National Water & Wastewater Company  
Tavakoli Aminian, S., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company  
Kalaei, GH., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company  
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad

Executive Expert  
Editor  
Graphic  
Order of publication  
Publisher  
ISSN  
Website/E-Mail  
Address  
Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.  
Shahedi, M., Quchanian, M., Hasibi, A., Oskouhi, M.  
Shaikhi, M.R.  
Quarterly  
Ferdowsi University of Mashhad  
2423-5474  
<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD/> [jwsd@um.ac.ir](mailto: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:**

- **The Importance and Application of Citizen Science in Hydrology and Water Resources Management**

M. Sanjari Banestani, V. Sheikh, A. Zare Garzi,  
A. Avarand

- **Challenges of Catchment Water Balance Calculations, Case Study: Kol-Mehran and Helleh Catchment**

S. Samani

- **Water Allocation Management in Iran, A Deviated Way in the Lapse of Time**

E. Esmaeilnezhad, K. Davari

- **Water and its Landscape in the MENA Region (Middle East and North Africa)**

F. Askari Bozayeh, R. Mohammadzadeh  
Y. Azarin Far

- **Investigating the Effect of using Polystyrene sheets on Evaporation Reduction from Water-storage Reservoirs in Arid and Semiarid Regions (Case study: Semnan city)**

H. Ghazvinian, S. Farzin, H. Karami,  
S.F. Mousavi

- **A Review of Methods to Reduce Evaporation from the Free Water Surface and the Introduction of Appropriate Methods of Practical and Economic**

M. Sharayei, S.A. Haghyeghi Moghadam

- **Investigation of Destructive Effects and Environmental Solutions of Sand and Gravel Extraction from Urmia Nazlouchay River**

S. Chehreghani, H. Hosseinzadeh  
gharegheshlagh, A. Abedi

- **Pollution Discharge Permits Trading; an Effective Solution to the River Basins' Quality Management**

E. Mahjoobi

