

آب و توسعه پایدار

سال ششم - شماره اول (پیاپی ۱۲)
شهریور ۱۳۹۸

مدیریت سیلاب

فهرست مقالات

- تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان
سید محسن سیدان، مهدی متقی
- بررسی لزوم حذف باغات پسته مازاد در استان کرمان براساس معیارهای فنی، اخلاقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی
محمد عبدالهی عزت‌آبادی
- بررسی ریسک‌پذیری شبکه توزیع آب شهر گرمسار به روش‌های باینری و تاپسیس با استفاده از GIS
سیدامید میر محمد صادقی، محمد نبویان‌پور
- میزان اثربخشی هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف (مطالعه موردی: پارک رازی تهران)
امیر ناصر سعیدالذاکرین، بیژن نظری، هادی رمضان‌اعتدالی
- کاربرد آبیاری تکمیلی در زراعت گندم دیم
محمد کریمی، محمد جلیلی
- مروری بر مفاهیم مدل‌سازی هیدرولوژی: بخش دوم، مبانی تحلیل عدم قطعیت
مجتبی شفیعی، بیژن قهرمان، بهرام تقفیان
- تحلیل روند بارش با استفاده از روش نوین Sen و مقایسه نتایج روش‌های متداول (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)
سحر خزاعی، رضا براتی، احمد قندهاری، محمدرضا صادقی فرد
- بررسی امکان استفاده از بارش‌های شهری جهت استفاده در مصارف فضای سبز با استفاده از نرم‌افزار Civil Storm (مطالعه موردی: بخش جنوب شهر مشهد)
مجتبی زیردست، علیرضا روشنی
- منابع آب ژرف: فرصت‌ها و چالش‌ها
فاطمه کیخایی، فریبرز عباسی
- منابع آب زیرزمینی ژرف: ویژگی‌ها و محدودیت‌ها
علیرضا کاوسی حیدری، رضا روزبهانی، مرتضی افتخاری
- ذخیره خشکسالی، ضرورت پایداری
هاشم درخشان، حمید عمرانیان خراسانی
- بررسی مشارکت بهره‌برداران در مدیریت بهینه مصرف آب (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری دشت قزوین)
امیر مرادی‌نژاد
- دیدگاه کشاورزان نسبت به قانون‌مداری در حکمرانی آب (مطالعه موردی: شهرستان سبزوار، استان خراسان رضوی)
فاطمه سادات حسینی ششتمد، احمد عابدی سروسناتی، علی کرامت‌زاده
- مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها
میرحسن میر یعقوب‌زاده، سید امین خسروی، مصطفی ذبیحی
- حسابداری مدیریت آب
ترجمه: زهرا معصومی بیلندی، رضوان حجازی
- ارزیابی پایداری با استفاده از شاخص‌ها برای مدیریت یکپارچه منابع آب
ترجمه: مهسا رحمانی

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سرمدیر

دانشگاه فردوسی مشهد

ناصر شاهنوشی فروشانی / استاد دانشگاه فردوسی مشهد

بیژن قهرمان / استاد 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 / سرمدیر 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

احمد قندهاری / شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

مهدی کلاهی / دانشگاه فردوسی مشهد

کارشناس اجرایی

ویراستاری

طراحی جلد

ناشر / چاپ

شماره شاپا

تارنما/رایانامه

آدرس

حامی مالی

پایگاه های نمایه شده

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

مرجان قوچانیان (فنی و ادبی) / آرزو حسینی (لاتین)

محمدرضا شیخی

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد / چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

۵۴۷۴-۲۴۲۳

<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD> / jwsd@um.ac.ir

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

شرکت آب و فاضلاب مشهد

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

نشریات کشور (MAGIRAN)



الف	سرمقاله: مدیریت سیلاب به زبان ساده/ کاظم اسماعیلی (عضو هیئت تحریریه)
	یادداشت‌های کوتاه: رویکرد نوین در دانش آبخیزداری (کمال الدین ناصری)/ آبخیزداری و مدیریت سیلاب (علیرضا صحرایی)
۱	تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان سید محسن سیدان، مهدی متقی
۹	بررسی لزوم حذف باغات پسته مازاد در استان کرمان براساس معیارهای فنی، اخلاقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی محمد عبدالهی عزت‌آبادی
۱۵	بررسی ریسک‌پذیری شبکه توزیع آب شهر گرمسار به روش‌های باینری و تاپسیس با استفاده از GIS سیدامید میرمحمد صادقی، محمد نبویان‌پور
۲۳	میزان اثربخشی هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف (مطالعه موردی: پارک رازی تهران) امیرناصر سعیدالذکرین، بیژن نظری، هادی رمضانی اعتدالی
۲۹	کاربرد آبیاری تکمیلی در زراعت گندم دیم محمد کریمی، محمد جلیلی
۳۵	مروری بر مفاهیم مدل‌سازی هیدرولوژی: بخش دوم، مبانی تحلیل عدم قطعیت مجتبی شفیع، بیژن قهرمان، بهرام ثقفیان
۴۱	تحلیل روند بارش با استفاده از روش نوین Sen و مقایسه نتایج روش‌های متداول (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی) سحر خزاعی، رضا پراتی، احمد قندهاری، محمدرضا صادقی فرد
۵۱	بررسی امکان استفاده از بارش‌های شهری جهت استفاده در مصارف فضای سبز با استفاده از نرم‌افزار Civil Storm (مطالعه موردی بخش جنوب شهر مشهد) مجتبی زبردست، علیرضا روشنی
۶۱	منابع آب ژرف: فرصت‌ها و چالش‌ها فاطمه کیخایی، فریبرز عباسی
۶۷	منابع آب زیرزمینی ژرف: ویژگی‌ها و محدودیت‌ها علیرضا کاوسی حیدری، رضا روزبهانی، مرتضی افتخاری
۷۷	ذخیره خشکسالی، ضرورت پایایی هاشم درخشان، حمید عمرانیان خراسانی
۸۵	بررسی مشارکت بهره‌برداران در مدیریت بهینه مصرف آب (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری دشت قزوین) امیر مرادی‌نژاد
۹۵	دیدگاه کشاورزان نسبت به قانون‌مداری در حکمرانی آب (مطالعه موردی شهرستان سبزوار، استان خراسان رضوی) فاطمه سادات حسینی ششتمد، احمد عابدی سروستانی، علی کرامت‌زاده
۱۰۳	مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها میرحسن میرعقوب‌زاده، سید امین خسروی، مصطفی ذبیحی
۱۱۳	حسابداری مدیریت آب ترجمه: زهرا معصومی بیلندی، رضوان حجازی
۱۲۵	ارزیابی پایداری با استفاده از شاخص‌ها برای مدیریت یکپارچه منابع آب ترجمه: مهسا رحمانی
۱۳۵	آشنایی با نشریه و راهنمای چارچوب مقالات
۱۳۷	گزارشی از تجربیات بین‌المللی در مدیریت سیل/ محمد فرشته‌پور، پویا شیرازی علیان
۱۴۱	معرفی نرم‌افزار مدیریت دارایی‌های سرمایه در صنعت آب و فاضلاب (CUPSS)/ مسعود خشائی، سیدحسین سجادی‌فر، محمد داودآبادی



مدیریت سیلاب به زبان ساده

واژه سیل از گذشته نماد شدت تخریب، سرعت خرابی و خسارات مالی و جانی بوده است. چرا چنین مفاهیمی از سیل در اذهان عمومی نقش بسته است؟ تجربه رخدادهای متعددی در این زمینه افکار انسان را به سمت وسوی یک وضعیت غیر قابل کنترل و خاص می‌برد. چرا از وقوع سیل نگرانیم؟ چون مسائل و مشکلات آن‌را تجربه کرده‌ایم. آیا سیل‌ها همیشه چنین خساراتی که امروزه به جامعه بشری وارد می‌کنند را داشته‌اند؟ براساس آنچه که از منابع و نقل قول‌های گذشتگان شنیده شده، خسارت‌ها هرگز بدین گونه نبوده‌اند. آیا اتفاقات نادری که در سال‌های اخیر رخ داده، تکرار وقایع گذشته است؟ میزان خسارت آن‌ها چقدر بوده؟ برخی براین باورند که نقش انسانی در رخداد سیل و اثرات مخرب آن غیر قابل انکار است. دستکاری بشر در طبیعت، او را به سمت وسوی ایجاد شرایط لازم برای وقوع این رخدادهای سوق داده است. برای کنترل شرایط بحرانی و کاهش صدمات ناشی از حوادثی همانند سیل چه اقداماتی ضرورت دارد؟ تجربه سال‌های گذشته، استفاده از ابزار و سازه‌های مختلف همچون مخازن(سدها) را نشان می‌دهد؛ از طرفی در تکمیل روش‌های کنترل سیل روش‌های غیرسازه‌ای نیز پیشنهاد شده است. اما غلبه روش‌های سازه‌ای در کنترل سیل کاملاً مشهود می‌باشد. آنچه انسان را در کنترل و مهار خسارات ناشی از حوادث، ناتوان می‌سازد، عدم اطلاعات کافی از آنچه در رخدادهای گذشته به وقوع پیوسته می‌باشد. کلید تحرک و پویایی در هر رخداد بحرانی مربوط به سامانه جمع‌آوری اطلاعات و چگونگی مدیریت آن است. این مسئله می‌طلبد تا تمرکز اقدام خود را در جمع‌آوری داده‌ها، دسته‌بندی به موقع و تجزیه و تحلیل و نحوه بکارگیری آن قرار داد. در این شرایط است که مدیریت بحران با در اختیار داشتن اطلاعات لازم از امکانات، توانمندی‌ها و نقطه‌ضعف‌های احتمالی از تمام توان خود برای کاهش اثرات نامطلوب بحران بر جامعه بشری عمل می‌نماید. بنابراین اقدامات مدیریتی را می‌توان در سه مرحله زمانی دسته‌بندی نمود:

۱- اقدامات در شرایط معمولی یا قبل رخداد سیل

۲- اقدامات همزمان با رخداد سیل

۳- اقدامات بعد از رخداد سیل

هریک از این مراحل زمانی، خود لزوم فعالیت‌های خاصی را توصیه می‌کند، که از جنبه مدیریتی توجه به آن ضروری است. آنچه مسلم است وقایعی همچون سیل مسئله‌ای نیست که فقط توسط یک ارگان یا نهاد قابل مدیریت باشد. در عین حال مدیریت واحد و یکپارچه برای ساماندهی کلیه فعالیت‌ها در مراحل زمان مختلف، اهمیت بسیار بالایی دارد. از این رو و بنابر اهمیت مسئله، مسئولیت سازمان‌های مختلف از دیدگاه مدیریتی، قبل هر بحران باید مشخص شود. مهمترین ابزار اعمال یک مدیریت توانمند در یک بحران، وجود داده‌های درست و قابل اطمینان، در اختیار داشتن افراد با تجربه و آموزش دیده در سازمان‌های مختلف، منابع مالی لازم برای شرایط بحرانی، در اختیار داشتن طرح و نقشه‌های لازم که از قبل، شرایط مختلفی را پیش‌بینی کرده باشد (داشتن راه حل برای سناریوهای مختلف بحرانی). این موارد خود بیان‌کننده اقدامات بسیار زیاد از جنبه‌های مختلف و در حوزه‌های مختلف خواهد بود. طبیعتاً عدم هماهنگی در انجام اقدامات ضروری و کمک‌رسانی به افراد تحت تأثیر بحران همچون سیل علاوه بر اینکه تأثیرکار و تلاش انجام شده را به درستی نشان نمی‌دهد، گاهی موجب اتلاف و خسارت نیز خواهد شد. از آنجا که فرصت‌های لازم برای مجموعه فعالیت‌های مدیریتی به میزان کافی وجود دارد، هر گونه کاستی در زمان بحران نشان از مدیریت نادرست و عدم شناخت مسائل در زمان قبل بحران می‌باشد.

در این راستا با بررسی اقدامات مدیریتی صورت گرفته در سیل‌های اسفند ۱۳۹۷ و فرودین ۱۳۹۸ (که گستره بزرگی از کشور را دربر گرفت) و همچنین بررسی ساختارها، نظامنامه‌ها و رویه‌های موجود در کشور، شاید بتوان هم اکنون پس از حدود شش ماه از وقوع سیل‌های اخیر، سؤالاتی را مطرح کرد که برخی از آنها، پاسخی جامع را طلب می‌نماید. اما مطرح کردن سؤال، خود نشانه عدم انجام اقدامات لازم در فرصت‌های از دست رفته است.

۱- علت و چرایی عدم رعایت حد بستر و حریم رودخانه‌ها و عدم برخورد قاطع با متصرفین اراضی بستر و حریم رودخانه‌ها، چیست؟ آیا مشکل قانونی است، یا مشخص نبودن حریم‌ها و یا نا مشخص بودن سازمان مسئول آن؟

۲- مسئول اصلی و تصمیم‌گیری نهایی اقدامات مدیریتی در شرایط بحرانی (مثلاً در رابطه با خروجی سدها) با چه کسی است؟ آیا نیاز نیست به جای برگزاری جلسات مشورتی/ اتاق فکر، جلسات "کارگروه سیل" با حضور ارگان‌های مختلف (مانند استانداری) برگزار گردد؟

۳- اقدامات پیشگیرانه از جمله مطالعه و بررسی مناطق سیلگیر، توسط چه ارگان یا نهادی باید صورت گیرد و مسئولیت برنامه‌ریزی آن با چه سازمانی است؟ چنانکه در مورد اقدامات انجام شده قبلی، به‌طور مشخص طرح «شرح خدمات طرح جامع خطرپذیری سیلاب» پیشنهادی توسط «کارگروه تخصصی امور سیل و مخاطرات دریایی، برق، آب و فاضلاب» در چه وضعیتی است و کاستی‌های آن چیست؟ (این نکته قابل ذکر است که در قانون مدیریت بحران (مصوب ۱۳۹۷/۰۵/۰۷) تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زلزله، خطرپذیری (ریسک) لرزه‌ای در سطوح ملی، استانی و شهری به وزارت راه و شهرسازی (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) سپرده شده است؛ در صورتیکه برای پهنه‌بندی و ارزیابی خطرپذیری سیلاب، هیچ بند و تبصره‌ای در نظر گرفته نشده است).

۴- نقش بیمه سیلاب در مدیریت غیرسازه‌ای سیلاب و جایگاه آن در نظام‌نامه‌ها و ساختارهای موجود چیست؟ چرا نقش بیمه سیل برای اطمینان‌پذیری از جبران خسارات و تشویق به سرمایه‌گذاری مورد توجه نیست؟ (روش بیمه سیلاب یک روش غیرسازه‌ای کنترل خسارات ناشی از سیل است که مانند انواع دیگر بیمه، در بیشتر کشورهای پیشرفته دنیا، توسط دولت مرکزی تهیه شده و معمولاً به شرکت‌های بیمه ابلاغ می‌گردد. این روش از ابزارهای مناسبی است که با ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری در طرح‌های توسعه، نگرانی ضایعات و زیانهای ناشی از سیل را کاهش می‌دهد).

۵- چرا به اقدامات هشداردهنده و آموزش عمومی در این مورد بی‌توجهی گردیده است؟ در صورتی که چنین اقداماتی برای زلزله به‌خوبی انجام می‌شود.

۶- آیا یکی کردن «مدیریت بحران» و «پدافند غیرعامل» در سازمان‌ها و ارگان‌های دولتی، موجب بهبود عملکرد آن‌ها شده است یا آنکه از اهمیت مدیریت بحران کاسته است؟ آیا ارجحیت فعالیت‌های پدافند غیرعامل نسبت به فعالیت‌های مربوط به شرایط بحرانی، موجب کم‌رنگ شدن اقدامات لازم در خصوص مسائل بحران سیل نگردیده است؟

۷- مسئولیت پیش‌بینی‌های هواشناسی و پیش‌بینی و هشدار سیل بر عهده چه کسی است و چرا در این زمینه در وزارت نیرو موازی‌کاری صورت می‌گیرد؟ (این نکته قابل ذکر است که در قانون مدیریت بحران (مصوب ۱۳۹۷/۰۵/۰۷) وزارت راه و شهرسازی از طریق سازمان هواشناسی کشور و با همکاری وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی موظف است شبکه پایش و هشدار سیل در سطح کشور را تکمیل کند، در صورتیکه موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو مسئولیت پیش‌بینی‌های هواشناسی و پیش‌بینی و هشدار سیل را برای این وزارتخانه بر عهده گرفته است).

۸- چرا قانون سازمان مدیریت بحران کشور حدود ۱۰ سال است که در مجلس شورای اسلامی تعیین تکلیف نشده است؟

۹- «نگاه جامع به حوضه آبریز برای مدیریت سیلاب» در کدام قسمت از قوانین و دستورالعمل‌های موجود دیده شده است و آیا نحوه ارتباط بین سازمانی در آن تعریف شده است؟

هر چند سؤالات مطرح شده در این زمینه کلی است، لیکن پاسخ به چنین سؤالاتی مستلزم انجام اقداماتی است که باید در آینده هرچه زودتر صورت گیرد تا در شرایط بحرانی آتی از نتایج آن در کاهش اثرات نامطلوب سیل کاست. لذا مجموعه اقدامات لازم در جهت مدیریت بحران را می‌توان بطور خلاصه فهرست نمود:

۱- وضع قوانین لازم برای مواقع بحرانی از طریق نهادهای قانون‌گذار

۲- ایجاد ستاد بحران، متشکل از اعضای وابسته به نهادها و سازمان‌های مختلف

۳- ایجاد دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌ها برای انجام کلیه فعالیت‌های مورد نیاز

۴- جمع‌آوری اطلاعات لازم برای انتخاب طرح و نقشه مناسب جهت امداد رسانی در زمان وقوع سیل (تولید سناریوهای مختلف بحرانی و تهیه روش‌های برخورد با شرایط مورد نظر)

۵- برنامه‌ریزی پایدار برای فعالیت‌ها و وظایف سازمان‌های مرتبط در راستای حفظ محیط زیست و اقدامات پیشگیرانه در مقابله با سیل

۶- برنامه‌ریزی برای تأمین اعتبارات لازم برای کلیه اقدامات مقابله و کنترل سیل که از سوی مرکز مدیریت بحران سیل ابلاغ می‌شود.

۷- تلاش در ایجاد هماهنگی و عدم انجام موازی‌کاری و یا تقابل در اقدامات انجام شده در سازمان‌های مختلف در رابطه با مسئله بحران سیل

۸- برنامه‌ریزی برای استفاده از ابزار و تجهیزات پیشرفته هشدار و اطلاع‌رسانی به افراد از طریق سازمان‌های ذی‌ربط

۹- تلاش برای جمع‌آوری و ساماندهی تحقیقات و مطالعات انجام شده در حوزه مسئله مربوط به سیل و حمایت از تحقیقات دانشگاهی در این حوزه

۱۰- هماهنگی در پوشش خبری و اطلاع‌رسانی به موقع و درست در جهت جلب اعتماد عمومی

۱۱- اقدامات لازم در جهت جلب امداد رسانی داخلی و بین‌المللی و تلاش در جهت استفاده از منابع بین‌المللی

موارد متعدد دیگری را می‌توان به مجموعه اضافه نمود. اما آنچه مهم است اینکه در انجام اقدامات محوله در زمان‌های قبل همزمان و بعد از سیل به‌درستی عمل شود تا نتیجه تلاش و هزینه‌های انجام شده، تأثیر لازم را داشته باشد.



رویکرد نوین در دانش آبخیزداری

جغرافیای خشک‌بوم ما، تاریخ‌مان را شکل بخشیده است. تاریخ ما تاریخ تشنگی است، داستان عطش، سرگذشت جویایی آب تا سرحد زندگی. نشان به آن نشان که در گوشه و کنار سرزمین‌مان مدفن گشتگانی وجود دارد که در نزاع بر سر آب جان‌بخش، جان‌گرمی را بخشیده‌اند. تلخی این واقعیت ما را به آن نکته کلیدی در تاریخ تمدن ایران رهنمون می‌سازد که قدر آب چنان بوده که گاه بهای آن از جان نیز فراتر رفته است. پس شگفت نیست که تمدن این سرزمین یکسره در پیرامون آنچه در ارتباط با آب است، شکل گرفته و فرهنگی متناسب را نیز آفریده است. این فرهنگ، ما را می‌گوید که آب حرمت دارد، قدرش والاست و حراستش واجب. لذا نیاکان این سرزمین در خلال قرن‌ها، دانش حفاظت از آب را فراگرفته و ساختارهای لازم برای این منظور را تا حد کمال پدید آورده و تکامل بخشیده‌اند.

در خلال سده‌ها اوضاع این گونه بود تا زمان حاضر که غرور دانش نوین و فناوری پیشرفته ما را از آن تاریخ و فرهنگ درخشان دور ساخت و دستانمان را به غارتگری منابع آب باز نمود و آن حرمت را شکست.

در طول حدود نیم‌قرن اخیر چنان به کار بهره‌کشی یغماگونه از منابع آبی (همچون سایر منابع) و لاجرم نابودی آنها دست گشوده‌ایم که پس از چند هزار سال، آینده زیست و بقا در این فلات دیرسال در ابهام قرار گرفته و کشور ما را به نمونه‌ای بین‌المللی و عبرت‌آموز از بی‌تدبیری در مدیریت سرزمین، بدل نموده است.

نیاکان خردمند ما اگر ساختار مولکولی آب را نمی‌شناختند یا خواص الکتروشیمیایی آن را نمی‌دانستند، اما «آب را می‌فهمیدند» و از جمله می‌دانستند که ذخیره آب در زیر آفتاب سوزان خشک‌بوم ایران به‌صرفه و صلاح نیست؛ پس هر جا که لازم افتاد به ذخیره یا انتقال آب در زیر سطح کوشیدند و نگهداشت آب را به مادرِ مهربان خاک سپردند. دانش نوین آبخیزداری نیز تا حدی وامدار چنین نگاهی است. گرچه تکنیک‌ها، روزآمد و شیوه‌ها و ابزارها نوین شده‌اند، اما هدف نهایی در بخش عمده‌ای از فعالیت‌های

آبخیزداری، همان است؛ یعنی حفاظت از آب از طریق کاستن از میزان رواناب‌های سطحی، افزایش نفوذ و آنگاه آزادسازی آب‌های نفوذی به شکلی امن و پایدار توسط دبی‌پایه رودها، چشمه‌ها، قنات‌ها یا چاه‌های پایین‌دست. آبخیزداری در رویکرد اصیل آن، تلاشی برای حفاظت همزمان از آب و خاک (این دو قرین همیشگی) است.

در سیل‌های سراسری بهار امسال میلیون‌ها تن خاک ارزشمند از دست رفت. اما کمتر به این خسران پنهان اشاره شد که همراه با چنین حجم عظیمی از هدررفت خاک، ظرفیت نگهداشت آب در خاک نیز کاهش یافت و بازخورد آن رواناب بیشتر و فرسایش بازهم زیادتر خواهد بود.

رویکرد سازه‌محور که برای سال‌های طولانی فضای فکری و عملیاتی دانش آبخیزداری را تحت تأثیر قرار داده بود، اکنون تا حد قابل توجهی تغییر کرده است و کفه به سمت کاربرد بیشتر بوم‌شناسی در مدیریت آبخیز و همچنین دیدگاه‌های مدیریت جامع (همه‌جانبه‌نگر) سنگین شده است. در نهایت لازم است این تفکر فراگیر شود که طبیعت و اکوسیستم بهترین نگاهبان آب و خاک هستند و حفظ توان و ظرفیت اکوسیستم باید در رأس راهبردهای آبخیزداری باشد. لذا هر جا که حسب ضرورت، استقرار سازه‌هایی ناگزیر شود (به مثابه یک تاکتیک)، اما هدف نهایی باید حفظ و ارتقای پتانسیل حوضه آبخیز و به ویژه پوشش گیاهی باشد.

آنچه شواهد و قرائن و نیز مدل‌سازی‌ها به ما گوشزد می‌کنند (بلکه هشدار می‌دهند) آن است که با احتمال زیاد میزان آب قابل بهره‌برداری کشور در سال‌های آتی کاهش خواهد یافت. به سبب تغییرات اقلیمی، با پدیده‌هایی از قبیل کاهش میانگین بارش، تغییر در الگوی پراکندگی بارش‌ها (که می‌توانند منجر به بارش‌های شدید بیشتر و دوره‌های خشکی سالانه طولانی‌تر شود)، سیلاب‌های فراوان‌تر و تبخیر افزون‌تر مواجه خواهیم شد. از دیگر سو نیاز آبی کشور بطور فزاینده در حال رشد است. جمعیت ما با بزرگی نزدیک به یک میلیون نفر در سال در حال افزایش است که خود به معنای خلق نیازهای جدید است. سایر توسعه‌های آب‌خواه را نیز باید به آن افزود. چاره کار البته برنامه منسجم و جامعی را می‌طلبد که از سویی از میزان مصرف و اتلاف بکاهد و بر بازچرخانی تأکید نماید و از سوی دیگر به بهره‌وری از میزان بارش‌های موجود بیافزاید، از خشکسالی اکولوژیک بکاهد و میزان رواناب را تا سرحد میزان طبیعی آن متناسب با توان سرزمین کاهش دهد. پوشش گیاهی عرصه‌های طبیعی،

یادداشت کوتاه



آبخیزداری و مدیریت سیلاب

پدیده بی‌مانند و بی‌جایگزینی است که کاراترین ابزار ممکن را در اختیار می‌گذارد تا بارش‌های موجود به بهترین شکل، حراست و حفاظت گردند و به امن‌ترین شکل ممکن برای کل اکوسیستم و انسان قابل استفاده گردند. حفاظت خاک، در کشوری که به عنوان یکی از بالاترین نرخ‌های فرسایش خاک در جهان رنج می‌برد، نیز باید بطور بدیهی در صدر اهداف

استان خراسان رضوی بیش از ۱۵ سال با خشکسالی مواجه است. با توجه به وجود یک واقعیت به نام خشکسالی و بروز سیلاب‌ها و رواناب‌ها در کشور، یک ضرورت به نام آبخیزداری و آبخوانداری وجود دارد که از بهترین و علمی‌ترین روش‌های مدیریت پایدار منابع آب می‌باشد.

اجرای طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری، ضمن کاهش اثرات خشکسالی (از قبیل: خشک شدن قنات و چشمه‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، مهاجرت و بیکاری) با تقویت منابع آبی زمینه‌ساز تثبیت اشتغال در حوضه‌های آبخیز به‌ویژه در روستاها می‌شود. طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری ضمن کنترل روان‌آب‌ها و سیلاب‌ها و فراهم نمودن زمینه استحصال آب و تغذیه منابع آبی پایین‌دست، با افزایش زمان تمرکز حوضه، از شدت و مقدار سیلاب‌ها کاسته و با کنترل رواناب‌ها و سیلاب در مسیر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها در مقاطع مختلف، شدت تخریب سیلاب‌ها را کاهش داده و از خسارات جبران‌ناپذیر سیلاب به اراضی کشاورزی، تأسیسات و بافت مسکونی پایین‌دست جلوگیری به عمل می‌آورد.

پس آبخیزداری، امنیت مناطق روستایی به ویژه مناطق مرزی را فراهم خواهد آورد. با توجه به اقدامات شاخص و عملکرد موثر فعالیت‌های آبخیزداری و آبخوانداری استان به ویژه رفع کم‌آبی و مقابله با خشکسالی‌های اخیر و همچنین درخواست‌های مکرر کشاورزان و آبخیزنشینان جهت اجرای طرح‌های چند منظوره آبخیزداری از جمله

کلان مدیریت سرزمین باشد که آن هم از گذر حفاظت از پوشش گیاهی به بهترین شکل، قابل دستیابی است. دانش آبخیزداری در رویکرد نوین و اصیل خود چنین افقی را هدف‌گذاری کرده است و دانش بوم‌شناسی را در همه ابعاد (که وجه اجتماعی، اقتصادی و مشارکتی را نیز در بر دارد)، به خدمت می‌گیرد.

احداث سدهای کوتاه، بندهای کنترل رواناب و سیلاب‌های فصلی و بندهای تغذیه منابع آب، این اداره کل با عنایت به الطاف الهی تاکنون موفق شده تا با مشارکت مردم و تخصیص اعتبارات ملی و استانی، فعالیت‌های مفیدی را در سطح استان اجرا نماید.

انواع فعالیت‌های آبخیزداری در سطح حوضه‌های آبخیز جهت ذخیره نزولات آسمانی و کنترل سیلاب‌ها:

۱) عملیات مکانیکی:

جهت کنترل و کاهش اثرات مخرب سیلاب‌ها و افزایش زمان تمرکز حوضه‌ها، شامل عملیات بند خاکی، گابیونی، سنگ و ملاتی، پخش سیلاب و ...

یکی از فعالیت‌های مکانیکی آبخیزداری احداث سدهای زیرزمینی است. این سدها در قسمت‌هایی که آبرفت اجازه می‌دهد، احداث می‌شود که به صورت Cut off در درون زمین ایجاد شده و از خروج آب زیرسطحی جلوگیری و آب را در خلل فرج خاک ذخیره می‌کند. احداث سدهای زیرزمینی هیچ‌گونه مشکلات زیست‌محیطی و خطر غرق‌شدگی ندارد و از تبخیر آب هم جلوگیری می‌کند. همچنین آب موجود در مخازن این سدها می‌تواند مورد مصرف شرب، کشاورزی و صنعت قرارگیرد.

۲) عملیات بیولوژیک:

در راستای حفظ و احیای پوشش گیاهی، شامل عملیات کپه‌کاری، بذرکاری، نهال‌کاری و ...

۳) عملیات بیومکانیکی:

شامل عملیات تراس‌بندی و بانک‌بندی است و در اراضی حاصلخیز که از جنبه تولید اقتصادی توان زیادی دارند، طراحی و اجرا می‌شود. این عملیات میزان رواناب خروجی را کاهش می‌دهد و هدف آن کنترل اثرات تخریبی شیب زمین است.

اهداف آبخیزداری:

- حفاظت و تقویت ظرفیت‌های بالقوه تولیدات (آب و خاک و گیاه) در حوضه‌های آبخیز
- بهره‌برداری حداکثر از منابع اقتصادی آبخیزها با بهبود و توسعه شرایط اقتصادی و اجتماعی و تثبیت اشتغال در مناطق روستائی
- بکارگیری و مشارکت ساکنین حوضه‌ها در طرح‌های اجرایی و جلوگیری از مهاجرت بی‌رویه روستائیان
- پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سیل به‌ویژه در حوضه‌های شهری و روستایی با همکاری دستگاه‌های مرتبط
- استفاده و بهره‌برداری هرزآب‌های سطحی مهار شده در دامنه‌ها و رودخانه‌ها جهت رفع کم‌آبی به‌ویژه رودخانه‌های مرزی استان
- مقابله با خشکسالی، کاهش اثرات کم‌آبی و افزایش آبدی منابع آبی (چشمه‌ها، قنات و چاه‌ها)
- جلوگیری از فرسایش خاک حاصلخیز اراضی و همچنین جلوگیری از حمل رسوبات به مخازن سدها و مناطق پایین‌دست.

ویژگی طرح‌های آبخیزداری و آبخوانداری:

- یکی از برنامه‌های راهبردی وزارت جهاد کشاورزی در اقتصاد مقاومتی
- چند منظوره بودن (حفظ آب و خاک) و کمک به پایداری توسعه کشاورزی
- منطبق بر نیازهای بهره‌برداران در حوضه‌های آبخیز
- بهبود معیشت روستائیان و تحقق اهداف ارتقاء درآمد و ایجاد اشتغال در زمانی کوتاه
- اقبال بالا از سوی مردم و درخواست‌های مسئولین کشوری و استانی
- آبخیزداری جنبه پیشگیری و حل ریشه‌ای مسئله را دارا می‌باشد تا حالت مبارزه
- عام‌المنفعه بودن
- تنوع اقدامات آبخیزداری (مکانیکی، بیومکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی) و عدم نیاز به تکنولوژی پیچیده
- پراکندگی اجرائی مناسب در سطح کشور و رعایت عدالت در توزیع ثروت ملی

• امکان اجراء در مناطق دورافتاده و صعب العبور

• دارای نسبت فایده به هزینه بطور متوسط ۴/۷ (چهار و هفت دهم برابر)

• ارزان‌تر بودن نسبت به سایر روش‌های ذخیره آب.

عملکرد آبخیزداری استان خراسان رضوی:

از مساحت حدود ۱۱/۶ میلیون هکتاری استان خراسان رضوی، ۸/۱ میلیون هکتار عرصه‌های دارای پتانسیل اجرای عملیات آبخیزداری می‌باشد. تقریباً ۳۶/۸ درصد از مناطق استان به مساحت ۴/۳ میلیون هکتار دارای شدت سیل‌خیزی بحرانی و فوق‌بحرانی بوده و سایر مناطق دارای شدت سیل‌خیزی نرمال می‌باشد. در این راستا تاکنون ۳۴۲ حوضه به مساحت ۳/۲ میلیون هکتار مطالعه گردیده که از این مقدار تعداد ۹۱ حوضه با مساحت ۲۸۳ هزار هکتار با مشارکت مردم صورت گرفته است. تاکنون از محل اعتبارات دولتی و مشارکت‌های مردمی، بیش از ۸۰۰ سازه مکانیکی در سطح بیش از ۲۵۰ حوضه آبخیز با مساحت بیش از یک میلیون و سیصد هزار هکتار اجرا شده است. براساس ارزیابی عملکرد تعداد ۲۵ حوضه آبخیز که پروژه‌های آبخیزداری و آبخوانداری در آنها اجرا و به اتمام رسیده، تاکنون نتایج زیر حاصل شده است.

- افزایش آبدی قنات پایین‌دست حوضه‌ها
- کاهش ۴۰ تا ۶۰ درصدی فرسایش خاک و رسوب‌دهی حوضه‌ها
- کنترل رسوب سالیانه به طور متوسط ۴ مترمکعب در هر هکتار
- افزایش حجم آب ذخیره شده سالیانه به مقدار ۵۳۰ مترمکعب در هر هکتار
- استحصال آب به میزان ۳۰۰ میلیون متر مکعب در سال (با فرض ۳ بار آبیگری پروژه‌ها)
- کنترل ۵۰ تا ۶۰ مترمکعب هرزآب‌های سطحی از طریق اجرای عملیات مکانیکی در داخل آبراهه‌ها
- افزایش تولیدات مراتع ۲ برابر ظرفیت مراتع
- کاهش ۵۰ تا ۷۰ درصدی خطرات سیل در اراضی شهری، زراعی، جاده‌ها و تأسیسات

Determination of the Physical and Economic Water Productivity for Grain and Forage Corn under Modern and Traditional Irrigation Systems in Hamadan Province

S.M. Seyedan¹, M. Mottaghi^{2*}

1-Research Assistance Professor, Economic, Social and Extension Research Department, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Hamadan, Iran. 2- Research Assistance Professor, Horticulture Crops Research Department, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Hamadan, Iran.

*(Corresponding Author Email: m.motaghi@areeo.ac.ir)

Received: 03-01-2018

Accepted: 15-09-2018

تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای تحت سامانه‌های آبیاری مدرن و سنتی در استان همدان

سید محسن سیدان^۱، مهدی متقی^{۲*}

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان. ۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: m.motaghi@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۴

Abstract

The importance of water as the rarest input to agriculture has led to more attention to increasing the irrigation productivity in recent years. In this study, the comparison of water productivity in traditional and modern irrigation systems for grain and forage corn in Hamadan province is conducted using three indices of physical and economic productivity of water including CPD, BPD, and NBPD. Firstly, appropriate operators were selected by random sampling and then the necessary data were collected through interviews and completion of the questionnaire. The average physical productivity of water under traditional and modern irrigation systems for grain corn was 0.82 and 1.08 kg/m³ of water, respectively, and for forage corn was 5.11 and 6.67 kg/m³ of water, respectively. The average economical water productivity under traditional and modern irrigation systems for grain corn was 2,849 and 3,665 rial/m³ of water, respectively, and for forage corn was 7,678 and 10,068 rial/m³ of water, respectively. Under modern irrigation systems, the highest amounts of physical and economic productivity of water for grain corn belonged to Asadabad and Nahavand, respectively. For forage corn, the highest amount of physical water productivity was for Nahavand and Tuyserkan and the highest economic water productivity was for Bahar and Nahavand. Based on the results, it can be claimed that traditional irrigation systems should be replaced by modern irrigation systems for grain and forage corn. Also, the cultivation of forage corn should be removed from the cultivation pattern in the Bahar region. These results, in addition to reducing the agricultural water consumption, entail economic benefits for farmers.

Keywords: Cropping pattern, Water resources, Economic benefits.

چکیده

با توجه به اهمیت فراوان آب به عنوان کمیاب‌ترین نهاده کشاورزی، در سال‌های اخیر افزایش بهره‌وری آبیاری مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از سه شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب شامل CPD، BPD و NBPD، در دو سامانه آبیاری سنتی و مدرن (کلاسیک) برای محصولات ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در استان همدان اندازه‌گیری و مقایسه بهره‌وری آبیاری انجام شده است. بنابراین ابتدا به روش نمونه‌گیری تصادفی بهره‌برداران انتخاب و سپس داده‌های لازم از طریق مصاحبه و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری شد. میانگین بهره‌وری فیزیکی آب برای ذرت دانه‌ای در سامانه آبیاری سنتی و مدرن به ترتیب ۰/۸۲ و ۱/۰۸ و برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۵/۱۱ و ۶/۶۷ کیلوگرم بر هر مترمکعب آب حاصل شد. میانگین بهره‌وری اقتصادی آب برای ذرت دانه‌ای در سامانه آبیاری سنتی و مدرن به ترتیب برابر ۲۸۴۹ و ۳۶۶۵ و برای ذرت علوفه‌ای به ترتیب برابر ۷۶۷۸ و ۱۰۰۶۸ ریال بر هر مترمکعب آب به دست آمد. در سامانه آبیاری مدرن، بالاترین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای ذرت دانه‌ای در شهرستان‌های اسدآباد و نهاوند حاصل شد و بالاترین بهره‌وری فیزیکی برای ذرت علوفه‌ای در نهاوند و تویسرکان و بالاترین بهره‌وری اقتصادی در بهار و نهاوند مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان ادعا کرد استفاده از سامانه آبیاری مدرن باید جایگزین سامانه آبیاری سنتی برای کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای شود. همچنین در منطقه بهار باید کشت ذرت علوفه‌ای از الگوی کشت منطقه حذف شود. نتایج به دست آمده علاوه بر کاهش مصرف آب کشاورزی متضمن منافع اقتصادی برای کشاورزان نیز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، منابع آبی، منافع اقتصادی.

سطح زیر کشت ذرت در این استان در سال زراعی ۹۴-۹۳ حدود ۵۰۳۳ هکتار گزارش شده است، از این مقدار ۳۴۳۰ هکتار به کشت ذرت دانه‌ای با ۳۶۸۵۰ تن محصول و ۱۹۰۳ هکتار به کشت ذرت علوفه‌ای با ۲۵۰۲۹۶ تن محصول اختصاص یافته است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). درحالی‌که شرایط نامساعد آبی استان همدان به‌خصوص افت سطح آب‌های زیرزمینی به میزان ۱۲ متر و کاهش نزولات آسمانی به میزان ۵۵ درصد نسبت به یک دهه پیش (وزارت نیرو، ۱۳۹۴) افزایش یافته و حفظ میزان تولید ذرت در سطح کنونی را با مشکل مواجه کرده است.

یکی از راهکارهای مبتنی بر مدیریت تقاضا در سطح مزرعه افزایش راندمان آبیاری و بهبود بهره‌وری مصرف آب است. بهره‌وری نشان‌دهنده نحوه استفاده از منابع و عوامل تولید در طول زمان است و شامل آثار سه‌گانه تغییر فناوری، تغییر مقیاس و تغییر در راندمان استفاده از نهاده‌ها، یعنی حرکت به سمت تابع تولید مرزی از داخل می‌باشد (سلامی، ۱۳۷۶). هدف اصلی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان افزایش بیشتر تولید محصولات کشاورزی با مصرف آب کمتر است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیشتر آب به سایر مصارف و نیاز آبی محیط‌زیست فراهم آید.

در راستای تعیین میزان بهره‌وری مصرف آب در محصولات و مناطق مختلف تحت سامانه‌های مختلف آبیاری، پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته شده است. جعفری و رضوانی (۱۳۸۳) در مزارع سیب‌زمینی استان همدان با محاسبه شاخص‌های اقتصادی آب، نحوه عملکرد سامانه‌های آبیاری تحت فشار و آبیاری نشتی را تحلیل کرده‌اند. آن‌ها عنوان کردند سامانه آبیاری تحت فشار با درآمد ۴۲۰۷ ریال بر مترمکعب آب، بهره‌وری بالاتری نسبت به روش آبیاری نشتی دارد. حیدری و حقایقی (۱۳۸۰) به بررسی کارایی مصرف آب در مورد چند محصول زراعی و صیفی در نقاط مختلف کشور پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که با روش آبیاری ثقلی دامنه بهره‌وری آب در سیب‌زمینی، جو، گوجه‌فرنگی، لوبیا، کاهو و ذرت دانه‌ای به ترتیب $۱/۲۷-۱/۹۱$ ، $۳/۳$ ، $۰/۹۱$ ، $۴/۷۷$ و $۰/۶۵$ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. Montazar و Kosari (۲۰۰۷) بهره‌وری آب محصولات برنج، ذرت دانه‌ای، پنبه، یونجه و سیب‌زمینی را به ترتیب $۰/۴۲$ ، $۱/۱۷$ ، $۰/۶$ ، $۰/۸۹$ و $۲/۷۴$ کیلوگرم بر مترمکعب در ایران گزارش کردند. Bastiaanssen (۲۰۰۴) دریافتند متوسط شاخص بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه (تولید دانه)، پنبه (تولید وش) و ذرت دانه‌ای در جهان به ترتیب برابر $۱/۰۹$ ، $۱/۰۹$ ، $۰/۶۵$ ، $۰/۲۳$ و $۱/۸$ کیلوگرم بر مترمکعب است. بهره‌وری آب گندم، برنج، پنبه و ذرت دانه‌ای در سال ۲۰۰۲ در کشور مصر به‌طور متوسط برابر $۱/۰۳$ ، $۰/۵۵$ ، $۰/۲۸$ و $۰/۶۳$ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است که مقدار آن در همان سال در ایران برابر با $۰/۵$ ، $۰/۳۲$ ، $۰/۱۶$ و $۰/۴۹$ گزارش شده است (FAO، ۲۰۰۳). طی سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ در کمریند

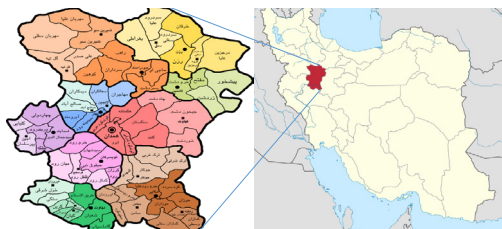
مطابق آمارهای رسمی میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی کشور در سال ۶۴-۱۳۶۳ معادل ۴۵ میلیون مترمکعب بوده و در سال ۹۴-۱۳۹۳ با رشد ۳۵ درصدی به ۶۱ میلیون مترمکعب رسیده است. درحالی‌که پیش‌بینی می‌شود تغییرات آب‌وهوایی تا سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۴۰، ۱۵ تا ۱۹ درصد از مجموع منابع آب‌های تجدیدشونده ایران را کاهش خواهد داد و در آن زمان میزان نیاز سالانه آب ایران بیش از ۴۰ درصد فراتر از حجم منابع تجدیدشونده آب کشور خواهد بود (FAO، ۲۰۱۵).

از میان مصرف‌کنندگان منابع آبی کشور، بخش کشاورزی با بهره‌گیری بیش از ۷۰ درصد منابع آبی تجدیدپذیر کشور (حدود ۶۵ میلیارد مترمکعب) بیشترین سهم را در استفاده از این منابع دارد؛ درحالی‌که به دلایل مختلف و به‌خصوص استفاده از روش‌های آبیاری سنتی، بهره‌وری آب کشاورزی طی یک دهه گذشته به‌طور متوسط ۳۵ درصد بوده است (۰/۷-۱) کیلوگرم برای هر مترمکعب آب (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). میزان بالای بهره‌وری آب کشاورزی در کشورهای توسعه یافته (۶۵ درصد معادل ۳ کیلوگرم برای هر مترمکعب آب) و حتی کشورهای درحال توسعه (۴۵ درصد معادل ۲ کیلوگرم برای هر مترمکعب آب) سبب شده است که در سال ۱۳۹۰ ایران از نظر میزان بهره‌وری آب در بین ۱۲۳ کشور دنیا در رتبه نازل ۱۰۲ قرار بگیرد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵). بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر باعث افزایش مقادیر بهره‌وری آب شده است. با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه کاربرد روش‌های جدید آبیاری از جمله آبیاری‌های بارانی و قطره‌ای بهره‌وری آب را افزایش داده و به میزان $۱/۱۹$ کیلوگرم بر مترمکعب رسانده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶). مطابق هدف‌گذاری انجام‌گرفته براساس چشم‌انداز بیست‌ساله توسعه کشور بهره‌وری آب باید تا سال ۱۴۰۴ به ۶۰ درصد ($۱/۷۰$ کیلوگرم برای هر مترمکعب آب) برسد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۵).

ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای با سطح زیر کشت به ترتیب ۱۷۵ هزار هکتار و ۲۳۰ هزار هکتار و میزان تولید به ترتیب $۱/۴$ میلیون تن دانه و $۵/۱۱$ میلیون تن علوفه در مناطق وسیعی از کشور کشت می‌شوند (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). نیاز سالانه کشور به ذرت دانه‌ای حدود ۶ میلیون تن می‌باشد که واردات گسترده آن نیاز به افزایش میزان تولید این محصول را بیش از پیش نمایان می‌سازد. اگرچه افزایش سطح زیر کشت ذرت می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای تولید بیشتر آن باشد اما بالا بودن نیاز آبی ذرت (متوسط آب مصرفی برای هر هکتار ذرت در کشور حدود دو تا سه برابر میزان جهانی آن است) سبب شده است که این راهکار عملی نباشد.

از میان استان‌های کشور استان همدان به سبب شرایط اقلیمی مساعد منطقه مناسبی برای کاشت ذرت می‌باشد. به‌طوری‌که

محدوده مورد مطالعه شامل شهرستان‌های نهاوند، اسدآباد، توپسرکان (از نظر کشت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای) و بهار (کشت ذرت علوفه‌ای) در استان همدان طی سال ۱۳۹۶ است. شکل (۱) محدوده جغرافیایی استان همدان را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه استان همدان

جامعه آماری در این تحقیق شامل ۴۰۰۱۹ کشاورز است که ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در شهرستان‌های مذکور کشت می‌کنند. با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای^۱ و رابطه (۱) جمعیت نمونه از این جامعه آماری انتخاب شده است.

$$n = \frac{N \times t^2 \times s^2}{N \times d^2 + t^2 \times s^2} \quad (1)$$

در رابطه (۱): n: تعداد نمونه مورد نیاز، N: تعداد بهره‌برداران در منطقه، t: آماره تی‌استیودنت، S: واریانس نمونه اولیه و d: خطای مورد نظر در برآورد را نشان می‌دهد. به این منظور تعداد ۳۰ پرسشنامه انتخاب و واریانس سطح زیرکشت، ۰/۳۵ محاسبه شد. به این ترتیب با توجه به رابطه (۱) با خطای ۵ درصد، تعداد ۱۸۲ نمونه انتخاب شد.

برای محاسبه بهره‌وری اصولاً از دو روش اقتصادسنجی و روش غیرپارامتری استفاده می‌شود که در این تحقیق از روش ناپارامتری بهره گرفته شده است. شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب توسط فائو و کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران معرفی شده است (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). از جمله این شاخص‌ها که برای نهاده آب در کشاورزی استفاده می‌شوند، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (CPD)^۲ است. در این شاخص از رابطه نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار حجم آب مصرفی استفاده می‌شود (رابطه ۲):

$$CPD = \frac{TP}{TWC_e} \quad (2)$$

در این رابطه، TP: میزان محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و TWC: حجم آب مصرف شده در هکتار است. بنابراین CPD، بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب است. بدیهی است هر چه میزان CPD در یک گیاه بیشتر باشد نشان‌دهنده مصرف

جنوبی ذرت در آمریکا متوسط عملکرد به ازای هر واحد آبیاری در شرایط تحت فشار ۶۲، ۴۴ و ۷۷ کیلوگرم دانه در هکتار بر میلی‌متر آب و در آبیاری ثقلی ۳۶، ۲۸ و ۴۲ کیلوگرم دانه در هکتار بر میلی‌متر آب گزارش شد و مزارع تحت آبیاری بارانی (سنتریپوت) ۱۳ درصد بیشتر بهره‌وری آب نسبت به مزارع تحت آبیاری ثقلی نشان دادند (Sadras و همکاران، ۲۰۱۱). Kledzik و همکاران (۲۰۱۷) در ارزیابی تأثیر اقتصادی آبیاری ذرت دانه‌ای به دو روش قطره‌ای و بارانی در لهستان طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۶ کاهش هزینه‌ها در هر دو سامانه و افزایش سودآوری با افزایش سطح زیر کشت محصول و بیشتر بودن هزینه‌های آبیاری به روش قطره‌ای نسبت به بارانی در مزارع بزرگ نسبت به خرد (کوچک‌تر از ۵ هکتار) را نشان دادند. Liu و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بهره‌وری فیزیکی آب در محصول ذرت دانه‌ای در ۱۲۴ کشور مختلف کشورهای آمریکا و چین را با بیش از ۱/۵ و کشورهای آفریقایی را با کمتر از ۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب به ترتیب بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب دانستند.

وظیفه‌دوست و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در منطقه برخوان اصفهان در سال زراعی ۱۳۸۳-۸۴ نشان دادند متوسط بهره‌وری آب کشاورزی برای محصولات چغندرقد، آفتابگردان، ذرت علوفه‌ای و گندم به ترتیب ۱/۴۱، ۰/۲۹، ۰/۳ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. کنعانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی در مورد کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری قطره‌ای سطحی در کرج، میزان بهره‌وری آب را حدود ۷ کیلوگرم در مترمکعب گزارش کردند. جوان و فال سلیمان (۱۳۸۷) به دلیل مقادیر اندک بهره‌وری آب و بازده اقتصادی محصولاتی مانند چغندرقد و یونجه در منطقه دشت بیرجند عنوان کردند این محصولات باید از الگوی کشت منطقه حذف شوند. آن‌ها پیشنهاد کردند کشت‌هایی مانند ذرت علوفه‌ای و یا تناوب یکساله ای از کشت‌های بومی مانند گندم و ارزن که موجب کاهش استحصال آب و متضمن منافع اقتصادی بالا برای کشاورزان می‌باشند جایگزین کشت‌های مذکور شوند. روستا (۱۳۸۹) با بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در شهرستان مرو دشت نتیجه گرفت که کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پایین مانند چغندرقد از الگوی کشت منطقه حذف و کشت‌هایی نظیر خیار و ذرت علوفه‌ای و یا تناوب یکساله‌ای و کشت‌های بومی همانند گندم و جو و صیفی‌جاتی مانند گوجه‌فرنگی جایگزین شود.

در اکثر مطالعات انجام‌شده در زمینه میزان بهره‌وری آب، تنها بهره‌وری فیزیکی بررسی شده و به بهره‌وری آب اقتصادی توجهی نشده است. در این تحقیق، محاسبه بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای در شهرستان‌های مختلف استان همدان از نظر فیزیکی و اقتصادی توأم انجام شده که نقطه قوت این پژوهش محسوب می‌شود و امکان رتبه‌بندی شهرستان‌های مختلف را از نظر شاخص‌های مختلف بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی فراهم می‌آورد.

بهینه آب است. محاسبه این شاخص ساده بوده و مقایسه بیرونی یا بین منطقه‌ای (بین مزارع) و مقایسه درونی (روند زمانی) را میسر می‌سازد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

نوع دیگری از شاخص‌های بهره‌وری جنبه مالی و اقتصادی بهره‌وری را شامل می‌شوند. مفهوم بهره‌وری اقتصادی آب "میزان درآمدی که بهره‌بردار به ازای مقدار آبی که مصرف می‌کند کسب می‌نماید" می‌باشد. به عبارت دیگر تنها مقدار تولید نباید معیار ارزش آب مصرفی قرار گیرد بلکه باید علاوه بر مقدار فیزیکی گیاه به ارزش آن نیز توجه کرد. در صورت کسر رابطه (۲) برای تعیین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب به جای تولید، ارزش تولید جایگزین می‌شود. در این رابطه از دو شاخص زیر استفاده می‌شود. برای محاسبه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، لازم است ارزش ناخالص (کل) محصول محاسبه شود.

۱- شاخص ارزش ناخالص یا درآمد به ازای هر واحد حجم آب (BPD)^۲: در این شاخص نسبت ارزش ناخالص به ازای هر واحد حجم آب مصرف شده محاسبه می‌شود (رابطه ۳).

$$BPD = \frac{TR}{TW_c} \quad (3)$$

در رابطه (۳)، TR کل درآمد حاصل از محصول به ازای هر واحد آب مصرفی است و از حاصلضرب میزان عملکرد در قیمت هر کیلوگرم محصول به دست می‌آید و TWC نیز حجم آب مصرف شده در هکتار است. بنابراین BPD، بهره‌وری آب برحسب ریال بر مترمکعب است. این شاخص یکی از معایب شاخص اول یعنی بی‌توجهی به ارزش محصول تولیدی را برطرف می‌کند و برای مقایسه محصولات مختلف می‌تواند استفاده شود؛ اما در نظر گرفتن هزینه تولید محصول از معایب این شاخص می‌باشد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

۲- ارزش خالص به ازای هر واحد حجم آب (NBPD)^۴: در این شاخص در صورت کسر، ارزش خالص گنجانده می‌شود:

$$NBPD = \frac{NB}{TW_c} \quad (4)$$

در رابطه (۴)، NB ارزش خالص محصول و TWC حجم آب مصرف شده در هکتار است. ارزش خالص از تفاضل ارزش ناخالص و هزینه کل به دست می‌آید. NBPD برحسب ریال بر مترمکعب است. این شاخص به دلیل استفاده از شاخص خالص به جای ارزش ناخالص مناسب‌تر از شاخص BPD است. شاخص NBPD نه تنها میزان ارزش خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌کند، بلکه اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک دارد. از این طریق می‌توان منابع کمیاب آب را به کشت‌هایی که با کمترین واحد مصرف آب بالاترین سود را نصیب بهره‌برداران می‌نمایند اختصاص داد. تعیین مقدار ارزش خالص در موقعیت‌های مختلف تنها عیب استفاده از این شاخص می‌باشد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲).

در این پژوهش حجم آب مصرفی محصولات در نوبت‌های ابتدای فصل (زمان کاشت=اواسط خرداد)، اواسط فصل (مرحله ساقه‌رفتن=اواسط مرداد) و انتهای فصل (یک هفته قبل از برداشت=اواسط مهرماه) اندازه‌گیری شده است. برای هر یک از مزارع اطلاعات تعیین دبی آب ورودی به مزرعه و مدت زمان آبیاری یعنی تعیین شروع و قطع آبیاری در قالب سؤالات زیر به دست آمد: ۱- تاریخ آبیاری، ۲- مساحت زمین تحت آبیاری (هکتار)، ۳- دبی آب ورودی به مزرعه (لیتر در ثانیه)، ۴- زمان شروع آبیاری، ۵- زمان پایان آبیاری، ۶- حجم آب آبیاری (مترمکعب در مساحت مورد نظر)، ۷- حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار). مقادیر عملکرد تولیدی و هزینه‌ها بوسیله تکمیل پرسشنامه توسط کشاورزان به دست آمد. قیمت هر کیلوگرم ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای معادل با قیمت خرید تضمینی به ترتیب ۱۰۱۲۴ و ۲۹۵۹ ریال در نظر گرفته شد. با مشخص شدن موارد فوق، بهره‌وری فیزیکی و در نهایت بهره‌وری اقتصادی آب محاسبه شد.

نتایج و بحث

با نظرخواهی از کارشناسان اقتصاد کشاورزی، زراعت و آبیاری، روایی محتوایی و صوری پرسشنامه تأیید شد. برای تعیین میزان یکسان بودن نتایج پرسشنامه (پایایی) یک نمونه ۳۰ تایی آن را تکمیل کردند و مقدار آلفای کرونباخ برای ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۸۵ به دست آمد. مقادیر نسبتاً بالای این ضریب نشان می‌دهد که پرسشنامه مذکور پایایی لازم را دارد. با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای، از جامعه آماری ذرت کاران استان همدان ۹۴ نمونه (روش آبیاری سنتی) و ۸۸ نمونه (روش آبیاری مدرن) انتخاب شدند.

• ذرت دانه‌ای

در جدول (۱)، میزان آب مصرف شده در کشت ذرت دانه‌ای برای سامانه‌های آبیاری سنتی و مدرن به تفکیک هر شهرستان ارائه شده است. با توجه به میزان بالای عملکرد، بیشترین میزان ارزش ناخالص در هر دو سامانه آبیاری متعلق به منطقه اسدآباد است. همچنین هزینه‌های تولید ذرت شامل هزینه‌های مرحله قبل از کاشت (آماده‌سازی زمین)، مرحله کاشت، مرحله داشت و مرحله برداشت و هزینه مربوط به زمین محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است به دلیل تفاوت در میزان دستمزد کارگر و سایر هزینه‌ها میزان هزینه کل در شهرستان‌های مختلف متفاوت است. بیشترین میزان ارزش خالص در هر دو سامانه آبیاری متعلق به منطقه اسدآباد است. با توجه به میزان عملکرد و آب مصرفی (جدول ۱) و مقادیر ارزش خالص محصول (جدول ۲) شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محاسبه و در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- میزان مصرف آب، عملکرد و ارزش ناخالص ذرت دانه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	مصرف آب (مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ارزش ناخالص (هزارریال در کیلوگرم)	مصرف آب (مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ارزش ناخالص (هزارریال در کیلوگرم)
استان	۹۲۰۵	۷۶۳۴	۷۷۲۸۶/۶	۷۴۷۹	۸۰۹۲	۸۱۹۲۳/۴
نهاوند	۷۰۴۶	۸۱۷۶	۸۲۷۷۳/۸	۵۷۲۵	۸۶۶۶/۶	۸۷۷۴۰/۲
تویسرکان	۱۰۲۶۱	۷۰۰۰	۷۰۸۶۸	۸۳۳۷	۷۴۲۰	۷۵۱۲۰/۱
اسدآباد	۷۳۳۸	۱۱۶۲۵	۱۱۷۶۹۱/۵	۵۹۶۲	۱۴۱۸۲	۱۴۳۵۷۸/۶

جدول ۲- ارزش خالص محصول ذرت دانه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن (هزار ریال در کیلوگرم)

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	ارزش ناخالص	هزینه کل	ارزش خالص	ارزش ناخالص	هزینه کل	ارزش خالص
استان	۷۷۲۸۶/۶	۵۱۰۶۰	۲۶۲۲۶/۶	۸۱۹۲۳/۴	۵۴۵۱۰	۲۷۴۱۳/۴
نهاوند	۸۲۷۷۳/۸	۵۱۳۰۱/۵	۳۱۴۷۲/۳	۸۷۷۴۰/۲	۵۴۷۵۱/۵	۳۲۹۸۸/۷
تویسرکان	۷۰۸۶۸	۴۶۹۷۷/۵	۲۳۸۹۰/۵	۷۵۱۲۰/۱	۵۰۴۲۷/۵	۲۴۶۹۲/۶
اسدآباد	۱۱۷۶۹۱/۵	۷۶۶۰۱/۵	۴۱۰۹۰	۱۴۳۵۷۸/۶	۸۰۰۵۱/۵	۶۳۵۲۷/۱

جدول ۳- میانگین بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	CPD (کیلوگرم بر مترمکعب)	BPD (ریال بر مترمکعب)	NBPD (ریال بر مترمکعب)	CPD (کیلوگرم بر مترمکعب)	BPD (ریال بر مترمکعب)	NBPD (ریال بر مترمکعب)
استان	۰/۸۲(۴)	۸۳۹۶(۴)	۲۸۴۹(۴)	۱/۰۸(۴)	۱۰۹۵۴(۴)	۳۶۶۵(۴)
نهاوند	۱/۱۶(۱)	۱۱۷۴۸(۱)	۴۴۶۶(۱)	۱/۵۱(۲)	۱۵۳۲۶(۲)	۵۷۶۲(۲)
تویسرکان	۰/۹۵ (۳)	۹۶۵۸(۳)	۳۲۵۵(۳)	۱/۲۴ (۳)	۱۲۶۰۰(۳)	۴۱۴۱(۳)
اسدآباد	۱/۱۳(۲)	۱۱۴۷۰(۲)	۴۰۰۴(۲)	۱/۷(۱)	۱۷۲۲۲(۱)	۷۶۱۹(۱)

(اعداد داخل پرانتز رتبه هر شهرستان را نسبت به هر شاخص نشان می‌دهد)

با ۰/۹۵ و بیشترین بهره‌وری آب متعلق به نهاوند با ۱/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است. درحالی‌که در روش آبیاری مدرن کمترین بهره‌وری آب متعلق به تویسرکان با ۰/۲۴ و بیشترین بهره‌وری آب متعلق به اسدآباد با ۱/۷ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب است. در صورتی‌که عملکرد محصول به ازای واحد آب مصرفی مورد توجه باشد، پایین بودن شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در سامانه آبیاری سنتی نسبت به میانگین کشوری (۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب) بیان می‌کند که زراعت ذرت دانه‌ای به روش سنتی باید از الگوی کشت در سطح استان حذف شود. لازم به ذکر است میانگین بهره‌وری مصرف آب هر سه شهرستان مورد مطالعه در سامانه آبیاری مدرن بیش از میانگین کشوری و مقدار بیان شده توسط Montazar و Kosari (۲۰۰۷) است که تأثیر سودمند به کارگیری سامانه آبیاری مدرن در استفاده بهینه از منابع آبی را نشان می‌دهد. با توجه به فاصله زیاد با میانگین جهانی بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای (۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب)، لزوم تلاش بیشتر برای استفاده بهینه از منابع آبی احساس می‌شود.

شاخص CPD براساس بهره‌وری فیزیکی آب و شاخص‌های BPD و NBPD براساس بهره‌وری اقتصادی آب شهرستان‌ها را رتبه‌بندی می‌کنند. شاخص BPD بالاترین ارزش ناخالص تولیدی به ازای واحد آب مصرفی را در بین شهرستان‌ها را نشان می‌دهد. براساس این شاخص در شرایط استفاده از روش‌های سنتی آبیاری نهاوند، اسدآباد، تویسرکان در رتبه‌های اول تا سوم قرار می‌گیرند. در شرایط استفاده از روش‌های مدرن آبیاری شهرستان اسدآباد در رتبه اول و شهرستان نهاوند در رتبه دوم می‌باشند.

در مزارع ذرت دانه‌ای در سطح استان میزان بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) در روش آبیاری مدرن نسبت به روش سنتی، که در جدول (۳) ارائه شده است، ۰/۲۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب بیشتر است، که نشان می‌دهد میزان تولید محصول به ازای هر مترمکعب آب مصرفی در شرایط آبیاری مدرن ۲۵ درصد بیش از شرایط آبیاری سنتی است. ترتیب شهرستان‌ها در دو روش آبیاری کمی متفاوت است. در روش آبیاری سنتی کمترین بهره‌وری آب متعلق به تویسرکان

مقایسه بهره‌وری اقتصادی آب با استفاده از شاخص NBPD در دو روش آبیاری سنتی و مدرن نشانگر بهره‌وری بالاتر آبیاری مدرن به میزان ۸۱۶ ریال به ازای هر مترمکعب آب (حدوداً ۲۲/۳ درصد) نسبت به آبیاری سنتی است. درحالی‌که در دو روش آبیاری سنتی و مدرن شهرستان تویسرکان به ترتیب با ۳۲۵۵ و ۴۱۴۵ ریال به ازای هر مترمکعب آب از نظر بهره‌وری آب در رتبه آخر قرار دارد بالاترین رتبه از نظر روش آبیاری سنتی و آبیاری مدرن با ۴۴۶۶ و ۷۶۱۹ ریال به ازای هر مترمکعب آب به ترتیب متعلق به شهرستان‌های نهاوند و اسدآباد است. در هر یک از سامانه‌های آبیاری سنتی و مدرن تناسب کامل میان رتبه‌بندی شهرستان‌ها از نظر شاخص‌های سه‌گانه بهره‌وری آب وجود دارد (جدول ۳). این شباهت بیش از همه در مورد تویسرکان مشهود است به‌طوری‌که در هر دو سامانه آبیاری سنتی و مدرن در رتبه سوم قرار گرفته است.

• ذرت علوفه‌ای

در جدول (۴) میزان آب مصرفی و عملکرد ذرت علوفه‌ای در سامانه‌های آبیاری سنتی و مدرن به تفکیک هر شهرستان ارائه شده است. با توجه به عملکرد بالا، بیشترین میزان ارزش ناخالص در هر دو سامانه آبیاری متعلق به منطقه بهار است. هزینه‌های تولید و ارزش خالص محصول نیز در جدول (۵) ارائه شده است. بیشترین میزان ارزش خالص در هر دو سامانه آبیاری متعلق به منطقه بهار است. مقادیر بهره‌وری فیزیکی (شاخص CPD) و اقتصادی آب (شاخص‌های BPD و NBPD) در کشت ذرت علوفه‌ای به تفکیک منطقه در جدول (۶) ارائه شده است. براساس شاخص BPD در هر دو روش آبیاری سنتی و مدرن، شهرستان‌های نهاوند، تویسرکان، بهار و اسدآباد به ترتیب در رتبه‌های اول تا چهارم قرار می‌گیرند.

جدول ۴- میزان مصرف آب، عملکرد و ارزش ناخالص ذرت علوفه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	مصرف آب (مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ارزش ناخالص (هزارریال در کیلوگرم)	مصرف آب (مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	ارزش ناخالص (هزارریال در کیلوگرم)
استان	۸۴۹۹	۴۳۵۰۷	۱۲۸۷۳۷/۲	۶۹۰۶	۴۶۱۱۷	۱۳۶۴۶۰/۲
نهاوند	۶۷۲۳	۳۶۸۳۴	۱۰۸۹۹۱/۸	۵۴۶۲	۳۹۰۴۴	۱۱۵۵۳۱/۳
تویسرکان	۱۱۵۶۹	۳۹۴۵۳	۱۱۶۷۴۱/۴	۹۴۰۰	۴۱۸۲۰	۱۲۳۷۴۵/۴
اسدآباد	۷۷۲۱	۴۰۷۳۶۳	۱۲۰۶۱۷/۷	۶۲۷۳	۴۹۷۳۰	۱۴۷۱۵۱/۱
بهار	۱۲۸۴۶	۵۳۰۲۰	۱۵۶۸۸۶/۲	۱۰۴۳۷	۶۴۶۸۴	۱۹۱۳۹۹/۹

جدول ۵- ارزش خالص محصول ذرت علوفه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن (هزار ریال در کیلوگرم)

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	ارزش ناخالص	هزینه کل	ارزش خالص	ارزش ناخالص	هزینه کل	ارزش خالص
استان	۱۲۸۷۳۷/۲	۶۳۴۸۰	۶۵۲۵۷/۲	۱۳۶۴۶۰/۲	۶۶۹۳۰	۶۹۵۳۰/۲
نهاوند	۱۰۸۹۹۱/۸	۵۴۶۱۳/۵	۵۴۳۷۸/۳	۱۱۵۵۳۱/۳	۵۸۰۶۳/۵	۵۷۴۶۷/۸
تویسرکان	۱۱۶۷۴۱/۴	۵۷۷۶۴/۵	۵۸۹۷۶/۹	۱۲۳۷۴۵/۴	۶۱۲۱۴/۵	۶۲۵۳۰/۹
اسدآباد	۱۲۰۶۱۷/۷	۵۹۶۷۳/۵	۶۰۹۴۴/۲	۱۴۷۱۵۱/۱	۶۳۱۲۳/۵	۸۴۰۲۷/۶
بهار	۱۵۶۸۸۶/۲	۷۷۴۴۱	۷۹۴۴۵/۲	۱۹۱۳۹۹/۹	۸۰۸۹۱	۱۱۰۵۰۸/۹

جدول ۶- میانگین بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در دو سامانه سنتی و مدرن

	آبیاری سنتی			آبیاری مدرن		
	CPD (کیلوگرم بر مترمکعب)	BPD (ریال بر مترمکعب)	NBPD (ریال بر مترمکعب)	CPD (کیلوگرم بر مترمکعب)	BPD (ریال بر مترمکعب)	NBPD (ریال بر مترمکعب)
استان	۵/۱۱(۲)	۱۵۱۴۷(۲)	۷۶۷۸(۲)	۶/۶۷(۲)	۱۹۷۶۰(۲)	۱۰۰۶۸(۳)
نهاوند	۵/۴۷(۱)	۱۶۲۱۲(۱)	۸۰۸۸(۱)	۷/۱۴(۱)	۲۱۱۵۲(۱)	۱۰۵۲۱(۲)
تویسرکان	۵/۱۰(۳)	۱۵۱۲۰(۳)	۷۶۳۸(۳)	۶/۶۶(۳)	۱۹۷۲۷(۳)	۹۹۶۸(۴)
اسدآباد	۳/۵۲(۵)	۱۰۴۲۶(۵)	۵۲۶۷(۵)	۵/۲۹(۵)	۱۵۶۵۴(۵)	۸۹۳۹(۵)
بهار	۴/۸۲ (۴)	۱۲۲۱۳(۴)	۶۱۸۴(۴)	۶/۱۹ (۴)	۱۸۳۳۸(۴)	۱۰۵۸۷(۱)

(اعداد داخل پرانتز رتبه هر شهرستان را نسبت به هر شاخص نشان می‌دهد)

در مزارع ذرت علوفه‌ای در سطح استان میزان بهره‌وری فیزیکی آب (CPD) در روش آبیاری مدرن نسبت به روش سنتی ۱/۵۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب بیشتر است (جدول ۶). میزان تولید محصول به ازای هر مترمکعب آبی مصرفی در شرایط آبیاری مدرن ۲۳/۴ درصد بیش از شرایط آبیاری سنتی است. در هر دو روش آبیاری سنتی و مدرن، شهرستان اسدآباد به ترتیب ۳/۵۲ و ۵/۲۹ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب در رتبه آخر و شهرستان نهاوند به ترتیب ۵/۴۷ و ۷/۱۴ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب در رتبه اول قرار گرفته است. بالاتر بودن میزان بهره‌وری فیزیکی آب در هر دو روش آبیاری سنتی و مدرن در سطح استان و شهرستان‌ها نسبت به میانگین کشوری این شاخص برای محصولات مختلف نشان‌دهنده بهره‌وری بالای مصرف آب در زراعت ذرت علوفه‌ای است. لازم به ذکر است در ذرت علوفه‌ای تمام سطح سبز گیاه برداشت می‌شود بنابراین بهره‌وری بالا طبیعی به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه میزان ۶/۱ کیلوگرم محصول به ازای هر مترمکعب آب به‌عنوان میزان متعارف شاخص بهره‌وری آب در ذرت علوفه‌ای دانسته می‌شود (غالبی، ۱۳۹۵)، بهره‌گیری از سامانه آبیاری مدرن در سطح استان و اکثر شهرستان‌ها (به‌جز شهرستان اسدآباد) تأثیر زیادی بر استفاده بهینه از منابع آبی داشته است، به‌طوری‌که به میزان قابل‌توجهی از مقدار گزارش شده توسط وظیفه دوست و همکاران (۱۳۸۷) بیشتر است، و نسبت به مقدار اعلام شده توسط کنعانی و همکاران (۱۳۹۴) اندکی پایین‌تر است که می‌تواند به دلیل تفاوت میان ارقام کاشت شده و یا نوع سامانه آبیاری تحت فشار باشد. مقایسه بهره‌وری اقتصادی آب براساس شاخص NBPD در دو روش

نتیجه‌گیری

با توجه به مقادیر پایین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در زراعت ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای با سامانه آبیاری سنتی پیشنهاد می‌شود تا حد امکان گیاه با سامانه‌های آبیاری سنتی آبیاری نشود و از سامانه‌های آبیاری مدرن استفاده شود. نتایج حاصل نشان‌دهنده برابری نسبی تفاوت میزان بهره‌وری فیزیکی آب در سطح استان در دو سامانه آبیاری مدرن و سنتی در هر دو محصول ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای است. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از سامانه‌های آبیاری مدرن به یک اندازه سبب صرفه‌جویی در مصرف آب در دو محصول ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای شده است. برای ذرت دانه‌ای با سامانه آبیاری مدرن، اولویت مناطق بر اساس شاخص‌های سه‌گانه به ترتیب اسدآباد، نهاوند و تویسرکان می‌باشد. برای کشت ذرت علوفه‌ای با سامانه آبیاری مدرن، درحالی‌که رتبه‌بندی مناطق براساس شاخص CPD و BPD به ترتیب نهاوند، تویسرکان، بهار و اسدآباد است با توجه به اینکه بهترین شاخص برای بررسی آب کشاورزی NBPD یا ارزش خالص به ازای واحد آب مصرفی است

آبیاری سنتی و مدرن (جدول ۶) نشانگر بهره‌وری بالاتر آبیاری مدرن به میزان ۲۳۹۰ ریال به ازای هر مترمکعب آب (حدوداً ۲۴ درصد) نسبت به آبیاری سنتی است. درحالی‌که در دو روش آبیاری سنتی و مدرن شهرستان اسدآباد با به ترتیب ۵۲۶۷ و ۸۹۳۹ ریال به ازای هر مترمکعب آب از نظر بهره‌وری آب در رتبه آخر قرار دارد. بالاترین رتبه در روش آبیاری سنتی و آبیاری مدرن با ۸۰۸۸ و ۱۰۵۸۷ ریال به ازای هر مترمکعب آب به ترتیب متعلق به شهرستان‌های نهاوند و بهار است.

در آبیاری سنتی تناسب کامل میان رتبه‌بندی شهرستان‌ها از نظر شاخص‌های سه‌گانه بهره‌وری آب مشاهده می‌شود، در آبیاری مدرن شرایط متفاوت است و رتبه‌بندی شهرستان‌ها از نظر شاخص‌های سه‌گانه برای شهرستان اسدآباد کاملاً یکسان است. در آبیاری مدرن شهرستان بهار درحالی‌که از نظر دو شاخص CPD و BPD در رتبه نازل چهارم قرار دارد در شاخص NBPD در رتبه نخست قرار می‌گیرد. این امر بیش از همه به سبب میزان بالای عملکرد ذرت علوفه‌ای در این شهرستان است که با میزان حدود ۶۵ تن در هکتار به میزان محسوسی بالاتر از میانگین کشور (۵۱ تن در هکتار) است که سبب افزایش قابل توجه ارزش کل محصول در این شهرستان شده است. با توجه به پایین بودن بهره‌وری فیزیکی آب در این شهرستان استفاده از هیبریدهای زودرس ذرت در این منطقه توصیه می‌شود. زیرا این هیبریدها نیاز آبی کمتری نسبت به هیبریدهای متداول دیررس دارند و با توجه به زودرس بودن سرما در منطقه بهار نسبت به مناطق نهاوند، تویسرکان و اسدآباد امکان برداشت سریع‌تر آن‌ها مهیا است.

مناطق بهار، نهاوند، تویسرکان و اسدآباد به ترتیب مستعدترین مناطق برای کشت ذرت علوفه‌ای هستند. با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای در شهرستان اسدآباد حتی در شرایط آبیاری مدرن بر اساس هر سه شاخص در رتبه آخر قرار می‌گیرد و از نظر شاخص CPD نیز کمتر از حد مطلوب کشور (۶/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) است بنابراین کشت ذرت علوفه‌ای در این منطقه چندان توجیهی ندارد و با جایگزین کردن ارقام جدید داخلی و خارجی که شاخص برداشت بالاتری دارند و یا استفاده از روش‌های به‌زراعی جدید مانند کشت نشایی و یا افزایش راندمان آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای (تیپ) به‌جای آبیاری بارانی (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶) آب مصرفی کاهش و در مقابل عملکرد در واحد سطح افزایش خواهد یافت. شرایط مطلوب کشت ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان همدان از نظر میزان مصرف آب و عملکرد علوفه تولیدی نسبت به میانگین کشور پتانسیل بالای مناطق غربی این استان برای کشت ذرت علوفه‌ای را بیان می‌کند. به‌خصوص با توجه به اینکه تعداد بالای واحدهای صنعتی دامپروری در سطح استان همدان (۳۴۹ واحد پرورش گاو شیری،

رتبه پنجم تولید شیر کشور را دارد) (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵) گسترش کشت ذرت علوفه‌ای می‌تواند نه تنها نیاز این واحدها به علوفه را تأمین کند بلکه در تأمین علوفه مورد نیاز استان‌های مجاور نیز نقش داشته باشد.

پی‌نوشت

- 1- Ratio Stratified Random Sampling
- 2- Crop per Drop
- 3- Benefit per Drop
- 4- Net Benefit per Drop

منابع

احسانی، م. و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران (وزارت نیرو)، تهران.

جوان، ج. و فال سلیمان، م. ۱۳۸۷. بحران آب و لزوم توجه به بهره‌وری آب کشاورزی در نواحی خشک (مطالعه موردی: دشت بیرجند). مجله جغرافیا و توسعه، ۱۱: ۱۳۸-۱۱۵.

جعفری، ع.م. و رضوانی، س.م. ۱۳۸۳. ارزیابی فنی و اقتصادی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده در مزارع سیب‌زمینی در استان‌های همدان و اصفهان. گزارش نهایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان.

حیدری، ن. و حقایی، الف. ۱۳۸۵. کارایی مصرف آب آبیاری محصولات عمده مناطق مختلف کشور. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه چمران، اهواز.

حیدری، ن.، دهقانی سانجی، ح. و علائی‌تفتی، م. ۱۳۹۵. مدیریت تقاضا و مصرف آب کشاورزی در ایران. ناشر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

روستا، ا. ۱۳۸۹. بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مناطق دچار خشکسالی مطالعه موردی شهرستان مرودشت. پنجمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.

سلامی، ح.ا. ۱۳۷۶. مفاهیم و اندازه‌گیری بهره‌وری در کشاورزی. فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۷: ۱۸-۳۱.

عباسی، ف.، عباسی، ن. و توکلی، ع. ۱۳۹۶. بهره‌وری آب در بخش کشاورزی؛ چالش‌ها و چشم‌اندازها. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۴(۱): ۱۴۴-۱۴۱.

غالبی، س. ۱۳۹۵. بررسی و ارزیابی نقش مدیریت‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب در سطح بهره‌برداران ذرت‌کار استان قزوین. گزارش نهایی. نشریه شماره ۲۰۵۷. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

کنعانی، ا.، اخوان، س. و دهقانی‌سانجی، ح. ۱۳۹۴. بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب. شرکت همایش فرازان، تهران.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی (جلد اول). معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵. آمارنامه کشاورزی (جلد دوم). معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات.

وزارت نیرو، ۱۳۹۴. گزارش سالانه منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار. دفتر مطالعات منابع آب استان همدان. شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان.

وظیفه‌دوست، م.، علیزاده، ا.، کمالی، غ. و فیضی، م. ۱۳۸۷. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری. منطقه برخوان اصفهان. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲): ۴۸۴-۴۹۵.

FAO. 2003. Irrigation in the Middle East region in figures, UN.

FAO. 2015. Fao's global information system on water and agriculture.

Kledzik R., Kropkowski M., Dudek S., Kuśmier-ek-Tomaszewska R. and Źarski J. 2017. Evaluation of economic efficiency of irrigation in corn for grain production in 2005-2016. Infrastructure and Ecology of Rural Areas, 2(1): 587-598.

Liu J., Zehnder A.J.B. and Yang H. 2008. Drops for crops: modeling crop water productivity on a global scale. Global NEST Journal, 10(3): 295-300.

Montazar A. and Kosari H. 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceedings of the International Conference of Water Saving in Mediteranian Agriculture and Future Needs, Valenzano, Italy, Series B, 56(1): 109-120.

Sadras V.O., Grassini P. and Steduto P. 2011. Status of water use efficiency of main crops. The state of world's land and water resources for food and agriculture (SO-LAW). FAO, Rome and Earthscan, London. Available from http://www.fao.org/fileadmin/templates/solaw/files/thematic_reports/TR_07_web.

Zwart S.J. and Bastiaanssen W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management, 69(2):115-133.

Article Type: Case Study/ technical

نوع مقاله: مطالعه موردی/فنی و ترویجی

Investigation of the Need for Elimination of Pistachio Surplus Orchards in Kerman Province Based on Technical, Ethical, Economic, Social, and Environmental Criteria

M. Abdolahi-Ezzatabadi

Research Assistant Professor, Pistachio Research Centre, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation (AREEO), Rafsanjan, Iran.

Email: abdolahi@pri.ir

Received: 28-03-2018

Accepted: 17-07-2019

بررسی لزوم حذف باغات پسته مازاد در استان کرمان براساس معیارهای فنی، اخلاقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی

محمد عبدالحی عزت آبادی

استادیار پژوهش، پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

E-Mail: abdolahi@pri.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۶

Abstract

Admittedly there exists surplus pistachio orchards. There are two points which make it difficult to address this problem. First, what amount of surplus pistachio orchards should be eliminated? Secondly, how can policy makers tackle the resisting of the farmers against the elimination of these surplus orchards? These two questions were answered by a review of past literature and questionnaire feedback from 1597 pistachio producers in Anar and Rafsanjan cities, Kerman province. The results showed that if flood irrigation system is used, 75000 hectares of pistachio orchards (75% of total pistachio orchards) in Anar and Rafsanjan cities are surplus and should be eliminated. Even using advanced irrigation methods, such as pressurised irrigation systems, and increasing the irrigation efficiency up to 90% cannot remove the need for elimination of surplus orchards. In such a system 52000 hectares of pistachio orchards still need to be eliminated. Based on the results, according to technical, ethical, economic, social, and environmental criteria, the elimination of pistachio surplus orchards in Kerman province is justifiable.

Keywords: Surplus orchards, Pistachio, Water/Land ratio.

چکیده

این موضوع که در استان کرمان باغات پسته مازاد وجود دارد، مورد قبول همه می باشد، اما دو نکته اساسی وجود دارد که حل مسئله را با مشکل مواجه کرده است. نکته نخست این که چه سطحی از باغات پسته مازاد بوده و بایستی حذف شوند. نکته دوم مقاومت های مختلفی است که با توجیهات مختلف در برابر حذف باغات اضافه وجود دارد. پاسخ گویی به این دو سؤال، با مراجعه به مطالعات کتابخانه ای و همچنین تکمیل پرسش نامه از نمونه ای ۱۵۹۷ نفره از پسته کاران منطقه صورت گرفت. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از سامانه آبیاری غرقابی، ۷۵ هزار هکتار (۷۵ درصد از کل) از باغات پسته دو شهرستان انار و رفسنجان مازاد بوده و بایستی حذف شوند. استفاده از فناوری پیشرفته از قبیل سامانه آبیاری تحت فشار و افزایش راندمان مصرف آب تا ۹۰ درصد نیز نمی تواند از حذف شدن باغات جلوگیری کند. در این شرایط نیز بایستی ۵۲ هزار هکتار از باغات پسته حذف شوند. نتایج همچنین نشان داد که بر مبنای ۵ معیار فنی، اخلاقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، حذف باغات پسته مازاد دو شهرستان انار و رفسنجان در استان کرمان توجیه پذیر است.

واژه های کلیدی: باغات مازاد، پسته، نسبت آب به زمین.

از آنجایی که در مناطق خشک، آب فاکتوری محدودکننده است، تعیین ارتباط بین اندازه منطقه مورد آبیاری و حجم آب منبع مورد استفاده اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. هدف مدیریت يك سامانه آبیاری بایستی استفاده بهینه از تمام آب در دسترس در جهت حداکثر کردن تولید محصول در کل منطقه تحت آبیاری باشد (Schmidt و Plate, ۱۹۸۳). به عبارت دیگر، تعیین دقیق سطح زیر کشت محصولات کشاورزی يك منطقه، مسئله بسیار مهمی می‌باشد که بستگی زیادی به دو متغیر حجم منبع آب و فناوری مورد استفاده دارد. اگر به این موضوع توجه کافی نشود، توسعه ناپایدار ناشی از آن به مشکلات گسترده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌انجامد. از مثال‌های آشکار این ناپایداری می‌توان به کشت پسته در شهرستان‌های انار و رفسنجان، در استان کرمان اشاره کرد. در زمان شروع سرمایه‌گذاری وسیع در ایجاد باغات پسته، آب نسبت به زمین محدودیت خاصی نداشت. این در حالی است که در زمان فعلی کمبود آب به بحرانی در بیشتر مناطق پسته‌خیز تبدیل شده است. دلیل این امر، سیاست‌های تشویقی در بخش کشاورزی در جهت احداث بی‌رویه باغات پسته بوده در حالی که هماهنگ با آن سیاست‌های مناسب جهت حفاظت از منابع آب صورت نگرفته است (عبداله‌ی عزت‌آبادی، ۱۳۸۷).

مسئله دیگری که عدم تعادل در مناطق پسته‌کاری استان کرمان و به ویژه شهرستان‌های انار و رفسنجان را افزایش داده، ارزش اقتصادی بالای آب در این مناطق می‌باشد (جوانشاه و همکاران، ۱۳۸۲). ارزش اقتصادی بالای آب در سمت تقاضا و عدم وجود يك برنامه جامع برای حفاظت از منابع آب زیرزمینی در سمت عرضه، سبب تشدید برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی شده است. برداشت بی‌رویه در مناطق پسته‌کاری این دو شهرستان باعث کاهش کیفی و کمی این منابع شده است. به طوری که طبق آخرین آمار، میزان افت سالانه آب در این مناطق ۰/۸ متر بوده و بیلان منفی سالانه سفره، ۲۵۰ میلیون متر مکعب است. علاوه بر این، کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه نیز به شدت کاهش یافته است. به طوری که حداکثر شوری در بعضی از موارد تا ۳۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر نیز گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۶).

به طور کلی می‌توان گفت که به علت عدم وجود برنامه

مناسب در گذشته (عبداله‌ی عزت‌آبادی، ۱۳۸۷)، تفاوت گسترده نیاز آبی نهال پسته (۴۵۰۰ متر مکعب در هکتار در سال) و درختان بارور پسته (۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار در سال) (Ferguson و Haviland, ۲۰۱۶)، و ارزش اقتصادی بالا و تقاضای زیاد برای آب (جوانشاه و همکاران، ۱۳۸۲) در مناطق پسته‌کاری شهرستان‌های انار و رفسنجان باعث به هم خوردن نسبت آب به زمین در این مناطق شده است. حجم بالای باغات پسته ایجاد شده در سال‌های گذشته و محدودیت روز افزون منابع آب، به مشکل گسترده‌ای در استان کرمان تبدیل شده است. باغات پسته‌ای که به علت عدم دریافت آب کافی، بازدهی اقتصادی خود را از دست داده و حتی قادر به تأمین هزینه‌های جاری تولید نیز نمی‌باشند. این باغات، به کانون آفات و بیماری‌ها تبدیل شده و کل باغات منطقه را تهدید می‌کنند. این که در استان کرمان باغات پسته مازاد وجود دارد، مورد قبول همه می‌باشد؛ اما دو نکته اساسی وجود دارد که حل مسئله را با مشکل مواجه کرده است. نکته نخست این که چه سطحی از باغات پسته مازاد بوده و بایستی حذف شوند. نکته دوم، مقاومت‌های مختلفی است که با توجیهات متفاوت در برابر حذف باغات اضافه، وجود دارد. اولین موضوعی که در مقابل حذف باغات پسته مازاد مطرح می‌شود، موضوعی اخلاقی و اکراه کشاورزان در بریدن درخت زنده است. کشاورزان طبق عقاید مذهبی خود، شکستن شاخه درخت را حرام می‌دانند، چه برسد که بخواهند ۱۰ هکتار درخت پسته زنده را از ریشه قطع کنند. مشکل دومی که وجود دارد، حذف مالکیت کشاورزان از باغات پسته رها شده و به دنبال آن کاهش اندازه پروانه بهره‌برداری آب می‌باشد. مشکل سوم، انتظار و امید کشاورزان به انتقال آب بین حوضه‌ای است. همچنین کشاورزان منتظر تکنولوژی‌هایی می‌باشند که کل باغات پسته منطقه را با هر حجم آب بتوان حفظ کرد. بنابراین آنچه که نیاز است تا شفاف بدان پرداخته شود، پاسخ به ابهاماتی است که در مناطق پسته‌کاری استان کرمان وجود دارد و باعث ناپایداری روز افزون توسعه و تخریب هر چه بیشتر منابع آب در این مناطق شده است. در مطالعه فعلی سعی شده است تا از جنبه‌های مختلف به لزوم حذف باغات پسته منطقه پرداخته شود. در این خصوص نخست سطحی از باغات پسته که بایستی در شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان حذف شوند، بر اساس تکنولوژی‌های مختلف ارایه می‌گردد. سپس لزوم حذف باغات پسته براساس معیارهای مختلف بیان خواهد شد.

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق از دو روش کتابخانه‌ای و تکمیل پرسش‌نامه از کشاورزان، تهیه شد. برای جمع‌آوری اطلاعات پرسش‌نامه‌ای از کشاورزان، نمونه مورد مطالعه از شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان انتخاب گردید. جمع‌آوری اطلاعات در مراحل مختلف و در دوره زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ انجام شد. روش نمونه‌گیری، تصادفی چند مرحله‌ای بود. در هر دوره زمانی، نخست از مجموع روستاهای دو شهرستان، تعدادی نمونه بر اساس روش‌های نمونه‌گیری تصادفی انتخاب شد. در هر دوره، از لیست کشاورزان ساکن در روستاهای

نتایج

الف- بررسی وضعیت موجود و مقایسه آن با وضعیت مطلوب
براساس آمار سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان (۱۳۹۶)، در حال حاضر، کل سطح زیر کشت پسته در دو شهرستان انار و رفسنجان در استان کرمان در حدود ۱۰۰ هزار هکتار می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج مطالعات انجام شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان، مقدار آب قابل برنامه‌ریزی در دو شهرستان انار و رفسنجان، ۳۰۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. به عبارت دیگر، در صورتی که برداشت از سفره آب زیرزمینی کمتر از این مقدار باشد، تعادل ایجاد خواهد شد و بیلان منفی حذف می‌گردد. این در حالی است که بر اساس، آمار ارایه شده توسط همین شرکت، در حال حاضر، سالیانه بیش از ۷۵۰ میلیون متر مکعب آب از سفره‌های آب زیرزمینی این دو شهرستان برداشت می‌شود. به عبارت دیگر، سفره آب زیرزمینی با بیلان منفی قابل توجه‌ای مواجه است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان، ۱۳۹۶).

در زمینه نیاز آبی درختان پسته، مطالعات فنی اندازه‌گیری تبخیر و تعرق و میدانی مختلفی انجام شده است. جدیدترین مطالعه انجام شده فنی توسط مؤذن‌پور کرمانی و همکاران (۱۳۹۶) نشان می‌دهد که مجموع تبخیر و تعرق از درخت پسته در شهرستان‌های انار و رفسنجان برای درختان پسته تازه بارور شده (۹ ساله)، ۵۶۲۱ متر مکعب در هکتار در سال است. البته این میزان حداقل نیاز آبی درختان پسته بارور را نشان می‌دهد. با توجه به راندمان ۹۰ درصدی سامانه آبیاری تحت فشار، و بر فرض عملی شدن این میزان راندمان در باغات پسته، میزان آب کاربردی در باغات پسته در این سامانه حداقل ۶۲۴۵ متر مکعب در هکتار در سال برآورد می‌شود. همچنین اگر

نمونه، در مجموع، تعداد ۱۵۹۷ کشاورز با روش‌های نمونه‌گیری تصادفی انتخاب گردیدند. اطلاعات مختلف جمع‌آوری شده شامل ویژگی‌های فنی باغ و خصوصیات اقتصادی اجتماعی کشاورزان بود. در خصوص ویژگی‌های فنی باغ، اطلاعاتی چون سن درخت، بافت خاک، کیفیت آب، مقدار آب مصرفی، مقدار و نوع مصرف کلیه نهاده‌های کشاورزی و میزان تولید پسته بود. در زمینه اطلاعات اقتصادی اجتماعی، متغیرهایی چون سن، سطح سواد، و دیدگاه‌های کشاورز در خصوص مسایل آب، پرسیده شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با محاسبه شاخص‌هایی چون میانگین، واریانس و انحراف استاندارد، به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته شد.

راندمان مصرف آب در باغات پسته آبیاری شده با سامانه سنتی غرقابی معادل ۳۰ درصد در نظر گرفته شود (مؤذن پور کرمانی و همکاران، ۱۳۹۶)، حداقل نیاز آب کاربردی در باغات پسته در سامانه غرقابی، ۱۸۷۳۷ متر مکعب در هکتار در سال خواهد بود. این در حالی است که مطالعات میدانی در شهرستان‌های انار و رفسنجان، نشان می‌دهد که مقدار بهینه اقتصادی مصرف آب در سامانه غرقابی در باغات پسته ۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار در سال با هدایت الکتریکی متوسط ۶۰۰۰ میکرو موس بر سانتی‌متر می‌باشد (عبداللهی عزت‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). معیار اصلی برای تعیین حجم منبع آب در اختیار، مقدار آب قابل برنامه‌ریزی است. چنانچه قبلاً بیان شد، در شهرستان‌های انار و رفسنجان، حجم آب قابل برنامه‌ریزی در مجموع ۳۰۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. لذا با توجه به این حجم آب در دسترس، نیاز آبی درختان پسته و سامانه آبیاری مورد استفاده، در خصوص حداکثر باغ پسته قابل کشت در این دو شهرستان بایستی تصمیم‌گیری کرد. بنابراین در سامانه آبیاری غرقابی، با مصرف مقدار بهینه اقتصادی ۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار در سال، تنها ۲۵۰۰۰ هکتار باغ پسته قابل آبیاری می‌باشد. در این حالت بایستی ۷۵۰۰۰ هکتار از باغات پسته حذف شوند. همچنین، در شرایطی که باغات پسته دو شهرستان به سامانه آبیاری تحت فشار مجهز شده و مصرف به سطح ۶۲۴۵ متر مکعب در هکتار در سال کاهش یابد، با کل آب قابل برنامه‌ریزی، حداکثر ۴۸۰۰۰ هکتار باغ پسته قابل آبیاری است. به عبارت دیگر، ۵۲۰۰۰ هکتار از باغات پسته دو شهرستان (۵۲ درصد باغات) بایستی حذف شوند. به دیگر سخن، حتی با استفاده از بهترین فناوری و سامانه آبیاری نیز نگهداری تمام باغات پسته امکان‌پذیر نبوده و بایستی حداقل ۵۲ درصد از آن‌ها حذف شوند.

ب- لزوم حذف باغات پسته بر اساس معیارهای مختلف

ب-۱- معیار فنی

چنانچه در مقدمه بیان شد، یکی از عواملی که باعث شده است تا کشاورزان در حذف باغات پسته مازاد خود تردید داشته باشند، ترس از دست دادن مالکیت زمین و آب می باشد. در اغلب مناطق پسته کاری در شهرستان های انار و رفسنجان به علت نامحدود بودن زمین، ارزش اقتصادی این نهاده بسیار پایین حتی صفر می باشد. بنابراین نگرانی اصلی کشاورزان، در خصوص کاهش پروانه بهره برداری چاه به علت کم شدن کل سطح زیر کشت پسته چاه است. یک حساب سر انگشتی نشان می دهد که این نگرانی بی جا می باشد. بر اساس نظر سازمان آب منطقه ای، کل حجم آب قابل برنامه ریزی در دو شهرستان انار و رفسنجان، ۳۰۰ میلیون متر مکعب در سال است. همچنین بر مبنای آخرین آمار این سازمان، تعداد ۱۳۸۰ حلقه چاه آب کشاورزی در دو شهرستان وجود دارد. با انجام محاسبات، مشخص می شود، در نهایت میانگین پروانه چاه های آب منطقه بایستی به ۷ لیتر در ثانیه کاهش یابد. این در حالی است که یافته های حاصل از تکمیل پرسشنامه و اندازه گیری های انجام شده نشان می دهد، میانگین دبی چاه های منطقه در حال حاضر ۲۵/۷۰ لیتر در ثانیه می باشد. همچنین میانگین دبی قانونی چاه ها ۳۱/۱۴ لیتر در ثانیه است. این مسئله دو نکته اساسی را مشخص می نماید. وجود دبی مجاز بالا، تضمین کننده توانایی برداشت بیشتر آب نیست. چنانچه در شرایط فعلی، به علت کمبود آب، میزان برداشت آب هرچاه به طور متوسط ۵/۴۴ لیتر در ثانیه کمتر از پروانه های مجاز می باشد. دومین نکته این است که در بلندمدت و طبق میزان آب برنامه ریزی شده، دبی واقعی چاه ها بایستی به ۷ لیتر در ثانیه، یعنی ۲۲ درصد میزان پروانه های فعلی و ۲۷ درصد مقدار برداشت فعلی، کاهش یابد. بنابراین، سطح زیر کشت پسته مازاد توسط کشاورزان کاهش بیابد یا خیر، کاهش پروانه های مجاز حتماً انجام خواهد شد. همچنین کشاورزان بایستی مطمئن باشند که کاهش پروانه به زیر ۷ لیتر در ثانیه نخواهد انجامید و از نظر سازمان آب منطقه ای داشت ۳ هکتار باغ برای هر لیتر پروانه بهره برداری کفایت می کند. بنابراین اگر هر چاه کشاورزی تنها دارای ۲۱ هکتار باغ پسته باشد، داشت ۷ لیتر در ثانیه آب مجاز تضمین شده است. این در حالی است که با ۷ لیتر در ثانیه پروانه و استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار، می تواند تا ۳۵ هکتار باغ پسته را برای هر چاه نگه داشت. بنابراین، کشاورزان پسته کار، بایستی با خاطر آسوده و با توجه به سامانه آبیاری باغ خود، نسبت به حذف باغات پسته اضافه اقدام نمایند.

ب-۲- معیار اخلاقی

یکی دیگر از موانع اصلی بر سر راه حذف باغات پسته اضافه، توجه به معیارهای اخلاقی می باشد. وقتی به بعضی از پسته کاران

گفته می شود که باغات پسته مازاد بر آب خود را حذف کنید، در پاسخ، احادیث زیر از پیامبر اسلام (ص) را نقل می کنند:

«هر کس درخت سدر را قطع کند، خداوند او را با سر در آتش جهنم خواهد انداخت»، «هر مسلمانی که بذری بیفشاند یا نهالی بنشاند و از حاصل آن بذر و نهال پرنده ای یا انسانی یا چرنده ای بخورد، آن برای او صدقه محسوب می شود»، هر وقت عمر جهان پایان یابد و قیامت برسد و در دست یکی از شما نهالی باشد چنان که به قدر کاشتن آن فرصت باشد، باید فرصت را از دست ندهد و آن را بکارد»، «هر کس ساختمانی را بدون آنکه ظلم و ستمی در کار باشد بنا نماید و یا نهالی را بکارد و درختی را غرس کند، تا هر کجا که بنده ای از بندگان خداوند مهربان از آن بهره مند شود، خداوند اجر و ثواب به او عطا می کند»، «هر که درختی بنشاند خداوند تعالی به اندازه میوه ای که از آن درخت داده می شود پاداش برای وی می نویسد»، «هر که درختی غرس کند تا به ثمر برسد، خدا عوض آن در بهشت درختی برای او غرس می فرماید»، «هر کس درخت خرما یا سدری را آب دهد، گویا تشنه ای را سیراب کرده است»، «نزد من شکستن شاخه ای از درخت همچون شکستن بال فرشتگان است». لازم به ذکر است که احادیث فوق در (Abu-Sway، ۱۹۹۸) آمده است.

این پسته کاران با استناد به احادیث فوق، قطع کردن درختان پسته را گناه دانسته و از این کار خودداری می کنند. این در حالی است که اصرار در نگه داشتن باغات اضافه باعث فشار بیشتر بر منابع آب شده و باعث زیان و ضرر به نسل های آینده است. همچنین، این درختان کم آب و نیمه خشک به کانون آفات و به ویژه سوسک سرشاخه خوار تبدیل شده و نه تنها درختان مورد نظر را از بین می برد، بلکه باعث زیان رساندن به باغات پسته هم جوار نیز می گردد. آیا پیامبر اسلام (ص) راضی به زیان رساندن به انسان ها و مردم آزاری است؟ این در حالی است که طبق داستانی که در فراهانی (۱۳۸۹) آمده است، درختی که باعث آزار و اذیت مردم شود، نه تنها نگهداری آن هیچ ارزشی ندارد بلکه باید از ریشه کنده و دور انداخته شود. به عبارت دیگر، در چنین شرایطی قطع درخت ارزشمندتر از کاشت درخت است. بنابراین، به طور شفاف می توان گفت که قطع درختان مازاد نه تنها کار غیر اخلاقی نمی باشد، بلکه امری اخلاقی و ارزشمند است. به عبارت دیگر، سیره پیامبر (ص) نشان می دهد که حذف ۷۵ هزار باغ پسته مازاد در شهرستان های انار و رفسنجان که باعث ایجاد خسارت به سفره های آب زیرزمینی - که حق نسل های آینده است - می شوند، نه تنها کاری غیر اخلاقی نیست، بلکه پیامبر دستور به ریشه کنی چنین درختانی داده است که باعث آزار و اذیت دیگران می شوند. این مسئله نشان می دهد که گروه های مرجع اجتماعی بایستی در ارایه دستورات اخلاقی به مردم، تمام جوانب را توضیح داده تا یک فرمان اخلاقی به ضد آن تبدیل نشود.

ب- ۳- معیار اقتصادی

برای این که بتوان کل باغات پسته دو شهرستان انار و رفسنجان را حفظ کرد، دو راه بیشتر وجود ندارد. نخست این که راندمان استفاده از آب افزایش یابد. چنانچه قبلاً نیز گفته شده، حتی با استفاده از پیشرفته‌ترین سامانه‌های آبیاری و باران‌دمان ۹۰ درصدی مصرف آب نیز نمی‌توان بیش از ۴۸ درصد از باغات پسته را حفظ نمود. راه حل دوم، افزایش عرضه آب است. دو راه حل انتقال بین حوضه‌ای آب و استفاده از آب‌های نامتعارف در این زمینه مطرح می‌باشند. مطالعه عبدالهی عزت‌آبادی و جوانشاه (۱۳۸۶)، نشان می‌دهد که استفاده از این دو گزینه برای باغات پسته شهرستان‌های انار و رفسنجان، اقتصادی نمی‌باشد. به عبارت دیگر، امکان اضافه شدن عرضه آب در دو شهرستان تقریباً صفر است. از طرفی چنانچه قبلاً بیان شد، مقدار بهینه اقتصادی مصرف آب در باغات پسته، در سامانه غرقابی، ۱۲ هزار متر مکعب در هکتار در سال است. همچنین در سامانه تحت فشار، مقدار بهینه فنی مصرف آب، ۶۲۴۵ متر مکعب در هکتار در سال می‌باشد. با توجه به پایین بودن تعداد باغات پسته‌ای که سامانه آبیاری تحت فشار استفاده کرده‌اند و یکنواخت بودن حجم آب مورد استفاده در این سامانه‌ها، امکان محاسبه مقدار بهینه اقتصادی وجود ندارد. لذا بر اساس معیار اقتصادی و در سامانه غرقابی، چنانچه قبلاً گفته شد، ۷۵ درصد باغات پسته بایستی حذف شوند. همچنین بر اساس بهینه فنی مصرف آب در سامانه تحت فشار نیز حداقل ۵۲ درصد باغات پسته حذف می‌گردند. لذا می‌توان گفت که بر اساس معیارهای اقتصادی نیز حذف باغات پسته مازاد، توجیه‌پذیر است.

ب- ۴- معیار اجتماعی

مصاحبه‌های انجام شده با کشاورزان نشان می‌دهد که یکی از موانع اصلی بر سر راه اجرای طرح تعادل‌بخشی منابع آب در مناطق پسته‌کاری شهرستان‌های انار و رفسنجان، وجود اختلافات زیاد بین پروانه‌های بهره‌برداری است. به طوری که در بعضی موارد، یک مالک دارای ۱۰ چاه شش دانگی با مجوز بهره‌برداری ۶۰ تا ۷۰ لیتر در ثانیه می‌باشد. در کنار آن، چاه‌های آبکشی وجود دارد که بیش از ۱۵۰ مالک داشته و مجوز آبکشی آن ۱۲ لیتر در ثانیه با کارکرد ۳۰۰۰ ساعت در سال است. بدین مفهوم که چنین چاه خرده مالکی، تنها مجوز برداشت ۱۳۰ هزار متر مکعب آب در سال را دارد. به عبارت دیگر، متوسط سهم هر مالک تنها ۸۷۰ متر مکعب آب در سال می‌باشد. کمترین میزان آب مصرفی که برای پسته در سامانه آبیاری تحت فشار اعلام شده است، ۶۲۴۵ متر مکعب در هکتار در سال می‌باشد. بدین ترتیب، می‌توان گفت که هر فرد مالک در چنین چاهی اگر حتی به سامانه آبیاری قطره‌ای هم دسترسی داشته باشد، نمی‌تواند بیش از ۰/۱۴ هکتار باغ پسته داشته باشد. این در حالی است که در

سامانه غرقابی، این عدد به نصف می‌رسد. مشخص است که یک خرده مالک با داشتن یک باغ ۰/۰۷ هکتاری، نمی‌تواند مایحتاج زندگی خود را تأمین نماید. در حال حاضر، این کشاورز نزدیک به ۱۰ برابر مجوز چاه، آب برداشت نموده و با آن زندگی خود را به سختی می‌گذراند. حال چگونه می‌تواند با حذف باغات اضافی از مشکلات اقتصادی به سلامت عبور کند. از طرفی، بر اساس معیارهای فنی، و اقتصادی هیچ گزینه دیگری نیز به غیر از حذف باغات اضافی وجود ندارد؛ اما بایستی شرایط لازم برای این کار فراهم شود. باغات اضافه بایستی حذف شده و زندگی خرده مالکان نیز بایستی دچار مشکل شود. لذا نیاز است تا در این زمینه چاره‌ای اندیشیده شده و برای افراد خرده مالک، انگیزه‌هایی فراهم شود. در این زمینه نیاز است تا نخست حداقل سطح باغ پسته مورد نیاز برای تأمین معیشت یک خانواده روستایی مشخص گردد. سپس تعداد مالکینی که سطح باغات پسته آنان پس از حذف باغات اضافه به کمتر از سطح حداقل معیشتی می‌رسد، مشخص گردد. در نهایت، لیست گزینه‌های تشویقی برای ارایه به کشاورزان مستحق، توسط اداره‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت و معدن و ... مشخص گردد. به عبارت دیگر، برای رفع مشکلات اجتماعی ناشی از حذف باغات پسته اضافه نیز امکان ارایه راهکارهای مناسب وجود دارد و این مشکلات، مانع لاینحلی بر سر راه حذف باغات اضافه پسته نیستند.

ب- ۵- معیار زیست‌محیطی

یکی از مسائلی که در خصوص حذف باغات پسته اضافه مطرح می‌شود، مخاطرات زیست‌محیطی این مسئله و بیابان‌زایی می‌باشد. حال سؤال این است که باغات پسته در چه شرایطی ایجاد شده‌اند. پاسخ کاملاً مشخص است. قبل از ایجاد باغات پسته، این مناطق بیابان و کویر بوده‌اند. کشاورزان با استخراج منابع آب زیرزمینی باعث شده‌اند تا این بیابان و کویر به باغ تبدیل شود. عملی که به زعم بسیاری از کشاورزان یک کار ارزشی است. این در حالی است که آباد کردن کویر و بیابان به هزینه تخریب منابع آب زیرزمینی انجام شده است. به عبارت دیگر، بیابان‌زدایی انجام شده توسط کشاورزان، به قیمت تخریب منابع آب متعلق به نسل‌های گذشته، حال و آینده انجام شده است. حال اگر حفظ و تعادل‌بخشی منابع آب با هزینه بیابانی شدن منطقه انجام گیرد، ارزشش را دارد. این در شرایطی است که داشتن هر دو به طور همزمان امکان‌پذیر نیست. به عبارت دیگر، اثرات زیست‌محیطی منفی ناشی از حذف باغات پسته اضافه که همان بیابان زایی است، بسیار کمتر از منافع زیست‌محیطی این کار، یعنی حفظ و تعادل بخش منابع آب می‌باشد. در نتیجه می‌توان که حذف باغات پسته اضافه، بر اساس معیارهای زیست‌محیطی نیز توجیه‌پذیر است.

- جوانشاه، ا.، صالحی، ف. و عبد‌الهی عزت‌آبادی، م. ۱۳۸۲. اولویت‌بندی روش‌های آبیاری و ارائه اقتصادی‌ترین روش در راستای استفاده بهینه از منابع آب کشاورزی در باغات پسته استان کرمان. طرح مشترک سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان و موسسه تحقیقات پسته کشور.
- سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان ۱۳۹۶. گزارش سالیانه. شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان. ۱۳۹۶. گزارش سالیانه.
- عبد‌الهی عزت‌آبادی، م. ۱۳۸۷. نقش سیاست‌گذاری ناهماهنگ در توسعه ناپایدار کشت پسته با تأکید بر منابع آبی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۶(۶۳): ۱۱۷-۱۳۷.
- عبد‌الهی عزت‌آبادی، م. و جوانشاه، ا. ۱۳۸۶. بررسی اقتصادی امکان استفاده از روش‌های نوین عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی: مطالعه موردی مناطق پسته کاری شهرستان رفسنجان. فصلنامه پژوهش و سازندگی، ۲۰(۱): ۱۱۳-۱۲۶.
- عبد‌الهی عزت‌آبادی، م.، صداقتی، ن.، صداقت، ر.، محمدی محمدآبادی، ا.، میرزایی، س. و ابارقی، غ. ۱۳۹۷. بررسی اقتصادی مدیریت آبیاری باغ‌های پسته در شهرستان‌های انار و رفسنجان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده پسته.
- فراهانی، س. ۱۳۸۹. اقتصاد منابع طبیعی از منظر اسلام (اصول و مبانی). انتشارات پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی. تهران. ۳۵۱ صفحه.
- موزن‌پور کرمانی، م.، محمدی محمدآبادی، ا.، بادیه‌نشین، ع. و نوری ح. ۱۳۹۶. اندازه‌گیری تبخیر، تعرق و ضریب گیاهی پسته در منطقه رفسنجان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۵(۲): ۴۷-۵۵.
- Abu-Sway M. 1998. Towards an Islamic jurisprudence of the environment. http://www.fau.edu/~mabusway/Islam_and_Environment.pdf.
- Ferguson L. and Haviland D.R. 2016. Pistachio Production Manual. University of California. Agriculture and Natural Resources Publication.
- Schmidt O. and Plate E.J. 1983. Optimization of reservoir operation for irrigation and determination of the optimum size of the irrigation area, The Hamburg Symposium, IAHS Publ. no. 147.

در این مطالعه، موضوع حذف باغات پسته مازاد در شهرستان‌های انار و رفسنجان در استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. بحثی که اصل آن مورد وفاق همه بوده اما میزان و چگونگی توجیه کشاورزان منطقه جهت انجام این کار مورد سؤال است. پاسخ‌گویی به این سؤال با مراجعه به مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین تکمیل پرسشنامه از نمونه‌ای ۱۵۹۷ نفره از پسته‌کاران منطقه صورت گرفت. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از سامانه آبیاری غرقابی، ۷۵ هزار از باغات پسته دو شهرستان انار و رفسنجان مازاد بوده و بایستی حذف شوند. استفاده از فناوری پیشرفته سامانه آبیاری تحت فشار و افزایش راندمان مصرف آب تا ۹۰ درصد نیز می‌تواند از حذف شدن باغات جلوگیری کند. استفاده از این سامانه نیز میزان کاهش سطح باغات پسته را تنها به میزان ۲۳ هزار هکتار کاهش می‌دهد. به عبارت دیگر، در صورتی که بهترین تکنولوژی‌های موجود استفاده از آب در باغات پسته نیز مورد استفاده قرار گیرد، بایستی ۵۲ هزار هکتار از باغات پسته حذف شوند. در ادامه مطالعه توجیه کشاورزان و سیاست‌گذاران بر مبنای ۵ معیار فنی، اخلاقی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انجام شد. معیار فنی نشان داد که کشاورزان بایستی هیچ نگرانی در خصوص حذف باغات پسته مازاد خود را داشته باشند. این کار، در بلند مدت و به طور عملی، هیچ تأثیر منفی بر مجوزهای بهره‌برداری از چاه‌های آب نخواهد داشت. بر اساس معیار اخلاقی، مشخص شد که حذف باغات پسته مازاد، نه تنها یک فعل غیر اخلاقی نبوده بلکه عملی اخلاقی و مطابق با سیره پیامبران الهی می‌باشد. حفظ باغات پسته مازاد هیچ توجیه اقتصادی ندارد. به عبارت دیگر، مشخص شد که از نظر معیارهای اقتصادی امکان افزایش عرضه آب در منطقه وجود ندارد. همچنین با استفاده از برترین تکنولوژی‌های موجود در حوزه آبیاری باغات پسته نیز، نگهداری همه باغات پسته موجود توجیه اقتصادی ندارد. مطالعه معیارهای اجتماعی اشتغال، عدالت و تأمین حداقل درآمد معیشتی نشان داد که حذف باغات پسته مازاد، مشکلاتی برای پسته‌کاران خرده مالک ایجاد می‌کنند که بایستی در خصوص آن چاره‌اندیشی شود. با این وجود، این موضوع نیز مانع غیر قابل حلی نمی‌باشد. در نهایت، بررسی حذف باغات پسته مازاد بر مبنای معیار زیست‌محیطی نشان داد که اثرات مثبت حذف باغات پسته در حفظ منابع آب بسیار بیشتر از تأثیرات منفی زیست‌محیطی بیابان‌زایی ناشی از حذف این باغات می‌باشد. به عبارت دیگر، حذف باغات پسته مازاد دو شهرستان انار و رفسنجان بر اساس معیارهای زیست‌محیطی نیز توجیه‌پذیر است.

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Investigating the Risk of Garmsar Water Distribution Network through Binary and TOPSIS Methods Using GIS

S.O. Mirmohammadsadeghi^{1*}, M. Nabavianpour²

1- M.Sc. Student in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahr-e kord, Iran. 2- Ph.D. student in Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University, Isfahan, Iran.

*(Corresponding Author Email: Osadeghi10@gmail.com)

Received: 19-06-2018

Accepted: 27-05-2019

بررسی ریسک‌پذیری شبکه توزیع آب شهر گرمسار به روش‌های باینری و تاپسیس با استفاده از GIS

سیدامید میرمحمد صادقی^۱، محمد نبویان‌پور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی-آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه اصفهان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Osadeghi10@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۶

Abstract

By increasing the urban populations in the country and development of cities on the one hand and the continuation of the drought and the reduction of precipitation on the other hand, supplying of drinking water has become one of the most important challenges in water resource management. Therefore, the need for preventive activities to reduce losses due to the casualties in water supply pipes has become one of the main needs of any water supply systems. In this study, the present state of the water distribution network of Garmsar city is investigated and by compositing descriptive and spatial information and also remote sensing information during development, the risk of water distribution network in the city is investigated using TOPSIS and Binary methods. The risk map of breakage or failure in pipes due to decay, burst, pressure, and leakage is plotted. The results showed that the TOPSIS method with validity percentage of 63 is more reliable comparing the Binary method with validity percentage of 45 in predicting events in the water distribution network. Also, according to the risk map of the pipes, the length of high risk-taking pipes are about 12000 meters. The total costs for purchasing and running the pipes will be less than the costs of the losses in the water distribution system. This cost is additional to the unaccounted costs for water and must be paid just to rehabilitate the system.

Keywords: Unaccounted water, Events, Per capita, Negative ideal, WaterGEMS.

چکیده

با افزایش جمعیت شهرنشین در کشور و توسعه روزافزون شهرها از یک طرف و ادامه روند خشک‌سالی و کاهش نزولات جوی از طرف دیگر تأمین آب آشامیدنی به یکی از چالش‌های مهم در امور مدیریت منابع آب تبدیل شده است. به این دلیل ضرورت اقدامات پیشگیرانه به منظور کاهش هدر رفت آب ناشی از تلفات در خطوط شبکه آب به یکی از نیازهای اصلی سیستم آبرسانی شهری تبدیل شده است. در پژوهش حاضر وضعیت موجود شبکه توزیع آب شهر گرمسار بررسی شد و به کمک ترکیب اطلاعات توصیفی با اطلاعات مکانی و همچنین اطلاعات سنجش‌ازدور در طول زمان توسعه، ریسک‌پذیری شبکه توزیع آب شرب شهر گرمسار به دو روش باینری و تاپسیس بررسی و نقشه خطرپذیری شکست یا خرابی در لوله‌ها در اثر پوسیدگی، ترکیدگی، فشار و نشت ترسیم شد. نتایج نشان داد روش تاپسیس (۶۳ درصد صحت) نسبت به روش باینری (۴۵ درصد صحت) در پیش‌بینی اتفاقات شبکه توزیع آب عملکرد بهتری داشته است. همچنین براساس نقشه ریسک‌پذیری لوله‌ها میزان لوله‌هایی که ریسک‌پذیری بالایی دارند حدود ۱۲۰۰۰ متر است که با در نظر گرفتن هزینه‌های خرید و اجرای لوله در مجموع معادل کمتر از هزینه یک سال تلفات آب در شبکه خواهد شد. این هزینه مازاد بر هزینه آب به حساب نیامده است و باید صرفاً به منظور اصلاح شبکه هزینه شود.

واژه‌های کلیدی: آب به حساب نیامده، اتفاقات شبکه، سرانه، ایده آل منفی، WaterGEMS.

Goulter, ۱۹۸۵). ریسک‌های یک پروژه با روش‌های مختلف کمی و کیفی رتبه‌بندی خواهد شد؛ در ساده‌ترین و متداول‌ترین حالت رتبه ریسک براساس حاصل‌ضرب مقادیر شدت در احتمال وقوع به‌دست خواهد آمد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). Sadeh و Rezaian (۲۰۱۷) اولویت‌بندی ریسک‌های سد پناه‌رود^۲ را در مرحله اجرایی ساخت سد براساس روش‌های TOPSIS و RAM-D ارائه نمودند و از ۴۳ فاکتور ریسک موجود در پروژه ۳ فاکتور که بیشترین درجه اهمیت در پروژه را دارند معرفی کردند. Zhao و همکاران (۲۰۱۶) به‌منظور حفاظت کامل از منابع آب از روش وزنی^۲ برای ارزیابی ریسک استفاده و کلیه اتفاقات سیستم آب‌رسانی شهری را بررسی کردند. الگوی ایجاد شده در نتایج این پژوهش نشان داده است ریسک‌ها می‌توانند در سیستم آب‌رسانی حوضه آبریز هانجینگ^۳ در سطح معینی کنترل شوند. بر این اساس ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک در پروژه‌های مطالعاتی و اجرایی در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار اهمیت بالایی دارد (تابش و عابدینی، ۱۳۸۴). پروژه‌ها و طرح‌هایی وجود دارند که به واسطه ریسک‌هایی که پیش‌بینی نشده‌اند چند برابر زمان پروژه به تأخیر می‌افتد. در حال حاضر در کشور ما اغلب این ریسک‌ها به مشکلات مالی مربوط می‌شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳). باتوجه‌به تورم موجود در کشور با طولانی‌شدن زمان پروژه‌ها پیمانکاران اعتبار کافی برای ادامه پروژه را نخواهند داشت و تأخیر در اجرای پروژه علاوه‌بر کاهش طول مفید آن ادامه پروژه را غیر اقتصادی خواهد کرد (عالم‌تبریز و حمزه‌ای، ۱۳۹۰).

تولید و مصرف آب یک شهر با جمعیت آن ارتباط مستقیم دارد استفاده و بررسی آمار جمعیتی شهر مورد مطالعه در چند سال گذشته ضروری خواهد بود. با استفاده از نتایج سرشماری سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ جمعیت شهر گرمسار طی پنج سال گذشته با استفاده از روش میان‌یابی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- جمعیت شهر گرمسار در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵

سال	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵
جمعیت (نفر)	۴۳۶۳۴	۴۵۲۹۹	۴۶۹۶۲	۴۸۶۵۲	۵۰۲۸۸	۵۱۹۵۱

با استفاده از آمار تولید و مصرف، حجم و سرانه آب بدون درآمد برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است.

محدودیت حجم منابع آب شیرین و افزایش تقاضا برای این کالای کمیاب و ارزشمند از یک سو و پراکندگی زمانی و مکانی ناهمگون میان منابع آبی و نیاز آبی از سوی دیگر نگرانی‌ها را در تأمین نیاز آبی آینده بشر تشدید کرده است (تابش و همکاران، ۱۳۹۰). ایران به‌عنوان کشوری با اقلیم گرم و خشک و جمعیت در حال رشد از این امر مستثنا نیست. علاوه‌بر رشد جمعیت عواملی همچون گسترش شهرنشینی، توسعه کشاورزی، صنعت و پدیده‌های اکوسیستمی منابع آب شیرین کشور را با تهدید جدی روبه‌رو ساخته است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴). بنابراین در تصمیمات کلان کشور باید مسئله منابع آب در اولویت امور قرار گیرد و با برنامه‌ریزی صحیح و راهبردی از فجایع احتمالی آینده جلوگیری شود. یکی از راهکارهای مؤثر در موفقیت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت مربوط به منابع آب مدیریت ریسک در پروژه^۱ است که احتمال وقوع رویدادهای نامطلوب را در سیستم شناسایی خواهد کرد تا برای کنترل یا پیشگیری این رویداد نامطلوب اقدامات لازم صورت گیرد (Giustolisi و همکاران، ۲۰۰۶).

هدف مدیریت ریسک افزایش موفقیت پروژه است که از طریق شناسایی ریسک و ارزیابی مخاطره، کاهش و کنترل ریسک و حداکثرسازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد (Chopman و Ward, ۲۰۰۳). ارزیابی ریسک فرایند برآورد احتمال وقوع یک رویداد (مطلوب یا نامطلوب) و میزان تأثیر آن است (Ketler و

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی ریسک‌پذیری شبکه توزیع آب گرمسار، بررسی و تحلیل وضعیت موجود شبکه ضروری است. تحلیل وضعیت موجود شبکه امکان کسب اطلاعات کافی از شرایط فشاری جریان در مناطق مختلف شبکه و پی‌بردن به نواقص و کمبودهای شبکه آب‌رسانی را میسر می‌سازد (باهری و همکاران، ۱۳۹۲). با دریافت آمار و اطلاعات لازم از اداره آب و فاضلاب شهرستان گرمسار و استان سمنان و همچنین با انجام بازدید محلی و کسب اطلاعات تکمیلی از مسئولین مربوطه وضعیت موجود مطالعه و بررسی شد.

• محاسبه سرانه مصرف آب

دستیابی به تخمین دقیق از سرانه مصرف آب شرب نیازمند اطلاع دقیق از آمار تولید، مصرف شهر و همچنین تحلیل روند تغییرات آن در بازه زمانی مشخص است. از آنجایی‌که آمار

جدول ۲- حجم و سرانه آب بدون درآمد در سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵

عنوان	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳
تولید سالانه (مترمکعب)	۶۲۷۶۱۹۱	۶۳۰۱۴۶۴	۶۰۴۲۳۱۱
مصرف سالانه (مترمکعب)	۴۵۵۶۶۹۱	۴۸۷۱۱۱۹	۴۶۳۳۳۸۲
آب به حساب نیامده ^۵ (مترمکعب)	۱۷۱۹۵۰۰	۱۴۳۰۳۴۵	۱۴۰۸۹۲۹
آب به حساب نیامده (نسبت به تولید، %)	۲۷	۲۳	۲۳
آب به حساب نیامده (نسبت به مصرف، %)	۳۸	۲۹	۳۰

جدول ۳- اجزا و متعلقات وضعیت موجود شبکه توزیع آب گرمسار

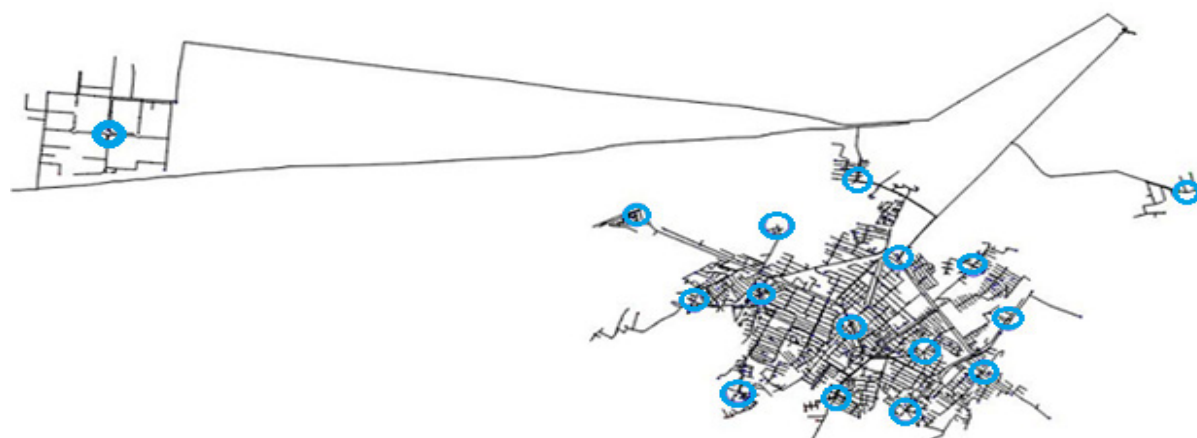
شرح	عنوان
۲۵۲۳	تعداد لوله
۲۳۸۶۷۷	مجموع طول لوله‌ها (متر)
۲۴۱۷	تعداد گره
۲	تعداد مخزن ذخیره
۵	تعداد چاه فعال
هیزن ویلیامز (H-W)	فرمول افت انرژی
لیتر در ثانیه (Lit/s)	واحد دبی
۱۳۹۵	سال
۲۳۸	سرانه مصرف (لیتر بر نفر در روز)
۱,۲۱	ضریب حداکثر مصرف ساعتی
۵۱۹۵۱	جمعیت (نفر)

• بررسی منابع تأمین آب شرب و وضعیت موجود شبکه شهر گرمسار

منبع سطحی تأمین‌کننده آب شهر رودخانه حبله‌رود در شمال گرمسار است و با استفاده از یک لوله چدن داکتیل ۵۰۰ میلی‌متر وارد تصفیه‌خانه می‌شود. پس از تصفیه آب موجود در مخازن ذخیره تصفیه‌خانه با استفاده از ۳ خط لوله به قسمت‌های مختلف هدایت می‌شود. شهرستان گرمسار از شش حلقه چاه که پنج حلقه آن فعال است از منابع آب زیرزمینی بهره‌برداری می‌کند. به‌منظور بررسی نقاط ضعف و قوت فشار شبکه مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب شرب گرمسار در نرم‌افزار WaterGEMS نسخه ۱۰ ایجاد شد. لوله‌ها، گره‌ها، مخازن و پمپ‌ها و سایر اطلاعات لازم برای بررسی وضعیت موجود شبکه مطابق جدول (۳) به نرم‌افزار معرفی شد.

• کالیبراسیون مدل هیدرولیکی شبکه توزیع آب

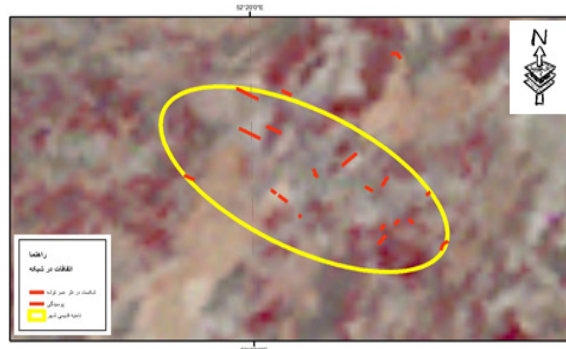
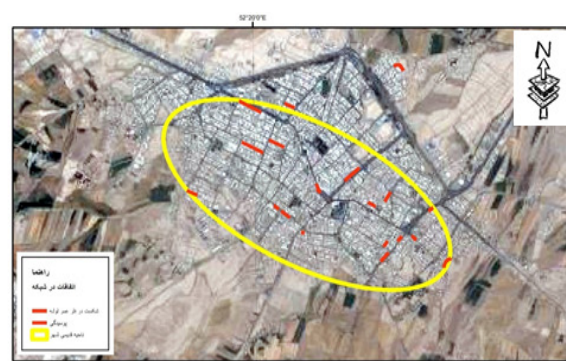
به‌منظور تدقیق شرایط فشاری مدل هیدرولیکی با شرایط واقعی اطلاعات فشارسنجی در مناطق مختلف شبکه توزیع جمع‌آوری شد. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های فشارسنجی شهر گرمسار ارائه شده است. شرایط فشاری مدل هیدرولیکی براساس الگوریتم موجود در نرم‌افزار WaterGems (الگوریتم ژنتیک) بهینه‌سازی و شبکه با شرایط موجود منطبق شد و براساس تغییر ضریب زبری مانینگ^۶ در قسمت‌های مختلف مدل هیدرولیکی شبکه واسنجی شد.



شکل ۱- موقعیت محل‌های اندازه‌گیری فشار در شهر گرمسار

• بررسی نحوه توسعه شهر در طول زمان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

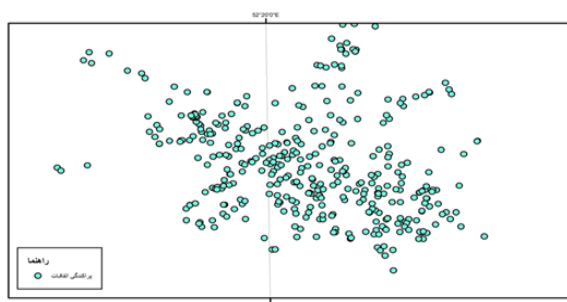
روند تغییرات بافت شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ (شکل ۲) وضعیت رشد شهر در طول زمان بررسی شد. در شکل (۲) محدوده علامت‌گذاری شده با رنگ زرد مناطق قدیمی شهری است؛ به دلیل قدمت بالای شبکه آب (بیش از ۳۰ سال) در این مناطق لوله‌های شبکه پوسیدگی نسبتاً زیادی دارند.



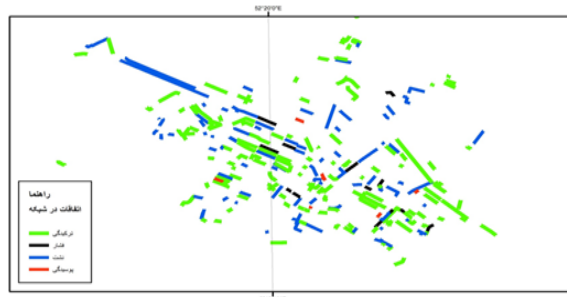
شکل ۲- الف: تصویر ماهواره‌ای کوپیک برد و نمایش توسعه شهری در سال ۲۰۰۹ ب: تصویر ماهواره‌ای لندست و نمایش بافت قدیمی شهر در سال ۱۹۷۵

• بررسی اتفاقات شبکه و طبقه‌بندی آن

برای مشاهده روند وضعیت خرابی‌ها و اتفاقات در شبکه آب گرمسار با اخذ اطلاعات اتفاقات در یک دوره ۱ ساله (سال ۱۳۹۵) محل وقوع اطلاعات بر روی نقشه مشخص شد (شکل ۳). یک محدوده بافر ۵ متری که ناشی از ترکیب خطای ثبت موقعیت و خطای ذاتی GPS بود ایجاد شد و لوله‌هایی که خرابی داشتند مشخص شد. بر اساس اتفاقات و خرابی‌های ثبت شده شبکه در طول سال، ۴۷ نوع خرابی گزارش شده است. خرابی‌های گزارش شده بر اساس منشأ و تعداد تکرار وقایع، در ۴ گروه اصلی نشت، پوسیدگی، ترکیدگی و مشکل فشار طبقه‌بندی شدند (شکل ۴).



شکل ۳- پراکندگی خرابی و اتفاقات در شبکه گرمسار در سال ۱۳۹۵



شکل ۴- طبقه‌بندی اتفاقات در شبکه در ۴ گروه اصلی

میزان ریسک وقوع اتفاق در لوله برآورد می‌شود. باتوجه‌به خاصیت پارامترهای اصلی از جمله میزان فشار هیدرولیکی، عمر لوله، نزدیکی به فضای سبز و نزدیکی به راه‌های اصلی که از یکدیگر مستقل هستند و با اعمال عدد صفر و یک برای هر خاصیت و هر لوله میزان ریسک‌پذیری لوله‌ها محاسبه شد. در این روش میزان ریسک بین ۰ تا ۳ به‌دست خواهد آمد و عدد ۳ بیانگر ریسک بالا می‌باشد (جبل عاملی، ۱۳۸۶). میزان حداقل و حداکثر تأثیر پارامترها در جدول (۴) ارائه شده است و با فرض مستقل بودن این پارامترها همه آنها در یک محدوده در نظر گرفته شده است.

• روش‌های محاسبه و تعیین ریسک‌پذیری لوله‌ها

به‌منظور بررسی عوامل موثر در اتفاقات^۷ در شبکه توزیع آب با افراد متخصص مشورت شد. ۴ عامل اصلی مشخصات لوله، فاصله لوله از راه‌های اصلی، فاصله لوله از فضای سبز و میزان فشار هیدرولیکی لوله به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری انتخاب شدند. دو الگوی اتفاقات ناشی از عمر لوله‌ها و اتفاقات ناشی از فشار به‌عنوان اتفاقات نظام‌مند در شبکه توزیع آب شرب شهر گرمسار مشاهده شد.

محاسبه ریسک‌پذیری لوله‌ها با استفاده از دو روش بایزنی و تاپسیس بررسی شد. در روش بایزنی با ترکیب خطی پارامترها

جدول ۴- وضعیت میزان حداقل و حداکثر تأثیر پارامترها

عنوان	امتیاز حداقل خطر	امتیاز حداکثر خطر
میزان فشار هیدرولیکی	۰	۳
عمر لوله	۰	۳
نزدیکی به فضای سبز	۳	۰
نزدیکی به راه‌های اصلی	۳	۰

باتوجه به ۴ عامل موثر در اتفاقات شبکه ماتریس وزن‌دار و بی‌مقیاس برای تعیین ریسک‌پذیری لوله‌ها تشکیل شد؛ در جدول (۵) وزن هریک از این عوامل ارائه شده است.

جدول ۵- وضعیت میزان وزن پارامترها

عنوان	امتیاز حداکثر خطر
میزان فشار هیدرولیکی	۰/۴
عمر لوله	۰/۳
نزدیکی به فضای سبز	۰/۲
نزدیکی به راه‌های اصلی	۰/۱

پس از وزن‌دهی اولیه راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی به‌دست آمد و فاصله بین گزینه‌ها به روش اقلیدسی محاسبه شد. در قسمت انتهایی محاسبه میزان نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل و دوری از حالت بد براساس رابطه زیر برآورد می‌شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳):

$$C_i = S_i / (S_i + S_i^-) \quad (1)$$

در این رابطه S_i و S_i^- به ترتیب فاصله گزینه i از گزینه‌های ایده‌آل منفی و مثبت است. مقدار C_i محاسبه شده برای هر لوله عددی بین ۰ تا ۱ خواهد بود که عدد ۱ بیانگر ریسک بالای شکست لوله می‌باشد (Sadeh و Rezaian, ۲۰۱۷).

روش دیگر تعیین ریسک‌پذیری لوله‌ها روش تاپسیس است. این روش یکی از روش‌های رتبه‌بندی است و قدرت بالایی در تفکیک گزینه‌ها دارد. مبنای اصلی این روش رتبه‌بندی براساس شباهت پارامترها به راه‌حل ایده‌آل^۱ است. این روش از جمله روش‌های فاصله محور است و مفروضات زیرینایی آن عبارتند از:

- ۱- باید برای هر شاخص همواره مقادیر بالاتر بهتر باشد و مقادیر پایین‌تر بدتر یا برعکس. یعنی مطلوبیت هر شاخص با افزایش مقدار به‌طور یکنواخت افزایش و یا کاهش یابد.
- ۲- ممکن است فاصله هر گزینه از ایده‌آل (یا از ایده‌آل منفی) به‌صورت فاصله اقلیدسی^۱ (از توان دوم) یا مجموع قدرمطلق از فواصل خطی (معروف به فواصل بلوکی) محاسبه شود، که این امر بستگی به میزان تبادل و جایگزین در بین شاخص‌ها دارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج

جدول ۶- صحت‌سنجی داده‌های شبکه

پیش‌بینی روش تاپسیس	پیش‌بینی روش بایزنی	تعداد واقعی اتفاقات	درصد صحت تاپسیس	درصد صحت بایزنی
۲۰۸	۱۵۰	۳۳۲	۶۳	۴۵

جدول ۷- درصد وقوع هر یک از اتفاقات به روش تاپسیس

نوع حادثه	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک خیلی زیاد
پوسیدگی	۵۰	۱۲	۲۵	۱۳
ترکیدگی	۱۶	۲۲	۳۲	۳۰
فشار	۱۴	۲۱	۴۳	۲۱
نشت	۲۲	۱۶	۳۸	۲۴

با استفاده از اطلاعات اتفاقات دریافت شده داده‌های شبکه به دو روش تاپسیس و بایزنی صحت‌سنجی شدند و عملکرد آن‌ها در پیش‌بینی اتفاقات بعدی ارزیابی شد. جدول (۶) نتایج پیش‌بینی اتفاقات دو روش را نشان داده است.

برای پیش‌بینی اتفاقات شبکه آب شرب شهر گرمسار باتوجه‌به جدول (۶) روش تاپسیس (۶۳ درصد) نسبت به روش بایزنی (۴۵ درصد) دقیق‌تر می‌باشد. در روش بایزنی اعداد به‌صورت گسسته وارد محاسبات می‌شود و میزان ریسک به‌صورت مطلق محاسبه خواهد شد که درصد خطا را افزایش خواهد داد.

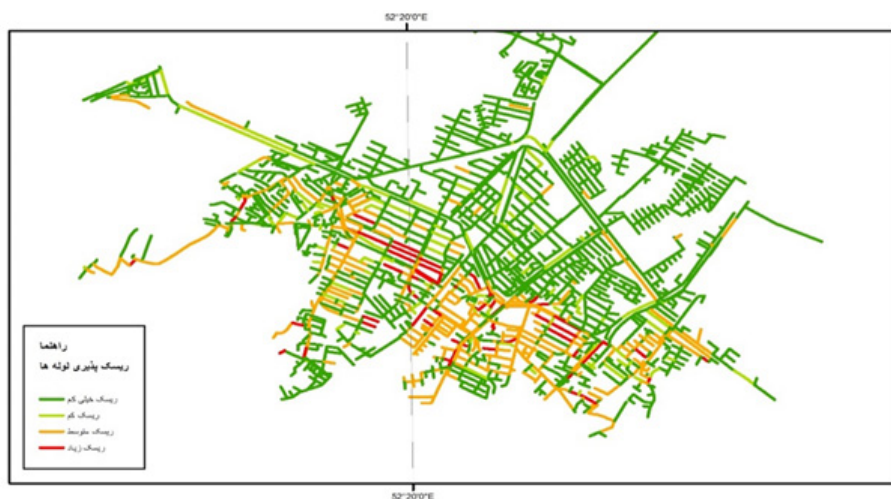
در جداول (۷) و (۸) درصد وقوع هریک از اتفاقات به هر دو روش و برای چهار عامل خرابی یا شکست لوله‌ها ارائه شده است. شکل (۵) و (۶) نقشه میزان ریسک‌پذیری لوله‌ها در اثر عوامل مختلف را نشان داده است.

جدول ۸- درصد وقوع هر یک از اتفاقات به روش بایزری

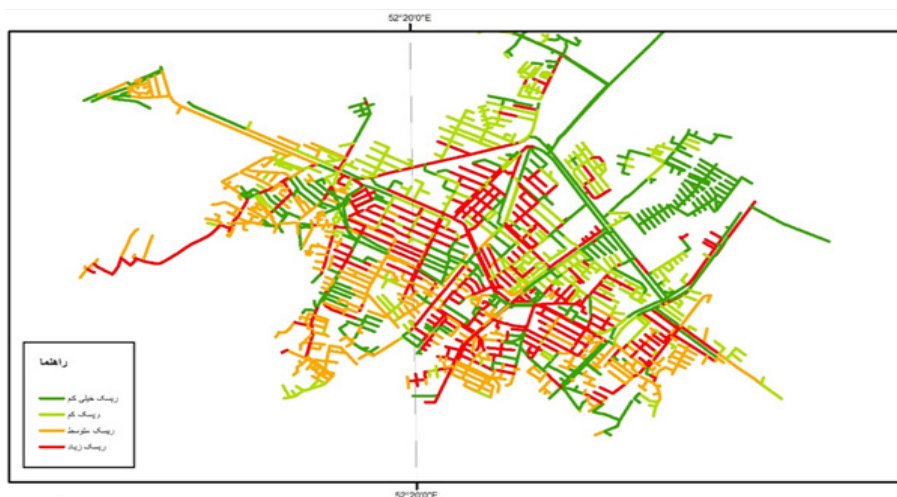
نوع حادثه	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک خیلی زیاد
پوسیدگی	۲۵	۵۰	۰	۲۵
ترکیدگی	۳۴	۲۲	۱۳	۳۱
فشار	۵۰	۲۱	۱۴	۱۵
نشت	۳۸	۲۳	۱۰	۳۰

ریسک بالا محاسبه شده است (۴۵ درصد) و این محدوده با روش تاپسیس مشترک است. برنامه‌ریزی‌های بلندمدت در تعیین ریسک‌پذیری لوله‌ها در شبکه آبرسانی با در نظر گرفتن ریسک‌های خیلی زیاد خسارات زیادی به دنبال دارد. باتوجه به این‌که روش تاپسیس توانسته است نواحی با ریسک بالا را با دقت مناسب‌تری محاسبه کند این روش به‌عنوان روش برتر در تعیین ریسک‌پذیری لوله‌ها پیشنهاد شده است. اولویت‌بندی اصلاح شبکه آبرسانی شهر گرمسار با استفاده از هر دو روش تاپسیس و بایزری در شکل (۷) ارائه شده است. براساس روش برتر (روش تاپسیس) ۳۵ درصد لوله‌ها (ریسک‌های خیلی زیاد) در اولویت اول و ۲۸ درصد لوله‌ها (ریسک‌های زیاد) در اولویت دوم اصلاح شبکه آبرسانی شهر گرمسار قرار می‌گیرند (شکل ۷).

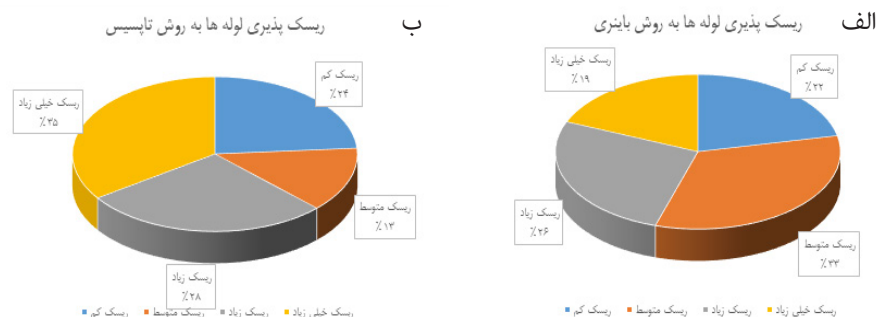
در شکل‌های (۵) تا (۷) دو روش بایزری و تاپسیس در تعیین نواحی با خطر شکست بالا متفاوت عمل نموده‌اند. در روش تاپسیس بافت قدیمی شهر که امکان پوسیدگی و خطر شکستگی بالاتری دارد به رنگ قرمز نشان داده شده است (۶۳ درصد) اما در روش بایزری فقط قسمتی از بافت قدیمی با



شکل ۵- میزان ریسک‌پذیری شکست لوله‌ها براساس روش بایزری



شکل ۶- میزان ریسک‌پذیری شکست لوله‌ها براساس روش تاپسیس



شکل ۷- الف: میزان ریسک‌پذیری شکست لوله‌ها در شبکه براساس روش بایز، ب: روش تاپسیس

پی‌نوشت

- 1- Project Risk Management
- 2- Pavah Rood Dam
- 3- Weighting Method
- 4- Hanjiang
- 5- Unaccounted for Water
- 6- Manning Roughness Coefficient
- 7- Events
- 8- Ideal Solution
- 9- Euclidean Distance

منابع

باهری، ع.، برون، ی.، محمودنژاد، ع. و جرفی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی احتمال وقوع ترک خستگی و شکست در لوله‌های حفاری تحت سیال حفاری. کنفرانس ملی مهندسی مکانیک ایران. دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

تابش، م. و عابدینی، ا.ع. ۱۳۸۴. تحلیل شکست لوله‌ها در شبکه آب‌رسانی شهری. نشریه علمی-پژوهشی تحقیقات منابع آب ایران، ۱(۱): ۷۸-۸۹.

تابش، م.، آقایی، ا. و سلطانی، ج. ۱۳۹۰. مطالعه نرخ شکست لوله‌های اصلی آب‌رسانی شهری با استفاده از روش‌های هوشمند و رگرسیونی. نشریه علمی-پژوهشی آب و فاضلاب، ۲۲(۲): ۲-۱۴.

جبل عاملی، م. ۱۳۸۶. رتبه‌بندی ریسک پروژه با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره. دانشگاه علم و صنعت. تهران. ایران.

عابدینی، س.، قطبی، م.ج. و دادپور، م.ج. ۱۳۹۴. شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی: مسکن مهر استان قم). کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های

باتوجه به جدول (۲) میزان آب به حساب نیامده در سال ۱۳۹۵ معادل ۱/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد. با احتساب قیمت آب بها معادل ۱۷ هزار ریال هزینه معادل آن ۲۹ میلیارد ریال خواهد شد. با در نظر گرفتن برگشت آب به حساب نیامده به شبکه (۷۰ درصد) هزینه اتفاقات در شبکه با احتساب قیمت آب بها معادل ۲۰ میلیارد ریال می‌باشد. براساس نقشه ریسک‌پذیری لوله‌ها میزان لوله‌هایی که ریسک‌پذیری بالایی دارند حدود ۱۲۰۰ متر است. با در نظر گرفتن هزینه‌های خرید و اجرای لوله به ترتیب برابر با ۷۰ و ۸۰ هزار ریال در مجموع معادل ۱۸ میلیارد ریال خواهد شد که این مبلغ کمتر از هزینه یک سال تلفات آب در شبکه خواهد شد. این هزینه مازاد بر هزینه آب به حساب نیامده است و باید صرفاً به منظور اصلاح شبکه هزینه شود. اگرچه با اصلاح سیستم میزان آب به حساب نیامده به صفر نخواهد رسید اما با جلوگیری از هدر رفت آب در شبکه می‌توان تا حدود زیادی (۵۰ تا ۸۰ درصد) میزان آن را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که قابلیت کاربری اجزای شبکه به حوادث لوله‌ها وابسته است شناسایی و ارزیابی ریسک‌های موجود در شبکه آب می‌تواند مدیریت و بهره‌برداری مناسب در شبکه آب را ایجاد کند. از شاخصه‌های اصلی نگرش نظام‌مند به سیستم‌های آب‌رسانی شهری اولویت دادن به فعالیت‌هایی است که اطمینان در سیستم را افزایش داده و تعمیرات و حوادث اتفاقی را برای دستگاه‌ها و تجهیزات به حداقل می‌رساند. از این‌رو ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌های موجود در شبکه آب‌رسانی یکی از راهکارهایی است که ریسک‌های خیلی زیاد شبکه را در اولویت قرار داده و سیاست سازمان‌های مسئول را به تعمیر و سرویس قطعات قبل از خرابی معطوف داشته است. بنابراین از این راه هزینه‌های سیستم تا حد امکان کاهش خواهد یافت و توانایی تجهیزات و قطعات در سیستم بهینه خواهد شد.

- Civil Engineering and Environmental Systems, 23: 175-190.
- Ketler A.J. and Goulter I.C. 1985. An Analysis of Pipe Breakage in Urban Water Distribution Networks. Canadian Journal of Civil Engineering, 12: 286-293.
- Sadeh N. and Rezaian S. 2017. Risk management and Control of Dams Based on Integrating TOPSIS and RAM-D Techniques (Case Study: Paveh Rood Dam, Iran). Environmental Energy and Economic Research, 1: 363-372.
- Zhao J., Jin J., Xu j., hang Q., Chen y. and Han D. 2016. Water Resources Risk Assessment Model based on the Subjective and Objective Combination Weighting Methods. Water Resource Management, 30: 3027-3042.
- نوین در مدیریت، اقتصاد و حسابداری. موسسه مدیران ایده پرداز پایتخت ایلپا، استانبول، ترکیه.
- عالم تبریز، ا. و حمزه‌ای، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی و تحلیل ریسک‌های پروژه با استفاده از رویکرد تلفیقی مدیریت ریسک استاندارد PMBOK و تکنیک RFMEA. نشریه علمی-پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۹(۲۳): ۱-۱۹.
- یوسفی، ا.، ناصری، پ. و نیلی‌پور طباطبایی، س.ا. ۱۳۹۳. ارائه مدل ارزیابی ریسک پروژه با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند هدفه. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی صنایع، ۴۸(۱): ۱۲۵-۱۳۵.
- Chopman C and Ward S. 2003. Project Risk Management. John Wiley & Sons, Southampton.
- Giustolisi O., Laucelli D and Savic D. 2006. Development of Rehabilitation Plans for Water Mains Replacement Risk and Cost- benefit Assessment.

Article Type: Case Study/ Applied

نوع مقاله: مطالعه موردی/ کاربردی

Effectiveness of Smart Landscape Irrigation Systems in Reducing Water Usage (Case Study: Razi Park, Tehran)

A.N. Saeedolzakerin¹, B. Nazari^{2*}, H. Ramezani Etedali³

1,2,3- MSc in Irrigation and Drainage Engineering and Assistant Professor and Associated Professor of Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Tehran, Iran.

*(Corresponding author Email: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir)

Received: 24-02-2018

Accepted: 28-01-2019

میزان اثربخشی هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف (مطالعه موردی: پارک رازی تهران)

امیرناصر سعیدالذاکرین^۱، بیژن نظری^{۲*}، هادی رضانی اعتدالی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، استادیار و دانشیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره).

*(نویسنده مسئول، E-Mail: b.nazari@eng.ikiu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۸

Abstract

One of the limiting factors for expanding green areas, as the most fundamental factors for wildlife and human beings sustainability in modern life, is the lack of available water resources. This limitation is more significant in arid and semi-arid regions. The growth of Tehran's population will lead to more severe water stress and hence, modification of water usage will be necessary. This study evaluates the effectiveness of smart irrigations in reducing water usage. In this research, a smart irrigation system is implemented for Tehran's Razi Park to compare its performance against the conventional systems. Based on the water demand of the green area, an irrigation schedule was defined to the system controller. The optimum irrigation time was determined using the modification model. Results show a 15% and 6% of water-saving in smart monthly and weekly irrigations, respectively. Moreover, the water-saving for weekly irrigation equals to 26445 liters for a total area of approximately 2500 m². The water-saving amount in this method is evaluated as 10.6 liters per m². Considering the total area of the parks in Tehran, improving the irrigation systems for green areas, according to the proposed method in this study, will save approximately 288,000 m² per month. Using this method is recommended to private and public organisations since it has little complexity and low running cost.

Keywords: Green areas, Irrigation, Water savings, Optimization, Smart irrigation.

چکیده

یکی از عوامل محدودکننده گسترش فضای سبز به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عوامل پایداری حیات طبیعی و انسانی در شهرنشینی نوین کمبود منابع آب قابل دسترسی می‌باشد. این محدودیت به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است. با افزایش جمعیت کلان‌شهر تهران در معرض تنش‌های آبی شدیدتری قرار خواهد گرفت و اصلاح الگوی مصرف آب در بخش فضای سبز ضروری خواهد شد. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثربخشی سامانه‌های آبیاری هوشمند در کاهش مصرف آب فضای سبز انجام شد. در این پژوهش سامانه آبیاری هوشمند برای فضای سبز پارک رازی تهران اجرا شد و عملکرد این سامانه با سامانه آبیاری رایج (دستی) مقایسه شد. برنامه زمانی آبیاری هوشمند بر اساس محاسبه نیاز آبی فضای سبز به کنترل‌کننده سامانه معرفی شد. زمان آبیاری بهینه با استفاده از مدل بهینه‌ساز و متناسب با نیاز آبی فضای سبز به‌دست آمد. نتایج مطالعه نشان داد با روش انجام شده صرفه‌جویی در مصرف آب با هوشمندسازی آبیاری ماهانه و هفتگی به ترتیب ۶ و ۱۵ درصد می‌باشد. صرفه‌جویی مصرف آب در حالت هفتگی معادل ۲۶۴۴۵ لیتر در مساحت حدود ۲۵۰۰ مترمربع بود. در روش پیشنهادی بر اساس شرایط این تحقیق میزان صرفه‌جویی آب برای هر متر مربع ۱۰/۶ لیتر برآورد شد. با توجه به مساحت کل پارک‌ها در شهر تهران بهبود مدیریت آبیاری در سامانه‌های آبیاری فضای سبز به روش پیشنهادی ماهانه حدود ۲۸۸۰۰۰ متر مکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد. روش پیشنهادی پیچیدگی و هزینه اجرایی چندانی ندارد و استفاده از این روش به سازمان‌ها و نهادهای خصوصی و دولتی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فضای سبز، آبیاری، صرفه‌جویی آب، بهینه‌سازی، هوشمندسازی آبیاری.

نتایج یکنواخت نبودن توزیع آب توسط آبپاش‌های آبیاری بارانی و عدم توزیع مناسب رطوبت در نیم‌رخ خاک در نقاط مختلف فضای سبز را نشان داد و سامانه آبیاری بارانی کارایی پایین‌تری نسبت به سامانه آبیاری سطحی سنتی داشته است. ابراهیمی و یزدانی (۱۳۹۲) تبخیر و تعرق فضای سبز به روش سبال در فضای سبز پارک ملت مشهد را محاسبه کردند. آن‌ها نشان داد تبخیر و تعرق برآوردی پارک ملت مشهد در پایان فصل رشد به میزان ۱۲۱۰/۶ به میلی‌متر می‌رسد. در مقابل مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتش_فائو ۵۶ در انتهای فصل رشد به ۱۵۶۳/۳ میلی‌متر رسیده است که دارای ۲۲/۵ درصد افزایش نسبت به مقدار برآوردی آن می‌باشد.

باشی‌زادگان و همکاران (۱۳۹۴) رویکرد تحویل حجمی آب در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی آب پخش را بررسی کردند و نشان دادند پس از اجرای توزیع آب به‌صورت حجمی و مقایسه احجام تحویل شده به اراضی تحت پوشش طی سال‌های اخیر و در یک دوره مشخص مشاهده شد ضمن اجرای این شیوه، حدود ۲۲ میلیون متر مکعب در حجم آب مصرفی در شبکه آبیاری و زهکشی آب‌پخش صرفه‌جویی شده است. جعفری و همکاران (۱۳۹۴) میزان آب مصرفی در آبیاری بارانی و غیرمکانیزه در محدوده بلوارهای فاطمیه و ولایت منطقه دو شهر همدان را بررسی و ارزیابی کردند نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد میزان آب مصرفی در آبیاری بارانی نصف روش غیرمکانیزه است.

Pittenger و همکاران (۲۰۰۴) در ارزیابی آبیاری فضای سبز با حسگرهای پارامترهای هواشناسی مشاهده کردند هر یک از کنترل‌های آبیاری با برنامه آبیاری در نظر گرفته شده با تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل و آب‌وهوا تقریباً هماهنگ می‌باشد اما مقادیر این تغییرات نسبت به زمان تبخیر و تعرق پتانسیل یکسان نمی‌باشند. Dukes (۲۰۱۲) بیان کرد استفاده از تایمرهای هوشمند در آبیاری فضای سبز قادر است باعث صرفه‌جویی حدود ۴۰ تا ۷۰ درصد در مقدار آب آبیاری مصرفی شده شود.

با توجه به نتایج تحقیقات پیشین که به ارزیابی فنی و مدیریتی سامانه‌های آبیاری فضای سبز پرداخته‌اند بیشترین تلفات مربوط به آبیاری در فضای سبز به نحوه مدیریت آبیاری برمی‌گردد و با ارزیابی و بهینه‌سازی آبیاری می‌توان وضعیت را بهبود بخشید. هدف از این پژوهش بررسی اثر هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری در ارتقا مدیریت آبیاری در فضاهای سبز در فضاهای سبز شهری است که در این راستا سعی خواهد شد سامانه‌های متفاوت آبیاری از لحاظ دستی و هوشمند با همدیگر مقایسه و نتایج این تغییرات ارزیابی شود.

شهرها به‌عنوان کانون‌های تمرکز، فعالیت و زندگی انسان‌ها برای تضمین پایداری خود چاره‌ای جز پذیرش ساختار و کارکرد متأثر از سامانه‌های طبیعی را ندارند. فضای سبز به‌عنوان جز ضروری و مهم نقش اساسی در بهبود کیفیت زیستی شهرها داشته و کمبود آن می‌تواند سبب ایجاد اختلالات جدی در حیات شهرها شود (جوکندان، ۱۳۸۹). آبیاری یکی از موارد مهمی است که برای نگهداری و احداث پروژه‌های فضای سبز نیاز می‌باشد. براساس گزارش‌های موجود راندمان کاربرد آبیاری در کشور از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد متغیر و میانگین آن ۵۶ درصد می‌باشد که کم‌وبیش در خصوص آبیاری فضای سبز نیز صادق است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده کارآمد از آب در آبیاری فضای سبز شهری ضمن نیاز به احداث شبکه‌های توزیع آب در سطح شهر نیازمند استفاده از روش‌های نوین و مدرن آبیاری خواهد بود.

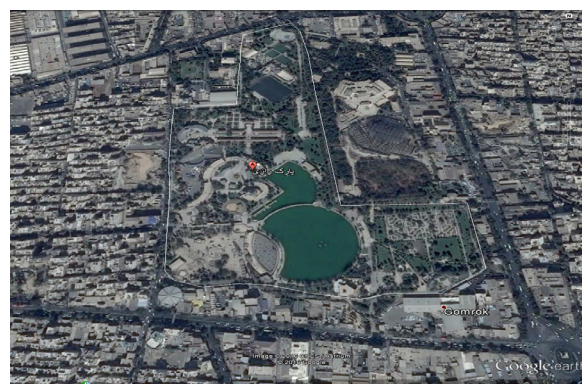
مصطفی‌زاده فرد (۱۳۸۵) به ارزیابی سیستم‌های آبیاری فضای سبز شهر اصفهان پرداخت و نشان داد عمده مشکلات سیستم‌های آبیاری طراحی غیراصولی و مدیریت غیرعلمی این سیستم‌ها می‌باشد. همچنین بهبود مدیریت سیستم‌های آبیاری مذکور می‌تواند نقش مؤثری در افزایش راندمان آبیاری این سیستم‌ها داشته باشد.

کیخسروی (۱۳۸۶) آب مورد نیاز گیاهان فضای سبز در یک پارک در شهر رفسنجان را برآورد کرد و با اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان داد حجم آب مصرفی این پارک با وسعتی معادل ۲۷۵۰ متر مربع در ۲۴ ساعت و در زمان اوج مصرف (مرداد ماه)، معادل ۲۵ مترمکعب است. همچنین میزان آب مصرفی این پارک در اوج مصرف حدود ۰/۲۸۹ لیتر در ثانیه و هیدرومُدول اوج معادل ۱/۴۰۲۹ لیتر بر ثانیه بر هکتار به‌دست‌آمد. امیریان و همکاران (۱۳۹۰) سامانه آبیاری فضای سبز نیمه خودکار را طراحی و اجرای کردند و در راستای بهبود کیفیت فضای سبز دانشکده کشاورزی رازی، کاهش هزینه نگهداری و نیز توسعه اتوماسیون بومی، این سیستم را اجرا کردند و چند مدل اتوماسیون روی این سیستم نصب و آزمایش کردند. آن‌ها به سهولت آبیاری، بالا بودن کیفیت فضای سبز، کاهش هدر رفت آب، سرعت بالای آبیاری و در نهایت کاهش هزینه نگهداری دست یافتند.

محمدزاده و همکاران (۱۳۹۰) برای ارزیابی عملکرد آبیاری در حال اجرا در فضای سبز پارک آبشار شهر اصفهان دو عرصه‌ی فضای سبز را به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری کردند. در عرصه‌های مذکور آزمایش یکنواختی برای سامانه آبیاری بارانی و توزیع رطوبت در نیم‌رخ خاک بررسی شد.

• معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر تهران وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع دارد که مساحت کل فضای سبز شهر تهران بر اساس سالنامه آماری سال ۱۳۸۵ حدود ۷۲۴۳/۳۴ هکتار بود و از این مقدار سطح مفید فضای سبز در شهر تهران به پارک‌ها و جنگل‌کاری داخل شهری متعلق است که مساحت آن ۴۲۱۷/۴۹ هکتار است. سطح فضای سبز در شهر تهران در سال ۱۳۹۰ با ۴۰ درصد افزایش به حدود ۱۰۱۰۷/۷۲ هکتار رسیده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰). مطالعات پژوهش حاضر در فضای سبز پارک رازی واقع در منطقه ۱۱ تهران انجام شده است. شکل (۱) نقشه هوایی پارک رازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه هوایی پارک رازی تهران

یک قطعه چمن که مجهز به سامانه آبیاری بارانی بوده به دو بخش آبیاری دستی و آبیاری هوشمند تقسیم شد و حجم‌های مصرف آب این دو سامانه با استفاده از دو کنتور حجمی اندازه‌گیری شدند. در شکل (۲) دو سامانه آبیاری دستی و هوشمند اجرا شده نشان داده شده است.



شکل ۲- سامانه آبیاری هوشمند (الف)، سامانه آبیاری دستی (ب)

همانطور که در بخش الف شکل (۲) مشاهده می‌شود، روی انشعاب لوله آبیاری هوشمند به ترتیب کنتور، شیر قطع و وصل و تایمر آبیاری و در قسمت ب شکل (۲) به ترتیب شیر قطع و وصل و کنتور اندازه‌گیری حجم آب نصب شده است.

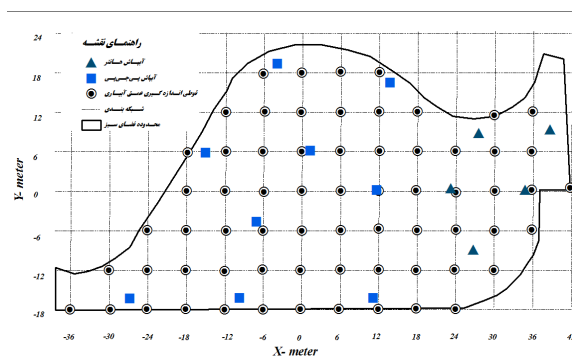
در حالت سیستم آبیاری دستی (حالت ب) آبیاری توسط کارگر فضای سبز و با استفاده از شلنگ انجام می‌شود که از معایب آن می‌توان به زمان نامناسب آبیاری، عدم رعایت یکنواختی پخش عمق آب آبیاری و هدررفت آب اشاره کرد.

• سامانه آبیاری هوشمند

سامانه آبیاری هوشمند سامانه‌ای است که براساس سنسورهای گیاهی، خاکی و اقلیمی و یا بر اساس برنامه از پیش تعیین شده فرآیند آبیاری را انجام می‌دهد. سامانه‌های آبیاری هوشمند معمولاً از دو قسمت اصلی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشکیل می‌شوند. تجهیزاتی مانند تایمر، شیر برقی، سنسورهای مختلف رطوبت و دما از بخش‌های سخت‌افزاری سامانه و سیستم پشتیبان تصمیم و برنامه نوشته شده برای مدیریت آبیاری بخش نرم‌افزاری سامانه را تشکیل می‌دهند. در تحقیق حاضر سیستم آبیاری هوشمند شامل یک تایمر به همراه شیر برقی بوده است که با برنامه آبیاری داده شده وظیفه آبیاری هوشمند فضای سبز را به عهده داشته است.

• آبیاش‌ها و جایابی آن‌ها

برای آبیاری بارانی فضای سبز مورد مطالعه از دو نوع آبیاش مخفی‌شونده شامل ۹ عدد آبیاش پی‌جی‌پی و ۵ عدد آبیاش پی‌اس استفاده شده است. شکل (۳) جایابی آبیاش‌ها و قوطی‌های اندازه‌گیری عمق آب را نشان می‌دهد.



شکل ۳- جایابی آبیاش‌ها و قوطی‌های اندازه‌گیری عمق آب

برای بررسی ضرایب یکنواختی پخش آبیاش‌ها کل مساحت زمین را به صورت ۶×۶ (مطابق استاندارد) شبکه‌بندی کرده و روی هر کدام از نقاط یک ظرف مخصوص اندازه‌گیری آب (قوطی) قرار داده و در مدت زمان نیم ساعت عمق آب اندازه‌گیری شد. حجم آب داخل قوطی‌ها یکبار در روز حدود ساعت ۱۱ ظهر اندازه‌گیری شدند و حجم قوطی‌ها ۷۵۰ سانتی‌مترمکعب است. آزمایش‌ها در آبان ماه و در طی روز انجام شده است.

• پارامترهای ارزیابی

- ضریب یکنواختی (CU)

برای تعیین یکنواختی پخش آب در آبیاری بارانی از معیارهای متعددی نظیر ضریب یکنواختی Wilcox و Swails (۱۹۴۷) ضریب پیشنهادی Hart و Reynolds (۱۹۶۵) و Criddle و همکاران (۱۹۵۶) استفاده می‌شود. اما استفاده از ضریب یکنواختی Christiansen (۱۹۴۲) در سامانه‌های آبیاری بارانی بسیار متداول است (معروف‌پور و همکاران، ۲۰۱۰).

Dabbous (۱۹۶۲) با استفاده از روش‌های آماری نشان داد که ضریب یکنواختی کریستیانسن در مقایسه با سایر روش‌ها از اعتبار بیشتری برخوردار است. Heerman (۱۹۸۳) به این نتیجه رسید که شرکت‌های سازنده آبیاش‌ها معمولاً از ضریب یکنواختی کریستیانسن برای ارزیابی تولیدات استفاده می‌کنند. برای محاسبه ضریب یکنواختی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |D_i - \bar{D}|}{\bar{D} \times N} \right) \times 100 \quad (1)$$

در آن CU (%) ضریب یکنواختی کریستیانسن X_i (mm) عمق آب هر کدام از قوطی‌های نمونه‌برداری در اطراف آبیاش، $\bar{X}$ (mm) میانگین عمق آب در داخل قوطی‌ها، n تعداد کل قوطی‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش. پارامتر یکنواختی توزیع به صورت زیر نیز محاسبه می‌شود:

$$DU = \frac{X_q}{\bar{X}} \quad (2)$$

که در آن X_q میانگین عمق آب جمع‌آوری شده در یک چهارم قوطی‌هایی که کمترین عمق را داشته‌اند می‌باشد.

نتایج و بحث

نقشه هم‌عمق آب آبیاری در ۶۶ قوطی اندازه‌گیری شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

شکل (۴) نشان می‌دهد که عمق‌های بیشتر آب آبیاری در نقاطی که نزدیکتر به موقعیت آبیاش‌ها بوده‌اند اندازه‌گیری شده است. همچنین نقاطی که در بین آبیاش‌ها دارای کمترین همپوشانی بوده است حداقل عمق آب آبیاری در آن‌ها ثبت شده است. لازم به ذکر است زمان کارکرد سامانه در حالت آبیاری دستی به‌صورت کامل در اختیار متولی آبیاری پارک رازی بود و به جهت عدم تأثیرگذاری در نتیجه واقعی از طرف محقق دخالتی صورت نگرفت لذا زمان‌های آبیاری از حدود ۱۰ دقیقه تا ۷۰ دقیقه

- بهینه‌سازی

Excel Solver ابزاری قدرتمند برای بهینه‌سازی است. Solver قدرت حل اکثر مسائل بهینه‌سازی از جمله برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح را دارد. در ابزار solver، ۳ بخش وجود دارد: ۱- تابع هدف، ۲- متغیر تصمیم و ۳- قید. در این مطالعه بخش‌های مذکور به شرح ذیل بوده است: ۱- **تابع هدف:** کمینه‌سازی اختلاف بین عمق آبیاری سیستم و عمق آبیاری در نظر گرفته شده

دبی هر روز آبیاری دستی را به سطح خیس شده آبیاش (این مقدار با توجه به فشار کارکرد از کاتالوگ به‌دست می‌آید) تقسیم کرده تا عمق آب آبیاری هر روز به‌دست‌آید. اختلاف این عمق با عمق آبیاری مطلوب (۶/۵ میلی‌متر) که با استفاده از روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن در منطقه محاسبه شده است بیش‌آبیاری و کم‌آبیاری می‌باشد. مجموع قدرمطلق این اختلاف‌ها تابع هدف می‌باشد. با کاهش مقدار این تابع، مقدار آب آبیاری به ۶/۵ میلی‌متر نزدیک می‌شود. افزایش این اختلاف، یعنی بیش و کم آبیاری وجود داشته است. تابع هدف را باید به نحوی بهینه کرد که این اختلاف حداقل و به صفر نزدیک شود.

۲- متغیر تصمیم: زمان آبیاری

زمان آبیاری در ۳۰ روز متفاوت بوده و باید مشخص شود زمان مناسب برای آبیاری هر روز چقدر باید باشد تا عمق آب آبیاری به اندازه نیاز آبی چمن برسد که این زمان مناسب را به تایمر داده و میزان صرفه‌جویی را اندازه‌گیری کرد.

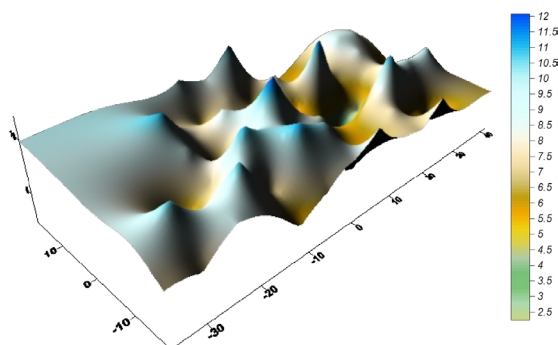
۳- قیود: حد بالا و پایین

o زمان نمی‌تواند کمتر از صفر (منفی) باشد.

o مقدار عمق اندازه‌گیری شده نباید منفی باشد.

با در نظر گرفتن نیاز آبی ۶/۵ میلی‌متر در روز برای چمن مقدار زمانی که باید تایمرها با توجه به مشخصاتشان کار کنند محاسبه شد و براساس آن حجم آب مورد نیاز فضای سبز به‌دست آمد.

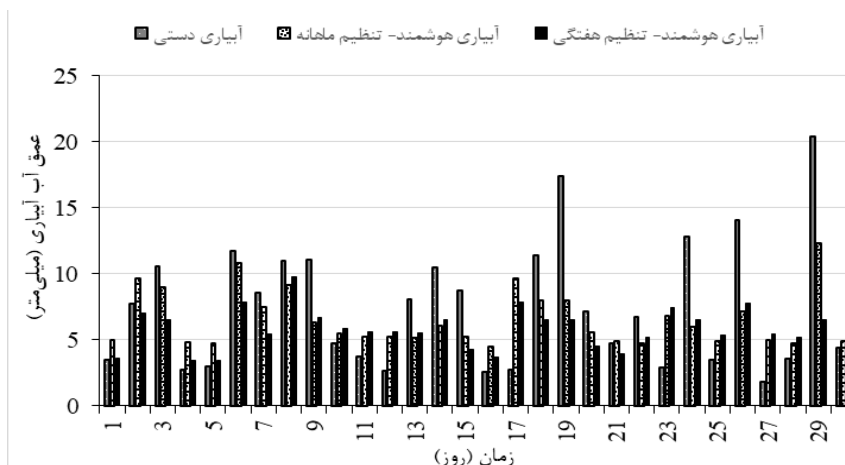
متفاوت است. همین موضوع نیز لزوم اصلاح برنامه زمان‌بندی برای آبیاری فضای سبز را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه سه بعدی هم‌عمق آب آبیاری بر حسب میلی‌متر

تنظیم برنامه آبیاری براساس سامانه هوشمند به دو صورت ماهانه و هفتگی انجام و نتایج آن با حالت سامانه دستی مقایسه شده است. در تنظیم آبیاری هوشمند به صورت هفتگی مقادیر آب آبیاری با توجه به هر هفته به کنترلر آبیاری داده می شود ولی در تنظیم ماهانه مقدار آب آبیاری مطلوب فقط یکبار در ابتدای ماه به کنترلر آبیاری داده

شده و برنامه آن تا انتهای آن ماه تغییر داده نمی شود. برای حالت ماهانه زمان بهینه برابر ۳۵ دقیقه از مدل بهینه سازی solver محاسبه شده است. عمق آب آبیاری در ۳۰ روز به روش آبیاری دستی، آبیاری هوشمند با یکبار تنظیم تایمر در ماه و آبیاری هوشمند با یک بار تنظیم تایمر در هفته در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- عمق آب مصرفی در سامانه های آبیاری دستی، هوشمند تنظیم ماهانه و هوشمند تنظیم هفتگی

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اگر سامانه های آبیاری فضای سبز با برنامه هفتگی و به صورت خودکار برنامه ریزی شوند میزان صرفه جویی آب در فضای سبز مورد مطالعه به میزان ۱۵٪ است که معادل ۲۶۴۴۵ لیتر آب در ماه می باشد. در این مطالعه زمان بندی آبیاری متناسب با نیاز آبی فضای سبز و با بهره گیری از مدل بهینه ساز Solver در نرم افزار Excel به دست آمد. لازم به ذکر است این بهینه سازی می تواند با ابزارهای مختلف انجام شود. برای برآورد میزان اثر خودکار سازی آبیاری فضای سبز در کاهش مصرف آب در این بخش بر مبنای یافته های این مطالعه و بر اساس وسعت فضای سبز پارک های تهران با خودکارسازی مدیریت آبیاری در سامانه های آبیاری فضای سبز ماهانه در حدود ۲۸۸۰۰۰ متر مکعب آب صرفه جویی خواهد شد. میزان واقعی پتانسیل خودکارسازی آبیاری در کاهش مصرف آب بستگی به وضعیت آبیاری فعلی در محدوده های مختلف فضای سبز نیاز آبی گونه های مختلف و دقت ابزارهای خودکارسازی دارد اما برآورد تقریبی به دست آمده در این مطالعه نشان از ظرفیت خودکارسازی آبیاری در تسکین بحران کم آبی در کلانشهر تهران و سایر شهرهای کشور دارد. روش پیشنهادی پیچیدگی و هزینه اجرایی چندانی ندارد و می تواند مورد استفاده سازمان ها و نهادهای خصوصی و دولتی قرار گیرد. در کنار روش پیشنهادی در خودکارسازی آبیاری سایر راهکارهای مصرف بهینه آب مانند استفاده از گونه های کم آب بر و مقاوم، استفاده از آب های نامتعارف و سامانه های آبیاری نوین باید مدنظر باشد.

نتایج پژوهش نشان داد که با تنظیم ماهانه زمان آب آبیاری ۱۵ روز بیش آبیاری و ۱۵ روز کم آبیاری و با تنظیم هفتگی زمان آب آبیاری ۱۸ روز بیش آبیاری و ۱۲ روز کم آبیاری صورت گرفته است. همچنین جدول (۱) نتایج مربوط به حجم آب آبیاری مصرف شده در سه حالت آبیاری را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج مربوط به حجم آب آبیاری مصرف شده در سه حالت آبیاری

دستی	هوشمند		نسبت به حالت دستی-لیتر	
	ماهان	هفتگی	ماهان	هفتگی
۱۷۷۴۶۲	۱۶۶۶۲۰	۱۵۱۰۱۷	۱۰۸۴۱	۲۶۴۴۵

نتایج حجم های آب مصرف شده در حالت های آبیاری هوشمند حاکی از صرفه جویی ۱۰۸۴۱ و ۲۶۴۴۵ لیتر آب به ترتیب در آبیاری هوشمند ماهانه و هفتگی نسبت به آبیاری دستی می باشد. همچنین به ترتیب در آبیاری هوشمند ماهانه و هفتگی نسبت به آبیاری دستی مقدار ۶ و ۱۵ درصد در مصرف آب صرفه جویی به عمل آمده است. ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) با توجه به عمق های اندازه گیری شده برابر ۷۵/۳۳ درصد محاسبه شده است که نشان می دهد پراکندگی آبپاش ها خوب و بهینه می باشد. همچنین مقدار پارامتر یکنواختی توزیع (DU) برابر ۶۰/۷۱ درصد بدست آمده است.

- Criddle W.D., S. Davis Pair C.H and Shockley D.G. 1956. Methods; for evaluating irrigation systems. US Dep. Agriculture Handbook, 82: 2-11.
- Christiansen J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. California Agricultural experiment station. Bulletin 670. University of California, Berkeley, USA.
- Dabbous B. 1962. A study of sprinkler uniformity evaluation methods, Master degree Thesis, Utha state University.
- Dukes M.D. 2012. Water Conservation Potential of Landscape irrigation smart controllers, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 55(2): 563-569.
- Hart W.E and Reynolds W.N. 1965. Analytical design of sprinkler systems. Transactions of the ASAE, 8(1): 83-89.
- Heerman D.F. 1983. Design and operation of farm irrigation system, ASAE, 51: 591-600.
- Maroufpoor E., Farabi A., Gomrniya H. and Yam-inMoshrefi G. 2010. Evaluation of Uniformity Coefficients for Sprinkler Irrigation Systems under Different Field Conditions in Kurdistan Province (Northwest of Iran) Soil and Water Research, 4: 139-145.
- Pittenger D.R., Shaw D.A. and Richie W.E. 2004. Evaluation of weather-sensing landscape irrigation controllers, Report submitted to Office of Water Use Efficiency, California Department of Water Resources.
- Wilcox J.C. and Swails G.E. 1947. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinkler. Journal of Scientific Agriculture, 27: 565-586.
- 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.
- امیریان، س.، مانشتی، م.، ج.، ملکی، ف. و عزیزی، م. ۱۳۹۰. طراحی و اجرای سامانه آبیاری فضای سبز به صورت نیمه خودکار. همایش علمی سالانه دانشگاه رازی. دانشگاه رازی. کرمانشاه.
- باشی‌زادگان، ح.، چوپلی، ر.، کشاورزی، ر. و موسوی، س.م. ۱۳۹۴. رویکرد تحویل حجمی آب در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی آب‌پخش). اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب. دانشگاه همدان. همدان.
- جعفری، ع.م.، بهراملو، ر.، رضوانی، م. ۱۳۸۴. اندازه‌گیری بهره‌وری آب در سامانه‌های آبیاری تحت فشار در ایران: مطالعه موردی در استان همدان. پنجمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران. دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- جوکندان، د.ا. ۱۳۸۹. ارزیابی و مقایسه سه روش آبیاری در رفیوژهای فضای سبز اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۴. راندمان‌های آبیاری: تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات. جلد ۳. آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
- کیخسروی، ح.ر. ۱۳۸۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان فضای سبز. سومین همایش ملی فضای سبز و منظر شهری، زمستان. شهرداری کیش. کیش.
- محمدزاده، ف.، قیصری، م.، دادگستر، ا.ح. و کیانی، م. ۱۳۹۰. بررسی مدیریت و بهره‌برداری آبیاری در فضای سبز شهر. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه باهنر کرمان. کرمان.
- مصطفی‌زاده فرد، ب. ۱۳۸۵. افزایش راندمان آب مورد مصرف پارک‌ها و فضای سبز اصفهان. طرح تحقیقاتی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Supplemental Irrigation in Cultivation of Rainfed Wheat

M. Karimi^{1*}, M. Joleini²

1,2- Assistance and Associate Professor in Irrigation and Drainage, Agricultural and Natural Resources Research Centre, Mashhad, Iran.

*(Corresponding author Email: karimi.irri@gmail.com)

Received: 12-12-2018

Accepted: 23-06-2019

کاربرد آبیاری تکمیلی در زراعت گندم دیم

محمد کریمی^{۱*}، محمد جلینی^۲

۱ و ۲- به ترتیب استادیار و دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

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

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۰۲

Abstract

Supplemental irrigation is effective in reducing the risk and increasing the stability and sustainability of rainfed crop production. In fact, supplemental irrigation is a temporary intervention and is designed to increase the natural transpiration of the plant when water is provided. On the other hand, it is inappropriate when rainfall is sufficient for crop growth. Under supplementary irrigation conditions, once or twice irrigation at sensitive stages of growth can prevent the drought stress in a significant area of rainfed land. In this paper, the conditions of supplementary irrigation of rainfed wheat in autumn and spring, suitable cultivars for supplementary irrigation, as well as applied extension recommendations in cold and temperate climates including North Khorasan, Zanjan, Kurdistan, Kermanshah, Lorestan, Fars, and East Azerbaijan provinces are presented.

Keywords: Supplemental irrigation, Suitable cultivars, Extension recommendations, Rainfed wheat, Susceptible cultivation area.

چکیده

آبیاری تکمیلی در کاهش احتمال خطر و افزایش ثبات و پایداری عملکرد محصولات کشت دیم مؤثر است. در واقع، آبیاری تکمیلی یک مداخله موقت است و به نحوی طراحی می‌شود که بتوان در زمانی که آب فراهم است، تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد. از طرف دیگر در زمانی که بارندگی برای رشد گیاه زراعی کافی است، نامناسب است. در شرایط آبیاری تکمیلی می‌توان با یک یا دو بار آبیاری در مراحل حساس رشد، از بروز تنش خشکی در مساحت قابل توجهی از اراضی دیم جلوگیری نمود. در این مقاله، شرایط آبیاری تکمیلی گندم دیم در پاییز و بهار، ارقام مناسب برای آبیاری تکمیلی و توصیه‌های ترویجی کاربردی در اقلیم‌های سرد و معتدل شامل استان‌های خراسان شمالی، زنجان، کردستان، کرمانشاه، لرستان، فارس و آذربایجان شرقی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، ارقام مناسب، توصیه‌های ترویجی، گندم دیم، مناطق مستعد کشت.

میزان کاهش عملکرد در اثر خشکی به مدت زمان تنش، شدت تنش و میزان تحمل رقم زراعی بستگی دارد. بر این اساس، شیوه‌ها و روش‌های مدیریت زراعی متعددی برای حفظ ثبات و پایداری تولید در محصولات کشت دیم توسعه یافته است. از جمله مهمترین این شیوه‌ها می‌توان به تکنیک آبیاری تکمیلی اشاره کرد.

عملکرد محصول گندم دیم در شرایط معمول -یعنی بدون رعایت تکنیک‌های زراعی- بسیار کم است (جدول ۱). ضرورت افزایش تولید محصول گندم در کشور و اهمیت کشت این گیاه، اعمال مدیریت صحیح و مناسب‌تری را ایجاب می‌نماید. در مواقعی که گیاه مواجه با خطر کم‌آبی است، با استفاده از امکانات سهل‌الوصول و اعمال آبیاری تکمیلی می‌توان از افت محصول جلوگیری کرد.

جدول ۱- سطح زیرکشت و عملکرد گندم دیم در استان‌های مختلف کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

نام استان	سطح زیرکشت (هکتار)	تولید (تن)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
خراسان شمالی	۹۱۷۰۰	۵۱۳۸۹	۵۶۰
زنجان	۲۵۵۴۵۰	۱۶۹۷۲۳	۶۶۴
کردستان	۴۹۹۷۳۳	۵۱۸۳۴۴	۱۰۳۷
کرمانشاه	۳۱۴۰۰۰	۳۶۵۵۹۷	۱۱۶۴
لرستان	۱۹۵۰۴۹	۲۱۰۵۲۵	۱۰۷۹
فارس	۶۳۶۸۴	۸۳۶۵۸	۱۳۱۴
آذربایجان شرقی	۳۱۲۰۰۰	۱۹۲۰۵۲	۶۱۶

با آبیاری تکمیلی می‌توان از آب‌های محدود حاصل از منابع تجدیدشونده در مناطق دیم، استفاده بهینه‌ای به عمل آورد. در واقع، آبیاری تکمیلی یک مداخله موقت است و به نحوی طراحی می‌شود که بتوان در زمانی که آب فراهم است، تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد. از طرف دیگر، کاربرد آن در زمانی که بارندگی برای رشد گیاه زراعی کافی است، نامناسب است.

اهمیت آبیاری تکمیلی

اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله بحرانی نیاز آبی گیاه، یکی از روش‌های مؤثر در جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار محصولات کشت دیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در این روش، اثرات تنش خشکی بر گیاه کاهش یافته و رطوبت نسبتاً مناسبی برای گیاه، به ویژه در مراحل حساس رشد، فراهم می‌گردد و به دنبال آن عملکرد بهبود می‌یابد.

افزایش عملکرد گیاهان زراعی یکی از رویکردهای مهم کشاورزی در راستای تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به رشد جهان محسوب می‌شود. بخش اعظمی از اراضی کشاورزی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و محصولات زراعی در این مناطق، مبتنی بر سیستم‌های کشت دیم تولید می‌شود. کشاورزی دیم نقش مهمی در تولید فرآورده‌های غذایی در اکثر کشورهای جهان بازی می‌کند. به‌طوریکه حدود ۸۰ درصد سطح زیرکشت و دو سوم تولید کل غذای جهان را به خود اختصاص داده است. در کشت دیم کمبود آب یا رطوبت، مهمترین عامل محدودکننده در افزایش عملکرد کشاورزی است. در واقع نیاز آبی کشت دیم متکی بر بارندگی بوده و آبیاری در آن صورت نمی‌گیرد. از طرفی در برخی مناطق که برای کشت دیم مطمئن نیست، تأثیرپذیری زراعت از بسیاری از عوامل تنش‌زا غیرقابل اجتناب است. علاوه بر تغییرات بارندگی در سال‌های مختلف، تغییرات مقدار و نحوه پراکنش نزولات جوی، تغییرات درجه حرارت و عدم وقوع بارندگی در بخشی از سال زراعی سبب می‌شود که میزان خطرپذیری کشت دیم در مناطق نامطمئن بالاتر بوده و درجه ثبات و پایداری تولید کاهش یابد. لذا در نواحی خشک و نیمه‌خشک، اتخاذ شیوه‌های مدیریت زراعی مناسب جهت استفاده بهینه از آب موجود و کاهش اثر تنش خشکی، موجب افزایش بهره‌وری خواهد شد. امروزه ابزارها و شیوه‌های مختلفی که بتواند در کاهش ریسک و افزایش ثبات و پایداری عملکرد محصولات کشت دیم مؤثر باشد، مورد توجه است. به طور کلی

تعریف آبیاری تکمیلی

منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی برای تداوم رشد بوته‌ها و افزایش و ثبات عملکرد دانه تأمین شود. بدیهی است این مقدار آب مصرفی به تنهایی برای تولید گیاه زراعی کافی نیست. آبیاری تکمیلی بهینه، در مناطق دیمکاری بر طبق ۳ جنبه اساسی زیر انجام می‌شود:

- ۱- آب فقط برای بهبود عملکرد گیاه زراعی که به صورت دیم کشت شده، به کار می‌رود.
- ۲- در شرایطی که بارندگی مهم‌ترین منبع تأمین رطوبت است، آبیاری تکمیلی زمانی انجام می‌شود که بارندگی نتواند رطوبت ضروری را برای بهبود و پایداری عملکرد، تأمین نماید.
- ۳- مقدار و زمان آبیاری تکمیلی به صورتی برنامه‌ریزی می‌شود که با کاربرد کمترین مقدار آب قابل دسترس، در مراحل حساس رشد گیاه زراعی، به عملکرد بهینه (به جای عملکرد حداکثر) دست یافت.

یکی از مراحل مهم برای آبیاری تکمیلی در زراعت گندم دیم، آبیاری بعد از کشت در پاییز در مناطق سرد و معتدل سرد، قبل از وقوع سرمای شدید اواخر پاییز می‌باشد. مزارع گندم دیم برای اینکه وضعیت مطلوبی از نظر تولید داشته و نسبت به تنش سرمایی و خشکی حساسیت کمتری داشته باشند و از آب باران با بهره‌وری بیشتری استفاده نمایند، باید تقریباً یک ماه بعد از کشت، وارد مرحله پنجه‌زنی شوند. در مرحله پنجه‌زنی، گندم حداکثر مقاومت را به سرما دارد و همچنین از شرایط مطلوب آب و هوایی از نظر درجه حرارت و بارندگی در اوایل و اواسط پاییز استفاده می‌کند تا در خاک ریشه تولید کند و مقدار قابل ملاحظه‌ای برگ داشته باشد تا در اسفند و اوایل بهار از ریشه و برگ‌های تولید شده برای جذب بهتر مواد غذایی و فتوسنتز استفاده نماید. بر اساس آمار بلندمدت بارندگی، در مناطق سرد و معتدل سرد ایران احتمال وقوع بارندگی مؤثر (بیشتر از ۲۵ میلی‌متر) در اوایل آبان وجود دارد (حق‌پرست، ۱۳۹۲). اگر اولین بارندگی مؤثر در مناطق سرد تا ۱۵ مهر ماه و در مناطق معتدل سرد تا ۱۵ آبان رخ دهد، گیاه گندم درجه‌روز لازم را ظرف یک‌ماه برای رسیدن به مرحله پنجه‌زنی دریافت می‌نماید. ولی اگر بارندگی مؤثر با تأخیر رخ دهد، احتمال دارد که درجه‌روز مورد نیاز برای رسیدن به مرحله پنجه‌زنی تأمین نشود. بنابراین گیاه گندم در مرحله ۱ تا ۳ برگی، زمستان را خواهد گذراند که مراحل حساسی به سرما می‌باشند و چون گیاه به اندازه کافی ریشه و برگ تولید نکرده است، نمی‌تواند از شرایط مطلوب (آب موجود در خاک و درجه حرارت مناسب در اسفند ماه و اوایل بهار) بهره‌وری لازم را داشته باشد. در مزارع دیمی که آبیاری پاییزه امکان‌پذیر نیست، پدیده تأخیر در بارندگی و تأثیر آن بر کاهش بهره‌وری از نهاده‌های موجود را باید پذیرفت و نمی‌توان از آن جلوگیری کرد. اما در مناطق سرد و معتدل سرد در مزارعی که در آن ارقام گندم دیم کشت می‌شوند و امکان یک بار آبیاری در پاییز وجود دارد، در صورت تأخیر در وقوع بارندگی، توصیه می‌شود که در مناطق سرد در ۱۵ مهر و در مناطق معتدل سرد در ۱۵ آبان یک مرحله آبیاری بعد از کشت انجام شود (حق‌پرست، ۱۳۹۲).

آبیاری تکمیلی گندم در بهار در مناطق سرد و معتدل سرد

اگر در اسفند ماه و در اوایل بهار مقدار بارندگی بسیار کمتر از حد نرمال و درجه حرارت در حد شرایط نرمال یا گرم‌تر باشد و مزرعه در اواخر مرحله پنجه‌زنی و شروع مرحله ساقه‌دهی باشد، آبیاری مزارع در این شرایط ضروری است (حق‌پرست، ۱۳۹۲). این مرحله نیز یکی از مراحل حساس رشد گندم و حتی حساس‌تر از مراحل شناخته شده ظهور سنبله و پرکردن دانه می‌باشد. گیاه گندم اگر در مرحله اواخر پنجه‌زنی و شروع ساقه‌رفتن دچار تنش خشکی شود، تعداد دانه در

سنبله و همچنین تعداد پنجه‌های بارور که از اجزای مهم عملکرد دانه می‌باشند، کاهش می‌یابد. اگر چنین شرایطی در این مرحله از رشد اتفاق افتد، حتی با وجود بارندگی کافی در مرحله ظهور سنبله و پرشدن دانه، باز هم مزرعه دچار خسارت ناشی از تنش خشکی خواهد شد. چون دو تا از اجزاء مهم عملکرد دانه در گندم، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور در واحد سطح می‌باشد. وقوع تنش خشکی در مرحله اواخر پنجه‌زنی، موجب می‌گردد که گیاه این تنش را حس کند و برای حفظ بقای خود و مقاومت در برابر تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه بارور را کاهش دهد، تا از آب کم موجود بتواند حداکثر بهره‌وری را برای ایجاد دانه‌های سالم، اما به تعداد کم، داشته باشد. لذا به کشاورزانی که امکان آبیاری تکمیلی مزارع غلات دیم را دارند، توصیه می‌شود که اگر در مرحله اواخر پنجه‌زنی، مزرعه آنها با کمبود بارندگی و متعاقباً با تنش خشکی مواجه شد، حتماً مزرعه را آبیاری نمایند و این یک بار آبیاری را برای مرحله ظهور سنبله یا پرکردن دانه نگذارند. با انجام آبیاری در شرایط بروز تنش خشکی در مرحله اواخر پنجه‌زنی و شروع ساقه‌دهی، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه‌های بارور افزایش می‌یابد. فرض کنید کشاورزی در شرایط تنش خشکی در اواخر دوره پنجه‌زنی و اوایل ساقه‌رفتن، مزرعه را آبیاری نکند و مقدار آب موجود را برای مصرف در مرحله ظهور سنبله یا پرکردن دانه بگذارد، در این شرایط، تعداد دانه در سنبله و تعداد پنجه‌های بارور کاهش یافته و آبیاری در مرحله ظهور سنبله و یا پرکردن دانه فقط موجب افزایش وزن دانه می‌گردد. این در حالی است که به دو جزء مهم عملکرد دانه به دلیل تنش در مرحله اواخر پنجه‌زنی خسارت جبران‌ناپذیری وارد شده است. تحقیقات نشان داده که آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌رفتن بیشترین تأثیر و در مرحله پر شدن دانه، کمترین تأثیر را بر افزایش عملکرد نسبت به شرایط دیم دارد (تدین و امام، ۱۳۸۶). آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن منجر به بقای بیشتر پنجه‌ها گردیده و به دلیل اینکه این مرحله آغاز ورود به فاز زایشی می‌باشد که با تشکیل برجستگی دوگانه در ناحیه نموی انتهایی همراه است، تعیین‌کننده اجزای عملکرد دانه شامل تعداد سنبله‌ها و در نهایت عملکرد دانه می‌باشد. در حال حاضر درصد قابل توجهی از مزارع، زیرکشت ارقام گندم آبی می‌باشد، ولی کشاورزان آب کافی برای آبیاری کامل مزارع ندارند. در چنین شرایطی توصیه می‌شود کشاورزان ارقام مناسب دیم را که برای شرایط آبیاری تکمیلی نیز مناسب هستند، کشت نمایند و آمار مساحت این مزارع نیز جزو آمار سطح زیرکشت گندم دیم باید آورده شود. بنابراین کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی باید آمار مزارع تحت شرایط آبیاری کامل، کم‌آبیاری، آبیاری تکمیلی و دیم را از یکدیگر تفکیک نمایند تا برنامه‌ریزی‌ها براساس این آمار، دقیق‌تر انجام شود. بر این اساس باید در مورد تأمین بذر مناسب هر یک از این شرایط نیز اقدام گردد تا از مقدار آب موجود در ایران با بهره‌وری بیشتری برای تولید گندم استفاده شود.

• استان خراسان شمالی

خراسان شمالی به دلیل شرایط و ویژگی‌های خاص اقلیمی و همچنین نقش آن در تولید گندم کشور، دارای اهمیت خاصی است. تحقیقات انجام شده در این استان (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۱) نشان داده است که با یک بار آبیاری در مرحله گلدهی می‌توان حداکثر عملکرد را ۲۰ درصد افزایش داد. به این ترتیب در این منطقه، حساس‌ترین مرحله به کم‌آبی، مرحله گلدهی است و چنانچه تنها امکان انجام یک بار آبیاری برای کشاورز مقدور باشد، مناسب‌ترین زمان برای اعمال آن در مرحله گلدهی است. از سوی دیگر چنانچه انجام دو بار آبیاری برای این گیاه در منطقه فراهم باشد، توصیه می‌شود دو بار آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی انجام پذیرد.

• استان زنجان

طبق تحقیقات انجام شده (داودی و همکاران، ۱۳۸۶ و بابازاده و همکاران، ۱۳۹۰) در مناطق مختلف این استان در خصوص اثر آبیاری تکمیلی در مراحل مختلف فنولوژیکی گندم در شرایط دیم بر بیوماس، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و مقدار نیتروژن و پروتئین، آبیاری‌های محدود که در مراحل مختلف رشد و در سیکل‌های حساس فیزیولوژیکی انجام گیرد، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی محصول نسبت به شرایط بدون آبیاری می‌شود. طبق تحقیقات انجام شده، انجام دو نوبت آبیاری در مرحله داناب و خوشاب (در هر مرحله به طور مجزا ۵۰۰ مترمکعب در هکتار) عملکرد گندم دیم رقم سرداری را تا ۴ برابر افزایش می‌دهد. در مرحله خوشه‌رفتن که تقریباً مصادف با اوایل تأثیرات منفی تنش خشکی در شرایط کشت‌های دیم می‌باشد با انجام یک بار آبیاری، می‌توان به مقدار حداقل ۳۰٪ محصول را افزایش داد و به عملکرد اقتصادی نیز دست یافت.

• استان کردستان

با توجه به اینکه در اغلب سال‌ها، باران‌های پاییزه در این استان به تأخیر افتاده و گندم در مراحل رشد پاییزه با سرما مواجه می‌گردد، لذا کشت و آبیاری زود هنگام در پاییز، علاوه بر اینکه مقاومت گیاه را در مقابل سرما افزایش می‌دهد، امکان استفاده بهینه گیاه از باران‌های پاییزه و بهاره را نیز بیشتر فراهم می‌نماید. بنابراین در صورت تأمین آب، آبیاری به میزان ۵۰ میلی‌متر در دهه اول مهرماه بعد از کشت برای گندم دیم رقم سبلان به عنوان حداقل میزان آبیاری تکمیلی که بالاترین عملکرد را به دنبال دارد، توصیه می‌گردد (توشیح، ۱۳۸۱). بعضی از تحقیقات نیز نشان داده‌اند که انجام یک بار آبیاری در مرحله شیری شدن دانه در رقم سبلان موجب ۵۴

درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد (دیم) شده است. این تحقیقات نشان داده که آبیاری در مرحله شیری شدن دانه باعث افزایش عملکرد بیشتری نسبت به آبیاری در زمان کاشت شده است (طهماسبی سروستانی و همکاران، ۱۳۸۰).

• استان کرمانشاه

در سال‌های ۸۶-۸۷ و ۸۷-۸۸ در استان کرمانشاه مزارعی از گندم آبی مشاهده شد که علی‌رغم ۳ تا ۴ بار آبیاری، دچار خسارت شدید ناشی از تنش خشکی شدند. کشاورزانی که در همین شرایط ارقام مناسب آبیاری تکمیلی مانند کراس البرز را کشت و دو یا سه بار آبیاری کرده بودند، تقریباً ۵ تن در هکتار محصول برداشت کردند. به کشاورزانی که قصد کشت گندم در شرایط آبیاری را دارند، توصیه می‌گردد که قبل از تصمیم در مورد کشت، از کافی بودن میزان آب آبیاری در بهار مطمئن گردند و در صورت عدم اطمینان از کافی بودن آب برای آبیاری کامل این ارقام، از ارقام مناسب آبیاری تکمیلی و کم‌آبیاری استفاده نمایند. براساس نتایج تحقیقات انجام شده (فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۳) احتمال قطع بارندگی‌ها در مراحل خوشه‌رفتن و شیری شدن بسیار زیاد است. لذا انجام دو نوبت آبیاری در مراحل یاد شده به میزان ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر، توصیه می‌شود. اما اگر مصرف کود نیتروژنه نیز مد نظر باشد، آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی و مصرف کود نیتروژنه به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه می‌شود. در سال‌هایی که بارندگی بهار در حدود یا کمتر از میانگین بلندمدت (۱۳۰ میلی‌متر) باشد، ۱۰۰ میلی‌متر آبیاری در مرحله گلدهی یا شیری شدن دانه ضروری می‌باشد. با توجه به عکس‌العمل خوب رقم کراس البرز به سال‌های پر باران و آبیاری تکمیلی، تا معرفی ارقام مناسب‌تری به همین منظور، جا دارد که این رقم به عنوان رقم مناسب برای آبیاری تکمیلی نام‌گذاری گردد (فعله‌کری و همکاران، ۱۳۹۳). نکته قابل ذکر این است که این رقم در سال‌های معمولی و حتی نامناسب از نظر میزان بارندگی حداقل در سطح رقم سرداری، عملکرد دارد.

• استان لرستان

به دلیل وجود تنش رطوبتی، تولید گندم دیم در این استان با نوسانات شدید عملکرد همراه است. الگوی بارش‌های جوی در استان از الگوی بارندگی زمستانه یا مدیترانه‌ای تبعیت می‌کند و اغلب از نیمه دوم اردیبهشت ماه تا اواخر مهرماه فاقد بارندگی می‌باشد. آبیاری تکمیلی از راه‌های مؤثر و کارآمد برای جلوگیری از نوسان عملکرد و دستیابی به تولید پایدار است و از عدم موفقیت در تولید به شدت می‌کاهد. بارندگی مناسب در فصل پاییز به ویژه آبان‌ماه در دیم‌زارهای استان لرستان شرایط را برای رشد و استقرار کامل گیاه قبل از شروع یخبندان فراهم می‌کند؛

از این رو گیاه قادر است از رطوبت ذخیره شده (در فصل زمستان) در خاک و بارندگی‌های بهار به خوبی استفاده نماید. لذا تنش رطوبتی تأثیر کمتری بر عملکرد گندم می‌گذارد. انجام آبیاری تکمیلی در بهار سبب افزایش حداکثر عملکرد بین ۲۰ تا ۳۰ درصد خواهد شد (صیادیان و طلیعی، ۱۳۷۹). در حالی که اگر در فصل پاییز (از اوایل تا بیستم آبان ماه) در زمان استقرار گیاه، به اندازه کافی بارش در منطقه وجود نداشته باشد، انجام آبیاری تکمیلی در بهار (مرحله پرشدن دانه) تأثیر قابل توجهی بر عملکرد گندم نخواهد داشت. به طور کلی تحقیقات انجام شده در دیم‌زارهای استان لرستان به خوبی گواه این ادعا است که بهترین زمان آبیاری (در آبیاری تکمیلی) از نظر تأثیر بر عملکرد گندم دیم، مرحله خاک‌آب در پاییز و مرحله پر شدن دانه در بهار می‌باشد. بنابراین برای داشتن تولید پایدار محصول ضروری است در دیم‌زارهای استان از طریق روش استحصال آب و پمپاژ از رودخانه‌های فصلی و دائمی موجود در منطقه، آب مورد نیاز برای حداقل یک بار آبیاری تکمیلی تأمین گردد (کلهر و همکاران، ۱۳۹۰). در تحقیقی دیگر (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵) این نتیجه حاصل شد که بهترین برنامه مدیریتی در منطقه هنام به طور خاص ترکیبی از مدیریت برتر زراعی با تک آبیاری بهار به مقدار ۶۰ میلی‌متر در میانه دوره گلدهی (زمان لقاح گل‌ها) گیاه است، زیرا در مدیریت سنتی زارع، عملکرد دانه و بهره‌وری بارش را به ترتیب به میزان ۱۷۶ و ۱۳۴ درصد افزایش می‌دهد.

• استان فارس

برای سال‌های متمادی، فارس جایگاه نخست تولید گندم را در کشور به خود اختصاص داده بود؛ جایگاهی که طی چند سال گذشته به خاطر خشکسالی و کاهش سطح زیر کشت به رتبه‌های دوم و سوم تنزل پیدا کرده است. با این وجود، گندم هنوز به عنوان محصول اصلی فارس، در سطح قابل توجهی نسبت به دیگر محصولات کشاورزی کشت می‌شود. نتایج تحقیقات مختلف (تدین و امام، ۱۳۸۶؛ توان‌پور و قائمی، ۱۳۹۵) در استان فارس نشان داده است که آبیاری تکمیلی در

مرحله ساقه‌رفتن تأثیر بارزی بر عملکرد دانه ارقام گندم دیم دارد و در صورت تأمین آب کافی در دیم‌زارها می‌توان با یک بار آبیاری تکمیلی در زمان ساقه‌رفتن گیاه، عملکرد گندم دیم را تا دو برابر افزایش داد. اما اگر مصرف کود نیتروژنه و نوع رقم گندم نیز مدنظر باشد، استفاده از گندم رقم فاین-۱۵ به همراه آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌رفتن و مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توصیه می‌شود.

• استان آذربایجان شرقی

با توجه به آمار ۳۰ ساله هواشناسی (۱۳۹۴-۱۳۶۴)، مقدار بارش منطقه مورد مطالعه کفایت لازم جهت تأمین نیاز آبی گندم در ماه‌های رشد را نداشته و انجام آبیاری تکمیلی ضروری می‌باشد. تحقیقات انجام شده (توکلی و همکاران، ۱۳۹۳ و هادی و همکاران، ۱۳۹۶) در خصوص شناسایی مناسب‌ترین زمان برای انجام آبیاری نشان داده که خرداد ماه، مناسب‌ترین زمان برای انجام آبیاری تکمیلی است. زیرا هم از نظر مقادیر بارش و کمبود آب مورد نیاز جزو ماه‌های کم‌آب در منطقه می‌باشد و هم از نظر حساسیت مراحل رشد گندم مقارن با مرحله پرشدن دانه است و جزو حساس‌ترین مراحل رشد این گیاه می‌باشد. بررسی‌ها از نظر دمایی و مدت زمان هر یک از مراحل رشد نشان داد که در مراحل مختلف رشد و نمو گندم دیم از نظر دمایی، شرایط مطلوبی در منطقه وجود دارد و تنها در مرحله پر شدن دانه‌ها، دمای بیشینه، حدود ۱ درجه سانتیگراد از مقادیر توصیه شده بیشتر است. بنابراین آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه‌ها (که در خردادماه اتفاق می‌افتد) توصیه می‌شود.

جمع‌بندی

ارقام مناسب برای آبیاری تکمیلی در اقلیم‌های سرد و معتدل و توصیه‌های کاربردی لازم برای آنها در جدول (۲) آمده است. همچنین به طور کلی و براساس مطالب ارائه شده، نتایج جدول (۳) برای مناطق مختلفی که کشت گندم دیم در آنها انجام می‌شود قابل توصیه و کاربرد می‌باشد.

جدول ۲- ارقام مناسب برای آبیاری تکمیلی در اقلیم‌های سرد و معتدل

نوع اقلیم	ارقام مناسب گندم برای آبیاری تکمیلی	توصیه‌های کاربردی لازم
سرد	تک آب، آذر ۲ و باران، هشت‌رود، صدرا و سائین	اولین آبیاری بعد از کشت در نیمه اول مهر ماه (۴۵ تا ۵۰ میلی‌متر) انجام شود. کشاورزانی که آب اضافی داشته باشند، می‌توانند این مزارع را در زمان‌های ساقه‌دهی و ظهور سنبله، آبیاری نمایند. در صورت وقوع بارندگی مؤثر در هر یک از زمان‌های مذکور، آبیاری مربوطه لازم نیست.
معتدل	ریژاو، آذر ۲، باران، هشت‌رود، پراو، ایوان، صدرا و ساجی	اولین آبیاری در زمان ظهور ساقه و آبیاری دوم در مرحله پرشدن دانه، توصیه می‌شود.

جدول ۳- مناسبترین مرحله برای آبیاری تکمیلی و توصیه‌های کاربردی لازم در استان‌های مورد بررسی

استان	مناسبترین مرحله برای آبیاری تکمیلی	توصیه‌های کاربردی لازم
خراسان شمالی	مرحله گلدهی	- مناسب‌ترین زمان برای انجام يك نوبت آبیاری مرحله گلدهی است. - انجام دو نوبت آبیاری در مراحل گلدهی و دانه‌بندی توصیه می‌شود.
زنجان	مرحله داناب و خوشاب	- انجام دو نوبت آبیاری در مرحله داناب و خوشاب (در هر مرحله به طور مجزا ۵۰۰ مترمکعب در هکتار). - انجام یک نوبت آبیاری در مرحله خوشه‌رفتن.
کردستان	زمان کاشت و مرحله شیری شدن دانه	- آبیاری در مرحله شیری شدن دانه افزایش عملکرد بیشتری نسبت به آبیاری در زمان کاشت داشته است.
کرمانشاه	مراحل خوشه‌رفتن و شیری شدن	- انجام دو نوبت آبیاری در مراحل خوشه‌رفتن و شیری شدن به میزان ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر. - در صورت مصرف کود نیتروژنه، آبیاری تکمیلی در مرحله گرده‌افشانی توصیه می‌شود. - در سال‌های با بارندگی کمتر از میانگین بلندمدت (۱۳۰ میلی‌متر)، ۱۰۰ میلی‌متر آبیاری در مرحله گلدهی یا شیری‌شدن دانه، ضروری است.
لرستان	مرحله خاک‌آب در پاییز و مرحله پرشدن دانه در بهار	- بهترین زمان آبیاری (در آبیاری تکمیلی) از نظر تأثیر بر عملکرد گندم دیم، مرحله خاک‌آب در پاییز و مرحله پرشدن دانه در بهار است.
فارس	مرحله ساقه‌رفتن	- در صورت تأمین آب کافی در دیم‌زارها یک نوبت آبیاری تکمیلی در زمان ساقه‌رفتن گیاه توصیه می‌شود. - اگر مصرف کود نیتروژنه و نوع رقم گندم مدنظر باشد، استفاده از گندم رقم فاین-۱۵ به همراه آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌رفتن و مصرف ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توصیه می‌شود.
آذربایجان شرقی	مرحله پرشدن دانه‌ها	- آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه‌ها (که در خردادماه اتفاق می‌افتد) توصیه می‌شود.

منابع

مختلف تربیتیکاله و گندم دیم با آبیاری تکمیلی. مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۱۵(۱): ۱۱۳-۱۲۶.

صیادیان، ک. و طلیعی، ع.ا. ۱۳۷۹. بررسی اثر آبیاری تکمیلی در زراعت گندم دیم. مجله علوم خاک و آب، ۱۴(۱): ۵۷-۶۸.

طهماسبی سروستانی، ز.، روحی، ا. و مدرس ثانوی، س. ۱۳۸۰. بررسی خصوصیات کمی کیفی عملکرد ژنوتیپ‌های گندم دیم تحت شرایط آبیاری تکمیلی. مجله علوم زراعی، ۳(۱): ۴۷-۵۵.

فعله‌کری، ح.، اقبال قبادی، م.، محمدی، غ.ر.، جلالی هنرمند، س.، قبادی، م. و سعیدی، م. ۱۳۹۳. اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر شاخص‌های رشدی دو رقم گندم دیم در شرایط کرمانشاه. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۶(۲): ۱۰۱-۱۱۳.

کلهر، م.، احمدوند، ع.، پزشکی‌پور، پ.، پرویزی، ف.، ملایی ربانی، غ. و یارمحمدیان، م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد گندم دیم (آذر ۲) در استان لرستان. گزارش نهایی. موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ثبت: ۳۹۳۱۳.

موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، بخش تحقیقات غلات و مدیریت منابع. ۱۳۹۶. دستورالعمل فنی کشت گندم دیم در اقلیم معتدل و سرد کشور.

نخجوانی مقدم، م.م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، دهقانی سانجی، ح. و توکلی، ع. ۱۳۹۵. افزایش بهره‌وری بارش برای گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی و آبیاری محدود در بالادست حوضه کرخه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۳): ۳۰۱-۳۱۵.

هادی، م.، مجنون هریس، ا. و دلیر حسن‌نیا، ر. ۱۳۹۶. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم دیم در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، ۲۷(۲): ۳۰۷-۳۲۰.

بابازاده، ح.، شاه‌رخ، ف.، منشوری، م. و داوودی، ف. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم منطقه‌ای ابهر، استان زنجان. مجله مهندسی منابع آب، ۴: ۷۵-۸۴.

تاتاری، م.، احمدی، م.م. و عباسی علی کمر، ر. ۱۳۹۱. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۰(۲): ۴۴۸-۴۵۵.

تدین، م.ر. و امام، ی. ۱۳۸۶. اثر آبیاری تکمیلی و مقدار فراهمی آب بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دیم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲): ۱۴۵-۱۵۶.

توان‌پور، ن. و قائمی، ع.ا. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی استان فارس از نظر کشت گندم پاییزه دیم براساس پارامتر بارش و عوامل مورفولوژیکی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۴): ۵۴۴-۵۵۵.

توشیح، و. ۱۳۸۱. بررسی عملکرد گندم دیم رقم سیلان تحت آبیاری تکمیلی. مجله علوم خاک و آب، ۱۶(۲): ۲۳۱-۲۴۰.

توکل، ع.، مهدوی مقدم، م. و سالمی، ح.ر. ۱۳۹۳. اثر آبیاری تکمیلی و کود نیتروژن بر ضرایب همبستگی صفات و شاخص‌های تحمل به خشکی گندم نان در زراعت دیم. نشریه تولید گیاهان زراعی، ۷(۴): ۱۴۳-۱۵۹.

حق‌پرست، ر. ۱۳۹۲. اصول زراعت گندم دیم: آمیخته دانش جدید و بومی، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۲۲ صفحه.

داودی، ف.، دانشی، ن. و خدادادی، م. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی بر عملکرد کمی و کیفی گندم دیم. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ایران.

روحی، ا. ۱۳۹۴. ارزیابی خصوصیات زراعی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های

A Review on Hydrological Modeling Concepts, Part2: Uncertainty Assessment Concepts

M. Shafiei^{1*}, B. Ghahraman², B. Saghafian³

1- Assistant Professor, Hydroinformatic Department, East Water & Environmental Research Institute, Mashhad, Iran. 2- Professor in Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3- Professor in Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: moj.shafiei@gmail.com)

Received: 18-07-2017

Accepted: 02-01-2019

مروری بر مفاهیم مدل سازی هیدرولوژی: بخش دوم، مبانی تحلیل عدم قطعیت

مجتبی شفیعی^{۱*}، بیژن قهرمان^۲، بهرام ثقفیان^۳

۱- استادیار پژوهش، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق، مشهد. ۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. ۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

*(نویسنده ی مسئول، E-Mail: moj.shafiei@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۲

Abstract

Nowadays, uncertainty assessment is a major step in hydrological modelling due to different sources of errors and lack of sureness. Quantifying the amount of uncertainty at models' outputs is considered as the main step before using the models for water resources decision makings. In modelling processes, the uncertainty quantification is assessed along with model calibration. Therefore, paying attention to the model calibration and its relation with uncertainty assessment is essential. This review paper presents the necessary concepts of uncertainty assessment and their relationship with modelling processes.

Keywords: Error, Uncertainty, Bayes Law, Monte Carlo.

چکیده

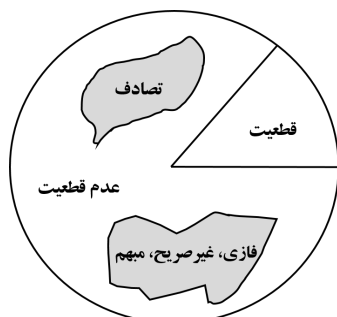
امروزه به سبب وجود منابع متعدد خطا و نااطمینانی، تحلیل عدم قطعیت به عنوان بخشی جدانشدنی در مدل سازی هیدرولوژی پذیرفته شده است. بررسی و به کمیّت درآوردن میزان عدم قطعیت در نتایج پیش بینی مدل ها، مهم ترین گام، قبل از استفاده از نتایج مدل ها در تصمیم گیری های منابع آب است. کمی سازی میزان عدم قطعیت در مدل های هیدرولوژی به صورت توأم و همراه با واسنجی مدل انجام می شود. بنابراین لزوم توجه به واسنجی مدل و ارتباط آن با تحلیل عدم قطعیت در مدل سازی، ضروری است. مقاله مروری حاضر با هدف ارائه تعاریف و مفاهیم اولیه و ضروری در تحلیل عدم قطعیت مدل ها و ارتباط آن با فرآیند مدل سازی هیدرولوژی تدوین شده است.

واژه های کلیدی: خطا، عدم قطعیت، قانون بیز، مونت کارلو.

با آن بسیار حائز اهمیت است. به طور کلی می‌توان ضرورت این مسئله را در چهار مورد بیان کرد (Shafiei و همکاران، ۲۰۱۴): (۱) درک و شناسایی منابع عدم قطعیت (۲) به کمیّت درآوردن عدم قطعیت (۳) ارزیابی نقش عدم قطعیت و چگونگی تأثیر آن در نتایج مدل‌ها و (۴) یافتن روش‌هایی جهت کاهش عدم قطعیت. بنابراین، با توجه به رشد روزافزون تحقیقات در زمینه تحلیل عدم قطعیت در مدل‌سازی‌های هیدرولوژی و لزوم توجه به مبانی آن و نحوه ارتباط آن در کاربرد مدل‌های هیدرولوژی؛ باهدف یکسان‌سازی ارائه تعاریف و مفاهیم تحلیل عدم قطعیت، منابع آن در مدل‌سازی هیدرولوژی و چگونگی کمی‌سازی آن براساس تجارب متعدد نویسندگان در این زمینه و همچنین در ادامه‌ی مقاله شفيعی و قراری (۱۳۹۶)، مقاله حاضر در پنج بخش با عناوین ذیل تدوین شده است: الف) تعریف عدم قطعیت و خطا، ب) منابع عدم قطعیت در مدل‌سازی هیدرولوژی، ج) مفهوم «تحلیل عدم قطعیت»، د) ارتباط واسنجی و تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژی و ذ) روش‌های بیان عدم قطعیت و نمونه‌گیری مونت کارلو.

تعریف عدم قطعیت و خطا

یافتن تعریفی واحد، دقیق و عمومی برای واژه «عدم قطعیت» به راحتی امکان‌پذیر نیست. عدم قطعیت^۱ در لغت براساس فرهنگ لغت مریام-وبستر (Merriam-Webster، ۲۰۰۳) به معنی شک، تردید، ناشناخته، تعریف نشده و مبهم آمده است. تعریفی نسبتاً جامع و عمومی در شکل (۱) ارائه شده است (Ross، ۱۹۹۵) که در آن «عدم قطعیت» نسبت به «قطعیت» بخش بسیار بزرگتری را شامل شده و تنها بخش کوچکی از مسائل دارای «قطعیت» می‌باشند. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده، مجموع همه‌ی اطلاعات در این مفهوم به عنوان جهان اطلاعات^۲ تعریف شده است. اگر «عدم قطعیت» در این مضمون در نظر گرفته شود، تنها بخش کوچکی از مسئله به عنوان «قطعیت» در نظر گرفته می‌شود و مابقی به ناچار دارای «عدم قطعیت» بوده که برخاسته از پیچیدگی سیستم، کمبود دانش، شانس، جنبه‌های مختلف تصادفی بودن، بی‌دقتی، ابهام و ... می‌باشد.



شکل ۱- قطعیت و عدم قطعیت در جهان اطلاعات (Ross، ۱۹۹۵)

مدل‌سازی امری ضروری جهت شناخت سامانه و کسب اطلاعات مورد نیاز در مورد کارکرد آن در شرایط مختلف می‌باشد. در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژی، مدل‌های زیادی با اهداف مختلف تهیه و ارائه شده‌اند (شفيعی و قراری، ۱۳۹۶). این مدل‌ها پارامترهایی دارند که اغلب به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نبوده و تخمین آنها تنها توسط واسنجی و با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده متناظر با خروجی(های) مدل امکان‌پذیر می‌باشد. وجود خطا و نااطمینانی در داده‌های ورودی مدل‌ها (مانند بارندگی و درجه حرارت) و نیز داده‌های اندازه‌گیری شده مرتبط با خروجی آن، بدون شک موجب نااطمینانی در تخمین پارامترهای مدل شده و در نتیجه پیش‌بینی‌های مدل نیز قابل اعتماد نخواهند بود (Yen و Tung، ۲۰۰۶؛ Refsgaard، ۲۰۰۷). بنابراین وجود خطا و نااطمینانی‌ها در مدل‌سازی همواره سبب وجود اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مقادیر مشاهده‌ای شده، و در نتیجه عدم قطعیت در نتایج پیش‌بینی مدل‌ها می‌شود.

در بسیاری از زمینه‌ها، عدم قطعیت به خوبی شناخته شده و به درستی نیز بکار گرفته می‌شود. به طور مثال در علم هواشناسی، پیش‌بینی‌های هواشناسی عموماً با در نظر گرفتن عدم قطعیت آن ارائه می‌شوند. در طراحی‌های مهندسی مانند طراحی سازه‌های مرتبط با سیل، عدم قطعیت به طور غیرمستقیم با در نظر گرفتن ضرایب اطمینان یا به طور مستقیم با لحاظ کردن خصوصیات احتمالی وقایع اقلیمی در محاسبات لحاظ می‌شوند. در دو دهه‌ی اخیر در مدل‌سازی‌های هیدرولوژی، تمرکز بسیاری از پژوهش‌ها بر روی روش‌های مختلف تحلیل عدم قطعیت و واسنجی مدل‌ها و بهبود پیش‌بینی آنها بوده است. در برخی از این پژوهش‌ها، رویکرد اغلب آنها رسیدن به تخمینی یکتا از پارامترهای مدل‌ها بوده و عمدتاً به کمیّت در آوردن عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های این مدل‌ها نادیده گرفته شده است (Binley و Beven، ۱۹۹۲؛ شفيعی و همکاران، ۱۳۹۳).

در نظر گرفتن تحلیل عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل‌ها اهمیت بسیار زیادی دارد؛ به خصوص زمانی که از این مدل‌ها به عنوان پشتوانه تصمیم‌گیری‌ها در مدیریت منابع آب استفاده می‌شود. به طوری که نادیده گرفتن عدم قطعیت در مدل‌سازی‌ها می‌تواند موجب عدم پایداری در زیست‌بوم‌های محیطی و افزایش ریسک (خطر) در اتخاذ تصمیم‌گیری‌ها شود. اخیراً به طور گسترده‌ای اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در پیش‌بینی‌های هیدرولوژی هم از لحاظ نظری و هم عملی (کاربردی) مورد توجه قرار گرفته است. شناخت عدم قطعیت در فرآیندهای مدل‌سازی هیدرولوژی از مهم‌ترین و محبوب‌ترین موضوعات در دهه‌ی اخیر به شمار می‌رود که نتایج آن در مباحث مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری‌های مرتبط

در موضوع مدل‌های هیدرولوژی، عدم قطعیت به حالتی اطلاق می‌شود که منعکس‌کننده نداشتن اطمینان^۲ درباره فرآیندهای فیزیکی یا سیستم مورد نظر بوده و به طور بالقوه منجر به تفاوت بین خروجی‌های بدست آمده و مقادیر درست^۴ در سیستم می‌شود. به طور دقیق‌تر، عدم قطعیت خروجی مدل (به عنوان مثال، سطح آب یا جریان رودخانه) شرایطی است که نمی‌توان تنها یک مقدار را برای خروجی بدست آورد. لازم به ذکر است در موضوع مدل‌سازی هیدرولوژی، عدم قطعیت ناشی از دانش نادقیق یا اطلاعات ناقص از سیستم یا فرآیند است که جدا از طبیعت تصادفی وقایع می‌باشد.

منابع عدم قطعیت در مدل‌سازی هیدرولوژی

عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژی را اساساً می‌توان به سه منبع مهم تقسیم‌بندی کرد. هرچند در برخی مراجع ممکن است منابع عدم قطعیت را به چهار یا پنج منبع طبقه‌بندی کرده باشند (Knudsen و Refsgaard، ۱۹۹۶)، اما همه‌ی آنها را می‌توان در قالب سه منبع که در ادامه آمده است خلاصه کرد. برای مطالعه بیشتر می‌توان به Yen و Tung (۲۰۰۶) مراجعه نمود.

الف) عدم قطعیت در داده‌های ورودی یا مشاهداتی: این نوع عدم قطعیت مربوط می‌شود به داده‌های ورودی مدل (مانند بارندگی و درجه حرارت) و شارهای خروجی سیستم (مانند جریان رودخانه) که معمولاً اندازه‌گیری می‌شوند. عدم قطعیت ناشی از داده‌ها یا مشاهدات شامل دو مؤلفه می‌باشد الف-۱) خطاهای اندازه‌گیری که مربوط به وسایل و انسان است و الف-۲) خطای ناشی از عدم تناسب داده‌های اندازه‌گیری شده با مقیاس، به طور مثال زمانی که داده‌های بارندگی نقطه‌ای در مدل به سطح تعمیم داده می‌شوند.

ب) عدم قطعیت در ساختار مدل‌ها: مدل، سیستم ساده شده‌ای از جهان واقعی است (Knudsen و Refsgaard، ۱۹۹۶). جهت استخراج مفاهیم و معادلات در مدل، فرآیندهای واقعی که پیچیده^۵ بوده بسیار ساده‌سازی شده‌اند. به طور مثال یک مدل ممکن است رفتار یک فرآیند کاملاً غیرخطی را بخواهد شبیه‌سازی کند، اما توسعه مدل به صورت چند رابطه خطی و درجه اول انجام شده است. این گونه ساده‌سازی‌ها و تقریب‌زدن‌ها منتج به خطاهایی در ساختار مفهومی مدل می‌شود. خطاهای ساختار مدل همچنین می‌تواند ناشی از ریاضیات بکار رفته در مدل (مانند تفکیک‌پذیری مکانی و زمانی) باشد که در حقیقت مدل مفهومی را به مدل اجرایی تبدیل می‌کند.

پ) عدم قطعیت در پارامترها: عدم قطعیت در پارامترهای مدل نتیجه‌ی ناتوانی در تعیین دقیق (به کمیت درآوردن) پارامترهای مدل می‌باشد. پارامترهای مدل ممکن است مستقیماً دارای معنی فیزیکی نباشند. از طرفی، پارامترهایی که معنی فیزیکی هم دارند را همواره

عدم قطعیت ناشی از اطلاعات ناکافی را ممکن است بتوان با اطلاعات بیشتر کاهش داد.

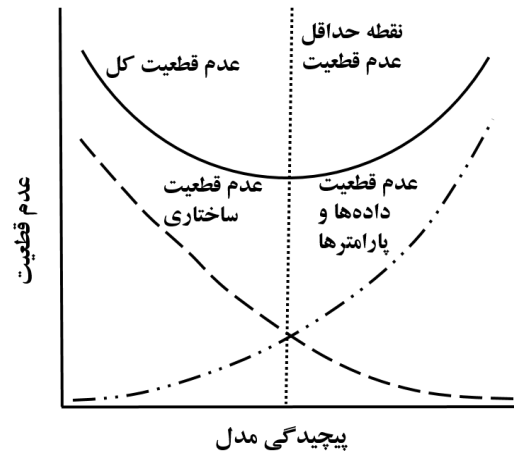
در برخی موارد ممکن است تفاوت عدم قطعیت با خطا^۶ توجه نشود و معادل یکدیگر بکار روند. در واقع خطا به معنی انحراف از مقدار واقعی یا مقدار درست^۶ است. اما در مفهوم عدم قطعیت ما مقدار درست را نمی‌دانیم و عدم قطعیت ناشی از عدم اطلاع ما از وضعیت درست می‌باشد. همچنین می‌توان اذعان نمود که دانستن عدم قطعیت درجه‌ای از اطمینان را به ما نشان می‌دهد.

نمی‌توان به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد یا این که اندازه‌گیری مستقیم آنها بسیار هزینه‌بر است. بنابراین تخمین آنها با روش‌های غیرمستقیم مانند قضاوت‌های مهندسی و واسنجی صورت می‌گیرد. پارامترهایی که در فرآیند واسنجی بدست می‌آیند نیز به دلایل مختلفی می‌توانند تحت تأثیر عدم قطعیت قرار گیرند که شامل عدم قطعیت داده‌ها (داده‌هایی که برای واسنجی به کار می‌روند)، عدم قطعیت ساختار مدل، کمبود داده و ... می‌باشند.

مفهوم «تحلیل عدم قطعیت» در مدل‌های هیدرولوژی

همان‌طور که در بخش‌های پیش اشاره شد، عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های مدل، نتیجه عدم قطعیت داده‌های ورودی، ساختار مدل و پارامترهای آن است. شکل (۲) نشان می‌دهد که چگونه منابع مختلف عدم قطعیت با پیچیدگی مدل تغییر می‌کنند. پیچیدگی مدل توسط تعداد پارامترهای آن و میزان نیاز به داده‌های ورودی تعیین می‌شود. با افزایش پیچیدگی مدل، جزئیات فرآیندهای فیزیکی بهتر ارائه شده و عدم قطعیت ساختاری کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، با افزایش پیچیدگی مدل، تعداد داده‌های ورودی و پارامترها نیز افزایش یافته و در نتیجه احتمال افزایش عدم قطعیت بیشتر می‌شود. بنابراین همواره بین عدم قطعیت ساختار مدل و عدم قطعیت پارامترها (یا داده‌ها) یک حالت بهینه از پیچیدگی مدل وجود دارد که عدم قطعیت کل^{۱۱} در آن حداقل است (Schoups و همکاران، ۲۰۰۸).

بنابراین عدم قطعیت در مدل‌ها نیازمند مدیریت و تحلیل است تا بتوان اثرات آن را کاهش داد. مشکل اصلی در شناخت فرآیندهای طبیعی، وجود عامل احتمال و برخی عوامل غیرقابل کنترل و ناشناخته است، از این رو «تحلیل عدم قطعیت» برای هر پدیده درکی واقعی از پارامترهای آن را نمایان کرده و شناخت درستی از نقش عوامل تأثیرگذار بر آن را ایجاد می‌نماید. در واقع هدف اصلی از «تحلیل عدم قطعیت» به کمیت درآوردن ویژگی‌های آماری خروجی مدل (یا سیستم) است که به طور مستقیم به عدم قطعیت‌های موجود در پارامترها، ورودی‌های مدل و ساختار مدل بستگی دارد.



شکل ۲- ارتباط شماتیک بین منابع مختلف عدم قطعیت و اثر ترکیبی آن روی عدم قطعیت کل پیش‌بینی مدل

ارتباط واسنجی و تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژی

در بخش قبل اشاره شد که منظور از تحلیل عدم قطعیت به کمیت درآوردن خروجی‌های نامطمئن مدل می‌باشد که اغلب به صورت بازه‌های اطمینان یا محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد، بیان می‌شود. در مدل‌سازی‌های هیدرولوژی معمولاً تحلیل عدم قطعیت به همراه واسنجی مدل و به صورت توأمان و براساس رویکردهای احتمالی (قانون بیز) انجام می‌شود. در ادامه تعریف ریاضی واسنجی یک مدل و مفهوم قانون بیز آمده است.

مدل‌های هیدرولوژی پارامترهایی دارند که اندازه‌گیری آنها به صورت مستقیم امکان‌پذیر نبوده یا این که ماهیت آن‌ها تجربی است. بنابراین در فرآیند مدل‌سازی می‌بایست این پارامترها را تخمین زد و یا واسنجی نمود. واسنجی پارامترها با استفاده از داده‌های مشاهداتی متناظر با خروجی مدل و به شیوه مدل‌سازی معکوس^{۱۲} انجام می‌شود (Duan و همکاران، ۱۹۹۲). در فرآیند واسنجی، با کمینه کردن تابع هدف (به طور مثال مجموع مربعات خطا از مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده متناظر آنها) یک مجموعه مقادیر پارامتر بهینه به صورت دستی (سعی و خطا) یا به صورت خودکار جستجو می‌شود. برای مثال می‌توان به کد PEST اشاره کرد که یک روش تکرار و بر مبنای روش بهینه‌سازی ریاضی مارکوارت است (Doherty، ۱۹۹۴). از جمله ضعف‌های روش PEST، محدودیت در تعداد پارامترهای واسنجی و حساس بودن نتایج نسبت به تخمین اولیه پارامترها می‌باشد (Zhang و همکاران، ۲۰۰۶). از روش‌های دیگر واسنجی خودکار پارامترها می‌توان روش‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک (Ines و Droogers، ۲۰۰۲) یا سایر روش‌های مرسوم بهینه‌سازی (Abbaspour و همکاران، ۲۰۰۱) را نام برد. در این روش‌ها علاوه بر برخی از محدودیت‌ها مانند زمان‌بر بودن و وجود پاسخ‌های غیر بهینه محلی (local)، مهم‌ترین محدودیت آنها در واسنجی مدل‌ها

این است که تنها یک مجموعه پارامتر بهینه محتمل بدست آمده و خطاهای موجود در مدل‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین به سبب وجود خطاها، مجموعه پارامتر بدست آمده نمی‌تواند بیانگر واقعی رفتار سیستم باشد (Refsgaard و همکاران، ۲۰۰۷). در نتیجه اعتمادپذیری نتایج این روش‌ها در مدل‌سازی، کاهش می‌یابد.

از طرف دیگر اخیراً روش‌های واسنجی که بر مبنای نظریه بیز^{۱۳} هستند کاربرد گسترده و محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند. در این روش‌ها این امکان وجود دارد که می‌توان شناخت و دانشی که از پارامترهای مدل وجود دارد را با داده‌های مشاهداتی متناظر با خروجی مدل ترکیب کرد. چنین نتایجی به صورت توزیع احتمال در فضای پارامتری مدل قابل بیان بوده و امکان به کمیت درآوردن عدم قطعیت پارامترها نیز وجود دارد (Campbell و Bates، ۲۰۰۱). در واقع علت اصلی محبوبیت روش‌های بیز در تخمین پارامترهای مدل‌ها این است که چارچوبی را برای بررسی عدم قطعیت در مدل‌ها فراهم می‌کنند.

مدل را می‌توان در قالب رابطه زیر در نظر گرفت:

$$Q_i = f(x_i; \theta) + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن $f(x_i; \theta)$ خروجی مدل در زمان t متناظر با مجموعه داده‌های ورودی مدل (یعنی x_i) مانند بارندگی و درجه حرارت، θ بردار پارامترهای مجهول مدل که باید تخمین زده شوند، ε_i مؤلفه‌ی خطا است و Q_i بردار داده‌های مشاهداتی (مانند جریان یا تغییرات رطوبت) در زمان t می‌باشد.

در ابتدا، شناخت اولیه از پارامترهای مدل (مجموعه پارامتر) در قالب توزیع احتمال آن $P(\theta)$ ، که توزیع پیشین^{۱۴} نام دارد خلاصه می‌شود. تصمیم در مورد نوع توزیع پیشین بستگی به در دسترس بودن اطلاعات راجع به پارامترها دارد. برای مثال مرسوم‌ترین توزیع پیشین، توزیع یکنواخت (پخشیده) است که داری دو حد پایین و بالا می‌باشد. توزیع پسین^{۱۵} پارامترها، $P(\theta|Q)$ با کاربرد نظریه بیز بدست می‌آید:

$$P(\theta|Q) = \frac{P(\theta)P(Q|\theta)}{P(Q)} \quad (2)$$

که در آن $P(\theta|Q)$ تابع درست‌نمایی بوده و مقدار آن نشان می‌دهد که براساس داده‌های موجود و پارامترهای تخمین زده شده، مقادیر خروجی مدل تا چه میزان به مقادیر واقعی نزدیک هستند. به بیان دیگر $P(\theta|Q)$ مربوط به فرض‌های مرتبط با مؤلفه خطا ε_i در رابطه (۱) است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین $P(Q)$ بیانگر چگونگی توزیع داده‌های مشاهده‌ای است که مستقل از پارامترها بوده و در برآورد درست توزیع پسین (یعنی $P(\theta|Q)$) به صورت ضرب تناسب بکار می‌رود (Malakoff، ۱۹۹۹). بنابراین به طور خلاصه می‌توان بیان کرد که در روش‌های بیز، پارامترهای متغیرهای تصادفی بوده که توسط تابع چگالی احتمال‌شان (pdf) در نظر گرفته شده و توزیع پیشین و پسین آنها نشان‌دهنده‌ی دانش ما درباره مقادیر آنها، قبل و بعد از استفاده از داده‌های مشاهداتی است.

بهینه را دارا می‌باشد (پوررضا بیلندی و همکاران، ۱۳۹۳). در این مقاله با توجه به هدف آن به این روش‌ها پرداخته نشده است و می‌توان به Shafiei و همکاران (۲۰۱۴) و شفیعی و همکاران (۱۳۹۳ و ۱۳۹۷) مراجعه نمود.

جمع‌بندی

تحلیل عدم قطعیت در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان اطلاعات بیش‌تری در مورد خروجی‌های مدل پیش‌بینی به‌دست آورده و با اطمینان بیش‌تری از نتایج آن‌ها در فرآیندهای تصمیم‌گیری استفاده کرد. بررسی عدم قطعیت از طریق شناخت منابع آن، به کمیّت درآوردن میزان آن و در نهایت تلاش جهت کاهش آن در مدل‌های هیدرولوژی از مهم‌ترین مسائل روز در مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. آنچه که ممکن است قبل از ورود به مباحث تحلیل عدم قطعیت در مدل‌سازی کمتر توجه شود، عدم تسلط به مبانی و تعاریف اولیه این موضوع می‌باشد. همچنین اغلب مشاهده شده است که استفاده از ابزارها و نرم‌افزارهای آماده باعث شده تا به مفاهیم پایه این موضوع کمتر توجه شود. بنابراین با توجه به رشد روزافزون استفاده از مفاهیم مورد نظر در تحقیقات علمی و دانشجویی، این مقاله مفاهیم، تعاریف و مبانی اولیه و ضروری مرتبط با ورود به بحث تحلیل عدم قطعیت در مدل‌سازی را مد نظر قرار داده و تدوین نموده است. قابل ذکر است که پرداختن به روش‌های واسنجی - تحلیل عدم قطعیت با توجه به گستردگی و حجم بالای مطالب خارج از هدف این مقاله است.

پی‌نوشت

- 1- Uncertainty
- 2- Information world
- 3- Sureness
- 4- True
- 5- Error
- 6- True value
- 7- Observational or input data uncertainty
- 8- Model structure uncertainty
- 9- Complex
- 10- Parameter uncertainty
- 11- Total uncertainty
- 12- Invers modelling
- 13- Bays
- 14- Prior distribution
- 15- Posterior distribution

در علوم مختلف نظریه‌هایی که برای بیان عدم قطعیت به کار می‌روند شامل نظریه احتمال، نظریه مجموعه‌های فازی و نظریه آنتروپی است. نظریه احتمال، اولین و اصلی‌ترین ابزار جهت بیان عدم قطعیت در انواع مدل‌های ریاضی (از جمله مدل‌های هیدرولوژی) بوده که از آن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (Kundzewicz, ۱۹۹۵). به طور کلی روش‌های تحلیل عدم قطعیت بر مبنای نظریه احتمال به سه دسته تقسیم می‌شوند: الف) روش‌های تحلیلی^{۱۶}، ب) روش‌های تقریب‌زدن^{۱۷} و پ) روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی^{۱۸}. با توجه به قانون بیز در واسنجی مدل‌ها و با استفاده از روش‌های تحلیل عدم قطعیت می‌توان توزیع احتمال پسین پارامترهای مدل را به دست آورد. به سبب وجود روابط ریاضی پیچیده و غیرخطی در مدل‌های هیدرولوژی و نیز تعداد زیاد متغیرها (پارامترها)، کاربرد روش‌های تحلیلی و تقریب‌زدن، بسیار دشوار و در برخی شرایط ناممکن است. بنابراین در ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژی به طور گسترده از روش‌های شبیه‌سازی (که براساس نمونه‌گیری مونت کارلو^{۱۹} می‌باشد) استفاده می‌شود.

در واقع، شبیه‌سازی مونت کارلو (MC) یک روش عددی جهت تولید متغیرهای تصادفی است به گونه‌ای که خصوصیات تابع توزیع حاکم بر آن‌ها را حفظ کند (Yen و Tung, ۲۰۰۶). در واقع روش MC تنها روشی است که به طور عملی می‌تواند توزیع احتمال خروجی (های) مدلی با درجه غیرخطی بالا و روابط پیچیده را تخمین زده و در ارزیابی‌های عدم قطعیت از آن به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. در این روش مقادیر تصادفی از هر کدام از متغیرهای (پارامترها) نامطمئن با توجه به توزیع‌های احتمالاتی آنها تولید شده و مدل به ازای هر مجموعه متغیر (پارامتر) تولید شده اجرا می‌شود. سپس ویژگی‌های آماری (مانند میانگین، انحراف معیار) خروجی مدل توسط روش‌های آماری استاندارد ارزیابی شده و در نهایت تابع توزیع خروجی (های) مدل تخمین زده می‌شود. درستی توزیع احتمالاتی و آماری خروجی در این روش، تابعی از تعداد شبیه‌سازی‌ها است. بنابراین افزایش نمونه‌برداری‌ها (شبیه‌سازی‌ها) موجب افزایش دقت در این روش می‌شود. برای افزایش راندمان روش MC، از روش مربع لاتین (LH) استفاده می‌شود (McKay و همکاران، ۱۹۷۹). روش مربع لاتین در واقع همان روش مونت کارلو است با این تفاوت که در آن نمونه‌گیری در فواصل مساوی از دامنه منطقی هر متغیر صورت گرفته که سبب افزایش دقت در شبیه‌سازی مونت کارلو می‌شود.

مهم‌ترین روش‌های واسنجی-تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولوژی بر مبنای نمونه‌گیری مونت کارلو می‌باشد؛ از جمله روش محبوب GLUE را می‌توان در این زمینه نام برد. همچنین از روش‌های مبتنی بر مونت کارلو، زنجیره مارکوف (MCMC) نیز دارای قابلیت‌های بیشتر از جمله سرعت بالاتر در رسیدن به جواب

netic Algorithm approach. Hydrol. Earth Syst. Sci, 6: 49–66.

Kundzewicz Z. 1995. Hydrological uncertainty in perspective. In: Z. Kundzewicz (ed.), New Uncertainty Concepts in Hydrology and Water Resources, University Press, Cambridge, UK, 3-10.

Malakoff D. 1999. Bayes offers a 'New' way to make sense of numbers. Science, 286: 1460–1464.

McKay M.D., Beckman R.J. and Conover W.J. 1979. Comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. Technometrics, 21: 239–245.

Merriam-Webster. 2003. Merriam Webster Online Dictionary. Retrieved May 26, 2003 from <http://www.merriam-webster.com>

Refsgaard J.C. and Knudsen J. 1996. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. Water Resource Research, 32(7): 2189–2202.

Refsgaard J.C., van der Sluijs J.P., Højberg A.L. and Vanrolleghem P. 2007. Uncertainty in the environmental modelling process – A framework and guidance. Environ. Model. Softw, 22: 1543–1556.

Ross T.J. 1995. Fuzzy logic with engineering applications. McGraw-Hill, New York, NY, USA.

Schoups G., Van de Giesen N. and Savenije H. 2008. Model complexity control for hydrologic prediction. Water Resources Research, 44, W00B03, doi: 10.1029/2008WR006836.

Shafiei M., Ghahraman B., Saghafian B., Davary K., Pande S. and Vazifiedoust M. 2014. Uncertainty assessment of the agro-hydrological SWAP model application at field scale: A case study in a dry region. Agricultural Water Management, 146: 324–334.

Tung Y. and Yen B. 2006. Hydrosystem engineering uncertainty analysis. McGraw-Hill Book Company, NY, USA.

Zhang D., Beven K. and Mermoud A., 2006. A comparison of non-linear least square and GLUE for model calibration and uncertainty estimation for pesticide transport in soils. Adv. Water Resour, 29: 1924–1933.

16- Analytical

17- Approximation

18- Simulation

19- Monte Carlo

منابع

پوررضا بیلندی، م.، آخوند علی، ع.، قهرمان، ب. و تلوری، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی دو الگوریتم مختلف مونت کارلو زنجیرمارکف در تحلیل عدم قطعیت پارامترهای مدل توزیعی هیدرولوژیکی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱(۵): ۱-۲۶.

شفیعی، م.، انصاری، ح.، داوری، ک. و قهرمان، ب. ۱۳۹۲. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت یک مدل نیمه توزیعی در یک منطقه نیمه خشک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)، ۱۷(۶۴): ۱۳۷-۱۴۸.

شفیعی، م.، قهرمان، ب.، ثقفیان، ب.، داوری، ک. و وظیفه دوست، م. ۱۳۹۳. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAP توسط روش GLUE. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۲): ۴۷۷-۴۸۸.

شفیعی، م. و قراری، ش. ۱۳۹۶. مروری بر مفاهیم مدل سازی هیدرولوژی: بخش اول، معرفی فرآیند مدل سازی. نشریه آب و توسعه پایدار، ۴(۲): ۹۵-۱۰۲.

Abbaspour K.C., Schuln R. and van Genuchten M.T. 2001. Estimating unsaturated soil hydraulic parameters using ant colony optimization. Adv. Water Resour, 24: 827–841.

Bates B.C., and Campbell E.P. 2001. A Markov chain Monte Carlo scheme for parameter estimation and inference in conceptual rainfall - runoff model-ing, Water Resour. Res., 37(4): 937–947.

Beven K. and Binley A. 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. Hydrol. Process, 6: 279–298.

Doherty J. 1994. PEST: a unique computer program for model-independent parameter optimisation. Water Down Under 94 Groundwater/Surface Hydrol. Common Interes. Pap. Prepr. Pap. 551.

Duan Q., Sorooshian S. and Gupta V. 1992. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. Water Resources Research, 28(4): 1015–1031.

Ines A.V.M. and Droogers P. 2002. Inverse modeling in estimating soil hydraulic functions: a Ge-

Rainfall Trend Analysis using Innovative-Sen Method and Comparison with Traditional Methods (Case Study: Khorasan Razavi Province)

S. Khazaei^{1*}, R. Barati², A. Ghandehary³, M.R. Sadeghifard⁴

1- Ph.D. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. 2- Ph.D. of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 3- Ph.D. of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 4- MSc. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Islamic Azad University, Ferdows Branch, Ferdows, Iran.

*(Corresponding Author Email: s.khazaei88@gmail.com)

Received: 01-08-2017

Accepted: 03-11-2018

تحلیل روند بارش با استفاده از روش نوین Sen و مقایسه نتایج روش‌های متداول (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

سحر خزاعی^{۱*}، رضا براتی^۲، احمد قندهاری^۳، محمدرضا صادقی فرد^۴

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۲- دکتری مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۳- دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. ۴- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس.

*(نویسنده مسئول، (E-Mail: s.khazaei88@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۰

Abstract

Rainfall variations is one of the most important factors in climate change which can be analysed using different methods. This research aims to investigate the application of the innovative-Sen method for monthly, seasonal, and annual trend analysis of precipitation in Khorasan Razavi province. A series of 30 years of rainfall data from 39 rain stations of the province have been used. For the comparison purpose, Mann-Kendall, Spearman, and linear regression methods have also been considered. For quantitative evaluation of graphical results of the Sen method, a statistical analysis has been proposed. The results of traditional methods indicated that the rainfall of Aban month (October) has a significant increasing trend in confidence interval of 95%, and the rainfall of other months, seasons, and years do not show any significant trend, except for the regression method. Rainfalls of Aban (October), Khordad (May), and Tir (June) months, as well as autumn and summer seasons, have an increasing trend and other considered periods have a decreasing trend. The results of innovative-Sen method analysis in low, medium, and high values indicated that the maximum and minimum variations are related to the rainfall of winter and Mehr (September) month, respectively. Also, the statistical analysis showed a significant trend similar to the regression method only exist in the winter season of the province.

Keywords: Precipitation trend, Innovative-Sen method, Mann-Kendall, Linear regression, Spearman.

چکیده

تغییرات بارش یکی از معیارهای اصلی بررسی تغییر اقلیم است که به‌منظور تحلیل روند آن از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. هدف از انجام این پژوهش تحلیل روند داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه توسط روش نوین Sen به‌منظور بررسی روند تغییرات بارش در استان خراسان رضوی می‌باشد و در آن از داده‌های بارش ۳۰ سال اخیر ۳۹ ایستگاه باران‌سنجی واقع در سطح استان استفاده شده است. به‌منظور مقایسه تحلیل‌های روند بارش، از روش‌های من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون نیز استفاده شد. در این مطالعه برای کمی کردن نتایج گرافیکی روش Sen، تحلیل‌های آماری پیشنهاد داده شد. نتایج تحلیل بارش با سه روش متداول نشان داد که بارش در ماه آبان در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای روند صعودی معنی‌دار بوده و جز در روش رگرسیون بارش سایر ماه‌ها، فصل‌ها و بارش سالانه دارای روند نیستند. به‌طورکلی بارش ماه‌های آبان، خرداد، تیر و بارش فصل‌های پاییز و تابستان دارای روند صعودی و سایر دوره‌هایی که بررسی شد دارای روند نزولی بودند. همچنین نتایج روش Sen در دسته‌های مقادیر کم، متوسط و زیاد نشان داد که بیشترین مقدار تغییرات مربوط به بارش زمستان و کمترین تغییرات مربوط به بارش مهر ماه است. از نظر آماری نیز مانند روش رگرسیون، بارش فصل زمستان دارای روند نزولی معنی‌دار بود.

واژه‌های کلیدی: روند بارش، روش نوین Sen، من-کندال، رگرسیون خطی، اسپیرمن.

تغییرات آب و هوایی و یا تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی که در بلندمدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد. تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک دوره زمانی بلندمدت از اطلاعات ثبت و مشاهده شده منطقه مورد انتظار است (علیزاده، ۱۳۹۰). تاکنون تغییر اقلیم ناشی از عوامل طبیعی بوده اما در سال‌های اخیر، علاوه بر عوامل طبیعی، عامل انسانی نیز به روند تغییر اقلیم کمک کرده است. آثار تغییر اقلیم در مقیاس جهانی بر روی پدیده‌های طبیعی اثبات شده است. برگزاری کنفرانس تغییر اقلیم پاریس توسط سازمان ملل با حضور ۱۹۵ کشور در سال ۲۰۱۵ به منظور محدود کردن افزایش دما به دو درجه در جهت مبارزه با افزایش گرمایش جهانی نشان از اهمیت بالای این موضوع دارد. پیش‌بینی روند تغییرات بارش از جنبه‌های مختلف طراحی سازه‌ها و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار زیادی دارد. Turkes (۱۹۹۶) با کمک روش من-کندال به مطالعه توزیع زمانی و مکانی داده‌های بارش سالانه برای بررسی تغییرات آب و هوایی پرداخت و دریافت که در بیشتر ایستگاه‌ها روند کاهشی مشاهده می‌شود. Widmann و Schar (۱۹۹۷) با استفاده از تحلیل عاملی و تحلیل رگرسیون خطی الگوی روزانه بارش را در دوره آماری ۱۹۰۱ تا ۱۹۹۰ در سوئیس بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که بارش در زمستان در مناطق غربی و شمالی سوئیس دارای روند افزایشی می‌باشند. Zhou و Wang (۲۰۰۵) روند افزایشی قابل توجهی برای بارش در جنوب غربی، شمال غربی و غرب نواحی چین و روند کاهشی قابل توجهی در مرکز و شمال نواحی چین مشاهده نمودند. آن‌ها روند را با کمک ضریب رگرسیون خطی تعریف نمودند و مقدار روند را با کمک ضریب همبستگی بررسی کردند. Groisman و همکاران (۲۰۰۵) سه مدل گردش عمومی را برای بررسی روند بارش‌های حداکثر در نیمی از جهان که شامل کشورهای زیادی از جمله آمریکا می‌باشد، استفاده نمودند. بر اساس نتایج مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری و تحلیل داده‌های ثبت شده، روند افزایشی برای بارش‌های حدی نتیجه‌گیری شد. Fujibe و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تحلیل روند رگرسیون خطی به بررسی داده‌های بارش ۸۰ سال ژاپن پرداختند و افزایش روند را مشاهده نمودند. Douglas و Fairbank (۲۰۱۰) روش‌های روندیابی من-کندال و تحلیل خطی را بر بارش‌های روزانه در ۴۸ ایستگاه آمریکای شمالی با متوسط طول آماری ۸۰ سال اعمال نمودند. آن‌ها روند افزایشی در بیشتر داده‌های مشاهداتی به‌ویژه نواحی ساحل شمالی را گزارش کردند. Burn و همکاران (۲۰۱۱) روش من-کندال را به منظور ارزیابی روند بارش در کانادا استفاده نمودند و روند افزایشی در بیشتر موارد مشاهده شد. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) بررسی روند پارامترهای حدی بارش و دما را در استان خراسان رضوی

در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ با روش من-کندال انجام دادند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص شد که به‌طور کلی مقدار بارش سالانه و نیز تعداد روزهای بارانی کاهش یافته است. آذرخشی و همکاران (۱۳۹۲) روند تغییرات فصلی و سالانه بارش و دما را در سطح کشور در ۲۴ ایستگاه سینوپتیک با آمار ۲۰۰۵-۱۹۵۶ انجام دادند. از روش من-کندال و رگرسیون خطی برای نشان دادن روند استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی در داده‌های بارش سالانه مناطق مختلف کشور را نشان داد.

به‌منظور بررسی تحلیل روند تغییرات پارامترهای مرتبط با مهندسی آب، روش‌های مختلفی شامل تحلیل رگرسیون، روش من-کندال^۱، آزمون اسپیرمن^۲، آزمون T سن، برنامه TRAMO/SEATS و ... در مطالعات مختلف برای سری زمانی‌های سالانه، فصلی و ماهانه استفاده شده است (Wu و همکاران، ۲۰۰۹؛ Tabari و همکاران، ۲۰۱۱؛ Taormina و همکاران، ۲۰۱۲؛ Sun و همکاران، ۲۰۱۳). روش من-کندال برای بررسی روند داده‌هایی مناسب است که دارای توزیع یکنوا و نرمال هستند، بنابراین تغییرات فصلی یا سایر دوره‌های زمانی قابل بررسی نمی‌باشد (Kisi و Ay، ۲۰۱۴). در آزمون اسپیرمن، رتبه ضریب همبستگی اسپیرمن می‌تواند همبستگی یکنواخت داده‌های مرتبه شده را محاسبه کند و هنگامی که ارتباط میان متغیرها توسط یک تابع یکنوا مشخص باشد بررسی خواهد شد (Corder و Foreman، ۲۰۱۴). روش شیب Sen یک مدل خطی برای تخمین شیب روند استفاده می‌کند و شرط استفاده از آن این است که واریانس باقیمانده‌ها در طول زمان ثابت باشد (Hirsch و Helsel، ۲۰۰۲).

به تازگی روش نوین Sen (۲۰۱۲) به‌منظور تعیین روند داده‌ها ارائه شده است که محدود به فرضیات روش‌های گفته شده نمی‌باشد (Sen، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶). این روش برخلاف سایر روش‌ها به همبستگی سری داده‌ها و اندازه نمونه محدود نیست، نیاز به انجام فرآیند خاصی بر روی داده‌ها پیش از اعمال این روش نمی‌باشد و همچنین این روش توانایی بررسی داده‌هایی که توزیع نرمال و غیر نرمال دارند، را برای مقادیر کم، متوسط و بالا دارد (Sen، ۲۰۱۲). همچنین روندها به‌صورت گرافیکی بررسی خواهند شد. Tabari و Willems (۲۰۱۵) روش Sen را برای تحلیل جریان رودخانه‌ها در شمال غرب ایران به‌صورت ماهانه و سالانه برای یک دوره آماری درازمدت به‌کار بردند و نتایج آن را با روش من-کندال مقایسه کردند. پژوهش آن‌ها نشان داد کاهش در مقادیر جریان سالانه رودخانه در سه دسته کم، متوسط و زیاد روی داده است. Timbadiya و همکاران (۲۰۱۳) به‌منظور تحلیل سری زمانی سالانه جریان از روش نوین Sen در حوضه آبریز تاپیا هندوستان استفاده نمودند. با کمک روش نوین Sen، Haktanir و Citakoglu (۲۰۱۴) به بررسی روند بارش‌های حداکثر سالانه ۵ دقیقه تا ۲۴ ساعته در ۱۴ ایستگاه کشور ترکیه پرداختند. Kisi و Ay (۲۰۱۴) روش نوین Sen را به‌منظور بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه کیلیزکماک در ترکیه استفاده نمودند. Kisi (۲۰۱۵)

برای پیش‌بینی روند تغییرات تبخیر ماهانه شش موقعیت مکانی مختلف از روش مشابهی استفاده کرد. Elouissi و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات ماهانه بارش در ۲۵ ایستگاه الجزایر، به‌صورت ایستگاه به ایستگاه و با استفاده از روش نوین Sen پرداختند. Wu و Qian (۲۰۱۶) روند تغییرات باران ماهانه و سالانه ۱۴ ایستگاه در شانژین چین را با کمک روش یاد شده بررسی نمودند.

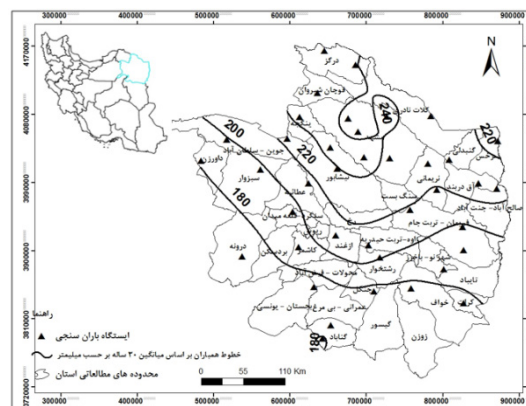
مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی به مرکز شهرستان مشهد یکی از استان‌های شمال شرق ایران است (شکل ۱). مساحت آن ۱۱۸۸۵۱ کیلومترمربع بوده که از این نظر پنجمین استان کشور است. این استان براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمپژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه و میانگین درجه حرارت به‌ترتیب ۲۲۴ میلی‌متر و ۱۵/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد (سایت هواشناسی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۶). این استان با دارا بودن بیش از یک میلیارد مترمکعب کسری مخزن سالانه بیشترین مشکل را در آب‌های زیرزمینی داشته این درحالی است که از منابع آب‌های سطحی نیز بهره‌چندانی ندارد و بنابراین اهمیت بارش و الگوهای آن در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب بسیار با اهمیت است.

• آماده‌سازی داده‌ها

برای انجام این پژوهش، از آمار ماهانه بارش ۳۹ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده شد. با استفاده از روش میانگین‌گیری تیسن، متوسط بارش برای سطح استان در ۳۰ سال اخیر (۶۵ تا ۹۴) به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شد. آزمون همگن بودن داده‌ها از روش ران تست بررسی و تأیید شد. روند بارش در این پژوهش به کمک روش‌های من-کندال، رگرسیون، اسپیرمن و روش Sen بررسی شد. تحلیل‌های آماری نیز با نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت استان خراسان رضوی و پراکنش ایستگاه‌های مطالعه شده

هدف از این پژوهش بررسی روند بارش سالانه، ماهانه و فصلی استان خراسان رضوی همراه با معرفی و کاربرد روش جدید Sen در دسته‌های بارش کم، متوسط و زیاد و مقایسه آن با برخی روش‌های روندیابی متداول شامل من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون خطی است. همچنین در این پژوهش برای اولین بار از تحلیل‌های آماری در روش گرافیکی Sen استفاده شد.

• روش‌های تحلیل آماری

- آزمون من-کندال

آزمون غیرپارامتری من-کندال (Mann, ۱۹۴۵ و Kendall, ۱۹۷۵) به‌صورت گسترده برای ارزیابی روند در داده‌های سری زمانی پارامترهای آب و هواشناسی استفاده می‌شود. در آزمون من-کندال هر مقدار در سری زمانی، پیوسته و پشت‌سرم با بقیه مقادیر سری زمانی مقایسه می‌شود. برای آزمون من-کندال نخست باید مقدار S را، که جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد، مشخص کرد.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

در معادله (۱) تعداد داده‌ها، x_i و x_j به‌ترتیب مقدار داده‌ها در سری زمانی i و j و علامت تابع به‌صورت معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } x_j > x_i \\ 0; & \text{if } x_j = x_i \\ -1; & \text{if } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

مقدار Z استاندارد به‌صورت معادله (۳) محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0; & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

در معادله (۳) مقدار انحراف معیار به‌صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i+5) \quad (4)$$

که در معادله (۴) t_i تعداد مقادیر مشابه برای مقدار P و P تعداد مقادیر مشابه در سری را نشان می‌دهند. برای تعیین روند در سطح معنی‌داری α ، اگر مقدار مطلق Z از مقدار $Z_{1-\alpha/2}$ که از جدول‌های توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج می‌شود بزرگتر باشد فرض صفر مبنی بر نداشتن روند رد می‌شود. در این پژوهش $\alpha=0.05$ در نظر گرفته شده است.

- روش اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ابداع شد. در این روش آماره آزمون براساس ضریب همبستگی اسپیرمن r_{SRC} محاسبه می‌شود.

$$r_{SRC} = 1 - \left\{ 6 \sum_{i=1}^n d_i^2 / n(n^2 - 1) \right\} \quad (5)$$

در معادله (۵) اندیس رتبه زمانی، n تعداد کل داده‌ها، $d_i = RX_i - RY_i$ و RX_i و RY_i رتبه زمانی متغیر X_i و Y_i می‌باشد. فرض صفر در این روش نداشتن روند است که توسط آماره t با درجه آزادی $n-2$ بررسی می‌شود. برای تعیین روند در سطح معنی‌داری α اگر مقدار مطلق t ، از مقدار $t_{1-\alpha/2}$ که از جدول‌های توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج می‌شود بزرگتر باشد، فرض صفر مبنی بر نداشتن روند رد می‌شود (Sonali و Kumar، ۲۰۱۳). در این پژوهش $\alpha=0/05$ است.

$$t_{SRC} = r_{SRC} \sqrt{\frac{(n-2)}{(1-r_{SRC}^2)}} \quad (6)$$

- روش رگرسیون

روش رگرسیون برای بررسی نوع معادله بین متغیرها می‌باشد. در این روش معادله بین متغیرها به صورت تابعی از متغیر وابسته که تغییرات متغیرهای مستقل را پیش‌بینی می‌کند، تعیین می‌شود. از رگرسیون برای رسیدن به دو هدف استفاده می‌شود: تعیین شکل ارتباط بین متغیرها و پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته از روی متغیر مستقل. پس از به دست آوردن رابطه خطی بین متغیرها فرض صفر مبنی بر عدم وجود رابطه خطی معنی‌دار بین زمان و پارامترهای هواشناسی بررسی می‌شود. در این مطالعه زمان متغیر مستقل و بارش متغیر وابسته است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). برای این منظور معنی‌داری شیب به دست آمده برای هر خط از نظر آماری با استفاده از آماره t آزمون می‌شود. سطح معنی‌داری در این پژوهش ۵٪ است.

نتایج و بحث

- آزمون من-کندال

نتایج بررسی روند داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه با روش من-کندال (مقادیر ضریب من-کندال و P-value) نشان می‌دهد بارش در ماه آبان در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد دارای روند صعودی است و بارش سایر ماه‌ها و فصل‌ها و همچنین بارش سالانه در این سطح اطمینان روند مشخصی ندارد. بارش ماه‌های آبان، خرداد و تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی و سایر دوره‌ها

- روش نوین Sen

در روش Sen (Sen، ۲۰۱۲) ابتدا سری زمانی موجود به دو دسته تقسیم می‌شود. برای این منظور باید تعداد داده‌ها در هر دو دسته مساوی و هم مقیاس باشد. اعداد هر کدام از سری‌های زمانی به صورت افزایشی مرتب می‌شود. سپس این دو سری در مقابل هم بر روی محور مختصات رسم می‌شوند. بهتر است سری اول زمانی بر روی محور افقی و سری دوم بر روی محور عمودی رسم شود. در مرحله بعد خط ۱:۱ رسم می‌شود، اگر نقاط در بالای خط قرار گیرند روند افزایشی، در زیر خط روند کاهشی و بر روی خط، داده‌ها بدون روند خواهند بود. علاوه بر این داده‌های توزیع شده در اطراف خط به سه دسته کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی می‌شود تا اطلاعات جزئی‌تری ارائه دهد. هر چه نقاط به خط نزدیکتر باشند مقدار روند (شیب) کوچکتر خواهد بود. در این روش محدودیتی برای داده‌ها با توزیع غیرنرمال، دوره زمانی کوتاه یا دارای همبستگی پایایی وجود ندارد. در مواردی که اندازه نمونه محدود است به این دلیل که هر جفت داده از دو نیمه سری داده‌ها تاثیر بر دیگر نقاط ندارد، روند مرتبط با همان جفت داده بررسی خواهد شد (Sen، ۲۰۱۲). همچنین برخلاف بعضی روش‌های مرسوم، به فرضیه‌های محدودکننده و همگن کردن داده‌ها نیز نیاز ندارد.

در این پژوهش سری زمانی بارش برای ۳۰ سال بررسی شد و به دو دسته ۱۵ ساله تقسیم و به ترتیب افزایشی مرتب شدند. اولین سری شامل سال‌های آبی ۶۵-۶۴ تا ۷۹-۷۸ (۱۵ سال اول دوره) بر روی محور افقی در مقابل مقادیر بارش در ۱۵ سال دوم شامل سال‌های ۸۰-۷۹ تا ۹۴-۹۳ دوره بر روی محور عمودی رسم شدند. مقادیر بارش به صورت ماهانه، فصلی و سالانه با تقسیم‌بندی به سه دسته مقادیر بارش کم، متوسط و زیاد بررسی شدند. این تقسیم‌بندی با استفاده از روش دسته‌بندی K-mean (MacQueen، ۱۹۶۷) انجام گرفت. شایان ذکر است که برای نخستین بار ترکیب دسته‌بندی داده‌ها با روش نوین Sen در این پژوهش مد نظر قرار گرفته شده است.

روند نزولی دارند (جدول ۱). آذرخشی و همکاران (۱۳۹۲) روند بارش را با استفاده از روش من-کندال برای ۲۴ ایستگاه سینوپتیک در نقاط مختلف ایران بررسی کردند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی در داده‌های بارش درازمدت وجود دارد که به طور کلی این روندها در بیشتر ایستگاه‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبودند. همچنین روند بارش فصل تابستان در ایستگاه مشهد مثبت و معنی‌دار بود. در این پژوهش نیز روند مثبت در بارش فصل تابستان مشاهده شده است که این موضوع تأییدکننده نتایج قبلی است.

- روش اسپیرمن

نتایج روندیابی داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه با روش اسپیرمن (مقادیر ضریب اسپیرمن و P-value) مشابه روش من-کندال می‌باشد و به جز در ماه آبان سایر دوره‌ها از روند معنی‌داری تبعیت نمی‌کنند. (جدول ۱).

- رگرسیون خطی

مقدار شیب، جذر میانگین مربعات^۲ و P-value محاسبه شده از برازش خط رگرسیونی بر داده‌های بارش ماهانه، فصلی و سالانه در جدول (۱) ارائه شده است. مشابه دو روش مذکور بارش در ماه آبان دارای روند صعودی معنی‌دار است. علاوه بر آن در روش رگرسیون (برخلاف دو روش قبلی) بارش در

فصل زمستان با روند نزولی معنی‌دار (در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) مشخص شده است. شایان ذکر است که باتوجه به اینکه کاهش بارش در فصل زمستان با روش‌های دیگر (جدول ۱) نیز با مقدار $P=0/06$ تحلیل شده است، می‌توان اظهار کرد مقدار بارش در فصل زمستان کاهش قابل توجه‌ای (معنی‌داری) داشته است. مشابه دو روش قبلی بارش ماه‌های آبان و تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی دارد، اما برخلاف روش‌های من-کندال و اسپیرمن روند نزولی ناچیزی در بارش خرداد ماه مشاهده شد (در دو روش یاد شده روند صعودی در خرداد ماه مشاهده شد). سایر دوره‌ها نیز مشابه دو روش قبل روند نزولی داشتند.

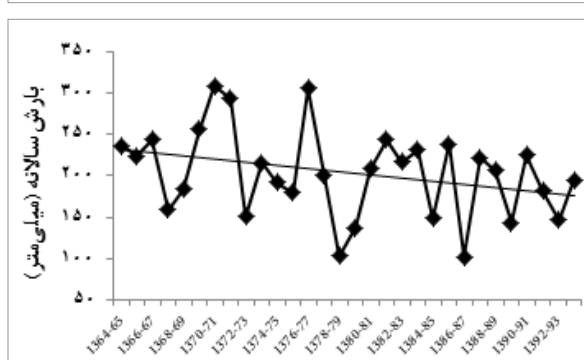
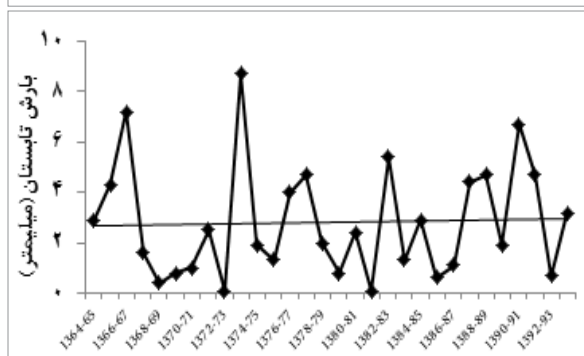
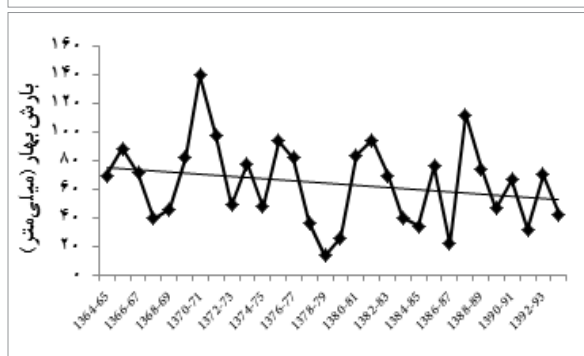
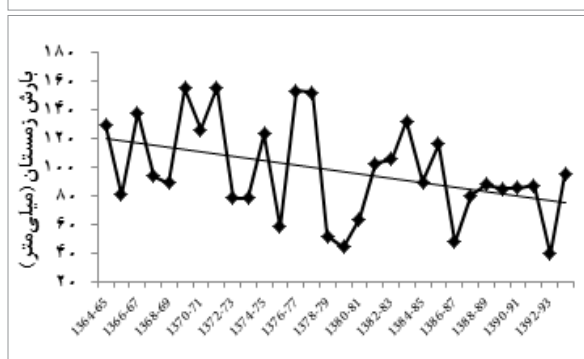
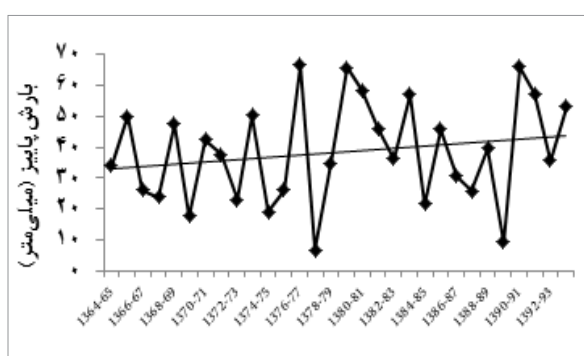
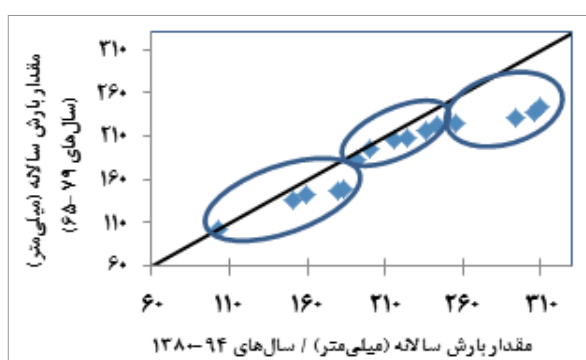
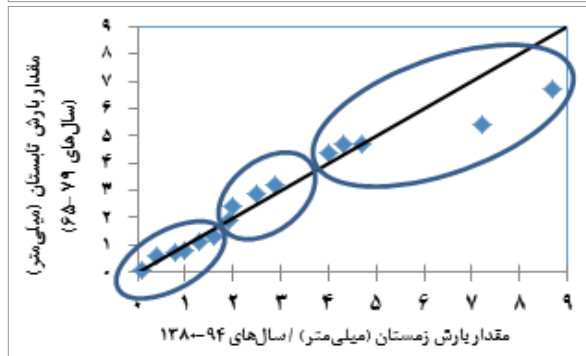
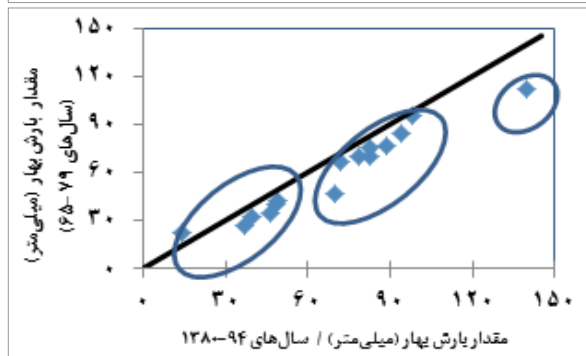
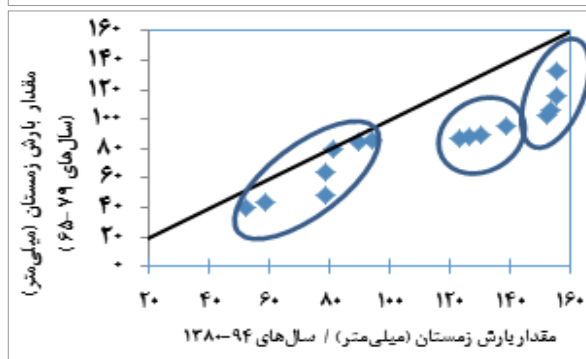
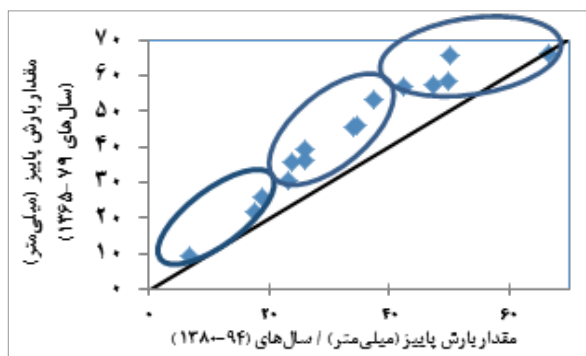
جدول ۱- خلاصه نتایج آزمون‌های من-کندال، اسپیرمن و رگرسیون

دوره بارش	روش من-کندال			روش اسپیرمن			روش رگرسیون		
	ضریب	P-value	روند	ضریب	P-value	روند	شیب	RMSE	P-value
مهر	-۴۹	۰/۳۹	ندارد	-۰/۱۷	۰/۳۵	ندارد	-۰/۰۱۶	۳/۲۵	۰/۸۲
آبان	۱۳۶	۰/۰۱۶	دارد(+)	۰/۴۷	۰/۰۰۹	دارد(+)	۰/۴۵۷	۸/۹۵	۰/۰۲
آذر	-۹	۰/۸۸	ندارد	-۰/۰۳	۰/۸۶	ندارد	-۰/۰۷۷	۱۳	۰/۷۸
پاییز	۴۶	۰/۴۲	ندارد	۰/۲	۰/۲۸	ندارد	۰/۳۶۲	۱۶/۶۴	۰/۳۱
دی	-۸۶	۰/۱۲	ندارد	-۰/۳	۰/۱۱	ندارد	-۰/۴۱۳	۱۱/۶۴	۰/۱
بهمن	-۶۵	۰/۲۵	ندارد	-۰/۲۳	۰/۲۲	ندارد	-۰/۵۰۴	۱۵/۹	۰/۱۴
اسفند	-۷۶	۰/۱۸	ندارد	-۰/۲۵	۰/۱۸	ندارد	-۰/۵۹۷	۱۹/۴۸	۰/۱۶
زمستان	-۱۰۶	۰/۰۶	ندارد	-۰/۳۵	۰/۰۶	ندارد	-۱/۵۱۴	۳۲	۰/۰۳
فروردین	-۸۲	۰/۱۵	ندارد	-۰/۳۱	۰/۱	ندارد	-۰/۴۸۳	۱۷/۵	۰/۲
اردیبهشت	-۲۹	۰/۶۲	ندارد	-۰/۰۸	۰/۶۶	ندارد	-۰/۲۲۴	۱۴/۵	۰/۴۷
خرداد	۵۶	۰/۹	ندارد	۰/۰۰۴	۰/۹۸	ندارد	-۰/۰۸۲	۶/۱۹	۰/۵۳
بهار	-۷۸	۰/۱۷	ندارد	-۰/۲۶	۰/۱۶	ندارد	-۰/۷۸۹	۲۸/۷	۰/۲
تیر	۱۴	۰/۸۱	ندارد	۰/۰۵	۰/۸	ندارد	۰/۰۳۲	۱/۴	۰/۲۹
مرداد	-۳۵	۰/۵۴	ندارد	-۰/۱۱	۰/۵۵	ندارد	-۰/۰۱	۰/۸۵	۰/۵۶
شهریور	-۴۱	۰/۴	ندارد	-۰/۱۲	۰/۵۲	ندارد	-۰/۰۱	۱/۴۶	۰/۷۲
تابستان	۳۱	۰/۴۷	ندارد	۰/۰۹	۰/۶۲	ندارد	۰/۰۱	۲/۲	۰/۸۳
سالانه	-۹۲	۰/۱	ندارد	-۰/۳۳	۰/۰۷	ندارد	-۱/۹۳	۵۱/۱	۰/۰۸

- روش نوین Sen

تحلیل تغییرات بارش به صورت ماهانه، فصلی و سالانه با روش Sen در جدول (۲) ارائه شده است. برای هر دوره مقادیر بارش در دسته‌های کم، متوسط و زیاد بر اساس روش دسته‌بندی K-mean قرار گرفته و روند کاهشی و افزایشی در این دسته‌ها نیز مشخص شده است. همچنین به صورت خلاصه تحلیل مربوط به این روندها در جدول مذکور ارائه شد. در این توضیحات مشخص شده که روند کاهشی و یا افزایشی با چه شیئی تغییر کرده است. شکل (۲) برای نمونه نتایج ترسیم داده‌های بارش را با روش Sen و

همچنین نحوه تغییرات در دوره زمانی ۳۰ ساله را همراه با خط رگرسیون برازش داده شده برای چند دوره منتخب نشان می‌دهد. در جایی که نقاط به خط یک به یک نزدیکتر هستند به معنی کمترین نوسان‌های بارش و هر چه از این خط دورتر شوند به معنی تغییرات شدیدتر می‌باشد. همچنین باتوجه به اینکه اعداد به صورت صعودی مرتب شده‌اند، نقاط زیر خط نشان‌دهنده کاهش بارش در ۱۵ سال دوم دوره (۷۹-۸۰ تا ۹۴-۹۳) نسبت به ۱۵ سال اول دوره (۶۵-۶۴ تا ۷۹-۷۸) می‌باشد و اگر بالای خط باشد نشان‌دهنده افزایش مقادیر بارش می‌باشد.



شکل ۲- نمایش روند تغییرات بارش به صورت رگرسیون خطی و روش نوین Sen برای دوره های فصلی و سالانه

بررسی نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تغییرات مربوط به داده‌های بارش فصل زمستان (روند کاهشی) و کمترین تغییرات مربوط به داده‌های بارش ماه مهر است. باتوجه به اینکه سهم بارش‌ها در فصل زمستان حدود ۴۸ درصد از بارش کل سال می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بارش‌ها در طی سال‌های اخیر کاهش یافته است. همچنین با مقایسه دو شکل رگرسیون و تحلیل Sen، مشاهده می‌شود که برخلاف خط رگرسیون که روند کلی تغییرات را نشان می‌دهد، روش Sen تغییرات دسته‌های کم، متوسط و زیاد را نیز ارائه می‌کند که می‌تواند در تصمیمات مرتبط با مدیریت منابع آب بسیار کارآمد باشد. باتوجه به اینکه به‌طور کلی در مناطق خشک بارش‌های با مقدار کم در بیشتر موارد منجر به رواناب زیادی نمی‌شوند و بارش‌های با مقدار زیاد رواناب قابل توجهی تولید می‌کنند، با استفاده از این روش می‌توان رابطه بارش-رواناب را بهتر تحلیل کرد. همچنین برای گونه کاهش بارش‌ها در دامنه مقادیر زیاد می‌تواند تأثیر

(کاهش) قابل توجهی در میزان آب ذخیره شده در پشت سدها داشته باشد.

شایان ذکر است که روش Sen می‌تواند تحلیل گرافیکی کاملی از تغییرات را بیان کند، اما تئوری مشخصی برای کمی کردن تغییرات ندارد. بر این اساس در این مطالعه برای نخستین بار (برای کمی کردن نتایج این روش) مقایسه میانگین داده‌های بارش با استفاده از آزمون t در دو دوره زمانی ۱۵ ساله (بررسی در تحلیل Sen) انجام شده است و نتایج در جدول (۲) خلاصه شده است. نتایج این بخش نشان داد که فقط مقدار بارش در فصل زمستان با روند نزولی معنی‌دار وجود دارد که در سایر روش‌ها نیز این نتیجه به‌دست آمده است. به‌طور کلی روندهای صعودی و نزولی به‌دست آمده از این روش با روش‌های دیگر مطابقت دارد. این موضوع نشان می‌دهد که روش‌های متداول می‌توانند کلیات روند را پیش‌بینی نمایند، ولی برای رسیدن به جزئیات تغییر داده‌ها استفاده از روش نوین Sen بسیار کارآمد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای بررسی روند بارش به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در ۳۰ سال اخیر (۹۴-۶۴) از روش‌های من-کندال، اسپیرمن، رگرسیون و روش نوین Sen استفاده شده است. نتایج براساس روش‌های متداول نشان داد که میزان بارش در ماه‌های آبان، خرداد، تیر و همچنین بارش فصل‌های پاییز و تابستان روند صعودی و در سایر دوره‌ها روند نزولی داشتند. در ادامه برای درک بهتری از روند بارش از روش Sen استفاده شد. در این روش، مقادیر بارش در سه دسته کم، متوسط و زیاد بررسی شدند. روش‌های مرسوم روند کلی تغییرات را نشان می‌دهد، اما روش Sen روند تغییرات در هر دسته را ارائه می‌کند. به‌طور کلی بیشترین مقدار تغییرات مربوط به داده‌های بارش فصل زمستان و کمترین تغییرات مربوط به داده‌های بارش ماه مهر می‌باشد.

به‌طور کلی بارش‌ها در دوره‌های زمانی که بررسی شد به‌صورت محسوس در دسته زیاد، دارای شیب تغییرات بیشتری بودند. باتوجه به این که در مناطق خشک این‌گونه بارش‌ها سهم قابل توجهی در تولید رواناب دارند و بیشتر آن‌ها روند کاهشی داشته‌اند، می‌توان کم شدن مقدار جریان

آب‌های سطحی طی سال‌های اخیر را به راحتی تفسیر نمود. شایان ذکر است که در این پژوهش برای نخستین بار روش Sen به‌صورت کمی و آماری نیز بررسی شد که عدم وجود روند معنی‌دار در مقادیر بارش در همه دوره‌ها به جز در فصل زمستان مشاهده شد. همچنین در مطالعات پیشین دسته‌بندی مقادیر کم، متوسط و زیاد از منظر کمی انجام شده است درحالی‌که در این مطالعه این دسته‌بندی با کمک روش‌های آماری انجام شده است.

سپاسگزاری

به این وسیله از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، دفتر مطالعات پایه منابع آب، برای تأمین داده‌ها و اطلاعات لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت

- 1- Mann-Kendall
- 2- Spearman
- 4- Root-Mean-Square Error (RMSE)

جدول ۲- خلاصه نتایج روش نوین Sen برای مقادیر بارش کم، متوسط و زیاد

دوره بارش	بارش کم*	بارش متوسط*	بارش زیاد*	t	P-value	تحلیل
مهر	-۱	-۱	۱	۰/۲۲	۰/۸۲	روند بارش در دسته مقادیرهای زیاد دارای شیب تند افزایشی است و در دو دسته دیگر با شیب ملایم تری کاهش یافته است.
آبان	۱	۱	۰	-۱/۸۸	۰/۰۷	بارش‌ها با شیب بسیار تندی در دسته‌های کم و متوسط مشاهده شد و این تغییرات برای بارش‌های دسته زیاد محسوس نبود.
آذر	-۱	۱	۱	-۰/۷۳	۰/۵۰	بارش‌ها در دسته‌های متوسط و زیاد با شیب ملایمی افزایش و در دسته کم کاهش یافته‌اند.
پاییز	۱	۱	۱	-۱/۶۱	۰/۱۲	بارش‌های فصل پاییز در هر سه دسته افزایش یافتند و شیب تغییرات در دسته‌های بارش متوسط محسوس بود.
دی	-۱	-۱	-۱	۰/۸۹	۰/۳۸	دسته‌های بارش در این ماه کاملاً از هم متمایز هستند همه دارای شیب کاهشی تندی می‌باشند.
بهمن	-۱	-۱	-۱	۱/۷۸	۰/۰۹	در این ماه در هر سه دسته بارش‌ها کاهش یافته که در دسته بارش‌های زیاد این تغییرات با شیب تندتری صورت گرفته است.
اسفند	-۱	-۱	-۱	۱/۸۲	۰/۰۸	مشابه بهمن ماه.
زمستان	-۱	-۱	-۱	۲/۲۹	۰/۰۳**	باتوجه به اینکه در هر سه ماه زمستان بارش‌ها کاهش یافته، روند کاهشی محسوسی در مجموع بارش‌های این فصل در هر سه دسته مشاهده می‌شود.
فروردین	-۱	-۱	۱	۰/۴۴	۰/۶۶	بارش دسته‌های کم و متوسط با شیب کمی کاهش یافته و بارش‌های دسته زیاد نیز افزایشی با شیب ملایم داشته است.
اردیبهشت	۰	-۱	-۱	۰/۸۹	۰/۳۸	بارش دسته‌های کم تغییر محسوسی نداشته درحالی که در دسته‌های متوسط و زیاد کاهش با شیب کم اتفاق افتاده است.
خرداد	۱	-۱	-۱	۰/۹۵	۰/۳۵	بارش در دسته‌های متوسط و زیاد کاهش شدیدی داشته و در دسته‌های کم تغییرات آن افزایشی و با شیب کم بوده است.
بهار	-۱	-۱	-۱	۰/۹۱	۰/۳۷	بارش‌ها در هر سه دسته شیب کاهشی ملایمی داشتند.
تیر	۰	۱	۱	۱	۰/۳۱	مقادیرهای کم بارش بدون روند و مقادیرهای متوسط و زیاد روند افزایشی با شیب تند داشتند.
مرداد	۱	-۱	۰	۰/۹	۰/۳۸	در این ماه مقادیرها در دسته کم و زیاد دارای تغییر زیادی نبودند، ولی در دسته کم مقدار بارش با شیب زیادی کاهش یافته است.
شهریور	-۱	-۱	-۱	۰/۸۳	۰/۴۱	در شهریور در هر سه دسته شاهد کاهش باران به‌ویژه در دسته بارش زیاد هستیم.
تابستان	۰	۱	-۱	۰/۲	۰/۸۴	در این فصل پراکندگی بارش‌ها به دلیل کم بودن مقدار بارش مشاهده می‌شود و به‌طور کلی در دسته مقدار کم، تغییر کم و در دسته متوسط و زیاد افزایش بارش‌ها مشاهده شد.
سالانه	-۱	-۱	-۱	-۱/۴۱	۰/۱۷	در مجموع سالانه روند کاهش بارش در دسته‌های کم و متوسط دارای شیب ملایم و مقادیرهای زیاد دارای شیب کاهشی محسوسی است.

*۱: روند صعودی، ۱-: روند نزولی، ۰: بدون روند

** دارای روند معنی‌دار

- investigations of the United States Geological Survey. Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. chapter A3, U.S. Geological Survey, 522 pages.
<https://www.razavimet.ir>
- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Charless Griffin, London.
- Kisi O. and Ay M. 2014. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. J. Hydrol, 513: 362-375.
- Kisi O. 2015. An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. J. Hydrol, 527: 1123-1129.
- MacQueen J.B. 1967. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability Berkeley, University of California Press, 1: 281-297.
- Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica, 13: 245-259.
- Nazemosadat M.J. and Cordery I. 2000. On the relationships between Enso and winter rainfall in Iran. 26th National and 3rd International Hydrology and Water Resources Symposium, Inst. Engs., Australia, 20-23 November, Perth.
- Sen Z. 2012. Innovative trend analysis methodology. J. Hydrol. Eng, 17(9): 1042-1046.
- Sen Z. 2015. Innovative trend significance test and applications. Theor. Appl. Climatol, 127(3-4): 939-947.
- Sen Z. 2016. Hydrological trend analysis with innovative and over-whitening procedures. Hydrological Sciences Journal, 62(2): 294-305
- Sonali P. and Kumar D.N. 2013. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. J. Hydrol., 476:212-227.
- Sun C.C., Shen Z.Y., Xiong M., Ma F.B., Li Y.Y., Chen L. and Liu R.M. 2013. Trend of dissolved inorganic nitrogen at stations downstream from the Three-Gorges Dam of Yangtze River. Environ. Pollut, 180: 13-18.
- Tabari H., Marofi S. and Ahmadi M. 2011. Long-term variations of water quality parameters in آذرخشی، م.، فرزاد مهر، ج.، اصلاح، م. و صحابی، ح. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. نشریه منابع طبیعی ایران، ۱۶-۱: ۶۶-۱۶.
- عرفانیان، م.، انصاری، ح.، علیزاده، ا. و بنایان، م. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸(۶): ۸۱۷-۸۲۵.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). چاپ ۳۱. مشهد.
- Burn D.H., Mansour R., Zhang K. and Whitfield P. H. 2011. Trends and variability in extreme rainfall events in British Columbia. Canadian Water Resources Journal, 36(1): 67-82.
- Corder G.W. and Foreman D.I. 2014. Nonparametric statistics: A step-by-step approach. John Wiley & Sons. Second edition. New Jersey.
- Douglas E.M. and Fairbank C.A. 2010. Is precipitation in northern New England becoming more extreme? Statistical analysis of extreme rainfall in Massachusetts, New Hampshire, and Maine and updated estimates of the 100-year storm. J. Hydrol. Eng, 16(3): 203-217.
- Elouissi A., Sen Z. and Habi M. 2016. Algerian rainfall innovative trend analysis and its implications to Macta watershed. Arabian J. Geosci, 9(4): 1-12.
- Fujibe F., Yamazaki N., Katsuyama M. and Kobayashi K. 2005. The increasing trend of intense precipitation in Japan based on four-hourly data for a hundred years. Sola, 1: 41-44.
- Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C. and Razuvaev V.N. 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. J. Clim, 18(9): 1326-1350.
- Haktanir T. and Citakoglu H. 2014. Trend, independence, stationarity, and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey. Journal of Hydrologic Engineering, 19(9): 05014009.
- Helsel D.R. and Hirsch R.M. 2002. Statistical methods in water resources. Techniques of water-resources

- Wang Y. and Zhou L. 2005. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961–2001 and the associated changes in large-scale circulation. *Geophysical Research Letters*, 32(17): L09707.
- Widmann M. and Schär C. 1997. A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. *Int. J. Climatol*, 17(12): 1333-1356.
- WMO. 1998. El-nino and the clips project. *World Climate News*, No 13, Jun, WMO, Switzerland.
- Wu C.L., Chau K.W. and Li Y.S. 2009. Predicting monthly streamflow using data-driven models coupled with data-preprocessing techniques. *Water Resources Research*, 45(8): W08432.
- Wu H. and Qian H. 2016. Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China.
- the Maroon River, Iran. *Environ. Monit. Assess*, 177(1-4): 273-287.
- Tabari H. and Willems P. 2015. Investigation of stream flow variation using an innovative trend analysis approach in north- west Iran. *E-proceedings of the 36th IAHR World Congress*.
- Taormina R., Chau K.W. and Sethi R. 2012. Artificial neural network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon. *Eng. Appl. Artif. Intell*, 25(8): 1670-1676.
- Timbadiya P.V., Mirajkar A.B., Patel P.L. and Porey P.D. 2013. Identification of trend and probability distribution for time series of annual peak flow in Tapi Basin, India. *ISH J. Hydraul. Eng*, 19(1): 11-20.
- Turkes M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *Int. J. Climatol*, 16(9): 1057-1076.

Investigating the Use of Urban Rain-fall for Green Space Usage using Civil Storm Software (Case Study: Southern Part of Mashhad City)

M. Zebardast^{*}, A. Roshani^{2*}

1,2- MSc in Civil Engineering and Hydraulic Structures & Assistant Professor of Water Engineering, Islamic Azad University of Torbatheydarieh, Torbatheydarieh, Iran.

*(Corresponding Author Email: ar.roshani3380@gmail.com)

Received: 23-11-2018

Accepted: 03-03-2019

بررسی امکان استفاده از بارش‌های شهری جهت استفاده در مصارف فضای سبز با استفاده از نرم‌افزار Civil Storm (مطالعه موردی بخش جنوب شهر مشهد)

مجتبی زبردست^۱، علیرضا روشنی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب کارشناس ارشد گروه عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت حیدریه.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: ar.roshani3380@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

Abstract

One of the main problems in industrial and urban areas is the runoff caused by rainfall and consequently the flood formation in these areas. Two important things in this regard are: i) rainfalls form urban floods, considering the recent droughts, this could be the main water resources for green spaces in urban areas, ii) the major amount of rainfalls become to flood due to the lack of synchronisation with irrigation demand or storage. The aim of this study is to determine the capacity of using rainfall in urban areas for usage in the development of urban green spaces. The runoff volume and runoff hydrograph are calculated using Civil Storm software. Based on the results, a suitable model for calculating the flood volume, as well as economic solutions to build runoff collecting structures are obtained. Civil Storm, Google Earth, Global Mapper, and AutoCad softwares were also used to map channels, nodes, routes, basins, and suburban basins and finally by adding the soil permeability coefficient and rainfall probability, the basin was simulated. The results confirm the ability of Storm Civil software to simulate the surface runoff and design the runoff collection systems. The comparison of the amount of runoff with a return period of 25 years, equal to 269337 m³, with the total volume of water requirement in district 9, equal to 2189849 m³, indicates that the study area, which is approximately one third of the area of district 9, can provide approximately 12.3% of the water requirement of the region.

Keywords: Urban flood, Determination of drainage network efficiency, Urban water resources management, Urban green space development.

چکیده

رواناب ناشی از بارندگی در جوامع و مراکز صنعتی و شهری ایجاد آب‌گرفتگی و وقوع سیلاب را به همراه دارد که از مشکلات عمده این مناطق می‌باشد. دراین خصوص دو نکته حائز اهمیت است: ۱- بارش‌ها در شرایط کنونی سیلاب‌های شهری را ایجاد می‌کند و از طرفی با وجود خشکسالی‌های اخیر می‌تواند تأمین‌کننده منابع آبی برای فضای سبز در مناطق شهری باشد. ۲- بخش عمده بارش‌های جوی به دلیل عدم هم‌زمانی با نیاز آبیاری و یا عدم ذخیره‌سازی از دسترس خارج شده و سبب جاری شدن سیل و ایجاد خسارت می‌شود. در این تحقیق تعیین ظرفیت استفاده از بارش باران در سطح مناطق شهری جهت استفاده در توسعه فضای سبز شهری بررسی شد و جهت محاسبه حجم رواناب و هیدروگراف سیلاب از نرم‌افزار Civil Storm استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار مدل مناسبی جهت برآورد حجم سیلاب و راهکاری اقتصادی جهت احداث ابنیه جمع‌آوری رواناب‌های سطحی به دست آمد. همچنین از نرم‌افزارهای Civil Storm، Google Earth، Global Mapper و AutoCad جهت ترسیم کانال‌ها، گره‌ها، مسیرهای ارتباطی، حوضه و زیرحوضه‌های شهری و خارج شهری استفاده شد و با اضافه کردن ضریب نفوذپذیری خاک و بارش محتمل، شبیه‌سازی حوضه تکمیل شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد قابلیت شبیه‌سازی حوضه جهت بررسی جریان رواناب سطحی و امکان طراحی شبکه جمع‌آوری رواناب و تأسیسات مورد نیاز با نرم‌افزار Civil Storm امکان‌پذیر می‌باشد. در نهایت حجم رواناب با دوره بازگشت ۲۵ سال (۲۶۹۳۳۷ مترمکعب) با حجم کل نیاز آبی منطقه ۹ (۲۱۸۹۸۴۹ مترمکعب) مقایسه شد و مشخص شد محدوده مورد مطالعه (شامل حدود یک سوم مساحت منطقه ۹) می‌تواند حدود ۱۲/۳ درصد نیاز آبی منطقه را تأمین کند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب‌های شهری، تعیین کارایی شبکه زهکش، مدیریت منابع آب شهری، توسعه فضای سبز.

طراحی زهکش اصلی شهری شامل فرایندی پیچیده است. این امر از جهات مختلفی چون تعیین منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش‌های منطقه، انتخاب دوره بازگشت مناسب طراحی، انتخاب زمان بارش و انتخاب مدل مناسب بارش-رواناب می‌تواند بررسی شود. مدل بارش-رواناب فرآیندهای پیچیده هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را شبیه‌سازی می‌کند و ساختار مفهومی و ریاضی پیچیده‌ای دارد و به کمیت درآوردن آن‌ها نیاز به تخمین پارامترهای فیزیکی متعددی دارد (نصری و همکاران، ۱۳۹۵ ب).

اهمیت جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی به‌عنوان یک ضرورت در توسعه شهری مطرح است و یکی از شاخص‌های توسعه شهری کارایی سیستم‌های جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی می‌باشد. جمع‌آوری رواناب در محل مناسب نه تنها باعث کاهش پیک در هیدروگراف سیل می‌شود بلکه استفاده مجدد از سیلاب را ممکن می‌سازد. موارد کاربرد حوضچه‌های ذخیره شامل کنترل سیلاب، ذخیره‌سازی رواناب، کاربردهای تفریحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، مصارف آتش‌نشانی و استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده کارخانه‌ها می‌باشد. نگرش حاکم در زمینه کنترل رواناب در کشور ما مبتنی بر دفع و انتقال سریع سیلاب به فواصل دور از شهر است و مدیریت بهینه منابع آب ناشی از نزولات بارش‌های آسمانی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. به‌علت عدم طراحی مطلوب، توسعه شهری و مسائل بهره‌برداری و نگهداری مناسب، با کمترین مقدار بارش، شبکه اشباع می‌شود و در خیابان‌ها و معابر آب گرفتگی به وجود می‌آید. بنابراین نیاز است از تکنیک‌ها و سیستم‌های جدید مدیریتی و اجرایی در این خصوص مانند حوضچه‌های ذخیره، سنگفرش‌های نفوذ پذیر، ترانسه‌ها و باکس‌های نفوذ و سایر روش‌ها استفاده شود (نصری و همکاران، ۱۳۹۵ الف).

عابدی کوپایی و هاشمی (۱۳۹۵) به‌منظور برآورد رواناب شهری جهت استفاده در فضای سبز شهر نجف آباد نشان دادند چنانچه بخشی از بارش‌های جوی استحصال و ذخیره شود بخشی از آب مورد نیاز فضای سبز شهری تأمین خواهد شد. همچنین آن‌ها بیان کردند از این طریق می‌توان آب‌های با کیفیت مطلوب که صرف آبیاری فضای سبز می‌شود را به مصرف شرب و بهداشت اختصاص داد و فشار برداشت از منابع را جهت استفاده این بخش کاهش داد. آن‌ها از نرم‌افزار Storm Civil جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب استفاده کردند و نیاز آبی فضای سبز شهری نجف آباد را حدود ۲۲/۴ درصد از پتانسیل تولید رواناب شهری در منطقه برآورد کردند. بنابراین با اتخاذ تدابیر لازم از جمله شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت رواناب و همچنین مخازن ذخیره در ابعاد مناسب می‌توان رواناب تولیدی بر اثر نزولات جوی در سطح شهر را ذخیره و در آبیاری فضای سبز استفاده کرد.

سلسله چالش‌ها و مشکلات ناشی از کمبود آب و استفاده نادرست از منابع آب در ایران عوامل بروز بحران آب در این کشور است. خشکسالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش‌ازحد آب‌های سطحی و زیرزمینی از طریق شبکه بزرگی از زیرساخت‌های هیدرولیکی و چاه‌های عمیق وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده است. از نشانه‌های این وضعیت خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب کیفیت آب، فرسایش خاک، بیابان‌زایی و طوفان‌های گرد و غبار است.

ایران کشوری با اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. بحران آب در ایران تحت تأثیر سه عامل عمده رشد سریع و الگوی نامناسب استقرار جمعیت، کشاورزی ناکارآمد و سو مدیریت و عطش توسعه می‌باشد. از طرفی رشد جمعیت، توسعه شهری و صنعتی شدن جوامع تأثیرات نامطلوبی در هیدرولوژی حوضه آبریز می‌گذارد و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی در قسمت پایاب، کاهش جریان‌های پایه و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شود (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵). سطوح روکش شده شهر، بام ساختمان‌ها و سطوح خیابان‌ها و پارکینگ‌ها مانع از نفوذ آب باران به داخل خاک و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌شوند و بخش زیادی از بارندگی را به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌کند (اصغری مقدم، ۱۳۸۴).

انسان‌ها با تغییر کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز، روی آوردن به شهرنشینی، احداث سدها و ذخایر آب، ساخت دیواره ساحلی رودخانه، مستقیم‌سازی کانال‌ها و تغییر اقلیم بر مورفولوژی و جریان رودخانه‌ها تأثیر می‌گذارند (Overeem و همکاران، ۲۰۱۳). دفع مستقیم رواناب‌های شهری به منابع آبی پذیرنده آلودگی شدید منابع آبی و محیط‌زیست را به همراه دارد. نفوذ دادن رواناب‌های آلوده شهرها در خاک ممکن است باعث آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی شود و خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد (Huber و Bedient، ۱۹۹۴). بیشتر آلودگی رواناب‌ها طی یک واقعه بارش رخ می‌دهد. شناخت یک منطقه در برابر هر بارش می‌تواند به تخمین دقیق میزان آلودگی در اثر رواناب‌های شهری کمک کند (Aryal و همکاران، ۲۰۰۹). بهینه‌سازی بهره‌برداری از ریزش‌های جوی یکی از راهکارهای اجرایی مدیریت و بهره‌برداری از آب قابل دسترس به‌ویژه برای مقابله با کم‌آبی است. جمع‌آوری آب باران به‌معنی جمع‌آوری و ذخیره رواناب‌ها از سطح بام‌ها، زمین‌ها و آب‌های فصلی و استفاده از آن برای آبیاری سالانه محصولات، مراتع و درختان، مصارف خانگی و دام و تغذیه آب زیرزمینی می‌باشد (Tuinhof و همکاران، ۲۰۱۲).

نفوذپذیری حوضه از شرکت‌های مشاور فعال در بخش مدیریت منابع آب شهری و جداول نیاز آبی فضای سبز از شهرداری منطقه ۹ شهر مشهد جمع‌آوری و اطلاعات مربوط به ابعاد کانال‌ها باتوجه به مشاهدات میدانی و برداشت‌های نقشه برداری صحت‌سنجی و در صورت لزوم اصلاح شد. سپس محاسبات انجام شده و با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCad، CivilStorm، Global Mapper و Google Earth شبیه‌سازی حوضه انجام شد. در شکل (۱) مراحل ذکر شده ارائه شده است.

• مراحل انجام تحقیق

برای محاسبه میزان رواناب سطحی اطلاعات مورد نیاز مانند نقشه‌های توپوگرافی منطقه از سازمان نقشه‌برداری خراسان رضوی، مشخصات شبکه آبراهه طبیعی و شبکه کانال‌های جمع‌آوری آب سطحی از شهرداری مشهد، آمار بارش حوضه از سازمان هواشناسی استان، اطلاعات شدت-مدت-فراوانی بارش حوضه و ظرفیت



شکل ۱- فلوچارت مراحل انجام تحقیق

امکان سناریوسازی‌های مختلف را در تحلیل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی فراهم آورده است.

• منطقه مورد مطالعه

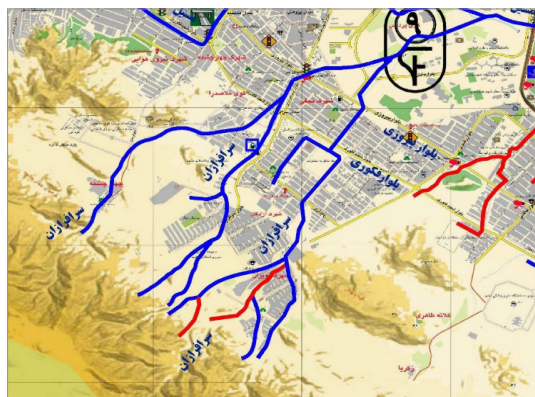
شهر مشهد با ۳۵۱ کیلومتر مربع مساحت و با بیشینه ارتفاع ۱۱۵۰ متر و کمینه ۹۵۰ متر است (آمارنامه شهر مشهد ۱۳۹۴ بازبینی شده در ۲۶ مهر ۱۳۹۶). این پژوهش در محدوده جنوب غربی شهر مشهد حداقل بلوار هاشمیه، بلوار وکیل آباد، بلوار دلاوران و کوه‌های چهارچشمه واقع شده و از لحاظ موقعیت شهرداری قسمتی از منطقه ۹ شهرداری مشهد است (شکل‌های ۲ و ۳).

علت اصلی انتخاب این محدوده مطالعاتی موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی حوضه، وجود شبکه آبراهه‌ای مناسب از لحاظ رده‌بندی آبراهه‌ها، وجود سرشاخه‌هایی که از کوه‌های جنوبی حوضه سرچشمه گرفته است و وجود پارک‌ها و فضاهای سبز متعدد است.

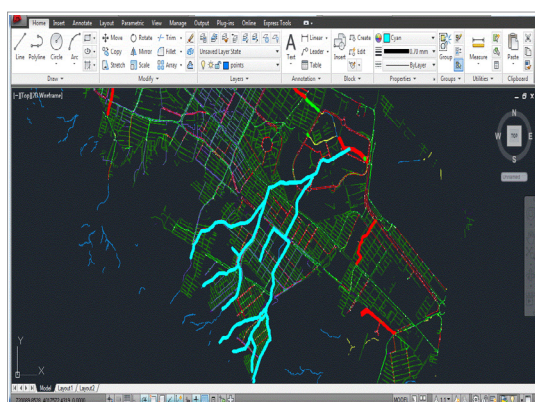
• نرم‌افزار Civil Storm

نرم‌افزار Civil Storm کل سیستم آب حاصل از رگبار را در یک مدل به صورت قابل فهم و با مقیاس مناسب شبیه‌سازی می‌نماید. موتور مدل‌سازی دینامیکی آب حاصل از رگبار و هیدروگراف‌های رواناب را محاسبه نموده و عکس‌العمل هیدرولیکی درون سیستم‌های داخلی شامل ورودی‌ها، لوله‌ها، آبراهه‌ها، کالورت‌ها و تالاب‌ها را تحلیل می‌نماید. همچنین این امکان را فراهم می‌آورد مشکلات ناشی از طراحی و رواناب را در قالب جداول پروفیل‌هایی نمایش دهد (نصری و همکاران، ۱۳۹۳).

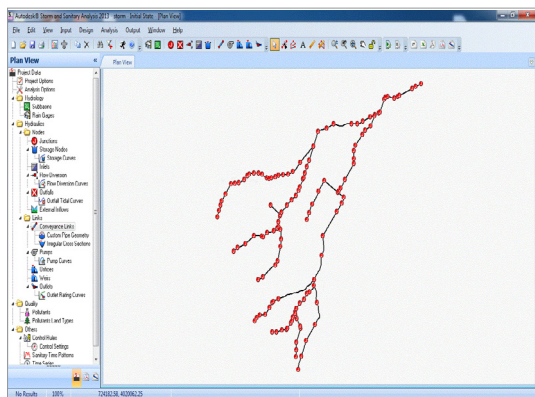
باتوجه به دقت بالای محاسبات، در دسترس بودن نرم‌افزار جهت نصب، نوار ابزار قوی و به‌روز بودن آن به سرعت در جهان مورد استقبال مشاوران و پژوهشگران در مسائل آبی قرار گرفته است. این نرم‌افزار توانمند توانایی انجام محاسبات و پردازش‌های مختلف بر روی سیلاب را دارد. همچنین امکان استفاده از این نرم‌افزار در تحلیل شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی وجود دارد. این نرم‌افزار بر مبنای مختصات مکانی



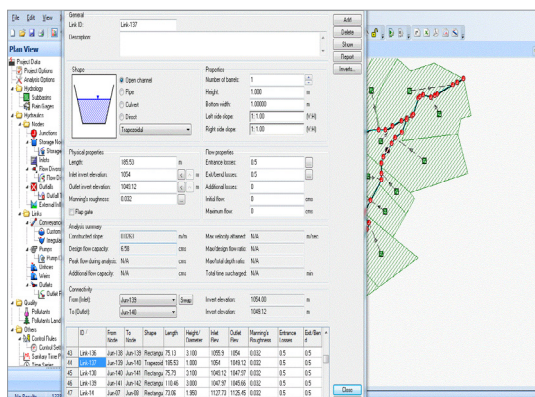
شکل ۴- طرح کانال‌های جمع‌آوری رواناب سطحی



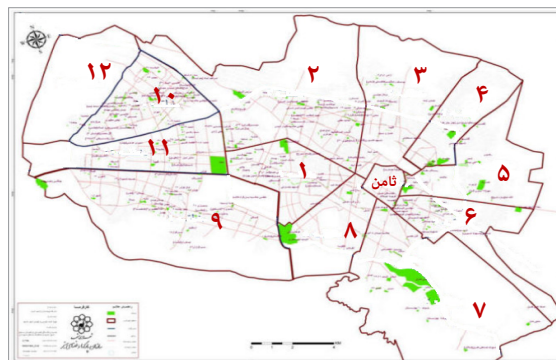
شکل ۵- کانال‌های جمع‌آوری (نرم افزار AutoCad)



شکل ۶- کانال‌های جمع‌آوری (نرم افزار Storm)



شکل ۷- مشخصات کانال‌ها (نرم افزار Storm)



شکل ۲- مناطق شهرداری شهر مشهد مقدس



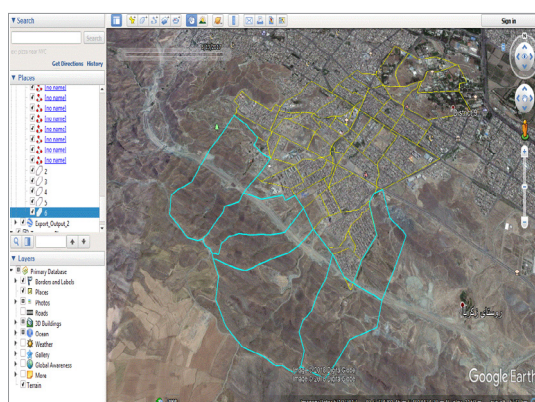
شکل ۳- نقشه منطقه مورد مطالعه (منطقه ۹ مشهد)

• شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار Civil Storm

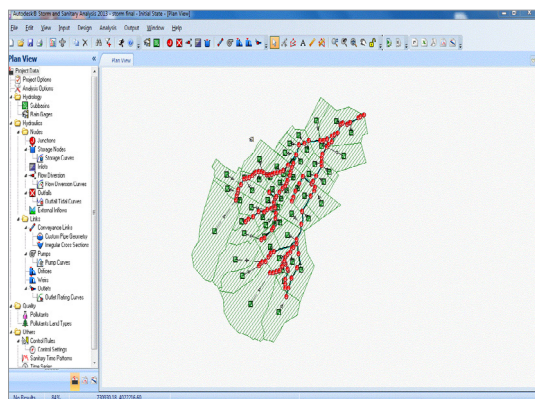
پس از انتخاب منطقه مورد نظر جمع‌آوری اطلاعات مربوط به کانال‌های اصلی، فرعی و شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی حوضه انجام شد. در شکل (۴) طرح کلی کانال‌های این منطقه نشان داده شده است. موقعیت مکانی، مختصات و ارتفاع سطح و کف کانال‌ها از نقشه‌ها و جداول شهرداری‌ها جمع‌آوری شد که به‌علت کسری اطلاعات و ایرادات موجود در برداشت‌های نقشه‌برداری، با انجام مشاهدات میدانی و برداشت‌های مجدد ابعاد و تراز ارتفاعی کانال‌های منطقه اصلاح و امکان استفاده از داده‌ها فراهم شد. نقشه دقیق کانال‌های شهری باتوجه‌به داده‌های جمع‌آوری شده ترسیم شد و نقاط گره‌ها و نقاط بحرانی در نرم‌افزار AutoCad مشخص شد (شکل ۵).

نقشه کانال‌های شهری را وارد نرم‌افزار Civil Storm کرده و محل تقاطع کانال‌ها یا گره‌ها^۱ روی مسیر ترسیم شد (شکل ۶). سپس مشخصات کانال در محل گره‌ها شامل موقعیت مکانی، ابعاد، ارتفاع کف و سطح و حداقل تراز جریان عبوری از کانال وارد نرم‌افزار شده و کلیه مسیرهای ارتباطی^۲ ترسیم شده است. باتوجه‌به اطلاعات کانال‌ها از جمله نوع آن‌ها (مستطیلی باز، دوزنقه‌ای، کالورت، لوله‌ای و ...)، ارتفاع و عرض، مشخصات مسیرهای ارتباطی وارد نرم‌افزار شد (شکل ۷).

شهر موجود نیست جهت حوضه‌بندی این مناطق از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد و با استفاده از توپوگرافی منطقه زیرحوضه‌ها تعیین شد (شکل ۱۰). باتوجه به عوارض طبیعی منطقه خارج از شهر (امتداد کوه‌های چهارچشمه تا انتهای بلوار سرفرازان) به ۶ بخش تقسیم شد. با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، Shape فایل حوضه استخراج شد و در نرم‌افزار Civil Storm فراخوانی و زیرحوضه‌های خارج شهر به شبکه انتقال رواناب متصل شد. سپس شبکه آبراهه‌ها و زیرحوضه‌های شهری و خارج از شهر در محدوده مطالعه شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است با اضافه کردن بارش و ضریب نفوذپذیری منطقه امکان اجرا نرم‌افزار فراهم می‌شود. شکل (۱۱) نقشه تکمیل شده شبیه‌سازی حوضه مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- زیرحوضه‌ها خارج شهری (نرم‌افزار Google Earth)

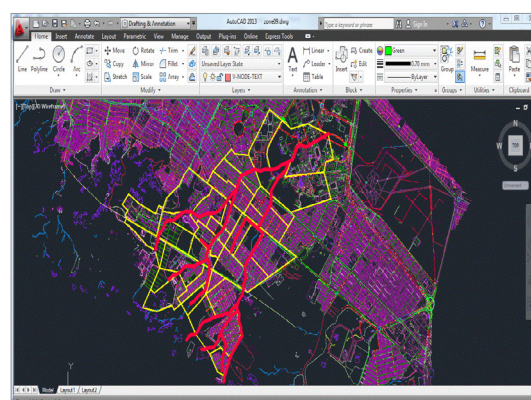


شکل ۱۱- زیرحوضه‌ها شهری و خارج شهری (Storm)

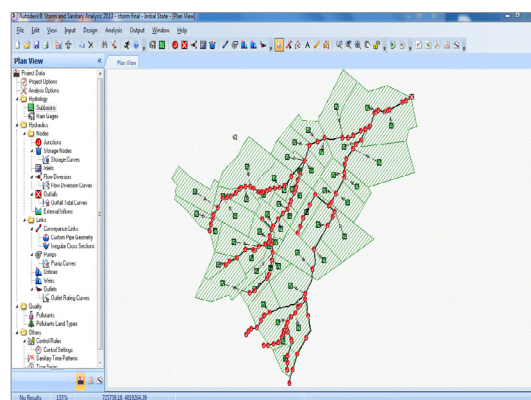
• نفوذپذیری حوضه^۴

یکی از عوامل اصلی کاهش رواناب سطحی نفوذپذیری حوضه می‌باشد و در مناطق غیر شهری باتوجه به پوشش گیاهی حوضه و جداول موجود پیش‌بینی می‌شود. در این تحقیق باتوجه به پوشش منطقه (مراتع طبیعی با پوشش ضعیف و با نفوذپذیری کم) و جداول مربوطه میزان نفوذپذیری حوضه خارج از شهر ۶۸ در نظر گرفته شد (علیزاده، ۱۳۷۷).

با وارد کردن داده‌های مذکور، نرم‌افزار Civil Storm قادر خواهد بود طول کانال‌ها، شیب آن‌ها و کلیه مشخصات شبکه آبراهه را پردازش کند. در این حوضه حدود ۱۴۰ عدد گره و مسیر ارتباطی مربوطه ترسیم شده است. در مرحله بعد حوضه و زیرحوضه‌های شهری ترسیم شد. باتوجه به نقشه شهر مشهد و شیب خیابان‌های اصلی و فرعی، جوی‌های فرعی و اصلی معابر، محل اتصال جوی‌ها و کانال‌های فرعی به کانال اصلی شبکه آبراهه‌ها، موقعیت ساختمان‌ها و عوارض شهری زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار AutoCad ترسیم شد. در شکل (۸) نقشه تکمیل شده زیرحوضه‌های شهری ارائه شده است. نقشه ترسیم شده توسط Global Mapper به Shape فایل تبدیل و در نرم‌افزار Civil Storm فراخوانی شد. حوضه شهری این تحقیق از ۵۲ زیرحوضه^۳ تشکیل شده است. جهت محاسبه حجم رواناب بر روی هر زیرحوضه باید نقطه خروجی رواناب آن زیرحوضه مشخص شود. باتوجه به توپوگرافی منطقه نیاز است هر زیرحوضه به یک گره در مسیر کانال‌های اصلی متصل شود. اتصال زیرحوضه‌ها به شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۸- ترسیم زیر حوضه‌ها (نرم افزار AutoCad)

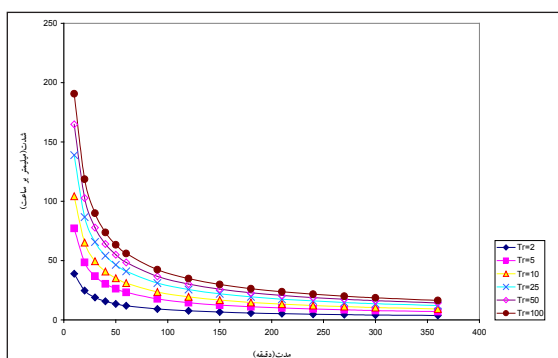


شکل ۹- زیرحوضه‌ها و کانال‌ها (نرم‌افزار Storm)

باتوجه به اینکه اطلاعات کانال‌های طبیعی و عوارض خارج

جدول ۱- حداکثر شدت بارش با استفاده از معادلات منطقه‌ای وزیری ۱۳۷۱ (ایستگاه سینوپتیک مشهد) (mm/hr)

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۳۹/۱	۷۶/۵	۱۰۳	۱۳۶	۱۶۱	۱۸۶
۲۰	۲۵/۶	۵۰/۱	۶۷/۲	۸۹/۳	۱۰۶	۱۲۲
۳۰	۱۹/۴	۳۸	۵۱	۶۷/۷	۸۰/۲	۹۲/۶
۴۰	۱۵/۸	۳۱	۴۱/۶	۵۵/۲	۶۵/۳	۷۵/۴
۵۰	۱۳/۴	۲۶/۳	۳۵/۳	۴۶/۹	۵۵/۵	۶۴/۱
۶۰	۱۱/۷	۲۳	۳۰/۸	۴۰/۹	۴۸/۴	۵۵/۹
۹۰	۸/۶۲	۱۶/۸	۲۲/۶	۳۰	۳۵/۶	۴۱
۲	۶/۸۸	۱۳/۵	۱۸/۱	۲۴	۲۸/۴	۳۲/۸
۲/۵	۶/۶۵	۱۲/۵	۱۶/۶	۲۱/۷	۲۵/۶	۲۹/۴
۳	۵/۹	۱۱/۱	۱۴/۷	۱۹/۳	۲۲/۷	۲۶/۱
۳/۵	۵/۳۳	۱۰	۱۳/۳	۱۷/۴	۲۰/۵	۲۳/۵
۴	۴/۸۸	۹/۱۸	۱۲/۲	۱۵/۹	۱۸/۸	۲۱/۶
۴/۵	۴/۵۲	۸/۵	۱۱/۲	۱۴/۸	۱۷/۴	۲۰
۵	۴/۲۲	۷/۹۳	۱۰/۵	۱۳/۸	۱۶/۲	۱۸/۶
۶	۳/۷۴	۷/۰۳	۹/۳۱	۱۲/۲	۱۴/۴	۱۶/۵



شکل ۱۲- حداکثر شدت بارش با دوره بازگشت‌های مختلف (ایستگاه سینوپتیک مشهد) (mm/hr)

بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ سال نمایش داده شده است.

جدول ۲- حجم رواناب و شدت سیلاب حوضه در دوره بازگشت‌های متفاوت

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m ³)	شدت سیلاب (m ³ /s)
۲	۵۰۱۸	۰/۹۸
۵	۶۳۴۴۱	۱۱/۲
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۲۳/۸۴
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۴۰/۷۲
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۵۲/۹۸
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۵۸/۳۶

باتوجه به وجود متغیرهای مختلف از جمله وجود پارک‌ها و فضاهای سبز که نفوذ پذیری بالایی دارند و در مقابل آن آسفالت خیابان‌ها و سنگ‌فرش پیاده‌روها که نفوذناپذیر هستند عامل نفوذپذیری در مناطق شهری تعیین می‌شود. همچنین تراکم ساختمان‌ها در منطقه و فرایند انتقال رواناب ایجاد شده بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها در اثر بارندگی به شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی (در بعضی مناطق بارش بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها به چاه یا شبکه آگو متصل شده است) تعیین‌کننده عدد نفوذپذیری منطقه می‌باشد. باتوجه به درصد سطح اشغال متغیرهای ذکر شده و ضریب نفوذپذیری آن‌ها و از طرفی بررسی‌های صورت گرفته از شهرداری‌ها و مشاوران فعال در زمینه طراحی شبکه‌های جمع‌آوری رواناب شهر مشهد مقدار ضریب نفوذپذیری منطقه ۴۵،۹ (براساس شماره منحنی سازمان SCS) در نظر گرفته شد (اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد، ۱۳۹۷).

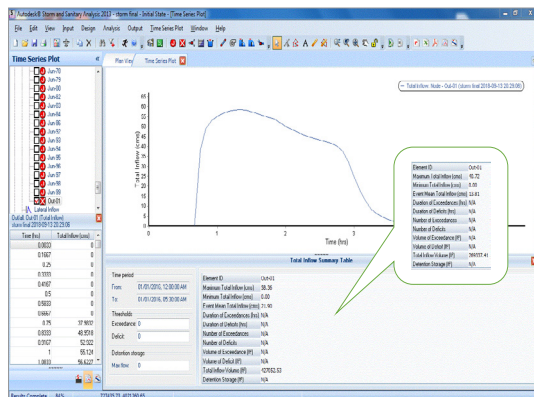
• منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش^۹

منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش یکی از ابزارهای مهم برای طراحی، برنامه‌ریزی و عملیات در پروژه‌های منابع آب است. این منحنی میزان شدت بارش در یک دوره زمانی مطلوب را با دوره بازگشت مشخص نشان داده و با استفاده از آن می‌توان جریان را از روی شدت بارش تخمین زد.

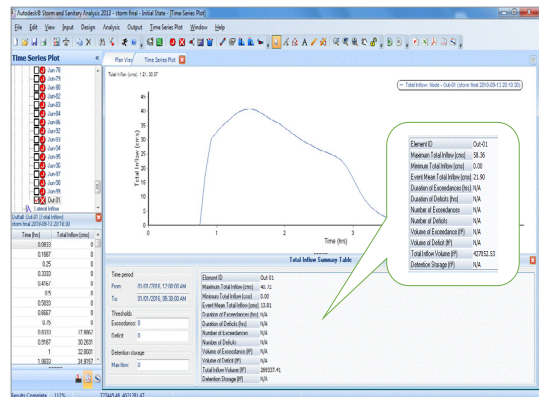
باتوجه به اطلاعات ایستگاه سینوپتیک مشهد و محاسبات و تحقیقات وزیری (۱۳۷۱) بر روی منحنی شدت-مدت-فراوانی بارش در ایران و همچنین استفاده شهرداری‌ها، سازمان آب و مشاوران فعال در خصوص مسائل رواناب از این داده‌ها از نتایج به دست آمده ایشان در این تحقیق استفاده شده است. وزیری (۱۳۷۱) با انجام تحقیقات وسیعی بر روی آمار ایستگاه‌های موجود و تقسیم نقاط مختلف ایران به هفت منطقه جداگانه روابط مفیدی ارائه نمود. نتایج تحقیقات ایشان برای مناطق شمال شرق کشور که شامل منطقه مطالعاتی رزاشهر نیز است، مطابق جدول (۱) و شکل (۱۲) می‌باشد.

نتایج و بحث

با محاسبه و ترسیم شبکه آبراهه و مشخص شدن حوضه اصلی و زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه و معرفی IDF و CN شبیه‌سازی حوضه انجام شده، حوضه مورد مطالعه بررسی شد. مطابق آنچه ذکر شد ضریب نفوذپذیری حوضه شهری ۴۵ (براساس شماره منحنی سازمان SCS) و برای حوضه خارج از شهر باتوجه به جنس خاک و جداول نفوذپذیری ۶۸ در نظر گرفته شد؛ این ضرایب باید به هر یک از زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار Civil Storm اضافه شود (علیزاده، ۱۳۷۷). جدول (۲) حجم رواناب و شدت سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در محل خروجی حوضه را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) نیز حجم رواناب در نقطه خروجی با دوره



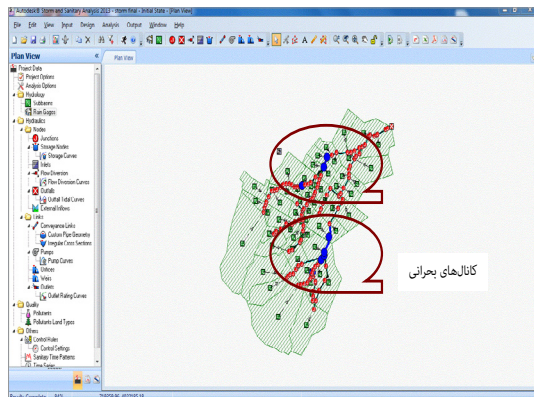
شکل ۱۴- حجم رواناب حوضه با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در محل خروجی



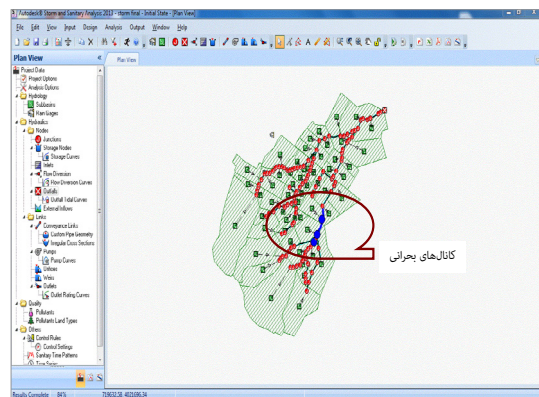
شکل ۱۳- حجم رواناب حوضه با دوره بازگشت ۲۵ سال در محل خروجی

عبور تمام جریان را ندارد. عدم عبور تمام جریان از قسمتی از مسیر باعث می‌شود در فرایند شبیه‌سازی، حجم رواناب حوضه کمتر محاسبه شود که در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) کانال‌های بحرانی که با رنگ آبی توسط نرم‌افزار مشخص شده است، مشاهده می‌شود.

• طراحی نامناسب ابعاد کانال‌ها موجود برای عبور جریان چنانچه ابعاد کانال جهت عبور جریان مناسب طراحی نشده باشد نرم‌افزار Civil Storm مسیرهای مورد نظر را مشخص می‌کند. در این پژوهش مشخص شد برای بارش‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و بیشتر بعضی مقاطع از شبکه کانال‌ها امکان



شکل ۱۶- عدم عبور جریان از کانال‌های بحرانی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل ۱۵- عدم عبور جریان از کانال مشخص شده با دوره بازگشت ۲۵ سال

جدول ۳- مقایسه حجم رواناب حوضه قبل و بعد از اصلاح کانال در محل خروجی حوضه

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب (m³)		درصد افزایش حجم رواناب
	کانال موجود	بعد از اصلاح کانال	
۲	۵۰۱۸	۵۰۱۸	۰
۵	۶۳۴۴۱	۶۳۴۴۱	۰
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۱۴۸۶۱۱	۰
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۳۰۲۴۶۷	۱۲/۳
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۴۳۹۷۳۷	۲۳/۷
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۶۰۳۱۸۹	۴۱/۲

جهت برآورد دقیق میزان رواناب در نرم‌افزار، ابعاد کانال‌هایی که قابلیت انتقال کل حجم رواناب را ندارند، اصلاح شد. جهت کم شدن برآورد هزینه‌های اصلاح کانال‌ها سعی شد کمترین ابعاد کانال که پتانسیل عبور کل جریان را دارند، انتخاب شوند. در این فرایند از قسمت بالادست مسیرهای بحرانی به‌صورت سعی و خطا و مرحله‌ای ابعاد کانال افزایش پیدا کرد تا با حداقل افزایش ابعاد کانال امکان عبور کل جریان فراهم شود. اصلاح ابعاد کانال‌های بحرانی باعث می‌شود حجم کل رواناب از شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی عبور کند و حجم واقعی رواناب و شدت سیلاب در نقطه خروجی حوضه با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در شبیه‌سازی مشخص شود (جداول ۳ و ۴).

جدول ۴- مقایسه شدت سیلاب حوضه قبل و بعد

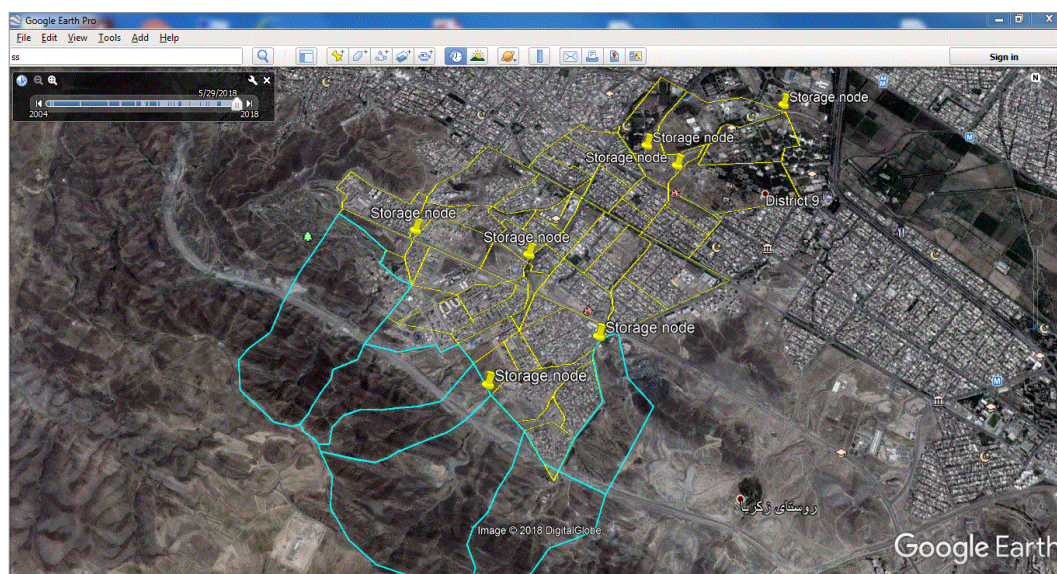
از اصلاح کانال در محل خروجی حوضه

دوره بازگشت (سال)	شدت سیلاب (m ³ /s)	درصد افزایش حجم رواناب
۲	۰/۹۸	۰/۹۸
۵	۱۱/۲	۱۱/۲
۱۰	۲۳/۸۴	۲۳/۸۴
۲۵	۴۰/۷۲	۵۱/۳۲
۵۰	۵۲/۹۸	۷۷/۵۳
۱۰۰	۵۸/۳۶	۱۰۷/۷۲

• جانمایی مخازن

جهت تأمین آب برای فضاهای سبز شهری و جلوگیری از خسارت‌های ناشی از سیلاب‌های شهری باید در مکان‌های مناسب مخازن جمع‌آوری رواناب ساخته شود. این مخازن باتوجه‌به معابر،

خیابان‌ها، ساختمان‌ها و مسیر کانال‌های شهری طراحی می‌شوند. هدف از ساخت مخازن جهت جلوگیری از بروز سیلاب‌های شهری، ذخیره رواناب، کاهش دبی پیک سیلاب، ته‌نشین کردن رسوبات و یا به تأخیر انداختن عبور جریان می‌باشد و محل ساخت آن‌ها با اهمیت می‌باشد. در این پژوهش ۷ مخزن با ابعاد ۴×۶×۱۵ مطابق شکل (۱۷) جانمایی شد. در تمام مخازن طراحی شده حجمی از رواناب ذخیره می‌شوند اما مخزن‌های ۴ و ۵ در ابتدا حوضه شهری و جهت ته‌نشین کردن رسوبات و به تأخیر انداختن زمان عبور جریان، مخزن ۶ در مسیر کانال فرعی با حجم سیلاب کمتر و مخزن ۷ در مسیر کانال دارای حجم سیلاب زیاد، جانمایی شده است. مخزن‌های ۲ و ۳ در انتهای کانال‌های اصلی جهت کاهش دبی پیک سیلاب و مخزن ۱ در محل خروجی حوضه برای سنجش عمل کرد شبکه مخازن طراحی شده است. در صورت وجود فضا کافی جهت ساخت مخازن در مسیرهایی که حجم سیلاب بیشتری را از خود عبور می‌دهند از مخازن با ابعاد بزرگتر می‌تواند استفاده شود.



شکل ۱۷- جانمایی مخازن (نرم‌افزار Google Earth)

• تحلیل نتایج باتوجه‌به جانمایی مخازن

با اضافه شدن مخازن به مدل نرم‌افزار Civil Storm قسمتی از حجم رواناب در مخازن ذخیره شده و حجم رواناب در محل

خروجی کاهش خواهد یافت. پس از بررسی نمودارهای مشخصات جریان با دوره بازگشت ۲۵ سال قبل و بعد از جانمایی مخازن نحوه عملکرد مخازن به وضوح در جداول (۵) و (۶) مشاهده می‌شود.

جدول ۵- مقایسه حجم رواناب حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن با دوره بازگشت ۲۵ سال

شماره مخزن	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره گره	۴۳	۱۴۰	۲۸	۴	۸۰	۵۶	۱۲۳
حجم رواناب قبل از جانمایی مخازن (m ³)	۲۶۹۵۱۴	۱۵۷۲۸۴	۱۰۱۶۰۹	۶۶۴۲۱	۴۸۰۳۳	۱۰۷۱۲	۱۴۱۱۵۴
حجم رواناب بعد از جانمایی مخازن (m ³)	۲۲۷۰۷۸	۱۲۸۸۶۹	۹۲۳۰۰	۶۲۸۴۱	۴۵۲۰۳	۷۲۶۳	۱۱۴۶۷۷
کسر حجم رواناب نسبت به قبل در گره مورد نظر (%)	۱۵/۷	۱۸/۱	۹/۲	۵/۴	۵/۹	۳۲/۲	۱۸/۸

جدول ۶- مقایسه حداکثر شدت سیلاب حوضه قبل و بعد از جاممایی مخازن با دوره بازگشت ۲۵ سال

شماره مخزن	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شماره گره	۴۳	۱۴۰	۲۸	۴	۸۰	۵۶	۱۲۳
حداکثر شدت قبل از جاممایی مخازن	۴۱	۲۲	۱۷	۱۲	۹	۲	۱۹
سیلاب (m ³ /s) بعد از جاممایی مخازن	۳۵	۱۷	۱۶	۱۲	۹	۲	۱۵
کسر حداکثر شدت سیلاب نسبت به قبل در گره مورد نظر (%)	۱۴/۹	۲۰/۳	۹/۲	۰/۱	۰/۰	۶/۷	۲۳/۴

• نیاز آبی منطقه ۹ شهرداری مشهد

نیاز آبی سالانه فضای سبز منطقه ۹ شهر مشهد مطابق جدول دریافتی از معاونت خدمات شهری مشهد مقدس ۲,۱۸۹,۸۴۹ متر مکعب می‌باشد. فضای سبز این منطقه به‌صورت تحت فشار، شلنگی و به‌وسیله تانکرهای آب‌پاش آبیاری می‌شود. نیاز آبی این منطقه در جدول (۷) به تفکیک ماه ارائه شده است (اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد، ۱۳۹۷).

جدول ۷- نیاز آبی فضای سبز منطقه ۹ شهر مشهد

پیمانی/امانی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	مجموع (مترمکعب)	سالانه
الف/۱	۱۰,۹۰۴	۲۸,۵۲۵	۴۷,۹۲۹	۵۶,۱۴۹	۵۱,۹۲۲	۳۷,۹۵۸	۱۸,۶۲۹	۶,۷۱۸	۲,۳۹۹	۹۱۸	۱,۰۹۳	۲,۶۴۹	۲۶۵,۷۹۵	۲۶۵,۷۹۵
ب ناحیه یک	۱۱,۳۴۱	۲۷,۴۳۶	۴۵,۰۲۶	۵۲,۷۴۸	۴۸,۷۷۸	۳۵,۹۴۴	۱۸,۱۷۸	۶,۵۰۳	۲,۳۷۰	۱,۰۳۸	۱,۲۴۱	۲,۸۷۷	۲۵۳,۴۸۰	۲۵۳,۴۸۰
ج ناحیه یک	۳,۴۸۸	۲۰,۸۶۶	۴۲,۸۲۰	۵۰,۱۶۴	۴۶,۳۸۸	۳۱,۹۳۳	۱۳,۴۶۶	۵,۰۸۴	۱,۶۲۲	۱۷	۱۹	۵۰	۲۱۵,۹۱۶	۲۱۵,۹۱۶
د ناحیه یک	۷,۲۱۸	۱۹,۴۶۲	۳۳,۲۱۱	۳۸,۹۰۶	۳۵,۹۷۸	۲۶,۱۰۴	۱۲,۷۷۷	۴,۶۱۳	۱,۶۵۶	۶۲۱	۷۴۳	۱,۷۶۷	۱۸۳,۰۵۵	۱۸۳,۰۵۵
الف ناحیه دو	۵,۳۰۲	۱۴,۴۰۱	۲۵,۱۲۶	۲۹,۴۳۶	۲۷,۲۲۰	۱۹,۵۵۲	۹,۵۷۸	۳,۳۹۶	۱,۱۲۶	۴۰۳	۴۶۷	۱,۳۰۲	۱۳۷,۳۰۸	۱۳۷,۳۰۸
ب۲	۷,۳۲۶	۱۹,۴۴۴	۳۲,۳۳۶	۳۷,۸۸۲	۳۵,۰۳۰	۲۵,۲۷۹	۱۲,۷۲۷	۴,۵۵۸	۱,۷۴۷	۷۳۹	۸۹۹	۲,۲۹۲	۱۸۰,۲۵۹	۱۸۰,۲۵۹
ج ناحیه ۲	۳۷۴	۱۰,۰۱۸	۲۹,۹۴۰	۳۵,۰۷۵	۳۲,۴۳۵	۲۰,۰۳۱	۸,۳۲۰	۳,۵۰۱	۲۱۵	۳۰	۳۵	۸۲	۱۴۰,۰۵۸	۱۴۰,۰۵۸
الف/۳	۱۰,۳۴۴	۲۸,۳۶۶	۴۸,۶۲۹	۵۶,۹۶۸	۵۲,۶۸۰	۳۸,۰۲۷	۱۸,۶۰۶	۶,۶۸۳	۲,۴۱۸	۸۶۰	۱,۰۲۳	۲,۶۲۲	۲۶۷,۲۲۸	۲۶۷,۲۲۸
ب۳	۷,۲۸۸	۳۷,۴۱۲	۷۴,۴۰۵	۸۷,۱۶۵	۸۰,۶۰۴	۵۶,۲۵۸	۲۴,۱۱۵	۹,۰۵۹	۲,۹۰۲	۹۳	۱۰۳	۴۱۹	۳۷۹,۸۲۳	۳۷۹,۸۲۳
ج۳	۵,۵۷۲	۱۷,۵۱۴	۳۰,۹۲۳	۳۶,۲۲۶	۳۳,۵۰۰	۲۴,۴۰۱	۱۱,۵۸۰	۴,۱۷۹	۱,۴۴۱	۲۵۶	۲۸۳	۱,۰۵۲	۱۶۶,۹۲۸	۱۶۶,۹۲۸
جمع کل	۶۹,۱۵۸	۲۲۳,۴۴۵	۴۱۰,۳۴۷	۴۸۰,۷۱۹	۴۴۴,۵۳۵	۳۱۵,۴۸۶	۱۴۷,۹۷۷	۵۴,۲۹۴	۱۷,۸۹۶	۴,۹۷۴	۵,۹۰۸	۱۵,۱۱۳	۲,۱۸۹,۸۴۹	۲,۱۸۹,۸۴۹

نتیجه‌گیری

پس از محاسبه حجم رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف و مشخص شدن مکان‌های بحرانی در کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی (کانال‌هایی که پتانسیل عبور کل جریان را ندارند) و همچنین جاممایی مخازن فرضی در مسیر جریان خروجی رواناب سطحی و حداکثر شدت سیلاب در نقطه خروجی حوضه مطابق جدول‌های (۸) و (۹) خواهد بود.

جدول ۸- مقایسه حجم رواناب در محل خروجی حوضه قبل و بعد از جاممایی مخازن

دوره بازگشت (سال)	حجم رواناب بدون مخزن	حجم رواناب (m ³) با مخزن	درصد کاهش حجم رواناب
۲	۵۰۱۸	۰	۱۰۰
۵	۶۳۴۴۱	۴۴۷۵۳	۲۹/۵
۱۰	۱۴۸۶۱۱	۱۲۱۱۲۳	۱۸/۵
۲۵	۲۶۹۳۳۷	۲۲۷۰۵۳	۱۵/۷
۵۰	۳۵۵۳۵۹	۳۰۶۳۳۱	۱۳/۸
۱۰۰	۴۲۷۰۵۳	۳۷۲۰۶۱	۱۲/۹

جدول ۹- مقایسه شدت سیلاب در محل خروجی
حوضه قبل و بعد از جانمایی مخازن

دوره بازگشت (سال)	شدت سیلاب (m ³ /s)		درصد کاهش پیک سیلاب
	بدون مخزن	با مخزن	
۲	۰/۹۸	۰	۱۰۰
۵	۱۱/۲	۶/۶۹	۱۳/۵
۱۰	۲۳/۸۴	۲۲/۲۹	۶/۵
۲۵	۴۰/۷۲	۳۶/۶۴	۱۰
۵۰	۵۲/۹۸	۴۸/۲۸	۸/۹
۱۰۰	۵۸/۳۶	۵۳/۹۰	۷/۶

باتوجه به حجم رواناب محاسبه شده در این تحقیق مشخص شد رواناب حوضه مورد مطالعه پتانسیل تأمین قسمتی از نیاز آبی منطقه ۹ مشهد جهت مصارف فضای سبز را دارد. همچنین با ساخت مخازن در محل های مناسب امکان ذخیره سازی و استفاده از رواناب فراهم می شود. با مقایسه حجم رواناب با دوره بازگشت ۲۵ ساله که برابر ۲۶۹۳۳۷ مترمکعب است و حجم کل نیاز آبی منطقه ۹ که برابر ۲۱۸۹۸۴۹ مترمکعب می باشد مشخص می شود محدوده مورد مطالعه که حدود یک سوم مساحت منطقه ۹ مشهد (مساحت منطقه ۹ حدود ۳۳ کیلومترمربع) می باشد می تواند حدود ۱۲/۳ درصد نیاز آبی منطقه را تأمین کند.

نرم افزار Civil Storm قابلیت شبیه سازی حوضه را جهت بررسی مشخصات جریان رواناب سطحی دارد. همچنین این نرم افزار قادر است شبکه جمع آوری رواناب سطحی و تأسیسات مورد نیاز را طراحی و شبکه های اجرا شده را بررسی و مناطق آسیب پذیر و بحرانی را اصلاح نماید.

پی نوشت

- 1- Junctions
- 2- Conveyance Link
- 3- Sub-basin
- 4- CN
- 5- Intensity-Duration-Frequency (IDF)

منابع

اصغری مقدم، م. ۱۳۸۴. آب و زیستگاه شهری. چاپ اول. انتشارات سرا. تهران.
اطلاعات الکترونیکی دریافتی از شهرداری مشهد. ۱۳۹۷. معاونت خدمات شهری، شهرداری مرکز، مشهد.

آمارنامه شهر مشهد. ۱۳۹۴. معاونت برنامه ریزی و توسعه شهرداری مشهد. بازبینی شده در ۲۶ مهر ۱۳۹۶.

طاهری بهبهانی، م. و بزرگ زاده، م. ۱۳۷۵. سیلاب های شهری. چاپ اول. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران. تهران.

عابدی کوپایی، ج. و هاشمی، ن. ۱۳۹۵. برآورد رواناب شهری به منظور استفاده در فضای سبز شهر نجف آباد. کنفرانس مدیریت سیلاب شهری. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
علیزاده ا. ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ دوازدهم. انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.

نصری، م.، جواهری، م. و ابراهیمی، م. ۱۳۹۳. آموزش مدل سازی سیستم های جمع آوری و هدایت رواناب با استفاده از نرم افزار Civil Storm. انتشارات نوروزی. گرگان.

نصری، م.، ابراهیمی، م.، ثابت راسخ، ش. و آقاخانی، م. ۱۳۹۵ الف. کاربرد سازه های جمع آوری رواناب در تعادل سازی، تأمین و توزیع آب فضای سبز شهر دیزچه. پنجمین همایش سامانه های سطوح آبگیر باران. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، رشت.

نصری، م.، ساعتی، م.، ابراهیمی، م. و موسوی، ه. ۱۳۹۵ ب. ضرورت توجه هدایت سیلاب و رواناب سطحی شهری (مطالعه موردی: انتقال سیلاب بلوار آیت الله هاشمی رفسنجانی شهر اردستان). دومین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی. اردستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان اصفهان، اردستان.

وزیری، ف. ۱۳۷۱. تعیین روابط منطقه ای بارندگی های کوتاه مدت در ایران. دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران.

Aryal R., Kandasamy J., Vigneswaran S., Naidu R. and Lee S.H. 2009. Review of stormwater quality, quantity and treatment methods. part 1: stormwater quantity modelling, Korean Society of Environment Engineers. Environmental Engineering Research, 14(2): 71-78.

Bedient P.B. and Huber W.C. 1994. Hydrology and Floodplain Analysis, Addison Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.

Overeem B.I., Kettner A.J and Syvitski J.P.M. 2013. Impacts of humans on river fluxes and morphology. Volume 9. Fluvial Geomorphology. Academic Press, San Diego, California.

Tuinhof A., van Steenberg F., Vos P. and Tolk L. 2012. Profit from Storage: The Costs and Benefits of Water Buffering. 3R Water Secretariat. Wagen-ingen, The Netherlands.

Deep Water Resources: Opportunities and Challenges

F. Keykhai^{1*}, F. Abbasi²

1- Research Instructor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation, Karaj, Iran. 2- Research Professor of Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organisation, Karaj, Iran.

*(Corresponding Author Email: keykhai80@gmail.com)

Received: 25-03-2018

Accepted: 03-03-2019

منابع آب ژرف: فرصت‌ها و چالش‌ها

فاطمه کیخایی^{۱*}، فربرز عباسی^۲

۱- مربی پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. ۲- استاد پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: keykhai80@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

Abstract

More than 96% of the world's freshwater (excluding snow and glaciers) is groundwater which has turned this essential resource into the most important reservoir of freshwater on the planet. Nowadays, exploitation of groundwater resources has been developed for agricultural, industrial, and drinking uses. Due to the water shortage crisis, various solutions have been proposed. Exploring and using unconventional waters such as deep waters is one of these solutions. Groundwater resources are strategic assets of a country in which deep water resources are also included. In this paper, a review of deep water resources including quantity and quality, depth, spatial distribution, and the extraction cost of these resources has been discussed.

Keywords: Deep waters, Fossil waters, Renewable, Non-renewable.

چکیده

بیش از ۹۶ درصد آب شیرین کره زمین (به جز برف و یخچال‌ها) در آب زیرزمینی قرار دارد که این منبع حیاتی را به مهمترین ذخیره آب شیرین بر روی کره زمین تبدیل نموده است. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است. باتوجه به بحران کم آبی، راهکارهای متعددی برای رفع این بحران ارائه شده که یکی از آنها اکتشاف و استفاده از منابع آب‌های غیرمتعارف همچون آب‌های ژرف برای مصارف مختلف است. آب‌های زیرزمینی سرمایه‌های استراتژیک یک کشور محسوب می‌شوند و منابع آب ژرف نیز جز این سرمایه‌ها هستند. در این مقاله مروری بر منابع آب ژرف شامل کمیت و کیفیت، عمق، توزیع مکانی و هزینه استحصال این منابع انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های ژرف، آب‌های فسیلی، تجدیدپذیر، تجدیدنپذیر.

از کشورها مانند آفریقا، استرالیا، لیبی و... شناسایی و بهره‌برداری می‌شوند. اقلیم مناطقی که این آب‌ها را تغذیه می‌کنند می‌تواند با اقلیم منطقه موجود این سفره‌ها بسیار متفاوت باشد. به‌طور مثال آبخوان دیسی که قادیسی به آن اطلاق می‌شود به‌عنوان يك منبع ذخیره آبی بسیار عظیم برای کشورهای که بر روی آن قرار دارند تلقی می‌شود این آبخوان شامل بخشی از جنوب اردن و شمال و شمال غرب عربستان می‌باشد و سن آن از طریق آزمایش‌های ایزوتوپی به حداقل ۳۰۰۰ سال مربوط می‌شود. این آبخوان ماسه سنگی در حدود ۳۲۰ کیلومتر پهنا دارد که ضخامت آن ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر می‌باشد (Macoun و El Naser, ۱۹۹۹). براساس تشابهات زمین‌شناسی، لیتولوژی، تکتونیکی، هیدرولوژیکی، هیدروژئوشیمیایی این آبخوان بخشی از آبخوان نوین آبخوانی بزرگ واقع در جنوب غربی مصر می‌باشد (Gaber و Salameh, ۱۹۹۲). در بسیاری اوقات آب‌های ژرف وارد اقیانوس‌ها می‌شوند و تا ده‌ها کیلومتر به اعماق زمین نفوذ می‌کنند. با توجه به اینکه عمق سفره به شرایط هیدروژئولوژیکی محلی-ناحیه‌ای وابسته است معیار پذیرفته و کاملی برای تفکیک سفره آب ژرف از غیرژرف نیست. اختلاف بار هیدرولیکی بین دو سفره و وجود آب زیرزمینی با هیدروشیمی متفاوت در دو سفره و یا سفره آب‌های زیرزمینی با گسترش چند کیلومتر مربع تا چند میلیون کیلومتر مربع می‌تواند ویژگی منابع آب ژرف تلقی شود (Jasechko, ۲۰۱۷).

آب‌های تجدیدپذیر دو نوع هستند. آب‌هایی که در رسوبات آبرفتی و کوآترنری^۱ وجود دارند و اگر بیش از حد از آن‌ها بهره‌برداری شود احتمال نشست زمین وجود دارد. در برنامه بهره‌برداری از منابع آب ژرف این نوع آب مورد نظر نمی‌باشد. اما آب‌های پهنه‌های گسلی آب‌های برون حوزه‌ای هستند که از یک حوزه دیگر وارد ایران می‌شوند. این منابع در خارج از مرزهای ایران در عمق بیش از ۷۰۰ متری زمین قرار دارند. استفاده از این آب‌ها باعث نشست زمین و تهدیدات زیست‌محیطی نمی‌شود؛ زیرا استحصال آب از گسل‌های فعال و عمیق خطر فرو نشست ندارد و این منابع در صورت عدم برداشت از کشور خارج می‌شوند (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰).

آب‌های فسیلی آب‌های ژئوترمال^۲ (زمین گرمایی) و آب‌های نفتی تجدیدناپذیر هستند. تمام آب گرم‌هایی که در مناطق مختلف کشور از جمله سرعین، فردوس و نایبند طبس وجود دارند منابع آب ژرف هستند و از درون به سطح زمین جریان دارند. این آب‌ها تجدیدناپذیر هستند و مانند ذخایر نفتی یک منبع زیرزمینی آبی بسیار مهم و تجدیدناپذیر تلقی می‌شوند (Foster, ۲۰۰۶). می‌توان آبخوان‌های فسیلی را آبخوان‌های یکبار مصرف نامید و در شرایط خشکسالی شدید و طولانی مدت از آن‌ها استفاده نمود هرچند که مزارع و شهرهایی که به این نوع منابع متکی هستند سرانجام با مشکل خشک شدن منابع بهره‌برداری خویش مواجه خواهند شد و از بین خواهند رفت.

آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب است و در صورت وقوع ابرخشکسالی به یگانه منبع تأمین آب تبدیل خواهد شد. این منابع به دلیل اطمینان‌پذیری بالا به‌عنوان ذخیره استراتژیک برای شرایط تنش آبی شناخته می‌شود. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی به حجمی از آب زیرزمینی شیرین گفته می‌شود که باید به‌عنوان ذخیره برای فعالیت‌های مختلف به‌ویژه شرب در آبخوان حفظ شود. بی‌توجهی به ظرفیت تجدیدپذیری آب زیرزمینی و عدم توجه به حفظ ذخیره استراتژیک می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه داشته و موجب تغییر مسیر سرنوشت یک جامعه شود (درخشان و همکاران، ۱۳۹۶). آب‌های ژرف به‌عنوان بخشی از منابع آب زیرزمینی جز سرمایه‌های استراتژیک یک کشور محسوب می‌شود. هر نوع آب زیرزمینی که از عمقی بیش از بیشینه عمق معمول برداشت شود یا در عمقی پایین‌تر از سفره‌های معمول آب زیرزمینی منطقه باشد آب ژرف به‌شمار می‌آید. در تعریفی دیگر منابع آب ژرف به آب‌های زیرزمینی عمیقی اطلاق می‌شود که در عمق ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ متر قرار داشته باشد. دانستنی‌ها در خصوص هیدرولوژی آب‌های ژرف بسیار ناچیز است. این منبع آب به دلیل شوری زیاد و وجود مواد جامد محلول در آب (بیشتر از ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر) اغلب برای شرب مناسب نیستند ولی برای فعالیت‌های کشاورزی مناسب هستند. این منابع در کشورهایی که اقلیم خشک و بیابانی دارند منابع با ارزشی هستند (Shamruk, ۲۰۱۲). آب‌های ژرف به دو دسته آب‌های نیمه‌فسیلی و فسیلی تقسیم می‌شوند که به شرح ذیل می‌باشد:

الف: آب‌های نیمه‌فسیلی: سفره‌های آبی در اعماق زمین هستند و به این دلیل که امکان تغذیه از بارش‌ها، آب‌های سطحی و زیرزمینی را دارند تجدیدپذیر و به کمک مطالعات آب‌شناسی، هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه قابل شناسایی هستند. تجدیدپذیری منابع آب ژرف به تراوایی رسوبات و سازندها، میزان بارش و زمان ماندگاری آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. تجدیدپذیری به معنا تجدید هر سال آب نیست ممکن است دوره تجدید به ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و یا یک میلیون سال برسد اما در نهایت تجدیدپذیر است (Louks و Foster, ۲۰۰۶). برخلاف تعریف ذکر شده آبی که هر سال توسط بارش تجدید شود را تجدیدپذیر و اگر زمان تجدیدپذیری آب در مقایسه با عمر انسان بیشتر باشد تجدیدناپذیر نامیده می‌شود (Birka, ۲۰۱۸).

ب: آب‌های فسیلی: آب‌های زیرزمینی قدیمی هستند و سنی بیش از چندین هزارسال دارند؛ این منابع در سفره‌های آب کاملاً محبوس هستند و از هیچ منبعی تغذیه نمی‌شوند. به عبارت دیگر این منابع تجدیدپذیر نیستند بلکه به نوعی ذخیره نهایی آب به حساب می‌آیند (Louks و Foster, ۲۰۰۶). این ذخایر آبی در برخی

• عمق منابع آب ژرف

عمق قرارگیری آب‌های ژرف در مناطق مختلف جهان متفاوت و نسبی است. در بعضی کشورها مانند بنگلادش به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی منابع آب ذخیره شده در عمق بیش از ۱۵۰ متر جز آب‌های ژرف به شمار می‌آیند. در کشورهای خشک مانند اردن، لیبی و الجزایر به آب‌های ذخیره شده در عمق‌های ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر منابع آب ژرف گفته می‌شود. در کالیفرنیا و استرالیا آبخوان ۳۰۰ تا ۵۰۰۰ متری را آبخوان ژرف می‌نامند (رمضانی سربندی و همکاران، ۱۳۹۴). براساس برآوردهای صورت گرفته منابع آب سفره‌های آب سطحی بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلیارد مترمکعب و آب موجود در سفره‌های ژرف ایران بین ۵۰ تا ۶۰ هزار میلیارد برآورد شده است که بخشی از این منابع آب تجدیدپذیر و بخشی آب‌های فسیلی، شور و هیدروترمال^۲ هستند.

• کیفیت و کاربرد منابع آب ژرف

برخی از منابع آب ژرف به دلیل عبور از سازندهای مختلف ممکن است دارای کیفیت پایین، شور، تحت فشار، با درجه حرارت بالا و گاهی دارای آلودگی‌های رادیواکتیو هم باشند. ارزش املاح برخی سفره‌های آب زیرزمینی ژرف با کیفیت پایین بیشتر از آب آن‌ها است. املاح این منابع با توجه به اینکه با لایه‌های مختلف زمین در تماس هستند با املاح آب دریا متفاوت می‌باشد. مطالعات انجام شده در برخی مناطق اروپا نشان می‌دهد منابع آب ژرف از منابع کانی‌زایی به وجود آمده است؛ بنابراین برای بررسی ترکیبات این منابع از سیستم چند ایزوتوپی استفاده می‌شود. در یک منطقه زمین‌شناسی ممکن است دو یا چند آبخوان وجود داشته باشد اما هر کدام از آن‌ها می‌توانند ترکیبات ایزوتوپی متفاوتی ناشی از تأثیر سبک ایجاد شدن، ارتفاع حوزه آبخیز و زمان تشکیل داشته باشد. از آنجایی که چشمه‌ها از آبخوان‌ها نشأت گرفته‌اند ممکن است درجاتی از مواد محلول داشته باشند می‌توانند به ردیابی ایزوتوپی کمک کنند (Khaska و همکاران، ۲۰۱۵). آب‌های فسیلی علاوه بر مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی کاربردهای دیگری دارد که به شرح ذیل می‌باشد:

در جزیره میدلند شرقی در انگلیس از ماسه سنگ‌های تریاس آب بسیار با کیفیت و با مقادیر پایین TDS استخراج می‌شود. به دلیل عدم خورندگی از این آب به عنوان آب خنک‌کننده در ایستگاه‌های تولید برق استفاده می‌شود (Vaikmaa و همکاران، ۲۰۰۱). اگر آب‌های فسیلی شور یا تلخ مزه به درستی استخراج شوند و در حین استخراج از آلودگی شیمیایی صنعتی و بیولوژیکی حفظ شوند، می‌توانند یک منبع آبی مناسبی برای نمک‌زدایی و تولید آب شیرین باشند. در برخی مناطق خشک یا جزایری که با کمبود آب شیرین مواجه هستند از طریق استخراج آب فسیلی و نمک‌زدایی آن آب مصرفی را تأمین می‌کنند. از آبخوان‌های فسیلی بسیار شور که قابلیت مصرف در هیچ زمینه‌ای ندارند برای استحصال گازهای طبیعی استفاده شده است و

میکرو حباب‌های دی‌اکسیدکربن به این نوع آبخوان‌ها تزریق شده و بر اثر این تزریق یک سری واکنش‌های شیمیایی در آبخوان فسیلی شور انجام می‌شود که نتیجه این واکنش‌ها گازهایی طبیعی همچون متان از آبخوان استحصال می‌شود (Koide و همکاران، ۱۹۹۳). چون اکثر آب‌های فسیلی در اعماق قرار دارند بنابراین دمای بالایی دارند. این ویژگی به منظور استفاده از پتانسیل حرارتی در مناطق سردسیر می‌تواند مزیتی برای استفاده از آب‌های فسیلی باشد. بنابراین برخی از آب‌های هیدروترمال جز آب‌های فسیلی محسوب می‌شوند (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰).

• نحوه شناسایی و هزینه برداشت از منابع آب ژرف

علاوه بر روش‌های ژئوفیزیکی یکی از روش‌های اکتشاف آب‌های فسیلی استفاده از تکنیک سنجش از دور است. این تکنیک که یک روش نسبتاً نوپا بوده و از طریق تجربه و تحلیل داده‌های حاصل از رادارها، اشعه مادون قرمز و تصاویر ماهواره‌ای مناطقی که پتانسیل وجود آب فسیلی را دارند قابل اجرا است. در شمال غرب منطقه دارفور در کشور سودان از طریق تحلیل نقشه‌های ماهواره‌ای یک آبخوان فسیلی کشف شد و اکنون به عنوان یک منبع آبی ارزشمند در اختیار اهالی دارفور قرار دارد (Oa، ۱۹۸۶). رمضانی سربندی و همکاران (۱۳۹۴) امکان استفاده و وجود آب‌های فسیلی در فلات مرکزی ایران را در مقایسه با فلات عربستان بررسی نمودند. هزینه اکتشاف و بهره‌برداری از منابع آب ژرف از هزینه انتقال بین حوزه‌ای و یا شیرین‌سازی آب با نمک‌زدایی و یا انتقال آب در مسیرهای طولانی کمتر است. اکتشاف و استحصال یک چاه آب ژرف با میانگین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متر عمق حدود ۳۰۰ میلیارد ریال و هزینه‌های نگهداری سالانه آن کمتر از یک میلیارد ریال برآورد شده است (آریامنش، ۱۳۹۶).

• ملاحظات خاص در استخراج منابع آب ژرف

- در صورتی که امکانات مهندسی، کارشناسی و بررسی‌های اقتصادی اجازه می‌دهد ضروری است منابع آب ژرف مطالعه، بررسی و پهنه‌بندی شوند. به دلیل پیچیدگی اکتشاف منابع آب ژرف باید در مطالعات منابع آب ژرف از تخصص‌های مختلف بهره گرفته شود. تخصص‌های هیدروژئولوژی، هیدرولوژی، هیدروژئوشیمی، تکنیک، ژئوفیزیک، ژئومورفولوژی، چاه‌نگاری، آمار و حفاری مواردی هستند که باید در مطالعه منابع آب ژرف استفاده شوند.

- به دلیل وجود آلودگی در برخی از منابع آب ژرف از جمله آلودگی‌های اتمی و یا شوری بیش از حد این منابع قابل استفاده نیستند. با توجه به اهمیت مباحث اقتصادی در استحصال آب باید پس از ارزیابی این موارد حفاری انجام شود. برهم خوردن بیلان آب شور و شیرین و زیست‌بوم منطقه از جمله پیامدهای این تفکرات در برخی پروژه‌های استخراج آب‌های ژرف می‌باشد.

اقدامات سایر کشورها در خصوص منابع آب ژرف

تاکنون حوزه‌های متعددی در مناطقی از آسیا و آفریقا در کشورهای مانند سومالی، سودان، مصر، لیبی، توباگو و بوسوتانا شناسایی شده‌اند. در مطالعه اکتشافی این آب‌ها آنالیز داده‌های مختلف مانند میزان بارش، توزیع بارش، میزان نفوذ و در مجموع بیلان آب منطقه و ساختار ناحیه‌ای و جنس سازندهای زمین‌شناسی اهمیت زیادی دارد. در بسیاری از کشورها مانند سودان، الجزایر، اردن، استرالیا، مصر، عربستان، لیبی، آمریکا و انگلیس از سال‌ها پیش مطالعات آب‌های ژرف آغاز شده و در مواردی به مرحله بهره‌برداری رسیدند. به‌طوری‌که در حوضه آبریز Sahara^۲ با مساحت یک میلیون کیلومتر مربع که بین کشورهای لیبی، الجزایر و تونس مشترک است ۸۰۰ حفاری انجام شده که ۶۵۰۰ مورد در الجزایر، ۱۲۰۰ مورد در لیبی و ۱۱۰۰ مورد حفاری در جنوب تونس می‌باشد. در ۳۰ سال اخیر سالانه ۰/۶ تا ۲/۵ بیلیون مترمکعب آب از این حوضه استخراج شده است (Mamou و همکاران، ۲۰۰۶). ۸۰ درصد آب این حوضه آبریز برای کشاورزی مصرف می‌شود با افزایش برداشت از منابع آب ژرف در برخی مناطق نظیر جنوب کشور تونس کیفیت این آب‌ها کاهش یافته و شوری آب به حدود ۶ گرم در لیتر رسیده است. این حوضه دارای دو آبخوان با عنوان CT^۳ و CI^۴ می‌باشد که دارای آب‌های عمیق هستند و در آبخوان CT کاهش کیفیت آب گزارش شده است (Zammouri و همکاران، ۲۰۰۷).

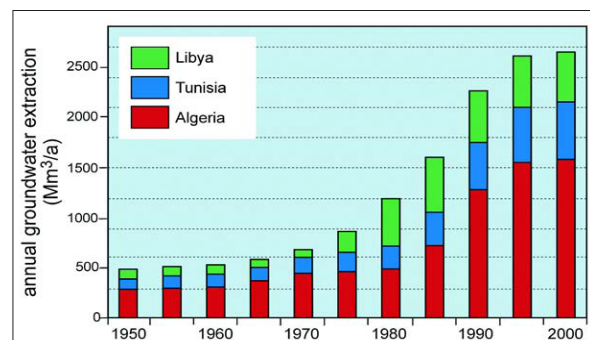
مطالعات منابع آب ژرف در کشور عربستان نیز انجام شده است. در این کشور به‌دلیل بارش سالانه ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۵۰۰ تا ۴۵۰۰ میلی‌متر استفاده شدید از منابع آب زیرزمینی به‌خصوص منابع آب ژرف مورد توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر افزایش رشد جمعیت عربستان افزایش تقاضای آب را به همراه داشته است. به‌طوری‌که آب شیرین‌کن‌ها و منابع آب ژرف در سال‌های اخیر سهم زیادی در تامین این آب داشته‌اند. آب‌های ژرف حدود ۶۶ درصد از کل نیازهای ملی را در سال ۲۰۰۰ تأمین کرد. حجم این آب‌ها از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۲۶۰ میلیارد مترمکعب بوده است که حدود ۱۲ درصد کل مخازن آب زیرزمینی با عمق بیش از ۳۰۰ متر بوده است (Foster و Louks، ۲۰۰۶). در کشورهایی که حوضه‌های آبی مشترک دارند مشکل برداشت از منابع آب ژرف پیچیده‌تر است. مدیریت استخراج و بهره‌برداری از این منابع در طول زمان و ارزیابی ظرفیت ذخیره‌سازی آبخوان اهمیت زیادی دارد. از طرف دیگر مطالبات برای استفاده از این آب‌ها به‌دلیل رشد جمعیت و اقتصاد افزایش می‌یابد. این کشورها باید با یکدیگر متحد و راهی برای مدیریت مشترک حوضه پیدا کنند و برنامه‌ای برای استخراج سالانه کل حجم قابل برداشت و مدت بهره‌برداری برای این منابع ارائه دهند. نمونه‌ای از این هماهنگی بین سه کشور لیبی، الجزایر

- ایجاد و یا احتمال وجود گازها از فاکتورهایی است که استحصال آب و نمونه‌برداری از این گونه منابع را پیچیده می‌کند. آبخوان ممکن است در حین پمپاژ، تحت فشار و گازها و میکرو ارگانیسم‌های موجود آن ناشناخته سمی و یا قابل اشتعال باشند (William و همکاران، ۲۰۱۴).

اقدامات انجام شده در خصوص منابع آب ژرف در ایران

در ایران بحث اکتشاف منابع آب ژرف مورد توجه است. سازمان زمین‌شناسی گسل‌های فعال و اصلی کشور را شناسایی نموده است. از آن جمله می‌توان به گسل‌هایی مانند گسل گلرود، شتری طبس و اسفندیار، نایبند و زاگرس، تهران و میامی در استان سمنان اشاره نمود. در کویر ایران این گسل‌ها پراکنده هستند. در مناطقی مانند دشت لوت که خشک و کویری است گسل‌هایی شناسایی شده است. از آنجایی‌که اطلاعات کاملی از منابع آب فسیلی در کشور موجود نیست برای ردیابی اولیه این منابع ارزشمند در کشور از طریق تشابهات زمین‌شناسی و ... با آبخوان‌های فسیلی کشورهای همسایه اقدام شده است. کویر عربستان دارای حجم عظیمی از آب‌های فسیلی است؛ اکثر کشورهایی که در این کویر قرار دارند از جمله عربستان، اردن، قطر، امارات و بحرین از این آب‌ها استفاده می‌نمایند. این کشورها تشابه زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، تکتونیکی با محیط‌های رسوبی ایران تا اواخر دوران دوم زمین‌شناسی را دارند (آقائباتی، ۱۳۸۳). آب فسیلی در سازندهای ضخیم ماسه سنگی دوران دوم (غیرسیمانی) در مناطق غیرفعال تکتونیکی ایران وجود دارد. باتوجه‌به این شواهد علاوه‌بر مناطق زاگرس و البرز از ایران مرکزی مناطقی چون طبس و یزد که سازندهای ماسه‌ای و به لحاظ تکتونیکی تقریباً غیرفعال دارند، به‌عنوان مناطق محتمل وجود آب فسیلی در نظر گرفته می‌شود (میرعربی و حسینی، ۱۳۹۰). این پهنه‌ها فعال هستند و آب در این مناطق شناسایی شده است. در استان فارس، استان‌های ساحلی و در بستر خلیج فارس و دریای عمان، استان‌های آذربایجان، گیلان، خراسان جنوبی، یزد، کرمان، سیستان و بلوچستان و رشته کوه‌های زاگرس و البرز احتمال رسیدن به آب ژرف وجود دارد؛ لذا مطالعه و شناخت این منابع ضروری است. طرح مطالعاتی منابع آب ژرف ایران با مشارکت و سرمایه‌گذاری روس‌ها در حال انجام است. مطالعات در دو منطقه هزار مسجد خراسان و زابل سیستان و بلوچستان شروع شده است. براساس مطالعات انجام شده و اکتشافات اخیر مشخص شد در سیستان امکان استخراج از آب‌های ژرف وجود دارد. عملیات حفاری آب‌های ژرف در دشت سیستان از سال ۱۳۹۶ آغاز شد (دهمرد، ۱۳۹۶). مطالعات آب‌های ژرف در سیستان در تیرماه ۱۳۹۷ با استحصال آب از عمق دو هزار و پانصد متری ادامه یافت و وزیر کشور در نشست شورای اداری منطقه با اشاره به استخراج آب از این چاه بیان نمود استحصال آب از این منابع نتایج خوبی به همراه دارد (رحمانی‌فضلی، ۱۳۹۷).

و تونس در حوضه NWSAS که دارای منابع آب ژرف بسیار زیادی است وجود داشته است (Puyoo, 2007). مقامات این سه کشور با آگاهی از خطرات پیش‌رو، مطالعات مشترکی را تحت نظارت OSS^۷ در سال ۱۹۹۸ با حمایت آژانس توسعه سوئیس، صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی (IFAD)^۸ و سازمان جهانی غذا و کشاورزی (FAO) آغاز کردند. از اهداف اصلی این آژانس ارتقا اطلاعات هیدروژئولوژی و ارائه مدل ریاضی بر اساس اطلاعات ۵۰ ساله پی‌زومترهای شوری و مقادیر بهره‌برداری از آبخوان می‌باشد. در شکل (۱) روند استخراج آب‌های ژرف در حوضه مشترک سه کشور ارائه شده است (Mamou و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل ۱- روند استخراج آب‌های ژرف در حوضه آبریز NWSAD گزارش شده توسط Mamou و همکاران (۲۰۰۶)

پیشنهادهای

قبل از برنامه‌ریزی برای استخراج آب‌های ژرف لازم است موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- بهره‌وری و استفاده بهینه از منابع آب موجود افزایش یابد.
- باید به تجارت آب مجازی به‌عنوان راهکاری جهت ذخیره آب در سطح جهان توجه نمود؛ زیرا ممکن است آب مجازی هر محصول در مکان و زمان‌های مختلف متفاوت باشد. همچنین واردات محصولات آب‌بر به صرفه‌جویی منابع آبی کشور کمک خواهد نمود.
- استفاده و بهره‌برداری از منابع آب ژرف در دستور کار قرار گیرد؛ با این وجود مطالعه، شناخت و توسعه فناوری‌های مرتبط با منابع آب ژرف ضروری است.
- اگر هزینه استخراج منابع آب ژرف در مقایسه با هزینه نمک‌زدایی و انتقال آب دریا کمتر باشد استفاده از منابع آب ژرف، آب دریا و آب شور (به‌صورت مستقیم یا پس از نمک‌زدایی) مشروط به استفاده پایدار و خردمندانه برای توسعه و بهبود معیشت مردم امری عقلایی و ضروری است.
- اقدامات برخی کشورها از جمله تونس به‌عنوان الگو استفاده شود. تونس با میانگین بارش حدود ۲۰۷ میلی‌متر در سال و ۱۰۰ میلی‌متر، بخش‌های جنوبی آن دچار کم‌آبی است و منابع آبی آن نیز کیفیت

پایینی دارد. این کشور توانسته با سیاست‌های مناسب در امور زیربنایی در سال ۲۰۱۵ به بالاترین میزان دسترسی به خدمات آبرسانی و بهداشت در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا دست یابد. از سال ۱۹۶۰ مطالعات استفاده مجدد از فاضلاب را انجام داده و در حال حاضر ۷۰۰۰ هکتار کشت از فاضلاب تصفیه شده آبیاری می‌شود. میزان اتصال به شبکه‌های فاضلاب در مناطق شهری تونس در سال ۲۰۰۷ به ۸۱/۶ درصد افزایش یافته است (Omriani, 2009).

• در مرز ایران و افغانستان، مرز ایران و پاکستان و مناطق دیگر گسل‌های زیادی وجود دارد که با حفر چاه‌های ۳۰۰ تا ۴۰۰ متری در پهنه‌های گسلش هیچ آسیبی وارد نمی‌شود. در صورت عدم استخراج این آب‌ها از مرز خارج می‌شوند (آریامنش، ۱۳۹۶).

• راه‌حل‌های پیشنهادی برای کاهش مشکل کمبود آب در کشور از جمله استخراج منابع آب ژرف، انتقال آب از دریای عمان و خلیج فارس به مرکز کشور و شیرین کردن آب، انتقال آب از دریای خزر و غیره اغلب راه‌حل‌های سازهای است که با هزینه‌های هنگفت همراه می‌باشد. راه‌حل اصلی برای عبور از مشکل کم‌آبی کشور، تغییر شیوه مدیریت منابع آبی به‌وسیله اصلاح الگوی مصرف، مدیریت و کاهش مصرف آب، تنظیم کلیه واردات و صادرات مبتنی بر آب مجازی پیشنهاد می‌شود.

• منابع آب ژرف منابع تقریباً تجدیدناپذیر هستند بنابراین برای حفظ عدالت بین نسل‌ها پیشنهاد می‌شود این منابع تنها در شرایط خشکسالی شدید به‌عنوان آخرین گزینه استحصال شود.

• در صورت استخراج منابع آب ژرف به‌منظور پایداری اجتماعی معیارهای زیر در نظر گرفته شود:

- ۱- استخراج این منابع منجر به بهبود وضعیت اجتماعی و اقتصادی شود.
- ۲- بیلان بین منافع و مضرات اقتصادی و اجتماعی در دراز مدت و کوتاه‌مدت مثبت باشد.
- ۳- استراتژی کشور در صورتی که آبخوان کاملاً تخلیه شود، تبیین شود.
- ۴- موضوع عدالت بین نسل‌ها در نظر گرفته شود.

پی‌نوشت

- 1- Quaternary
- 2- Geothermal
- 3- Hydrothermal
- 4- North Western Sahara Aquifer System(NWSAS)
- 5- Complex Terminal
- 6- Continental Intercalary
- 7- Observatories du Sahara ET du Sahel
- 8- International Fund for Agricultural Development

- an over thrust area. *Chemical Geology*, 419: 114-131.
- Koide H.G., Tazaki Y., Noguch Y.i. and Iijima M. 1993 . Carbon dioxide injection into useless aquifers and recovery of natural gas dissolved in fossil water. *Energy Conversion and Management Journal*, 34(9-11): 921-924.
- Mamou A., Besbes M., Abdous B., Latrech D.J. and Fezzani C. 2006. Development and management of groundwater: regional cases (North Western Sahara Aquifer System NWSAS). Chapter 5 (Non- Renewable resource Ground water). United Nations Educational, 68-74.
- Macoun A. and El Naser H. 1999 . Groundwater Resources Management in Jordan: Policy and Regulatory Issues, in groundwater: legal and policy perspective. proceeding of a word bank seminar (Salman, ed.). The word Bank Wafhington, D.C, 105-111 .
- OA A. 1986. Gravity and seismic refraction measurements for deep groundwater search in southern Darfur region, Sudan. *The Journal of the University of Kuwait (Science)*, 13(2): 245-257.
- Omriani N. 2009. Dilemma of fossil water management within Southern Tunisia oases: vulnerability to salt under intensive use context. 8th World Wide Workshop for Young Environmental Scientists. Arcueil, France. 7 P.
- Puyoô S. 2007. Terminal evaluation of the UNEP/Swiss/FFEM Project "Protection of the North West Sahara Aquifer System (NWSAS) and related humid zones and ecosystems-REPORT GF/2731-03".
- Shamrukh M. 2012. Exploring of deep groundwater in the south west aquifer of Qatar. The 10th Gulf Water-Conference. Bahrain.
- Vaikmae R., Vallner L., Loosli H., Blaser P.C. and Juillard-Tardent M. 2001. Palaeo groundwater of glacial origin in the Cambrian-Vendian aquifer of northern Estonia. *Geological Society London Special Publications*, 189(1): 17-27.
- William M., Wireman M. and Musick M. 2014 . Characterization of deep groundwater : A Conference Report 2014 GWPC Annual Forum .National ground water association. Seattle,WA.
- Zammouri M., Siegfried T., El Fahem T., Kriaa S. and Kinzelbach W. 2007. Salinization of groundwater in the Nefzaoua Region, Tunisia: Results of a regional-scale hydro geologic approach. *Hydrogeology Journal*, 15: 1357-1375.
- آریامنش، م.ر. ۱۳۹۶. تهیه آب ژرف از عمق ۱۰۰۰ متری. سایت تحلیلی خبری عصرایران. کد خبر: ۵۵۲۷۵۵. تاریخ خبر: ۱۹ مرداد ۱۳۹۶. www.asriran.com/fa/news/552755
- آقائاتی، س.ع. ۱۳۸۳. کتاب زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۳۸۳. شماره کتاب‌شناسی ملی: ۵۷۸۰-۸۳.
- رحمانی فضل، ع.ا. ۱۳۹۷. بهره برداری از منابع آب بسیار عمیق در سیستان. روزنامه اطلاعات. کد خبر: ۳۷۶۳۹۹. تاریخ خبر: ۱۹ تیر ۱۳۹۷. www.ettelaat.com/etiran/?p=376399. visited 10 August 2018.
- رمضانی سربندی، م.، شریفی فدیحی، م.، شهریاری، آ. و طاهری، ا. ۱۳۹۴. امکان‌سنجی استفاده از آب‌های فسیلی در فضای سبز شهری. اولین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین، تهران.
- درخشان، ه.، داوری، ک.، هاشمی‌نیا، س.م. و ضیایی، ع.ن. ۱۳۹۶. حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای تخمین و حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی. نشریه علمی ترویجی آب و توسعه پایدار، ۱۳۰-۱۳۱: (۲)۴.
- دهمرد، ح.ا. ۱۳۹۶. طرح حفاری آب‌های ژرف در دشت سیستان در فروردین ۹۷ آغاز می‌شود. خبرگزاری مجلس شورای اسلامی. کد خبر: ۳۷۸۰۱. تاریخ خبر: ۱۵ اسفند ۱۳۹۶. <http://www.icana.ir/Fa/News/373801>
- میرعربی، ع. و حسینی، س.ا. ۱۳۹۰. آب‌های فسیلی ذخایر استراتژیک جهان. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- Brika B. 2018. Water Resources and Desalination in Libya. The 3rd EWaS International Conference on "Insights on the Water-Energy-Food Nexus", Lefkada Island, Greece, 27-30 June 2018. DOI: 10.3390/proceedings2110586.
- Foster S. and Loucks D. 2006. Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. IHP-VI, Series on Groundwater No.10. 103p.
- Garber A. and Salameh E. 1992. Jordan's Water Resources and their Future Potential. Proc. Symp. 'Water Resources'. University of Jordan.
- Jasechko S. 2017. Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination. *Nature Geoscience*, 10: 425-429.
- Khaska M., Le Gal La Salle C., Videau G., Flinois G-S., Frape Sh., Team A. and Verdoux P. 2015. Deep water circulation at the northern Pyrenean thrust: Implication of high temperature water-rock Interaction process on the mineralization of major spring water in

Article Type: Conceptual

نوع مقاله: مفهومی

Deep Groundwater Resources: Characteristics and Constraints

A. Kavousi Heidari^{1*}, R. Roozbahani², M. Eftekhari³

1,2,3- Research Assistant Prof., Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: : a.kavousi@wri.ac.ir)

Received: 16-01-2019

Accepted: 03-03-2019

منابع آب زیرزمینی ژرف: ویژگی‌ها و محدودیت‌ها

علیرضا کاوسی حیدری^{۱*}، رضا روزبهانی^۲، مرتضی افتخاری^۳

۱، ۲ و ۳- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: : a.kavousi@wri.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۲

Abstract

As a consequence of the increase in water demand due to population growth, and decrease in available conventional water resources because of climate change, unconventional water resources, specifically deep groundwater resources, have become the focus of attention. Due to the lack of required information, reconnaissance and exploration investigations of the resources, in order to demonstrate the country assets in this regard, was under taken by governmental authorities. Currently, two separate projects, namely "Potentiality of favorable zones for deep groundwater, at country scale" and "Exploration of Sistan deep groundwater", are in progress. The focus of the aforementioned projects are mainly on the discovery of deep aquifers and assessments of the relevant exploitable water volumes. Focusing on other aspects of the resources, such as social, environmental, renewability, and water quality issues must also be taken into account. This paper gives an overview of deep groundwater characteristic, as well as exploitation constraints and considerations, reviewing the relevant research worldwide.

Keywords: Megawatershed, Non-renewability, Environmental hazards, Hydrochemistry.

چکیده

افزایش تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت و کاهش منابع آب متعارف در دسترس به دلیل تغییرات اقلیمی، موجب شده منابع آب غیرمتعارف کشور و به‌طور ویژه منابع آب زیرزمینی ژرف در کانون توجهات قرار گیرند. عدم وجود اطلاعات کافی درباره منابع آب ژرف موجب شد انجام مطالعات شناسایی و اکتشافی این منابع با هدف تبیین وضعیت کشور از نظر وجود آن‌ها در دستور کار دستگاه‌های مختلف حاکمیتی قرار گیرد. در حال حاضر دو مطالعه اصلی مجزا با عناوین "پهنه‌بندی مناطق مستعد آب ژرف کشور" و "اکتشاف منابع آب ژرف سیستان" در این زمینه در حال انجام است که در مطالعات مذکور بیشتر بروی شناسایی موقعیت آبخوان‌های ژرف و حجم آب قابل بهره‌برداری از آن‌ها تمرکز شده است. باتوجه‌به وجود تجارب جهانی در زمینه بهره‌برداری از منابع آب ژرف، ضرورت دارد سایر جنبه‌های مهم مربوط به این منابع مانند مسائل اجتماعی، زیست‌محیطی، تجدیدپذیری، کیفیت آب و غیره توجه جدی شود. در این مقاله تحقیقات انجام‌شده در سایر مناطق جهان بررسی و ویژگی‌های منابع آب ژرف، محدودیت‌ها و ملاحظات حاکم بر بهره‌برداری از این منابع آبی تشریح شده است.

واژه‌های کلیدی: ابرحوضه، تجدیدنپذیری، مخاطرات زیست‌محیطی، هیدروشیمی.

جوانب مربوط به منابع آب ژرف اعم از توسعه روش‌شناسی صحیح برای شناسایی و اکتشاف و تبیین مسائل زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حقوقی مرتبط بر بهره‌برداری و سپس در نظرگیری دقیق آن‌ها اهمیت زیادی دارد.

اگرچه موضوع استفاده از منابع آب ژرف در سال‌های اخیر به‌طور جدی در کشور مطرح شده اما ابعاد مختلف این منابع آب برای جامعه علمی و مدیریتی کشور به میزان لازم و کافی مورد بحث و بررسی علمی قرار نگرفته است. به نظر می‌رسد عمده اطلاعات و موضوعات مطروحه در این زمینه برخاسته از فضاهای هیجانی ژورنالیستی و سیاسی بوده و برخی موضوعات شاید مهمتر از بهره‌برداری این منابع مانند مسائل زیست‌محیطی، حقوقی، اجتماعی و غیره که ضامن استفاده پایدار از آن‌ها می‌باشد مورد غفلت قرار گرفته است. در این مقاله تلاش شده است ضمن ارائه ویژگی‌ها و مشخصه‌های این منابع آبی محدودیت‌ها و ملاحظات حاکم بر بهره‌برداری از آن‌ها ارائه شود.

واجد یا فاقد ساختارهای رسوبی که از نظر تغذیه، ذخیره، انتقال و به دام افتادن آب‌های زیرزمینی ژرف به‌صورت یکپارچه عمل می‌نماید (Bisson, 2005). اولین بار بیسون در سال ۱۹۸۷ واژه ابرحوضه را برای تعریف منابع آب ژرف غیرفسیلی به‌کار برد (Bisson و Lehr, 2004). در مدل مفهومی ارائه شده توسط بیسون ارتفاعات یک ابرحوضه در تغذیه آبخوان ژرف نقش دارند و جریان آب زیرزمینی در آبخوان می‌تواند در راستای شکستگی‌ها و گسل‌های مهم به‌وجود آید که در شکل (۱-الف) ارائه شده است (Bisson, 1992). مرزهای یک ابرحوضه اغلب با مرزهای حوضه‌های آبریز آب‌های سطحی همخوانی ندارند و ابرحوضه می‌تواند در ارتفاعات چندین حوضه آبریز سطحی تغذیه شود (Bisson, 2005). وجود ابرحوضه‌ها در آفریقا، آسیا، اقیانوسیه، خاورمیانه، اروپا، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و کارائیب عمدتاً توسط بیسون و یا همکاران ایشان گزارش شده است (Bisson, 1992; Bisson, 2002; Bisson و Lehr, 2004; Bisson, 2005).

ابرحوضه به لحاظ مفهوم شباهت زیادی به جریان ناحیه‌ای در مدل مفهومی جریان آب زیرزمینی توث (Tóth, 1963) دارد. براساس این مدل مفهومی که در علم هیدروژئولوژی بیش از نیم‌قرن قدمت دارد سه نوع زیرسامانه جریان محلی، میانی و ناحیه‌ای^۲ در یک سامانه آب زیرزمینی در نظر گرفته شده به‌طوری‌که جریان ناحیه‌ای آب زیرزمینی بیانگر مسیرهای حرکت آب در بیشترین اعماق آبخوان است. در زیرسامانه جریان ناحیه‌ای خطوط جریان، به‌صورت مشابه با مفهوم ابرحوضه ارائه شده توسط بیسون می‌توانند از مرزهای حوضه‌های آبریز سطحی تبعیت ننموده و در برخی موارد آن‌ها را قطع نمایند (شکل ۱-ب).

شناسایی، اکتشاف و بهره‌برداری از منابع آب ژرف در چند دهه اخیر مورد توجه بسیاری از کشورهای واقع در مناطق خشک و فراخشک جهان به ویژه در خاورمیانه و شمال آفریقا بوده است. در این مناطق که عمدتاً دسترسی به منابع آب سطحی و زیرزمینی کم‌عمق فراهم نیست، آب ژرف بخش قابل توجهی از مصارف آب (به‌ویژه در بخش شرب) را تأمین نموده و فرصتی برای ارتقا رفاه اجتماعی و توسعه اقتصادی در شرایط کمبود شدید آب را فراهم نموده است. بررسی‌های انجام‌شده در کشورهای بهره‌بردار منابع آب ژرف نشان می‌دهد اگر توسعه بهره‌برداری از این منابع بر اساس معیارهای خاصی صورت پذیرد ریسک‌های بهره‌برداری (حتی از انواع تجدیدنپذیر) این منابع قابل مدیریت بوده و جامعه می‌تواند به‌صورت پایدار از آن‌ها بهره‌مند شود (Louks و Foster, 2006). شناخت همه

ویژگی‌های منابع آب ژرف

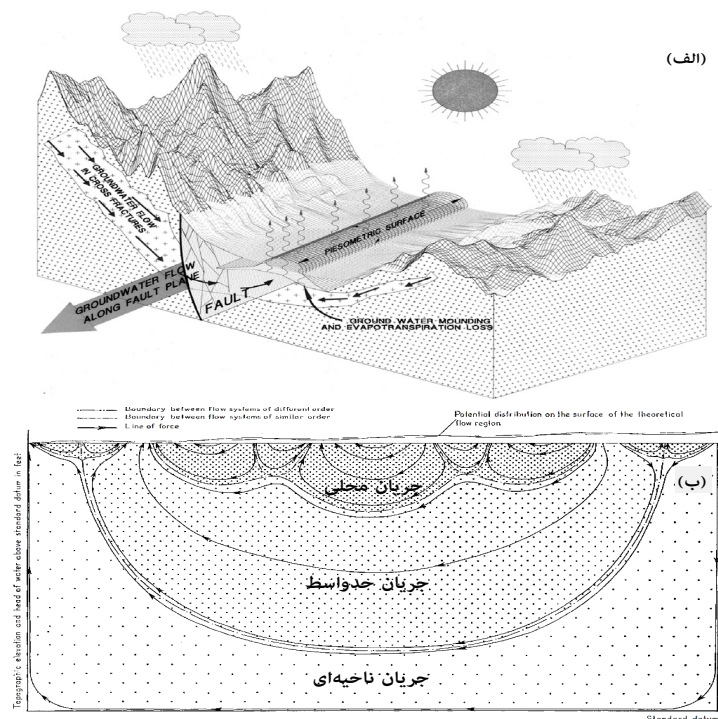
منابع آب ژرف دارای ویژگی‌های مشخصی هستند که بر مبنای آن‌ها این منابع از سایر منابع آب زیرزمینی تفکیک می‌شود. در این بخش از مقاله به تشریح ویژگی‌های اصلی منابع آب ژرف در جنبه‌های مختلف پرداخته شده است.

۱- ژرفا

عمق قرارگیری منابع آب ژرف به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه وابسته است لذا حد ژرفای مطلق بین منابع آب زیرزمینی معمول (آزاد و محبوس) و ژرف نمی‌توان در نظر گرفت. در یک تعریف ساده منابع آب ژرف را می‌توان منابع آب زیرزمینی (غالباً محبوس) در نظر گرفت که در اعماق زیرین منابع آب زیرزمینی کشف شده و در حال حاضر از آن استفاده می‌شود. بر این اساس در نقاط مختلف جهان اعماق متفاوتی برای عمق تشکیل و قرارگیری آبخوان‌های ژرف گزارش شده است. در بنگلادش به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی منابع آب موجود ژرفای بیش از ۱۵۰ متر جز منابع آب ژرف در نظر گرفته شده است (Hoque و Burgess, 2012)؛ ژرفای این منابع در نواحی خشک خاورمیانه (مانند عربستان و اردن) ۱۲۰۰ متر و در شمال آفریقا (مانند مصر، لیبی، الجزایر و تونس) بین ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر گزارش شده است (Lehr و Bisson, 2004).

۲- ابرحوضه و جریان ناحیه‌ای

واژه ابرحوضه^۱ یک واژه کلیدی در تبیین مدل مفهومی آبخوان‌های ژرف است. طبق تعریف ابرحوضه عبارت است از آبخوان‌های بسیار عمیق متشکل از رسوبات گراولی با سنگ مادر درز و شکافی

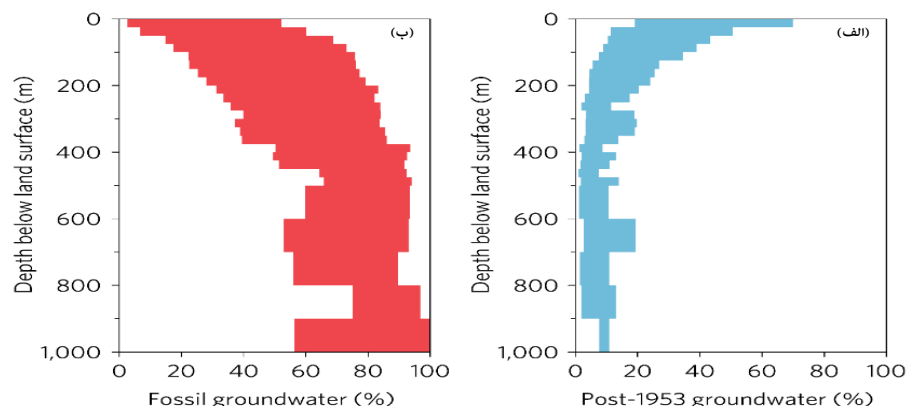


شکل ۱- (الف) مدل مفهومی ابرحوضه (Bisson, ۱۹۹۲)، (ب) زیرسامانه‌های جریان محلی، حد واسط و ناحیه‌ای در مدل مفهومی جریان آب زیرزمینی توث (Tóth, ۱۹۶۳)؛ فاصله محل تغذیه-تخلیه و ژرفای گردش جریان در زیرسامانه جریان ناحیه‌ای زیاد بوده و چندین زیرسامانه جریان محلی و حتی حدواسط را در برمی‌گیرد.

۳- تجدیدپذیری، زمان ماندگاری و منشأ

شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در آبخوان‌های ژرف اغلب بسیار کم و نزدیک به صفر است؛ در نتیجه سرعت جریان آب زیرزمینی در این آبخوان‌ها اغلب بسیار اندک و در حد چند متر در سال گزارش شده است (جدول ۱). از طرفی مسیر گردش آب زیرزمینی در یک آبخوان ژرف به گونه‌ای است که فاصله محل تغذیه تا تخلیه می‌تواند بالغ بر صدها کیلومتر باشد. با توجه به سرعت جریان کم و طولانی بودن مسیر جریان، متوسط زمان ماندگاری آب زیرزمینی^۲ در این منابع اغلب بسیار زیاد است. Jasechko و همکاران

(۲۰۱۷) مقادیر ایزوتوپی (پایدار و ناپایدار) کربن ($n=6455$) و تریتوم ($n=5661$) چاه‌ها در نقاط مختلف جهان را بررسی کردند و نشان دادند زمان ماندگاری آب زیرزمینی با افزایش عمق به شدت افزایش می‌یابد. بر مبنای نتایج آن‌ها بیش از ۵۰ درصد کل چاه‌هایی که عمق بیش از ۲۵۰ متر دارند دارای مؤلفه آبی غالب با زمان ماندگاری قبل از دوره هولوسن (۱۲۰۰۰ سال قبل) هستند (شکل ۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد متوسط زمان ماندگاری آب زیرزمینی در آبخوان‌های ژرف اغلب بسیار طولانی است و حتی به بیش از یک میلیون سال می‌رسد (جدول ۱).



شکل ۲- تغییرات مؤلفه آبی دارای زمان ماندگاری (الف) جدیدتر از سال ۱۹۵۳، یعنی با قدمت کمتر از ۶۵ سال و (ب) قدیمی‌تر از دوره هولوسن، یعنی با قدمت بیش از ۱۲۰۰۰ سال، نسبت به عمق (Jasechko و همکاران، ۲۰۱۷)

جدول ۱- متوسط زمان ماندگاری و سرعت جریان آب زیرزمینی در برخی آبخوان‌های ژرف معروف جهان

نام آبخوان ژرف*	کشور(ها)	سرعت جریان (متر بر سال)		متوسط زمان ماندگاری		مرجع
		روش ایزوتوپی	روش مدل سازی	مدت (سال)*	روش سن سنجی	
Great Artesian Basin	استرالیا	۰/۱۳۳ تا ۰/۴۳۳	-	۷۰۰,۰۰۰ تا ۱,۰۶۰,۰۰۰	³⁶ Cl و ⁴ He	Mahara و همکاران (۲۰۰۹)
Continental Intercalaire	الجزایر و تونس	۳ تا ۶	۲۰ تا ۴۰	۲۵,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰	¹³ C و ¹⁴ C	Edmunds و همکاران (۲۰۰۳)
Eocene Sands	فرانسه	-	۵	بیش از ۵۰۰,۰۰۰	³⁶ Cl	Petersen و همکاران (۲۰۱۸)
Sherwood Sandstone	انگلستان	۰/۶	۰/۲	۲۵,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰	¹⁴ C	André و همکاران (۲۰۰۵)
Bangal Aquifer	بنگلادش	-	۴/۴	۹,۰۰۰ تا ۳,۰۰۰	¹⁴ C	Smedley و Edmunds (۲۰۰۰); Bath و همکاران (۱۹۸۷)
						Burgess و Hoque (۲۰۱۲)

* با توجه به گسترش فضایی زیاد آبخوان‌های ژرف و نوع روش سن سنجی، متوسط زمان ماندگاری آب زیرزمینی برآورد شده می‌تواند متفاوت باشد. به‌طور کلی هرچه نمونه اخذ شده از محل‌های تغذیه اصلی آبخوان فاصله بیشتری داشته باشند، متوسط زمان ماندگاری برآوردی بیشتر خواهد بود.

منابع آب زیرزمینی از دیدگاه عامه اغلب تجدیدپذیر^۴ در نظر گرفته می‌شوند؛ اما در برخی موارد متوسط زمان ماندگاری آب در این منابع به‌ویژه در ژرفای زیاد زمین، صدها و هزاران سال بوده که در مقایسه با دوره زمانی فعالیت‌های بشر به‌ویژه در ارتباط با برنامه‌ریزی منابع آب بسیار طولانی است. براساس تعریف پیشنهادی یونسکو در مطالعه منابع آب ژرف اغلب استناد می‌شود منابع آب زیرزمینی که دوره تجدید آن‌ها بیش از ۵۰۰ سال باشد تجدیدناپذیر^۵ در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دیگر در یک آبخوان تجدیدناپذیر نرخ تجدیدپذیری^۶ کمتر از ۰/۲ درصد در سال منظور شده است (Foster و Loucks, ۲۰۰۶). بر این اساس منابع آب ژرف تجدیدپذیر را می‌توان دسته‌ای از منابع آب زیرزمینی در نظر گرفت که زیر آبخوان‌های کم‌عمق در حال برداشت کنونی و در ژرفای زمین قرار گرفته است. این منابع دارای منشأ آب جوی هستند و در چرخه هیدرولوژیکی با نرخ تجدیدپذیری اندک (که باید بیشتر از ۰/۲ درصد در سال باشد) مشارکت دارند. لازم به ذکر است طبق تعریف یونسکو بیشتر منابع آب ژرف کشف شده جهان در دسته منابع آبی تجدیدناپذیر قرار دارند و این منابع را باتوجه‌به منشأ آن‌ها می‌توان به دو گروه کلی دسته‌بندی نمود:

الف- منابع آب ژرف تجدیدناپذیر فسیلی یا آب سازندی^۷ که در زمان رسوب‌گذاری در میان فضاهای خالی لایه‌های رسوبی به دام افتاده و به وسیله ساختارهای زمین‌شناسی محبوس شده است. کیفیت آب این منابع اغلب از نظر شرب و حتی کشاورزی نامطلوب است. ب- منابع آب ژرف تجدیدناپذیر دارای منشأ بارش‌های جوی اقلیم دیرینه^۸ با متوسط زمان ماندگاری بیش از ۵۰۰ سال، باتوجه‌به شرایط اقلیمی محلی در اعصار گذشته در واحدهای رسوبی و یا سنگی (رسوبی، آذرین و یا دگرگونی) تغذیه و به

وسیله ساختارهای زمین‌شناسی محبوس شده است^۹. بیشتر منابع آب ژرف کشف شده در دنیا جز این گروه می‌باشند. تعیین متوسط زمان ماندگاری و منشأ منابع آب ژرف با سنجش ایزوتوپ‌های پایدار و ناپایدار (اکسیژن، هیدروژن، کربن و غیره) و مقادیر و نسبت‌های یونی انجام می‌شود (Edmunds و همکاران، ۲۰۰۳؛ Guendouz و همکاران، ۲۰۰۳؛ André و همکاران، ۲۰۰۵؛ Moussa و همکاران، ۲۰۱۱؛ Hoque و Burgess، ۲۰۱۲؛ Novikov و Sukhorukova، ۲۰۱۵؛ Petersen و همکاران، ۲۰۱۸). الگوی پیچیده جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های ژرف توسط ساختارهای زمین‌شناسی کنترل می‌شود و تعیین منشأ آب‌های زیرزمینی مسیرهای اصلی جریان و چگونگی اختلاط این آب‌ها را با مشکل مواجه می‌نماید (André و همکاران، ۲۰۰۵).

۴- ابعاد

حجم ذخیره، گسترش فضایی و ضخامت اشباع منابع آب ژرف کشف شده در جهان قابل توجه است؛ به‌طوری‌که برای برخی از آبخوان‌های ژرف گسترش فضایی بیش از یک میلیون کیلومترمربع، ضخامت اشباع چند صد تا چند هزار متر و حجم ذخیره آبی در حد ده‌ها هزار میلیارد مترمکعب گزارش شده است (جدول ۲). مساحت زیاد و ضخیم بودن لایه اشباع برخی آبخوان‌های ژرف موجب شده حجم ذخیره قابل بهره‌برداری این آبخوان‌ها بسیار قابل توجه برآورد شود (جدول ۲). آبخوان ژرف ماسه‌سنگی تجدیدناپذیر Nubian وسیع‌ترین آبخوان شناخته شده جهان با وسعت ۲/۲۰۰ میلیون کیلومترمربع بخش وسیعی از کشورهای مصر، لیبی، سودان و چاد، که میزان بارش کنونی آن‌ها کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال است را پوشش می‌دهد (Foster و Loucks، ۲۰۰۶). در جدول (۲) مشخصات ابعادی برخی آبخوان‌های ژرف مهم کشف شده جهان ارائه شده است.

جدول ۲- ابعاد برخی منابع آب ژرف بزرگ جهان، که اغلب به صورت تجدیدناپذیر هستند
(Loucks و Foster، ۲۰۰۶؛ Margat و Van der Gun، ۲۰۱۳؛ McGuire، ۲۰۱۷)

ردیف	نام آبخوان	کشور(ها)	وسعت (Km ²)	حداکثر ضخامت آبخوان (m)	ذخیره آبی قابل بهره‌برداری (Mm ³)	بهره‌برداری کنونی (Mm ³ /a)
۱	Nubian Sandstone	مصر، لیبی، سودان و چاد	۲،۲۰۰،۰۰۰	۳،۵۰۰	۱۴،۴۶۰،۰۰۰	۲،۱۷۰
۲	Great Artesian Basin	استرالیا	۱،۷۰۰،۰۰۰	۳،۰۰۰	۱۷۰،۰۰۰	۶۰۰
۳	Amazon Basin	برزیل، کلمبیا، پرو و بولیوی	۱،۵۰۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	* ۳۲،۵۰۰،۰۰۰	؟
۴	Guaraní Aquifer System	برزیل، آرژانتین، پاراگوئه و اروگوئه	۱،۱۹۵،۰۰۰	۸۰۰	* ۵۷،۰۰۰،۰۰۰	؟
۵	North Western Sahara	الجزایر، لیبی و تونس	۱،۰۰۰،۰۰۰	۱،۶۰۰	۱،۲۸۰،۰۰۰	۲،۵۶۰
۶	Maranhão Basin	برزیل	۷۰۰،۰۰۰	۸،۰۰۰	* ۱۷،۵۰۰،۰۰۰	؟
۷	Chad Basin	نیجر، نیجریه، چاد، سودان، کامرون و لیبی	۶۰۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۱۷۰ تا ۳۵۰،۰۰۰	۲۵۰
۸	Iullemeden Multilayer Continental	مالی، نیجر و نیجریه	۵۰۰،۰۰۰	۱،۵۰۰	۲۵۰،۰۰۰ تا ۲،۰۰۰،۰۰۰	۲۲۵
۹	Ogallala (High Plains)	ایالات متحده آمریکا (هشت ایالت)	۴۵۰،۰۰۰	۳۶۶	۳،۶۷۶،۰۰۰ تا ۴،۰۰۹،۰۰۰	۲۶،۹۰۰
۱۰	Murzuk-Djado Basin	الجزایر، لیبی و نیجر	۴۵۰،۰۰۰	۲،۵۰۰	۶۰ تا ۸۰،۰۰۰	۱،۷۵۰
۱۱	Sudd Basin-Umm Ruwaba	سودان و اتیوپی	۳۶۵،۰۰۰	۳،۰۰۰	* ۱۱۰،۰۰۰	؟
۱۲	Various	عربستان، بحرین، قطر و امارات	۲۲۵،۰۰۰ تا ۲۵۰،۰۰۰	۶،۵۰۰	۵۰۰،۰۰۰ تا ۲،۸۱۵،۰۰۰	۱۳،۷۹۰
۱۳	Maastrichtian	موریتانی، سنگال و گامبیا	۲۰۰،۰۰۰ تا ۳۰۰،۰۰۰	۵۰۰	۴۸۰ تا ۵۸۰،۰۰۰	۲۶۵
۱۴	Paris Basin	فرانسه	۱۹۰،۰۰۰	۳،۲۰۰	۵۰۰،۰۰۰ تا ۱،۰۰۰،۰۰۰	۷۰
۱۵	Central Kalahari Karroo Sand	بوتسوانا	۸۰،۰۰۰	۷،۰۰۰	۸۶،۰۰۰	۲،۸۹۰
۱۶	West Siberian Artesian Basin	روسیه	۳،۲۰۰	۶،۰۰۰	* ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	؟

* کل حجم ذخیره آب تئوریک

۵- کیفیت

ترکیب شیمیایی آب زیرزمینی حاصل برآیند کلیه عواملی است که از زمان تراکم آب در جو، عبور آب از زون‌های غیراشباع و اشباع تا لحظه خروج آب از منطقه تخلیه آبخوان عمل می‌نمایند. عوامل متعددی همچون ترکیب شیمیایی آب بارش، جنس زمین (بدنه آبخوان)، اختلاط، زمان ماندگاری آب زیرزمینی، تبخیر و شرایط فیزیکوشیمیایی محیطی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی مؤثر است، در ادامه اثرات این عوامل بر کیفیت منابع آب ژرف به اختصار تشریح می‌شود (Freeze و Cherry، ۱۹۷۹؛ Drever، ۱۹۹۷؛ Domenico و Schwartz، ۱۹۹۷).

الف- ترکیب شیمیایی آب بارش: مواد محلول در آب بارش می‌تواند به آب زیرزمینی منتقل شود و میزان مواد محلول در آن را افزایش دهد. همچنین در صورت بالا بودن اسیدیته (یعنی اسیدی بودن بارش)، قابلیت انحلال آب بارش بیشتر خواهد بود و در نتیجه مواد بیشتری در مسیر حرکت آب در زیرزمین حل خواهد شد. اثر این عامل بر کیفیت آب زیرزمینی به‌ویژه از نوع ژرف قابل اغماض است. **ب- تبخیر:** پدیده تبخیر موجب افزایش غلظت مواد محلول در آب باقیمانده می‌شود. این پدیده بر منابع آب جوی، سطحی و زیرزمینی (حداکثر تا عمق یکی دو متر) اثرگذار است؛ بنابراین اثر آن بر کیفیت آب‌های زیرزمینی ژرف قابل توجه نخواهد بود.

ج- لیتولوژی: جنس واحدهای زمین‌شناسی در مسیر جریان زیرسطحی (در منطقه اشباع و غیراشباع) را می‌توان مهم‌ترین عامل مؤثر بر ترکیب هیدروشیمیایی آب زیرزمینی (ژرف یا کم‌عمق) دانست. میزان مواد محلول آب زیرزمینی در تماس با ماسه‌سنگ‌های سیلیسی با درجه خلوص بالا و اغلب سنگ‌های آذرین و دگرگونی چندان افزایش نمی‌یابد؛ زیرا کانی‌هایی که قابلیت انحلال زیاد دارند، در سنگ‌های مزبور کمتر یافت می‌شود. به‌علت وجود کانی‌های با قابلیت انحلال زیاد (نظیر ژپس و انواع کانی‌های تبخیری) میزان مواد محلول آب در تماس با برخی واحدهای زمین‌شناسی (اغلب رسوبی) می‌تواند افزایش یابد، به‌طوری‌که میزان مواد محلول در منابع آب زیرزمینی (کم‌عمق یا ژرف) می‌تواند بیشتر از آب دریا باشد.

د- اختلاط: ترکیب آب‌های زیرزمینی که منشأهای مختلفی دارند، علاوه‌بر ایجاد یک ترکیب شیمیایی جدید برای آب حاصله (بر مبنای نسبت اختلاط)، می‌تواند منجر به افزایش قابلیت انحلال آب زیرزمینی شده و در نتیجه افزایش مواد محلول آب را به همراه داشته باشد. پدیده اختلاط می‌تواند ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی ژرف را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

و- زمان ماندگاری: طولانی بودن مسیر تغذیه-تخلیه و کند بودن سرعت جریان آب زیرزمینی موجب طولانی شدن زمان ماندگاری آب در محیط زیرزمینی می‌شود. با افزایش زمان ماندگاری به دلیل افزایش مدت‌زمان تماس آب با رسوبات و سنگ‌ها زمان کافی برای انجام فعل و انفعالات شیمیایی و به اشباع رسیدن آب نسبت به

یون‌های مختلف وجود دارد. بنابراین به‌عنوان یک قاعده کلی غلظت مواد محلول آب‌های زیرزمینی قدیمی نسبت به آب زیرزمینی جدید اغلب بیشتر است. اثر این عامل بر افزایش میزان مواد محلول در آب‌های زیرزمینی به‌گونه‌ای است که در یک آبخوان ژرف مناطق کم‌عمق‌تر با زمان ماندگاری کمتر دارای مواد محلول کمتری است (Edmunds و Smedley، ۲۰۰۰).

منابع آب ژرف با زمان ماندگاری زیاد (اغلب تجدیدنپذیر) در اثر تماس طولانی‌مدت با بدنه آبخوان ممکن است باعث کاهش شدید کیفیت شوند. به‌طوری‌که غلظت برخی یون‌ها در این آب‌ها می‌تواند بسیار بیش از حد مجاز شده و حتی مواد رادیواکتیو و برخی عناصر و فلزات سنگین که قابلیت انحلال پایینی دارند به میزان زیاد در آن‌ها یافت شود. غلظت بالای یون‌هایی از قبیل فلوئور، لیتیم، وانادیم، آهن، منگنز، سیلیس، آرسنیک، کروم، استرانسیوم، نیترات و مواد رادیواکتیو در برخی منابع آب ژرف جهان که زمان ماندگاری زیادی داشتند گزارش شده است (Guendouz و همکاران، ۲۰۰۳؛ Edmunds و همکاران، ۲۰۰۳؛ Halim و همکاران، ۲۰۱۰؛ Yousafzai و همکاران، ۲۰۱۰؛ Alaya و همکاران، ۲۰۱۴).

ه- شرایط فیزیکوشیمیایی محیطی: متغیرهای محیطی فیزیکی (دما و فشار) و شیمیایی (اسیدیته و شرایط اکسیداسیون و احیا) بر انحلال و رسوب‌گذاری املاح مختلف در آب زیرزمینی تأثیرگذار هستند. در منابع آب ژرف این عوامل می‌توانند موجب افزایش قابل توجه غلظت برخی از عناصر (نظیر کروم) شوند.

محدودیت‌ها و ملاحظات بهره‌برداری

باتوجه‌به مشخصه‌های آبخوان‌های ژرف که به آن‌ها اشاره شد بهره‌برداری از این منابع با محدودیت‌ها و ملاحظات خاصی روبه‌رو است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱- ملاحظات سیاسی-اجتماعی

با توجه‌به گستره وسیع آبخوان‌های ژرف چالش‌های سیاسی (بین کشوری) و اجتماعی (بین استان‌ها) برای بهره‌برداری از منابع آب ژرف دور از انتظار نیست. بسیاری از آبخوان‌های ژرف مهم کشف‌شده در جهان گستره سطحی و حجم ذخیره آب قابل توجهی دارند که اغلب بین دو یا چند کشور مشترک می‌باشند (جدول ۲). بنابراین بهره‌برداری از این منابع آبی مشترک اغلب در چارچوب قواعد و حقوق بین‌الملل مربوطه میسر خواهد بود.

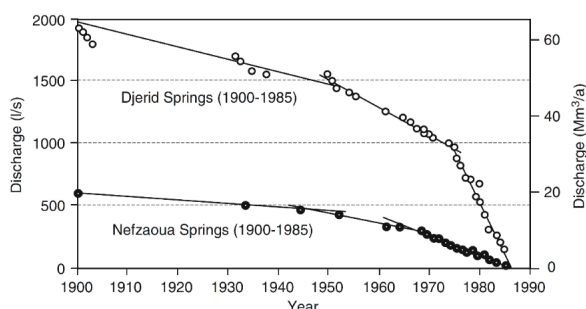
سازمان یونسکو در سال ۲۰۰۳ کارگروه مدیریت منابع آب زیرزمینی مرزی (مشترک) بین‌المللی (ISRAM)^۱ را برای مدیریت آبخوان‌های مرزی و مشترک تشکیل داده است (Verhagen و ۲۰۱۱). این کارگروه در اواخر سال ۲۰۰۸ مصوبه

شماره A/RES/63/124 در خصوص نحوه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مرزی و مشترک را در جلسه شصت و سوم مجمع عمومی سازمان ملل متحد به تصویب رساند، که طی مصوبه شماره A/RES/71/150 در سال ۲۰۱۶ به‌روزرسانی شد. مصوبه مزبور رویکرد بین‌المللی حاکم برای بهره‌برداری پایدار و منصفانه از آبخوان‌های مرزی مشترک را تبیین نموده است. در راستای اجرای این مصوبه کشورهای الجزایر، بنین، بوركینافاسو، مالی، موریتانی، نیجر و نیجریه در سال ۲۰۱۴ یک معاهده همکاری برای مدیریت بهره‌برداری از آبخوان‌های ژرف Iullemeden و Taoudeni/ Tanezrouft به امضا رسانده‌اند (www.un.org).

۲- کیفیت و آلودگی

آب‌های زیرزمینی ژرف می‌توانند شیرین، لب‌شور، شور و یا حتی بسیار شور باشند. این منابع در برخی مناطق نظیر شمال شرق آفریقا و کشورهای عربی با وجود تجدیدنپذیر بودن به دلیل کیفیت بالا و میزان مواد محلول کم (که در برخی موارد کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است) برای تامین آب شرب و کشاورزی بهره‌برداری می‌شوند. در صورتی‌که غلظت مواد محلول منابع

به شدت کاهش یافته است (Foster و Loucks, ۲۰۰۶).



شکل ۳- کاهش آبدهی و خشک شدن چشمه‌های خروجی آبخوان ژرف North Western Sahara در آفریقا (Foster و Loucks, ۲۰۰۶).

ب- تغییر رژیم هیدرولیکی آبخوان‌های کم‌عمق (آبرفتی) و کاهش نرخ تغذیه از سنگ کف آن‌ها: آبخوان‌های ژرف عموماً از نوع تحت فشار می‌باشند (Bisson و Lehr, ۲۰۰۴). بنابراین اگر بار هیدرولیکی و شرایط زمین‌شناسی در یک منطقه به گونه‌ای باشد که آبخوان ژرف تغذیه‌کننده یک آبخوان کم‌عمق از طریق سنگ کف باشد با افت فشار در آبخوان ژرف میزان نرخ تغذیه از سنگ کف آبخوان کم‌عمق کاهش خواهد یافت. بنابراین اگر بار هیدرولیکی در آبخوان ژرف بر اثر بهره‌برداری کمتر از بار هیدرولیکی در آبخوان کم‌عمق شود جهت جریان طبیعی می‌تواند معکوس شده و آبخوان کم‌عمق موجب تغذیه آبخوان ژرف شود. در چنین شرایطی ذخیره آبی آبخوان کم‌عمق (که کیفیت بهتری دارد) به اعماق بیشتر نفوذ کرده و شدت افت سطح آب زیرزمینی در این آبخوان بیشتر خواهد شد. احتمال بروز این وضعیت در مورد آبخوان ژرف GAB استرالیا مورد توجه قرار گرفته است. شکل (۴) اختلاف بار هیدرولیکی بخشی از این آبخوان نسبت به آبخوان کم‌عمق بالایی آن را نشان می‌دهد. در شکل نامبرده بخش‌های دارای اختلاف بار هیدرولیکی منفی (با تئاز رنگی آبی) و مثبت (با تئاز رنگی نارنجی) به ترتیب بیانگر احتمال وجود جریان قائم رو به پایین (تغذیه آبخوان ژرف) و جریان قائم رو به بالا (تغذیه آبخوان کم‌عمق بالایی) می‌باشند (Smerdon و همکاران, ۲۰۱۲).

ج- فرونشست زمین: فشار روباره^{۱۱} سطح زمین در ناحیه اشباع بر روی آب زیرزمینی (آب منفذی) و اجزای بدنه آبخوان تحمل می‌شود. آب زیرزمینی به وسیله چاه موجب کاهش فشار آب منفذی، افزایش فشار در بدنه آبخوان و در نتیجه فرونشست غیرالاستیک (برگشت‌ناپذیر) فضاها می‌شود که در سطح زمین نیز نمود می‌یابد (Hawkins, ۲۰۰۵). شواهد فرونشست زمین در اثر بهره‌برداری گسترده (در حد یک میلیون مترمکعب بر روز) از میدان چاه آب Tazerbo در آبخوان ژرف Nubian، در جنوب شرقی لیبی گزارش شده است (Alfarrah و همکاران, ۲۰۱۷).

آب ژرف زیاد باشد ممکن است بهره‌برداری از آن‌ها حتی برای مصارف کشاورزی مقدور نباشد. Alaya و همکاران (۲۰۱۴) ترکیب شیمیایی آبخوان ژرف Djeffara در جنوب شرق تونس را طبق استانداردهای موجود برای مصارف شرب و حتی کشاورزی آب نامناسب تشخیص دادند.

برخی عناصر کمیاب، فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو در غلظت‌های خطرناک بیش از حد مجاز مصارف مختلف در آب‌های ژرف ممکن است وجود داشته باشد. لازم به ذکر است منابع آب ژرف شور و بسیار شور اگرچه به لحاظ منبع آبی اقتصادی نیستند اما به دلیل وجود برخی عناصر ارزشمند در غلظت‌های بالا می‌توانند ارزش فراوری مواد معدنی را داشته باشند. در منطقه داشلی برون در استان گلستان طی مطالعات اکتشافی ژئوفیزیکی و حفاری نفتی در اعماق ۲۲۰۰ متری شوره‌بیهایی با مقادیر قابل توجه ید کشف و بهره‌برداری شد (Oskooi و Mansoori, ۲۰۱۴).

برداشت از منابع آب زیرزمینی ژرف که اغلب املاح بیشتری نسبت به سایر منابع آبی دارند، می‌تواند در دراز مدت باعث افزایش شوری منابع خاک و آب (سطحی و زیرزمینی کم‌عمق) شود. Aly (۲۰۱۵) افزایش شوری خاک و آب زیرزمینی کم‌عمق در واحه Siwa در غرب مصر را گزارش نمود. لازم به ذکر است در صورت نیاز به تصفیه آب ژرف لب‌شور یا دارای آلودگی فلزات سنگین و رادیواکتیو تبعات زیست‌محیطی پساب تولیدی بسیار چالش‌زا است.

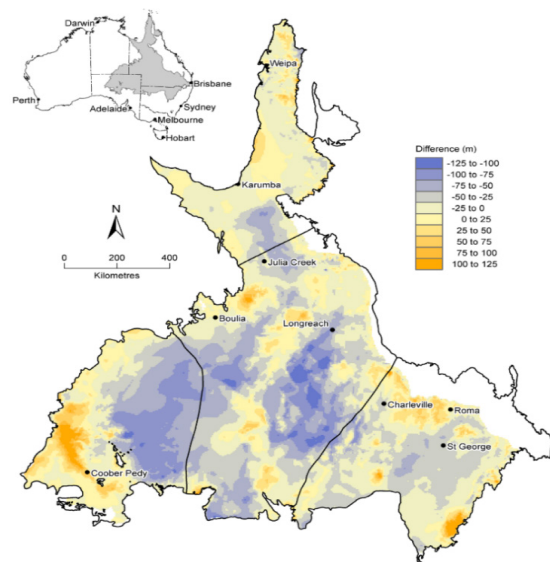
۳- مخاطرات زیست‌محیطی

واکنش آبخوان‌های کم‌عمق نسبت به تنش (یعنی برداشت از ذخیره به وسیله چاه) سریع و به صورت افت سطح آب زیرزمینی یا سطح پیزومتیک است. درحالی‌که واکنش هیدرولیکی منابع آب ژرف نسبت به برداشت آب کندتر از منابع آب زیرزمینی کم‌عمق‌تر بوده و اغلب بعد از چندین سال نمایان می‌شود (Verba و Verba, ۲۰۱۱). برداشت آب زیرزمینی از آبخوان ژرف مخاطرات زیست‌محیطی را به همراه دارد که به شرح ذیل است:

الف- کاهش آبدهی و خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌های مرتبط: با برداشت آب از آبخوان ژرف آبدهی چشمه‌ها و چاه‌های مرتبط که به صورت طبیعی آن را زهکشی می‌کنند کاهش خواهد یافت. برداشت آب از آبخوان ژرف North Western Sahara آفریقا منجر به کاهش آبدهی چشمه‌های مرتبط با این آبخوان در درازمدت شده است (شکل ۳). بررسی سری زمانی نرخ بهره‌برداری و تعداد چاه‌ها و چشمه‌های آرتزین مرتبط با آبخوان ژرف Djeffara در شمال آفریقا نشان می‌دهد با وجود اینکه نرخ بهره‌برداری از این آبخوان از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۸ تقریباً ثابت بوده و افزایش نیافته اما با افت فشار آبخوان در درازمدت تعداد منابع آب آرتزین منطقه

۴- ملاحظات اقتصادی

منابع آب ژرف در اعماق زیاد زمین واقع شده است در نتیجه هزینه‌های شناسایی، اکتشاف، حفاری، بهره‌برداری و تصفیه آب آن‌ها بیشتر از هزینه‌های مشابه برای منابع آب سطحی و زیرزمینی کم‌عمق است. بیشتر منابع آب ژرف مهم جهان (که در زمره منابع آب تجدیدناپذیر به‌شمار می‌روند) در مناطق خشک و نیمه‌خشک با منابع آب سطحی و زیرزمینی کم‌عمق تجدیدپذیر ناچیز کشف شده است. بنابراین ارزش واقعی آب برای استمرار حیات و توسعه انسانی در این مناطق نسبت به هزینه‌های صرف شده برای دسترسی به آن قابل توجه می‌باشد. برآورد قیمت تمام شده آب در برخی پروژه‌های اکتشاف آب ژرف بیانگر توجه‌پذیری موردی بهره‌برداری از این منابع است. Bisson (۲۰۰۲) در پروژه تأمین آب ترینیداد و توباگو هزینه استحصال هر مترمکعب آب را کمتر از ۱۵ سنت برآورد کردند؛ به‌طوری‌که هزینه سرانه استحصال آب برای تأمین نیاز شهری، صنعت و تولید غذای یک جمعیت ۲۵۰ هزار نفری در مطالعه ایشان کمتر از ۲۰ دلار در سال گزارش شده است.



شکل ۴- اختلاف بار هیدرولیکی آبخوان ژرف Great Artesian Basin استرالیا در ناحیه Cadna-owie Hooray با آبخوان‌های کم‌عمق بالایی؛ اعداد مثبت بیانگر بیشتر بودن بار هیدرولیکی آبخوان‌های کم‌عمق نسبت به آبخوان ژرف می‌باشند و بالعکس (Smerdon و همکاران، ۲۰۱۲)

جمع‌بندی

منابع آب ژرف ویژگی‌های متمایزی نسبت به سایر منابع آب زیرزمینی دارند. این ویژگی‌ها شامل ابعاد قابل توجه (حجم ذخیره و گستره سطحی) و زمان ماندگاری زیاد (تجدیدناپذیری) می‌باشد. اگرچه این منابع آب در قسمت‌های خشک و فراخشک جهان به‌طور گسترده بهره‌برداری می‌شوند اما بهره‌برداری از آن‌ها تاکنون در کشور صورت نگرفته است و انجام کارهای مطالعاتی در این زمینه از سال ۱۳۹۴ آغاز شده است. مطالعه منابع آب ژرف در کشور در حال حاضر در دو رویه مجزا در حال پیگیری است. رویه اول توسط وزارت نیرو در حال انجام است مطالعات شناسایی در قالب پهنه‌بندی مناطق مستعد آب‌های ژرف کشور را در دستور کار دارد که وضعیت کل کشور را از نظر وجود مناطق دارای پتانسیل آب ژرف تعیین خواهد نمود. رویه دوم توسط معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری در حال پیگیری است و شامل مطالعات اکتشافی موردی مبتنی بر به‌کارگیری تمامی ابزارهای اکتشافی در منطقه سیستم است. به عبارت دیگر در این رویه مناطقی که به واسطه شواهد موجود و یا انجام مطالعات دیگر (همچون اکتشافات نفت و گاز) احتمال وجود منابع آب ژرف شیرین در آن وجود دارد انتخاب و در طی زمان کوتاهی مطالعات اکتشافی لازم از جمله لرزه‌نگاری، ژئوفیزیک و حفاری در آن‌ها صورت می‌گیرد. باتوجه‌به اینکه انجام مطالعات اکتشافی و پهنه‌بندی آب ژرف

در جهان به‌صورت یکپارچه انجام می‌شود؛ بهره‌گیری از نتایج مطالعات اکتشافی (رویه دوم) برای تدقیق مطالعات پهنه‌بندی آب ژرف (رویه اول) بسیار سودمند خواهد بود. بهره‌برداری از منابع آب ژرف نیازمند تدوین سیاست‌های راهبردی و ضوابط معینی است که کلیه ابعاد حقوقی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مرتبط بر بهره‌برداری را با در نظر گرفتن رویکرد توسعه پایدار در نظر بگیرد. گام برداشتن در مسیر بهره‌برداری از منابع آب ژرف بدون داشتن چنین برنامه‌ای کشور را با هزینه‌ها و چالش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی جدی روبه‌رو خواهد کرد. لذا ضروری است ضوابط و سیاست‌های لازم هم‌زمان با انجام مطالعات شناسایی و اکتشافی برای این منابع آبی غیرمعارف تهیه و تدوین شوند.

پی‌نوشت

1- Megawatershed

2- Local, intermediate, and regional groundwater flow sub-systems

۳- به فاصله زمانی بین لحظه ورود آب بارش به درون زمین در منطقه تغذیه تا لحظه خروج آن از منطقه تخلیه آبخوان، زمان ماندگاری (Residence time) آب زیرزمینی گفته می‌شود (Kazemi و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به این که آب‌های خروجی

۹- برخی محققین، منابع آب ژرف با منشأ بارش جوی بسیار قدیمی را نیز جزء دسته منابع آب فسیلی به حساب آورده‌اند (Mazor, ۲۰۰۴; Foster و Loucks, ۲۰۰۶; Jasechko و همکاران, ۲۰۱۷). به عقیده این دسته از محققین منابع آب ژرف تجدیدناپذیر با منشأ جوی قدیمی بیانگر شرایط اقلیم دیرینه است که هزاران سال پیش وجود داشته و برخی از این منابع در مناطقی کشف شده که امروزه دارای شرایط آب و هوایی خشک یا به شدت خشک با تغذیه طبیعی بسیار کم هستند. لذا محققین مزبور با الهام از علم دیرینه‌شناسی این دسته از منابع آب ژرف را "فسیلی" اطلاق نموده‌اند. برای نمونه Jasechko و همکاران (۲۰۱۷) آب‌های زیرزمینی با زمان ماندگاری بیش از ۱۲۰۰۰ سال را که در دوره قبل از هولوسن (عهد حاضر) تغذیه شده‌اند را به عنوان منابع آب زیرزمینی فسیلی معرفی نموده‌اند.

- 10- International Shared (transboundary) Aquifer Resources Management
11- Overburden pressure

از منطقه تخلیه آبخوان مربوط به زمان‌های تغذیه مختلفی بوده که از مسیرهایی با طول و سرعت جریان متفاوت منشأ می‌گیرند، عملاً آب خروجی از یک آبخوان دارای مولفه‌های آبی با زمان‌های ماندگاری مختلف است. بنابراین متوسط زمان ماندگاری (Mean residence time)، که برابر با میانگین وزنی زمان‌های ماندگاری مولفه‌های آب خروجی از آبخوان می‌باشد، در مطالعات آب زیرزمینی مد نظر قرار می‌گیرد (Goode, ۱۹۹۶).

4- Renewable

5- Non-renewable

۶- طبق تعریف، نرخ تجدیدپذیری برابر با نسبت حجم تغذیه سالانه به کل حجم ذخیره آبخوان است. این متغیر دارای واحد year⁻¹ است و با دوره تجدید (با واحد year) نسبت عکس دارد (Foster و Loucks, ۲۰۰۶). دوره تجدید را می‌توان با متوسط زمان ماندگاری آب زیرزمینی معادل دانست.

7- Formation water

8- Paleoclimate

منابع

- Bisson R.A. 2002. Hydrogeological reassessment of Trinidad. Earthwater Technology, Trinidad and Tobago LLC, WASA's Trinidad Groundwater Development Project.
- Bisson R.A. and Lehr J.H. 2004. Modern groundwater exploration: discovering new water resources in consolidated rocks using innovative hydrogeologic concepts, exploration, drilling, aquifer testing and management methods. John Wiley & Sons.
- Bisson R.A. 2005. Megawatersheds. Water Encyclopedia, 5: 266-273.
- Domenico P.A. and Schwartz F.W. 1997. Physical and chemical hydrogeology. New York: Wiley.
- Drever J. 1997. The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. Upper Saddle River.
- Edmunds W.M. and Smedley P.L. 2000. Residence time indicators in groundwater: the East Midlands Triassic sandstone aquifer. Applied Geochemistry, 15(6): 737-752.
- Edmunds W.M., Guendouz A.H., Mamou A., Moulla A., Shand P. and Zouari K. 2003. Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. Applied Geochemistry, 18(6): 805-822.
- Foster S. and Loucks D.P. 2006. Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. Unesco.
- Alaya M.B., Saidi S., Zemni T. and Zargouni F. 2014. Suitability assessment of deep groundwater for drinking and irrigation use in the Djefara aquifers (Northern Gabes, south-eastern Tunisia). Environmental earth sciences, 71(8): 3387-3421.
- Alfarrah N., Berhane G., Hweesh A. and Walraevens K. 2017. Sinkholes Due to Groundwater Withdrawal in Tazerbo Wellfield, SE Libya. Groundwater, 55(4): 593-601.
- Aly A.A. 2015. Hydrochemical characteristics of Egypt western desert oases groundwater. Arabian Journal of Geosciences, 8(9): 7551-7564.
- André L., Franceschi M., Pouchan P. and Atteia O. 2005. Using geochemical data and modelling to enhance the understanding of groundwater flow in a regional deep aquifer, Aquitaine Basin, south-west of France. Journal of Hydrology, 305(1-4): 40-62.
- Bath A.H., Milodowski A.E. and Strong G.E. 1987. Fluid flow and diagenesis in the East Midlands Triassic sandstone aquifer. Geological Society, London, Special Publications, 34(1): 127-140.
- Bisson R.A. 1992. Megawatersheds Development Feasibility Study of Ethiopia, Report and Maps, for U.S. Office of Foreign Disaster Assistance (OFDA). Bisson Exploration Services Company.

- McGuire V.L. 2017. Water-level and recoverable water in storage changes, High Plains aquifer, predevelopment to 2015 and 2013–15 (No. 2017-5040). US Geological Survey.
- Moussa A.B., Zouari K. and Jlassi F. 2011. The hydrogeology of the deep groundwater system in the Hammamet–Nabeul regional basin, north-eastern Tunisia: a hydrochemical and isotopic approach. *Carbonates and evaporites*, 26(4): 327-338.
- Novikov D.A. and Sukhorukova A.F. 2015. Hydrogeology of the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(10): 8703-8719.
- Oskooi B. and Mansoori I. 2015. Iodine-bearing saline aquifer prospecting using magnetotelluric method in Golestan plain, NE Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(8): 5959-5969.
- Petersen J.O., Deschamps P., Hamelin B., Fourré E., Gonçalves J., Zouari K. and Team A. 2018. Groundwater flowpaths and residence times inferred by ^{14}C , ^{36}Cl and ^4He isotopes in the Continental Intercalaire aquifer (North-Western Africa). *Journal of Hydrology*, 560: 11-23.
- Smerdon B.D., Ransley T.R., Radke B.M. and Kellett J.R. 2012. Water resource assessment for the Great Artesian Basin. A report to the Australian Government from the CSIRO Great Artesian Basin Water Resource Assessment. CSIRO Water for a Healthy Country Flagship, Australia.
- Tóth J. 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Journal of geophysical research*, 68(16): 4795-4812.
- http://www.un.org/en/ga/sixth/71/transboundary_aquifers.shtml (visited 5 December 2018).
- Vrba J. and Verhagen B.T. 2011. Groundwater for emergency situations: a framework document. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Yousafzai A., Eckstein Y. and Dahl P.S. 2010. Hydrochemical signatures of deep groundwater circulation in a part of the Himalayan foreland basin. *Environmental Earth Sciences*, 59(5): 1079-1098.
- Freeze R.A. and Cherry J.A. 1979. *Groundwater*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.
- Goode D.J. 1996. Direct simulation of groundwater age. *Water resources research*, 32(2): 289-296.
- Guendouz A., Moulla A.S., Edmunds W.M., Zouari K., Shand P. and Mamou A. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeology journal*, 11(4): 483-495.
- Halim M.A., Majumder R.K., Nessa S.A., Hiroshiro Y., Sasaki K., Saha B.B. and Jinno K. 2010. Evaluation of processes controlling the geochemical constituents in deep groundwater in Bangladesh: spatial variability on arsenic and boron enrichment. *Journal of hazardous materials*, 180(1-3): 50-62.
- Hawkins A.B. 2005. *ENGINEERING GEOLOGY | Subsidence*, In R.C. Selley, L. Robin, M. Cocks and Ian R. Plimer (eds.) *Encyclopedia of Geology*, Elsevier, Oxford, Pages 9-14, ISBN 9780123693969
- Hoque M.A. and Burgess W.G. 2012. ^{14}C dating of deep groundwater in the Bengal Aquifer System, Bangladesh: Implications for aquifer anisotropy, recharge sources and sustainability. *Journal of Hydrology*, 444: 209-220.
- Jasechko S., Perrone D., Befus K.M., Cardenas M.B., Ferguson G., Gleeson T., Luijendijk E., McDonnell J.J., Taylor R.G., Wada Y. and Kirchner J.W. 2017. Global aquifers dominated by fossil groundwaters but wells vulnerable to modern contamination. *Nature Geoscience*, 10(6): 425.
- Kazemi G.A., Lehr J.H. and Perrochet P. 2006. *Groundwater age*. John Wiley & Sons.
- Mahara Y., Habermehl M.A., Hasegawa T., Nakata K., Ransley T.R., Hatano T. and Yasuda H. 2009. Groundwater dating by estimation of groundwater flow velocity and dissolved ^4He accumulation rate calibrated by ^{36}Cl in the Great Artesian Basin, Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 287(1-2): 43-56.
- Margat J. and Van der Gun J. 2013. *Groundwater around the world: a geographic synopsis*. CRC Press.
- Mazor E. 2004. *Global water dynamics: shallow and deep groundwater, petroleum hydrology, hydrothermal fluids, and landscaping*. CRC Press.

Article Type: Conceptual

نوع مقاله: مفهومی

Drought Reserve, Necessity for Sustainability

H. Derakhshan^{1*}, H. Omranian Khorasani²

1- PhD Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 2- MSc in Water Resources Management, Hydrotech Toos Consulting Engineers co. Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: h1370d@gmail.com)

Received: 08-01-2018

Accepted: 02-03-2019

ذخیره خشکسالی، ضرورت پایایی

هاشم درخشان^{۱*}، حمید عمرانیان خراسانی^۲

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، شرکت مهندسی مشاور هیدروتک توس، مشهد.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: h1370d@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۲

Abstract

The level of dependence on groundwater resources is higher in arid and semi-arid climates, as far as in many of these areas, groundwater has become the only source of water supply. Iran is considered as an arid and semi-arid climate. The changing patterns of rainfall by climate change and increasing overdraft in many of district groundwater resources has an irreversible impact on this vital source. Groundwater is the main backstop for development in such areas. Therefore, management of drought risk and the dangers under climate change will depend on protecting these vital resources. This paper analyses the California experience in conserving groundwater. Based on this experience, a plan has been developed for critical groundwater resources in Iran. Drought reserve is the key concept in groundwater sustainable management, but it has always been neglected. Finally, major challenges in implementation and conserving the drought reserve have been explained, and suggestions have been made to restore this reserve to achieve management sustainable development.

Keywords: Sustainability, Drought, Drought reserve, Sustainable management, Groundwater.

چکیده

در بسیاری از اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک آب زیرزمینی یگانه منبع تأمین آب است بنابراین این مناطق به منابع آب زیرزمینی وابسته هستند. ایران جز اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود. در بسیاری از مناطق کشور تغییر الگوی بارش ناشی از تغییر اقلیم و افزایش نرخ برداشت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد و باعث خسارات جبران‌ناپذیر بر این منبع حیاتی شده است. در این مناطق آب زیرزمینی مهمترین پشتوانه توسعه است و مدیریت ریسک خشکسالی و خشکسالی‌های خطرناکی که به دلیل افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم به وقوع خواهد پیوست در گروی حفاظت از این منبع یگانه می‌باشد. در این مقاله تجربه کالیفرنیا در احیا تعادل منابع آب زیرزمینی تجزیه و تحلیل شده است و براساس این تجربه طرحی متناسب با وضعیت وخیم سفره‌های آب زیرزمینی کشور تبیین شده است. ذخیره خشکسالی به‌عنوان کلیدی‌ترین مفهوم در رویکرد مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی بیان شده و چالش‌های اساسی در پیاده‌سازی و حفاظت از ذخیره خشکسالی آب زیرزمینی تبیین شده است. بنابراین پیشنهادهایی جهت احیا این ذخیره به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پایایی، خشکسالی، ذخیره خشکسالی، مدیریت پایایی، منابع آب زیرزمینی.

افزایش جمعیت به همراه تغییر سطح استاندارد زندگی بشر چالش‌های زیادی را برای دستیابی به آب با کیفیت در سرتاسر جهان به وجود آورده است (Cohen و Gleick، ۲۰۰۸). ایران از جمله کشورهایی است که در چند دهه اخیر رشد جمعیت و توسعه بی‌رویه را تجربه نموده است. مدت‌هاست که این توسعه افسار گسیخته زنگ خطر نابودی ذخایر آبی را در اکثر حوضه‌های آبریز کشور به‌ویژه فلات مرکزی ایران به صدا درآورده است. افت شدید سفره‌های آب زیرزمینی، خشک شدن بسیاری از قنات‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های کم‌رمق نشان از فاجعه‌ای قریب‌الوقوع دارند که در صورت عدم مدیریت ریسک و تغییر جهت حرکت به سمت پایایی^۱ تبعات زیست‌بومی ناگواری را بر جای خواهد گذاشت (حسنی و گلکار، ۱۳۹۵).

خشکسالی از بلایای طبیعی است که شدت و میزان گستردگی آن (تأثیر بر مردم و محیط‌زیست) درجه فاجعه‌آمیز بودن این بلای طبیعی را تعیین می‌کند (Wilhite، ۲۰۱۴). این بلای طبیعی می‌تواند اثرات مخربی بر منطقه تحت تأثیرش بگذارد و سبب ایجاد تنش‌های جدی بر زندگی انسان شود. خسارات ناشی از خشکسالی شامل اثرات مستقیم اقتصادی (کاهش تولید محصولات کشاورزی و دامی)، زیست‌محیطی (کاهش کمیت و کیفیت منابع آبی)، اجتماعی (کاهش سطح رفاه زندگی، مهاجرت و مرگ و میر) و دیگر تأثیرات جانبی آن گوشه‌ای از نتایج مخرب خشکسالی بر یک جامعه است (Desai و Mishra، ۲۰۰۶). در حال حاضر گرمایش جهانی و به دنبال آن تغییر اقلیم از مهمترین نگرانی‌های جوامع بشری می‌باشد و تحت این شرایط (تغییر اقلیم) وقوع خشکسالی‌های شدید و با خسارات بالا پیش‌بینی می‌شود (Faunt و همکاران، ۲۰۰۹؛ IPCC، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر احتمال افزایش فراوانی و شدت خشکسالی در اثر تغییر اقلیم به نگرانی جدیدی در سراسر دنیا تبدیل شده است (FAO، ۲۰۱۳). ویژگی‌های خشکسالی (شدت، مدت و بزرگی) از محلی به محل دیگر متفاوت است اما سازگاری با این پدیده طبیعی جز جدایی‌ناپذیری از شرایط زیست در هر اقلیم یا منطقه می‌باشد (Iglesias و همکاران، ۲۰۰۳).

از سال ۱۹۹۰ تاکنون بیش از ۲ میلیارد نفر تحت تأثیر پدیده خشکسالی قرار گرفتند که بیش از ۱۱ میلیون نفر در اثر این بلای طبیعی جان باختند. به عنوان نمونه تنها یک مورد خشکسالی در جنوب غربی چین بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ حدود ۶/۳ میلیون نفر تحت تأثیر قرار داد که ۲/۴ میلیون نفر از این افراد در دسترسی به آب شرب با مشکلات جدی مواجه شدند (FAO، ۲۰۱۳). اگرچه اهمیت آب در شکل دادن به آینده جهان به خوبی شناخته شده است اما منابع آب زیرزمینی در دهه‌های اخیر همواره با استفاده بیش از حد و مدیریت ضعیف باقی‌مانده است. تاکنون اضافه برداشت و کاهش سطح منابع آب زیرزمینی در برخی از

مناطق خسارات جبران‌ناپذیری^۲ از جمله فرونشست زمین^۳، نفوذ آب شور^۴، شوری خود القایی^۵، کاهش منابع سطحی و کاهش ظرفیت ذخیره آب^۶ در این منابع را به همراه داشته است (DWR، ۲۰۱۵). به منظور جلوگیری از اضافه برداشت منابع آب زیرزمینی رویکردی جدید در مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی^۷ پیشنهاد شد که شامل بسط مفهوم ذخیره خشکسالی^۸ می‌شود (Langridge و همکاران، ۲۰۱۲؛ Langridge، ۲۰۱۲؛ Daniels و Langridge، ۲۰۱۷).

کشور ما طی دهه‌های اخیر با تغییر رویکرد برداشت منابع آب زیرزمینی از طریق قنات به رویکرد پمپاژ (چاه)، برداشت‌های بی‌رویه‌ای را بر این منابع بی‌همتا تحمیل نموده است. هم‌اکنون بسیاری از دشت‌ها با خسارات جبران‌ناپذیری روبه‌رو است. بنابراین مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی بر اساس حفاظت از ذخیره خشکسالی می‌تواند رویکردی جدید برای مدیریت ریسک خشکسالی باشد و مبنایی معقول برای جلوگیری از اضافه برداشت و تعادل منابع آب زیرزمینی را ایجاد نماید (درخشان، ۱۳۹۶).

ذخیره خشکسالی (Drought Reserve) حجم آب آب‌خانه که برای مدیریت خشکسالی قابل استفاده می‌باشد تعریف می‌شود. بسط این مفهوم و تبیین خسارات جبران‌ناپذیر آب‌خانه (فرونشست، شوری) و خسارات اقتصادی توسعه به منابع آب زیرزمینی از ضروریات تعادل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در این مقاله به لزوم تبیین خسارات منابع آب زیرزمینی، پیاده‌سازی و حفاظت از ذخیره خشکسالی برای دستیابی به پایایی منابع آب زیرزمینی تاکید شده است. ذخیره خشکسالی مهمترین عامل کاهش آسیب‌پذیری خشکسالی است که باتوجه به اثرات تغییر اقلیم در افزایش پتانسیل وقوع خشکسالی اهمیت بسیاری دارد. به این دلیل که در چگونگی پیاده‌سازی و حفاظت از ذخیره خشکسالی محدودیت‌های زیادی وجود دارد درحال حاضر نمونه‌های بسیار محدودی از پیاده‌سازی و نگهداری ذخیره خشکسالی موجود است. در این مقاله به توسعه مفهوم ذخیره خشکسالی پرداخته شده و چالش‌های چگونگی پیاده‌سازی و حفاظت از ذخیره خشکسالی در ایران نقد و بررسی شده است.

ذخیره خشکسالی آب زیرزمینی

آب زیرزمینی تنها منبعی است که در هر شرایط آب‌وهوایی می‌تواند برای تأمین آب استفاده شود (DWR، ۲۰۱۵). شاخص وابستگی به منابع آب زیرزمینی استان خراسان رضوی با احتساب آب‌های انتقال یافته به بیرون از استان در ۱۵ سال اخیر تقریباً ۸۵ درصد بوده است (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۵) و در دیگر مناطق کشور که فاقد منابع آب سطحی می‌باشند به ۱۰۰ درصد خواهد رسید. درحالی‌که نواحی پیشرو در حوزه مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی (همچون آمریکا، ایالت کالیفرنیا) این شاخص را برای شرایط نرمال آب‌وهوایی ۴۰ درصد (و کمتر از آن)

برآورد نموده‌اند (DWR، ۲۰۱۵). در شرایط خشکسالی که رطوبت خاک و منابع آب سطحی کاهش پیدا می‌کند آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع با اطمینان‌پذیری بالا محسوب شده و می‌تواند نقش حیاتی را در تأمین آب در چنین شرایطی ایفا نماید (DWR، ۲۰۱۵). اهمیت ایجاد و پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی به نوع اقلیم وابسته است. به بیان دیگر انتظار می‌رود هرچه میزان وابستگی به منابع آب زیرزمینی بیشتر باشد؛ اهمیت پیاده‌سازی، حفاظت و حراست از ذخیره خشکسالی زیرزمینی بیشتر شود.

براساس نتایج پژوهش‌هایی که به نقش آب زیرزمینی در ایجاد سازگاری و برآورد مصارف طول دوره خشکسالی پرداخته است؛ ذخیره آب زیرزمینی باعث افزایش تاب‌آوری در برابر پدیده خشکسالی می‌شود (Wilhite، ۲۰۱۴؛ Saenz و همکاران، ۲۰۰۹؛ Haddad و Feitelson، ۲۰۰۱). بنابراین به‌منظور خاتمه دادن به اضافه برداشت در دوره‌های طولانی مدت مفهوم مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی شامل توسعه مفهوم ذخیره/بافر خشکسالی پیشنهاد شد (Langridge، ۲۰۱۲؛ Langridge و همکاران، ۲۰۱۲؛ Daniels و Langridge، ۲۰۱۷).

رویکرد سنتی در مدیریت خشکسالی به‌صورت واکنشی است. در این رویکرد معمولاً تا زمانی که خشکسالی و کمبود آب براساس شرایط آب‌وهوایی پدید نمی‌آید اقدام جدی نیز صورت نمی‌گرفت و بعد از وقوع خشکسالی، به طرح‌های مدیریت بحران^۹ که کارآمد نبود توجه می‌شد (Wilhite، ۲۰۰۵). رزرو بخشی از ذخیره آب زیرزمینی برای شرایط خشکسالی می‌تواند باعث افزایش تاب‌آوری^{۱۰} در برابر خشکسالی شود. در پژوهش‌هایی که به بحث نقش آب زیرزمینی در طول دوره خشکسالی پرداختند نیاز به ایجاد این رویکرد پیشگیرانه در سازگاری با پدیده خشکسالی تأکید شده است. (Dinar، ۲۰۰۱؛ Saenz و همکاران، ۲۰۰۹؛ Wilhite، ۲۰۱۴). در این مقاله رویکرد پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری در دوره‌های خشکسالی و خشکسالی‌های خطرناکی که ممکن است به دلیل تغییرات آب‌وهوایی به‌وجود آید توجه شده است اما با وجود اهمیت بسیار زیاد این رویکرد هنوز نمونه‌های بسیار محدودی از چگونگی پیاده‌سازی و حفاظت از ذخیره خشکسالی وجود دارد. موارد ذیل مهمترین موضوعات در پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی می‌باشد:

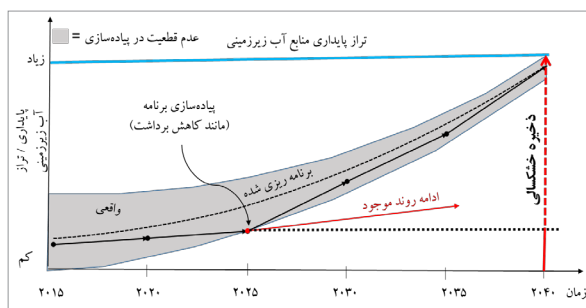
۱. تعریف دقیق از عواقب نامطلوب (قابل قبول^{۱۱}، غیر قابل قبول^{۱۲}، جبران‌ناپذیر و نامعقول^{۱۳}) و حداقل تراز^{۱۴} برای برداشت از منابع آب زیرزمینی در دوره خشکسالی
۲. تهیه و اجرا بیلان آبی متناسب با شرایط هر منطقه، جهت جلوگیری از اضافه برداشت و ورود به سطوح خسارات جبران‌ناپذیر در شرایط نرمال
۳. محاسبه ذخیره خشکسالی برای شرایط تنش آبی (خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت)، برآورد بزرگترین افت سطح آب زیرزمینی در این شرایط و تخمین زمان مورد نیاز برای برگشت به حالت اولیه،
۴. توسعه رویکردی مدیریتی جهت: الف) جهت جلوگیری/کاهش

اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی، ب) تدوین دستورالعمل کاربردی در هر آب‌خانه برای بازگشت به سطح اولیه ذخیره خشکسالی در هر دوره مدیریتی، ج) برآورد و حفاظت ذخیره خشکسالی مورد نیاز و تنظیم کلیه برداشت‌ها براساس این حجم. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی ذخیره‌ای حیاتی است که سرنوشت (پایایی و بقا) یک جامعه در صورت وقوع «خشکسالی شدید و طولانی مدت» در گرو آن است. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی به حجمی از آب شیرین برای فعالیت‌های مختلف گفته می‌شود که باید محاسبه و در آب‌خانه ذخیره شود تا بتواند برای تأمین مصارف ضروری در دوره خشکسالی شدید و طولانی مدت از آن بهره‌برداری نمود؛ ذخایر تجدیدناپذیر منابع آب زیرزمینی جز این ذخیره محسوب می‌شود که ضرورت برداشت از آن نیازمند تعریف تراز جدید از خسارات می‌باشد (درخشان، ۱۳۹۶). در این تحقیق ذخیره خشکسالی تحت عنوان ذخیره استراتژیک منابع آب زیرزمینی تجزیه، تحلیل و محاسبه شده است؛ اما ذخیره خشکسالی مفهومی فراتر از این دارد. ذخیره خشکسالی، ذخیره‌ای است که می‌تواند آب کافی برای استفاده در شرایط خشکسالی را بدون وارد نمودن خسارات جبران‌ناپذیر به منابع آب زیرزمینی فراهم نماید بنابراین هر برنامه‌ای از جمله انتقال آب، ساخت سد در مناطق مرطوب، ساخت آب شیرین کن برای مناطق ساحلی نیز که به‌منظور افزایش تاب‌آوری و جلوگیری از اضافه برداشت منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی طرح‌ریزی می‌شوند جز ذخیره خشکسالی محسوب می‌شوند. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی نوعی ذخیره خشکسالی محسوب می‌شود که برداشت از آن در صورت ورود به سطوح بالا از خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت امکان‌پذیر است و نیازمند تعریف تراز جدید از خسارات می‌باشد.

پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی در ایالت کالیفرنیا

در این ایالت مطابق لایحه قانون AB ۳۰۳۰ در سال ۲۰۰۲ برای اولین بار ارائه طرح مدیریت منابع آب زیرزمینی برای هر محدوده مطالعاتی به‌عنوان مبنایی برای برداشت از منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت (California Water Code، ۲۰۱۷). اولین تغییرات اساسی در مدیریت آب زیرزمینی این ایالت مربوط به تصویب قانون مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی^{۱۵} (SGMA، ۲۰۱۴) است. این قانون در سال ۲۰۱۵ اجرایی شد و توانست سازوکاری منطقی برای تغییر رویکرد از مدیریت آب زیرزمینی به مدیریت پایای آب زیرزمینی تبیین نماید (California Water Code، ۲۰۱۷). در این قانون فعالیت‌های مورد نیاز مصوب برای مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی در هر محدوده مطالعاتی توسط سیستم پایش و ارزیابی منابع آب زیرزمینی ایالت کالیفرنیا (SGEMS)^{۱۶} ارزیابی می‌شود. این برنامه به دلیل اولویت به شکل سیستم پایش سراسری آب زیرزمینی در کالیفرنیا ارتقا یافته است (CAGSEM، ۲۰۱۷).

که باید آژانس مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا تا سال ۲۰۴۰ طی نماید مشخص شده است. مطابق این قانون پیش‌بینی شده تا ۳۱ ژانویه ۲۰۲۰ و یا حداکثر ۲۰۲۲ اضافه برداشت متوقف شود و تا سال ۲۰۴۰ و یا حداکثر ۲۰۴۴ اهداف مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی محقق شود. مطابق شکل پیش‌بینی شده که تا سال ۲۰۲۵ طرح‌های کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و ایجاد ذخیره خشکسالی مناسب شدت یابد تا اهداف مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی تا سال ۲۰۴۰ تحقق یابد.



شکل ۱- طرح مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی ایالت کالیفرنیا (۲۰۱۷، CASGEM)

در شکل (۱) محور عمودی شاخص عملکرد پایای و یا عمق آب زیرزمینی می‌باشد که در آن میزان پایایی منابع آب زیرزمینی کم بوده و عدم قطعیت برای مدیریت یک دوره خشکسالی شدید و طولانی بسیار زیاد می‌باشد. مبنای این است این طرح در یک دوره بلند مدت ۲۵ ساله که به پنج دوره مدیریتی ۵ ساله تقسیم شده است ذخیره خشکسالی مناسب را ایجاد نماید. بعد از این دوره طرح انتظار می‌رود تا فراهم شدن ذخیره خشکسالی تاب‌آوری لازم در برابر خشکسالی فراهم شود و عدم قطعیت‌ها در مدیریت ریسک خشکسالی به شدت کاهش یابد.

پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی در ایران

برای کلیه محدوده‌های مطالعاتی کشور که آب‌خانه آن با مشکل اضافه برداشت مواجه نبوده و شیب کموگراف تراز آب‌خانه منفی نیست می‌توان برای اجرای رویکرد جدید مدیریتی طرحی مشابه شکل (۱) پیشنهاد نمود. جزئیات این طرح در دو سطح بلندمدت (راهبرد اصلی طرح) و کوتاه‌مدت (دوره‌های مدیریتی ۵ ساله) متناسب با شرایط هر محدوده مطالعاتی پیشنهاد می‌شود. برای محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه و ممنوعه بحرانی که مشکل اضافه برداشت در آن‌ها قابل توجه است و شیب کموگراف آب‌خانه منفی می‌باشد، پیش‌بینی مرحله‌ای برای کاهش اضافه برداشت تا اینکه اضافه برداشت کاملاً متوقف شود ضروری است؛ زیرا پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی برای افزایش تاب‌آوری بعد از

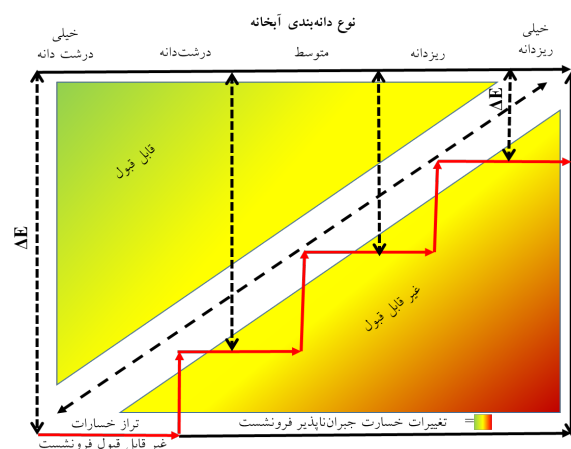
براساس این قانون مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی عبارت است از: استفاده از منابع آب زیرزمینی به گونه‌ای که از آب زیرزمینی در طول یک دوره برنامه‌ریزی بدون پذیرش اثرات نامطلوب بهره‌برداری شود. این اثرات نامطلوب شامل برداشت نامعقول از منابع آب زیرزمینی، توجه به پیشروی جبهه آب‌های شور، شوری خود القایی، توجه به کاهش نامعقول کیفیت منابع آب زیرزمینی، توجه به فراهم شدن شرایط فرونشست آب‌خانه، توجه به ارتباط منابع آب سطحی و زیرزمینی و جلوگیری از وارد شدن خسارات به استفاده‌کنندگان از منابع آب سطحی می‌باشد (California Water Code، ۲۰۱۷).

فعالیت زمینه‌سازی جدی برای کاهش مصرف آب و ایجاد ذخیره خشکسالی از مدت‌ها قبل در ایالت کالیفرنیا شروع شده است. باین‌حال باتوجه به شکل (۱) بهبود تراز آب زیرزمینی و پیاده‌سازی ذخیره به کندی صورت می‌گیرد که این طرح به دنبال بهبود سریع‌تر ذخیره خشکسالی می‌باشد. در ماه می ۲۰۱۵ شورای حوزه آب ایالت (SWRCB)^{۱۷} برای ۴۱۱ فرمانداری کالیفرنیا کاهش ۲۵ درصدی مصارف خانگی بر اساس یک برنامه از پیش تعیین شده را تصویب نمود و در می ۲۰۱۶ اجباری بودن این قانون را برای ۳۷۹ فرمانداری حذف نمود. به این فرمانداری‌ها اجازه داده شد تا می ۲۰۱۷ برنامه‌ای برای کاهش مصرف تنظیم نمایند. این برنامه مستلزم داشتن این دو ویژگی می‌باشد الف) در یک خشکسالی سه ساله منجر به اضافه برداشت نشود. ب) همزمان برنامه‌ای که با طرح بلندمدت پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی مطابقت داشته باشد ارائه شود. هنوز جزئیات این قانون به‌طور صریح و شفاف مشخص نشده است. این قانون به استفاده‌کنندگان از آب کشاورزی نپرداخته است (Daniels و Langridge، ۲۰۱۷).

در شکل (۱) طرح پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی در کالیفرنیا که توسط برنامه مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی (SGMP)^{۱۸} در سپتامبر ۲۰۱۵ بازبینی شده است مشاهده می‌شود. طرح مزبور تجزیه و تحلیل شده و طرحی مشابه برای برخی از محدوده‌های مطالعاتی که با افت آب زیرزمینی مواجه هستند پیشنهاد شده است. این طرح‌ها برای یک دوره مدیریتی بلند مدت ۲۵ ساله تنظیم شده است که مهمترین اهداف این طرح در سه گام اساسی الف) جلوگیری از اضافه برداشت‌ها، ب) بازنشای تعادل منابع و مصارف و ج) ایجاد و پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی مناسب می‌باشد. در برنامه مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی تراز از سطح آب برای دستیابی به مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی و پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی مناسب در نظر گرفته شده است. برای اجرایی شدن این برنامه بلندمدت راهبردهای مدیریتی پنج ساله برای آن تعیین شده است تا در هر دوره مدیریتی بخشی از ذخیره خشکسالی بازنشانی شود. این طرح توسط آژانس مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی طراحی شده و به تصویب قوانین مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی (SGMA) رسیده است (CASGEM، ۲۰۱۷). در این طرح مسیری

این کاهش برداشت از آب زیرزمینی قابل طرح‌ریزی است. در ادامه به ضرورت تخمین عواقب نامطلوب و یا خسارات نامعقول برای جلوگیری از اضافه برداشت از آب زیرزمینی و احیا ذخیره خشکسالی آب زیرزمینی پراخته می‌شود.

در این مقاله تعیین حداقل تراز و عواقب نامعقول براساس پارامتر فرونشست آب‌خانه بحث شده است. محور افقی شکل (۲) به نوع دانه‌بندی آب‌خانه و محور عمودی به حداکثر نوسانات سطح آب اشاره دارد. دامنه تغییرات تراز آب زیرزمینی بدون در برداشتن خسارت جبران‌ناپذیر فرونشست در هر آب‌خانه با نماد (ΔE) در شکل مشخص شده است. هر آب‌خانه‌ای ΔE خاص خود را دارد که متأثر از جنس آب‌خانه می‌باشد. هرچه جنس آب‌خانه درشت دانه‌تر باشد احتمال فرونشست کمتر خواهد شد و می‌تواند حجم بیشتری از آب آب‌خانه را بدون در برداشتن خسارت جبران‌ناپذیر فرونشست (عواقب نامعقول) بهره‌برداری کند. هرچه جنس آب‌خانه دانه‌ریزتر باشد به دلیل افزایش احتمال فرونشست در اثر تخلیه آب آب‌خانه حجم کمتری را می‌توان به ΔE اختصاص داد. این تفکیک بر اساس میزان خسارات جبران‌ناپذیر فرونشست آب‌خانه از رنگ سبز کمترین احتمال فرونشست تا رنگ قرمز بیشترین احتمال فرونشست در شکل مشخص شده است. مرز تمایز میان قابل قبول/غیر قابل قبول خسارات جبران‌ناپذیر فرونشست براساس نظر خبرگان این امر قابل تخمین است. در شکل (۲) نمایی کلی از تراز خسارات جبران‌ناپذیر فرونشست به صورت پلکانی متناسب با تغییر نوع دانه‌بندی آب‌خانه ارائه شده است.



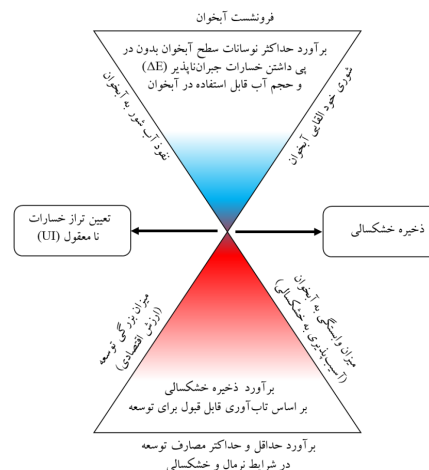
شکل ۲- رابطه بین نوع آب‌خانه با حداکثر نوسانات آب در آب‌خانه

تعیین تراز خسارات نامعقول (حداقل تراز) مبتنی بر سال پایه (سال شروع برنامه‌ریزی برای برداشت پایای از آب زیرزمینی) صورت می‌پذیرد؛ این تراز متأثر از شرایط آب‌وهوایی است. اما نکته مهم این است که باید در برنامه برداشت پایای تدابیر اندیشیده شود در صورت وقوع خشکسالی حداکثر گذر از این تراز صورت

نپذیرد. به عبارت دیگر تراز خسارات نامعقول آب زیرزمینی تراز نسبی است که برداشت آب بالاتر از این تراز هیچ‌گونه خسارات جبران‌ناپذیری برای آب‌خانه و یا توسعه وابسته به آب‌خانه در پی نداشته باشد. در این مقاله سه خسارت شامل: الف) احتمال فرونشست آب‌خانه، ب) افزایش شوری آب آب‌خانه (شوری خود القایی) و پ) نفوذ آب شور کاهش تاب‌آوری توسعه در اثر برداشت از ذخیره خشکسالی می‌باشد. برنامه‌ریزی کنترل این سه گروه از خسارات بر اساس مدل مفهومی شکل (۳) قابل انجام می‌باشد.

شکل (۳) از دو مثلث تشکیل شده است مثلث بالا نشان‌دهنده ظرفیت آب‌خانه می‌باشد؛ قسمت آبی رنگ داخل این مثلث حجم آب با کیفیت مناسب بوده که توسط سه خسارت نامعقول مزبور محدود شده است. خسارات اول فرونشست است که تابع نوع دانه‌بندی آب‌خانه می‌باشد و براساس نظر متخصصین آشنا به خصوصیات فیزیکی آب‌خانه مطابق شکل (۲) برآورد می‌شود. خسارت دوم شوری خود القایی به ضخامت لایه آب شور وابسته بوده که با برداشت آب از لایه آب با کیفیت مناسب و نزدیک شدن به این لایه احتمال خطر شوری خود القایی به شدت افزایش می‌یابد. خسارت سوم خطر نفوذ آب شور به موقعیت و نحوه ارتباط آب‌خانه با آب‌های شور پایین‌دست مربوط است که بیشتر برای آب‌خانه‌های متصل به مخزن آب شور (مثل دریا) مطرح می‌باشد. برآیند این سه خسارات حجم آب با کیفیت مناسب موجود در آب‌خانه جهت بهره‌برداری را مشخص می‌نماید.

مثلث پایین نشان‌دهنده میزان تقاضای توسعه برای استفاده از آب آب‌خانه در شرایط نرمال و خشکسالی می‌باشد این تقاضا برای برداشت آب از آب‌خانه با رنگ قرمز در داخل این مثلث نشان داده شده است. سه بعد این مثلث الف) بزرگی توسعه (شامل جمعیت و سایر اهمیت‌های اقتصادی، اجتماعی، تاریخی و مذهبی) می‌باشد که نشان از ارزش اقتصادی توسعه دارد، ب) میزان وابستگی توسعه به آب‌خانه بین صفر تا ۱۰۰ درصد متغیر است میزان افزایش آسیب‌پذیری به واقعه خشکسالی با افزایش نرخ وابستگی امری اجتناب‌ناپذیر است که باید مورد توجه قرار گیرد و ج) میزان برداشت آب از آب‌خانه در شرایط نرمال آب‌وهوایی با شرایط خشکسالی بسیار متفاوت است که لزوم توجه مصارف توسعه در شرایط عادی و شرایط خشکسالی را تأکید دارد. مجموع این سه بعد توسط کارشناسان خبره و آشنا به پیشران‌های توسعه (کشاورزی، صنعت و آب شهری) بررسی شده و حجم ذخیره خشکسالی مورد نیاز برآورد می‌شود. تطابق این دو مثلث تقابل بین تقاضای آب برای توسعه با ظرفیت آب‌خانه برای تأمین آب با کیفیت مناسب را در هر شرایط آب‌وهوایی مشخص خواهد نمود. به عبارت دیگر متخصصین آگاه به پیشران‌های توسعه با متخصصین آشنا به خصوصیات فیزیکی (کارشناسان فنی) برای تعیین تراز خسارات نامعقول (UI) و حجم ذخیره خشکسالی آب‌خانه به تفاهم خواهند رسید.



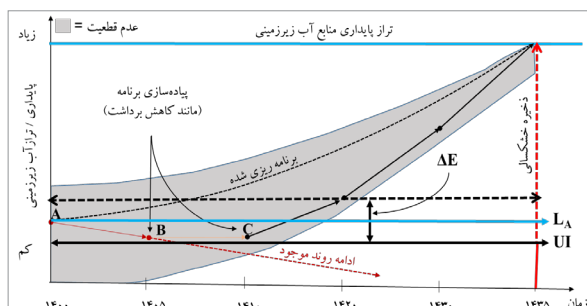
شکل ۳- مدل مفهومی برای برآورد ذخیره خشکسالی و تراز خسارات نامعقول

اگرچه که ذخیره خشکسالی محدود به آب زیرزمینی نمی شود اما ذخیره خشکسالی آب زیرزمینی مطمئن ترین و ارزان ترین منبع تأمین آب در شرایط خشکسالی های شدید و طولانی مدت است که اهمیت پیاده سازی آن با افزایش احتمال وقوع خشکسالی های خطرناک تر بر اثر تغییر اقلیم بیشتر آشکار می شود. این امر از دلایل تمایل به بهبود سرعت ذخیره خشکسالی آب خانه می باشد. شکل (۴) طرح پیشنهادی برای پیاده سازی و بهبود ذخیره خشکسالی می باشد. جزئیات این طرح در دو سطح بلندمدت (راهبرد اصلی طرح) و کوتاه مدت (دوره های مدیریتی ۵ ساله)

نتایج و بحث

الزامات رویکرد جدید در تنظیم طرح های پایایی منابع آب زیرزمینی می توان به موارد ذیل اشاره کرد: الف) سهم برداشت بخش های مختلف (آب شهری، صنعت، کشاورزی) متناسب با متوسط تجدیدپذیری در هر محدوده مطالعاتی که بتوان توسط آن در هر دوره مدیریتی متناسب با پویایی سیستم منابع آب (ترسالی، شرایط نرمال و خشکسالی) میزان برداشت از آب زیرزمینی را برای هر یک از مصرف کنندگان تعیین تکلیف نمود، ب) برای کلیه کنشگران مجوزهای برداشت از منابع آب زیرزمینی در یک دوره مدیریتی خاص (مشابه ایالت کالیفرنیا که پنج ساله است) اعلام شود، ج) به کلیه برداشت ها در هر دوره مدیریتی با برنامه مدیریت ریسک خشکسالی توجه شود و د) تحقق موفقیت و یا شکست اهداف در ابتدای هر دوره مدیریتی و بازبینی مجوزهای برداشت در دوره مدیریتی آینده ارزیابی شود. از دیگر نکات قابل توجه در پیاده سازی طرح مدیریت پایایی آب زیرزمینی کالیفرنیا توجه به کاهش برداشت از مصارف خانگی می باشد در حالی که برداشت مصارف

متناسب با شرایط هر محدوده مطالعاتی توسط شورای حوضه آبریز (متشکل از تمامی کنشگران) که در شکل (۳) توسط دو مثلث مقابل یکدیگر تشریح شد تهیه و تنظیم می شود. پیشنهاد می شود تراز آب در اولین سال طرح (L_A) به عنوان مبنا برای برآورد حداکثر نوسانات آب خانه در تعیین تراز خسارات نامعقول (UI) توجه شود. مهمترین هدف در دوره مدیریتی اول (گذار از A به B) کاهش شیب برداشت از منابع آب زیرزمینی و زمینه سازی برای کاهش پروانه های برداشت در دور مدیریتی دوم می باشد. در دور مدیریتی دوم (گذار از B به A) ایجاد تعادل میان منابع و مصارف حوضه آبریز است که تا قبل از نزدیک شدن به خسارات نامعقول باید انجام پذیرد. از ابتدای دور سوم مدیریتی کاهش برداشت از آب خانه به منظور بازنشانی اضافه برداشت ها و دستیابی به پایایی منابع آب زیرزمینی انجام می پذیرد که نتیجه آن تغییر شیب کموگراف تراز آب زیرزمینی می باشد. دوره های مدیریتی بعد مشابه شکل (۱) پیاده سازی خواهد شد.



شکل (۴)- طرح پیشنهادی برای مدیریت پایایی منابع آب زیرزمینی

خانگی نسبت به مصارف بخش صنعت و کشاورزی بسیار ناچیز است. با این وجود بازهم قانون این ایالت برای کاهش برداشت در دوره های خشکسالی ابتدا به کاهش برداشت مصارف خانگی توجه نموده است. این موضوع از جنبه روانی اهمیت دارد و می تواند کلیه مصارف دیگر را تحت تأثیر قرار دهد که زمینه ساز کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی در سال ۲۰۲۵ می باشد (Daniels و Langridge, ۲۰۱۷).

رویکرد مدیریت پایایی منابع آب زیرزمینی برای پاسخگویی به نیازهای توسعه آینده تأمین آب از منابع جدید مانند: انتقال آب مجازی، شیرین کردن آب، بازچرخانی آب و انتقال آب برای کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تأکید دارد. سرعت چرخه تأمین آب برای استفاده های شرب، صنعت و کشاورزی بسیار بیشتر از تغذیه آب خانه است که با کاهش بارش و افزایش تقاضای آب در دوره های طولانی مدت خشکسالی بیلان تغذیه و برداشت از آب زیرزمینی به هم خورده و جلوگیری از کاهش سطح آب زیرزمینی با شکست مواجه خواهد شد. علاوه بر این برای پاسخ به شرایط خشکسالی افزایش برداشت قطعی بوده و باعث افت شدید منابع آب زیرزمینی می شود. بنابراین نیاز

به تأمین آب از منابع جدید در طول دوره‌های خشکسالی‌های آینده امری اجتناب‌ناپذیر است (Alley و Leake, ۲۰۰۴).

مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی و ضرورت توجه به پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی منجر به تأمین مطمئن آب در شرایط خشکسالی می‌شود. ذخیره خشکسالی بدون ایجاد منابع آب جدید می‌تواند با کاهش برداشت از آب‌خانه ایجاد شود اگرچه این فرآیند امری زمان‌بر است ولی با اجماع همه کنشگران و ایجاد آگاهی نسبت به مخاطرات پیشرو امکان‌پذیر می‌باشد. لازم به ذکر است که مطالعات زیادی در حوزه بازچرخانی، انتقال و مدیریت تقاضای آب در پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی وجود دارد که در مرحله اولیه باعث بهبود شرایط حوضه آبریز شده و در فراهم نمودن ذخیره خشکسالی برای تأمین مطمئن آب نقش مهمی را می‌توانند داشته باشند.

طرح‌ریزی بلندمدت مدیریتی به‌منظور پیشگیری از خسارت جبران‌ناپذیر امکان‌پذیر بوده که این طرح نیازمند پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی می‌باشد. این ذخیره آبی به‌عنوان پشتوانه‌ای برای توسعه در صورت وقوع خشکسالی قابل بهره‌برداری می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که ایجاد ذخیره خشکسالی می‌تواند چالش‌هایی از جمله: الف) عدم قطعیت‌ها میزان ورودی و خروجی به آب‌خانه، ب) تغییرات جمعیت و در نتیجه تغییر مصارف، ج) خسارات ناشی از تغییر اقلیم و د) کاهش تغذیه آب‌خانه در اثر تغییر الگوی بارش را مرتفع نماید. اما این مهم که منابع آب زیرزمینی می‌تواند به‌عنوان ذخیره‌ای مهم و حیاتی در برآورده نمودن نیازها در طول دوره خشکسالی محسوب شوند اجتناب‌ناپذیر است.

هم اکنون آژانس مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا طرح ۲۵ ساله برای دستیابی به مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی با اهداف مشخص توسعه داده است. سازمان آب در این ایالت تمامی محدوده‌های مطالعاتی را موظف نموده به‌صورت سالیانه گزارشی کامل از اهداف سال آینده و نتایج سال گذشته چاپ نمایند که تمامی جزئیات برای دستیابی به سطح بالاتر مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی در آن بیان شده باشد. باین‌وجود هنوز وجود مقررات کافی برای ایجاد انگیزه در کنشگران جهت حفاظت از ذخایر آب زیرزمینی و پیاده‌سازی استراتژی‌های سازگاری با خشکسالی به چشم نمی‌خورد. این ایالت بودجه‌های قابل توجهی برای پروژه‌های مدیریت آب در نظر گرفته است. در این میان پروژه‌های انتقال آب به‌منظور جبران اضافه برداشت انجام شده از ذخایر آب زیرزمینی و ایجاد ذخیره خشکسالی اولویت بالاتری دارد (Daniels و Langridge, ۲۰۱۷).

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در اکثر محدوده‌های مطالعاتی ایران به‌خصوص محدوده‌های مطالعاتی ممنوعه میزان مصرف از توان تجدیدپذیری آب زیرزمینی بسیار فراتر رفته است. به‌عبارت دیگر هم اکنون بهره‌کشی

بیش‌ازحد مجاز از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی وقوع یافته است که خسارات جبران‌ناپذیر این اضافه برداشت همچون فرونشست، شور شدن آب‌خانه بر اثر شوری خود القایی، کاهش منابع آب سطحی و نابودی چمنه و قنوات نمونه‌هایی از آن می‌باشد. در صورت وقوع دوره خشکسالی شدید و طولانی‌مدت وضعیت منابع آب زیرزمینی شکننده‌تر شده که فاجعه‌ای قریب‌الوقوع را ترسیم خواهد نمود. در چنین شرایطی خسارات جبران‌ناپذیری چون نابودی بیشتر آب‌خانه‌ها و فروپاشی جوامع روستایی و دیگر خسارات اقتصادی-اجتماعی وارد بر اکوسیستم شدت خواهد یافت. لذا تغییر رویکرد در نحوه برداشت از منابع آب زیرزمینی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

اگرچه آب زیرزمینی یگانه منبع قابل اطمینان برای تأمین آب برای شرایط خشکسالی است اما تبیین این ضرورت و چگونگی پیاده‌سازی ذخیره خشکسالی مناسب در آب زیرزمینی همواره در کشور مغفول واقع شده است. تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و احیا ذخیره خشکسالی آب زیرزمینی موضوعی پیچیده و چندوجهی است که بدون ایجاد سازوکار مناسب برای ایجاد هماهنگی در میان کنشگران مختلف امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود وزارت نیرو و دیگر قانون‌گزاران حوزه آب سازکاری کارآمد برای پیاده‌سازی این رویکرد تعریف نموده و در دستور کار قرار دهند.

تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر کامران داوری استاد و محقق برجسته در حوزه مدیریت پایای منابع آب زیرزمینی، بخاطر همکاری در مراحل تحقیق صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

پی‌نوشت

۱- در حال حاضر برای برگردان Sustainability و stability هر دو عبارت «پایداری» در فارسی به کار می‌رود. این دوگانگی منجر به ابهام و سردرگمی می‌شود. کاربرد عبارت‌های «پایداری سازه‌ای» و «ثبات» به‌عنوان برگردان stability، مقدم بوده است. بنابراین عبارت «پایای» به‌عنوان برگردان Sustainability پیشنهاد می‌شود.

2- Irreversible Impact

3- Land Subsidence

4- Seawater Intrusion

5- Induced self-salinity

6- Permanent Loss of Capacity to Store Water

7- Sustainable Groundwater Management

8- Drought Reserve

9- Crisis management plans

- sional Paper 1766, 225 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. Drought facts. rome, Italy. Available at <http://www.fao.org/3/aq191e/aq191e.pdf>
- Gleick P.H. and Cohen M.J. 2008. The World's Water 2008-2009: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press; 2008-2009 ed.
- Iglesias E., Garrido A. and Gómez-Ramos A. 2003. Evaluation of Drought Management in Irrigated Areas. *Agricultural Economics*, 29: 211-229.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Langridge R. 2012. Drought and Groundwater: Legal Hurdles to Establishing Groundwater Drought Reserves. *Environs: Environmental Law and Policy Journal*, 91. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/0b69p4hq>.
- Langridge R., Fisher A., Racz A., Daniels B., Rudestam K. and Hihara B. 2012. Climate Change and Water Supply Security: Reconfiguring Groundwater Management to Reduce Drought Vulnerability. California Energy Commission. University of California, Santa Cruz. Publication Number: CEC-500-2012-017.
- Langridge R. and Daniels B. 2017. Accounting for Climate Change and Drought in Implementing Sustainable Groundwater Management. *Water Resources Management*, 31(11): 3287-3298
- Mishra A.K. and Desai V.R. 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network, ecological modeling, 198: 127-138.
- Sáenz M.C., Montoya F.F. and de Mingo R.G. 2009. The Role of Groundwater During Drought. In: Iglesias A. et al. (eds.) *Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems*. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol 26. Springer, Dordrecht, Chapter 15: 221-241
- Wilhite D. 2005. Drought and water crises, science, technology, and management issues, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.
- Wilhite D. 2014. "Drought: Past and Future." Presented at Drought in the Life, Cultures, and Landscapes of the Great Plains, University of Nebraska-Lincoln April 2, 2014.
- 10- Resilience
- 11- Acceptable Impact
- 12- Unacceptable Impact
- 13- Unreasonable Impact
- 14- Minimum Threshold
- 15- Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)
- 16- Statewide Groundwater Elevation Monitoring System (SGEMS)
- 17- State Water Resources Control Board (SWRCB)
- 18- Sustainable Groundwater Management Program (SGMP)
- 19- Actual Level in the first year of the plan (LA)
- 20- Unreasonable Impact (UI)

منابع

- حسنی سعدی، م. و گلکار، ا. ۱۳۹۵. شناسایی و بهره‌وری الگوی کشت از منظر بهره‌وری. جلد ۱، پژوهشکده تدبیر آب ایران، تهران.
- درخشان، ه. ۱۳۹۶. بسط مفهوم «ذخیره استراتژیک» در مدیریت منابع آب و تدوین یک چارچوب برای کاهش مخاطرات خشکسالی‌های شدید و طولانی براساس این مفهوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب. دانشگاه فردوسی مشهد.
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۹۵. گزارش تبیین بحران آب دشت مشهد: مطالعات مهندسی ارزش سد شوربجه و بهینه‌سازی و بهینه‌سازی طرح‌های بالادستی.
- Alley W.M and Leake S.A. 2004. The journey from safe yield to sustainability. *Groundwater*, National Ground Water Association, 42(1): 12-16.
- California Statewide Groundwater Monitoring System. 2017. (CASGEM: SB x 7-6, AB 1152) <http://www.water.ca.gov/groundwater/casgem/overview.cfm>. Accessed February 12, 2017.
- California Water Code Sec. 2017. Also http://www.water.ca.gov/groundwater/docs/1992_AB3030_Summary_02202014.pdf. Accessed March 24, 2017.
- DWR. 2015. California's Most Significant Droughts: Comparing Historical and Recent Conditions. California Department of Water Resources (DWR), February 2.
- Feitelson E. and Haddad M. 2001. Management of Shared Groundwater Resources: The Israeli-Palestinian Case With an International Perspective, Springer Netherlands. DOI: 10.1007/978-94-010-0680-4.
- Faunt, C.C., ed., 2009. Groundwater Availability of the Central Valley Aquifer, California: U.S. Geological Survey Profes-

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Investigating the Participation of Beneficiaries in Optimizing Water Use Management (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Networks)

A. Moradinejad

Research Assistant Professor, Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Centre, AREEO, Arak, Iran.

Email: amir_24619@yahoo.com

Received: 08-01-2018

Accepted: 02-03-2019

بررسی مشارکت بهره‌برداران در مدیریت بهینه مصرف آب (مطالعه موردی: شبکه‌های آبیاری دشت قزوین)

امیر مرادی نژاد

استادیار پژوهش، بخش آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی.

E-Mail: amir_24619@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۲

Abstract

Organising beneficiaries and producers with legal rights in water bodies is one of the main strategies in the field of water exploitation. In this research, the transfer of management of water exploitation and maintenance of water facilities in the Qazvin Plain, which has modern irrigation networks, has been analysed. The positive and negative points of this management transfer, as well as the problems and failures in the transfer, the technical solutions and suggestions have been identified and presented through field visits and surveys of the representatives of farmers and experts of the water supply. With the development of participatory irrigation management in this network, results such as simplifying the administrative and executive affairs, reducing government ownership, saving time, applying local management, reducing the transmission and distribution losses, and creating employment were achieved. Problems such as the lack of convergence between state institutions, the existence of monopolies in the bodies of some organisations, the lack of transparency in how to collect water, the lack of proper communication between farmers and the centre, lack of transparency and interaction between farmers and governmental organisations, the lack of clear legal capacity, lack of credibility, failure to identify incentives to reduce costs for operators, lack of extension and training activities are investigated in this study.

Keywords: Irrigation management, Water supply system, Qazvin irrigation networks, Exploitation systems, Management transfer.

چکیده

سازماندهی بهره‌برداران و تولیدکنندگان دارای حقا به در تشکلهای آب‌بران، یکی از راهبردهای اساسی بهره‌برداری آب می‌باشد. در این تحقیق انتقال مدیریت بهره‌برداری آب و نگهداری از تأسیسات آبی در دشت قزوین که دارای شبکه‌های آبیاری مدرن می‌باشد تجزیه و تحلیل شد. نقاط مثبت و منفی انتقال مدیریت، مشکلات و نارسایی‌های موجود در واگذاری، راهکارها و پیشنهادها به صورت فنی و کارشناسی از طریق بازدید صحرایی و نظرسنجی از نمایندگان کشاورزان و کارشناسان کانون آب‌بران شناسایی و ارائه شده است. با توسعه مدیریت مشارکتی آبیاری در این شبکه نتایج همچون: ساده‌سازی امور اداری و اجرایی، کاهش تصدی‌گری دولت، صرفه‌جویی در وقت، اعمال مدیریت محلی، کاهش تلفات انتقال و توزیع آب و ایجاد اشتغال حاصل شد. مشکلاتی همچون نبود همگرایی بین نهادهای دولتی، وجود انحصار در بدنه برخی تشکلهای، عدم شفافیت در نحوه وصول آب‌بها، عدم ارتباط صحیح بین کشاورزان و کانون، عدم شفافیت و تعامل بین زارعین و سازمان‌های دولتی، نبود برخی ظرفیت‌های قانونی روشن و گویا، کافی نبودن اعتبار، عدم تعیین مشوق‌های لازم در کاهش هزینه‌های بهره‌برداران، عدم انجام امور ترویجی و آموزشی بررسی شد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت آبیاری، تشکلهای آب‌بران، شبکه‌های آبیاری قزوین، نظام‌های بهره‌برداری، انتقال مدیریت.

یکی از مهمترین راه‌های اعمال مدیریت صحیح در مصرف آب مشارکت بهره‌برداران در مدیریت بهینه مصرف آب می‌باشد. به علت ساختار نامناسب بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات آبی، استفاده بهینه از منابع آب، عدم مشارکت بهره‌برداران در مدیریت استفاده از پروژه‌های بزرگ شبکه‌های آبیاری و زهکشی و واگذاری بعضی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی به کشاورزان بدون برنامه جامع باعث کاهش راندمان آبیاری و تولید، فرسوده شدن تأسیسات آبیاری، سردرگمی بهره‌برداران و در نتیجه تلفات بسیار زیاد آب در این بخش شده است. چاره‌اندیشی برای خروج از مشکلات جاری مدیریت شبکه‌های آبیاری، یکی از موضوعات اصلی در محافل علمی و کارشناسی بخش آب در ایران و بسیاری از کشورهای جهان به‌ویژه طی سه دهه گذشته بوده است (حیدریان، ۱۳۸۳). اکنون مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی از مهمترین مسائل آب و کشاورزی می‌باشد. در کشورهای درحال توسعه مدیریت شبکه‌ها نه تنها دغدغه دولت‌ها می‌باشد بلکه به مشکلی برای سازمان‌های جهانی وام‌دهنده تبدیل شده که در پی انجام سرمایه‌گذاری‌های مطمئن، کسب سود و یا تحقق اهداف توسعه‌ای مورد انتظار هستند (عربی و محبی، ۱۳۸۷). با واگذار کردن مدیریت امور مرتبط با آب کشاورزی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و دشت‌ها به مردم منجر به بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش بازده آبیاری خواهد شد (حیدریان، ۱۳۸۳). همچنین سازماندهی بهره‌برداران و تولیدکنندگان دارای حقاب‌ه در تشکلهای آب‌بران در جهت دستیابی به توسعه پایا و بهره‌برداری بهینه شبکه‌های آبیاری و زهکشی و همچنین کاهش تصدی‌گری دولت یکی از راهبردهای اساسی در موضوع بهره‌برداری از آب می‌باشد. نقش این تشکلهای در جهت بالا بردن بازده آب کشاورزی و رسیدن به نتیجه مطلوب که همان رشد اقتصادی کشور است حائز اهمیت است. ازاین‌رو حمایت و سازماندهی این تشکلهای از سوی دستگاه‌ها و نهادهای ذیربط از جمله برنامه‌هایی است که در دستور کار دولت قرار گرفته است (صالحی و همکاران، ۱۳۸۹).

در فرایند انتقال مدیریت آبیاری به تشکلهای آب‌بران و بر اساس کارهای انجام شده در این زمینه به‌کارگیری و مشارکت کشاورزان مورد توجه سازمان‌های ذیربط بوده است به‌گونه‌ای که پس از واگذاری مدیریت شبکه‌ها نه تنها حمایت‌های لازم صورت نگرفته بلکه قطع شده است. به‌نظر می‌رسد هدف فقط جلب مشارکت بهره‌برداران بوده است. درحالی‌که که در کشورهای موفق قبل از واگذاری انتقال مدیریت آب ابتدا به ایجاد فضای مناسب برای انتقال، مانند تعریف دوباره اصول

و موازین سازمانی، ایجاد یک چارچوب قانونی مناسب برای انتقال، تشریح مراحل و اولویت‌بندی برای اجرای آن می‌پردازند (غنیان و همکاران، ۱۳۹۲). تشکلهای ایجاد شده با پذیرش مسئولیت‌های تعادل‌بخشی آبخوان مانند حفظ و مراقبت از کنتورهای هوشمند آب و برق، تأسیسات تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، جلوگیری از حفاری چاه‌های غیر مجاز، جلوگیری از اضافه برداشت‌ها و جابه‌جایی و کف‌شکنی غیرمجاز چاه‌ها، استفاده بهینه از تلفیق آب‌های سطحی و زیرزمینی و ارائه گزارش‌های بهره‌برداری ماهانه چاه‌ها کمک قابل توجهی به توسعه پایدار منطقه خواهد نمود و از مخاطرات ناشی از افت سطح آب زیرزمینی از جمله کاهش حجم مخازن آب زیرزمینی، افزایش هزینه‌های بهره‌برداری از چاه‌ها، کاهش آبدی چاه‌ها و خشک شدن قنات، نشست سطح زمین و به دنبال آن آسیب دیدن تأسیسات صنعتی منطقه، تخریب مخازن آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب جلوگیری نمود (قدرتی و ضاهرپور، ۱۳۸۸). به‌کارگیری راهکارهای لازم برای بهره‌وری مناسب از منابع محدود آب در دسترس برای آینده‌ای که در آن رقابت‌ها برای استفاده اقتصادی از آب در حال افزایش است و دولت‌ها ناگزیر هستند که یارانه عملیاتی بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری را محدود یا حذف نمایند، ضروری است. لذا اعمال مدیریت کارآمد در قالب تشکلهای قانونمند آب‌بران در راستای خصوصی‌سازی و انتقال مدیریت ضروری است (باقری و همکاران، ۱۳۸۹).

مرتضی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) عوامل موثر در انتقال امور بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین به تشکلهای آب‌بران را با استفاده از روش توصیفی-همبستگی بررسی کردند. حجم نمونه با استفاده از فرمول کوکران ۱۲۷ نفر تعیین شد. روایی ابزار تحقیق با استفاده از نظرات اساتید و کارشناسان بررسی، اصلاح و تأیید شد. نتایج نشان داد مهمترین عوامل موثر شامل اعطای تسهیلات و حمایت‌های مالی دولت، میزان تخصص کارشناسان شبکه آبیاری، مشخص بودن اهداف و نحوه اداره تشکل، اعتماد به روستاییان و دخالت دادن آنها در امور، گسترش فن‌آوری و ماشین‌آلات هستند. نتایج تحلیلی-عاملی نیز سه عامل اعتماد و حمایت مالی و فنی از کشاورزان، شفافیت اداری، آموزش و اطلاع‌رسانی را شناسایی کردند. این مولفه‌ها در مجموع ۶۵/۶۶ درصد از کل واریانس را تبیین کردند. مولفه اعتماد و حمایت مالی و فنی از کشاورزان مهمترین مولفه عوامل در انتقال امور بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین به بخش خصوصی شناخته شد. تیریزی دخت فرد و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی عوامل موثر بر میزان رضایت بهره‌برداران از تشکلهای آب‌بران در حوضه سد سهند را بررسی کردند و بیان کردند رضایت ۸۶/۲ درصدی بهره‌برداران در سطح متوسط می‌باشد و بین رضایت

آن‌ها با متغیرهای عوامل اجتماعی، فردی و ارتباطی-ترویجی مورد مطالعه رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که سه متغیر اعتماد اجتماعی، تعداد اعضای خانوار و درآمد از شغل فرعی ۴۴/۳ درصد واریانس سطح رضایت را تبیین می‌کنند. اجرای دوره‌های آموزشی متناسب با اصول آموزش بزرگسالان می‌تواند ضمن افزایش آگاهی اعضا از ماهیت تشکلهای زمینه ایجاد اعتماد اجتماعی متقابل بین اعضا و رضایت آن‌ها را فراهم کند. مشارکت اجتماعی فرآیندی سازمان یافته از سوی اعضای جامعه است که منجر به ایجاد روحیه همدلی و همکاری بین مردم می‌شود و می‌تواند فرآیند توسعه را پیش برد (Prabhakaran و همکاران، ۲۰۱۴؛ Nummela و همکاران، ۲۰۰۸). اعتماد اجتماعی یکی دیگر از ابعاد سرمایه اجتماعی می‌باشد و به اعتماد شخصی و عمومی تقسیم می‌شود (Koutsou و Partalidou، ۲۰۱۴) و عبارت است از تمایل فرد به قبول ریسک در رفتار با دیگران (صالحی و امام قلی، ۱۳۹۱). همچنین ذهنیت افراد نسبت به یکدیگر برای انجام امور روزانه خود است (Huhe و همکاران، ۲۰۱۵). انسجام اجتماعی احساس مسئولیت بین چند نفر و دلالت بر توافق جمعی میان آن‌ها درباره یک موضوع است و به میزان رابطه متقابل بین کنشگران ناظر می‌باشد (محسنی تبریزی و آقا محسنی، ۱۳۸۸؛ گل‌شیری اصفهانی و همکاران، ۱۳۸۸) و دلالت برافزایش حجم تعامل افراد جامعه با یکدیگر دارد. شرط لازم برای پیشرفت جوامع روستایی گسترش انسجام، مشارکت و اعتماد متقابل افراد و دولت است (فراهانی و همکاران، ۱۳۹۲). Aydogdu و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که عواملی مانند دسترسی دائم و آسان به تشکلهای آب‌بران، رفتار منصفانه و عادلانه تشکلهای، خدمات آبیاری کافی، تعمیر، نگهداری و توزیع مناسب آب، باعث رضایت کشاورزان از تشکلهای می‌شود. عواملی مانند علاقه کم به تشکلهای ناعادلانه برخورد

کردن با افراد و بی‌طرفانه نبودن رفتارها، خدمات آبیاری ناکافی در زمینه تعمیر و نگهداری و توزیع، زیاد بودن آب‌بها و اعمال فشار برای پرداخت آب‌بها از عوامل اثرگذار بر نارضایتی آن‌ها بوده است. Omid و همکاران (۲۰۱۱) عوامل مؤثر بر موفقیت تشکلهای آبیاری مغان، تچن و ورامینرا بررسی کردند. نتایج حاکی از نارضایتی اعضا از مدیریت مشارکتی آبیاری، اثربخشی شبکه آبیاری، توزیع ناعادلانه آب، کم اعتمادی به مدیران، کمبود حمایت از سوی دولت و کمبود انسجام گروهی بود. Maghsoudi و همکاران (۲۰۱۲) در خوزستان نشان دادند که رضایت بالای اعضا از تشکلهای در زمینه ساختار تشکلهای، اطلاع رسانی، مشارکت روستاییان در طول اجرای پروژه و تهیه طرح اجرایی برای عملیات بود. حیاتی و نجفی قرقانی (۱۳۹۴) در حوزه پایاب سد درودزن فارس نشان دادند متغیرهای بعد خانواده، نگرش به سازمان آب و شرکت بهره‌برداری، نگرش به وجود روابط عادلانه در تشکلهای، رعایت اصول اخلاقی در بین اعضا، میزان استفاده از آب، نوع تشکلهای، نوع محصولات زراعی و سطح زیرکشت رابطه معنی‌داری با دیدگاه درباره توسعه مسئولیت‌های تشکلهای داشتند.

انتقال مدیریت در کشور نه بر اساس یک سیاست و برنامه روشن، بلکه براساس حل مشکل مقطعی و با پیروی از الگوهای خارجی و ارضا شرایط جذب تسهیلات بانک جهانی صورت گرفته است. موفقیت‌های مقطعی و محدود در ارتباط با خصوصی‌سازی و ایجاد شرکت‌های بهره‌برداری و زمینه‌های قانونی و بررسی‌های مطالعاتی مشاهده می‌شود اما بستر مناسبی برای پیاده‌سازی انتقال مدیریت فراهم نشده است. بنابراین کاستی‌ها و خلا موجود در تعیین رهیافت و رویکرد مناسب در برنامه‌ریزی به دلیل خطا در بازشناسی زمینه‌ها مانع از شکل‌گیری آغازی مناسب در انتقال مدیریت در کشور بوده است که انتقال مدیریت در شبکه قزوین نمونه‌ای از آن می‌باشد.

است. برنامه اول توسعه منابع آب در ناحیه آبیاری طالقان، شبکه آبیاری دشت قزوین و برنامه دوم توسعه منابع آب در خارج از ناحیه آبیاری طالقان مورد مطالعه قرار گرفت. شبکه آبیاری دشت قزوین با وسعتی معادل ۸۰۰۰۰ هکتار ناخالص به‌صورت نواری به طول ۹۴ کیلومتر می‌باشد که از محدوده زیاران شروع شده و به اراضی کهک تاکستان منتهی می‌شود. عرض متوسط این نوار حدود ۸/۷ کیلومتر می‌باشد. این شبکه به‌صورت عمده شامل اراضی شهرهای قزوین، آبیک و همچنین بخشی از اراضی شهرستان‌های تاکستان و بوئین زهرا می‌شود. منطقه طرح از نظر تقسیمات هیدرولوژی بخشی از حوضه آبریز رودخانه شور می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی دشت

مواد و روش‌ها

• شبکه آبیاری دشت قزوین

مشکل کم‌آبی از دیرباز مانع اجرای طرح‌های توسعه منابع آب دشت قزوین بوده و راه‌های مقابله با آن ارائه شده است. در این راستا ایده انتقال آب از شاهرود را ابتکار دوره صفویه می‌دانند. بعد از زلزله شهریور ماه ۱۳۴۱ بوئین زهرا، هم‌زمان با اعزام نمایندگان سازمان ملل و دیگر کشورها به این منطقه بار دیگر "طرح عمران و توسعه دشت قزوین" قوت گرفت. برنامه توسعه منابع آب در دشت قزوین طبق طرح اولیه مشاور در سال ۱۳۴۸ متشکل از دو برنامه جدا و مستقل از هم بوده

قزوین با بیش از ۱۱۰ کیلومتر کانال اصلی و فرعی شامل ۹۴ کیلومتر کانال اصلی، ۱۲ رشته کانال درجه یک به طول ۱۳۰ کیلومتر، ۳۱ رشته کانال درجه دو با ۸۵ کیلومتر، ۹۰ رشته کانال درجه سه با ۲۵۰ کیلومتر و بیش از ۵۰۰ کیلومتر کانال درجه چهار است که از سال ۱۳۵۲ به بهره‌برداری رسیده است و بیش از ۴۵ سال قدمت دارد. اغلب کانال‌ها دارای جاده سرویس خاکی بوده که برای سرویس‌دهی به شبکه و راه ارتباطی روستاها از این جاده‌ها استفاده می‌شود. سازه‌های هیدرولیکی کانال‌ها شامل سازه‌های فلوم هوایی، سیفون‌ها، آبروهای تقاطعی، شوت‌ها، دراپ‌ها، سازه‌های تنظیم سطح آب (از نوع آمیل یا دریچه‌های کشویی، آبگیرها و یا دریچه کشویی ساده)، پل ماشین‌رو، دریچه‌های آبیاری مجهز به دریچه مدول، کالورت‌ها و روگذر آن‌ها می‌باشد. مساحت خالص اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری طالقان (قزوین) ۶۰۰۰۰ هکتار است که حدود ۷۲ درصد آن را اراضی درجه ۱ و ۲ تشکیل می‌دهد. الگوی کلی کشت منطقه ۵۰ درصد کشت پاییزه می‌باشد که بخش زیادی از آن به محصول گندم و جو اختصاص دارد، ۱۵ درصد کشت بهاره و ۳۵ درصد آیش طبق برنامه رعایت می‌شود. آب این شبکه در حال حاضر از سد مخزنی طالقان و چاه‌های تلفیقی تأمین می‌شود. طبق طرح با تکمیل سد مخزنی طالقان سهمیه آب تنظیمی استان از سد طالقان شامل شرب، کشاورزی، تغذیه مصنوعی و زیست‌محیطی ۲۹۸ میلیون مترمکعب می‌باشد. در حال حاضر تأسیسات انحراف آب رودخانه طالقان، شامل سد انحرافی سنگبان، تونل انتقال آب طالقان (به طول ۹/۱ کیلومتر)، سد انحرافی زیاران و شبکه کانال‌های درجه ۱ و ۲ به ترتیب به طول ۹۴ و ۲۲۰ کیلومتر و به ظرفیت ۳ تا ۳۰ مترمکعب در ثانیه و همچنین شبکه کانال‌های درجه ۳ و ۴ به طول ۸۸۰ کیلومتر احداث و به مرحله بهره‌برداری رسیده است. طرح طالقان شامل سد مخزنی طالقان، سدهای انحرافی سنگبان و زیاران می‌باشد (شکل ۱).

تونل انتقال آب طالقان و شبکه آبیاری به‌منظور انتقال آب از حوزه آبریز سفیدرود (رودخانه طالقان) به حوزه آبریز مرکزی و برای آبیاری بخشی از اراضی حاصلخیز شمال و شمال غرب دشت قزوین طراحی و اجرا شده است. این شبکه وسعتی حدود ۸۰ هزار هکتار (ناخالص) را شامل شده و حد فاصل زیاران تا کهک تاکستان، بالغ بر ۶۰ هکتار (خالص) از اراضی مستعد درجه یک و دو را سیراب می‌سازد که اصطلاحاً قطب شبکه نام گرفته است. مقطع کانال‌های انتقال و توزیع شبکه، دوزنقه‌ای با پوشش بتنی است و حداکثر ظرفیت آن ۳۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. تأمین آب شبکه تابع رژیم رودخانه بوده و طی ۱۰ سال اخیر بهره‌برداری بین ۱۱۱ تا ۲۰۴ میلیون متر مکعب در سال ورودی داشته است. جدول (۱) آمار بهره‌برداری شبکه آبیاری دشت قزوین (میلیون مترمکعب) در دهه اخیر را نشان می‌دهد.

جدول ۱- آمار بهره‌برداری شبکه آبیاری دشت قزوین (میلیون مترمکعب)

سال	آب ورودی	تغذیه مصنوعی
۱۳۸۵	۲۱۷	۳۲
۱۳۸۶	۳۰۴	۳۸
۱۳۸۷	۱۵۷	۲
۱۳۸۸	۱۶۵	۶
۱۳۸۹	۲۷۵	۲۶
۱۳۹۰	۲۷۹	۲۶
۱۳۹۱	۳۳۱	۳۲
۱۳۹۲	۲۴۲	۱۱
۱۳۹۳	۱۱۱	۳
۱۳۹۴	۱۱۴	۰
۱۳۹۵	۲۲۹	۲۲
۱۳۹۶	۲۶۹	۵۰



شکل ۱- الف: سد تنظیمی زیاران، ب: سد انحرافی سنگبان

• ایجاد تشکلهای آب‌بران در شبکه آبیاری دشت قزوین

در اجرای قانون توزیع عادلانه آب مصوب شانزدهم اسفند ۱۳۶۱ در مجلس شورای اسلامی آیین‌نامه اجرایی بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی در جلسه مورخ ۱۳۷۵/۶/۱۱ هیأت وزیران به تصویب رسید. در ماده ۵ این آیین‌نامه، وزارت کشاورزی وقت موظف شد ظرف حداکثر دو سال پس از تصویب این آیین‌نامه نسبت به ایجاد و سازماندهی تشکلهای قانونی مناسب در اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری موضوع این آیین‌نامه مانند شرکت‌های تعاونی، کشت و صنعت تجارتي، انجمن‌های بهره‌برداری و تشکلهای کشاورزی برای تحویل حجمی آب در نقطه تحویل به این نوع تشکلهای اقدام نماید. ایجاد تشکلهای مورد نظر این آیین‌نامه به دلایلی که موضوع بحث این تحقیق نیست در زمان تعیین شده، توسط وزارت کشاورزی تحقق نمی‌یابد. همچنین مدیریت دولتی و نیمه‌دولتی حدود ۴۰ ساله طرح ۶۰ هزارهکتاری آبیاری زهکشی دشت قزوین، مشکلات و نارسایی‌های متعددی برای ابنیه ۱۲۰۰ کیلومتری کانال‌های درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ و بیش از حدود ۳۰۰۰ دستگاه تأسیسات هیدرومکانیکال و ۳۰ هزار کشاورز زیردست شبکه به‌وجودآورده است. بهره‌برداری سطوح پایین و سنتی شبکه باعث شده فرسودگی و تخریب کانال‌ها و دریچه‌ها و سایر تأسیسات و تجهیزات شبکه‌ها افزایش و راندمان آبیاری (۳۳٪) کاهش یابد. بعضی از دریچه‌های آمیل موجود در مسیر کانال‌های درجه ۲ و ۳ صحیح تنظیم نشده و یا در اثر دست‌کاری عملکرد مناسبی ندارند. دست‌کاری دریچه‌های آمیل سبب می‌شود که آب در کانال بالادست برگشت داده شود و در نهایت موج آب با ایجاد کردن خندق، سازه آمیل را دور زده و وارد مقطع کانال از پایین‌دست دریچه آمیل شود. شکل‌های (۲) تا (۵) اثرات سو ناشی از مدیریت دولتی، نیمه‌دولتی و عدم مشارکت بهره‌برداران در بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات را نشان می‌دهد.

سازمان‌های آب منطقه‌ای که مسئول تأمین و انتقال آب به شبکه‌های آبیاری و توزیع آن بین کشاورزان، همچنین مسئولیت مستقیم مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی را بر عهده دارند پیشگام تشکیل تشکلهای آب‌بران شدند و فعالیت‌هایی را در مناطق تحت مسئولیت خود آغاز نمودند. ایجاد تشکلهای آب‌بران به عنوان نخستین‌بار در محدوده شبکه آبیاری دشت قزوین آغاز شد. اقدامات انجام گرفته در این زمینه شامل بررسی‌ها و مطالعات میدانی و برگزاری جلسات گفتگو با کشاورزان و انجام انتخابات و ثبت شرکت‌های تعاونی آب‌بران و اتحادیه تعاونی‌های مربوط در ۱۲ روستای تحت پوشش کانال درجه ۲ موسوم به L2 (یکی از کانال‌های منشعب از کانال اصلی) می‌باشد.



شکل ۲- دست‌کاری غیرعلمی بهره‌برداران در سازه تنظیم کننده سطح آب (L2)



شکل ۳- شکستن کانال انتقال آب جهت بهره‌برداری (L1)



شکل ۴- عدم لایروبی کانال‌های انتقال آب به دلیل دولتی بودن و عدم مشارکت بهره‌برداران در نگهداری (L2)



شکل ۵- دست‌کاری دریچه آمیل بر روی کانال (L6)

• سایر تشکلهای و واحدهای تولیدی موجود در دشت قزوین علاوه بر ۱۵۸ تشکل کشاورزان که حدود ۶۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی دشت قزوین را در اختیار دارند تعدادی شرکت تعاونی، واحد تجاری و نیمه تجاری با مالکیت خصوصی و دولتی (تحت اختیار بنیادها) در دشت قزوین وجود دارند و به فعالیت های کشاورزی می پردازند. این نوع واحدهای تولیدی به عنوان مشترک و دریافت کننده آب، آب مورد نیاز کشاورزی را براساس الگوی کشت و با مجوز اداره کل امور آب، از چاه های عمیق و یا از شبکه و یا ترکیبی از هر دو منبع تأمین می کنند. آن دسته از واحدهای تولیدی که بخشی از آب کشاورزی خود را از شرکت بهره برداری دریافت می کردند در حال حاضر آب مورد نیاز خود را از کانون انجمن های صنفی دریافت می کنند. شرکت های تعاونی کشاورزی و دامپروری شامل آن دسته از شرکت هایی می باشند که تحت پوشش

• روند مدیریت بهره برداری و نگهداری از شبکه های آبیاری و زهکشی قبل از ایجاد تشکل

مدیریت بهره برداری و توزیع آب (نظام بهره برداری از آب کشاورزی) در شبکه مدرن آبیاری و زهکشی دشت قزوین با تعیین سهمیه هر بهره بردار بر مبنای برنامه زراعی و نیاز آبی محصولات انجام می گرفت و بر این اساس آب به کشاورز تحویل داده می شد، آب بران پس از عقد قرار داد تمام یا بخشی از سهمیه مربوط به هر ماه را جداگانه به صورت انفرادی درخواست می کنند. این درخواست با فیش بانکی بها آب به متصدی فروش تحویل داده و متصدی فروش نیز پس از بررسی و کنترل لازم و انتقال به حسابدار سازمان آب مراتب را به متصدی و مسئول توزیع آب اعلام می کرد. مسئول توزیع اسناد مربوط به تحویل آب را با توجه به کانال های درجه ۲ دسته بندی و بر این اساس آب به زارعان آب بر هر دریاچه از یک کانال تحویل داده می شد. برنامه زراعی گروهی از کشاورزان در محدوده های معین، یکسان برنامه ریزی شده است. این گروه توسط نماینده خود فعالیت های مربوط به توزیع آب در کانال های فرعی ۳ و ۴ را به عهده داشتند و آب را از شرکت بهره برداری وابسته به وزارت نیرو که مسئولیت بهره برداری از شبکه آبیاری را بر عهده دارد با عقد قرارداد تحویل می گرفتند. تحویل آب به نمایندگان کشاورزان روی آبگیر کانال درجه ۳ انجام می شد توزیع و تقسیم آب در کانال های درجه ۳ و ۴ به عهده نمایندگان کشاورزان و در سطح مزرعه با زارع است نمایندگان بهره برداران یا به عبارت دیگر کشاورزان حقابه بر در رابطه با حفاظت، نگهداری و تعمیر شبکه های فرعی مسئولیتی به عهده نمی گرفتند و دستگاه های دولتی مسئول بنا بر دلایل

اداره کل تعاون و واحدهای شهرستانی آن فعالیت می کنند و اغلب در زمینه تولید محصولات زراعی و پرورش دام و طیور گوشتی و تولید ابزار و ماشین های کشاورزی اشتغال دارند. این شرکت ها در سال های اول پس از پیروزی انقلاب تأسیس شدند و اعضای آن ها ترکیبی از افراد تحصیل کرده و کارگران متخصص و غیرمتخصص هستند. این شرکت ها دارای اساسنامه، هیأت مدیره، مدیرعامل، بازرس و دفاتر قانونی هستند و سود حاصل از فعالیت ها به نسبت سهام میان اعضا تقسیم می شود. نوع دیگری از واحدهای تولید جمعی، تعاونی های مشاع بودند که پس از پیروزی انقلاب و واگذاری زمین توسط هیأت های هفت نفره به تعدادی از روستاییان بدون زمین به وجود آمدند. این نوع تعاونی ها دوام زیادی نداشتند و به تدریج مالکین واحدهای مشاعی، زمین را بین خود تقسیم کردند و بهره برداری مشاعی از زمین ها از بین رفت.

زیادی در این زمینه اقدامی به عمل نمی آورند که باعث به وجود آمدن مشکلات و نارسایی هایی در بهره برداری ۳۰ سال طرح عمران دشت قزوین شد که شامل موارد ذیل می باشد:

- ۱- عدم بهره برداری و نگهداری مطلوب از مجموعه طرح و تخریب زود هنگام آن،
 - ۲- خارج از سرویس قرار گرفتن چك های کنترل سطح آب و دریچه های آبگیر مزرعه (C.H.O-Turn Out -Check)،
 - ۳- گشودن انبوهی از دریچه های غیرمجاز و آبگیرهای غیراستاندارد در قطعات زراعی،
 - ۴- تغذیه مصنوعی ناقص و ناچیز محدوده طرح از طریق شبکه مدرن قزوین،
 - ۵- گسترش بی سابقه حفر چاه های غیرمجاز و توسعه آبدی چاه های مجوزدار،
 - ۶- بهره گیری بیش از ظرفیت و حدود مجاز سفره آب های زیرزمینی و افت شدید آبخوان،
 - ۷- افزایش نقاط پرخطر با گسترش مراکز سکونتگاهی و فقدان برنامه ریزی جامع ایمن سازی و سقوط روز افزون وسایط نقلیه و افراد در شبکه (قاسمی، ۱۳۸۳).
- برای مقابله و رفع این نارسایی دولت در برنامه دوم بند ط تبصره ۱۹ و آیین نامه اجرایی آن مواد ۱۰۶ و ۱۰۷ برنامه سوم و بند الف و ب ماده ۱۷ برنامه چهارم به وزارتخانه های جهاد کشاورزی و وزارت نیرو تکلیف شد نسبت به بهینه سازی مصرف آب کشاورزی و جلب زمینه مشارکت بهره برداران در توسعه زیرساخت ها و تحویل حجمی آب با تجهیز نقاط تحویل به ابزارهای مناسب اندازه گیری حجم آب براساس سند ملی الگوی مصرف بهینه آب کشاورزی نسبت به ایجاد تشکلهای آب بران به منظور انتقال



شکل ۷- بهره‌برداری و نگهداری درست از تأسیسات و کانال انتقال آب (L1)



شکل ۸- پوشش کانال توسط تشکل آب‌بران



شکل ۹- جلسات مشاوره در منطقه طرح دوره‌های آموزشی برای دست‌اندرکاران

در طول سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ مرحله سوم و نهایی طرح انتقال مدیریت خدمات آبیاری قزوین با واگذاری مسئولیت امور اداری، مالی و عملیاتی به تشکل آب‌بران به اجرا درآمده و اقدامات مشروحه ذیل توسط مسئولین اتحادیه‌ها و بدون دخالت کارکنان دولت انجام می‌گیرد.

الف: ثبت سفارش، فروش، توزیع و تحویل آب کشاورزی،
ب: لایروبی کانال‌ها، تعمیرات و بازسازی تأسیسات و ابنیه شبکه،

ج: تحویل حجمی آب به مدیران اتحادیه‌ها در محل خروجی کانال اصلی،

مسئولیت بهره‌برداران و نگهداری از تأسیسات آبیاری اقدام نماید. شکل‌های (۶) تا (۸) نشان‌دهنده مشارکت بهره‌برداران و تشکیل تشکل آب‌بران در نگهداری و بهره‌برداری از شبکه‌ها می‌باشد. مطابق این شکل‌ها پس از تشکیل تشکل آب‌بران لایروبی و پوشش کانال‌ها انجام و انتقال، تحویل و توزیع آب به آب‌بران کنترل شده و بهینه انجام شد.



شکل ۶- لایروبی نهر توسط تشکل آب‌بران

نتایج و بحث

• انتقال مدیریت به تشکل‌ها

طرح انتقال مدیریت خدمات آبیاری دشت قزوین در سال ۱۳۸۱ با هدف حفظ و نگهداری اصولی سیستم و بهره‌برداری بهینه آن تدوین شد. طراحی سیستم مدیریت محلی آب بر مبنای بلوک‌های زراعی و دسته‌بندی کشاورزان اراضی هم‌جوار فصل مشترک آب‌بران تا نقاط آبیگر کانال‌های درجه ۳ صورت گرفت بر مبنای تجمیع انجمن‌های آبیاری محدوده کانال‌های درجه ۲ اتحادیه تشکل‌های آب‌بران ساماندهی شد. این طرح با استفاده از ظرفیت‌های محلی و منطقه‌ای از خرداد ۱۳۸۱ در قالب یک برنامه زمان‌بندی ۳ ساله در سه مرحله به شرح ذیل اجرا شد (شکل ۹).

۱- **مرحله داخلی:** طراحی سیستم، برنامه‌ریزی، جمع‌آوری اطلاعات پایه و پردازش، کدگذاری اطلاعات برنامه‌های کاشت و آبیاری و تدوین برنامه زمان‌بندی اجرا طرح

۲- **مرحله منطقه‌ای:** به اجرای پروسه تعیین نمایندگان گروه‌های کشاورزی، مبادله قرارداد تأمین آب و بهره‌برداری بلوک‌های زراعی و دسته‌بندی اطلاعات مشترکین و اولویت‌های مورد نظر
۳- **مرحله ستادی و ملی:** راه‌اندازی اتحادیه‌ها و تنظیم موافقت‌نامه تحویل کانال‌های انتقال، توزیع آب و همچنین پیش‌بینی انتقال سهام شرکت بهره‌برداری به آب‌بران تحت پوشش.

د: بازدید و سرکشی مستمر تأسیسات و تنظیم گزارش تخلفات آب‌بران،

ه: پاسخگویی و رفع و رجوع تقاضاها و مشکلات آب‌بران در محل دفاتر اتحادیه‌ها.

در حال حاضر با پیاده‌سازی گام به گام طرح و توسعه روش مدیریت مشارکتی آبیاری منفعت کوتاه مدت آب‌بران تأمین و میزان رضایت آن‌ها افزایش یافته است. نحوه تأثیرگذاری طرح برای جلب همکاری در انتقال بخش باقیمانده از وظایف دولت به کشاورزان حائز اهمیت بود. با تعامل و هماهنگی کامل و سیستماتیک با ۱۰ نماینده اتحادیه‌ها که از طرف ۳۰۰۰ نفر از سرگروه‌های کشاورزان انتخاب شده‌اند، انتظار می‌رود هم‌زمان با اجرای برنامه‌های تکمیلی، یکپارچه‌سازی اراضی، ضمن ارتقا تدریجی بهره‌وری، توزیع واقعی وعادلانه آب افزایش قابل توجه راندمان آبیاری و تولید تحقق یابد.

• وظایف و تصدی‌های واگذار شده به آب‌بران

- ۱- پذیرش و ثبت درخواست خرید آب کشاورزی از مشترکین شبکه،
 - ۲- تطبیق تقاضاها با مفاد قرارداد تأمین آب و اعمال سهمیه‌بندی طبق برنامه کاشت و آبیاری،
 - ۳- برنامه‌ریزی و هماهنگی فروش آب و وصول آب بها و نوبت‌بندی تحویل آب،
 - ۴- بهره‌برداری و اداره امور توزیع آب (حدود ۱۱۰۰ کیلومتر) کانال‌های درجه ۲، ۳ و ۴ شبکه،
 - ۵- تحویل حجمی آب تخصیصی بلوک‌های زراعی به نمایندگان تشکلهای آب‌بران،
 - ۶- هدایت امور اجرایی و نظارت بر عملکرد تشکلهای و گروه‌ها (کانال‌های درجه ۳ و ۴)،
 - ۷- بازدید و سرکشی مستمر تأسیسات و تنظیم و ارسال گزارش تخلفات شبکه،
 - ۸- پاسخگویی و رفع و رجوع مشکلات کشاورزان در محل دفاتر اتحادیه‌های آب‌بران.
- در حال حاضر ۱۵۸ تشکل، ۱۰ اتحادیه و یک کانون مرکزی فعال، مدیریت بهره‌برداری، نگهداری و ساماندهی ۳۰ هزار کشاورز را به عهده دارد. دفتر اتحادیه از خرداد ۱۳۸۳ شروع به کار کرده است. هر دفتر مسئولیت مدیریت جامع آب را در یک محدوده به عهده دارد و هر تشکل نماینده یک دریاچه است. برای تحویل آب فقط نماینده کشاورزان به دفتر تشکل مراجعه و با توجه به کارتی که در دست دارد آب را خریداری می‌کند.

• نتایج اجرای طرح انتقال مدیریت

پیرو اقدامات انجام گرفته از جانب بهره‌برداران، شرکت بهره‌برداری، سازمان جهاد کشاورزی و اداره امور آب استان قزوین در زمینه انتقال مدیریت به بهره‌برداران و ایجاد تشکلهای آب‌بران و با وجود مزایای ذکر شده برای بهره‌برداران، شرکت بهره‌برداری و دولت در شبکه‌های دشت قزوین بنا بر دلایل ذیل این طرح کامل نمی‌باشد. نواقصی در آن دیده می‌شود که در صورت رفع این نواقص و عملی نمودن پیشنهادها می‌توان آن را به عنوان یک طرح الگویی به منظور تطبیق آن با شرایط فرهنگی و بومی دیگر نقاط کشور به شمار آورد. اثرات مثبت تشکیل تشکل آب‌بران در جدول (۲) ارائه شده است. جایگزینی مناسبات و مراجعات ۳۰۰۰ کشاورز با ۱۰ مسئول اتحادیه از مهمترین فواید این انتقال مدیریت می‌باشد.

جدول ۲- اثرات تشکیل تشکل آب‌بران

اثرات کاهنده	اثرات افزایشنده
بوروکراسی اداری	نظارت مردم
مراجعات و مناسبات	توزیع عادلانه آب
تصدی‌گری دولتی	نگهداری اصولی
هزینه‌های تولید	راندمان آبیاری
کاهش هزینه‌ها	افزایش بهره‌وری

• مشکلات موجود

- ۱- عدم وجود منبع آب مطمئن
- ۲- عدم استفاده از نظرات بهره‌برداران در مطالعه و اجرا
- ۳- عدم مطالعات اجتماعی اولیه به منظور تعیین ساختار مناسب مدیریت بهره‌برداری و نگهداری با مشارکت بهره‌برداران
- ۴- وجود خلاهای قانونی
- ۵- تخریب شبکه و تجهیزات مکانیکال آن و نارسایی در انتقال و تقسیم و توزیع سهم آب کشاورزان
- ۶- عدم انجام برنامه آموزشی فراگیر و مستمر جهت بهره‌برداران آب کشاورزی
- ۷- عدم نظارت سالانه بر اجرای طرح کشت، ۸- عدم نصب ابزارهای مناسب تحویل حجمی آب در شبکه‌های ۳ و ۴
- ۹- اعمال نظر افراد ذی‌نفوذ در محدوده شبکه بر تقسیم و توزیع آب توسط میراب‌ها
- ۱۰- عدم حمایت دولت از تشکل ایجاد شده موجود
- ۱۱- مشخص نبودن نحوه وصول و هزینه درآمدها
- ۱۲- مشخص نبودن چارچوب مناسبات اداری تشکل با دستگاه‌های دولتی.

- ۱- ارائه راهکار اصولی و قانونی جهت ترمیم و تعمیر شبکه و تجهیزات آن و سپس واگذاری به کشاورزان
- ۲- مشخص کردن نحوه وصول آب بها و هزینه آن
- ۳- ملزم کردن کلیه دستگاه‌های استانی و ستادی جهت حمایت از تشکلهای
- ۴- ایجاد تعادل بین هزینه‌های حفظ و نگهداری تأسیسات شبکه‌ها و سهمی از آب‌بهاء که به خدمات مذکور اختصاص یافته
- ۵- ارزیابی این تشکلهای و شناخت ضعف و قوت آنها در هر ۴ ماه یکبار
- ۶- تحویل حجمی آب بر اساس سند و الگوی کشت
- ۷- با توجه به مشکلات موجود نیاز است پایلوت‌هایی در سطح کشور ایجاد و مطالعاتی در آنها انجام شود
- ۸- ایجاد ساختار مناسب مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات آبی
- ۹- تهیه طرح سالانه کشت با همکاری و نظارت کارشناسان جهاد کشاورزی
- ۱۰- برگزاری کلاس‌های آموزشی ترویجی برای بهره‌برداران، نمایندگان آنها، میراب‌ها و حتی کارشناسان کانون و آشنا کردن آنها با وظایف خود و همچنین ایجاد ارتباط بین آنها
- ۱۱- نتایج حاصل از ایجاد پایلوت به‌صورت گام‌به‌گام به مناطق مشابه دیگر تعمیم داده شود.

شبکه‌های آبیاری تحت مدیریت بخش دولتی عملکرد ضعیف‌تری نسبت به ظرفیت‌های موجود دارند که بخشی از آن به شیوه ناکارآمد بهره‌برداری و نگهداری از این سیستم‌ها مربوط می‌شود. از سوی دیگر منابع مالی، نهادی و انسانی مورد نیاز برای مدیریت پایدار نظام‌های آبیاری، فراتر از ظرفیت‌های موجود در بخش دولتی است. علاوه بر این در نظام‌های آبیاری دولتی کشاورزان به‌عنوان استفاده‌کنندگان واقعی انگیزه لازم برای استفاده اقتصادی و بهینه از آب را ندارند. آنها اطلاعات کافی و برداشت جامعی از ماهیت فرآیند تأمین و انتقال و توزیع آب ندارند. در مقابل تجارب مختلف به‌دست آمده از نظام‌های آبیاری مدیریت شده توسط کشاورزان و اجتماعات محلی مصرف‌کننده در کشورهای مختلف نشان می‌دهد چنین سیستم‌هایی پتانسیل‌های بالایی برای پیشبرد پایدار بهره‌وری نظام آبیاری دارند. این ظرفیت‌های ارزشمند با مشارکت فعال بهره‌برداران در مدیریت توزیع آب و فرآیند بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌ها افزایش می‌یابد. به‌طورکلی ظرفیت‌سازی در جامعه محلی بهره‌برداران، ثبات قوانین و مقررات مدیریت منابع آب، شفاف‌سازی اختیارات و مسئولیت‌های دست‌اندرکاران در مدیریت مشارکتی آبیاری و تغییر و تحول در ساختار مدیریت آب کشاورزی از مهمترین عوامل قانونی و نهادی موثر بر ارتقای نقش و جایگاه بهره‌برداران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد.

منابع

- آبیاری و زهکشی، تهران.
- صالحی، ص. و امام‌قلی، ل. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر سرمایه اجتماعی بر رفتارهای زیست‌محیطی (مطالعه موردی: استان کردستان). مجله جامعه‌شناختی ایران، ۱۳(۴): ۹۰-۱۱۵.
- عربی، ع. و محبی، م. ۱۳۸۷. فرآیند ایجاد تشکلهای آب‌بران و چالش‌های مربوطه در شبکه آبیاری و زهکشی دشت عباس. پنجمین کارگاه فنی مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، شهر تهران.
- غنیان، م.، برادران، م.، علی میرزایی، ع.، سلیمانی هارونی، خ. و پاشا سردار. ۱۳۹۲. ۵. مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی و مولفه‌های موثر بر آن. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۲): ۱۸۱-۱۹۰.
- فراهانی، ج.، عینالی، ج. و عبدلی، س. ۱۳۹۲. ارزیابی نقش سرمایه اجتماعی در توسعه نواحی روستایی (مطالعه موردی: دهستان مشهد میقان شهرستان اراک). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۲۹): ۲۷-۵۰.
- باقری، ه.، سروستانی، م.، کردانی، م.، ابراهیم، پ. و جهانفر، م. ۱۳۸۹. ضرورت ایجاد تشکلهای آب‌بران و انتقال مدیریت آبیاری با رویکرد مشارکت بهره‌برداران. سومین سمینار ملی توسعه پایدار روش‌های آبیاری تحت فشار، کرج.
- تبریزی‌دخت‌فرد، ا.، شمس، ع. و هوشمندان مقدم‌فرد، ز. ۱۳۹۵. عوامل موثر بر میزان رضایت بهره‌برداران از تشکلهای آب‌بران در حوضه سد سهند هشت‌رود. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۰(۳): ۳۱-۴۳.
- حیاتی، د. و نجفی‌قرقانی، ز. ۱۳۹۴. واکاوی سازه‌های موثر بر دیدگاه اعضای اتحادیه تشکلهای آب‌بران درباره توسعه مسئولیت‌های تشکل (حوزه پایاب سد درودزن فارس). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۴۶: ۱۴۳-۱۵۵.
- حیدریان، س. ا. ۱۳۸۳. تحلیلی بر تجربه داخلی در انتقال مدیریت آبیاری. اولین همایش بررسی مشکلات شبکه‌های

- Huhe N., Chen J. and Tang M. 2015. Social trust and grassroots governance in rural China. *Journal of Social Science Research*, 53: 351-363.
- Koutsou S. and Partalidou M. 2014. Young farmers' social capital in Greece: Trust levels and collective actions. *Journal of Rural Studies*, 34: 204-211.
- Maghsoudi T., Davodi H. and Momen Gharib M. 2012. Factor analysis of satisfaction in Water User Associations (WUAs) members in Iran. *Annals of Biological Research*. 3(6): 2688-2693.
- Nummela O., Sulander T., Rahkonen O., Karisto A and Uutela A. 2008. Social participation, trust and self-rated health: A study among ageing people in urban, semi-urban and rural settings. *Journal of Health & Place*, 14: 243-253.
- Omid M.H., Akbari M., Zarafshani K., Eskandari G.H. and Fami H.S. 2011. Factors influencing the success of water user associations in Iran: a case of Moqan, Tajan, and Varamin. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(1): 27-36.
- Prabhakaran S., Nair V. and Chandran S. 2014. Community participation in rural tourism: Towards a conceptual framework. *Journal of Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 144: 290-295.
- قاسمی، ع. ۱۳۸۳. طرح انتقال مدیریت خدمات آبیاری. گزارش سازمان آب منطقه‌ای تهران.
- قدرتی، م. و ضاهرپور، ج. ۱۳۸۸. ایجاد تشکلهای آبران آب زیرزمینی و نقش آنها در مدیریت منابع آب. همایش ملی الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب. مشهد.
- گل‌شیری اصفهانی، ز.، خادمی، خ.، صدیقی، ر. و تازه، م. ۱۳۸۸. تأثیر انسجام اجتماعی بر میزان مشارکت روستاییان (مطالعه موردی: بخش گندمان شهرستان بروجن). فصلنامه روستا و توسعه، ۱۲(۱): ۱۴۷-۱۶۷.
- محسنی‌تبریزی، ع.، و آقامحسینی، م. ۱۳۸۸. بررسی نقش سرمایه اجتماعی در توسعه شهری. مورد پژوهی: شهر محلات. دو فصلنامه مدیریت شهری، ۲۶: ۱۴۷-۱۶۱.
- مرتضی‌نژاد، م.، یعقوبی، ج.، داغستانی، م. و ستوده‌نژاد، ع. ۱۳۹۱. بررسی عوامل موثر در انتقال امور بهره‌برداری از شبکه آبیاری دشت قزوین به تشکلهای آبران. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. تهران.
- صالحی، ن.، کوپاهی، م. و نظری، م. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد مدیریت مشارکتی آبیاری در ایران "مطالعه موردی تجن". مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۴(۲): ۲۰۵-۲۱۶.
- Aydogdu M., Karli B., Yenigun K and Aydogdu M. 2015. The farmers' views and expectations to the water users associations; GAP-Harran plain sampling, turkey. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 4(1): 33-41.

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Farmers' Views on Rules Observance in Water Governance (Case Study: Farmers in Sabzevar County, Khorasan Razavi Province)

F.S. Hosseini Sheshtamad¹, A. Abedi Sarvestani^{2*}, A. Keramatzadeh³

1, 2, 3- MSc Student & Associate Professor & Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran..

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

Received: 09-07-2018

Accepted: 22-04-2019

دیدگاه کشاورزان نسبت به قانون‌مداری در حکمرانی آب (مطالعه موردی شهرستان سبزوار، استان خراسان رضوی)

فاطمه سادات حسینی ششتمد^۱، احمد عابدی سروستانی^{۲*}، علی کرامت‌زاده^۳

۱، ۲، ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشیار و استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: abediac@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۰۲

Abstract

Iran is located in an arid region of the world. Drought and water shortages are clearly seen in most parts of the country. Mismanagement of water and lack of good water governance exacerbate the consequences of droughts. Good water governance refers to the adaptability of rules, responsibility of organisations, clarification and integration of programs, ethical considerations, and observance of justice in the provision of water-related services. The establishment and proper implementation of sustainable water governance require fair legal frameworks and unbiased executive organisations. The purpose of this research survey is to investigate the status of rule-observance in the good governance of water from the farmers' point of view. Using random cluster sampling, 202 farmers from 25 villages in Sabzevar County were studied. The results showed that "the rate of compliance with the rules for agricultural water in the region" and the "respect for farmers' rights in relation to agricultural water" are ranked as the first and last, respectively. Furthermore, the index of rule-observance in good water governance can be evaluated at the medium level. Meanwhile, farmers using the subterranean canal, as well as farmers with less rental lands and more annual income from agriculture, were believed more in the rules-observance in water governance. The use of indigenous knowledge and the participation of farmers in the establishment of the related rules are the suggestions of the present research to strengthen the rules-observance in the good governance of agricultural water.

Keywords: Agriculture, Water governance, Rules observance.

چکیده

کشور ایران در منطقه خشک جهان قرار دارد و در بیشتر نقاط خشکسالی و کمبود آب به‌وضوح مشاهده می‌شود. مدیریت نادرست و نبود حکمرانی خوب آب تشدید پیامدهای خشکسالی را به همراه دارد. حکمرانی خوب آب به سازگاری قوانین، مسئولیت‌پذیری سازمان‌ها، کل‌نگری و به‌هم‌پیوستگی برنامه‌ها، ملاحظات اخلاقی و رعایت عدالت در ارائه خدمات مرتبط با آب گفته می‌شود. برقراری و اجرای صحیح حکمرانی خوب آب نیازمند چارچوب‌های قانونی عادلانه و سازمان‌های اجرایی بی‌طرف است. پژوهش حاضر با هدف بررسی دیدگاه کشاورزان نسبت به رعایت قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب انجام گرفت. با استفاده از تحقیق پیمایشی و روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی وضعیت ۲۰۲ نفر از کشاورزان در ۲۵ روستا در سطح شهرستان سبزوار بررسی شد. نتایج نشان داد «میزان رعایت قوانین وضع شده برای آب کشاورزی در منطقه» در رتبه اول و «میزان احترام به حقوق کشاورزان در ارتباط با آب کشاورزی» در رتبه آخر جای دارد. همچنین قانون‌مداری در ارتباط با حکمرانی آب در منطقه وضعیت مناسب و قابل قبولی ندارد و در حد متوسط قابل ارزیابی می‌باشد. در عین حال از نظر زارغانی که از قنات برای آبیاری استفاده می‌کردند و همچنین زمین اجاره‌ای و درآمد سالانه بیشتری از کشاورزی داشتند قانون‌مداری در حکمرانی آب بیشتر رعایت شده است. در مقاله حاضر پیشنهادهایی به‌منظور تقویت قانون‌مداری در حکمرانی آب ارائه شده است که می‌توان به استفاده از دانش بومی و مشارکت کشاورزان در وضع قوانین مرتبط با آب کشاورزی اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی، حکمرانی آب، حاکمیت قانون.

آب مایه حیات و رکن اساسی شکل‌گیری و بقا تمدن‌های بشری محسوب می‌شود. حفظ و بهره‌برداری مناسب از آب از مهمترین دغدغه‌های قرن حاضر می‌باشد (جابری و همکاران، ۱۳۹۵؛ علوی، ۱۳۸۹). تقاضا آب کشاورزی، صنعت و شرب در بسیاری از مناطق از میزان آب در دسترس بیشتر است (Allan, ۲۰۰۱). آب یک کالای بدون جایگزین و با ارزش اقتصادی بالا است. موضوع آب به‌عنوان یک موضوع مهم در صحنه سیاست داخلی کشورها به‌ویژه در مناطق خشک و کم‌آب جهان نگریده می‌شود (جابری و همکاران، ۱۳۹۵).

آمار سال ۱۳۹۱ در ایران نشان می‌دهد که میزان مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب به‌ترتیب ۹۲، ۵ و ۳ درصد می‌باشد (فتحی زالوآبی، ۱۳۹۱). کل منابع آب قابل استحصال کشور ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده شده که تاکنون ۹۰ میلیارد مترمکعب از آن استحصال شده است. براساس آخرین آمار موجود ۹۵ درصد این منبع با ارزش در بخش کشاورزی و برای آبیاری محصولات کشاورزی مصرف می‌شود (اسکوهی و همکاران، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است در بیشتر نواحی کشور با آبیاری محصولات فعالیت کشاورزی امکان‌پذیر است؛ همچنین یکی از معضلات اصلی در روستاها کمبود آب برای شرب و کشاورزی است (فتحی زالوآبی، ۱۳۹۱). اگرچه کم‌آبی در ارتباط با اقلیم و تغییر اقلیم تعیین می‌شود اما بنا بر عقیده بانک جهانی اصلی‌ترین دلیل کمبود آب در جهان مدیریت ضعیف و ناکارآمدی نظام‌های آبیاری و نبود تعادل بین قیمت و هزینه‌های واقعی تأمین آب است (Qiao و همکاران، ۲۰۰۹). مهمترین راه‌حل مدیریت موفق آب استفاده کارا و پایدار از منابع آب می‌باشد که قرن‌ها در بسیاری از مناطق دنیا استفاده شده است (غنیان و همکاران، ۱۳۹۲).

موضوع بحران آب در چارچوب نهادها و نظام‌های اجتماعی و در قالب «حکمرانی آب» در مدیریت آب اهمیت بالایی دارد. حکمرانی خوب به سازگاری قوانین، مسئولیت‌پذیری سازمان‌ها، جامع‌نگری و به‌هم‌پیوستگی برنامه‌ها، مشارکت مردم، شفافیت اطلاعات، ملاحظات اخلاقی و رعایت عدالت در ارائه خدمات گفته می‌شود (قائمی و همکاران، ۱۳۹۶). حکمرانی در لغت به معنی حکومت، فرمانروایی، زمامداری و راهبری تعریف شده و در فرهنگ آکسفورد به معنی روش مدیریت کشور یا کنترل یک شرکت یا سازمان آمده است. هرچند مفهوم حکمرانی قدمت جامعه بشری را دارد اما این مفهوم از سال ۱۹۹۰ وارد ادبیات علوم سیاسی و اجتماعی شد و به‌طور گسترده مورد توجه نظریه‌پردازان این حوزه قرار گرفت (ابراهیم‌پور و خلیلی، ۱۳۸۹). امروزه حکمرانی منابع آب یک مسئله مهم برای دستیابی به امنیت آب در سطح منطقه‌ای

و جهانی می‌باشد (غفوری‌فرد و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین حکمرانی منابع آب را می‌توان یکی از حلقه‌های گمشده مدیریت آب کشور دانست (فتحی زالوآبی، ۱۳۹۱).

حکمرانی آب دربرگیرنده نظام‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اداری است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بهره‌برداری، توسعه و مدیریت منابع آب مؤثر است و ارائه خدمات آب در سطوح مختلف جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. حکمرانی آب مستلزم تحلیل به‌هم‌پیوستگی‌های بین نظام‌های اکولوژیک، اجتماعی و فنی است (آشنا، ۱۳۹۳). به بیان دیگر، حکمرانی آب مرتبط با طیف وسیعی از نظام‌های سیاسی، اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و اداری است که برای تنظیم و کنترل توسعه و مدیریت منابع آب و مقررات خدمات آب در سطوح مختلف جامعه به‌کار می‌رود (Hall و Rogers, ۲۰۰۳). حکمرانی آب را می‌توان شیوه‌ای دانست که از طریق آن به نیابت از عموم، اقتدار در توسعه، بهره‌برداری و حفاظت منابع آب یک ملت اعمال می‌شود (اندیشکده تدبیر آب ایران، ۱۳۹۳).

نظام‌های حکمرانی آب مشخص می‌کند که چه کسی، در چه زمانی، چگونه و به چه آبی دسترسی داشته باشد و از منافع و خدمات مرتبط با آن بهره‌برد (میرزائی، ۱۳۹۵). حکمرانی خوب آب به‌نوعی ایجادکننده تعادل در توزیع قدرت و تنظیم‌کننده فعالیت‌ها در سطوح مختلف اداری نیز می‌باشد. در حکمرانی خوب اصلاح دوباره نظام‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و اداری تامین و توزیع آب در نظر گرفته می‌شود (اردکانیان و زرغامی، ۱۳۸۳). باین‌وجود مواردی مانند مدیریت ضعیف منابع آب، فساد، فقدان نهادهای مناسب، کاهلی سیستم اداری، ظرفیت ناکافی و کمبود سرمایه‌گذاری‌های جدید، حکمرانی خوب آب را تضعیف می‌کند (Hall و Rogers, ۲۰۰۳). ذکر این نکته لازم است که مدیریت و حکمرانی، لازم و ملزوم یکدیگر می‌باشند و بدون حکمرانی خوب آب، ابزارهای مدیریتی هم مؤثر نیستند (اردکانیان و زرغامی، ۱۳۸۳). البته حکمرانی آب را نباید با مدیریت آب اشتباه گرفت و برای رسیدن به حکمرانی خوب باید ابزارهای عملی مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گیرند.

شاخص‌های مهم حکمرانی خوب عبارتند از: مشارکت مردم، شفافیت اطلاعات و تصمیم‌ها، قابلیت حساسی سازمانی، سازگاری قوانین، مسئولیت‌پذیری سازمان‌ها و نهادها، کل‌نگری و یکپارچه‌نگری در تهیه برنامه‌ها، ملاحظات اخلاقی و تساوی افراد در برابر ارائه خدمات (اردکانیان و زرغامی، ۱۳۸۳). اصول حکمرانی به سه بخش کلی شفافیت، قابلیت اندازه‌گیری و مشارکت تقسیم می‌شود (میرزائی، ۱۳۹۵). لازم به ذکر است حاکمیت قانون پیونددهنده مدیریت و حکمرانی خوب می‌باشد (امامی و شاکری، ۱۳۹۴) و شامل رعایت هنجارهای اخلاقی و قانونی در انجام وظایف می‌شود مهمترین آن‌ها می‌توان

به درستی و انصاف اشاره کرد (ساعی و روشن، ۱۳۸۹). به این ترتیب در حکمرانی خوب آب قانونمداری براساس وجود چارچوب قانونی عادلانه و منصف با ویژگی بی طرفانه تعریف شده است و اجرای قوانین و مقررات مربوط به آب را بدون هیچگونه تبعیض و جانب‌داری برای همه ذی‌نفعان تضمین می‌نماید (جابری و همکاران، ۱۳۹۵).

برقراری حکمرانی نیازمند چارچوب‌های قانونی عادلانه، مناسب و بی‌طرف می‌باشد. این چارچوب قانونی باید از حقوق تمام افراد به‌ویژه محرومان محافظت نماید. اجرای اینگونه قوانین نیازمند دستگاه‌های قضایی مستقل و نیروی امنیتی قوی، بی‌طرف و سالم و عاری از فساد است (امامی و شاکری، ۱۳۹۴؛ حجاریان و غلامزاده، ۱۳۹۳؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ابراهیم‌پور و خلیلی، ۱۳۸۹؛ شریف‌زاده و قلی‌پور، ۱۳۸۲). هدف قانونمداری تهیه و تصویب قوانین جدید و انباشت بدون نتیجه آن‌ها نیست بلکه احترام به قوانین، مقررات و معیار بودن آن در تصمیم‌ها و قضاوت‌ها است. اصل قانونمداری در ایجاد حکمرانی مؤثر است، بنابراین تأثیر مستقیم آن را بر دیگر اصول حکمرانی نمی‌توان انکار کرد. با افزایش قانون‌پذیری، دستیابی به سایر خصوصیات حکمرانی خوب مانند شفافیت، پیش‌بینی‌پذیری، پاسخگویی، مبارزه با فساد و پاسخ‌دهی آسان‌تر خواهد بود (اندیشکده تدبیر آب ایران، ۱۳۹۳).

در الگوی حکمرانی خوب همه افراد و نهادها در برابر قوانین مسئول رفتار خود هستند. هدف از حاکمیت قانون وجود قوانین کارآمد، رعایت عادلانه چارچوب‌های قانونی در تصمیم‌گیری، دور بودن دست افراد غیرمسئول از تصمیم‌گیری‌ها، پایبندی به قانون و اقدام و عمل مسئولان به قانون است (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ توکلی و مومنی، ۱۳۹۵؛ طبیبی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ابراهیم‌زاده و اسدیان، ۱۳۹۲) عمل به حکمرانی خوب مردم را در برابر سوءاستفاده دولت و سیاستمداران از قدرت محافظت خواهد کرد (امیدیان و همکاران، ۱۳۹۴). حاکمیت قانون به احترام دولت‌مردان و شهروندان یک کشور به‌صورت عملی برای

نهادهایی که با هدف وضع اجرای قانون و حل اختلاف ایجاد شده‌اند وابسته است (زاینده‌رودی و همکاران، ۱۳۹۶؛ صادقی و یگانه، ۱۳۹۵؛ امام‌جمعه‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ محمودی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رزمی و صدیقی، ۱۳۹۱). اعتماد به نظام قضایی، استقلال نظام قضایی، هزینه‌های تخلف، جرم و فساد در نظام بانکی (شجاعی، ۱۳۹۲)، کارآیی نیروهای امنیتی برای ایجاد امنیت (علیزاده و بیات، ۱۳۹۵)، اعتماد مردم به قوانین، قابلیت پیش‌بینی دستگاه قضایی، جرم‌های سازمان یافته و احتمال دستیابی به موفقیت هنگام شکایت از شاخص‌های حاکمیت قانون عنوان شده است. برای سنجش قانونمداری از معیارهایی مانند میزان سوءاستفاده از اختیارات به نفع نزدیکان و بستگان، میزان کاغذبازی و تشریفات اداری و تأثیرپذیری مدیران از افراد ذی‌نفوذ (صاحبان قدرت و ثروت) و میزان مقاومت مدیران در برابر رفتارهای غیرقانونی استفاده شده است (ابراهیم‌زاده و اسدیان، ۱۳۹۲).

ارتباط حاکمیت قانون با مدیریت آب به اجرای قوانین و مقررات مربوط به مدیریت منابع آب بدون تبعیض و جانب‌داری برای همه ذی‌نفعان گفته می‌شود (جابری و همکاران، ۱۳۹۵). در بخش کشاورزی شاخص قانونمداری در حکمرانی خوب آب شامل: احترام به حقوق افراد (مانند مالکیت زمین و آب)، بی‌طرفی و برابری در برابر قانون (نبود تبعیض یا جانب‌داری از فرد یا گروه خاص در روستا)، احترام به حقوق جمعی، میزان آگاهی از قانون و عرف محل درباره آب، پایبندی به قوانین و عرف محل درباره آب (آداب، سنت‌ها، دانش بومی)، قانون‌محور بودن روستاییان و کشاورزان و کنترل فساد در ارتباط با آب (فساد اداری، اقتصادی و مانند آن) می‌باشد (رکن‌الدین افتخاری و همکاران، ۱۳۹۱). با مرور ادبیات تحقیق مشخص شد تا زمان انجام تحقیق حاضر مطالعه مشخصی درباره رعایت قانون در حکمرانی آب کشاورزی ایران انجام نشده است؛ بنابراین برای پاسخ به این سوال که از نظر کشاورزان، قانونمداری در حکمرانی خوب آب تا چه اندازه رعایت شده است این پژوهش انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی شاخص حاکمیت قانون در حکمرانی خوب آب از روش تحقیق پیمایشی استفاده شد. جمعیت مورد مطالعه شامل زارعان شهرستان سبزوار بود که فعالیت کشاورزی داشتند. در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ تعداد کل بهره‌برداران بخش کشاورزی شهرستان سبزوار برابر ۲۰۲۶۹ نفر و تعداد زارعان حدود ۱۲۰۰۰ نفر بودند. حجم نمونه مورد نیاز با استفاده از فرمول کوکران برابر ۲۰۲ به دست آمد. برای انتخاب نمونه‌ها از بین زارعان از

روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی استفاده شد. برای این منظور نمونه‌ها از بین سه بخش شهرستان سبزوار، دو بخش مرکزی و ششتمد به صورت تصادفی انتخاب شدند (شکل ۱). نمونه‌ها از دهستان‌های قصبه شرقی و قصبه غربی (از بین چهار دهستان بخش مرکزی) و دهستان‌های بیهق و شامکان (از بین چهار دهستان بخش ششتمد) به صورت تصادفی انتخاب شدند. باتوجه به تعداد روستاهای هر دهستان، ۲۵ روستا به صورت تصادفی انتخاب شد و از هر روستا از ۸ نفر زارع به صورت تصادفی به عنوان نمونه مصاحبه انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- روستاهای منتخب برای نمونه‌گیری در شهرستان سبزوار

شهرستان	بخش	دهستان	روستاها
سبزوار	مرکزی	قصبه شرقی	ایزی، طبس، دلقند، دولت آباد، باغان.
		قصبه غربی	خسروجرد، ابارش، استیر، فسنگر، برزو، مسکن.
	ششتمد	بیهق	کیدور، برازق، بجدن، ششتمد(بیهق)، کلاوشک، ابراهیم‌آباد، ثقیه، کلاته سادات، چشمه آوش، هلاک آباد، علی‌آباد سیدرجیم.
		شامکان	کلاته نوبهار، شامکان، نوبهار.

از جمع‌آوری و کدگذاری داده‌ها برای تجزیه و تحلیل اطلاعات شامل آمار توصیفی مانند فراوانی، میانگین، انحراف معیار، واریانس، بیشینه و کمینه و آمار استنباطی مانند آزمون مقایسه میانگین و ضریب همبستگی از نرم‌افزار SPSS20 استفاده شد.



شکل ۱- تقسیمات کشوری شهرستان سبزوار

سپس پرسشنامه‌ای شامل سوالات فردی، زراعی و سوالات مربوط به شاخص قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب جهت جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه تهیه شد. برای سوالات شاخص قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب از گویه‌های رکن‌الدین افتخاری و همکاران (۱۳۹۱) استفاده شد. گویه‌ها متناسب و سازگار با موضوع و کشاورزان مورد مطالعه اصلاح شدند. برای بررسی روایی پرسشنامه از روایی صوری استفاده شد و در انجام آن از نظرات اعضای هیأت علمی گروه ترویج و آموزش کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان سبزوار استفاده شد. پایایی پرسشنامه با انجام یک مطالعه راهنما و تکمیل پرسشنامه با ۳۰ نفر از کشاورزان خارج از محدوده تحقیق و محاسبه ضریب کرونباخ آلفا (بیانگر پایایی مناسب ابزار سنجش) برای این شاخص بررسی شد ($\alpha=0.722$). در این تحقیق از کشاورزان خواسته شد میزان رعایت هر کدام از گویه‌ها را در قالب یک سوال پنج گزینه‌ای طیف لیکرت شامل خیلی کم (با امتیاز ۱)، کم (با امتیاز ۲)، متوسط (با امتیاز ۳)، زیاد (با امتیاز ۴) و خیلی زیاد (با امتیاز ۵) مشخص کنند. پس

نتایج و بحث

در این تحقیق ۶/۹ درصد از کشاورزان مورد مطالعه زن و ۹۳/۱ درصد مرد بودند که از این تعداد ۸۱/۲ درصد متاهل و ۱۸/۸ درصد مجرد بودند. محل سکونت اکثر کشاورزان در روستا (۸۴/۷ درصد) و مابقی (۵/۴ درصد) در شهر و ۹/۹ درصد در شهر و در روستا ساکن بودند. از بین کشاورزان مورد مطالعه ۲۶/۷ درصد عضو تعاونی‌های روستایی می‌باشند. منبع آبیاری کشاورزان شامل چاه (۶۶/۸ درصد)، قنات (۲۹/۷ درصد) و برخی نیز هم چاه و هم قنات بود (۳/۵ درصد). از نظر نظام بهره‌برداری ۶۲/۹ درصد از کشاورزان مالک واحد تولیدی (مزرعه) خویش بودند. ۲۲/۸ درصد از کشاورزان هم مالک و هم اجاره‌دار و ۱۴/۴ درصد نیز به‌صورت گروهی و تعاونی

مشغول فعالیت کشاورزی بودند.

شاخص قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب با ۷ گویه سنجیده شد. باتوجه به سطح سنجش، امتیاز شاخص قانون‌مداری می‌تواند از ۷ تا ۳۵ متغیر باشد. در جدول (۲) میانگین و اولویت پاسخ‌ها به گویه‌های این شاخص ارائه شده است. گویه «رعایت قوانین وضع شده برای آب کشاورزی در منطقه» با بیشترین میانگین در رتبه اول و گویه «میزان احترام به حقوق کشاورزان در ارتباط با آب کشاورزی» در رتبه آخر قرار دارد (جدول ۲). لازم به ذکر است جمع نمرات گویه‌های قانون‌مداری به‌عنوان امتیاز این شاخص در نظر گرفته شد. میانگین امتیاز این شاخص ۱۸/۷۴۲ و انحراف معیار ۴/۷۳۱ به‌دست آمد؛ باتوجه به حداقل (۷) و حداکثر امتیاز (۳۵) این شاخص در حد متوسط ارزیابی می‌شود.

جدول ۲- توزیع فراوانی گویه‌های شاخص قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب

اولویت	انحراف معیار	میانگین	گویه‌ها
۱	۱/۱۴۰	۳/۰۴۹	رعایت قوانین وضع شده برای آب کشاورزی در منطقه
۲	۱/۱۲۴	۲/۸۰۲	احترام به عرف و قوانین محلی درباره آب کشاورزی
۳	۱/۰۸۶	۲/۶۸۸	مبارزه با فساد اداری درباره آب کشاورزی
۴	۱/۱۰	۲/۶۵۸	اطلاع از حقوق قانونی خود درباره آب کشاورزی
۵	۱/۰۵۲	۲/۶۳۸	دور بودن مدیریت آب کشاورزی از مسایل سیاسی
۶	۱/۱۲۴	۲/۵۴۴	اجرای یکسان قوانین موجود درباره آب کشاورزی برای همه
۷	۱/۰۹۸	۲/۳۶۱	احترام به حقوق کشاورزان در ارتباط با آب کشاورزی

برای مقایسه دیدگاه کشاورزان باتوجه‌به متغیرهای جنسیت، وضعیت تأهل، عضویت در تعاونی‌های روستایی و نوع منبع آبیاری، از آزمون من-ویتی استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد کشاورزانی که از قنات برای تأمین آب کشاورزی استفاده می‌کنند معتقدند قانون در ارتباط با آب بهتر رعایت شده است. دیدگاه سایر گروه‌های دوجویی مورد مقایسه یعنی کشاورزان زن و مرد، کشاورزان متأهل و مجرد و کشاورزان عضو و غیرعضو تعاونی‌های روستایی تفاوت معنی‌داری در ارتباط با رعایت قانون در مدیریت آب نداشتند (جدول ۳). نتایج آزمون کروسکال-والیس به‌منظور مقایسه شاخص قانون‌مداری بین کشاورزان از نظر نظام بهره‌برداری و محل سکونت نشان داد تفاوت معنی‌داری بین کشاورزان وجود ندارد. بنابراین دیدگاه کشاورزان نسبت به رعایت قانون در بهره‌برداری از آب به محل سکونت و نوع نظام بهره‌برداری آنان ارتباط ندارد (جدول ۴).

جدول ۳- مقایسه گروه‌های مختلف کشاورزان در ارتباط با قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب

متغیر	گروه‌ها	فراوانی	میانگین رتبه‌ای	U	Z	سطح معنی‌داری
جنسیت	زن	۱۴	۱۰۸/۱۴	۱۲۲۳/۰۰	-۰/۴۴۲	۰/۶۵۸
	مرد	۱۸۸	۱۰۱/۰۱			
وضعیت تأهل	متأهل	۱۶۴	۹۹/۸۰	۲۸۳۷/۵۰	-۰/۸۶۱	۰/۳۸۹
	مجرد	۳۸	۱۰۸/۸۳			
عضویت در تعاونی‌های روستایی	بلی	۵۴	۱۰۳/۲۲	۳۹۰۳/۰۰	-۰/۲۵۴	۰/۸۰
	خیر	۱۴۸	۱۰۰/۸۷			
نوع منبع آبیاری	چاه	۱۳۵	۹۲/۲۰	۳۲۶۷/۰۰	-۲/۱۶۱	۰/۰۳۱
	قنات	۶۰	۱۱۱/۰۵			

جدول ۴- مقایسه کشاورزان از نظر محل سکونت و نوع نظام بهره‌برداری در ارتباط با قانون‌مداری در حکمرانی خوب آب

متغیر	گروه‌ها	فراوانی	میانگین رتبه‌ای	مربع کای	سطح معنی‌داری
محل سکونت	شهر	۱۱	۱۲۷/۹۵		
	روستا	۱۷۱	۹۷/۳۷	۵/۶۶۸	۰/۰۵۹
	هر دو	۲۰	۱۲۲/۲۵		
نظام بهره‌برداری	مالک (دهقان)	۱۲۷	۹۸/۷۸		
	مالک و اجاره‌ای	۴۶	۱۰۸/۶۴	۰/۹۷۲	۰/۶۱۵
	گروهی و تعاونی	۲۹	۱۰۲/۰۹		

برای بررسی رابطه بین شاخص قانونمداری و ویژگی‌های فردی و زراعی کشاورزان شامل سطح تحصیلات، مساحت کل اراضی تحت مالکیت، میزان زمین اجاره‌ای، سابقه کشاورزی، میزان درآمد سالانه از کشاورزی و درآمد از سایر مشاغل، ضریب

همبستگی اسپیرمن-رو محاسبه شد. نتایج این بررسی در جدول (۵) نشان می‌دهد از نظر کشاورزانی که زمین اجاره‌ای و درآمد سالانه بیشتر از انجام کشاورزی دارند قانونمداری در بهره‌برداری آب در منطقه بیشتر رعایت شده است.

جدول ۵- همبستگی ویژگی‌های فردی و زراعی پاسخگویان با شاخص قانونمداری در حکمرانی خوب آب

ویژگی	ضریب همبستگی (r)	سطح معنی‌داری
سطح تحصیلات (تعداد سال‌های تحصیل)	۰/۱۲۷	۰/۰۷۲
مساحت کل اراضی تحت مالکیت (هکتار)	-۰/۰۵	۰/۴۷۸
میزان زمین اجاره‌ای (هکتار)	۰/۱۴۹*	۰/۰۳۵
سابقه کار کشاورزی (سال)	۰/۰۵۸	۰/۴۱۴
درآمد سالانه از انجام کشاورزی (تومان)	۰/۱۵۸*	۰/۰۲۵
درآمد سالانه از سایر مشاغل (تومان)	-۰/۱۱۴	۰/۱۰۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

یکی از ابعاد مهم حکمرانی خوب آب حاکمیت قانون و قانونمداری است. حاکمیت قانون موجب حفظ حقوق کشاورزان و رعایت عدالت در استفاده از آب کشاورزی و کاهش اختلاف و تضادهای آب در روستاها می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد از نظر کشاورزان «میزان رعایت قوانین وضع شده برای آب کشاورزی در منطقه» در رتبه اول و «میزان احترام به حقوق کشاورزان در ارتباط با آب کشاورزی» در رتبه آخر قرار دارد. اگرچه از نظر کشاورزان قوانین آب در منطقه در حد متوسط رعایت می‌شود اما به حقوق کشاورزان در ارتباط با آب کشاورزی به اندازه کافی توجه نمی‌شود. قانونمداری در ارتباط با حکمرانی آب در شهرستان سبزوار در حد متوسط ارزیابی شد بنابراین این شاخص در شرایط ایده‌آل قرار ندارد. بنابراین اجرای عادلانه قوانین مرتبط با آب کشاورزی و چارچوب‌های قانونی مورد نیاز برای حکمرانی خوب آب رضایت‌بخش نمی‌باشد و نیاز به توجه بیشتر و کافی دارد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد از نظر کشاورزانی که از قنات برای تأمین آب کشاورزی استفاده می‌کنند قانون در ارتباط با حکمرانی آب بهتر رعایت می‌شود. در این ارتباط لازم به ذکر است قنات‌ها از کهن‌ترین نظام آبیاری در ایران است و قوانین و مقررات مربوط به آن‌ها ریشه در گذشته‌های دور دارد که از دانش بومی و سنتی سرچشمه گرفته است. مطالعات نشان داده است دانش بومی بهترین سازگاری را با شرایط محلی دارد.

به همین دلیل قابل درک است چرا از نظر کشاورزانی که از قنات برای تأمین آب کشاورزی استفاده می‌کنند قانونمداری در حکمرانی خوب آب بهتر رعایت شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در وضع قوانین مرتبط با آب کشاورزی و نظارت بر اجرای آن از دانش بومی محل به‌صورت مناسب استفاده شود تا از این طریق به بهبود قانونمداری و رعایت بهتر آن در حکمرانی خوب آب کمک شود.

نتایج این تحقیق نشان داد از نظر کشاورزانی که زمین اجاره‌ای بیشتر و درآمد سالانه بیشتری از انجام کشاورزی دارند قانونمداری در ارتباط با آب کشاورزی بهتر رعایت شده است. کشاورزانی که زمین اجاره می‌نمایند ممکن است سعی کنند اطلاعات و آگاهی خود را در زمینه مسائل مرتبط با آب کشاورزی در هنگام عقد قرارداد اجاره زمین افزایش دهند. این کشاورزان برای زمین و آب هزینه پرداخت می‌کنند بنابراین سعی می‌کنند آگاهی بیشتری نسبت به قوانین و مقررات تأمین آب و رعایت آن در منطقه داشته باشند. این می‌تواند دلیلی بر دیدگاه بهتر آنان در ارتباط با قانونمداری در منطقه مورد مطالعه باشد. یکی از دلایل ارتباط بین درآمد سالانه از انجام کار کشاورزی با دیدگاه کشاورزان نسبت به قانونمداری در حکمرانی خوب آب، وابستگی بیشتر این قبیل کشاورزان به کار و شغل کشاورزی است. کشاورزانی که درآمد بیشتری از کشاورزی دارند نسبت به حفظ منابع آب و رعایت قوانین مربوط به آن به‌منظور تضمین درآمد پایدار از کشاورزی تمایل بیشتری دارند و قوانین موجود در ارتباط با آب کشاورزی در منطقه را بهتر رعایت می‌کنند.

جهت بهبود قانونمداری و رعایت بهتر آن در حکمرانی خوب آب موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

- ۱- از نظرات کشاورزان که وابستگی معیشتی آنان به کشاورزی بیشتر است در وضع قوانین مرتبط با آب استفاده شود.
- ۲- این قبیل کشاورزان حمایت و تشویق شوند تا به عنوان مروجان قانونمداری در حکمرانی خوب آب و رابط بین سازمان‌های کشاورزی و سایر کشاورزان ایفای نقش نمایند.
- ۳- با شفاف‌سازی قوانین آب در کشاورزی، رفع تبعیض در اجرای قوانین تخصیص منابع آب و افزایش اعتماد کشاورزان به مجریان این قوانین، اجرای حکمرانی خوب منابع آب در بخش کشاورزی تضمین شود.

منابع

- آشنا، ح. ۱۳۹۳. بهره‌وری و حکمرانی پایدار منابع آب. گزارش تفصیلی نخستین هم‌اندیشی سیاست‌گذاران منابع آب، وزارت نیرو، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۹۹-۱.
- ابراهیم‌پور، ح. و خلیلی، ح. ۱۳۸۹. از حکمرانی خوب تا حکمرانی پایدار. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران، ایران.
- ابراهیم‌زاده، ع. و اسدیان، م. ۱۳۹۲. تحلیل و ارزیابی میزان تحقق‌پذیری حکمروایی خوب شهری در ایران مورد شناسی: شهر کاشمر. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، ۳(۶): ۱۷-۳۰.
- اردکانیان، ر. و ضرغامی، م. ۱۳۸۳. حکمرانی در مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب. اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.
- اسکوهی، ف.، اسکوهی، م. و موحد محمدی، ح. ۱۳۹۷. استراتژی عوامل تأثیرگذار در مشارکت آموزش و ترویج کشاورزی بر مدیریت منابع آب. هفتمین کنگره ملی علوم ترویج و آموزش کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست پایدار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۷-۱.
- امام‌جمعه‌زاده، ج.، شهرام‌نیا، ا. و صفریان گرمه خانی، ر. ۱۳۹۵. الگوی حکمرانی خوب؛ جامعه همکار و دولت کارآمد در مدیریت توسعه. فصلنامه تخصصی علوم سیاسی، ۱۲(۳۶): ۷-۴۰.
- امامی، م. و شاکری، ح. ۱۳۹۴. حکمرانی خوب و قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران. پژوهشنامه حقوق تطبیقی، ۱(۲): ۷۵-۲۵.
- امیدیان، م.، طالقانی، غ.، محمدی، ف.، فیروزی، ج.، یعقوبی، ح.ر. و خواستار، ح. ۱۳۹۴. تحلیل نقش حکمرانی خوب در ارتقای توسعه انسانی: بررسی بین‌المللی. مدیریت دولتی، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۷(۳): ۴۱۳-۴۳۶.

اندیشکده تدبیر آب ایران. ۱۳۹۳. به‌سوی چارچوب مفهومی و تحلیلی اصلاح حکمرانی آب. www.iwpri.com

توکلی، ه. و مومنی، م. ۱۳۹۵. بررسی میزان تحقق‌پذیری شاخص‌های حکمروایی خوب شهری با تأکید بر کیفیت زندگی شهری (مطالعه موردی مناطق ۷، ۱ و ۲۲ شهر تهران). فصلنامه مطالعات مدیریت شهری، ۸(۲۶): ۲-۱۸.

جابری، س.، مهرباب قوچانی، ا. و غنیان، م. ۱۳۹۵. حکمرانی خوب رویکردهای نوین در جهت تحقق مدیریت اثربخش منابع آب کشاورزی. رویکردهای پژوهشی در علوم اجتماعی، ۸(۲): ۳۳-۴۱.

حجاریان، م. و غلام‌زاده، ع. ۱۳۹۳. حکمرانی (حاکمیت). دانشگاه علامه طباطبائی، مدیریت استراتژیک صنعتی.

www.hajarian.com/index.php/component/content/article/154-students/nimsal-al-93/531-2014-10-06-06-57-58

حکمت‌نیا، ح.، ملکی، م.، موسوی، م. و افشانی، ع. ۱۳۹۶. سنجش میزان تحقق‌پذیری حکمروایی خوب شهری در ایران (مطالعه موردی: شهر ایلام). پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۹(۳): ۶۰۷-۶۱۹.

رزمی، م. ج. و صدیقی، س. ۱۳۹۱. الزامات تحقق حکمرانی خوب برای دستیابی به توسعه انسانی. چهارمین همایش ملی اقتصاد، ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، خمینی‌شهر، ایران.

رکن‌الدین افتخاری، ع.، عظیمی آملی، ج.، پورطاهری، م. و احمدی‌پور، ز. ۱۳۹۱. ارائه الگوی مناسب حکمروایی خوب روستایی در ایران. فصلنامه ژئوپلیتیک، ۸(۲): ۱-۲۸.

زاینده‌رودی، م.، خسروآبادی، م. و شکیبایی، ع. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر شاخص‌های حکمرانی خوب بر توزیع درآمد با به‌کارگیری پانل داده‌ها (مطالعه موردی: کشورهای منتخب جنوب غربی آسیا). فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، ۱۷(۳): ۲۵-۵۲.

ساعی، ع. و روشن، ت. ۱۳۸۹. تحلیل درک کیفیت حکمرانی در ایران. فصلنامه انجمن ایرانی مطالعات فرهنگی و ارتباطات، ۶(۲۱): ۱۶۷-۱۸۷.

شجاعی، ا. ۱۳۹۲. حکمرانی خوب در ایران، چالش‌ها، کارآمدی‌ها. www.vekalatonline.ir/userfiles/Files/1378897546-good-haghgostar.ir.pdf

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

صادقی، م. و یگانه، ا. ۱۳۹۵. توسعه انسانی پایدار: نقش شاخص‌های حکمرانی خوب. پنجمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم تربیتی و روانشناسی، مطالعات اجتماعی و فرهنگی، تهران، ایران.

طیّبی، م.ر.، حسینی، ا. و رضایی، ت. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص‌های حکمرانی خوب شهری در شهرهای مقصد گردشگری به روش IPA (مطالعه موردی: شهر تنکابن). گردشگری شهری، ۲۳۱-۲۱۹: (۳)۲.

علوی، س.ر. ۱۳۸۹. امکان‌سنجی استقرار نظام بهره‌برداری مشارکتی از منابع آب و خاک در اراضی پایاب سد شهید مدنی (ونیار) تبریز. مجله پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، ۳(۱): ۹۹-۱۱۵.

علیزاده، س. و بیات، م. ۱۳۹۵. بررسی اثر حکمرانی خوب بر محیط‌زیست در کشورهای با درآمد متوسط. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۸(۲): ۵۰۱-۵۱۳.

غفوری‌فرد، س.، باقری، ع. و شجری، ش. ۱۳۹۴. ارزیابی ذی‌مدخلان در بخش آب (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی رفسنجان). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱(۲): ۱۶-۲۸.

غنیان، م.، برادران، م.، علی میرزایی، ع.، سلیمانی هارونی، خ. و پاشا، س. ۱۳۹۲. مدیریت مشارکتی منابع آب کشاورزی و مولفه‌های مؤثر بر آن مطالعه استان در خوزستان. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷(۲): ۱۸۱-۱۹۰.

فتحی زالوآبی، ا. ۱۳۹۱. ارزیابی آگاهی از حکمرانی پایدار آب در فرآیند حل تعارض رودخانه زاینده‌رود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد

توسعه روستایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. قائمی، آ.، لاریجانی، م.، شبیری، س.م. و سرمدی، م.ر. ۱۳۹۶. ارائه مدل مفهومی حکمرانی پایدار در مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب کشور با تأکید بر آموزش و ظرفیت‌سازی. مجله آب و فاضلاب، ۲۸(۴): ۱۱۲-۱۱۷.

محمودی، ج.، رونقی، م.ح. و رونقی، م. ۱۳۹۲. تعیین وزن و رابطه بین شاخص‌های حکمرانی خوب در ایران. فصلنامه مطالعات راهبردی، ۱۶(۴): ۵۹-۸۷.

میرزائی، م. ۱۳۹۵. عوامل مدیریتی بحران آب در ایران. طبیعت ایران، ۱(۱): ۱۱-۱۳.

Allan T. 2001. The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy. London, I.B. Tauris & Co Ltd.

Qiao G., Zhao L. and Klein K.K. 2009. Water user associations in Inner Mongolia: Factors that influence farmers to join. Agricultural Water Management, 96(5): 822-830.

Rogers P. and Hall A. 2003. Effective Water Governance, Global Water Partnership. Stockholm, Elanders Novum.

A Review of Drought Indices and their Performance

M. Miryaghoubzadeh^{1*}, S.A. Khosravi², M. Zabihi³

1,3- Assistant Professor & MSc Graduated, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran.
2- MSc Student of Watershed management, Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran.

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

Received: 29-07-2018
Accepted: 17-02-2019

مروری بر شاخص‌های خشکسالی و بررسی عملکرد آن‌ها

میرحسن میریعقوبزاده^{۱*}، سید امین خسروی^۲، مصطفی ذبیحی^۳

۱، ۳- به ترتیب استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه.
۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، پردیس دانشگاهی نور.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: m.miryaghoubzadeh@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸

Abstract

Drought is an inevitable natural phenomenon and a disaster that should be considered without the possibility of prevention, but this phenomenon can be managed and organised. In general, from a climate perspective, drought represents a type of deviation from the average condition. Drought types include agricultural, hydrological, and meteorological, where meteorological drought occurs more than the agricultural and hydrological drought types. To assess quantitatively and qualitatively of the drought phenomenon, some indicators called drought indices are commonly used in the world. In this study, considering the importance of drought, eight rainfall indices namely Deciles Precipitation Index (DPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Percent of Normal Precipitation Index (PNPI), Surface Water Storage Index (SWSI), Standardised Precipitation Index (SPI), Crop Moisture Index (CMI), Reconnaissance Drought Index (RDI), and Rainfall Anomaly Index (RAI) were evaluated. The results of this study indicate that the SPI index has a high comparative advantage for drought monitoring. Based on rainfall and potential evapotranspiration, the RDI index is more sensitive to climate change variables than the rainfall-driven SPI index. Also, the PNPI indicator is a dysfunctional method for estimating drought, and drought prediction will have many errors due to this index. The CMI index is also limited to use only in the growing season. Also, it cannot determine the long duration of drought.

Keywords: Meteorological drought, Rainfall, Soil moisture content, Top index.

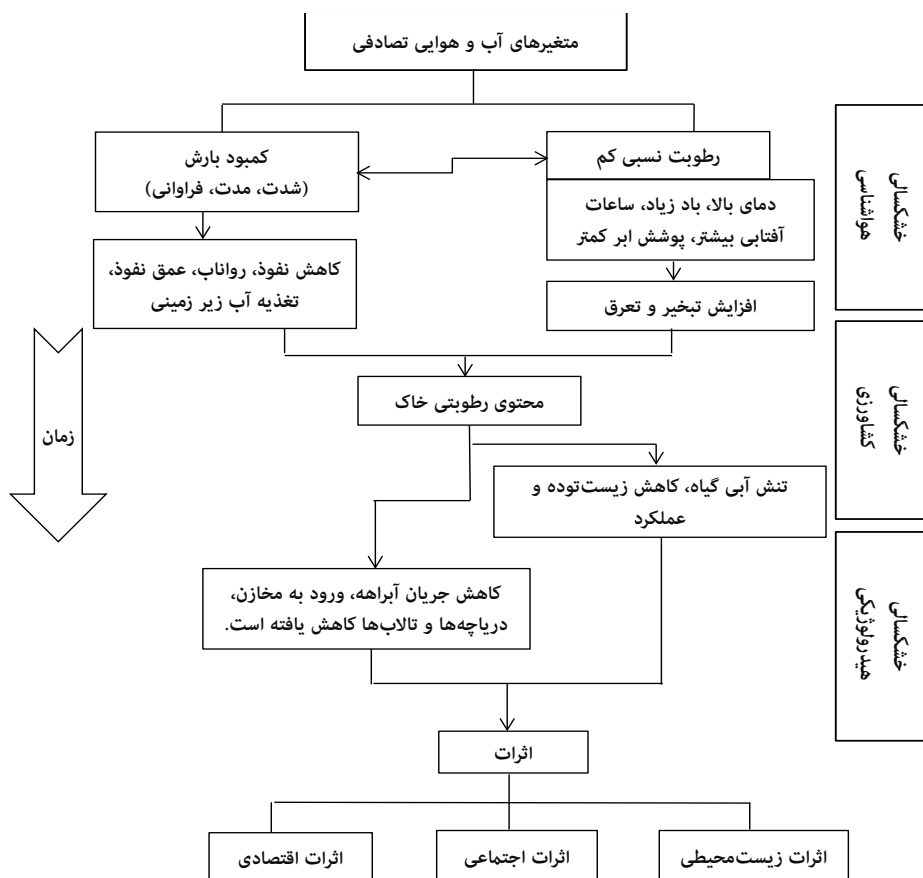
چکیده

خشکسالی پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر و از جمله بلایایی است که آن را باید بدون امکان پیشگیری تلقی نمود اما می‌توان این پدیده را مدیریت و ساماندهی کرد. به‌طور کلی از دیدگاه اقلیمی خشکسالی به‌نوعی انحراف از شرایط متوسط را بیان می‌کند. انواع خشکسالی شامل کشاورزی، هیدرولوژی و هواشناسی است که خشکسالی هواشناسی بیشتر از کشاورزی و هیدرولوژیکی به‌وقوع می‌پیوندد. برای ارزیابی کمی و کیفی پدیده خشکسالی از شاخص‌هایی به‌عنوان شاخص‌های خشکسالی در سراسر دنیا استفاده می‌شود. در این تحقیق باتوجه به اهمیت خشکسالی هشت شاخص دهک‌های بارندگی (DPI)، شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)، شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص بارش مؤثر (SPI)، شاخص رطوبت زراعی (CMI)، شاخص خشکسالی احيایی (RDI) و شاخص ناهنجاری‌های بارندگی (RAI) ارزیابی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد شاخص SPI دارای مزیت نسبی بالایی برای پایش خشکسالی می‌باشد. باتوجه به اینکه شاخص RDI بر مبنای بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود نسبت به شاخص SPI که تنها بر مبنای بارندگی می‌باشد به متغیرها و تغییرات آب‌وهوایی حساسیت بیشتری دارد. همچنین شاخص PNPI روشی ناکارآمد برای ارزیابی خشکسالی بوده و پیش‌بینی خشکسالی باتوجه به این شاخص خطاهای زیادی خواهد داشت. شاخص CMI محدود به استفاده در فصل رشد است. همچنین نمی‌تواند مدت زمان طولانی خشکسالی را تعیین کند.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، بارندگی، محتوی رطوبتی خاک، شاخص برتر.

خشکسالی نتیجه کاهش میزان بارندگی در یک دوره زمانی وسیع است که بسته به نوع اقلیم آن منطقه ممکن است در مقیاس زمانی هفته، ماه، سال و یا حتی چندین سال حادث شود. خشکسالی را می‌توان به‌عنوان پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر و از جمله بلایایی که امکان پیشگیری ندارد اما قابل مدیریت و ساماندهی می‌باشد نام برد (Smakhtin و Hughes، ۲۰۰۴). تاکنون تعریف دقیق و جهانی

از پدیده خشکسالی که مورد پذیرش همگان باشد، ارائه نشده است. در اکثر تعاریف خشکسالی یک دوره پیوسته و پایدار اطلاق می‌شود که مقدار آب موجود در یک منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد (Glantz و Wilhite، ۱۹۸۵). انواع خشکسالی شامل خشکسالی کشاورزی، خشکسالی هیدرولوژی و خشکسالی هواشناسی است که به گزارش ایران صالحوند و مؤمنی (۱۳۹۲) خشکسالی هواشناسی بیشتر از انواع کشاورزی و هیدرولوژیکی رخ می‌دهد. انواع خشکسالی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- تقسیم‌بندی انواع خشکسالی (NDMC، ۲۰۰۶)

خشکسالی یک اثر ممتد و تدریجی دارد و در دوره زمانی نسبتاً طولانی رخ می‌دهد. بنابراین با ایجاد طرح‌های آمادگی برای مدیریت آن تا حدی از مشکلات ناشی از این پدیده کاسته خواهد شد. این پدیده در هر منطقه‌ای می‌تواند رخ دهد و انسان یا محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار دهد درحالی‌که به گزارش Sutura و Bordi (۲۰۰۴) گسترش آن متفاوت است. برای ارزیابی کمی و کیفی پدیده خشکسالی معمولاً از شاخص‌هایی جهت تعیین شدت خشکسالی استفاده می‌شود (Panu و Sharma، ۲۰۰۲). محققان بسیاری برای مطالعه این پدیده از شاخص‌های تک پارامتری بر اساس بارندگی سالیانه یا ۱۲ ماهه ثابت به‌دلیل سادگی و قابل دسترس بودن داده‌های بارندگی در مناطق مختلف دنیا استفاده می‌کنند (Moreira و همکاران، ۲۰۰۸).

خشکسالی می‌تواند مناطق گسترده‌ای را فراگیرد و برای ماه‌ها تا سال‌ها تداوم یابد و آثار ویرانگری بر بخش‌های اقتصادی داشته باشد (Van Lanen و Tallaksen، ۲۰۰۴). اولین نشانه‌های خشکسالی در ثبت بارندگی مشاهده می‌شود، همچنین کمبود طولانی مدت بارش سبب ورودی کمتر به سیستم هیدرولوژی می‌شود. در طی یک دوره خشک، تبخیر و تعرق پتانسیل می‌تواند افزایش یابد. پس از یک دوره زمانی کوتاه، مقدار ذخیره رطوبت خاک تحت اثر این شرایط شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه تغذیه سیستم آب زیرزمینی کم شده و ممکن است یک سال یا بیشتر سطح تراز آب چاه‌ها پس از شروع خشکسالی به کمبود بارندگی واکنش نشان دهد (Van Loon، ۲۰۱۳).

از گذشته سعی شده است شاخص‌های جامعی از قبیل PDSI (Palmer, ۱۹۶۵) و SWSI (Shafer و Dezman, ۱۹۸۲) که هر کدام نقاط قوت و ضعف دارند توسعه یابند. همچنین جهت توسعه شاخص‌های جامع چندگانه، بر اساس ترکیب چند متغیر یا شاخص نشانگر خشکسالی جامعی ارائه شده است.

Meyer و Hubbard (۱۹۹۵) نشان دادند شاخص‌های PDSI و CMI برای کاشت ذرت به‌ویژه وقتی که با تنش‌های رطوبتی و گرمایی شدید مواجه می‌شود، معتبر نمی‌باشند. حسنی‌ها و صالحی (۱۳۷۹) از چهار شاخص درصد بارندگی میانگین، شاخص انحراف معیار، شاخص کلاسه‌بندی بارندگی و شاخص توزیع استاندارد برای بررسی وضعیت خشکسالی در استان زنجان استفاده کردند و نشان دادند شاخص‌های درصد از بارندگی میانگین، انحراف معیار و کلاسه‌بندی بارندگی همبستگی بالایی با یکدیگر دارند. همچنین براساس روند میانگین‌های متحرک سه ساله و پنج ساله شدت خشکسالی در استان زنجان رو به افزایش بوده و به تدریج بر دوره تداوم آن نیز افزوده می‌شود. Mackee و همکاران (۱۹۹۵) با مقایسه ضرایب همبستگی بین دو شاخص بارش استاندارد و پالم که در مقیاس‌های زمانی متعدد انجام دادند، به این نتیجه رسیدند این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۰/۹ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماه است. مطالعات Guttman (۱۹۹۸) با مقایسه دو شاخص SPI و PDSI با استفاده از آنالیزهای طیفی نشان داد خصوصیات طیفی پالم در سراسر آمریکا از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متغیر است اما بارش استاندارد به این ترتیب نیست و این شاخص یک روش ساده و با تغییر آسان است. Barua و همکاران (۲۰۱۱) شاخص‌های خشکسالی PNPI، SWSI، SPI و ADI به‌ازای داده‌های تاریخی رودخانه یارا واقع در استرالیا را ارزیابی نمودند و بر اساس معیارهای متفاوت مورد نظر شاخص ADI را در منطقه به‌عنوان شاخص برتر معرفی کردند. تاکنون شاخص‌های مختلفی برای تعیین ویژگی دوره‌های خشکسالی ارائه شده است، برخی از این شاخص‌ها شامل DI، ZSI، EDI، PNI و SPI و برپایه متغیر بارندگی می‌باشند. انصافی‌مقدم (۱۳۸۶) چند شاخص خشکسالی اقلیمی را ارزیابی کرد و شاخص مناسب در حوضه دریاچه نمک تعیین کرد، همچنین نشان داد شاخص SPI کارایی بهتری نسبت به شاخص ZSI دارد. Mostafavi Darani و همکاران (۲۰۱۱) با مقایسه RDI و SPI در ده ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان در دوره آماری ۱۳ ساله دریافتند که تفاوت معنی‌داری بین این دو شاخص (در دوره زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه) وجود ندارد. خلیلی‌اقدام و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از شاخص بارش (SPI) در ایستگاه سینوپتیک ارومیه دریافتند در طول دوره آماری تحقیق در هر یک از دوره بازگشت‌های ۲۲ گانه خشکسالی شدید رخ داده است.

سرحدی و همکاران (۱۳۸۸) به‌منظور برآورد گستره تحت تأثیر خشکسالی در استان اصفهان، بارندگی سالانه ۱۲ ایستگاه مهم این استان شامل مراکز شهرستان‌ها در دوره آماری ۱۹۷۳-۲۰۰۳ را بررسی کردند. در آغاز با بهره‌گیری از آزمون روند و همگنی روند معنی‌داری ایستگاه اصفهان مشخص شد. سپس وضعیت خشکسالی در هر سال با بهره‌گیری از چهار شاخص SPI، PNPI، DPI، RAI محاسبه شد. نتایج این بررسی نشان داد بر پایه چهار شاخص مذکور، خشکسالی در مقیاس منطقه‌ای به‌صورت میانگین به‌ترتیب ۲۳، ۳۷، ۳۱ و ۵۲ درصد منطقه را فرا می‌گیرد. این بررسی نشان داد از بین شاخص‌های مختلف، شاخص DPI که نشان دهنده وضعیت خشکسالی می‌باشد با طول جغرافیایی رابطه دارد. به عبارت دیگر خشکسالی با افزایش طول جغرافیایی و حرکت به سمت شرق استان با تناوب و شدت بیشتر رخ می‌دهد. درحالی‌که در شاخص‌های دیگر این رابطه وجود ندارد. همچنین با توجه به شاخص SPI به‌عنوان مهم‌ترین شاخص، در دوره آماری ۳۰ ساله به‌صورت میانگین همواره نیمی از استان اصفهان در معرض خشکسالی قرار داشته است. این موضوع اهمیت ایجاد یک نظام پایش و مدیریت منطقه‌ای را به‌منظور کاهش آثار خشکسالی نمایان می‌سازد.

در این مطالعه با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و مطالعه آن عملکرد شاخص‌های خشکسالی DI، PDSI، PNPI، SWSI، SPI، CMI، RDI و RAI بررسی و نقاط ضعف و قوت هر کدام از شاخص‌ها ارزیابی شدند.

معرفی برخی شاخص‌های خشکسالی

۱- شاخص دهک‌ها (DI)

این شاخص توسط Gibb و Maher (۱۹۶۷) به‌منظور رفع نواقص موجود در روش درصد از نرمال ارائه شده است. این روش بر مبنای کاربرد توزیع فراوانی تجمعی یک ایستگاه بنا شده و توسط محققین استرالیایی استفاده می‌شود. شاخص DI وقوع بارندگی‌های طولانی‌مدت را در دهم‌هایی از توزیع نرمال تقسیم کرده که هر یک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص بارش می‌باشد و مقیاس زمانی که در این شاخص استفاده شده است نیز مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه می‌باشد. اصول کلی محاسبه شاخص دهک‌ها به‌صورت زیر می‌باشد:

داده‌های بارندگی ماهانه و یا سالانه پس از مرتب‌سازی صعودی احتمال وقوع بارش از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$P_i = i / (N + 1) \times 100 \quad (1)$$

که در آن، P_i احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام و N تعداد داده‌های بارندگی می‌باشد.

پس از محاسبه مقدار مشخص P_i در فاصله دهک (فاصله ۱۰ درصدی) مشخص، یکی از درجه‌های خشکی به آن نسبت داده

می‌شود. بنابراین اولین دهک مقدار بارندگی است که از کمترین ۱۰ درصدی تجاوز نمی‌کند. همچنین دومین دهک مقدار بارندگی است که از کمترین ۲۰ درصد کل تجاوز نکرده است. دهک پنجم یا میانه مقدار بارشی است که از ۵۰ درصد رخدادها تجاوز نمی‌کند. از مزایای این شاخص ایجاد اطلاعات دقیقی از بارش برای پاسخ به خشکسالی می‌باشد. با این حال، استفاده از آن مستلزم ثبت اطلاعات علمی بلندمدت برای محاسبه دقیق شاخص می‌باشد.

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص دهک‌ها (DI)

ردیف	درصد وقوع	وضعیت خشکسالی	شماره دهک
۱	کمتر از ۱۰	خشکسالی خیلی شدید	اول
۲	۱۰ تا ۲۰	خشکسالی شدید	دوم
۳	۲۰ تا ۳۰	خشکسالی	سوم
۴	۳۰ تا ۴۰	تقریباً نرمال	چهارم
۵	۴۰ تا ۵۰	نرمال	پنجم
۶	۵۰ تا ۶۰	کمی نرمال	ششم
۷	۶۰ تا ۷۰	کمی مرطوب	هفتم
۸	۷۰ تا ۸۰	مرطوب	هشتم
۹	۸۰ تا ۹۰	بسیار مرطوب	نهم
۱۰	بیشتر از ۹۰	فوق‌العاده مرطوب	دهم

۲- شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)

یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که برای ارزیابی خشکسالی استفاده می‌شود و از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال به دست آمده و مقدار آن بر حسب درصد بیان می‌شود. یکی از مزیت‌های این شاخص درصد طبیعی در یک منطقه یا فصل مؤثر است. در این شاخص درصد نرمال نمی‌تواند فرکانس خروج از حالت طبیعی یا با مکان‌های مختلف را مقایسه کند. همچنین این شاخص نمی‌تواند تأثیرات خاصی از خشکسالی، عامل مهار یا برنامه‌ریزی کاهش خطر خشکسالی را تعیین کند (Willeke و همکاران، ۱۹۹۴).

$$\text{معادله این شاخص در رابطه (۲) ذکر شده است: } PN = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، P مجموع بارندگی در سال مفروض (میلی‌متر) و $\bar{P}$ میانگین بارش درازمدت (میلی‌متر) می‌باشد.

جدول ۲- طبقات مختلف شاخص PNPI

ردیف	وضعیت خشکسالی	عدد شاخص (درصد)
۱	خشکسالی ضعیف	۷۰ تا ۸۰
۲	خشکسالی متوسط	۵۵ تا ۷۰
۳	خشکسالی شدید	۴۰ تا ۵۵
۴	خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۴۰

۳- شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)

این شاخص یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه خشکسالی از طریق محاسبه بیلان آبی است که توسط Palmer (۱۹۶۵) ارائه شد و به صورت گسترده در آمریکا و سایر کشورها استفاده شده است. برای استفاده از این شاخص باید تحلیل‌های آب‌وهوایی دراز مدت به منظور محاسبه پنج ثابت یا ضریبی که ویژگی‌های رطوبتی ویژه‌ای از آب‌وهوای منطقه را تعریف می‌کند، انجام گیرد. در ابتدا این شاخص نیازمند مطالعه بیلان آبی ماهانه درازمدت می‌باشد. شاخص پالم مدل دو لایه‌ای خاک را به کار گرفته و از طریق شاخص تورنت وایت میزان تبخیر-تعرق را محاسبه می‌نماید. با این حال شاخص مذکور روش خاصی را برای محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه نیاز ندارد. نتایج تحلیل‌های دراز مدت بیانگر تغییرات شاخص مذکور در دامنه ۴- تا ۴+ می‌باشد. ارزش صفر در این شاخص بیانگر شرایط طبیعی منطقه بوده که در طی زمان ارزش مزبور می‌تواند ناهنجاری‌های مثبت (حالت سیلابی یا پربارانی) و ناهنجاری‌های منفی (خشکسالی) داشته باشد. PDSI برای کاستن از خشکسالی‌های کشاورزی و به صورت گسترده استفاده شود. PDSI جهت شناسایی عوارض خشکسالی در یک منطقه و نشان دادن جنبه‌های تاریخی شرایط فعلی مناسب است. به این دلیل که داده‌ها به رطوبت خاک و خواص آن بستگی دارند، شاخص PDSI تشخیص خشکسالی طی چند ماه ممکن است به تعویق بیفتد. نتایج حاصل از این شاخص در فصول زمستان و بهار به علت وجود اثرات زمین یخ‌زده و برف چندان دقیق نیست و به کم کردن رواناب تمایل دارد.

جدول ۳- شدت خشکسالی براساس شاخص پالم (PDSI)

ردیف	عدد شاخص	وضعیت هوا
۱	۴ یا بیشتر	بسیار مرطوب تر از نرمال
۲	۳ تا ۳/۹۹	خیلی مرطوب تر از نرمال
۳	۲ تا ۲/۹۹	نسبتاً مرطوب تر از نرمال
۴	۱ تا ۱/۹۹	کمی مرطوب تر از نرمال
۵	۰/۵ تا ۰/۹۹	ناحیه مرطوب
۶	۰/۴۹ تا -۰/۴۹	تقریباً نرمال
۷	-۰/۵ تا -۰/۹۹	ابتدای خشکسالی
۸	-۱ تا -۱/۹۹	خشکسالی ملایم
۹	-۲ تا -۲/۹۹	خشکسالی متوسط
۱۰	-۳ تا -۳/۹۹	خشکسالی شدید
۱۱	-۴ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

۴- شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)

این شاخص را Shafer و Dezman (۱۹۸۲) به منظور تکمیل فهرست پالم برای شرایط رطوبتی اراضی ایالت کلرادو تهیه نمود. این پارامتر به عنوان شاخصی برای شرایط آب‌های سطحی طراحی شده و از

آن جایی که مقدار برف کوهستان‌ها در آن مؤلفه مهمی به‌شمار می‌رود، به‌عنوان شاخص مبتنی بر شرایط کوهستان توصیف شده است. در شاخص تأمین آب سطحی چهار مؤلفه هیدرولوژیکی به‌کار رفته است که عبارتند از: پوشش برفی، بارش، جریان رود و ذخیره رطوبتی خاک. SWSI برای نشان دادن شرایط ذخیره برف در مناطق کوهستانی و اندازه‌گیری آب عرضه شده بسیار کارآمد است. با این وجود در این شاخص حوضه‌های مختلف را نمی‌توان با یکدیگر مقایسه کرد و این شاخص به‌صورت فصلی محاسبه شده است.

رابطه (۳) شاخص ذخیره آب سطحی را نشان می‌دهد:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{strm} + dP_{resv} - 50}{12} \quad (3)$$

که در آن a, b, c, d وزن هر یک از مؤلفه‌های هیدرولوژیک، P احتمال عدم وقوع برای مؤلفه‌ها برحسب (درصد)، P_{snow} پوشش برف، P_{prec} بارش (میلی‌متر)، P_{strm} جریان رود و P_{resv} ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. دامنه تغییرات این شاخص از $-4/2$ تا $+4/2$ بوده و محاسبه این شاخص برای هر حوضه باتوجه به خصوصیات آن حوضه صورت می‌گیرد.

جدول ۴- طبقه‌بندی شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)

ردیف	تغییرات رطوبت	عدد معرف شاخص
۱	مرطوب بسیار شدید	بالای ۴
۲	مرطوب شدید	۳ تا ۴
۳	مرطوب متوسط	۲ تا ۲/۹۹
۴	مرطوب ضعیف	۱ تا ۱/۹۹
۵	نزدیک نرمال	-۱/۹۹ تا +۱/۹۹
۶	خشکسالی ضعیف	-۱ تا -۱/۹۹
۷	خشکسالی متوسط	-۲ تا -۲/۹۹
۸	خشکسالی شدید	-۳ تا -۴
۹	خشکسالی بسیار شدید	بالای -۴

۵- شاخص بارندگی استاندارد (SPI)

یکی از روش‌های تعیین خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده است که توسط Mackee و همکاران (۱۹۹۳) و با هدف پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. این شاخص به‌دلیل سادگی در محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی و هر نوع شرایط آب‌وهوایی به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص شناخته می‌شود. شاخص مذکور برای محاسبه خشکسالی در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (۱، ۳ و ۶ ماهه) و بلندمدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) و بر مبنای داده‌های بارش که همبستگی بالایی نسبت به هم دارند استوار است. SPI کوتاه‌مدت، شرایط رطوبت خاک را منعکس می‌کند و برآورد فصلی از بارندگی را مشخص می‌سازد. در این مدل، تغییرات بیشتری وجود دارد و

نشانگر آن است که شاخص SPI کوتاه‌مدت، حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت دارد. SPI طولانی‌مدت، خشکسالی را بهتر منعکس می‌کند و مقادیر به‌دست‌آمده برای این مقیاس زمانی با سیل‌ها، سطح آب در سطح‌ها و منابع آب زیرزمینی مرتبط است. مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال برای برازش داده‌های بارندگی ماهانه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک توابع گاما می‌باشد. به‌منظور تفسیر و بررسی نتایج حاصل از این محاسبه جدولی ارائه شده که در آن مقادیر مثبت نشان‌دهنده بارندگی بیش از بارش متوسط و مقادیر منفی عکس آن است. طبق این روش، خشکسالی زمانی روی می‌دهد که SPI به‌طور مستمر منفی و به ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که مثبت شود. مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی آن تعیین می‌شود و مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد. از مزایای این شاخص توانایی ارائه SPI در هشدار اولیه در مورد خشکسالی و شدت آن می‌باشد. از این شاخص برای هر مکانی می‌توان استفاده نمود. همچنین برای مدیریت خطر شاخص مناسبی می‌باشد. از معایب این شاخص، مدت زمان طولانی تا ۲۴ ماه می‌باشد که مقادیر حاصل چندان قابل اعتماد نیست. Zehtabian و همکاران (۲۰۱۳) با تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای ارتباط SPI و RDI در خراسان جنوبی، براساس داده‌های شش ایستگاه سینوپتیک این استان در طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۱۱-۱۹۹۰) به این نتیجه رسیدند که بر اساس شاخص SPI خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ در منطقه حاکم بوده است.

شاخص SPI با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (4)$$

که در آن، P_i مقدار بارش در دوره مد نظر، $\bar{P}$ میانگین درازمدت بارش در دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش در دوره مورد نظر می‌باشد. البته باید توجه شود که SPI توزیع نرمال را برای بارش در نظر می‌گیرد. چون بارندگی اغلب از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند، لذا باید قانون احتمالی حاکم بر آن را پس از مشخص کردن به نرمال استاندارد تبدیل کرد (Mackee و همکاران، ۱۹۹۳).

جدول ۵- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPI

ردیف	وضعیت	SPI
۱	فرامرطوب	≥ 2
۲	بسیارمرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	نسبتاًمرطوب	۱ تا ۱/۴۹
۴	نزدیک نرمال	-۱/۹۹ تا -۰/۹۹
۵	نسبتاًخشک	-۱ تا -۱/۴۹
۶	بسیار خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
۷	فراخشک	≤ -2

۶- شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)

شاخص ناهنجاری بارندگی را Van-Rooy (۱۹۶۵) ارائه کرده است و اساس آن محاسبه انحراف میزان بارندگی از مقدار نرمال می باشد. این شاخص قابلیت مقایسه مناطق مختلف از نظر شدت خشکسالی (به ویژه در ماه های پرباران) را دارد. در ایستگاه های مناطق خشک (مانند یزد) به دلیل عدم وقوع بارندگی در تعداد زیادی از سال های یک دوره آماری، امکان مقایسه سال های آماری از نظر شدت خشکسالی در یک ماه معین (به خصوص ماه های کم باران سال) وجود ندارد. تنها عامل مؤثر در محاسبه این شاخص بارش می باشد. این شاخص در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه به کار برده می شود.

شاخص فوق بر اساس روابط (۵) و (۶) محاسبه می شود:

که در آن محاسبه میانگین دراز مدت بارندگی در ایستگاه های مورد نظر ($\bar{P}$)، استخراج میانگین ده مورد از بیشترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره های مطالعاتی ($\bar{m}$)، استخراج میانگین ده مورد از کمترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی ($\bar{X}$)، مقایسه داده های بارندگی P یا میانگین درازمدت بارندگی.

اگر $P > \bar{P}$ یا ناهنجاری مثبت باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه (۵) محاسبه می شود:

$$RAI = 3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{m} - \bar{P}} \right] \quad (5)$$

اگر $P < \bar{P}$ یا ناهنجاری منفی باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$RAI = -3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{X} - \bar{P}} \right] \quad (6)$$

که در آن، P بارندگی واقعی، $\bar{P}$ بارش میانگین و $\bar{X}$ میانگین ۱۰ مورد از شدیدترین ناهنجاری های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارش می باشد. نسبت داده آستانه های +۳ و -۳ به ترتیب به میانگین ده مورد از شدیدترین ناهنجاری های مثبت و منفی به دست آمده از شاخص ناهنجاری بارندگی می باشد. با مقیاس گذاری روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری بارندگی، نه طبقه ناهنجاری با دامنه ای از شرایط رطوبت بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می شود. طبقه بندی خشکسالی براساس شاخص RAI در جدول (۶) آمده است.

جدول ۶ - طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص RAI

ردیف	وضعیت خشکسالی	آستانه های نسبت داده شده به RAI
۱	نزدیک نرمال	-۰/۳ تا +۰/۳
۲	خشکسالی ضعیف	-۰/۳ تا -۱/۲
۳	خشکسالی متوسط	-۱/۲ تا -۲/۱
۴	خشکسالی شدید	-۲/۱ تا -۳
۵	خشکسالی بسیار شدید	≤ -۳

۷- شاخص رطوبت زراعی (CMI)

شاخص CMI روشی است که وضعیت رطوبتی گیاهان زراعی را به صورت هفتگی بررسی می کند. Palmer در ۱۹۶۸ این شاخص را ارائه نمود. اهمیت نسبی آب در تولیدات کشاورزی بر حسب شرایط اقلیمی و جغرافیایی تغییر می کند و به طور کلی به مقدار و توزیع زمانی نزولات بستگی دارد. در این روش از راهبردهای هواشناسی جهت پایش هفته به هفته شرایط محصولات زراعی استفاده می شود و به کمک آن تغییرات کوتاه مدت شرایط رطوبت در مناطق عمده کشت برآورد می شود. شاخص CMI با تغییر مکان و زمان دارای ضرایب وزنی است و به تغییر شرایط سریع پاسخ می دهد. اساس این شاخص بر پایه محاسبات شاخص پالم (PDSI) بود. شاخص CMI برای شناسایی خشکسالی کوتاه مدت کشاورزی مؤثر است و برای نظارت بر شرایط محصول استفاده می شود. لازم به ذکر است چون این شاخص فقط برای محاسبه شرایط رطوبتی دوره رشد محصول طراحی شده است، نمی تواند در خارج از فصل رشد گیاه کاربرد داشته باشد. همچنین اگر منطقه ای با شرایط خشکسالی چندین ساله مواجه باشد این شاخص قابلیت استفاده نخواهد داشت. درحالی که شاخص پالم براساس محاسبات طولانی خشکی و رطوبت پایه گذاری شده است که در واقع تفاوت های اساسی این شاخص با شرایط ذکر شده مشخص می شود. شاخص رطوبت محصول براساس میانگین حرارت و بارش کلی برای هر هفته در یک ناحیه اقلیمی خاص استفاده شده و سعی بر این است که جهت بررسی شرایط رطوبتی در هفته، از محاسبات انجام شده در هفته های قبلی استفاده شود. این شاخص به تغییرات شرایط رطوبتی پاسخ می دهد. در واقع اساس محاسبات CMI به صورت هفتگی بوده و شرایط رطوبت را در موقعیت های مختلف نشان می دهد.

در محاسبه CMI از متغیرهای زیر استفاده می شود:

AWC ظرفیت موجود نگهداری آب، PE یا تبخیر بالقوه که براساس محاسبات انجام شده با روش تورنت وایت محاسبه می شود، ET تبخیرتغرق واقعی، Alpha ضریب تبخیرتغرق، CET شرایط آب و هوایی برای ایجاد تبخیرتغرق، R محاسبه کلی تخلیه، RO محاسبه کلی رواناب، Ss مقدار رطوبتی سطح بالایی خاک، S مقدار رطوبتی لایه پایینی خاک، M درصد ظرفیت اشباع، DE نسبت آنومالی تبخیر برای هر هفته، $I^1 Y$ اولین تخمین برای Y در طول هفته $I \Delta m$ ، Y_i شاخص کسری موازنه تبخیرتغرق در طول هفته $I \Delta m$ ، H شرایط برگشت به دوره نرمال رطوبتی و CMI شرایط رطوبتی.

بعد از محاسبه تمام مقادیر واقعی و بالقوه متغیرهای ذکر شده، شاخص CMI به دست خواهد آمد. این محاسبات این امکان را می دهد که طبقات شدت خشکسالی از نظر این شاخص برای محصول مورد نظر محاسبه شود.

جدول ۷ - طبقه‌بندی درجه شاخص رطوبت محصول (CMI)

ردیف	وضعیت خشکسالی	عدد خشکسالی
۱	خیلی زیاد	-۳ <
۲	زیاد	-۲/۹ تا -۲
۳	تقریباً خشک	-۱/۹ تا -۱
۴	خیلی کم خشک تا کم مرطوب	-۰/۹ تا -۰/۹
۵	تقریباً مرطوب	۱/۵ تا ۱
۶	مرطوب	۲/۵ تا ۲
۷	خیلی مرطوب	۳ >

۸- شاخص خشکسالی احيایی (RDI)

این شاخص از نوع شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌باشد که بر پایه تبخیرتعرق پتانسیل و بارش استوار است. این شاخص برای اولین بار در منطقه مدیترانه تحت پروژه‌ای با عنوان MEDROPLAN توسط Tsakiris و همکاران (۲۰۰۴) به صورت آزمایشی استفاده شد. شاخص RDI به عنوان ماشینی برای ارزیابی برنامه‌های بازسازی خشکسالی استفاده می‌شود که از مزایای این شاخص می‌باشد. از طرفی در این شاخص مانند شاخص SWSI حوضه‌های مختلف را نمی‌توان با یکدیگر مقایسه کرد. جهت محاسبه این شاخص نخست با استفاده از نسبت بارندگی (P) به تبخیرتعرق پتانسیل (PET) مقادیر اولیه a_0^i برای هر بازه زمانی دلخواه یا سال‌های مختلف بر اساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$a_0^i = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}}, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, 12 \quad (7)$$

در این رابطه بارندگی P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب مقادیر باران و تبخیرتعرق پتانسیل ماه i ام از سال j ام و N برابر تعداد سال‌های آماری است. روش پیشنهادی محاسبه تبخیرتعرق، روش تورنت وایت (Maeda و همکاران، ۲۰۱۰) است. مرحله دوم در محاسبه

این شاخص، مقادیر RDI نرمال شده (RDI_n) با استفاده از مقادیر a_0^i محاسبه شده برای سال‌های مختلف در گام قبلی، مطابق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$RDI_n^i = \frac{a_0^i}{\bar{a}_0} - 1 \quad (8)$$

در این رابطه $\bar{a}_0$ میانگین حسابی مقادیر a_0^i در سال‌هایی می‌باشد که در مطالعه استفاده می‌شود که برابر با نسبت شاخص خشکسالی ارائه شده از سوی سازمان فائو است. مرحله سوم در محاسبه این شاخص مقادیر استاندارد شده (RDI_s) است که بسیار شبیه به محاسبه شاخص SPI می‌باشد. با فرض اینکه مقادیر a_0^i از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کنند. استفاده از مقادیر a_0^i سال‌های مختلف با

$$RDI_s^i = \frac{y_i - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y} \quad (9)$$

که در آن، y_i برابر است با $\ln a_0^i$ و $\bar{y}$ و $\hat{\sigma}_y$ به ترتیب میانگین حسابی و انحراف معیار مقادیر y_i است.

در روابط مذکور a_0 از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کند. لازم به ذکر است که انتخاب توزیع فراوانی برای a_0 محدود به لوگ نرمال نمی‌شود اما برای کمک به پایه‌گذاری یک روش واحد به جای چند روش از توزیع لوگ نرمال استفاده می‌شود.

جدول ۸ - ارزیابی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص RDI_{st}

ردیف	وضعیت خشکسالی	شاخص RDI_{st}
۱	ترسالی بسیار شدید	≥ 2
۲	ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹
۴	نزدیک به نرمال	-۰/۹۹ تا -۰/۹۹
۵	خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
۶	خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
۷	خشکسالی بسیار شدید	≤ -2

رطوبت خاک، به منطقه آب‌وهوایی همگن کالیبره شده است. این شاخص دارای یک جدول زمانی ذاتی ۹ ماه است و هر نوع بارش را به عنوان باران در نظر می‌گیرد. شاخص مذکور یک روش ساده برای تشخیص خشکسالی است. در این شاخص متوسط یا میانگین بارش با میانه یکی نبوده و ارزش آن از ۵۰ درصد بارش اتفاق افتاده انحراف دارد که از معایب شاخص PDSI می‌باشد. به این دلیل درصد بارش نرمال به آسانی گمراه‌کننده و غیرواقعی می‌باشد و شرایط مختلفی را با توجه به منطقه و فصل عرضه می‌کند. شاخص SWSI برای تجزیه و تحلیل فرکانس جهت به کارگیری داده‌های بلندمدت مانند بارش، برف، جریان و سطح مخزن استفاده می‌شود. شاخص SPI نیز یک شاخص ساده است که از ثبت طولانی مدت بارش در هر مکان (حداقل ۳۰ سال) محاسبه می‌شود. داده‌ها به توزیع نرمال متصل

جمع‌بندی

باتوجه به اهمیت خشکسالی، در تحقیق حاضر شاخص‌های مختلف برآورد خشکسالی بررسی شد. بررسی و ارزیابی شاخص‌ها نشان داد که شاخص دهک‌ها از تعداد رخدادها توزیع شده از ۱ تا ۱۰ محاسبه می‌شود. کمترین مقدار شرایط خشکی را نسبت به حالت طبیعی نشان می‌دهد و مقدار بالاتر نشان‌دهنده شرایط مرطوب‌تر از حد نرمال است. عیب اساسی شاخص دهک‌ها نیاز به داده‌های طولانی مدت (حداقل ۳۰ ساله) برای محاسبه می‌باشد، بنابراین برای مکان‌هایی که به تازگی ایستگاه باران‌سنجی در آن‌ها نصب شده است محاسبه انجام نخواهد گرفت. شاخص PDSI از داده‌های بارش، دما و رطوبت خاک محاسبه می‌شود. داده‌های

می‌شوند و در مقیاس زمانی چندگانه مانند ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ و غیره نرمال می‌شوند. این شاخص برای توصیف خشکسالی فقط به پارامتر بارندگی احتیاج دارد و اثر خشکسالی بر روی منابع آبی و ذخایر آب زیرزمینی، رطوبت خاک و رژیم رودخانه‌ها را به خوبی منعکس می‌کند. تغییرپذیری SPI باعث می‌شود در مقیاس‌های کوتاه‌مدت برای اهداف کشاورزی و در مقیاس‌های بلندمدت برای اهداف هیدرولوژی مثل منابع آب زیرزمینی، جریان‌های رودخانه‌ای، سطح دریاچه‌ها و منابع سطحی استفاده شود. به این دلیل، این شاخص کاربرد گسترده‌ای در مطالعات خشکسالی داشته و پذیرش جهانی نیز دارد. شاخص CMI مشتق PDSI است که از روش‌های محاسبه رطوبت به‌عنوان تابعی از ناهنجاری‌های تبخیر و انتقال و غلظت رطوبت در خاک توسعه داده شده است. شاخص RDI با شاخص SWSI شباهت دارد. این شاخص توابع عرضه، تقاضا و مدت زمان را ترکیب می‌کند. RDI همچنین ویژگی‌های دما و مدت زمان را نیز در شاخص ترکیب می‌کند. شاخص RAI قادر است خشکسالی را در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت (۱ ماهه تا ۴۸ ماهه)

پایش نماید. همچنین باتوجه‌به اینکه جهت استفاده از این شاخص داده‌هایی محدودی مورد نیاز است حساسیت بالا و انعطاف‌پذیری زیاد کاربرد آن در حال افزایش است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که از بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص SPI دارای مزیت نسبی بالایی برای پایش خشکسالی می‌باشد. شاخص RDI باتوجه‌به این‌که بر مبنای بارندگی و تبخیرتعرق پتانسیل محاسبه می‌شود نسبت به شاخص SPI که تنها بر مبنای بارندگی محاسبه می‌شود به متغیرها و تغییرات آب‌وهوایی حساسیت بیشتری دارد. از این‌رو شاخص RDI مقایسه منطقی از وضعیت خشکسالی را در مناطق با آب‌وهوای متفاوت نشان می‌دهد. شاخص CMI محدود به استفاده در فصل رشد است و نمی‌تواند مدت زمان طولانی خشکسالی را تعیین کند. بنابراین در صورت استفاده از این شاخص برای دوره طولانی اطلاعات به‌دست‌آمده از این شاخص فاقد اعتبار خواهد بود. شاخص PNPI روشی ناکارآمد برای ارزیابی خشکسالی بوده و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از این شاخص خطاهای زیادی خواهد داشت.

جدول ۹- مقایسه شاخص‌های خشکسالی

نام شاخص	نوع خشکسالی	داده‌های مورد نیاز	نقاط قوت	نقاط ضعف	مقیاس
شاخص دهک‌ها (DI)	هواشناسی	بارش	ایجاد اطلاعات دقیق از بارش برای پاسخ خشکسالی	به دلیل نیاز به داده‌های طولانی مدت در مکان‌هایی که به تازگی ایستگاه تأسیس شده قابل استفاده نیست.	ماهانه سالانه
شاخص درصد نرمال بارش (PNPI)	هواشناسی	بارش	سادگی، مفید برای بیان اولیه خشکسالی	بارندگی‌های ماهانه و فصلی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند.	ماهانه سالانه
شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)	کشاورزی	بارش، دما و محتوی آب قابل دسترس (AWC)	تحلیل وضعیت خشکسالی در گستره‌های زمانی و مکانی	عدم لحاظ برف، پوشش برفی و زمین یخ زده، در نظر نگرفتن تأخیر زمانی بین لحظه بارندگی و وقوع رواناب نیاز به داده‌های روزانه	ماهانه سالانه
شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)	هیدرولوژیکی	برف، بارش، جریان رودخانه‌ای و ذخیره مخازن	ارزیابی شدت خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از برف پشته و سطوح آب سطحی	عدم لحاظ عناصر دیگر چرخه هیدرولوژیکی، مثل تبخیر و ظرفیت رطوبت خاک، عدم مقایسه حوضه‌ها با یکدیگر	فصلی
شاخص بارندگی استاندارد (SPI)	هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی	بارش	نسبتاً ساده و عملاً قابل استفاده برای تمام شرایط منابع آبی و برای مقیاس‌های زمانی متعدد	از معایب این شاخص، مدت زمان طولانی تا ۲۴ ماه است که مقادیر حاصل چندان قابل اعتماد نیست	ماهانه فصلی سالانه
شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)	هواشناسی	بارش	مقایسه مناطق مختلف از نظر شدت خشکسالی	در ایستگاه‌های مناطق خشک امکان مقایسه سال‌های آماری از نظر شدت خشکسالی در یک ماه معین وجود ندارد.	ماهانه سالانه
شاخص رطوبت زراعی (CMI)	کشاورزی	دما و بارش	ارزیابی خشکسالی‌های طولانی مدت	محدود به استفاده در فصل رشد	فصلی
شاخص خشکسالی احیایی (RDI)	هیدرولوژیکی	سطح آب رودخانه، بارش برف، جریان‌ات سطحی، ذخایر آب و دما	توجه به میزان آب و عوامل اقلیمی و کاربرد برای ارزیابی برنامه‌های بازسازی خشکسالی	عدم مقایسه حوضه‌ها با یکدیگر	ماهانه سالانه

- Society, Anaheim, CA.
- Maeda E.E., Wiberg D.A. and Pellikka P.K.E. 2010. Estimating reference evapotranspiration using sensing empirical models in a region with limited data availability in Kenya. *Applied Geography*, 31(1): 251-258.
- Meyer S.J. and Hubbard K.G. 1995. Extending the crop-specific drought index to soybean. 9th Conference on Applied Climatology. Dallas, TX. Meteorol. Soc., Boston.
- Moreira E.E., Coelho C.A., Paulo A.A., Pereira L.S. and Mexia J.T. 2008. SPI-based Drought Category Prediction Using Loglinear Models. *Journal of Hydrology*, 354: 116-130.
- Mostafavi Darani S.M., Khoshhal Dastjerdi J., Parandeh A. and Ghatrehsamani M. 2011. Drought monitoring in Esfahan province (IRAN) by comparison of Standard Precipitation Index (SPI) & reconnaissance DroughtIndex(RDI). EMS Annual Meeting Abstracts, 8: 211-229.
- NDMC. 2006. What is drought?, National Climatic Data Center. <<http://www.drought.unl.edu/whatis>> (accessed 22 April 2011).
- Palmer W.C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper No 45, office of climatology, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
- Palmer W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21(4): 156-161.
- Panu U.S. and Sharma T.C. 2002. Challenge in Drought Research: Some Perspectives and Future Directions, *Hydrological Science Journal*, 47: 19-30.
- Shafer B. and Dezman L. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*. (p. 164-175)
- Smakhtin V.U. and Hughes D.A. 2004. Review, Automated Estimation and Analyses of Drought Indices in south Asia. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka..
- Tallaksen L.M. and Van Lanen H.A.J. 2004 Hydrological drought. Processes and estimation methods
- انصافی مقدم، ط. ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. *مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۴(۲): ۲۷۷-۲۸۱
- ایران صالحوند، م.م. و مومنی، م. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های (DI, ZCI, PNI, SPI, SPI) و دنباله‌ها در شهرهای خوزستان در محیط GIS. *فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس*، ۵۲(۳): ۳۵-۳۷.
- حسنی‌ها، ح. و صالحی، ز. ۱۳۷۹. بررسی وضعیت خشکسالی براساس تعدادی از شاخص‌های آماری در استان زنجان. *مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم‌آبی و خشکسالی*. دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱: ۱۷-۲۷.
- خلیلی‌اقدام، ن.، مساعدی، الف. و لطیفی، ن. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی و روند وقوع آن در ارومیه. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۴(۵): ۱۴۶-۱۵۶.
- سرحدی، ع.، سلطانی، س. و مدرس، ر. ۱۳۸۸. ارزیابی و تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر پایه چهار شاخص مهم خشکسالی. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۱(۴): ۵۷۰-۵۷۵.
- Barua S., Ng A.W.M. and Perera B.J.C. 2011. Comparative Evaluation of Drought Indices: A Case Study on The Yarra River Catchment in Australia. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(2): 215-226.
- Bordi I. and Sutera A. 2004. Drought variability and its climatic implications. *Global and Planetary Change*, 40(2): 115-127.
- Gibbs W.J. and Maher J.V. 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology. Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia, 48: 84Pages.
- Guttman N.B. 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *J. the Amer. Water Resour*, 34(1): 121-131.
- Mackee B.T., Nolan Dooesken J. and Kleist J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9th Conference on Applied Climatology. 15-20. January, Boston, Massachusetts.
- MacKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Paper Presented at 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological

- The Drought Phenomenon, The Role of Definitions. *Water International*, 10(3): 111-120.
- Willeke G., Hosking J.R.M., Wallis J.R. and Guttman N.B. 1994. The National Drought Atlas. Institute for Water Resources Report, U.S. Army Corps of Engineers.
- Zehtabian G.h., Karimi K., Nakhee Nejadfard S., Mirdashtvand M. and Khosravi H. 2013. Comparability Analyses of the SPI and RDIMeteorological Drought Indices in South Khorasan province in Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(9): 981-992.
- for streamflow and groundwater. Volume 48. *Development in Water Science*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, the Netherlands. 48:
- Tsakiris G., Pangalou D. and Vangelis H. 2004. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resource Manage*, 21(5): 821-833.
- Van Loon A.F. 2013. On the propagation of drought. Wageningen University.
- Van-Rooy M.P. 1965. A Rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, 14: 43-48.
- Wilhite D.A. and Glantz M.H. 1985. Understanding

Water Management Accounting

Translated by: Z. Masoumi Bilondi^{1*}, R. Hejazi²

1- Ph.D. Student of Accounting at Alzahra University & Instructor of Payame Noor University of Iran.

2- Professor of Accounting, University of Khatam, Iran.

*(Corresponding Author Email: masoumizahra30@gmail.com)

Received: 23-12-2017

Accepted: 14-09-2018

حسابداری مدیریت آب

ترجمه: زهرا معصومی بیلندی^{۱*}، رضوان حجازی^۲

۱- دانشجوی دکتری حسابداری، دانشگاه الزهرا.

۲- استاد گروه حسابداری، دانشگاه خاتم.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: masoumizahra30@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۳

Abstract

Water accounting is a new science that is organized to provide information on the physical volume of water, water economy, economic considerations of water supply and its use. Water initiatives for business and in business have ballooned in the 2010's because of concerns over increased uncertainty surrounding water supplies as well as competing demands. The challenge is how to improve accounting given the lack of available detailed data on which companies can base their business decisions about water scarcity, water surpluses and water management opportunities. Corporate Water Management Accounting is a recently proposed extension to Environmental Management Accounting designed to support corporate management decisions and improve both economic and environmental water-related business outcomes. Water initiatives and current literature focusing on external water reporting is lack water accounting information for decision making. Based on both the literature and gaps in current water initiatives, the paper concludes with a set of specific research issues in corporate water accounting settings along with ways in which water accounting researchers can contribute to the future management of water by businesses.

Keywords: Water Management Accounting, Corporate Water Accounting, Environmental Management Accounting.

چکیده

حسابداری آب علم جدیدی است که به منظور سازماندهی و ارائه اطلاعات مرتبط با حجم فیزیکی آب، اقتصاد آب، ملاحظات اقتصادی تأمین آب و استفاده از آن مطرح شده است. به دلیل افزایش نگرانی‌ها در رابطه با عدم اطمینان ذخایر آب و همچنین افزایش رقابت در تقاضا، طرح‌های آب مرتبط با کسب و کار در دهه ۲۰۱۰ رشد یافته است. روند بهبود حسابداری با توجه به عدم دسترسی به داده‌های تفصیلی که تصمیمات تجاری شرکت‌ها در ارتباط با کمبود آب، مازاد آب و فرصت‌های مدیریت آب بر آن‌ها استوار است چالش پیش‌رو است. حسابداری مدیریت آب شرکت شاخه جدیدی در حسابداری مدیریت محیط‌زیست است که به منظور حمایت از تصمیمات مدیریت شرکت و بهبود دو پیامد اقتصادی و زیست‌محیطی کسب و کار مرتبط با آب طراحی شده است. طرح‌های آب و ادبیات فعلی که بر گزارشگری خارجی تمرکز دارند، فاقد اطلاعات حسابداری آب برای تصمیم‌گیری می‌باشند. مقاله حاضر براساس ادبیات و شکاف‌ها در طرح‌های آب موجود با ارائه یک مجموعه از مسائل تحقیقاتی خاص در چارچوب‌های حسابداری آب شرکت در کنار شیوه‌هایی که محققان حسابداری آب می‌توانند به مدیریت آبی آب توسط واحدهای تجاری کمک و نتیجه‌گیری کند.

واژه‌های کلیدی: حسابداری مدیریت آب، حسابداری آب شرکت، حسابداری مدیریت محیط‌زیست.

ترجمه و تلخیص از:

Christ K.L. and Burritt R.L. 2017. Water management accounting: A framework for corporate practice. Journal of Cleaner Production, 152: 379-386.

به دلیل رشد بحران آب و نیاز شرکت‌ها به داده‌های بهتر برای مدیریت آب (Morrison و همکاران، ۲۰۱۰) مقاله حاضر به بررسی اهمیت حسابداری در چارچوب مدیریت آب شرکت^۲ می‌پردازد و با توسعه ادبیات حسابداری مدیریت محیط‌زیست بر موضوع آب و مدیریت آب به‌طور صریح و عینی تأکید می‌نماید. بنابراین یک رشته فرعی به نام حسابداری مدیریت آب ایجاد می‌شود و بررسی می‌شود حسابداری مدیریت آب چگونه می‌تواند چارچوبی برای فعالیت آبی شرکت فراهم نماید و به مدیران در درک چارچوب‌های تصمیم‌گیری که ابزارهای مختلف حسابداری آب در آن‌ها سودمند و مفید هستند، کمک کند. با توجه به عدم یکنواختی و انسجام در رویکردهای فعلی حسابداری آب شرکت که صرفاً بر شفافیت تأکید دارند و نادیده گرفتن مدیریت منابع توسط سازمان این موضوع اهمیت زیادی دارد.

مقاله حاضر به‌طور صریح رابطه بین حسابداری مدیریت محیط‌زیست و مدیریت منابع آب توسط واحد تجاری را بررسی می‌کند. همچنین این مقاله چارچوبی که با استفاده از آن ابزارهای حسابداری آب را با نگاه کمک به مدیران بتوان بهتر درک کرد ارائه می‌کند. در نهایت مقاله حاضر نشان می‌دهد که چگونه محققان می‌توانند به این حوزه که اهمیت فزاینده‌ای برای جامعه کسب و کار جهانی دارد، کمک کنند.

عبارت آب یک منبع مشترک است به معنا این است که فعالیت‌های یک استفاده‌کننده باعث ایجاد اثر منفی بر فعالیت‌های دیگر استفاده‌کنندگان می‌شود. بنابراین مصرف آب مولفه ریسک مشترک را ایجاد می‌کند و در نتیجه دولت‌ها، جوامع و واحدهای تجاری در رابطه با مصرف منابع آب شیرین مسئول هستند (Chapagain و Tickner، ۲۰۱۲). انتظار می‌رود فشار برای مصرف پایدار و شفاف آب به‌خصوص در بخش شرکتی افزایش یابد. بخش شرکتی یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان آب شیرین در جامعه مدرن است به‌طوری‌که مصرف کشاورزی ۷۰٪ از مجموع برداشت آب شیرین را در جهان تشکیل می‌دهد (WBCSD-SIUCN، ۲۰۱۲). علاوه بر آبیاری آب در بخش‌های تولید، معدن، نفت و گاز و فعالیت‌های تولید غذا و همچنین تولید برق و... برای حمایت از حوزه‌های ذکر شده مورد نیاز است (Bodino و Signori، ۲۰۱۳). آب در گذشته یک کالای در دسترس و رایگان بود اما امروزه به‌طور فزاینده یک دارایی ارزشمند است و بر این اساس باید از آن استفاده شود. سازمان‌ها نیز ممکن است از طریق زنجیره‌های تأمین خود و شرکت‌های دیگری که با آن‌ها داد و ستد می‌کنند از ریسک مرتبط با آب متأثر شوند.

در دهه گذشته مدیریت آب و پیامدهای اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی آن اهمیت زیادی داشت. خشکسالی شدید و گسترش دوره‌های کم‌آبی و ترس از گرم شدن جهانی و موضوعات پایداری مرتبط با رشد جمعیت و تقاضای آن برای آب بر اهمیت تمرکز بر یکی از منابع بسیار مهم دنیا دلالت دارد. در حقیقت علاوه بر اهمیت ایجاد سیستم‌های حسابداری آب، ضرورتی برای آگاه نمودن ذی‌نفعان داخلی و خارجی در مورد آب و چگونگی مدیریت آن ایجاد شده است (حجازی و اسماعیلی‌کیا، ۱۳۹۲).

حسابداری مدیریت محیط‌زیست^۱ در دهه ۱۹۹۰ به منظور تأکید بر چارچوب‌های تصمیم، ابزارها و انواع اطلاعاتی که مدیران مختلف جهت مدیریت ابعاد ترکیبی اقتصادی و زیست‌محیطی فعالیت‌های تجاری خود نیاز داشتند، ایجاد شد. اگرچه در گذشته حسابداری مدیریت محیط‌زیست جهت توجه به مولفه‌های خاص زیست‌محیطی همچون کرین، توسعه یافته است (Gibassier و Schaltegger، ۲۰۱۵) اما در دوره‌های اخیر تمرکز صریح بر مدیریت آب شرکت صورت پذیرفته است. عدم توجه در گذشته شایان ذکر است؛ زیرا آب بخش مهمی از سرمایه طبیعی شرکت است و برای حمایت از فعالیت‌های مستمر آن ضروری است.

واحدهای تجاری و بحران روبه‌رشد آب

ریسک مرتبط با آب یکی از بزرگترین تهدیداتی است که تمام جوامع و همچنین سازمان‌های فعال در بخش تجاری با آن مواجه هستند. گزارش مجمع جهانی اقتصاد^۲ در مورد ریسک‌های جهانی توسط مجمع جهانی اقتصاد که یک سند جامع بر اساس پیمایش ۷۵۰ عضو از جامعه سهام‌داران بین‌المللی است "بحران آب" را سومین تهدید بزرگی می‌داند که در حال حاضر جهان با آن روبه‌رو است (World Economic Forum، ۲۰۱۷). بحران‌های آب در این گزارش به عنوان "کاهش قابل توجه در کیفیت و کمیت آب شیرین در دسترس تعریف می‌شوند که منجر به اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان یا فعالیت اقتصادی می‌شود". اگرچه بحران آبی در درجه اول به عنوان یک ریسک اجتماعی دسته‌بندی می‌شوند اما پیامدهای زیست‌محیطی آن نیز شناسایی می‌شود. علاوه بر آن انتظار می‌رود تقاضای جهانی برای آب شیرین تا حدود ۴۰٪ از عرضه پایدار در سال ۲۰۳۰ تجاوز کند که این وضعیت با رشد جمعیت و تغییر اقلیم تشدید خواهد شد (Bodino و Signori، ۲۰۱۳) و بر فعالیت‌های تجاری در سراسر جهان که اکنون با آن مواجه هستند تأثیر خواهد گذاشت.

"انجمن تجاری جهانی توسعه پایدار" با تشخیص پیچیدگی و وابستگی متقابل دسترسی و مصرف آب ریسک آبی مرتبط با کسب و کار را به پنج دسته تقسیم نمود که آن‌ها را می‌توان از طریق حسابداری آب و تولید پاک‌تر کاهش داد (WBCSD-SIUCN، ۲۰۱۲):

- ریسک مالی (محدودیت در سرمایه، نرخ‌های وام بالاتر و حق بیمه بیشتر)
 - ریسک عملیاتی (افزایش هزینه‌های تولید و فعالیت)
 - ریسک محصول (کاهش سهم بازار به واسطه افزایش نگرانی مصرف‌کننده و الویت مشتری)
 - ریسک اعتباری (امکان تعارض اجتماعی و از دست دادن مجوز فعالیت)
 - ریسک نظارتی (احتمال تعرفه‌های جدید، مقررات، جریمه‌ها و حتی تعقیب حقوقی در صورتی که فعالیت‌های شرکت در تعارض با منافع عموم دیده شوند).
- هر کدام از این ریسک‌ها دارای قابلیت اعمال فشار بر درآمد مالی سازمان هستند. بهای مطلق آب شیرین باتوجه به رواج بیشتر طرح‌های تجارت آب و اقدامات مشابه در حال افزایش است. کیفیت آب یک نگرانی برای واحد تجاری است؛ زیرا آب

با کیفیت ضعیف اغلب باید پیش از مصرف برای اهداف تولید تصفیه شود. بنابراین مدیریت کارآمد و اثربخش منابع آب در حال تبدیل شدن به یک مسئله اقتصادی است که تیم مدیریت شرکت باید به صورت روزانه به آن بپردازد. اهمیت آب به عنوان مبنایی برای تصمیمات سرمایه‌گذاری توسط سهام‌داران نیز در حال تأیید است. برای مثال در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی در راه‌حل‌های سهام‌داران در مورد موضوعات مرتبط با آب وجود داشته و برخی از سرمایه‌گذاران نهادی همچون بخش مدیریت سرمایه‌گذاری بانک نروژ که مسئول سرمایه‌گذاری دارایی‌های صندوق جهانی بازنشستگی دولت نروژ است، انتظارات مدیریت آب را وضع کرده‌اند که در آن‌ها هیئت مدیره‌های شرکت‌های طرف قرارداد را هدف قرار داده‌اند (Bodino و Signori، ۲۰۱۳). گزارش‌های McKinsey و Company و سازمان دیگر حاکی از این است که "بی‌تفاوتی، دیگر یک گزینه نیست" و هیچ بخشی یا صنعتی از نیاز به مدیریت پایدارتر آب رهایی نخواهد یافت (CDP، ۲۰۱۵). بنابراین این وضعیت مستلزم ابزارهایی به منظور حمایت از اقدامات اثربخش است که نیاز به حسابداری آب را به عنوان یک رشته ترغیب می‌کند (WBCSD-SIUCN، ۲۰۱۲). اما حسابداری آب چیست؟

ضرورت حسابداری آب

در حالی که بحران مالی آسیا و بحران مالی جهانی و برخی از رسوایی‌های حسابداری نقش عمده‌ای در تعدیل گزارشگری مالی داشته است خشکسالی شدید و یا گسترش دوره‌های کمیابی و فراوانی آب ناشی از سیلاب بسیاری از ملت‌ها را پریشان نموده و بحران‌های آب در کشورهای آن‌ها پدید آمده است. این بحران‌های آب دشواری‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی و تضادهای بین‌المللی و درون ملی را ایجاد نموده است. دنیا به دنبال راه‌حل‌هایی برای موضوعات مرتبط با آب است. برای برطرف نمودن این نیازها شناسایی بیشتر نیاز به حسابداری آب برای کمک به حل این بحران‌ها از طریق فراهم نمودن اطلاعات مربوط و منصفانه ضرورت دارد (Schornagel و همکاران، ۲۰۱۲)

شرکت‌ها به منظور تصمیم‌گیری برای مدیریت اثربخش، کارا، کافی و یکپارچه منابع آبی به داده‌های مناسب نیاز دارند. این داده‌ها می‌توانند اطلاعات انبوهی در رابطه با مقدار آب استفاده شده در عملیات باشند، می‌توانند با منابع و ذخایر در دسترس برای مصرف فعلی و آتی مرتبط باشند یا می‌توانند داده‌های پیچیده‌تر در ارتباط با ابعاد مختلف کیفیت آب باشند. اگرچه در حال حاضر

اتفاق نظری در رابطه با عوامل تشکیل‌دهنده حسابداری آب در چارچوب شرکت وجود ندارد، اما Morrison و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند این عبارت به "توانایی یک شرکت برای اندازه‌گیری و محاسبه مصرف آب و تخلیه‌های پساب در سراسر زنجیره تأمین‌اش" اشاره دارد. در حسابداری آب بر مدیریت و کاهش ریسک، پیامدهای مصرف آب و پتانسیل کارایی عملیاتی تأکید می‌شود. بنابراین حسابداری اثربخش آب یک بخش مهم از مدیریت آب شرکت برای تولید پاک‌تر است و "به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا اثرات مصرف مستقیم و غیرمستقیم و برون‌ریخت (فضولات) آب بر جوامع و اکوسیستم‌ها را تعیین کنند، ریسک‌های اساسی مرتبط با آب را ارزیابی کنند، اثرات تغییرات را در رویه‌های مدیریت آب در حوزه خود دنبال کنند و روندها و تغییرات را به نحو قابل اتکایی به ذی‌نفعان کلیدی گزارش دهند" (Morrison و همکاران، ۲۰۱۰). اهمیت اطلاعات حسابداری آب حتی باتوجه به تحقیقات موجود در حوزه مدیریت آب شرکت بارزتر می‌شود که نشان می‌دهد تصمیمات تجاری بسیاری از سازمان‌ها در ارتباط با آب بر داده‌های تک موردی^۴ و ناقص و یا حتی حدسیات مبتنی می‌باشد. به‌طور کلی تکامل روش‌های حسابداری آب را می‌توان به صورت زیر نشان داد (ابوالحسنی و خلیلی، ۱۳۹۵)



شکل ۱- تکامل روش های حسابداری آب (ابوالحسنی و خلیلی، ۱۳۹۵)

مرحله سوم: ریسک ها و فرصت های آبی شرکت نیازمند ارزیابی است زیرا آن ها از مکانی به مکان دیگر، از یک حوضه آبخیز به حوضه آبخیز دیگر و از کشوری به کشور دیگر متفاوت هستند.

مرحله چهارم: مدیریت جامع آب، تنظیم اهداف ریسک و فرصت آب و انجام اقدامات به منظور دستیابی به آن ها بخشی از فرایند کنترل برنامه ریزی و مدیریت شرکت است که ابزارهای مدیریت و اندازه گیری آب برای آن ضروری هستند (Hoekstra, ۲۰۱۴).

مرحله پنجم: عبارت است از نظارت و انتقال اثربخش، کارا، کافی و یکنواخت عملکرد آب، هم در داخل و هم خارج سازمان که یک سیستم افشای حسابداری محیط زیست برای آن ضروری است.

توضیحات بیشتر در ارتباط با این مراحل در جدول (۱) ارائه شده است.

منطق حسابداری آب را می توان در رابطه با ریسک های (و فرصت های) مدیریت آب که توسط انجمن جهانی کسب و کار برای توسعه پایدار^۵ - سازمان جهانی حفاظت از منابع طبیعی^۶ در سال ۲۰۱۲ شناسایی شده، در ۵ مرحله پیشنهادی برای مدیریت جامع آب ملاحظه کرد. دستیابی به مدیریت جامع آب با طی کردن پنج مرحله محقق می شود (WBCSD-SIUCN, ۲۰۱۲).

مرحله اول: نیاز به اطلاعاتی جهت کمک به ارزیابی وضعیت های محلی و جهانی آب که شرکت ها با آن مواجه خواهند بود؛ زیرا تغییر فزاینده ذخایر آبی برای مثال با بارش جهانی و الگوهای تبخیر و جغرافیای محلی تحت تأثیر قرار می گیرد.

مرحله دوم: حسابداری به منظور کمک به شناسایی عرضه و مصرف و اثرات واقعی و مورد انتظار محلی بر حجم و کیفیت آب مورد نیاز است (Morrison و همکاران، ۲۰۱۰).

جدول ۱- مراحل مدیریت آب جامع و حسابداری مدیریت آب (WBCSD-SIUCN, ۲۰۱۲)

شماره	تمرکز مرحله	رابطه حسابداری مدیریت آب
۱	ارزیابی چارچوب جهانی و محلی آب که پیش روی شرکت قرار دارد.	حسابداری برای تأثیر ابعاد جغرافیایی، آب و هوایی، فناوری، اجتماعی-سیاسی، اقتصادی و مقررات آب بر شرکت و موقعیت آن، روابط زنجیره تأمین و غیره. داده ها: عمدتاً فیزیکی، بدون ابعاد پولی بازارهای آب.
۲	شناسایی اثرات شرکت بر تأمین، مصرف و کیفیت آب	حسابداری برای تأثیر شرکت بر آب-منابع، ذخیره، مصرف و پساب، خروجی غیرتولیدی و غیره. داده ها: عمدتاً فیزیکی.
۳	شناسایی ریسک ها و فرصت های آب	حسابداری برای برآورد دقیق ریسک های آب. داده ها: فیزیکی و پولی.
۴	تعیین اقدام و هدف گذاری ها	حسابداری برای برنامه ریزی، بودجه بندی و کنترل آب. داده ها: فیزیکی و پولی
۵	نظارت و انتقال عملکرد	حسابداری برای پاسخگویی داخلی و خارجی در ارتباط با مدیریت آب.

مدیریت جامع و حسابداری آب در سطح شرکت به اقدامی نیاز دارد که فراتر از هر ابزار یا وسیله‌ای است. همان‌طور که توسط Tickner و Chapagain (۲۰۱۲) در نقد روش اثر (رد پای) آب^۶ بیان شده است تا به امروز روش‌های حسابداری آب "ناقص و نپا" بوده‌اند. بنابراین با تأیید زمینه‌های مختلف و تمرکز بر ابزارهای مختلف حسابداری آب می‌توان استدلال نمود که اگر واحد تجاری به مدیریت اثربخش مصرف منابع آب خود بپردازد "به یک دامنه از طرح‌های مدیریت آب نیاز دارد" (WBCSD-SIUCN, ۲۰۱۲). از طریق این رویکرد مدیران قادر خواهند بود چالش‌های معاصر مدیریت آب شرکت را از طریق کاهش مصرف، طراحی کارآمدتر محصول، افزایش عمر محصول، و بازیافت پسماند برطرف کنند. پنج مرحله مدیریت جامع آب که توسط انجمن جهانی کسب و کار برای توسعه پایدار-سازمان جهانی حفاظت از منابع طبیعی (WBCSD-SIUCN, ۲۰۱۲) پیشنهاد شده است گامی مثبت در کمک به مدیران در درک چگونگی تعامل و استفاده عملی از ابزارهای حسابداری مختلف آب تلقی می‌شود. باین‌حال نقش حسابداری مدیریت و حسابداری مدیریت محیط‌زیست در این ارتباط تا حد زیادی نادیده گرفته شده است. از آنجایی که

حسابداری مدیریت با هر پنج مرحله ذکر شده مرتبط است به‌منظور شفاف‌سازی بیشتر چارچوب‌های تصمیم از آن استفاده می‌شود که ابزارهای مختلف سودمندی در آن خواهد بود بنابراین نقش حسابداری شایسته توجه بیشتری می‌باشد.

طرح‌های حسابداری آب و حسابداری مدیریت آب

مطابق با نیاز به اتخاذ دیدگاه بلندمدت در تصمیم‌گیری که با گزارش برانگیزند در مورد نیاز برای توسعه پایدار ترغیب شد، Burritt و همکاران (۲۰۱۲) چارچوبی جامع برای حسابداری مدیریت محیط‌زیست ارائه نمودند. تمرکز کار آن‌ها بر حسابداری مدیریت محیط‌زیست بود که به‌عنوان یک اصطلاح کلی شامل حسابداری مدیریت محیط‌زیست-پولی و حسابداری مدیریت محیط‌زیست-فیزیکی می‌باشد (Herzig و همکاران، ۲۰۰۶). به‌دلیل پیوستگی توسعه این چارچوب با افزایش اهمیت مسائل محیط‌زیست و تلقی آن به‌عنوان نگرانی اصلی برای کسب‌وکار در جامعه این چارچوب مبنای منطقی برای طبقه‌بندی ابزارهای زیست‌محیطی در حال استفاده مدیریت را فراهم نمود (جدول ۲).

جدول ۲- چارچوب جامع حسابداری مدیریت آب شرکت (Schaltegger و Burritt, ۲۰۰۰)

چارچوب حسابداری مدیریت آب (WMA)					
حسابداری مدیریت فیزیکی آبی		حسابداری مدیریت پولی آب			
بلندمدت	کوتاه‌مدت	بلندمدت	کوتاه‌مدت		
اطلاعات جمع‌آوری شده جریان عادی	۳- حسابداری جریان آب (گردآوری اطلاعات روزانه از جریان آب آبی، سبز و خاکستری در ارتباط با فرایندهای تولید، جهت شناسایی موارد مهم)	۲- حسابداری مخارج سرمایه‌ای آب (گردآوری داده‌ها در مورد هزینه سرمایه واقعی سالانه فناوری‌های کاهش آب)	۱- حسابداری هزینه جریان آب (ثبت درآمدها و هزینه‌های آب تحصیل شده و جرایم متحمل شده)		
	۷- ارزیابی پسا رخداد اثرات کوتاه‌مدت آب (گردآوری اطلاعات فراوان و با کیفیت توسط یک شرکت استخراج زغال سنگ در مورد یک سرریز از یک سد صدمه دیده)	۶- ارزیابی پسا رخداد از کاهش سرمایه‌گذاری‌های آب (ارزیابی موردی از صرفه‌جویی‌های هزینه کشاورزی برای سرمایه‌گذاری در سیستم آبیاری)	۵- ارزیابی پسا رخداد تصمیمات هزینه‌یابی آب کوتاه‌مدت (محاسبه هزینه آب و تصفیه پساب اختصاص یافته به تولید یک ماشین برقی جدید)	اطلاعات خاص برای	
اطلاعات جمع‌آوری شده در جریان عادی	۱۱- بودجه‌بندی فیزیکی آب (کاهش برنامه ریزی شده ماهانه در حجم آب تلف شده توسط یک شرکت حسابداری بزرگ، زمانیکه یک سیستم مدیریت محیطی معتبر معرفی می‌شود)	۱۰- برنامه‌ریزی مالی بلندمدت آب (پیش‌بینی منافع مالی آتی که باید از برنامه‌ریزی برای کاهش دائمی اثرات آب شرکت به‌دست آید)	۹- بودجه‌بندی عملیاتی پولی آب (سود خالص مورد انتظار هفتگی از معامله حقوق آب با یک تولیدکننده رنگ)	اطلاعات خاص برای	
	۱۵- بودجه‌بندی اثر آب (ملاحظه اثر بازیافت آب سبز به‌عنوان آب آبی در یک پروژه ساخت و ساز، بر کاهش مورد انتظار آب)	۱۴- ارزیابی سرمایه‌گذاری پولی پروژه آب (ارزیابی صرفه‌جویی‌های هزینه‌ای مورد انتظار از یک زنجیره بانکرداری تجاری سرمایه‌گذار در توالی فرنگی دارای دکمه درجه مصرف آب)	۱۳- هزینه‌یابی مناسب آب (محاسبه هزینه مستقیم و غیرمستقیم آب به‌عنوان یک آیتیم تک خطی افزوده شده توسط یک قصاب به قیمت گوشت سفارش داده شده توسط یک مشتری)	اطلاعات خاص برای	
۴- حسابداری تأثیر سرمایه آب (محاسبه شرکت نوشابه از اثرات سالانه آب در بخش پر کردن بطری در طول پنج سال گذشته)		۸- ارزیابی پسا رخداد از سنجش سرمایه‌گذاری فیزیکی آب (مروری بر مزایای فیزیکی حاصل از نصب پوشش‌های ذخیره آب به‌دلیل افزایش تبخیر ناشی از افزایش دما)			
۱۲- برنامه‌ریزی بلند مدت فیزیکی آب (پیش‌بینی ترکیب مورد انتظار از منابع آبی موجود برای یک منطقه ساحلی گردشگری در یک منطقه کم‌آب)		۱۶- ارزیابی سرمایه‌گذاری محیطی فیزیکی آب (محاسبه مجموع افزایش آب از سرمایه‌گذاری در تانکرهای بازیافت آب باران توسط تولیدکنندگان محصولات زیبایی ارگانیک)			

چارچوب Burritt و همکارانش (۲۰۱۲)، مبتنی بر موقعیت‌های مختلف تصمیم بود و تصمیم‌گیران مدیریت با اثرات زیست‌محیطی شرکت‌ها و تأثیر شرکت‌ها بر محیط‌زیست سروکار داشتند. درحالی‌که بسیاری از ابزارهای سنتی حسابداری مدیریت محیط‌زیست (حسابداری جریان مواد و انرژی) بر تصمیمات کوتاه‌مدت تمرکز داشتند، افزایش نگرانی در ارتباط با محیط‌زیست نشان‌دهنده نیاز به یکپارچه‌سازی یک مجموعه از ابزارهای حسابداری بود تا از تصمیمات بلندمدت (ارزیابی پولی سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی و ارزیابی فیزیکی سرمایه‌گذاری محیط‌زیست) حمایت کنند (Herzig و همکاران، ۲۰۰۶). Burritt و همکاران (۲۰۱۱) این چارچوب را توسعه و نشان دادند که چگونه می‌توان از آن جهت بررسی و رسیدگی به مسائل خاص محیط‌زیست از طریق بررسی مدیریت کربن در یک مجموعه از شرکت‌های آلمانی استفاده کرد. اگرچه تا به امروز ابزارهای حسابداری با هدف کمک به مدیریت به‌وجود آمده است، اما تلاش اندکی برای گنجاندن جدی مسائل خاص آب در درون حسابداری مدیریت محیط‌زیست صورت گرفته است (Christ، ۲۰۱۴). حسابداری مدیریت محیط‌زیست تا حد زیادی در طرح‌های مدیریت آب کلیدی رایج نادیده گرفته شده است و ابزارهای فعلی به‌خاطر داشتن "تمرکز تک بعدی و خارجی، گرایش به گذشته، ساده‌سازی بیش از حد مسائل پیچیده، عدم تأکید بر مدیریت آتی و فقدان اطلاعات پولی" مورد انتقاد قرار گرفته است. حسابداری مدیریت آب یک شاخه جدید از حسابداری مدیریت محیط‌زیست است که جهت پشتیبانی از تصمیمات مدیریت آب شرکت و بهبود هر دو پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی مرتبط با آن برای واحد تجاری طراحی شد (Christ، ۲۰۱۴). حسابداری مدیریت آب طرح کلی اولیه در مورد حسابداری مدیریت محیط‌زیست را با ارائه یک چارچوب جامع بسط می‌دهد که ابزارهای خاص حسابداری آب را همراه با چهار بعد تصمیم‌گیری به شرح زیرشناسایی می‌کند:

- ۱- نوع اطلاعات: آیا اطلاعات در درجه اول فیزیکی است یا ماهیتاً پولی است.
- ۲- چارچوب زمانی: آیا اطلاعات با اقدامات گذشته، حال یا آینده مرتبط است.
- ۳- طول چارچوب زمانی: آیا تمرکز این ابزار خاص بر تصمیم‌گیری کوتاه‌مدت یا بلندمدت است.
- ۴- روش گردآوری اطلاعات: آیا سیستم حسابداری عمومی اطلاعات مرتبط با ابزارهای حسابداری مدیریت آب را به‌صورت معمول و در جریان عادی برای مدیران فراهم می‌کند یا ابزارهای حسابداری خاص اطلاعات را بر حسب نیاز برای تصمیم‌گیرندگان خاص فراهم می‌کند.

چارچوب حسابداری مدیریت محیط‌زیست با هدف مرتبط ساختن ابزارهای حسابداری با چارچوب‌های تصمیم‌گیری (و نه توجه به جزئیات هر یک از ابزار منحصر به فرد) توسعه یافت. برای مثال، درحالی‌که روشن است که ارزیابی پولی سرمایه‌گذاری محیط‌زیست، داده‌های پولی، بلندمدت، آینده‌نگر و موردی را فراهم می‌کند، اما کاملاً مبهم است که آیا می‌توان این ابزار را با استفاده از تکنیک‌های مناسب همچون خالص ارزش فعلی، نرخ بازده حسابداری و تحلیل پرتفوی با فرض موازنه بین ریسک‌های مختلف از جمله ریسک‌ها و بازده‌های آب به‌کار گرفت یا نه.

با این حال حسابداری مدیریت آب تا حد زیادی به پشتیبانی حسابداری محیط‌زیست برای تصمیمات مدیریت در مورد پنج ریسک آبی واحد تجاری مربوط است که توسط انجمن جهانی کسب‌وکار برای توسعه پایدار-سازمان جهانی حفاظت از منابع طبیعی در سال (۲۰۱۲) شناسایی شدند. در دهه اخیر ابزارهای مدیریت شرکت با هدف افزایش آگاهی ذی‌نفعان خارجی نسبت به ریسک‌های مرتبط با کمبود آب و گاهی حمایت از تصمیم‌گیری بهتر توسط مدیران رشد یافته است که در جدول (۳) به آن اشاره شده است. انجمن جهانی تجارت برای توسعه پایدار-سازمان جهانی حفاظت از منابع طبیعی با استفاده از فرایند پنج مرحله‌ای به ترکیب و مرور هجده مورد از ابزارها و طرح‌های مدیریت آب پرداختند. جدول (۳) طرح‌های فعلی آب، تاریخ شروع، حوزه مورد نظر (شرکت یا مکان) و هدف (مدیریت داخلی یا گزارش‌دهی خارجی) از به‌کارگیری طرح را ارائه می‌کند. اگرچه تصمیمات مربوط به ریسک‌ها و فرصت‌های آب دارای ابعاد فیزیکی و پولی هستند اما ابعاد کوتاه‌مدت و بلندمدت شامل گردآوری داده‌های منظم و تک موردی هستند و به اطلاعات پیش‌گویانه در مورد آینده براساس گذشته برای اهداف مدیریت کاربردی نیاز دارند.

اکثر طرح‌های مرتبط با آب بسیار جدید هستند و در سال ۲۰۱۰ اجرایی شدند که منعکس‌کننده تحول در عقیده و تمایل گروه‌های مختلف به ترغیب شرکت‌ها (و سازمان‌های دیگر) جهت گنجاندن تفکر مرتبط با آب (در مورد هزینه‌های عرضه و تقاضای آب و فرصت‌ها) در استراتژی‌ها و رویه‌هایشان هستند. بسیاری از طرح‌ها در فرایند توسعه باقی مانده‌اند اما گزینش بهترین طرحی که بتواند هزینه‌های مجوزدهی، استانداردسازی و دستورالعمل‌ها در ارتباط با آب را به حداقل رساند یک ضرورت است. تنوع حوزه طرح‌ها منعکس‌کننده نگرانی‌های نوظهور در سطوح محصول و فرایند، حسابداری مکان و شرکت، زنجیره تأمین و حوضه‌های آبریز می‌باشد. این منعکس‌کننده نیازهای متنوع برای داده‌های مورد نیاز توسط تصمیم‌گیران مختلف می‌باشد (WBCSD-SIUCN، ۲۰۱۲).

جدول ۳- طرح‌های فعلی آب (WBCSD-SIUCN, ۲۰۱۲)

تاریخ شروع استاندارد (رهنمود)	حوزه	هدف	اطلاعات تصمیم‌سازی مدیریت محیط‌زیست			طرح حسابداری آب
			فیزیکی/ پولی	فعالیت‌های گذشته/حال/آینده	تمرکز کوتاه/ بلندمدت	
۲۰۰۹	سایت، حوزه آبخیز	خارجی	فیزیکی پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	اتحاد برای نظارت بر آب
۲۰۱۱	سایت، شرکت، زنجیره تأمین	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	بلندمدت	گروه کاری اثر آب میزگرد محیطی صنعت نوشیدنی ^۸
۲۰۰۹	شرکت	خارجی	فیزیکی پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت	برنامه آب پروژه افشای کربن ^۹
۲۰۱۱	شرکت	داخلی/ خارجی	فیزیکی/ پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	Ceres Aqua Gauge (چارچوبی برای ریسک آب در قرن ۲۱)
۲۰۱۶	شرکت	خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت	ابزار جستجوی افشای پایداری SEC (جانشین ابزار افشای ریسک آب Ceres، ۲۰۱۵ شد)
۲۰۱۱	سایت	خارجی/ داخلی	فیزیکی/ پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	استاندارد نظارت آب اروپا
۲۰۱۲	سایت	داخلی/ خارجی	فیزیکی پولی	گذشته تعاملی	کوتاه‌مدت	طرح مدیریت جهانی محیط‌زیست آب محلی
۲۰۰۲	شرکت	خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت	شاخص‌های عملکرد آب طرح گزارشگری جهانی
۲۰۱۴	محصولات، فرایندها، سازمان‌ها	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت بلندمدت	اثر آب ISO: الزامات و راهبردها
۲۰۱۴	شرکت	خارجی	فیزیکی	گذشته، تعاملی، برنامه‌ریزی شده	کوتاه‌مدت بلندمدت	مأموریت آب مدیر اجرایی سازمان ملل متحد
۲۰۰۹	شرکت بخش‌ها	داخلی/ خارجی	فیزیکی پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	طرح ارزیابی برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد: سری نقدینگی
۲۰۰۵	سایت	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت بلندمدت (برنامه‌ریزی)	حسابداری آب: یک چارچوب استرالیایی برای صنعت مواد معدنی
۲۰۰۹	محصولات، فرایندها، سازمان‌ها	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت بلندمدت	شبکه اثر آب
۲۰۱۱	محصولات، فرایندها، سازمان‌ها	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	کوتاه‌مدت بلندمدت	شاخص اثر آب
۲۰۱۴	شرکت	خارجی	فیزیکی پولی	گذشته آنلاین آینده	کوتاه‌مدت	فیلتر ریسک آب
۲۰۱۴	سایت حوزه آبخیز	خارجی	فیزیکی پولی	گذشته آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	نظارت آب استرالیا
۲۰۰۸	محصول، فرایندها، سازمان‌ها	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته	بلندمدت	ارزیابی مصرف آب در چرخه عمر
۲۰۱۱	سایت	داخلی/ خارجی	فیزیکی پولی	گذشته	کوتاه‌مدت بلندمدت	ابزار جهانی آب انجمن جهانی کسب‌وکار برای توسعه پایدار
۲۰۱۰	سایت	داخلی/ خارجی	فیزیکی	گذشته/تعاملی آینده	کوتاه‌مدت بلندمدت	اطلس ریسک آب موسسه منابع جهانی قنات ^{۱۰}

مخاطبان اصلی در ستون چهارم جدول (۳) ترکیبی از استفاده‌کنندگان خارجی گزارشات (شاخص‌های عملکرد آبی طرح گزارشگری جهانی^{۱۱}) و ترکیبی از تصمیم‌گیران داخلی و خارجی می‌باشند. لازم به ذکر است این طرح‌ها منحصراً بر تصمیم‌گیری داخلی تمرکز نمی‌کند و این امر منعکس‌کننده اهمیت ذی‌نفعان خارجی در مباحث فعلی حسابداری آب شرکت می‌باشد. تصمیمات مدیریت داخلی دارای نقش مکمل در بسیاری از طرح‌ها هستند و گزارش‌دهی در بسیاری از طرح‌ها محرک مدیریت داخلی در نظر گرفته می‌شود. در این رویکرد ذی‌نفع محوری به حسابداری مدیریت آب در برآوردن چشم‌انداز درون به بیرون برای تفکر در مورد آب که از طریق مدیریت داخلی اثربخش ارتقا داده می‌شود ناموفق است (Schaltegger و همکاران، ۲۰۱۵). باین‌حال این رویکرد با تقاضای Schaltegger و Burritt (۲۰۱۰) برای رویکرد دو طرفه عمل‌گرا مطابقت دارد که:

"درک وسیع در مورد شاخص‌های احتمالی پایداری شرکت را تشویق می‌کند؛ اما همچنان بر نیاز به گردآوری اطلاعات جهت کمک به پیاده‌سازی راه‌حل‌های جدید متمرکز است که در تغییر چارچوب‌های استراتژیک در این دوران پر نوسان مناسب هستند و به آگاهی بخشی در ارتباط با حرفه مدیریت کمک می‌کنند." بسیاری از طرح‌ها به سمت اطلاعات گزارش‌شده خارجی متمایل هستند درحالی‌که حسابداری مدیریت محیط‌زیست به حمایت اولیه از تصمیم‌گیری مدیریت یا گزارش‌دهی در جهت بهبود عملکرد از طریق تغییر رفتار درون شرکت‌ها تمایل دارد (Schaltegger و Burritt، ۲۰۱۰). این ابزارها را می‌توان با استفاده از ابعاد چارچوب حسابداری مدیریت محیط‌زیست دسته‌بندی کرد برخلاف اینکه یک ابزار دارای تمرکز خارجی است اما اطلاعاتی را به‌وجود می‌آورد که می‌توان از آن‌ها برای تصمیم‌گیری داخلی بهره گرفت. بهبود مدیریت آب از طریق تلاش‌های مدیریت داخلی پدید می‌آید و ممکن است شامل مشارکت با گروه‌های خارجی باشند. از اطلاعات حسابداری مدیریت محیط‌زیست می‌توان به‌عنوان یک منبع غنی جهت پشتیبانی از پاسخگویی به گروه‌های خارجی استفاده کرد لازم به ذکر است این اطلاعات تمرکز کلیدی بر ظرفیت و اقدام تطبیقی است و نه افشای اطلاعات (Pahl-Wostl و همکاران، ۲۰۱۱).

در مقابل با به‌کارگیری چارچوب حسابداری مدیریت محیط‌زیست بسیاری از طرح‌های آب منحصراً بر کسب داده‌های فیزیکی، مانند اثرات آب تمرکز می‌کنند (در اکثر موارد

هزینه‌ها، اما گاهی اوقات فرصت‌ها) و به ندرت بر مفاهیم اثربخشی اکولوژیک یا کارآیی اکولوژیک (شرکت یا بخش) که عملکرد زیست‌محیطی و پولی را گردآوری می‌نماید، تکیه می‌کنند (Park و Egilmez، ۲۰۱۴).

یک نگرش مهم باتوجه‌به توسعه سریع فناوری ارتباطات این است که چندین طرح حسابداری مدیریت آب در حال حاضر وجود دارد یا برنامه‌ریزی شده است که مبتنی بر افشای به‌هنگام و براساس هم‌کنشی (کاربر با کامپیوتر) یک‌طرفه (کاربر با ذی‌نفع خارجی) داده‌ها هستند. باین‌حال برخی طرح‌ها به تمرکز انحصاری بر گردآوری داده‌های گذشته ادامه می‌دهند (که به‌عنوان داده‌های جاری توصیف می‌شوند).

مسائل مربوط به پایداری آب باید جهت‌گیری بلندمدت داشته باشد (Burritt و Schaltegger، ۲۰۱۰) (ارزیابی مصرف آب در ارزیابی چرخه عمر) اما از دیدگاه تصمیم‌گیری بسیاری از طرح‌های موجود در ارتباط با آب یک رویکرد کوتاه‌مدت و دوره‌ای را نسبت به اطلاعات اتخاذ می‌کنند. به‌عنوان مثال، پاسخ‌دهندگان به پرسشنامه پروژه افشای کربن تصور می‌کنند ریسک آب موضوعی است که آن‌ها به اطلاعات کوتاه‌مدت در مورد آن نیاز دارند زیرا یک سوم آن‌ها اعتقاد دارند که اثرات منفی مرتبط با این ریسک در طول ۱۲ ماه آینده محقق می‌شوند (CDP، ۲۰۱۴). مدیران به یک واسطه یکپارچه بین تصمیمات در مورد مجموعه‌های کوتاه‌مدت که اقدامات پایداری از آن‌ها رخ می‌دهند و مجموعه‌های بلندمدت که در آن‌ها یکپارچگی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی پدید می‌آید، نیاز دارند. بنابراین تعداد زیادی از طرح‌ها که هر دو مجموعه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را در بر می‌گیرند به‌عنوان یک پیامد مثبت تلقی می‌شوند که توسط چارچوب حسابداری مدیریت محیط‌زیست تشویق می‌شوند.

در نهایت ابزارهایی همچون طرح مدیریت جهانی محیط‌زیست آب محلی^{۱۲} ایجاد شده است که می‌تواند در صورت نیاز از آن‌ها به روش موردی استفاده کرد درحالی‌که ابزارهای دیگر همچون استاندارد نظارت آب اروپا^{۱۳}، به گردآوری منظم و دوره‌ای داده‌ها در طول زمان نیاز دارند.

باتوجه‌به اهمیت فزاینده ریسک آب و تعدد طرح‌های آب که به سمت کسب‌وکار هدایت شده است رهنمودهای مختلفی را که حسابداری مدیریت آب برای مدیریت بهتر آب فراهم خواهد کرد بررسی می‌کنند.

در میان وظایف کسب‌وکار ممکن می‌سازد. کار تیمی در این رشته اهمیت خاصی دارد زیرا حسابداری آب مانند اکثر اشکال حسابداری محیط‌زیست ذاتاً فرا رشته‌ای است که این امر افراد دیگر در حوزه‌های مختلف کسب‌وکار را ملزم می‌سازد تا با یکدیگر همکاری کنند.

چارچوب حسابداری مدیریت آب امکان درک رابطه متقابل ابزارهای پیاده‌سازی شده در طول زمان و چگونگی قرارگیری آن‌ها در کنار یکدیگر را جهت بهبود مدیریت آب شرکت فراهم خواهد کرد.

بزرگترین مزایای مرتبط با توسعه و پذیرش چارچوب حسابداری مدیریت آب گنجانیدن اطلاعات پولی و قابلیت چارچوب برای برجسته نمودن و تشویق ترکیب عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی از طریق اندازه‌گیری و شاخص‌های اثربخش و سازگار با محیط‌زیست و کمبود آب می‌باشد. برخی از طرح‌های اخیر با تمرکز ویژه بر ابعاد فیزیکی آب اگرچه اهمیت بعد موفقیت اقتصادی را کاهش می‌دهند اما علاوه بر مدیریت بهتر آب در جستجوی افزایش فروش، صرفه‌جویی در هزینه، بهبود در وضعیت رقابتی، حاشیه‌های سود بالاتر، سودآوری و دوام بهتر و سرمایه‌گذاری‌های صحیح متفاوت هستند. نادیده گرفتن واقعیت‌های کسب‌وکار در غیاب وجود دستور و مقررات کنترل منجر به بهبود نتایج مرتبط با آب نخواهد شد. بنابراین چارچوب حسابداری مدیریت آب با پذیرش اقدام پایدار امکان نتایج برد-برد در ارتباط با آب را برجسته می‌سازد؛ که طرح‌های موجود آن را نادیده گرفته است (Christ و Burritt، ۲۰۱۷).

نکات مذکور نشان می‌دهند که حسابداری مدیریت آب به‌عنوان یک رشته فرعی از حسابداری مدیریت محیطی لازم و مهم است. به‌منظور تحقق ظرفیت کامل حسابداری مدیریت آب به تحقیقات بیشتری نیاز است که در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرد.

حسابداری مدیریت آب (که در این مقاله پیشنهاد شده است) با سایر رویکردهای حسابداری آب فعلی در این است که تمرکز صریحی بر ابعاد پولی مدیریت و مصرف آب دارد. در مقابل ابزارها و طرح‌های موجود مدیریت آب تا حد زیادی ابعاد پولی تصمیم‌گیری در سطح شرکت را نادیده می‌گیرند (روش رد پای (اثر) آب). باتوجه به اینکه ضرورت‌های اقتصادی انگیزه اصلی تصمیم‌گیری مدیران هستند بی‌توجهی به ابعاد پولی در طرح‌های فعلی مشکل آفرین است در نتیجه دامنه قابل توجهی برای توسعه ابزارهایی وجود دارد که شامل بعد پولی جهت حسابداری مدیریت آب هستند. بر این اساس مطالعات موردی تصمیمات مختلف از جمله ۱۶ زمینه مشخص شده در چارچوب توسعه یافته

هدف حسابداری مدیریت آب عبارت است از تهیه یک چارچوب جامع جهت پشتیبانی از تصمیمات مدیریت آب شرکت که به تدریج در حال کسب اهمیت فزاینده در جامعه است. در سال‌های اخیر آب اهمیت بیشتری در مقایسه با کربن در برنامه‌های کاری شرکتی و سیاسی یافته است. حسابداری مدیریت آب و چارچوب توسعه یافته مهم است زیرا آن‌ها بنیانی را برای قدرت مدیران آب فراهم می‌کنند تا تمرکز بر کاهش کربن شرکت را به‌نحوی متعادل سازند که اگربراساس پیش‌بینی کمبود رخ دهد به ضرر کسب‌وکار نباشد و انعطاف‌پذیری شرکت افزایش یابد (Fisk، ۲۰۰۲). حسابداری مدیریت آب می‌تواند آگاهی از ریسک و فرصت‌های آب را به‌عنوان مبنایی برای اقدام جهت کاهش ریسک مرتبط با آب و کسب فرصت‌ها افزایش دهد.

برای واحدهای تجاری مدیران و جامعه حسابداری آب شرکت از طریق اتخاذ چارچوب حسابداری مدیریت آب مزایای بسیاری به‌دست خواهد آمد که شامل یک مجموعه جامع از چارچوب‌های تصمیم مدیریت است و ابزارهایی برای تصمیم‌گیری مدیریت در آن قرار دارند. این چارچوب به شیوه‌ای منطقی به سازماندهی طرح‌های حسابداری آب می‌پردازد و برای مدیران سطوح بالاتر که با کمبود زمان مواجه‌اند و به اطلاعات اجمالی و با قابلیت درک آسان نیاز دارند، مورد توجه خواهد بود. علاوه بر آن این چارچوب به شیوه‌ای ابعاد تحلیل تصمیم داخلی در مورد طرح‌های مدیریت آب را سازماندهی می‌کند و تصمیمات شرکتی خاصی را که در عمل تحت تأثیر قرار دارند روشن می‌سازد. این چارچوب رهگیری جامع کاربران ابزارهای مختلف حسابداری آب را با تسهیل انتقال اطلاعات مناسب به مدیران و تشویق کار تیمی

تحقیقات آتی حسابداری مدیریت آب

باتوجه به رشد روز افزون ابزارهای مدیریت آب و طرح‌های توسعه یافته و توصیه شده برای پیاده‌سازی (جدول ۳) نیاز فزاینده‌ای برای تحقیقات ویژه جهت شناسایی ارزش افزوده هر یک از طرح‌های جدید برای تصمیم‌گیری و حذف احتمالی موازی‌کاری وجود دارد. علاوه بر این از تحقیقات مشابهی که قابلیت ابزارهای حسابداری مدیریت محیط‌زیست سنتی خاص و به‌کارگیری آن‌ها برای مدیریت آب را بررسی می‌کنند نیز استقبال خواهد شد.

یکی از تفاوت‌های حسابداری مدیریت محیط‌زیست یا

حسابداری مدیریت آب و تحقیقات سیستماتیک به منظور نشان دادن سهم حسابداری مدیریت آب-پولی در پیامدهای عملیاتی و سرمایه‌گذاری اثربخش و کارآمد آب به عنوان مثال در ارتباط با قیمت‌گذاری محصول، بازاریابی، کنترل بودجه‌ای و تصمیمات سرمایه‌گذاری، ضروری است (Christ و Burritt، ۲۰۱۷).

انجام مطالعاتی که شامل یک بنیان نظری مناسب مانند نظریه اقتضایی و جامعه‌شناسی نهادی جدید (Christ و Burritt، ۲۰۱۳) می‌باشد به بررسی اهمیت نسبی روابط بین مجموعه‌های مختلف از ابزارهای حسابداری مدیریت آب و ریسک‌های آبی مختلف در صنایع مختلف-مانند کشاورزی، معدن، تولید، خدمات و غیره-می‌پردازند که برای نشان دادن "چگونه مدیریت آب شرکت بهترین روش ممکن است" سودمند خواهد بود. یک تحقیق ویژه می‌تواند چگونگی این ابزارها و اطلاعات ارائه شده را که توسط آن‌ها به سایر مسائل زیست‌محیطی همچون پیوند آب-انرژی مرتبط هستند بررسی کند (Herzig و همکاران، ۲۰۰۶).

ادبیات جاری مدیریت آب در ارتباط با اشکال سنتی حسابداری محیط‌زیست یا شناسایی نقش‌های مختلف مدیران و نیازهای اطلاعاتی آن‌ها قدرتمند نیست. تحقیقات بعدی باید بررسی کنند که کدام مدیران به تأمین و کدام یک به استفاده از انواع مختلف داده‌های حسابداری مدیریت آب می‌پردازند، برداشت و استنباط آن‌ها از سودمندی داده‌ها چگونه است و چگونه داده‌های حسابداری مدیریت آب به یکپارچه‌سازی تخصص‌ها در جهت مدیریت اثربخش، کارآمد، کافی و سازگار آب کمک می‌کنند. به عنوان مثال بررسی حسابداری مدیریت آب (جدول ۲) بیشترین استفاده را برای مدیریت جهت بهبود عملکرد، ارتباطات، برنامه‌ریزی و کنترل، انگیزش، هماهنگ‌سازی فعالیت‌ها و غیره دارد و بهترین داده‌های حسابداری مدیریت آب به پشتیبانی از سرمایه‌گذاری در بهبود موجودی‌ها و جریان‌های آب در شرایط خشکسالی، سیل، تغییر اقلیم و غیره کمک می‌کنند.

موارد بررسی شده نشان می‌دهند در رابطه با اهمیت نسبی مصرف غیرمستقیم آب و ایجاد پساب در زنجیره‌های تأمین به خصوص از طریق آب مجازی تحقیقاتی صورت گیرد و اهمیت ترکیب حسابداری مدیریت آب را با تأمین کنندگان و خریداران نشان دهد.

علاوه بر زمینه‌های تحقیق ذکر شده که ممکن است در بررسی اولیه حسابداری مدیریت آب و پتانسیل آن برای عمل مناسب باشند گزینه‌های بسیاری وجود دارند که می‌توان آن‌ها را به شرح ذیل خلاصه کرد (Christ و Burritt، ۲۰۱۷):

مطالعات موردی: ادبیات نشان می‌دهد مثال‌های اندکی در مورد استفاده از ابزار حسابداری مدیریت آب وجود دارد و انتشار بهترین مطالعات موردی در مورد تجربه کشورهایی که پیاده‌سازی ابزارهای حسابداری مدیریت آب را آغاز کرده‌اند سودمند خواهد بود. ارزش ویژه چنین مطالعاتی به ابعاد مکانی مدیریت آب و ریسک‌های مرتبط با آب و حسابداری آب مرتبط است. همچنین گردآوری داده‌های کیفی در مورد مزایا و پیچیدگی‌های حسابداری مدیریت آب شرکتی در صنایع، بخش‌ها، فرهنگ‌ها، سیستم‌های سیاسی، چارچوب‌های قانونی، حوزه‌های جغرافیایی، سازماندهی‌های زنجیره تأمین و سطوح توسعه اقتصادی ضرورت دارد.

مطالعات الگوبرداری: مطالعات تطبیقی بین شرکت‌هایی که حسابداری مدیریت آب را در صنایع مختلف مورد توجه قرار می‌دهند مشروط به اندازه‌گیری، هدف‌گذاری، الگوبرداری و کنترل بودجه‌ای ارزشمند است. این مطالعات قادر خواهند بود نشان دهند شرکت‌هایی که دچار بحران آب می‌شوند چه اقداماتی را انجام می‌دهند و از انجام چه اقداماتی ممانعت می‌کنند و چگونه این بحران می‌تواند بر بخش‌های مختلف کسب‌وکار آن‌ها تأثیر گذارد.

مطالعات پایگاه داده بزرگ: باتوجه به اینکه ابزارهای حسابداری مدیریت آب در مراحل اولیه توسعه قرار دارد ادبیات مطالعه شده شواهد نظام‌مند بسیار اندکی را در مورد موفقیت یا شکست ابزارهای خاص تصمیم حسابداری مدیریت آب ارائه می‌کند (Herzig و همکاران، ۲۰۰۶). به عنوان یک گام اولیه تحقیق، بررسی استفاده حسابداری مدیریت آب در ارتباط با این ابزارها در صنایع مختلف با هدف شناسایی متغیرهای احتمالی که به پیاده‌سازی موفق و بهبود در مدیریت آب کمک می‌کنند، سازنده خواهد بود. حوزه‌های تحقیق بالقوه که در بالا فهرست شدند به هیچ‌وجه جامع نیستند و صرفاً یک نقطه شروع را برای محققان علاقمند به بررسی رابطه بین ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی مدیریت آب توسط کسب‌وکار نشان می‌دهند.

آب گامی به سمت ایجاد پیوند بین کسب‌وکار و مسائل مدیریت آب است. یک مجموعه از پرسش‌های تحقیق در رابطه با چگونگی حسابداری مدیریت آب و به‌کار گرفتن این چارچوب در عمل مطرح می‌شود. با این حال یک محدودیت این چارچوب آن است که هنوز مطالعات ویژه به‌منظور آشکار ساختن ماهیت پویا و نوآورانه کاربردهای حسابداری مدیریت آب شرکت مورد نیاز هستند. امید است که این مقاله بتواند محققان دیگر را تشویق کند تا به این حوزه که اهمیت فزاینده جهانی برای کسب‌وکار و جامعه دارد، توجه کنند.

پی‌نوشت

- 1- Environmental management Accounting (EMA)
- 2- Water Management Accounting (WMA)
- 3- World Economic Forum
- 4- ad hoc
- 5- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)
- 6- Sustainability and International Union for Conservation of Nature (SIUCN)
- 7- Water footprint
- 8- Beverage Industry Environmental Roundtable
- 9- Carbon Disclosure Project (CDP) Water Program
- 10- World Resources Institute's Aqueduct
- 11- Global Reporting Initiative (GRI)
- 12- Global Environmental Management Initiative Local Water Tool™
- 13- European Water Stewardship Standard

Carbon Disclosure Project, London.

CDP. Accelerating action, CDP Global Water Report.

2015. Carbon Disclosure Project, London.

Chapagain A.K. and Tickner D. 2012. Water footprint: Help or hindrance? Water Alternatives, 5(3):563-581.

Christ K.L. and Burritt R.L. 2013. Environmental management accounting: the significance of contingent variables for adoption. Journal of Cleaner Production, 41:163-173.

Christ K.L. 2014. Water management accounting and the wine supply chain: Empirical evidence

هدف این مقاله بررسی رابطه بین حسابداری و مدیریت آب شرکت باتوجه‌به رشد بحران آب و فقدان داده‌های مربوط و در دسترس مناسب است که مدیران شرکت بتوانند تصمیمات مختلف خود را بر آن‌ها استوار سازند. شواهد بررسی شده تایید می‌کنند که نقش حسابداری مدیریت محیط‌زیست در مدیریت آب شرکت تا حد زیادی نادیده گرفته شده است و تاکید بر گزارش‌دهی خارجی بوده است. رویکردهای فعلی حسابداری آب شرکت گیج‌کننده هستند و ایجاد تمایز در چگونگی تکنیک‌های موجود متفاوت بوده یا تعیین ابزارهایی که در شرایط مختلف مناسب‌ترین هستند دشوار است. باتوجه‌به این موارد و اتکا بر تحقیقات پیشین در مورد حسابداری مدیریت آب یک چارچوب حسابداری مدیریت آب شرکتی جامع جدید با تاکید بر داده‌های لازم برای ابزارهای مختلف در چارچوب تصمیم‌های مختلف توسعه یافت. این چارچوب به مدیریت در ارزیابی مجموعه طرح‌های مدیریت آب در حال ظهور و ابزارهایی در چارچوب ارزش آب برای کسب‌وکار به‌خصوص از طریق معیارهای کارایی و اثربخشی اقتصادی آب کمک می‌کند. این چارچوب نشان می‌دهد که اگر مدیریت آب شرکت بهبود یابد مدیران نیز به اطلاعات پولی مفصل و همچنین ابزارهای توسعه یافته به‌منظور تهیه داده‌ها در مورد جریان‌های فیزیکی آب نیاز خواهند داشت. گردآوری داده‌ها مطابق با این چارچوب به افزایش آگاهی از ابزارهای حسابداری مدیریت آب موجود که ممکن است برای مدیریت آب به‌کار روند کمک خواهد کرد و با تمرکز بیشتر بر اطلاعات پولی مبنایی را برای تصمیمات کسب‌وکار بهتر در مورد آب فراهم می‌کنند (Christ و Burritt, ۲۰۱۷). حسابداری مدیریت

منابع

حجازی، ر. و اسماعیلی‌کیا، غ. ۱۳۹۲. سیستم‌های حسابداری آب، مجله پژوهش حسابداری، ۳(۴): ۲۷-۴۴.

ابوالحسنی، ل. و خلیلی، ا. ۱۳۹۵. بررسی روش‌های اجرای حسابداری آب، معرفی و اجرای کارآمدترین روش. نشریه آب و توسعه پایدار، ۳(۱): ۹-۲۲.

Burritt R.L. and Schaltegger S. 2010. Sustainability accounting and reporting: fad or trend? Journal of Accounting, Auditing & Accountability, 23(7):829-846.

Carbon Disclosure Project (CDP). 2014. From Water Risk to Value Creation. CDP Global Water Report,

- digm: progressing from aspiration to practice. *Water Resources Management*, 25(3): 837-856.
- Schaltegger S. and Burritt R.L. 2000. *Contemporary Environmental Accounting – Issues, Concepts and Practice*, Greenleaf Publishing, Sheffield, UK.
- Schaltegger S. and Burritt R.L. 2010. Sustainability accounting for companies: Catchphrase or decision support for business leaders? *Journal of World Business*, 45(4): 375-384.
- Schaltegger S., Burritt R., Zvezdov D., Hörisch J. and Tingey-Holyoak J. 2015. Management Roles and Sustainability Information. Exploring corporate practices. *Australian Accounting Review*, 25(4): 328-345.
- Schornagel J., Niele F., Worrell E., and Böggemann M. 2012. Water accounting for (agro) industrial operations and its application to energy pathways. *Resources, Conservation and Recycling*, 61: 1-15.
- Signori S. and Bodino G.A. 2013. Water Management and Accounting: Remarks and New Insights from an Accountability Perspective. *Studies in Managerial and Financial Accounting*, 26: 115-161.
- World Business Council for Sustainable Development and Sustainability and International Union for Conservation of Nature (WBCSD-SIUCN). 2012. *Water for Business, Initiative guiding sustainable water management in the private sector*, Version 3. WBCSD, Geneva.
- World Economic Forum. 2017. *The Global Risks Report 2016*. 12th Edition, World Economic Forum, Geneva, Switzerland.
- from Australia. *The British Accounting Review*, 46(4):379-396.
- Christ K.L. and Burritt R.L. 2017. Water management accounting: A framework for corporate practice. *Journal of Cleaner Production*, 152: 379-386.
- Egilmez G. and Park Y.S. 2014. Transportation related carbon, energy and water footprint analysis of US manufacturing: An eco-efficiency assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32:143-159.
- Fisk J.E. 2002. Judgments under uncertainty: Representativeness or potential surprise? *British Journal of Psychology*, 93(4): 431-449.
- Gibassier D. and Schaltegger S. 2015. 'Carbon management accounting and reporting in practice: A case study on converging emergent approaches. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 6(3): 340-365.
- Herzig C., Viere T., Burritt R. and Schaltegger S. 2006. Understanding and supporting management decision-making. South East Asian case studies on environmental management accounting. In *Sustainability accounting and reporting*. Springer, Dordrecht.
- Hoekstra A.Y. 2014. Water scarcity challenges to business. *Nature climate change*, 4(5): 318-320.
- Morrison J., Schulte P. and Schenck R. 2010. *Corporate Water Accounting: An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts*. Pacific Institute, Oakland, California.
- Pahl-Wostl C., Jeffrey P. Isendahl N. and Brugnach M. 2011. *Maturing the new water management para-*

Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management

Translated by: M. Rahmani

PhD candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Email: mahsarahmani39@gmail.com

Received: 01-01-2018

Accepted: 14-09-2018

ارزیابی پایداری با استفاده از شاخص‌ها برای مدیریت یکپارچه منابع آب

ترجمه: مهسارحمانی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

E-Mail: mahsarahmani39@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۳

Abstract

The scientific community strongly recommends the adoption of indicators for the evaluation and monitoring of progress towards sustainable development. Furthermore, international organizations consider that indicators are powerful decision-making tools. Nevertheless, the quality and reliability of the indicators depends on the application of adequate and appropriate criteria to assess them. The general objective of this study was to evaluate how indicators related to water use and management perform against a set of sustainability criteria. Our research identified 170 indicators related to water use and management. These indicators were assessed by an international panel of experts that evaluated whether they fulfil the four sustainability criteria: social, economic, environmental, and institutional. We employed an evaluation matrix that classified all indicators according to the DPSIR (Driving Forces, Pressures, States, Impacts and Responses) framework. A pilot study served to test and approve the research methodology before carrying out the full implementation. The findings of the study show that 24 indicators comply with the majority of the sustainability criteria; 59 indicators are bi-dimensional (meaning that they comply with two sustainability criteria); 86 are one-dimensional indicators (fulfilling just one of the four sustainability criteria) and one indicator do not fulfil any of the sustainability criteria.

Keywords: Criteria, Water use, Socio-economic, Decision-making, IWRM.

چکیده

استفاده از شاخص‌ها برای ارزیابی و پایش پیشرفت در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار توسط محققین زیادی پیشنهاد شده است. علاوه بر این، سازمان‌های بین‌المللی معتقدند که شاخص‌ها، ابزاری قدرتمند در تصمیم‌گیری‌ها هستند. با این وجود، کیفیت و قابلیت اطمینان شاخص‌ها بستگی به کاربرد معیارهای کافی و مناسب برای ارزیابی آنها دارد. هدف کلی از این مطالعه، ارزیابی نحوه عملکرد شاخص‌های مرتبط با مصرف و مدیریت آب در برابر مجموعه‌ای از معیارهای پایداری است. در این تحقیق تعداد ۱۷۰ شاخص مربوط به استفاده و مدیریت از آب، شناسایی شده و یک ماتریس ارزیابی که تمام شاخص‌ها را طبق چارچوب DPSIR (نیروهای محرکه، فشار، وضعیت، اثرات و پاسخ‌ها) تحلیل می‌کند، بکار گرفته شد و یک هیئت بین‌المللی از کارشناسان، پایداری شاخص‌ها را از نظر معیارهای اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی ارزیابی نمودند. همچنین یک مطالعه موردی برای آزمایش و تأیید روش کار قبل از اجرای کامل تحقیق انجام شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که از کل شاخص‌های مورد بررسی، ۲۴ شاخص با اکثر معیارهای پایداری (مطابق با سه یا چهار معیار پایداری) تطابق داشته، ۵۹ شاخص دو بعدی (مطابق با دو معیار پایداری)، ۸۶ شاخص یک بعدی (تنها مطابق با یک معیار پایداری) بوده و یک شاخص با هیچ یک از معیارهای پایداری مطابقت ندارد.

واژه‌های کلیدی: معیار، مصرف آب، اجتماعی و اقتصادی، تصمیم‌گیری، IWRM.

ترجمه و تلخیص از:

Pires A., Morato J., Peixoto H., Botero V., Zuluaga L. and Figueroa A. 2016. Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management. Science of the Total Environment, 578: 139-147.

Pires و Fidélis، ۲۰۱۵)، چارچوب سیاسی (Girois و Blanchet، ۲۰۱۲) و مدیریت (Taugourdeau و همکاران، ۲۰۱۴) به کار برد. تعدادی از محققان (Juwana و همکاران، ۲۰۱۲)، (Spangenberg، ۲۰۰۸) و (Stankey و McCool، ۲۰۰۴) بیان می‌کنند که افزایش مفاهیم توسعه پایدار و نگرانی‌های زیست‌محیطی، منجر به استفاده گسترده از شاخص‌ها توسط طیف وسیعی از کاربران در زمینه‌های مختلف شده است. به طور کلی عملکرد اصلی شاخص‌ها، ارزیابی شرایط و روندها در طول زمان، مقایسه مکان‌ها و موقعیت‌ها، کمک به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه، ارزیابی شرایط و روند مرتبط با اهداف، ارائه‌ی اولیه اطلاعات هشدار، پیش‌بینی شرایط و روندهای آینده می‌باشد. تاکنون، هیچ تحلیل جامعی در مورد تعداد دقیق شاخص‌های مرتبط با توسعه پایدار، محیط‌زیست یا منابع آب یافت نشده است، اما نویسندگان مختلف به انواع شاخص‌ها در تحقیقاتشان به صورت موردی اشاره نموده‌اند (Hak و همکاران، ۲۰۱۲). برنامه ارزیابی آب سازمان ملل متحد (WWAP، ۲۰۱۲) اظهار می‌کند که یک آرایش بسیار وسیع از شاخص‌ها برای پایش وضعیت، کاربرد و مدیریت منابع آب برای طیف وسیعی از اهداف توسعه یافته است. ارتباط شاخص‌ها با فرآیند تصمیم‌گیری، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آنها در رابطه با سایر اشکال اطلاعات است و شاخص‌ها می‌توانند ابزاری قدرتمند در تصمیم‌گیری‌ها باشند (Nicholson، ۲۰۱۲). بنابراین، شاخص‌ها باید ویژگی‌هایی را که توسط تصمیم‌گیرندگان مورد توجه هستند، و نه لزوماً توسط مخاطبان خاص، نشان دهند (Klug و Kmoch، ۲۰۱۴). همچنین شاخص‌های توسعه یافته باید با اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه (کمی و کیفی) اطلاعات را به شیوه‌ای آسان و قابل درک انتقال دهند (Kurka و Blackwood، ۲۰۱۳).

آب، بدون آسیب رساندن به پایداری اکوسیستم است. Hooper (۲۰۰۶) در مورد مدیریت یکپارچه منابع آب توضیحات بیشتری می‌دهد و آن را "بخش متقابل همکاری و مدیریت تطبیقی به جای یک بخش تکی، مدیریت خطی و برنامه‌ریزی منابع زمین و آب بیان می‌کند". یکی از اصول IWRM، ایجاد ارتباط بین چندین جنبه است: به عنوان مثال بالادست و پایین‌دست حوضه آبریز، کیفیت و کمیت منابع آب، نیازهای اقتصادی و زیست‌محیطی، تصمیمات فنی، سیاسی و غیره (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از موضوعات مهم و کلیدی در برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب نیاز به مشارکت گرداران از گروه‌های مختلف (طراحان، سیاست‌گذاران، مدیران، محققان و عموم مردم) است (UN، ۱۹۹۲). برای ترویج شرکت کافی در مدیریت یکپارچه منابع آب از گروه‌های متفاوت باید ابزارها، برای ارتباط مؤثر آنها گسترش یابد. Dahl (۲۰۱۲) جامعه علمی را برای یافتن شاخص‌های بیشتر

در مدیریت پایدار منابع آب، شاخص‌ها راه مؤثر و ساده‌ای را برای مرتبط کردن اطلاعات با مراحل مختلف حرکت به سوی هدف فراهم می‌کنند. به بیانی ساده، شاخص را می‌توان سنج‌ای دانست که وضعیت یک سیستم را منعکس می‌کند. برای نمونه، وضع یک سیستم (مثلاً اجتماع محلی، اقتصاد، محیط‌زیست، حوضه آبریز) را آشکار می‌کند، که آیا به جلو پیش می‌رود یا رو به عقب؟ رو به افزایش است یا رو به کاهش؟ رو به بهبود است یا رو به تنزل، یا به همان وضع باقی است؟

استفاده از شاخص‌های مصرف و مدیریت آب بدون شک می‌تواند به تخصیص بهتر منابع محدود آب کمک کند (Lee و Kang، ۲۰۱۱). همچنین شاخص‌ها می‌توانند به ساده‌سازی اطلاعات در مورد مدیریت یکپارچه منابع آب و ایجاد ارتباط مؤثر بین گروه‌های مختلف در زمینه آب کمک نمایند (WWAP، ۲۰۰۳). با این وجود، برای فرمول‌بندی آنها، نباید تنها به عنوان یک مسئله فنی در نظر گرفته شوند، بلکه باید شامل ابعاد محیط‌زیستی، اجتماعی، نهادی و اقتصادی مربوط به پایداری نیز باشند (Spangenberg، ۲۰۰۴). شاخص‌ها را می‌توان برای عناصر طبیعی مانند محیط‌زیست (Zhang، ۲۰۱۵)، اکوسیستم‌ها (Fu و همکاران، ۲۰۱۵)، مدیریت جنگل (Gossner و همکاران، ۲۰۱۴)، مدیریت آب (Lobato و همکاران، ۲۰۱۵؛ Perez و همکاران، ۲۰۱۴) و زمین (Zhao و همکاران، ۲۰۱۳؛ Rosén و همکاران، ۲۰۱۵) و همچنین موارد مربوط به مسائل اجتماعی و اقتصادی سازمانی مربوط به منابع آب، یعنی ارزش اقتصادی آب (Hellegers و همکاران، ۲۰۱۰)، سیستم‌های آب شهری (Spiller، ۲۰۱۶)، دولت (Norman و همکاران، ۲۰۱۳؛

مدیریت یکپارچه منابع آب، توسعه پایدار و شاخص‌ها

شاخص‌هایی که برای بیان نگرانی‌های کلیدی مدیران آب انتخاب شده‌اند، اطلاعات مهمی را برای حکمرانی آب ارائه می‌دهند. حکمرانی آب مجموعه‌ای از سیستم‌های سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و اداری است که مدیریت یکپارچه منابع آب را امکان‌پذیر می‌سازد (Hooper، ۲۰۰۶). مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) یک دید از توسعه پایدار و بکارگیری آن برای بخش آب را نشان می‌دهد. این مفهوم در اواخر دهه ۱۹۸۰ آشکار شد و در واقع یک مفهوم شامل اصول چندگانه‌ای است که هدف آن مدیریت منابع آب به صورت یکپارچه می‌باشد (Benson و همکاران، ۲۰۱۴). تعریف WWAP (۲۰۰۳) از مدیریت یکپارچه منابع آب، رویکردی جامع است که هدف آن، به حداکثر رساندن مزایای اقتصادی و رفاه اجتماعی استفاده از

جهت پایش پیشرفت در پایداری تشویق کرد و در مقاله خود نشان داد که شاخص‌های در دسترس عمدتاً برای رسیدن به پایداری و در سنجش روندهای ناپایدار می‌توانند توسط اقدامات مدیریتی مورد استفاده قرارگیرند، اما شرایط لازم برای حصول اطمینان از رسیدن به پایداری را ندارند. این محدودیت همچنین در مورد پایداری منابع آب نیز صادق است (Mays, 2006). علیرغم مقالات مختلف و تحقیقات در این زمینه، تاکنون هیچ فهرست جامعی از شاخص‌های موجود برای ارزیابی پایداری مصرف و مدیریت آب یافت نمی‌شود. مطالعه حاضر، مجموعه‌ای از ۱۷۰ شاخص مربوط به مصرف و مدیریت آب ارائه شده توسط موسسات بین‌المللی و جامعه علمی را مشخص

روش‌شناسی

این مطالعه به بررسی شاخص‌های مدیریت پایدار منابع آب می‌پردازد. برای انجام این بررسی، در ابتدا مرور گسترده‌ای بر شاخص‌های مرسوم در مدیریت آب در دنیا از طریق جستجوهای الکترونیکی از وبگاه‌های مختلف انجام شد. سپس ماتریس ارزیابی با هدف شناسایی و توصیف شاخص‌ها براساس چارچوب DPSIR تعریف گردید. یک مطالعه آزمایشی برای تست و تأیید روش تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها قبل از اجرای کامل، انجام شد. یک هیئت بین‌المللی از کارشناسان، ارزیابی شاخص‌ها براساس معیارهای پایداری را انجام دادند. در نهایت طبقه‌بندی شاخص‌ها براساس معیارهای پایداری شامل معیارهای اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی و مدیریت پایدار آب به چهار دسته‌ی شاخص‌های پایداری، شاخص‌های دویعدی، شاخص‌های یک بعدی و شاخص‌های بدون ارتباط با معیار پایداری انجام شد. آنهایی که اکثریت معیارهای اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی را برآورده نمودند، به عنوان شاخص‌هایی مناسب برای اندازه‌گیری پایداری مصرف و مدیریت آب انتخاب گردیدند.

۱- شناسایی شاخص‌ها

به منظور شناسایی مجموعه اولیه شاخص‌ها برای شرکت در این مطالعه، چندین جستجوی الکترونیکی از وبگاه‌های مجلات و سازمان‌ها و نیز پایگاه‌های داده و موتورهای جستجوی دانشگاهی، انجام شد و در مجموع ۵۴ منبع بررسی شد، از جمله آنها نشریات موسسات بین‌المللی مشهور و قابل اعتماد در شاخص‌ها، منابع آب و یا پایداری مانند FAO (2003)، GWP (2006)، IISD (1999)، OECD (2004)، UN (2009)، WHO و UNICEF (2010)، World Bank (2007)، WRI (1998) و WWAP (2009). در این مطالعه همچنین مقالات مرتبط

و توصیف می‌کند. این تحقیق تاکنون در هیچ مجله علمی دیگری چاپ نشده و شامل لیست گسترده‌ای از شاخص‌های مربوط به مصرف و مدیریت آب می‌باشد. لازم به ذکر است که مطالعات قبلی در مورد اینکه شاخص‌های منابع آب اجزای اصلی پایداری را برآورده می‌کنند یا خیر، بررسی نشده‌اند و مجموعه‌ای محدود از شاخص‌ها را تجزیه و تحلیل نموده‌اند (Juwana و همکاران، 2012؛ Kang و Lee، 2011؛ Perez و همکاران، 2014؛ Spiller، 2016). در این مقاله سعی بر این است که شکاف‌های موجود برای ارزیابی شاخص‌ها حل شده و ارزیابی ۱۷۰ شاخص مربوط به مصرف و مدیریت آب توسط معیارهای پایداری صورت گیرد.

علمی بررسی شده مربوط به موضوع، از جمله Llamas و Hoekstra (2008)، Bradfor (2008)، Ding (2010)، و همکاران (2010)، Lawrence و همکاران (2002)، Maneta و همکاران (2009)، Milman و Short (2008)، Scudder (2005)، Sullivan و Huntingford (2009) و Vörösmarty (2005) و انتشارات رسمی دولت‌های کلیدی نیز از جمله برزیل (MMA، 2006)، اسپانیا (OSE، 2008)، کاتالونیا (De Felipe و همکاران، 2008)، اتحادیه اروپا (Eurostat، 2009) بررسی شده است.

شاخص‌های مورد توجه این مطالعه مربوط به مصرف و مدیریت آب از منظر چرخه آب یکپارچه گرفته شده است، اما محدود به آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، آب باران و آب تصفیه شده نمی‌شود. مقیاس جغرافیایی این مطالعه، حوضه رودخانه بوده و با این وجود شاخص‌های شناسایی شده در اینجا به این مقیاس محدود نمی‌شوند. شاخص‌های تعیین شده توسط این مطالعه، دارای یک یا چند مورد از جنبه‌های زیر می‌باشند:

شاخص‌هایی که میزان مصرف آب را اندازه‌گیری می‌کنند: مانند شاخص‌های مربوط به مصارف (کشاورزی، صنعتی و خانگی).

شاخص‌هایی که سایر مصارف آب را اندازه‌گیری می‌کنند: مانند مصارف آب برای تفریح، حمل و نقل، آلودگی‌ها و استفاده‌های مذهبی و فرهنگی از آب.

شاخص‌هایی که مربوط به نقش محیط‌زیستی منابع آب هستند: به عنوان مثال حفاظت از زندگی آبزیان، تنوع زیستی و حفاظت از تالاب‌ها، کیفیت آب و حفاظت از منابع طبیعی.

شاخص‌هایی که مربوط به حکمرانی آب هستند: مانند قوانین، ایجاد ظرفیت نهادی، مشارکت آب‌بران، آموزش زیست‌محیطی، تولید و مدیریت دانش، اقتصاد آب، فرهنگ آب و غیره.

شاخص‌هایی که شرایط هیدرولوژیکی را شرح می‌دهند: مانند بارش، تبخیر و تعرق، جریان آب، رطوبت خاک، وضعیت هیدرولوژیکی و غیره که برای برنامه‌ریزی و کارایی مصرف آب ضروری است.

۲- ساخت ماتریس ارزیابی

ماتریس ارزیابی یک ابزار مفید برای سازماندهی اطلاعات پیچیده در ارزیابی است (Sheppard و Meitne، ۲۰۰۵). در این مطالعه ماتریس ارزیابی با هدف سازماندهی اطلاعات شناسایی شده شاخص‌ها و به عنوان یک ابزار ارزیابی معیار پایداری ایجاد شده است. شاخص‌ها به طور منظم در زمینه‌های مختلف از جمله پایداری (Graymore و همکاران، ۲۰۰۸) و محیط‌زیست (Canter، ۱۹۹۹) در نظر گرفته شده‌اند. ماتریس ارزیابی، اطلاعات اساسی در مورد هر شاخص شامل نام و توضیحات مختصر، موقعیت تحت چارچوب DPSIR را ارائه می‌نماید. لازم به ذکر است که برخی از منابع اصلی، نام شاخص را ارائه داده‌اند، اما تعریف آن را ارائه نکرده‌اند. این در مورد چندین شاخص که توسط برنامه ارزیابی آب جهانی سازمان ملل ارائه شده است، صدق می‌کند (WWAP، ۲۰۰۳). در صورت نیاز، توصیف خلاصه‌ای از این شاخص‌ها برای مطالعه بیشتر پیشنهاد می‌شود. این ماتریس با هدف ارائه اطلاعات کافی به اعضای گروه کارشناسان برای ارزیابی شاخص‌ها بر اساس یک توضیح واقعی به منظور کاهش ابهام و سوء تفاهم می‌باشد.

۳- طبقه‌بندی تحت چارچوب DPSIR

در قدم بعدی این مطالعه، شاخص‌ها بایستی طبق چارچوب DPSIR طبقه‌بندی شوند. تعدادی از محققان چنین استدلال می‌کنند که شاخص‌ها اگر در یک چارچوب منسجم و نه جداگانه، سازماندهی شوند، می‌توانند به عنوان یک مجموعه ساده از عناصر مفید باشند (Constantino و همکاران، ۲۰۰۴؛ Mendoza و Prabhu، ۲۰۰۳؛ Niemeijer و de Groot، ۲۰۰۸؛ Niemi و McDonald، ۲۰۰۴؛ Wolfslehner و Vacik، ۲۰۱۱). تعیین یک چارچوب به ویژه در مورد شاخص‌های مربوط به توسعه پایدار که شامل بسیاری از موضوعات و ابعاد هستند، مهم است (IISD، ۲۰۰۸؛ WWAP، ۲۰۰۶).

طبقه‌بندی شاخص‌ها تحت این چارچوب در اصل براساس تعریف منبع اصلی ارائه شاخص است. در مواردی که این اطلاعات در دسترس نبود، نویسندگان این شاخص را تجزیه و تحلیل نموده و طبقه‌بندی پیشنهاد کردند. EEA (۱۹۹۹) در چارچوب DPSIR طبقه‌بندی هر شاخص را تعریف نموده و WWAP (۲۰۰۶) سازگاری آنها با بخش منابع آب را براساس مطالعات Constantino و همکاران (۲۰۰۴) انجام داد (جدول ۱).

جدول ۱- تحلیل شاخص‌ها با استفاده از تعاریف EEA (DPSIR، ۱۹۹۹؛ WWAP، ۲۰۰۶؛ Constantino و همکاران، ۲۰۰۴)

شاخص‌ها	تعریف اصلی توسط EEA (۱۹۹۹)	توافق WWAP (۲۰۰۶) با بخش منابع آب
شاخص نیروهای محرک	تحولات اجتماعی، جمعیت شناختی و اقتصادی در جوامع و تغییرات مربوط به سبک‌های زندگی، سطح کلی مصرف و الگوهای تولید را شرح می‌دهند. این نیروهای محرک محیط‌زیست را تحت فشار قرار می‌دهند.	روند اصلی، عوامل اساسی و ریشه عوامل مؤثر بر توسعه جامعه، اقتصاد و شرایط محیطی را توضیح می‌دهند.
شاخص‌های فشار	عوامل فیزیکی و بیولوژیکی، استفاده از منابع و استفاده از زمین را توصیف می‌کنند. فشارها توسط جامعه تحت تأثیر تغییرات شرایط محیطی در فرآیندهای مختلف طبیعی تحول می‌یابند.	فعالیت‌های انسانی که به طور مستقیم بر تامین منابع آب تأثیر می‌گذارد، کمیت یا کیفیت یا استفاده از آب؛ عوامل تنش فوری یا علل تقریبی
شاخص‌های وضعیت	توصیف کمیت و کیفیت پدیده‌های فیزیکی (مانند دما)، پدیده‌های بیولوژیکی (مانند ذخایر ماهی) و پدیده‌های شیمیایی (مانند غلظت CO2 اتمسفر) در یک منطقه خاص	شرایط و روند فعلی، موقعیت یا وضعیت منابع یا بخش مربوط به آب در حال حاضر
شاخص‌های اثر	تأثیرات بر عملکرد اجتماعی و اقتصادی محیط‌زیست، مانند فراهم آوردن شرایط مناسب برای سلامتی، دسترسی به منابع و تنوع زیستی، را توصیف می‌کند. این تأثیرات ناشی از تغییرات در وضعیت محیط است	تغییرات مرتبط با آب در سیستم‌های انسان و طبیعت، تلفات فیزیکی و اقتصادی به دلیل شرایط آب و هوایی وخیم، در نتیجه تأثیر وضعیت تغییر یافته منابع و یا استفاده از آن
شاخص‌های پاسخ	به پاسخ‌های گروه‌ها و افراد در جامعه و همچنین تلاش‌های دولت برای جلوگیری، جبران، بهبود یا سازگاری با تأثیر تغییرات در وضعیت محیط‌زیست برمی‌گردد. برخی از پاسخ‌های اجتماعی ممکن است در کاهش یا رفع موانع حرکتی منفی، و یا پاسخ‌های دیگر ممکن است به افزایش بهره‌وری محصولات و فرآورده‌ها کمک کنند.	واکنش یا تلاش‌های جامعه در همه سطوح برای تغییر شرایط نامطلوب، حل مشکلاتی که توسعه یافته‌اند یا مقابله با تنش و تأثیرات بر سیستم‌های انسانی و مکانیسم‌های مقابله‌ای در تغییرات سیاست‌ها و نهادها، شیوه‌های تولید و رفتار انسان

در این مطالعه معیار نهادی به عنوان ستونی از معیارهای چهارگانه پایداری که Juwana و همکاران (۲۰۱۲)، IISD (۲۰۰۸)، و UNDPCSD (۱۹۹۵)، Spangenberg (۲۰۰۸)، WWAP (۲۰۰۳) و سایرین ارائه نمودند، در نظر گرفته شد. سپس چهار معیار پایداری براساس دیدگاه‌های پیشین مصرف و مدیریت آب تعریف شد (Juwana و همکاران، ۲۰۱۲): پایداری اجتماعی: برای اطمینان از دسترسی به آب با کمیت و کیفیت لازم برای رفع نیازهای انسانی پایداری اقتصادی: برای اطمینان از مدیریت و استفاده مؤثر از آب جهت توسعه و ترویج شهری و روستایی پایداری محیط‌زیستی: برای اطمینان از حفاظت مناسب از منابع طبیعی، خاک، محیط‌زیست و آب پایداری نهادی (سازمانی): برای تضمین چارچوب سازمانی مناسب برای ترویج اصول IWRM.

۴- ارزیابی شاخص‌ها

شاخص‌ها توسط یک هیئت بین‌المللی از کارشناسان با استفاده از ماتریس ارزیابی، بررسی شدند و ارزیابی هر شاخص با توجه به اهمیت آنها در ارتباط با هر یک از چهار معیار پایداری شاخص‌ها، انجام گرفت.

• هیئت کارشناسان

گروهی از کارشناسان برای ارزیابی شاخص‌های پایداری و ارائه نظرات و یا مشاهدات خود بر روی شاخص‌ها انتخاب شدند (چهارده نفر). هیئت‌های کارشناسی، به وسیله محققان دیگر هم برای ارزیابی شاخص‌ها به کار گرفته شده است (Singh و همکاران، ۲۰۰۹). به منظور انتخاب کارشناسان، اصول زیر که Cloquell-Ballester و همکاران (۲۰۰۶) تصویب نمودند، در نظر گرفته شد: الف) سطح دانش در مورد موضوع ب) توانایی پیش‌بینی شده برای انجام کار و ج) علاقه به مشارکت در فرآیند. کارشناسان تجربه حرفه‌ای مربوط به خود را در منابع آب و از شبکه‌های بین‌المللی مربوط به موضوع تحقیق کسب نموده بودند. اعضای هیئت کارشناسی هفت زن و هفت مرد بودند که دارای مدرک دکتری یا در حال تحصیل در مقطع دکتری بودند و از دامنه‌های سنی متنوعی با زمینه‌های مختلف از کشورهای مختلف ایرو آمریکا انتخاب گردیدند. پس از انتخاب هیئت کارشناسی، آنها با استفاده از ماتریس ارزیابی و بر اساس مقیاس ارزیابی چگونگی لحاظ نمودن هر شاخص برای هر معیار پایداری را بیان نمودند. کارشناسان ارزیابی مستقلی را از راه دور و به صورت شخصی انجام دادند. برای حمایت از کار کارشناسان، تمام مواد ارائه شده به آنها (ماتریس ارزیابی، دستورالعمل، ایمیل، و غیره) به صورت کاربرپسند طراحی گردید.

یک مطالعه موردی به منظور آزمایش روش‌شناسی و روش‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق قبل از اجرای کامل در مقیاس بزرگ انجام شد. این بررسی به منظور اینکه تحقیق طراحی شده به صورت مورد انتظار کار می‌کند یا خیر انجام شده است. مطالعات آزمایشی، مانند آنچه که در اینجا انجام شده است، در تحقیقات کیفی به دلیل توانایی آنها در کشف محدودیت‌های روش‌شناختی و نقص و اهمیت بهبود طراحی (Van Teijlingen و Hundley، ۲۰۰۱) اهمیت حیاتی دارند. مطالعات آزمایشی به محققان امکان تجدیدنظر لازم را قبل از اجرای کامل طرح می‌دهد تا احتمال موفقیت را افزایش دهند (Turner، ۲۰۱۰). این مطالعه آزمایشی استفاده از ماتریس ارزیابی را با استفاده از مقیاس ارزیابی و تنظیمات، همانطور که در بالا ارائه شد، به یک گروه از هشت کارشناس شبکه یونسکو در زمینه پایداری، ارائه نمود. شرکت‌کنندگان در آزمایش تعداد محدودی بودند، اما در نمایندگی خود، از جمله اساتید و دانشجویان دکتری، مرد و زن از دامنه‌های سنی متنوع با زمینه‌های مختلف، از چندین کشور ایرو آمریکا را داشتند. نمونه‌ای از ۱۰ شاخص مربوط به مصرف و مدیریت آب به صورت تصادفی برای این مطالعه آزمایشی انتخاب شد. نتایج به دست آمده از لحاظ آماری به همان شیوه‌ای که نتایج نهایی می‌تواند تحلیل شود، بررسی شد. شرکت‌کنندگان در این پروژه آزمایشی از طرح و نتایج پیشنهادی استقبال کردند. با این وجود، آنها بازخوردهای مربوطه و پیشنهادات مربوط به بهبود آنها، همچون ورود اطلاعات مربوط به واحدهای اندازه‌گیری برای هر شاخص در ماتریس ارزیابی و تنظیم دنباله‌ای از شاخص در ماتریس به منظور دسته‌بندی شاخص‌ها، با توجه به موضوع مورد بحث را آماده نمودند. روش‌شناسی از طریق مطالعات آزمایشی معتبر بوده و پیشنهادات اصلی مطالعه آزمایشی در طرح تحقیق گنجانده شده است.

• مقیاس ارزیابی

فرآیند ارزیابی شامل مقیاس کیفی دارای سه سطح بود که اعضای هیئت کارشناسان هر شاخص را به سطوح با عنوان: بی معنی، قابل توجه و یا بسیار مهم، بر اساس سطح انطباق شاخص با معیارهای اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی (جدول ۲) طبقه‌بندی نمودند. این نتایج به شکل عددی و به صورت زیر اندازه‌گیری شدند: بی معنی معادل صفر؛ قابل توجه برابر با هفت؛ و بسیار مهم برابر با ده بود. کاربرد مقیاس صفر تا ده به این دلیل است که کارشناسان می‌توانند به راحتی از آن استفاده کنند و از طرفی مقیاس عمومی است و به طور گسترده‌ای برای رتبه‌بندی استفاده می‌شود (Dominick و Wimmer، ۲۰۱۰).

جدول ۲- سه سطح مقیاس کیفی برای طبقه‌بندی معیارهای پایداری

پایداری اجتماعی	پایداری اقتصادی	پایداری محیط‌زیستی	پایداری نهادی
بی معنی			
هیچ مولفه اجتماعی قابل توجهی وجود ندارد	هیچ مولفه اقتصادی قابل توجهی وجود ندارد	هیچ مولفه محیط‌زیستی قابل توجهی وجود ندارد	هیچ مولفه نهادی قابل توجهی وجود ندارد
قابل توجه			
شامل اجزای اجتماعی است که به بهبود دسترسی به آب با کمیت و کیفیت برای نیازهای انسانی کمک می‌کند	شامل اجزای اقتصادی است که به وسیله ارتقای توسعه شهری و روستایی به استفاده مؤثر آب کمک می‌کند	این جزء شامل اجزاء محیطی است که به حفاظت از منابع طبیعی، خاک، محیط‌زیست و آب کمک می‌کند	شامل اجزای سازمانی است که به ترویج اصول IWRM کمک می‌کند
بسیار مهم			
برای اطمینان از دسترسی به آب با کمیت و کیفیت برای نیازهای انسانی است	هدف آن تضمین بهره‌وری مدیریت و استفاده از آب، ترویج توسعه شهری و روستایی است	برای حصول اطمینان از حفاظت کافی از منابع طبیعی - خاک، محیط‌زیست و آب (به ویژه چشمه‌ها و آب‌های زیرزمینی) است	هدف آن تضمین چارچوب سازمانی مناسب برای ترویج اصول IWRM است

• تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به دست آمده از تحلیل هیئت کارشناسان با استفاده از اصول آمار توصیفی طبقه‌بندی، پردازش و تجزیه و تحلیل شدند. خلاصه‌ای از نتایج براساس میانگین نمرات تعیین شده توسط هر ارزیابی به یک معیار داده شده، انجام شده است. میانگین حسابی متوسط اندازه‌گیری‌ها برای نشان دادن مقدار مرکزی مجموعه داده‌ها محاسبه شد. معادله زیر نشان می‌دهد که چگونه میانگین نمرات برای هر شاخص در رابطه با هر معیار (اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی) محاسبه شده است.

$$Si_{(c)} = \frac{\sum_{i=1}^n Si_{(ci)}}{n} \quad (1)$$

که در آن: $Si_{(c)}$ امتیاز شاخص i و معیار c (اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و نهادی) و n تعداد کارشناسان است. همچنین هیستوگرام‌های فراوانی داده‌های به دست آمده برای ارزیابی جهت نمایش گرافیکی، استفاده شدند.

• انتخاب شاخص‌ها

به منظور انتخاب شاخص‌ها، برای تعیین اینکه یک شاخص معیار پایداری را برآورده می‌کند یا خیر، میانگین امتیاز هفت به عنوان حد آستانه شناخته شد. در ارزیابی مقیاس پذیرفته شده توسط این مطالعه، این مقدار (هفت) مربوط به طبقه‌بندی قابل توجه است. بنابراین هر شاخص با میانگین نمره برابر یا بزرگتر از هفت برای هر معیار پایداری (اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی و نهادی) برآورد مناسبی است.

• رویکرد سیستم

ارزیابی چهار دسته از معیارهای پایداری، طبقه‌بندی شاخص‌ها را ممکن نمود. رویکرد سیستم بر پایه مفهوم پویایی سیستم استوار بود و به داشتن یک دید کلی از پایداری کمک نمود (Gallopın، ۲۰۰۶؛ Sterman، ۲۰۰۰؛ Sanò و Medina، ۲۰۱۲؛ WWAP، ۲۰۰۳). این پژوهش چارچوب سیستم ۴ مولفه‌ای (اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی) را براساس معیارهای پایداری ارائه شده در بالا، پذیرفته است.

• طبقه‌بندی‌های ارزیابی پایداری

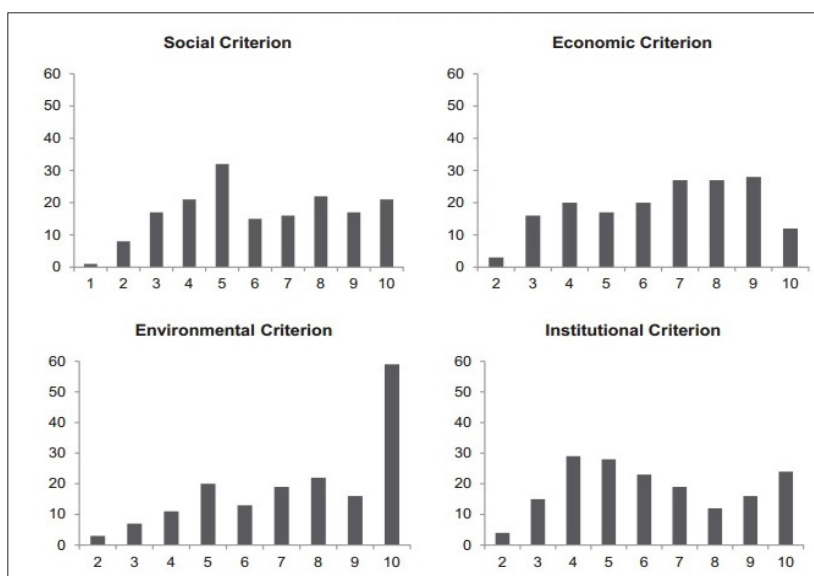
نتایج بدست آمده، شاخص‌ها را در ۴ دسته (شاخص‌های پایداری، شاخص‌های دوبعدی، شاخص‌های تک بعدی و شاخص‌هایی که با هیچ یک از معیارهای پایداری مطابقت ندارند) همانطور که در جدول (۳) شرح داده شده است، طبقه‌بندی نمود. طبقه‌بندی این دسته‌ها براساس تعداد معیارهایی است که توسط شاخص برآورده می‌شود. شاخص‌های انتخاب شده برای پایداری، آنهایی هستند که اکثریت معیارهای پایداری را برآورده می‌کنند (۳ معیار یا بیشتر).

جدول ۳- دسته‌بندی‌های ارزیابی پایداری

تعداد مطابق با معیارهای پایداری	معنی	طبقه‌بندی
۳ معیار یا بیشتر	مطابق با کل معیارها	شاخص‌های پایداری
۲ معیار	مطابق با ۲ معیار	شاخص‌های دو بعدی
۱ معیار	مطابق با ۱ معیار	شاخص‌های یک بعدی
-	هیچ تطبیقی با معیارها ندارد	بی‌ربط

هستند، به این معنی که آنها با دو معیار پایداری مطابقت دارند و ۸۶ شاخص، شاخص یک بعدی هستند که یک معیار پایداری را برآورده می‌کنند. آخرین شاخص، تنها شاخصی را نشان می‌دهد که هیچ یک از معیارهای پایداری را برآورده نمی‌کند.

نتایج نشان داد که بیشترین امتیاز مربوط به معیار محیط‌زیستی است (۷/۱)، به دنبال آن معیار اقتصادی (۶/۱)، معیار نهادی (۵/۸) و معیار اجتماعی (۵/۷) دارای بیشترین امتیاز بودند. ۲۴ شاخص مربوط به معیار پایداری طیف امتیازی (۷/۳ - ۸/۴) را دارا بودند. علاوه بر این در مورد بعدی، معیار اجتماعی امتیاز حداکثر ۸/۴ را دارد و به دنبال آن معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی (۷/۶) برای هر مورد و امتیاز نهادی (۷/۳) را دارد. شکل (۱) هیستوگرام فراوانی ۱۷۰ شاخص مصرف و مدیریت آب توسط هر چهار معیار ارزیابی شده این تحقیق را نشان می‌دهد. مهم‌ترین یافته‌های آن در زیر خلاصه شده است.



شکل ۱- هیستوگرام فراوانی برای میانگین نمرات ۱۷۰ شاخص مربوط به مصرف و مدیریت آب با هر یک از چهار معیار پایداری (محور عمودی نشان دهنده فراوانی پاسخ‌ها و محور افقی نشان دهنده نمرات است).

و نهادی). از مجموعه اولیه ۱۷۰ شاخص، ۵۸ درصد (۹۸ شاخص) به معیارهای محیط‌زیستی اشاره داشتند، که بالاترین نتیجه در میان چهار جزء بود. با این وجود، معیار اجتماعی بیشترین موارد را در مجموعه نهایی ۲۴ شاخص نشان داد (۹۶٪ آنها یعنی شاخص). جدول (۵) نتایج طبقه‌بندی برای مجموعه اولیه ۱۷۰ شاخص و مجموعه نهایی ۲۴ شاخص برای چارچوب DPSIR را نشان می‌دهد. از طرف دیگر، برای هر دو مجموعه، تعداد اندکی از شاخص‌ها، مربوط به نیروهای محرک بوده که قابل توجه است (۷٪ از مجموعه اولیه و هیچ‌کدام از نهایی). به عبارت دیگر، شاخص‌هایی که وضعیت محیط‌زیست را توصیف می‌کنند، اکثریت مجموعه اولیه (۵۳٪) و نیمی از مجموعه نهایی شاخص‌ها را تشکیل می‌دهند.

در این مطالعه ۱۷۰ شاخص مربوط به مصرف و مدیریت آب شناسایی شده است. در مجموع، ۱۴ عضو هیئت کارشناسان، ۹۵۲۰ نتیجه را ارائه دادند که مربوط به ارزیابی چهار معیار پایداری برای هر یک از ۱۷۰ شاخص است. توزیع فراوانی نتایج در جدول‌ها و نمودارهای زیر تجزیه و تحلیل شده است. روند ارزیابی بدست آمده از این لیست اولیه، شامل ۲۴ شاخص کلیدی است که اکثریت معیارهای پایداری را برآورده می‌کنند. در مرحله اول، بیش از ۲۴۰ شاخص مربوط به منابع آب در ادبیات تخصصی یافت شد. از آن شاخص‌ها، تعداد ۱۷۰ شاخص به عنوان ابعاد مربوط به مصرف و مدیریت آب شناسایی گردید. از این لیست اولیه ۱۷۰ شاخص مصرف و مدیریت آب، ۲۴ شاخص (۱۴٪) با اکثریت معیارهای پایداری مطابقت دارند. ۵۹ شاخص دوبعدی

۴۵ درصد امتیازها برای معیار پایداری اجتماعی بیشتر یا مساوی هفت بود. کمترین امتیاز (بین ۱ و ۲) خیلی غیرممکن بود. بیشترین امتیاز تکرار شده، ۵ بود. در معیار اقتصادی، امتیاز بین ۴ و ۱۰ برای ۸۹٪ موارد صدق می‌کند. ۵۵٪ امتیازها بین ۷ و ۱۰ بود. برای معیار محیط‌زیستی، ۶۸٪ شاخص‌ها امتیاز بین ۷ و ۱۰ را داشتند. مقدار حداکثر این مقیاس ۱۰ با ۳۵٪ نتایج بود. هیستوگرام برای معیار پایداری نهادی نشان داد که ۴ و ۵ بیشترین امتیازات به ترتیب با ۱۷٪ و ۱۶/۵٪ بودند. ۴۲٪ از شاخص‌ها امتیازی مساوی یا بزرگتر از هفت را داشتند. جدول (۴) نتایج حاصل از طبقه‌بندی رویکرد سیستم از مجموعه اولیه ۱۷۰ شاخص و مجموعه نهایی ۲۴ شاخص را نشان می‌دهد که مربوط به درصد شاخص‌هایی است که هر جزء چارچوب سیستم ارائه می‌دهد (اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی

جدول ۴- اجزای رویکرد سیستم از مجموعه اولیه

۱۷۰ شاخص و مجموعه نهایی از ۲۴ شاخص

اجزاء	مجموعه اولیه ۱۷۰ شاخص	مجموعه نهایی ۲۴ شاخص
اجتماعی	۳۶٪	۹۶٪
اقتصادی	۳۹٪	۸۳٪
محیط زیستی	۵۸٪	۷۱٪
نهادی	۳۲٪	۶۷٪

جدول ۵- اجزای چارچوب DPSIR از مجموعه اولیه

۱۷۰ شاخص و مجموعه نهایی از ۲۴ شاخص

اجزاء	مجموعه اولیه ۱۷۰ شاخص	مجموعه نهایی ۲۴ شاخص
نیروی محرکه	۷٪	-
فشار	۲۷٪	۴۲٪
وضعیت	۵۳٪	۵۰٪
اثر	۳۶٪	۵۰٪
پاسخ	۲۹٪	۲۵٪

بحث

• شاخص های مصرف و مدیریت پایدار آب

به منظور شناسایی شاخص های مصرف و مدیریت آب که معیارهای پایداری را برآورده می کنند، ادبیات تخصصی بررسی شد، سپس ماتریس ارزیابی ایجاد و گروهی از کارشناسان بین المللی دعوت شدند. یافته های پژوهش حاضر حاکی از آن است که ۱۴٪ (۲۴ شاخص) شاخص های مصرف و مدیریت آب، معیارهای پایداری دارند. ۸۶ درصد از شاخص ها اکثریت معیارهای پایداری را برآورده نمی کنند و نشان دهنده این است که اکثر شاخص های مصرف و مدیریت آب دید محدودی داشته و به چند بعدی بودن پایداری توجهی نمی کنند. طبق نظر WWAP (۲۰۰۹)، استفاده از شاخص هایی که معیارهای پایداری را ادغام می کنند، یک ابزار قدرتمند برای شناسایی و نظارت بر مشکلات آب، تعیین راه حل ها و ارزیابی دستاوردها و یا شکست سیاست ها و برنامه ها است. با این حال، برای تعیین آنها، باید چشم انداز چند بعدی از پایداری را در نظر گرفت که شامل جنبه های مربوط به اثرات محیط زیستی (مثبت و منفی)، مسائل اجتماعی، اقتصادی و جنبه های نهادی شاخص ها است.

همانطور که در یافته های این مطالعه اشاره شد، معیار محیط زیستی از ۱۷۰ شاخص ارزیابی، تعداد قابل توجهی از نتایج را بین ۹ تا ۱۰ نشان داد. این نتیجه نشان می دهد که به

طور کلی کارشناسان در نمرات خود هماهنگ شده اند و این مقادیر در نظر گرفته می شوند (۶۸٪ از نمرات بالاتر یا برابر ۷). این مقادیر نشان داد که شاخص های مربوط به مصرف و مدیریت آب معمولاً برای مطالعات محیط زیستی ساخته شده اند.

به طور کلی، ۲۴ شاخص که معیارهای پایداری را برآورده می کنند، طیف گسترده ای از موضوعات مربوط به منابع آب را توصیف می نمایند. این شاخص ها مسائلی مانند رشد مصرف، جمعیت بدون دسترسی به آب آشامیدنی و یا بهداشت، قرار گرفتن در معرض آلودگی منابع آب و بیماری های مرتبط با آب که با عدم تعادل در دسترسی به آب پاک و سالم همراه است را بیان می کنند.

شاخص با بالاترین نمره متوسط (۹/۲) شاخص "فقر آب" است که روابط چند جزء از جمله میزان فیزیکی موجودیت آب، سهولت برداشت و سطح رفاه اجتماعی را شامل می شود (Sullivan و Meigh، ۲۰۰۵). "شاخص فقر آب" همراه با شاخص "آسیب پذیری اقلیم"، "کمبود آب" و "بار سلامتی ناشی از کمبود مواد غذایی" تنها شاخص هایی بودند که با تمام چهار بعد پایداری موافقت داشتند و میانگین نمره هر یک از چهار معیار پایداری بالاتر از حد آستانه بود.

در میان ۲۴ شاخص پایداری شاخص رد پای آب (WF) قابل توجه است. رد پای آب یک شاخص چند جزئی است که Hoekstra و Hung (۲۰۰۲) معرفی نموده و شامل سه جزء: آب سبز، آب آبی و آب خاکستری می باشد. Hoekstra (۲۰۰۹) در مطالعه خود اشاره نموده که آب آبی مربوط به آب شیرین یا آب زیرزمینی، آب سبز بارندگی ذخیره شده در خاک به عنوان رطوبت خاک و آب خاکستری مربوط به آلودگی آب است. Pellicer-Martínez و Martínez-Paz (۲۰۱۶) اشاره می کنند که رد پای آب، شاخصی است که دیدگاه جامعی از پایداری استفاده از آب را می دهد و می تواند در چارچوب IWRM ارزیابی شود. مطالعات بیشتری در مورد این شاخص، به ویژه با هدف غلبه بر محدودیت های مربوط به روش های محاسبه آن، همانطور که Lovarelli و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کردند، توصیه می شود.

لازم به ذکر است که این مطالعه همچنین ۵۹ شاخص را شناسایی کرده که دو معیار پایداری را برآورده می کنند. در میان آنها شاخص هایی مانند دسترسی به آب آشامیدنی سالم می باشد که یکی از شاخص هایی بوده که سازمان ملل متحد برای نظارت بر پیشرفت در جهت اهداف توسعه هزاره (UN، ۲۰۱۰) استفاده می نماید. این ۵۹ شاخص دو بعدی با در نظر داشتن بیش از یک جنبه از پایداری متمایز می شوند. بنابراین، این تحقیق، مطالعات بیشتری در مورد این شاخص ها را

توصیه می‌کند، به خصوص آنهایی که ثمرات برجسته‌ای را ارائه می‌دهند، مانند "وجود قوانین حمایت از اصول دوبلین برای آب" که این شاخص یکی از بالاترین ثمرات را برای معیار نهادی (۹/۸ به عنوان میانگین) دریافت کرد. این امر، وجود قوانین مربوط به مسائل مربوط به پایداری و مدیریت آب، رویکرد مشارکتی، ارزش جنسیتی و اقتصادی را اندازه‌گیری می‌کند (ICWE, ۱۹۹۲).

۸۶ شاخص که مطابق با یکی از چهار معیار پایداری است نیز شناسایی شدند. آنها شاخص‌های یک بعدی هستند؛ که نباید به عنوان یک محدودیت به عنوان یک ویژگی شناخته شوند. آنها با استفاده از یکی از چهار معیار پایداری، به شیوه‌ای مناسب به کار گرفته می‌شوند، به این معنی که ابزارهای جالبی هستند که از زاویه ای خاص یکی از جنبه های مختلف مصرف و مدیریت آب را در نظر می‌گیرند. یک نمونه جالب، "شاخص روند جمعیت در گونه‌های آب شیرین" است. تغییرات در گونه‌های آب شیرین موجود در اکوسیستم‌های آب شیرین، از سال پایه ۱۹۷۰، از جمله داده‌ها در ۲۷۵۰ جمعیت از ۷۱۴ گونه ماهی، پرندگان، خزندگان، دوزیستان و پستانداران (WWF, ۲۰۱۰) یافت شده است. این یک شاخص بسیار مرتبط با شرایط محیط‌زیستی جریان‌های آب است، در حقیقت، نمره بسیار خوبی برای معیارهای محیط‌زیستی (۹/۳) دارد.

ارزیابی معیارهای پایداری ارائه شده در اینجا، نتیجه کار گروهی کارشناسان بین‌المللی از ایبری آمریکا بود. بنابراین مطالعات آینده می‌توانند در مورد چگونگی ارزیابی این شاخص‌ها توسط یک گروه وسیع، از جمله کارشناسان سایر نقاط جهان، انجام شود. مطالعات بیشتر می‌تواند با هدف مقایسه نتایج و حتی تعمیم‌های احتمالی یافته‌ها انجام گیرد. علاوه بر این، این تکرار ممکن است به تفاوت‌ها و یا شباهت میان نتایج اشاره کند و با این کار دامنه این مطالعه گسترش یابد.

• چارچوب DPSIR

یافته‌های این مطالعه، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تعداد شاخص‌هایی که تحت "نیروی محرک" و "وضعیت" طبقه‌بندی شده‌اند، را نشان می‌دهد. مقدار بسیار بالایی از شاخص‌ها (نصف یا بیشتر از آنها) به مولفه "وضعیت" مربوط می‌شوند و فقط تعداد محدودی (کمتر از ۷ درصد) مولفه "نیروهای محرک" هستند. این عدم تعادل بر نیاز به توسعه بیشتر شاخص‌ها برای ارزیابی نیروهای محرک در ارتباط با چالش مصرف و مدیریت پایدار آب تأکید می‌کند. این نوع شاخص‌ها مهم هستند، زیرا طبق نظر WWAP (۲۰۰۶)، عوامل اصلی و علل ریشه‌ای که بر توسعه جامعه، اقتصاد و شرایط محیطی تأثیر می‌گذارد را ارزیابی می‌کنند. بنابراین، این تحقیق پیشنهاد می‌کند که توسعه‌دهندگان شاخص‌ها، تلاش‌های خود

را برای تولید شاخص‌های مصرف و مدیریت آب با تمرکز بر نیروی محرک انجام دهند. اختصاص یک خوشه DPSIR به هر یک از ۱۷۰ شاخص انجام شده توسط این مطالعه، یک کار پیچیده بود و Vacik و همکاران (۲۰۰۶) تأیید کردند که این مسأله همواره موضوع دیدگاه‌ها است. چشم انداز پذیرفته شده توسط این مطالعه بر تعیین شاخص‌هایی است که می‌توانند مصرف و مدیریت پایدار آب را اندازه‌گیری کنند. بنابراین، مطالعات دیگر می‌تواند طبقه‌بندی‌های مختلف چارچوب برای این شاخص‌ها را پیدا کنند.

تعدادی از شاخص‌های ارزیابی شده در این مطالعه در واقع شاخص‌های ساخته شده از چند زیرشاخص هستند. با توجه به ماهیت چند بعدی از پایداری (معیارهای اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی که به یکدیگر متصل هستند)، این شاخص‌ها در بیش از یک موقعیت از چارچوب DPSIR طبقه‌بندی شدند. برای مثال، شاخص آسیب‌پذیری اقلیم (CVI) شاخصی است که ۶ زیر مجموعه را شامل می‌شود (منابع، دسترسی، مصارف، ظرفیت، محیط‌زیست و آسیب‌پذیری). این طبقه‌بندی از چهار موقعیت DPSIR مختلف یعنی فشار، وضعیت، اثر و پاسخ، عمدتاً به این علت است که زیرمجموعه‌های آن، مسائل بسیار متنوعی را مطرح می‌کنند و آنها را به منظور ارزیابی جامع از آسیب‌پذیری‌های انسانی در زمینه تهدیدات منابع آب بیان می‌کنند (Sullivan و Huntingford, ۲۰۰۹).

• مفید برای محققان و سیاست‌گذاران

فهرست ۱۷۰ شاخص مصرف و مدیریت آب و مجموعه ۲۴ شاخص که معیار پایداری را برآورده می‌کنند، نقش مهمی در مطالعه حاضر دارند. کاربران نهایی، مانند موسسات مدیریت آب، کمیته‌های حوضه رودخانه، سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان، می‌توانند با استفاده از فهرست شاخص‌ها با توجه به نیازهای خاص خود، به شناسایی و انتخاب شاخص‌ها بپردازند. استفاده از شاخص‌ها می‌تواند به تشخیص و نظارت شیوه‌های ناپایدار مصرف آب، تعریف راه حل‌ها و ارزیابی پایداری مصرف و مدیریت آب کمک کند. مدیران آب می‌توانند از این شاخص‌ها به عنوان عناصر مربوط به تعیین اهداف و نظارت بر پیشرفت در برنامه‌های مدیریت آب و همچنین در سیستم‌های اطلاعات مدیریت آب استفاده کنند. سایر امکانات برای استفاده از این شاخص‌ها، شامل پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مورد امتیازات مجوزهای آب برای استفاده پایدار از آب است. این مطالعه یک چارچوب روش‌شناسی قابل تکرار را فراهم می‌کند که می‌تواند توسط جامعه علمی برای شناسایی، انتخاب و ارزیابی شاخص‌های مصرف و مدیریت آب استفاده شوند.

شاخص‌ها ابزار قدرتمند تصمیم‌گیری و عناصر کلیدی نظارت بر پیشرفت به سوی توسعه پایدار در بخش آب هستند و باید چهار معیار پایداری (اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و نهادی) را مدنظر قرار دهند. هدف از این مطالعه، پرکردن شکاف‌های معیارهای پایداری با ارائه دانش جامع و قابل اعتماد در مورد شاخص‌های مصرف و مدیریت پایدار آب است. در این مطالعه، شاخص‌های مرتبط با مدیریت یکپارچه منابع آب شناسایی شده و سپس در یک ماتریس ارزیابی، طبقه‌بندی و سازماندهی شده و براساس چارچوب DPSIR دسته‌بندی شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که ۸۶ درصد از آنها اکثریت معیارهای پایداری را برآورده نکرده‌اند، و این نشان می‌دهد که آنها چشم‌انداز جامع و چند بعدی از پایداری را در نظر نمی‌گیرند. لازم به ذکر است که ۱۴۵ شاخص با یک یا دو مورد از چهار مؤلفه پایداری به طور کافی مرتبط هستند، به این معنی که آنها ابزار جالبی هستند که به محققان امکان می‌دهند، بعضی از جنبه‌های متعدد استفاده و مدیریت آب از زوایای مختلف را مدنظر قرار دهند. این مطالعه نشان داد که ۲۴ شاخص کلیدی مصرف و مدیریت آب اکثریت معیارهای پایداری را برآورده می‌کنند. شناسایی این شاخص‌ها

می‌تواند سهم قابل توجهی در تحقیق و عملکرد پایدار برای بخش منابع آب داشته باشد. این شاخص‌ها همچنین باید اطلاعات بحرانی برای مدیریت آب را ارائه دهند.

تاکنون هیچ نشریه علمی دیگری که ارزیابی مشابهی را انجام داده باشد، یافت نشده است. علاوه بر این، توسعه شاخص‌ها یک فرآیند مستمر است و بنابراین این فهرست یک نتیجه نهایی نیست و سایر شاخص‌ها ممکن است با مطالعات آینده در آن گنجانده شوند. اگرچه شناسایی این شاخص‌ها اهمیت دارد، اما برای رفع نگرانی‌های کلیدی مدیران آب، شاخص‌ها باید از منظر معیارهای دیگری که فراتر از معیارهای پایداری می‌باشند، نیز ارزیابی شوند. به منظور ارزیابی شاخص‌های انتخاب شده براساس معیارهای اضافی، توصیه‌هایی را برای توسعه مطالعات بیشتر پیشنهاد می‌کنیم. این معیارها باید به جامعه مدیریت آب مربوط باشند و می‌تواند مسائلی مانند اعتبار مقیاس جغرافیایی مناسب و اینکه آیا شاخص بر اساس استانداردهای علمی در حال حاضر صحیح و مورد پذیرش بین‌المللی را شامل شود. علیرغم شناخت گسترده مرتبط بودن شاخص‌ها با پایداری آب در سراسر جهان، هنوز چالش‌های مهمی باقی می‌ماند. پیشرفت دانش، تحقیق و نوآوری در زمینه این موضوع برای ترویج و انتقال جهت استفاده و مدیریت پایدار آب ضروری است.



نشر مجلات علمی- حرفه‌ای (علمی- ترویجی) راه‌کاری موثر در افزایش روزآمدی دانش مهندسان می‌باشد. علیرغم اینکه در کشور ما در زمینه علوم آب منابع اطلاع رسانی و مجلات متعددی وجود دارد اما جایگاه نشریاتی که بتوانند تجربیات کاربردی دست اندرکاران را به روشی علمی به نظر سایر کارشناسان برسانند خالی است.

هدف این نشریه کمک به بهبود روش‌های اجرایی در عرصه مهندسی آب از طریق انتشار تجربیات موفق اجرایی و نتایج تحقیقات کاربردی است. در این راستا این نشریه به صورت هدفمند، در مراکز علمی و اجرایی تأثیرگذار و مرتبط با بخش آب در سراسر کشور توزیع می‌گردد. این مراکز عبارتند از:

o استانداری‌ها

o شرکت مدیریت منابع آب کشور

o کلیه شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور

o شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

o کلیه شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی

o پژوهشکده‌ها و مراکز تحقیقاتی مرتبط با بخش آب

o اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان‌ها

o اداره کل حفاظت محیط زیست استان‌ها

o دفاتر مدیریت آب و خاک و فنی مهندسی جهاد کشاورزی استان‌ها

o شرکت‌های مشاور در رسته آب دارای رتبه‌های یک و دو

o پیمانکاران مرتبط با رسته آب دارای رتبه‌های یک تا سه

o شرکت شهرک‌های صنعتی استان‌ها

o کارخانجات تولید کننده تجهیزات مرتبط با صنعت آب و فاضلاب

o گروه‌های مهندسی عمران، منابع طبیعی، کشاورزی و بهداشت در دانشگاه‌ها و کتابخانه‌های آن‌ها

دامنه موضوعی نشریه محدود به کاربردهای آب در صنعت، شهر و کشاورزی و نیز رابطه متقابل آنها با منابع آب، از دیدگاه علمی- کاربردی خواهد بود. بر این اساس، محتوای موضوعی مقالات در این نشریه شامل: ۱- آب، اقتصاد و مدیریت ۲- کیفیت آب و فاضلاب ۳- انتقال آب و سازه‌های آبی ۴- آبیاری و کشاورزی ۵- منابع آب سطحی ۶- منابع آب زیرزمینی ۷- مدیریت منابع آب خواهد بود.

همچنین مقاله می‌تواند در یکی از انواع جدول زیر ارائه شود.

چارچوب مقالات مطالعه موردی: این گروه از مقالات با ساختار مقاله علمی پژوهشی (عنوان، چکیده فارسی و واژه‌های کلیدی به زبان فارسی و انگلیسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، پیشنهادات کاربردی و منابع) ارائه شوند.

چارچوب سایر انواع: این گروه از مقالات شامل عنوان، چکیده فارسی و واژه‌های کلیدی به زبان فارسی و انگلیسی، مقدمه در شروع و جمع‌بندی و پیشنهادات کاربردی در انتها می‌باشند. عناوین دیگر در بدنه مقاله به انتخاب نویسنده گذاشته می‌شود.

نوع مقاله	قالب مقاله	توضیحات
انتقال مفاهیم	(مقاله کامل یا کوتاه / داخلی / ترجمه)	معرفی یک مفهوم که تاکنون در کشور به درستی یا اصلاً معرفی نشده است.
معرفی تکنولوژی، روش و ابزار	(مقاله کامل / داخلی / ترجمه)	۱- معرفی تکنولوژی و روش برای اولین بار در کشور (مطالعه موردی می‌تواند یکی از انواع این نوع مقاله باشد) ۲- معرفی یک وسیله/ مدل کاربردی برای حل مسائل مدیریتی/ مهندسی آب (مدل‌ها، نرم افزارها، سامانه‌ها و ...). موضوعات این نوع مقالات در حوزه کاربرد چالش برانگیز/ مورد نیاز است.
انتقال تجربه	(مقاله کامل یا کوتاه / داخلی / ترجمه)	۱- معرفی یک روش عملی/ اجرایی/ اداری که نتایج مطلوبی در پی داشته است. تجربه‌های کسب شده توسط سازمان‌ها، دستگاه‌های اجرایی یا مشاورین می‌تواند از این نوع باشد. ۲- بررسی کارایی روش در شرایط خاص ضمن مقایسه با نتایج پیشین. (نتیجه یک تحقیق کاربردی/ مطالعه موردی می‌تواند از این نوع باشد)
مروری	مقاله کامل (داخلی / ترجمه)	یک موضوع خاص مورد توجه وسیع قرار می‌گیرد و کلیه مسائل (روش‌ها/ مزایا و معایب آنها) مرور می‌شود. موضوعات این نوع مقالات بایستی در حوزه کاربرد چالش برانگیز/ مورد نیاز باشد.
یادداشت فنی	داخلی/ ترجمه	۱- طرح موضوع/ چالش/ سؤال و سپس ارائه فرضیه یا راه حل فرضی ۲- نقد مقالات چاپ شده قبلی

راهنمای نگارش مقاله



و روان بوده و از ۱۵ واژه تجاوز نکند. ابتدای واژه‌های اصلی عنوان انگلیسی مقاله با حروف بزرگ (Capital) نوشته شود.

• چکیده باید در عین مختصر بودن، به روشنی گویای محتوای مقاله باشد و با تأکید بر روش‌ها، نتایج و اهمیت کاربرد آن بوده و در آن از کلمات اختصاری مبهم استفاده نشود. متن چکیده از ۲۵۰ کلمه تجاوز نکرده و تمام آن در یک پاراگراف نوشته شود. چکیده انگلیسی باید

• متن مقاله لازم است در محیط Word در ابعاد A4 با ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف به صورت یک ستونه و با قلم Adobe Arabic اندازه ۱۴ و فاصله خطوط ۱/۱۵ حداکثر در ۱۰ صفحه نگاشته شود. همه عناوین موجود در متن مقاله از جمله چکیده، مقدمه و ... نیز با همین قلم ولی Bold باشند.

• عنوان مقاله در وسط صفحه اول نوشته شود. عنوان مقاله باید کوتاه

ترجمه کامل چکیده فارسی باشد.

• واژه‌های کلیدی حداکثر ۵ کلمه و بعد از متن چکیده‌های فارسی و انگلیسی نوشته شود.

• مقدمه باید شامل اطلاعات مربوط به سابقه کار، توجیه اهمیت تحقیق و هدف بررسی باشد.

• مواد و روش‌ها باید به طور مشخص و روشن بیان شود. اگر روش تحقیق از یک منبع گرفته شده فقط به ذکر مأخذ اکتفا شود. همچنین از شرح کامل روش‌های اقتباس شده خودداری کرده و به ذکر منابع آن بسنده شود.

• نتایج و بحث باید شامل تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده در ارتباط با کار تحقیق مورد نظر باشد. عنوان جدول در بالا و با فرمت وسط چین نوشته و گویای نتایج مندرج در آن باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و سر جدول با یک خط افقی از متن جدول جدا و در زیر متن جدول نیز یک خط افقی کشیده شود. در صورت لزوم می‌توان برای تقسیم سر جدول از خطوط افقی در داخل کادر سر جدول استفاده کرد. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود.

• عنوان شکل در پایین و با فرمت وسط چین نوشته و معرف محتوای ارایه شده در آن باشد. از اعداد انگلیسی در محورهای افقی و عمودی در شکل‌ها استفاده شود. تمامی نمودارها نیز با عنوان شکل ارائه شوند. • عناوین اشکال و جداول با فونت متن به اندازه ۲ واحد کوچکتر به صورت شکل ۱- نوشته شود.

• در صورت استفاده از نمودار، اشکال و تصاویر در مقاله، باید فایل اصلی آنها نیز به همراه مقاله ارسال شود.

• منابع مورد استفاده باید شامل جدیدترین اطلاعات در زمینه کار مورد نظر باشد. فهرست منابع به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی نویسندگان مقاله مرتب شود. وقتی از چند اثر مختلف یک نویسنده استفاده می‌شود ترتیب شماره‌گذاری این مقاله‌ها بر حسب سال انتشار آنها (از قدیم به جدید) انجام گیرد. در فهرست منابع ابتدا منابع فارسی و در ادامه آن، منابع خارجی نیز ارائه شود.

• منابع موجود در متن مقاله با استفاده از روش نام و سال در داخل پرانتز (افتخاری، ۱۳۸۵) و اسامی بیشتر از دو نفر همراه با واژه همکاران (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۵) ذکر شود. کلیه اسامی لاتین اشخاص در متن به صورت انگلیسی نوشته شود (Argue, ۲۰۰۴b).

• در متن مقاله تا حد امکان از نوشتن کلمات غیرفارسی خودداری شود (در صورت نیاز استفاده از پاورقی مجاز است).

• دستورهای نقطه‌گذاری (Punctuation) در نوشتار متن رعایت شود. مثلاً گذاشتن فاصله قبل از نقطه (.) و کاما (,) و علامت سوال (?) لازم نیست، ولی بعد از آنها، درج يك فاصله لازم است.

• واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم SI گزارش شوند.

• در صورت نیاز، بخش‌های سپاسگزاری و پیشنهادات می‌توانند به صورت خلاصه به متن مقاله اضافه شوند.

• پی‌نوشت: شامل برابر نهادهای لاتین و توضیحات ضروری درباره اصطلاحات و مطالب مقاله، باید به ترتیب با شماره در متن و با عنوان پی‌نوشت در انتهای مقاله، قبل از منابع درج گردد.

• از قالب‌های زیر برای ارایه فهرست منابع استفاده شود (پاراگراف مربوط به هر يك از منابع دارای فرمت بیرون آمدگی سطر اول (Hanging) باشد:

۱. مقالات: نگارنده گان. سال. عنوان مقاله. عنوان مجله، جلد (شماره) مجله: شماره صفحات.

قهرمان، ب.، حسینی، س.م. و عسگری، ح.ر. ۱۳۸۲. کاربرد زمین آمار در ارزیابی شبکه‌های پایش کیفی آب زیرزمینی. نشریه علمی-پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و گرایش‌های وابسته)، ۱۴(۵۵-۵): ۹۷۱-۹۸۱.

Sparks D.L., Thompson H.A. and Gupta H.V. 2009. Visible changes in macro mica particles that occur with nickel depletion. Water. Air and Soil Pollution, 31: 217-230.

۲. کتب: نگارنده (گان). سال. عنوان کتاب. جلد. انتشارات. نوبت چاپ. شهر، کشور.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری. جلد ۱: طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی. دانشگاه امام رضا (ع). مشهد.

Lindsay W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. John Wiley & Sons, NewYork.

۳. همایش‌ها: نگارنده گان. سال. عنوان مقاله. عنوان همایش. محل همایش، شهر، کشور.

Berrada B. 2004. Options for water management during drought. In E.D. Martin (ed.) Proceedings of the 4th Annual Four Corners Irrigation Workshop, 8-10 Jul. 2004. Soil and Water Conserv. Soc., New Mexico, USA. (p. 29-37)

ایزدی، ع.، علیزاده، ا.، داوری، ک. و قهرمان، ب. ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت نیشابور). نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۴. درگاه الکترونیکی (Web site): نام. آدرس وبگاه. تاریخ بازدید. <http://www.informaworld.com/content/Ua/V.24-2-2004/article9.htm> (visited 5 September 2010).

۵. منابع بی‌نام: در صورت عدم وجود نام شخص یا اشخاص حقیقی به عنوان نویسنده باید از نام شخص حقوقی (نام سازمان) استفاده شود. • همراه هر مقاله يك صفحه جداگانه که در آن عنوان کامل مقاله، تاریخ و محل انجام تحقیق، نام، نام خانوادگی، محل خدمت، مدرک تحصیلی، رتبه علمی نویسنده یا نویسندگان و همچنین آدرس پستی، ایمیل، تلفن ثابت و همراه نویسنده مسئول ارسال گردد.

• فایل اسکن شده تعهدنامه در سامانه نشریه بارگذاری شود.

• مقاله‌ای که فرمت نشریه را دارا نباشد و یا فایل تعهدنامه امضا شده ارسال نشده باشد، در جلسه هیأت تحریریه نشریه مطرح نمی‌شود.

• مقاله نباید در هیچ يك از نشریات کشور به چاپ رسیده یا همزمان برای مجلات دیگر ارسال شده باشد.

• پس از طی مراحل داوری مقاله، اصلاحات احتمالی به اطلاع نگارنده مسئول می‌رسد و پس از انجام اصلاحات مورد نظر داوران، بایستی فایل مقاله در سامانه نشریه بارگذاری شود.

• پس از طی مراحل داوری مقالات، ایرادات فنی مقاله توسط سردبیر بررسی می‌شود و پذیرش مقاله منوط به رفع این اشکالات است.

• در صورتیکه مقاله برای چاپ پذیرفته نشود، به نویسنده اطلاع داده خواهد شد.

• نشریه در رد یا قبول و حک و اصلاح مقاله تا قبل از تأیید توسط سردبیر آزاد است.



باتوجه به سیلاب‌های اخیر (سیلاب‌های اسفند ۱۳۹۷ و فرودین ۱۳۹۸) که گستره بزرگی از کشور را دربر گرفت، بازنگری چارچوب‌های مدیریت سیلاب و تغییر عملی نگاه از مدیریت بحران به مدیریت ریسک براساس تجربیات بین‌المللی، امری ضروری به نظر می‌رسد که در این نوشتار به نکاتی در این زمینه اشاره می‌شود.

اندرکنش سیل و جوامع

در سال‌های اخیر مخاطرات آب و هوایی بیشترین میزان خسارت را در بین انواع بلایای طبیعی به خود اختصاص داده‌اند. طبق گزارش پایگاه اطلاعات رخدادهای اضطراری (EM-DAT)^۱، در حد فاصل سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵، خسارت ثبت شده برای این‌گونه مخاطرات، به ۱۸۹۱ میلیارد دلار رسیده است که ۷۱ درصد از کل خسارت مربوط به بلایای طبیعی را شامل می‌شود (Wallemacq و همکاران، ۲۰۱۵). در این بین، سیلاب که ۴۷ درصد از این مخاطرات را تشکیل می‌دهد، بیشترین میزان جمعیت و حدود ۲/۳ میلیارد نفر را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است.

حضور جوامع انسانی در محدوده عمل این پدیده‌هاست که خسارت‌زااست؛ وگرنه رخدادهایی با بزرگی و شدت زیاد، به‌خودی‌خود برای طبیعی قلمداد نمی‌شوند. در مورد سیلاب اما باید گفت به دلیل منافعی که سیلابدشت‌ها برای بشر به همراه داشته، جوامع انسانی را به مرور زمان به سمت خود کشیده‌اند و ناگزیر انسان در محدوده عمل پدیده‌های تصادفی قرار گرفته است. نکته قابل توجه این است که استراتژی‌های مهار سیلاب‌ها از جمله سدها، گاهی توهم امنیت در ساکنین سیلابدشت‌ها ایجاد کرده و بهانه‌ای برای توسعه بیشتر این مکان‌ها می‌شود که پرواضح است در صورت وقوع سیلاب خسارت‌ها دوچندان می‌شود.

این واقعیت را باید پذیرفت که همه سیلاب‌ها قابل کنترل نیستند و علیرغم تمام برنامه‌ریزی‌ها، ریسک باقی‌مانده‌ای وجود دارد که به دلیل محدودیت‌های فنی و اقتصادی نمی‌توان آن را به صفر رساند. البته بر همین اساس ابزارهایی چون بیمه سیلاب، به‌وجود آمده که در حال توسعه است و می‌تواند تا حد زیادی از بحران‌های مالی پس از سیل، بکاهد. در زمینه مدیریت سیلاب، کشورهای پیشرفته و پیشرو همچون انگلستان، هلند، آلمان، ژاپن، آمریکا و فرانسه به دلیل تجارب تلخی که از سیلاب‌های مخرب در گذشته داشته‌اند، تا حدود زیادی رویکردهای سنتی خود را در قبال مدیریت سیل تغییر داده‌اند و برای کاهش هرچه بیشتر خسارت‌ها و به عبارت بهتر، افزایش تاب‌آوری شهرهای در معرض سیل، تلاش‌هایی کرده‌اند.

سنت و مدرنیته در مدیریت سیلاب

پاسخ سنتی مدیریت سیلاب به یک سیل شدید، معمولاً یک واکنش موردی بوده است (اجرای سریع یک پروژه که هم مشکل و هم راه‌حل آن را در نظر می‌گیرد و توجهی به پیامدهای ریسک سیلاب در بالادست و پایین‌دست نمی‌کند). مدیریت سنتی سیلاب، راهکارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را مورد استفاده قرار داده است. این مداخلات قبل، حین و پس از رخداد سیل انجام شده و اغلب همپوشانی دارند. در سال‌های اخیر با چالش‌هایی در مدیریت سیل مواجه شده‌ایم که نشان می‌دهد، حفاظت مطلق از سیل به لحاظ فنی غیر قابل تحقق و از لحاظ اقتصادی و محیط زیستی غیرقابل قبول است. در این شرایط روش‌های مدیریتی با رویکردهای اکوسیستمی، می‌تواند پاسخگوی چالش‌های به‌وجود آمده، باشد. در چنین رویکردی، کل اکوسیستم حوضه‌ی آبریز به صورت یک مجموعه‌ی واحد درنظر گرفته می‌شود. لذا طی سال‌های اخیر، سیاست مدیریت سیل در کشورهای پیشرفته، به سمت یک رویکرد انعطاف‌پذیرتر و قابل انطباق «زندگی با خطر سیل یا همزیستی با سیل» تغییر کرده و ترکیب متعادلی از رویکردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقویت شده است.

در تعریف متداول از خطرپذیری (ریسک) در مدیریت سیلاب، سه عامل مخاطره، آسیب‌پذیری و در معرض بودن، نقش مهمی را ایفا می‌کنند که افزایش یا کاهش هر کدام از عوامل یاد شده، منجر به افزایش یا کاهش ریسک می‌شود. با استفاده از ابزارهای کاهش ریسک در هر کدام از اجزای مؤثر در ریسک، می‌توان دامنه اثر آن را کاهش داد. اما این دیدگاه و نگرش چندان با معیارهای مدیریت جامع ریسک سیلاب سازگار نیست و صرفاً مبتنی بر اصل و استراتژی «دور نگه داشتن مردم از سیلاب و بالعکس» استوار است. در تعریف دیگری از ریسک سیلاب، ظرفیت تحمل نیز به مجموعه‌ی مؤلفه‌های ریسک اضافه شده است. ظرفیت تحمل و مقابله^۲ به توانایی مردم در استفاده از ابزارهایی اشاره دارد که می‌تواند قبل، حین و پس از رخداد بحران، در تحمل و مقابله اثرات منفی به آن‌ها، کمک نماید.

تقریباً در همه کشورهای سیلاب‌های مخربی را تجربه کرده‌اند، با فاصله کمی از رخداد سیل، قانون‌گذاری، توسعه راهنماها و تغییرات در رویه‌های مدیریتی سیلاب را آغاز کرده‌اند. تغییرات در حکمرانی سیلاب و نگرش به آن یکی از اصول مهم در کشورهای پیشرو در زمینه مدیریت سیلاب بوده است. برای نمونه در انگلستان، از حدود ۸۰ سال گذشته، روندهای گوناگونی در عرصه حکمرانی سیلاب شکل گرفته است: گذار به سمت مدیریت ریسک سیلاب و حکمرانی جامع ریسک سیلاب با تقویت نقش آمایش سرزمین، افزایش شفافیت در مدیریت ریسک سیلاب و توجه به مدیریت سیلاب‌های پیش‌رو، تأکید بیشتر بر گفت‌وگوهای مشارکتی، نقش محوری و متمرکز برای آژانس محیط‌زیست، دخالت بازیگرهای متعدد، فراهم کردن فضای بیشتر برای توسعه بیمه سیلاب از طریق بازارهای غیردولتی (Alexander و همکاران، ۲۰۱۶).

مشارکت حداکثری در مدیریت سیل

تجربیات جهانی در مدیریت سیل، جوامع را به این سمت سوق داده است که در کاهش خطرپذیری سیلاب، همه ذی‌نفعان که به صورت مستقیم و غیرمستقیم در معرض خطر هستند، در مدیریت خطرپذیری مشارکت نمایند. بدین معنی که از دولت مرکزی، دولت محلی و تا سطح شهروندان، باید اقدامات انجام شده در راستای کاهش خطرپذیری سیلاب را حمایت کرده و در هزینه آن سهم باشند. بر این اساس در کشورهای مختلف، استانداردهای مدیریت خطرپذیری شکل گرفته و با گذشت زمان و وقوع سیلاب‌ها و ایجاد خسارت، این استانداردها اصلاح و به‌روزرسانی شده‌اند.

اطلاع‌رسانی به زبان ساده

در اغلب کشورهای پیشرفته، اطلاع‌رسانی و شرایط سیلاب به زبان ساده برای مردم و سازمان‌های مربوطه، یکی از ویژگی‌های برجسته آن‌ها در مدیریت سیلاب‌ها در هر سه مرحله قبل، حین و پس از رخداد است. آژانس مدیریت بحران آمریکا (FEMA) مدیریت برنامه ملی بیمه سیلاب در آمریکا را به‌عهده دارد و نقشه مناطق

بررسی تجارب کشورهای مختلف دنیا نشان می‌دهد که اغلب کشورها به سمت استفاده از روش‌های غیرسازهای و بخصوص سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب پیش می‌روند و مدیریت سیلاب، اصولاً بر مبنای مدیریت ریسک استوار است. در کشورهای کانادا، آمریکا، ژاپن و کشورهای اروپایی^۲، سامانه‌های هشدار سیل، پیشرفت بسیار زیادی کرده‌اند و با پیش‌بینی به موقع مکان، زمان و شدت وقوع سیلاب، اقدامات مؤثری در زمینه مدیریت و کنترل سیل انجام داده و خسارات و تلفات ناشی از آن را به حداقل رسانده‌اند. در کشورهای درحال توسعه از قبیل بنگلادش و هند نیز که از سیل‌خیزترین کشورهای دنیا هستند، با راه‌اندازی سیستم‌های پیش‌بینی سیلاب، اقدامات مؤثری در زمینه کنترل و مدیریت سیلاب انجام گرفته است (عبدالمنافی، ۱۳۹۶).

یکی از نقاط قوت و اثرگذار برنامه‌های کنترل سیلاب، استفاده از مشارکت مردمی و جوامع موجود در منطقه است. برای نمونه در انگلستان برخی از اقداماتی که توسط خود مردم^۴ برای مقابله با سیل در نظر گرفته شده، در زیر ارائه شده است (Alexander و همکاران، ۲۰۱۶):

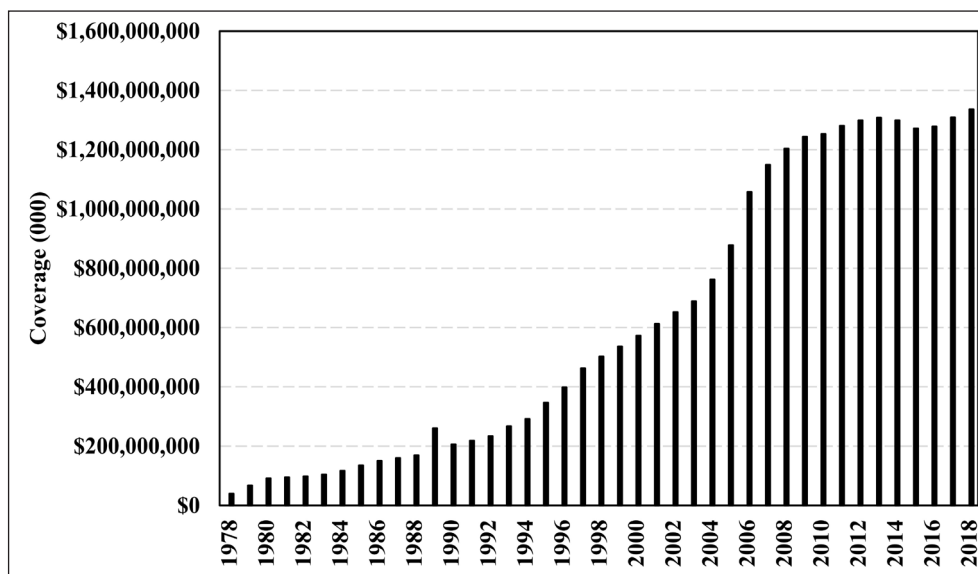
- نصب تجهیزات و وسایل خانه در تراز مناسب و اقدامات تاب‌آورانه در مقابل سیلاب؛
- تهیه و خرید بیمه‌نامه‌های سیلاب و یا استفاده از برنامه‌هایی نظیر خودبیمه‌گی^۵؛
- ایجاد گروه‌های محلی برای اطلاع‌رسانی و ایجاد ارتباط قوی بین ساکنان (به عنوان نمونه می‌توان به «انجمن ملی سیلاب»^۶ اشاره نمود)؛
- ایجاد سیستم‌های هشدار سیلاب در این جوامع^۷.

دارای ریسک سیل را منتشر می‌کند که به راحتی برای عموم در دسترس است^۸. همچنین برای اطلاع‌رسانی مؤثر و به زبان ساده تارنمای ready.gov توسط وزارت امنیت داخلی آمریکا در دسترس عموم قرار گرفته است. ویژگی مهم این تارنما، وجود اطلاعاتی برای تمام رده‌های سنی در مورد آمادگی در برابر انواع مخاطرات است. چنین بستری برای شهروندان در معرض خطر، علاوه بر آموزش‌های لازم، جلب مشارکت حداکثری را فراهم می‌آورد.

بیمه سیل یکی از ابزارهای به اشتراک گذاشتن ریسک، بین افرادی است که در معرض خطر سیل قرار دارند تا در هزینه‌های مدیریت سیل، مشارکت داشته باشند. این امر با توزیع هزینه‌ها در زمان و در جمعیت خطرپذیر صورت می‌گیرد. برقراری بیمه سیل مستلزم استقرار یک سیستم عادلانه با حداقل هزینه‌های جانبی است.

در کشورهای توسعه یافته، سابقه سیل، میزان سیل دوره‌ای، بارش، دبی و... جمع‌آوری شده و با توجه به آن، نقشه پهنه‌بندی سیل تهیه می‌شود. تدوین بیمه به گونه‌ای باید انجام گیرد که هم به نفع مردم باشد و هم به نفع شرکت‌های بیمه تا در موقع بحران، سبب کاهش نگرانی‌ها گردد. بهترین و منطقی‌ترین روش برای بدست آوردن میزان حق بیمه این است که براساس میزان خطرپذیری^۱ تهیه شود. طبق این طرح، مناطقی که ریسک بالایی دارند، حق بیمه آن‌ها نسبت به مناطقی با خطر پایین‌تر، بیشتر می‌شود. در نهایت نیز باید سعی شود، دیوان سالاری حاکم بر فرآیند انعقاد قرارداد بیمه و کاهش زمان تعیین و پرداخت بیمه، کاهش یابد.

طبق بررسی‌های انجام‌شده براساس اطلاعات موجود در پایگاه داده، فجایع طبیعی بین‌المللی در خصوص خسارات تحت پوشش بیمه، مشاهده می‌شود کشورهای که در رتبه‌های نخست قرار گرفته‌اند، لزوماً آن دسته کشورهای نیستند که بیشترین وقوع سیل را دارند؛ بلکه آن دسته کشورهای هستند که از نظر توسعه اقتصادی در دسته کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته، شناخته می‌شوند. این کشورها عبارتند از آمریکا، انگلستان، فرانسه، استرالیا و آلمان (پژوهشکده بیمه، ۱۳۹۷). برای نمونه شکل (۱) نشان می‌دهد که در کشور آمریکا براساس آماری که FEMA در تارنمای خود منتشر کرده است^۲، پوشش بیمه‌ای از سال ۱۹۷۸ تا سال ۲۰۱۸ حدود ۲۶ برابر، رشد داشته است. در مقابل، مشاهده می‌شود، سه کشور سیل‌خیز که دارای بیشترین فراوانی در وقوع سیل هستند - به ترتیب عبارتند از چین، هند و اندونزی- از نظر خسارات مالی تحت پوشش بیمه در رتبه‌های نهم، هفتم و سیزدهم قرار دارند. مهم‌ترین و مؤثرترین طرح‌های بیمه سیل، آن برنامه‌ای است که در آن ارتباط فعال و مداوم بین صنعت بیمه و سازمان‌های دولتی مربوطه برای مقابله با سیل وجود داشته باشد.



شکل ۱- رشد پوشش بیمه‌ای سیلاب در آمریکا (fema.gov)

جمع‌بندی

باید گفت، مدیریت ریسک سیل یک فرآیند چندبعدی و طولانی‌مدت است که اغلب کشورهای پیشرو در زمینه مدیریت سیل نیز با پذیرش این مسأله، برنامه‌ریزی کرده و چارچوب‌های لازم را توسعه داده‌اند. پرواضح است که موفقیت در هر طرحی، نیازمند مشارکت عموم

مردم و مسئولین در رده‌های مختلف است و پیش‌زمینه آن چیزی نیست جز شفافیت و سهولت دسترسی به اطلاعات مربوط به انواع مخاطرات. افزایش درک عموم مردم از ریسک^۳، به جای تمرکز بر واژه مدیریت بحران (که بیشتر جنبه کوتاه‌مدت مخاطرات را به ذهن تداعی می‌کند)، می‌تواند در تأثیر هرچه بیشتر ابزارهای غیرسازه‌ای همچون بیمه سیلاب نیز نقش به‌سزایی داشته باشد.

- پژوهشکده بیمه. ۱۳۹۷. بررسی بیمه سیل در ایران و سایر کشورهای منتخب. طرح پژوهشی گروه بیمه‌های اموال و مسئولیت، شماره ۹۹.
- عبدالمنافی، ن. ۱۳۹۶. بررسی وضعیت سیل در کشور؛ اقدامات انجام شده و تجربیات سایر کشورها. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شماره مسلسل ۱۵۵۵۴.
- Alexander M., Priest S.J., Micou P., Tapsell S.M., Green C.H., Parker D.J., and Homewood S. 2016. Analysing and evaluating flood risk governance in – Enhancing societal resilience through comprehensive and aligned flood risk governance. STAR-FLOOD Consortium. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University. ISBN 978-94-91933-07-3.
- Wallemacq P., Guha-Sapir D., McClean D., CRED & UNISDR. 2015. The Human Cost of Weather Related Disasters-1995-2015. doi: 10.13140/RG.2.2.17677.33769

- 1- Emergency events Database provided by Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)
- 2- Coping capacity
- ۳- برای نمونه تارنمای <https://www.efas.eu/> خدمات خوبی را در جهت پیشبینی و صدور اخطار برای شهروندان کشورهای عضو اتحادیه اروپا فراهم نموده است.
- 4- Self-governance
- 5- Self-insurance
- 6- The National Flood Forum (<https://national-floodforum.org.uk/>)
- 7- Community flood warning system
- 8- www.floodsmart.gov
- 9- risk-based premium
- 10- <https://www.fema.gov/>
- 11- risk perception



معرفی نرم افزار مدیریت دارایی های سرمایه در صنعت آب و فاضلاب (CUPSS)

مسعود خشائی^۱، سیدحسین سجادی فر^۲، محمد داودآبادی^۳*

۱- معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

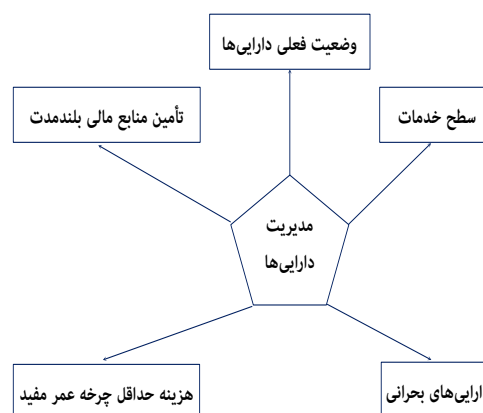
۲- مشاور اقتصادی معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

۳- کارشناس ارشد مالی و بودجه، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

* (نویسنده مسئول: E-Mail: davoodabadi@nww.ir)

مدیریت دارایی ها

مدیریت دارایی ها مجموعه از سامانه ها و فرآیندهای نظام مند برای نگهداری، استفاده و توسعه دارایی ها می باشد. رویکرد مدیریت دارایی ها به گونه ای است که شیوه های مهندسی و بهره برداری با تجربیات و تئوری های اقتصادی و مالی ترکیب می شوند و ابزاری حاصل می شود که به صورت منظم و با روندی منطقی در تصمیم گیری های آینده به کار برده می شود. به عبارت دیگر مدیریت دارایی ها چارچوبی برای طراحی و پیاده سازی برنامه های بلندمدت و کوتاه مدت آینده مشخص می کند. مدیریت دارایی ها هدف های واحدهای نهادی را با تصمیم ها، برنامه ها و فعالیت های دارایی ها ترکیب کرده و به دلیل پوشش کامل چرخه عمر دارایی ها نسبت به مدیریت نگهداری و تعمیرات نتایج بهتری را در مولفه های ریسک، هزینه و کارآمدی فراهم می کند. در واقع مدیریت دارایی ها حداقل کردن مجموع هزینه ها، عملیاتی کردن آن ها و ارائه سطحی از خدمات مورد نظر است (شکل ۱).



شکل ۱- نمودار مولفه های اصلی مدیریت دارایی ها
(United State Environment, ۲۰۰۸)

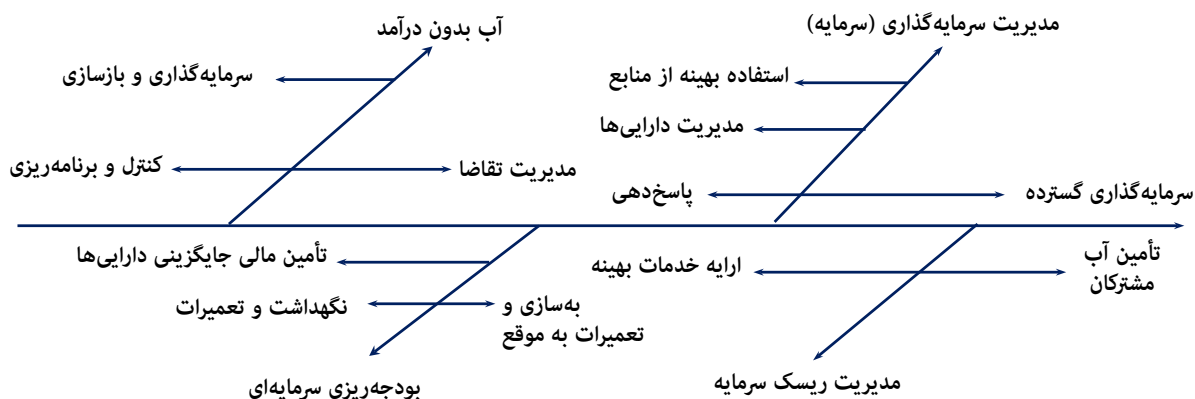
انجمن مدیریت دارایی ها وابسته به سازمان استاندارد انگلیس^۱ دارایی های سازمانی را به ۵ دسته دارایی های مالی، فیزیکی، اطلاعاتی، انسانی و نامشهود طبقه بندی کرده است. این انجمن مدیریت دارایی ها را به شرح ذیل تعریف کرده است.

"یک سامانه و مجموعه ای از فعالیت های هماهنگ شده و شیوه هایی برای بهینه سازی فعالیت های سازمانی و مدیریت پایدار برای دارایی ها همراه با فعالیت ها، ریسک و هزینه های چرخه عمر مفید دارایی ها^۲ در راستای برنامه های بلند مدت هدف گذاری شده". سامانه مدیریت دارایی ها سیاست های مدیریت دارایی های سازمانی، راهبردهای طرح های مدیریت دارایی ها و همچنین طرح های آتی توسعه، استقرار و پیشرفت پیوسته دارایی ها است. این سامانه شامل راهبردهای سازمانی، نقشه ها و مسئولیت ها، برنامه ریزی، استاندارد سازی، مدیریت اطلاعات، شیوه ها، فرآیندها، شیوه ها و منابع است. بر پایه مطالبی که عنوان شد هدف های مدیریت دارایی ها به شرح موارد ذیل تلخیص می شود:

- پاسخگویی به ذی نفعان (حسابدهی) از عملکرد سازمان در شرایط اضطراری و رضایت مندی مشتریان.
- ایمن سازی و حفاظت فیزیکی از دارایی ها.
- کاهش هزینه های بهره برداری و سرمایه (توسعه، اصلاح و جایگزینی) و ایجاد ارزش افزوده اقتصادی.
- تسهیل بودجه ریزی سرمایه ای بلند مدت و تامین منابع مالی لازم برای دارایی ها.
- بهبود و افزایش بهره وری و کارآمدی استفاده از دارایی ها (سرمایه گذاری-موجودی سرمایه).
- بهینه سازی اقتصادی استفاده از دارایی ها و تصمیم گیری بهینه.
- افزایش عمر دارایی ها و بهبود تصمیم گیری اثر بخشی، تعمیرات و جایگزینی.
- اطمینان به مدیریت از کنترل تعمیرات و نگهداری برنامه ریزی شده.
- کمک به برنامه ریزی در استفاده از دارایی ها و بهبود دانش سازمانی.
- ارتباط بین هدف ها و برنامه های سازمانی واحدهای عملیاتی و پشتیبانی.

اهمیت مدیریت دارایی ها در صنعت آب و فاضلاب

صنعت آب و فاضلاب به عنوان یک صنعت خاص دارای مشخصه های خاص قیمت گذاری اجتماعی، فرآیند پیچیده عملیاتی، انتظارات ذی نفعان (دولت، سهامداران، مشترکین و جامعه)، شرایط اقلیمی و توپوگرافی متنوع است. برای افزایش کارآمدی در انجام رسالت های سازمانی مدیریت دارایی ها یکی از ابزارهای مهم می باشد (شکل ۲). نیاز به سرمایه گذاری فراوان از مشخصه های بارز صنعت آب و فاضلاب می باشد به طوری که در پایان سال ۱۳۹۶ شاخص دارایی های سرمایه ای ۹۱ درصد گزارش شده است.



شکل ۲- نمودار ایشی کاوا (استخوان ماهی) ضرورت و اهمیت مدیریت دارایی‌ها در صنعت آب و فاضلاب

معرفی نرم‌افزار مدیریت دارایی‌ها CUPSS

براساس تحقیقاتی که تاکنون در کشور انجام شده نرم‌افزار مدیریت دارایی‌ها طراحی نشده است اما در خارج از کشور نرم‌افزارهای متعددی نظیر Online Maint, Asset Manage Enterprise, FMIS Fixed Asset, Manage Engine Asset Explorer Management طراحی شده است. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا^۴ در سال ۲۰۰۸ نرم‌افزار مدیریت دارایی‌های آب و فاضلاب را با نام اختصاری "برنامه بررسی سیستم‌های کوچک آب و فاضلاب-CUPSS"^۴ برای صنعت آب و فاضلاب طراحی کرده است. این نرم‌افزار جامع در محیط ویندوز طراحی شده و تمام خصوصیات و ویژگی‌های تاسیسات و تجهیزات صنعت آب و فاضلاب مانند فرآیند تولیدی و عملیاتی در آن لحاظ شده است. این نرم‌افزار ابزارهای مورد نیاز برای اجرا و توسعه مدیریت دارایی‌های آب و فاضلاب را فراهم کرده است. این نرم‌افزار از طریق یک سری ماژول برای جمع‌آوری اطلاعات، عملیات و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری، وضعیت مالی دارایی اولویت‌بندی، مجموعه‌ای از گزارش‌های مالی و کمی دارایی‌ها را ارائه می‌کند. فایل نصب و راهنمای آخرین نسخه این نرم‌افزار (Version on 13.92-2015) در سامانه <http://www.epa.gov/> بارگذاری شده است. این نرم‌افزار توانایی مدیریت و سامان‌دهی تمام مزایای نظری مدیریت دارایی‌ها را دارد و برخی از خصوصیات برجسته این نرم‌افزار به شرح ذیل است:

- این نرم‌افزار در بستر محیط برنامه‌نویسی JAVA تدوین شده است.
- قابلیت اجرا در محیط‌های سیستم عامل ویندوز XP در نسخه‌های ۷، ۸ و ۱۰
- اولویت‌بندی تعمیرات، نگهداشت و مدیریت بهتر درآمد برای تعمیر و جایگزینی دارایی‌ها.

- امکان استفاده همزمان در چند واحد آب و فاضلاب خودگردان عملیاتی (منطقه).
- امکان تقسیم‌بندی دارایی‌ها در گروه‌ها و طبقات منطبق بر عملیات فرآیند تأمین و توزیع آب و خدمات فاضلاب.
- امکان پیش‌بینی درآمدها و هزینه‌های هر یک از اقلام دارایی با لحاظ کردن نرخ عمومی تورم و ارزش زمانی آتی وجوه نقد.
- امکان تعیین سطح دسترسی کاربران به بخش‌های گوناگون نرم‌افزار.
- توانایی گسترده در تولید گزارشات ماتریسی متنوع برای کنترل و مدیریت دارایی‌ها از منظر فیزیکی و مالی.

• مشخصه‌های اصلی نرم افزار

بعد از نصب برنامه و اجرای آن با کلیک گزینه Enter Example CUPSS یک نمونه مدیریت دارایی‌ها با اطلاعات فرضی برای آشنایی بیشتر کاربران تهیه شده است. برای شروع کار با برنامه CUPSS ابتدا مشخصات کاربران، مشخصات فنی و مهندسی واحد آب و فاضلاب، جدول پیش فرض‌های برنامه‌های تعمیرات و نگهداری (به ترتیب روزانه، هفتگی، ماهانه، سالانه یا زمان‌های خاص که این وظایف برای تعمیر و نگهداری و مدیریت آن‌ها مفید است)، تعریف گروه‌ها و اشخاص مرتبط با مدیریت دارایی‌ها و بازخوانی و ذخیره اطلاعات یک مرتبه ثبت می‌شود که با کلیک بر Enter Your CUPSS انجام می‌شود. این برنامه مشخصه‌های منحصر به فرد ذیل را دارد:

- صفحه شخصی (My Home)

بخش‌های این منو عبارتند از:
Do Some Training: راهنمای تصویری جامع از منوهای اصلی نرم‌افزار.
Create or Edit My Schematic: ترسیم شمای سامانه‌های آب و فاضلاب (نقشه‌ها و گراف‌های جغرافیایی تاسیسات و تجهیزات).

Enter a New Task or Work Order: ثبت برنامه جدید در سامانه مدیریت دارایی‌ها.

Search Asset and Maintenance: تهیه گزارشات متنوعی از وضعیت دارایی‌ها.

May Calendar: تقویم زمانی برای ثبت واقع گوناگون دارایی‌ها.
May Message and Alerts: هشدارهای مکفی در زمینه کنترل و بررسی، تعمیرات و نگهداری، به‌روزرسانی.

- وضعیت دارایی‌ها (My Inventory)

در این منو شش گزینه به شرح ذیل وجود دارد:
Create or Edit my Schematic: ترسیم سیمای کلان و جزئی شبکه‌ها و تأسیسات آب و فاضلاب.
Create or Edit My Inventory List: ورود اطلاعات اولیه دارایی‌ها به تفکیک استفاده می‌شود.
View My Inventory List: دارایی‌های ثبت شده به تفکیک و اجزای آن قابل مشاهده و چاپ است.
View My Capital Improvement Projects: بررسی و مشاهده اجزای قیمت تمام شده‌ی دارایی‌ها.

Search: جستجو و مشاهده اطلاعات تفصیلی وضعیت هر یک از دارایی‌ها به تفکیک.

Export to KMZ: تهیه گزارشات خروجی از وضعیت دارایی‌ها با فرمت KMZ (گرافیکی و نقشه‌ای).

Import Assets For My Inventory: ثبت مشخصات دارایی‌ها در نرم‌افزار با فرمت‌های گوناگون.

- اطلاعات پایه‌ای (Basic Information)

این گزینه دارای بخش‌هایی برای ثبت کردن پارامترهای نام دارایی، مکان نصب، طبقه، نوع دارایی، شماره اموال، جنس، قطر، طول جغرافیایی، ظرفیت، زمین مورد استفاده (هکتار)، عرض جغرافیایی، است. طبقه‌بندی دارایی‌ها و نوع دارایی است.

- وضعیت دارایی‌ها (Status and Condition)

این منو بخش‌های ذیل را دارد:
وضعیت (Condition): ساختاری آشناری برای مناسب‌ترین گزینه وضعیت فعلی دارایی.

افزایش و توسعه (Redundancy): انتخاب بهترین ارزش که نشان دهنده کارکرد دارایی است.

وضعیت دارایی (Asset Status): وضعیت دارایی در وضعیت فعال، غیرفعال-راکد، در حال بررسی و سرمایه‌گذاری آینده.

انتخاب دارایی جایگزین (Select Asset Replaced): اگر دارایی جایگزین شده باشد، از این گزینه استفاده می‌شود.

ارزش خرابی دارایی‌ها (Consequence Of Failure-COF): نشان

دادن وضعیت آتی دارایی، اعم از اثرات ناچیز تا فاجعه بار.
ظرفیت (Capacity): رتبه‌بندی ظرفیت دارایی‌ها را از منظر سه گزینه کمتر از ظرفیت، بیش از ظرفیت و ظرفیت کامل.

- بهای تمام شده و تعمیرات و نوسازی (Cost and Maintenance)

در این منو مولفه‌های زیر وجود دارد:
تاریخ نصب (Installation Data): ثبت تاریخ خرید، نصب یا بهره‌برداری در غالب فیلد تاریخی با ساختار سال/ماه/روز.
بهای تمام شده (Original Cost): تمام هزینه‌های آماده از زمان بهره‌برداری شامل بهای تمام شده اولیه، هزینه حمل و ...
عمر مفید مورد انتظار (Expected Useful Life): عمر مفید مورد انتظار دارایی‌ها (سال) درج می‌شود.

هزینه جایگزینی (Replacement Cost): ثبت هزینه‌های جایگزینی دارایی‌های استهلاک‌پذیر که عمر آن‌ها به پایان می‌رسد.

هزینه نگهداری عادی (Routine Maintenance Cost): پیش‌بینی هزینه‌های نگهداری دارایی‌ها در وضعیت نرمال و عادی.

Select Frequency تعیین دوره زمانی هزینه کرد دارایی.

- مشخصه‌های سازندگان و فروشندگان (Manufacturer and Supplier)

در این پنجره مشخصات فروشندگان یا خریداران مانند نام و نام خانوادگی، آدرس، شهر، ایالت، کدپستی، تلفن، فاکس و پست الکترونیکی ثبت و نگهداری می‌شود.

- ماتریس ریسک دارایی‌ها (Asset Risk Matrix)

تمام دارایی‌ها با شناسه کامل و اطلاعات پایه در پنجره My Inventory ثبت و نگهداری می‌شوند. در قسمت سمت راست بالایی پنجره My Inventory پنجره Asset Risk Matrix ریسک دارایی‌ها را نمایش می‌دهد. ماتریس ریسک یک نمودار کاربرپسند برای ارزیابی ریسک بین دارایی‌ها است. این ماتریس ابزاری قدرتمند برای شناسایی ریسک هر یک از دارایی‌ها است و پس از شناسای نقاط ضعف دارایی‌ها در راستای تأمین منابع مالی برای تدوین بودجه‌ریزی سرمایه‌ای استفاده می‌شود. ماتریس ریسک دارایی‌ها شکل منطقه‌ای است که احتمال خرابی دارایی‌ها و ارزش خرابی دارایی‌ها را برای تعیین ریسک دارایی در آینده مشخص می‌کند. موارد ذیل برای ماتریس ریسک دارایی‌ها قابل ملاحظه است:

- اگر احتمال خرابی دارایی زیاد باشد و ارزش خرابی دارایی کم باشد، یا اگر ارزش خرابی دارایی زیاد باشد و احتمال خرابی دارایی کم باشد، دارایی دارای ریسک متوسط است.
- اگر احتمال خرابی (احتمال این که دارایی واقعی خراب شود) کم باشد و ارزش خرابی دارایی نیز کم باشد، ریسک دارایی کم است.
- اگر احتمال خرابی دارایی و ارزش خرابی دارایی زیاد باشد، دارایی دارای ریسک بسیار زیادی است.

- تعمیر و نگهداشت (My O&M)

از این پنجره برای ثبت و ردیابی وظایف و دستور کاری و مدیریت کردن عملیات مدیریت دارایی‌ها در مقاطع زمانی سال، ماه، هفتگی و روزانه استفاده می‌شود. از این گزینه برای نگهداری تمام عملیات و وظایف تعمیر و نگهداری که باید به صورت صحیح مدیریت شوند استفاده می‌شود.

- مدیریت مالی (My Finances)

گزینه‌های این پنجره برای نگهداری و پیش‌بینی درآمدها و هزینه‌های هر یک از اقلام دارایی‌ها طراحی شده، شامل موارد زیر است:

- اطلاعات عمومی (General Year Information): بخش مبلغ اولیه خرید، مبلغ جایگزینی، تعمیرات و نگهداری و... از طریق دو منوی کشویی انتخاب می‌شود.
- هزینه‌ها و درآمدهای سالانه (Year Expenses And Revenue): در این قسمت بخش‌های ذیل وجود دارد:

- نوع هزینه (Type Of Cost): نوع هزینه و درآمد برای هر یک از دارایی‌ها شامل نگهداری و تعمیرات، مواد شیمیایی و منعقد کننده، ابزار و لوازم مصرفی جزئی، حمل و نقل، حقوق و مزایای کارکنان، ترابری، اجاره محل و مسکن، بهره وام و...

- مبلغ بودجه (Budgeted Amount)، مبلغ فعلی (Actual Amount) و نرخ تورم هر سال (Inflation).

- بررسی و بازنگری (نظارت و کنترل) (My Check Up)

در این پنجره امکان تولید گزارشات هدفمند برای هر یک از واحدهای عملیاتی به تفکیک و گزارشات خاص به شرح ذیل دارد:

- گزارش‌های دارایی‌ها (My Asset Check Up Report): امکان تهیه گزارشات دارایی‌ها در زمینه‌های گوناگون.
- گزارش‌های مالی (My Financial Statement): امکان تهیه گزارش‌های ماتریسی در زمینه‌های پارامترهای گوناگون دارایی‌ها.

بحث، تحلیل و جمع‌بندی

بر پایه مطالبی که در این نوشتار عنوان شد کارآمدی این نرم‌افزار در مسیر استقرار و کاربرد سامانه‌های مدیریت دارایی‌ها نشان داده شد. نظر به شرایط خاص محیطی حاکم بر صنعت آب و فاضلاب صرف سرمایه‌گذاری‌های کلان و پیچیدگی فرآیند عملیات تأمین و تولید آب و دفع فاضلاب، استقرار سیستم مدیریت دارایی‌ها با همکاری و خرد جمعی سایر واحدهای عملیاتی (مهندسی و توسعه، بهره‌برداری، مالی و پشتیبانی) در بستریک نرم‌افزار جامع ابزاری مفید برای حفظ و نگهداشت سرمایه فیزیکی سازمان، استفاده بهینه از منابع و ایجاد ارزش افزوده اقتصادی، حداکثر کردن منافع ذی‌نفعان، کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداشت، تأمین منابع مالی لازم برای جایگزینی دارایی‌های بحرانی و از رده خارج شده، افزایش کارآمدی و

بهره‌وری، بهبود تصمیم‌گیری‌ها و تبیین برنامه‌های بلندمدت می‌باشد. در حال حاضر به دلیل فقر نقدینگی، شرایط مالی و اعتبارات دولتی، افزایش جمعیت (مشترکان)، کاهش منابع آبی پایدار، آلودگی محیط‌زیست، فرسودگی بخش زیادی از شبکه‌های تأمین و توزیع آب، استقرار سامانه‌های مدیریت دارایی‌ها توجه به مدیریت دارایی‌ها در صنعت آب و فاضلاب کشور می‌تواند ابزاری مفید در راستای رسالت‌های سازمانی صنعت به خصوص تأمین و توزیع آب مستمر و پایدار باشد. همچنین با استقرار سیستم مدیریت دارایی‌ها در صنعت آب و فاضلاب کشور موارد ذیل را می‌توان مد نظر قرار داد:

- شرکت‌های آب و فاضلاب با منابع عظیم سرمایه‌ای برای توفیق در دستیابی به برنامه‌های هدف‌گذاری شده به سامانه‌های اطلاعات برای تصمیم‌گیری راهبردی نیازمند هستند و سامانه‌های مدیریت دارایی‌ها، قادر به تغذیه اطلاعات به موقع با ضریب اطمینان زیاد می‌باشد.
- تقویت سامانه‌های کنترل‌های مدیریتی که با توجه به مزایای سامانه مدیریت دارایی‌ها این کنترل‌ها امکان پذیر است.
- در چارچوب ارائه خدمات مطلوب‌تر به مشترکان و از آنجایی که فعالیت‌های شرکت‌های آب و فاضلاب منطقه‌ای بومی است استقرار سامانه‌های مدیریت دارایی‌ها، نقش به سزایی در مدیریت شرکت‌ها، ارائه مطلوب خدمات، استفاده بهینه از منابع و امکانات سرمایه‌ای و نظارت بیشتر در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آن‌ها دارد.

مدیریت دارایی‌ها در چارچوب سیستم مدیریت دارایی‌ها تعریف می‌شود و نرم‌افزار مدیریت دارایی‌ها یکی از عامل‌های سامانه مدیریت دارایی‌ها محسوب می‌شود. موفقیت استقرار و کارکرد سامانه مدیریت دارایی‌ها مستلزم مدیریت تغییر در بستر طراحی و استقرار نرم‌افزار مدیریت دارایی‌ها همراه با ایجاد هماهنگی سایر عامل‌های نرم سامانه (تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی، کنترل، یکپارچگی) و سخت‌افزار (فیزیکی) امکان‌پذیر است.

پی‌نوشت

- 1- The Institute of Asset Management (IAM). British Standards.
- ۲- چرخه عمر دارایی (Life Cycles) عبارت است از شیوه‌های یکپارچه برای بهینه‌سازی چرخه عمر مفید دارایی‌ها.
- 3- United States Environmental Protection Agency (EPA)
- 4- Check Up Program for Small Systems (CUPSS)

منابع

<http://www.epa.gov/cupss>
United States Environmental Protection Agency. 2008.
Asset Management: A Best Practices Guide.

In the Name of Allah

Journal of Water and Sustainable Development



Volume 6 - Issue 1 (Serial No. 12) - September 2019

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
Ghezelsofloo, 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
Ghandehari, A. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company
Kolahi, M., Ferdowsi University of Mashhad

Executive Expert

Editor

Graphic

Publisher

Print

ISSN

Website/E-Mail

Address

Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Quchanian, M., Hasibi, A.
Shaikhi, M.R.
Ferdowsi University of Mashhad
Ferdowsi University of Mashhad Press(FUMP)
2423-5474
<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD/> 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

The full text of the articles can be downloaded on the website

Articles in issue:

- **Determination of the Physical and Economic Water Productivity for Grain and Forage Corn under Modern and Traditional Irrigation Systems in Hamadan Province**
S.M. Seyedan, M. Mottaghi
- **Investigation of the Need for Elimination of Pistachio Surplus Orchards in Kerman Province Based on Technical, Ethical, Economic, Social, and Environmental Criteria**
M. Abdolahi-Ezzatabadi
- **Investigating the Risk of Garmsar Water Distribution Network through Binary and TOPSIS Methods Using GIS**
S.O. Mirmohammadsadeghi, M. Nabavianpour
- **Effectiveness of Smart Landscape Irrigation Systems in Reducing Water Usage (Case Study: Razi Park, Tehran)**
A.N. Saeedolzakerin, B. Nazari, H. Ramezani Etedali
- **Supplemental Irrigation in Cultivation of Rainfed Wheat**
M. Karimi, M. Joleini
- **A Review on Hydrological Modelling Concepts, Part2: Uncertainty Assessment Concepts**
M. Shafiei, B. Ghahraman, B. Saghafian
- **Rainfall Trend Analysis using Innovative-Şen Method and Comparison with Traditional Methods (Case Study: Khorasan Razavi Province)**
S. Khazaei, R. Barati, A. Ghandehary, M.R. Sadeghifard
- **Investigating the Use of Urban Rainfall for Green Space Usage using Civil Storm Software (Case Study: Southern Part of Mashhad City)**
M. Zebardast, A. Roshani
- **Deep Water Resources: Opportunities and Challenges**
Fatemeh Keykhaei, Fariborz Abbasi
- **Deep Groundwater Resources: Characteristics and Constraints**
A. Kavousi Heidari, R. Roozbahani, M. Eftekhari
- **Drought Reserve, Necessity for Sustainability**
H. Derakhshan, H. Omranian Khorasani
- **Investigating the Participation of Beneficiaries in Optimizing Water Use Management (Case Study: Qazvin Plain Irrigation Networks)**
A. Moradinejad
- **Farmers' Views on Rules Observance in Water Governance (Case Study: Farmers in Sabzevar County, Khorasan Razavi Province)**
F.S. Hosseini Sheshtamad, A. Abedi Sarvestani, A. Keramatzadeh
- **A Review of Drought Indices and their Performance**
M. Miryaghoubzadeh, S.A. Khosravi M. Zabihi
- **Water management accounting (Translate)**
Translated by: Z. Masoumi Bilondi, R. Hejazi
- **Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management**
Translated by: M. Rahmani

