

سال چهارم - شماره دوم (پیاپی ۹) - اسفند ۱۳۹۶

این نشریه طبق نامه شماره ۱۲۶۶۳۱/۱۸/۳ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۹ از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم تحقیقات و فناوری، اعتبار علمی - ترویجی دریافت نموده است. همچنین این نشریه در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۰۵ موفق به دریافت پروانه انتشار نشریه از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی به شماره ثبت ۷۶۷۶۶ شده است.

صاحب امتیاز

مدیر مسئول

سر دبیر

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

حسین عطائی فر (ریاست شورا) / معاونت مرکز تحقیقات و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
سید علیرضا طباطبایی / مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب مشهد
محمدحسین جعفری / 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 / سر دبیر 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
محمد رضا علیپور / شرکت آب و فاضلاب مشهد
احمد قندهاری / شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی

کارشناس اجرایی

ناشر

طراحی

چاپ

شمارگان

شماره شاپا

رایانامه

تارنما

آدرس

حامی مالی

مهری شاهدی، فاطمه طالبی حسین آباد

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

محمد رضا شیخی

موسسه فرهنگی هنری خراسان (شهر چاپ خراسان)

۱۰۰۰ نسخه

۲۴۲۳-۵۴۷۴

jwsd@um.ac.ir

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

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دفتر نشریه، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳
این نشریه با حمایت مالی شرکت آب و فاضلاب مشهد، در حال حاضر رایگان توزیع می شود.

الف	سرمقاله: «عنب» یا «ازوم» یا «انگور»/ کامران داوری (عضو هیأت تحریریه نشریه) یادداشت کوتاه: سیاست‌گذاری در حوزه آب و فاضلاب/ سید علیرضا طباطبایی (مدیرعامل آبفای مشهد)
۱	رویکردهای اقتصاد چرخشی فاضلاب در توسعه پایدار سیدحسین سجادی‌فر، علی اصغر قانع، محمد داودآبادی، شعله شالپوش
۱۳	ارزیابی هزینه‌های کیفیت و انتخاب گزینه مناسب برای کاهش هزینه‌ها با مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی رضا شهرجردی، غلامرضا ابراهیم‌آبادی، سمیرا شهبازی
۲۳	ارزیابی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص‌های کیفی مریم فلاح، سیما فاخران
۳۱	بررسی کارایی تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال در تأمین کیفیت پساب برای مصارف آبیاری (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه) علی دیندارلو، مهدی دستورانی
۴۱	ارزیابی ریسک در اجزای سازه‌ی سرریز (مطالعه موردی سد چندیر) محسن مغربی، عباسعلی قزل‌سوفلو، حسین علیمیرزایی
۴۹	کنترل بهینه فشار با هدف حداقل سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب جعفر جعفری اصل، بهرام سامی کشکولی، مهدی بهرامی
۵۷	مروری بر تأثیر طرح‌های آبخوانداری بر روند تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک حمید مسلمی
۶۹	مروری بر تاریخچه ابداعات و نوآوری‌ها در زمینه آبیاری زیرسطحی شهریار باستانی
۸۱	مروری بر سیستم‌های زهکشی پایدار شهری در تطبیق با اثرات تغییر اقلیم نگین بینش، محمدحسین نیک‌سخن، امین سارنگ
۹۵	مروری بر مفاهیم مدل‌سازی هیدرولوژی: بخش اول، معرفی فرآیند مدل‌سازی مجتبی شفیع، شروان قراری
۱۰۳	معرفی مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی و کاربرد آن در لایه‌بندی آبخوان آبرفتی بجنورد مینا تاج‌آبادی، علی‌نقی ضیایی، عزیزالله ایزدی، روح‌الامین بهرامی، جواد مشکینی
۱۱۱	ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جارمه توسط روش‌های دراستیک و سینتکس فریدون رادمش، سمیرا صدری، علی شهبازی
۱۲۱	حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای تخمین و حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی هاشم درخشان، کامران داوری، سید مجید هاشمی‌نیا، علی‌نقی ضیائی
۱۳۱	عوامل فردی، اجتماعی و ارتباطی تأثیرگذار بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری سد سهند النا تبریزی دخت‌فرد، علی شمس، زهرا هوشمندان مقدم‌فرد
۱۳۹	اهمیت اکوتوریسم منابع آبی در توسعه گردشگری مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: استان همدان) علیرضا ایلدرمی، محمد قربانی
۱۵۱	مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و پایگاه داده مکانی متن‌باز (مطالعه موردی: شهرک گلستان شیراز) غلامرضا فلاحي، محمد صالح‌زاده
۱۵۹	آشنایی با نشریه و راهنمای چارچوب مقالات
۱۶۱	یادداشت تحلیلی: ابهام‌زدایی از مفاهیم پایه در حوزه مدیریت آب: «گروداران آب چه کسانی هستند؟»/ هاشم درخشان
۱۶۶	یادداشت تحلیلی: پاسخ در طبیعت نهفته است: تأملی بر موضوع روز جهانی آب ۲۰۱۸ در بستر «توسعه پایدار»/ مجتبی شفیع
۱۶۹	بخش ویژه: ضرورت تغییر در سیاست‌های آبی کشور (به‌بهانه اولین اجلاس هم‌اندیشی وزارت نیرو با متخصصان علوم آب و محیط‌زیست)
۱۹۲	گزارش: آبفای مشهد، منتخب وزارت نیرو به عنوان شرکت پژوهشی برتر (به‌نقل از: گروه تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد)



«عنب» یا «ازوم» یا «انگور»

آب کالایی عمومی، خاص (بی جایگزین) و در عین حال کالایی اقتصادی می‌باشد. نقش آب در تولید غذا و پایداری توسعه (بوژه در مناطق خشک و نیمه خشک) بی‌بدیل است. این دو گزاره نشان می‌دهند که مدیریت آب امری است بسیار پیچیده و گسترده که با موضوعات متنوعی سروکار دارد. تا قبل از دولت یازدهم، نگاه غالب در مدیریت آب کشور، دیدگاه مهندسی و پروژه محور، آن هم با تمرکز بر کمیت آب بود. با استقرار دولت یازدهم، چرخشی تاریخی برای اصلاح مدیریت آب کشور آغاز شده که هر روز شتاب و توسعه بیشتری می‌یابد. اکنون، اصلاح اوضاع آبی کشور نیازمند اقدامات فوری با هدف احیاء پایداری است. اقدام آغازین، جلب همکاری و مشارکت گرداران و کسب اجماع نسبی ایشان در مورد «برنامه‌ی احیاء پایداری در رابطه با آب در مقیاس حوضه‌ای» است. این فرآیند به شدت نیازمند گفتگو و دیالوگ است. متأسفانه، ابهام‌های فراوانی در تعاریف و مفاهیم مرتبط با مباحث آبی وجود دارد که فضای گفتگو را غبارآلود می‌کند.

در واقع، هر کنشگر (یا گروه کنشگر) بر اساس درکی که از موضوع دارد (Perception) و مطلوبیت‌های مورد نظرش (Interest) موضع مشخصی را اتخاذ و ابراز می‌دارد. دیالوگ کمک می‌کند تا اولاً؛ درک کنشگران از ماهیت موضوعات «پایداری و آب» و نیز از وضعیت جاری^۱ حوضه در ارتباط با این موضوعات و حتی از آینده‌ی پیش‌رو (سناریوها) بتدریج همگرا گردد. ثانیاً؛ موجب می‌گردد کنشگران از مطلوبیت‌ها و خواسته‌های یکدیگر بطور مستقیم و کامل آگاه گردند. بدون زبان مشترک، نمی‌توان به این نتایج دست یافت.

دیالوگ در فارسی به «گفتگوی هم‌افزا و مؤثر» ترجمه می‌گردد؛ و یا گفت و شنیدی دو طرفه بر سر موضوعی مورد علاقه و توجه طرفین به منظور دستیابی به توافق. اگرچه هر طرف سعی دارد تا ارایه دلایل و شواهد، نظر طرف مقابل را به سمت خودش جلب نماید، اما بنیاد دیالوگ مبتنی بر هم‌افزایی و برای دستیابی به مفاهیم است. زمینه‌ساز چنین دیالوگی پیرامون موضوع مشترک «آب و پایداری»، رفع سوء تفاهم‌ها و ایجاد اعتماد متقابل میان گرداران است. اما، اعتماد متقابل بریستر شفافیت و نیز محیط انصاف و همترازی در گفتگو می‌روید. افزون بر این، گفتگوی

مؤثر نیازمند سه عنصر «مهارت جلسه‌داری»^۲، «مهارت گفتگو» (و نه مهارت سخنوری) و «فرهنگ لغات مشترک» است، تا به کمک آنها دستیابی به مفاهیم (یا اجماع نسبی) در کوتاه‌ترین زمان ممکن گردد. عدم این سه عنصر موجب بی‌ثمری جلسات گشته و بتدریج منجر به بی‌علاقگی شرکت کنندگان می‌گردد.

در این مجمل، فقط به چند ابهام موجود در تعاریف و کلمات پرکاربرد در حوزه مدیریت آب اشاره می‌شود تا تأکیدی بر ضرورت رفع ابهام از تعاریف و کلمات و نیز تنبیهی برای پرهیز از شلختگی در گفتگوهای فنی و مدیریتی در حوزه آب گردد. بدان امید که گرداران با درک بهتر نظرات یکدیگر، آسان‌تر و سریع‌تر به اجماع نسبی دست یابند و بر آن اساس برنامه رسیدن به پایداری را جامع‌تر تدوین و سپس پیاده‌سازی نمایند. بدیهی است که در بهترین حالت، در زبان تخصصی هر کلمه فقط و فقط باید بر یک مفهوم و محتوا دلالت داشته باشد؛ و هر مفهوم نیز باید صرفاً با یک کلمه خاص بازخوانی گردد. به موارد زیر توجه فرمایید:

۱- برای هر دو کلمه Source و Resource در فارسی از کلمه «منابع» استفاده می‌شود. یعنی تمایز میان آنها نادیده گرفته می‌شود. در حالیکه Source بر نقاط برداشت آب و Resource بر کلیت منابع آب دلالت دارند.

۲- کاربرد کلمه «مصرف» یا مصارف به جای هر دو مفهوم Use و Consumption رواج دارد. البته برای مفهوم Consumption عبارت «مصرف خالص» تعیین گشته اما کاربرد آن فقط به گزارش‌های بیلان محدود است. این مورد موجب عدم توافق در تعیین سهم کاربری‌های مختلف آب از برداشت و از مصرف شده است. همچنین باید اشاره نمود که کلمات برداشت، عرضه و کاربرد با یکدیگر تفاوت دارند.

۳- به تمایز میان Water Conservation و Water Demand با Management توجه شود و کلمات Conserve و Protect با یکدیگر معادل فرض نگردند.

۴- برای عبارت Virtual Water عبارت «آب مجازی» به کار برده می‌شده است. اخیراً عبارت «آب نهان» نیز مطرح شده است. باید پرسش نمود که وقتی یک عبارت گویا وجود دارد، چه نیازی به عبارت دوم است؟ ضمن اینکه، دو عبارت Virtual Water و Hidden Water معنی واحدی ندارند.

۵- هنگام گفتگو از «بحران آب»، تفاوت نگذاشتن میان «بحران تأمین آب شهری» و «بحران پایداری منابع آب» موجب سردرگمی شده است. اولی در بازه‌های زمانی سالانه مد نظر است و بسیاری مواقع با برداشت بیشتر از منابع آب، بطور موقت مشکل حل می‌شود. این در حالی است که، وضعیت دومی در اثر برداشت بیشتر وخامت بیشتری می‌یابد.

یادداشت کوتاه



سیاست‌گذاری در حوزه آب و فاضلاب

۶- برای هر دو کلمه Forecast و Prediction در فارسی از کلمه «پیش‌بینی» استفاده می‌شود. یعنی تمایز میان آنها نادیده گرفته می‌شود. در حالیکه Prediction با استفاده از داده‌های گذشته، احتمال وقوع رویدادهای آب و هوایی را گزارش می‌نماید؛ و Forecast با استفاده از مدل‌ها، آینده این رویدادها را برای مدت محدود شبیه‌سازی می‌کند.

سردرگمی در تعاریف یا تمایز میان بسیاری زوج کلمات دیگر مانند «حکمرانی و حکمرانی»، «آینده‌پژوهی و آینده‌نگری»، «گرودار و کنشگر»^۱، «مدل رایانه‌ای و نرم‌افزار مدل‌سازی»، «شاخص و نشانگر»، «اعتبارسنجی و صحت‌سنجی» و ... نیز وجود دارد. این همه نیازمند اقدام ملی برای استاندارد نمودن تعاریف این کلمات و عبارات می‌باشد. حتی مواردی چون «مجوز برداشت» و «تخصیص سالانه» نیازمند تعریف دقیق‌تر هستند. در هر حال،

این تعاریف باید بر اساس توافق جمعی متخصصین دانشگاهی و حرفه‌ای شکل یابند و باید منتشر گشته و در دسترس همگان قرار گیرند. باشد که تعارضاتی از جنس «داستان عنب و ازوم و انگور» مولانا شامل حال ما نگردد.

پی‌نوشت:

۱- این مورد نیازمند شفافیت و دسترسی همه کنشگران به داده و اطلاعات است.

۲- خواندن مقاله «جلسه‌داری: نقش و آسیب‌شناسی آن در اداره کشور» از دکتر رضا منصوری (فصلنامه رهیافت، شماره ۳۴، زمستان ۱۳۸۳) را توصیه می‌نمایم.

۳- مقاله تحلیلی^۲ ابهام‌زدایی از مفاهیم پایه در حوزه مدیریت آب: «گروداران آب چه کسانی هستند؟» را در همین شماره ملاحظه فرمایید.

اجتماعی، هویت نوینی یافته است. بر این اساس، «آب» یک موضوع میان رشته‌ای است و گفتگو پیرامون آن، ابعاد مهندسی، فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، زیست‌محیطی و حتی نظامی را دربر می‌گیرد؛ که این امر منجر به چند وجهی بودن و پیچیدگی سیاست‌گذاری در حوزه آب گردیده است.

برای فائق آمدن بر دشواری‌های پیش‌روی و تحقق اهداف در ارائه خدمات مناسب آب و فاضلاب، بایستی بین ملاحظات سیاسی و دانش فنی، پیوند برقرار شود و پاسخ‌گویی به تقاضاهای آب، نیازمند راه‌حل‌های غیرسازه‌ای و رویکردهای کاملاً جدید در برنامه‌ریزی و مدیریت می‌باشد. در این راستا می‌توان گفت رویکردهای مدیریتی در حال حاضر مهم‌ترین سیاست‌های اثرگذار مطرح در حوزه آب و فاضلاب می‌باشند.

در افق آرمانی یک نظام مطلوب، نظام مدیریت آب و فاضلاب، خدمات پایدار خود را بر پایه استفاده معقول از منابع طبیعی با لحاظ داشتن همزمان و متوازن ملاحظات مهندسی، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی و با رعایت سه اصل زیر به عینیت مبدل می‌سازد:

- مشارکت حداکثری ذی‌نفعان و سرمایه‌گذاران
- به حداقل رساندن پیامدهای زیست‌محیطی
- بهره‌وری حداکثری از منابع آبی استحصال شده
- به‌روز رسانی نیروی انسانی و تأسیسات

معمولاً بحران آب به عنوان عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب به حساب می‌آید. در صورتیکه این مسأله فراتر از یک پدیده فیزیکی و هیدرولوژیکی است. بحران آب به شکافی فراگیر در ابعاد نهادی و اقتصادی در توسعه، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب برمی‌گردد. بنابراین با شرایط کنونی کم‌آبی، ضمن بررسی وضعیت موجود قوانین، سیاست‌ها و مدیریت‌های منابع آب، نیاز است اصلاحات نهادی جهت بروز کردن نهاد آب انجام شود.

روال عمومی مدیریت و سیاست‌گذاری آب در سطح جهان تا آغاز دهه ۱۹۸۰، صرفاً به دنبال عرضه آب بیشتر برای تأمین تقاضای جمعیت رو به رشد بود. متأثر از این رویکرد، مبنای توسعه منابع همواره تک‌منظوره بود. چنین رویکردی به روابط درونی و پیچیدگی‌های محیط طبیعی و انسانی و برهم کنش آن‌ها توجهی نداشت. در دنیای امروز، آب به عنوان کالایی اقتصادی، زیست‌محیطی، فرهنگی و

در این راستا راهبردهای مدیریت آب و فاضلاب شامل جلب حمایت سیاسی به موضوع آب و فاضلاب، درگیر ساختن مصرف‌کنندگان در چاره‌اندیشی برای دشواری‌های پیش‌روی آب، تحکیم مشارکت‌های منطقه‌ای و بین‌بخشی و تحرک بخشیدن و جلب توجه مصرف‌کنندگان به بحران آب خواهد بود و همواره توجه به اصول فوق‌بایستی در تصمیم‌سازی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان این حوزه لحاظ گردد.

وزارت نیرو در بخش آب و فاضلاب با ایفاء نقش مهمی در توسعه پایدار کشور، عهده‌دار تأمین پایدار نیازهای پایه شرب و بهداشتی و همچنین جمع‌آوری، انتقال و تصفیه فاضلاب، استفاده مجدد و یا دفع بهداشتی پساب است. این بخش با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، هدایت و نظارت، تدوین دستورالعمل‌ها و پیشنهاد لوایح مورد نیاز همواره در صدد است تا خدمات آب و فاضلاب را با استفاده از روش‌های مختلف فنی و اقتصادی و مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی در اختیار جامعه قرار دهد. باتوجه به لزوم دستیابی به توسعه پایدار در مدیریت آب شهری می‌توان تعدادی از مهم‌ترین محورهای تأثیرگذار در سیاست‌گذاری حوزه آب و فاضلاب را اینگونه عنوان نمود:

- توسعه سامانه‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب، بازچرخانی و استفاده از پساب با کیفیتی متناسب با نوع مصرف، محیط پذیرنده و مکانیزم بازار در راستای حفاظت کمی و کیفی منابع آب و محیط زیست

- تدوین و پیاده‌سازی نظام جامع بهره‌برداری و پایش کمی و کیفی منابع آب در بخش آب شرب و بهداشتی و اعمال استانداردها و مقررات لازم برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها و تخلیه فاضلاب خام به محیط‌های پذیرنده طبیعی

- توسعه مدیریت خطرپذیری (ریسک) و بحران و پدافند غیر عامل در طراحی، ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات با رویکرد استمرار ارائه خدمات و کاهش آسیب‌پذیری سازه‌ها و تأسیسات

- تنوع بخشی به سامانه‌های تولید و توزیع آب شرب و بهداشتی و بهره‌گیری از آب‌های نامتعارف (مانند جمع‌آوری آب باران، استفاده از رطوبت هوا، ایستگاه‌های توزیع آب، آب شیرین‌کن‌ها، بسته‌بندی آب، سیستم‌های دو شبکه‌ای، تفکیک آب برای مصارف مختلف و...)

در نهایت بایستی اشاره کرد، مدیریت آب در سطوح ملی، سازمانی و محلی باید اولویت‌های کلان توسعه را پشتیبانی کند و استراتژی‌هایی را در پیش گیرد که از فرصت‌های توسعه بهره‌برداری کند. مدیریت خوب آب باید بتواند با در نظر داشتن ملاحظات کیفیت و کمیت، مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی را یکپارچه کند. اقدام‌ها و اثرات بخش‌های مختلف مصرف را یکپارچه نماید. حوضه آبریز را واحد مدیریت قرار دهد تا بتواند مسائل مهندسی، اجتماعی، اقتصادی و... را حل کرده و سیاست‌های ملی توسعه را محقق سازد.

Wastewater Circular Economy Approach in Sustainable Development

S.H. Sajadifar¹, A.A. Ghane², M. Davoodabadi³, Sh. Shalpoosh⁴

1- Ph.D. in Economics, Tehran Water and Wastewater Engineering Company, Tehran, Iran, 2,3,4- M.Sc. in Management & M.Sc. in Accounting & M.Sc. in Accounting, National Water and Wastewater Engineering Company, Tehran, Iran.

*(Corresponding Author Email: h.sajadifar@gmail.com)

Received: 18-06-2017

Accepted: 01-08-2017

رویکردهای اقتصاد چرخشی فاضلاب در توسعه پایدار

سیدحسین سجادی فر^۱، علی اصغر قانع^۲، محمد داودآبادی^۳، شعله شالپوش^۴

۱- دکتری اقتصاد، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب کارشناس ارشد مدیریت، کارشناس ارشد حسابداری و کارشناس ارشد حسابداری، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

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

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۰

Abstract

Today in the light of the competitive markets, diversity of products, political and economic evolutions, climate changes, depletion and pollution of a number of natural resources etc., the science of economy has extended its limits beyond the linear economy (production – distribution – consumption) and is moving towards a circular economy (production – consumption – recycle). In addition to the main objective, the reduction and recycling, or reusing of the waste from production processes, is the main ideal of circular economy. The topic of circular economy in the water and wastewater industry can be considered from the aspect of its specific features (simultaneous consumption of water and the generation of wastewater), negative impacts of wastewater on the environment, water scarcity caused by growing population, the intense competition among water consumers (agriculture, industry, and domestic), reduction of the per-capita water resources, consecutive droughts, and the reuse of wastewater in the course of sustainable development. While explaining the fundamentals of a circular economy, sustainable development, and reuse of wastewater, this paper tries to analyze and review the interaction of these components and the requirements and opportunities of the circular economy in the reuse of wastewater in the course of sustainable development. Also, in this study, using the economic value of water in different economic sectors of the country and the wastewater allocated to these sectors, the share of wastewater in creating the economic value added to the country in 1394 is calculated. The results show that the circular economy of wastewater will create IRR 2251 billion (0.02% of the total national value added) and that the correct management and planning for efficient reuse of wastewater can play an important role in the national economic value, water resources management, and sustainable development.

Keywords: Circular economy, Wastewater effluent, Sustainable development, Water and wastewater industry.

چکیده

امروزه نظر به افزایش بازارهای رقابتی، تنوع محصولات، تغییرات شرایط سیاسی و اقتصادی، تغییرات آب و هوایی، کاهش و آلودگی برخی از منابع طبیعی و... دانش اقتصاد مرزهای خود را از اقتصاد خطی (تولید-توزیع-مصرف) فراتر گذاشته و به سمت اقتصاد چرخشی (تولید-مصرف-بازیافت) در حال حرکت است. در اقتصاد چرخشی علاوه بر هدف اصلی اقتصاد خطی، کاهش، بازیافت یا استفاده مجدد از ضایعات در فرآیند تولید، هدف آرمانی است. موضوع اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب از یک سو نظر به مشخصه‌های خاص آن (مصرف آب و تولید فاضلاب همزمان)، تأثیر مخرب فاضلاب بر محیط زیست، مشکلات کمبود آب به دلیل افزایش جمعیت، شدت رقابت مصرف کنندگان آب، کاهش سرانه منابع آبی کشور، خشکسالی‌های مستمر و استفاده مجدد فاضلاب در مسیر توسعه پایدار، قابل ملاحظه است. این پژوهش سعی دارد، ضمن تشریح مبانی نظری اقتصاد چرخشی، توسعه پایدار و استفاده مجدد از فاضلاب، ارتباط متقابل این سه مؤلفه و الزامات و فرصت‌های اقتصاد چرخشی در استفاده مجدد از فاضلاب در مسیر توسعه پایدار را مورد نقد و بررسی قرار دهد. همچنین در این پژوهش، با استفاده از ارزش اقتصادی آب در بخش‌های مختلف اقتصادی کشور و پساب تخصیص داده شده به این بخش‌ها، سهم پساب فاضلاب در ایجاد ارزش افزوده اقتصادی کشور در سال ۱۳۹۴ محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد، اقتصاد چرخشی پساب فاضلاب سبب ایجاد ارزش افزوده اقتصادی به میزان ۲۲۵۱ میلیارد ریال (۰/۰۲ درصد از کل ارزش افزوده اقتصاد کشور) شده و برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهینه از پساب فاضلاب می‌تواند نقش پررنگی در رشد اقتصادی کشور، مدیریت منابع آب و توسعه پایدار داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد چرخشی، پساب فاضلاب، توسعه پایدار و صنعت آب و فاضلاب.

از چهار منظر مدیریت مصرف آب، استفاده از لجن فاضلاب (ضایعات ارزشمند)، فرصت‌های از دست‌رفته‌ی اقتصادی و استفاده‌ی مجدد و نقش مخرب فاضلاب‌ها در تخریب و آلودگی محیط زیست در راستای توسعه‌ی پایدار قابل ملاحظه است. در راستای حرکت به سوی توسعه‌ی پایدار، نقش و اهمیت فاضلاب از دیدگاه بهداشت عمومی، حفظ محیط زیست و مصارف مجدد مورد توجه می‌باشد. طی یک قرن گذشته با رشد جمعیت و توسعه‌ی شهرها، رشد صنعتی و کشاورزی، آلودگی منابع آبی، موضوع فاضلاب اهمیت بیش‌تری پیدا کرده است، به طوری که سازمان ملل متحد دهه‌ی ۱۹۸۰ را "دهه‌ی بین‌المللی تأمین آب سالم و بهداشتی" معرفی کرده است. عدم دفع صحیح فاضلاب‌ها سبب آلودگی محیط زیست، آلودگی منابع آبی، افزایش هزینه‌ی فرصت از دست رفته و گرفتگی منافذ خاک می‌شود. از طرف دیگر ورود مواد میکروبی، آلی و فلزی به طبیعت یا زنجیره‌ی ارزش غذایی انسان‌ها به دلیل عدم تصفیه‌ی کامل فاضلاب یک تهدید محسوب می‌شود. با این توضیحات توجه به مدیریت فاضلاب در مسیر توسعه‌ی پایدار به لحاظ زیست محیطی، اقتصادی (فرصت‌های از دست‌رفته‌ی اقتصادی و استفاده‌ی مجدد) و کارآمدی بسیار حایز اهمیت است که در این پژوهش به تفصیل ارائه خواهد شد. منطبق بر هدف پژوهش، مبانی نظری پژوهش از سه دیدگاه توسعه‌ی پایدار، اقتصاد چرخشی و استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب قابل ملاحظه بوده که در ادامه به اختصار ارائه می‌شود.



شکل ۱- ارتباط بین مؤلفه‌های توسعه‌ی پایدار

پیشینه‌ی توسعه‌ی پایدار مربوط به سال‌های پس از جنگ جهانی دوم در اروپا و ناهنجاری‌های زیست محیطی می‌باشد. در همین راستا اولین اجلاس بین‌المللی در زمینه‌ی محیط زیست در سال ۱۹۵۱ در استکهلم تشکیل شد. بعد از این اجلاس، حفظ محیط‌زیست در کنفرانس‌های پاریس (۱۹۶۸)، جنبه‌های اکولوژیکی توسعه و محیط انسانی (استکهلم، ۱۹۷۲) را می‌توان نتیجه‌ی رشد آگاهانه نسبت به مسایل جهانی محیط‌زیست دانست. متعاقب اجلاس استکهلم،

اقتصاد چرخشی (اقتصاد مدور)^۱ یکی از مباحث جدید اقتصادی است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از متخصصان قرار گرفته است. فلسفه‌ی وجودی اقتصاد چرخشی استفاده‌ی بهینه از منابع محدود، کاهش ضایعات و استفاده‌ی مجدد از آن‌ها در فرآیند تولید یا ساخت محصولات جانبی است. در واقع بر پایه‌ی ادبیات اقتصاد خطی در فرآیند تولید، هدف اصلی بنگاه‌های اقتصادی حداکثرسازی سود است، اما در اقتصادی چرخشی علاوه بر هدف فوق، مدیریت ضایعات نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. اقتصاد چرخشی منجر به افزایش ارزش افزوده و حاشیه‌ی سود، صرفه‌جویی هزینه‌ها، افزایش رقابت‌پذیری، کاهش آلودگی محیط‌زیست، ایجاد فرصت‌های شغلی جدید و... می‌شود. برخی از کشورهای پیشرفته مانند آلمان، ژاپن، اتحادیه‌ی اروپا و به خصوص چین از دو دهه‌ی گذشته از طریق اقدامات قانونی و تشکیل نهادهای دولتی فعالیت‌هایی را در زمینه‌ی استقرار اقتصاد چرخشی در سطح ملی و بخشی انجام داده‌اند و به مزایای فراوان آن دست یافته‌اند.

توجه به اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب به دلیل مشخصه‌های ارتباط تنگاتنگ فرآیند عملیات با محیط زیست (چرخه‌ی کوچک آب)، محدودیت‌های منابع آبی پایدار، رشد جمعیت، ارتقای سطح عمومی بهداشت، کاهش کیفیت منابع آبی و زیست محیطی می‌تواند بسیار مورد توجه باشد. این موضوع

توسعه‌ی پایدار^۲

بانک جهانی، توسعه را بسط طیف امکانات انسان‌ها، شامل دسترسی به حق اشتغال، درآمد، تحصیل، بهداشت و محیط زیست تعریف کرده است. توسعه‌ی پایدار دو اصل ناساگر پایداری محیط زیست و توسعه‌ی اقتصادی را به یک دیگر پیوند می‌دهد و مستلزم همکاری دولت، سازمان‌های غیردولتی، مردم و نهادهای بین‌المللی است. دفتر محیط زیست سازمان ملل متحد^۳، توسعه‌ی پایدار را پیشرفت کیفیت زندگی انسان‌ها با توجه به حفظ ظرفیت‌های تأمین‌کننده‌ی حیات زمین تعریف کرده است. یعنی برآوردن نیازهای نسل کنونی بدون صدمه زدن به منابع زمین و بدون این که جلوی تأمین نیازهای نسل آینده گرفته شود. منطبق بر نظریه‌ی هارتویک، توسعه‌ی پایدار را می‌توان وضعیتی در نظر گرفت که در آن رفاه اجتماعی در طول زمان نزولی نباشد (ارباب، ۱۳۹۲). توسعه‌ی پایدار شامل تمام جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی جامعه است و اصول آن بر چهار اصل به حداقل رساندن مصرف منابع طبیعی (مصرف بهینه)، پایدار ساختن مصرف منابع طبیعی تجدیدناپذیر، نگهداشتن حداقل ضایعات و آلودگی جهانی و تأمین نیازهای پایه‌ی انسانی و اجتماعی می‌باشد (شکل ۱).

کنفرانس شورای جهانی کلیساها، خواستار حقوق جامعه‌ی پایدار شد و در سال ۱۹۷۴ اعلامیه‌ی کوکوپوک^۶ که در آن توسعه‌ی بوم‌شناسانه مطرح شده بود، توسعه‌ی پایدار شکل رسمی به خود گرفت (کهن، ۱۳۷۶).

مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۱۹۸۳ کمیسیونی را با عنوان کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه^۷ به ریاست برانتلند^۸ نخست وزیر سوئد تشکیل داد. مؤلفه‌های جمعیت و توسعه، امنیت غذایی، انرژی، صنعت و چالش‌های شهری مهم‌ترین مسایل

اقتصاد چرخشی

امروزه اقتصاد خطی (استخراج-ساخت-دورریز) به مقدار بسیار زیاد به مواد قابل دسترس، ارزان و انرژی وابستگی دارد. اقتصاد چرخشی، از نقطه نظر طراحی، مصارف مجدد و تجدیدپذیر مطرح است و هدف نهایی آن تأمین حفظ و نگهداری محصولات، مؤلفه‌ها و مواد در بالاترین سطح مطلوبیت و بهره‌وری می‌باشد. همان‌طور که بنیان‌گذاران اقتصاد چرخشی تصور می‌کردند، اقتصاد چرخشی، یک چرخه‌ی توسعه‌ای مثبت و مستمر است که سبب حفظ و ارتقای سرمایه‌های طبیعی، افزایش بازدهی منابع و هم‌چنین کاهش خطرهای سیستمی از طریق مدیریت محصولات و چرخه‌های تجدیدپذیر می‌شود که در هر مقیاسی به شکلی کارآمد و مؤثر عمل می‌کند.

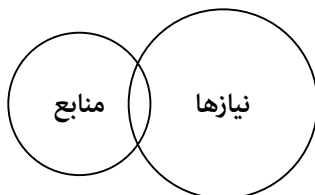
برخلاف اقتصاد خطی، اقتصاد چرخشی به حفظ محیط‌زیست از طریق افزایش سهم منابع تجدیدپذیر و یا قابل بازیافت هم‌زمان با کاهش مصرف مواد خام و انرژی اهمیت می‌دهد. ایجاد اقتصاد چرخشی نیاز به تغییرات بنیادی در زنجیره‌ی ارزش از طراحی محصول و فرآیند تولید تا مدل‌های کسب و کار جدید و الگوهای مصرف دارد. اقتصاد چرخشی، بازیافت زباله‌ها را به منابع جدید تبدیل می‌کند و به افزایش طول عمر کالا و حفظ منابع طبیعی نیز کمک می‌کند (Murray و همکاران، ۲۰۱۵).

• اقتصاد چرخشی در مقابل اقتصاد خطی

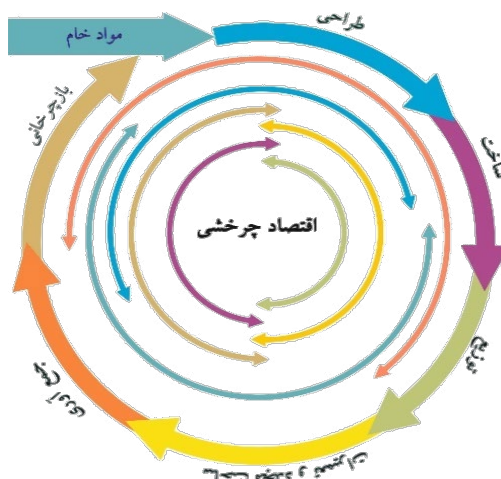
اقتصاد خطی ریشه در خواسته‌ها، امکانات جوامع بشری و نیازهای انسان دارد. این مسئله‌ی اساسی به دو عامل نامحدود بودن نیازهای انسان‌ها و کمیابی منابع تولید بستگی دارد. بنابراین برای هر جامعه این مسئله‌ی مهم اقتصادی پیش می‌آید که چگونه می‌توان منابع کمیاب را برای ارضای خواسته‌هایی که با هم در رقابت‌اند، تخصیص داد؛ به طوری که حداکثر آن خواسته‌ها برآورد شود. طیف گسترده‌ی تئوری‌های اقتصاد، یکی از راه‌های موجود برای تخصیص بهینه‌ی منابع تولیدی کالاها و خدمات می‌باشند. در واقع اقتصاد با تولید اطلاعات بسیار مفید به عنوان یک ابزار در تصمیم‌گیری بهینه مورد

مورد شناسایی این کمیسیون بود. این گزارش مبنایی برای تهیه‌ی دستور کار ۲۱^۹ برای برگزاری کنفرانس ریودوژانیرو^{۱۰} (اجلاس زمین) در سال ۱۹۹۲ شد. این اجلاس، طرح توسعه‌ی پایدار (دستور کار ۲۱) برای سال‌های پایانی قرن بیستم را مشخص کرد. از فرازهای مهم این اجلاس، تشکیل کمیسیون پایدار^{۱۱} تحت نظر سازمان ملل با هدف ارتقای همکاری بین‌المللی و منطقی کردن ظرفیت تصمیم‌گیری بین دولت‌ها و اقدامات اجرای دستور کار ۲۱ بود. متعاقب این اجلاس در سال ۱۹۹۳ اولین نشست این کمیسیون برگزار شد.

استفاده‌ی مدیریت قرار می‌گیرد. هدف اقتصاد خطی و فرآیند زنجیره‌ی ارزش در شکل (۲) آمده است (سجادی فر و داودآبادی، ۱۳۹۵). این در حالی است که در اقتصاد چرخشی، علاوه بر بهینه‌یابی (نقطه‌ی مشترک اقتصاد چرخشی و خطی) در تمام زنجیره‌ی ارزش کالا یا ارائه‌ی خدمات، مدیریت ضایعات و استفاده از آن در ساخت مجدد و فرآیند تولید مورد توجه است (شکل ۳).



شکل ۲- تخصیص بهینه‌ی منابع کمیاب (بهینه‌یابی) در علم اقتصاد



شکل ۳- نمودار اقتصاد چرخشی

• اصول و مبانی اقتصاد چرخشی

اقتصاد چرخشی تأمین‌کننده‌ی مکانیسم‌های متعدد ایجاد ارزش است که با مصرف منابع محدود در تضاد است. در یک اقتصاد چرخشی، مصرف تنها در چرخه‌های زیستی مؤثر رخ می‌دهد و به این ترتیب بهره‌برداری جایگزین مصرف می‌شود. منابع یا در چرخه

زیستی، احیا و یا در چرخه‌ی صنعتی ذخیره می‌شوند. در چرخه‌ی زیستی، فرآیندهای زیستی بی‌نظمی‌های مواد را با دخالت و یا بدون دخالت انسان دوباره احیا می‌کنند. در چرخه‌ی صنعتی با مقدار مکفی انرژی موجود، دخالت انسان باعث احیای مواد و ایجاد دوباره نظم در زمان مقتضی می‌شود. تأمین و ارتقای سرمایه در این دو چرخه، دارای مشخصه‌های متفاوتی می‌باشند. اقتصاد چرخشی بر پایه‌ی سه اصل در ارتباط با منابع و چالش‌های سیستمی که اقتصاد صنعتی با آن مواجه است، استوار می‌باشند.

- **حفظ و افزایش سرمایه‌های طبیعی:** اقتصاد چرخشی هنگام نیاز به منابع، با انتخاب مناسب منابع و بکارگیری فن‌آوری و فرآیندهای تجدیدپذیر منجر به استفاده‌ی بهینه از آن‌ها می‌شود. اقتصاد چرخشی از طریق افزایش جریان مواد مغذی درون سیستمی و ایجاد شرایط مناسب برای بازیابی، سبب تقویت و افزایش کیفیت سرمایه‌های ملی (مانند زمین و آب) می‌شود.

- **بهینه‌سازی عملکرد منابع:** این اصل شامل سه مرحله‌ی تولید مجدد، بازسازی و بازیافت به منظور حفظ عناصر، مواد در چرخه و کمک به فرآیند اقتصاد چرخشی می‌باشد. اقتصاد چرخشی از حلقه‌های درونی و فشرده به منظور حفاظت و نگهداری انرژی و سایر عناصر با ارزش (سرمایه‌ی انسانی) استفاده می‌کند. این سیستم‌ها از طریق افزایش عمر مفید محصولات و استفاده‌ی بهینه، سرعت حلقه‌ی تولید محصول (فرآیند عملیات) را پایین نگه می‌دارد. این اشتراک‌گذاری به نوبه‌ی خود سبب افزایش بهره‌وری می‌شود. اقتصاد چرخشی، افزایش استفاده از مواد زیست‌بنیان بی‌مصرف، استخراج مواد بیوشیمیایی اولیه مغذی و تجزیه‌ی آن‌ها برای کاربردهای گوناگون را به دنبال دارد. در واقع اقتصاد چرخشی، ورودی‌های کم ارزش را به ستانده‌های با ارزش تبدیل می‌کند.

- **افزایش اثربخشی سیستم:** این اصل شامل کاهش خسارت به منابع انسانی، از قبیل منابع غذایی، مهاجرت، سرپناه، تحصیلات، بهداشت، سرگرمی و مدیریت اثرات جانبی از قبیل استفاده از منابع ارضی، هوا، آب و آلودگی صوتی، انتشار مواد سمی و تغییر وضعیت اقلیمی می‌باشد (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Company, ۲۰۱۴).

• ویژگی‌های اقتصاد چرخشی

اصول حاکم بر اقتصاد چرخشی که به صورت کنشی عمل می‌کنند، ویژگی‌های بنیادین زیر را دارند:

- **حذف ضایعات:** هنگامی که عناصر (مواد) زیستی و صنعتی یک محصول با دقت و با در نظر گرفتن میزان سازگاری مناسب در یک چرخه‌ی زیستی یا صنعتی طراحی شوند، ضایعاتی وجود نخواهد داشت. مواد زیستی موادی غیرسمی بوده که به آسانی قابلیت تبدیل شدن به کود را دارند. مواد صنعتی، پلیمرها، آلیاژها و سایر ترکیبات مصنوعی نیز به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با صرف حداقل

انرژی و حفظ بالاترین کیفیت، مجدداً مورد استفاده قرار بگیرند. - **انعطاف‌پذیری از طریق متنوع‌سازی:** پیمانه‌ای بودن، تطبیق‌پذیری و قابلیت تغییر به ویژگی‌های ارزشی اطلاق می‌شود که نیاز مبرمی به اولویت‌بندی شدن در این دنیای به شدت در حال تغییر دارند. به دلیل حداکثرسازی ظرفیت و نیل به مطلوب‌ترین بازدهی، سیستم‌های متنوع دارای ارتباطات زیاد و با مقیاس‌های بزرگ در مواجهه با شوک‌های خارجی نسبت به سیستم‌هایی که به آسانی برای اثربخشی ایجاد می‌شوند، انعطاف‌پذیری بیش‌تری دارند.

- **استفاده‌ی انرژی از منابع تجدیدپذیر:** سیستم‌ها در نهایت ناگزیرند که از منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده نمایند. دستیابی به آن از طریق کاهش آستانه‌ی سطوح انرژی مبتنی بر الزامات اقتصاد چرخشی صورت می‌گیرد. اگر چه سیستم تولید محصولات کشاورزی از انرژی خورشیدی استفاده می‌نمایند، اما مقدار قابل توجه‌ای از سوخت‌های فسیلی در کودهای شیمیایی، ماشین‌آلات کشاورزی و زنجیره‌ی تأمین به کار می‌رود. سیستم‌های غذایی و کشاورزی جامع‌تر از طریق بهینه‌سازی نهاده‌ها، مصرف سوخت فسیلی را کاهش داده و مقدار زیادی انرژی را از محصولات و کود کشاورزی به دست می‌آورد.

- **تفکر درون سیستمی:** در یک سیستم، چگونگی تأثیر اجزا بر یک‌دیگر و تأثیر متقابل سیستم بر اجزا تعیین‌کننده و بحث برانگیز است. اجزا در زمینه‌ی اجتماعی و محیط‌زیستی بررسی می‌شوند. تفکر درون سیستمی به طور معمول به اکثریت سیستم‌های پرقدرت مربوط می‌شود. این سیستم‌های غیرخطی، بازخوردی و بسیار به هم پیوسته‌اند. در این سیستم‌ها، شرایط مبهم آغازین با بازخوردها ترکیب شده و اغلب منجر به پیامدهای شگفت‌انگیزی می‌شود، نتایجی که خیلی اوقات با ورودی‌ها متناسب نیست. چنین سیستم‌هایی نمی‌توانند در راستای متعارف و خطی مدیریت شوند. برای تغییر پیامدها به انعطاف‌پذیری و انطباق بیش‌تری نیاز است.

- **تفکر آبشاری:** در مواد و کالاهای با ماهیت طبیعی، ایجاد ارزش افزوده و مصرف آن‌ها در یک کاربری، مانع از ایجاد ارزش افزوده در کاربری‌های دیگر می‌شود. در فرآیندهای زیستی، چه در فرآیندهای تخمیر کنترل شده یا طبیعی، کالا توسط میکرو ارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها تجزیه شده و انرژی و مواد مغذی از کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها آزاد می‌شود. برای نمونه، ارزش حاصل از تجزیه‌ی بیولوژیک چوب طی فرآیندهای کنترل شده و استحصال موادی مانند الکل و یا تولید الوار و سازه‌های چوبی به مراتب بیش از ارزش حاصل از سوزاندن آن است. بدیهی است با استحصال الکل از چوب، تولید الوار و سازه‌های چوبی فرصت سوزاندن آن از بین می‌رود و بر عکس (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Company, ۲۰۱۴).

بازیابی و استفاده‌ی دوباره از فاضلاب

- آبیاری زمین‌های کشاورزی (محصولات خام یا پخته، غلات، میوه و چراگاه دام)

- مصارف شهری (توالت، نظافت، لباس‌شویی، فضای سبز و آتش‌نشانی)

- مصارف صنعتی (خنک‌کردن تأسیسات تولید برق، تولید بخار، آبکاری و صنایع فولاد)

- آبی‌ری پروری (ماهی، میگو و خرچنگ)

- ورزش و تفریح‌های آبی (شنا، صید ماهی، قایق‌رانی و زمین‌های بازی گلف)

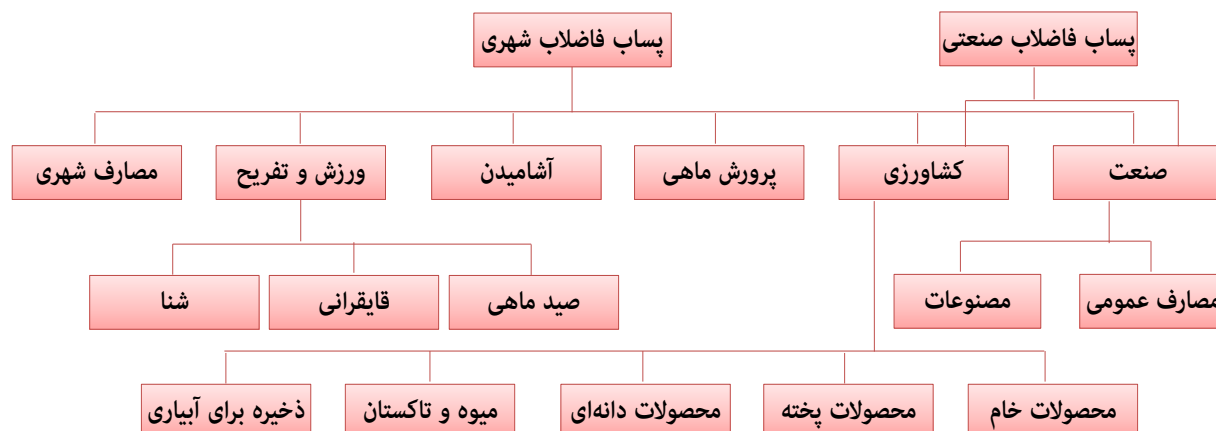
- تغذیه‌ی آبخوان‌های زیرزمینی

- آشامیدن

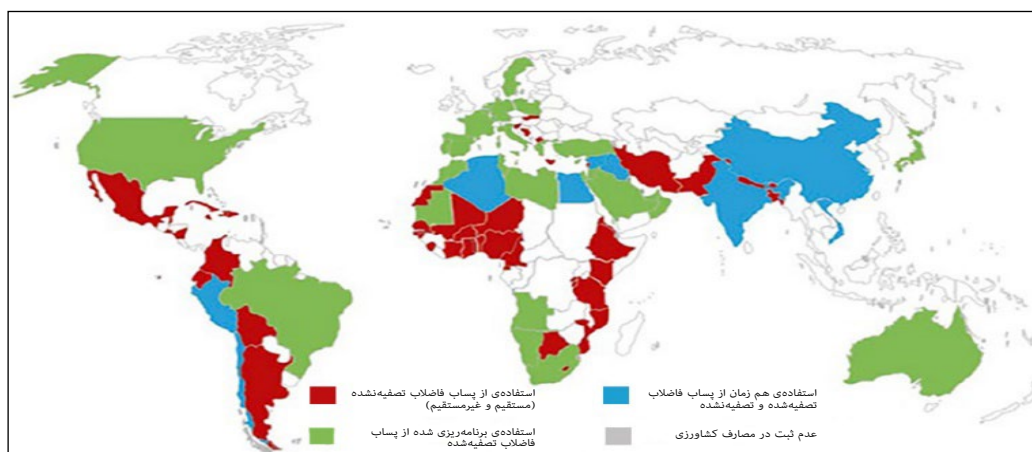
سازمان بهداشت جهانی مصارف بازیافت فاضلاب را منطبق بر شکل (۴) ارائه کرده است (WHO، ۱۹۸۹).

از میان مصارف گوناگون پساب فاضلاب، بیش‌ترین حجم پساب فاضلاب برای بخش کشاورزی (کشت انواع محصولات و آبیاری چراگاه دام‌ها) گزارش شده است (شکل‌های ۵ و ۶).

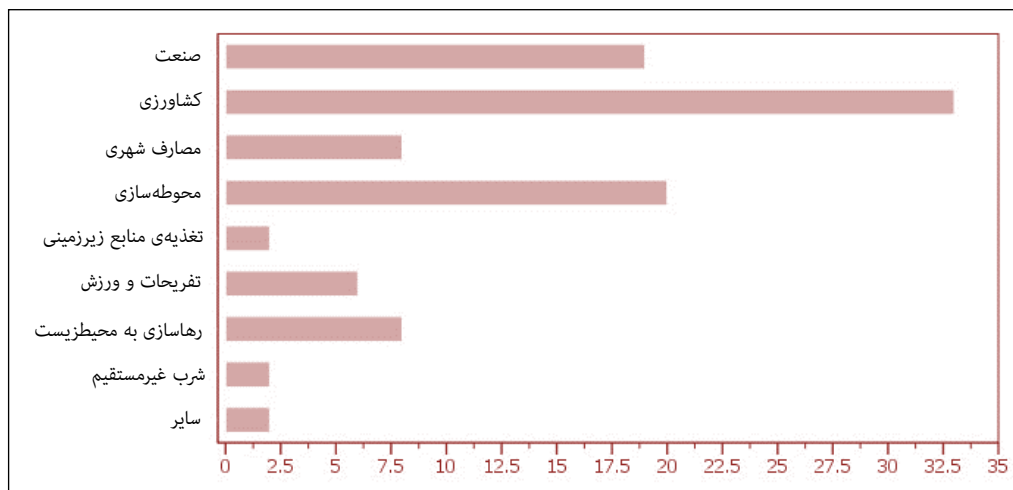
همچنان که گفته شد، افزونی جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز به کالاها و خدمات گوناگون، تقاضا برای آب را افزایش داده است، این در حالی است که حجم منابع آبی در حال کاهش است. در چنین شرایطی فاضلاب، به عنوان کالایی با ارزش بالا تلقی شده و می‌تواند بخشی از نیازهای آبی را پاسخگو باشد. پساب فاضلاب‌ها، منابع آبی پایدار و مطمئنی هستند که به راحتی و بدون صرف هزینه‌های زیاد در دسترس می‌باشند. سازمان بهداشت جهانی معتقد است که بازیافت فاضلاب در کشورهای کم‌تر توسعه یافته یا در حال توسعه که اغلب آن‌ها دارای جمعیت زیادی هستند و از محدودیت منابع آبی و کمبود پروتئین غذایی در رنج به سر می‌برند، دارای اهمیت بسیار زیادی است. در این کشورها پساب فاضلاب، بخش زیادی از نیازهای آب کشاورزی و تأمین پروتئین را می‌تواند مرتفع سازد. استفاده از پساب فاضلاب در موارد زیر متصور است:



شکل ۴- مصارف فاضلاب تصفیه شده منطبق بر پیشنهاد سازمان بهداشت جهانی (WHO، ۱۹۸۹)



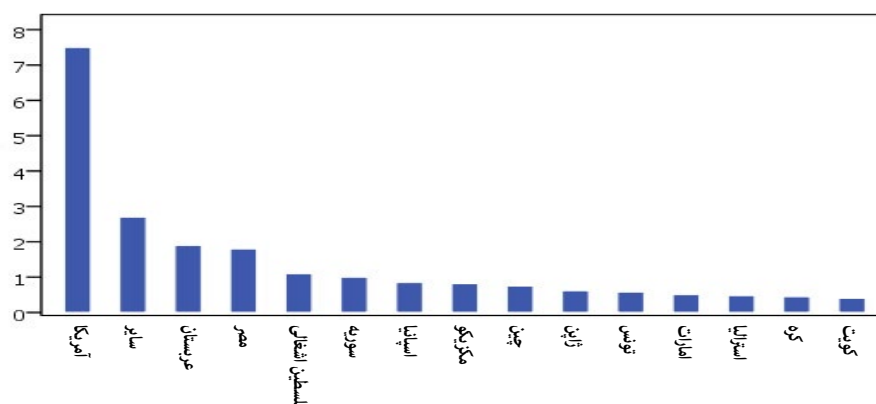
شکل ۵- تصویر جهانی استفاده از پساب فاضلاب در بخش کشاورزی در سال ۲۰۱۲ (Drechsel و همکاران، ۲۰۱۶)



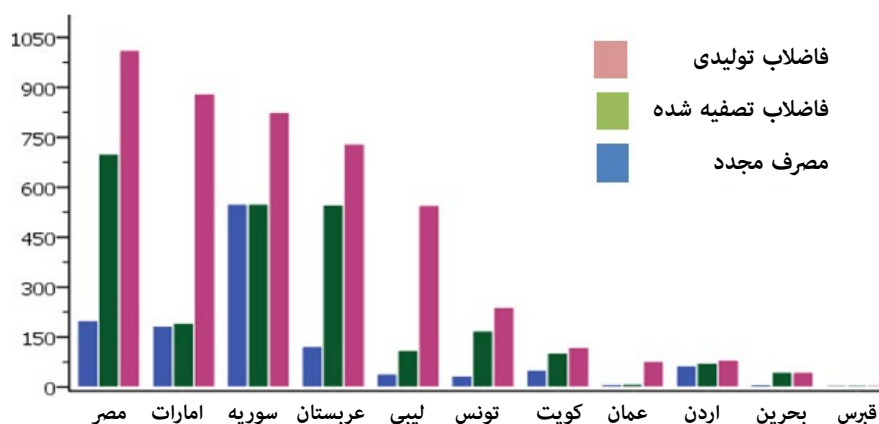
شکل ۶- بازیافت پساب فاضلاب تصفیه شده‌ی جهانی در بخش‌های مختلف در سال ۲۰۱۲ (ارقام درصد) (Drechsel و همکاران، ۲۰۱۶)

در سال ۲۰۱۲ به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) و جدول (۱) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایالات متحده آمریکا با مصرف ۷/۶۵ میلیارد گالن در روز بیش‌ترین مقدار بازیافت را دارد.

استفاده از فاضلاب برای مصارف گوناگون سابقه‌ی زیادی دارد، ولی استفاده‌ی رسمی از پساب فاضلاب تصفیه شده به دهه‌های پایانی قرن ۱۸ و در شهرهای ایالات کالیفرنیا باز می‌گردد. مقایسه‌ی مصرف مجدد فاضلاب در برخی از کشورها



شکل ۷- مقایسه‌ی مصرف مجدد فاضلاب در برخی از کشورها در سال ۲۰۱۲ (ارقام میلیارد گالن در روز) (<http://www.fao.org>)



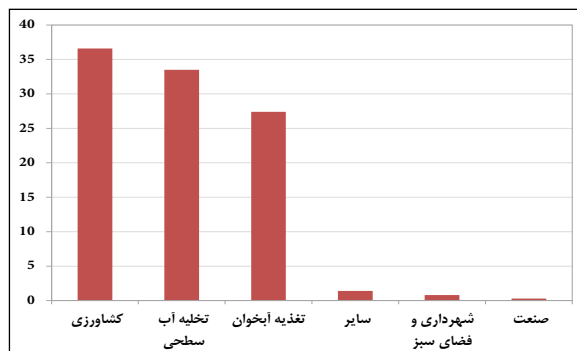
شکل ۸- مقایسه‌ی مصرف مجدد فاضلاب در برخی از کشورهای منا در سال ۲۰۱۲ (ارقام میلیون مترمکعب در سال)

جدول ۱- مقایسه‌ی حجم استفاده‌ی مجدد از فاضلاب در کشورهای دریای مدیترانه در سال ۲۰۱۲ (Kellis و همکاران، ۲۰۱۳)

کشور	حجم استفاده‌ی مجدد از فاضلاب (هزار مترمکعب در روز)
اسپانیا	۱,۱۱۷
فرانسه	۱۹
مالتا	۱۱
ایتالیا	۱۲۳
یونان	۲۸
قبرس	۶۸
ترکیه	۱۳۶

جدول ۲- مصارف مجدد فاضلاب شرکت‌های آب و فاضلاب شهری در سال ۱۳۹۴

عنوان	حجم (هزار مترمکعب)	فراوانی (درصد)
کشاورزی	۵۶۳,۱۸۲	۳۶/۶
تخلیه‌ی آب سطحی	۵۱۴,۳۲۴	۳۳/۵
تغذیه‌ی آبخوان	۴۲۱,۳۸۰	۲۷/۴
سایر	۲۱,۷۷۶	۱/۴
شهرداری و فضای سبز	۱۱,۷۳۸	۰/۸
صنعت	۴,۶۰۰	۰/۳
جمع	۱,۵۳۷,۰۰۰	۱۰۰



شکل ۹- مصارف مجدد فاضلاب شرکت‌های آب و فاضلاب شهری در سال ۱۳۹۴ (ارقام به درصد است)

منطبق بر گزارش‌های منتشره از سوی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور در سال ۱۳۹۴ مجموع مصارف آب شهری ۴۴۱۵ میلیون مترمکعب بوده که معادل ۳۵ درصد آن (۱۵۳۷ میلیون مترمکعب) به عنوان مصارف فاضلاب جمع‌آوری و تصفیه شده است. در جدول (۲) و شکل (۹) مصارف مجدد فاضلاب تصفیه شده در سال ۱۳۹۴ ارائه شده است. بیش‌ترین حجم مصرف مجدد فاضلاب مربوط به کشاورزی بوده و بعد از آن تخلیه آب سطحی و تغذیه‌ی آبخوان قرار دارند. به رغم اهمیت و بازدهی بسیار زیاد آب در بخش صنعت، میزان تخصیص فاضلاب تصفیه شده به این بخش بسیار ناچیز است (شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، ۱۳۹۵).

ضرورت‌ها و الزامات (استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب)

از نیمه‌ی دوم قرن نوزدهم به این سو از عامل‌هایی مانند افزایش جمعیت، رشد سریع شهرنشینی، تخلیه‌ی پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی به عنوان عامل‌های تقلیل و تخریب کیفیت آب یاد می‌شود. هدف‌های زیر می‌تواند در استفاده‌ی مجدد از فاضلاب از منظر اقتصاد چرخشی مد نظر قرار بگیرد:

۱. سازمان جهانی کشاورزی و خواروبار، محدودیت زمین و منابع آبی را دو عامل مهم در توسعه‌ی کشاورزی می‌دانند که کشور ما به لحاظ زمین محدودیت خاصی ندارد و محدودیت منابع آبی مهم‌ترین عامل در توسعه‌ی کشور محسوب می‌شود. بر مبنای گزارش‌های شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، برای نمونه در سال ۱۳۹۴ از ۴۴۱۵ میلیون مترمکعب پساب فاضلاب شهری تولید شده در حدود ۱۵۳۷ میلیون مترمکعب از آن تصفیه شده که این حجم فاضلاب تصفیه شده، می‌تواند نقش پررنگی در رشد اقتصادی

بخش‌های کشاورزی و صنعت داشته باشد.

۲. سازمان ملل متحد دو عامل رشد جمعیت و نابودی و کمبود منابع آبی را مهم‌ترین مسایل روز جهان به خصوص در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه معرفی کرده است. در کشور ما به رغم رشد بالای جمعیت کشور (برای نمونه در سال ۱۳۹۴ در حدود ۱/۳ درصد) از یک سوی و کاهش منابع آبی از سویی دیگر (کاهش مصرف سرانه سالانه از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به ۱۳۰۰ مترمکعب در افق ۱۴۰۰) نیاز بیش‌تری به محصولات کشاورزی، تولیدات صنعتی و مدیریت منابع آبی کشور احساس می‌شود. استفاده از پساب فاضلاب‌های تصفیه شده می‌تواند در این زمینه بسیار با اهمیت باشد (روابط عمومی و امور بین‌الملل شرکت آب و فاضلاب مهندسی کشور، ۱۳۸۹).

۳. یکی از راهکارهای کارآمد برای مقابله با بحران کمبود آب، استفاده از آب‌های نامتعارف است. نظر به این که پساب‌های فاضلاب کم‌تر تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند، بنابراین پساب‌های فاضلاب

می‌تواند منبع قابل اطمینان و پایدار برای دوره‌های خشکسالی باشد. ۴. با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، در راستای اجرای تدابیری برای توسعه و بهره‌برداری از منابع آبی جدید به خصوص در بخش کشاورزی، استفاده از پساب، می‌تواند به عنوان منابع آب مورد توجه قرار گیرد. با این کار نه تنها بخشی از کمبود آب کشاورزی جبران می‌شود، بلکه از اثرات مخرب پساب‌ها و خسارات آن‌ها به منابع کشاورزی و محیط زیست نیز جلوگیری می‌شود. ۵. دسترسی سریع و بدون صرف هزینه به پساب فاضلاب از مشخصه‌های منحصر به فرد اقتصاد پساب فاضلاب است که این موضوع سبب منافع اقتصادی فراوانی از جمله ایجاد ارزش افزوده‌ی خالص می‌شود. ۶. استفاده از پساب‌های فاضلاب تصفیه شده سبب صرفه‌جویی در استفاده از منابع آبی و کودهای سنتزی می‌شود، زیرا پساب فاضلاب

آسیب‌شناسی (مشکلات فاضلاب در توسعه‌ی پایدار)

هر چند استفاده از پساب‌های فاضلاب در نگاه اول می‌تواند جایگزین مناسبی برای آب‌های متعارف باشد، اما انتقال مواد شیمیایی در خاک یا منابع آبی سبب آلودگی و کاهش کیفیت منابع آبی و خاک می‌شود. روی دیگر سکه این که جذب مواد شیمیایی، میکروبی و فلزات سنگین در عناصر محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب فاضلاب تهدیدی برای سلامت انسان‌ها محسوب می‌گردد. این دو موضوع از مهم‌ترین چالش‌های استفاده از پساب‌های فاضلاب است. بنابراین اولین موضوعی که در طرح‌های آبیاری با پساب فاضلاب یا مصارف صنعتی بایستی لحاظ شود، سطح کیفی پساب فاضلاب به لحاظ مواد شیمیایی است.

در زمینه‌ی استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب استانداردهای متنوعی برای درصد مجاز مواد شیمیایی، آلی و فلزات توسط مراجع بین‌المللی و داخلی تهیه و تدوین شده است، اما در بلندمدت ریسک آلودگی منابع آبی و خاک را می‌تواند به دنبال داشته باشد. با این حال استفاده از پساب فاضلاب‌هایی که در سطح کیفی استانداردهای جهانی و محلی قرار دارند نیز بایستی مطالعات جامعی در خصوص جذب مواد شیمیایی و آلی در گیاه و خاک با توجه به نوع محصول، نوع خاک منطقه، شرایط جغرافیایی و... انجام شود. برخی از آسیب‌های آلودگی محیط‌زیست، منابع آبی و محصولات زراعی به مواد شیمیایی و آلی فاضلاب به شرح زیر است:

- مطابق گزارش‌های نهادهای بین‌المللی، بیش از ۸۰ درصد از کل بیماری‌های کشورهای کم توسعه مربوط به آب بوده (۱/۵ میلیارد بیماری) که بیش‌تر از طریق ورود فاضلاب‌ها به منابع آبی منتقل می‌شوند و در حدود یک سوم از تخت‌های بیمارستانی

حاوی مواد آلی و معدنی متعددی است که پس از ورود به خاک به وسیله‌ی میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و سبب افزایش و تقویت خاک می‌گردد^{۱۱}.

۷. آلودگی منابع آبی به مواد شیمیایی، آلی و فلزات سنگین به دلیل نفوذ فاضلاب و حذف آن‌ها در حد استانداردهای تعیین شده، مستلزم صرف سرمایه‌گذاری و تأسیسات فنی تخصصی (اسمز معکوس و سامانه‌های ممبران) بسیار زیادی است که امکان دارد از توان مالی و فنی واحدهای تأمین و توزیع آب و دولت‌ها خارج باشد.

۸. نظر به موقعیت جغرافیایی کشور یکی از شیوه‌های مبارزه با بیابان‌زایی و شن‌های روان پوشش گیاهانی مناسب مانند قره‌داغ، تاغ، آتروپلکس و ... است. در این زمینه، پساب فاضلاب حتی اگر دارای خصوصیات کیفی اندکی نیز باشد (تصفیه‌ی مقدماتی)، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

ناشی از بیماری‌های مرتبط به آن می‌باشد (Wyatt، ۲۰۱۰).

- عدم حذف مواد شیمیایی و آلی آب به دلیل آلودگی با فاضلاب می‌تواند سلامت مصرف‌کنندگان را به خطر بیندازد. مصرف محصولات کشاورزی آلوده به مواد شیمیایی سبب کاهش برخی از مواد مغذی و دفاع ایمنی بدن، تأخیر رشد جنین، سوء تغذیه و شیوع انواع سرطان می‌شود (Turkdogan و همکاران، ۲۰۱۳). صرف‌نظر از زیان‌های اقتصادی ناشی از بیماری‌های آب، کاهش توان و ظرفیت تولید افراد، هزینه‌های تأمین و توزیع آب آشامیدنی سالم برای تمام جمعیت جهان در سال ۲۰۱۰ در حدود ۵۰ میلیارد دلار بوده است^{۱۲} (Wyatt، ۲۰۱۰).

- نیترات و سایر مواد شیمیایی یک تهدید بالقوه برای سلامتی انسان‌ها (به خصوص نوزادان) است و سبب بیماری متهموگلوبین^{۱۳} (سندروم نوزاد کبود) می‌شود. این عارضه به خصوص اگر نوزاد از شیر خشک رقیق شده با آب آلوده به نیترات بالا تغذیه شده‌اند، بیش‌تر است. هم‌چنین مصرف مزمن مقادیر بالای نیترات سبب برخی از سرطان‌ها و نقایص جنینی می‌شود (علی‌زاده، ۱۳۸۹).

- آلودگی و کاهش منابع آبی مستلزم انتقال آب از سایر منابع و حوزه‌های آبی دوردست است که مستلزم وجود منابع مالی زیاد و احتمال وقوع منازعات اجتماعی می‌شود. از آن جایی که در صنعت آب و فاضلاب اجرای بیش‌تر طرح‌های سرمایه‌گذاری به لحاظ اقتصادی دارای بازدهی صعودی نسبت به مقیاس، مدت زمان طولانی بازگشت سرمایه و شرایط انحصار طبیعی هستند، بنابراین، امکان تأمین منابع سرمایه‌گذاری از محل منابع داخلی بنگاه‌های آب وجود ندارد و دولت‌ها بایستی در این خصوص سرمایه‌گذاری نمایند. این موضوع به لحاظ محدودیت منابع مالی بسیاری از دولت‌ها و تحمیل بار مالی این سرمایه‌گذاری‌ها بر مشترکان حایز اهمیت است.

رشد جمعیت و شهرنشینی، افزایش رشد اقتصادی و تغییر اقلیم منجر به عدم حفظ منابع موجود می‌گردد. برای کاهش فشار منابع طبیعی، انرژی و به ویژه آب، لازم است مدل اقتصاد چرخشی جایگزین مدل اقتصادی خطی گردد. اقتصاد چرخشی در مدیریت منابع آب چارچوب پویایی را ارائه می‌دهد که از طرفی انعطاف‌پذیری و تجدیدپذیری منابع آبی را برای آیندگان مهیا کرده و از طرفی دیگر، مکانیسم‌های اثربخش بهبود شرایط اقتصادی، زیست محیطی را برای جامعه فراهم کند. بر اساس مطالعات بنیاد الن مک آرتور، مجمع جهانی اقتصاد و شرکت مک کینزی^۴، راه‌حل‌های اقتصاد چرخشی، نه تنها سبب کاهش ۱۷ الی ۲۴ درصدی مصرف مواد خام مورد نیاز اتحادیه‌ی اروپا شده، بلکه با افزایش GNP سبب ایجاد ۱/۴ الی ۲/۸ میلیون فرصت شغلی نیز شده است. اقتصاد چرخشی برای جوامع محلی، بستری را ایجاد می‌کند که از طریق آن دولت‌ها یا سازمان‌ها قادر به استفاده از فرصت‌های ایجاد شده برای سامان‌دهی به چرخه‌های معیوب محلی آب، مواد و انرژی تجدیدپذیر می‌باشند. اقتصاد چرخشی آب علاوه بر حفاظت منابع آبی، پل ارتباطی میان مواد و انرژی بوده که در شکل‌دهی به مفهوم اقتصاد چرخشی نقش حیاتی را ایفا می‌کند. با این رویکردها، نظام جهانی آب دارای نقشی اساسی در گذار جهان از مصرف خطی منابع به سمت استفاده‌ی چرخشی آن است. موفقیت در توسعه، مستلزم وجود یک اقتصاد چرخشی پویا در گرو تعامل و همکاری میان افراد، سازمان‌ها و تغییر در شیوه‌های سنتی ذخیره‌سازی آب می‌باشد (Veolia Group، ۲۰۱۵). به همین منظور، در این مطالعه سعی شده است که تأثیر اقتصاد چرخشی فاضلاب

بر رشد اقتصادی کشور بررسی گردد. در ابتدا لازم است که ارزش اقتصادی یک مترمکعب آب در بخش‌های مختلف اقتصادی مشخص گردد. شیوه‌ی دستیابی به این هدف در زیر تشریح شده است: نتایج یک پژوهش نشان می‌دهد که ارزش اقتصادی یک مترمکعب آب در صنایع تولید مواد شیمیایی معادل ۳۷۰۷۱ ریال می‌باشد (تهامی‌پور، ۱۳۹۶). نظر به این که صنایع شیمیایی در بخش صنعت دارای بیش‌ترین مصرف آب می‌باشد، در این نوشتار نیز ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت ۳۷۰۷۱ ریال در نظر گرفته شده است. بر اساس جستجوهای انجام شده مشخص گردید که تاکنون برای تعیین ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی و در سطح کلان کشور مطالعه‌ی علمی انجام نشده است. در این پژوهش برای مشخص کردن ارزش اقتصادی آب در بخش کشاورزی از روش تقریبی استفاده شده که در ادامه ارائه می‌شود. در سال ۱۳۹۴ ارزش افزوده بخش کشاورزی ۱۶۵۸ هزار میلیارد ریال و مصرف آب این بخش ۷۴ میلیارد مترمکعب می‌باشد (مرکز آمار ایران و دفتر معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۴). بنابراین برای ایجاد ۲۲۴۱۱ ریال ارزش افزوده به یک مترمکعب آب نیاز است. از سویی، سهم مصرف آب از ایجاد ارزش افزوده بخش کشاورزی حدود ۱۴ درصد است. در این صورت هر مترمکعب آب ۳۱۴۵ ریال ارزش افزوده در بخش کشاورزی ایجاد می‌کند که با کمی اغماض می‌توان آن را ارزش اقتصادی آب در این بخش در نظر گرفت. برای محاسبه‌ی سهم پساب فاضلاب در ایجاد ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی، ارزش اقتصادی یک مترمکعب آب در میزان پساب فاضلاب تخصیص داده شده‌ی آن بخش ضرب می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳- سهم پساب فاضلاب در افزایش ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی کشور در سال ۱۳۹۴

عنوان	ارزش افزوده (میلیارد ریال)	سهم از ارزش افزوده (درصد)	واگذاری پساب (میلیون مترمکعب)	ارزش اقتصادی یک مترمکعب آب (ریال)	ارزش اقتصادی پساب (میلیارد ریال)	سهم پساب در ایجاد ارزش افزوده (درصد)
کشاورزی	۱,۶۵۸,۴۳۵	۱۴	۵۶۳	۳,۱۴۵	۱,۷۷۱	۰/۱۰۷
معدن	۷۰۸,۰۹۹	۶	-	-	-	-
صنعت	۱,۷۵۳,۲۶۶	۱۵	۵	۳۷,۰۷۱	۱۸۵	۰/۰۱۱
آب، برق و گاز	۶۹۴,۰۳۴	۶	-	-	-	-
ساختمان	۴۲۲,۴۲۲	۴	-	-	-	-
خدمات	۶,۳۷۲,۷۶۱	۵۵	-	-	-	-
جمع	۱۱,۶۰۹,۰۱۷	۱۰۰	۵۶۸	-	۱,۹۵۶	۰/۰۱۷

همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهد، سهم پساب در افزایش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی و صنعت به ترتیب ۰/۱۰۷ و ۰/۰۱۱ درصد است. با توجه به این که ۳۴ میلیون مترمکعب از پساب

فاضلاب به فضای سبز شهرداری‌ها و سایر بخش‌ها اختصاص داده شده و در این بخش‌ها ارزش اقتصادی آب در دسترس نمی‌باشد، لذا فقط می‌توان به هزینه‌ی فرصت عدم تولید آب در این بخش‌ها

اشاره نمود. در سال ۱۳۹۴ هزینه‌ی تمام شده‌ی يك مترمکعب آب در بخش شهری معادل ۸۷۰۵ ریال گزارش شده است، بنابراین هزینه‌ی فرصت عدم تولید آب در این بخش‌ها ۲۹۵ میلیارد ریال می‌باشد. در این صورت کل ارزش اقتصادی پساب فاضلاب ۲۲۵۱ میلیارد ریال (۰/۰۲ درصد از کل ارزش افزوده‌ی کشور) خواهد بود. همان‌طور که پیش‌تر عنوان شده از مجموع مصارف آب شهری کشور (۴۴۱۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴) فقط در حدود ۳۵ درصد آن (۱۵۳۷ میلیون مترمکعب) جمع‌آوری، تصفیه و استفاده‌ی مجدد شده و ۲۷ درصد آن به بخش‌های کشاورزی، صنعت و سایر بخش‌های اقتصادی اختصاص داده شده که توانسته است ارزش افزوده کشور را

بحث و تحلیل

مطابق مطالبی که پیش‌تر پیرامون آن‌ها بحث شد، این نکته مهم این است که توجه به اقتصاد چرخشی می‌تواند تأثیر پررنگی در سطح ملی (اقتصاد کلان) و بخشی (مانند صنعت آب و فاضلاب) داشته باشد. نگاهی گذرا به عملکرد برخی مؤلفه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی کشورهایی که به اقتصاد چرخشی توجه داشته‌اند (انگلیس، چین و آلمان) گواه این موضوع است. از دیدگاه کلان، فاضلاب به عنوان یک عامل آلوده‌کننده‌ی محیط‌زیست و یک کالای جایگزین (بهینه‌یابی) نقد و بررسی می‌شود. از منظر آلوده‌کننده‌ی محیط‌زیست، فاضلاب‌های شهری و صنعتی بزرگ‌ترین عامل آلودگی زیست‌محیطی و منابع آبی هستند. این موضوع در کشورهای توسعه نیافته و در حال توسعه که بیش‌تر آن‌ها فاقد سامانه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌ی بهداشتی فاضلاب هستند، بیش‌تر خودمایی می‌کند.

گزارش‌های نهادهای بین‌المللی نشان می‌دهد که بیش‌ترین مرگ و میر کودکان و بیماری‌های کشورهای فوق به دلیل عدم دفع بهداشتی فاضلاب و آلودگی منابع آبی است. این در حالی است که آب به عنوان جزئی از محیط‌زیست و عنصر ضروری برای هر الگوی توسعه جایگاه محوری و با اهمیتی در توسعه و به خصوص توسعه‌ی شهری، اقتصادی و اجتماعی دارد. نقش آب در توسعه از جنبه‌های زیر حایز اهمیت است:

۱. آب به عنوان یک نهاده‌ی تولید، نقش بسیار زیادی در تولید محصولات (کشاورزی، پتروشیمی و فولاد) دارد و دسترسی آسان به منابع آبی می‌تواند هزینه‌های تولید را به مقدار زیادی کاهش دهد.
۲. افزایش تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی به طوری که مازاد تولید بخش کشاورزی سبب انباشت سرمایه‌های ملی می‌شود.
۳. توسعه‌ی مراکز جمعیت شهری و روستایی مستلزم وجود منابع آبی است، در حالی که در بسیاری از کشورها، توسعه‌ی شهرها نقش به سزایی در رشد و توسعه‌ی کشورها دارند.
۴. شیوع بسیاری از بیماری‌هایی که از طریق آب آلوده انجام

حدود ۰/۰۲ درصد، به میزان ۲۲۵۱ ریال افزایش دهد. حال اگر ۲۸۷۸ میلیون مترمکعب آب تصفیه نشده، تصفیه می‌شد و ۳۷ درصد از آن به بخش‌های اقتصادی و ۶۳ درصد دیگر آن به محیط‌زیست اختصاص داده می‌شد در این صورت به ارزش افزوده‌ی کشور به میزان ۶۱۰۶ میلیارد ریال (۰/۰۵ درصد ارزش افزوده کل کشور) اضافه می‌شد. نظر به این که ارزش اقتصادی آب در بخش صنعت حدود ۷/۵ برابر بخش کشاورزی است، لازم است تا سیاست‌گذاران بخش آب در خصوص تخصیص فاضلاب به بخش‌های مختلف بازنگری کامل نموده و پساب را به بخش صنعت و یا سایر بخش‌های با بازدهی بیش‌تر تخصیص دهند.

می‌شود، تأثیر منفی بر رشد و توسعه در زمینه‌های گوناگون دارد و آسیب‌های اجتماعی و مالی بسیاری به همراه دارد.

۵. بحران‌های ناشی از کمبود آب، تأثیر منفی بر رشد اقتصادی دارند.

فاضلاب‌ها به عنوان عامل اصلی آلوده‌کننده‌ی زیست‌محیطی و منابع آبی، توسعه‌ی پایدار را محدود می‌کند. بنابراین در راستای توسعه‌ی پایدار دولت‌ها و واحدهای نهادی مرتبط به فاضلاب باید برنامه‌های راهبردی برای جمع‌آوری و تصفیه‌ی بهداشتی فاضلاب‌ها در سطح استانداردهای بین‌المللی و منطقه‌ای انجام بدهند.

روی دیگر سکه این که با توجه به محدودیت‌های منابع آبی در بسیاری از کشورها مانند ایران، استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب می‌تواند بخش زیادی از کمبودهای آب در بخش صنعت و کشاورزی را مرتفع نماید. این رویکرد از دیدگاه اقتصاد چرخشی و توسعه بسیار حایز اهمیت است. توسعه‌ی صنعت و افزایش تولید محصولات کشاورزی از مهم‌ترین عامل‌های رشد و توسعه محسوب می‌شوند. در حال حاضر، نظر به برخی از مشکلات، فاضلاب به عنوان کالایی با ارزش تلقی شده و می‌تواند بخشی از نیازهای آبی را در زمینه‌های گوناگون مرتفع نماید. در بخش صنعت پساب فاضلاب بیش‌تر برای خنک‌سازی تأسیسات و تجهیزات و تولید برق است. نیروگاه‌های تولید برق با سوخت فسیلی، صنایع فولادسازی و کاغذسازی بیش‌ترین متقاضیان پساب فاضلاب هستند. در کشور ما با توجه به فعالیت‌های گسترده‌ای که طی ۳ دهه‌ی گذشته انجام شده، استفاده از پساب فاضلاب در برخی از مناطق کشور در حال رواج است و نمونه‌ای از آن در صنایع فولادسازی اصفهان و نیروگاه تولید برق شهید مفتاح قابل مشاهده است. استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب در زمینه‌های گوناگون نقش زیادی در اقتصاد ملی (افزایش GDP) و بخشی (شرکت‌های آب و فاضلاب) دارد (جدول ۳).

نکته‌ی حایز اهمیت این که پساب فاضلاب ممکن است به دلیل پاره‌ای از شرایط محیطی، آب و هوا، فرهنگ جوامع، نوع مصارف آب و... دارای مواد شیمیایی، آلی و میکروبی باشد. بنابراین یکی از

نکات با اهمیت به لحاظ بهداشت کارکنان مزارع و واحدهای صنعتی و محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب فاضلاب، انتقال بیماری از طریق میکرو ارگانیسم‌های بیماری‌زا و تجمع مواد آلی و فلزی در خاک و محصولات کشاورزی است (جدول ۴). در این زمینه سازمان بهداشت جهانی برای استفاده از پساب فاضلاب پیشنهادهایی را در فرآیند مختلف تصفیه پیشنهاد کرده است. رعایت این استانداردها

می‌تواند سبب کاهش ریسک انتقال بیماری و مخاطرات تجمع مواد آلی و شیمیایی در خاک، منابع آبی و محصولات کشاورزی شود. بنابراین اولین فعالیت قبل از برنامه‌ریزی استفاده از فاضلاب، انجام مطالعات طرح‌های آزمایشی در زمینه‌های تأثیر مواد آلی، شیمیایی و میکروبی بر محصولات کشاورزی، خاک، محیط‌زیست و سلامت نیروی انسانی است.

جدول ۴- مزایا و ریسک‌های استفاده از پساب فاضلاب در کشاورزی و صنعت در راستای توسعه

عنوان	شرح
مزایا	افزایش سطح کشت محصولات کشاورزی و در نتیجه افزایش تولیدات کشاورزی افزایش تولیدات صنعتی و رشد اقتصادی ایجاد فرصت‌های شغلی جدید ایجاد ارزش افزوده برای واحدهای نهادهای عملیاتی آب و فاضلاب کاهش بهره‌برداری از منابع آبی و استفاده‌ی بهینه در سایر بخش‌ها صرفه‌جویی در استفاده از کودهای سنتزی و جلوگیری از آلودگی منفذ خاک و منابع آبی کاهش بهای تولید محصولات به دلیل حذف هزینه‌های استحصال و انتقال آب
مخاطرات	انتقال انواع بیماری‌های مرتبط با فاضلاب از طریق میکروارگانیسم‌ها تجمع مواد آلی در محصولات کشاورزی و زنجیره‌ی غذایی آلودگی منابع آبی به انواع ویروس‌ها، باکتری‌ها، مواد آلی، شیمیایی و... از بین رفتن منافذ و کیفیت خاک

جمع‌بندی

امروزه در سطح منطقه‌ای و جهانی با توجه به افزایش تقاضای آب، محدودیت منابع آبی، رشد جمعیت و توسعه‌ی صنعت، آلودگی منابع آبی، تغییرات آب و هوایی، حفظ محیط‌زیست، بحران‌های آلودگی محیط‌زیست، ارتباط فاضلاب با شیوع بیماری‌ها و سایر عوامل، لزوم توجه به مدیریت فاضلاب‌ها و استفاده‌ی مجدد از پساب فاضلاب را در بستر اقتصاد چرخشی و مسیر توسعه‌ی پایدار بسیار حساس نموده است. با توجه به مطالبی که در این نوشتار ارائه شد، موارد رویکردهای اقتصاد چرخشی فاضلاب در توسعه‌ی پایدار را می‌توان به شرح زیر مد نظر قرار داد:

- چگونگی استفاده از منابع و به‌کارگیری امکانات و فرصت‌ها به گونه‌ای که ضمن برآوردن نیازهای انسانی و تأمین رفاه و سلامت آن‌ها بدون آسیب رساندن به دیگران و محیط‌زیست برای نسل‌های آینده، هدف آرمانی توسعه‌ی پایدار است. در مسیر حرکت به سوی توسعه‌ی پایدار، آب به عنوان بخشی از محیط‌زیست و عنصری برای توسعه نقش اثربخشی دارد. مدیریت صحیح فاضلاب‌ها و جلوگیری از آلودگی منابع آبی و زیست محیطی و همچنین استفاده‌ی مجدد از فاضلاب‌ها می‌تواند در توسعه‌ی کشورهایی که از کمبود آب رنج می‌برند، بسیار کارآمد باشد.

- توجه به اقتصاد چرخشی در مدیریت بخشی صنعت آب و فاضلاب، راه گشای برخی از مشکلات صنعت مانند بهبود و افزایش کارآمدی و ارزش افزوده، فقر نقدینگی، کمبود منابع مالی سرمایه‌گذاری و کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌باشد.
- بر اساس محاسبات انجام شده و شناسایی سهم پساب فاضلاب در ایجاد ارزش افزوده‌ی بخش‌های اقتصادی کشور، با افزایش ظرفیت‌سازی سامانه‌های فاضلاب و برنامه‌ریزی راهبردی برای جذب منابع سرمایه‌ای، استفاده‌ی مجدد از فاضلاب‌ها سبب افزایش رشد اقتصادی قابل ملاحظه در بخش‌های کشاورزی و صنعت می‌شود.
- خدمات آب و فاضلاب فعالیتی اقتصادی است و با توجه به سرمایه‌بر بودن و نیاز به تأسیسات و تجهیزات بسیار زیاد، یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در اقتصاد آب افزایش و بهبود کارآمدی سرمایه‌گذاری‌ها است. الزام به رعایت اقتصاد چرخشی در صنعت آب و فاضلاب، سبب افزایش و بهبود کارآمدی سرمایه‌گذاری‌ها می‌شود.
- با توجه این که شناسایی اقتصادی مصارف فاضلاب در اقتصاد ایران بر اساس شیوه‌ی تقریبی محاسبه شده است، لذا پیشنهاد می‌گردد تحقیقات جامعی در خصوص برآورد ارزش اقتصادی هر متر مکعب آب در بخش‌های مختلف اقتصادی و به ویژه در کاربردهای محیط زیستی انجام شود.

سجادی فر، ح. و داودآبادی، م. ۱۳۹۵. اقتصاد آب شهری (کاربرد تئوری‌ها، نظریه‌ها و سیاست‌گذاری‌های اقتصادی در صنعت آب و فاضلاب). انتشارات نویسنده.

علی‌زاده، ز. ۱۳۸۹. نیتزات و نیتزیت در آب آشامیدنی. انتشارات محقق زنجان.

کهن، گوئل. ۱۳۷۶. شاخص‌شناسی در توسعه پایدار- توسعه‌ی اقتصادی و حساب‌های ملی در بستر سبز. مؤسسه‌ی مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی. تهران.

مرکز آمار ایران. <http://www.amar.org.ir>

Al Enezi G., Hamoda M. and Fawzi n. 2004. Heavy Metals Content of Municipal Wastewater and Sludges in Kuwait. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 39(2):397-407.

Drechsel P., Qadir M. and Wichelns D. 2016. Wastewater Economic Asset in an Urbanizing World. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.

Ellen MacArthur Foundation and McKinsey Company. 2014. Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chains.

Kellis M., Kalavrouziotis I.K. and Oikas P. 2013. Review of Wastewater Reuse in the Mediterranean Countries, Focusing on regulation and Policies Municipal and Industrial. University of Western Greece.

Murray A., Skene K. and Haynes K. 2015. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics, Springer Science+Business Media Dordrecht*.

Turkdogan M., Feviz K., Ilyas T. and Ismail U. 2013. Heavy Metals in Soil, Vegetables and Fruits in the Endemic Gastrointestinal Cancer Region of Turkey. *Toxicol. Pharmacol*, 13:175-179.

Veolia Group. 2015. Water at the Heart of the Circular Economy. www.veolia.com.

WHO. 1989. Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. Geneva.

Wyatt A.S. 2010. Non-Revenue Water: Financial Model for Optimal Management in Developing Countries. RTI Press Publication.

<http://www.fao.org>

1- Circular Economy

2- Sustainable Development

3- United Nations Environment Programme (UNEP)

4- Cocoyoc

5- Eco Development

6- Brandtland

۷- برنامه‌ی کاری دستور ۲۱ (Agenda21) همان اقدامات لازم تمام کشورها برای هماهنگی بین تعداد جمعیت جهان و نیازهای آنان با منابع محدود زمین برای سال‌های پایانی قرن ۲۱ در راستای توسعه‌ی پایدار می‌باشد.

8- Rio de Janeiro

9- Commission Sustainable development(CSD)

۱۰- هر گالن معادل ۴/۸ لیتر است.

۱۱- کاربرد فاضلاب تصفیه شده طی سال ۱۹۶۳ در پنسیلوانیای ایالات متحده‌ی آمریکا، سبب افزایش ۱۳۵ درصد محصولات علوفه‌ای، افزایش ۱۹ تا ۳۰ درصدی نیترژن دانه‌ی گندم، ۵۰ درصدی عملکرد ذرت دانه‌ای، ۱۰۳ تا ۱۳۶ درصدی عملکرد ذرت علوفه‌ای و ۱۷ تا ۵۱ درصدی عملکرد جو شده است.

۱۲- در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ در برخی از زمین‌های کشاورزی کویت که با پساب فاضلاب تصفیه شده آبیاری می‌شدند، جذب فلز کادیوم در حد مسمومیت بوده است (Al Enezi و همکاران، ۲۰۰۴).

13- Methemoglobin

14- Mckinsey

منابع

ارباب، ح. ر. ۱۳۹۲. اقتصاد محیط‌زیست و منابع طبیعی (ترجمه). نشر نی. تهران.

تهامی‌پور، م. ۱۳۹۶. ارزش اقتصادی، رویکردی برای مدیریت تقاضای آب در مصارف صنعتی، مطالعه‌ی موردی: صنایع تولید مواد شیمیایی. مجله‌ی آب و فاضلاب، ۱: ۷۴-۸۳.

دفتر معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۹۴. بودجه‌ی عملکرد شرکت‌های آب منطقه‌ای. تهران.

دفتر نظارت مالی، بودجه و مجامع. ۱۳۹۵. گزارش نتایج عمل (شرکت‌های آب و فاضلاب شهری)، روایت ۱۶. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

روابط عمومی و امور بین‌الملل. ۱۳۸۹. شرکت‌های آب و فاضلاب در گام چهارم و پنجم توسعه. شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

Evaluating the Cost of Quality and Selecting the Appropriate Option for Cost Reduction using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Models (Case Study: The Water and Wastewater Company of Markazi Province)

R. Shahrjerdi^{1*}, Gh.R. EbrahimAbadi², S. Shahbazi³

1- PhD. Student in Industrial Engineering, Department of Industrial, Mechanical and Aerospace Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran. 2- BSc in Industrial Engineering, Department of Industrial, Mechanical and Aerospace Engineering, Buein Zahra Technical University, Buein Zahra, Qazvin, Iran. 3- Director General of Bureau for Assemblies and Financial Control, NWWEC.

*(Corresponding Author Email: R.shahrjerdi@yahoo.com)

Received: 17-07-2017

Accepted: 09-10-2017

ارزیابی هزینه‌های کیفیت و انتخاب گزینه مناسب برای کاهش هزینه‌ها با مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی (مطالعه‌ی موردی: شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی)

رضا شهرجردی^{۱*}، غلامرضا ابراهیم‌آبادی^۲، سمیرا شهبازی^۳

۱ و ۳- به ترتیب دکتری و کارشناس مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، مکانیک و هوا فضا، دانشگاه فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین. ۲- مدیر کل دفتر مجامع و نظارت مالی، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور.

* (E-Mail: R.shahrjerdi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۱۸

Abstract

Nowadays, cost and quality are considered two basic factors which contribute to a competitive advantage in the industry. Hence, in recent years, there has been much interest in examining the relationship between these two competitive advantages, especially in leading industries such as public utilities. Such that, the increase in the competitiveness of these companies has increased the importance of focusing on reducing production costs as well as increasing the quality of services. On the other hand, manufacturers always try to reduce production costs and also maintain the quality of products and services at the level of consumer expectations. Therefore, in this research in the water and wastewater industry, firstly, the most important factors for creating cost of quality are identified and ranked by using the Fuzzy AHP algorithm and the Fuzzy TOPSIS. Also, appropriate solutions have been proposed along with quality cost stimulus factors. The results show that the most costly variable in the quality of the water and wastewater industry is the evaluation cost (36.5%). Other quality costs are, External defeat (28.9%), internal defeat (22.3%), and prevention (12.2%).

Keywords: Quality costs, Fuzzy logic, Fuzzy AHP, Fuzzy TOPS.

چکیده

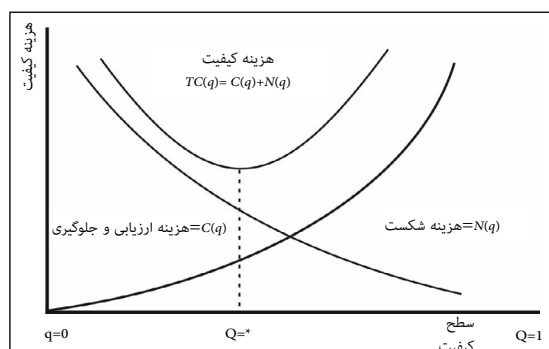
امروزه پارامترهای هزینه و کیفیت دو عامل اساسی و مزیت رقابتی محسوب می‌شوند. از این رو، بررسی رابطه‌ی بین آن‌ها طی سال‌های اخیر به ویژه در صنایع پیشرو مانند شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات عمومی شهری بسیار مورد توجه بوده، به طوری که افزایش رقابت‌پذیری این واحدها، اهمیت تمرکز بر کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کیفیت خدمات را به دنبال داشته است. از سوی دیگر تولیدکنندگان همواره تلاش می‌کنند، هزینه‌های تولید را کاهش دهند و کیفیت محصولات و خدمات را در سطح انتظارات مصرف‌کنندگان حفظ نمایند؛ لذا در این پژوهش در صنعت آب و فاضلاب ابتدا، مهم‌ترین عامل‌های ایجاد هزینه‌ی کیفیت^۱ با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی^۲ فازی و مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی^۳ شناسایی و رتبه‌بندی شده و راهکارهای مناسب در راستای عامل‌های محرک هزینه‌ی کیفیت ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین هزینه‌ی کیفیت در صنعت آب و فاضلاب هزینه‌های ارزیابی (۳۶/۵ درصد) است و سایر هزینه‌های کیفیت شامل شکست بیرونی (۲۸/۹ درصد)، شکست درونی (۲۲/۳ درصد) و پیش‌گیری (۱۲/۲ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: هزینه‌های کیفیت، منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی و مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل.

مهم‌ترین عامل از بین عامل‌های تأثیرگذار مشکل دیگری است که تصمیم‌گیرندگان با آن مواجه هستند؛ زیرا در بیشتر واحدهای خدماتی و تولیدی، برنامه‌ی هدف‌مندی برای ارزیابی این هزینه‌ها لحاظ نشده و هزینه‌ی کیفیت در غالب هزینه‌های دیگر پنهان است و به طور دقیق قابل محاسبه نمی‌باشد. بنابراین می‌بایست مهم‌ترین گزینه برای کاهش هزینه، با توجه به فاکتورهای مهم برای سازمان و گزینه‌های هزینه‌های کیفیت انتخاب شود.

مسائل انتخاب و ارزیابی گزینه‌ها در حالتی که تصمیم‌گیرنده با چند گزینه و معیار مواجه می‌باشد، از جمله مسائل راهبردی است که برای حل آن‌ها از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، استفاده می‌شود. در شیوه‌های کلاسیک تصمیم‌گیری چند معیاره^۴، مطلوبیت و وزن معیارها به صورت اعداد قطعی معرفی شده‌اند (Chang, ۱۹۹۶)، اما همیشه داده‌های قطعی در اختیار نیست و گاهی تصمیم‌گیرنده با داده‌های مبهم مواجه است که برای حل این مشکل از شیوه‌های ترکیبی مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و علم فازی^۵ استفاده می‌شود.

هزینه‌های کیفیت نیز از جمله هزینه‌هایی هستند که به صورت قطعی نمی‌باشند و در هزینه‌های دیگر پنهان هستند. در این شرایط از شیوه‌های تصمیم‌گیری فازی (عدم قطعیت) استفاده می‌شود. در این پژوهش ابتدا با استفاده از شیوه‌ی تحلیل سلسله مراتبی فازی، معیارها وزن‌دهی می‌شود. سپس با استفاده از مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی، گزینه‌ها رتبه‌بندی شده و گزینه‌ای که بیش‌ترین هزینه را به صنعت آب و فاضلاب تحمیل می‌کند شناسایی می‌شود.



شکل ۲- نمودار مدل هزینه پیش‌گیری، شکست و ارزیابی (PAF)

• هزینه‌ی شکست درونی (درون سازمانی)^۶: این هزینه‌ها شامل ایرادهایی است که در مراحل مختلف پیش از تحویل محصول یا خدمت به مشتری بروز می‌کنند و از طرق مختلف از قبیل بازرسی و واحد کنترل کیفیت خود یا بازرسان خارجی به این ایرادها پی برده و به حذف آن‌ها اقدام می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های برداشت و تصفیه‌ی آب، هزینه‌های هدر رفت آب (پرت)، تعمیرات پیش‌گیرانه و دوباره کاری، تحلیل شکست، هزینه‌های بازیافت پساب

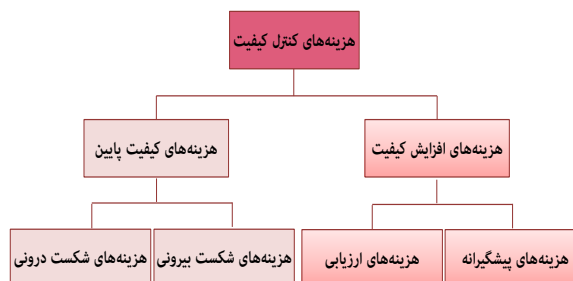
در بازار رقابتی کنونی شرکت‌ها با هزینه‌های تولید گوناگونی مواجه هستند و برای سود بیشتر و بهره‌مندی از سهم بیشتر در بازار، می‌بایست از راهبردهای مناسب استفاده کنند. تأمین کیفیت برای خدمات و محصولات تولیدی هزینه‌هایی دارد که سازمان می‌بایست این هزینه را متحمل شود تا رضایت مشتریان تأمین شده و مشتریان خود را حفظ کند و همچنین شانس زندگی خود را در بازار گسترش دهد (Longaraya و همکاران، ۲۰۱۵).

شناخت مهم‌ترین عامل ایجادکننده هزینه‌ی کیفیت و ارایه‌ی راهکارهای مناسب برای حداقل‌سازی آن، شرکت‌ها را در افزایش بازدهی اقتصادی و در نهایت سود بیشتر یاری می‌نماید. در واقع، هزینه‌های کیفیت تلاش می‌کند که به جای بررسی کیفیت از ابتدای تولید از ایجاد محصول نامرغوب (خدمات نامناسب) جلوگیری شود. به طور خلاصه سیستم هزینه‌یابی کیفیت، بسترهای لازم را برای تولید مرغوب‌تر و با صرف هزینه‌ی کمتر فراهم می‌آورد (ستایش و پورقدیری، ۱۳۸۸).

هزینه‌ی شکست درونی و برونی، ارزیابی و پیش‌گیری از عامل‌های تعیین‌کننده هزینه‌های کیفیت هستند. شرکت می‌بایست شاخص‌های کیفیت را مورد توجه قرار دهد تا خدمت تولید شده مورد رضایت مشتری بوده و فروش مناسب را داشته باشد. بنابراین باید با توجه به این عوامل مهم، گزینه‌های ایجادکننده هزینه‌ی کیفیت شناسایی شوند و گزینه‌ای که بیش‌ترین هزینه را ایجاد می‌کند انتخاب شده، برای حداقل‌سازی آن‌ها اقدام شود. حال یافتن

مبانی نظری

در سال‌های مختلف مدل‌های گوناگونی برای هزینه‌یابی کیفیت ایجاد شده است. آن چه که در انتخاب مدل مناسب برای ارزیابی هزینه‌ی کیفیت اهمیت دارد این است که این مدل بتواند هزینه‌های پنهان در کیفیت را به خوبی شناسایی کند. در این پژوهش مدل "هزینه‌ی پیش‌گیری، شکست و ارزیابی (PAF)"^۶ که بیش‌ترین مقبولیت را دارد، استفاده شده است. این مدل شامل چهار گروه هزینه به شرح زیر است (اشکال ۱ و ۲):



شکل ۱- طبقه‌بندی هزینه‌های کیفیت در مدل هزینه

پیش‌گیری، شکست و ارزیابی (Chang) - (PAF, ۱۹۹۶)

تصفیه‌خانه‌ها، توزیع آب و نگهداری کیفیت مناسب، پساب تصفیه شده و هزینه‌ی درجه‌بندی کیفیت آب شرب است.

• هزینه‌ی شکست بیرونی^۸: هزینه‌هایی است که قبل از استفاده توسط مشتری قابل رویت و تشخیص نبوده و پس از تحویل و ارایه‌ی خدمت به مشتریان ایجاد می‌شوند (هزینه‌های نمونه‌گیری کیفیت آب از مشترکین، نارضایتی و شکایات مشتریان و اصلاح رضایت مشتریان).

• هزینه‌های ارزیابی^۹: این هزینه‌ها برای تعیین مطابقت یا عدم مطابقت مشخصه‌های خدمت عرضه شده یا محصول تولید شده با ویژگی‌های کیفی مورد نظر صرف می‌شوند. برخی از هزینه‌های فوق شامل ارزیابی پیمانکاران فرعی (بهره‌بردار)، بازرسی و آزمایش ورودی‌ها (آب خام)، بازرسی و آزمایش فرآیند تولید، بازرسی و آزمایش محصول نهایی، ایجاد ممیزی سیستم‌های کیفیت، کنترل تجهیزات بازرسی و اندازه‌گیری، بررسی کیفیت آب ذخایر مخازن و

پیشینه و سوابق

He (۲۰۱۰) در پژوهشی تحت عنوان سیستم‌های مهندسی کیفیت، هزینه‌ی کیفیت، مفهوم مدیریت و کنترل کیفیت را مورد بحث قرار می‌دهد. وی به این نتیجه رسید که هدف از بکارگیری سیستم کیفیت، کاهش هزینه‌های کلی کیفیت و دستیابی به بیشترین سود می‌باشد).

Chopra و Garg (۲۰۱۱) در پژوهشی تحت عنوان الگوهای رفتاری طبقات هزینه‌ی کیفیت، همبستگی بین طبقات مختلف هزینه‌ی کیفیت را مورد بررسی قرار دادند. به اعتقاد آن‌ها با افزایش تلاش‌ها به سمت فعالیت‌های ارزیابی و پیش‌گیری، هزینه‌های عدم تطابق کاهش می‌یابند، علاوه بر این همبستگی منفی بین هزینه‌های تطابق و هزینه‌های عدم تطابق وجود دارد.

Omar و Murgan (۲۰۱۴) در پژوهش خود با عنوان یک مدل بهبود یافته برای هزینه‌یابی کیفیت به این نتیجه رسیدند که کاهش در هزینه‌های شکست منجر به کاهش یا عدم افزایش در هزینه‌های عدم تطابق می‌گردد و این که رویکرد حسابداری سنتی برای هزینه‌یابی کیفیت چندان کافی نیست، زیرا نتایج آن به طور عمده‌ای به هزینه‌ی نیروی کار مستقیم بستگی دارد. در صورتی که هزینه‌ی نیروی کار مستقیم فقط ۳ درصد از مجموع هزینه‌های کیفیت را تشکیل می‌دهد.

پورزرنندی، مینویی و بیگدلی (۱۳۸۹) پژوهشی با موضوع طراحی الگوی شناسایی و محاسبه هزینه‌های کیفیت در صنایع خودروسازی انجام دادند. در این تحقیق به طراحی الگویی برای شناسایی و محاسبه هزینه‌های کیفیت در یکی از سالن‌های تولیدی شرکت صنعتی ایران خودرو پرداخته شده است. به طوری که ابتدا عناصر هزینه‌های کیفیت در چهار گروه هزینه‌های پیشگیری، هزینه‌های

بررسی کیفیت آب تحویلی به مشترکان است.

• هزینه‌های پیشگیرانه^{۱۰}: شامل هزینه فعالیت‌هایی که برای جلوگیری از بروز ایرادها و خرابی‌ها در محصولات و خدمات صرف می‌شوند. صرف این هزینه‌ها سبب کاهش خرابی و ایراد در محصول تولیدی و خدمت ایجاد شده در مراحل مختلف می‌شود. اصلی‌ترین آن‌ها هزینه‌های طرح‌ریزی کیفیت، آموزش، طراحی و کنترل فرآیند و هزینه‌های گزارش‌دهی است.

Juran (۱۹۶۲) بر مبنای این مدل نظریه‌ای را ارایه داد که رابطه‌ی معکوس میان هزینه‌ی پیش‌گیری و ارزیابی از یک سو و هزینه‌ی شکست را از سوی دیگر نمایش می‌دهد. بر این اساس سرمایه‌گذاری بیش‌تر، در دو بخش پیش‌گیری و بازرسی، سبب کاهش هزینه‌های شکست می‌شود. این داد و ستد معکوس بسیار شناخته شده بوده و مقبولیت بالایی دارد، به خوبی بیانگر مفهوم سطح بهینه‌ی کیفیت می‌باشد و اساس هزینه‌یابی کیفیت است.

ارزیابی و آزمون و هزینه‌های ناشی از خطاهای داخلی و خارجی تفکیک و طبقه‌بندی شدند.

بهشتی و قوامی (۱۳۷۸) اقدام به استقرار سیستم هزینه‌یابی کیفیت در شرکت فرآورده‌های نسوز پارس نمودند. در این تحقیق به تبیین هر چه بیش‌تر ضرورت استفاده از هزینه‌یابی کیفیت با ذکر مواردی که بیش‌ترین امکان کاهش هزینه در آن‌ها وجود دارد پرداخته شد که از آن جمله می‌توان به مواردی مانند: آگاه کردن پرسنل شرکت از هزینه‌های کیفیت ضعیف محصولات و خدمات، مشخص کردن بخش‌هایی که بیش‌ترین هزینه‌های کیفیت را ایجاد می‌کنند، کاهش قیمت تمام شده و افزایش حاشیه‌ی سود و تقویت کار گروهی در دستیابی به هدف‌های کیفی اشاره کرد.

ابراهیمی (۱۳۸۰) در پژوهشی هزینه‌های کیفیت در صنایع با مقیاس کوچک را بررسی کرد. در این پژوهش هزینه‌های کیفیت به عنوان یک روش علمی برای کمی کردن اندازه مسئله کیفیت طرح شده است. بر اساس اصول و مبانی نظری، این هزینه‌ها در چهار طبقه هزینه‌های شکست داخلی، هزینه‌های شکست خارجی، ارزیابی و پیش‌گیری تقسیم‌بندی شدند. هر طبقه خود متشکل از اجزایی است که بر حسب مسئله مورد بررسی این اجزا و درجه اهمیت آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، رهیافت هزینه‌یابی کیفیت به عنوان یک رهیافت مناسب برای برآورد این هزینه‌ها شناسایی و به کار گرفته شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این هزینه‌ها سهم قابل توجهی را در فروش شرکت طی یک سال مالی داشته‌اند. بیش‌ترین سهم مربوط به طبقه هزینه‌های شکست داخلی بوده و پس از آن طبقات هزینه‌های ارزیابی، پیش‌گیری و شکست خارجی هستند. در نهایت از طریق تحلیل پارتو، اقلام اصلی هزینه‌ای شناسایی شده و شیوه‌هایی برای بهبود ارایه شده است.

دارایی و فلاح نژاد (۱۳۸۸) به ارزیابی موانع توسعه هزینه‌های کیفیت در صنعت محصولات شیمیایی پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر این واقعیت است که غالباً مدیران و مسئولین حسابداری فاقد توانایی کافی جهت انتقال اطلاعات مالی به مدیران تصمیم‌گیرنده هستند. در اغلب این سازمان‌ها نقش

روش تحقیق

از آنجایی که این پژوهش درصدد ارزیابی هزینه‌های کیفیت و انتخاب گزینه‌ی مناسب است، لذا بر اساس هدف از نوع تحقیق‌های توسعه‌ای می‌باشد و از منظر روش تحقیق، با توجه به این که به دنبال توصیف شرایط موجود در قالب مطالعه موردی می‌باشد، از نوع تحقیق‌های توصیفی است. مطابق مطالبی که ارائه شد مدل مفهومی پژوهش مطابق شکل (۳) است.



شکل ۳- مدل مفهومی مدل

به دلیل عدم وجود سیستم درست و مناسب هزینه‌یابی کیفیت، داده‌های دقیق در مورد هزینه‌های کیفیت وجود ندارد و داده‌های موجود مبهم و غیردقیق است؛ لذا برای تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه‌ای که بیشترین هزینه را تحمیل می‌کند از منطق فازی استفاده شده است. چهار معیار هزینه‌ی وارده، سود حاصله، افزایش اعتبار و زمان تمرکز استراتژی و چهار گزینه‌ی شکست درونی، شکست بیرونی، ارزیابی و پیش‌گیری در نظر گرفته شده و برای نظردهی از سه کارشناس خبره استفاده شده است.

روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی برای بررسی و وزن‌دهی نظرات خبرگان که با پرسشنامه‌های زوجی و معمولاً از میان دو تا ۱۰ خبره می‌باشد، انجام می‌پذیرد که بسته به نظر پرسش‌گر و بررسی ضریب ناسازگاری صحت و روایی پاسخ‌ها ارزیابی می‌شود. در اینجا با توجه به ضریب ناسازگاری مناسب^{۱۱} برای این سه خبره وزن‌دهی انجام پذیرفت و اگر تعداد بیش‌تری به خبرگان اضافه می‌شد تغییر قابل توجهی در نتایج ایجاد نمی‌کرد. برای سهولت و دقت محاسبات از نرم‌افزار MATLAB.17a^{۱۲} استفاده شده است.

امور مالی صرفاً در کنترل دریافت‌ها، پرداخت‌ها و ثبت وقایع به منظور جواب‌گویی به الزامات قانونی خلاصه گردیده و کمتر به حسابداری مدیریت و سیستم‌هایی مانند هزینه‌یابی کیفیت به عنوان ابزار مدیریت جهت کنترل هزینه‌ها و برنامه‌ریزی توجه شده است.

مدل مورد استفاده:

در این پژوهش ابتدا از شیوه‌ی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزن‌دهی معیارها و سپس از مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده شده که در ادامه به اختصار ارائه خواهند شد.

مدل تحلیل سلسله‌مراتبی:

فرآیند مدل تحلیل سلسله‌مراتبی همانند فرآیند تفکر انسان بوده و تصمیم‌گیری‌های پیچیده را به مسائل ساده‌تری تبدیل می‌کند و به این ترتیب از پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های دشوار کاسته می‌شود. اساسی‌ترین مراحل آن به شرح زیر می‌باشد:

۱. سازمان‌دهی مسئله به صورت سلسله‌مراتبی: در اولین مرحله، مسئله به شکل یک درخت نشان داده می‌شود که در بالاترین سطح، آن، اهداف کلی و در پایین‌ترین سطح، گزینه‌ها و بین این دو سطح، معیارها و زیرمعیارها قرار می‌گیرند.

۲. توسعه ماتریس مقایسه‌های زوجی: گزینه‌ها یا معیارها با استفاده از مقایسه‌های زوجی، همچنین زیرمعیارها یا گزینه‌ها در یک سطح مشابه و با توجه به معیار سطح بالاتر توسط تصمیم‌گیرندگان مقایسه می‌شوند و در قالب ماتریس‌های مقایسات زوجی مطابق ماتریس زیر نشان داده می‌شوند.

$$\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\} = \begin{pmatrix} \tilde{a}_{11} & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & \tilde{a}_{22} & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & \tilde{a}_{nn} \end{pmatrix}$$

۳. محاسبه وزن‌های داخلی ماتریس‌های زوجی: روش‌های متعددی برای استخراج وزن‌های معیارها یا گزینه‌ها از ماتریس‌های زوجی توسعه داده شده‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از: بردار ویژه، کمترین مربعات لگاریتمی، کمترین مربعات وزن‌دار، برنامه‌ریزی آرمانی و برنامه‌ریزی فازی.

۴. رتبه‌بندی گزینه‌ها: آخرین قدم، تعیین اولویت‌بندی‌های نهایی با توجه به وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها است. وزن هر یک از گزینه‌ها با ضرب وزن‌های داخلی زیرمعیارهای هر یک از سطوح در یک دیگر و جمع وزن‌های نهایی به‌دست آمده و سپس اولویت‌ها مشخص می‌شود. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس اولویت‌بندی‌های نهایی تعیین می‌شود.

مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل:

طبق این مدل، m گزینه به وسیله n شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و هر مسأله را می‌توان به عنوان یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفت. این مدل بر این مفهوم بنا شده که گزینه‌ی انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن A^+) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن A^-) داشته باشد و در ۶ مرحله انجام می‌شود.

۱. تبدیل ماتریس اولیه تصمیم‌گیری (D) به ماتریس بی‌مقیاس (ND) به کمک نرم اقلیدسی.

۲. محاسبه‌ی ماتریس وزین بی‌مقیاس (V) از طریق ضرب ماتریس بی‌مقیاس موزون (ND) با ماتریس ضرایب شاخص‌ها (WT).

۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) برای کلیه‌ی گزینه‌ها (رابطه‌های ۱ و ۲).

$$A^+ = \{(MAX_i V_{ij} | j \in J_1), (MAX_i V_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

$$A^- = \{(MIN_i V_{ij} | j \in J_1), (MAX_i V_{ij} | j \in J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (2)$$

۴. تعیین فاصله‌ی نرم اقلیدسی طبق رابطه‌ی (۳) به ازای جواب ایده‌آل منفی و گزینه‌ی مثبت و به ازای جواب ایده‌آل مثبت و گزینه‌ی منفی.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, (i = 1, 2, \dots, m)$$

۵. محاسبه‌ی فاصله‌ی نسبی A_i به جواب ایده‌آل (C_i). در این حالت هر چه گزینه‌ی A_i به راه‌حل ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، مقدار C_i آن به یک نزدیک‌تر خواهد بود (رابطه‌ی ۴).

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس فاصله‌ی نسبی A_i به جواب ایده‌آل (C_i) به ترتیب نزولی یا صعودی (مؤمنی، ۱۳۸۵).

منطق فازی:

بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌های ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک و باینری تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً عضو یک مجموعه باشد. عضویت اعضای مجموعه در منطق فازی از طریق تابع $u(x)$ مشخص می‌شود که x نمایانگر یک عضو مشخص و u تابعی فازی است که درجه عضویت x در مجموعه مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن بین صفر و یک است (رابطه ۵).

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (5)$$

به تعبیری، $u(x)$ نگاشتی از مقادیر x با مقادیر عددی ممکن بین صفر و یک را می‌سازد. تابع $u(x)$ ممکن است مجموعه‌ای از مقادیر گسسته یا پیوسته باشد. وقتی که u مقادیر گسسته باشد، فقط تعداد کمی از مقادیر گسسته که بین صفر و یک می‌باشند در مجموعه جواب قرار می‌گیرد؛ در حالی که وقتی مجموعه‌ی مقادیر u پیوسته باشند، یک منحنی پیوسته از اعداد اعشاری بین صفر و یک در مجموعه اعداد فازی تشکیل می‌شود. نمونه‌ای از اعداد فازی تعریف شده در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- تغییر متغیر زبانی به اعداد فازی مثلی

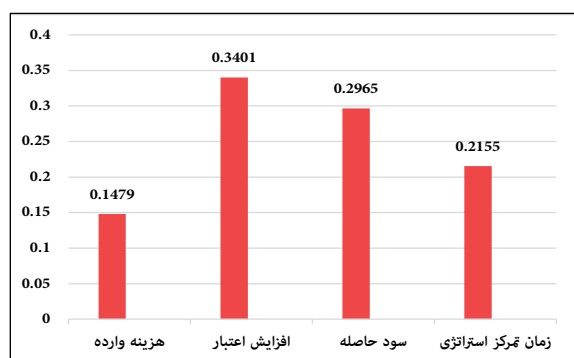
متغیر زبانی	عدد فازی مثلی	معکوس عدد فازی مثلی	متغیر زبانی
کاملاً بیشتر	(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۲/۷, ۱/۳, ۲/۵)	کاملاً کمتر
خیلی بیشتر	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)	خیلی کمتر
بیشتر	(۲/۲, ۲, ۵/۲)	(۲/۵, ۱/۲, ۲/۳)	کمتر
نسبتاً بیشتر	(۱, ۳/۲, ۲)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)	نسبتاً کمتر
کمی بیشتر	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۲/۳, ۱, ۲)	کمی کمتر
برابر	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۱, ۱)	برابر

اعداد فازی تبدیل می‌شوند (جدول ۲ تا ۴).

در هر یک از ماتریس‌ها، هر کدام از سلول‌های بالای قطر اصلی نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی اهمیت عناصر سطر نسبت به عناصر ستون و هر کدام از خانه‌های پایین قطر اصلی نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی اهمیت عناصر ستون به عناصر سطر می‌باشد که ارزش آن‌ها معکوس ارزش سلول‌های بالای قطر می‌باشد. برای هر سلول میانگین وزن‌های تعیین شده توسط کارشناسان با استفاده از نرم‌افزار MATLAB.17a به دست آمد (جدول ۵) و در نهایت وزن معیارها مطابق شکل (۴) به دست آمد.

یافته‌های پژوهش

حل مسئله‌ها با مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی فازی و مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی مستلزم محاسبه‌های زیادی می‌باشد که با توجه به محدودیت‌های موجود، فقط اطلاعات و جدول‌های نهایی وزن شاخص‌ها و نتیجه‌ها گزارش شده است. ابتدا ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها نسبت به یک دیگر از دیدگاه هر یک از کارشناسان تشکیل شد و داده‌های به دست آمده که به صورت متغیر زبانی هستند با توجه به جدول (۱) به



شکل ۴- نمودار وزن معیارهای به دست آمده
با شیوهی تحلیل سلسله مراتبی

حال به بررسی نظر سه کارشناس در صنعت آب و فاضلاب مورد نظر برای بررسی گزینه‌ها می‌پردازیم. از آن جا که نظر آن‌ها به صورت متغیر زبانی است، از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌کنیم. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها با مدل شباهت به گزینه‌های ایده‌آل فازی نیاز به تعریف اعداد فازی داریم. اعداد فازی مطابق جدول (۶) برای تبدیل نظر کارشناسان در مورد گزینه‌ها استفاده شده است.

جدول ۶- تبدیل متغیر زبانی به اعداد فازی مثلثی

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
بسیار کم	(۰, ۰, ۱)
کم	(۰, ۱, ۳)
تا حدودی کم	(۱, ۳, ۵)
مناسب	(۳, ۵, ۷)
تا حدودی زیاد	(۵, ۷, ۹)
زیاد	(۷, ۹, ۱۰)
بسیار زیاد	(۹, ۱۰, ۱۰)

در این مرحله ماتریس تصمیم منطبق بر نظر سه کارشناس مطابق جدول‌های (۷) تا (۹) تشکیل شد. در مرحله‌ی بعدی میانگین وزن‌های تعیین شده توسط ۳ تصمیم‌گیرنده مطابق جدول‌های (۱۰) تا (۱۲) محاسبه شد.

جدول ۲- ماتریس مقایسه‌های زوجی تصمیم‌گیرنده‌ی ۱

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی
(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)
(۱, ۳/۲, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)
(۲, ۵/۲, ۳)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۵/۲, ۳)
(۲/۳, ۱, ۲)	(۲/۳, ۱, ۲)	(۱/۳, ۲/۵, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)

جدول ۳- ماتریس مقایسه‌های زوجی تصمیم‌گیرنده‌ی ۲

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی
(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)	(۲/۷, ۱/۳, ۲/۵)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)
(۱, ۳/۲, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۳/۲, ۲)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)
(۵/۲, ۳, ۷/۲)	(۱/۲, ۲/۳, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۳/۲, ۲, ۵/۲)
(۱, ۳/۲, ۲)	(۲/۳, ۱, ۲)	(۲/۵, ۱/۳, ۲/۳)	(۱, ۱, ۱)

جدول ۴- ماتریس مقایسه‌های زوجی تصمیم‌گیرنده‌ی ۳

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی
(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲/۳, ۱, ۲)
(۲/۳, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)
(۱, ۱, ۱)	(۲/۳, ۱, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲/۳, ۱, ۲)
(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲, ۱, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)

جدول ۵- ماتریس میانگین وزن‌های تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده‌ها

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی
(۱, ۱, ۱)	(۰/۵, ۰/۷۷۷, ۱/۱۶۶)	(۰/۵۳۹, ۰/۵۷۷, ۰/۶۳۳)	(۰/۵۵۵, ۰/۸۸۸, ۱/۵)
(۰/۸۸۸, ۱/۳۳۳, ۲)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۱۶۶, ۱/۶۶۶, ۲/۱۶۶)	(۰/۶۶۶, ۱, ۱/۳۳۳)
(۱/۸۳۳, ۲/۱۶۶, ۲/۵)	(۰/۵, ۰/۶۸۸, ۱/۱۶۶)	(۱, ۱, ۱)	(۱/۲۸۸, ۱/۸۳۳, ۲/۵)
(۰/۷۲۲, ۱/۱۶۶, ۱/۸۳۳)	(۰/۷۷۷, ۱, ۱/۶۶۶)	(۰/۴۱۱, ۰/۶۳۳, ۰/۸۸۸)	(۱, ۱, ۱)

جدول ۷- ماتریس تصمیم‌گیرنده‌ی ۱

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	شکست درونی
(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	(۰,۰,۱)	(۰,۱,۳)	هزینه‌ی دورریز و اسقاطی
(۱,۳,۵)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	(۱,۳,۵)	تعمیر و دوباره کاری
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	تحلیل شکست
(۰,۰,۱)	(۵,۷,۹)	(۰,۱,۳)	(۳,۵,۷)	نگهداری نامناسب مواد اولیه
شکست بیرونی				
(۳,۵,۷)	(۰,۱,۳)	(۰,۱,۳)	(۰,۱,۳)	ضمانت
(۰,۱,۳)	(۹,۱۰,۱۰)	(۵,۷,۹)	(۰,۱,۳)	صدای مشتری
ارزیابی				
(۰,۱,۳)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	ارزیابی پیمانکاران فرعی
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۱,۳)	بازرسی ورودی‌ها
(۱,۳,۵)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۰,۱)	بازرسی و آزمایش فرآیند
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۵,۷,۹)	(۰,۰,۱)	بازرسی و آزمایش محصول نهایی
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۱,۳,۵)	ایجاد ممیزی و سیستم کیفیت
(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	کنترل تجهیزات بازرسی و اندازه‌گیری
(۱,۳,۵)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	بررسی کیفیت موجودی انبار
پیش‌گیری				
(۵,۷,۹)	(۱,۳,۵)	(۰,۱,۳)	(۷,۹,۱۰)	طرح‌ریزی کیفیت
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	(۳,۵,۷)	آموزش

جدول ۸- ماتریس تصمیم‌گیرنده‌ی ۲

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	شکست درونی
(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	(۰,۰,۱)	(۰,۱,۳)	هزینه‌ی دورریز و اسقاطی
(۱,۳,۵)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	تعمیر و دوباره کاری
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۳,۵,۷)	تحلیل شکست
(۰,۰,۱)	(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	(۰,۰,۱)	نگهداری نامناسب مواد اولیه
شکست بیرونی				
(۳,۵,۷)	(۱,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۰,۱,۳)	ضمانت
(۰,۱,۳)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	صدای مشتری
ارزیابی				
(۰,۱,۳)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۳,۵,۷)	ارزیابی پیمانکاران فرعی
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۱,۳,۵)	بازرسی ورودی‌ها
(۱,۳,۵)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۱,۳)	بازرسی و آزمایش فرآیند
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۱,۳)	بازرسی و آزمایش محصول نهایی
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۱,۳)	ایجاد ممیزی و سیستم کیفیت
(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۰,۱,۳)	کنترل تجهیزات بازرسی و اندازه‌گیری
(۱,۳,۵)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	(۱,۳,۵)	بررسی کیفیت موجودی انبار
پیش‌گیری				
(۵,۷,۹)	(۰,۱,۳)	(۱,۳,۵)	(۰,۱,۳)	طرح‌ریزی کیفیت
(۰,۰,۱)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۰,۱,۳)	آموزش

جدول ۹- ماتریس تصمیم‌گیری گرنده‌ی ۳

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	
شکست درونی				
(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	هزینه‌ی دورریز و اسقاطی
(۱,۳,۵)	(۹,۱۰,۱۰)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	تعمیر و دوباره کاری
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۵,۷,۹)	تحلیل شکست
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۱,۳,۵)	(۰,۱,۳)	نگهداری نامناسب مواد اولیه
شکست بیرونی				
(۳,۵,۷)	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	ضمانت
(۰,۱,۳)	(۳,۵,۷)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	صدای مشتری
ارزیابی				
(۰,۱,۳)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۱,۳,۵)	ارزیابی پیمانکاران فرعی
(۰,۰,۱)	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۱,۳,۵)	بازرسی ورودی‌ها
(۱,۳,۵)	(۷,۹,۱۰)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	بازرسی و آزمایش فرآیند
(۰,۰,۱)	(۵,۷,۹)	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	بازرسی و آزمایش محصول نهایی
(۰,۰,۱)	(۷,۹,۱۰)	(۹,۱۰,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	ایجاد ممیزی و سیستم کیفیت
(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۰,۱,۳)	کنترل تجهیزات بازرسی و اندازه‌گیری
(۱,۳,۵)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	(۷,۹,۱۰)	بررسی کیفیت موجودی انبار
پیش‌گیری				
(۵,۷,۹)	(۰,۱,۳)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	طرح‌ریزی کیفیت
(۰,۰,۱)	(۵,۷,۹)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	آموزش

جدول ۱۰- میانگین وزن‌های تعیین شده تصمیم‌گیرنده‌ی ۱

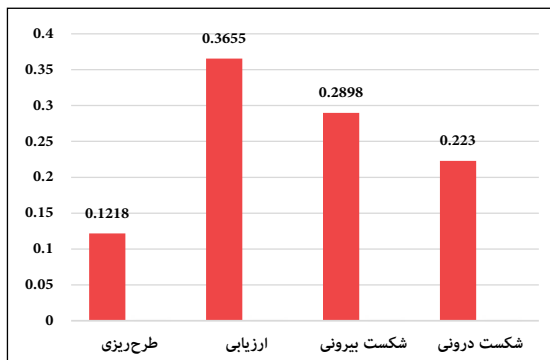
هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	
(۲,۳,۴/۲۵)	(۵/۲۵,۶/۷۵,۸)	(۱/۷۵,۲/۷۵,۴/۲۵)	(۱,۲/۵,۴/۵)	شکست درونی
(۱/۵,۳,۵)	(۴/۵,۵/۵,۶/۵)	(۲/۵,۴,۶)	(۰,۱,۳)	شکست بیرونی
(۰/۷۱,۱/۷۱,۳/۲۸)	(۷/۵۷,۹/۱۴,۱۰)	(۷/۵۷,۹/۱۴,۹/۸۵)	(۱/۴۲,۲/۱۴,۳/۷۱)	ارزیابی
(۲/۵,۳/۵,۵)	(۴,۶,۷/۵)	(۰,۱,۳)	(۵,۷,۹/۵)	پیش‌گیری

جدول ۱۱- میانگین وزن‌های تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده‌ی ۲

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	
(۲,۳,۴/۲۵)	(۴/۷۵,۶/۲۵,۶/۵)	(۳/۲۵,۴/۵,۵/۵۷)	(۱,۲/۲۵,۴)	شکست درونی
(۱/۵,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۵,۷,۹/۵)	(۱/۵,۳,۵)	شکست بیرونی
(۰/۷۱,۱/۷۱,۳/۲۸)	(۸/۱۴,۹/۴۲,۹/۸۵)	(۸/۷۱,۹/۸۵,۱۰)	(۰/۷۱,۲/۱۴,۳/۱۴)	ارزیابی
(۲/۵,۳/۵,۵)	(۱/۵,۳,۵)	(۴,۶,۷/۵)	(۰,۱,۳)	پیش‌گیری

جدول ۱۲- میانگین وزن‌های تعیین شده توسط تصمیم‌گیرنده‌ی ۳

هزینه‌ی وارده	سود حاصله	افزایش اعتبار	زمان تمرکز استراتژی	
(۲,۳,۴/۲۵)	(۷/۵,۹/۲۵,۱۰)	(۴,۶,۷/۷۵)	(۴/۷۵,۶/۵,۸)	شکست درونی
(۱/۵,۳,۵)	(۶,۷/۵,۸/۵)	(۷,۹,۱۰)	(۳,۵,۷)	شکست بیرونی
(۰/۷۱,۱/۷۱,۳/۲۸)	(۶/۴۲,۸/۲۸,۹/۴۲)	(۶/۷۱,۸/۴۲,۹/۴۲)	(۴/۲۸,۶/۱۴,۳/۵۷)	ارزیابی
(۲/۵,۳/۵,۵)	(۲/۵,۴,۶)	(۵,۷,۹)	(۷,۹,۱۰)	پیش‌گیری



شکل ۵- رتبه بندی گزینه های هزینه های کیفیت

در ادامه با توجه به این که نظر هر سه کارشناس برابر در نظر گرفته شده است، میانگین نظر آن ها در جدول (۱۳) ارایه شده است. دو معیار هزینه ی وارده و زمان تمرکز استراتژی از جنس هزینه می باشند و منفی در نظر گرفته می شوند. دو معیار سود حاصله و افزایش اعتبار از جنس سود می باشد و مثبت در نظر گرفته می شوند.

با وارد کردن این داده ها در نرم افزار MATLAB.17a، رتبه بندی گزینه ها مطابق شکل (۵) حاصل شد.

جدول ۱۳- ماتریس نهایی

	۰/۳۴۰۱	۰/۲۹۶۵	-۰/۱۴۷۹	-۰/۲۱۵۵
هزینه ی وارده	افزایش اعتبار	سود حاصله	زمان تمرکز استراتژی	
شکست درونی	(۲,۳,۴/۲۵)	(۵/۸۳,۷/۴۱,۸/۵)	(۲/۲۵,۳/۷۵,۵/۵)	
شکست بیرونی	(۱/۵,۳,۵)	(۴/۵,۶,۷/۳۳)	(۱/۵,۳,۵)	
ارزیابی	(۰/۷۱,۱/۷۱,۳/۲۸)	(۷/۸۳,۹,۹/۷۶)	(۲/۱۴,۳/۵۲,۵/۱۴)	
پیش گیری	(۲/۵,۳/۵,۵)	(۲/۶۶,۴/۳۳,۶/۱۶)	(۳,۴/۶۶,۶/۵)	(۴,۵/۶۶,۷/۱۶)

هدف های آتی صنعت و کاهش هزینه های کیفیت در بخش های شکست درونی و شکست بیرونی و ارزیابی می باشد. همچنین استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و مدل شباهت به گزینه های ایده آل فازی در شناسایی رتبه بندی گزینه ها بسیار موثر و کارآمد است.

پی نوشت

- 1- Quality of Cost (QOC)
- 2- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 3- Technique For Order Prefernces By Similarity To Ideal Solution (TOPSIS)
- 4- Multi criteria Decision Making (MCDM)
- 5- Fuzzy Science
- 6- Prevention, Appraisal & Failure (PAF)
- 7- Internal Failure Costs
- 8- External Failure Costs
- 9- Appraisal Costs
- 10 Prevention Costs
- ۱۱- ضریب ناسازگاری به عنوان ضریبی در اعتبارسنجی مقایسات زوجی استفاده می شود که باید کمتر از ۰/۱ باشد تا بتوان به نظرات خبرگان بصورت زوجی اعتبار کرد
- 13- Matrix Laboratory

جمع بندی و نتیجه

به دست آوردن هزینه های کیفیت همیشه در صنایع معضل بزرگی است؛ زیرا این هزینه ها در قالب هزینه های دیگر ظاهر می شوند و قابل تفکیک نمی باشد. از طرفی دیگر یافتن و مدیریت هزینه های کیفیت در هر شرکتی با توجه به اهمیت کیفیت و هزینه بسیار حایز اهمیت است.

برای برآورد هزینه ی کیفیت انتخاب مدل "هزینه ی پیش گیری، شکست و ارزیابی (PAF)" و به دست آوردن گزینه ای که بیشترین هزینه را برای صنعت مورد نظر ایجاد می کند، روش تصمیم گیری چند معیاره فازی و با مدل شباهت به گزینه های ایده آل فازی انتخاب شده است. طبق نتایج به دست آمده، بیشترین هزینه کیفیت در شرکت های آب و فاضلاب مربوط به هزینه های ارزیابی است.

هزینه های کیفیت درصد قابل توجهی از درآمد شرکت ها را به خود اختصاص می دهند؛ در حالی که بیش تر مدیران و کارشناسان از این موضوع آگاهی ندارند. همین موضوع سبب افزایش هزینه های کیفیت در بخش های شکست درونی و بیرونی و ارزیابی می شود. در صورتی که با تأکید بیش تر بر سرمایه گذاری در فعالیت های پیشگیرانه مانند آموزش به کارکنان و طراحی های دقیق، علاوه بر کاهش هزینه ها خطا و تولید محصول معیوب، هزینه ارزیابی و بازرسی نیز کاهش می یابد.

پس سرمایه گذاری در بخش پیش گیری، گزینه ی مناسبی برای

- Chang D.Y. 1996. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
- Chopra A. and Garg D. 2011. Behavior Patterns of Quality Cost Categories. *Total Quality Management*, 23: 510 – 515.
- He, Dadi. 2010. Engineering Quality Systems: Cost of Quality. *Modern Applied Science*, 4(5): 102.
- Juran J.M. 1962. *Quality Control Handbook*. 1st Edition. McGraw-Hill. New York.
- Longaraya A., Goisa J. and Munhoza P. 2015. Proposal for Using AHP Method to Evaluate the Quality of Services Provided by Outsourced Companies. *Information Technology and Quantitative Management (ITQM)*.
- Omar m.k. and Murgan sh. 2014. An Improved Model for the Cost of Quality. *International Juran of Quality and Reliability Management*. 31(4): 395-418.
- ابراهیمی، س. ۱۳۸۰. بررسی هزینه‌های کیفیت در صنایع با مقیاس کوچک، مطالعه موردی: شرکت فرمان خودرو سپاهان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- بهشتی، ف. و قوامی، س. ۱۳۷۸. پیاده‌سازی سیستم هزینه‌یابی کیفیت در شرکت فرآورده‌های نسوز پارس. ششمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران.
- پورزندی، م.، مینویی، م. و بیگدلی، س. ۱۳۸۹. طراحی الگوی شناسایی و محاسبه هزینه‌های کیفیت در صنایع خودروسازی. نشریه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۳: ۷۳-۹۵.
- دارابی، ر. و فلاح نژاد، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی موانع توسعه هزینه‌های کیفیت در صنعت محصولات شیمیایی. پژوهشنامه حسابداری مالی و حسابرسی، ۴: ۱۵۵-۱۸۴.
- ستایش، م. و پورقدیری، م. ۱۳۸۸. بررسی موانع توسعه هزینه‌یابی کیفیت. نشریه حسابرس، ۴۴: ۱۳۲-۱۴۴.
- مؤمنی، م. ۱۳۸۵. پژوهش عملیاتی پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران- دانشکده‌ی مدیریت.

Assessment of the Water Quality of the Anzali International Wetland using Qualitative Indices

M. Fallah^{1*}, S. Fakheran²

1, 2- Msc in Natural Resources & Associate Professor of Natural Resources, Natural Resources Department, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*(Corresponding Author Email: maryam.fallah85@gmail.com)

Received: 25-12-2016

Accepted: 26-04-2017

ارزیابی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص‌های کیفی

مریم فلاح^{۱*}، سیما فاخران^۲

۱، ۲- به ترتیب کارشناسی‌ارشد محیط زیست و استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: maryam.fallah85@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۶

Abstract

Wetlands are valuable ecosystems that have a variety of functions to protect biodiversity, natural values, economic and social values. The importance of wetlands, especially in arid and semi-arid regions such as Iran, is higher. Wetlands can reduce the effects of climate change in different ways. Hence, the degradation of wetlands will intensify the climate change impacts. At the moment, the Anzali international wetland is under the impact of environmental stresses and pollutants such as the entry of the industrial, agricultural, and urban effluents, the presence of non-native species, changes in the purpose of usage, and eutrophication. Therefore, the need to study the spatial and temporal variations of pollutants using qualitative indicators is one of the most important factors in water quality studies. In this study, due to the importance of the Anzali wetland and its environmental impact on sustainable development, an ecosystem quality survey was conducted using the data from seasonal sampling which took place in the year 1393 at 10 stations using NSFQIa, NSFQIm, and OWQI qualitative indices. Based on the results of the various indices, most stations are categorized in having middle to very bad levels. During the summer season, the most polluted stations according to the NSFQIa, NSFQIm, and OWQI indices were Nokhale, East of wetlands, and Pribazar, respectively. The variance analysis showed a significant difference ($p < 0.05$) between the mentioned indices and different seasons. The significant correlation (at 0.05 and 0.01) of parameters such as BOD₅, phosphate, water temperature, and dissolved oxygen with qualitative indices on the one hand, and comparison of the total values of indices, on the other hand, showed a bad condition for the water quality and the need for remediation and implementation of management policies in order to improve the status of this unique ecosystem.

Keywords: Contaminant, Wetland, Quality indices, Climate change, Alien species.

چکیده

تالاب‌ها اکوسیستم‌های با ارزشی هستند که از کارکردهای بسیار متنوعی به منظور حفاظت از تنوع زیستی، ارزش‌های طبیعی، اقتصادی و اجتماعی متعدد، برخوردار هستند. اهمیت تالاب‌ها بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران بیشتر است. تالاب‌ها از طرق مختلف می‌توانند اثرات تغییر اقلیم را کاهش دهند، بنابراین زوال و نابودی تالاب‌ها اثرات تغییر اقلیم را تشدید می‌نماید. در حال حاضر تالاب بین‌المللی انزلی تحت تأثیر انواع استرس‌ها و آلاینده‌های محیطی از قبیل ورود پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، حضور گونه‌های غیربومی، تغییر کاربری و تغذیه‌گرایی قرار گرفته است. به همین دلیل نیاز به بررسی تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌ها با استفاده از شاخص‌های کیفی از مهمترین مولفه‌های مطالعات کیفی آب است. با توجه به اهمیت بین‌المللی و اثر زیست‌محیطی تالاب انزلی در توسعه پایدار، در این مطالعه به پایش کیفی این اکوسیستم با استفاده از داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌های فصلی صورت گرفته طی سال ۱۳۹۳ در ۱۰ ایستگاه با استفاده از شاخص‌های کیفی NSFQIa و NSFQIm و OWQI پرداخته شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از شاخص‌های مختلف، اکثر ایستگاه‌ها در طبقه متوسط تا بسیار بد قرار گرفته‌اند. آلوده‌ترین ایستگاه در شاخص‌های NSFQIa و NSFQIm به ترتیب نوخاله، تالاب شرق و پیربازار در فصل تابستان بود. نتایج آنالیز واریانس، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) بین شاخص‌های ذکر شده و فصول مختلف است. از یک طرف معنی‌دار بودن همبستگی (در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱) پارامترهایی BOD₅، فسفات، دمای آب و اکسیژن محلول با شاخص‌های کیفی و از طرف دیگر مقایسه مقادیر کل شاخص‌ها، نشان داد که شرایط خوبی از نظر کیفیت آب حاکم نبوده و نیاز به چاره‌اندیشی و اعمال سیاست‌های مدیریتی جهت بهبود وضعیت این اکوسیستم منحصر به فرد، بیش از هر زمانی ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، تالاب، شاخص کیفی، تغییر اقلیم، گونه‌های غیربومی.

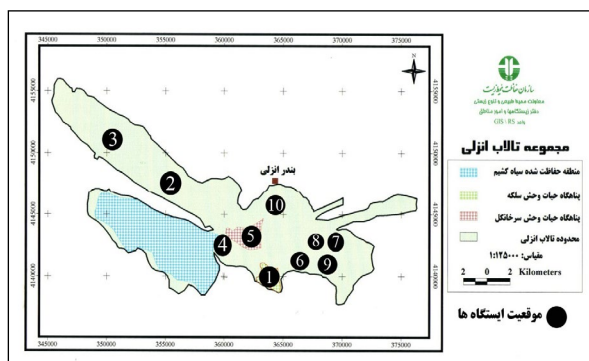
با استفاده از شاخص‌های کیفی آب می‌توان تغییرات کیفی آب را در طول زمان یک ایستگاه مورد پایش قرار داد و هم می‌توان از این شاخص‌ها برای نشان‌دادن تغییرات کیفی آب در طول اکوسیستم آبی با مقایسه منابع آبی در نقاط مختلف یک کشور و یا جهان استفاده نمود (Shultz, ۲۰۱۱). شاخص NSFQI سازمان بهداشت ملی آمریکا که در سال ۱۹۷۰ توسط براون و همکارانش ارائه گردید، یکی از ساده‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها برای ارزیابی کیفیت آب است (Landwehr و Deininger, ۱۹۷۶). اورگان (OWQI)^۲ شاخص کیفی در ایالت اورگان و در ابتدا توسط یک گروه بررسی کننده مسایل کیفی زیست محیطی در سال ۱۹۷۹ برای ارزیابی شرایط و روند کیفی آب ایجاد گردید (Cude, ۲۰۰۱). مطالعاتی پیرامون وضعیت کیفی منابع آبی در ایران با استفاده از شاخص‌های کیفی شده است که می‌توان به مطالعات بصیر و نوابی در بند قیر اهواز (۱۳۸۸)، میرزایی و همکاران (۱۳۸۴) در رودخانه جاجرو، نیکونهاد (۱۳۸۵) در سد مخزنی کرخه، جمشیدیان و علوی مقدم (۱۳۸۵)، سمرقندی و همکاران (۱۳۹۲) در سد مخزنی اکیاتان، شمسایی و همکاران (۱۳۸۴) در رودخانه‌های کارون و دز اشاره کرد که شاخص کیفی NSFQI را به عنوان مناسب‌ترین شاخص جهت ارزیابی کیفیت آب معرفی کرده‌اند. از مطالعات صورت گرفته بر روی تالاب انزلی، می‌توان به مطالعات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA) (۲۰۰۵)، کیمبال و کیمبال (۱۹۷۴)، میرزاجانی و همکاران (۱۳۸۸)، درویش‌صفت و همکاران (۱۳۷۸)، Nezami (۱۹۹۳)، نظامی (۱۳۷۴)، رازدار و همکاران (۱۳۸۷)، احمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) اشاره نمود. با توجه به مطالب ذکرشده و نظر به نقش و جایگاه تالاب‌ها در اکوسیستم‌های آبی، در تحقیق حاضر به بررسی وضعیت کیفی تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص NSFQIa، NSFQIm و OWQI در سال ۱۳۹۳ پرداخته و نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت.

مطالعات ارزش اقتصادی تالاب‌ها نشانگر آن است که یک تالاب در شرایط مساوی حدود ۱۰ برابر جنگل‌ها و ۲۰۰ برابر زمین‌های زراعی، ارزش اقتصادی دارد. علاوه بر آن تنظیم آب و هوا، جلوگیری از سیل، حفاظت از تنوع گیاهی و جانوری، زیبایی و جاذبه‌های بصری ذاتی تالاب، جاذبه‌های توریستی و ایجاد فضایی برای زندگی پرندگان مهاجر و مکانی غنی برای بررسی‌های تحقیقاتی و علمی متخصصین و دانشمندان از مهمترین موضوعات وجود یک تالاب است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). تالاب انزلی در سال ۱۳۵۴ در فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر به ثبت رسید و همچنین سازمان بین‌المللی حیات پرندگان این تالاب را به عنوان زیستگاه با اهمیت برای پرندگان تشخیص داده است (Zubakava, ۱۹۹۳). در حال حاضر برنامه‌های کوتاه‌مدت نه چندان علمی مانند معرفی گونه‌های غیربومی، به هم زدن تعادل ورودی و خروجی تالاب، احداث جاده و کنارگذر، زهکشی و تغییر کاربری، تصرفات غیرقانونی زمین‌ها، تالاب انزلی را به شاخص تالاب‌های در حال فرو افت شدید در منطقه ساحلی شمال ایران تبدیل کرده است (اسماعیلی، ۱۳۷۸). تالاب انزلی هم اکنون در فهرست تالاب‌های سیاه مونتر^۱ قرار گرفته است و بر اساس آن کشور ایران موظف به احیای مجدد سایت و جلوگیری از تغییرات اکولوژیک آن است (بشارتی، ۱۳۸۵). برای مدیریت کیفیت آب و برنامه‌ریزی جهت حفاظت و جلوگیری از تخریب منابع آب، شاخص‌های کیفی آب تدوین شده‌اند، شاخص‌های کیفی آب، یکی از روش‌های ساده و دور از پیچیدگی ریاضی و آماری برای بیان ساده‌ی شرایط کیفی آب هستند. شناسایی دقیق کمیت و کیفیت منابع آلاینده، تعیین وضعیت کیفی و ارائه مدل مناسب جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌ها از مهمترین مولفه‌های مطالعات کیفی آب است (Nasirian, ۲۰۰۷).

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی در جنوب غرب دریای خزر و در استان گیلان در طول جغرافیایی ۲۰° و ۱۴' و ۴۹° تا ۴۵° و ۳۶' و ۴۹° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰° و ۲۲' و ۳۷° تا ۸° و ۳۲' و ۳۷° شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت تالاب انزلی در سال ۱۳۸۵ با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای IRS-Pan، ۱۶۸ کیلومتر مربع برآورد شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). حدود ۵۴٪ آن را جنگل و مرتع، ۲۳٪ اراضی کشاورزی، ۸٪ محیط‌های آبی و بقیه را مناطق انسان ساخت و تأسیسات زیربنائی تشکیل می‌دهد. حداکثر عمق این تالاب ۳/۵ متر و متوسط عمق آن بیش از یک متر است (بشارتی، ۱۳۸۵).



شکل ۱- موقعیت تالاب بین‌المللی انزلی

• روش کار

در سال ۱۳۹۳ از ۱۰ ایستگاه زیرپل بندرانزلی، سرخانکل، پیربازار، سیاه درویشان، نوخاله، هندخاله، تالاب شرق، خروجی تالاب شرق و تالاب غرب-آبکنار و ماه روزه در هر فصل نمونه برداری صورت گرفت. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری در جدول (۱) آمده است.

• اندازه‌گیری پارامترهای آب

پارامترهای درجه حرارت آب و هوا به کمک دماسنج جیوه‌ای، pH توسط pH متر دیجیتال Metrohm مدل ۷۴۴۰، هدایت الکتریکی به وسیله EC متر دیجیتال JEN WAY مدل ۴۳۱۰، اکسیژن محلول به روش وینکلر، NO_3 و PO_4 به روش رنگ‌سنجی و به ترتیب با استفاده از اسپکتوفتومتری JASCO مدل ۷۵۳۰ و اسپکتوفتومتری JEN WAY مدل ۶۴۰۰ BOD_5 با استفاده از انکوباتور VELP-FTC901 به روش اکسیژن باقی‌مانده پس از ۵ روز به وسیله دستگاه اکسیژن‌سنج، کدورت به وسیله دستگاه کدورت‌سنج DRT-15CE، کلیفرم مدفوعی به روش MPN^۲ لوله‌ای با ضریب رقت ۱ به ۱۰۰ و جامدات محلول با روش استاندارد اندازه‌گیری گردید (APHA, ۱۹۹۲).

جدول ۱- طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه تالاب بین‌المللی انزلی

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	هندخاله	۳۶۳۱۷۰	۴۱۴۰۱۹۱
۲	تالاب غرب (آبکنار)	۳۵۸۹۷۷	۴۱۴۵۲۴۰
۳	تالاب غرب (ماه روزه)	۳۵۹۳۴۴	۴۱۴۵۲۳۲
۴	سیاه‌درویشان	۳۶۰۶۴۵	۴۱۴۴۴۱۱
۵	سرخانکل	۳۶۰۹۰۳	۴۱۴۰۱۹۱
۶	نوخاله	۳۶۷۲۶۷	۴۱۴۰۶۷۶
۷	تالاب شرق	۳۶۷۶۵۲	۴۱۴۲۶۸۶
۸	خروجی تالاب شرق	۳۶۶۴۵۸	۴۱۴۲۹۸۹
۹	پیربازار	۳۶۷۴۱۳	۴۱۴۰۶۴۶
۱۰	زیر پل بندر انزلی	۳۶۴۲۵۷	۴۱۴۷۳۹۹

• محاسبه شاخص کیفی

NSFWQI با استفاده از منحنی‌های معیار مناسب که برای هر یک از ۹ پارامتر وجود دارد، زیرشاخص آن پارامتر را استخراج کرده و به همراه وزن هر پارامتر با استفاده از رابطه (۱)، شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف محاسبه می‌شود (جدول ۲). براساس گروه‌بندی امتیازهای کلی شاخص (جدول ۳) می‌توان ایستگاه‌های مورد نظر را از نظر وضعیت کیفی طبقه‌بندی نمود (Landwehr و Deiningner, ۱۹۷۶).

جدول ۲- فاکتورهای وزنی شاخص NSFWQI

پارامتر	فاکتور وزنی
اکسیژن محلول	۰/۱۷
کلیفرم مدفوعی	۰/۱۵
pH	۰/۱۲
BOD ₅	۰/۱۰
نیترات	۰/۱۰
فسفات	۰/۱۰
دما	۰/۱۰
کدورت	۰/۰۸
جامدات کل	۰/۰۸

جدول ۳- گروه‌بندی امتیاز کلی شاخص NSFWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف
۰-۲۵	بسیار بد
۲۶-۵۰	بد
۵۱-۷۰	متوسط
۷۱-۹۰	خوب
۹۱-۱۰۰	عالی

$$\text{NSFWQIa} = \sum_{i=1}^n W_i Q_i \quad (1)$$

$$\text{NSFWQIm} = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i}$$

Wi و Qi به ترتیب زیرشاخص و فاکتور وزنی هر پارامتر است. شاخص OWQI از رابطه زیر بدست می‌آید و طبقه‌بندی آن در جدول (۴) آورده شده است.

$$\text{OWQI} = \frac{n}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i^2}}} \quad (2)$$

Si مقدار زیرشاخص هر پارامتر و n تعداد زیرشاخص‌های استفاده شده در شاخص می‌باشد (Cude, ۲۰۰۱).

جدول ۴- طبقه‌بندی کیفیت آب بر اساس شاخص OWQI

مقدار عددی شاخص	تعریف
کمتر از ۶۰	خیلی بد
۶۰-۷۹	بد
۸۰-۸۴	متوسط
۸۵-۸۹	خوب
۹۰-۱۰۰	عالی

• آنالیز آماری

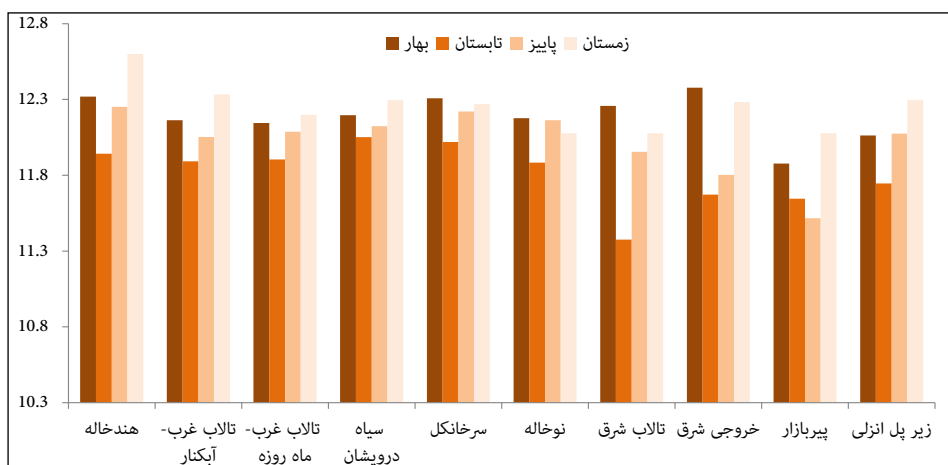
نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنف^۵ و همگن بودن واریانس‌ها با آزمون لون^۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی تفاوت‌های زمانی از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه^۷ بین ایستگاه‌های مختلف استفاده شد. ارزیابی

احتمال معنی‌دار بودن میانگین داده‌ها با آزمون دانکن^۸ در سطح اطمینان ۹۵٪ ($p < 0.05$) تعیین گردید. همبستگی بین پارامترها و شاخص‌های کیفی نیز به وسیله ضریب پیرسون^۹ صورت گرفت. آنالیز آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS16 انجام شد.

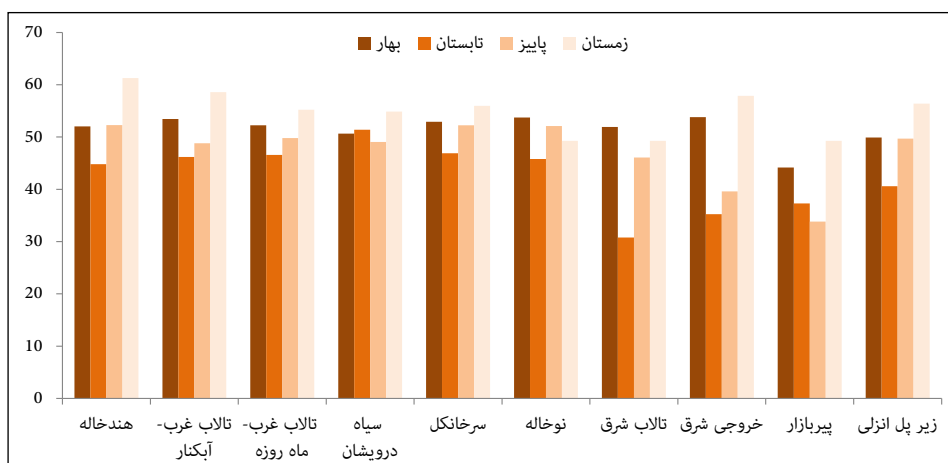
نتایج

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، شاخص NSFQIm در کلیه ایستگاه‌ها در طول سال ۱۳۹۳ در محدوده ۱۱/۳۷-۱۲/۵۹ می‌باشد و با مراجعه به جدول (۳) کلیه ایستگاه‌ها در دسته‌بندی بسیار بد قرار داشتند. همین شاخص با فرمول حاصل جمع‌بندی وزنی NSFQIa فرق کرده و در محدوده ۳۰/۷۸-۶۱/۲۷ (دسته‌بندی متوسط تا بد) قرارگرفت (شکل ۳).

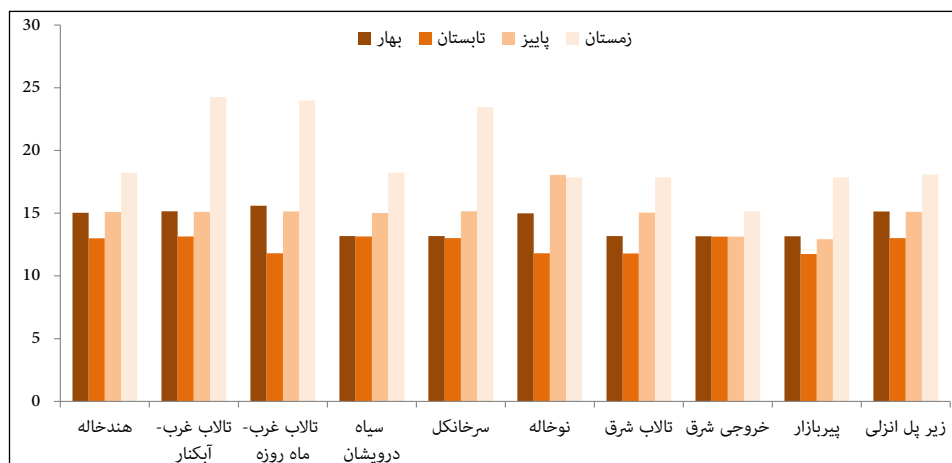
در مورد شاخص OWQI هم مقادیر آن (۲۴/۲۶-۱۱/۷۹) در اکثر ایستگاه‌ها در محدوده خیلی بد قرار داشت (شکل ۴). در مجموع کیفیت آب ایستگاه‌های نواحی غرب وضعیت بهتری با توجه به مقادیر شاخص NSFQIa و NSFQIm و OWQI داشتند. نتایج آنالیز واریانس وجود اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) در شاخص‌های مذکور بین ایستگاه‌های مختلف را نشان نداد، اما بین فصول مختلف و مقادیر شاخص برخی ایستگاه‌ها، اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) را نشان داد.



شکل ۲- مقادیر شاخص NSFQIm در فصول مختلف در تالاب انزلی در سال ۱۳۹۳



شکل ۳- مقادیر شاخص NSFQIa در فصول مختلف در تالاب انزلی در سال ۱۳۹۳



شکل ۴- مقادیر شاخص OWQI در فصول مختلف در تالاب انزلی در سال ۱۳۹۳

در جدول (۶) نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های کیفی در سال ۱۳۹۳ به تفکیک هر شاخص آورده شده است.

جدول ۶- نتایج سالانه شاخص‌های کیفی

ایستگاه	NSFWQIa	NSFWQIm	OWQI
هندخاله	۴۹/۱۴	۱۲/۰۴	۱۵/۳۳
تالاب غرب (آبکنار)	۵۱/۷۶	۱۲/۱۱	۱۶/۹۱
تالاب غرب (ماه روزه)	۵۰/۹۵	۱۲/۰۸	۱۶/۶۲
سیاه‌درویشان	۵۱/۴۹	۱۲/۱۶	۱۴/۸۹
سرخانکل	۵۱/۹۹	۱۲/۲۰	۱۶/۱۹
نوخاله	۴۱/۱۳	۱۱/۷۷	۱۳/۹۱
تالاب شرق	۴۴/۵۰	۱۱/۹۱	۱۴/۴۶
خروجی تالاب شرق	۴۶/۶۲	۱۲/۰۳	۱۳/۶۴
پیربازار	۵۰/۲۲	۱۲/۰۷	۱۵/۶۷
زیر پل بندر انزلی	۵۲/۶۰	۱۲/۱۹	۱۵/۳۳

در جدول (۵) مقادیر همبستگی پیرسون برای شاخص‌های OWQI، NSFWQIm و NSFWQIa آورده شده است. نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در برخی پارامترهای دخیل در کیفیت آب با شاخص‌های مختلف می‌باشد.

جدول ۵- مقادیر همبستگی پیرسون پارامترهای مختلف برای شاخص‌های OWQI، NSFWQIm و NSFWQIa

ایستگاه	NSFWQIa	NSFWQIm	OWQI
کدورت	-۰/۹۸	-۰/۱۵۹	-
دمای آب	*-۰/۴۳۹	*-۰/۴۹۵	** -۰/۷۱۴
pH	-۰/۰۸۷	-۰/۱۲۹	* -۰/۴۸۷
TDS	-۰/۳۵۰	-۰/۴۰۲	*-۰/۴۳۳
اکسیژن محلول	** ۰/۷۷۱	** ۰/۷۶۶	۰/۳۶۲
BOD ₅	** -۰/۶۶۳	** -۰/۶۳۳	-۰/۴۰۲
نیتрат	-۰/۱۴۶	۰/۱۹۰	-۰/۲۸۶
فسفات	** -۰/۶۱۹	** -۰/۵۷۳	*-۰/۴۰۹

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ ** همبستگی در سطح ۰/۰۱

پیربازار (۱۱/۶۵)، خروجی تالاب شرق (۱۱/۶۷) و در شاخص OWQI، ایستگاه‌های پیربازار (۱۱/۷۴)، تالاب شرق (۱۱/۷۸) و نوخاله (۱۱/۸۰) آلوده‌ترین بودند. معنی‌دار بودن همبستگی (در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱) پارامترهایی مانند: BOD₅، فسفات، دمای آب و اکسیژن محلول با شاخص‌های کیفی NSFWQIa و NSFWQIm و OWQI حاکی از ارتباط بین این پارامترها با شرایط کیفی تالاب و اثرگذاری در آلودگی تالاب انزلی است که

بحث

آلودگی همواره به عنوان مهم‌ترین عامل در کاهش عمر تالاب انزلی مطرح بوده است (ثابت رفتار، ۱۳۷۳). آلوده‌ترین ایستگاه‌ها در شاخص NSFWQIa به ترتیب نوخاله (۳۰/۷۸)، خروجی تالاب شرق (۳۵/۲۴) و پیربازار (۳۷/۲۹) بودند. همچنین در مورد شاخص NSFWQIm، ایستگاه‌های تالاب شرق (۱۱/۳۷)،

همسو با مطالعات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA) (۲۰۰۵)، کیمبال و کیمبال (۱۹۷۴)، میرزاجانی و همکاران (۱۳۸۸)، درویش صفت و همکاران (۱۳۷۸)، Nezami (۱۹۹۳)، نظامی (۱۳۷۴) بوده و نشان‌دهنده وضعیت بحرانی تالاب می‌باشد. فاضلاب خانگی، مناطق مسکونی مجاور، پساب صنایع غذایی و دامداری‌ها که بدون هیچ تصفیه‌ای وارد رودهای مرتبط با تالاب انزلی می‌شوند (JICA, ۲۰۰۵)، همچنین گستردگی حوزه تالاب، تنوع کاربری در حوزه و در نتیجه وارد شدن مواد آلی و غیر آلی به تالاب از مهمترین دلایل کاهش کیفیت آب تالاب انزلی و تشدید روند تغذیه‌گرایی محسوب می‌شوند که در این خصوص سه منبع عمده مواد مغذی شامل: کودهای استفاده شده در بخش کشاورزی، فاضلاب‌های خانگی و ضایعات دامی را می‌توان نام برد (ساکی‌زاده، ۱۳۸۳). Kazi و همکاران در سال ۲۰۰۹، با استفاده از تکنیک‌های آماری مختلف از جمله PCA کیفیت آب دریاچه مانچار در پاکستان را مورد ارزیابی قرار داده و از جمله عوامل موثر در وخیم‌تر شدن شرایط کیفی آب را فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و فاضلاب‌های شهری دانستند. Samantray و همکاران در سال ۲۰۰۹، با استفاده از شاخص NSFQI کیفیت رودخانه‌های ماهاندی و آتاوانکی در ناحیه پارادیپ هندوستان را بررسی نمودند که برای این شاخص چهار پارامتر pH، اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و کلیفرم مدفوعی اندازه‌گیری شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کیفیت آب بر اساس شاخص مورد استفاده به دلیل فعالیت‌های انسانی و صنایع کاهش یافته است. Hsu و همکاران (۲۰۱۱) در دو تالاب حفاظت شده در تایوان پارامترهای کیفی آب و گیاهان منطقه را مورد بررسی قرار داده و مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده تنوع زیستی در تالاب‌های حفاظت شده را کیفیت آب، مساحت تالاب و پوشش گیاهی دانستند. Hassler در سال ۲۰۰۴ بیان نمود، که کیفیت آب رودخانه‌های کالیفرنیا تحت تأثیر توسعه کشاورزی و فعالیت‌های دامداری و دامپروری به شدت آلوده می‌باشد. به طوری که این اقدامات باعث کاهش کیفیت آب اکثر رودخانه‌ها در این ایالت شده است. مهمترین مسأله‌ای که در ساختار توابع جمع‌بندی زیرشاخص‌ها باید به آن توجه شود، مشکل ناحیه ابهام و تاریکی است. وجود ناحیه ابهام در یک شاخص به این مفهوم است که شاخص کلی وضعیت ضعیف زیست‌محیطی را نشان می‌دهد، بدون آنکه هیچ کدام از زیرشاخص‌های آن به مرحله ضعیف رسیده باشند. مسأله تاریکی نیز زمانی رخ می‌دهد که حداقل یکی از شاخص‌ها شرایط ضعیف زیست‌محیطی را نشان دهد، ولی شاخص کلی این شرایط ضعیف را نشان ندهد. در رابطه NSFQI دو تابع جمع‌بندی برای محاسبه شاخص ارائه شده است. تابع جمع وزنی خطی (NSFWQIa) دارای مشکل تاریکی است، به همین دلیل تابع ضرب وزنی (NSFWQIm) نیز

ارائه شده است (Landwehr و Deininger, ۱۹۷۶). منحنی‌ها و روابط تعیین زیرشاخص‌ها در شاخص OWQI همانند NSFQI، بر اساس نظرات اساتید فن به صورت توابع تغییر شکل لگاریتمی بوجود آمده است؛ با این تفاوت که کلیه پارامترها از اثر و اهمیت یکسانی برخوردار است (Cude, ۲۰۰۱). شاخص کیفی OWQI تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه را در محدوده‌ی کیفی بسیار بد قرار داده است. در این شاخص به این دلیل که هر یک از پارامترهای هشت‌گانه فاقد ضریب وزنی بوده، اثر یکسانی در محاسبه‌ی شاخص نهایی دارند که خود می‌تواند از اشکالات این شاخص باشد. با توجه به تأثیر یکسان پارامترها، پایین بودن یک یا دو زیر شاخص منجر به افت شدید شاخص نهایی می‌شود. در این روش پارامترهای با ارزش کم و پارامترهای با ارزش بالا به یک مقدار روی عدد نهایی شاخص تأثیر دارند. درمقایسه با شاخص NSFQI، شاخص OWQI به دلیل اینکه به همه‌ی پارامترها وزن یکسانی می‌دهد از ارزش کمتری برخوردار است، از آنجایی که شاخص NSFQI برای هر پارامتری یک وزن خاص را در نظر می‌گیرد و در محاسبه‌ی نهایی شاخص منظور می‌شود، یک شاخص مناسب‌تر برای ارزیابی آب تالاب انزلی می‌باشد که با نتایج محققین دیگر نیز مطابقت دارد (شمسایی و همکاران، ۱۳۸۴؛ نیکونهاد، ۱۳۸۵؛ بصیر و نوابی، ۱۳۸۵؛ میرزایی و همکاران، ۱۳۸۴؛ جمشیدیان و علوی مقدم، ۱۳۸۵ و سمرقندی و همکاران، ۱۳۹۲). در مورد مقادیر شاخص‌ها و مقایسه آن در ایستگاه‌های مختلف، بین فصل‌ها و مقادیر شاخص اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین با بررسی مقادیر شاخص‌های مختلف مشاهده شد، در فصل‌های پاییز و زمستان بطور نسبی مقادیر شاخص‌ها افزایش پیدا می‌کنند. بهترین ایستگاه‌ها از نظر کیفیت آب در شاخص NSFQIa و OWQI به ترتیب هندخاله (۶۱/۲۷)، تالاب غرب-آبکنار (۲۶/۲۴) در فصل زمستان بود و نسبتاً ایستگاه‌های غربی وضعیت بهتری نسب به ایستگاه‌های شرقی داشتند. در NSFQIm همه ایستگاه‌ها کیفیت خیلی بد داشت. سمرقندی و همکاران در سال ۱۳۹۲، بر روی سد مخزنی اکباتان شهرستان همدان به منظور بررسی کیفیت آب دریاچه از شاخص کیفی NSFQI استفاده کردند. آب موجود در دریاچه در ماه‌های سرد سال کیفیت مناسب‌تری نسبت به ماه‌های گرم سال داشت و مهمترین آلودگی دریاچه میزان بالای کلیفرم مدفوعی بیان شد (سمرقندی و همکاران، ۱۳۹۲). در بین ایستگاه‌ها، تالاب شرق و پیربازار کمترین مقدار را در شاخص‌های مورد بررسی داشت. طی مطالعه افراز (۱۳۷۵) نیز درصد آلودگی در رودخانه پیربازار بسیار بالاتر از رودخانه‌های دیگر بوده، زیرا قسمت اعظم فعالیت‌های صنعتی درحوزه آبخیز پیربازار متمرکز بوده و کل فاضلاب شهر رشت و پساب‌های کشاورزی محدوده آن از طریق این رودخانه به تالاب حمل می‌شود

(افراز، ۱۳۷۵)؛ به طوری که در سال ۱۳۶۶، ۹۵ تن نیترات توسط رودخانه پیربازار به تالاب حمل گردید (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۶۷). طبق جدول (۷) اکثر ایستگاه‌ها در طول سال براساس شاخص‌های NSFQIm و OWQI در دسته بسیار بد و طبق شاخص NSFQIa در محدوده بد تا متوسط قرار می‌گیرند و نشان‌دهنده وضعیت بحرانی تالاب انزلی است. رازدار و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص کیفی WQI در سال ۱۳۸۶ پرداختند. نتایج آن‌ها در مدت زمان مشابه نشان داد که به جز پیربازار، سیاه درویشان و زیرپل انزلی که در وضعیت متوسط قرار گرفتند، در اکثر ایستگاه‌ها وضعیت

آب تالاب انزلی خوب بود (رازدار و همکاران، ۱۳۸۷). آن‌ها همچنین در ارزیابی یکساله خود اکثر ایستگاه‌ها را در وضعیت متوسط قرار دادند. مطالعاتی هم که توسط احمدزاده و همکاران (۱۳۹۲) در سال‌های ۱۳۷۱-۱۳۷۴ و ۱۳۷۷ و ۱۳۸۱ در تالاب انزلی انجام دادند وضعیت تالاب را با استفاده از شاخص کیفی WQI در حد متوسط ارزیابی کردند (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی همبستگی مقادیر پارامترهایی از قبیل فسفات، نیترات، BOD_5 ، TDS و کلیفرم مدفوعی نیز نشان‌دهنده افزایش میزان آن‌ها طی سال‌های اخیر است که با توجه به اثر آن‌ها با ضریب وزنی خود در نتایج نهایی هر شاخص محسوس است.

نتیجه‌گیری

بنابراین می‌توان عوامل تخریب‌کننده تالاب را در سه دسته شیمیایی، فیزیکی و اکولوژی طبقه‌بندی نمود که عوامل اکولوژی مانند ورود گونه‌ی غیر بومی آژولا، شیمیایی مانند ورود بی‌رویه پساب‌های شهری و کشاورزی و فیزیکی مانند ورود زباله‌های بدون تفکیک و بازیافت نشده به حوزه تالاب می‌تواند از مهم‌ترین علل تخریب تالاب باشند. نتایج این تحقیق نشان

می‌دهد که باید به طور مداوم پایش کیفیت آب و بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی کیفیت آب تالاب انجام شود تا از نابودی تالاب در آینده‌ای نزدیک جلوگیری شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از اداره کل حفاظت محیط زیست شهرستان انزلی به دلیل همکاری صمیمانه در طول این تحقیق سپاسگزاری می‌نمایم.

پی‌نوشت

- 1- Montreux
- 2- National Sanitation Foundation Water Quality Index
- 3- Oregon Water Quality Index
- 4- Most Probable Number
- 5- Kolmogorov-Smirnov
- 6- Leven test
- 7- One-way ANOVA
- 8-Duncan
- 9-Pearson

منابع

افراز، ع.ر. ۱۳۷۵. طبقه‌بندی رودخانه‌های ورودی به تالاب انزلی با استفاده از منحنی شاخص کیفیت آب، مجله علمی شیلات ایران، ۵(۱): ۱-۱۷.

اسماعیلی، ح. ۱۳۷۸. مناطق تحت مدیریت اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان، اداره کل حفاظت محیط زیست گیلان، رشت. ۲۱۰ صفحه.

احمدزاده لایقی، ت.، اکبرزاده، ا. و جاوید، ا. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب تالاب انزلی براساس شاخص کیفی WQI. دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، ۱-۱۳.

بشارتی، ن. ۱۳۸۵. تهدید سلامت تالاب انزلی توسط مخاطرات زیست محیطی ناشی از آلاینده‌ها، طب جنوب، ۴(ویژه نامه کنگره سراسری طب ودریا): ۸۶-۷۶.

بصیر، م. و نبوی، م. ۱۳۸۸. مطالعه کیفیت آب رودخانه کارون از بند قیر تا اهواز با استفاده از WQI و بکارگیری نرم افزار GIS. اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، زابل، ۱۳۲-۱۴۰.

ثابت‌رفتار، ک. ۱۳۷۳. تجزیه و تحلیل (فرکانس) اثرات زیست محیطی آژولا بر اکوسیستم آبی تالاب انزلی. دانشگاه تهران، پایان‌نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد.

جمشیدیان، ز. علوی مقدم، م. ۱۳۸۵. بررسی ارزیابی کیفیت آب با شاخص (WQI). اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی بهداشت. تهران. درویش صفت، ع.ا. جمالزاده فلاح، ف. و نظامی بلوچی، ش. ۱۳۷۸. بررسی وضعیت تروفی تالاب انزلی با استفاده از GIS. محیط‌شناسی، ۲۳(۱): ۱-۱۰.

رازدار، ب.، قویدل، آ. و ذوقی، م.ج. ۱۳۸۷. بررسی کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از شاخص کیفی WQI، مجموعه مقالات همایش ملی، الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، ۴۵۷-۴۶۵.

- Hsu CB., Hsieh HL., Yang L., Wu SH., Chang JS., Hsiao SC., Su HC., Yeh CH., Ho YS. and Lin H.J. 2011. Biodiversity of constructed wetlands for wastewater treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 37(10): 1533-1545.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 2005. Integrated management for Anzali wetland. Department of Environment of Iran. Tehran, 182 p. (In Persian).
- Kazi TG., Arain MB., Jamali MK., Jalbani N., Afridi HI., Sarfraz RA., Baig JA, Shah AQ. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Eco-toxicology and Environmental Safety*, 72: 301-309.
- Landwehr JM. and Deininger RA. 1976. A comparison of several water quality indexes. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 48(5): 947-954.
- Nasirian MA. 2007. New water quality index for environmental contamination contributed by mineral processing: A case study of amang (tin tailing) processing activity. *Journal of applied sciences*, 7(20): 2977-2987.
- Nezami Sh.A. 1993. Nutrient load community structure and metabolism in the eutrophying Anzali lagoon Iran. Ph.D. Thesis L. Kusseuth university and fish culture Research Institute. Debrecen- szaruas Hungary. P. 197.
- Shultz MT. 2001. A critique of EPA's index of watershed indicators. *Journal of Environmental Management*, 62(4): 429-442.
- Samantray P., Mishra BK., Panda CR. and Rout SP. 2009. Assessment of water quality index in Mahanadi and Athavabanki rivers and Taldana canal in Paradip area. India. *Journal of Human Ecology*, 26: 153-161.
- Zubakava VA. 1993. The Caspian sea level oscillations in the geological past and its forecast. *Russian Meteorology and Hydrology of journal*, 8: 65-70.
- ساکی زاده، م. ۱۳۸۳. بررسی و منشأیابی منابع آلاینده حوزه آبخیز رودخانه سیاهرود در استان گیلان، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه شیلات و محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۱۰ صفحه.
- سمرقندی، م.، ویسی، ک.، ابوی مهریزی، ا.، کاسب، پ. و دانایی، ع. ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب دریاچه سد مخزنی اکباتان شهرستان همدان با بهره‌گیری از شاخص کیفی NSFQWI، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۵(۱): ۶۳-۶۹.
- شمسایی، ا.، زارع، ص. و سارنگ، ا. ۱۳۸۴. بررسی تطبیقی شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز، نشریه آب و فاضلاب، ۵۵: ۳۹-۴۸.
- کیمبال، ک. و کیمبال، س. ۱۹۷۴. مطالعات لیمنولوژی تالاب انزلی. سازمان حفاظت محیط زیست و شرکت شیلات ایران. ترجمه طرح احیای تالاب انزلی جهادسازندگی گیلان. ۱۱۴ صفحه.
- میرزاجانی، ع.، خداپرست، ح.، بابایی، ه.، عابدینی، ع. و دادی قندی، ع. ۱۳۸۸. روند فراغنی شدن تالاب انزلی با استفاده از اطلاعات ده ساله ۱۳۷۱-۱۳۸۱. محیط‌شناسی، ۳۵(۵۲): ۶۵-۷۴.
- نظامی، ش. ۱۳۷۴. بررسی تعداد باکتریوپلانکتون‌های تالاب انزلی. مجله علمی شیلات ایران، ۱(۴): ۲۱-۳۲.
- مهندسان مشاور یکم. ۱۳۶۷. مطالعات گام اول طرح جامع احیاء تالاب انزلی، جلد هفتم، لیمنولوژی، ۳۱۸ صفحه.
- میرزایی، م. نظری، ع. و یاری، ع. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی کیفی رودخانه جاجرود، محیط‌شناسی، ۳۱(۳۷): ۱۷-۲۶.
- نیکونهاد، ع. ۱۳۸۵. تأثیر سد مخزنی کرخه بر کیفیت آب ورودی با استفاده از شاخص‌های کیفی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. ۱۱۰ صفحه.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۰. مطالعات تعیین حد بستر و حریم تالاب انزلی (گزارش زیست‌محیطی)، شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۰ صفحه.
- APHA. 1992. Standard method for examination of water and wastewater. 18 the edition. American.
- Chessman B. 1995, Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: A procedure based on habitat-specific sampling, family level identification, and a biotic index, *Australian Journal of Ecology*, 20: 122-129.
- Cude C. 2001. Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Assessment*, 37: 125-137.
- Hassler M. 2004. Animal grazing effects on runoff water quality in a semiarid grassland. *Journal of Environmental Quality*, 21: 102- 105.

Investigation of the Efficiency of Sewage Treatment using Activated Sludge Method to Supply Water for Reuse in Agricultural Irrigation (Case Study: Kermanshah Sewage Treatment Plant)

A. Dindarlou^{1*}, M. Dastourani²

1- Assistant Professor of Water Science Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. 2- Assistant Professor of Water Structures, Water Engineering Department, Birjand University, Birjand, Iran.

*(Corresponding Author Email: dindarlo@pgu.ac.ir)

Received: 25-01-2017

Accepted: 28-08-2017

بررسی کارایی تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال در تأمین کیفیت پساب برای مصارف آبیاری (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه)

علی دیندارلو^{۱*}، مهدی دستورانی^۲

۱- استادیار علوم و مهندسی آب، عضو هیات علمی دانشگاه خلیج فارس، بوشهر.
۲- استادیار سازه‌های آبی، عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.

*(E-Mail: dindarlo@pgu.ac.ir, نویسنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۶

Abstract

Considering the environmental regulations on exhausting sewage from treatment plants and its application in agriculture, this research investigates the use of activated sewage efficiency in the generative sewage treatment of Kermanshah city and its application on agriculture irrigation through 2007 to 2008 using the cross-sectional method. During the course of this study, sampling was carried out from the inlet and outlet of the sewage treatment plant on a daily and weekly basis. Treatment plant efficiency was calculated through the measurements of TSS, COD, BOD₅, MLVSS, SVI, and MLSS from the entrance sewage and exhausting effluent based on the latest standard methods presented in 1999. Also, indices relevant to the agricultural usability were calculated and compared with the national standards. Results showed that physical, chemical, and biological traits of sewage pollution intensity were at an average level and the treatment plant pollution efficiency was relatively acceptable. The average concentration of dissolved oxygen (mg/l), SVI, MLSS, and MLVSS in the aerated pool was compared with the environment protection standards of Iran showed that the exhausting effluent can be used in drip irrigation. Despite the appropriate control of the active-sludge process in all parts of a sewage treatment plant, results showed a lack of adequate management on its sustainable consumption such as its application in the production of agricultural fertilizers.

Keywords: Sewage treatment plant, Agriculture, Quantitative variable.

چکیده

با توجه به ضوابط زیست‌محیطی ناشی از تخلیه پساب‌ها به منابع آب و استفاده از آن برای مصارف کشاورزی، در این پژوهش کارایی روش لجن فعال در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه و استفاده پساب آن برای آبیاری، طی مدت یک سال به روش مطالعه مقطعی-توصیفی بررسی شده است. در طول مدت پژوهش، نمونه‌برداری به صورت روزانه و هفتگی از ورودی و خروجی تصفیه‌خانه انجام شد. با سنجش متغیرهای کیفی TSS، COD و BOD₅ فاضلاب ورودی و خروجی و همچنین متغیرهای کیفی اکسیژن محلول، MLVSS، SVI و MLSS در استخر هوادهی بر اساس آخرین روش استاندارد ارائه شده در سال ۱۹۹۶، عملکرد تصفیه‌خانه بررسی و شاخص‌های قابل استفاده بودن در کشاورزی با استانداردهای ملی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که شدت آلودگی فاضلاب این شهر از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در حد فاضلاب‌های شهری متوسط بوده و نتیجه کارایی تصفیه‌خانه از نظر کاهش آلودگی تا حد استانداردهای مصارف آبیاری، نسبتاً قابل قبول است. میانگین غلظت متغیرهای کیفی اکسیژن محلول، SVI، MLSS و MLVSS در استخر هوادهی در مقایسه با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران نشان داد که از این پساب می‌توان برای آبیاری قطره‌ای استفاده کرد. با وجود کنترل مناسب فرآیند لجن فعال در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه، نتایج بررسی مربوط به لجن دفعی بیانگر عدم وجود مدیریت مناسب بر روی آن در مصارف بهینه از جمله تولید کود کشاورزی بود.

واژه‌های کلیدی: تصفیه‌خانه فاضلاب، کشاورزی، متغیر کیفی.

لاگون شامل فیلتراسیون شنی و حوضچه ته‌نشینی با زمان ماند زیاد، می‌تواند استانداردهای تصفیه ثانویه برای مقاصد آبیاری را برآورد (Esposito و همکاران، ۲۰۰۵). به کار بردن فیلترهای چند بستری شامل آنتراسیت، ماسه و گارنت در حذف عوامل بیماری‌زا از جمله شمارش کل کلیفرم دارای درجه بالای حذف (۹۹/۹٪) هستند. با استفاده از این روش تصفیه، می‌توان به استانداردهای دفع و استفاده مجدد از فاضلاب از جنبه میکروبی برای مصارف مختلف غیر شرب شهری دست یافت. همچنین با استفاده از این روش، کلر مورد نیاز جهت گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه به مقدار چشمگیری (۵۰٪) کاهش می‌یابد (صید محمدی و همکاران، ۱۳۸۲). درجه حرارت فاضلاب در فصول مختلف نیز تابعی از درجه حرارت هوا است. تغییرات فصلی دما بر روی مقدار نهایی اکسیژن محلول تأثیر می‌گذارد. دمای بالا باعث کاهش غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب و افزایش سرعت فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود. ولی اگر این تغییرات به صورت ناگهانی رخ دهد، سبب کاهش خاصیت ته‌نشینی لجن می‌شود. آلودگی بیولوژیکی نیز یکی دیگر از مهمترین نگرانی‌های کاربرد پساب فاضلاب در آبیاری است. به طور کلی در اکثر استانداردهای ارائه شده بعد از فرایند ثانویه، گندزدایی فرآیندی تکمیلی است که در صورت کاربرد پساب فاضلاب در آبیاری محصولات غذایی و پارک‌ها توصیه شده است. سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۸۹ برای استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری توصیه می‌کند، میانگین تخم انگل‌های موجود در نمونه‌های پساب کمتر از یک و میانگین کلیفرم‌های مدفوعی موجود در پساب نیز کمتر از ۱۰۰۰ MPN/100ml باشد (World Health Organization، ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر تحقیقات موردی زیادی بر روی تعیین عملکرد و کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کشور صورت گرفته است. در سال ۲۰۰۲، امکان استفاده مجدد از فاضلاب صنایع فلزی و کانی غیرفلزی تهران بزرگ، جهت کاهش فاضلاب تولیدی و همچنین تقلیل مصرف آب، با توجه به نوع فرایند بررسی شد و با توجه به کیفیت فاضلاب‌ها و درجه خاک و اراضی مناطق اطراف واحدهای صنعتی، مشخص گردید که پساب صنایع، پس از انجام مراحل تصفیه مورد نیاز، می‌تواند برای مصارف کشاورزی و یا تغذیه مصنوعی طبقات آبد زیرزمینی مناطق غرب تهران، مورد استفاده قرار گیرد (نجفی، ۱۳۸۶). استفاده از لجن فاضلاب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه اصفهان در زمین‌های کشاورزی، توانست مواد مغذی برای رشد گیاهان را تأمین نماید (Rahmani و همکاران، ۲۰۱۵). در بررسی امکان استفاده از پساب در آبیاری در تصفیه‌خانه پرکندآباد مشهد، شاخص‌های کیفی TSS، COD، BOD₅ و همچنین عناصر روی، مس و کروم مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان داد، راندمان حذف TSS، BOD₅ و TCOD بیش از ۷۴ درصد بوده و لذا پساب تصفیه‌خانه قابلیت استفاده در آبیاری را خواهد داشت (مهرآوران و همکاران، ۱۳۹۶). به منظور بررسی امکان استفاده از

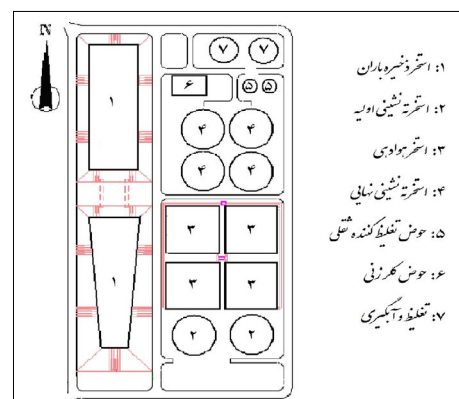
در مناطقی که زمین کافی برای کشاورزی وجود دارد، محدودیت منابع آبی جهت آبیاری به عنوان یک عامل باز دارنده در تولید محصولات کشاورزی مطرح است. از این رو استفاده از پساب شهری برای آبیاری اهمیت بیشتری پیدا کرده و روش‌های استفاده مجدد و رهنمودهای بهداشتی مرتبط به آن با توجه به امکانات منطقه‌ای و محلی نیاز به توسعه دارند (Shuval، ۲۰۰۷). در این راستا، استانداردهای مربوط به کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌ها برای استفاده غیرشرب وضع شده که از جمله آن‌ها می‌توان به غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، غلظت اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD₅)، و کل جامدات معلق موجود در پساب (TSS) اشاره نمود. میزان بار آلی (BOD₅) شاخصی است که برای تفسیر میزان BOD موجود در فاضلاب مستقل از میزان لجن برگشتی به کار می‌رود و در محدوده گسترده $0.16-1/6 \text{ kg}/(\text{d.m}^3)$ تغییر می‌کند، ولی میزان مطلوب آن 0.64 می‌باشد (Albany، ۱۹۸۲). در اغلب استانداردهای مربوط به تصفیه ثانویه فاضلاب (Lacy؛ ۲۰۰۸، Kamizoulis، ۲۰۰۵)، برای COD، BOD₅، TSS و میزان آلودگی بیولوژیکی نیز به منظور کنترل مقدار کلیفرم موجود در پساب در حد مجاز، برای اهداف آبیاری محدودیت در نظر گرفته می‌شود. از طریق فرآیندهای تصفیه می‌توان مواد آلاینده موجود در فاضلاب را به حدی کاهش داد که پساب حاصل از آن از نظر بهداشتی و مخاطرات زیست‌محیطی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی و فضای سبز قابل استفاده باشد. همچنین لجن تولیدی در حین مراحل تصفیه فاضلاب را می‌توان پس از طی مراحل تغلیظ، تثبیت و آبگیری و خشک نمودن به عنوان کود در کشاورزی استفاده کرد (Rowe و Abdel-Magid، ۱۹۹۵). طی دو دهه گذشته سرمایه‌گذاری جهانی سالانه برای تصفیه فاضلاب و افزایش علوم و تکنولوژی مربوطه، بیش از ۱۰ بیلیون دلار در سال برآورد شده است (Vigneswaran و Ngo، ۲۰۰۰). در اسپانیا تا پایان سال ۲۰۰۶، ۳۲۲ طرح استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده وجود داشته که حدود ۱۱ درصد کل حجم فاضلاب خانگی این کشور را شامل می‌شود. از این میزان، بخش اعظم آن در کشاورزی مصرف می‌شود (Ortega و Iglesias، ۲۰۰۹). به دلیل خشکسالی‌های چند سال اخیر در ایران، مسئولین مربوطه به فکر تأمین آب مورد نیاز بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی افتادند که در این زمینه استفاده از پساب (با در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی) به عنوان یک منبع پایدار، در این زمینه پیشنهاد شد. چند سالی است که فاضلاب تصفیه شده شهر مشهد، به عنوان منبع آب آبیاری در اطراف این شهر مورد استفاده قرار می‌گیرد (مهرآوران و همکاران، ۱۳۹۶).

اگر پساب به منظور آبیاری محصولات خام در نظر گرفته شود (مقدار کلیفرم کمتر از ۲۰۰ MPN/100ml)، در این صورت، پس از انجام مراحل تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب، گندزدایی پساب و یک سیستم

پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل در آبیاری کشاورزی، تحقیقی توسط ناصری و همکاران (۱۳۹۱) صورت گرفت و نشان داد که پساب مذکور از نظر کلیفرم‌های کل و مدفوعی مشکل داشته و جهت برآورد نمودن استاندارد استفاده از پساب در آبیاری، گندزدایی پساب و پایش مداوم خروجی با ارتقاء دادن تصفیه‌خانه، صورت پذیرد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۱). نوع فاضلاب، میزان تصفیه، اقلیم منطقه، نوع خاک و گیاه نقش مهمی در چگونگی استفاده از فاضلاب دارد و به نظر می‌رسد که محصولات آبیاری شده با فاضلاب و همچنین خاک منطقه باید به صورت دوره‌ای مورد تجزیه شیمیایی قرار گیرند (میرزاشاهی و همکاران، ۱۳۹۴). می‌توان از گیاهان خاصی که مصرف خوراکی نداشته و بیشتر در فضای سبز و یا تثبیت خاک مورد استفاده است، جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی پساب خروجی استفاده نمود. در این زمینه، در سال ۲۰۱۶ با بررسی میزان جذب و تجمع عناصر سنگین کادمیوم، روی، مس، نیکل و سرب در گیاه وتیور از پساب بیمارستانی شهر برازجان، بیان شد که محل تجمع عناصر روی، مس، نیکل و سرب در ریشه این گیاه و تجمع کادمیوم در خاکی که گیاه در آن کشت شده بود، رخ داد. از این رو، گیاه وتیور به عنوان گزینه موثر در کاهش آلودگی پساب‌های بیمارستانی توصیه شد (دیندارلو و همکاران، ۱۳۹۵). با سنجش میزان زدایش

مواد و روش‌ها

تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه مجهز به فرآیند لجن فعال از نوع متعارف می‌باشد که شامل مراحل تصفیه مقدماتی، اولیه و ثانویه و نهایتاً گندزدایی پساب است (شکل ۱) که بر روی قسمتی از فاضلاب شهر انجام شده و پساب آن پس از انجام مراحل تصفیه وارد رودخانه قره‌سو می‌شود. مقدار فاضلاب مرکب که بر روی آن فرآیند تصفیه انجام می‌شود، ۵۱۳ هزار متر مکعب در روز است که فاضلاب جمعیت حدود ۸۰۰۰۰ نفر را شامل می‌شود.



شکل ۱- شمای واحدهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه

در این تحقیق از داده‌های آزمایشگاه تصفیه‌خانه موجود در محل

متغیرهای کیفی BOD_5 ، COD، TSS، کارایی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان تهران مورد ارزیابی قرار گرفته و با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست به منظور استفاده مجدد از پساب مطابقت داده شد. نتایج نشان داد که این تصفیه‌خانه، کارایی لازم برای تصفیه فاضلاب را دارد و پساب خروجی از آن از نظر کیفیت شیمیایی قابل استفاده در کشاورزی و یا تخلیه به آب‌های سطحی خواهد بود (میرانزاده و بابامیر، ۱۳۸۲). با توجه به اینکه سیستم تصفیه فاضلاب خانگی در شهر کرمانشاه و حتی در سطح کشور جدیدالتأسیس بوده و اخیراً مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و تاکنون مطالعات دقیق در مورد راندمان واحدهای مختلف آن انجام نگرفته، لذا برای اطلاع از نحوه کار سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب و پی بردن به کیفیت پساب خروجی از آن، لازم شد مطالعاتی انجام شود. علاوه بر آن با توجه به مخاطرات بهداشتی ناشی از تخلیه پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به منابع آب و استفاده از آن برای مصارف کشاورزی، این تحقیق به منظور تعیین کارایی تصفیه‌خانه شهر کرمانشاه، تجزیه و تحلیل پارامترهای راهبری، وضعیت تثبیت لجن و امکان استفاده مجدد از پساب حاصله برای کشاورزی اراضی پایین دست طی مهر ماه سال ۱۳۸۶ تا مهر ماه ۱۳۸۷ انجام گرفته است.

چهار فصل، از مهر ماه سال ۱۳۸۶ تا مهر ۱۳۸۷، استفاده شد. مطالعه به روش بررسی مقطعی- توصیفی^۱ طراحی و در ۳ مرحله اجرا گردید. در مرحله اول این پژوهش، کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱) و پس از تعیین پارامترهای مورد نظر جهت ارزیابی عملکرد تصفیه‌خانه راندمان حذف این پارامترها در مراحل تصفیه بدست آمد و بهبود راندمان تصفیه‌خانه با مقایسه درجه حذف از مهرماه ۱۳۸۶ تا شهریورماه ۱۳۸۷ مورد ارزیابی واقع شد.

در مرحله دوم شرایط کنترل فرآیند و راهبری تصفیه‌خانه به عنوان عوامل مؤثر در عملکرد بهینه واحدهای مختلف بررسی گردید. در این مرحله علاوه بر محاسبه میزان بارگذاری آلی و نسبت میکروارگانیسم به غذا (F/M)، وضعیت لجن از نظر درجه تثبیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در مرحله آخر امکان بازچرخش فاضلاب در فرآیند استفاده مجدد در آبیاری فضای سبز و یا آبیاری مزارع با مقایسه پارامترهای مورد سنجش با معیارها و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران بررسی شد. در طول مدت تحقیق، نمونه‌برداری ساده به صورت لحظه‌ای در ساعت ۸ الی ۱۱ هر روز انجام شد. اندازه‌گیری متغیرهای کیفی TSS (کل جامدات معلق)، BOD_5 (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی)، COD (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی)، VSS (جامدات معلق فرار) ورودی و خروجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر MERCK، مدل SQ118 و طبق دستورالعمل سازنده انجام شده است. میزان DO (اکسیژن محلول)، pH و درجه حرارت

با دستگاه HACH Sens ion 6 و مقادیر هدایت الکتریکی، TDS و سختی آب، فلزات سنگین (منگنز، نیکل، مس، سرب و کروم) با یک نمونه‌گیری مرکب درخرداد ماه براساس آخرین روش ارائه شده در کتاب استاندارد متد (Clesceri و همکاران، ۱۹۹۶) (جدول ۲) با دستگاه جذب اتمی، Thermo elemental مدل Solaar مورد سنجش قرار گرفت.

جدول ۱- غلظت پارامترهای مختلف ورودی و خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه از مهرماه ۱۳۸۶ تا شهریور ماه ۱۳۸۷

متغیر کیفی	T (°C)	PH	DO (mg/lit)	TSS (mg/lit)	COD (mg/lit)	BOD ₅ (mg/lit)	کل کلیفرم (۱۰ ^۳) (MPN/100ml)
زمان	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی
مهر	۲۰/۲	۲۱/۵	۷/۸	۴/۵	۱۳۵/۴	۲۶/۰	۲۵۲/۳
آبان	۱۶/۵	۱۸	۷/۸	۴/۹	۱۳۴/۸	۲۵/۲	۲۵۹/۸
آذر	۲۰/۲	۱۵/۸	۷/۹	۴/۸	۱۴۳/۶	۲۸/۴	۲۶۹/۹
دی	۱۱/۷	۱۲/۵	۷/۶	۵/۴	۱۴۳/۴	۳۳/۴	۲۷۳/۷
بهمن	۱۱/۵	۱۱/۷	۷/۳	۵/۴	۱۶۰/۳	۳۹/۰	۳۰۶/۰
اسفند	۱۱/۸	۱۴	۷/۱	۵/۳	۱۴۹/۷	۳۹/۷	۲۹۵/۱
فروردین	۱۶/۹	۱۶/۸	۷/۹	۴/۶	۱۶۷/۲	۳۲/۲	۳۱۹/۰
اردیبهشت	۱۹/۳	۱۶/۱	۷/۸	۴/۳	۱۶۹/۸	۳۲/۸	۳۲۳/۶
خرداد	۲۳/۲	۲۳/۳	۷/۴	۳/۶	۲۰۳/۲	۳۵/۹	۳۸۸/۷
تیر	۲۶/۹	۲۷	۷/۵	۴/۴	۲۳۹/۱	۳۴/۱	۴۵۴/۸
مرداد	۲۷/۱	۲۷/۲	۷/۸	۴/۸	۲۶۳/۲	۳۵/۸	۴۴۶/۳
شهریور	۲۵/۰	۲۵	۷/۴	۴/۶	۱۹۸/۷	۳۴/۹	۴۳۳/۱

جدول ۲- روش انجام آزمایش حد مجاز توصیه شده برای متغیرهای کیفی در پساب خروجی در آب آبیاری

آلاینده	واحد اندازه‌گیری	کد استاندارد روش ^۲ (Clesceri و همکاران، ۱۹۹۶)	دستگاه اندازه‌گیری	حد مجاز در مصارف آبیاری و کشاورزی (Clesceri و همکاران، ۱۹۹۶)
5-days Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	mg.l ⁻¹	5210 B.	اسپکتروفتومتر MERCK، مدل SQ118	100
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg.l ⁻¹	5220 B. 4a و 5220 B. 4b	اسپکتروفتومتر MERCK، مدل SQ118	200
Total Suspended Solid (TSS)	mg.l ⁻¹	2540 A.	اسپکتروفتومتر MERCK، مدل SQ118	100
Volatile Suspended Solid (VSS)	mg.l ⁻¹	2540 G.	اسپکتروفتومتر MERCK، مدل SQ118	1270
Dissolved Oxygen (DO)	mg.l ⁻¹	4500-O A.	HACH Sens ion 6	2
Total Dissolve Solids (TDS)	mg.l ⁻¹	2540 C.	Atomic Absorbtion- Thermo Solaar، مدل elemental	700
کلیفرم کل	MP- N(100ml) ⁻¹	MPN	-	1000

مقادیر کل کلیفرم ورودی و خروجی نیز به صورت هفتگی و با نمونه‌گیری لحظه‌ای اندازه‌گیری شد. علاوه بر این نمونه‌برداری از استخر هوادهی به منظور تعیین غلظت و مواد موجود در آن برای راهبری بهتر سیستم در ساعت ۸ الی ۱۱ صبح و به حجم یک لیتر انجام شده و برای آنالیز به آزمایشگاه موجود در محل تصفیه‌خانه منتقل گردیده است. بر روی نمونه‌های تانک هوادهی متغیرهای کیفی (DO، SVI، MLSS و MLVSS) اندازه‌گیری شده است. پس از کسب اطمینان از صحت داده‌های قبلی، نتایج مورد تجزیه و تحلیل آبی قرار گرفته و داده‌ها پس از آنالیز در قالب جدول و نمودار ارائه گردید.

مقادیر کل کلیفرم ورودی و خروجی نیز به صورت هفتگی و با نمونه‌گیری لحظه‌ای اندازه‌گیری شد. علاوه بر این نمونه‌برداری از استخر هوادهی به منظور تعیین غلظت و مواد موجود در آن برای راهبری بهتر سیستم در ساعت ۸ الی ۱۱ صبح و به حجم یک لیتر انجام شده و برای آنالیز به آزمایشگاه موجود در محل تصفیه‌خانه

یافته‌ها و نتایج

نتایج نشان می‌دهد که درجه حرارت ورودی تصفیه‌خانه از ۲۷ درجه سلسیوس در مرداد ماه تا ۱۱ درجه سلسیوس در بهمن و دی متغیر بوده است (جدول ۱). متغیرهای کیفی با استفاده از روش‌های ارائه شده در استاندارد متد (جدول ۲) اندازه‌گیری شدند. در مدت زمان اندازه‌گیری، میانگین pH، ۷/۸ واحد بوده و میانگین غلظت BOD₅، TSS، و COD، به ترتیب برابر ۱۷۳/۵، ۳۳۵/۲ و ۱۴۵/۵ میلی‌گرم در لیتر و متوسط تعداد کلیفرم‌ها در ۱۰۰ میلی لیتر برابر ۱۴۶۷۰۰۰ شد (جدول ۳). همچنین نتایج مربوط به خروجی تصفیه‌خانه نشان

می‌دهد که غلظت TSS در پساب، ۳۳ و بین حداقل ۲۵ و حداکثر ۴۰ میلی‌گرم در لیتر و متوسط BOD₅، ۲۸ و بین ۱۹ تا ۵۶ میلی‌گرم در لیتر در نوسان بوده است. همچنین غلظت COD به میزان ۳۷ و از حداقل ۱۹ تا حداکثر ۵۳ میلی‌گرم در لیتر و متوسط مقدار کل کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر ۵۶۱۷۰ و از حداقل ۹۰۰۰ تا ۹۵۰۰۰ در نوسان بود (جدول ۳). نتایج مربوط به راهبری استخر هوادهی شامل MLVSS، DO، MLSS، و SVI بیانگر این است که میزان اکسیژن محلول در حوض هوادهی به میزان ۳/۸ و بین ۲/۶ تا ۴/۶ میلی گرم در لیتر و میزان میانگین غلظت MLSS و MLVSS در حوض هوادهی به ترتیب ۱۴۶۲/۵ و ۸۲۴/۹ میلی گرم در لیتر بوده است (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین متغیرهای ورودی و خروجی از تصفیه‌خانه در بازه زمانی مورد مطالعه

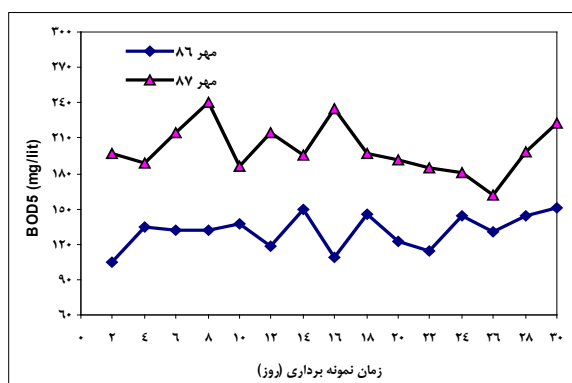
T	PH	DO	TSS	COD	BOD ₅	کل کلیفرم (۱۰ ^۳)
(°C)		(mg/lit)	(mg/lit)	(mg/lit)	(mg/lit)	(MPN/100ml)
ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی
۱۹/۴	۱۹/۱	۷/۶	۴/۷	۱۷۳/۵	۳۳/۱	۳۳۵/۲
				۳۷/۱	۱۴۵/۵	۲۸/۰
						۱۴۶۷
						۵۶۲

بر لیتر و نسبت VSS/TSS لجن دفعی ۶۵ درصد بدست آمد (جدول ۴). این در حالی است که نتایج مطالعه یاری و همکاران (۱۳۸۴) در تصفیه فاضلاب صنایع نوشابه‌سازی به ۷۳ درصد رسیده است.

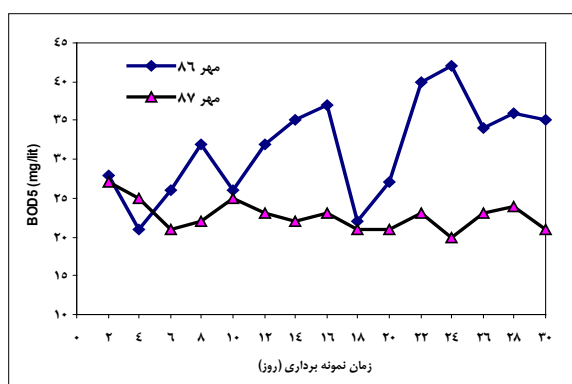
از نظر شاخص حجمی لجن (SVI) میزان آن در استخر هوادهی به طور متوسط ۸۴ و حداقل ۷۷ تا ۹۳ میلی‌لیتر بر گرم بود. نتایج آزمایشات روزانه بر روی کیفیت لجن دفعی نشان‌دهنده آن است که میزان میانگین سالانه TSS لجن ۲۴۲۲ میلی‌گرم

جدول ۴- غلظت پارامترهای مربوط به حوض هوادهی تصفیه‌خانه کرمانشاه از مهرماه ۱۳۸۶ تا شهریور ماه ۱۳۸۷

متغیر کیفی								
مشخصات لجن				مشخصات حوض هوادهی				زمان
(VSS/TSS) (%)	TSS (mg.l ⁻¹)	SVI (mg.l ⁻¹)	F/M (kgBOD ₅ /kgMLVSS.day)	بارگذاری آلی (m ³ .day/kgBOD ₅)	MLVSS (mg.l ⁻¹)	MLSS (mg.l ⁻¹)	DO (mg.l ⁻¹)	
۶۴	۲۱۱۶	۷۸/۶۳	۰/۳۵	۰/۲۹	۸۰۴	۱۲۴۹	۳/۸	مهر
۶۶	۲۱۱۱	۸۱/۴۰	۰/۴۴	۰/۳۸	۶۴	۱۲۴۹	۳/۸	آبان
۶۶	۲۱۱۵	۸۱/۶۰	۰/۳۴	۰/۳۱	۸۸۲	۱۳۴۰	۳/۹	آذر
۶۵	۱۸۶۱	۸۰/۷۰	۰/۴۰	۰/۳۱	۷۶۲	۱۱۶۷	۴/۲	دی
۶۵	۲۱۲۸	۷۷/۵۲	۰/۴۰	۰/۳۵	۸۵۳	۱۳۰۴	۴/۳	بهمن
۶۴	۲۴۰۲	۸۲/۳۰	۰/۴۷	۰/۴۳	۱۵۴	۱۳۷۹	۴/۱	اسفند
۶۵	۲۸۹۳	۸۳/۰۰	۰/۲۸	۰/۳۶	۱۲۵۹	۱۹۳۵	۳/۷	فروردین
۶۴	۲۳۷۸	۹۱/۹۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۹۰۹	۱۴۱۲	۳/۴	اردیبهشت
۶۵	۲۸۴۴	۹۶/۹۴	۰/۳۶	۰/۴۴	۱۱۹۸	۱۸۴۱	۲/۵	خرداد
۶۵	۲۵۱۷	۹۳/۱۳	۰/۴۸	۰/۵۳	۱۰۷۳	۱۶۵۹	۳/۳	تیر
۶۵	۲۸۰۲	۸۹/۵۷	۰/۵۳	۰/۵۱	۹۳۵	۱۴۴۱	۳/۸	مرداد
۶۴	۲۹۰۵	۸۳/۴۰	۰/۴۸	۰/۴۹	۱۰۰۳	۱۵۷۵	۳/۵	شهریور
۶۵	۲۴۲۲	۸۴/۸۴	۰/۴۱	۰/۴۰	۸۲۵	۱۴۶۲	۳/۷	میلگین



شکل ۲- تغییرات روزانه غلظت BOD_5 در فاضلاب ورودی در مهر ماه سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷



شکل ۳- تغییرات روزانه غلظت BOD_5 در پساب خروجی در مهر ماه سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷

نشان‌دهنده تجزیه بیولوژیکی ساده مواد آلی در فاضلاب ورودی بوده است (Van Vaerenbergh و Verstraete، ۱۹۸۶). از نقطه نظر نتایج pH ارائه شده در جدول (۱)، اسیدیته فاضلاب ورودی در تمام طول سال در محدوده خنثی و حدود ۷/۶ بود که این محدوده برای پیشرفت مطلوب فرآیند بیولوژیکی مؤثر در تصفیه فاضلاب از نقش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. مقادیر نامناسب pH (کمتر از ۶) محیط مناسب برای رشد باکتری‌های رشته‌ای و بروز پدیده بالکینگ را فراهم می‌کند (Kamizoulis، ۲۰۰۸).

• وضعیت عملکرد تصفیه‌خانه در حذف آلاینده‌ها

برای تعیین میزان بهبود کارایی تصفیه‌خانه از سال ۸۶ تا ۸۷، تغییرات غلظت روزانه مواد آلی، BOD_5 (شاخص توصیه شده برای برآورد میزان آلودگی) در فاضلاب ورودی و پساب خروجی در یک ماه نمونه (مهر ماه) با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به روند مشاهده‌ای در شکل‌های (۲) و (۳) می‌توان نتیجه گرفت که با وجود غلظت بالا و معنی‌دار شاخص آلودگی BOD_5 در فاضلاب ورودی سال ۸۷ نسبت

در جدول (۵)، متوسط غلظت پارامترهای مؤثر در تعیین کیفیت پساب مناسب برای کشاورزی در مقایسه با استاندارد مربوطه ارائه شده است. به عنوان نمونه، در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب تغییرات روزانه متغیر کیفی BOD_5 ورودی و خروجی تصفیه‌خانه در مهر ماه دو سال (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل (۳) تغییرات BOD_5 پساب خروجی سال ۱۳۸۶ در روز ۱۸ مهر ماه نسبت به روزهای قبل و بعد از آن به شدت افت نموده است. علت این امر به وجود مشکل در قسمت فنی سیستم مربوط می‌شود. در صورت تداوم این امر، قابل استفاده نمودن پساب برای آبیاری را با مشکل مواجه خواهد نمود.

جدول ۵- متوسط غلظت برخی پارامترهای مهم برای کشاورزی تصفیه‌خانه کرمانشاه

متغیر کیفی	میزان در پساب خروجی	حد مجاز استفاده از پساب خروجی در آبیاری*	واحد
TDS	۷۴۱	۲۰۰۰-۱۰۰۰	mg/lit
TSS	۳۳/۱	۱۵۰	mg/lit
BOD_5	۲۸	۱۰۰	mg/lit
COD	۳۷/۱	۲۰۰	mg/lit
DO	۴/۷	-	mg/lit
کل کلیفرم	۵۶۲۰۰	-	MPN/100ml
سختی کل	۲۷۲	-	mg/lit
عناصر سنگین	ناچیز	-	mg/lit

* (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹)

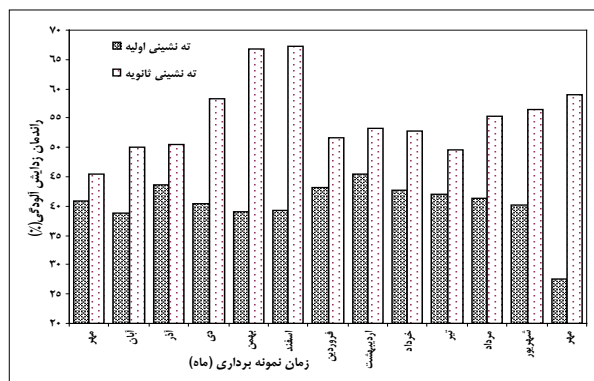
• بررسی مشخصات کلی فاضلاب ورودی

برای بررسی شدت آلودگی فاضلاب‌های خام شهری، سنجش متغیرهای کیفی از قبیل TSS ، BOD_5 ، COD و شمارش کل کلیفرم، به طور منظم انجام شد (Salgot و همکاران، ۲۰۰۳). هر چه غلظت این متغیرهای کیفی بیشتر باشد، نشان‌دهنده بالابودن شدت آلودگی است. به طور کلی فاضلابی با BOD_5 و TSS به ترتیب کمتر از ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان فاضلاب ضعیف و بیشتر از ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی گرم در لیتر در فاضلاب‌های قوی طبقه‌بندی می‌شود (Verstraete، ۱۹۸۶). نتایج مربوط به مشخصات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه شهر کرمانشاه بیانگر این است که فاضلاب تولیدی در این شهر از نظر شدت آلودگی فیزیکی و شیمیایی (با توجه به میزان TSS ، BOD_5 ، COD)، در گروه فاضلاب‌های شهری متوسط قرار دارد. با توجه به مقدار متوسط کلیفرم در طی یک سال در ۱۰۰ میلی لیتر، فاضلاب خام از نظر آلودگی بیولوژیکی در گروه با آلودگی ضعیف قرار دارد (Walid و Mattheus، ۱۹۹۹). نسبت COD/BOD_5 فاضلاب ورودی در محدوده ۱/۹-۲/۹ است که

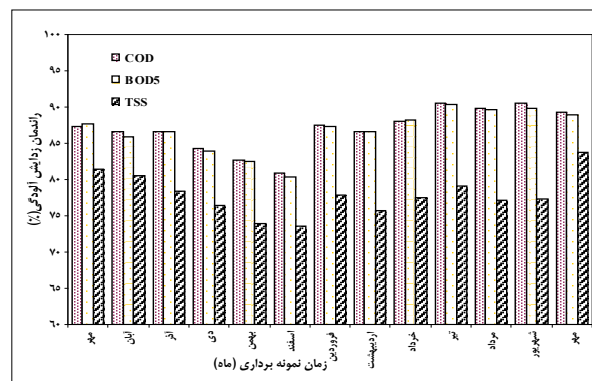
به سال ۸۶، غلظت این پارامتر در پساب خروجی در سال ۸۷ نسبت به میزان آن در سال ۸۶ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته که می‌توان آن را نتیجه افزایش کارایی تصفیه‌خانه نسبت به دوره زمانی مشابه در سال قبل دانست. همچنین نوسانات غلظت آلودگی در پساب خروجی کاهش قابل توجهی را نسبت به سال قبل نشان می‌دهد که این امر در نتیجه رسیدن به ثبات نسبی و تعادل در میزان حذف آلودگی و کاهش نوسانات در عملکرد تصفیه‌خانه در سال اخیر خواهد بود.

با نتیجه‌گیری به عمل آمده از شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که در تمامی ماه‌های دوره بررسی، پس از گذر پساب از استخر هوادهی، درصد بالایی از TSS در خروجی از استخر ته‌نشینی ثانویه حذف شده است. این امر نشان می‌دهد که بیشتر مواد معلق موجود در فاضلاب، به صورت معلق و رشته‌ای بوده که استخر هوادهی توانسته آن‌ها را به لجن و فلوک‌های درشت تبدیل و در واحد ته‌نشینی ثانویه رسوب و از سیستم حذف نماید. از نظر استانداردهای تصفیه ثانویه فاضلاب شهری، هر تصفیه‌خانه باید قابلیت زدایش حداقل ۸۵ درصد مواد آلاینده موجود در فاضلاب شامل TSS، BOD₅ و COD را دارا

باشد (Burton و Tchobanglous، ۱۹۹۱). با توجه به نتایج به دست آمده از شکل (۴)، مقادیر متوسط TSS، BOD₅ و COD به ترتیب ۸۳/۷، ۸۷/۹ و ۸۹/۳ درصد تعیین شده است. این در حالی است که راندمان حذف BOD₅ و COD در مطالعات صمدنژاد و همکاران (۱۳۸۸) به ترتیب ۶۵ و ۶۶ درصد بود. رسیدن به این درجه‌های حذف، یک نتیجه مطلوب، محسوب می‌شود. در تمامی ماه‌های نمونه‌گیری، درجه حذف TSS نسبت به راندمان دیگر پارامترهای سنتیکی مورد مطالعه، پایین‌تر بود که احتمالاً به دلیل وجود غلظت زیاد مواد جامد غیرآلی معلق و مقادیر بالای کلیفرم در فاضلاب ورودی خواهد بود. در صورت تداوم آبیاری با پساب مذکور با پایین‌تر بودن درجه حذف TSS، از نظر بهداشتی مشکل‌زا شده و باعث گرفتگی قطره‌چکان‌ها در آبیاری قطره‌ای خواهد شد. برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد می‌شود که در صورت امکان، با انجام اقداماتی از جمله افزایش فرصت ته‌نشینی اولیه، پیش‌کلرزنی لجن فعال، افزایش سرعت مکانیزم جمع‌آوری لجن در مخزن ته‌نشینی و یا افزایش آهنگ برداشت لجن فعال، از تجمع مواد جامد معلق در مایع مخلوط جلوگیری شود.



شکل ۵- میانگین درصد حذف TSS به تفکیک واحد ته‌نشینی اولیه و ثانویه در مدت زمان نمونه‌برداری از مهر ماه ۱۳۸۶ تا مهر ماه ۱۳۸۷



شکل ۴- میانگین راندمان حذف پارامترهای آلودگی (COD، BOD₅، TSS) از مهر ماه ۱۳۸۶ تا مهر ماه ۱۳۸۷

از حد مطلوب ۳۰۰۰-۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کمتر باشد، با افزایش مقدار لجن برگشتی، مقدار این شاخص افزایش می‌یابد (Albany، ۱۹۸۲). غلظت مناسب بیومس منجر به کاهش زمان ماند هیدرولیکی شده که امکان افزایش فاضلاب ورودی و ساخت واحدهای هوادهی کوچکتر را ایجاد می‌کند. مقدار متوسط MLSS در طول مدت تحقیق ۱۴۶۲ و از ۱۲۷۱ تا ۳۲۱۰ میلی گرم در لیتر متغیر بوده است که در تمامی ماه‌های سال در حد مطلوب بود. در تمام ماه‌های سال، میزان BOD₅ در محدوده مجاز بوده ولی از حد مطلوب پایین‌تر بود. لذا با فرض ثابت نگه داشتن زمان ماند در مواقع مناسب، می‌توان میزان فاضلاب ورودی را افزایش داده و عملکرد تصفیه‌خانه را بهینه‌تر نمود. همزمان با تعیین پارامتر MLSS، غلظت مواد جامد فرار (MLVSS) که به طور معمول ۰/۸ میزان MLSS می‌باشد، نیز تعیین شده است. به کمک MLVSS، BOD₅ و مقدار حجمی فاضلاب، نسبت وزنی مواد غذایی به میکروارگانیسم‌ها (F/M) در هر حوض هوادهی تعیین

• شرایط راهبری تصفیه‌خانه و مشخصات لجن

برای راهبری دقیق تصفیه‌خانه به روش لجن فعال، بایستی در کنترل میزان بار آلی^۲، نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M) و زمان ماند هیدرولیکی (HRT)، دقت لازم به عمل آید. افزایش بیش از حد فاضلاب ورودی موجب کاهش زمان ماند هیدرولیکی و افزایش نسبت غذا به میکروارگانیسم‌ها شده که این امر بر روند تصفیه تأثیر منفی دارد (Kamizoulis، ۲۰۰۸). در استخر هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه با حجم ۲۲۰۰ متر مکعب، دبی متوسط فاضلاب ورودی ۷۰۰-۶۰۰ لیتر در ثانیه، زمان ماند هیدرولیکی به طور متوسط ۸ تا ۱۰ ساعت می‌باشد. همچنین، غلظت مواد جامد معلق در مایع مخلوط فاضلاب و لجن فعال شده (MLSS) نیز یکی از پارامترهای کنترل بوده است. حدود ۷۰-۹۰ درصد میکروارگانیسم‌های موجود در MLSS را مواد آلی و ۱۰-۳۰ درصد شامل مواد غیر آلی هستند (Mohlman و Okun، ۱۹۴۹). اگر این غلظت در استخر هوادهی

شد. نسبت F/M به صورت نسبت BOD_5 فاضلاب ورودی به غلظت جامدات فرار در استخر هوادهی در زمان نگهداشت هیدرولیکی بیان می‌شود. اگر این نسبت کمتر یا بیشتر از حد مطلوب باشد، باید به ترتیب با کاهش یا افزایش لجن برگشتی نسبت آن را در حد مطلوب (۰/۲-۰/۵) نگه داشت (Albany, ۱۹۸۲). به علاوه میزان ته‌نشینی لجن نیز وابسته به نسبت F/M و عمر لجن است. ته‌نشینی مطلوب و بازده بالای سیستم از نظر میزان حذف BOD_5 در مقادیر پایین F/M (غلظت‌های بالای MLSS) رخ می‌دهد (ناصری و همکاران، ۱۳۹۱). کوچک بودن F/M به معنای کمبود مواد غذایی و تجزیه بهتر ترکیبات آلی موجود در فاضلاب بوده و سبب رشد برخی میکروارگانیسم‌های رشته‌ای و بزرگ بودن آن نیز سبب پیدایش لخته‌های ریز و پراکنده می‌شود. در تصفیه‌خانه فاضلاب کرمانشاه در تمامی ماه‌های سال نسبت F/M در گستره مجاز بود.

بایستی غلظت اکسیژن محلول در حوض هوادهی به منظور نگهداری در شرایط هوازی و اکسیداسیون مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های هوازی به مقدار کافی باشد. حداقل میزان اکسیژن محلول ۱-۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و در عمل غلظت اکسیژن محلول در تمام قسمت‌های مخزن هوادهی باید در حد ۱/۵ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر حفظ شود. مقادیر بیش از ۴ میلی‌گرم در لیتر تأثیر چندانی بر بهبود کار سیستم ندارد، ولی باعث بالا رفتن شدید هزینه هوادهی می‌شود. در حوض هوادهی تصفیه‌خانه کرمانشاه این مقدار به صورت متوسط برابر ۳/۸ میلی‌گرم در لیتر و از ۲/۶ تا ۴/۶ متغیر بوده که در حد مطلوبی بود. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مقدار اکسیژن محلول در ماه‌های گرم کمتر از ماه‌های سرد است که علت آن را می‌توان به افزایش درجه حرارت فاضلاب و کاهش انحلال اکسیژن محلول و افزایش سرعت فعالیت‌های بیولوژیکی نسبت داد (Kamizoulis, ۲۰۰۸). شاخص حجمی لجن SVI (بر حسب میلی‌لیتر) لجن فعال حاوی یک گرم جامد خشک معلق پس از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی، یکی از پارامترهایی است که به منظور بررسی خاصیت ته‌نشینی لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به کار می‌رود. هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان‌دهنده این است که در لجن باکتری‌های رشته‌ای وجود دارد که باعث کاهش میزان ته‌نشینی لجن در واحدهای ته‌نشینی ثانویه می‌شود. قسمت اعظم ترکیبات این باکتری‌ها مواد پروتئینی هستند که باعث ایجاد غشائی از فلوک‌های میکروبی در لجن می‌شوند (ناصری و همکاران، ۱۳۹۱). در روش لجن فعال متعارف با میزان $MLSS > 3500$ ، مقدار مناسب SVI بین ۱۵۰-۵۰ میلی‌لیتر در گرم است. اگر میزان SVI بالاتر از این مقدار باشد، نشان‌دهنده وقوع پدیده بالکینگ یا حجیم شدن لجن به علت طول شدن باکتری‌های رشته‌ای از میزان مجاز (۱۰۷ میلی‌متر در میلی‌لیتر) است و در صورتی که کمتر از ۷۰ باشد، نشان از شکل‌گیری عمده توده‌های کوچک در لجن فعال است (Fang و Liu, ۲۰۰۳). نتایج مربوط به اندازه‌گیری SVI در تصفیه‌خانه کرمانشاه مؤید این است که

در همه مواقع SVI کمتر از ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم است (متوسط ۸۷ میلی‌لیتر بر گرم). در نتیجه لجن از خاصیت ته‌نشینی خوبی برخوردار بوده و پدیده حجیم شدن رخ نمی‌دهد. نتایج مربوط به این پارامتر در تصفیه‌خانه شهر زنجان در سال ۲۰۱۱ بین ۸۴ تا ۱۲۷ بوده و حاکی از وضعیت مطلوب لجن برای ته‌نشینی و پسابی عاری از مواد معلق داشته است (باقری اردبیلیان و همکاران، ۱۳۸۹).

جهت ارزیابی درجه تثبیت لجن، از مقایسه نسبت جامدات آلی به جامدات کل (VSS/TSS) که معرف درصد مواد جامد معلق فرار در لجن است با معیارهای تثبیت لجن استفاده شد. به طور تجربی مشخص شده است که مقادیر مجاز میانگین (VSS/TSS)، از ۷۵ درصد برای لجن خام تا ۶۰ درصد برای لجن تثبیت شده تغییر می‌کند (Bruce, ۱۹۸۴). نتایج مشاهدات و آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های لجن تصفیه‌خانه مورد مطالعه (جدول ۳) نشان می‌دهد نسبت (VSS/TSS) در لجن‌های دفعی تصفیه‌خانه در تمام ماه‌های سال اختلاف معنی‌داری با حداقل میزان مجاز (حداقل ۶۰ درصد) دارند، لذا بر اساس این شاخص، لجن این تصفیه‌خانه در تمام ماه‌های سال تثبیت نشده می‌باشد. به علاوه رنگ نمونه‌های انتقالی لجن عمدتاً رنگ قهوه‌ای تیره تا کاملاً سیاه است که با توجه به رنگ قهوه‌ای روشن در لجن‌های تثبیت شده، این امر می‌تواند نشانگر عدم تثبیت لجن باشد (Cherrmisinoff, ۱۹۹۴). تولید بوهای متعفن در نمونه‌های لجن دلیل دیگری بر عدم تثبیت این لجن‌ها است. نمونه‌های انتقالی پس از مدتی متعفن می‌شدند. استفاده مجدد از این لجن‌ها در آبیاری، می‌تواند سلامت و بهداشت عمومی را به خطر اندازد.

• استفاده از پساب در آبیاری

به منظور استفاده مجدد از پساب، میزان هر یک از متغیرهای کیفی TSS ، BOD_5 و COD (جدول ۴)، باید در حد استاندارد (Clesceri و همکاران، ۱۹۹۶) باشد. طبق این استانداردها، در استفاده از پساب در مصارف کشاورزی و آبیاری، حداکثر مقادیر TSS و BOD_5 باید ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار COD، ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد. پساب خروجی تصفیه‌خانه کرمانشاه دارای میانگین‌های به ترتیب ۲۷، ۳۳ و ۳۸ میلی‌گرم در لیتر از هر کدام از متغیرهای کیفی فوق است که با استاندارد موجود برای استفاده در آبیاری مطابقت دارد. همچنین، نتایج مربوط به آنالیز متغیرهای کیفی (جدول ۵) تصفیه‌خانه نشان می‌دهد که مقادیر این متغیرها در خروجی این تصفیه‌خانه قابل استفاده در آبیاری می‌باشند. میانگین نسبت VSS/TSS برابر ۶۵ درصد بود. هر چند که با حد مجاز اختلاف چندانی ندارد، اما در صورت استفاده آن در آب آبیاری، می‌تواند در کشاورزی سبب بروز مشکلات بهداشتی شود. نتیجه مشابهی در بررسی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب تهران ارائه شد (نعیمی و همکاران، ۱۳۹۳).

در تصفیه‌خانه مورد مطالعه، پساب خروجی در طول مدت اجرای تحقیق به استثنای مهرماه کلرزنی نمی‌شد. لذا، غلظت شاخص‌های بیولوژیک تفاوت قابل توجهی با استانداردهای موجود دارد. در صورت استفاده از پساب فاضلاب در آبیاری فضای سبز یا آبیاری محصولاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند، با توجه به اینکه در این حالت احتمال

بحث و جمع‌بندی

در بررسی انطباق کیفیت پساب خروجی از تصفیه‌خانه کرمانشاه با استانداردهای حفاظت محیط زیست ایران، می‌توان نتیجه گرفت که پساب تولیدی از نظر متغیرهای کیفی مورد مطالعه (DO , COD , TSS , BOD_5) با استانداردهای رایج مطابقت داشته، ولی به دلیل عدم انجام عمل کلرزنی، تعداد کلیفرم بیشتر از حد مجاز برای استفاده در کشاورزی است. همچنین با توجه به اینکه کارایی تصفیه‌خانه از نظر زدایش آلاینده‌های فاضلاب بیش از ۸۵ درصد بوده، از این رو می‌توان به کارآمد بودن سیستم تصفیه‌خانه پی برد. بررسی شرایط مختلف بهره‌برداری و عوامل راهبری تصفیه‌خانه حاکی از کنترل مناسب فرآیند لجن فعال در واحدهای مختلف داشت. در این فرآیند با مصرف مواد آلاینده فاضلاب توسط باکتری‌ها، تصفیه صورت می‌گیرد. اما نتایج بررسی انجام شده بر روی لجن دفعی تصفیه‌خانه بیانگر عدم وجود مدیریت لجن می‌باشد که موجب شده تا در غیاب یک سیستم پایش و کنترل اصولی، لجن‌های تولیدی عمدتاً به صورت خام به طبیعت راه یافته و زمینه بروز آلودگی‌های انسان و محیط زیست را فراهم آورد و مانعی در راه استفاده از لجن برای مقاصد کشاورزی باشد. بنابراین راه‌اندازی و بهره‌برداری بهینه از واحدهای تصفیه لجن در تصفیه‌خانه علاوه بر به کار بردن واحدهای آبیگری جهت کاهش حجم لجن و افزایش

منابع

باقری اردبیلیان، پ.، صادقی، ه.، نبئی، ا. و باقری اردبیلیان، م. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی تصفیه‌خانه فاضلاب: مطالعه موردی شهر زنجان. مجله سلامت و بهداشت (دانشگاه علوم پزشکی اردبیل)، ۱(۳): ۶۷-۷۵.

دیندارلو، ع.، هدایت، م. و حسینی، ا. ۱۳۹۵. بررسی میزان بررسی میزان جذب عناصر کادمیم، روی، مس، نیکل، آهن و سرب موجود در پساب بیمارستانی به‌روش گیاه‌پالایی توسط گیاه وتیور. مجله آب و فاضلاب، ۲۷(۱): ۵۷-۶۶.

صمدنژاد، ف.، مصطفائی، ف. و خوش‌نیت، ر. ۱۳۸۸. مقایسه عملکرد تصفیه فاضلاب بیمارستان بعثت سنج با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط. صیدمحمدی، ع.، ناصری، س.، محوی، ا.م.، روشنی، ب.، فیروزمنش،

تماس مستقیم با خاک و مصرف مستقیم محصول وجود دارد، استفاده از روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای سطحی می‌تواند احتمال افزایش شیوع آلودگی‌های ناشی از پساب را افزایش داده و در مقابل استفاده از روش آبیاری زیرسطحی، نگرانی‌های بهداشتی را می‌تواند به شدت کاهش دهد (World Health Organization، ۲۰۰۶).

درجه تثبیت آن مورد توجه است. همچنین احداث واحدهای کمپوست لجن به منظور تهیه کود بهداشتی از لجن‌های آبیگری شده، بسیار مفید خواهد بود. از آنجایی که به منظور استفاده از پساب کیفیت میکروبی نیز دارای اهمیت است، لذا پیشنهاد می‌شود علاوه بر گندزدایی پساب به صورت منظم، یک سیستم لاگون شامل فیلتراسیون ریز چند بستری و حوضچه ته‌نشینی با زمان ماند زیاد در نظر گرفته شود تا ضمن افزایش درجه تصفیه از لحاظ میزان کل جامدات معلق، تعداد کلیفرم‌ها کاهش و در نتیجه تصفیه میکروبی پساب با درجه بیشتری استحصال شود و استانداردهای تصفیه ثانویه برای مقاصد آبیاری را برآورده و با اطمینان به مصرف کشاورزی برسد. همچنین می‌توان از فرآیندهای آسان و ارزان نظیر آهک‌زنی در تثبیت لجن بهره جست (Nikmanesh و Varig-Kazemi، ۲۰۱۶). به منظور مطالعه کیفیت زیست‌شناختی لجن‌های دفعی، تعیین شاخص‌های میکروبی تراکم کلیفرم کل، کلیفرم‌های مدفوعی و شمارش تخم انگل‌ها نیز پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت

- 1- Cross sectional
- 2- Method
- 3- BOD5 Loading

م. و صالحی، ر. ۱۳۸۳. بررسی کارایی فیلترهای چند بستری در حذف پاتوژن‌ها از فاضلاب شهری به منظور استفاده مجدد و کاهش کلر جهت گندزدایی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان، ۸(۴): ۸-۱۵.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹. ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. نشریه شماره ۵۳۵. ۱۵۵ صفحه.

مهرآوران، ب.، انصاری، ح.، بهشتی، ع.ا. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۴. بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکن‌آباد مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۳): ۴۴۰-۴۴۷.

میران‌زاده، م. ب. و بابامیر، ش.ا. ۱۳۸۲. بررسی کارایی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان تهران طی سال‌های ۸۰-۱۳۷۹. مجله فیض، ۱(۱): ۴۰-۴۷.

- Mattheus F.A.G. and Walid H.S. 1999. Water Management, Purification and Conservation in Arid Climates. Taylor & Francis Routledge publishing. Chapter 6 and 7.
- Nikmanesh M.S. and Varig-Kazemi K. 2016. Stabilized sewage sludge with lime and comparison with EPA standards, a case study: Nowshahr sewage plan. 8th National Conference and Exhibition of Environmental Engineering. Tehran. Environmental Engineering Association of Iran. (In Persian)
- Okun D. A. and Mohlman F. W. 1949. A system of bio-precipitation of organic matter from sewage. Sewage Works Journal, 21(5): 763-794.
- Ortega E. and Iglesias R. 2009. Reuse of treated municipal wastewater effluents in Spain: Regulations and most common technologies, including extensive treatments. Desalination and water treatment, 4(1-3): 148-160.
- Rahmani H.R., Rezaei H., Amin M.M. and Kohanestani Z.M. 2015. Investigation of sewage sludge quality for land application: A case study: Two Isfahan wastewater treatment plans. International Journal of Environmental Health Engineering, 2015, 4:36.
- Rowe D.R. and Abdel-Magid I.M. 1995. Handbook of wastewater reclamation and reuse. CRC Press. p.576.
- Salgot M., Vergés C. and Angelakis A.N. 2003. Risk assessment in wastewater recycling and reuse. Water Science and Technology: Water Supply, 3(4): 301-309.
- Shuval H. 2007. Evaluating the World New Health Organization's 2006 Health Guidelines for Wastewater. from book Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security, pp. 279-287. Springer, Dordrecht.
- Tchobanglous G. and Burton F. L. 1991. Waste water engineering. Management, 7: 1-4.
- Verstraete W. and Van Vaerenbergh E. 1986. Aerobic activated sludge. Biotechnology, 8: 43-112.
- Vigneswaran D. and Ngo H.H. 2000. Technologies for domestic wastewater treatment and reuse. Water Manage. Purif. Conserv. Arid Clim, 3: 123-151.
- World Health Organization. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture. World Health Organization. 778: p 74.
- میرزاشاهی، ک.، بازرگان، ک. و بغوری، ا. ۱۳۹۴. فاضلاب و کاربرد آن در کشاورزی. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه فنی شماره ۱۸. ۵۳۴ صفحه.
- ناصری، س.، صادقی، ط.، واعظی، ف. و ندافی، ک. ۱۳۹۱. بررسی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل به منظور استفاده مجدد در کشاورزی. مجله سلامت و بهداشت (دانشگاه علوم پزشکی اردبیل)، ۳(۳): ۷۳-۸۰.
- نجفی، پ. ۱۳۸۶. بررسی آلودگی میکروبی ناشی از آبیاری چمن با فاضلاب تصفیه‌شده شهری. مجله محیط‌شناسی، ۳۳(۴۴): ۲۷-۳۲.
- نعیمی، ل.، جاوید، ا. ح. و میرباقری، س. ا. ۱۳۹۳. بررسی تأثیر استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در فضای سبز شهری به منظور توسعه پایدار (مطالعه موردی: شهرک غرب تهران). فصلنامه پایداری، توسعه و محیط زیست، ۱: ۳۷-۴۶.
- یاری، ا. ر.، مصداقی نیا، ع.، ندافی، ک. و واعظی، ف. ۱۳۸۴. بررسی کارایی فرایند بستر بیهوازی لجن با جریان رو به بالا (UASB) در تصفیه فاضلاب صنایع نوشابه‌سازی. هشتمین همایش ملی بهداشت محیط. ۹ صفحه.
- Albany N.Y. 1982. Recommended standards for water works: policies for the review and approval of plans and specifications for public water supplies: a report/Committee of the Great Lakes-Upper Mississippi River Board of State Sanitary Engineers. Health Education Service, 91 p.
- Bruce A. M. 1984. Sewage Sludge Stabilization and disinfection. Ellis Horwood Limited.
- Cherrmisinoff P.N. 1994. Sludge management and disposal. Englewood Cliffs: New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Clesceri L.S., Greenberg A.E. and Trussell R.R. 1996. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA and WPCF, Washington DC.
- Esposito K., Tsuchihashi R., Anderson J. and Selstrom J. 2005. The Role of Water Reclamation in Water Resources Management in the 21st Century. Proceedings of the Water Environment Federation, 6: 8621-8633.
- Kamizoulis G. 2008. Setting health based targets for water reuse (in agriculture). Desalination, 218: 1-3. 154-163.
- Lacy S. M. 2005. Large scale systems. Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop. p.292.
- Liu Y. and Fang H.H. 2003. Influences of extracellular polymeric substances (EPS) on flocculation, settling, and dewatering of activated sludge. Crit. Rev. Environ. Sci. & Technol., 33: 237-273.

Risk Assessment of Hydraulic Components in the Overflow Spillways (Case Study: Chandir Dam)

M. Maghrebi¹, A.A. Ghezelsolfloo^{2*}, H. Alimirzaei³

1- PhD student of Environmental Engineering-Water Resources, University of Tehran, Iran. 2- Assistant professor, Department of Civil, Islamic Azad University of Mashhad (IAUM), Mashhad, Iran.

3- Ph.D Student of Water Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

*(Corresponding author Email: ghezelsolfloo@mshdiau.ac.ir)

Received: 02-10-2016

Accepted: 12-09-2017

ارزیابی ریسک در اجزای سازه‌ی سرریز (مطالعه موردی: سد چندیر)

محسن مغربی^۱، عباسعلی قزل‌سوفلو^{۲*}، حسین علیمیرزایی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، گرایش منابع آب، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.

۳- دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۱

Abstract

In this research to investigate the flood risk over the Chandir spillway, located in the North Khorasan province, the acceptable distribution of risk for the spillway components and its consequences on the hydraulic performance were studied. For this purpose, the spillway was designed for discharges with a return period of 100 and 1000 years. The 3D flow field for the designed structure was investigated in the event of flooding with a return period of 100 and 1000 years using the FLOW3D software. The results show that in the event of a flood with a 1000-year return period, whilst the structure has been designed based on a discharge with a 100-year return period, flow separation and an increase in the local shear stress occurs in the stilling basin. Moreover, the risk assessment results show that the stilling basin length plays an important role in flow energy dissipation however, increasing the stilling basin length more than 20 meters would not decrease the dissipation rate. Also, the length of the stilling basin influences the amount of the secondary depth, and the reducing of the basin length to less than 15 meters will prevent the formation of a hydraulic jump even for a discharge with a return period of 100 years. Finally, the risk assessment shows that by accepting the risk amount of 13.56 %, it is possible to reduce the length of the stilling basin to 20 meters.

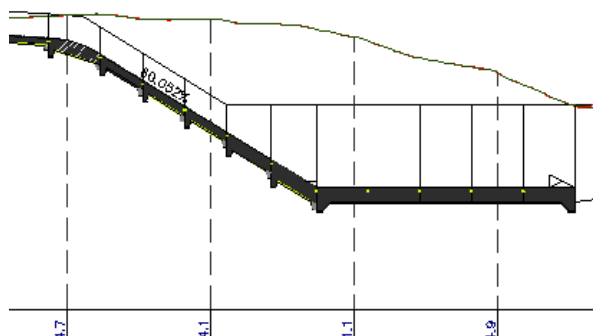
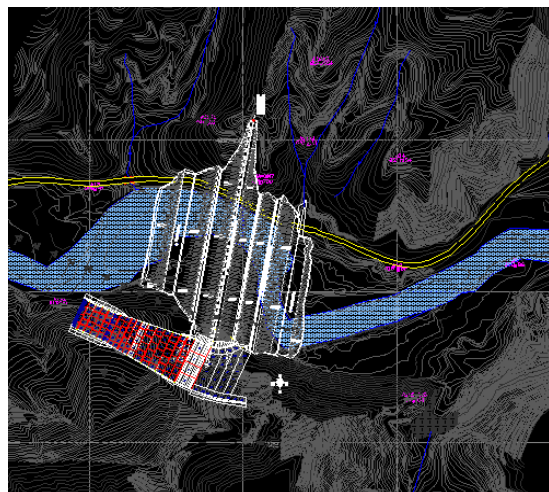
Keywords: Risk concept, Executive structures, Numerical simulation, FLOW3D software.

چکیده

در این مقاله به منظور بررسی ریسک سیلاب طراحی در سازه سرریز سد چندیر در استان خراسان شمالی به بررسی توزیع قابل قبول ریسک در اجزای سازه‌ی سرریز و اثرات پذیرش آن در عملکرد هیدرولیکی سازه پرداخته شده است. برای این منظور سازه بر اساس دبی‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و ۱۰۰۰ ساله طراحی و در ادامه الگوی جریان در سازه طراحی شده در اثر وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و ۱۰۰۰ به صورت سه بعدی و با استفاده از نرم افزار FLOW3D مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در اثر وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله در حالی که سازه بر اساس دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طراحی گردیده است، شاهد جدایی جریان از حوضچه آرامش و افزایش تنش برشی موضعی در حوضچه آرامش می‌باشیم. علاوه بر آن، بررسی آنالیز ریسک در حوضچه آرامش نشان می‌دهد که طول حوضچه آرامش نقش موثری در کاهش نرخ سرعت در سازه استهلاك انرژی داشته، ولی افزایش طول حوضچه آرامش بیش از ۲۰ متر، باعث کاهش سرعت موثری نخواهد گردید. همچنین طول حوضچه آرامش بر مقدار عمق ثانویه موثر بوده و کاهش طول حوضچه آرامش به کمتر از ۱۵ متر باعث عدم شکل‌گیری پرش هیدرولیکی حتی در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌گردد. در نهایت بررسی آنالیز ریسک در عملکرد اجزای هیدرولیکی سرریز نشان می‌دهد که با قبول خسارت ۱۳/۵۶ درصدی، امکان کاهش طول حوضچه آرامش به ۲۰ متر امکان‌پذیر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مفهوم ریسک، سازه‌های اجرایی، مدل‌سازی عددی، نرم‌افزار FLOW3D.

سودهای حاصل از احداث و هزینه‌های ناشی از افزایش پایداری آن در سطح قابل قبولی از خطر، یک تعادل منطقی ایجاد شود (هنر، ۱۳۸۹). به عبارت دیگر این موضوع به مفهوم حذف انواع مختلف خطرات برای سازه نبوده، بلکه کاهش این خطر به حد قابل قبول می‌باشد. بر این اساس یکی از مهمترین بخش‌های تعیین ریسک و خطر در سدها، تعیین سیلاب طراحی می‌باشد. در این بین کشورهای مختلف برای تعیین ریسک سیلاب طراحی معیارهای مختلفی را برای یک سازه در نظر گرفته‌اند. نکته قابل تأمل در این بخش این است که بر اساس سیلاب طراحی مشخص شده، تمام اجزای یک سازه بر اساس آن سیلاب طراحی می‌گردد که می‌تواند خود باعث افزایش هزینه‌های ناشی از احداث سازه گردد (Godman, ۱۹۸۴). در این مقاله با استفاده از مدل عددی FLOW3D به بررسی الگوی جریان و پیش‌بینی ریسک در اجزای مختلف سرریز در اثر وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در سد چندیر در استان خراسان شمالی پرداخته شده است.



شکل ۲- جانمایی هندسی سرریز نسبت به سد و رودخانه اصلی

پس از کانال ورودی^۱، سرریز دارای یک اوجی بتنی با ارتفاع

ریسک در پروژه، رویدادهای ممکن الوقوع نامعلومی هستند که در صورت وقوع، به صورت پیامدهای منفی یا مثبت بر اهداف پروژه موثر می‌باشد. هر یک از این رویدادها، دارای علل مشخص و نتایج و پیامدهای قابل تشخیص هستند. پیامدهای این رویدادها مستقیماً در زمان، هزینه و کیفیت پروژه موثر می‌باشد (Serafim, ۱۹۸۴). بنابراین شناسایی ریسک و تعیین میزان پیامدهای مثبت و منفی آن بر اهداف پروژه از اهمیت خاصی برخوردار است. در این بین توجه به تجزیه و تحلیل ریسک، ارزیابی ریسک، کاهش ریسک و ارزیابی خسارات یکی از مهمترین اقدامات مهندسی می‌باشد و مسأله‌ای است که همواره در جریان طراحی یک سد مورد توجه طراحان است (Maghrebi, ۲۰۱۲). بدیهی است که حفاظت سازه در مقابل کلیه حوادث طبیعی مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین هدف این است که بین

معرفی ناحیه‌ی مورد بررسی

سد چندیر بر روی رودخانه چندیر در مرز بین ایران و ترکمنستان و در شمال منطقه راز و جرگلان قرار دارد. منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سد در استان خراسان شمالی

هدف از احداث این سد استفاده بهینه از رواناب کل حوزه آبریز و تامین نیاز آبی حداکثر کشاورزی از محل سد می‌باشد. سازه‌ی سرریز در این سد به لحاظ هندسی در جناح چپ سد قرار گرفته است. در ورودی سرریز دارای دو دیواره هدایت جریان به سمت اوجی به طول ۷۴ متر در ورودی سمت چپ و ۳۴ متر در ورودی سمت راست و به ارتفاع ۱۴ متر می‌باشد. شکل (۲) نشان‌دهنده‌ی پلان هندسه و جانمایی سرریز نسبت به سد می‌باشد.

۶/۴ متر می‌باشد و پس از آن جریان گذرنده از روی اوجی وارد یک کانال انتقال جریان به سمت شوت با شیب متوسط ۶/۳ درصد می‌گردد. آستانه ورودی سرریز از ابتدای اوجی دارای یک مقطع تنگ شده می‌باشد، به طوری که در ابتدای اوجی عرض سرریز برابر با ۶۱ متر و در انتهای آن ۴۸/۸ متر می‌گردد. پس از کانال انتقال جریان وارد شوت با شیب حدود ۶۰ درصد

بررسی و آنالیز ریسک در اجزا سرریز سد چندبر

به منظور بررسی و آنالیز ریسک لازم است تا در ابتدا بر اساس دبی‌های مختلف جریان با پذیرش ریسک نسبت به طراحی اجزای مختلف اشاره شده اقدام گردد و در انتها الگوی جریان و بررسی‌های اقتصادی در خصوص خسارات وارده شده به سرریز در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت بالاتر مورد بررسی قرار

مدل عددی و معادلات حاکم

مدل شبیه‌سازی عددی FLOW3D در موسسه Flow Science Inc در ایالات متحده تهیه و توسعه داده شده است (سلمانی، ۱۳۹۰). معادلات حاکم بر جریان سیال شامل معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت می‌باشد. معادله‌ی پیوستگی جریان از قانون بقای جرم و با نوشتن معادله‌ی تعادل جرم برای یک المان سیال بدست می‌آید. به صورت کلی این معادله به شکل رابطه‌ی (۱) نوشته می‌شود.

$$V_F \frac{dp}{dt} + \frac{d}{dx}(\rho u A_x) + \frac{d}{dy}(\rho v A_y) + \frac{d}{dz}(\rho w A_z) = 0 \quad (1)$$

که در آن V_F نسبت حجم سیال عبوری از یک المان به حجم کل المان و ρ دانسیته سیال می‌باشد. مولفه‌های سرعت (u, v, w) در جهات (x, y, z) هستند. A_x نسبت مساحت سیال عبوری از یک المان به مساحت کل المان در جهت x است. A_y و A_z به طور مشابه سطوح جریان در جهات z و y هستند. معادلات حرکت ناویر-استوکس سیال با مولفه‌های سرعت (u, v, w) در مختصات سه بعدی به شکل روابط (۲) تا (۴) نمایش داده می‌شود.

$$\frac{du}{dt} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{du}{dx} + v A_y \frac{du}{dy} + w A_z \frac{du}{dz} \right) = \frac{-1}{\rho} \left(\frac{dp}{dx} \right) + G_x + f_x \quad (2)$$

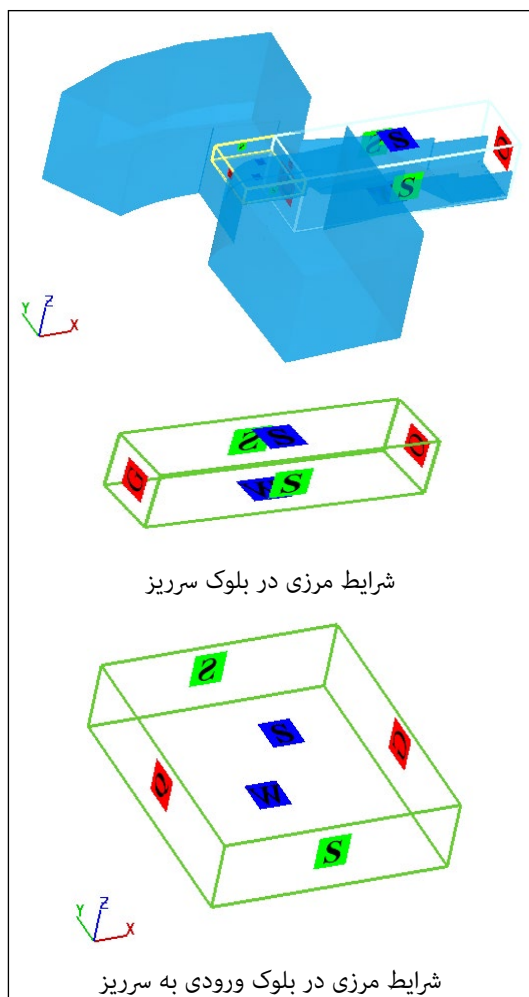
$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{dv}{dx} + v A_y \frac{dv}{dy} + w A_z \frac{dv}{dz} \right) = \frac{-1}{\rho} \left(\frac{dp}{dy} \right) + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{dw}{dt} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{dw}{dx} + v A_y \frac{dw}{dy} + w A_z \frac{dw}{dz} \right) = \frac{-1}{\rho} \left(\frac{dp}{dz} \right) + G_z + f_z \quad (4)$$

که در این معادلات G_x, G_y, G_z ترم‌های شتاب جرم، f_x, f_y, f_z ترم‌های شتاب لزجت می‌باشند.

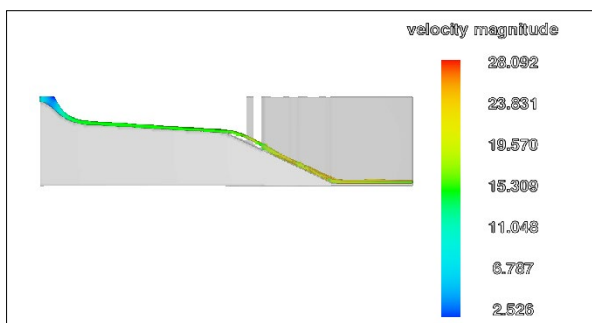
وارد شده و با ریزش جریان به ارتفاع ۲۳/۶ متر وارد حوضچه آرامش می‌گردد. حوضچه آرامش نیز دارای دو ردیف شبکه مهار جریان در ورودی و انتهای حوضچه می‌باشد. حوضچه آرامش همچنین دارای طولی برابر با ۴۵ متر می‌باشد و برای احداث آن باید در حدود ۲۶ متر از تراز زمین طبیعی گودبرداری ایجاد گردد (مهندسین مشاور تحقیقات خاک مهار آب، ۱۳۸۶).

گیرد. اما در این بین، آستانه ورودی به دلیل عملکرد حیاتی در کنترل پایداری و حیات سازه می‌بایستی دارای بیشترین درجه ایمنی باشد. لذا آستانه سرریز و اوجی با دبی ۱۰۰۰ ساله به همراه ارتفاع آزاد به منظور کنترل سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله طراحی گردیده است. اما امکان بررسی ریسک در طراحی اجزای دیگر با سیلاب‌های مختلف امکان‌پذیر خواهد بود. به منظور بررسی الگوی جریان و پیش‌بینی خسارات احتمالی از نرم‌افزار FLOW3D استفاده گردیده است.



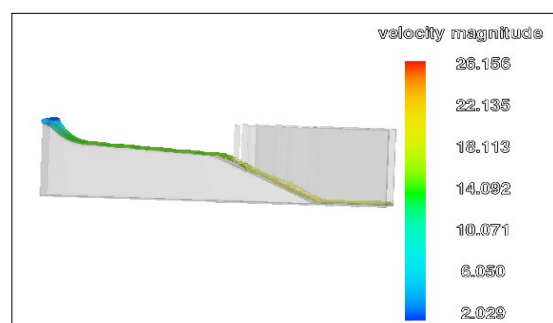
شکل ۳- سرریز در سد چندبر و شرایط مرزی

شکل (۵) نشان‌دهنده الگوی جریان با دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله در سرریز و سازهی انتقال طراحی شده با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله در حالی که سازهی انقباض با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله طراحی شده است، شاهد پرش و جدایی جریان از حوضچه آرامش در محل ورود سیلاب از کانال هدایت‌شونده به شوت انتهایی می‌باشیم. این امر خود باعث افزایش سرعت جریان ورودی و افزایش تنش برشی موضعی در محل برخورد بر شوت می‌شود. علاوه بر آن الگوی جریان بعد از ریزش جریان بر روی شوت نیز دچار نوسانات مختلفی در جهات طولی و عرضی می‌گردد که بر روی انتقال جریان بر روی شوت موثر بوده و شرایط جریان ورودی به حوضچه آرامش را نیز دچار اختلال می‌نماید. لذا استفاده از دبی طراحی ۱۰۰ ساله برای کانال دارای انقباض در پلان، در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت بالاتر می‌تواند باعث افزایش پتانسیل تخریب در شوت و همچنین عملکرد نامطلوب حوضچه آرامش گردد.



شکل ۵- الگوی جریان در سرریز با انقباض بر اساس دبی ۱۰۰ ساله و دبی سیلاب در سرریز ۱۰۰۰ ساله

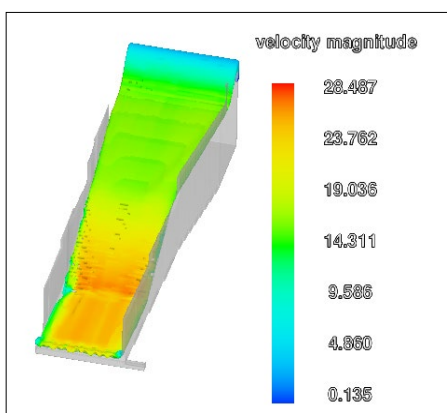
حد فاصل اوجی و شوت، سرریز شامل یک کانال هدایت‌شونده با شیب مثبت می‌باشد که دارای تنگ‌شدگی و یا انقباض در پلان می‌باشد. بر طبق دستورالعمل BUREAU (۱۹۷۷) موجود در طراحی سامانه‌های انقباض جریان، انقباض جریان در پلان سرریز تابعی از عدد فرود جریان در محدوده انتقال می‌باشد. به منظور بررسی اثر طراحی سازهی انتقال با دبی ۱۰۰ ساله و بررسی عملکرد آن با دبی ۱۰۰۰ ساله بر اساس عدد فرود جریان محاسبه شده در سرریز، سازهی انتقال طراحی و وارد مدل عددی گردیده است. شکل (۴) نشان‌دهنده مشخصات جریان در انقباض طراحی شده بر اساس دبی ۱۰۰ ساله در دبی ۱۰۰۰ ساله می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است در ناحیهی همگرایی و در ادامه تبدیل کانال هدایت‌شونده به شوت در پایاب جریان سیال به خوبی بر روی شوت مستقر شده و به سمت پائین دست هدایت می‌شود. این امر نشان‌دهنده عملکرد مناسب انقباض در پلان در دبی طراحی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و در صورت وقوع سیلاب ۱۰۰ ساله می‌باشد.



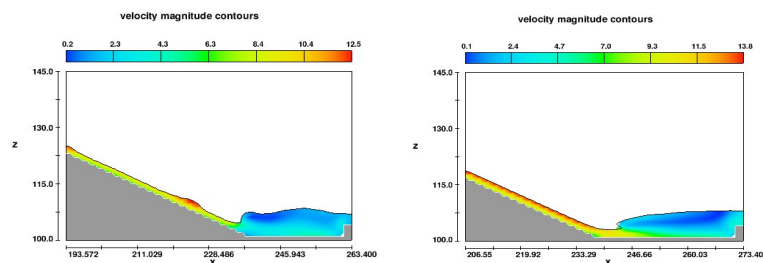
شکل ۴- الگوی جریان در سرریز با انقباض بر اساس دبی ۱۰۰ ساله و دبی سیلاب در سرریز ۱۰۰ ساله

بررسی آنالیز ریسک در حوضچه آرامش

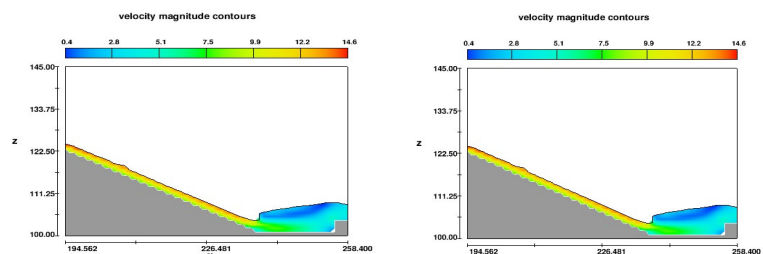
به منظور بررسی اثر ریسک در طراحی حوضچه آرامش، کاهش طول موثر در حوضچه آرامش در دبی‌های با دوره بازگشت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته است. این امر به منظور بررسی اثر ترکیبی دبی و کاهش طول حوضچه در توزیع سرعت و مشخصات جریان در ورودی و خروجی به حوضچه آرامش انجام پذیرفته است و درصد استهلاک انرژی در طول‌های مختلف حوضچه و در دبی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۶) نشان‌دهنده اثر کاهش طول بر مشخصات جریان در حوضچه آرامش می‌باشد.



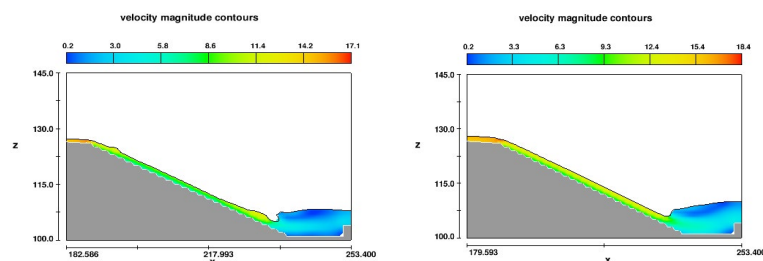
الگوی جریان در حالت بدون کاهش در طول حوضچه آرامش
شکل ۶- الگوی جریان در حوضچه آرامش در دبی‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و در طول‌های مختلف حوضچه آرامش



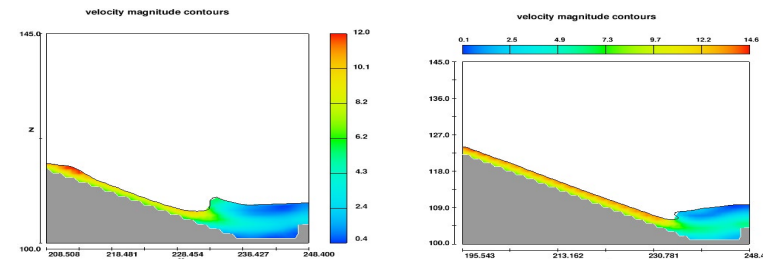
الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۱۰ متر طول



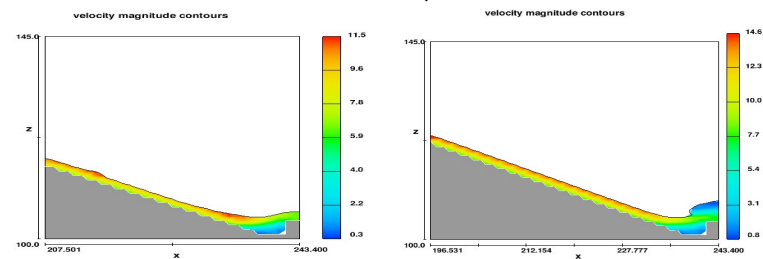
الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۱۵ متر طول



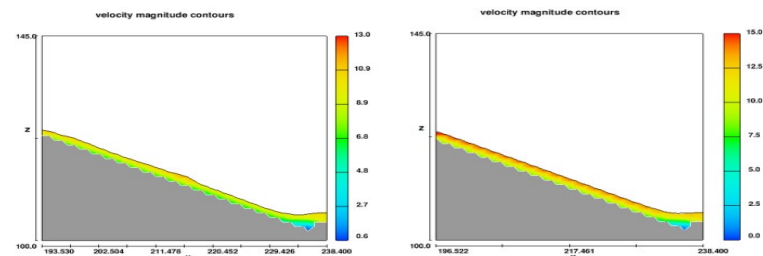
الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۲۰ متر طول



الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۲۵ متر طول



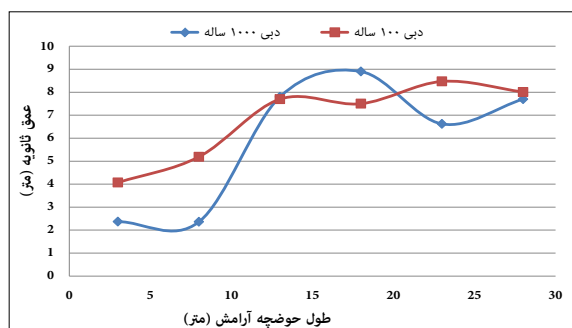
الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۲۸ متر طول



الگوی جریان در حوضچه آرامش با کاهش ۳۵ متر طول

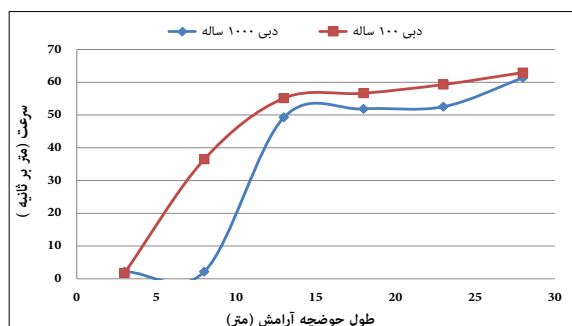
ادامه شکل ۶- الگوی جریان در حوضچه آرامش در دبی‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و در طول‌های مختلف حوضچه آرامش

طول‌های مختلف حوضچه آرامش مشخصات متفاوتی از خود بروز می‌دهد، در حالی که در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله تغییرات عمق پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش وابسته به طول حوضچه آرامش می‌باشد. همچنین در طول ۲۰ متر از حوضچه آرامش عمق پرش هیدرولیکی در دبی‌های مختلف یکسان می‌گردد.



شکل ۹- عمق ثانویه در حوضچه آرامش

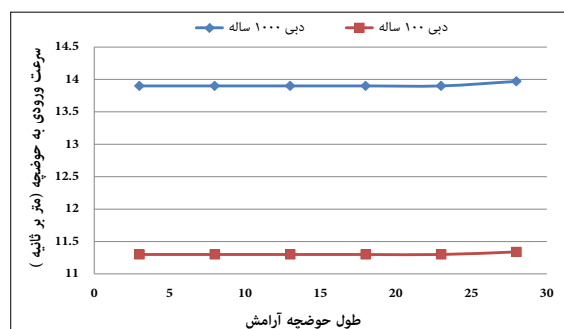
شکل (۱۰) نشان‌دهنده‌ی اثر طول حوضچه آرامش بر روی درصد کاهش سرعت در حوضچه آرامش می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود به طور کلی درصد استهلاک سرعت بیشینه در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بیش از درصد استهلاک انرژی در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله می‌باشد، البته این امر با افزایش طول حوضچه آرامش درصد استهلاک سرعت در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله به درصد استهلاک انرژی در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نزدیک می‌گردد.



شکل ۱۰- اثر طول حوضچه آرامش بر درصد کاهش سرعت در حوضچه

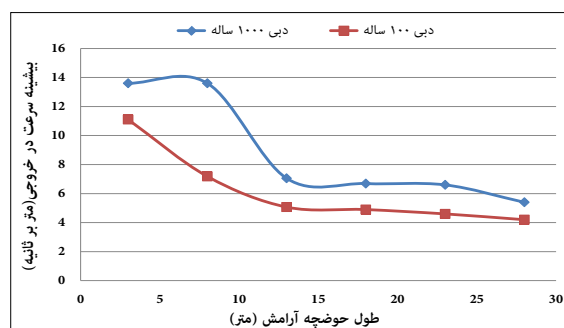
شکل (۱۱) نشان‌دهنده‌ی درصد استهلاک انرژی در طول‌های مختلف حوضچه آرامش می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است در طول‌های بیش از ۲۰ متر حوضچه آرامش، اختلاف استهلاک انرژی در دبی‌های مختلف کاهش پیدا می‌نماید و در طول‌های کم حوضچه آرامش، تفاوت درصد استهلاک انرژی قابل توجهی می‌باشد.

همان‌طور که در این اشکال مشخص است با کاهش طول حوضچه آرامش نرخ استهلاک انرژی کاهش پیدا نموده و جریان با سرعت بیشتر و قدرت تخریبی بیشتری از حوضچه آرامش خارج می‌گردد. شکل (۷) نشان‌دهنده‌ی سرعت ورودی به حوضچه آرامش در طول‌های مختلف حوضچه آرامش در دبی‌های با دوره بازگشت‌های ۱۰۰ ساله و ۱۰۰۰ ساله می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است با کاهش طول، سرعت ورودی در دبی‌های یکسان تغییرات زیادی نمی‌نماید و به طور کلی در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، شاهد کاهش سرعت ورودی نسبت به دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله می‌باشیم.



شکل ۷- سرعت ورودی به حوضچه آرامش در طول‌های مختلف حوضچه

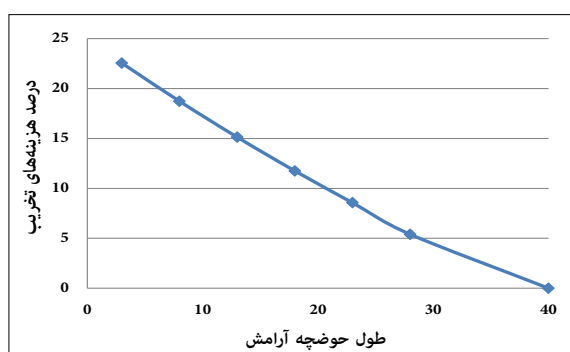
شکل (۸) نشان‌دهنده‌ی اثر طول حوضچه آرامش بر بیشینه سرعت خروجی از حوضچه آرامش می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، افزایش طول حوضچه آرامش بیش از ۲۰ متر، اثر چندانی بر روی کاهش سرعت بیشینه در حوضچه آرامش نخواهد داشت.



شکل ۸- سرعت خروجی از حوضچه آرامش در طول‌های مختلف حوضچه

شکل (۹) نشان‌دهنده‌ی اثر طول حوضچه آرامش بر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشخص است در دبی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله، پرش هیدرولیکی در

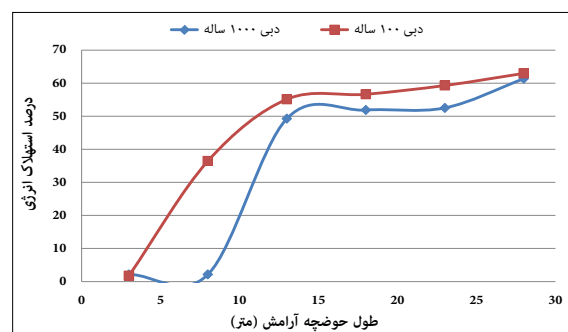
شکل (۱۳) نشان‌دهنده‌ی هزینه‌های ناشی از تخریب در حوضچه آرامش در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت بیش از طراحی در طول‌های مختلف حوضچه آرامش می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، در صورتی که حوضچه آرامش طولی برابر با ۴۰ متر داشته باشد، تمامی جریان مستهلک شده و هزینه‌های ناشی از خسارت در صورت وقوع سیلابی با دوره بازگشت بالاتر برابر با صفر خواهد بود. بالطبع با کاهش طول حوضچه آرامش، هزینه‌های ناشی از خسارت در حوضچه به منظور استهلاک انرژی افزایش پیدا خواهد نمود که در نهایت با حذف حوضچه آرامش و یا احداث حوضچه آرامش به طول صفر، هزینه‌های ناشی از خسارت برابر با ۲۵ درصد خواهد بود.



شکل ۱۳- اثر طول حوضچه آرامش بر روی خسارات سیل

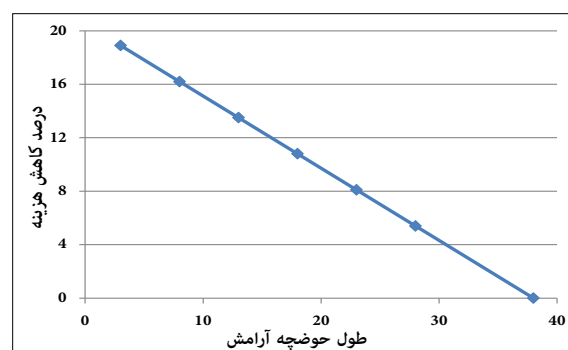
لذا با توجه به دستورالعمل موجود اداره عمران و آبادانی ایالات متحده لازم است تا حداقل ۵۰ درصد از انرژی جریان در حوضچه آرامش در صورت وقوع سیلاب مستهلک گردد، لذا با توجه به شکل (۱۱) طول حوضچه آرامش برابر با ۲۰ متر انتخاب می‌گردد. در این طول برابر ۱۳/۴۹ درصد از هزینه‌های احداث سرریز کاسته شده، اما در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های بالاتر، امکان ایجاد خساراتی در پایاب سد در حدود ۱۰ درصد، وقوع خواهد داشت.

داد که کاهش دوره بازگشت سیلاب در طراحی این سازه و یا افزایش ریسک در این قسمت از سازه‌ی سرریز، می‌تواند باعث پرش در طول سازه‌ی انتقال و افزایش پتانسیل کاویتاسیون و یا ایجاد موج‌های عرضی در ورودی به حوضچه آرامش گردد. لذا کاهش دوره بازگشت سیلاب در این قسمت از سازه‌ی سرریز نیز نمی‌تواند دارای منفعت‌های اقتصادی باشد. اما آنالیز جریان در حوضچه آرامش نشان می‌دهد که می‌توان با پذیرش ریسک ۱۰ درصدی، طول حوضچه آرامش را به میزان ۲۰ متر کاهش داد. در این حالت حوضچه آرامش بیش از ۵۰ درصد انرژی جریان ورودی



شکل ۱۱- توزیع درصد استهلاک انرژی در طول‌های مختلف حوضچه آرامش

شکل (۱۲) نشان‌دهنده‌ی اثر طول حوضچه آرامش بر روی کاهش هزینه‌های احداث سرریز می‌باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با کاهش طول حوضچه آرامش، هزینه‌های احداث حوضچه آرامش، حداکثر تا میزان ۲۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. در مقابل هزینه‌های ناشی از تخریب در سازه در برابر وقوع سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر افزایش پیدا خواهد نمود. البته با کاهش عرض سرریز تا ۴۶ متر، علاوه بر کاهش هزینه‌ها در حوضچه آرامش، صرفه‌جویی اقتصادی برابر با ۵/۱ درصد نیز در هزینه‌ها مشاهده می‌نماییم.



شکل ۱۲- درصد کاهش هزینه در طول‌های مختلف حوضچه

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی کاربرد مفهوم ریسک در طراحی سازه سرریز سد چندیر در استان خراسان شمالی پرداخته شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به اهمیت پایداری سد در مقابل دبی با دوره بازگشت‌های بالا، محور سرریز می‌بایستی با درجه اطمینان بالا و با سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله، طراحی گردد. همچنین آنالیز ریسک و مدل‌سازی عددی الگوی جریان در انقباضات عرض سرریز در پلان نشان

به حوضچه آرامش با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله را مستهلک خواهد نمود و در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت بیش از ۱۰۰۰ ساله می‌توان انتظار داشت که هزینه‌ای معادل ۱۰ درصد هزینه ساخت حوضچه آرامش را به منظور هزینه‌های تخریب ایجاد نماید. لذا با پذیرش ریسک ۱۰ درصدی در این سازه می‌توان در مرحله طراحی، طول حوضچه آرامش را به ۲۰ متر کاهش

منابع

سلمانی، ف. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی جریان از روی سرریز پلکانی، نشریه دانش آب و خاک، ۲۱(۴): ۱۵۲-۱۶۴. مهندسین مشاور تحقیقات خاک مهارآب. ۱۳۸۶. مطالعات مرحله دوم طرح احداث سد مخزنی بر روی رودخانه چندیر، جلد یازدهم، سازه‌های هیدرولیکی. هنر، ت. ۱۳۸۹. مطالعات آزمایشگاهی پرش هیدرولیکی همگرا در حوضچه آرامش، نشریه آب و خاک، ۲(۵): ۹۷۲-۹۷۶. Serafim J.L. 1984. Safety of dam. Proceeding of the

داد و بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۹۲ معادل ۲۲۰۰ میلیون ریال در هزینه‌های احداث سرریز صرفه‌جویی نمود.

پی‌نوشت

1- Approach channel

international conference on safety of dam, coulumbia. USA.

Godman A S. 1984. Principeles of water resource planning. P331-Spillway design.

Maghrebi M. Alizadeh S. Lotfi R. 2012. Nuemrical simulation of flow field over rectangular broad crested weir (real case study). 3th international conf on dam and hydropower, Tehran, Iran.

BUREAU, O.R. 1977. Design of small dams. Washington. DC: Govt. Print. Off.

Optimal Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Networks

J. Jafari Asl^{1*}, B. SamiKashkooli², M. Bahrami³

1- M.Sc. in Civil Engineering - Water Resources Management and Engineering, Faculty of Engineering, Civil Engineering Division, Yasuj University, Yasuj, Iran. 2- M.Sc. in Hydraulic Structures, Hydraulic Structures Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. 3- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran.

*(Corresponding author Email: Jafar.Jafariasl@yahoo.com)

Received: 16-01-2016

Accepted: 16-05-2017

کنترل بهینه فشار با هدف حداقل سازی نشت در شبکه های توزیع آب

جعفر جعفری اصل^{۱*}، بهرام سامی کشکولی^۲، مهدی بهرامی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج. ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس. ۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۶

Abstract

Water leakage in the water distribution networks results in losses of supply, pressure, and capital investment. Therefore, efforts to reduce the leakage in the water distribution networks have great importance. A common way to reduce pressure is the installation of flow or pressure reducing valves (PRV) and the optimal regulation of these valves in water networks. This study aims at investigating the optimum management of pressure in order to minimize the leakage in water distribution networks. For this purpose, the optimal placement and setting for pressure relief valves, with minimum allowable pressure in the nodes, is considered as the main constraint of the problem. In the present research, to solve these problems, an optimization model—a simulation based on an emerging algorithm called Cultural Algorithm (CA)—was used. In this model, the CA optimization in MATLAB environment was integrated with the hydraulic simulation of the EPANET model. The results revealed that, considering all the limitations of the problem, employing this method to determine the position of the pressure reducing valves and regulating them lowered the mean leakage rate of the network by 10% in three periods of maximum, average, and minimum water demand.

Keywords: Leakage management, Pressure management, Pressure reducing valves, Cultural algorithm, EPANET.

چکیده

نشت در شبکه های توزیع آب، موجب اتلاف منابع و سرمایه صرف شده در تولید، انتقال، تصفیه و توزیع آب می شود. از این رو تلاش برای کاهش نشت در شبکه های توزیع آب از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت بهینه فشار، با استفاده از نصب شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه این شیرها در مسیر جریان یکی از روش های کاهش نشت می باشد. در این پژوهش مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه های توزیع آب با هدف حداقل کردن نشت مورد توجه می باشد. بدین منظور مسئله جانمایی بهینه و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن با رعایت حداقل فشار مجاز در گره ها به عنوان قید اصلی مسئله مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش برای حل این مسئله از مدل بهینه سازی- شبیه سازی مبتنی بر یکی از انواع الگوریتم های فراکاوشی تحت عنوان الگوریتم فرهنگی (CA) استفاده شد. در این مدل الگوریتم بهینه سازی CA در محیط MATLAB با شبیه ساز هیدرولیکی مدل EPANET تلفیق شد. نتایج نشان داد که با به کار بردن روش ارائه شده برای جانمایی و تنظیم بهینه شیرهای فشارشکن، ضمن رعایت قیود مسئله، میزان نشت متوسط شبکه در سه شرایط تقاضای آبی حداکثر، متوسط و حداقل به میزان ۱۰ درصد کاهش یافت.

واژه های کلیدی: مدیریت نشت، مدیریت فشار، شیرهای فشارشکن، الگوریتم فرهنگی، EPANET.

Araujo و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نرم افزار EPANET و الگوریتم ژنتیک و با هدف حداقل سازی سطح فشار در شبکه، روشی دوفازی برای بهینه سازی تعداد، موقعیت و تنظیمات شیرهای کنترل فشار ارائه نمودند. همچنین Tabesh و Hoomehr (۲۰۰۷) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شیرهای فشارشکن نشان دادند که می توان مدلی برای مدیریت فشار ارائه کرد.

سلطانی اصل و فغفور مغربی (۱۳۸۷) فشار را یکی از مهمترین عوامل مؤثر در میزان آب بدون درآمد در شبکه های توزیع دانسته که دارای بیشترین و سریع ترین اثر هیدرولیکی بر روی مقدار نشت است. ایشان میزان اثر کاهش فشار بر نشت در شبکه منطقه سرافرازان مشهد را با مدل سازی شبکه در محیط EPANET 2.10 و با در نظرگرفتن جریان نشت در گره ها مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش ایشان، ابتدا شبکه مورد نظر با بهره گیری از تلفیق روش اندازه گیری حداقل جریان شبانه و تحلیل هیدرولیکی با استفاده از قابلیت نرم افزار، مدل سازی گردید. سپس با استفاده از نتایج مدل، در شیر فشارشکن ورودی شبکه، یک برنامه زمانی تغییرات هد فشار خروجی در طول ساعات روز و بر مبنای تأمین حداقل فشار در کم فشارترین نقطه، تعیین و اعمال گردید. نتایج نشان داد که می توان با استفاده از این روش مدیریت فشار، ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵ درصد، توزیع فشار در شبکه را متعادل تر نمود. لازم به ذکر است که تنظیم فشار در این پژوهش به صورت دستی انجام شده و از مدل بهینه سازی استفاده نشده است.

بوستانی و خدشناس (۱۳۹۴) مطالعه ای با هدف نشت یابی در شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار-نشت انجام دادند. این مطالعه بر مبنای الگوریتم تابع هدف کمینه، که براساس رابطه افت فشار و نقاط احتمالی نشت استوار است، اجرا شد. اعتبارسنجی مدل نیز با فرض بهینه یابی حداقل مربعات خطا بین داده های محاسباتی (رابطه فشار-نشت) با داده های مشاهداتی (فرض نشت در گره ها) انجام شد. کد ارائه شده ی آنها توانست به خوبی گره های فرضی دارای نشت و توزیع مقادیر نشت بین گره ها را با کمینه کردن اختلاف فشار مشخص نماید. آنها براساس نتایج اجرای مدل و مقایسه داده های مشاهداتی مبتنی بر روش بهینه یابی و روش های شناسایی نشت مرتبط با تغییرات فشار در شبکه نشان دادند که علاوه بر انتخاب روش مناسب و واسنجی مدل، حتماً بایستی داده های مشاهداتی و ورودی نظیر قرائت فشارسنج ها، الگوی مصرف ناحیه مورد مطالعه و شناسایی حداکثری انشعابات غیرمجاز در بررسی میدانی برای بهبود موقعیت یابی نقطه ای نشت ها در شبکه و تخمین جامع و صحیح مقدار آن ها مدنظر قرار گیرد.

از دیرباز آب به عنوان یکی از مهمترین نیازهای بشر، نقش مهمی را در شکل گیری تمدن های مختلف ایفا کرده است و همواره یکی از مهم ترین دغدغه های انسان ها به شمار می آید. با استناد به مطالعه ای که در سال ۲۰۰۸ توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد انجام شد، برآورد شده است که در سال ۲۰۲۵ جمعیت جهان درگیر تنش های آبی خواهند بود (Thornton و همکاران، ۲۰۰۸). با توجه به نقش حیاتی آب در زندگی و کمبود منابع آب باید سعی شود میزان تلفات آب را به حداقل رساند. برای این منظور با توجه به رابطه متقابل فشار و نشت در شبکه، میزان نشت در هر نقطه را با توجه به فشار موجود می توان کاهش داد (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴). عامل اصلی انتقال آب در سیستم های توزیع آب، اختلاف هد فشاری بین دو نقطه می باشد. فشار بیش از حد استاندارد در سیستم های توزیع آب باعث افزایش شدت نشت و بالا رفتن تعداد حوادث شبکه می شود. از طرفی فشار کمتر از حد استاندارد نیز موجب عدم تأمین کامل تقاضا و یا تأمین نامطلوب آن خواهد شد. همچنین در فشارهای بالا احتمال شکستگی لوله ها، شیرها و تجهیزات افزایش یافته و پایداری سازه ای سیستم های توزیع آب به مخاطره می افتد. از این رو ضروریست که تغییرات فشار در شبکه آب تنها در محدوده استانداردهای مجاز باشد (Tabesh و Zia، ۲۰۰۳).

براساس مطالعات انجام شده در سطح جهانی، نتایج نشان می دهد که حجم قابل توجهی از آب ورودی به سیستم های توزیع آب به صورت نشت هدر می رود. اما با این حال نشت در تمامی سیستم های توزیع آب جهان حتی در سیستم های تازه به بهره برداری رسیده رخ می دهد و نمی توان آن را کاملاً از بین برد (Thornton و همکاران، ۲۰۰۸)؛ ولی می توان با مدیریت مناسب، میزان نشت را در محدوده اقتصادی نگه داشت. برای این منظور طرح مدیریت نشت همواره ذهن مدیران آب را به خود مشغول داشته و مطالعاتی در این زمینه صورت گرفته و همچنان در جریان است (Ulanicki و همکاران، ۲۰۰۸).

بررسی مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه مدیریت نشت نشان می دهد که تلاش های زیادی برای طرح مدل های بهینه مدیریت نشت با استفاده از روش مدیریت فشار در شبکه انجام گرفته است و روش های مختلف ریاضی و بهینه سازی برای استفاده پیشنهاد شده اند. اخیراً محققین با توجه به نوع مسئله به استفاده از الگوریتم های بهینه سازی فراکاوشی روی آورده اند. با توسعه مدل EPANET در سال ۱۹۹۳ توسط روسمن^۲ وابسته به USEPA^۱، مدل سازی کیفیت آب در سامانه های توزیع آب تحت فشار پا به عرصه وجود گذاشت.

Nicolini (۲۰۱۱) و Zovatto و Nicolini (۲۰۰۹) مطالعه‌ای با هدف بهینه‌سازی تعداد، محل و تنظیمات شیرهای کنترل فشار انجام دادند. این روش به صورت یک مسئله بهینه‌سازی دو هدفه، با اهداف حداقل‌سازی تعداد شیرها و حداقل‌سازی مجموعه نشت سیستم و در نظر گرفتن حداقل فشار مورد نیاز گره‌ها به عنوان قید مسئله پیاده شده که برای حل آن از الگوریتم NSGA-II استفاده کردند.

Tavakoli و همکاران (۲۰۱۵) تحقیقی با هدف کنترل بهینه فشار و نشت در یکی از مجتمع‌های آب‌رسانی شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی و به روش مبتنی بر تقاضا (DDSM)^۲ توسط نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی انجام دادند. بدین صورت که با نصب شیر فشارشکن در نقاط بحرانی و تنظیم زمانی آن در جهت تأمین فشار استاندارد در تمام گره‌های شبکه، تأثیر مدیریت هوشمند فشار بر شبکه ارزیابی گردید. نتایج آنها نشان داد که کنترل فشار با استفاده از شیرهای فشارشکن روش مناسبی برای کاهش میزان نشت در شبکه می‌باشد؛ به طوری که با کاهش ۲۶/۴۵ درصدی فشار میانگین،

مقدار ۵۸۹ مترمکعب آب در سال صرفه‌جویی شده و باعث کاهش ۱۹/۳۸ درصد از میزان نشت شد.

جعفری‌اصل (۱۳۹۵) مسئله مدیریت بهینه فشار در جهت مدیریت نشت در شبکه‌های آب را با قرار دادن شیرهای فشارشکن در مسیر جریان و تنظیمات بهینه این شیرها بر روی یک شبکه آب آزمایشی با رویکردی دوفازی که در آن بهینه‌سازی جابجایی شیرها در گام اول و بهینه‌سازی تنظیمات شیرها در گام دوم با استفاده از توانمندی الگوریتم جامعه زنبورهای عسل مصنوعی (ABC)^۳ انجام می‌شود، مورد توجه قرار داد.

در این مطالعه در راستای تکمیل مطالعات گذشته، مسئله مدیریت بهینه فشار در شبکه‌های توزیع آب در جهت حداقل‌سازی نشت با در نظر گرفتن مسائل جابجایی بهینه شیرهای فشارشکن و تنظیمات بهینه شیرها مورد توجه قرار گرفت. برای این منظور از مدل بهینه‌سازی- شبیه‌سازی مبتنی بر الگوریتم CA به عنوان ابزار بهینه‌سازی استفاده شد. در این مدل الگوریتم بهینه‌سازی CA در محیط Matlab با شبیه‌ساز هیدرولیکی مدل EPANET تلفیق شد.

مواد و روش‌ها

• الگوریتم بهینه‌سازی

در این پژوهش مسئله بهینه‌سازی حداقل کردن نشت با استفاده از تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک سیستم توزیع آب مدنظر قرار گرفت. در این مسئله موقعیت قرارگیری شیرها

• الگوریتم فرهنگی

الگوریتم فرهنگی یک شبیه‌سازی از شیوه زندگی انسان‌ها است که اولین بار توسط رینولدز^۴ توسعه داده شد. در جامعه انسان‌ها، یک فضای جمعیت و یک فضا از باورهای این جمعیت وجود دارد. انسان‌ها از باورهایشان تأثیر می‌گیرند و بر باورهایشان تأثیر می‌گذارند. افراد موفق‌تر در جمعیت، الگوی باور به حساب می‌آیند و انسان‌های دیگر سعی می‌کنند با تبعیت از باورهای افراد موفق‌تر به رشد و تعالی برسند. در الگوریتم فرهنگی نیز دو فضا تعریف شده است: فضای جمعیت و فضای باور. فضای جمعیت که در الگوریتم فرهنگی تعریف می‌شود دقیقاً مشابه فضای جمعیت در الگوریتم ژنتیک است؛ یعنی یک فضای کاملاً تصادفی به عنوان فضای جمعیت اولیه در نظر گرفته می‌شود. فضای باور، وجه تمایز بین الگوریتم ژنتیک با الگوریتم فرهنگی است. هر دو فضا به صورت موازی باهم کار می‌کنند و بر روی هم تأثیر می‌گذارند. یک پروتکل

و تنظیمات شیرها تحت شرایط هیدرولیکی متفاوت به عنوان متغیر تصمیم در مسئله لحاظ شدند. در اینجا برای پرهیز از افزایش بیش از حد ابعاد فضای جستجو تنها تنظیمات شیرها در شرایط تقاضای آبی حداکثر، متوسط و حداقل در بردار متغیرهای تصمیم وارد شد. با توجه به ماهیت متغیرهای تصمیم مسئله، از الگوریتم فرهنگی (CA) استفاده شد.

ارتباطی این دو فضا را به هم مرتبط می‌کند.

الگوریتم فرهنگی به صورت زیر عمل می‌کند: در هر نسل ابتدا هزینه اعضای موجود در فضای جمعیت ارزیابی می‌شود. بر اساس این ارزیابی، اعضای که شایستگی تأثیرگذاری بر فضای باور را دارند انتخاب می‌شوند. از تجربیات این اعضا، برای ساختن و تغییر فضای باور استفاده می‌شود. در نتیجه فرهنگی در فضای باور به وجود می‌آید. در مرحله بعد فرهنگ ایجاد شده در فضای باور، بر روی فضای جمعیت تأثیر می‌گذارد. پس از گذشت چند نسل، فضای جمعیت با استفاده از فرهنگ شکل گرفته به سمت جمعیت ایده‌آل، یعنی جمعیتی با هزینه پایین، همگرا می‌شود (Xidong و Reynolds، ۱۹۹۹؛ Keramati و همکاران، ۲۰۱۱).

الگوریتم فرهنگی از سه بخش اصلی تشکیل شده است:

۱- فضای جمعیت:

این فضا در واقع فضای اصلی جمعیت است. الگوریتم فرهنگی

کار خود را با تشکیل یک جمعیت اولیه به صورت کاملاً تصادفی آغاز می کند.

۲- فضای باور:

فضای باور، از تجربیات اعضای بهتر که از فضای جمعیت استخراج شده اند، شکل می گیرد. این تجارب در کلیه نسل ها شکل گرفته و ذخیره می شود. اصول کار الگوریتم فرهنگی بر استفاده از این تجارب برای ایجاد باور می باشد. این باور در نسل های بعدی بر روی فضای جمعیت تأثیر می گذارد. از آنجایی که اعضا موفق تر و بهتر از فضای جمعیت شانس بیشتری برای تأثیرگذاری بر روی فضای باور را دارند، به تدریج نسل های بعدی به سمت بهترین جواب همگرا می شوند. در واقع، در این فضا دور کردن هر ذره در حال جستجو از ناحیه های نامطلوب و هدایت آن ها به سمت ناحیه های نزدیک به جواب انجام می شود.

۳- پروتکل ارتباطی:

الگوریتم فرهنگی نیازمند یک رابط میان جمعیت و فضای باور

است. اعضای بهتر فضای جمعیت می توانند با استفاده از تابع به روزرسانی فضای باور را به روز کنند. همچنین، فضای باور می تواند بر مؤلفه جمعیت اثر بگذارد.

- به طور کلی مراحل الگوریتم فرهنگی به صورت زیر می باشد:
- فضای جمعیت را مقداردهی اولیه کن (جمعیت اولیه به طور تصادفی انتخاب می شود)
- فضای باور را مقداردهی اولیه کن
- موارد زیر تکرار می شود تا به شرایط پایان دادن برسد:
 - ارزیابی فعالیت اعضا در فضای جمعیت
 - ارزیابی هر عضو با استفاده از تابع صلاحیت
 - انتخاب والدین جهت تولید نسل جدید
 - تأثیر فضای باور روی نسل جدید
 - به روز کردن فضای باور با استفاده از تابع پذیرش
- اگر تعداد نسل ها به تعداد از پیش تعیین شده توسط ورودی الگوریتم بود و یا این که بهترین جواب تغییر نکرد، الگوریتم پایان می پذیرد (Keramati و همکاران، ۲۰۱۱).

• مدل شبیه سازی

در این پژوهش برای تحلیل هیدرولیکی از مدل EPANET با توجه به قابلیت های آن استفاده شد. معادلات استفاده شده در این پژوهش به صورت زیر است (معادلات مورد استفاده در پژوهش Nicolini و Zovatto، ۲۰۰۹):

الف- پیوستگی جریان در هر گره (بقاء جرم)

$$\sum_i Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{req,i} - I_{i,k} = 0, \text{ for } i=1, \dots, N, \quad k=1, \dots, N_L \quad (1)$$

در این رابطه $Q_{ij,k}$ مقدار جریان بین گره i و j ، α_k ضریب تقاضای آبی، $Q_{req,i}$ تقاضای آبی متوسط گره i ، $I_{i,k}$ نشت در گره i ، N تعداد گره های سیستم، N_L تعداد کل بازه های زمانی منحنی تغییرات تقاضای آبی و جمع کل دبی های لوله های متصل به گره i را نشان می دهند. لازم به ذکر است که اندیس k نشان دهنده بازه زمانی k ام منحنی تغییرات تقاضای آبی است. ب- افت انرژی در هر یک از لوله ها (قانون بقای انرژی) به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (2)$$

در این رابطه $H_{i,k}$ و $H_{j,k}$ به ترتیب هد در گره های i و j و $h_{ij,k}$ افت انرژی بین گره i و j است. متناسب با نوع ارتباط بین گره i و j ، مقدار افت انرژی می تواند با رابطه مناسب محاسبه گردد. در اینجا روابط زیر در نظر گرفته می شوند:

لوله- رابطه هیزن- ویلیامز در واحد SI:

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} d_{ij}^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (3)$$

که در آن C_{ij} ثابت هیزن- ویلیامز، d_{ij} قطر لوله و $Q_{ij,k}$ مقدار

جریان بین گره i و j و L_{ij} طول لوله بین گره i و j است.

شیر فشارشکن:

$$h_{ij,k} = 10.668 C_{ij}^{-1.852} (u_{ij,k} d_{ij})^{-4.871} L_{ij} Q_{ij,k}^{1.852} \quad (4)$$

که در آن $u_{ij,k}$ ضریب قطر (عددی بین ۰ تا ۱) است که وجود یک شیر در ارتباط بین گره i و j را در بازه زمانی k ام مدل می کند. به طور مشخص، برای تبدیل جمله $u_{ij,k}$ به $V_{ij,k}$ تنظیم یا بازشدگی شیر (از رابطه زیر برای تعیین بازشدگی شیر استفاده می شود):

$$V_{ij,k} = u_{ij,k}^{4.871/1.852} \quad (5)$$

حداقل کردن نشت کل سیستم به عنوان هدف مسئله مورد بررسی در نظر گرفته شده است که به صورت متوسط تلفات حقیقی سیستم در کل بازه های زمانی در نظر گرفته می شود:

$$\min f = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_s} I_{i,k} = \frac{1}{N_L} \sum_{k=1}^{N_L} \sum_{i=1}^{N_s} C_{i,L} L_{i,i} P_{i,k}^V \quad (6)$$

در رابطه فوق N_s نماینده تعداد گره های سیستم است که در آن ها نشت اتفاق می افتد. C_L ضریب ثابتی است که مقدار نشت در واحد طول لوله را به فشار در گره i مرتبط می کند. $P_{i,k}$ مقدار فشار در گره i در بازه زمانی k ام را نشان می دهد. γ ثابت توانی نشت است و $L_{i,i}$ مجموع نصف طول کل لوله های منشعب از گره i است. مهم ترین قید مسئله رعایت حداقل فشار مورد نیاز در گره های شبکه است ($P_{req,i}$) که به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$\text{subject to: } \sum_j Q_{ij,k} - \alpha_k Q_{req,i} - I_{i,k} = 0 \quad (7)$$

$$H_{i,k} - H_{j,k} = h_{ij,k} \quad (8)$$

ANET2 به عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات (DLL) در محیط MATLAB وارد شده و با فراخوانی دستورات لازم، شبکه مورد نظر تحلیل هیدرولیکی می‌گردد. مدل بهینه‌سازی که برای مسئله‌ای با فرمول‌بندی ذکر شده در بخش قبل توسعه داده شد، در محیط MATLAB با تحلیل‌گر هیدرولیکی شبکه تلفیق گردید.

$$P_{i,k} \geq P_{req,i} \quad \text{for } i=1, \dots, N \quad (9)$$

در این رابطه $P_{i,k}$ فشار گره i در بازه زمانی k ام و $P_{req,i}$ حداقل فشار مجاز در گره i ام می‌باشد.

مدل بهینه‌سازی مورد نظر در محیط MATLAB توسعه داده شد. در این مدل برای شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه و تعیین پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز، بخش هیدرولیکی مدل EP-

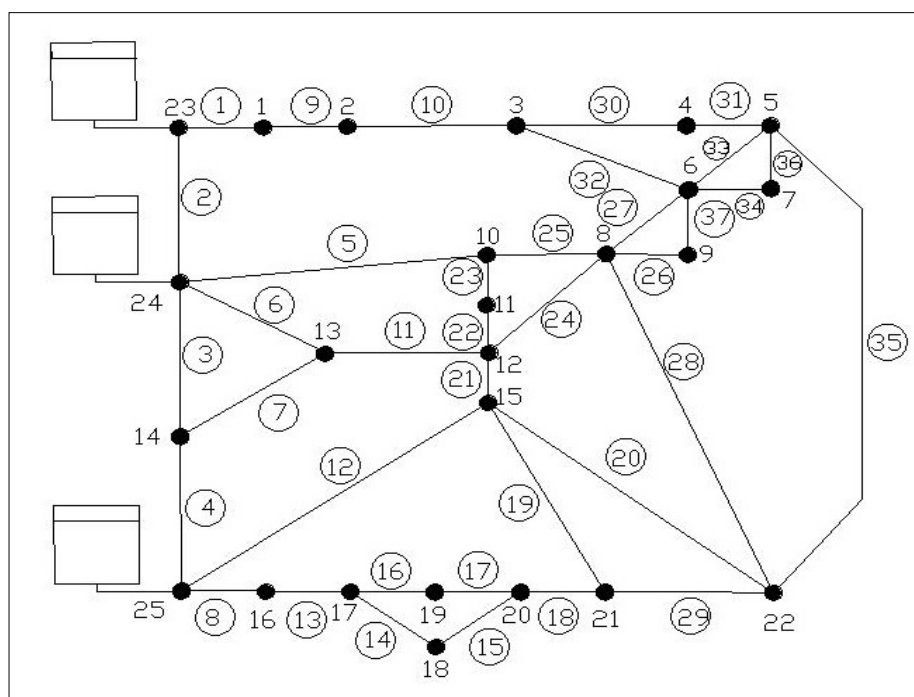
مطالعه موردی

گره‌های مصرفی شبکه گره‌های شماره ۱۹، ۲۲، ۲۱ و ۱۳ برابر ۳۰ متر تعیین شده است. سایر گره‌های فشار می‌تواند از حداقل ۳۰ متر تختی کند. تعداد شیرها برابر ۵ عدد در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات مخازن شبکه

شماره گره	سطح حداکثر (متر)	سطح متوسط (متر)	سطح حداقل (متر)
۲۳	۵۶	۵۴/۶۶	۵۴/۵
۲۴	۵۵/۵	۵۴/۶	۵۴/۵
۲۵	۵۵/۵	۵۴/۵	۵۴

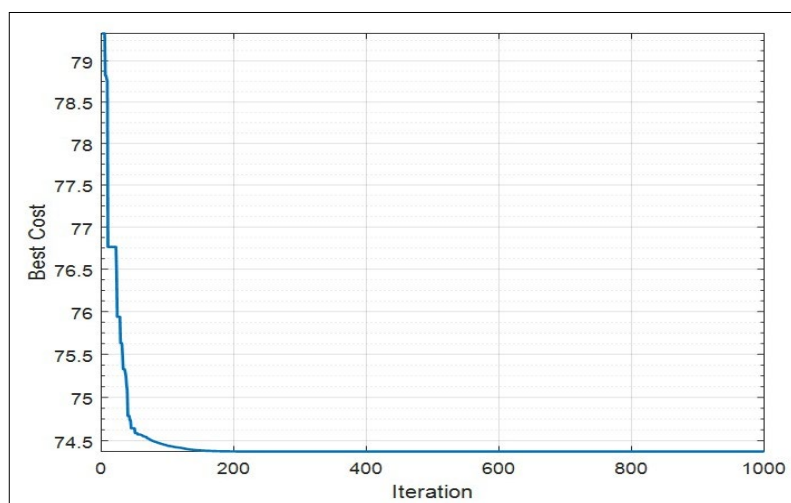
با حل مسئله بهینه‌سازی، جانمایی و تنظیمات شیرهای فشارشکن در یک سیستم توزیع آب آزمایشی که قبلاً توسط Zovatto و Nicolini (۲۰۰۹) نیز مورد توجه قرار گرفته است، بررسی شد. شبکه مورد مطالعه شامل ۲۵ گره، سه مخزن و ۳۷ خط لوله است. متوسط مصرف آب در شبکه ۱۵۵ لیتر در ثانیه است (شکل ۱). توان رابطه نشت برابر $1/18 = \gamma$ و تراز آب در مخازن مطابق جدول (۱) ثابت و برابر تراز نرمال در نظر گرفته شده است. حداقل فشار قابل قبول برای



شکل ۱- شبکه مورد مطالعه

با استفاده از مدل تهیه شده مبتنی بر الگوریتم CA جامایی و تنظیمات بهینه شیرهای فشارشکن انجام شد. برای بررسی توانایی مدل، مدل ۴ بار مورد آزمایش قرار گرفت. تعداد تکرارهای حلقه الگوریتم CA در هر یک از این آزمایش‌ها برابر

۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. شکل (۲) شمایی از حرکت بهترین عضو هر نسل به سمت پاسخ بهینه را در حلی که منجر به بهترین پاسخ شده است نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان گفت همگرایی در ۱۰۰ تکرار اول نشان دهنده‌ی توان جستجوی عمومی خوب و عدم موفقیت در یافتن پاسخ‌های بهتر در ادامه نشان‌دهنده جستجوی محلی ضعیف می‌باشد.



شکل ۲- شمایی از حرکت بهترین عضو هر نسل به سمت پاسخ بهینه

مکان بهینه و تنظیمات بهینه بدست آمده در حل بهینه در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین مقدار نشت در شبکه قبل از جامایی شیرهای فشار شکن و بعد از جاگذاری شیرهای

فشار شکن، در شرایط تقاضای آبی حداکثر (Load۱)، متوسط (Load۲) و حداقل (Load۳) در حل بهینه مسئله توسط مدل بهینه‌سازی نیز در جدول شماره (۳) ارائه شده است.

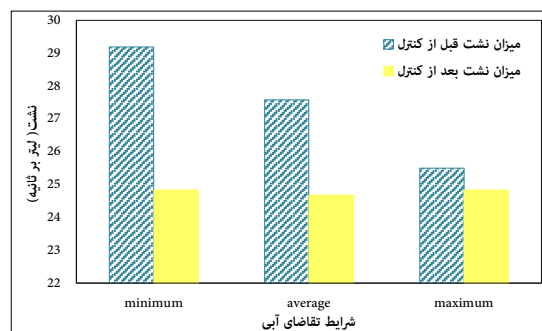
جدول ۲- جامایی و تنظیمات بهینه شیرهای کنترل فشار (میزان بازشدگی شیر برحسب درصد)

شماره لوله‌های انتخابی برای جامایی شیر فشارشکن	۱۹	۲۲	۲۷	۳۲	۳۷
تنظیمات یا بازشدگی شیر (%) برای Load۱	۱	۱	۰	۷۷	۴۱
تنظیمات یا بازشدگی شیر (%) برای Load۲	۲	۲۹	۰	۰	۰
تنظیمات یا بازشدگی شیر (%) برای Load۳	۲۹	۸۴	۲۹	۰	۹۸

جدول ۳- میزان نشت متوسط در شبکه قبل از کنترل و بعد از کنترل (لیتر بر ثانیه)

قبل از کنترل	پس از کنترل	
۲۹/۲	۲۴/۸۴	۱ Load
۲۷/۵۸	۲۴/۶۸	۲ Load
۲۵/۵	۲۴/۸۳	۳ Load
۸۲/۲۸	۷۴/۳۵	مجموع نشت متوسط شبکه

همچنین شکل (۳) نمودار میزان نشت قبل از کنترل و بعد از کنترل را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار میزان نشت قبل از کنترل و بعد از کنترل

چنانکه ملاحظه می‌شود میزان نشت متوسط در سه دوره شرایط تقاضای حداکثر، متوسط و حداقل تقریباً به میزان ۱۰ درصد کاهش یافته است که نشان می‌دهد روش ارائه شده در تنظیم سطح فشار برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق بوده است. همانطور که بیان شد Nicolini و Zovatto (۲۰۰۹) برای تعیین جامع‌ای بهینه شیرهای فشارشکن از الگوریتم GA با فرمول‌بندی مشابه آنچه در این پژوهش استفاده شده است، استفاده کردند و بهترین پاسخ برابر ۶۸/۸۵ لیتر در ثانیه به دست آمد. در مقایسه این دو روش نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم GA در تعداد دفعات تکرار و تعداد جمعیت برابر نسبت به CA به پاسخ بهتری می‌رسد.

بهترین پاسخ‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک نسبت به CA عملکرد بهتری داشته است. پس نوآوری در این پژوهش در قالب برتری یک روش جدید وجود نداشته است.

پی‌نوشت

- 1- Cultural Algorithm
- 2- Rossman
- 3- United States Environmental Protection Agency
- 4- Demand Driven Simulation Method
- 5- Artificial Bee Colony
- 6- Reynolds
- 7- Dynamic Link Library

شبکه آب تحت فشار بر مبنای رابطه فشار- نشت (ارائه کد بهینه‌یابی نشت). نشریه آب و توسعه پایدار، ۲(۱): ۵۹-۶۶.

Araujo L.S., Ramos H. and Coelho S.T. 2006. Pressure control for leakage minimisation in water distribution systems management. Water Resources Management, 20(1): 133-149.

Xidong J. and Reynolds R.G. 1999. Using knowledge-based evolutionary computation to solve nonlinear constraint optimization problems: a cultural algorithm approach. Evolutionary Computation-CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on, 6-9 July. Washington, DC, USA, USA. IEEE.

Keramati A., Hosseini M., Darzi M. and Liaei A.A. 2011. Cultural algorithm for feature selection. In

نتیجه‌گیری

کاهش نشت یکی از راه‌های کاهش تلفات در شبکه‌های آب است. از میان همه عواملی که بعد از جاگذاری لوله‌ها بر کاهش نشت تأثیرگذار هستند تنها فشار شبکه می‌باشد که قابل کنترل است. راه‌های متعددی برای کنترل فشار در شبکه وجود دارد که می‌توان به‌عنوان مثال استفاده از شیرهای فشارشکن در شبکه را نام برد. در این پژوهش از شیرهای فشارشکن با قابلیت تنظیم زمانی برای کاهش اضافه فشار استفاده شده است. استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی CA در کاهش نشت در تنظیم سطح فشار برای حداقل کردن نشت در شبکه موفق بوده است. مسئله مورد بررسی در پژوهش‌های پیشین توسط الگوریتم ژنتیک نیز مورد بهینه‌سازی قرار گرفته است. مقایسه

منابع

جعفری اصل، ج. ۱۳۹۵. کنترل بهینه فشار در جهت حداقل‌سازی نشت در مدیریت سیستم‌های توزیع آب با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فراکاوشی. رساله‌ی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج.

سلطانی اصل، م. و فغفور مغربی، م. ۱۳۸۸. مدیریت هوشمند فشار به منظور کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد. م. آب و فاضلاب، ۳: ۹۹-۱۰۴. کارآموز، م.، تابش، م.، نظیف، س. و مریدی، ع. ۱۳۸۴. پیش‌بینی فشار در شبکه‌های آبرسانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و استنتاج فازی. مجله آب و فاضلاب، ۵۳: ۳-۱۴. بوستانی، آ. و خداشناس، س. ۱۳۹۴. بررسی روش نشت‌یابی در

Tehran.

- Tabesh M. and Zia A. 2003. Dynamic Management of Water Distribution System Networks Based on Hydraulic Performance Analysis of System. *Water Science and Technology*, 3 (1-2): 5-102
- Tavakoli R., Golkar R.H. and Tavoosi M. 2015. pressure management to reduce leaks in water supply networks. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5(S4): 795-802.
- Thornton J.S., Sturm R. and Kunkel G. 2008. *Water Loss Control (Second Edition)*, Mc Graw Hill.
- Ulanicki B., AbdelMeguid H., Bounds P. and Patel R. 2008a. Pressure control in district metering areas with boundary and internal pressure reducing valves. 10th International Water Distribution System Analysis conference, WDSA2008, The Kruger National Park, South Africa.
- Data Mining and Intelligent Information Technology Applications (ICMiA). 3rd International Conference on IEEE.
- Nicolini M. 2011. Optimal pressure management in water networks: Increased efficiency and reduced energy costs. *Defense Science Research Conference and Expo (DSR)*, IEEE, Singapore, 1-4.
- Nicolini M. and Zovatto L. 2009. Optimal location and control of pressure reducing valves in water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(3): 178-187.
- Tabesh M. and S. Hoomehr. 2007. Consumption management in water distribution systems by optimizing pressure reducing valves setting using genetic algorithm. *Center of Excellence for Engineering and Management of Infrastructure*, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran. Po Box 11155-4563.

Investigation of the Effects of Aquifer Management on the Physical and Chemical Changes of the Soil Properties

H. Moslemi

Master of Natural Resources Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Sirjan, Iran.

Email: hamidmoslemi65@gmail.com

Received: 27-01-2017

Accepted: 12-04-2017

مروری بر تأثیر طرح‌های آبخوانداری بر روند تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک

حمید مسلمی

کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات سیرجان.

E-Mail: hamidmoslemi65@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

Presently, floodwater spreading schemes are used as aquifer management projects in the country. In these projects, spreading a large volume of floods containing salts and suspended loads over the spreading network, may lead to differences in soil salinity and alkalinity. Therefore, it is necessary to study the amount and the trend of these differences over time in order to produce a suitable method to increase the utility of such designs. In this research, the results of 40 studies on the effects of spreading floodwater on the soil properties were evaluated. In general, studies show the improvement of the quality of some of the soil physical and chemical properties due to the floodwater spreading. These effects include: more balanced soil texture and soil moisture conditions, improved soil physical and chemical conditions, increase in some of the soil elements and consequently an increase in soil fertility compared to pre-construction floodwater spreading system, reduced infiltration, and providing suitable conditions for the growth of pasture plants and planted seedlings and consequently changing the ecological landscape of these areas.

Keywords: Floodwater spreading, Physical and chemical properties, Infiltration.

چکیده

در حال حاضر در مناطقی از کشور سامانه‌های پخش سیلاب به‌عنوان پروژه‌های آبخوانداری در حال اجرا و بهره‌برداری می‌باشد، در این پروژه‌ها، حجم زیادی از سیلاب با محتوای املاح و بار معلق در سطح زمین، به مرور زمان می‌تواند سبب تغییراتی در بعضی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک گردد. با توجه به این‌که برآیند نتایج حاصل از پروژه‌های پخش سیلاب در نقاط مختلف متفاوت است، ضرورت دارد میزان این تغییرات و روند آن در طول زمان بررسی گردد و با استفاده از نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده روش مناسبی در راستای افزایش بهره‌وری این طرح‌ها ارائه شود. در این مقاله نتایج ۴۰ تحقیق در مورد تأثیرات پخش سیلاب بر خصوصیات خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. درمجموع، بررسی‌ها نشان‌دهنده بهبود کیفیت برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر پخش سیلاب است. این وضعیت شامل متعادل‌تر شدن بافت و شرایط رطوبتی خاک، اصلاح وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش برخی عناصر و در نتیجه افزایش حاصل‌خیزی خاک نسبت به وضعیت قبل از اجرای عملیات پخش سیلاب و کاهش نفوذپذیری و ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاهان مرتعی و نهال‌های کاشته شده و در نتیجه تغییر چشم‌انداز این مناطق از لحاظ اکولوژیکی است.

واژه‌های کلیدی: پخش سیلاب، خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، نفوذپذیری.

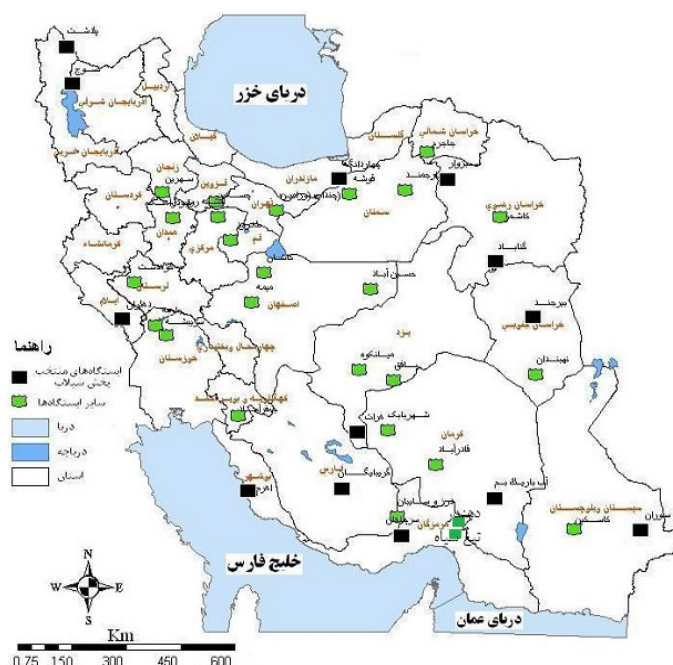
سبب افزایش حاصل خیزی خاک و بهبود ساختمان خاک گردد، که این موضوع تا زمان مشخصی ادامه یافته ولی به مرور زمان روند تخریبی آن آغاز خواهد شد. بنابراین نتایج حاصل از پخش سیلاب در نقاط مختلف متفاوت بوده و ضرورت دارد میزان تغییرات و روند آن در طول زمان بررسی شده و با استفاده از نتایج بررسی های به عمل آمده روش مناسبی در جهت افزایش بهره‌وری این طرح‌ها ارائه گردد. به منظور بررسی نکات قابل توجه و شناخت مسائل و مشکلات موجود در اجرای طرح‌های تحقیقاتی تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک، لزوم توجه به روش کار، عملکرد و نتایج حاصله در تحقیقات اجرا شده پیشین ضروری به نظر می‌رسد. به دنبال احداث ایستگاه‌های تحقیقاتی، آموزشی و ترویجی پخش سیلاب بر آبخوان‌ها در سطح کشور، رفتارسنجی و پایش عوامل مختلف از جمله پایش خصوصیات خاک نیز در دستور کار قرار گرفته است. بررسی سوابق موجود نشان می‌دهد که طی سال‌های گذشته در نقاط مختلف کشور، طرح‌های تحقیقاتی مرتبط با موضوع اجرا شده و یا در دست اجرا می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات احداث پروژه‌های پخش سیلاب بر خصوصیات خاک در مناطق مختلف می‌باشد.

یا مقالات مستخرج از آن‌ها)، شاخص‌هایی همچون مدت زمان اجرای طرح، تعداد دفعات سیل‌گیری، محل‌ها، شیوه و عمق نمونه‌برداری و نتایج حاصله، همچنین میزان دستیابی به هدف مورد توجه قرار گرفته است. نتایج بررسی‌های انجام شده در سه دهه گذشته در داخل کشور و خارج کشور در سه محور اصلاح و بهبود وضعیت بافت خاک، تغییر کیفیت شیمیایی و فیزیکی خاک و تغییر در میزان نفوذپذیری خاک در داخل کشور، مورد بررسی قرار می‌گیرد (جدول ۲ و ۳).

اهمیت پخش سیلاب در ارتباط با منابع خاکی بیشتر از آن جهت است که ته‌نشینی مواد معلق بر روی اراضی آبرفتی جوان، آن‌ها را به زمین‌های بارور تبدیل نموده و موجب رونق کشاورزی می‌شود. به‌طوری‌که اهمیت رسوب‌گیری در شبکه‌های پخش سیلاب بیش از نقش آب بیان شده است؛ زیرا رسوب‌گیری تغییرات زیادی را از نظر ویژگی‌های خاک و اراضی، و رطوبت قابل استفاده و تغذیه آب زیرزمینی به وجود می‌آورد. در حال حاضر در بسیاری از نقاط ایران طرح‌های بهره‌وری از سیلاب و تغذیه آبخوان‌ها به مرحله اجرا یا بهره‌برداری درآمده است. در این طرح‌ها ورود حجم زیادی از سیلاب حاوی بار معلق فراوان با منشأهای متفاوت، از یک طرف با بر جا گذاشتن رسوبات فراوان و از سویی دیگر با ته‌نشست رسوبات ریزدانه همراه با سیلاب‌های نفوذی در آبرفت‌ها به مرور زمان سبب تغییراتی در خصوصیات خاک می‌گردد. لذا به نظر می‌رسد با گذشت زمان این طرح‌ها کارایی خود را از دست بدهند و از طرفی دیگر در خاک‌های با حاصل خیزی کم‌تر و بافت درشت، رس موجود در سیلاب ممکن است

پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور

پخش سیلاب به شیوه علمی برای اولین بار در ایران، در ایستگاه تحقیقات پخش سیلاب (گر بایگان- فسا) در عرصه‌های بیابانی توسط کوثر به اجرا درآمد و تاکنون در بسیاری از نقاط ایران طرح پخش سیلاب مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (جدول ۱ و شکل ۱). با بررسی بیش از ۵۰ عنوان طرح تحقیقاتی مختلف داخلی (پایان‌نامه و



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های پخش سیلاب در سطح کشور

جدول ۱- اسامی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و عرصه‌های پخش سیلاب در کشور

ردیف	نام پخش سیلاب - استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	سال احداث	مساحت (هکتار)
۱	گربایگان- فارس	۵۳ ۵۷ تا ۵۳ ۵۳	۲۸ ۴۱ تا ۲۸ ۳۵	۱۳۶۱	۲۵۰۰
۲	اهرم (تنگستان)- بوشهر	۵۱ ۱۷ تا ۵۱ ۱۵	۲۹ ۱۶ تا ۲۷ ۵۵	۱۳۷۴	۱۲۶۰
۳	بافق- یزد	۵۵ ۴۶ تا ۵۴ ۴۶	۳۱ ۴۳ تا ۳۱ ۳۵	۱۳۷۴	۳۱۶
۴	آب باریک بم- کرمان	۵۷ ۴۳ تا ۵۷ ۲۳	۲۸ ۳۴ تا ۲۸ ۲۴	۱۳۷۵	۴۰۰۰
۵	سراوان- سیستان و بلوچستان	۶۱ ۴۲ تا ۶۱ ۳۸	۲۷ ۳۳ تا ۲۷ ۳۰	۱۳۷۵	۱۶۷۷
۶	سرچاهان- هرمزگان	۵۵ ۵۳ تا ۵۵ ۵۲	۲۸ ۰۱ تا ۲۷ ۵۷	۱۳۷۵	۲۰۰۰
۷	گناباد- خراسان رضوی	۵۸ ۲۷ تا ۵۸ ۲۳	۳۴ ۱۷ تا ۳۴ ۰۲	۱۳۷۵	۱۶۰۰
۸	سبزوار- خراسان رضوی	۵۷ ۱۷ تا ۵۷ ۱۱	۳۶ ۲۶ تا ۳۶ ۱۳	۱۳۷۵	۲۳۰۰
۹	کاشمر- خراسان رضوی	۵۸ ۵۰ تا ۵۸ ۳۰	۳۵ ۲۴ تا ۳۵ ۱۲	۱۳۷۵	۳۰۰۰
۱۰	بیرجند- خراسان جنوبی	۵۹ ۴۵ تا ۵۹ ۱۵	۳۲ ۵۵ تا ۳۲ ۳۵	۱۳۷۵	۵۰۰۰
۱۱	موغار - اصفهان	۵۲ ۱۰ تا ۵۲ ۰۸	۳۰ ۳۳ تا ۳۰ ۳۰	۱۳۷۵	۳۰۰
۱۲	میانکوه- یزد	۵۴ ۲۵ تا ۵۴ ۰۰	۳۱ ۴۳ تا ۳۱ ۲۶	۱۳۷۵	۲۷۰
۱۳	هرات- یزد	۵۵ ۳۰ تا ۵۵ ۱۲	۳۱ ۳۳ تا ۳۱ ۰۳	۱۳۷۵	۴۰۴
۱۴	کوه‌دشت- لرستان	۴۷ ۵۱ تا ۴۷ ۴۳	۳۳ ۳۵ تا ۳۲ ۳۲	۱۳۷۵	۱۵۰
۱۵	جارمه - خوزستان	۴۸ ۲۶ تا ۴۸ ۰۰	۳۲ ۳۹ تا ۳۲ ۳۰	۱۳۷۵	۷۰۰
۱۶	تاسران- همدان	۴۸ ۴۰ تا ۴۸ ۳۸	۳۵ ۱۹ تا ۳۵ ۰۷	۱۳۷۵	۳۹۰
۱۷	تسوج- آذربایجان شرقی	۴۵ ۳۳ تا ۴۵	۳۸ ۲۴ تا ۳۸ ۱۵	۱۳۷۵	۳۰۰۰
۱۸	چهاردانگه پشتکوه - مازنداران	۵۳ ۵۸ تا ۵۳	۳۶ ۲۴ تا ۳۶ ۰۰	۱۳۷۵	۳۰۰
۱۹	سهرین- زنجان	۴۸ ۲۶ تا ۴۸ ۱۵	۳۶ ۵۰ تا ۳۵ ۴۸	۱۳۷۵	۲۳۵
۲۰	بیارجمند (شاهرود) - سمنان	۵۵ ۴۸	۳۶ ۰۴	۱۳۷۵	۵۰۰
۲۱	گچساران- کهگیلویه و بویراحمد	۵۲ ۰۴ تا ۵۱ ۳۰	۳۰ ۲۲ تا ۳۰ ۲۱	۱۳۷۵	۵۵۰
۲۲	چن‌داب ورامین- تهران	۵۲ ۴۷ تا ۵۱ ۲۵	۳۵ ۲۹ تا ۳۵ ۲۲	۱۳۷۵	۲۰۰۰
۲۳	دهلران- ایلام	۴۷ ۴۲ تا ۴۷ ۲۵	۳۲ ۲۵ تا ۳۲ ۲۷	۱۳۷۵	۵۲۰۰
۲۵	جاجرم- خراسان شمالی	۵۶ ۲۰ تا ۵۶ ۱۵	۳۶ ۵۷ تا ۳۶ ۵۶	۱۳۷۶	۳۶۰
۲۶	فتح آباد داراب- فارس	۵۴ ۵۱ تا ۵۴ ۴۵	۲۸ ۴۰ تا ۲۸ ۳۵	۱۳۷۶	۱۲۰
۲۷	طغروند- قم	۵۰ ۲۸	۳۴ ۴۴	۱۳۷۶	۴۰۰
۲۸	نهبندان- خراسان جنوبی	۵۹ ۴۵ تا ۵۹	۳۰ ۰۵ تا ۳۱	۱۳۷۶	۳۶۰۰
۲۹	پلدشت- آذربایجان غربی	۴۵ ۱۰ تا ۴۴ ۴۵	۳۹ ۱۵ تا ۳۹ ۰۰	۱۳۷۶	۱۰۲۴
۳۰	قومشه- سمنان	۵۴ ۰۴	۳۵ ۴۵	۱۳۷۷	۷۵۰
۳۱	میهم قروه- کردستان	۳۵ ۴۲۹ تا ۳۵ ۰۰	۴۷ ۵۵ تا ۴۷ ۴۶	۱۳۷۷	۵۸
۳۲	هفتومان (خور و بیابانک)- اصفهان	۵۴ ۴۴ تا ۵۴ ۴۳	۳۳ ۳۵ تا ۳۳ ۳۴	۱۳۷۸	۳۰۰۰
۳۳	قادرآباد، بافت-کرمان	۵۶ ۳۸	۲۸ ۲۴	۱۳۸۱	۱۰۰۰
۳۴	میمند شهربابک- کرمان	۵۵ ۲۰	۳۰ ۰۸	۱۳۸۲	۱۱۰۰
۳۵	دشت ذهاب- کرمانشاه	۴۵ ۵۰ تا ۴۵ ۴۸	۳۸ ۳۳ تا ۳۸ ۲۹	۱۳۸۴	۳۹۰
۳۶	دهندر، هشتبندی - هرمزگان	۵۷ ۳۱	۲۷ ۱۰	۱۳۸۴	۴۵۰
۳۷	بندعلیخان ورامین- تهران	۵۱ ۴۲ تا ۵۱ ۳۴	۳۵ ۰۴ تا ۳۴ ۵۳	۱۳۸۷	۸۰۰

جدول ۲- پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۱	اسدی (۱۳۷۷)	ماهان (کرمان)	نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار سیلت در رسوبات وارده به عرصه اختلاف فاحشی با خاک عرصه پخش داشته و همچنین مقدار رس در رسوبات وارده به عرصه قدری نسبت به خاک بستر عرصه پخش بالاتر بوده و این مطلب نویدبخش این خواهد بود که در درازمدت حمل و نهشته شده این رسوبات در سطح می‌تواند در تعدیل ساختار فیزیکی خاک عرصه پخش تأثیر مثبت و قابل توجهی داشته باشد. منطقه مورد استفاده برای پخش سیلاب دارای بافت باز شنی بوده و دارای ۶۰-۸۰ درصد سنگریزه در سطح و عمق می‌باشد. همچنین مقدار درصد اشباع با آب رسوبات وارده ۵۰-۶۰ درصد افزایش نسبت به خاک عرصه پخش نشان داده است. مقدار کربن آلی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز در رسوبات نسبت به خاک بستر افزایش داشته است.
۲	Naderi و همکاران (۲۰۰۰)	گریباگان	پخش سیلاب منجر به کاهش درصد شن و افزایش درصد سدیوم تبدلی شد. همچنین بین عرصه‌های پخش و شاهد تفاوت معنی‌داری از نظر مواد آلی، ازت کل، فسفر، درصد اشباع آب، ظرفیت تبادل کاتیونی و مجموع رس و سیلت وجود داشت ($P < 0.05$).
۳	قضاوی و ولی (۱۳۸۱)	فتح‌آباد داراب	بیانگر وجود تأثیر معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد بین همه فاکتورهای اندازه‌گیری شده در مناطق شاهد و پخش سیلاب می‌باشد و مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد تغییر مربوط به قسمتی از منطقه پخش سیلاب است که در مجاورت اولین کانال پخش قرار دارد و هر چه از اولین کانال پخش دور شویم تفاوت این خصوصیات کمتر می‌شود، به طوری که در منطقه سیل‌گیر مجاور این کانال پخش همه فاکتورها دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد با منطقه شاهد می‌باشد، ولی در منطقه سیل‌گیر مجاور کانال پخش پنجم هیچ‌یک از فاکتورهای مطالعه شده تفاوت معنی‌داری با منطقه شاهد نشان نمی‌دهد.
۴	رهبر و کوثر (۱۳۸۱)	گریباگان	با بررسی تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک، بهبود شرایط حاصل‌خیزی شامل افزایش عناصر کم‌مصرف آهن، مس، منگنز، روی و عناصر پرمصرف، مواد آلی و اسیدیته خاک را گزارش نموده‌اند.
۵	فخری (۱۳۸۲)	تنگستان استان بوشهر	عدم تغییر در تخلخل کل خاک و نیز معنی‌دار نبودن میزان هدایت الکتریکی، واکنش خاک، نسبت جذب سدیوم، ماده آلی و آهک و همچنین افزایش درصد رس و سیلت و بالا رفتن درصد اشباع خاک را از نتایج تحقیق خود دانسته و موارد فوق را دلیلی برای بهبود شرایط رطوبتی و حاصل‌خیزی خاک و تأثیر مثبت پخش سیلاب معرفی کردند.
۶	گودرزی و شریعتی (۱۳۸۲)	قوشه - دامغان - سمنان	افزایش میزان سیلت، مواد آلی و درصد اشباع، آنیون کلر، ازت کل خاک و فسفر خاک، میزان رس، قابلیت هدایت الکتریکی خاک، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیوم و پتاسیم معنی‌دار دانستند همچنین اثر پخش سیلاب بر کاهش میزان نسبی شن و اسیدیته معنی‌دار بود ولی در مقدار آهک، ظرفیت تبادل کاتیونی و پتاسیم قابل جذب خاک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.
۷	مهدیان و همکاران (۱۳۸۲)	قوشه دامغان سمنان	در یافتند که درصد ماسه خاک عرصه نسبت به شاهد ۲ برابر کاهش و درصد سیلت و رس هر یک به ترتیب ۲/۳ و ۱/۹ برابر افزایش یافته است. بررسی خواص شیمیایی خاک نیز حاکی از آن است که اسیدیته تغییر ناچیزی داشته، شوری افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته، لیکن مقادیر منیزیم و کلسیم در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد ۲ برابر افزایش و مقدار سدیوم، ۲ برابر کاهش داشته است. در مجموع پس از ۵ مرحله سیل‌گیری، متوسط ضخامت رسوب در عرصه در حدود ۹ سانتی‌متر بوده که این خود باعث شده تا سرعت نفوذ آب به داخل خاک عرصه نسبت به شاهد در حدود ۹/۶ برابر کاهش داشته باشد.
۸	دولتی (۱۳۸۶)	جهان‌آباد تربت‌جام	نتیجه گرفت که درصد هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک و شن در منطقه پخش سیلاب کاهش معنی‌داری داشته و مقدار مواد آلی، فسفر، پتاسیم، ازت و درصد رس افزایش معنی‌داری می‌یابد.
۹	لطف‌الله‌زاده و همکاران (۱۳۸۶)	سرچاهان استان هرمزگان	نتایج نشان داد که درصد شن در خاک مناطق متأثر از سیل کم‌تر و درصد سیلت و رس در آن بیش‌تر از دو منطقه دیگر می‌باشد.
۱۰	Soleimani (۲۰۰۶)	دشت موسیان ایلام	در یافتند که مقدار ماسه و سیلت به ترتیب ۸۴/۲ و ۱۰/۹ درصد در منطقه شاهد به ۷۹/۷ و ۱۴/۶ درصد در منطقه پخش در سطح ۰/۰۱ تغییر معنی‌داری داشته، اما افزایش درصد رس از ۲۲/۹ به ۲۴/۵ درصد در این سطح احتمال معنی‌دار نبوده است. همچنین کربن آلی و نیتروژن کل خاک در عرصه پخش سیلاب بیشتر از منطقه شاهد بوده ولی تغییرات EC، pH و همچنین پتاسیم قابل دسترس معنی‌دار نبوده است.

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۱۱	گودرزوند چگینی و گمرکچی (۱۳۸۶)	شهید بحری (چسکین) قزوین	برای بررسی وضعیت نفوذپذیری خاک اقدام به انجام آزمایش نفوذپذیری با استفاده از اندازه‌گیری به روش استوانه مضاعف در دونقطه از شبکه B عرصه پخش سیلاب و در دو مقطع زمانی قبل از پخش سیلاب و بعد از پخش سیلاب شد و نتایج تحقیق بیانگر کاهش نفوذپذیری خاک از ۱۴۰ میلی‌متر در ساعت به ۷۹ میلی‌متر در ساعت، بعد از وقوع سیلاب می‌باشد که معضلی برای تغذیه آبخوان به روش پخش سیلاب می‌باشد.
۱۲	محمدیان و کرمان (۱۳۸۸)	داوود رشید، کوه‌دشت- لرستان	بیان نمودند که افزایش درصد ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در سطح ۵ درصد در منطقه تحت تأثیر سیلاب معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان از معنی‌دار نبودن درصد رس و شن خاک دو عرصه دارد.
۱۳	خلیلی و همکاران (۱۳۸۹)	کفدهک خرامه در استان فارس	در این مطالعه سه نوار اول عرصه پخش سیلاب که بیشترین میزان ظرفیت جذب آب را داشته انتخاب و در هر نوار ۳ نقطه از سیستم پخش سیلاب و ۱ نقطه از سیستم شاهد به عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد و نمونه‌های خاک از اعماق ۱۰-۲۰ و ۲۰-۳۰ سانتی‌متری برداشته شد. مقایسه نتایج به دست آمده با استفاده از آزمون LSD 0.05 نشان داد که معنی‌داری در فسفر و پتاسیم محلول، درصد ماده آلی، درصد ازت کل، درصد کربنات کلسیم، pH و هدایت الکتریکی در بین عرصه پخش سیلاب و شاهد وجود ندارد، اما نتایج نشان داد که سیلت در عرصه پخش سیلاب به طور معنی‌داری بیش‌تر از عرصه شاهد می‌باشد، همچنین مشاهده شد که درصد شن در عرصه پخش سیلاب به طور معنی‌داری کوچک‌تر از عرصه شاهد می‌باشد.
۱۴	مروجی (۱۳۸۹)	باغ سرخ اصفهان	نتایج نشان داد که بافت خاک در اراضی تحت پخش سیلاب نسبت به شاهد ریزتر بوده و درصد سیلت و رس خاک افزایش یافته است. همچنین درصد اشباع خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، در اراضی تحت پخش سیلاب بیش از اراضی خارج از محدوده پخش سیلاب می‌باشد. نفوذپذیری در عرصه پخش سیلاب به طور معنی‌داری کاهش یافته است. هدایت الکتریکی، میزان pH، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول مانند کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، میزان کربنات کلسیم و نسبت جذب سدیم تغییر چندانی نشان نداد. درصد مواد آلی، میزان فسفر، میزان آمونیوم و نترات و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر پخش سیلاب افزایش یافته است.
۱۵	شمس‌المعالی و همکاران (۱۳۹۰)	چنداب ورامین	نتایج به دست آمده نشان داد که رسوبات ریزدانه (سیلت و رس) در بخش سطحی خاک تمرکز می‌یابند. مشخص شد عملیات پخش سیلاب موجب تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله بافت خاک می‌شود. همچنین روند کاهش سرعت نفوذپذیری از ابتدای عرض باند پخش سیلاب به انتهای عرض باند و روند افزایش سرعت نفوذپذیری از ابتدای عرصه پخش سیلاب به انتهای عرصه نیز اختلافات شدیدی را نشان می‌دهد. بنابراین شدت نفوذپذیری در ردیف اول نسبت به عرصه شاهد در حدود ۵۰ درصد و در باند سوم در حدود ۲۵ درصد و در کل عرصه در حدود ۴۲ درصد کاهش داشته است. سرعت نفوذ در باند اول نسبت به عرصه شاهد در حدود ۷۳ درصد و در باند سوم ۳۱ درصد و در کل عرصه حدود ۵۲ درصد کاهش داشته است. با توجه به مقایسه مقدار رس در نقطه شاهد و عرصه پخش سیلاب باید این نکته را یادآوری شود که رسوبات موجود در سیلاب‌های دشت ورامین در سطح خاک باقی می‌مانند و باعث تشکیل سله سطحی و حتی نفوذ این ذرات به سطوح پایین‌تر شده و در نفوذپذیری خاک عرصه، تأثیر منفی دارد.
۱۶	جوادی و محمودی میان‌آبادی (۱۳۹۰)	جاجرم	به این نتیجه رسیدند که میانگین درصد رس، سیلت، خاک اشباع، کربن آلی و همچنین میزان هدایت الکتریکی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب دارای افزایش معنی‌دار و درصد ماسه و اسیدپته دارای کاهش معنی‌دار در مناطق تحت اجرا نسبت به مناطق شاهد بوده است.
۱۷	باقری و همکاران (۱۳۹۰)	دلیجان	نتایج نشان می‌دهد که در بین کانال‌های پخش اختلاف معنی‌داری از نظر نفوذپذیری مشاهده نگردیده است و مقایسه مناطق شاهد نسبت به عرصه پخش سیلاب نشان می‌دهد که اثر پخش سیلاب در میزان نفوذپذیری در سطح یک در صد کاهش معنی‌داری داشته است.
۱۸	دودکانلوی میلان (۱۳۹۰)	سینی و برجونی شهرستان لردگان	برای بررسی این تغییرات، هفت پشته اول عرصه که بیشترین آبگیری را داشته انتخاب و با استفاده از سیستم شبکه‌بندی مبادرت به نمونه‌برداری کرد، تیمارها شامل محل‌های متأثر از سیل و رسوب، سیل و فرسایش رسوب و منطقه فاقد سیل و رسوب می‌باشد. نتایج حاکی از افزایش میزان ماده آلی ($p > 1\%$)، سنگین شدن بافت خاک، بالا رفتن رس و سیلت، هدایت الکتریکی ($p > 5\%$) و کاهش معنی‌دار شن ($p > 5\%$) بوده ولی در مقدار کربنات کلسیم معادل و اسیدپته خاک تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج نشان داد که وضعیت خاک در مجموع بهتر شده که این وضعیت شامل افزایش میزان ماده آلی و حاصل‌خیزی، بهتر شدن بافت خاک در اثر رسوب‌گذاری و بهبود در نگهداشت رطوبت خاک بوده است.

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۱۹	Ghazavi و همکاران (۲۰۱۰)	حاج طاهره منطقه داراب	مشاهده کردند در عمق سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی متری) مقدار رس به طور معنی داری ($P < 0/01$) افزایش یافته و این افزایش رس با کاهش نفوذ خاک و درصد شن همراه بود و هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم و پتاسیم بین منطقه پخش سیلاب و شاهد تفاوت معنی داری نشان داد ($P < 0/05$). اما در عمق ۲۰-۳۰ سانتی متر، تفاوت قابل توجهی بین فاکتورهای خاک (Soil pH, Mg , HCO_3 , Cl , SO_4) مشاهده نشد. سرعت نفوذپذیری اختلاف بسیار معنی داری در سطح یک درصد بین منطقه شاهد و منطقه پخش داشته و سرعت نفوذپذیری در منطقه پخش کاهش یافته است.
۲۰	واعظی و همکاران (۱۳۹۱)	قره چریان زنجان	بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان داد که پخش سیلاب اثر کاهشی معنی دار بر نفوذپذیری و آب قابل دسترس خاک داشت. کاهش نفوذپذیری خاک در عرصه‌های پخش نسبت به عرصه شاهد به دلیل کاهش درصد شن و افزایش درصد رس بود. هم بستگی معنی دار منفی بین مقدار آب قابل دسترس و میزان رس خاک نیز وجود داشت. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل شوری، پتاسیم و بی کربنات بر خلاف اسیدیته، آهک و ازت در عرصه‌های پخش سیلاب افزایش یافتند. تفاوت مقدار ماده آلی و کربنات در عرصه‌های پخش و عرصه شاهد معنی دار نبود.
۲۱	بهشتی‌راد (۱۳۹۳)	مداور شهر بابک	نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر ازت، فسفر، پتاسیم، ماده آلی و رس در منطقه پخش سیلاب افزایش معنی داری داشته است و مقادیر اسیدیته، شوری، سیلت و شن تغییری نداشته است.
۲۲	برآبادی و همکاران (۱۳۹۲)	سبزوار	نتایج بیانگر کاهش هدایت الکتریکی، سدیم، کربنات، درصد مواد خنثی شونده، گچ و اسیدیته و افزایش مواد آلی، پتاسیم، فسفر و بیکربنات در اکثر نمونه‌ها می‌باشد که این تغییرات در سطح ۵٪ معنی دار است. در مورد بافت خاک در اکثر نمونه‌ها شن در عمق ۰ تا ۳۰ افزایش و رس خاک کاهش یافته است که باعث اصلاح بافت و ساختار خاک شده که این روند در سطح ۵٪ معنی دار است.
۲۳	پادیاب و همکاران (۱۳۹۲)	گچساران	مقایسه میزان فسفر، پتاسیم، ازت کاهش و درصد رس و سیلت افزایش pH و کربن آلی دو عرصه پخش سیلاب و شاهد تفاوت معنی داری را نشان نداد. ولی میزان نیز، هرچند که افزایش ناچیزی در عرصه پخش سیلاب EC معنی داری در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد داشت. در مقدار داشته، ولی تغییر معنی داری نسبت به شاهد مشاهده نگردید. با توجه به تحلیل نتایج به دست آمده از آزمایش خاک و آزمون‌های آماری انجام شده، مشخص گردید که در وضعیت خاک در قبل و بعد از اجرای عملیات پخش سیلاب، بدلیل عدم معنی داری تغییرات مشاهده شده بین عامل‌های اصلی حاصل خیزی خاک، تغییرات قابل ملاحظه‌ای ایجاد نشد، به عبارت دیگر پخش سیلاب تأثیری بر افزایش حاصل خیزی خاک نداشت.
۲۴	زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۲)	سرچاهان	بررسی نتایج نشان داد که بین نفوذپذیری نوارهای پخش و همچنین بین نفوذپذیری نوارهای پخش با شاهد در هر دو سال اختلاف معنی داری وجود ندارد. ولی مقایسه نفوذپذیری نوارهای پخش سیلاب در سال اول و دوم نشان داد که میزان نفوذپذیری نوارهای پخش در سال دوم نسبت به سال اول کم‌تر شده و این کاهش از لحاظ آماری برای نوارهای اول و دوم در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد. مهمترین علت کاهش نفوذپذیری تجمع رسوبات در سطح خاک می‌باشد که نوار سوم به دلیل این که رسوب کم‌تری وارد آن شده، کاهش نفوذپذیری آن طی دو سال معنی دار نبوده است.
۲۵	حسنی (۱۳۹۲)	تاسران- همدان	نتایج نشان داد که با اجرای طرح پخش سیلاب درصد سیلت و رس در عرصه به صورت معنی داری افزایش و درصد شن و سنگریزه کاهش یافت و نتیجه گرفت که پخش سیلاب باعث تغییر بافت خاک می‌شود. همچنین اجرای پخش سیلاب منجر به افزایش معنی دار سدیم، پتاسیم و هدایت الکتریکی خاک شده است که باعث افزایش شوری (هرچند این افزایش معنی دار نبود) می‌شود.
۲۶	سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲)	دهلران	میانگین نفوذپذیری پایه در محل شاهد و در محل عرصه پخش سیلاب به ترتیب ۱۸ و ۱۳/۶ سانتی متر در ساعت بود که نشان‌دهنده کاهشی نفوذپذیری در اثر پخش سیلاب بود. در عرصه های اول، دوم و سوم نسبت به شاهد به ترتیب ۲۱، ۲۳/۱، ۱۷/۴ درصد کاهش نفوذپذیری مشاهده شد.
۲۷	Dahmardeh و همکاران (۲۰۱۳)	هامون سیستان	نتایج نشان داد، اثر پخش سیلاب بر درصد مواد آلی، ازت، کاهش اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک از نظر آماری معنی دار بوده است.
۲۸	جوادی و همکاران (۱۳۹۲)	دلیجان	نتایج حاکی از کاهش اسیدیته و آهک به ترتیب در سطح یک درصد و سطح ۵٪ و افزایش کربن آلی، ماده آلی و هدایت الکتریکی در سطح یک درصد در لایه سطحی خاک در مناطق شاهد در مقایسه با عرصه پخش سیلاب بود. همچنین اثر پخش سیلاب را بر کاهش میزان هدایت الکتریکی در سطح یک درصد و میزان اسیدیته در سطح ۵٪ در لایه زیرسطحی خاک معنی دار دانست، اما در مقدار آهک تغییر معنی داری مشاهده نگردید.

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۲۹	محمدیان (۱۳۹۲)	جاجروم	در این تحقیق با روش استوانه‌های مضاعف نفوذپذیری سطحی خاک در عرصه پخش و شاهد اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی روند این تغییرات، در داخل عرصه که در مجموع شامل ۹ نوار پخش است، در هر نوار ۳ نقطه و خارج از عرصه ۱۴ نقطه و در مجموع ۴۱ نقطه انتخاب گردید. جهت اندازه‌گیری تغییرات خاک نیز اقدام به حفر ۲۰ گودال خاک در دو منطقه سیل گرفته و خارج از آن و نمونه‌گیری از عمق ۲۰ تا ۲۰ سانتی‌متر گردید. نتایج نشان می‌دهد نوارهای ۱ تا ۳ از نظر نفوذپذیری در رتبه کمی آهسته قرار گرفته است و نوارهای ۴ تا ۹ همچنان در سطح متوسط باقی مانده است. همچنین در مورد تغییرات خاک نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار میانگین درصد رس، سیلت درصد اشباع خاک، کربن آلی و همچنین میزان هدایت الکتریکی، ازت کل و فسفر قابل جذب و کاهش معنی‌دار درصد ماسه و اسیدیت در مناطق تحت اجرا نسبت به مناطق شاهد بوده است.
۳۰	جوادی و همکاران (۱۳۹۳)	پخش سیلاب دلیجان	نتایج نشان داد که پخش سیلاب به‌طور معنی‌داری موجب کاهش مقدار شن، نفوذپذیری و وزن مخصوص ظاهری گردید. همچنین از نظر مقدار رس، سیلت و درصد رطوبت اشباع، افزایش معنی‌داری در عرصه پخش مشاهده شد.
۳۱	آقائی‌افشار و بهشتی‌راد (۱۳۹۳)	دهندر هشتبندی	نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که در مناطق تحت اجرای پخش سیلاب میانگین درصد کربن آلی، ازت کل، میزان پتاسیم و فسفر، هدایت الکتریکی و نیز درصد رس نسبت به منطقه شاهد افزایش معنی‌دار و درصد ماسه، واکنش گل اشباع و درصد اشباع کاهش معنی‌داری یافت، از طرفی میزان سیلت در مناطق پخش سیلاب به‌طور غیرمعنی‌داری نسبت به مناطق شاهد کاهش یافت.
۳۲	بخشی (۱۳۹۳)	سنجه باشه محلات	در این تحقیق از سه نوار پخش سیلاب که در هر نوار اقدام به نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۴۵-۰ سانتی‌متری خاک و یک منطقه شاهد در مجاورت آن منطقه که از سه قسمت بالادست، میان‌دست و پایین‌دست آن به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل گردید، نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که درصد شن در سطح احتمال ۱٪ در منطقه شاهد نسبت به منطقه پخش سیلاب بیش‌تر می‌باشد، همچنین درصد رس، هدایت الکتریکی و درصد اشباع خاک در سطح احتمال ۱٪ در منطقه شاهد نسبت به پخش سیلاب بیش‌تر است.
۳۳	عباسی و همکاران (۱۳۹۳)	جونگان نورآباد ممسنی	نتایج نشان می‌دهد تأثیر اجرای پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک بیش‌تر از ویژگی‌های شیمیایی آن بوده، به‌طوری‌که باعث بهبود ساختمان خاک شده است. البته از لحاظ خصوصیات شیمیایی نیز میزان مواد آلی و معدنی خاک افزایش یافته ولی این تغییرات چشمگیر نبوده است.
۳۴	جلیلی و همکاران (۱۳۹۳)	آبدهگاه باشت- کهگیلویه و بویراحمد	جهت بررسی فاکتورهای مورد اندازه‌گیری پس از بازدید صحرایی در ایستگاه پخش سیلاب باشت که هدایت سیلاب‌ها بالادست به داخل آن انجام می‌شود، ۴ شبکه با سایت مطالعاتی انتخاب شد. منطقه‌ای نیز به‌عنوان سایت شاهد (فاقد عملیات پخش سیلاب) در نظر گرفته شد. علاوه بر مجاورت این منطقه شاهد با منطقه پخش سیلاب این منطقه شاهد از نظر بعضی از فاکتورها مانند حضور دام و شرایط محیطی و خصوصیات توپوگرافیک با سایت‌های پخش سیلاب مشابه بود در هر یک از سایت‌های نمونه‌برداری با استفاده از روش تصادفی- سیستماتیک سه ترانسکت ۱۰۰ متری و تعداد ۲۵ پلات ۱×۱ متر مربعی اقدام به برداشت شد. در داخل هر پلات درصد سیلت، شن، رس، سنگریزه در بافت خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین همه ویژگی‌های خاک عمق اول شبکه ۱ و شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹٪ وجود دارد به‌جز سیلت که در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد، میزان رس و سنگریزه نیز اختلاف معنی‌داری با منطقه شاهد نشان نمی‌دهد.
۳۵	Kamali Maskoni و همکاران (۲۰۱۴)	آب باریک بم	نتایج بررسی با آزمون دانکن نرم افزار SPSS نشان داد پخش سیلاب باعث افزایش فسفر، پتاسیم، کربن آلی و محتوای نیتروژن کل خاک و همچنین ظرفیت تبادل کاتیون آن در سطح یک درصد در مقایسه با نمونه شاهد شده است.
۳۶	فاضل‌پور (۱۳۹۴)	هرات، سیریزی بافق و میانکوه مهریز	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با حفر سه پروفیل در هر عرصه پخش سیلاب و سه پروفیل در عرصه‌های شاهد و نمونه‌برداری از ۶ عمق مقایسه گردید. نتایج نشان داد که نفوذپذیری سطحی در عرصه‌های پخش سیلاب بافق، مهریز و هرات کاهش برابر ۷۷، ۶۸ و ۴۹ درصد را نشان می‌دهد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عرصه پخش سیلاب مهریز، بافق و هرات تغییرات معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد نشان نداد.

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۳۷	Rahbar و همکاران (۲۰۱۶)	گریاگان فسا	بررسی تغییرات نفوذپذیری خاک در یکی از شبکه‌های موسوم به بیشه زرد یک، با کاربرد روش استوانه‌های دوگانه (Double Ring) اقدام به آزمایش نفوذپذیری کردند. هر نوار پخش سیلاب به سه قسمت مساوی تقسیم شد و در هر قسمت (با و بدون پخش سیلاب) سه آزمایش نفوذپذیری و جمعاً ۹ آزمایش در هر نوار انجام گرفت. نتایج نشان داد که میزان نفوذپذیری خاک در اولین نوار پخش سیلاب بیشه زرد شماره یک از ۱۰/۳۳ سانتی‌متر بر ساعت به ۲/۱۶ و در نوار دوم و سوم به ترتیب به ۲/۴۹ و ۷/۴۷ سانتی‌متر بر ساعت رسید. نتایج حاکی از آن است که بیش‌ترین کاهش نفوذپذیری در استخرهای تغذیه بالادست و کم‌ترین کاهش در استخرهای تغذیه پایین‌دست به‌وقوع پیوسته است. حجم سیلاب دریافت شده و در نتیجه حجم بار معلق بستگی به محل و حجم سیلاب و مدت زمان آن دارد. با این وجود عملکرد سامانه‌های پخش سیلاب به‌منظور تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها در دشت گریاگان فسا از سال ۱۹۸۳ کاملاً رضایت بخش و کارآمد می‌باشد.
۳۸	مهدوی و همکاران (۱۳۹۵)	بندعلیخان ورامین	برای نمونه‌برداری از خاک در هر دو منطقه (منطقه پخش سیلاب و شاهد) در طول ۵ ترانسکت ۵۰ متری، از پلات اول، وسط و آخر تا عمق ۲۰ سانتی‌متری یک نمونه خاک برداشته و با هم مخلوط گردید. همچنین نمونه‌برداری از خاک پای بوته و بین بوته (خاک لخت) در منطقه پخش سیلاب به‌منظور مقایسه خصوصیات آن‌ها انجام گرفت. نتایج با استفاده از آزمون t استیودنت نشان داد که میانگین درصد کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین رطوبت اشباع خاک و سیلت در عرصه پخش سیلاب افزایش و هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری و درصد رس کاهش یافته است. همچنین در عرصه پخش سیلاب میزان کربن آلی، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، رطوبت اشباع خاک، شن و رس خاک پای بوته در مقایسه با خاک بین بوته افزایش و درصد سیلت در خاک زیر بوته کاهش معنی‌داری داشته است.
۳۹	نصرتی و محمدی (۱۳۹۵)	دشت ذهاب، استان کرمانشاه	به این منظور ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در ۴۲ نمونه خاک در عرصه پخش سیلاب و شاهد اندازه‌گیری شد. همچنین تغییرات مکانی مخروط افکنه قبل و بعد از احداث سامانه پخش سیلاب ارزیابی شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون واریانس نشان داد که مقادیر سدیم، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، آهن، pH، هدایت الکتریکی خاک در عرصه پخش و شاهد اختلاف معنی‌داری ندارد ($p > 0.05$). از طرفی نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار رس و سیلت و کاهش معنی‌دار ماسه در عرصه پخش سیلاب نسبت به شاهد می‌باشد ($p > 0.05$). سامانه پخش سیلاب دشت ذهاب منجر به تغییرات مکانی بخش‌های مختلف مخروط افکنه در سال‌های بعد از احداث آن گردیده است به‌طوری که آبگیری سامانه پخش سیلاب منجر به کاهش سطح فعال نسبت به سطح غیرفعال مخروط افکنه شده است.
۴۰	سکوتی اسکویی و مهدیان (۱۳۹۵)	پلدشت استان آذربایجان غربی	در این رابطه، در حد فاصله نهرهای گسترش سیلاب و سه نوار اول پخش سیلاب که سیل‌گیری شده‌اند به تعداد سه نمونه مرکب حاصل از اختلاط چهار نقطه در هر نوار و از عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک به‌همراه لایه رسوب، نمونه‌برداری و عوامل درصد ازت کل و کربن آلی، فسفر و پتاسیم قاب جذب خاک اندازه‌گیری کردند، بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار کربن آلی و ازت کل خاک در طول سال‌های اجرای طرح به‌طور محسوسی به‌ترتیب از ۰/۳۳ به ۰/۲۷ و از ۰/۳۹ به ۰/۲۷ درصد افزایش یافته است. مقدار فسفر تبادلی هم در طول سال‌های اجرای طرح از ۲/۶۹ به ۵/۳۲ و پتاسیم قابل تبادل از ۱۴۵/۹۳ به ۲۰۶/۵۲ قسمت در میلیون به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. از سوی دیگر، اختلاف مقادیر برخی از عناصر در نوارهای پخش در سطح پنج درصد معنی‌دار است، به‌طوری که مقادیر فسفر، کربن آلی و ازت خاک در طول نوارهای پخش بالادست به‌طور معنی‌داری تا دو برابر بیشتر از نوارهای پایینی است، ولی میزان پتاسیم تغییر معنی‌داری نداشته است. این نتایج نشان داد که پخش سیلاب موجب افزایش عناصر غذایی اصلی خاک شده که به تبع آن امکان کاهش کاربرد کود به‌وجود آمده است.
۴۱	مسلمی (۱۳۹۶)	تیغ سیاه - هشتبندی، هرمزگان	در این پژوهش از سه نوار پخش سیلاب که در هر نوار اقدام به نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک و یک منطقه شاهد در مجاورت آن منطقه که از سه قسمت بالادست، میان‌دست و پایین‌دست آن به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام شد، برای اندازه‌گیری تغییرات خاک در عرصه پخش سیلاب تیغ سیاه - هشتبندی در استان هرمزگان، اقدام به حفر ۲۰ پروفیل خاک در هر دو منطقه سیل گرفته و خارج از آن (به عنوان منطقه شاهد) شد. سپس نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد. نتایج با استفاده از آزمون t استیودنت نشان داد که در عرصه پخش سیلاب میانگین درصد رس، سیلت، رطوبت اشباع خاک، کربن آلی و میزان هدایت الکتریکی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب افزایش یافته که این تغییرات در سطح یک درصد معنی‌دار است ($p \geq 0.01$) و درصد ماسه و اسیدیته نسبت به مناطق شاهد کاهش معنی‌دار در سطح یک درصد داشته است ($p < 0.01$). به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وضعیت خاک در مجموع بهتر شده است. این وضعیت شامل افزایش حاصلخیزی خاک و بهتر شدن وضعیت بافت خاک در اثر رسوبگذاری در بهبود نگهداشت رطوبت است.

ردیف	محقق یا محققین (سال)	محل اجرای طرح	نتیجه
۱	Walter Houston و (۱۹۶۰)	مونتانا	حاکي از اثرات مفید کمی و کیفی پخش سیلاب بر خاک و پوشش مرتعی بوده است. وی عمق، مقدار و نوع نمک‌های خاک، شدت و کیفیت سیلاب را به عنوان عوامل مهم در تحول عرصه‌ها معرفی می‌کند.
۲	Kolarkar (۱۹۸۳)	هندوستان	پایین بودن هدایت الکتریکی و همچنین حاصل خیزی زیاد داخل خادین‌ها را نسبت به قطعات شاهد، ناشی از عملکرد سیلاب‌ها بر خصوصیات خاک معرفی نموده است.
۳	Ben-Hur و همکاران (۱۹۸۵)	فلسطین اشغالی	تغییرات بافت خاک و ریزتر شدن ذرات حمل شده در اثر رواناب باعث کاهش نفوذپذیری شد؛ در حالی که تغییرات کربنات کلسیم تأثیری بر آن نداشته است.
۴	Hubbell و Gardner (۱۹۹۴)	ایستگاه آناواهو در شمال غربی نیومکزیکو	نشانگر افزایش میزان شن و رس، تغییر در میزان مواد آلی و بروز تغییرات ناچیز شیمیایی نسبت به پلات‌های شاهد می‌باشد. همچنین نشان داد که بافت خاک در طول ۴۵۰ متر از ابتدای شبکه پخش سیلاب سبک‌تر شده و بعد از آن تغییرات ناچیز و خاک به سنگینی گراییده است.
۵	Hirst و Ibrahim (۱۹۹۶)	بنگلادش	مشخص کردند که رسوبات ته نشست شده در اثر پخش سیلاب، دارای ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، سولفور، منیزیم و منگنز بیشتر و مس و روی کم‌تر نسبت به خاک سطحی محل آزمایش بود.
۶	Funseca (۲۰۰۳)	برزیل	گزارش کردند که رسوبات حاصل از سیلاب، شاخص حاصل خیزی بالایی داشته، به‌طوری که ماده آلی، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، گوگرد، منیزیم و منگنز بیش‌تری نسبت به میانگین خاک‌های منطقه مورد آزمایش داشت. اما در مس و روی به طور قابل توجهی پایین‌تر از منطق شاهد بود.
۷	Dougherty و همکاران (۲۰۰۴)	جنوب استرالیا	انتقال فسفر را از طریق رواناب گزارش کرده‌اند.
۸	Hejermanova و Hejerman (۲۰۰۶)	سنگال	ارتباط فاکتورهای خاک و پوشش گیاهی در يك عرصه پخش سیلاب را در کشور سنگال مورد بررسی قرار دادند و نتایج بیانگر این بود که رابطه معنی‌داری بین تاج پوشش درختان با حاصل خیزی خاک وجود دارد و بیان داشتند که فاکتورهای خاک و پوشش، به صورت محلی روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند.

نتایج

بررسی سوابق موجود نشان می‌دهد که در طی سال‌های گذشته در نقاط مختلف کشور طرح‌های تحقیقاتی مرتبط با موضوع اجرا شده و یا در دست اجرا می‌باشد. با وجود آن‌که اثر پخش سیلاب بر ویژگی‌های خاک در برخی نقاط کشور بررسی شده است، لیکن در اغلب موارد تعداد مکان‌های پخش سیلاب تحت بررسی یا تعداد نقاط تحت نمونه‌برداری خاک در هر عرصه پایین بوده و از سوی دیگر نوع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت آزمایش محدود بوده است. هم‌چنین در بیشتر تحقیقات علت تغییرات ویژگی‌های خاک به‌طور مستدل مورد بررسی و بحث قرار نگرفته است. با توجه به بررسی منابع پخش سیلاب باعث افزایش معنی‌دار درصد سیلت و رس و کاهش معنی‌دار شن در عرصه‌های پخش سیلاب می‌گردد. از آنجاکه بافت خاک در اراضی مخروط افکنه‌ای معمولاً سبک و فاقد رس لازم جهت حاصل خیزی و حفاظت خاکدانه‌ها است و هم‌چنین عمق خاک در این مناطق خیلی کم است افزایش میزان رس و سیلت در جهت احیای مناطق مذکور است. در بررسی منابع مشخص گردید که تغییرات درصد ذرات خاک در اعماق مختلف متفاوت است. با توجه به منابع بررسی شده تأثیر پخش سیلاب بر افزایش یا کاهش کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک در مناطق مختلف یکسان نبوده و بستگی به

ترکیب و پایداری سازندهای بالادست دارد. یکی دیگر از خصوصیات خاک که در اثر پخش سیلاب ممکن است دستخوش تغییراتی شود، شوری خاک است، این امر سبب بالا رفتن هدایت الکتریکی خاک عرصه می‌شود. اما در صورتی که سازند عرصه‌های بالادست از کیفیت مناسبی برخوردار باشد، کیفیت سیلاب حاصل از این عرصه‌ها مناسب بوده و حتی ممکن است سبب کاهش شوری خاک عرصه پخش سیلاب گردد. بنابراین با توجه به منابع می‌توان نتیجه گرفت که پخش سیلاب در مناطق مختلف اثر متفاوتی بر شوری خاک دارد در بعضی مناطق باعث کاهش شوری و در بعضی مناطق باعث افزایش شوری خاک شده است که شدت افزایش شوری هم در مناطق مختلف فرق می‌کند. ولی در اکثر موارد هدایت الکتریکی (شوری) و نسبت جذب سدیم در نوارهای پخش سیلاب بیشتر از منطقه شاهد بوده، بنابراین پخش سیلاب باعث افزایش معنی‌دار شوری و نسبت جذب سدیم در عرصه پخش می‌شود. با توجه به احتمال بالا رفتن شوری خاک به دلیل پخش سیلاب در بعضی مناطق که این شوری برای خاک مضر است در ایجاد سیستم پخش سیلاب باید احتیاط لازم را به خرج داد و مطالعات سنگ‌شناسی حوزه بالادست و هیدرولوژی و کیفیت سیلاب به‌طور دقیق صورت گیرد. به‌طور کلی بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که پخش سیلاب در سه محور اصلی، بافت، خواص فیزیکی و شیمیایی و نفوذپذیری خاک مؤثر است.

این موضوع نشان می دهد که به منظور جلوگیری از کاهش نفوذپذیری و عدم کارایی شبکه ها در درازمدت، لازم است در بالادست حوزه های آبخیز عملیات زیستی (نهال کاری و بوته کاری) و مکانیکی (تراس بندی، احداث سازه های تاخیری) و در شبکه های پخش سیلاب عملیات احیا و گسترش منابع طبیعی نظیر توسعه مراتع و جنگل های دست کاشت و شخم هرساله زمین همراه با کاشت گیاهان متنوع یا توسعه اراضی کشاورزی انجام گیرد تا از بروز ناکامی هایی نظیر شبکه های تغذیه مصنوعی جلوگیری شود. همچنین پالایش سیلاب قبل از ورود به شبکه های تغذیه، لایروبی و شخم و شیار و خراش دادن لایه رسوبی سطحی ته نشست شده در شبکه ها می تواند از جمله راه حل های مؤثر به منظور جلوگیری از کاهش نفوذپذیری باشد.

در مجموع بررسی ها نشان دهنده بهبود کیفیت برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر گسترش سیلاب است. این وضعیت شامل متعادل تر شدن بافت و شرایط رطوبتی خاک، اصلاح وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش برخی عناصر و در نتیجه افزایش حاصل خیزی خاک نسبت به وضعیت قبل از اجرای عملیات پخش سیلاب و ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاهان مرتعی و نهال های کاشته شده و در نتیجه تغییر چشم انداز این مناطق از لحاظ اکولوژیکی است. در عین حال، خصوصیات اولیه خاک عرصه و خاک حوزه بالادست یا ساختار آبخیز روان کننده سیل، کیفیت سیلاب و نوع و اندازه مواد معلق و محلول در آن از عوامل تأثیرگذار در تغییر خصوصیات خاک شبکه های پخش سیلاب است. به طوری که مدیریت اراضی بالادست در کمیت و کیفیت رواناب تأثیرگذار بوده و غلظت عناصر غذایی در رواناب نیز متأثر از ویژگی های حوزه آبخیز بالادست است. ذکر این نکته ضروری است که عامل زمان در تحول و تکامل خاک حائز اهمیت ویژه است چرا که جوان بودن شبکه های پخش سیلاب، تعداد دفعات کم سیل گیری، نوع مدیریت اجرایی سیستم و نحوه نگهداری از شبکه پخش سیلاب بعد از هر آبیگری نقش موثری در تحولات خاک ناشی از پخش سیلاب بر آبخوان های کشور خواهد داشت. بی شک در اراضی با بافت سبک و کم بازده که بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک آن ها از اهمیت زیادی برخوردار است، با در نظر گرفتن سایر شرایط، استفاده از روش پخش سیلاب می تواند مورد توجه قرار گیرد.

منابع

آقای افشار، م. و بهشتی راد، م. ۱۳۹۳. بررسی اثرات پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: دهندر هشتبندی میناب، استان هرمزگان). فصلنامه پژوهش های فرسایش محیطی، ۴(۱۶): ۱۳-۲۶.

اسدی، م. ع. ۱۳۷۰. بررسی برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک در عرصه پخش سیلاب منطقه ماهان (کرمان). پایان نامه کارشناسی ارشد

ورود حجم زیادی از سیلاب محتوی املاح و بار معلق که اغلب دارای خاستگاه متفاوتی هستند، به مرور زمان سبب بروز تغییراتی در خواص خاک می شود. بررسی روند تغییرات و اندازه گیری پاره ای از متغیرهای خاک در طول زمان، تأثیر پخش سیلاب را بر کیفیت خاک، مشخص می نماید، به طوری که نتایج حاصل از آن در باروری خاک، ضخامت ریشه گاه، میزان رطوبت خاک، خاک سازی و تغییر شرایط زیست محیطی تأثیرگذار است. بررسی پژوهش های انجام شده نشان دهنده بهبود کیفیت برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش برخی عناصر و در نتیجه افزایش حاصل خیزی خاک و ایجاد شرایط مناسب برای رشد گیاهان مرتعی و نهال های کاشته شده است که در ادامه مورد بررسی قرار می گیرد.

۱- بهبود وضعیت بافت خاک: در بررسی تغییرات شاخص های فیزیکی خاک این نکته قابل ذکر است که توزیع اندازه ذرات یکی از مهم ترین عوامل تعیین کننده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است. در اثر ته نشست رسوبات ریزدانه در عرصه های پخش سیلاب، خصوصیات فیزیکی خاک اصلاح و بهبود یافته که این امر سبب رشد بهتر گیاهان می شود. تشکیل خاکی با بافت متوسط تا سنگین و اختلاف بارز بافت و درصد اشباع بین افق های سطح الارض و تحت الارض خاک، کاهش نسبت درصد ذرات شن و سنگریزه و افزایش ذرات سیلت و رس، نتیجه پخش سیلاب در این عرصه ها است.

۲- تغییر کیفیت شیمیایی و زیستی خاک: افزایش میزان کربن آلی، ازت، فسفر و مواد خنثی شونده در افق های سطحی نسبت به افق های زیری خاک، نتیجه گسترش سیلاب است. بر اثر ته نشست رسوبات معلق، میزان اسیدیته خاک به علت افزایش ماده آلی کاهش و میزان ازت کل نسبت به عرصه های سیل نگرفته به میزان قابل توجهی افزایش می یابد. افزایش میزان عناصر کم مصرف آهن، مس، منگنز، روی و دیگر عناصر پرمصرف و همچنین میزان کاتیون های کلسیم و منیزیم نتیجه گسترش سیلاب است.

۳- تغییر در میزان نفوذپذیری: نفوذپذیری خاک در عرصه های پخش سیلاب به دلیل کیفیت سیلاب، افزایش نسبت درصد سیلت و رس، بسته شدن منافذ خاک به وسیله مواد معلق موجود در سیلاب، ورود رسوبات ریزدانه و ایجاد سله روی سطح خاک، تغییر تراکم خاک در اثر رفت و آمد ماشین آلات سنگین، افزایش سدیم در محلول خاک و عدم انجام عملیات کشت و کار کاهش می یابد. به رغم آن که خواص فیزیکی خاک بیش از خواص شیمیایی در تغییر نفوذپذیری خاک مؤثر است، ولی مکان یابی مناسب عرصه ها، زمین شناسی حوزه بالادست و خاک شناسی محل پخش سیلاب تأثیر بسزایی در میزان نفوذپذیری عرصه های پخش سیلاب دارد. ذکر این نکته ضروری است که به رغم کاهش نفوذپذیری در اکثر شبکه های پخش سیلاب، کلاس نفوذپذیری یا بدون تغییر باقی مانده و یا در یک کلاس پایین تر قرار گرفته است.

دولتی، پ. ۱۳۸۶. بررسی اثر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک و پوشش گیاهی جهان آباد تربت جام، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده مازندران.

رهبر، غ.ر. و کوثر، س.آ. ۱۳۸۱. بررسی برخی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک در شبکه‌های پخش سیلاب گریبانگان فسا، مجموعه مقالات کارگاه آموزشی تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک در ایستگاه‌های پخش سیلاب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. زارع مهرجردی، م.، مهدیان، م.ح. و برخوردار، ج. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر پخش سیلاب بر نفوذپذیری خاک در ایستگاه پخش سیلاب سرچاهان، استان هرمزگان. مجله آبخیزداری علوم و مهندسی مدیریت، ۷(۲۰): ۸-۱.

سکوتی اسکویی، ر. مهدیان، م.ح. ۱۳۹۵. امکان بازیافت عناصر غذایی خاک از آب‌های غیرمتمعارف، مطالعه موردی: ایستگاه پخش سیلاب بر آبخوان پلدشت. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸(۳): ۳۰۳ تا ۳۰۹.

سلیمانی، ر. مهدیان، م.ح. و کمالی، ک. ۱۳۹۲. تغییرات مکانی و زمانی نفوذپذیری خاک متأثر از پخش سیلاب در جنوب دهلران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۳): ۵۱ تا ۷۱.

شمس‌المعالی، ن.، مهدوی، م. و زهتابیان، غ.ر. ۱۳۹۰. ارزیابی اثر پخش سیلاب بر تغییرات نفوذپذیری خاک سطحی (بررسی موردی: حوزه آبخیز چن‌داب ورامین). مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۶۴(۳): ۳۰۷ تا ۳۲۱.

فاضل‌پور، م.ر. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر پروژه‌های پخش سیلاب بر ویژگی‌های خاک، پوشش گیاهی و تغذیه آبخوان در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: استان یزد)، پایان‌نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی و منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

فخری، ف. ۱۳۸۲. تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و پوشش گیاهی ایستگاه پخش سیلاب تنگستان استان بوشهر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

قضاوی، غ.ر. و ولی، ع.ع. ۱۳۸۱. اثرات پخش سیلاب بر روی بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی پخش سیلاب فتح آباد داراب). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳): ۱۷ تا ۲۷.

گودرزوند چگینی، و. و یوسف گمرکچی، ا. ۱۳۸۶. بررسی اثرات پخش سیلاب در نفوذپذیری خاک در عرصه آبخوان چسکین. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز.

گودرزی، م. و شریعتی، م.ح. ۱۳۸۲. تأثیر پخش سیلاب بر حاصل‌خیزی خاک در استان سمنان، فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع: ۱۳۹-۱۵۱.

لطف‌الله‌زاده، د. زارع مهرجردی، م. کمالی، ک. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر

خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اصفهان.

بخشی، م. ۱۳۹۳. اثر پخش سیلاب بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی منطقه سنجه‌باشه محلات). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، دانشگاه مرودشت.

برآبادی، ح. زهتابیان، غ.ر. طویلی، ع. دادرسی سبزواری، ا. خسروی، ح. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر پخش سیلاب در تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: ایستگاه پخش سیلاب برآباد شهرستان سبزواری) نشریه مهندسی اکوسیستم‌های بیابان، ۲(۱): ۳۷-۴۶.

بهشتی‌راد، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر پخش سیلاب مدوار بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۷(۶۲): ۱۵-۲۴.

پادیاب، م.، فیض‌نیا، س. و شفیع، ا. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرهای پخش سیلاب بر حاصل‌خیزی خاک (مطالعه موردی: ایستگاه پخش سیلاب گچساران). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۰(۱): ۱۶۱-۱۷۱.

جلیلی، ف.، قره‌داغی، ح. و فرجی، م. ۱۳۹۳. پاسخ خصوصیات فیزیکی خاک نسبت به پخش سیلاب در ایستگاه آبدهگاه‌باشت (مطالعه موردی استان کهگیلویه و بویراحمد). اولین کنگره ملی زیست‌شناسی و علوم طبیعی ایران.

جوادی، م.ر.، باقری، م.، وفاه‌خواه، م. و غلامی، ش. ۱۳۹۲. تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک در منطقه دلیجان. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۷(الف): ۵۶۵ تا ۵۷۲.

جوادی، م.ر.، باقری، م.، وفاه‌خواه، م. و غلامی، ش. ۱۳۹۳. تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک (مطالعه موردی: پخش سیلاب دلیجان، استان مرکزی). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۵(۹): ۱۱۹-۱۲۹.

جوادی، م.ر. و محمودی میان‌آبادی، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثر پخش سیلاب در تغییر برخی از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: سیلاب سیستم گسترش جاجرم). مجله علوم و فنون منابع طبیعی، ۱۶(۱): ۱-۱۲.

حسینی، ز. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات پروژه‌های آبخیزداری اجرا شده (مطالعه موردی: پخش سیلاب تاسران استان همدان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.

خلیلی، م. و موسوی، سی.ا.ع. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر پخش سیلاب بر بافت و برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در حوضه کفدهک خرامه (استان فارس). دومین همایش ملی کشاورزی و توسعه پایدار (فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌رو). ۱۱ صفحه.

دودکانلوی میلان، خ. ۱۳۹۰. اثر پخش سیلاب بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مینرالوژی رسوبات و تأثیر آن در کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سینی و برجوئی شهرستان لردگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد.

- ough D.J. 2004. Phosphorus transfer in surface runoff from intensive pasture systems a various Scales: A Review. *Journal Environment Quality*, 33:1-16.
- Funseca R.M.F. 2003. Dam reservoir sediments as fertilizers and artificial soils, case studies from Portugal and Brazil. *Proc. International Symp of the Kanazawa Univ, Japan*.
- Ghazavi R., Vali A. and Eslamian S. 2010. Impact of flood spreading on infiltration rate and soil properties in an arid environment. *Water Resources Management*, 24(11): 2781-2793.
- Hirst S.M. and Ibrahim A.M. 1996. Effects of flood protection on soil fertility in a riverine floodplain area in Bangladesh. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 119-156.
- Hejcmanova P. and Hejcman M. 2006. A canonical correspondence analysis (CCA) of the vegetation environment relationships in Sudanese savannah, Senegal. *South African J. Botany*, 72: 256-262.
- Hubbell D.S. and Gardner J.L. 1944. some edaphic and ecological effects of water spreading on rangeland, *Ecology Journal*, 25(1):27-44.
- Kamali Maskooni E. Amiri E. and Hakimzadeh Ardakani M.A. 2014. Effect of flood Spreading on physical and chemical prperties of soil (case study: Aab Barik, Bab, Iran) . *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 4 (S4): 2936-2939.
- Kolarkar A.S. 1983. Khadin a method of harvesting water, *Journal of Arid Environments*, 20:16-21.
- Naderi A. Foruzanfar N. and Mozafari A. 2000. Reclamation of a sandy desert through floodwater spreading: L sediment- induced change in selected soil chemical and physical properties. *J. Agric. Sci. Technol.* 2: 9-20.
- Rahbar GH.R. Kavian A. Habibnezhad Rooshan M. Kowsar A. and Shahedi K. 2016. Infiltrability Reduction of Artificial Recharge of Groundwater System in a Desert in the Absence of Sowbugs. *Journal of Rangeland Science*, 6(3): 264-272.
- Soleimani R. 2006. Variability of Soil Physical and Chemical Properties as Affected by Flood Spreading in Musian Station (South Western Iran). 18th World Congress of Soil Science - Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Walter R. Houston. 1960. Effects of Water Spreading on Range Vegetation in Eastern Montana. *Journal of Range Management* . 13(6): 289-293.
- پخش سیلاب بر برخی خصوصیات خاک در عرصه پخش سیلاب سرچاهان. *مجله پژوهش و سازندگی*. ۷۶: ۸۳-۸۷.
- محمدیان، ا. ۱۳۹۲. بررسی تغییرات مکانی نفوذپذیری سطحی خاک در شبکه پخش سیلاب در آبخوان جاجرم خراسان شمالی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۶۷ صفحه.
- محمدیان، ع. و کریمان، ر. ۱۳۸۸. اثرات پخش سیلاب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزالوژی خاک ایستگاه داوودرشد کوهدهشت، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- مروجی، س. ع. ۱۳۸۹. تأثیر پخش سیلاب در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه باغ سرخ اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی-علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان (خوراسگان).
- مسلمی، ح. ۱۳۹۶. اثرات طرح پخش سیلاب بر برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی خاک، مطالعه موردی: پخش سیلاب تیغ سیاه - هشتبندی در استان هرمزگان. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱(۱۰): ۷۱-۸۰.
- مهدوی، س. خ.، آذریان، ا.، جوادی، م. ر. و محمودی، ج. ۱۳۹۵. بررسی اثر پخش سیلاب بر برخی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی و حاصلخیزی خاک (مطالعه موردی: منطقه بندعلیخان ورامین)، *نشریه علمی پژوهشی مرتع*، ۱۰(۱): ۸۱-۸۱.
- مهدیان، م. ح.، حسینی چگینی، ا.، شریعتی، م. ح. و خاکسار، ک. ۱۳۸۲. بررسی تأثیر پخش سیلاب در تغییرات فیزیکی- شیمیایی خاک (مطالعه موردی طرح پخش سیلاب قوشه دامغان در استان سمنان)، *فصلنامه پژوهش و سازندگی*، ۶۱: ۳۹-۴۴.
- نصرتی، ک. و محمدی، ز. ۱۳۹۵. اثرات پخش سیلاب بر ویژگی های خاک و خصوصیات فیزیکی مخروط افکنه دشت ذهاب، استان کرمانشاه. *پژوهشهای دانش زمین*، ۷(۲۷): ۶۵-۸۲.
- واعظی، ع. ر.، حسین شاهی، ا. و عبدی نژاد، پ. ۱۳۹۱. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر پخش سیلاب در ایستگاه قره چریان زنجان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۶(۶۲): ۱۴۹-۱۶۱.
- Ben-Hur M., Shainberg Bakker I.D. and Keren R. 1985. Effect of soil texture and CaCO₃ content on water infiltration in crusted soils as related to water salinity. *Irrig. Sci.* 6: 281-284.
- Dahmardeh Ghaleno M.R., Saberi M. and Lalozaei k. 2013. Studying the effects of flood water spreading on changes of topsoil and vegetation (case study: Hamun Region of Sistan, Iran), *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(5): 712-717.
- Dougherty W.J., Fleming N.K., Cox J.W. and Chittlebor-

A Historical Review of Innovations and Developments of Subsurface Irrigation Systems

SH. Bastani

Ph.D. in Irrigation, Research Institute of Water and Sustainable Development of Plateau, Kerman, Iran.

Email: bastani1958@gmail.com

Received: 18-12-2016

Accepted: 12-04-2017

مروری بر تاریخچه ابداعات و نوآوری‌ها در زمینه آبیاری زیرسطحی

شهریار باستانی

دکتری آبیاری، موسسه پژوهشی آب و توسعه پایدار فلات، کرمان.

E-Mail: bastani1958@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

This paper contains a comprehensive historic review of attempts for innovation and development of Subsurface Irrigation Systems from the early stage in different countries and regions. Firstly, the differences between two irrigation systems namely: "Underground Irrigation" and "Subsurface Irrigation" has been clarified and then the technical problems within innovations from the start of written history research on subsurface irrigation has been discussed. Describing all activities performed by the subsurface irrigation pipes, this study attempts to introduce the most important technical barriers which prevent the distribution of subsurface irrigation systems including methods available in the market such as subsurface drip irrigation, Porous irrigation tubing, and KISSS. Due to the limitations to mention all the technical issues related to different methods of subsurface irrigation, and to better understand the ability of each method, "Researcher's Evaluation" is mentioned at the end of each part. The last part of this paper is attributed to the development process of a new subsurface irrigation system "Subsurface Irrigation with Clay Pipes".

Keywords: Underground irrigation, Porous irrigation tubing, Subsurface clay pipe irrigation, Subsurface drip irrigation.

چکیده

این مقاله به بررسی تاریخچه "نوآوری و ابداعات" انجام شده در سطح کشورهای مختلف دنیا در زمینه آبیاری زیرسطحی می‌پردازد. در ابتدای مقاله تفاوت‌های موجود بین روش‌های آبیاری زیرزمینی و زیرسطحی تبیین و سپس مسائل فنی ابداعات صورت گرفته از ابتدای تاریخچه مکتوب تحقیقات در زمینه آبیاری زیرسطحی تاکنون مورد بحث قرار می‌گیرد. ضمن تشریح کلیه فعالیت‌های انجام شده برای ساخت انواع لوله مورد استفاده در آبیاری زیرسطحی، تلاش گردیده تا مهم‌ترین موانع فنی که مانع گسترش این روش‌ها، از جمله روش‌های موجود در بازار چون قطره‌ای زیرسطحی، تراوای لاستیکی و کیس شده‌اند، تشریح گردند. نظر به محدودیت موجود برای ذکر کلیه مطالب فنی مرتبط با روش‌های مختلف و برای درک بهتر خواننده از قابلیت هر کدام از روش‌ها، به پایان هر قسمت، مطلبی تحت عنوان "ارزیابی نگارنده" اضافه شده است. در بخش آخر مقاله نیز به اقدامات انجام شده برای ابداع "آبیاری زیرسطحی با لوله‌های سفالی" اشاره گردیده است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری زیرزمینی، آبیاری زیرسطحی تراوا، آبیاری زیرسطحی سفالی، آبیاری زیرسطحی قطره‌ای.

و در یک مقطع زمانی نسبتاً کوتاه، با نتایج امیدوارکننده‌ای همراه باشد، اما این موضوع لزوماً به معنی امکان استفاده عملی و اقتصادی از آن روش در کشاورزی نیست. در رابطه با آبیاری زیرسطحی تاکنون بررسی‌های مختلفی صورت گرفته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به مطالعات Cole (۱۹۷۱) و Camp (۱۹۹۸) اشاره کرد. Cole (۱۹۷۱) طیف وسیعی از مطالب فنی از هیدرولیک تا رشد علف‌های هرز و مباحث اقتصادی را در رابطه با تحقیقات انجام‌شده توسط محققین مختلف جمع‌بندی و گزارش با ارزشی ارائه نموده است؛ اما این بررسی صرفاً به تحقیقات انجام‌شده در آمریکا محدود می‌شود. Camp (۱۹۹۸) نیز به‌طور مفصل به نتایج تحقیقات آبیاری "زیرسطحی قطره‌ای" پرداخته و مسائل مختلفی را دسته‌بندی و بررسی نموده، ولی در این گزارش نامی از سایر سامانه‌های زیرسطحی عنوان نشده است. علاوه بر این در سال‌های اخیر مقالات دیگری نیز منتشر گردیده که موضوع آن‌ها ابداع یک سیستم جدید آبیاری نبوده است. به‌طور مثال Lamm (۲۰۱۴) فهرست مفصلی از مقالات منتشرشده در رابطه با آبیاری زیرسطحی قطره‌ای با محصولات مختلف و یا ارزیابی سامانه‌های موجود ارائه کرده است. همچنین در رابطه با مقالات انتشاریافته در ایران نیز زارعی و شهری (۱۳۹۲) مروری بر برخی از تحقیقات انجام‌شده در ایران با روش‌های مختلف آبیاری سفالی داشته‌اند. این در حالی است که در مقاله پیش‌رو با نگاهی فنی و بدون پرداختن به مقالات منتشرشده، صرفاً تاریخچه مکتوب کلیه "ابداعات" از ۱۲۰ سال پیش تاکنون گزارش شده است. هدف این است که آشنایی علاقه‌مندان با روند تکاملی سامانه‌های آبیاری زیرسطحی سبب تعمیق شناخت نسبت به مرزهای فنی آبیاری زیرسطحی و پیشگیری از اتلاف فرصت‌ها در آزمون آزموده‌ها در شرایط بحران فزاینده آب گردد.

لوله‌های زهکشی آبیاری زیرزمینی چنین می‌نویسد: "آبیاری زیرزمینی از دیرباز موضوعی شناخته‌شده بوده است، زیرا از ابتدای استفاده از لوله سفالی برای زهکشی، بعضاً تلاش شده که شبکه‌های زهکشی جهت آبیاری زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گیرند". لوله‌های سفالی مورد استفاده برای آبیاری زیرزمینی همان لوله‌های سفالی مخصوص زهکشی بوده‌اند که فاقد تراوایی قابل توجه جداره می‌باشند. در هنگام زهکشی، آب از اتصال بین دو لوله به داخل وارد و در هنگام آبیاری آب از همان نقطه به بیرون جریان می‌یابد. Sack (۱۸۹۹) گزارش می‌دهد که در تحقیقات انجام‌شده با لوله‌های سفالی، آب از محل اتصالات این لوله‌ها به بیرون جریان می‌یافته و تلاش بر این بوده که از شبکه زهکشی علاوه بر آبیاری برای کوددهی مایع با کودهای شیمیایی محلول و یا ادرار گاو نیز استفاده شود. از دهه ۱۹۶۰ میلادی به تدریج لوله‌های پی‌وی‌سی خرطومی جایگزین لوله‌های سفالی شدند (Davis, ۱۹۶۷). امروزه لوله‌های پی‌وی‌سی، تنها نوع لوله مورد استفاده برای آبیاری زیرزمینی می‌باشند (Clark و Stanley, ۱۹۹۲).

رشد جمعیت کره زمین، کاهش ذخایر آب زیرزمینی، افزایش خشکسالی‌های ناشی از تغییر اقلیم و به‌ویژه استفاده بی‌رویه منابع آبی، سبب بروز بحران کم‌آبی در بسیاری از کشورهای جهان شده است. از سوی دیگر اندک بودن نزولات آسمانی و مدیریت ضعیف استفاده از منابع آب زیرزمینی در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب شده که عمده منابع آب شیرین در بخش کشاورزی مصرف گردد. این موضوع بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی را به دغدغه اصلی و فزاینده این کشورها تبدیل نموده است. از سوی دیگر در کشورهای کم‌باران، شدت بالای تبخیر هوا سبب بروز تلفات شدید در اراضی تحت آبیاری شده است. مشکلی که رفع آن، تنها با انتقال روش آبیاری از سطح به زیرسطح خاک متصور است. لازمه برداشت موفقیت‌آمیز این قدم، شناخت همه‌جانبه مسائل فنی آبیاری زیرسطحی است. روشی که به دلیل گسترش نیافتن آن تاکنون کمتر در معرض دید کارشناسان و محققین قرار داشته؛ به‌گونه‌ای که در بسیاری از موارد حتی در کتب تخصصی خارجی نیز از روش "آبیاری زیرسطحی" ذکری به میان نمی‌آید و حداکثر به روش "آبیاری زیرزمینی" پرداخته می‌شود. در منابع فارسی‌زبان حتی واژه آبیاری زیرسطحی تا حدود سه دهه پیش به چشم نمی‌خورد، درحالی‌که بیش از یک قرن از شروع تحقیقات و کسب تجربه در زمینه آبیاری زیرسطحی می‌گذرد.

با وجود ابداع ده‌ها روش گوناگون آبیاری زیرسطحی در طول بیش از یک قرن اخیر، سطح تحت پوشش با آبیاری زیرسطحی علی‌رغم تشدید بحران آب، هنوز ناچیز است؛ زیرا یک روش آبیاری زیرسطحی ممکن است تحت شرایط کنترل‌شده در قطعات کوچک تحقیقاتی

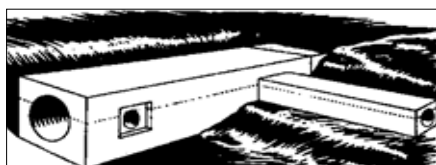
روش آبیاری زیرزمینی^۱

این روش فقط در مناطقی که سطح سفره آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین باشد، قابل اجرا است و با روش آبیاری زیرسطحی که مخصوص مناطق کم‌آب است، تفاوت‌های زیادی دارد. در این روش از طریق وارد کردن آب به کانال‌های ایجادشده در زمین و یا جلوگیری از خروج جریان آب از یک سامانه زهکشی موجود در مزرعه در طول ماه‌های گرم سال، سطح آب زیرزمینی به حدی افزایش داده می‌شود که آب توسط نیروی موینگی به سمت بالا حرکت نموده و منطقه ریشه را به اندازه کافی مرطوب نماید. به‌طور نمونه کشاورزان ساکن فلوریدا همه‌ساله آب آبیاری را در کانال‌های خاکی با عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر و فاصله ۶ تا ۳۰ متر از یکدیگر جاری می‌نمایند تا با نفوذ آب به عمق خاک سطح آب تا حدود ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری سطح زمین افزایش یابد (Stanley و Clark, ۱۹۹۲). همچنین ممکن است بجای کانال‌های خاکی از لوله‌های زهکش سفالی با قطر داخلی ۷/۵ سانتی‌متر استفاده شود. Stein (۱۹۵۰) در رابطه با استفاده از شبکه

روی هر منفذ درپوشی با فاصله کم قرار داشت تا امکان خروج آب از آن وجود داشته باشد (Meier, ۱۹۳۵). این سیستم در همان زمان به دلیل پرهزینه بودن و خطر نفوذ ریشه به درون منافذ آن مورد تردید قرار گرفت (Dorter, ۱۹۶۱).

Gerhardt در سال ۱۹۲۲ از يك سیستم آبیاری با لوله‌های متخلخل و سوراخ‌دار سفالی برای درختکاری در آمریکا خبر می‌دهد. طبق گزارش وی سوراخ کردن لوله‌ها سبب ورود گل‌ولای و ریشه گیاهان به درون آن‌ها می‌شده، به‌طوری‌که استفاده از این روش برای آبیاری مورد قبول واقع نشد (Wagner, ۱۹۳۸).

در سال ۱۹۲۷ شرکت كلوك هون در ویسبادن^۶ آلمان يك روش آبیاری زیرسطحی جهت فروش به بازار ارائه نمود. این شرکت در ابتدا لوله‌های کاملاً متخلخل تولید کرد که از مخلوط سیمان با شن درشت ساخته می‌شدند؛ اما به دلیل اینکه آبدهی لوله‌ها بیش از حد نیاز بوده و استقامت کافی نیز نداشتند، شکل لوله‌ها را تغییر داد. لوله‌های جدید با طول ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متر، مقطع خارجی چهارگوش ۶×۶ یا ۸×۸ سانتی‌متر و مقطع داخلی دایره‌ای ۳ سانتی‌متر تولید شده و فقط در قسمت بالا، تراوایی داشتند (شکل ۱). اتحادیه باغبانان آلمان این سامانه را در چند منطقه مورد مطالعه قرار داد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که روش شرکت كلوك هون برای آبیاری، نمی‌تواند الگوی یکنواختی از توزیع آب داشته باشد. همچنین ضرورت کارگذاری لوله‌ها در فاصله بسیار کم، هزینه سیستم را بیش از حدی که دارای توجیه اقتصادی باشد افزایش می‌دهد (Meier, ۱۹۳۵).



شکل ۱- لوله‌های نیمه متخلخل به روش كلوك هون (Damnich, ۱۹۳۳)

Korneff (۱۹۳۲) يك روش آبیاری زیرسطحی به نام آبیاری خودکار را پیشنهاد داد. در این روش از لوله‌های سفالی مخصوص زهکشی با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر استفاده شد که با اتصالاتی انعطاف‌پذیر از جنس کائوچو به هم متصل شده و در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، با فاصله يك متر یا بیشتر قرار داده می‌شدند. شبکه لوله‌ها سپس به يك منبع آب متصل شده و سطح آب درون منبع پایین‌تر از سطح آب لوله‌های سفالی تراوا قرار می‌گرفت تا فشار آب سبب تلفات به سمت عمق نشود. در ابتدا با تخلیه هوا از لوله‌ها، در سامانه، فشار منفی ایجاد شده و سپس تحت تأثیر مکش خاک اطراف لوله، آب از داخل منبع به شبکه لوله‌ها که انتهای آن بسته بود وارد می‌شد. بسته به میزان خشکی و مکش خاک، آب از جداره متخلخل لوله‌ها به بیرون تراوش می‌کرد. با افزایش رطوبت خاک به تدریج مکش خاک

آبیاری زیرسطحی روشی است که در آن منطقه ریشه گیاه بدون خیس شدن سطح خاک یا تلفات عمقی مرطوب می‌شود. در واژه‌شناسی انجمن مهندسان کشاورزی و بیولوژی آمریکا برای آبیاری زیرسطحی تعریف زیر^۳ ارائه گردیده است (ASAE, ۱۹۹۵):

روش‌های آبیاری زیرسطحی به لحاظ "هیدرولیک" و "آبدهی" متفاوت می‌باشند. به‌طور مثال هیدرولیک سامانه ممکن است به‌صورت نقطه‌ای^۴ باشد، همانند روش قطره‌ای زیرسطحی و روش کپسولی سفالی و یا به‌صورت خطی^۵ باشد، همچون روش تراوای لاستیکی و سامانه زیرسطحی با لوله‌های سفالی. نحوه آبدهی به خاک نیز ممکن است به‌صورت خیس‌اندن و ایجاد شرایط اشباع (همانند روش قطره‌ای و روش تراوای لاستیکی) و یا به‌صورت نشت تدریجی رطوبت در شرایط غیراشباع (مانند روش‌های سفالی کم‌فشار) باشد.

سابقه ابداعات صورت گرفته در زمینه آبیاری زیرسطحی به بیش از یک قرن می‌رسد.

Degenhard در سال ۱۸۹۶ در شهر درسدن^۶ آلمان روشی برای آبیاری زیرسطحی ابداع نمود که در آن از لوله‌های سفالی با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر استفاده می‌شد (Vogler, ۱۸۹۶ و ۱۸۹۹). این لوله‌ها با اتصالات به یکدیگر وصل شده و در عمق ۲۵ تا ۴۰ سانتی‌متری به‌صورت دایره و یا مربع در زیر تاج درختان کارگذاری می‌شدند. هر حلقه از لوله‌های اطراف یک درخت به‌وسیله یک سهراهی به حلقه دیگر در اطراف درخت بعدی متصل و بدین ترتیب تا ده درخت با يك انشعاب آبیاری می‌شد. لوله‌های سفالی مورد استفاده بدون تخلخل و منفذ بوده و آب از محل اتصال آن‌ها خارج می‌شد؛ بنابراین منجر به تلفات عمقی و خیس شدن سطح خاک شده که کاربرد این روش برای مناطق کم‌آب را با مشکل مواجه می‌ساخت.

Plehn (۱۹۱۱) گزارشی از ابداعات انجام‌شده در زمینه آبیاری زیرسطحی در آمریکای شمالی ارائه کرد. در یکی از این سامانه‌ها، لوله‌هایی از جنس مواد متخلخل و همچنین سوراخ‌دار استفاده شده که بسته به نوع خاک در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری کارگذاری می‌شدند. وی در گزارش خود به این نکته اشاره کرد که اگرچه این روش برای آبیاری تحت شرایط کمبود آب مناسب به نظر می‌رسد، اما با توجه به هزینه بسیار بالا، فقط در سبزی‌کاری آن‌هم با چند کشت در سال قابل توجیه اقتصادی است (Dorter, ۱۹۶۱). به‌ویژه اینکه استحکام لوله‌های مورد استفاده نیز به‌قدری کم بود که قسمت بزرگی از آن‌ها در حین حمل‌ونقل خرد می‌شد (House, ۱۹۱۸).

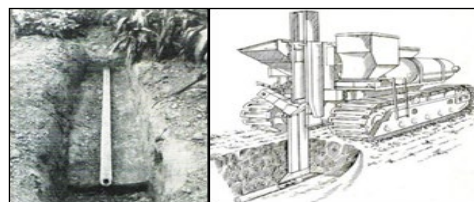
در سال ۱۹۱۲ تعاونی مزرعه‌داران تگزاس گزارشی از يك روش جدید برای آبیاری زیرسطحی منتشر نمود. در آن روش لوله‌های فرعی با قطر ۵ سانتی‌متر از يك لوله اصلی بتنی با قطر ۱۰ سانتی‌متر منشعب می‌شدند. فاصله لوله‌های فرعی از یکدیگر يك متر بود و روی قسمت فوقانی آن‌ها منافذ ریزی برای خروج آب تعبیه شده بود.

کاهش یافته و تراوش آب از جداره لوله قطع و بدین ترتیب از دادن آب اضافی به خاک جلوگیری می‌شد. گزارش شده که کارکرد این روش آبیاری به اصطلاح خودکار در عمل به دلایل مختلفی با اختلال مواجه گردید. از جمله مشکلات این سامانه آزاد شدن گازهای محلول در آب (اکسیژن، گازکربنیک و ...) به دلیل ایجاد خلاء نسبی در داخل لوله‌ها بود که سبب پارگی ستون آب و بروز اختلال در آبیاری می‌شد. کاهش ابعاد پیاز رطوبتی و ذخیره رطوبتی خاک در منطقه ریشه؛ هزینه بالای سیستم به علت استفاده از لوله‌های زهکشی با قطر داخلی ۵۰ میلی‌متر که سبب افزایش وزن لوله مصرفی و هزینه اتصالات می‌گردد، از جمله محدودیت‌های این سامانه می‌باشد (Dorter, ۱۹۶۱).

کورنف پس از مدتی از ادامه کار با روش فوق منصرف و روش دیگری برای آبیاری زیرسطحی ابداع نمود که در آن کف کانال با یک لایه گل رس نفوذناپذیر پوشانده شده، سپس در این لایه شیار کوچکی ایجاد و یک لوله یا نیم لوله بر روی آن قرار می‌گرفت. دهانه این نیم لوله به سمت پایین قرار داشت. بعد از آن بر روی این نیم لوله شن نرم ریخته و کانال به وسیله خاک پر می‌شد تا نیروی مویینگی لایه شن نرم، آب را به سمت بالا انتقال دهد. هدف این بود که دانه‌بندی و قطر لایه شن مورد استفاده میزان انتقال آب به بالا را تعیین نماید (Dorter, ۱۹۶۱).

ارزیابی: به نظر می‌رسد که این روش علاوه بر پرهزینه بودن در عمل چندان کارآمد نباشد؛ زیرا جریان آب حداکثر پس از چند بار آبیاری، جداره شیار داخل لایه گل را شسته و سبب نشست نیم لوله سفالی می‌شود.

Wagner (۱۹۳۸) برای کاهش هزینه بالای سامانه آبیاری زیرسطحی، آزمایش‌هایی با دستگاهی به نام "شخم لوله"، انجام داد. شخم لوله که توسط Janert (۱۹۳۷a) ابداع شده بود از نظر اصول کاری همانند یک شخم لانه موشی بوده که یک خط لوله سیمانی متخلخل را در دل خاک فرم داده و سبب صرفه‌جویی ۸۰ تا ۹۰ درصدی هزینه می‌شد (شکل ۲).



شکل ۲- تصویر شخم لوله (سمت راست) و لوله سیمانی کارگذاری شده (سمت چپ) (Janert, ۱۹۳۷a)

ارزیابی: بررسی منابع نشان می‌دهد که این روش بعدها دیگر در مزارع آزمایشی مورد تحقیق قرار نگرفت. زیرا مسائل متفاوتی چون انقباض و انبساط خاک در نتیجه تغییرات درجه حرارت و رطوبت، فشار ناشی از بار مکانیکی ادوات کشاورزی، حرکت خاک در نتیجه نشست طبیعی زمین در طول سال‌های پس از نصب سیستم، زلزله و فشار ناشی از رشد ریشه‌های قطور در زیر و روی لوله‌ها برای یک خط

لوله یک‌تکه زیرسطحی از جنس بتن، مخاطرات بسیار ایجاد می‌کند. Janert (۱۹۳۷b و ۱۹۵۵) بر روی جنس‌های مختلف لوله زیرسطحی تحقیق نموده و لوله‌های مختلفی از جمله لوله‌های معمولی و سوراخ‌دار زهکشی از جنس سفال با اتصالات آب‌بندی شده، لوله‌های سیمانی با موادی چون شن درشت، شاموت، سربار کوره بلند، خاکاره و یا لوله‌های مستحکم‌تر از جنس سیمان کوره و سیمان رسی کوره با مخلوط شن را مورد استفاده قرار داده بود سرانجام پس از ابداع شخم لوله (شکل ۲)، ماشین "شخم گرایفس والد" را ابداع نمود. این ماشین ورقه از جنس وینیدو (نوعی پلاستیک) را به صورت لوله در زیر زمین کارگذاری می‌کرد.

ارزیابی: لوله‌های وینیدو در پروژه‌های تحقیقاتی مانند استفاده از آب فاضلاب در آبیاری و یا نفوذ دادن فاضلاب به خاک توسط سیستم زهکشی نیز مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این لوله‌ها مشکل شکستگی لوله‌های یک‌تکه از جنس بتن را ندارند؛ اما به لحاظ هیدرولیکی به دلیل نوع منافذ خروج آب، دارای دو مشکل اساسی می‌باشند که یکی افت شدید فشار و دیگری تلفات زیاد آب است.

کارگذاری ماشینی لوله‌های سوراخ‌دار پی‌وی‌سی برای زهکشی که بعدها انجام شد و سپس نصب ماشینی لوله‌های قطره‌ای زیرسطحی در زیر سطح خاک را می‌توان ادامه کار Janert با شخم گرایس والد دانست.

Stauch (۱۹۴۸، ۱۹۵۰، ۱۹۵۲، ۱۹۵۴) لوله‌هایی از جنس مخلوط سیمان و سنگ‌ریزه، با تراوایی موضعی ابداع نمود. قطر داخلی و خارجی این لوله‌ها به ترتیب ۳۵ تا ۴۰ و ۶۵ تا ۹۰ میلی‌متر و طول آن‌ها ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر بود. این لوله‌ها با فاصله ۶۰ تا ۶۰۰ سانتی‌متر در خاک کارگذاری شده و علاوه بر آبیاری، به وسیله آن کوددهی با کودهای محلول در آب نیز، انجام می‌گرفت. نتایج تحقیقات Schendel و Tamm (۱۹۵۴) بر روی سامانه ابداع شده توسط اشتاوخ نشان داد که این سامانه به شیب زمین حساسیت زیادی دارد، به طوری که در مناطقی که طول لوله زیاد می‌شود، حتی شیب کم زمین (۸۳٪ درصد) مانع از آبدی یکنواخت لوله‌ها می‌گردد.

Stein (۱۹۵۲a و ۱۹۵۳) بر این نکته تأکید کرد که تاکنون مواد اولیه مورد استفاده، مانع بزرگی برای گسترش روش آبیاری زیرسطحی بوده است. وی در این رابطه بیان داشت که "یکی از اشکالات لوله‌های سفالی تراوا، تخلخل اندک آن‌ها بوده و از سوی دیگر در صورت تعبیه سوراخ در جداره لوله‌ها، نفوذ ریشه سریعاً آن‌ها را مسدود می‌کند. در حالتی که آبدی از حفاصل بین دو لوله انجام شود نیز، توزیع آب بسیار غیر یکنواخت بوده و چنانچه لوله‌ها به یکدیگر متصل گردند، همان گونه که یانرت^۱ تشخیص داده بود، آب‌بندی اتصالات لوله‌های سفالی پرهزینه و دشوار می‌شود. لوله‌های تولید شده از ورق آهن نیز علاوه بر هزینه زیاد، عمر مفید کوتاهی داشته و لوله‌های سیمانی متخلخل اگرچه راحت‌تر تولید می‌شوند، اما مورد هجوم اسیدهای خاک قرار گرفته و عمر مفید آن‌ها کم می‌شود". وی نیز در سال ۱۹۵۰

لوله‌هایی به صورت تمام متخلخل و نیمه متخلخل از جنس مخلوطی از بیتومین^۱ داغ (قیر طبیعی)، شن درشت و سنگریزه با قطر ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر ابداع نمود. در لوله‌های تمام متخلخل، لوله با فشار کم آب پر می‌شد، در حالی که در لوله‌های نیمه متخلخل که فقط قسمت فوقانی لوله دارای تخلخل بود، آب در کف لوله بدون این که لوله کاملاً پر شود، جریان می‌یافت. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی این لوله‌ها توسط Dörter (۱۹۶۲) نشان داد که ریشه گیاهان به درون لوله‌های بیتومین نفوذ کرده است (شکل ۳).



شکل ۳- لوله‌های نیمه متخلخل طبق روش اشتاین (Dörter, ۱۹۶۱)

از سال ۱۹۶۰ که تولید لوله‌های پلاستیکی به صورت انبوه انجام و توجیه اقتصادی پیدا کرد، تحقیقات آبیاری زیرسطحی با این لوله‌ها رونق بیشتری یافت (Davis, ۱۹۶۷).

در سال ۱۹۶۴ Niederwemmer دستگاه مخصوصی به نام آریدو کولتیواتور^{۱۱} ساخت، که یک لوله قابل ارتجاع پلاستیکی را به همراه یک لایه نایلون در خاک کارگذاری می‌نمود. این روش زیرسطحی توسط Youssefie (۱۹۶۷) و Erdin (۱۹۷۲) مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها برای این کار از لوله‌های پی‌وی‌سی سوراخ‌دار مخصوص زهکشی با قطر داخلی ۴۰ تا ۵۰ میلی‌متر استفاده کردند. برای جلوگیری از حرکت آب به طرف پایین از یک لایه نایلون با عرض ۲ متر در زیر لوله استفاده شد. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که اگرچه در این روش از اتلاف آب به سمت عمق جلوگیری می‌شود، اما خطر شور شدن خاک زیاد است؛ زیرا لایه نایلونی، اجازه زهکشی و شستن نمک‌ها به عمق خاک را در هنگام آبشویی یا بارش باران‌های زمستانی نمی‌دهد. در هر دو آزمایش، به ورود گل‌ولای به لوله‌ها و نفوذ ریشه‌ها به درون منافذ آن‌ها اشاره شده است که با توجه به بزرگ بودن منافذ لوله‌های زهکشی طبیعی به نظر می‌رسد. Mertin (۱۹۷۴) و Dequin و Penningsfeld (۱۹۶۸) گزارش کردند که نفوذ ریشه حتی در لوله‌های دارای یک لایه پوششی فیلتر نیز مشاهده گردید.

Davis (۱۹۶۷) در تحقیقات خود از ترکیب لوله‌های سفالی تراوا و پی‌وی‌سی استفاده کرد که در هر متر طول آن از ۶۶ سانتی‌متر لوله پی‌وی‌سی نرم و ۳۳ سانتی‌متر لوله سفالی تراوا استفاده می‌شد. قطر داخلی، خارجی و طول لوله‌های سفالی مورد استفاده به ترتیب ۱۲/۵، ۲۵، ۳۳۰ میلی‌متر بود. این لوله‌ها با فشار ۱۲۰ تا ۱۵۰ هکتو پاسکال عمل می‌کردند. این سیستم در کشت علف‌های مرتعی در فلوریدا و همچنین در تعدادی از مؤسسات تحقیقات آمریکایی^{۱۲} مورد آزمایش قرار گرفت. گزارش Davis (۱۹۶۷) نشان می‌دهد که

در زمان آبیاری درختان جوان مرکبات در طول فصل رشد، آبدهی این سیستم به حدی کاهش پیدا کرد که مکش آب خاک به بیش از یک بار رسید، به طوری که تأمین آب مورد نیاز درختان با مشکل مواجه شد. همچنین در سایر سامانه‌های تحت آزمایش، استفاده از لوله‌های پلاستیکی نسبت به سفالی با صرفه‌تر بود.

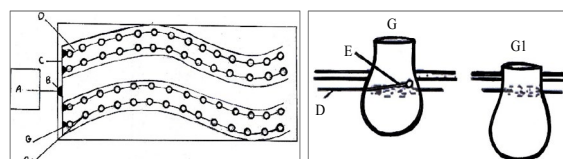
ارزیابی: در مورد تجربه فوق به نظر می‌رسد که نحوه طراحی خطوط لاترال در این روش و استفاده از میزان بالای لوله پی‌وی‌سی، (دوسوم از جنس پی‌وی‌سی و یک‌سوم از جنس سفال) سبب کاهش آبدهی لوله‌های سفالی و نقطه‌ای شدن آبدهی سیستم شده است. همچنین تراوایی اندک لوله‌های سفالی سبب کاهش سریع آبدهی در طول یک فصل رشد و بروز تنش رطوبتی گردیده است.

Stander (۱۹۷۱) روش دیگری از آبیاری زیرسطحی را با لوله‌های پلاستیکی ابداع کرد. لوله‌های مورد استفاده در این روش دارای منافذ ریزی برای خروج آب بوده که در حالت عادی بسته بوده و با افزایش فشار سیستم از یک حد مشخص باز می‌شدند. آبیاری زیرسطحی طبق روش Stander توسط انسیتوی امور آب و اکولوژی دانشگاه کیل آلمان مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی‌ها روش‌های آبیاری بارانی متحرک و ثابت، زیرسطحی طبق روش نیدرومرو و طبق روش اشتندر از نظر هزینه‌های سالیانه و نصب مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه این بررسی‌ها نشان داد، آبیاری زیرسطحی طبق روش اشتندر از هر دو جنبه بسیار پرهزینه‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد (Baumman و Mann, ۱۹۷۴).

در تحقیقات دیگری تحت عنوان مقایسه روش‌های آبیاری که از سوی سازمان همکاری‌های فنی آلمان در منطقه ساحل نیجریه انجام شد، آبیاری زیرسطحی طبق روش Stander با ۳ روش آبیاری سطحی (کرتی، نواری و شیاری) و روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای مقایسه گردید (Zabel, ۱۹۸۳). نتیجه این آزمایش نشان داد، در روش اشتندر برخی از منافذ خروجی لوله‌های آبد، در فشار معمولی باز نمی‌شوند و با افزایش فشار، آبدهی برخی دیگر از این منافذ یکنواخت نبود. علاوه بر پاره شدن برخی از لوله‌ها، در بعضی از خطوط لوله سالم، تلفات عمقی آب به حدی بود که مصرف آب در مقابل روش‌های آبیاری بارانی به ۷ برابر رسید. همچنین از آنجایی که جوانه‌زنی و رشد گیاه در قطعات آبیاری زیرسطحی یکدست نبود، نیاز به یک‌بار آبیاری سطحی در ابتدای کشت الزامی گردید.

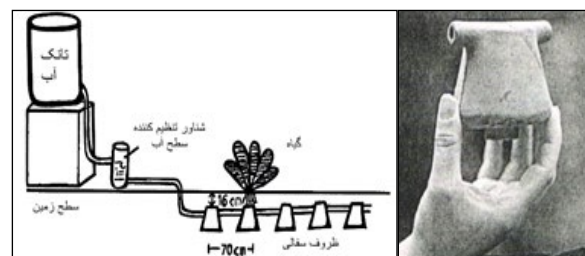
در همین زمان در برخی دیگر از تحقیقات، از ظروف سفالی برای آبیاری استفاده می‌شد. مبنای این ایده‌ها همان آبیاری کوزه‌ای بوده که در ایران و شمال آفریقا سابقه‌ای طولانی دارد (مهدی‌زاده، ۱۳۵۴؛ Stein, ۱۹۹۴). اینکه کوزه از چه زمانی برای آبیاری گیاهان در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته، مشخص نیست؛ اگرچه بر مبنای شواهد تاریخی شروع استفاده از آن در ایران از چند هزار سال پیش ممکن بوده است. آزمایش‌های انجام شده توسط مهدی‌زاده (۱۳۵۴) با کوزه‌های ۱۰ لیتری در کشت درختان مختلف و یا تحقیقات

انجام شده توسط جواهری (۱۳۵۵) با کوزه‌های کوچک‌تر ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌لیتر در کشت هندوانه با آب شور، نتایج موفقیت‌آمیزی را در استفاده از کوزه برای آبیاری نشان می‌دهند. طبق تحقیقات انجام شده آبیاری کوزه‌ای بالاترین بازدهی را در میان کلیه روش‌های آبیاری موجود داشته است (National academy of sciences, ۱۹۷۴). این روش آبیاری تا دهه ۷۰ میلادی به صورت موردی در حاشیه کویر لوت مورد استفاده قرار می‌گرفت (Alemi, ۱۹۸۱). اگرچه از حدود ۶۰ الی ۷۰ سال پیش استفاده از کوزه در ایران به دلیل مکانیزه شدن کشاورزی متروکه شد، اما در دیگر کشورهای دنیا با تغییراتی در نوع سامانه آبیاری، مورد بررسی محققین بوده است. Stein (۲۰۱۳) فهرست مفصلی از تحقیقات انجام شده در رابطه با سامانه‌های مختلف سفالی ارائه نموده است. Silva (۱۹۸۸) با استفاده از لوله‌های پلاستیکی، کوزه‌ها را به یکدیگر متصل کرده و یک سیستم کاملاً خودکار را در برزیل ابداع نمود (شکل ۴). در این سامانه، آبیاری به صورت نقطه‌ای و با فشار کم صورت می‌گرفته و امکان کوددهی با کودهای محلول در آب نیز وجود داشت. هزینه سیستم بسته به تراکم کارگذاری کوزه‌ها و میزان لوله مورد نیاز متفاوت می‌باشد. طبق نظر Barth (۱۹۸۸) هزینه این سامانه در یک الگوی کارگذاری ۲×۲ متر، چند برابر خواهد شد که نشان می‌دهد تراکم بالا تا چه حد هزینه این سیستم را افزایش می‌دهد.



شکل ۴- یک روش خودکار برای آبیاری در قطعات کوچک‌تر طبق روش سیلوا. A: تانک تغذیه، B: شیر آب، C: لوله انتقال آب اصلی، E: شاور، G: ظرف تغذیه (سفال غیرتراوا)، G1: ظرف آبیاری، D: لوله انتقال آب دو کوزه (Silva, ۱۹۸۸)

Schick (۱۹۹۰) از ساخته شدن کپسول‌هایی گزارش می‌کند که دارای ورودی و خروجی مجزا برای آب می‌باشند (شکل ۵).



شکل ۵- کپسول سفالی دارای محل اتصال به لوله برای نصب داخل خط با امکان خروج هوا از سیستم (سمت راست) و نحوه کارگذاری آن در سیستم آبیاری (سمت چپ) (Schick, ۱۹۹۰)

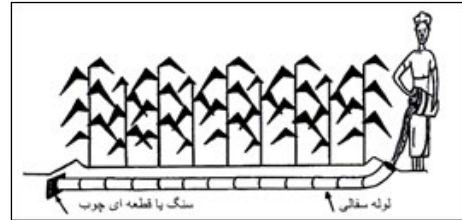
Yabe و Tanigana (۱۹۹۱) آزمایشی با کپسول‌های سفالی تراوا با طول و قطر خارجی به ترتیب ۲۲ و ۵ سانتی‌متر انجام دادند. آبدهی این سیستم نیز نقطه‌ای بود و قطعات کپسول تراوا، عملاً نقش قطره‌چکان‌های سیستم آبیاری قطره‌ای را ایفا می‌کرد، با این تفاوت که کپسول‌ها در زیر سطح خاک کارگذاری می‌شدند. این سیستم با فشار اندک راه‌اندازی شده و پس از پر شدن کپسول‌ها سطح آب پایین‌تر از کپسول‌ها نگه داشته می‌شد تا با فشار منفی عمل نماید. نمونه دیگری از این روش توسط David (۱۹۹۱) در کالیفرنیا، مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی: استفاده از کپسول‌های سفالی موانعی را نیز به همراه داشت که کاربرد این سیستم‌ها را بیشتر محدود به شرایط خاص و قطعات کوچک چون باغچه‌ها می‌کرد. بسته بودن کپسول‌های سفالی موجب حبس هوا در داخل آن‌ها شده که یکنواختی آبیاری را با مشکل مواجه می‌سازد. از سوی دیگر برای آبیاری درختان بزرگ بارده با این روش، بایستی تعداد زیادی کپسول به تعداد قطره‌چکان‌های آبیاری قطره‌ای (۶ تا ۸ کپسول) در منطقه ریشه کار گذاشته شود که هزینه‌های سامانه را برای کندن چاله‌ها و نصب قطعات افزایش می‌دهد. در صورت نصب کپسول‌ها در عمق کم، تلفات تبخیر اجتناب‌ناپذیر و انجام عملیات مکانیزه پرمخاطره خواهد بود. نصب کپسول‌ها در عمق، عملیات نصب را پرهزینه و تعمیرات را دشوار می‌کند.

Lovell و همکاران (۱۹۹۰) و Batchelor و همکاران (۱۹۹۶)، در انگلیس گزارشی از یک روش آبیاری زیرسطحی با لوله سفالی را ارائه نموده‌اند. لوله‌های سفالی مورد استفاده در این تحقیق بسیار ابتدایی بود؛ به گونه‌ای که برای پخت به روش محلی در گودال‌هایی داخل خاک قرار گرفته و با حرارت هیزم پخته می‌شدند. قطر داخلی و خارجی این لوله‌ها به ترتیب ۷/۵ و ۱۱/۵ سانتی‌متر بوده که با سیمان به یکدیگر نصب می‌شدند (شکل ۶).

Stein (۱۹۹۷) در این مورد می‌نویسد: «اگرچه این لوله‌ها تا حدودی تراوا بودند، ولی تقریباً تمام آب آبیاری از حدفصل بین لوله‌ها به بیرون جاری می‌شد. لذا در این روش خاصیت تنظیم خودکار رطوبت خاک (همچون آبیاری کوزه‌ای) وجود ندارد».

ارزیابی: هدف محققین در این روش ارائه راهکاری بوده که تولید لوله‌ها توسط کشاورزان را امکان‌پذیر سازد. این در حالی است که غیریکنواخت شدن ضخامت جداره و میزان آبدهی و مقاومت مکانیکی لوله‌ها؛ انسداد لوله‌ها به دلیل ورود ذرات لای، رس، شن، باکتری و جلبک‌ها خروج آب از اتصال بین دو لوله و اتلاف آن به سمت عمق، خیس شدن سطح خاک، افزایش تلفات تبخیر، رشد علف هرز و شور شدن خاک؛ استفاده از اتصالات سیمانی انعطاف‌ناپذیر همراه با عمق کارگذاری کم و آسیب‌پذیری سیستم در مقابل فشارهای مکانیکی؛ لزوم پر کردن دستی لوله‌ها و افزایش نیروی کارگری از دیگر مشکلات این سامانه ابداعی هستند.



شکل ۶- آبیاری زیرسطحی (Batchelor و همکاران، ۱۹۹۶)

Lomax (۱۹۸۸)، آزمایش‌هایی را روی آبدهی لوله‌های متخلخل "تراوای لاستیکی" با نام تجاری ایریگرو^۳ انجام داد. با بالا رفتن فشار، جریان آب در این لوله‌ها افزایش یافته درحالی‌که با گذشت ۱۰ روز از کارگزاری سامانه، یک افت فشار تدریجی در لوله‌ها مشاهده گردید که قابل توجیه نبوده و از آن تحت عنوان اثر دکلین^۴ یاد می‌شود. در سال ۱۹۹۰ Hettinga لوله‌های تراوای لاستیکی ابداع نمود که با استفاده از دو نوع صمغ ناسازگار با یکدیگر تولید می‌شدند. این صمغ‌ها به وسیله یک اکسترودر^۵، به صورت لوله پرس شده و میزان تراوایی آن با "دمیدن گاز یا هوای داغ" به داخل لوله تعیین می‌گشت. Smajstrla (۱۹۹۲) در مورد آزمایش‌های درازمدت خود با ۳ نوع از این لوله‌های لاستیکی تراوا گزارش داد که در طول ۲ سال اول، تراوایی آن‌ها به طور خطی افت کرد، اما با افزایش فشار سیستم، آبدهی لوله‌ها تا حد اولیه افزایش یافت.

Mahbub-ul-Alam (۱۹۹۱) از تجربیات خود با لوله‌های تراوای لاستیکی با قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر و فشار کارکرد ۰/۲ تا ۰/۴ بار، برای آبیاری درختان سیب و یک مزرعه هندوانه گزارش داد. نتایج این تحقیقات نشان داد که در ابتدای خط لوله، آب زیادی تلف شده و در انتهای آن افت فشار شدیدی وجود داشت؛ لذا وی توصیه نمود که برای کاهش این مشکل، طول خط لوله‌ها کوتاه‌تر انتخاب گردد. در سال ۱۹۹۱ در مدرسه عالی انسام^۶ (شهر مون پلیر فرانسه) آزمایش دیگری با این نوع لوله انجام شد. نتایج نشان داد که در ابتدای خط لوله‌ها، بخصوص در مراحل اولیه رشد (جوانه‌زنی و رشد اولیه)، اتلاف آب ناشی از حرکت ثقلی اجتناب‌ناپذیر است (Aquaspa، ۱۹۹۴). کاهش فشار، از اتلاف ثقلی آب جلوگیری کرد؛ اما آبدهی لوله‌ها به زمین بخصوص در انتهای خط با مشکل مواجه شد. این لوله‌ها در دیزنی لند پاریس نیز برای آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار گرفت (Aquaspa، ۱۹۹۴). Edlin (۱۹۷۰)، Mitchell و همکاران (۱۹۷۴)، Lomax (۱۹۸۸) و Mahbub-ul-Alam (۱۹۹۱) در گزارش خود اشاره می‌کنند که «این لوله‌های تراوای لاستیکی قبل از انجام تحقیقات کافی و رفع نقاط ضعف آن‌ها، به بازار عرضه شده‌اند».

در ادامه تحقیقات انجام شده با لوله‌های پلاستیکی، Yoder و همکاران (۱۹۹۵) آزمایش‌هایی با لوله‌های تراوای (متخلخل) لاستیکی از جنس لاستیک بازیافت شده اتومبیل و پلی‌اتیلن انجام دادند. در گزارش ارائه شده توسط آن‌ها عنوان شده است که فناوری یا نحوه تولید این محصول اجازه اعمال کنترل لازم بر روی قطر منافذ و توزیع

آن‌ها در جداره متخلخل لوله‌ها را نمی‌دهد. آبدهی لوله‌ها در فشار کارکرد صفر تا ۲۰۷ کیلو پاسکال به صورت خطی افزایش پیدا کرد. در حین آزمایش مشخص شد، فشار بالای ۱۳۸ کیلو پاسکال، شکل فیزیکی لوله را تغییر می‌دهد؛ همچنین در امتداد طول لوله، تغییرات شدیدی در آبدهی مشاهده گردید؛ که با مشخصات داده شده از سوی شرکت تولیدکننده همخوانی نداشت. این موضوع نشان‌دهنده دشواری‌های تولید لوله‌های لاستیکی تراوا با تخلخل و آبدهی یکنواخت است که بایستی از طریق دمیدن هوای داغ به داخل لوله در حین تولید آن ایجاد گردد.

Teeluck و Sutton (۱۹۹۸) در آزمایشی دیگر ضریب یکنواختی آبدهی در این لوله‌ها را در ۱۱ نمونه ۶ متری اندازه‌گیری نمودند. نتایج آبدهی لوله‌ها در مقاطع ۱۰ سانتی‌متری نشان داد که ضریب یکنواختی نمونه‌ها بین ۲۴ تا ۴۹ درصد بوده که در رنج استاندارد ۲۰ تا ۳۵ درصد قرار نمی‌گرفت. کوتاه بودن عمر مفید این لوله‌ها به دلیل پوسیدن در خاک و مسائل زیست‌محیطی همچون وجود کادمیم در لاستیک تأیر اتومبیل‌ها از دیگر مشکلات لوله‌های تراوای لاستیکی می‌باشند. البته ابداع‌کننده این لوله‌ها نیز به محدودیت‌های این روش واقف بوده، لذا استفاده از آن را برای آبیاری اراضی ورزشی توصیه نموده و نه در کشاورزی (Turner، ۱۹۷۵).

دو موضوع تحقیقاتی دیگر که در رابطه با انواع لوله‌های مورد استفاده در روش زیرسطحی توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته است، معضل گرفتگی منافذ در طول زمان و افت فشار است. اگرچه مشکل افت فشار در طول لوله با کاهش قطر منافذ تا حدودی قابل حل است، اما منجر به گرفتگی سریع منافذ خواهد شد. در ابتدای استفاده از روش قطره‌ای هنوز از لوله‌های منفذدار استفاده می‌شد. اما با گذشت زمان این مشکل با ابداع و کاربرد قطره‌چکان‌ها حل گردید. قطره‌چکان‌ها با ایجاد مقاومت در مسیر خروج آب مانع افت فشار در شبکه شده به گونه‌ای که فشار نسبتاً ثابتی در سرتاسر شبکه ایجاد می‌شود. پس از این ابداع، دیگر لوله‌های روزنه‌دار مورد استفاده قرار نگرفتند (Cole، ۱۹۷۱).

از حدود دهه ۱۹۶۰ به بعد در بسیاری از تحقیقات از روش قطره‌ای زیرسطحی استفاده شده است. در این حالت همان روش قطره‌ای سطحی با استفاده از قطره‌چکان‌های کارگذاری شده در داخل لوله به صورت زیرسطحی کارگذاری می‌شود. کاربرد روش قطره‌ای به صورت زیرسطحی برای رفع بسیاری از مشکلات روش قطره‌ای چون تلفات آب به واسطه تبخیر، شوری سطح خاک، رشد علف‌های هرز و عدم امکان تردد ماشین‌آلات کشاورزی، از ابتدا مدنظر محققین بوده است. Lamm و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۲) گزارشی از وضعیت فعلی روش آبیاری زیرسطحی در آمریکا ارائه کرده‌اند. به‌طور کلی در مسیر گسترش این روش هنوز مسائلی وجود دارند که سبب شده با وجود گذشت بیش از نیم قرن از شروع استفاده از آن سطح تحت آبیاری با آن در آمریکا که بیشترین رشد را داشته

است، در حد یک درصد کل اراضی تحت آبیاری و حدود دو درصد اراضی آبیاری تحت فشار در آن کشور باشد (Goyal, ۲۰۱۴; Lamm و همکاران، ۲۰۱۲). در عمل مهم‌ترین مشکلات روش زیرسطحی قطره‌ای به دودسته نحوه آبدهی قطره‌چکان‌ها به خاک و نفوذ ریشه به درون قطره‌چکان‌ها قابل تقسیم‌بندی می‌باشد که به دلیل اهمیت آن‌ها در زیر مورد بحث قرار می‌گیرند:

۱- نحوه آبدهی قطره‌چکان‌ها به خاک

در سامانه قطره‌ای زیرسطحی، نحوه آبدهی قطره‌چکان‌ها، سبب اشباع سریع خاک و حرکت آب به سمت عمق و یا سطح خاک می‌شود (Keller و Bliesner، ۱۹۹۰).

خیس شدن سریع سطح خاک مزیت عمده آبیاری زیرسطحی را تا حدی زیادی از بین می‌برد؛ زیرا تبخیر از سطح خاک به معنی تلف شدن آب است که جلوگیری از آن هدف اصلی در آبیاری زیرسطحی می‌باشد. از سوی دیگر تبخیر آب موجب تجمع نمک در سطح خاک می‌شود. نمک‌های تجمع یافته در سطح زمین در فصل زمستان به همراه بارندگی و یا بارش برف، شسته و به منطقه ریشه وارد و سبب بروز خسارت به درختان می‌گردند (صالحی، ۱۳۸۴). از مسائل دیگر خیس شدن سطح خاک، ایجاد شرایط مناسب برای رشد علف‌های هرز سطحی است.

مشکل دیگر در روش آبیاری قطره‌ای اعم از سطحی یا زیرسطحی، آبدهی نقطه‌ای^{۱۷} آن است. این امر مانع استفاده گیاه از تمام ظرفیت سامانه ریشه می‌شود. محدود شدن برداشت آب و غذا و تهویه ریشه به یک منطقه نسبتاً کوچک در اطراف قطره‌چکان‌ها، عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Karmel و Keller، ۱۹۷۴). Bastani (۱۹۹۸) گزارشی از تحقیقات انجام‌شده با روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری در کشت گیاه ذرت در کرج ارائه کرده است. نتایج این تحقیقات نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای با وجود استفاده از دو قطره‌چکان در هر متر طول لوله، عملکرد محصول ذرت دانه‌ای به ۷ تن در هکتار کاهش یافت، درحالی‌که عملکرد محصول در روش شیاری در شرایط مشابه ۱۰ تن در هکتار بود. لذا برای رفع این محدودیت بایستی تعداد قطره‌چکان‌ها در هر متر طول افزایش یابد. این موضوع به‌ویژه در صورت استفاده از قطره‌چکان‌های گران‌قیمت مقاوم در مقابل نفوذ ریشه، هزینه سامانه را افزایش می‌دهد.

۲- نفوذ ریشه به درون قطره‌چکان‌ها

مسئله نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها از دیگر موانع همیشگی استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی است (Lamm و همکاران، ۲۰۱۲ و Zoldske، ۱۹۹۹). در سال‌های اخیر استفاده از سم علف‌کش تری‌فلورالین^{۱۸} با نام تجاری ترفلان^{۱۹} برای مقابله با رشد ریشه متداول شده است. ترفلان مانع رشد و تکثیر سلول‌های مریستمی ریشه می‌گردد (Suarez-Rey و همکاران، ۲۰۰۶) و عمدتاً به سه روش مورد استفاده قرار می‌گیرد: افزودن آن به آب آبیاری جهت تزریق به خاک اطراف قطره‌چکان‌ها؛ استفاده از

قطره‌چکان‌های مقاوم به رشد ریشه که به ترفلان آغشته شده‌اند و استفاده از فیلترهای دیسکی با صفحات آغشته به سم. استفاده از ترفلان به علت سرطان‌زا بودن آن در بسیاری از کشورها از جمله جامعه مشترک اروپا ممنوع گردیده است (Stokstad، ۲۰۱۶).

ارزیابی: استفاده از سم علف‌کش برای مقابله با نفوذ ریشه نیز با مشکلاتی همراه است. به‌طور مثال مسائلی چون خطای کارگری یا کم‌اطلاعی و سهل‌انگاری در تزریق صحیح سم علف‌کش به آب آبیاری و یا قطع نکردن به‌موقع جریان تزریقی به یک قطعه، می‌تواند موجب آلودگی خاک، محیط ریشه گیاه و احیاناً بلااستفاده شدن زمین تا مدتی شود.

در روش دوم، علف‌کش در هنگام آبیاری به‌تدریج از جداره داخلی قطره‌چکان مقاوم به رشد ریشه آزاد شده مانع رشد ریشه به داخل قطره‌چکان می‌گردد. Yu و همکاران (۲۰۱۰) و Suarez-Rey و همکاران (۲۰۰۶) در زمینه اثر ترفلان روی رشد و نفوذ ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها تحقیقاتی انجام داده‌اند اما در زمینه میزان دوام و اثرگذاری سم تزریق‌شده به داخل قطره‌چکان‌ها در درازمدت تحقیقی در دست نمی‌باشد.

ارزیابی: قرارگیری قطره‌چکان‌ها در مراحل مختلف حمل‌ونقل در معرض تابش اشعه خورشید یا هوای گرم، تصاعد ترفلان را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. همچنین عبور جریان آب از داخل مجاری قطره‌چکان‌ها موجب شسته شدن و کاهش تدریجی غلظت سم می‌گردد. در نتیجه ممکن است ریشه‌ها پس از مدتی به درون منافذ قطره‌چکان‌ها رشد کرده و سبب گرفتگی آن‌ها گردند.

یک روش دیگر که با هدف رفع نقاط ضعف اساسی آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ابداع و به بازار ارائه شده، روش آبیاری زیرسطحی کاپیلاری یا به اختصار کیس (KISSS)^{۲۰} نام دارد. در این روش که همان روش آبیاری قطره‌ای است، از یک غلاف پارچه‌ای از جنس پلی‌استر برای لوله استفاده می‌شود. وظیفه این غلاف جلوگیری از نفوذ ریشه و توزیع بهتر رطوبت در خاک و نزدیک کردن آبدهی سیستم از حالت نقطه‌ای به خطی است. در رابطه با ریشه اگرچه نفوذ به داخل پلی‌استر ممکن است (CSIRO Land and Water، ۱۹۹۸)، اما مسدود شدن قطره‌چکان تاکنون گزارش نشده است. در رابطه با توزیع رطوبت نیز، لوله‌های کیس به دو شکل تولید می‌شوند، در یک نوع از آن نوار تیپ داخل غلاف پلی‌استر کارگذاری می‌شود. این نوع لوله که فلت^{۲۱} نام دارد، برای کارگذاری در عمق کم خاک طراحی شده تا سطح را بصورت یکدست خیس نماید. کاربرد این نوع لوله مناسب آبیاری زمین‌های چمن و ورزشی می‌باشد (kisssamerica.com/Products/KISSS-Flat، ۲۰۱۸). شدت خیس و اشباع شدن سطح زمین در تحقیق Abass و همکاران (۲۰۱۵) با لوله‌های آبیاری کیس با عمق کارگذاری ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر در یک خاک شنی، بیان شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان رطوبت در بالای لوله، ۵۰ درصد حجمی

عمل نماید تا علاوه بر اراضی بزرگ، در قطعات کوچک نیز توسط کشاورزان خرده‌مالک قابل استفاده باشد.

ساخت و تست لوله‌های سفالی با حدود ۳۰۰۰ فرمول متفاوت از خاک معادن ایران، همراه با افزودنی‌های متفاوت انجام شد به گونه‌ای که لوله‌های تولیدی از هر دو صفت مقاومت و آبگری بالا برخوردار باشند (Bastani, ۱۹۸۹).

پس از ارزیابی مواد مختلف، در نهایت لوله‌های سفالی با طول حدود ۳۳ و قطر خارجی ۳ سانتی‌متر تولید می‌شوند و با استفاده از اتصالاتی از جنس مواد پلاستیکی به یکدیگر متصل می‌گردند تا یک خط لوله متخلخل و انعطاف‌پذیر را به وجود آورند. این خط لوله می‌تواند به صورت یک شبکه زیرسطحی مطابق با نیاز محصولات (زراعی، باغی، بوته‌کاری و فضای سبز) با عمق و فاصله مناسب در خاک نصب شود (شکل ۷).



شکل ۷- لوله‌های سفالی کارگذاری شده در کف کانال حفر شده در یک باغ پسته (سمت چپ) و یک قطعه باغ تحت آبیاری با این روش (سمت راست)

در این روش آب آبیاری با فشار کم پمپ چاه به داخل شبکه جریان یافته و به تدریج به خاک نشت می‌کند. مکش خاک خشک نیز به بیرون آمدن آب از لوله‌های سفالی کمک نموده و هنگامی که خاک اطراف لوله‌ها مرطوب شود، مکش خاک و در نتیجه آبدهی لوله‌ها کاهش می‌یابد (Bastani, ۱۹۹۸).

ارزیابی: لوله‌های متخلخل سفالی بر خلاف لوله‌های تراوای لاستیکی (که از جنس لاستیک بازیافتی تایر اتومبیل تولید می‌گردند) عاری از عناصر سمی چون کادمیوم (Schachtschabel و همکاران، ۱۹۷۶) و غیره بوده و برای مقابله با نفوذ ریشه نیازی به تزریق سم ندارند، لذا سبب آلودگی خاک، غذا و محیط زیست نمی‌گردند. همچنین بر خلاف روش کپسولی سفالی، این روش به طور کامل در زیر سطح زمین نصب می‌گردد که مانعی برای انجام شخم و عملیات مکانیزه در سطح خاک ایجاد نمی‌نماید. نتایج تجارب به دست آمده در تحقیقات صحرایی با این سامانه در مقالات آتی ارائه خواهد شد.

جمع‌بندی

هدف از آبیاری زیرسطحی، رساندن رطوبت کافی به منطقه ریشه گیاه بدون خیس شدن سطح خاک و تلفات عمقی است؛ به گونه‌ای که دستیابی به بالاترین میزان کارایی آب تحت شرایط صحرایی ممکن

یعنی ۴ برابر ظرفیت نگهداری خاک (ظرفیت مزرعه) بوده است. در کشاورزی مکانیزه بایستی عمق کارگذاری بگونه‌ای در نظر گرفته شود که امکان شخم عمیق وجود داشته باشد. لذا شرکت تولید کننده نوع دیگری از لوله کیس را برای کاربرد در کشاورزی طراحی نموده که راپ^{۳۳} نام دارد. در این نوع بجای نوار تیپ از لوله ۱۶ میلی‌متری آبیاری قطره‌ای استفاده شده تا امکان تحمل فشار ناشی از وزن خاک در عمق‌های پایین‌تر وجود داشته باشد (kisssamerica.com/Products/KISS-Wrap, ۲۰۱۸).

ارزیابی: در سیستم کیس نحوه آبدهی به خاک برخلاف ادعای شرکت تولیدکننده کاپیلار^{۳۳} یا نشتی نیست، زیرا در آبیاری نشتی آبدهی به خاک به صورت تدریجی و دائمی صورت می‌گیرد و رطوبت خاک نباید از حد ظرفیت زراعی بیشتر شود. اما در روش کیس آبیاری همانند آبیاری قطره‌ای بصورت دوره‌ای انجام شده که جلوگیری از حرکت ثقلی آب به سمت عمق و یا خیس شدن سطح خاک را دشوار می‌نماید. از سوی دیگر قیمت فروش این لوله‌ها که تحت عنوان کاپیلار به فروش می‌رسند برای کشاورزی بسیار زیاد است. بطور مثال در سایت شرکت عرضه کننده قیمت فروش هر رول ۱۰۰ متری لوله راپ مخصوص کشاورزی ۳۱۸ دلار ذکر شده است (kissslawnandgarden.com/kisss-wrap-rolls, ۲۰۱۸).

• آبیاری زیرسطحی با لوله‌های سفالی

با توجه به مشکلات ذکر شده در رابطه با روش‌های گوناگون آبیاری زیرسطحی، ضرورت ابداع یک فناوری مناسب برای کمک به کاهش مشکل بحران آب در کشورهای مناطق خشک احساس می‌شد. در این راستا از سال ۱۹۸۷، Bastani به انجام تحقیقات برای ابداع یک سامانه آبیاری مناسب پرداخت. بررسی مشکلات مذکور در سایر تحقیقات نشان می‌داد که سامانه مورد نیاز برای موفقیت عملی بایستی دارای خصوصیات زیر باشد:

الف) آبدهی سامانه بایستی نشتی باشد تا از حرکت سریع آب به سمت عمق که در شرایط اشباع اتفاق می‌افتد، جلوگیری و مانع خیس شدن سریع سطح خاک، در نتیجه تلفات تبخیر و تجمع نمک و رشد علف‌های هرز گردد.

ب) آبدهی لوله‌های فرعی (لاترال) به صورت خطی و در طول لوله انجام گیرد تا برداشت آب و غذا توسط ریشه‌ها از حجم بیشتری از خاک انجام و عملکرد محصولات کاهش نیابد.

ج) قطر منافذ جداره لوله‌ها بایستی زیر ۵۰ میکرون باشد تا ریشه گیاهان و یا علف‌های هرز امکان نفوذ به درون منافذ آبده و مسدود نمودن آن‌ها را نداشته باشند.

د) با توجه به اینکه ۸۷ درصد کشاورزان ایرانی دارای قطعات کوچک کمتر از ۱۰ هکتار می‌باشند (سرشماری کشاورزی، ۱۳۹۳) که سامانه‌های تحت فشار در آن‌ها اقتصادی نیست، سامانه مورد نظر بایستی بدون نیاز به فشار زیاد و تجهیزات پرهزینه تولید فشار،

- 1- Underground-Irrigation
- 2- Subsurface-Irrigation
- 3-The application of water below the soil surface through emitters, with discharge rates generally in the same rate as drip irrigation
- 4- Point source
- 5- Line source
- 6- Dresden
- 7- Wiesbaden
- 8- Pipe plough
- 9- Janert
- 10- Bitumen
- 11- Arido Kultivator
- 12- SWC,ARS,USRD
- 13- Irrigro
- 14- Decline Effect
- 15- Exthruder
- 16- Ensam
- 17- Point Source
- 18- Trifluralin
- 19- Treflan
- 20- Kapillary Irrigation Subsurface System
- 21- Flat
- 22- Warp
- 23- Kapillar

Journal of Agricultural and Biological Science, 10(10).

- Alemi M. 1981. Distribution of water and salt in soil under trickle and Pot irrigation. *Agricultural water Management*, 3: 195-203.
- Aquaspa F. 1994. Das ökologische Bewässerungs-System. Friedel & Hilbert GmbH Im Kreuzwinkel 10 64668 Rimbach.
- ASAE Standards, 1995. Design and installation of microirrigation systems. Developed by the ASAE subsurface and trickle irrigation committee: approved by the soil and water division standards committee. ASAE EP405.1 DEC94. 720-723.
- Barth S. 1988. Gefäßbewässerung Eine Alternative für aride und semiaride Gebiete. *Ztschr. f. Bewässerungswirtschaft*. 144-164.
- Bastani Sh. 1989. Unterflurbewässerung mittels Kuseh-Rohren (Theorie und Materialversuche im Iran) Unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie, Universität Kiel.

گردد. به علت راهبردی بودن این موضوع برای تأمین غذای جمعیت روبه رشد کره زمین، محققین بسیاری در طول حداقل ۱۲۰ سال گذشته از جمله در کشورهای اروپایی، آمریکایی و اتحاد جماهیر شوروی سابق برای ابداع یک روش مناسب آبیاری زیرسطحی تلاش نموده‌اند. در این راستا استفاده از لوله‌های معمولی و منفذدار زهکشی از جنس سفال، لوله‌های سیمانی با موادی چون شن و سیمان، بیتومین، کپسول‌های سرامیکی در ابعاد متفاوت و یا انواع لوله‌های پلاستیکی، لاستیکی متخلخل و یا قطره‌چکان‌دار مورد استفاده و تحقیق قرار گرفته است. به‌طور کلی هیدرولیک سامانه‌ها به لحاظ آبدهی به خاک به دو حالت نقطه‌ای و یا خطی و توزیع رطوبت در خاک نیز به دو حالت، حرکت آب در محیط اشباع (خیساندن خاک به روش قطره‌ای یا غیره) و یا در محیط غیراشباع به صورت نشت تدریجی و خودکار رطوبت از جداره سفال (که در ارتباط با مکش ماتریک خاک و فقط در سامانه‌های کم‌فشار اتفاق می‌افتد) قابل تقسیم می‌باشند. علی‌رغم گذشت چندین سال از زمان آغاز نوآوری‌ها و تحقیقات انجام‌شده در زمینه آبیاری زیرسطحی، به دلیل وجود مشکلات فنی مختلف چون تلفات ناشی از نفوذ عمقی، خیس شدن سطح خاک که تبخیر و شوری سطح خاک و رشد علف‌های هرز را به دنبال دارد و یا رشد ریشه به داخل قطره‌چکان‌ها، این روش گسترش چندانی نیافته است.

روند فزاینده بحران در زمینه‌های حیاتی آب و غذا و دستاوردهای چشمگیر بشریت در طول قرن گذشته در سایر زمینه‌های علمی و فنی نشان‌دهنده ضرورت تلاش مضاعف برای دستیابی به فناوری مناسب آبیاری زیرسطحی برای استفاده بهینه از آب می‌باشد. هدفی دشوار که دستیابی به آن بدون اطلاع از تجارب و تلاش‌های قبلی ممکن نخواهد بود و این نوشتار در راستای کمک به تحقق آن تهیه گردید.

منابع

- جواهری، پ. ۱۳۵۵. بررسی امکان استفاده از کوزه‌های سفالی در آبیاری. وزارت کشاورزی و منابع طبیعی، موسسه خاکشناسی و حاصل‌خیزی خاک، ۴۸۶.
- زارعی، ق. و شهپری، س.ع. ۱۳۹۲. ویژگی‌های هیدرولیکی کپسول‌های سفالی سامانه آبیاری زیرسطحی در سه بافت خاک. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۱۴(۴): ۵۷-۷۲.
- سرشماری عمومی کشاورزی. ۱۳۹۳. درگاه ملی آمار. مرکز آمار ایران.
- صالحی، ف. ۱۳۸۴. شناخت خاک و تغذیه درختان پسته. موسسه تحقیقات پسته کشور، رفسنجان.
- مهدی‌زاده، پ. ۱۳۵۴. تحقیق در صرفه‌جویی در مصرف آب برای جنگلداری و ایجاد فضای سبز در مناطق خشک کشور. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.
- Abass M. E., Al-Ghobari H. Tola E. and Al-Gaadi K. A. 2015. Impact of the installation depth on the performance of subsurface irrigation system and its modified version "KISS" compared to the surface drip irrigation system. *ARNP*

- College of Colorado. Bull. 240, Ft. Collins, CO.
<http://kisssamerica.com/Products/KISS-Flat>. (visited 2 February 2018).
<http://kisssamerica.com/Products/KISS-Wrap>. (visited 2 February 2018).
<http://www.kissslawnandgarden.com/kiss-wrap-rolls/>. (visited 2 February 2018).
- Janert H. 1937a. Arbeiten über die Untergrundbewässerung. Verhandlungen der sechsten commission der internationalen bodenkundlichen gesellschaft. Zurich, 1937. Teil B, 260-267.
- Janert H. 1937b. Neue Wege der Untergrundbewässerung. D. Kulturtechniker. 40: 2-29.
- Janert H. 1955. Der Greifswalder Rohrpfug und seine Arbeitsweise. Ztschr. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, Jg. 5, H. 4.
- Keller J. and Bliesner R. D. 1990. Sprinkler and trickle irrigation, Avi Book, New York.
- Keller J. and Karmel D. 1974. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, 17(4).
- Korneff W. 1932. Das System der Automatischen Bodenbewässerung. Deutsche Landwirtschaftliche Rundschau, 9: 691-692.
- Lamm F. R. 2009. Managing the challenges of subsurface drip irrigation. Irrigation Association Technical Conference, San Antonio, Texas.
- Lamm F. R. 2014. Technology Transfer from Subsurface Drip Irrigation Studies. KSU Northwest Research-Extension Center.
- Lamm F. R., Bordovsky J.P. Schwankl L.J. Grabow G.L. Enciso-Medina J. Peters R.T. Colaizzi P.D. Trooien T.P. and Porter D.O. 2012. Subsurface drip irrigation: Status of the technology in 2010. Transactions of the ASABE, 55(2): 483-491.
- Lomax K. M. 1988. Emission Characteristics of Porous Tubing. Agricultural Water Management, 15(2): 197-204.
- Lovell C. J., Batchelor C. H. and Murata M. 1990. Development of small-scale irrigation using limited groundwater resources. Second Interim Report, report ODA, Institute of Hydrology Wallingford, Oxon, U.K.
- Mahbub-ul-Alam M. 1991. Leaky tubing for Subsurface Irrigation. Written for presentation at the International Summer Meeting. ASAE, Paper No. 922158.
- Meier E. 1935. Untersuchungen über die Untergrundbewässerung. Diss. Leipzig, Druck von Frommhold & Wendler, Leipzig, D. R. G. M.
- Mertin W. 1974. Kosten der Unterflurbewässerung. Landwirt im Ausland 8, H. 3, 55-57.
- Mitchell W. H. Stevens R. F. and Williams T. H. 1974. Farm Bastani Sh. 1998. Unterflurbewässerung mittels Kuseh-Rohren Entwicklung eines neuen Bewässerungssystems mit hoher Wassereffizienz und Bewässerungsversuche in Karadj/Iran. Doktorarbeit. Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie, Universität Kiel.
- Batchelor C., Lovell C. and Murata M. 1996. Simple microirrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. Agricultural Water Management, 32(1): 37-48.
- Baumman H. and Mann G. 1974. Stellungnahme zur unterflurbewässerung nach stander (Gutachten) institut für wasserwirtschaft und landschaftökologie institut für wasserwirtschaft und landschaftökologie der Christian-Albrechts- Universität Kiel.
- Camp C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. Transactions of the ASAE, 41(5): 1353-1367.
- Clark G. A. and Stanly C. D. 1992. Subirrigation by microirrigation. American Society of Association Executives, 8(5): 647-652.
- Cole T. E. 1971. Subsurface and trickle irrigation, a survey of potentials and problems (No. ORNL-NDIC--9). Oak Ridge National Laboratory Tennessee (USA). Nuclear Desalination Center.
- CSIRO Land and Water. 1998. Controlled Root Zone Irrigation Final Report to Grain Security Foundation.
- Damnich A. 1933. Beregnung oder Unterflurbewässerung im Gartenbau? Die Feldeberegnung, 1. Folge, Berlin, 125.
- David A. 1991. Irrigation for remote sites. S. E. R. G. Restoration bulletin. San Diego, CA 22186.
- Davis S. 1967. Subsurface irrigation: How Soon a Reality? Agricultural Engineering, 48(11) 654-655.
- Dorter K. 1961. Die Entwicklung der Unterflurbewässerung unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Verhältnisse. Ztschr. f. Landeskultur, Band 2, H. 1, 25-48.
- Edlin F. E. 1970. Mechanical subsoil irrigation – progress report. Div. Agricultur School of Engineering. Arizona state university, Tempe, August, 1970.
- Erdin E. 1972. Versuche mit Unterflurbewässerung im Mittelerranen Gebiete der Türkei. Diss. Justus-Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Umweltsicherung.
- Gerhardt P. 1922. Kulturtechnik, Berlin, Verlag Parey 348.
- Goyal M.R. (Ed.). 2014. Sustainable Micro Irrigation: Principles and Practices. CRC Press.
- Hettinga S. 1990. Method for forming irrigation pipe having a porous side wall. United-States-Patent. US 4, 931, 236, 5 S. Juni. 5, 1990, Applied Mar 10.
- House E. B. 1918. Irrigation by means of underground porous pipes. Agricultural Experiment Station of the Agricultural

- Stein T. M. 1997. Der Einfluß der Verdunstung, der hydraulischen Leitfähigkeit, der Wanddicke und der Oberfläche auf die Perkulationsrate von Gefäßbewässerung. Ztschr. f. Bewässerungswirtschaft, Jg. 32, H. 1, S. 65-84.
- Stein T. M. 2013. Pitcher irrigation bibliography. Available at <http://www.vl-irrigation.org>. [Verified 5 Jun. 2016].
- Stokstad E. 2016. Why Europe may ban the most popular weed killer in the world. <http://www.sciencemag.org/news/2016/06/why-europe-may-ban-most-popular-weed-killer-world>. (visited 21 February 2018).
- Suarez-Rey E.M., Choi C.Y. McCloskey W.B. and Kopec D.M. 2006. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. Irrigation and drainage, 55(5): 501-509.
- Tamm E. and Schendel U. 1954. Erfahrungen mit der Unterflurbewässerung. Mitt. DLG. 69: 409-411.
- Teeluck M. and Sutton B.G. 1998. Discharge characteristics of a porous pipe microirrigation lateral. Agricultural water management, 38(2): 123-134.
- Turner J. E. 1975. Poröser Schlauch, insbesondere Bewässerungsschlauch, und Verfahren zu seiner Herstellung, Deutsches Patentamt Nr. 2506674 A1. Feb 17, 1975.
- Vogler A. 1896. Grundlagen der Kulturtechnik, I ; Verlag Parey Berlin.
- Vogler A. 1899. Grundlagen der Kulturtechnik, II; Verl Parey Berlin.
- Wagner H. 1938. Untersuchungen über die Untergrundbewässerung. Diss. Universität Leipzig. Verlagsdruckerei Hans Plasnick, Großenhain i. Sa.
- Yabe K. and Tanigana T. 1991. Studies on the optimum number of watering plants per porous pipe under the Sub-irrigation methode by using negative pressure difference. Bull. Univ. Osaka Pre. Ser. B. Vol. 44.
- Yoder R. E. Mote C. R. and Lamm F. R. 1995. Porous pipe discharge uniformity. p. 750-755. In proceedings Fifth International Microirrigation Congress, Orlando, Florida. April. 1995.
- Youssefie G. 1967. Versuche zur Weiterentwicklung der Unterflurbewässerung. Diss. Justus Liebig-Universität Gießen, Fachbereich Umweltsicherung.
- Yu Y. Shihong G. Xu D. Jiandong W. and Ma X. 2010. Effects of Treflan injection on winter wheat growth and root clogging of subsurface drippers. Agricultural water management, 97(5): 723-730.
- Zabel G. 1983. Experimentation de Techniques d Irrigation en Zone Sahelienne. GTZ, Eschborn/Ts., 1.
- Zoldske D. F. 1999. Boot intrusion prevention. Irrigation J. 14-15.
- and Garden crop production with trickle irrigation. Ext. Serv. Circ. Al, University of Delaware, Newark, DE, 4.
- National academy of sciences, 1974. More water for arid lands, promising technologies and research opportunities. Report of an Ad Hoc Panel of the advisory committee on technology innovation board on science and technology for international development commission on international relations, Washington, D.C. p. 110.
- Niederwemmer P. 1964. Lösung des Ernährungsproblems durch Re- und Neo- Kultivierung von ariden und semi-ariden Böden. Münster /Westf.
- Penningsfeld F. and Dequin K. E. 1968. Bewässerungsversuche mit Futterpflanzen in Tunesien. Z. f. Bew. Wirtsch. H2.
- Sack R. 1899. Vorschläge zur Reform des Ackerbaues. Leipzig, Verl. Stephan 24 S.
- Schachtschabel P. Blume H. P. Brümmer G. Hartge K. H. and Schwertmann U. 1976. Lehrbuch der bodenkunde. F. Enke.
- Schick H. 1990. Erfolgreiche Bewässerungstechnik mit Keramikgefäßen, Keramische Zeitschrift, 42, Jahrgang, Nr.5, 348-349.
- Silva D. A. Carvallo H. O. Silva A. S. and Gheyi H. R. 1988. Bewässerung mit porösen Töpfen unter hydrostatischem Druck. Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 29: 27-35.
- Smajstrla A. G. 1992. Field studies of porous pipe microirrigation laterals. American Society of Agricultural Engineers (USA).
- Stander W. 1971. Unterirdische Bewässerung im Projekt Nabeul/Tunesien. Landwirt im Ausland 5, H. 1, 14-15.
- Stauch F. 1948. An der Grenze der Ertragssteigerung? Neue Mitt. f. d. Landwirtschaft, 3: 490-491.
- Stauch F. 1950. Die Untergrund-NährLösungsbewässerung im praktischen Gebrauch Neue Mitt. f. d. Landwirtschaft, 5: 679-680.
- Stauch F. 1952. Untergrundbewässerungsanlage. Deutsche Patentschrift Nr. 849-774.
- Stauch F. 1954. Endlich Untergrundbewässerung. Dtsch. Landw. Presse 77, Nr. 23, 324-325, und Nr. 24, 338-339.
- Stein C. 1950. Neue Gesichtspunkte bei der landwirtschaftlichen Ent- und Bewässerung. Wasser u.-Boden, 2: 209-212.
- Stein C. 1952 a. Aus der Technik der landwirtschaftlichen Bewässerung. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, Sonderheft, 2(1): 7-10.
- Stein C. 1953. Von der Untergrundbewässerung und dem Einfluß der Bodenfeuchte auf den Boden und das Pflanzenwachstum. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 3: 225-232.
- Stein T. M., 1994. Grundlagen und Technik der Gefäßbewässerung. Ztschr. f. Bewässerungswirtschaft, Jg. 29, H. 1, 62-94.

A Review of Sustainable Urban Drainage Systems in Adaptation to Climate Change Impacts

N. Binesh¹, M.H. Niksokhan^{2*}, A. Sarang³

1,2, 3- PhD. Student in Environment Engineering, Associate Professor & Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

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

Received: 17-05-2016

Accepted: 16-05-2017

مروری بر سیستم‌های زهکشی پایدار شهری در تطبیق با اثرات تغییر اقلیم

نگین بینش^۱، محمدحسین نیک‌سخن^{۲*}، امین سارنگ^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست، دانشیار و استادیار گروه مهندسی عمران-محیط زیست، دانشگاه تهران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: niksokhan@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۶

Abstract

The two factors of the trend of climate change and urban development pose a challenge to urban drainage infrastructures due to the adverse impacts on precipitation extremes and urban environment. Nowadays, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) have become quite popular as a result of their positive effects on the water quality, quantity, amenity, and recreational affairs in urban landscapes. Today, the majority of the world agrees that a sustainable drainage approach has an influence in reducing global climate change and adapting to this phenomenon (which has already started). The current paper reviews recent progress in the development of sustainable drainage, based on interdisciplinary studies. First, the reasons behind moving towards a sustainable urban drainage system are mentioned and then, existing models and decision-aid tools to assess different types of SUDS are compared and discussed. This paper also explains some limitations and challenges related to applying SUDS in practice and finally, the results and conclusions are presented.

Keywords: Sustainable drainage, city, runoff, climate change.

چکیده

دو عامل روند تغییرات اقلیمی و توسعه شهری به دلیل اثرات نامطلوب بر بارش‌های حدی و محیط‌زیست شهری، زیرساخت‌های زهکشی شهرها را به چالش می‌کشند. سیستم‌های زهکشی پایدار، امروزه به دلیل اثرات مثبتی که بر کنترل کمیت و کیفیت آب و نیز خدمات رفاهی و تفریحی مرتبط با آب در مناظر و چشم‌اندازهای شهری دارند، توجه زیادی را به خود جلب نموده‌اند. امروزه توافق بر سر این مسئله نیز ایجاد شده که استفاده از رویکرد زهکشی پایدار، در کاهش اثرات تغییر اقلیم جهانی و تطبیق با این پدیده که هم‌اکنون نیز آغاز شده است، مؤثر است. این مقاله به مرور پیشرفت‌های اخیر در توسعه زهکشی پایدار بر اساس تحقیقات میان‌رشته‌ای صورت گرفته، می‌پردازد. بدین‌صورت که دلایل نیاز حرکت به سوی سیستم‌های پایدار زهکشی شهری ذکر گردیده و مدل‌های موجود و رویکردهای شبیه‌سازی و ابزارهای تصمیم‌یار برای ارزیابی گزینه‌های زهکشی پایدار نیز مورد بحث و مقایسه قرار می‌گیرند. این مقاله همچنین به بررسی برخی محدودیت‌ها و چالش‌های موجود در رابطه با کاربرد تکنیک‌های زهکشی پایدار پرداخته و نهایتاً به بحث و نتیجه‌گیری از مباحث مذکور می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: زهکشی پایدار، شهر، رواناب، تغییر اقلیم.

زهکشی شهری مورد توجه قرار گرفته است. از دیگر دلایل این امر، مشکلات فعلی در کیفیت محیط زیست آبی و احساس نیاز فوری به توسعه راهبردهایی برای مقابله با آلاینده‌های ورودی به پیکره‌های آبی دریافت کننده است (European Commission, ۲۰۰۰؛ Ellis و همکاران، ۲۰۰۲). علاوه بر دغدغه‌های زیست محیطی، انتقاد فزاینده‌ای نیز به ظرفیت محدود و عدم انعطاف پذیری سیستم‌های سنتی جمع‌آوری آب‌های سطحی در تطبیق با تغییرات اقلیمی و توسعه شهری در آینده وارد است (Krebs و Larsen, ۱۹۹۷).

طراحی سیستم زهکشی پایدار، نیازمند پژوهش‌های میان‌رشته‌ای بوده و همکاری متخصصین از حوزه‌های مختلف را می‌طلبد. رایج‌ترین تکنیک‌های "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری که امروزه به کار گرفته می‌شوند، عبارت‌اند از: ترانسه‌های نفوذ، روسازی‌های نفوذپذیر، مخازن ذخیره آب باران، جوی‌باغچه‌ها، حوضچه‌های نگهداشت موقت، تالاب‌ها و برکه‌ها (Elliott و Trowsdale, ۲۰۰۷). هدف از مقاله حاضر، مروری کلی بر لزوم به‌کارگیری تکنیک‌های زهکشی پایدار و وضعیت مطالعات رو به رشد در رابطه با این سیستم‌ها، محدودیت‌های موجود و شبیه‌سازی آن‌ها، با تأکید بر اثرات تغییر اقلیم، و با تأکید بر نتایج تحقیقات صورت گرفته در این رابطه است که از جنبه‌های مختلف، توسط پژوهشگران از رشته‌ها و تخصص‌های گوناگون، به آن پرداخته شده است.

برسد (Ekström و همکاران، ۲۰۰۵؛ Willems و همکاران، ۲۰۱۲؛ Arnbjerg-Nielsen, ۲۰۱۲). این مسئله سیستم‌های زهکشی فعلی را که بر اساس یک دوره بازگشت مشخص طراحی شده‌اند، با چالش عظیمی مواجه می‌کند. چراکه این سیستم‌ها در مقابله با مقدار رواناب افزایش یافته ناشی از اثرات تغییر اقلیم، با کمبود ظرفیت مواجه می‌شوند. به علاوه، طراحی سیستم زهکشی آینده نیازمند در نظر گرفتن افزایش شدت و فراوانی بارش می‌باشند تا تعداد دفعات اضافه بار سیستم، در سطح قابل قبولی حفظ شود (Burrell و همکاران، ۲۰۰۷؛ Mailhot و Duchesne, ۲۰۱۰).

از طرفی توسعه شهری نیز در کنار تغییر اقلیم، بر افزایش کمیت و کاهش کیفیت رواناب اثرگذار است. در مناطق شهری، به دلیل مشخصاتی چون گستره مناطق نفوذناپذیر، وجود سازه‌های جمع‌آوری و انتقال آب، فعالیت‌های متمرکز صنعتی و آلودگی‌ها، شدت بیشتر فعالیت‌های بشری، محدودیت منابع باکیفیت مطلوب موردنیاز و تمرکز جمعیتی، اثرات ناشی از تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر عناصر گوناگون چرخه منابع آب شدیدتر بوده، و واکنش به تغییرات ایجاد شده در رواناب سطحی در اثر تغییر اقلیم خطرناک‌تر و سریع‌تر است. توسعه شهری منجر به کاهش سطوح نفوذناپذیر و کاهش زمان حرکت آب روی سطوح شهری، و به تبع آن سبب افزایش در حجم و اوج دبی رواناب می‌گردد. همچنین افزایش تماس با آلاینده‌های ناشی از کاربری‌های ویژه مناطق شهری نیز، کاهش

از زمان‌های دور تاکنون، سیستم زهکشی شهری به‌عنوان یک زیرساخت حیاتی، به‌منظور جمع‌آوری و انتقال رواناب به خارج از مناطق شهری وجود داشته است (Larsen و Gujer, ۱۹۹۷؛ Chocat و همکاران، ۲۰۰۷). علی‌رغم توسعه‌هایی که در سال‌های اخیر صورت گرفته، طراحی یک سیستم زهکشی کارا و با عملکرد مناسب، همچنان به‌عنوان چالشی قابل توجه برجا مانده است. به ویژه اثرات ناشی از تغییر اقلیم و توسعه شهری مورد تأکید بسیاری از محققین قرار گرفته، چراکه می‌توانند افزایشی قابل توجه در فراوانی و بزرگی سیل شهری در بسیاری از مناطق جهان ایجاد نمایند (Zhou, ۲۰۱۴). سیستم‌های زهکشی سنتی عمدتاً طراحی تک هدفی دارند که تمرکز آن‌ها بر کنترل کمیت رواناب است. درحالی‌که روش‌های زهکشی امروزی در سطح جهان، به سمت پایداری حرکت نموده و به دیگر ابعاد مهم مدیریت آب شهری- مانند کیفیت رواناب، زیباسازی محیط، امور تفریحی، حفاظت محیط زیست، و استفاده مجدد از آب- نیز در کنار کنترل کمی رواناب، توجه دارند (Ferguson, ۱۹۹۱؛ France؛ Chocat و همکاران، ۲۰۰۷؛ Echols, ۲۰۰۷). در سال‌های اخیر، مسائل مربوط به کیفیت آب، به دلیل شناخت عمیق‌تر از مفهوم پایداری، به‌طور قابل ملاحظه‌ای در طراحی سیستم

دلایل حرکت به سوی سیستم زهکشی پایدار

۱- اثرات تغییر اقلیم و توسعه شهری

متوسط دمای جهان طی ۱۰۰ سال گذشته، تا ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان داده است (Guerrieri و Scibel, ۲۰۰۶). با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای، و به ویژه دی‌اکسید کربن، پیش‌بینی می‌شود که دمای هوا از ۲/۲ تا ۶/۸ درجه سانتی‌گراد تا دهه ۲۰۸۰ افزایش یابد. این در حالی است که احتمال مقدار اندکی کاهش در بارش متوسط سالانه، و تغییر در توزیع زمانی آن نیز وجود دارد. بنابراین اقدامات تطبیق و کاهش خطر در این زمینه، باید با تمرکز بر سه حوزه اصلی: کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش دما، و اقدامات بازگشت‌پذیری نسبت به سیل صورت گیرد (Charlesworth, ۲۰۱۰).

پدیده تغییر اقلیم می‌تواند سبب افزایش فراوانی وقوع و شدت سیلاب‌ها شود. این پدیده به دلیل اثرات پیش‌بینی شده آن بر چرخه آب شهری- و به ویژه رواناب و سیل شهری- به‌عنوان یک دغدغه جهانی، به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Ranger و همکاران، ۲۰۱۱؛ Hallegatte و همکاران، ۲۰۱۱؛ Willems و همکاران، ۲۰۱۲). بسیاری از پژوهشگران در تحقیقات خود عنوان نموده‌اند که افزایش در شدت اعمال معیارهای طراحی به دلیل تغییر اقلیم، بسته به نوع منطقه موردنظر می‌تواند به ۲۰ تا ۸۰ درصد

کیفیت آب و ایجاد مخاطراتی برای منابع آب موجود را به دنبال دارد (نظیف، ۱۳۸۹).

۲- چالش‌های پیش روی سیستم زهکشی سنتی

بسیاری از پژوهشگران با بررسی اثرات منفی روش‌های زهکشی سنتی بر محیط‌زیست شهری، دغدغه خود را در رابطه با پایداری بلندمدت این سیستم‌ها اعلام نموده‌اند (Eadie و Wong، ۲۰۰۰؛ Roy و همکاران، ۲۰۰۸؛ Zevenbergen و همکاران، ۲۰۰۸). به‌عنوان نمونه Stewart و Hytiris (۲۰۰۸) در رابطه با آلودگی ورودی به نهرها به دلیل سرریز جریان از سیستم فاضلاب ترکیبی (در ترکیب با سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی) (CSO)^۱ بحث نموده‌اند. اختلالات زیست‌محیطی متعدد ایجاد شده توسط زهکشی سنتی نیز در تحقیقات متعددی مورد انتقاد قرار گرفته است (Hellström و همکاران، ۲۰۰۰). مسئله‌ی مهم‌تر اینکه سیستم سنتی جمع‌آوری آب‌های سطحی، از تعداد زیادی اجزای سازه‌ای (مانند لوله‌های بتنی و مخازن زیرزمینی) تشکیل شده و هزینه و زمان موردنیاز برای ترمیم و نصب شبکه زهکشی بسیار زیاد است (Wilderer، ۲۰۰۴). این بدان معناست که سیستم‌های سنتی در بسیاری از موارد،

لازم است با استفاده از قطعات و بخش‌های متعددی توسعه داده شوند و بنابراین انعطاف‌پذیری لازم و کافی را برای افزایش ظرفیت و تطبیق با شرایط بحرانی ندارند (Krebs و Larsen، ۱۹۹۷؛ Sieker و همکاران، ۲۰۰۸). در مواجهه با تغییر اقلیم و توسعه شهری، گسترش سیستم لوله‌های زیرزمینی به شیوه‌ای که در حال حاضر در برخی مناطق معمول است، برای تأمین معیارهای کلی پایداری کافی به نظر نمی‌رسد (Hellström و همکاران، ۲۰۰۰؛ Chocat و همکاران، ۲۰۰۴). جدول (۱) مقایسه‌ای کلی میان رویکرد سنتی و پایدار در زهکشی رواناب شهری را ارائه می‌دهد.

سابقه تحقیقات

۱- تحقیقات مرتبط با اثرات تغییر اقلیم بر رواناب شهری

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در رابطه با اثرات تغییرات اقلیمی و توسعه شهری بر رواناب شهری و مدیریت آن صورت گرفته است. جداول (۲) تا (۵) برخی از این تحقیقات را به اختصار ارائه می‌دهد.

جدول ۱- مقایسه دو رویکرد سنتی و پایدار در مدیریت رواناب سطحی در شهرها

زهکشی سنتی	زهکشی پایدار
ظرفیت محدود در مواجهه با نیازهای زمان آینده (تغییر اقلیم و گسترش شهرها) و در نتیجه نیاز به توسعه در بازه‌های زمانی مشخص با هزینه زیاد	به دلیل استفاده از مکانیزم‌هایی چون نفوذ و استفاده مجدد از رواناب در بخش‌های مختلف، با مشکل کمبود ظرفیت مواجه نیست.
تمرکز بر کنترل کمیت رواناب و توجه ناچیز به مسائل رفاهی و اجتماعی در شهرها	توجه نسبتاً یکسان یا با نسبت منطقی به کمیت، کیفیت، و مسائل رفاهی-اجتماعی در محیط شهری
سیستم متمرکز و تک‌هدفه و تک ابزار با تأکید بر راه حل‌های انتهای فرایند ^۲	سیستم چند هدفه همراه با استفاده از تکنیک‌ها و ابزار مختلف با تأکید بر کنترل رواناب در منشأ
در نظر گرفتن رواناب به‌عنوان عنصری آلوده و مزاحم در شهر که باید هر چه سریع‌تر خارج شود	تلاش برای مهار و استفاده مجدد از رواناب در محیط شهری
آلوده ساختن پیکره‌های آبی دریافت‌کننده و عدم توجه کافی به مسائل کیفی و زیست‌محیطی	بهبود کیفیت رواناب و کمک به حفاظت محیط‌زیست
عدم توجه به مسائل رفاهی و زیباسازی محیط، و تنوع زیستی در محیط شهری	کمک به زیباسازی محیط شهر و رفاه شهروندان، کمک به بهبود تنوع زیستی در محیط‌زیست شهری، در کنار بهبود اثرات نامطلوب تغییر اقلیم، تغذیه آب‌های زیرزمینی، و کمک به بازسازی و احیای شرایط طبیعی پیش از توسعه شهری
عدم تأمین معیارهای توسعه پایدار	لحاظ نمودن معیارهای پایداری در محیط‌زیست شهری

جدول ۵- مطالعات مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت منابع آب (Chang و Praskievicz، ۲۰۰۹)

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	مدل گردش عمومی مورد استفاده	دوره زمانی مورد بررسی	مدل هیدرولوژیکی	نتایج
Waters و همکاران (۲۰۰۳)	اونتاریو	CGCM2	دهه ۲۰۹۰	SWMM	سیل می‌تواند با ابزار زهکشی غیرمتمرکز مانند جوی‌های زیستی ^{۳۴} و خیابان‌های سبز ^{۳۵} کاهش داده شود،
Payne و همکاران (۲۰۰۴)	حوضه رودخانه کلمبیا ^{۳۶}	مدل اقلیمی موازی (PCM)	۲۰۷۰-۲۰۹۸	ظرفیت نفوذ متغیر (VIC)	کاهش ۹ تا ۳۵ درصدی تولید نیروی برق آبی
O'Hara و Georgakakos (۲۰۰۸)	کلیفونیا	CGCM2, Had-CM3, ECHAM4	۲۰۰۶-۲۰۳۰	abcd	افزایش (مطابق انتظار) در هزینه‌های ذخیره آب ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیون دلار آمریکا

جدول ۲- مطالعات مدل سازی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه آبریز (Chang و Praskievicz, ۲۰۰۹)

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	مدل گردش عمومی مورد استفاده	دوره زمانی مورد بررسی	مدل هیدرولوژیکی	نتیج
Frei و همکاران (۲۰۰۲)	نیویورک ^۳ (۱۱۸۰ کیلومتر مربع)	HadCM2; CGCMa1	دهه ۲۰۸۰	مدل مفهومی بیلان آب "تورنت وایت"	رواناب از ۱۰ درصد افزایش تا ۳۰ درصد کاهش نشان داد
Loukas و همکاران (۲۰۰۲)	بریتیش کلمبیا ^۴ (۱۱۹۴-۱۱۵۰ کیلومتر مربع)	CGCMa1	۲۰۸۰-۲۱۰۰	مدل حوضه آبریز دانشگاه بریتیش کلمبیا	در زیرحوضه‌ای که نزولات جوی اغلب به صورت باران است: افزایش رواناب در پاییز و زمستان، و کاهش رواناب در بهار و تابستان در زیرحوضه‌ای که نزولات جوی اغلب به صورت برف است: افزایش حجم و کاهش زمان رسیدن به دبی اوج رواناب در زمستان
Eckhardt و Ulbrich (۲۰۰۳)	اروپای مرکزی (۶۹۳ کیلومتر مربع)	Ensemble of 5	دهه ۲۰۹۰	SWAT	افزایش رواناب در زمستان، کاهش زمان رسیدن به دبی اوج در بهار، کاهش رواناب و تغذیه آب زیرزمینی در تابستان
Christensen و همکاران (۲۰۰۴)	حوضه رودخانه کلرادو ^۵	مدل اقلیمی موازی (PCM) ^۶	۲۰۷۰-۲۰۹۸	ظرفیت نفوذ متغیر (VIC) ^۷	کاهش ۱۷ درصدی رواناب
Andreasson و همکاران (۲۰۰۴)	سوئد (۶۰۰-۱۱۰۰ کیلومتر مربع)	HadCM2, ECHAM4/ OPYC3, HadAM3H	دهه ۲۰۳۰	(HBV) ^۸	در جنوب سوئد: کاهش رواناب سالانه در شمال سوئد: افزایش رواناب سالانه
Graham (۲۰۰۴)	حوضه دریای بالتیک ^۹ (۱۶۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع)	ECAM4/ OPYC3, HadAM3H	۲۰۷۱-۲۱۰۰	HBV	از ۳۰ درصد کاهش تا ۴۰ درصد افزایش در رواناب
Thodsen (۲۰۰۷)	دافمارک (۲۳-۸۱۴ کیلومتر مربع)	HIRHAM RCM	۲۰۷۱-۲۱۰۰	(NAM) ^{۱۰}	افزایش ۱۲ درصدی در میانگین سالانه رواناب، افزایش ۱۱ درصدی دبی اوج سیل ۱۰۰ ساله
Bae و همکاران (۲۰۰۸)	کره جنوبی (۴۳-۲۲۹۳ کیلومتر مربع)	ECHO-G, NCAR/ MM5	۱۹۶۰-۲۱۰۰	سیستم مدل سازی بارش- رواناب (PRMS) ^{۱۱}	کاهش رواناب در بهار و تابستان، افزایش رواناب در پاییز و زمستان
Fujiyama و همکاران (۲۰۰۸)	ترکیه (۲۱۷۰۰ کیلومتر مربع)	MRI- CGCM2	دهه ۲۰۷۰	Hydro-BEAM	کاهش در رواناب سالانه به میزان ۵۲ تا ۶۱ درصد

جدول ۳- مطالعات مدل سازی اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب (Chang و Praskievicz, ۲۰۰۹)

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	مدل گردش عمومی مورد استفاده	دوره زمانی مورد بررسی	مدل هیدرولوژیکی	نتیج
Mimikou و همکاران (۲۰۰۰)	یونان (۹۴۵۰ کیلومتر مربع)	HadCM2, UKHI	دهه ۲۰۵۰	بودجه آبی (WBUDG) ^{۱۲}	کاهش در رواناب و اکسیژن محلول، افزایش اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD) و آمونیوم
Varanou و همکاران (۲۰۰۲)	یونان (۲۷۹۶ کیلومتر مربع)	HadCM2, ECHAM, CSIRO, CGCM	دهه ۲۰۸۰	SWAT	کاهش در رواناب و انتقال مواد مغذی
Bouraoui و همکاران (۲۰۰۴)	فنلاند (۱۶۸۲ کیلومتر مربع)	فاقد مدل (تحلیل داده‌های تاریخی)	۱۹۶۵-۱۹۹۸	SWAT	افزایش در رواناب زمستان، افزایش انتقال مواد مغذی در فصل زمستان و نیز سالانه
Arheimer و همکاران (۲۰۰۵)	سوئد (۱۹۰۰ کیلومتر مربع)	HadAM3H, HadCM2, ECHAM4, OPYC3	۲۰۷۱-۲۱۰۰	HBV	افزایش ۱۰ تا ۳۳ درصدی بارگذاری مواد مغذی
Imhoff و همکاران (۲۰۰۷)	مربلند ^{۱۳} (۱۹۰۰ کیلومتر مربع)	ECHAM4	۲۰۱۰-۲۰۳۹	ابزار ارزیابی اقلیم (CAT) ^{۱۴}	افزایش ۱۰ درصدی بارگذاری مواد مغذی
شمسیرسازو نظریه‌ها (۱۳۹۳)	ایران (منطقه ۳ تهران- مسیل زرگنده)	HAD-CM3	۲۰۸۰-۲۰۹۹	SWMM	پارامترهای کیفی و آلاینده‌ها همچنان بیش از مقادیر استاندارد ارائه شده توسط سازمان محیط زیست ایران بوده و لازم است راهکارها مدیریتی در این زمینه اتخاذ گردد.

جدول ۴- مطالعات مدل سازی اثرات ترکیبی تغییر اقلیم و توسعه شهری بر منابع آب (Chang و Praskievicz, ۲۰۰۹)

نام محققین	منطقه مورد مطالعه	مدل گردش عمومی مورد استفاده	دوره زمانی مورد بررسی	مدل هیدرولوژیکی	نتایج
Herron و همکاران (۲۰۰۲)	استرالیا	ECHAM4/OPYC3, CSIRO DAR-LAM, HadCM3	۱۸۶۰-۲۱۰۰	مدل یکپارچه کمی- کیفی (IQQM) ^{۱۵}	کاهش ۱۷ درصدی رواناب ناشی از افزایش پوشش جنگلی، کاهش ۵ درصدی رواناب ناشی از تغییر اقلیم
Chang (۲۰۰۳)	پنسیلوانیا ^{۱۶}	HadCM2, CGMa1	۱۹۹۰-۲۱۰۰	تابع عمومی بارگذاری حوضه مربوط به نرم افزار (AVGWLF) Arc View ^{۱۷}	افزایش ۱۱ درصدی میانگین رواناب سالانه به دلیل تغییر اقلیم، افزایش ۲ درصدی میانگین رواناب سالانه ناشی از توسعه شهری
Maximov (۲۰۰۳)	اوهایو ^{۱۸}	HadCM2	دهه ۲۱۰۰	علوم ارزیابی بهتر تجمیع کننده منابع نقطه ای و غیر نقطه ای (BASINS) ^{۱۹}	تا میزان ۷۰ درصد افزایش در رواناب سالانه، ۴۰ تا ۵۰ درصد افزایش غلظت فسفات
Chen و همکاران (۲۰۰۵)	چین	فاقد مدل (تحلیل داده های تاریخی)	۱۹۷۰-۱۹۹۹	مدل رواناب حساس به فعالیت های بشر و اقلیم SWAT, (CHARM) ^{۲۰}	تغییر اقلیم سبب ۶۰ تا ۸۰ درصد تغییر در میزان رواناب می شود، تغییر در کاربری و پوشش زمین نیز سبب ۲۰ درصد تغییر در رواناب می شود.
Samaniego و Bárdossy (۲۰۰۶)	آلمان	CGCMa1, HadCM2	دهه ۲۱۰۰	معادلات غیر خطی	افزایش به میزان ۱۷ تا ۴۴ درصد در رواناب فصل زمستان.
Davis Todd و همکاران (۲۰۰۷)	ایندیانا ^{۲۱}	فاقد مدل (تحلیل داده های تاریخی)	۱۹۴۰-۲۰۰۵	ظرفیت نفوذ متغیر (VIC) ^{۲۲}	افزایش جریان پایه و جریان رودخانه؛ هیچ روندی در تغییرات بارش مشاهده نشد. اثر تغییر کاربری و پوشش زمین در اثر توسعه شهری، بیشتر از اثر تغییر اقلیم بود.
Ducharme و همکاران (۲۰۰۷)	فرانسه	ARPEGE-IFS	۲۰۷۰-۲۰۹۹	RIVERSTRAHLER	تغییر اقلیم سبب افزایش غلظت مواد مغذی گردید. اقداماتی که در رابطه با مدیریت و بهبود پوشش زمین صورت می گیرد، می تواند در کاهش اثرات تغییر اقلیم مؤثر باشد.
Beighley و همکاران (۲۰۰۸)	کالیفرنیا	فاقد مدل (بررسی تغییرات اقلیمی)	۱۹۲۹-۲۰۵۰	HEC-HMS	در سال های ال نینو ^{۲۳} ، احتمال ایجاد رواناب های بزرگ، ۵ برابر بیشتر از سایر اوقات بوده؛ و افزایش غلظت نیتрат و فسفات نیز ۵ تا ۱۰ برابر بیش از سطوح پایه است.

۲- تحقیقات صورت گرفته در رابطه با سیستم های زهکشی پایدار

زهکشی پایدار نیز مانند تغییر اقلیم، موضوع نسبتاً نوینی در تحقیقات مربوط به مدیریت رواناب شهری بوده و به ویژه در سال های اخیر، توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. Wilderer (۲۰۰۴) به بحث راجع به چگونگی به کارگیری مفاهیم مدیریت پایدار آب در مناطق روستایی و شهری با ابزارهای گوناگون می پردازد. وی در مقاله خود، بر ضرورت در نظر گرفتن ابعاد مختلف مهندسی، اقتصادی، اداری، و فرهنگی در پژوهش ها به منظور کاربرد مؤثر این قبیل تحقیقات در حوزه های مختلف، تأکید می نماید. Ashley و همکاران (۲۰۰۷) مروری بر انواعی از "سیستم های زهکشی پایدار شهری" که امروزه بیشتر مرسوم می باشند، داشته و قابلیت یکپارچه سازی این سیستم ها با سیستم های سنتی جمع آوری و انتقال رواناب را در مدیریت هم زمان کمی و کیفی سیلاب نشان دادند. Charlesworth (۲۰۱۰) در مطالعه خود، به طور ویژه بر فناوری های دارای پوشش گیاهی و نیز سازه های مهندسی به کارگیری شده در کاهش خطر و تطبیق با تغییر اقلیم تمرکز نمود. وی در این مقاله، بر نیاز به توسعه فناوری های مقاوم سازی ساختمان های موجود در

طراحی "سیستم های توسعه پایدار" تأکید داشت. برخی تحقیقات نیز نگاه فنی تری به ماجرا داشتند، که از آن جمله می توان به مطالعه صورت گرفته توسط Elliott و Trowsdale (۲۰۰۷) اشاره نمود که ۱۰ مدل را با توجه به قابلیت ها و ارتباط آن ها با "سیستم های زهکشی پایدار" مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها در این مطالعه مزایا و معایب این مدل ها را در پاسخ به نیازهای مختلف تکنولوژی های "سیستم زهکشی پایدار شهری" مورد بررسی قرار دادند. از دیدگاه مدیریتی، Brown و Farrelly (۲۰۰۹) انتقال از رویکردهای زهکشی سنتی به روش های پایدار امروزی را در موارد مختلف، مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که موانع موجود، بیشتر از نوع اجتماعی- سازمانی هستند و نه فنی و تکنیکی. Parkinson و Butler (۱۹۹۷) نیز مؤلفه های نوین در طراحی زهکشی پایدار، و راهبردهایی به منظور تسهیل گذار از اقدامات فعلی به یک الگوی جدید را مورد بحث و بررسی قرار دادند. Lai و همکاران (۲۰۰۸) به تحلیل و بررسی یک ابزار تصمیم یار چند معیاره مربوط به ارزیابی جامع و یکپارچه پایداری، مورد استفاده برای کمک به تصمیم گیری در حوزه "سیستم های زهکشی پایدار شهری"، پرداخته و آن را با سه ابزار

پژوهش‌های دیگر مورد مقایسه قرار دادند. این گونه تحقیقات اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با مفاهیم، ویژگی‌ها، اهداف، تکنیک‌ها، و ابزار "طراحی زهکشی پایدار"، با تمرکز ویژه بر یکی از موارد مذکور ارائه می‌دهند. از طرفی دیگر مطالعات صورت گرفته در رابطه با کاربرد تکنیک‌های زهکشی پایدار، می‌توان به چارچوب ارائه شده توسط Cerqueira و Da Silva (۲۰۱۶) اشاره کرد که جهت بازطراحی سکونت‌گاه‌های غیررسمی بر اساس اقدامات توسعه کم‌اثر پیشنهاد شده و بر محله‌ای فقیرنشین و باتلاقی واقع در پیرامون شهر ریو دو ژانیرو^۷ در برزیل اعمال گردید. این محققین عقیده دارند که این چارچوب، می‌تواند در راستای نیل به هدف توسعه پایدار، در بازطراحی سایر محلات مشابه در محیط‌های شهری به کار گرفته شود. Carvalho Aceves و Fuamba (۲۰۱۶) نیز در مطالعه‌ای، یک روشی را برای انتخاب اولویت‌بندی در انتخاب ابزارهای زهکشی پایدار بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه می‌دهند.

همان‌طور که اشاره گردید، از جمله مزایای جانبی به‌کارگیری تکنیک‌های زهکشی پایدار، قابلیت این سیستم‌ها در ایجاد اثرات مثبت بر چشم‌انداز شهری است (Zhou و همکاران، ۲۰۱۳). به طوری که برخی محققین پیشنهاد داده‌اند که از این نوع سیستم‌ها در ایجاد مکان‌های تفریحی جدید در مناظر شهری استفاده شود (Ferguson، ۱۹۹۱؛ France، ۲۰۰۲). در مقالات مختلفی به این نکته اشاره شده که دسترسی به فضای سبز در یک منطقه شهری مترکم، تأثیر مثبتی بر رفاه و سلامت روحی شهروندان دارد (de Vries و همکاران، ۲۰۰۳؛ Maas و همکاران، ۲۰۰۶؛ Groenewegen و همکاران، ۲۰۰۶). مطالعه صورت گرفته توسط Laforteza و همکاران (۲۰۰۹)، وجود چنین تأثیری را در هنگام وقوع تنش‌های شدید گرمایی در انگلستان نشان می‌دهد، به طوری که این محققین نتیجه گرفتند که فضای سبز شهری با ایجاد سایه و دسترسی به آب، راهکار مناسبی برای تطبیق با اثرات نامطلوب تغییر اقلیم است و می‌بایست به‌عنوان یک راهبرد مهم در دستور کار قرار گیرد. Gill و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای در محدوده منچستر انگلستان^۸ نشان دادند که در صورتی که شهرها پوشش گیاهی و فضای سبز خود را به میزان حداقل ۱۰ درصد افزایش دهند، دمای سطحی، حتی با وجود تغییر اقلیم، ثابت باقی می‌ماند. تکنیک‌های زهکشی

چالش‌های موجود در رابطه با سیستم‌های زهکشی پایدار

علیرغم بسیاری از مزایای "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" برای مدیریت کیفیت و کمیت رواناب، سؤالات و عدم اطمینان‌هایی در رابطه با عملکرد و امکان‌پذیری اجرای آن‌ها وجود دارد. برای مثال، Bergman و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد دو ترانشه نفوذ را که در اواخر دهه ۱۹۹۰ در بخش مرکزی کوپنهاگ در کشور دانمارک نصب شده بود، مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که طول عمر ترانشه‌های

پایدار، در خنک شدن هوای شهرها و کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری کمک‌کننده هستند و بدین‌وسیله در مقابله با اثرات تغییر اقلیم نقش مهمی داشته و می‌توانند اثرات مثبتی بر سلامت انسان نیز داشته باشند (Charlesworth، ۲۰۱۰).

در راستای افزایش سطح پایداری، چندین طرح پژوهشی مهم در نقاط مختلف جهان آغاز گردیده است. در کشور دانمارک، برنامه‌های پژوهشی وسیع ملی ایجاد گردید، که از آن جمله می‌توان طرح "آب در مناطق شهری" که بر روی تبدیل زیرساخت‌های آب شهری به سیستم‌های پایدار در مواجهه با اقلیم کار می‌کند (Vand i byer، ۲۰۱۴)، و پروژه "سیاه، آبی، و سبز" به‌منظور یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی زیرساخت‌ها برای سیستم‌های پایدار آب شهری (Fryd، ۲۰۰۹) را نام برد. این پروژه شامل مطالعات موردی در رابطه با طراحی زهکشی پایدار شهری اجرا شده در کشورهای دانمارک و هلند است. رویکرد زهکشی پایدار هم‌اکنون در بسیاری از شهرهای جهان (هنگ‌کنگ، لندن، شیکاگو، نیویورک، لس‌آنجلس، فیلادلفیا، ملبورن، ستول، توکیو، مکزیکوسیتی، سائوپائولو، سیدنی، و غیره) به‌عنوان راهبردی مؤثر در تطبیق با تغییر اقلیم و کاهش اثرات آن به کار گرفته می‌شود (Charlesworth، ۲۰۱۰). با وجود اینکه ترمینولوژی^۹ و اصطلاحات مرتبط با سیستم‌های زهکشی پایدار در مناطق مختلف جهان متفاوت است، اما فلسفه طراحی آن‌ها مشابه می‌باشد. عبارت "سیستم زهکشی پایدار شهری" (SUDS)^{۱۰} اغلب در اروپا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در استرالیا، اصطلاح "طراحی شهری حساس به آب" (WSUD)^{۱۱}، به‌عنوان رویکردی در سطح حوضه آبریز مطرح شده، به طوری که "سیستم زهکشی پایدار شهری" بخشی از آن محسوب می‌شود. این سیستم‌ها در ایالات متحده و کانادا به‌عنوان "اقدامات توسعه کم‌اثر" (LID)^{۱۲} یا "بهترین اقدامات مدیریتی" (BMPs)^{۱۳} شناخته می‌شود. نام‌گذاری‌های دیگری نیز در سایر نقاط جهان در رابطه با این تکنیک‌ها صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به "توسعه و طراحی شهری کم‌اثر" (LIUDD)^{۱۴} در زلاندنو اشاره نمود. Fletcher و همکاران (۲۰۱۵) به لزوم دقت در استفاده از ترمینولوژی‌های موجود برای نقاط مختلف جهان تأکید می‌نمایند. در اینجا جهت هماهنگی و یکپارچگی بیشتر در تحقیق حاضر، در تمامی موارد از اصطلاح "سیستم زهکشی پایدار شهری" استفاده گردیده است.

نفوذ، به دلیل گرفتگی‌ها و مسدود شدگی‌های ناشی از شن و ماسه، بسیار کوتاه‌تر از مدت مورد انتظار است. همچنین دغدغه‌های مشابهی در تحقیق صورت گرفته توسط Achleitner و همکاران (۲۰۰۷) در رابطه با نفوذپذیری هیدرولیکی یک جوی‌باغچه، مشاهده گردید. Zhou و همکاران (۲۰۱۳) به بحث در رابطه با یک نمونه موردی پرداختند که از ترانشه‌های نفوذ و برکه‌های نگهداشت موقت رواناب به منظور کاهش خطر سیل تحت اثرات تغییر اقلیم استفاده نموده بود. آن‌ها در مقاله خود، پتانسیل قابل توجه برکه‌های مصنوعی

و حوضچه‌های نگهداشت موقت را در کاهش رواناب ناشی از وقایع حدی، و نیز فراهم آوردن امکانات تفریحی در مناظر و چشم‌اندازهای شهری نشان دادند. با این حال نتیجه گرفتند که به دلیل محدودیت در تأمین قید و بندهای زمین‌شناختی و نیز فضا و مکان مورد نیاز برای احداث این نوع تکنیک‌ها و سایر مسائل ویژه مربوط به نگهداری و تنظیم شرایط آن‌ها، نگرانی‌هایی به لحاظ بهره‌برداری عملی از این تأسیسات وجود دارد. به علاوه، مطالعات متعدد دیگری نیز در رابطه با محدودیت تکنیک‌های "زهکشی پایدار شهری" در پاسخ به بارگذاری فزاینده هیدرولیکی و هیدرولوژیکی تحت اثرات تغییر اقلیم

ابزار ارزیابی سیستم‌های زهکشی پایدار

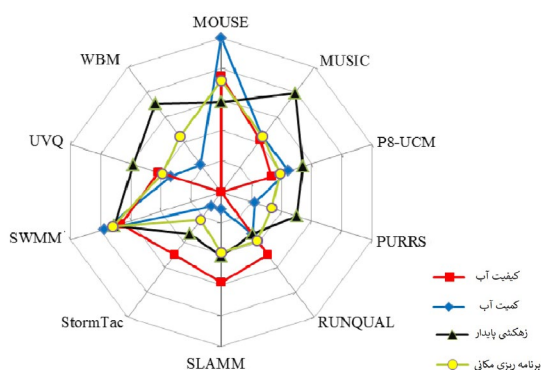
۱- مدل‌ها

امروزه ده‌ها بسته نرم‌افزاری تجاری و متن باز^{۲۵} برای مدل‌سازی ابزار و تکنیک‌های زهکشی پایدار و انجام شبیه‌سازی‌های کیفی و کمی مربوطه وجود دارد (Zoppou, ۲۰۰۱; Elliott و Trowsdale, ۲۰۰۷). اگرچه روش‌های مدل‌سازی زهکشی رواناب به دلیل پیشرفت‌های رخ داده در زمینه مباحث محاسباتی و اندازه‌گیری، یک جهش رو به جلو داشته است، اما این روش‌ها هنوز تنها می‌توانند تقریبی از واقعیت یک پدیده پیچیده را ارائه دهند. با این حال، این مدل‌سازی‌ها در درک عملکرد "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" - به لحاظ مکانیزم جریان، منابع آلودگی، و علت وقوع سیل - رو به پیشرفت و ارتقاء هستند و انجام چنین شبیه‌سازی‌هایی در تسهیل کاربرد این قبیل سیستم‌ها کمک‌کننده است (Knapp و همکاران، ۱۹۹۱; Hamby, ۱۹۹۴).

بررسی‌های پیشین، شامل رویکردهای مدل‌سازی تفصیلی و متعددی است که برای ارزیابی "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" در مطالعات موردی مختلف به کار گرفته شده است. همان‌طور که در بخش‌های پیشین نیز اشاره گردید، Elliott و Trowsdale (۲۰۰۷) تعداد ۱۰ روش مدل‌سازی زهکشی پایدار را در رابطه با شبیه‌سازی‌های کمی و کیفی آب، مدل‌سازی ابزار زهکشی پایدار، و برنامه‌ریزی مکانی مورد بررسی قرار دادند (شکل ۱). آن‌ها در این مقاله نشان دادند که بیشتر مدل‌های مورد بررسی، دارای کارکردهای مربوط به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (تولید بارش و روندیابی رواناب) می‌باشند، اما تنها تعدادی از آن‌ها - از جمله SWMM و MOUSE (نسخه قدیمی Mike Urban) - توانایی شبیه‌سازی هیدرولیک شبکه زهکشی را دارند. تمامی مدل‌های مورد بررسی، مدل‌سازی رسوب، مواد مغذی، و فلزات سنگین را انجام می‌دهند. در رابطه با توانایی شبیه‌سازی ابزار زهکشی پایدار، اغلب مدل‌ها می‌توانند برای بررسی میزان نفوذناپذیری کاهش یافته، برکه‌ها و تالاب‌ها، ترانشه‌های نفوذ، و جوی‌باغچه‌ها مورد استفاده قرار گیرند، حتی با وجود اینکه برخی از این مدل‌ها، ابزار مربوطه را به‌صراحت و مستقیماً ارائه

ذکر گردیده است (Holman-Dodds و همکاران، ۲۰۰۳; Ashley و همکاران، ۲۰۰۷). نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که این تکنیک‌ها بر جریان رواناب تأثیرگذار هستند، اما حجم آب کاهش داده شده هنگام رخداد وقایع حدی بسیار محدود بوده و به شرایط محلی - از جمله بزرگی و مدت بارش، بافت و مواد تشکیل دهنده خاک - وابستگی زیادی دارد. بنابراین اقدام معقول آن است که "سیستم زهکشی پایدار شهری" را با سیستم سنتی جمع‌آوری رواناب در شهرها ترکیب و یکپارچه سازی نمود و در کنار یکدیگر مورد استفاده قرار داد تا در طراحی سیستم زهکشی هم‌افزایی ایجاد شود.

می‌دهند. مدل‌های MUSIC و WBM علاوه بر موارد فوق، شامل حوضچه‌های نگهداشت زیستی و باغچه‌های نگهداشت آب باران نیز هستند و از میان مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق، تنها WBM به‌طور ویژه به تحلیل پشت‌بام سبز می‌پردازد.



شکل ۱- قابلیت مدل‌های مختلف به لحاظ شبیه‌سازی کمی، شبیه‌سازی کیفی، مدل‌سازی ابزار زهکشی پایدار و برنامه‌ریزی مکانی (Zhou, ۲۰۱۴)

تحقیق انجام شده توسط Sharma و همکاران (۲۰۰۸) یک نمونه اجرا شده در کانبرا^{۲۶} را ارائه می‌دهد که در آن سه ابزار مدل‌سازی (MUSIC, Aquacycle و PURRS) به منظور پیش‌بینی اثرات سناریوهای جایگزین برای مدیریت یکپارچه آب، مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه به حصول دید بهتر در رابطه با عملکرد ابزارهای مدل‌سازی - با توجه به چگونگی انجام شبیه‌سازی مخازن ذخیره آب باران، استفاده از آب خاکستری، جوی‌باغچه‌ها و برکه‌ها، و مخازن نگهداشت موقت - کمک می‌کند. Mitchell و همکاران (۲۰۰۷) شش مدل یکپارچه آب شهری (UUVQ, Hydro Planner, Krakatoa, Mike Urban و WaterCress) را مرور نموده و آن‌ها را از جنبه‌های مختلفی چون غمایش زمانی و مکانی، ورودی‌های اقلیمی، کیفیت آب، مقدار رواناب، آب زیرزمینی، و تصفیه پساب با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که تمام این شش مدل، محدوده خوبی از مقیاس‌های مکانی را از قطعات کوچک

تا کل سطح منطقه پوشش می‌دهند. تنها دو مورد از این مدل‌ها (Mike Urban و UrbanCycle) توانایی مدل‌سازی در رزولوشن زمانی کمتر از ساعتی را دارند، و سایر مدل‌های مذکور، عمدتاً گام زمانی روزانه را مورد استفاده قرار می‌دهند، که این محدودیت بسیار شدیدی در رابطه با مدل‌سازی زهکشی شهری است. در میان تمامی این مدل‌ها، مدل Mike Urban (در مقایسه با UVQ, Krakatoa, Hydro Planner)، الگوریتم پیشرفته‌تری به لحاظ شبیه‌سازی کیفیت آب دارد. دو مدل UrbanCycle و WaterCress، شبیه‌سازی کیفی آب را در روش‌های خود چندان پوشش نمی‌دهند. Knapp و همکاران (۱۹۹۱) براساس ورودهای مدل‌ها، اپلیکیشن‌ها، روندهای مدل‌سازی، به‌مرور روش‌های موجود در مدل‌سازی بارش-رواناب برای مدیریت رواناب پرداختند. Kardos و Obropta (۲۰۰۷) سه رویکرد قطعی، استوکستیک، و ترکیبی را در مدل‌سازی کیفی رواناب مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که روش‌های ترکیبی در کاهش عدم قطعیت و خطای پیش‌بینی مدل، نتایج مطلوب‌تری به‌دست می‌دهد. Zoppou (۲۰۰۱) تعداد ۱۲ مدل شبیه‌سازی کیفی و کمی رواناب (HSPF, DR3 M-QUAL, SWMM Lev-, SWMM, STORM, QQS, MIKE-SWMM, el 1, HEC-5Q, BRASS, Wallingford, QUAL2E-UN-) را بررسی نموده و توانایی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها را به لحاظ عملکرد، قابلیت دسترسی، و روش‌های مدل‌سازی اجزای کمی و کیفی آب، و در مقیاس‌های زمانی و مکانی به اختصار بیان نمودند (Zhou, ۲۰۱۴).

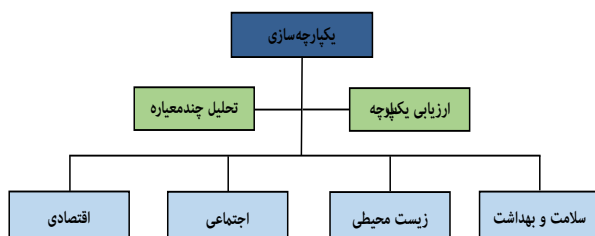
با وجود مدل‌های متعدد برای شبیه‌سازی "سیستم زهکشی پایدار شهری"، به دلیل پیچیدگی‌های فنی بسیاری از این مدل‌ها، استفاده از آن‌ها برای عموم مردم مشکل است و نرم‌افزار کاربردوست^{۳۷} محسوب نمی‌شوند (Viavattene و همکاران، ۲۰۰۸). مدل‌های متن‌باز، نیازمند هزینه زیادی نیستند، اما حمایت فنی ناچیزی را برای کاربر فراهم می‌نمایند. در مقابل، مدل‌های تجاری، افراد تازه‌کار در زمینه مدل را به خوبی پشتیبانی می‌کنند، اما هزینه آن‌ها برای استفاده در سطح گسترده، اغلب بسیار زیاد است (Zoppou, ۲۰۰۱). همچنین دغدغه‌هایی نیز در رابطه با عدم وجود یک واسطه^{۳۸} یا پلت فرم مشترک برای مدل‌های مختلف وجود دارد. اغلب مدل‌ها کاربرد تخصصی و ویژه‌ای تنها برای یک یا چند جنبه از "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" داشته و شبیه‌سازی از طریق آن‌ها اغلب به‌طور جدا از سایر فرایندها صورت می‌گیرد و تنها بخشی از اثرات این سیستم‌ها را آشکار می‌سازد. بنابراین شناسایی و انتخاب اینکه کدام مدل‌ها را برای تحلیل کامل و جامع "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" به کار برده و چگونه آن‌ها را توسعه داده یا با یکدیگر ترکیب و یکپارچه نمایند، برای کاربر مشکل است. علاوه بر اینکه بعضی مدل‌ها به میزان ناچیزی قابلیت یکپارچه شدن با سایر مدل‌ها را دارند، فراهم نمودن حجم عظیمی از داده‌های ورودی برای هر زیر-مدل، کاری طاقت‌فرسا

و زمان‌بر است (Hossain و Imteaz, ۲۰۱۳). همچنین یکپارچه سازی مدل‌ها نیز به دلیل مقیاس‌های زمان و مکانی ناهمگون، با مشکلات زیادی همراه است (Schmitt و Huber, ۲۰۰۵؛ Mitchell و همکاران، ۲۰۰۷). چراکه این عدم همگونی مقیاس‌های مکانی و زمانی سبب می‌شود که انتقال داده‌ها و استفاده از آن‌ها در میان مدل‌های یکپارچه شده با مشکل مواجه شود و بنابراین یکپارچه‌سازی، نیازمند کار بیشتری برای آماده‌سازی و پردازش داده‌هاست. به ویژه مدل‌های تجاری، بر اساس فایل‌های اجرایی، اجرا^{۳۹} می‌شوند و تغییر در آن‌ها برای ایجاد واسط مشترک و نقطه اتصال با سایر نرم‌افزارها مشکل است (Zoppou, ۲۰۰۱). استفاده از سیستم‌های نمایش اطلاعات جغرافیایی مانند GIS در مدل‌سازی "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" نیز با وجود مزایای بسیار، با محدودیت مواجه است. بیشتر "سیستم‌های زهکشی پایدار شهری" به لحاظ جغرافیایی رفرنس دهی شده‌اند؛ از این رو یکپارچه‌سازی مدل‌های "سیستم زهکشی پایدار شهری" با GIS می‌تواند سبب کاهش حجم عظیمی از کارهای لازم در رابطه با فرمت کردن و پردازش داده‌ها شود، و امکان تفسیر آسان ورودی‌ها و خروجی‌های مدل را با نمایش یک نقشه کاربر دوست فراهم نماید (Sample و همکاران، ۲۰۰۱). اما قطعاً به این نکته نیز باید توجه نمود که استفاده از GIS نیازمند پایگاه داده‌ای زمانی و مکانی وسیعی است که یکپارچه‌سازی آن با مدل‌های موجود برای زهکشی پایدار، چالش برانگیز است.

۲- ابزار تصمیم‌یار

در کنار مدل‌های موجود برای شبیه‌سازی "زهکشی پایدار شهری"، ابزارهای تصمیم‌یار نیز مورد نیاز هستند تا بتوان نتایج و یافته‌های مدل را در یک روند ارزیابی، جهت تسهیل رتبه‌بندی و انتخاب گزینه‌های مناسب براساس معیارهای پایداری فوق‌الذکر به کار گرفت. در طول سال‌ها، ابزارهای تصمیم‌یار متعددی به منظور ارتقاء کارایی تصمیمات در این زمینه ایجاد گردیده است؛ این قبیل ابزارها به‌طور کامل و مفصل در منابع مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند (Hellström و همکاران، ۲۰۰۰؛ Ashley و همکاران، ۲۰۰۴؛ Lai و همکاران، ۲۰۰۸). شکل (۲) طبقه‌بندی ابزارهای تصمیم‌یار رایج در ارزیابی زهکشی پایدار شهری را نشان می‌دهد.

مرور ادبیات تخصصی و پیشینه به کارگیری سامانه‌های تصمیم‌یار، نشان می‌دهد که این ابزارها در بسیاری از تحقیقات اخیر، برای ارزیابی زهکشی پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال، Ellis و همکاران (۲۰۰۴) با به‌کارگیری یک تحلیل چند معیاره، سعی در تسهیل ارزیابی سازه‌های زهکشی پایدار در تصفیه رواناب شهری و آب‌های سطحی در بزرگراه‌ها داشتند. Carter و Keeler (۲۰۰۸) و Zhou و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش تحلیل سود-هزینه به بررسی عملکرد سیستم‌های پشت‌بام سبز و راهبردهای مختلف زهکشی شهری پرداختند و منافع قابل توجه اقتصادی-اجتماعی



شکل ۲- طبقه بندی ابزارهای تصمیم یار رایج در ارزیابی زهکشی پایدار (Hellström و همکاران، ۲۰۰۰؛ Ashley و همکاران، ۲۰۰۴؛ Lai و همکاران، ۲۰۰۸؛ Zhou، ۲۰۱۴)

گرچه رویکردهای موجود برای مدل سازی این تکنیک ها در طول سال ها تکامل یافته اند، هنوز در مرحله بررسی و شبیه سازی پاسخ کمی و کیفی قرار دارند. بسیاری از "سیستم های زهکشی پایدار" اجرا شده در عمل، نسبت به شبیه سازی های صورت گرفته با استفاده از مدل ها، از پیچیدگی کمتری برخوردارند، بنابراین عملکرد نتیجه شده از آن ها به دلیل کمبود تجربه نگهداری و بهره برداری از این سیستم ها و نادیده گرفتن اثرات متقابل آن ها با دیگر منابع و پیکره های آبی، و نیز موانع اداری و سازمانی موجود در اجرای آن ها، اغلب رضایت بخش نیستند (Zhou، ۲۰۱۴).

از سوی دیگر، طراحی سیستم های زهکشی پایدار شهری شامل معیارهای چندبعدی و متشکل از تخصص های مختلف است (Fryd و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال، تجربیات جهانی نشان داده است که بیشتر متخصصین امر تمایل دارند که در فرایند تصمیم گیری، بر رشته تخصصی خود تمرکز نموده و به زمینه، ویژه کاری خود اولویت دهند (Brown و Farrelly، ۲۰۰۹). در نتیجه، اغلب اقدامات در ارتباط با یک تخصص ویژه اعمال می شود که در نتیجه آن، اثرات مهم دیگر زمینه ها و تخصص ها لحاظ نمی گردد. یک رویکرد یکپارچه و میان رشته ای برای تجمیع تخصص ها و زمینه های کاری متعدد در یک پلت فرم مشترک ضروری است تا بتوان انجام راه حل های پایدار و مبتکرانه را تسهیل نمود. لازم است که مسئولین اجرای چنین سیستم هایی، درک جامعی از محدوده اهداف وسیع طراحی پایدار سیستم زهکشی داشته باشند و کل چرخه آب شهری را در برنامه ریزی مدنظر قرار دهند. به علاوه لازم است تغییر اقلیم و توسعه شهری نیز به منظور تطبیق با شرایط آینده، در طراحی "سیستم های زهکشی پایدار شهری" دیده شود (Miguez و همکاران، ۲۰۱۲). به عقیده برخی محققین (Zhou، ۲۰۱۴)، آینده طراحی سیستم های زهکشی پایدار به احتمال قوی، ترکیبی از فناوری های سطح بالا^۴ و سطح پایین^۵ است تا تعادلی میان هزینه سرمایه گذاری شده و کارکرد و عملکرد سیستم ایجاد شود. ترکیبی از سیستم های متمرکز (سیستم سنتی جمع آوری آب های سطحی) و غیرمتمرکز (اقدامات توسعه کم اثر) نیز به منظور ایجاد هم افزایی در طراحی پایدار ضروری خواهد بود. به منظور نیل به این اهداف، ایجاد چارچوبی جهت طراحی این سیستم ها که جنبه های

ابزارهای "سیستم زهکشی پایدار شهری" را نشان دادند. Linkov و همکاران (۲۰۰۶) مروری بر توسعه های صورت گرفته و کاربردهای اخیر رویکرد تطبیقی ارزیابی ریسک و تحلیل چند معیاره اعمال شده بر پروژه های احیاء محیط زیست در ایالات متحده و اروپا داشتند. تحلیل هزینه چرخه عمر نیز در تحقیق Wong و همکاران (۲۰۰۳) به منظور ارزیابی منافع اقتصادی پشت بام سبز در مقایسه با پشت بام های معمولی انجام شد. Lai و همکاران (۲۰۰۸) نیز با بررسی ابزارهای متعدد، به اهمیت نقش رویکردهای یکپارچه در مدیریت پایدار آب شهری اشاره داشتند.

بحث و نتیجه گیری

این عبارت مصطلح که "جهانی فکر کنید، به طور محلی اقدام کنید" به فرهنگ توسعه پایدار نیز ورود پیدا کرده است، و مفهوم بسیار مناسبی در رابطه با اعمال رویکرد "سیستم زهکشی پایدار شهری" است؛ چراکه هر منطقه شهری راهبردهای منحصر به فردی را برای تطبیق با تغییر اقلیم جهانی و کاهش اثرات نامطلوب آن به طور کلی، و کاهش اثرات جزیره گرمایی شهری به طور خاص، به کار می گیرد (Charlesworth، ۲۰۱۰). مناطق شهری، محیط های پیچیده ای هستند که دارای مؤلفه های متعددی هستند (Turner، ۱۹۹۲). اضافه شدن اثرات تغییر اقلیم جهانی بر شهرها، سبب افزایش عدم قطعیت در این محیط های پیچیده می شود، به ویژه هنگامی که شناسایی عواملی که بر یکدیگر اثرات متقابل داشته و سبب هم افزایی یا خنثی نمودن اثر یکدیگر می شوند، مشکل باشد. حال که ناگزیر بودن از پذیرش پدیده تغییر اقلیم جهانی مورد توافق همگان است، روش های تطبیق با این تغییر و نیز کاهش اثرات آن، بایستی اجرا گردد.

سیستم های زهکشی پایدار، به دلیل اثبات توانایی و اثرات مثبت آن ها بر طبیعت و محیط زیست، با گذشت زمان از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده اند. در این مقاله مروری بر ادبیات تخصصی و پیشنهاد تحقیقات در رابطه با کاربردها و توسعه های اخیر سیستم های زهکشی پایدار در سراسر جهان صورت گرفت، و معیارهای طراحی و تکنیک های این سیستم ها و نیز رویکردهای مختلف در مدل سازی و ابزارهای تصمیم یار برای شبیه سازی و ارزیابی گزینه های پایدار طراحی سیستم زهکشی مطرح گردید. بر اساس بررسی های صورت گرفته در این تحقیق، عواملی چون اقلیم در حال تغییر، تغییر کاربری و توسعه شهری، در کنار چالش هایی که سیستم زهکشی سنتی به لحاظ تأمین معیارهای پایداری ایجاد می کند، استفاده از تکنیک های زهکشی پایدار رواناب را ایجاد می نماید. با وجود مزایای متعدد کاربرد چنین سامانه هایی در رابطه با کنترل رواناب، حصول نتیجه مطلوب از عملکرد این قبیل تکنیک ها نیازمند به کارگیری همکاری های بین رشته ای و نیز توجه به عملیات نگهداری این سازه ها در بلندمدت است.

- 15- Integrated Quality and Quantity
- 16- Pennsylvani
- 17- ArcView Generalized Watershed Loading Function
- 18- Ohio
- 19- Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source
- 20- Climate and Human Activities-sensitive Runoff Model
- 21- Indiana
- 22- Variable Infiltration Capacity
- 23- El Niño
- 24- bioswales
- 25- green streets
- 26- Columbia
- 27- Rio de Janeiro
- 28- Manchester
- 29- Terminology
- 30- Sustainable Urban Drainage System
- 31- Water Sensitive Urban Design
- 32- Low-Impact Development
- 33- Best Management Practices
- 34- low impact urban design and development
- 35- open source
- 36- Canberra
- 37- user friendly
- 38- interface
- 39- RUN
- 40- High-tech
- 41- Low-tech

Scibel K.L. and Guerrieri L. 2006. Adaptation and mitigation: an integrated climate policy approach (AMICA)-Report on the mitigation scan city of Venice. Climate Alliance. Accessed on March 2016, Available online at: http://www.amica-climate.net/fileadmin/amica/inhalte/dokumente/CS_AMICA_Ferrara_II.pdf.

Andreasson J., Bergström S., Carlsson B., Graham, L.P. and Lindström, G. 2004. Hydro-logical change: climate change impact simulations for Sweden. *Ambio*, 33: 228–34.

Arheimer B., Andréasson J., Fogelberg S., Johnsson H., Pers C.B. and Perrson K. 2005. Climate change impact on water quality: model results from southern Swe-

فنی، اجتماعی، زیست محیطی، اقتصادی، قانونی، و اداری/سازمانی را با یکدیگر جمع و یکپارچه کند، مهم و حیاتی است. در دهه‌های اخیر، روند مدل‌سازی به سمت یکپارچه نمودن مدل‌های مختلف پیش می‌رود تا بتوان اثرات متقابل فرایندهای مختلف بر روی یکدیگر را مشاهده نمود. از طریق مدل‌سازی یکپارچه، می‌توان اثرات رواناب زیرحوضه‌های بالادست را بر زیرحوضه پایین‌دست لحاظ نمود و یا اثرات بخش‌های شهری و غیر شهری حوضه را بر روی یکدیگر دید. پلت‌فرم‌ها و چارچوب‌های مختلفی برای انجام هر چه آسان‌تر مدل‌سازی‌های یکپارچه ایجاد شده و روز به روز بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود، که می‌تواند در دستیابی هر چه بهتر به نتایج دقیق‌تری در ارزیابی سیستم‌های مربوط به منابع آب کمک‌کننده باشد.

پی‌نوشت

- 1- combined sewer overflows
- 2- End of pipe solutions
- 3- New York
- 4- British Columbia
- 5- Colorado
- 6- Parallel Climate Model
- 7- Variable Infiltration Capacity
- 8- Hydrologiska Byråns Vatten-balansavdelning
- 9- Baltic
- 10- Nedbor-Afstromings Model
- 11- Precipitation-Runoff Modeling System
- 12- Water Budget
- 13- Maryland
- 14- Climate Assessment Tool

منابع

شمشیرساز، ش.ع. و نظریه‌ها، م. ۱۳۹۳. اثر تغییر اقلیم بر کیفیت رواناب شهری (مسئل زرگنده)؛ دومین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین، پژوهشکده تغییر اقلیم و گرمایش زمین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

نظیف، س. ۱۳۸۹. تدوین الگوی ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر چرخه آب شهری، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.

Achleitner S., Engelhard C., Stegner U. and Rauch W. 2007. Local infiltration devices at parking sites—Experimental assessment of temporal changes in hydraulic and contaminant removal capacity. *Water Sci. Technol*, 55: 193–200.

- Manag., 87: 350–363.
- Carvalho Aceves M. and Fuamba M. 2016. Methodology for Selecting Best Management Practices Integrating Multiple Stakeholders and Criteria. Part 1: Methodology. *Journal of Water*, 8(55):14 pp.
- Chang H. 2003. Basin hydrological response to changes in climate and land use: the Conestoga River Basin, Pennsylvania. *Physical Geography*, 24: 222–247.
- Chen J., Li X. and Zhang M. 2005. Simulating the impacts of climate variation and land-cover changes on basin hydrology: a case study of the Suomo Basin. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 48: 1501–509.
- Cerqueira L.F.F. and Da Silva L.P. 2016. Methodological Proposal For Redesigning Informal Communities– Constructing Resilience in Hydrological Stress Conditions, *Ambiente & Sociedad*, São Paulo v. XIX, n., p. 43–62.
- Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W. and Urbonas B. 2004. Urban Drainage-out-of-Sight-out-of-Mind? In *Proceedings of 5th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management*, Lyon, France.
- Chocat B., Ashley R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W., Urbonas B. 2007. Toward the sustainable management of urban storm-water. *Indoor Built Environ.*, 16: 273–285.
- Christensen N.S., Wood A.W., Voisin N., Lettenmeier D.P. and Palmer R.N. 2004. The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin. *Climatic Change*, 62: 337–63.
- Davis Todd C.E., Goss A.M., Tripathy D. and Harbor J.M. 2007. The effects of landscape transformation in a changing climate on local water resources. *Physical Geography*, 28: 21–36.
- de Vries S., Verheij R. A., Groenewegen P. P. and Spreewen P. 2003. Natural environments—healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environ. Plann.*, A35: 1717–1731.
- Ducharne A., Baubion C., Beaudoin N., Benoit M., Billen G., Brisson N. et al. 2007. Long-term perspective of the Seine River system: confronting climatic and direct anthropogenic changes. *Science of the Total Environ.*, 34: 559–66.
- Arnbjerg-Nielsen K. 2012. Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water J.*, 9: 57–65.
- Ashley R., Blackwood D. and Butler D. 2004. *Sustainable Water Services: A Procedural Guide*; IWA Publishing: London, UK.
- Ashley R., Garvin S., Pasche E., Vassilopoulos A. and Zevenbergen C. 2007. *Advances in Urban Flood Management*. Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., Zevenbergen, C., Eds.; Taylor & Francis/Balkema: London, UK.
- Bae D., Jung I.W. and Chang, H. 2008. Potential changes in Korean water resources estimated by high-resolution climate simulation. *Climate Research*, 35: 213–26.
- Beighley R.E., Dunne T. and Melack J.M. 2008. Impacts of climate variability and land use alterations on frequency distributions of terrestrial runoff loading to coastal waters in southern California. *Journal of the American Water Resources Association*, 44: 63–74.
- Bergman M., Hedegaard M.R., Petersen M.F., Binning P., Mark O. and Mikkelsen P.S. 2011. Evaluation of two stormwater infiltration trenches in central Copenhagen after 15 years of operation. *Water Sci. Technol*, 63: 2279–2286.
- Bouraoui F., Grizzetti B., Granlund K., Rekolainen S. and Bidoglio G. 2004. Impact of climate change on the water cycle and nutrient losses in a Finnish catchment. *Climatic Change*, 66: 109–26.
- Brown R.R., Farrelly M.A. 2009. Delivering sustainable urban water anagement: A review of the hurdles we face. *Water Sci. Technol*, 59: 839–846.
- Burrell B.C., Davar K. and Hughes R. 2007. A review of flood management considering the impacts of climate change. *Water Int.*, 32: 342–359.
- Butler D. and Parkinson J. 1997. Towards sustainable urban drainage. *Water Sci. Technol*, 35: 53–63.
- Charlesworth S.M. 2010. A review of the adaptation and mitigation of global climate change using sustainable drainage in cities, *Journal of Water and Climate Change*, 1: 165–180.
- Carter T. and Keeler A. 2008. Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *J. Environ.*

- Annals of the Association of American Geographers, 92: 203–24.
- Fryd O., Backhaus A., Jeppesen J., Ingvertsen S.T., Birch H., Bergman M., et al. 2009. Connected Disconnections: Conditions for Landscape-Based Disconnections of Stormwater from the Copenhagen Sewer System in the Catchment Area for River Harrestrup. The 2BG Project Working Report: River Harrestrup Case Study; Danish Centre for Forest, Landscape & Planning, University of Copenhagen: Copenhagen, Denmark.
- Fryd O., Dam T. and Jensen M.B. 2012. A planning framework for sustainable urban drainage systems. *Water Policy*, 14: 865–886.
- Fujihara Y., Tanaka K., Watanabe T., Nagano T. and Kojiri T. 2008. Assessing the impacts of climate change on the water resources of the Seyhan River Basin in Turkey: use of dynamically downscaled data for hydrological simulations. *Journal of Hydrology*, 353: 33–48.
- Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R. and Pauleit S. 2007. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environ*, 33(1): 115–133.
- Graham L.P. 2004. Climate change effects on river flow to the Baltic Sea. *Ambio*, 33: 235–41.
- Groenewegen P. P., van den Berg A. E., de Vries S. and Verheij R. A. 2006. Vitamin G: effects of green space on health, wellbeing and social safety. *BMC Public Health*, 6: 149.
- Hallegatte S., Ranger N., Mestre O., Dumas P., Corfee-Morlot J.; Herweijer C. et al. 2011. Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Clim. Change*, 104: 113–137.
- Hamby D.M. 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environ. Monit Assess.*, 32: 135–154.
- Hellström D., Jeppsson U. and Kärrman E. 2000. A framework for systems analysis of sustainable urban water management. *Environ. Impact Assess. Rev.*, 20: 311–321.
- Herron N., Davis R. and Jones R. 2002. The effects of large-scale afforestation and climate change on water allocation, 375: 292–311.
- Echols S. 2007. Artful rainwater design in the urban landscape. *J. Green Build*, 2: 103–122.
- Eckhardt K. and Ulbrich U. 2003. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology*, 284: 244–52.
- Ekström M., Fowler H.J., Kilsby C.G. and Jones P.D. 2005. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. *J. Hydrol.*, 300: 234–251.
- Elliott A.H. and Trowsdale S.A. 2007. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Model. Softw.*, 22: 394–405.
- Ellis J.B., D'Arcy B.J. and Chatfield P.R. 2002. Sustainable urban-drainage systems and catchment planning. *Water Environ. J.*, 16: 286–291.
- Ellis J.B., Deutsch J.C., Mouchel J.M., Scholes L., Revitt M.D. 2004. Multi-criteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff. *Sci. Total Environ.*, 334–335: 251–260.
- European Commission. 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Off. J. Eur. Communities*, 327: 1–72.
- Ferguson B. 1991. The failure of detention and the future of stormwater design. *Landsc. Archit*, 81: 75–79.
- Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W.F., Ashley R., Butler D., Arthur S. et al. 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more—The evolution and application of terminology surrounding urban drainage, *Urban Water Journal*, 12(7): 525–542.
- France R.L. 2002. Handbook of Water Sensitive Planning and Design. Integrative Studies in Water Management and Land Development. CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Frei A., Armstrong R.L., Clark M.P. and Serreze M.C. 2002. Catskill Mountain water resources: vulnerability, hydroclimatology, and climate-change sensitivity.

- Spreeuwenberg P. 2006. Green space, urbanity and health: how strong is the relation? *J. Epidemiol. Commun. H.*, 60: 587–592.
- Mailhot A. and Duchesne S. 2010. Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. *J. Water Resour. Plan. Manag. Asce*, 136: 201–208.
- Maximov I.A. 2003. Integrated assessment of climate and land use change effects on hydrology and water quality of the Upper and Lower Great Miami River. PhD dissertation, Department of Geography, University of Cincinnati.
- Miguez M.G., Veról A.P. and Carneiro P.R.F. 2012. Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design. Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. In *Drainage Systems*; Javid, M.S., Ed.; InTech: Rijeka, Croatia.
- Mimikou M.A., Baltas E., Varanou E. and Pantazis K. 2000. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *Journal of Hydrology*, 234: 95–109.
- Mitchell V.G., Duncan H., Inma R.M. Stewart J., Vieritz A., Holt P. et al. 2007. State of the Art Review of Integrated Urban Water Models. Novatech: Lyon, France, pp.1–8.
- Obropta C.C. and Kardos J.S. 2007. Review of urban stormwater quality models: Deterministic, stochastic, and hybrid approaches. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.*, 43: 1508–1523.
- O'Hara J.K. and Georgakakos K.P. 2008. Quantifying the urban water supply impacts of climate change. *Water Resource Management*, 22: 1477–97.
- Payne J.T., Wood A.W., Hamlet A.F., Palmer R.N. and Lettenmeier D.P. 2004. Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River Basin. *Climatic Change*, 62: 233–56.
- Praskievicz S. and Chang H. 2009. A review of hydrological modelling of basin-scale climate change and urban development impacts. *Progress in Physical Geography*, 33(5): 650–671.
- Ranger N., Hallegatte S., Bhattacharya S., Bachu M., Priya S., Dhore K. et al. 2011. An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. *Clim. Change*, 104: 139–167.
- tion on the Macquarie River catchment, NSW, Australia. *Journal of Environmental Management*, 65: 369–81.
- Holman-Dodds J.K., Bradley A.A., Potter K.W. 2003. Evaluation of hydrologic benefits of infiltration based urban storm water management. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 39: 205–215.
- Hossain I. and Imteaz M.A. 2013. CatStream: An Integrated Catchment-Stream Water Quality Model. In *Proceedings of 20th International Congress on Modelling and Simulation*, Adelaide, Australia.
- Imhoff J.C., Kittle J.L. Jr Gray, M.R. and Johnson T.E. 2007. Using the Climate Assessment Tool (CAT) in USA EPA BASINS integrated modelling system to assess watershed vulnerability to climate change. *Water Science and Technology*, 56: 49–56.
- Knapp H.V., Durgunoglu A. and Ortel T.W. 1991. A Review of Rainfall-runoff Modeling for Stormwater Management. SWS Contract Report 516; Illinois State Water Survey, Hydrology Division: Champaign, IL, USA.
- Krebs P. and Larsen T.A. 1997. Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria. *Water Sci. Technol.*, 35: 89–98.
- Lafortezza R., Carrus G., Sanesi G. and Davies C. 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban For. Urban Greening*, 8: 97–108.
- Lai E., Lundie S. and Ashbolt N. J. 2008. Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. *Urban Water J.*, 5: 315–327.
- Larsen T.A. and Gujer W. 1997. The concept of sustainable urban water management. *Water Sci. Technol.*, 35: 3–10.
- Linkov I., Satterstrom F.K., Kiker G., Batchelor C., Bridges T. and Ferguson E. 2006. From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications. *Environ. Int.*, 32: 1072–1093.
- Loukas A., Vasiliades L. and Dalezios N.R. 2002. Climatic impacts on the runoff generation processes in British Columbia, Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6: 211–227.
- Maas J., Verheij R. A., Groenewegen P. P., de Vries S. and

- Viavattene C., Scholes L., Revitt D.M. and Ellis J.B. 2008. A GIS based decision support system for the implementation of Stormwater Best Management Practices. In Proceedings of 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK.
- Waters D., Watt W.E., Marsalek J. and Anderson B.C. 2003. Adaptation of a storm drainage system to accommodate increased rainfall resulting from climate change. *Journal of Environmental Planning and Management*, 46: 755–70.
- Wilderer P.A. 2004. Applying sustainable water management concepts in rural and urban areas: Some thoughts about reasons, means and needs. *Water Sci. Technol.*, 49: 8–16.
- Willems P., Arnbjerg-Nielsen K., Olsson J. and Nguyen V.T.V. 2012. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmos. Res.*, 103: 106–118.
- Willems P., Olsson J., Arnbjerg-Nielsen K., Beecham S., Pathirana A., Gregersen I.B., Madsen H. and Nguyen V.-T.-V. 2012. Impacts of Climate Change on Rainfall Extremes and Urban Drainage. IWA Publishing: London, UK, p. 252.
- Wong T. and Eadie M. 2000. Water Sensitive Urban Design-A Paradigm Shift in Urban Design. In Proceedings of the 10th World Water Congress, Melbourne, Australia.
- Wong, N.H., Tay, S.F., Wong R., Ong C.L. and Sia A. 2003. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. *Build. Environ.*, 38: 499–509.
- Zevenbergen C., Veerbeek W., Gersonius B. and van Herk S. 2008. Challenges in urban flood management: Travelling across spatial and temporal scales. *J. Flood Risk Manag.*, 1: 81–88.
- Zhou Q., Panduro T., Thorsen B. and Arnbjerg-Nielsen K. 2013. Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environ. Manag.*, 51: 586–601.
- Zhou Q. 2014. A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts. *Water*, 6: 976–992.
- Zoppou C. 2001. Review of urban storm water models. *Environ. Model Softw.*, 16: 195–231.
- Roy A.H., Wenger S.J., Fletcher T.D., Walsh C.J., Ladson A.R., Shuster W.D. et al. 2008. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States. *Environ. Manag.*, 42: 344–359.
- Samaniego L. and Bárdossy A. 2006. Simulation of the impacts of land use/cover and climatic changes on the runoff characteristics at the mesoscale. *Ecological Modelling*, 196: 45–61.
- Schmitt T.G. and Huber W.C. 2005. The Scope of Integrated Modeling—System Boundaries, Sub-Systems, Scales and Disciplines. In Proceedings of 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark.
- Sharma A.K., Gray S., Diaper C., Liston P. and Howe C. 2008. Assessing integrated water management options for urban developments—Canberra case study. *Urban Water J.*, 5: 147–159.
- Sample D., Heaney J., Wright L. and Koustas R. 2001. Geographic information systems, decision support systems, and urban storm-water management. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 127: 155–161.
- Sieker H., Helm B., Krebs P., Schlottmann P. and Tränkner J. 2008. Flexibility—A Planning Criterion for Stormwater Management. In Proceedings of 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK.
- Stewart R. and Hytiris N. 2008. The Role of Sustainable Urban Drainage Systems in Reducing the Flood Risk Associated with Infrastructure. In Proceedings of 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK.
- Thodsen H. 2007. The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. *Journal of Hydrology*, 333: 226–38.
- Turner D.R. 1992. The chemistry of metal pollutants in water. In *Pollution: Causes, Effects and Controls* (ed. in R. M. Harrison), pp. 19–32. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Vand i byer (Water in cities). Accessed on 15 January 2014. Available online: <http://www.vandibyer.dk/>
- Varanou E., Gkouvatsou E., Baltas E. and Mimikou M. 2002. Quantity and quality integrated catchment modelling with use of soil and water assessment tool model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7: 228–244.

A Review on Hydrological Modelling Concepts: Part 1 - Introduction of Modelling Process

M. Shafiei^{1,2*}, Sh. Gharari³

1- Hydroinformatics Department, East Water and Environment Research Institute (EWERI), Mashhad, Iran. 2- Former expert of Studies Office, South Khorsan Water Authority, Birjand, Iran. 3- Global Institute for Water Security, School of Environment and Sustainability, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

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

Received: 27-01-2017

Accepted: 12-04-2017

مروری بر مفاهیم مدل سازی هیدرولوژی: بخش اول، معرفی فرآیند مدل سازی

مجتبی شفیعی^{۱,۲*}، شروان قراری^۳

۱- استادیار پژوهش، گروه هیدروانفورماتیک، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI)، مشهد. ۲- کارشناس سابق بخش مطالعات، شرکت آب منطقه ای خراسان جنوبی، بیرجند. ۳- محقق دوره پسداکتری، موسسه بین المللی امنیت آبی، دانشگاه ساسکاتون، کانادا.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۰۸

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

The processes and components of hydrological cycle are very complicated in nature, with significant spatial and temporal variation. This is due to high non-linear and complex relations between hydrological components, economical limitations for accurate measurements, and requiring a variety of data and information. The main solution for understanding and predicting hydrological processes at watersheds scale is using/developing simulation models based on desired goals. However, due to the lack of attentions to the concepts and practical knowledge, development of hydrological models has attracted less attention. By neglecting the modelling process in hydrological modelling, and starting this process directly by choosing a procedural model and its calibration would provide unreliable results. Therefore, it is essential to have a comprehensive and accurate inspection of the modelling process and its application as a useful tool for understanding and analyzing hydrological systems. This paper aims at providing concepts of hydrological modelling and introducing five-steps modelling process for watersheds, and finally presenting information about the various types of hydrological models.

Keywords: Perceptual model, Conceptual model, Verification, Calibration, Validation.

چکیده

فرآیندها و مؤلفه های مرتبط با چرخه آب در طبیعت دارای ارتباطات نسبتاً پیچیده و همچنین تغییرات زمانی و مکانی بسیار گسترده و متفاوتی هستند. امروزه اصلی ترین راه حل در درک و پیش بینی این فرآیندها در حوضه های آبریز به سبب وجود روابط بسیار غیرخطی و پیچیده بین آنها، وجود محدودیت های اقتصادی در اندازه گیری دقیق مؤلفه ها و نیاز به داده ها و اطلاعات مختلف در شناخت فرآیندهای هیدرولوژی استفاده و توسعه مدل های شبیه سازی با توجه به اهداف مورد انتظار می باشد. اما همواره به دلیل عدم وجود و رجوع به مبانی کار و شناخت مفاهیم کاربردی، چگونگی مدل سازی هیدرولوژی و توسعه مدل ها کمتر مورد توجه بوده است. نتایج مدل سازی های هیدرولوژی که بدون طی فرآیند مدل سازی و تنها با انتخاب یک مدل اجرایی و واسنجی آن انجام می شود از قابلیت اعتماد کمی برخوردار می باشند. بنابراین لزوم شناخت و نگاه دقیق تر به مدل ها، چگونگی توسعه آنها و کاربرد آنها به عنوان یک ابزار شناخت و تحلیل رفتار سیستم های هیدرولوژیک بسیار ضروری است. این مقاله با هدف ارائه تعاریف و دیدگاه های موجود در روند مدل سازی هیدرولوژی، معرفی فرآیند پنج گانه مدل سازی هیدرولوژی و در نهایت بررسی انواع مدل های هیدرولوژی تدوین شده است.

واژه های کلیدی: مدل اداری، مدل مفهومی، صحت سنجی، واسنجی، اعتبار سنجی.

شروع شده، به تدریج به کامل کردن مدل پرداخته می‌شود. هر مسأله، معمولاً از تعداد بی‌شماری متغیر، پارامتر، محدودیت، جزء و رابطه تشکیل می‌شود. به هنگام بررسی هر مسأله معمولاً برخی خصوصیات واقعی مربوط به آن صرف نظر شده و فقط آن دسته از خصوصیات که مستقیماً به هدف بررسی مسأله ربط پیدا می‌کند مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به گسترش روز افزون استفاده از انواع مدل‌ها در پژوهش‌های دانشگاهی و اخیراً کاربرد مدل‌ها در مطالعات کاربردی و سیستم‌های پشتیبان تصمیم (DSS)^۱ این مقاله به صورت مختصر مفاهیم و تعاریف مدل‌سازی را به همراه فرآیند مدل‌سازی جمع‌بندی و معرفی کرده است. آنچه که اغلب در مطالعات و پژوهش‌های حوزه مدل‌سازی هیدرولوژی نادیده گرفته شده است عدم توجه به شناخت کامل سیستم منابع آب مورد شبیه‌سازی و عدم رعایت مراحل توسعه و کاربرد مدل بوده است. به طوری که در برخی مطالعات مدل‌سازی صرفاً تمرکز بر تهیه داده‌های ورودی مدل و در نهایت واسنجی مدل با روش‌ها و نرم‌افزارهای مرسوم بوده است. این امر باعث شده در سطوح مختلف کارشناسی اعتماد به نتایج مدل‌ها بسیار کم باشد و مدل‌سازی هیدرولوژی صرفاً به صورت یک فعالیت رایانه‌ای و نرم‌افزاری فرض شود. هدف مقاله حاضر مروری بر تعاریف و مفاهیم مدل و مدل‌سازی هیدرولوژی به همراه تشریح مراحل مدل‌سازی هیدرولوژی می‌باشد. بخش‌های مختلف مقاله شامل: تعاریف مدل، معرفی فرآیندهای پنجگانه مدل‌سازی، ارائه دسته‌بندی‌های مختلف مدل‌ها و در نهایت جمع‌بندی و ارائه چالش‌های مدل‌سازی می‌باشد.

واقعی دانست. در واقع منظور از کلمه «مدل» به تنهایی یک کد رایانه‌ای یا نرم‌افزار شبیه‌سازی نیست. در این مفهوم مدل در حالت‌ها و موضوعات مختلف بکار می‌رود؛ به طور مثال مدل مفهومی، مدل ادراکی، مدل ریاضی یا مدل اجرایی و...

آنچه در ادبیات مدل‌سازی به عنوان مدل رایج شده است در واقع مدل اجرایی می‌باشد که در بخش بعد جزئیات آن تشریح شده است. در هیدرولوژی یک مدل اجرایی به مجموعه‌ای از روابط ریاضی و تعاملات آنها با هدف شبیه‌سازی فرآیندهای سیستم هیدرولوژی گفته می‌شود که به صورت کدهای (برنامه‌های) رایانه‌ای ایجاد و استفاده می‌شوند. هرچند که اغلب به جای کاربرد «مدل اجرایی» واژه «مدل ریاضی» یا «مدل» به تنهایی ممکن است استفاده شود. آنچه که در متون تخصصی هیدرولوژی و مدل‌سازی مرسوم است زمانی که واژه مدل به تنهایی استفاده می‌شود منظور مدل اجرایی می‌باشد.

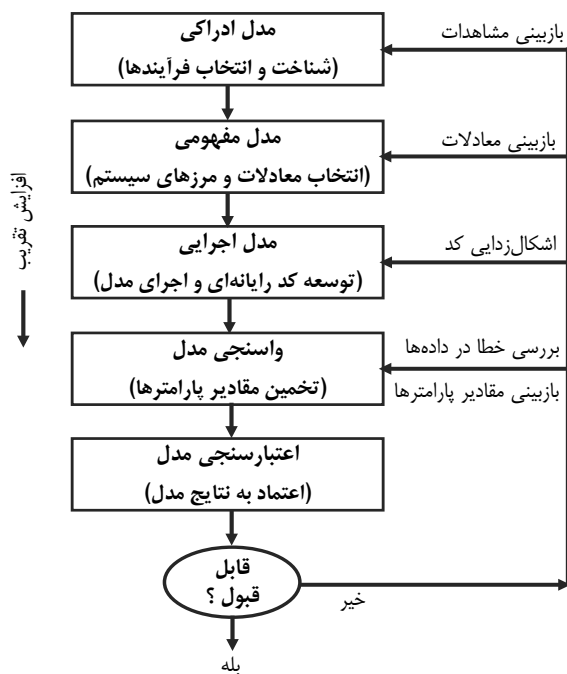
شناخت ساز و کار چرخه آب در طبیعت و به طور کلی تغییرات جریان آب در زمان و مکان و انواع آن (مؤلفه‌های بیلان) از مهم‌ترین مسائل در مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. تخمین و پیش‌بینی مؤلفه‌های بیلان (هیدرولوژی) از جمله رواناب، تبخیر-تعرق و نفوذ در حوضه‌های آبریز از اهمیت زیادی برخوردار است. مدل‌ها از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی چگونگی تغییرات چرخه آب در طبیعت و برآورد مؤلفه‌های بیلان آب را مهیا می‌سازند. در واقع، تنها راه شناخت سامانه‌های هیدرولوژی و منابع آب و پیش‌بینی رفتار مؤلفه‌های آن استفاده از مدل یا به عبارتی مدل‌سازی فرآیندهای آن می‌باشد (Refsgaard و Knudsen، ۱۹۹۶؛ Refsgaard و همکاران، ۲۰۰۵). با رشد رایانه و گسترش روزافزون مخاطرات کمی و کیفی منابع آب، استفاده از مدل‌سازی در مدیریت منابع آب کشور تبدیل به ضرورتی اجتناب ناپذیر شده است. بنابراین، با تهیه مدل‌های مناسب امکان شبیه‌سازی تأثیر عوامل مختلف به راحتی فراهم شده و تصمیم‌سازی مبتنی بر دانش و تجربه می‌تواند جایگزین سعی و خطا گردد.

در رویکردهای جدید مدل‌سازی، فرآیندی را که طبق آن مهندسان برای سیستم‌های تحت بررسی خود به مدل‌سازی می‌پردازند یک هنر ابتکاری قلمداد می‌شود. برای دست یافتن به آن تنها دانستن قوانین و ضوابط موضوع مورد نظر کفایت نمی‌کند، بلکه نیازمند تمرین و ممارست و هوش و ذکاوت است (Savenije، ۲۰۰۹). روش درست مدل‌سازی چنین است که کار با مدلی بسیار ساده

تعریف مدل و مدل‌سازی هیدرولوژی

مدل در واقع چکیده یا ساده‌سازی شده‌ای از واقعیت (یک سیستم) می‌باشد (Refsgaard و همکاران، ۲۰۰۵). به عبارت دیگر مدل ابزاری است جهت خلاصه‌سازی و تجمیع دانش و شناخت ما از یک سیستم واقعی که توسط روابط و قوانینی قابل ارائه می‌باشد. در برخی متون تخصصی هیدرولوژی (Beven، ۲۰۱۲)، مدل را گمان مهندسی^۲ یا یک فرضیه^۳ برای درک چگونگی رفتار یک سیستم می‌دانند. بنابراین فرضیه‌های ممکن توسط داده‌های اندازه‌گیری شده و ویژگی‌های فیزیکی سیستم هیدرولوژی آزمون^۴ می‌شوند. در صورتی که فرضیه در نظر گرفته شده براساس آزمون‌های مطرح شده مورد قبول واقع شود، آن‌گاه آن فرضیه قادر به توضیح فرآیند مورد بررسی و رفتار سیستم خواهد بود. بنابراین از این دیدگاه، مدل‌سازی را می‌توان فرآیند آزمودن فرضیه‌های مختلف در رابطه با چگونگی عملکرد سیستم

شناخت و تشخیص فرآیندهای غالب و مهم هیدرولوژی در حوضه و ارتباط دادن آنها به یکدیگر براساس اصول پایه علمی است. در شکل (۲) نمونه ای از یک مدل ادراکی به صورت شماتیکی در یک حوضه آبریز فرضی با فرآیندهای مختلف آن نشان داده شده است. مسلماً انجام بازدیدهای میدانی در این گام از اهمیت بسیاری برخوردار است.

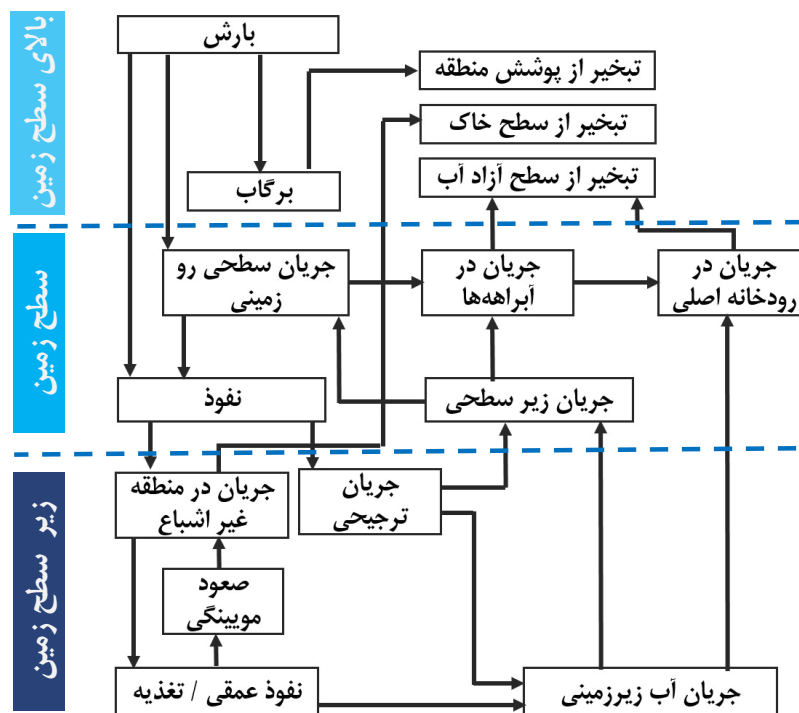


شکل ۱- فرآیندهای پنج گانه مدل سازی هیدرولوژی

اغلب کتاب ها یا متون تخصصی برای شبیه سازی فرآیندهای مشخص هیدرولوژی مدلهایی را معرفی کرده اند یا به عبارتی فرآیند مدل سازی را با انتخاب مدل آغاز کرده اند. اما مراحل قبل تر وجود دارد که در اغلب طرح ها و پژوهش های مرتبط با مدل سازی از آنها صرف نظر شده است یا کمتر مورد توجه قرار گرفته اند (Beven, ۲۰۱۲). فرآیند مدل سازی در ۵ گام قابل توصیف است و در شکل (۱) به صورت شماتیکی نشان داده شده است. این گام ها در ادامه به تفکیک آمده است:

گام ۱ - تشکیل مدل ادراکی: اولین مرحله در فرآیند مدل سازی هیدرولوژی با ارائه مدل ادراکی^۵ فرآیندهای هیدرولوژی آغاز می شود (شکل ۱). مدل ادراکی خلاصه ای از شناخت و آگاهی از چگونگی پاسخ های^۶ حوضه آبریز به بارش اتفاق افتاده تحت شرایط مختلف یا به عبارتی شناخت شخص هیدرولوژیست از آن پاسخ ها می باشد. این امر به این موارد بستگی خواهد داشت: آموزش های دیده شده هیدرولوژیست، مطالعه کتب و مقالات، تحلیل مجموعه داده های مختلف و به خصوص تجربیات میدانی که شخص داشته است. بنابراین انتظار می رود که مدل ادراکی یک هیدرولوژیست با یک هیدرولوژیست دیگر متفاوت باشد.

می توان گفت که این مرحله، علمی ترین مرحله در فرآیند مدل سازی است. علم هیدرولوژی به دنبال بررسی چگونگی حرکت آب روی سطح زمین و زیر آن می باشد. بنابراین، چالش اصلی در این مرحله



شکل ۲- نمونه ای از یک مدل ادراکی به صورت شماتیکی در یک حوضه آبریز فرضی با فرآیندهای مختلف

قابل ذکر است که تمامی تفاسیر و روابط ریاضی که برای پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شوند در واقع حاصل ساده‌سازی‌های انجام شده در مدل ادراکی است. مدل ادراکی با نظریه‌های ریاضی قابل محدود شدن نمی‌باشد، بلکه اساساً در فکر و ذهن شخص هیدرولوژیست وجود دارد و حتی لزومی به نوشتن آن نمی‌باشد. انسان می‌تواند پیچیده‌ترین فرآیندهای جریان را که حتی امکان ارائه آنها به صورت ریاضی دشوار باشد به صورت کاملاً کیفی درک کند؛ هرچند که توصیف ریاضی یک پدیده اولین گام در تشکیل یک مدل برای پیش‌بینی‌های کمی است (گام دوم). مشاهدات و شناخت‌های صورت گرفته در این گام در مراحل بعدی ارزیابی می‌شوند و در صورت نیاز بازبینی و اصلاح می‌گردند.

گام ۲ - تشکیل مدل مفهومی: توصیف ریاضی جهت کمی کردن پیش‌بینی‌ها را مدل مفهومی^۵ فرآیند یا فرآیندهای مورد بررسی می‌نامند. در این مرحله، فرضیه‌ها^۶ و فرض‌هایی^۷ با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود در نظر گرفته می‌شوند تا به کمک آنها بتوان توصیف کمی فرآیندها را واضح‌تر بیان کرد.

در این مرحله به دنبال چگونگی و در نظر گرفتن مقیاس ارائه فرآیندهای شناسایی شده در مرحله قبل هستیم. در واقع گام قبلی براساس اصول محض علمی بوده است؛ اما این گام به نوعی هنر (ترکیبی از خلاقیت و مهندسی) می‌باشد. به طوری که تصمیم‌گیری در نحوه چگونگی معماری مدل و شکل‌دهی معادلات اساسی آن می‌باشد. این تصمیم‌گیری شامل انتخاب فرآیندهای غالب و تأثیرگذار هیدرولوژی براساس موجودیت و صحت داده‌ها، نحوه ارتباط آنها، انجام ساده‌سازی در آنها و در نهایت ارائه ساختار و روابط است. در واقع فرضیه‌هایی که در این مرحله شکل می‌گیرند، می‌بایست در گام‌های بعدی ارزیابی شوند و در صورت نیاز بازبینی یا اصلاح آنها انجام شود (Savenije, ۲۰۰۹; Beven, ۲۰۱۲).

یک مثال از مدل مفهومی، قانون دارسی است که تغییرات جریان در خاک با فرض اینکه تغییرات جریان تابعی از گرادیان هیدرولیکی است بکار می‌رود. در برخی خاک‌ها که گرادیان هیدرولیکی در فواصل کوتاه تغییر می‌کند (به سبب وجود جریان ترجیحی) در کاربرد قانون دارسی به طور ضمنی از فرض متوسط گرادیان هیدرولیکی در نیم‌رخ خاک استفاده می‌شود. بنابراین از تغییرات گرادیان هیدرولیکی در فواصل مختلف می‌توان صرف نظر کرد.

مدل مفهومی می‌تواند پیچیده یا ساده باشد، از معادلات ساده بیلان جرم گرفته تا معادلات غیرخطی دیفرانسیل جزئی که برای توصیف تغییرات ذخیره در یک مخزن بکار می‌رود. قابل ذکر است که در برخی مطالعات مدل‌سازی به خصوص مدل‌سازی‌های آب زیرزمینی تشکیل مدل ادراکی و مفهومی از اهمیت زیادی برخوردار است (Izady و همکاران، ۲۰۱۴)؛ به طوری که خروجی آنها در ترکیب با موجودیت داده‌های مورد نیاز، تعیین‌کننده ورود به (انتخاب) مدل اجرایی (گام سوم) می‌باشد.

گام ۳ - تشکیل مدل اجرایی: برخی معادلات و روابط حاصل از مدل مفهومی می‌توانند مستقیماً جهت محاسبات تبدیل به کدهای رایانه‌ای و ارائه مدل اجرایی^۸ شوند. از طرفی اگر معادلاتی امکان حل تحلیلی آنها با شرایط مرزی مشخص در سیستم واقعی وجود نداشته باشد (مانند معادلات با مشتقات جزئی)، یک مرحله دیگر از تقریب واقعیت لازم است که با روش‌های حل عددی به صورت یک مدل اجرایی (کدنویسی در رایانه) انجام می‌شود. مثال مرسوم از روش‌های حل عددی استفاده از روش‌های حل تفاضل محدود یا حجم محدود می‌باشد. در تبدیل (انتقال) معادلات از مدل مفهومی به کد مدل اجرایی بیشترین احتمال وقوع خطا در حل معادلات اصلی وجود دارد و باید این مرحله با دقت مضاعف انجام شود (Beven, ۲۰۱۲). یک گام مهم که در این مرحله انجام می‌شود، صحت‌سنجی یا اشکال‌زدایی^۹ کد رایانه‌ای یا مدل اجرایی می‌باشد. صحت‌سنجی به معنی کنترل و بازبینی کد رایانه‌ای و رفتار مدل اجرایی (حل معادلات آن) به کمک اعمال شرایط حدی و یا افزایش و کاهش تدریجی مقادیر ورودی به مدل و بررسی صحت خروجی‌های کد رایانه‌ای می‌شود.

گام‌های ۴ و ۵ - واسنجی و اعتبارسنجی: با داشتن مدل اجرایی، کدی در اختیارمان قرار دارد که در رایانه‌ها قابلیت اجرا دارد. اما قبل از کاربرد کد جهت انجام پیش‌بینی‌های کمی در یک حوضه آبریز می‌بایست پارامترهای ضرایب مدل واسنجی^{۱۱} یا به عبارتی تخمین زده شوند. تمامی مدل‌هایی که در هیدرولوژی استفاده می‌شوند دارای معادلاتی هستند که هر کدام شامل انواع مختلفی از متغیرهای وضعیت^{۱۲} و ورودی^{۱۳} می‌باشند (Beven, ۲۰۱۲). ورودی‌هایی وجود دارند که که تعریف‌کننده هندسه و شکل حوضه آبریز هستند و معمولاً در طول دوره شبیه‌سازی مقادیر ثابتی دارند. متغیرهایی وجود دارند که تعریف‌کننده شرایط مرزی متغیر در زمان در طول دوره شبیه‌سازی هستند، مانند بارندگی یا سایر متغیرهای هواشناسی که در گام زمانی مشخصی وجود دارند. متغیرهای وضعیت مانند ذخیره رطوبتی خاک یا سطح ایستابی آب است که در طول دوره شبیه‌سازی در اثر محاسبات در مدل تغییر می‌کنند.

پارامترهای مدل تعریف‌کننده ویژگی‌هایی از حوضه مانند مساحت یا جریان می‌باشند. به طور مثال پارامترهای مانند تخلخل و هدایت هیدرولیکی مربوط به خاک‌های مختلف در حوضه که می‌تواند به صورت توزیعی^{۱۴} در نقاط مختلف حوضه برای مدل در نظر گرفته شود یا به صورت یکجا^{۱۵} میانگین آن برای مقدار پارامتر مدل در نظر گرفته شود. مقادیر اغلب پارامترهای مدل در طول زمان ثابت فرض می‌شود (هرچند که برای برخی پارامترها مانند ظرفیت مقدار برگاب که مقدار آن تابع طول دوره رشد گیاه است، ممکن است این وابستگی نیز در نظر گرفته شود). در همه حالات به هر حال، تعیین مقادیر پارامترهای مدل از قبل به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ بنابراین نیازمند واسنجی یا تخمین مقادیر پارامترهای مدل هستیم. رایج‌ترین روش مورد استفاده

در واسنجی پارامترها، تغییر و اصلاح مقدار پارامتر تا منطبق شدن پیش‌بینی مدل با مقدار مشاهده شده از پاسخ حوضه (در صورت مهیا بودن آن) می‌باشد. فرآیند تخمین پارامترها یا واسنجی مدل اغلب به صورت یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود. به طوری که واسنجی، به بهینه‌سازی (تخمین بهینه) پارامترهای مدل با هدف به حداقل رساندن تمایز خروجی‌های مدل با مقادیر مشاهداتی^{۱۶} (واقعی) اطلاق می‌شود (Abbaspour و همکاران، ۱۹۹۷).

بعد از اینکه مقادیر پارامترهای مدل مشخص شدند، مدل اجرا می‌شود و نتایج شبیه‌سازی آن بررسی می‌شود. مرحله بعدی اعتبارسنجی^{۱۷} پیش‌بینی‌های مدل می‌باشد. اعتبارسنجی می‌تواند در یک چارچوب گسترده‌تر نیز باشد به طوری که شاخص‌هایی برای بررسی عملکرد مدل با مقایسه نتایج پیش‌بینی و واقعیت حوضه محاسبه شوند. مشکل معمول در این مرحله، پذیرش مدل با عمل واسنجی و یافتن مقادیر مناسب برای پارامترها نیست، بلکه احتمالاً وجود مجموعه مقادیر پارامترهای متفاوت است که موجب عملکرد یکسان در نتایج پیش‌بینی مدل شده و انتخاب بهترین مقادیر پارامترهای مدل را با چالش مواجه خواهد کرد. این موضوع مرتبط با ارزیابی و تحلیل عدم قطعیت در مدل‌سازی است که خارج از بحث و هدف اصلی این مقاله می‌باشد. آنچه که به طور معمول در واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده می‌شود به این طریق است که بخشی از داده‌های اندازه‌گیری شده را برای اعتبارسنجی مدل کنار می‌گذارند و در واسنجی استفاده نمی‌کنند و سپس مدل واسنجی شده را نسبت به پیش‌بینی آن داده‌ها ارزیابی می‌کنند. هر چند این روش اخیراً مورد نقد قرار گرفته

است (Gharari و همکاران، ۲۰۱۳؛ Gharari و همکاران، ۲۰۱۴a و ۲۰۱۴b)؛ به طور مثال در برخی کاربردها از سایر متغیرهای وضعیت سیستم مانند تغییرات سطح آب زیرزمینی یا جریان در زیرحوضه‌ها و ... که در واسنجی استفاده نشده‌اند، برای اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده می‌شود که به معنی از دست دادن برخی از اطلاعات ارزشمند است. همین‌طور اخیراً روش واسنجی - اعتبارسنجی معرفی شده که با در نظر گرفتن بازه‌های زمانی متفاوت^{۱۸} در واسنجی و یافتن مقادیر پارامترها به نحوی که عملکرد مدل در مجموعه بازه‌های مختلف به هم نزدیک باشد، واسنجی و اعتبارسنجی را با هم انجام می‌دهد (Gharari و همکاران، ۲۰۱۳).

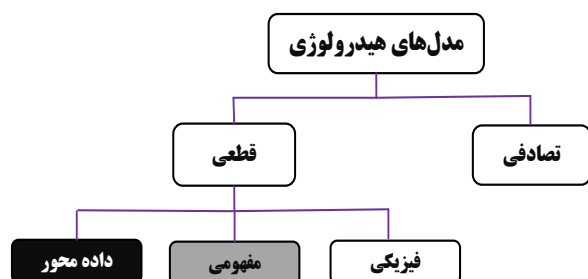
در نهایت با توجه به آنچه در فرآیند مدل‌سازی و مراحل آن ذکر شد، می‌توان پیش‌بینی‌های انجام شده را به همراه سایر خروجی‌های مورد نظر براساس مدل ادراکی اولیه حوضه ارزیابی کرد. معمولاً یافتن یک مدل کاملاً منطبق بر شرایط یک حوضه امکان‌پذیر نیست. تفاوت‌های موجود را می‌توان عموماً با بازیابی مقادیر واسنجی شده پارامترها، تغییر یا اصلاح مدل مفهومی و در برخی حالات تصحیح مدل ادراکی بدست آمده از حوضه (به عبارتی بازیابی و تلاش مجدد در فهم فرآیندهای هیدرولوژی حوضه) برطرف کرد. همچنین قابل ذکر است که در دهه اخیر واسنجی مدل‌ها به همراه تحلیل عدم قطعیت انجام می‌شود (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). این امر باعث افزایش اعتماد به نتایج تخمین پارامترهای مدل و خروجی مدل می‌شود. تحلیل عدم قطعیت در کاربرد مدل‌ها، روش‌ها و مفاهیم مفصلی دارد که با توجه به هدف این مقاله در اینجا ارائه نشده است.

انواع مدل‌های هیدرولوژی

بر اساس یک طبقه‌بندی کلی انواع مدل‌های هیدرولوژیکی به دو دسته مدل‌های غیرقطعی یا تصادفی^{۱۹} و مدل‌های قطعی^{۲۰} تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های غیرقطعی در حقیقت روشی برای برآورد توزیع‌های احتمالاتی از خروجی‌ها با در نظر گرفتن تغییرات تصادفی متغیرهای ورودی مدل هستند (Knudsen و Refsgaard، ۱۹۹۶). از طرف دیگر در یک مدل قطعی از عنصر یا جزء تصادفی آن صرف نظر می‌شود. هر ورودی ثابت دارای یک خروجی ثابت است (Chow، ۱۹۶۴). از دیدگاه کاربردی مدل‌های غیرقطعی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ مگر در شرایط توصیف و پیش‌بینی پدیده‌های خاص اقلیمی یا حدی مانند خشکسالی و سیل استفاده شوند (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰).

مدل‌های قطعی خود به سه دسته از لحاظ پیچیدگی تقسیم می‌شوند (شکل ۳) که شامل مدل‌های داده-محور^{۲۱} یا تجربی (معروف به جعبه سیاه^{۲۲})، مفهومی^{۲۳} (معروف به جعبه خاکستری^{۲۴}) و فیزیکی^{۲۵} (معروف به جعبه سفید^{۲۶}) هستند (Refsgaard و Storm، ۱۹۹۶). مدل‌های داده-محور یا تجربی همان‌طور که از اسم این مدل‌ها

بر می‌آید، هیچ‌گونه تفسیری از فرآیندهای فیزیکی صورت گرفته در یک فرآیند هیدرولوژیکی را ارائه نمی‌دهد؛ ولی با استفاده از آن می‌توان پارامترهایی را پیش‌بینی نمود (مانند مدل‌های رگرسیونی یا شبکه عصبی) (Price، ۲۰۰۲). در مقابل، مدل‌های فیزیکی با استفاده از روابط ریاضی صرف و درک دقیق فرآیندهای موجود در یک سامانه، سعی در مدل کردن آن دارند؛ این در حالی است که مدل‌های هیدرولوژیکی مفهومی با درک رفتار سامانه به تفسیر فرآیندها و ارتباط آنها در شکل‌گیری یک پارامتر هیدرولوژیکی نظیر رواناب روزانه خروجی از حوضه می‌پردازند.



شکل ۳- تقسیم‌بندی انواع مدل‌های هیدرولوژی

۱- مدل‌های پایه فیزیکی در مقابل مدل‌های مفهومی

مدل‌های پایه فیزیکی جهت افزایش سطح آگاهی از پیچیدگی فیزیکی حاکم بر فرآیند تبدیل بارش به رواناب و به منظور توسعه مدل ریاضی از فرآیندهای متعدد، بر اساس قانون بقای جرم و انرژی متغیر بوده و رشد یافته‌اند. مدل‌های پایه فیزیکی به طور کلی مجموعه‌ای وسیع از مدل‌های دیفرانسیلی توزیعی را تشکیل می‌دهند (Abbott و همکاران، ۱۹۸۶). پارامترهای آنها معمولاً به وسیله اندازه‌گیری‌های میدانی تعیین می‌شوند (Beven و Binley، ۱۹۹۲). از طرفی، مدل‌های مفهومی در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسعه پیدا کردند. دلیل اصلی برای توسعه چنین مدل‌هایی، نمایش چرخه هیدرولوژی با ارتباط دادن اجزاء فرآیند بارش-رواناب با مفاهیم فیزیکی حاکم بر حوضه به صورت مفهومی است. با این فرض که پارامترهای مدل، مفاهیم فیزیکی حاکم بر مدل را توصیف می‌کنند. به این ترتیب مقادیر پارامترهایی که منبع آنها مشخص نیست به داده‌های مشاهداتی مرتبط می‌گردند. به بیان دیگر فرض می‌گردد که بیشتر پارامترهای موجود در این نوع مدل‌ها مانند ضرایب ذخیره، ضرایب زبری و آستانه‌ها که در زیر اجزاء مختلف ارائه می‌گردد، توسط خصوصیات فیزیوگرافی حوضه حدس زده شده و در واقع چکیده‌ای از ویژگی‌های حوضه هستند (Todini، ۱۹۹۶). در حوضه‌های آبریز مدل‌های مفهومی بارش-رواناب ارائه دهنده چگونگی تبدیل بارندگی به رواناب، تبخیر-تعرق، حرکت آب به سمت سیستم آب زیرزمینی و تغییرات حجم آب در داخل حوضه‌ها توسط مجموعه‌ای از روابط ریاضی می‌باشند. این مدل‌ها ذخیره آب در حوضه آبریز را با استفاده از چندین مخزن^{۲۷} مفهومی در نظر می‌گیرند که بیانگر نگرنداری رطوبت در خاک، گیاه، آب زیرزمینی یا بستر رودخانه در حوضه آبریز است. جریان آب بین مخازن و ورودی و خروجی مدل توسط روابط ریاضی کنترل می‌شوند. معمولاً در مدل‌سازی‌های کاربردی مدل‌های مفهومی به مدل‌های پایه فیزیکی ترجیح داده می‌شوند؛ زیرا ضمن ارائه پاسخ‌های قابل قبول، به تلاش محاسباتی و داده‌های ورودی کمتری نیاز دارند.

از مدل‌های معروف پایه فیزیکی می‌توان MIKE SHE را نام برد (Abbott و همکاران، ۱۹۸۶). این مدل قادر است تمامی فرآیندهای هیدرولوژی را با جزئیات کامل شبیه‌سازی کند. به طور مثال از حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی جریان در محیط غیراشباع استفاده می‌کند. کاربرد این مدل نیازمند داده‌های ورودی زیاد و تعریف شرایط مرزی مختلف می‌باشد. از مدل‌های معروف مفهومی می‌توان مدل HyMod، HBV، SWAT و FLEX را نام برد (Bergström، ۱۹۷۶؛ Arnold و همکاران، ۱۹۹۸؛ Fenicia و همکاران، ۲۰۱۱). این مدل‌ها از روابط ساده‌شونده جهت ارائه فرآیندهای هیدرولوژی

استفاده کرده‌اند و اغلب آنها بنا به رویکرد کاربرد آنها (توزیعی یا یکجا) به داده‌های ورودی کمی نیاز دارند. به طور مثال ورودی‌های مدل HyMod تنها بارندگی، درجه حرارت و تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشد.

قابل ذکر است که در بحث انواع مدل‌های هیدرولوژی، مدل مفهومی را نبایستی با مرحله دوم مدل‌سازی (به عبارتی تشکیل مدل مفهومی) اشتباه گرفت. در این بحث، مدل‌های مفهومی (مدل اجرایی با فرضیات ساده شونده) در مقابل مدل‌های پایه فیزیکی (مدل اجرایی نسبتاً پیچیده و با در نظر گرفتن تمامی جزئیات فرآیندها) مقایسه شده و به کار می‌روند.

۲- مدل‌های توزیعی در مقابل مدل‌های یکجا

مدل‌های یکجا^{۱۵} سطح حوضه را به عنوان یک واحد یکنواخت جهت محاسبه فرآیندها در نظر می‌گیرند و کاربرد آنها ساده است. اما مدل‌های توزیعی^{۱۴} تمام تغییرات عوارض زمین را در نظر می‌گیرند. به عبارتی غیر همگنی^{۲۸} حوضه را در محاسبات با در نظر گرفتن شبکه‌های محاسباتی سلولی لحاظ می‌کنند. مدل‌های توزیعی نیازمند ابزار قویتری جهت کاربرد هستند. اغلب کاربردهای مدل‌های مفهومی به صورت یکجا بوده است. به طوری که فرض بر آن است که تغییرات سری زمانی داده‌های اقلیمی و پارامترهای مدل در سطح حوضه یکنواخت^{۲۹} هستند. اخیراً به طور گسترده‌ای کاربرد آنها به صورت نیمه‌توزیعی^{۳۰} مورد توجه قرار گرفته است. در حالت نیمه توزیعی حوضه آبریز به زیرحوضه‌ها یا واحدهای همگنی تقسیم می‌شوند که در هر کدام از آنها پارامترها و ورودی‌های مدل یکسان در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر مدل‌های پایه فیزیکی اغلب به صورت کاملاً توزیعی استفاده می‌شوند و واحدهای محاسباتی در آنها به صورت شبکه‌ای یا سلولی با ابعاد مشخص در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به رشد استفاده از مدل‌های مفهومی به صورت نیمه‌توزیعی، امروزه مطالعات مختلفی در این حوزه در حال انجام است. این مطالعات از نحوه ارائه ساختار مدل‌ها گرفته تا نحوه واسنجی مدل‌ها وجود دارد (Gharari و همکاران، ۲۰۱۴b). یکی از معروف‌ترین مدل‌های مفهومی - نیمه‌توزیعی مدل SWAT (Arnold و همکاران، ۱۹۹۸) می‌باشد. این مدل ناهمگنی‌های مکانی در حوضه را با تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها و سپس زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای محاسباتی کوچکتر در نظر می‌گیرد. این واحدهای محاسباتی، واحدهای هم‌واکنش هیدرولوژیک (HRU)^{۳۱} نامیده می‌شوند. این واحدها تا حد امکان مشابه هستند و دارای ترکیبات یکسانی از پوشش گیاهی، خاک و پستی و بلندی می‌باشند (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲).

فرآیند مدل‌سازی و فقط با انتخاب یک مدل اجرایی و واسنجی آن انجام می‌شود، مدل‌سازی ناآگاهانه یا کورکورانه نامید. قابل ذکر است که پیشرفت‌های بسیار زیاد و متفاوتی در حوزه‌های مدل‌سازی هیدرولوژی وجود دارد؛ از جمله می‌توان به روش‌ها و مبانی تحلیل عدم قطعیت، ارزیابی ریسک استفاده از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها، مباحث پیشرفته در مدل‌سازی‌های آب سطحی و زیرزمینی و فرضیات آنها و در نهایت کاربرد عملی مدل‌ها در قالب سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری از طریق فراهم‌آوری دسترسی به داده‌ها (بانک اطلاعات) و ایجاد رابط‌های گرافیکی جهت سهولت در استفاده از مدل‌ها اشاره نمود. این موارد خارج از هدف مروری حاضر بوده است و به طور حتم از جمله موارد کاربردی و مهمی به شمار می‌رود که می‌توان موجب افزایش اعتمادپذیری و استفاده درست از مدل‌ها در تصمیم‌گیری‌ها شود.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر بخشی از طرح تحقیقاتی انجام شده در شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی می‌باشد. بدین وسیله از همکاری خانم مهندس شهابی فرد، خانم مهندس موسی‌زاده و آقای مهندس خراشادی‌زاده تشکر می‌شود.

امروزه با توجه به رشد روز افزون فناوری‌ها و قابلیت‌های محاسباتی در رایانه‌ها، پیش‌بینی و شبیه‌سازی‌های فرآیندهای منابع آبی بسیار گسترش یافته‌اند. به طوری که در اغلب مطالعات کاربردی منابع آب مانند ارزیابی مولفه‌های بیلان آب، پیش‌بینی جریان رودخانه، پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده از مدل‌ها امری غیر قابل انکار می‌باشد. هرچند که توصیه می‌شود که نگاه به مدل تنها به عنوان یکی از ابزارهای شناخت و پشتیبان تصمیم‌گیری در مطالعات باشد و نه به عنوان جایگزین یک کارشناس متخصص. بنابراین با این دیدگاه استفاده از مدل باعث افزایش بینش و درک هیدرولوژیست از فرآیندهای مورد مطالعه و ارزیابی اثرات تغییرات محتمل در حوضه از طریق سناریوسازی‌های مختلف می‌شود.

مقاله حاضر به جمع‌بندی و تدوین تعاریف مدل و مدل‌سازی، ارائه مراحل مدل‌سازی و پیشرفت‌های اخیر آن و در نهایت بررسی انواع مدل‌های هیدرولوژی پرداخته است. این امر تا حدی اندک در یکسان‌سازی ادبیات استفاده و کاربرد مدل‌ها در شبیه‌سازی‌های حوضه آبریز و تغییر نگرش در این زمینه می‌تواند موثر باشد. در این مورد می‌توان مدل‌سازی‌های حوضه‌های آبریزی که بدون طی

پی‌نوشت

- 16- Observational data
- 17- Validation or Evaluation
- 18- Sub-period
- 19- Stochastic
- 20- Deterministic
- 21- Data driven
- 22- Black box
- 23- Conceptual model
- 24- Grey box
- 25- Physical based model
- 26- White box
- 27- Bucket
- 28- Non-homogeneity
- 29- Consistent
- 30- Semi-distributed
- 31- Hydrologic Response Unit

- 1- Decision support system
- 2- Expert guess
- 3- Hypothesis
- 4- Test
- 5- Perceptual
- 6- Response
- 7- Conceptual
- 8- Assumptions
- 9- procedural
- 10- Verification
- 11- Calibration
- 12- State variable
- 13- Inputs or forcing
- 14- Distributed
- 15- Lump

- drological modeling: 1. Motivation and theoretical development. *Water Resour. Res.*, 47, W11510, doi: 10.1029/2010WR010174.
- Gharari S., Hrachowitz M., Fenicia F. and Savenije H.H.G. 2013. An approach to identify time consistent model parameters: sub-period calibration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1): 149–161.
- Gharari S., Shafiei M., Hrachowitz M., Kumar R., Fenicia F., Gupta H.V. and Savenije H.H.G. 2014a. A constraint-based search algorithm for parameter identification of environmental models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (12): 4861–4870.
- Gharari S., Hrachowitz M., Fenicia F., Gao H. and Savenije H.H.G. 2014b. Using expert knowledge to increase realism in environmental system models can dramatically reduce the need for calibration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12): 4839–4859.
- Izady A., Davary K., Alizadeh A., Ziaei A.N., Alipoor A., Joodavi A. and Brusseau M.L. 2014. A framework toward developing a groundwater conceptual model. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(9): 3611–3631.
- Price R.K. 2002. *Hydroinformatics: Advanced study course on river basin modelling for flood risk mitigation*, The University of Birmingham, UK, pp. 5.1–5.19.
- Refsgaard J.C. and Storm B. (eds.), 1996. *Distributed hydrological modelling*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- 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., Henriksen H.J., Harrar W.G., Scholten H. and Kassahun A. 2005. Quality assurance in model based water management - review of existing practice and outline of new approaches. *Environmental Modelling & Software* 20(10), 1201–1215.
- Savenije H.H.G. 2009. Hess opinions “the art of hydrology”. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 157–161.
- Todini E. 1996. The ARNO rainfall—runoff model. *Journal of hydrology*, 175(1-4): 339–382.
- شفیعی، م.، قهرمان، ب.، انصاری، ح. و شریفی م. ب. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی تصادفی شدت خشکسالی براساس شاخص پالم. *مجله مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲(۲): ۱۳–۱۰.
- شفیعی، م.، انصاری، ح.، داوری، ک. و ب.، قهرمان. ۱۳۹۲. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت یک مدل نیمه‌توزیعی در یک منطقه نیمه‌خشک. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، آب و خاک، ۱۷(۶۴): ۱۳۷–۱۴۸.
- شفیعی، م.، قهرمان، ب.، ثقفیان، ب.، داوری، ک. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۳. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAP توسط روش GLUE. *مجله پژوهش آب در کشاورزی*، ۲۸(۲): ۴۷۷–۴۸۸.
- Abbott M.B., Bathurst J.C., Cunge J.A., O’Connell P.E. and Rasmussen J. 1986. An Introduction to the European Hydrological System—Système Hydrologique Européen, “SHE”, 2: Structure of a physically based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*, 87(1): 61–77.
- Abbaspour K.C., van Genuchten M.T., Schulin R. and Schläppi E. 1997. A sequential uncertainty domain inverse procedure for estimating subsurface flow and transport parameters. *Water Resour. Res.* 33: 1879–1892.
- Arnold J.G., Srinivasan R.S., Muttiah R. and Williams J.R.. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 341: 73–89.
- Bergström S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments, SMHI, Report No. RHO 7, Norrköping, 134 pp.
- Beven K.J. 2012. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. Wiley Chichester. 457 pp.
- Beven K.J. and Binley A.M. 1992. The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6: 279–298.
- Chow V. 1964. *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Fenicia F., Kavetski D. and Savenije H.H.G. 2011. Elements of a flexible approach for conceptual hy-

Introduction of Three-Dimensional Geology Models and Their Application for Layering of Alluvial Aquifers (Case Study: Bojnourd Aquifer)

M. Tajabadi¹, A.N. Ziaei^{2*}, A. Izady³, R. Bahrami⁴, J. Meshkini⁵

1,2-M.Sc., and Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. 3- Ph.D., Irrigation and Drainage, Water Research Centre, Sultan Qaboos University, Oman. 4- M.Sc. in Water Resources, Abkav Shargh Consulting Engineers Company, Iran. 5- M.Sc. in Civil Engineering, North Khorasan Regional Water Authority, Iran.

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

Received: 02-06-2016

Accepted: 30-04-2017

معرفی مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی و کاربرد آن در لایه‌بندی آبخوان آبرفتی بجنورد

مینا تاج‌آبادی^۱، علی‌نقی ضیایی^{۲*}، عزیزالله ایزدی^۳، روح‌الامین بهرامی^۴، جواد مشکینی^۵

۱ و ۲- به ترتیب کارشناسی‌ارشد منابع آب و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد. ۳- دکتری آبیاری زهکشی، مرکز تحقیقات آب دانشگاه سلطان قابوس عمان. ۴- کارشناسی‌ارشد منابع آب، شرکت مهندسين مشاور آبکاو شرق. ۵- کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران، شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۱۰

Abstract

The purpose of this research is the introduction of methods and tools for determination of aquifer stratigraphy and their application. In alluvial aquifers which have extreme changes in sediments, stratigraphy modeling is not suitable, and it is better to use three-dimensional lithology models found in the Rockworks software or T-Progs tools in the GMS software. In this study, using the three-dimensional modeling techniques in the Rockworks software, the three-dimensional lithology model of the Bojnourd aquifer lithology of the Bojnourd aquifer, located in the North Khorasan province, with information including logs and geophysical studies has been obtained. Here, the alluvial aquifer consists of three soil textures: coarse, medium, and fine grain which the very fine texture (very fine grain) is considered as the aquifer floor texture in order to solve the lithology modeling problem. Results show that the existence of lens and heterogeneity of sediment in the aquifer influence the accuracy of the estimated hydrodynamic coefficients. Therefore, using three-dimensional lithology modeling techniques, especially in alluvial aquifers, causes changes in the hydraulic conductivities of fine to very coarse-grained sediments. Additionally, the use of three-dimensional alluvial modeling techniques for groundwater flow modeling, especially in aquifers with severe heterogeneity, leads to the identification of an aquifer with an adequate accuracy.

Keywords: Stratigraphy, Alluvial deposit, Lithology modeling, Rockworks, Bojnourd aquifer.

چکیده

هدف از این پژوهش، معرفی روش‌ها و ابزارهای تعریف لایه‌بندی آبخوان‌ها و همچنین کاربرد آن‌ها می‌باشد. در آبخوان‌های آبرفتی که تغییرات شدید رسوبات مشاهده می‌شود، تهیه مدل‌های استراتیگرافی^۱ مناسب نمی‌باشد و بهتر است برای لایه‌بندی این نوع آبخوان‌ها از مدل‌های سه‌بعدی لیتولوژی^۲ نرم‌افزار Rockworks یا ابزار T-Progs در نرم‌افزار GMS استفاده شود. در این پژوهش با استفاده از تکنیک مدل‌سازی سه‌بعدی لیتولوژی در نرم‌افزار Rockworks، مدل سه‌بعدی آبرفتی آبخوان بجنورد واقع در استان خراسان شمالی با اطلاعاتی نظیر لاگ چاه‌های بهره‌برداری و مطالعات ژئوفیزیک بدست آمده است. سیستم رسوب آبخوان در این مطالعه از سه گروه رسوب درشت‌دانه، متوسط‌دانه و ریزدانه تشکیل شده که به منظور حل مشکل تهیه مدل آبرفتی، بافت خیلی ریزدانه به عنوان بافت کف آبخوان در نظر گرفته شده است. نتایج وجود عدسی‌ها و ناهمگنی رسوبات را در سرتاسر آبخوان به خوبی نشان می‌دهد که در صورت مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در تخمین ضرایب هیدرودینامیک تأثیرگذار است. بنابراین استفاده از تکنیک مدل‌سازی سه‌بعدی مواد آبرفتی معرف وجود ناهمگنی و عدسی‌ها در سیستم آبخوان‌ها بوده که سبب ایجاد تغییراتی در مقادیر هدایت هیدرولیکی رسوبات درشت‌دانه تا خیلی ریزدانه می‌شوند. بنابراین استفاده از مدل‌های آبرفتی به منظور مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی به ویژه در آبخوان‌هایی با ناهمگنی شدید منجر به شناخت آبخوان با دقت مناسبی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: لایه‌بندی، مواد آبرفتی، مدل‌سازی سه‌بعدی، Rockworks، آبخوان بجنورد.

در سال‌های اخیر با افزایش روزافزون جمعیت و رشد فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی، میزان مصرف آب در بخش‌های گوناگون شرب، کشاورزی و صنعت افزایش پیدا کرده است که این افزایش مصرف، هزینه‌های بالایی را به منظور تحقق تأمین آب به دنبال داشته است. از آنجایی که آب زیرزمینی یکی از منابع حیاتی تأمین‌کننده آب مصرفی در ایران می‌باشد، بهره‌برداری نامناسب آبخوان به دلیل عدم آگاهی از آن منجر به اذین رفتن کمی و کیفی این منابع آبی ارزشمند در آینده خواهد شد. تخمین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان‌ها تنها با استفاده از آزمایش‌های پمپاژ و مطالعات اکتشافی بدست آمده و بعد از پهنه‌بندی در سطح آبخوان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا با توجه به هزینه‌های بالا به نظر می‌رسد آگاهی از نحوه لایه‌بندی مخازن آبخوان‌ها و برآورد مناسب‌تری از ضرایب هیدرودینامیک آن، می‌تواند تصمیمات مناسبی را در مقابله با مشکلات موجود اتخاذ نماید. بنابراین هدف از این پژوهش، معرفی تکنیک‌های مدل‌سازی سه‌بعدی زمین‌شناسی و کاربرد آن در تهیه لایه‌بندی آبخوان می‌باشد. تهیه مدل زمین‌شناسی آبرفتی آبخوان‌ها منجر به شناخت بیشتری می‌شود که خود تأثیر مهمی در برآورد خصوصیات آبخوان و رفتار آن دارد.

امروزه تحقیقات مختلفی در سرتاسر دنیا در رابطه با لایه‌بندی آبخوان‌ها، به منظور آگاهی بیشتر از شرایط پیچیده حاکم بر هیدرولیک آب و اهمیت استراتژیک آن‌ها در حال انجام است. برای مثال در ایران شهسواری و همکاران (۱۳۸۴) با تهیه لایه‌بندی استراتیگرافی، جریان آب زیرزمینی را در دشت بهبهان مدل کردند و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان را بدست آوردند. یوسفی‌راد (۲۰۱۲) با استفاده از منطق فازی، رسوبات آب لایه‌شناسی سازند کارستی منطقه قلّه‌ی هفتاد در استان مرکزی را به ۷ طبقه تقسیم‌بندی کرد و بهترین منابع آب کارست را معرفی کرد. بانژاد و همکاران (۱۳۹۱) لایه‌بندی استراتیگرافی دشت نهاوند همدان را با نرم‌افزار GMS انجام دادند و جریان آب زیرزمینی را مدل کردند. قبادیان و همکاران (۱۳۹۲) با تعریف چهار نوع رسوب مدل استراتیگرافی دشت میان‌در بند کرمانشاه را تهیه و جریان آب زیرزمینی را با استفاده از GMS مدل کردند. محمودپور و همکاران (۲۰۱۳) با تهیه استراتیگرافی، واحدهای آبخوان و آکيو تارد^۱ آبخوانی در جنوب غربی تهران را شناسایی کردند. بنابراین می‌توان گفت، مطالعات مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی که در ایران در حال انجام است صرفاً لایه‌بندی استراتیگرافی است که در آبخوان‌های آبرفتی دارای پیچیدگی رسوبات است، این نوع لایه‌بندی گزینه‌ی مناسبی

نیست به دلیل اینکه مطالعات در حال انجام لایه‌بندی در سطح بین‌المللی به ویژه در آبخوان‌های آبرفتی از نوع لایه‌بندی رسوبات آبرفتی است. به طور مثال Ahmed (۲۰۰۹) در Sohag مصر با استفاده از تکنیک مدل‌سازی لیتولوژی سه‌بعدی، مدل رسوبات آبرفت منطقه را بدست آورد. او مدل لیتولوژی منطقه را به شش نوع طبقه مختلف تقسیم کرد و به این نتیجه رسید که رسوبات خاک منطقه، ناهمگنی شدید دارند و با استفاده از آن ضرایب هیدرودینامیکی افقی و عمودی را محاسبه کرد. Wang (۲۰۱۲) در حوضه رودخانه Elkhorn آمریکا با لایه‌بندی رسوبات آبرفتی وبا استفاده از لاگ‌های چاه، مدل هفت لایه‌ی رسوبات را با استفاده از نرم‌افزار Rockwork برآورد کرد و به این نتیجه رسید که نتایج مدل‌سازی او با تحلیل داده‌ها سازگار است. Cioco (۲۰۱۲) در آبخوانی در کالیفرنیا با مطالعه آب لایه‌شناسی و با استفاده از ۱۱۰ لاگ چاه، مدل لایه‌بندی آبخوان را با کمک نرم‌افزار Rockwork به دست آورد تا حساسیت منطقه را نسبت به آلودگی ارزیابی کند و به این نتیجه رسید که این آبخوان در سطح حوضه دارای ناپیوستگی است. Biswas و همکاران (۲۰۱۴) آب لایه‌شناسی سفره آب زیرزمینی منطقه‌ای تحت تأثیر آلودگی آرسنیک، منگنز و آهن در بنگال را که دارای اهمیت بالایی از نظر شرب است، به دست آوردند. آن‌ها با استفاده از ۲۹ لاگ زمین‌شناسی در نرم‌افزار Rockwork مدل رسوبات منطقه را هشت لایه برآورد کردند و سپس بر اساس مدل آب لایه‌شناسی، سه آبخوان در منطقه را معرفی کردند. Abdalla و همکاران (۲۰۱۵) مدل استراتیگرافی منطقه Al-Buraiimi در کشور عمان را با در نظر گرفتن چهار واحد زمین‌شناسی شامل آبرفت، ترشیری^۲، آفیولیت^۳ و هواسینا^۴ تهیه نمودند و مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره را برای آکیفرهای منطقه برآورد کردند. Ahmed و همکاران (۲۰۱۵) در آبخوان Nubian Sandstone در مصر، روشی را برای مدیریت و ارزیابی آبخوان در این منطقه بیان کردند. آن‌ها از تکنیک مدل‌سازی لیتولوژی سه‌بعدی آبخوان در نرم‌افزار Rockwork استفاده کردند سپس با استفاده از مدل رسوبی، جریان آب زیرزمینی را مدل کردند. در نظر گرفتن لایه‌بندی آبخوان در مدل مفهومی آبخوان امری ضروری می‌باشد که برحسب ساختار زمین‌شناسی منطقه استفاده از لایه‌بندی استراتیگرافی و یا لایه‌بندی لیتولوژی متفاوت است. این مقاله ضرایب هیدرودینامیکی را در منطقه صرفاً بر حسب جنس مواد تشکیل‌دهنده‌ی زمین‌شناسی تعیین کرده است. بنابراین می‌توان در آبخوان‌ها بدون تحمیل هزینه‌های کلان، پمپاژ ضرایب هیدرودینامیکی را بر حسب جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان بدست آورد. به طور کلی نوآوری این مقاله در کاربرد روش می‌باشد.

همان‌طور که ذکر شد امروزه در سطح بین‌المللی مطالعات لایه‌بندی به منظور شناخت هرچه بیشتر خصوصیات آبخوان‌ها در حال انجام است. بدین منظور محققان با کمک نرم‌افزارهای مختلف سعی

مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار GMS

GMS یا سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی، محیطی جامع و گرافیکی برای شبیه‌سازی آب زیرزمینی است که توسط Environmental Modeling Research Laboratory از دانشگاه Brigham Young تولید شده است. برای کاربری آسان‌تر نرم‌افزار MODFLOW معمولاً از واسط گرافیکی GMS تهیه شده توسط شرکت AQUAVEO استفاده می‌شود. در GMS انواع مختلف مدل‌ها پشتیبانی می‌گردد و تسهیلات زیادی برای به اشتراک گذاشتن اطلاعات بین مدل‌های گوناگون و انواع داده‌ها در آن فراهم شده است. مدل‌های استراتیگرافی و استوکاستیک^۷ از انواع این مدل‌ها می‌باشند که برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی در نرم‌افزار GMS مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش و ابزار مورد استفاده برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی آبخوان شامل روش Horizen و ابزار T-Progs می‌باشد که در بخش‌های زیر توضیح داده شده است.

• مدل‌سازی سه‌بعدی استراتیگرافی در نرم‌افزار GMS با استفاده از روش Horizen

در این روش با استفاده از اطلاعات لاگ^۸ چاه‌ها، مدل‌های چینه‌شناسی^۹ تهیه می‌شوند. ماژول‌های مورد استفاده برای ساختن مدل‌های سه‌بعدی چینه‌شناسی شامل ماژول Borehole و ماژول Solid می‌باشد. ماژول Borehole توانایی تصویرسازی لاگ چاه‌ها و همچنین تهیه سه‌بعدی مقاطع عرضی بین لاگ چاه‌ها را دارد. توسط این ماژول مجموعه‌ای از مقاطع عرضی ساخته شده در

مدل‌سازی سه‌بعدی زمین‌شناسی آبخوان در نرم‌افزار Rockworks

شرکت Rockware در سال ۱۹۸۳ توسط زمین‌شناسان علاقه‌مند به ایجاد برنامه‌های کاربردی نرم‌افزارهای مقرون به صرفه برای رایانه‌های شخصی تأسیس شد. این شرکت نرم‌افزار RockWorks را که به عنوان یکی از قدرتمندترین مجموعه نرم‌افزاری برای تصویرسازی و تحلیل‌های زمین‌شناسی و معدنی می‌باشد، در سال ۱۹۸۴ منتشر کرد (محبوبه‌نیه، ۱۳۸۶). مدیریت گمانه‌های اکتشافی، نقشه‌برداری عمومی و نقشه چاه‌ها، مطالعات رسوبات، آمار، هیدرولوژی، هیدروشیمیایی و ... از توانمندی‌های این

کرده‌اند تا مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی را با دقت بالا برآورد کنند. از جمله مدل‌هایی که دارای محیط جامع و گرافیکی بالا بوده، مدل GMS و Rockworks می‌باشد که به طور مکرر به ویژه در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو در بخش‌های زیر این مدل‌ها به طور خلاصه توضیح داده شده‌اند.

فضای سه‌بعدی نمایش داده می‌شود تا بتواند چینه‌شناسی خاک یک منطقه را به خوبی تصویرسازی کند. به طور کلی تهیه مقاطع عرضی در این نرم‌افزار به دو صورت اتوماتیک و دستی صورت می‌پذیرد. آسان‌ترین روش، روش اتوماتیک است که نرم‌افزار به صورت اتوماتیک مقطع عرضی بین دو لاگ چاه را بدست می‌آورد. زمانی که دو لاگ از لحاظ اطلاعات رسوبات شباهتی با هم نداشته باشند روش دستی برای تهیه مقاطع عرضی مناسب می‌باشد. بعد از تهیه مقاطع عرضی با استفاده از ماژول Borehole، مدل solid با استفاده از روش Horizen تخمین زده می‌شود. Horizen محل اتصال رسوبات در لاگ چاه‌ها می‌باشند. در صورتی که پیچیدگی شدیدی در میان رسوبات آبرفتی موجود باشد، روش Horizen پیشنهاد داده نمی‌شود (Carle، ۱۹۹۹).

• مدل‌سازی سه‌بعدی استوکاستیک در نرم‌افزار GMS با استفاده از ابزار T-Progs

T-Progs مخفف عبارت Transition Probability Geostatistical Software می‌باشد که مجموعه‌ای از برنامه‌های کامپیوتری FORTRAN بوده و ابزاری برای تحلیل زمین‌شناسی آماری است. هدف این ابزار توسعه مدل‌های سیستم‌های زمین‌شناسی ناهمگون و همچنین شبیه‌سازی استوکاستیک یا درهمی از توزیع فضایی متغیرهای قطعی نظیر واحدهای زمین‌شناسی و رخساره‌ها می‌باشد. این ابزار برای تحلیل از زنجیره Markov استفاده می‌کند که مدل تصادفی ساده ولی بسیار قوی از نظر ریاضی و تفسیری می‌باشد. برای مناطقی که پیچیدگی شدید رسوبات آبرفتی دارند، استفاده از این روش پیشنهاد داده می‌شود (Carle، ۱۹۹۹).

نرم‌افزار است. با استفاده از این نرم‌افزار به راحتی می‌توان اطلاعات تحت‌الارضی و سطح‌الارضی شامل سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، برداشت‌های ژئوفیزیکی، آنالیزهای شیمیایی و غیره را به صورت دوبعدی و سه‌بعدی طراحی کرده و نتایج حاصله را به دیگر نرم‌افزارها انتقال داد. نرم‌افزار Rockworks از مجموعه بخش‌هایی شامل نرم‌افزار Strip Log برای ترسیم توالی سنگ‌شناسی، نرم‌افزار Cross Section جهت تطابق ستون چینه‌ای، نرم‌افزار Fence Diagram برای تهیه نمودار نرده‌ای، نرم‌افزار 3D-Modeling برای مدل‌سازی سه‌بعدی تغییرات یک متغیر و نرم‌افزار Stratigraphic Block Model/Diagram جهت تولید نمودار چینه‌ای سه‌بعدی

و نرم افزار Lithology Block Model/Diagram جهت تولید نمودارهای لیتولوژی تشکیل شده است. همچنین در حوزه مطالعات آب زیرزمینی نرم افزارهای Hydrogeology شامل نرم افزار Draw-down/1Well جهت تعیین میزان افت در یک چاه می باشد که براساس تئوری Theis کار می کند، برنامه های هیدروشیمی، برنامه های آماری (Statistics Software)، برنامه های رسم هیستوگرام و برنامه های گوناگون جهت تبدیل مختصات داده ها در این نرم افزار گنجانده شده است. این نرم افزار به طور کلی از دو بخش عمده Borehole Manager و The RockwareUtilitise تشکیل شده است. در Borehole Manager اطلاعات زمین شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمی و ژئوتکنیک مربوط به گمانه ها یا چاه های اکتشافی را آنالیز و به صورت نمودار ظاهر می کند و در بخش The RockwareUtilitise داده ها در صفحه گسترده ی data sheet وارد می شود و مورد تحلیل قرار می گیرد. با توجه به اینکه این نرم افزار قابلیت نمایش گرافیکی بالایی به ویژه در تهیه مدل های سه بعدی استراتیگرافی و لیتولوژی دارد به طور متمادی در سال های اخیر مورد استفاده محققین قرار گرفته است (محبوبه نیه، ۱۳۸۶). این مدل ها به طور خلاصه در زیر شرح داده شده است.

• مدل سازی سه بعدی استراتیگرافی

الگوریتم های به کار برده شده در این نرم افزار ستون های چینه شناسی را به صورت پیوسته ای میان یابی می کنند تا مدل های سه بعدی چینه شناسی را به وجود بیاورند. این الگوریتم ها شامل الگوریتم کریجینگ^{۱۱}، واریانس معکوس، نزدیکترین نقطه و ... می باشد. به طور کلی ابزارهای متعددی به منظور ساخته شدن مدل استراتیگرافی صحیح در این نرم افزار گنجانده شده است. برای مثال می توان ابزارهای مخفی کردن لایه های خیلی نازک با تعریف ضریب فیلتر کردن در مدل استراتیگرافی را نام برد.

• تکنیک مدل سازی سه بعدی لیتولوژی^{۱۲}

مدل های سه بعدی لیتولوژی به عنوان نماینده سه بعدی زیرسطحی می باشند که قادرند نمایش روابط فضایی رسوبات آبرفتی بین لاگ ها و وجود عدسی ها را نشان بدهند. علاوه بر آن، این مدل ها پیچیدگی سیستم رسوب را که کنترل کننده جریان آب زیرزمینی و انتقال آلودگی هستند، نمایش می دهند. میان یابی بین لاگ های موجود، پرکننده فواصل تعریف نشده بین آن ها می باشد و افزایش این لاگ ها در سطح آبخوان بر صحت این مدل ها می افزایند. نتایج مدل های سه بعدی نماینده واقعی سیستم آبخوان در مدل جریان آب زیرزمینی سه بعدی می باشد (Ahmed, ۲۰۰۹). بنابراین شناخت کافی از رسوبات سیستم آبخوان در برآورد مناسبی از ضرایب هیدرودینامیکی کمک خواهد کرد. مدل سازی لیتولوژی تمایل دارد تا پیچیدگی چهارچوب آب لایه شناسی منطقه مورد

مطالعه و تغییرات ضخامت و روند آن و همچنین ناهمگنی سیستم آبخوان را نشان دهد. تکنیک مدل سازی سه بعدی لیتولوژی آبخوان کمک شایانی به شناسایی خصوصیات آبخوان و تخمین جریان آب زیرزمینی با دقت بالا می کند. این تکنیک بر اساس مفهوم (Solid Modeling) در بسته نرم افزاری Rockworks استفاده شده است، به طوری که فرآیند گریدبندی سه بعدی صحیحی را مورد استفاده قرار می دهد (Ahmed, ۲۰۰۹). مدل های solid مدل های سه بعدی هستند که در نرم افزار Rockworks از مجموعه داده های Z(Easting), Y(Northing), X(Elevation) و G که یک مقدار قابل اندازه گیری (نوع رسوبات و یا غیره) می باشد، ساخته می شوند (محبوبه نیه، ۱۳۸۶). از این رو می توان گفت مدل های رسوبات آبرفتی مدل های سه بعدی solid هستند و زمانی که منطقه ای پراکندگی شدید رسوبات آبرفتی را دارد، از این نوع مدل سازی استفاده می شود. در نرم افزار Rockworks16، از روش Lateral Blending horizontally برای میان یابی داده های رسوبات لاگ چاه ها استفاده می شود. این روش مقدار گره هر Voxel (سلول) را بر اساس میان یابی تصادفی از یک سوم منطقه مورد مطالعه که به صورت شعاعی در اطراف گره در نظر می گیرد، محاسبه می کند.

- تهیه مدل سازی لیتولوژی:

مراحل تهیه مدل های سه بعدی لیتولوژی شامل ۱- جمع آوری اطلاعات موجود نظیر مطالعات زمین شناسی و لاگ چاه های بهره برداری، مشاهده ای و اکتشافی، مطالعات ژئوفیزیک و مقاطع هیدروژئولوژی تهیه شده از مطالعات ژئوفیزیک و استفاده از نظرات کارشناسی حفاران خبره ۲- تهیه برش های عرضی ۳- تهیه مدل لیتولوژی می باشد (Wang, ۲۰۱۲ و Ahmed, ۲۰۰۹) که در بخش های زیر توضیح داده شده است.

- تهیه برش های عرضی:

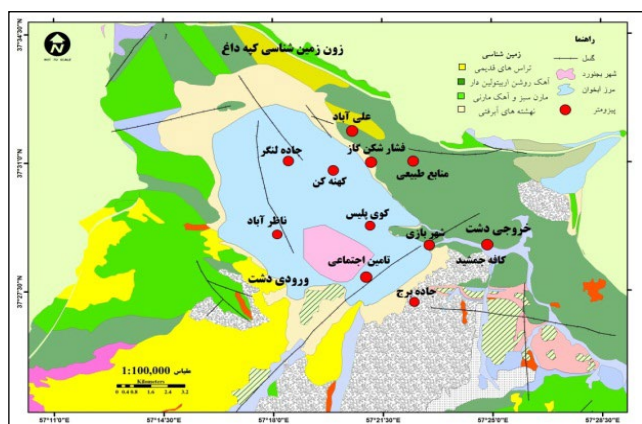
به منظور بررسی و قضاوت مهندسی ساده تر برش های آبرفتی متفاوتی در طول آبخوان با استفاده از نرم افزار Rockworks مدل می شود تا دید مناسب تری از نحوه لایه بندی آبخوان بدست آید که در نهایت منجر به تخمین دقیق تر مدل سه بعدی رسوبی شود. این بسته نرم افزاری به علت کاربر دوست بودن، توانایی های زیاد آن در مدیریت داده های لاگ چاه و همچنین توانایی در تهیه روش های متعدد در ساختن مدل های رسوبی مورد استفاده قرار می گیرد (Ahmed, ۲۰۰۹). نرم افزار Rockworks، از روش Lateral Blending Horizontally برای میان یابی داده های رسوبات لاگ چاه ها استفاده می کند. این روش مقدار هر گره را بر اساس میان یابی تصادفی از یک سوم منطقه مورد مطالعه که به صورت شعاعی در اطراف گره در نظر می گیرد، محاسبه می کند (Rockware, ۲۰۱۶). همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، بعد از تهیه مقاطع عرضی در آبخوان با استفاده از تکنیک مدل سازی لیتولوژی مدل سه بعدی لیتولوژی برآورد می شود.

خراسان شمالی زمینه ایجاد مدل‌های لیتولوژی می‌شود که کمک به توسعه مدل‌های سه‌بعدی موجود می‌کند که بر اساس واحدهای سلولی (Voxel) بوده و از داده‌های لاگ چاه‌های موجود در منطقه استفاده می‌کند. به منظور چگونگی تهیه این مدل‌ها و همچنین کاربرد امروزی این مدل‌ها در مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی نحوه تهیه مدل لیتولوژی آبخوان بنجورد با استفاده تکنیک مدل‌سازی لیتولوژی در بخش‌های زیر شرح داده می‌شود.

مدل‌های لیتولوژیک برای مدل‌سازی جریان آب بهتر از مدل‌های یک لایه و دولایه هستند. امروزه مدل‌های رسوبی تولید شده به منظور ساختن مدل Modflow و دوری از فرضیات چند لایه بودن آبخوان، ضخامت، توپوگرافی بالا و پایین لایه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ahmed, ۲۰۰۹). زمین‌شناسی پیچیده آبخوان‌های آبرفتی نظیر آبخوان بجنورد واقع در استان

- جمع آوری اطلاعات به منظور تهیه مدل لیتولوژی آبخوان بجنورد

به‌طور کلی بخش اعظم محدوده مطالعاتی بجنورد در زون زمین‌شناسی کپه داغ و تنها بخشی از ارتفاعات جنوبی این محدوده در زون بینالود قرار گرفته است. رخساره این واحدهای رسوبی متنوع می‌باشد. بخشی از ارتفاعات جنوبی محدوده مطالعاتی بجنورد (کوه آلاداغ) در زون زمین‌شناسی بینالود قرار دارد. شکل هندسی مخرن آب زیرزمینی به صورت یک ناودیس است که ۶۰ درصد آن را شهر بجنورد دربر می‌گیرد. پستی و بلندی‌ها یا گودی‌های این ناحیه که در این دوره تا اوایل دوران سوم به وجود آمده، توسط کنگلومرای^{۱۲} اوایل دوره ئئوژن^{۱۳} با ضخامت بسیار زیاد پر شده است و سنگ کف لایه‌های آبرفتی را تشکیل داده‌اند. با این وجود گسل‌ها و شکستگی‌ها این منطقه رابط‌های آبی خوبی بین ارتفاعات و آبرفت‌های دشت می‌باشند. آبخوان آبرفتی بجنورد از نهشته‌های کواترنری تشکیل شده است که این نهشته‌ها نیز شامل واحدهای آبرفتی Qt2 و Qal می‌باشد. واحد آبرفتی Qt2 شامل پادگانه‌ها و مخروطه‌افکنه‌های جوان و دشت‌های آبرفتی می‌باشد که بخش اصلی آبخوان را در خود جای داده است و واحد آبرفتی Qal هم شامل آبرفت‌های جوان بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها می‌باشد. شمال دشت بجنورد، ارکان، جنوب زندان و شمال باسگاه بلس‌راه ضخامت رسوبات



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت حوضه آبریز حنورد

از ۱۳ مقطع هیدروژئولوژی تهیه شده و از ۶۶ نقطه آزمایشات ژئوفیزیک در سطح دشت استفاده شده است که بر اساس آن چهار نوع لایه کلی در آبخوان بجنورد بیان شده است. لایه‌های ذکر شده شامل قشر سطحی که رسوبات خشک دانه‌ریز و یا دانه‌بندی متغییر را تشکیل می‌دهد، رسوبات آبرفتی که شامل رسوبات با دانه‌بندی متغییر است که پتانسیل بالایی را برای ذخیره آب دارند و لایه میانی که لایه نشنی نیمه تراوا بیان شده و تشکیلات سنگ کف مقاوم می‌باشد که از سنگ‌هایی با جنس کنگلومرای، ماسه سنگ، مارن و آهک‌های تیرگان است (مهندسین مشاور آنکاو شق، ۱۳۹۰).

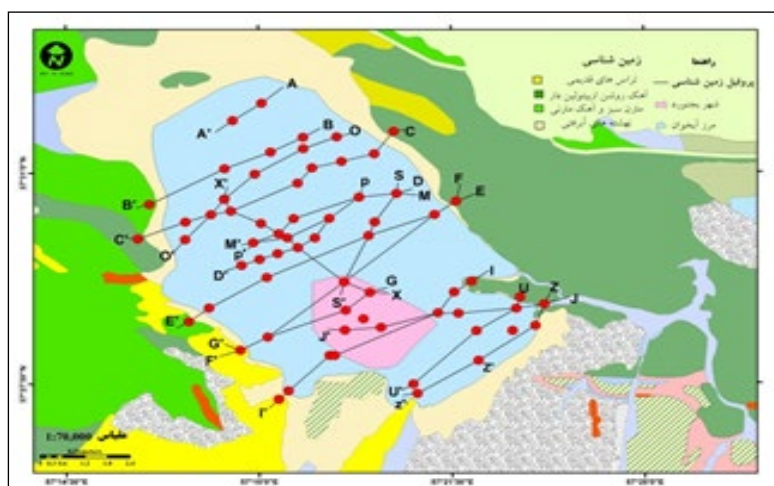
- ژئوفزیک آخوان جنورد

اکثر روش‌های ژئوفیزیکی، بیانگر توضیح ساختمان زمین و تعیین خصوصیت فیزیکی سنگ‌ها می‌باشد. با استفاده از روش‌های ژئوفیزیک سطحی می‌توان به بررسی اطلاعاتی نظیر عمق، ضخامت، گسترش عمودی آبخوان‌ها در تشکیلات رسوبی، ضخامت مناطق هوازده و شکسته‌شده، عمق سنگ‌کف، عمق سطح آب زیرزمینی، وضعیت ساختمانی، چینه‌شناسی زمین و پتانسیل آبخوان‌ها پرداخت. برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر باید نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوفیزیک با نتایج حاصل از چاه‌های اکتشافی و زمین‌شناسی تلفیق شود. در این مطالعه

• تهیه برش‌های عرضی آبخوان بجنورد

با بررسی مطالعات ژئوفیزیک و لاگ‌های حفاری موجود و نیز با توجه به گزارشات موجود در محدوده مورد مطالعه، آبخوان بجنورد چند لایه می‌باشد که در این شرایط دامنه تغییرات ضرایب هیدرودینامیکی در سطح گستره آن متناظر با جنس مصالح تشکیل‌دهنده آبخوان قابل ملاحظه می‌باشد (مهندسين مشاور هیدروتک توس، ۱۳۹۱). بنابراین با شناخت لایه‌بندی آبخوان تعبیر فیزیکی مناسبی از هندسه مخزن بدست خواهد آمد که هزینه مطالعات تکمیلی پیشنهاد شده را در بر نخواهد داشت و به تبع آن می‌توان ضرایب هیدرودینامیک را با دقت بالاتری تخمین زد. در این

پژوهش به منظور لایه‌بندی آبخوان از تمامی اطلاعات در دسترس که شامل مطالعات ژئوفیزیک، مطالعات زمین‌شناسی، ۵۶ لاگ چاه، میزان آبدهی چاه‌ها و تجربیات زمین‌شناسان خبره می‌باشد، استفاده شده است. بنابراین با تلفیق اطلاعات مذکور مقاطع متعددی در سطح آبخوان تهیه شده و مطابق با نوع رسوبات لاگ‌ها، سه نوع رسوب درشت‌دانه، متوسط‌دانه و ریزدانه به عنوان طبقه‌بندی بافت آبرفت منطقه در نظر گرفته شد. از این رو در ۱۵ مقطع متفاوت، برش‌های لیتولوژی با استفاده از نرم‌افزار Rockworks بدست آمد. شکل (۲) پراکندگی چاه‌های دارای لاگ و همچنین برش‌های عرضی لیتولوژی را در سطح آبخوان بجنورد نشان می‌دهد.

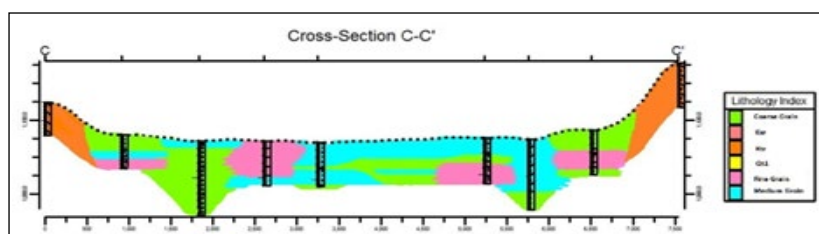


شکل ۲- پراکندگی چاه‌های دارای لاگ و برش‌های عرضی لیتولوژی در سطح آبخوان بجنورد

با توجه به این نکته که سطح آب زیرزمینی به طور کلی در سطح آبخوان بالا است، عمق اکثر چاه‌های حفر شده تقریباً کمتر از ۱۰۰ متر می‌باشد. بنابراین اطلاعات لاگ چاه‌ها به منظور مدل‌سازی در عمق هندسه آبخوان وارد نرم‌افزار شد و مقاطع لیتولوژی ترسیم شدند. تعداد ۱۰ چاه مجازی در اطراف دشت در سه نوع سازند نفوذناپذیر Ktr، Ksr و Qt1 که بافت‌های خاک نفوذناپذیر اطراف آبخوان هستند، به منظور نشان دادن هرچه بهتر برش‌های لیتولوژی در نظر گرفته شدند که به ترتیب شامل آهک روشن اربیتولین دار (Light Orbitolina Limestone)، مارن سبز و آهک مارنی و آهک اربوتولین دار (Green Marl، Marly Limestone and Orbitolina Limestone) و تراس‌های

قدیمی (Older terraces) می‌باشند. به طور مثال شکل (۳) نمونه‌ای از مقاطع عرضی زمین‌شناسی تهیه شده از آبخوان بجنورد را نشان می‌دهد.

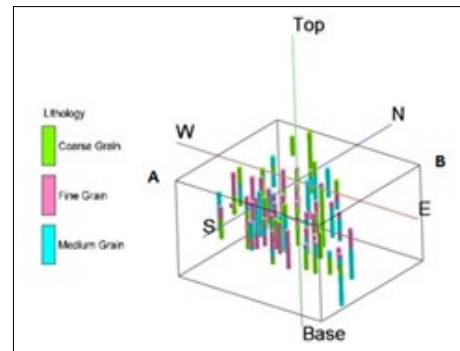
با توجه به این شکل و همچنین بقیه مقاطع به دست آمده، می‌توان گفت آبخوان بجنورد، آبخوانی آزاد است که به طور کلی عمق اولیه سطح خاک را رسوبات ریزدانه تشکیل داده که ضخامت آن در طول آبخوان متغیر است. در عمق‌های میانی بیشتر رسوبات متوسط‌دانه و درشت‌دانه دیده می‌شود که بیانگر پتانسیل بالای آبخوان برای ذخیره آب می‌باشد. همچنین ضخامت آبخوان از موقعیتی به موقعیت دیگر فرق می‌کند، نتایج به دست آمده در این تحقیق نیز گواه این مدعی است.



شکل ۳- مقطع زمین‌شناسی در جهت شمال شرقی- جنوب غربی دشت بجنورد

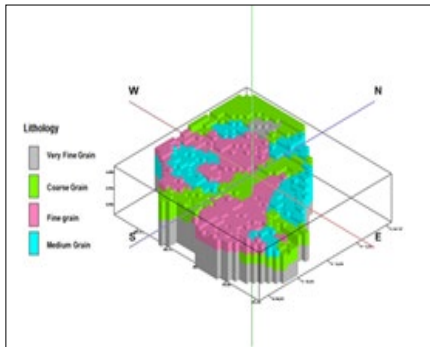
• مدل سازی لیتولوژی سیستم آبخوان بجنورد

بررسی رسوبات لاگ چاه‌ها نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از چهار نوع رسوب درشت‌دانه (Gravel یا Sand)، متوسط‌دانه (Sand یا Gravel)، ریزدانه (Silt یا clay) و خیلی‌ریزدانه (بافت کم‌نفوذپذیر کف آبخوان) تشکیل شده است. بافت کم‌نفوذپذیر کف آبخوان به منظور حل مشکل تهیه مدل رسوبی به عنوان بافت خیلی‌ریزدانه در انتهای لاگ چاه‌ها اضافه شد. رسوباتی که با گذر زمان در این منطقه انباشته شدند سبب پیچیدگی رسوب حوضه شده و سیستم آبخوان بجنورد را ناهمگن کرده است. شکل (۴) نمایی سه‌بعدی از قرار گرفتن بافت‌های خاک متفاوت در آبخوان بجنورد را نشان می‌دهد. نمایش سه‌بعدی لاگ چاه‌ها در شکل (۴) تغییرات شدید بافت خاک را نشان می‌دهد؛ بنابراین این آبخوان نیازمند لایه‌بندی رسوبی است.



شکل ۴- نمایش سه‌بعدی از لاگ‌های چاه در آبخوان بجنورد

در این پژوهش سعی شده است به منظور تدقیق مدل سه‌بعدی لیتولوژی در نرم‌افزار Rockwork از نقشه رقومی ارتفاعی ۹۰ متری SRTM-DEM که هم‌خوانی بیشتری با توپوگرافی سطح زمین دارد به عنوان مبنای تراز ارتفاعی زمین، مورد استفاده قرار گیرد (Izady و همکاران، ۲۰۱۴). دقت مدل رسوب $250 \text{ m}(X) \times 30 \text{ m}(Z) \times 250 \text{ m}(Y)$ بوده و نتایج گسسته‌سازی مدل در نرم‌افزار Rockworks شامل ۴۳ گره (Node) در محور X ، ۳۷ گره در محور Y و ۴ گره در محور Z می‌باشد. در نتیجه تعداد کل گره مدل solid، ۲۵۴۵۶ بوده است (با در نظر گرفتن این حقیقت که حجم هر سلول، ۱۸۷۵۰۰۰ متر مکعب است). در شکل (۵) برآیند مدل لیتولوژی به اندازه مرز آبخوان به دست آمده نشان داده شده است که ناهمگنی رسوبات در سرتاسر آبخوان را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۵- مدل سازی سه‌بعدی لیتولوژی سیستم آبخوان بجنورد

مدل سازی سه‌بعدی زمین‌شناسی در نرم‌افزار Rockworks16 صورت پذیرفت. نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که چهار طبقه‌بندی (درشت‌دانه، متوسط‌دانه و ریزدانه و خیلی ریزدانه) رسوبات سیستم آبخوان بجنورد، ترتیبی تکراری از چهار نوع رسوب را در مدل سازی ارائه داده است که دارای تغییرات فاصله‌ای معنی‌داری در محور عمودی است که عواملی نظیر ضخامت طبقات مختلف و همچنین ترازهای متفاوت در بالا و پایین هر لایه در رخداد آن‌ها تأثیرگذار است. همچنین با توجه به این که وجود ناهمگنی و عدسی‌ها در سیستم آبخوان سبب ایجاد تغییراتی در مقادیر هدایت هیدرولیکی رسوبات درشت‌دانه تا خیلی ریزدانه می‌شود، پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل لیتولوژی، مدل جریان آب زیرزمینی در نرم‌افزار GMS تهیه و ضرایب هیدرودینامیکی با توجه به جنس مصالح تشکیل دهنده آبخوان برآورد شود. همچنین تهیه مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی آبخوان با استفاده از ابزار T-Progs تهیه و سپس جریان آب زیرزمینی مدل سازی شود و با نتایج تخمین‌های ضرایب هیدرودینامیکی بدست آمده از مدل لیتولوژی مقایسه شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت ضرایب هیدرودینامیکی در شناسایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی، مطالعات متعددی در راستای شناخت لایه‌بندی آبخوان‌ها در حال انجام است. تهیه مدل‌های زمین‌شناسی آبخوان‌ها منجر به شناخت بیشتر آن‌ها می‌شود که خود تأثیر مهمی در برآورد خصوصیات آبخوان و رفتار آبخوان دارد. با توجه به معرفی روش‌های مختلف لایه‌بندی آبخوان‌ها می‌توان گفت در آبخوان‌های آبرفتی که تغییرات شدید رسوبات مشاهده می‌شود، تهیه مدل‌های استراتیگرافی مناسب نمی‌باشد و بهتر است برای لایه‌بندی آبخوان‌ها از تکنیک مدل سازی سه‌بعدی لیتولوژی یا ابزار T-Progs استفاده شود. با توجه به گستردگی استفاده از تکنیک مدل سازی لیتولوژی نرم‌افزار Rockworks در سال‌های اخیر، در این پژوهش نیز از این تکنیک به منظور لایه‌بندی آبخوان آبرفتی بجنورد استفاده شده است. از این رو تهیه مدل سه‌بعدی لیتولوژی آبخوان بجنورد با تلفیق مطالعات ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و لاگ چاه‌ها با استفاده از تکنیک

modeling of the Sohag area, Egypt. Hydrogeology Journal 17(5): 1189-1201.

Biswas A. Bhattacharya P. Mukherjee A M. Nath B. Alexander H. Kunda A.K. Chatterjee D. and Jacks G. 2014. Shallow hydrostratigraphy in an arsenic affected region of Bengal Basin: Implication for targeting safe aquifers for drinking water supply. Science of the Total Environment, 485-486.

Carle S. F. 1999. T-PROGS: Transition Probability Geostatistical Software, Hydrologic Sciences Graduate Group. University of California, Davis.

Cioco R.W. 2012. Hydrostratigraphy of the Shallow Aquifer in the Niles Cone Groundwater Basin. M.S dissertation. San Jose State University. USA.

Basic studies Department of Water Resources. 1386. Extension proposed of the ban on plain Bojnourd Report. Regional Water Company in North Khorasan.

Ahmed H A. Elasaed G. Nagaty M. and Eman A. 2015. Groundwater flow modeling in a Nubian sandstone aquifer, South Western Desert, Egypt. Journal of Scientific Research & Reports, 6(4):243-254. Izady A. Davary K. Alizadeh A. Ziaei A.N. Alipoor. Joodavi A. Brusseu M. 2014. A framework toward developing a groundwater conceptual model. Arab J Geosci, 7: 3611-3631.

Mahmoudpour M. Khamchiyan M. Nikudel M.R and Ghassemi M.R. 2013. Characterization of regional land subsidence induced by groundwater withdrawals in Tehran, Iran. jGeope 3: 49-62.

Rockware, 2016. Retrieved February 15, 2016, from http://help.rockware.com/rockworks17/WebHelp/solid_model_lithoblend.htm. 18.

Rockware glossary. 2006. Retrieved February 15, 2016, from: <http://help.rockware.com/rockworks17/Web-Help/glossary.htm>.

Wang Z. 2012. Characterization of the Stream-Aquifer Hydrologic Connection in the Elkhorn River Basin. Dissertations & Theses in Natural Resources. University of Nebraska-Lincoln.

Yousefi Rad M. 2012. Hydrostratigraphy of Haftad Gholle Karst, Markazi province, Iran, optimized by Fuzzy Logic. Geofísica Internacional, 51(4): 365-376.

- 1- Stratigraphy
- 2- Lithology
- 3- Aqutard
- 4- Tertiary
- 5- Ophiolite
- 6- Hawasina
- 7- Stochastic
- 8- Borehole
- 9- Stratigraphy
- 10- Kiriging
- 11- Lithology
- 12- Congolomarate
- 13- Neogene

منابع

- بانژاد، ح.، محب زاده، ح.، قبادی، م. و حیدری، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی عددی جریان و انتقال آلودگی در آب های زیرزمینی مطالعه موردی: آبخوان دشت نهاوند. نشریه دانش آب و خاک. ۲۳(۲): ۴۳-۵۷.
- شهسواری، ا. و خدائی، ک. ۱۳۸۴. تهیه مدل جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت بهبهان با استفاده از GIS. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- قبادیان، ر.، فتاحی، ع.، مجیدی، ص. و زارع، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی سفره آب زیرزمینی دشت میان دربند کرمانشاه با استفاده از مدل GIS. اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان.
- محبوبه‌نیه، م. ۱۳۸۶. راهنمای جامع و کاربردی نرم‌افزار Rockworks. کتاب آزاد. تهران.
- مهندسین مشاور آب‌کاو شرق. ۱۳۹۰. مطالعات ژئوفیزیک دشت بجنورد. شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی.
- مهندسین مشاور هیدروتک توس. ۱۳۹۱. گزارش مدل ریاضی آب زیرزمینی دشت بجنورد. شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی.
- Abdalla O., Izady A. and Kudoda A. 2015. Conceptual-based assessment of ophiolite hard-rock groundwater recharge in an arid Al-Buraimi region. Sultan Qaboos University Muscat, Oman.
- Ahmed A.A. 2009. Using lithologic modeling techniques for aquifer characterization and groundwater flow

Evaluation of the Vulnerability of the Jarmeh Aquifer using DRASTIC and SINTACS Methods

F. Radmanesh^{1*}, S. Sadri², A. shahbazi³

1- Assistant Professor & MSc. student of Water Resources Management, Department of Hydrology, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran. 3- Ph.D., Water Resources Management, Khuzestan Water and Power Authority, Ahvaz, Iran.

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

Received: 12-02-2017

Accepted: 01-08-2017

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت جارمه توسط روش های دراستیک و سینتکس

فریدون رادمنش^{۱*}، سمیرا صدری^۲، علی شهبازی^۳

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه هیدرولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۳- دکتری منابع آب، سازمان آب و برق خوزستان

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۱۰

Abstract

In recent years that we are faced with water shortage, the entrance of surface pollutants to the groundwater resources has become a serious problem in reducing the quality of groundwater resources. Therefore, identifying vulnerable areas and directing development programs in the areas which have not been vulnerable to pollution is the best way to provide sustainable development programs. In this study, aquifer vulnerability have been assessed using DRASTIC and SINTACS models at the Jarmeh plain, khozestan province. The principle of the DRASTIC model is based on hydrological and hydrogeological pollution transmission conditioning factors. Entering the parameters for both DRASTIC and SINTACS is the same, the main difference between them is that weighing and rating in the SINTACS method is more flexible. Groundwater vulnerability maps have been provided using overlaying of water depth, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of vadose zone, hydraulic conductivity, the results of the mdels and were validated using nitrate concentration map. Correlation between nitrate and groundwater vulnerability maps provided by DRASTIC and SINTACS was 0.36% and 0.48%, respectively. Sensitivity analysis was investigated to determine the most effective factors using map removal and single parameter methods. The results of both methods show that the unsaturated zone is the most important factor on groundwater vulnerability in the study area.

Keywords: Vulnerability, DRASTIC, SINTACS, Jarmeh plain.

چکیده

ورود آلاینده های سطحی به منابع آب زیرزمینی به خصوص در سال های اخیر که با بحران کمبود آب مواجه بوده ایم، از مشکلات جدی در کاهش کیفیت منابع آب زیرزمینی می باشد. بنابراین شناخت مناطق آسیب پذیر و جهت دهی برنامه های توسعه ای به سمت مناطقی که آسیب پذیری کمتری دارند، دستیابی به اهداف توسعه پایدار را امکان پذیر خواهد کرد. در این مطالعه آسیب پذیری آبخوان دشت جارمه در استان خوزستان با استفاده از مدل دراستیک^۱ و سینتکس^۲ مورد ارزیابی قرار گرفته است. اصول مدل دراستیک بر پایه پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مؤثر بر انتقال آلودگی است. پارامترهای مدل سینتکس مشابه مدل دراستیک می باشد، با این تفاوت که فرآیند وزن و رتبه دهی پارامترها در روش سینتکس انعطاف بیشتری دارد. پس از تهیه نقشه های آسیب پذیری توسط تلفیق پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، شیب، محیط غیراشباع و هدایت هیدرولیکی، نتایج مدل با استفاده از نقشه نیتрат صحت سنجی شدند. میزان همبستگی نقشه نیترات آب زیرزمینی با مدل دراستیک و سینتکس به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۵۸ درصد بود. با تحلیل حساسیت به دو روش حذف نقشه و تک پارامتری نیز میزان تأثیرگذاری هر کدام از پارامترها بررسی شد. نتایج حاصله از روش حذف نقشه و تک پارامتر در هر دو روش بیانگر آن است که پارامتر محیط غیراشباع مهمترین عامل تأثیرگذار بر آسیب پذیری آبخوان منطقه مورد مطالعه می باشد.

واژه های کلیدی: آسیب پذیری، دراستیک، سینتکس، دشت جارمه.

آب زیرزمینی از مهمترین منابع طبیعی در جهان می باشد که در شرایط کنونی، بخش قابل ملاحظه ای از نیازهای آب کشور ایران به خصوص در بخش شرب توسط این منابع آب تأمین می گردد. بنابراین، حفاظت کیفی آب های زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار است. در بسیاری از موارد آلودگی آب های زیرزمینی، بعد از آلوده شدن چاه های آب شرب شناسایی می شوند. رفع آلودگی آب زیرزمینی بسیار پرهزینه و فرآیندی طولانی است و اغلب زمانی آلودگی تشخیص داده می شود که رفع آلودگی آبخوان تقریباً غیر ممکن می گردد. یکی از راه های مناسب برای جلوگیری از آلودگی آب های زیرزمینی شناسایی مناطق آسیب پذیر آبخوان است (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹). تاکنون تعاریف زیادی درمورد آسیب پذیری آبخوان و مفهوم آن در هیدروژئولوژی ارائه شده است. از آن جمله می توان به تعریف کمیته ملی آمریکا در سال ۱۹۹۳ اشاره کرد (Stigter و همکاران، ۲۰۰۶). این کمیته آسیب پذیری آب های زیرزمینی نسبت به آلودگی را، تمایل یا احتمال رسیدن آلاینده ها به یک مکان مشخص در سیستم آب زیرزمینی، پس از به وجود آمدن آن ها در برخی محل ها در بالای سطح آبخوان می داند (Almasri، ۲۰۰۸). آسیب پذیری نوعی ویژگی نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه گیری است که پتانسیل آبخوان را برای نفوذ و پخش آلاینده ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی نشان می دهد (Babiker و همکاران، ۲۰۰۵) و به ویژگی های آبخوان، محیط زمین شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (Antonakos و همکاران، ۲۰۰۷). اصطلاح آسیب پذیری آبخوان از نظر مفهومی در هیدروژئولوژی به دو صورت آسیب پذیری ذاتی^۱ و آسیب پذیری ویژه^۲ تقسیم می شود (Gogu و همکاران، ۲۰۰۰). آسیب پذیری ذاتی به امکان آلودگی در یک منطقه بدون در نظر گرفتن آلاینده های خاص اشاره دارد (Almasri، ۲۰۰۸). به عبارتی این نوع آسیب پذیری به ویژگی های زمین شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی یک منطقه و فعالیت های بشری بستگی دارد و مستقل از ماهیت آلاینده ها است (Gogu و همکاران، ۲۰۰۰). آسیب پذیری ویژه نیز به آسیب پذیری آب های زیرزمینی نسبت به آلاینده های گروهی خاص از آلاینده ها اشاره دارد که به ویژگی های آلاینده ها و ارتباط آن با مولفه های مختلف آسیب پذیری ذاتی بستگی دارد (Stigter و همکاران، ۲۰۰۶). روش های مختلفی تاکنون برای ارزیابی آسیب پذیری سفره های آب زیرزمینی ارائه شده که می توان آن ها را به سه دسته کلی تقسیم کرد. این سه دسته عبارت است از رتبه دهی توصیفی، آماری و تحلیلی و روش ترکیبی (معروفی و همکاران، ۱۳۹۱). روش رتبه دهی توصیفی، آسیب پذیری ذاتی سفره را بر اساس درجه بندی بالا، متوسط و پایین طبقه بندی می کند و نتایج در جهت تصمیمات مدیریتی استفاده می شود. از مهمترین روش های رتبه دهی می توان به GOD (Foster، ۱۹۸۷)، Van stemproot) AVI و همکاران،

(۱۹۹۳)، درستیک (Aller و همکاران، ۱۹۸۷)، سینتکس (Civita، ۱۹۹۴)، IRISH (Daly و همکاران، ۱۹۹۹) و SI (Ribeiro، ۲۰۰۰) اشاره نمود. روش های رتبه دهی مناسب ترین روش ها برای ارزیابی آسیب پذیری آب زیرزمینی هستند. زیرا نسبتاً ارزان بوده، به طور مستقیم به هدف می رسند، داده های مورد استفاده آن در دسترس یا قابل تخمین می باشند و نتایج نهایی آن به آسانی قابل توصیف بوده و برای تصمیم گیری های مدیریتی مناسب هستند (Focazio و همکاران، ۲۰۰۲). از میان چندین روش موجود، روش های دراستیک و سینتکس برای ارزیابی پتانسیل آلودگی دشت جارمه انتخاب شدند. یکی از مزیت های اصلی مدل های دراستیک و سینتکس، انجام ارزیابی آسیب پذیری با استفاده از تعداد زیادی لایه های اطلاعاتی است. که تأثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم را بر روی خروجی نهایی محدود می کند (معروفی و همکاران، ۱۳۹۱). بعضی از محققین معتقدند که می توان با استفاده از تعداد کمتری پارامترهای ورودی، با هزینه کمتر و دقت بیشتر به نتیجه مطلوب دست یافت. در خصوص آسیب پذیری و آلودگی آب زیرزمینی با این دو مدل، تحقیقاتی انجام شده که از نقطه نظرهای مختلفی به بررسی موضوع پرداخته اند. در ادامه به چند مورد از این مطالعات اشاره می گردد. Pisciotta و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ارزیابی خطر بالقوه آلودگی نیترات در سفره ناشی از فعالیت های کشاورزی در منطقه نورا، شمال غربی ساردینا در ایتالیا از روش SINTACS استفاده کردند. نتایج نشان داد که بخش مرکزی دشت تحت خطر بالای آسیب پذیری است. آن ها برای صحت سنجی نتایج از داده های نیترات موجود در دشت استفاده کردند. این روش در مقایسه با روش آماری محبوب تر است. در واقع نسبتاً ارزان و ساده است و داده ها معمولاً در دسترس می باشد، آن ها همچنین به منظور ارزیابی آسیب پذیری ذاتی در برابر خطر آلودگی نیترات در آب های زیرزمینی و مقایسه اثرات زیست محیطی توسط کشاورزی بیش از حد در منطقه مدیترانه سیسیلی در ایتالیا از دو روش SINTACS و DRASTIC استفاده کردند. مقادیر غلظت نیترات بدست آمده با مقادیر SINTACS و DRASTIC به روش همبستگی پیرسون مقایسه کرد. نتایج گویای این است که SINTACS همبستگی بیشتری با مقادیر نیترات دارد و نسبت به ارزیابی ریسک حساسیت بالایی دارد و ارزیابی بهتری را فراهم می سازد. افروزی و همکاران (۱۳۹۲) جهت تهیه نقشه پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن و فرادنبه از روش دراستیک استفاده کردند. نقشه های پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان در این محدوده، از هم پوشانی لایه های مختلف دراستیک در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردیده است. نتایج نشان می دهد که آسیب پذیری در این محدوده به چهار دسته آسیب پذیری کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم می شود. در این تحقیق به منظور اصلاح مدل دراستیک، رتبه و وزن های پارامترهای دراستیک متناسب با میزان غلظت نیترات موجود در دشت اصلاح شده است. نتایج گویای دقت و صحت بیشتر روش دراستیک اصلاح

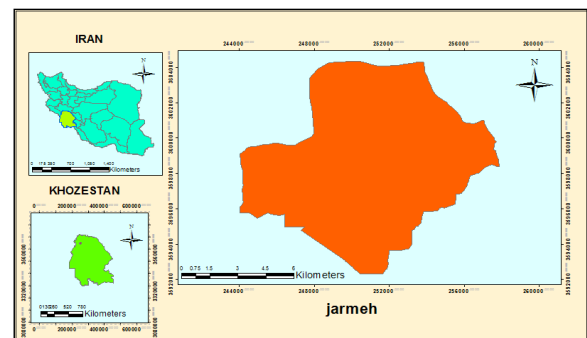
شده نسبت به روش دراستیک ساده می‌باشد. ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت نیترات و شاخص دراستیک ساده و اصلاح شده به ترتیب برابر ۴۷٪ و ۸۰٪ می‌باشد.

هدف از این مقاله بررسی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جارمه با استفاده از مدل‌های دراستیک و سینتکس در برابر آلودگی و وضعیت آبخوان دشت جارمه و کمک به تبیین سیاست‌های کاربردی و عملی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در شمال شهر اندیمشک در استان خوزستان می‌باشد. این حوضه جزئی از بخش مرکزی شهرستان اندیمشک است، که شهر اندیمشک نیز در آن واقع می‌باشد. حوضه مذکور از شمال و شمال شرق به محدوده دریاچه سد دز، از شرق به شهر دزفول و رود دز، از شمال غرب به راه آهن سراسری شمال- جنوب، از جنوب به شهر اندیمشک و از غرب و جنوب غرب به رود فصلی بالارود ختم می‌شود. منطقه مورد مطالعه دارای مختصات جغرافیائی ۱۷° ۴۸' ۱۶" تا ۵۵° ۴۸' ۲۹" طول شرقی و ۳۳° ۲۵' ۳۳" تا ۳۹° ۳۲' ۱۹" عرض شمالی می‌باشد. حوضه آبریز آن یکی از زیرحوضه‌های رود فصلی بالارود از سرشاخه‌های رود دز می‌باشد. این محدوده دارای مساحتی معادل ۳۱۴ کیلومتر مربع می‌باشد. بالاترین نقطه ارتفاعی آن ۸۲۵ متر بالاتر از سطح دریا، پایین‌ترین نقطه ارتفاعی ۱۳۰ متر و ارتفاع متوسط آن ۴۷۷ متر از سطح دریا می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، سازندهای آماجاری، لهری، بختیاری و رسوبات عهد حاضر شامل می‌شود. به علت حضور کنگلومرای بختیاری در این دشت و تخریب، فرسایش و حمل مواد این سازند در قسمت اعظم محدوده، آبرفت دشت مورد مطالعه، بیشتر شامل مواد دانه‌درشت و قله‌ای است (شرکت مهندسين مشاور بهکار آب اهواز، ۱۳۹۱).

مدل دراستیک

مدل دراستیک یک مدل رتبه‌بندی عددی است که اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالت متحده برای ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی ایالت متحده مطرح و بر اساس مفهوم و وضعیت هیدروژئولوژیکی استوار است. وضعیت هیدروژئولوژیکی در واقع بیانگر ترکیبی از همه فاکتورهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی است که حرکت آب‌های زیرزمینی را در یک منطقه کنترل می‌کند. این مدل از ترکیب هفت پارامتر هیدروژئولوژیک قابل اندازه‌گیری و مؤثر در انتقال آلودگی به آب‌های زیرزمینی که شامل عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص آبخوان، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، مواد تشکیل‌دهنده ناحیه غیراشباع و هدایت هیدرولیکی می‌باشد، تشکیل شده است. برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از عوامل هفت‌گانه استفاده شده در مدل، هر پارامتر نسبت به سایر عوامل ارزیابی می‌شود، به‌طوری که به هرکدام با توجه به اهمیت تأثیر در آلودگی سیستم آب زیرزمینی یک وزن از یک تا پنج تعلق می‌گیرد که نشان‌دهنده اثر نسبی هر پارامتر بر انتقال آلودگی در آب‌های زیرزمینی است؛ یعنی پنج مؤثرترین و یک کمترین اثر را دارد. هر یک از عوامل هیدروژئولوژیک تأثیرگذار در مدل دراستیک خود به بازه‌هایی تقسیم می‌شوند (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۲). در این روش شاخص آسیب‌پذیری از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه هفت پارامتر یاد شده، مطابق رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$Drasticindex = D_r D_w + R_p R_w + A_p A_w + S_p S_w + T_p T_w + I_p I_w + C_p C_w \quad (1)$$
 در این رابطه D عمق آب زیرزمینی، R تغذیه خالص، A محیط آبخوان، S محیط خاک، T شیب، I محیط غیراشباع، C هدایت هیدرولیکی، w وزن و r رتبه مربوط به هر کدام از پارامترهای مدل می‌باشد.

مدل سینتکس

این مدل توسط سیویتا و دمایو به منظور ارزیابی قابلیت آسیب‌پذیری آلودگی نسبی آب‌های زیرزمینی با استفاده از هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی به کارگرفته شد. این مدل از مدل دراستیک آمریکایی تکامل یافته است (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۶). با این تفاوت که فرایند رتبه‌دهی در روش سینتکس از انعطاف بیشتری برخوردار می‌باشد (باقرزاده و همکاران، ۱۳۸۹). مدل‌های پارامتری مانند سینتکس متعلق به گروه مدل‌های شمارشی هستند که در آن هر پارامتر علاوه بر اینکه به صورت منفرد رتبه‌بندی می‌شود، به منظور کاهش یا افزایش اهمیت پارامترها، هر پارامتر وزنی متفاوت داشته که در آن فرایند تجزیه و تحلیل لحاظ می‌شود. شاخص آسیب‌پذیری در این روش از مجموع حاصل ضرب وزن و رتبه‌های مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری طبق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد. که در آن SI شاخص آسیب‌پذیری سینتکس و P_i و W_i به ترتیب مرتبه و وزن هر کدام از پارامترها می‌باشد (Al kuisi, ۲۰۰۶).

$$SI = \sum_{i=1}^7 P_i \times W_i \quad (2)$$

• عمق تا سطح ایستابی:

فاصله بین سطح زمین و سطح آب زیرزمینی عمق برخورد را مشخص می‌کند و به عبارتی تعیین‌کننده ضخامت بخش غیر اشباع می‌باشد (Bartzas و همکاران، ۲۰۱۵). عمق سطح ایستابی به این دلیل که ضخامتی از مواد را در بر می‌گیرد که آب نفوذی قبل از رسیدن به سفره باید از آن عبور کند، دارای اهمیت زیادی در انتقال آلودگی‌های احتمالی است. عموماً با افزایش عمق آب، پتانسیل آلودگی سفره کاهش می‌یابد (Voudouris و همکاران، ۲۰۱۰). عمق آب به صورت فاصله (بر حسب متر) از سطح زمین تا سطح ایستابی تعریف می‌شود (wen و همکاران، ۲۰۰۹). هرچه عمق سطح ایستابی بیشتر باشد، زمان بیشتری طول می‌کشد تا این مواد به آبخوان برسد و امکان پخش شدن، رقیق شدن و جذب مواد آلاینده در خاک وجود خواهد داشت (ناصری و صارمی‌نژاد، ۱۳۹۰). به منظور تهیه لایه عمق تا سطح ایستابی از اطلاعات سطح آب در پیژومترها شامل نام پیژومترها، موقعیت پیژومترها بر حسب utm عمق سطح آب استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز برای تهیه این لایه برای یک دوره یک ساله از مهر ۹۰ تا شهریور ۹۱ جمع‌آوری شد. برای تهیه این لایه از موقعیت جغرافیایی تراز سطح ایستابی و ارتفاع ۱۴ پیژومتر واقع در دشت استفاده شد. ارتفاع هر پیژومتر از تراز سطح ایستابی آن تفریق و عمق سطح

ایستابی حاصل گردید. سپس از روش درون‌یابی کریجینگ داده‌های موجود و تهیه لایه‌های رستری مربوط به پارامترهای دراستیک استفاده گردیده است. بدین ترتیب نقشه عمق آب زیرزمینی جهت تلفیق با لایه‌های دیگر تهیه شد.

• تغذیه خالص:

تغذیه خالص، مقدار آبی است که از سطح زمین نفوذ می‌کند و خود را به سطح ایستابی می‌رساند. تغذیه آب زیرزمینی منجر می‌شود که مواد آلاینده به صورت عمودی به داخل آبخوان انتقال یابد و به صورت افقی در آبخوان حرکت کند. تغذیه در واقع عاملی برای نفوذ و انتقال آلاینده‌ها از منطقه غیر اشباع به منطقه اشباع می‌باشد. بنابراین با افزایش میزان تغذیه در یک منطقه، پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی آن منطقه افزایش خواهد یافت (ناصری و صارمی‌نژاد، ۱۳۹۰). برای بدست آوردن لایه تغذیه خالص، نقشه شیب و نقشه رتبه‌بندی نفوذپذیری خاک به همراه رتبه‌بندی بارندگی منطقه (که در منطقه مورد مطالعه برابر یک است)، همپوشانی شدند سپس لایه بدست آمده با استفاده از این روش با توجه به معیارهای جدول (۱) طبقه‌بندی شد. معادله پیسکوپو (Piscope، ۲۰۰۱) برای محاسبه تغذیه پتانسیل یک منطقه، به صورت رابطه (۳) می‌باشد (شکل ۸).

$$(۳) \quad \text{درصد شیب} + \text{میزان بارندگی} + \text{نفوذپذیری خاک} = \text{تغذیه خالص}$$

جدول ۱- نمرات تغذیه بر اساس روش پیسکوپو (Piscope، ۲۰۰۱)

میزان تغذیه	(ج) نفوذپذیری خاک		(ب) بارندگی		الف) شیب	
محدوده	فاکتور	محدوده	فاکتور	بارش (mm)	فاکتور	شیب %
۱۰-۱۱	۵	زیاد	۴	>۸۵۰	۴	<۲
۹-۱۱	۴	متوسط تا زیاد	۳	۸۵۰-۷۰۰	۳	۲-۱۰
۷-۹	۳	متوسط	۲	۵۰۰-۷۰۰	۲	۱۰-۳۳
۵-۷	۲	کم	۱	<۵۰۰	۱	>۳۳
۳-۵	۱	خیلی کم				

مختلف خاک در منطقه مورد مطالعه، لایه خاک منطقه استخراج و به صورت یک لایه رستری در محیط GIS انجام گرفته است.

• محیط آبخوان:

محیط آبخوان در واقع جنس مواد تشکیل‌دهنده آبخوان می‌باشد. این پارامتر به خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده منطقه اشباع نظیر تخلخل و اندازه ذرات بستگی دارد و نشان‌دهنده حرکت آلاینده‌ها در درون آبخوان می‌باشد (Brahim و همکاران، ۲۰۱۲). هر چه ذرات آبخوان درشت‌دانه‌تر باشد، فضای بیشتری وجود دارد که حرکت آب درون حفره‌ها راحت‌تر و سریع‌تر گردد. در نتیجه ذرات درشت‌دانه‌تر نفوذپذیری و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. به منظور تهیه لایه محیط آبخوان، از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری موجود در منطقه استفاده گردید.

• محیط خاک:

این بخش شامل قسمت بالایی منطقه غیر اشباع می‌باشد که تا حد نفوذ ریشه گیاهان یا فعالیت موجودات ارگانیکی ادامه دارد (ناصری و صارمی‌نژاد، ۱۳۹۰). خاک اولین سطحی است که آلودگی با آن در تماس است که بر روی میزان نفوذ و جذب آلودگی در طول لایه خاک نیز تاثیر دارد (شیوا و همکاران، ۱۳۹۰). پتانسیل آلودگی خاک بستگی به خصوصیات مانند بافت، نفوذپذیری و درصد مواد آلی خاک دارد (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲). وجود مواد با بافت ریز مانند سیلت و رس، درصد مواد آلی و ضخامت خاک بیشتر، تراوایی خاک را کاهش می‌دهد و برعکس مواد دانه‌درشت‌تر مانند شن، نفوذپذیری خاک و در نتیجه قابلیت انتقال آلاینده‌ها را به سیستم آب زیرزمینی افزایش می‌دهد (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۲). پس از شناسایی تیپ‌های

• منطقه غیراشباع:

منطقه غیراشباع شامل محدوده بین سطح ایستابی و محیط خاک-که غیراشباع است- می باشد. این محدوده اساساً غیراشباع می باشد و یا به صورت ناپیوسته اشباع می باشد و عبور آلاینده و رقیق شدن آن را کنترل می کند (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸). این بخش از خاک، در نفوذ آب باران و آب سطحی به درون آبخوان نقش اساسی ایفا می کند و مسیری است که آلاینده طی می کند تا به سطح آبخوان برسد. برای تهیه لایه محیط غیراشباع از لاگ چاه های مشاهده ای و بهره برداری موجود در دشت استفاده گردید. مراحل تهیه این لایه نیز همانند لایه محیط آبخوان می باشد.

• هدایت هیدرولیکی:

توانایی مواد تشکیل دهنده آبخوان در انتقال آب را هدایت هیدرولیکی گویند، که به درصد فضاهای خالی مرتبط به هم در لایه آبدار (تخلخل موثر) بستگی دارد (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۲). هدایت هیدرولیکی توسط میزان بهم پیوستگی فضاهای خالی درون آبخوان کنترل شده و ممکن است در نتیجه تخلخل بین دانه ای، شکستگی و یا صفحات لایه بندی باشد (Tilahun و همکاران، ۲۰۱۰). هر چه هدایت هیدرولیکی بیشتر باشد، امکان جریان یافتن آلاینده ها در آبخوان بیشتر خواهد بود و آسیب پذیرتر خواهد بود (احمدی و آبرومند، ۱۳۸۸). به منظور تهیه لایه هدایت هیدرولیکی ابتدا از داده های آزمایش پمپاژ که توسط سازمان آب و برق خوزستان انجام

شده، لایه ضریب قابلیت انتقال بدست می آید. سپس با تقسیم این لایه بر ضخامت اشباع آبخوان لایه هدایت هیدرولیکی بدست می آید.

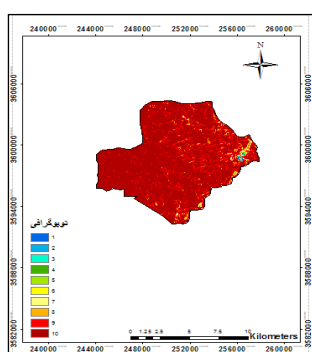
• توپوگرافی:

پارامتر توپوگرافی در مدل دراستیک در واقع شیب سطح زمین است. شیب سطح زمین بر حرکت و نفوذ مواد آلاینده تأثیر می گذارد. هر چقدر که میزان شیب کم باشد، مدت زمان تماس آلاینده با سطح زمین افزایش می یابد و به دنبال آن احتمال نفوذ آن به درون زمین نیز افزایش می یابد. در نتیجه با کاهش شیب سطح زمین، امکان آسیب پذیری آبخوان افزایش می یابد (فدایی نوبندگان، ۱۳۹۳). به منظور تهیه لایه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه تهیه گردید. سپس نقشه شیب از این مدل رقومی ارتفاعی استخراج گردید.

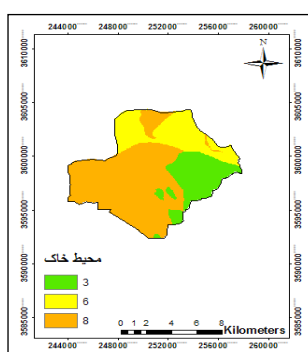
پارامترهای محیط آبخوان، محیط خاک، عمق آب زیرزمینی، منطقه غیراشباع، هدایت هیدرولیکی و توپوگرافی برای مدل دراستیک طبق جدول (۲) و برای مدل سینتکس طبق جدول (۳) رتبه بندی شدند. این پارامترها در اشکال (۲) تا (۶) ارائه شده است.

• نیترات:

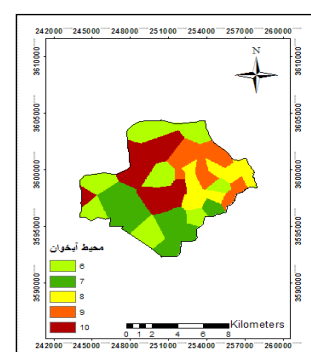
در این تحقیق از مقادیر نیترات ۳۶ حلقه چاه در منطقه در مرداد ۱۳۹۱، به منزله پارامتر کنترل کننده اصلی (آلاینده شاخص) استفاده شده است. در نهایت بر اساس ضریب همبستگی بیشتر هر شاخص با غلظت نیترات، مدل بهینه برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان مورد مطالعه معرفی شد (شکل ۷).



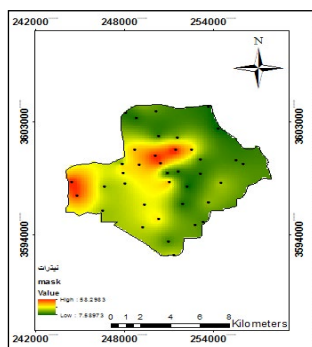
شکل ۴- نقشه توپوگرافی دشت جارمه



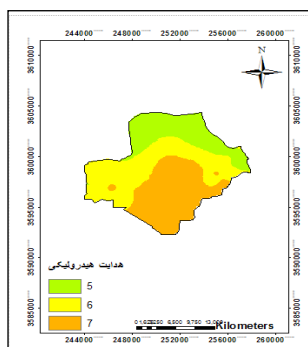
شکل ۳- نقشه محیط خاک دشت جارمه



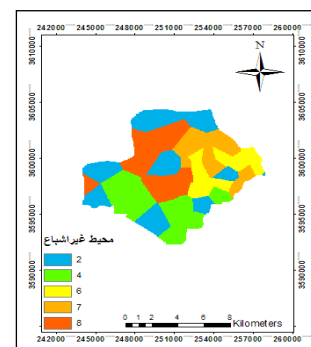
شکل ۲- نقشه محیط آبخوان دشت جارمه



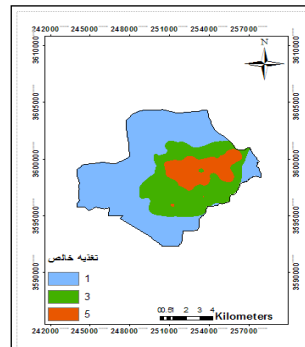
شکل ۷- نقشه درون یابی نیترات دشت جارمه



شکل ۶- نقشه هدایت هیدرولیکی دشت جارمه



شکل ۵- نقشه محیط غیراشباع دشت جارمه



شکل ۸- نقشه تغذیه خالص دشت جارمه

جدول ۲- رتبه‌دهی و وزن‌دهی به پارامترهای روش دراستیک (Aller و همکاران، ۱۹۸۷)

پارامتر	نمره	پارامتر	نمره
عمق تا سطح ایستابی	W=۵	محیط غیر اشباع	W=۵
۰-۱/۵	۱۰	لایه محصور کننده	۱
۱/۵-۴/۵	۹	سیلت/رس	۳
۴/۵-۹	۷	شیل	۳
۹-۱۵	۵	سنگ آهک	۶
۱۵-۲۳	۳	ماسه سنگ	۶
۲۳-۳۰	۲	سنگ آهک، ماسه سنگ و شیل لایه بندی شده	۶
>۳۰	۱		
تغذیه خالص	W=۴	ماسه و گراول با مقدار زیادی سیلت و رس	۶
۰-۵۰/۸	۱	دگرگونی/آذرین	۴
۵۰/۸-۱۰۱/۶	۳	ماسه و گراول	۸
۱۰۱/۶-۱۷۷/۸	۶	محیط خاک	W=۲
۱۷۷/۸-۲۵۴	۸	لایه خاک نازک و یا اصلاً وجود ندارد	۱۰
>۲۵۴	۹	گراول	۱۰
محیط آبخوان	W=۳	ماسه	۹
شیل توده‌ای	۲	کود گیاهی	۸
دگرگونی آذرین	۳	رس منقبض شده و یا متراکم	۷
دگرگونی هوازده/آذرین	۴	لوم ماسه‌ای	۶
تیل‌های یخچالی	۵	لوم	۵
ماسه سنگ نازک لایه، سنگ آهک و توالی شیل‌ها	۶	لوم سیلتی	۴
ماسه سنگ توده‌ای	۶	لوم رسی	۳
سنگ آهک توده‌ای	۶	کود	۲
ماسه و گراول	۸	رس منقبض نشده و یا غیر متراکم	۱
بازالت	۹	هدایت هیدرولیکی	W=۱
سنگ آهک کارستی	۱۰	توپوگرافی	۱۰
هدایت هیدرولیکی	W=۳	۰-۲	۱
۰/۰۵-۴	۱	۲-۶	۲
۴-۱۲/۲۲	۲	۶-۱۲	۴
۱۲/۲۲-۲۸/۵۱	۴	۱۲-۱۸	۶
۲۸/۵۱-۴۰/۷۴	۶	>۱۸	۸
۴۰/۷۴-۸۱/۴۸	۸		۱۰
>۸۱/۴۸	۱۰		

جدول ۳- رتبه‌دهی و وزن‌دهی به پارامترهای روش سینتکس (Napolitano، ۱۹۹۵)

پارامتر	نمره	پارامتر	نمره
عمق تا سطح ایستابی	W=۵	توپوگرافی	W=۱
۲-۰	۱۰	۰-۳	۱۰
۲-۳	۹	۳-۵	۹
۳-۵	۸	۵-۷	۸
۵-۷	۷	۷-۱۰/۵	۷
۷-۱۰	۶	۱۰/۵-۱۳/۵	۶
۱۰-۱۳	۵	۱۳/۵-۱۶/۵	۵
۱۳-۲۰	۴	۱۶/۵-۱۹/۵	۴
۲۰-۳۰	۳	۱۹/۵-۲۳	۳
۳۰-۵۶	۲	۲۳-۲۷/۵	۲
>۵۶	۱	>۲۷/۵	۱
تغذیه خالص	W=۴	محیط خاک	W=۲
<۲۰۰	۶	بدون پوشش یا لایه نازک	۱۰
۲۰۰-۳۰۰	۹	گراول	۱۰
۳۰۰-۴۰۰	۸	ماسه تمیز	۹
۴۰۰-۵۰۰	۵	ماسه	۸
۵۰۰-۷۰۰	۴	پیت	۸
>۷۰۰	۳	رس ماسه‌ای	۷
محیط آبخوان	W=۳	لوم ماسه‌ای	۶
رسوبات آبرفتی درشت دانه	۸-۹	لوم سیلتی ماسه‌ای	۵
سنگ آهکی کارستی	۹-۱۰	لوم	۴-۵
سنگ آهک شکسته شده	۶-۹	لوم سیلتی	۴
دولومیت شکسته شده	۴-۷	لوم رس سیلتی	۳-۴
رسوبات آبرفتی ریزدانه	۶-۸	لوم رسی	۲-۳
ماسه	۷-۹	رس سیلتی	۲
ماسه، کنگلومرا	۴-۹	هوموس	۲
سنگ آذرین شکسته شده	۲-۴	رس	۱
فلش	۵-۸	محیط غیر اشباع	W=۵
سنگ آتشفشانی شکسته شده	۸-۱۰	رسوبات آبرفتی درشت دانه	۶-۹
مارن، رس	۱-۳	سنگ آهکی کارستی	۹-۱۰
رسوبات morenic درشت دانه	۶-۸	سنگ آهک شکسته شده	۴-۹
رسوبات morenic ریزدانه	۶-۴	دولومیت شکسته شده	۲-۵
رس، سیلت، پیلت	۱-۳	رسوبات آبرفتی ریزدانه	۳-۶
رسوبات آذرآواری	۴-۸	ماسه	۴-۷
سنگ‌های دگرگونی شکسته شده	۲-۵	ماسه، کنگلومرا	۵-۸
هدایت هیدرولیکی	W=۳	سنگ آذرین شکسته شده	۳-۵
>۵×۱۰-۲	۱۰	فلش	۲-۵
۱×۱۰-۴-۵×۱۰-۴	۹	سنگ آتشفشانی شکسته شده	۵-۱۰
۵×۱۰-۴-۱×۱۰-۳	۸	مارن، رس	۱-۲
۱×۱۰-۴-۵×۱۰-۴	۷	رسوبات morenic درشت دانه	۴-۶
۵×۱۰-۵-۱×۱۰-۴	۶	رسوبات morenic ریزدانه	۲-۴
۱×۱۰-۵-۵×۱۰-۵	۵	رس، سیلت، پیلت	۱-۲
۴×۱۰-۶-۱×۱۰-۵	۴	رسوبات آذرآواری	۲-۵
۸×۱۰-۷-۴×۱۰-۶	۳	سنگ دگرگونی شکسته شده	۲-۶
۱×۱۰-۷-۸×۱۰-۷	۲		
<۱×۱۰-۷	۱		

• تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت یکی از مولفه‌های اصلی پروژه مدل‌سازی محسوب می‌شود؛ زیرا امکان ارزیابی صحت نتیجه را فراهم می‌آورد (Hasiniaina و همکاران، ۲۰۱۰). در این مرحله، پارامترهای ورودی مدل تغییر داده شده و عکس‌العمل سیستم نسبت به این تغییرات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت میزان حساسیت هر پارامتر مشخص می‌شود. از این رو به منظور تحلیل حساسیت آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه از دو نوع حساسیت استفاده گردید:

تحلیل حساسیت حذف نقشه:

این نوع تحلیل حساسیت توسط Lodwick و همکاران (۱۹۹۰) معرفی شد. در این روش تغییرات شاخص آسیب‌پذیری به وسیله حذف یک یا چند لایه اطلاعاتی و به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه S میزان حساسیت، V و V' به ترتیب

شاخص‌های آسیب‌پذیری تغییر نیافته و تغییر یافته، N و n به ترتیب تعداد لایه‌های مورد استفاده برای محاسبه V و V' می‌باشد. شاخص آسیب‌پذیری تغییر نیافته در حقیقت با استفاده از هر هفت پارامتر و شاخص آسیب‌پذیری تغییر یافته با تعداد کمتری از پارامترها محاسبه می‌شود (Rahman، ۲۰۰۸).

$$S = (|V/N - V'/n|) \times 100 \quad (۳)$$

تحلیل حساسیت تک پارامتر:

در این روش وزن واقعی یا موثر هر پارامتر با استفاده از رابطه زیر بدست آمده و با وزن نظری مقایسه می‌شود، که در این رابطه W، وزن موثر هر یک از پارامترها، P_r و P_w نیز به ترتیب وزن و نرخ مربوط به آن پارامتر و V نیز شاخص آسیب‌پذیری کل در آن ناحیه است (Rahman، ۲۰۰۸).

$$W = (P_r P_w / V) \times 100 \quad (۴)$$

یکدیگر منطبق نیستند. همچنین، نتایج این تحلیل نشان می‌دهند که پس از پارامتر ناحیه غیراشباع، پارامترهای محیط آبخوان و محیط خاک و توپوگرافی نسبت به وزن تئوریک آن‌ها در مدل دراستیک وزن موثر بیشتری دارند، این درحالی است که پارامترهای عمق آب زیرزمینی، تغذیه خالص و هدایت هیدرولیکی وزن موثر کمتری نسبت به وزن تئوریک نشان می‌دهند. همچنین، نتایج آماری حاصل از تحلیل حساسیت تک پارامتری مدل سینتکس در جدول (۷) نشان می‌دهند که مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر روی شاخص آسیب‌پذیری ذاتی، پارامتر ناحیه غیراشباع است که با میانگین وزن موثر ۲۵/۶۵ درصد، بیشترین میانگین وزن موثر را در بین پارامترهای مدل داراست. همچنین مقایسه وزن موثر هر پارامتر با وزن تئوریک اختصاص داده شده به آن در آبخوان دشت مورد مطالعه، نشان می‌دهد که وزن‌های موثر و تئوریک پارامترهای مدل سینتکس کاملاً بر هم منطبق نیستند. طبقه‌بندی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک و سینتکس در منطقه مورد مطالعه در جدول (۸) آمده است.

جدول ۴- آنالیز حساسیت حذف نقشه در مدل دراستیک

پارامتر حذف‌شده	شاخص تغییرپذیری (S)				حساسیت (S)
	کمینه	بیشینه	میلگین	انحراف معیار	
D	۵۶	۱۱۵	۸۷/۵۸	۱۰/۷۱	۰/۹۹
R	۵۶	۱۰۵	۸۴/۳۵	۱۱/۶۹	۰/۴۳
A	۳۷	۹۶	۷۱/۱۸	۱۱/۴۵	۱/۸۶
S	۵۳	۱۰۵	۸۰/۶۵	۸/۲۶	۰/۲۱
T	۵۷	۱۱۰	۸۳	۱۰/۵۹	۰/۱۹
I	۴۵	۸۹	۶۱/۷۱	۶/۵۳	۳/۵۱
C	۵۵	۱۱۷	۸۷	۱۱/۰۸	۰/۸۹

نتایج و بحث

با تلفیق نقشه معیار به کار رفته در مدل‌های دراستیک و سینتکس در محیط GIS به روش هم‌پوشانی شاخص، شاخص‌های نهایی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان مورد مطالعه، به هر دو روش محاسبه شد. بر این اساس، شاخص نهایی آسیب‌پذیری ذاتی، به ترتیب برای روش دراستیک بین ۶۱ تا ۱۳۰ و برای روش سینتکس بین ۶۵ تا ۱۴۵ قرار گرفت. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت حذف نقشه در مدل دراستیک طبق جدول (۴) نشان می‌دهد که مؤثرترین پارامتر بر روی شاخص آسیب‌پذیری دراستیک محیط غیراشباع با ضریب حساسیت ۳/۵۱ است که دارای بالاترین ضریب حساسیت می‌باشد و پس از آن بیشترین تأثیر را به ترتیب پارامترهای محیط آبخوان، عمق سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی، تغذیه خالص، محیط خاک و شیب دارا هستند. در این میان پارامتر شیب با ضریب حساسیت ۰/۱۹ کمترین حساسیت را داراست. همچنین نتایج آماری حاصل از تحلیل حساسیت به روش حذف نقشه در مدل سینتکس طبق جدول (۵) نشان می‌دهد که مهمترین پارامتر تأثیرگذار بر روی شاخص آسیب‌پذیری سینتکس پارامتر محیط غیراشباع است که با ضریب حساسیت ۸/۱۵ دارای بالاترین ضریب حساسیت می‌باشد و پس از آن بیشترین تأثیر را به ترتیب پارامترهای عمق سطح ایستابی، محیط آبخوان، محیط خاک، تغذیه خالص، شیب و هدایت هیدرولیکی دارا هستند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تک پارامتری مدل دراستیک طبق جدول (۶) نشان می‌دهد که مؤثرترین پارامتر در ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان مورد مطالعه، پارامتر (غیراشباع) با میانگین وزن موثر ۳۲/۳۰ درصد است. مقایسه وزن موثر هر پارامتر با وزن تئوریک آن در آبخوان مورد مطالعه نشان می‌دهد که وزن‌های موثر و تئوریک پارامترهای مدل کاملاً بر

جدول ۵- آنالیز حساسیت حذف نقشه در مدل سینتکس

پارامتر حذف شده	شاخص تغییرپذیری (%S)				وزن	تئوریک	حساسیت
	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار			
S	۶۰	۱۴۰	۱۲۲/۶۶	۱۴/۶۸	۵/۱۸		
I	۵۳	۱۱۳	۱۰۱/۳	۷/۶۵	۱/۷۹		
N	۱۰۷	۱۸۵	۱۴۱/۳۸	۱۴/۹۲	۸/۱۵		
T	۵۹	۱۲۷	۱۱۱/۴۶	۱۲/۵۵	۳/۴		
A	۵۷	۱۳۹	۱۲۰/۴۹	۱۵/۱۶	۴/۸۳		
C	۴۰	۱۱۵	۹۷/۰۹	۱۵	۱/۱۲		
S	۶۲	۱۱۵	۹۸/۳۱	۱۴/۱۸	۱/۳۱		

جدول ۷- آنالیز حساسیت تک پارامتری در مدل سینتکس

پارامتر	وزن	تئوریک	وزن	وزن موثر			انحراف معیار
				میانگین	کمینه	بیشینه	
S	۵	۲۱/۷۳	۴/۷۶	۴/۷۶	۴/۷۶	۴/۷۶	۰
I	۴	۱۷/۳۹	۷/۸۴	۲/۵	۲/۵	۴/۵	۰/۸
N	۳	۱۳/۰۴	۲۵/۶۵	۷/۸	۷/۸	۳۱/۵	۹/۵
T	۲	۸/۶۹	۱۲/۵۳	۳/۲	۳/۲	۸/۶	۲/۷
A	۱	۴/۳۴	۲۰/۳۶	۳	۳	۲۱/۵	۳/۵
C	۵	۲۱/۷۳	۱۷/۴۶	۱۳	۱۳	۱۸/۲	۲/۶
S	۳	۱۳/۰۴	۹/۳۲	۰/۸	۰/۸	۸/۵	۲/۶

جدول ۶- آنالیز حساسیت تک پارامتری در مدل دراستیک

پارامتر	وزن	تئوریک	وزن	وزن موثر			انحراف معیار
				میانگین	کمینه	بیشینه	
D	۵	۲۱/۷۳	۵/۲۳	۵/۲۳	۵/۲۳	۵/۲۳	۰
R	۴	۱۷/۳۹	۸/۶۱	۳/۸	۳/۸	۱۹	۷/۶
A	۳	۱۳/۰۴	۲۲/۴۳	۱۷/۱	۱۷/۱	۲۸/۵	۴/۵
S	۲	۸/۶۹	۱۲/۴۹	۵/۷	۵/۷	۱۷/۱	۵/۷
T	۱	۴/۳۴	۹/۹۸	۱	۱	۹	۳/۵
I	۵	۲۱/۷۳	۳۲/۳۰	۱۶/۸	۱۶/۸	۵۰/۵	۱۲/۱
C	۳	۱۳/۰۴	۵/۸۵	۲/۵	۲/۵	۱۰/۲	۴

جدول ۸- طبقه بندی شاخص آسیب پذیری دراستیک و سینتکس در منطقه مورد مطالعه

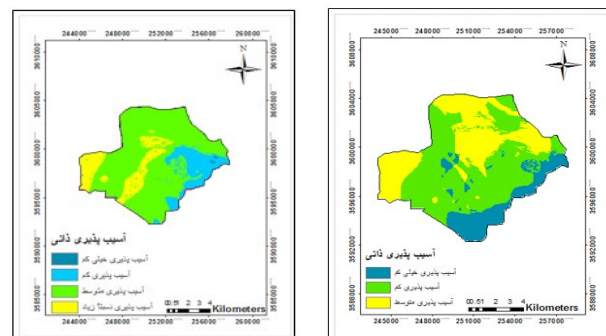
طبقه بندی شاخص	شاخص دراستیک		شاخص سینتکس	
	محدوده دراستیک	درصد مساحت	محدوده سینتکس	درصد مساحت
آسیب پذیری خیلی کم	< ۱۰۰	۱۵/۵	> ۸۰	۰/۲
آسیب پذیری کم	۱۰۰-۱۲۵	۵۱/۵	۸۰-۱۰۵	۱۴
آسیب پذیری متوسط	۱۲۵-۱۵۰	۳۳	۱۰۵-۱۴۰	۷۰/۶
آسیب پذیری نسبتاً زیاد	۱۵۰-۱۸۰	-	۱۴۰-۱۸۶	۱۵/۲
آسیب پذیری زیاد	> ۱۸۰	-	۱۸۶-۲۱۰	-
آسیب پذیری خیلی زیاد	-	-	> ۲۱۰	-

نتیجه گیری

با توجه به اینکه دشت جارمه از دشت های مهم استان خوزستان به شمار می رود، این دشت برای مطالعه انتخاب گردید. در پژوهش حاضر پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان دشت جارمه با استفاده از یون نیترات به عنوان شاخص آلودگی ناشی از فاضلاب های شهری و پساب های کشاورزی در محیط GIS صورت گرفت. سپس با استفاده از دو روش دراستیک و سینتکس شاخص آسیب پذیری منطقه محاسبه شد. شاخص آسیب پذیری مدل دراستیک بین ۶۱ تا ۱۳۰ قرار گرفت. برای درک بهتر و نشان دادن وضعیت آسیب پذیری ذاتی منطقه، شاخص نهایی بدست آمده به ۳ کلاس مختلف طبقه بندی گردید. مطابق شکل (۹)، ۱۵/۵ درصد منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۵۱/۵ درصد از منطقه دارای آسیب پذیری کم و ۳۳ درصد از منطقه در محدوده آسیب پذیری متوسط قرار دارد. همچنین شاخص آسیب پذیری مدل سینتکس بین ۶۵ تا ۱۴۵ قرار گرفت. شاخص نهایی بدست آمده در مدل سینتکس به چهار کلاس مختلف طبقه بندی گردیده است. مطابق شکل (۱۰)، ۰/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۱۴ درصد از

منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری کم، ۷۰/۶ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری متوسط که بخش اعظمی از دشت را به خود اختصاص داده و ۱۵/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای آسیب پذیری نسبتاً زیاد می باشد. جهت صحت سنجی مدل های دراستیک و سینتکس به بررسی ارتباط بین شاخص آسیب پذیری و مقادیر غلظت نیترات بدست آمده از ۳۶ نمونه آب زیرزمینی پرداخته شده است. جهت تعیین میزان همبستگی میان لایه نیترات و لایه های شاخص دراستیک و سینتکس در محیط GIS همبستگی بدست آمده است. ضریب همبستگی بدست آمده بین شاخص آسیب پذیری دراستیک و غلظت نیترات ۰/۴۶ و ضریب همبستگی بین شاخص آسیب پذیری سینتکس و غلظت نیترات ۰/۵۸ بدست آمده است. این مقدار همبستگی نشان می دهد که مدل سینتکس از همبستگی بیشتری با غلظت نیترات برخوردار می باشد. در واقع مدل سینتکس با واقعیت مطابقت بیشتری دارد. با توجه به اقلیم منطقه، کمبود بارندگی، خشکسالی های اخیر، افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی، افزایش فعالیت های کشاورزی و صنعتی، در نتیجه افزایش آلودگی های ناشی از فاضلاب های شهری، پساب های کشاورزی و صنعتی و در مقابل افزایش نیازمندی به آب جهت

تأمین مصارف آشامیدنی، این امر تنها با مشارکت مردم، کارشناسان، مسئولین و مدیران مربوطه تحقق خواهد یافت.



شکل ۹- نقشه آسیب پذیری سینتکس
شکل ۱۰- نقشه آسیب پذیری دراستیک
دشت جارمه

پی نوشت

- 1- drastic
- 2- sintacs
- 3- Intrinsic vulnerability
- 4- spesefic vulnerability
- 5- Civita
- 6- De Maio

منابع

آبخوان آزاد دشت شیراز با استفاده از مدل های DRASTIC NITRATE VUL- و COMPOSITE DRASTIC (CD) NERABILITY (NV) در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شیراز.

کلانتری، ن، فاریابی، م. و رحیمی، م. ح. ۱۳۸۶. بررسی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از روش AVI و مدل های GOD و DRASTIC در محیط GIS. نشریه زمین شناسی مهندسی، ۲(۲): ۴۳۱-۴۵۰.

محمودزاده، ا، رضیان، س. و احمدی، آ. ۱۳۹۲. آنالیز حساسیت آسیب پذیری آب زیرزمینی دشت میمه اصفهان با استفاده از روش دراستیک. فصل نامه محیط شناسی، ۳۹(۲): ۴۵-۶۰.

معروفی، ص، سلیمانی، س، قبادی، م، رحیمی، ق. و معروفی، ح. ۱۳۹۱. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل های DRASTIC و SI و SINTACS. دوماهنامه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۹(۳): ۱۴۱-۱۶۶.

ناصری، ح. و صارمی نژاد، ف. ۱۳۹۰. مقایسه ارزیابی آسیب پذیری آبخوان به روش های DRASTIC و منطق فازی، مطالعه موردی دشت گلگیر مسجد سلیمان. فصل نامه جغرافیای طبیعی، ۴(۱۱): ۱۷-۳۴. نخعی، م، امیری، و. و رحیمی شهرباکی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی پتانسیل آلودگی و آنالیز حساسیت آب زیرزمینی در آبخوان خاتون آباد با استفاده از مدل دراستیک مبتنی بر GIS. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۳(۸): ۱-۱۰.

Al kuisi M., El-Neqa A. and Hammouri N. 2006. Vulnerability mapping of shallow groundwater aquifer using SINTACS model in the Jordan Valley area, Jordan. Environmental Geology. 50(5): 651-667.

Aller L., Bennett T., Lehr J.H., pretty R.J. and Hackett G. 1987. Drastic A Standardized system for Evalution Ground water pollution potential using Hydrogeological settings. Us Environmental protection Agency, Ada, Oklahoma (EPA-87-035).

Almasri M.N. 2008. Assessment of intrinsic Vulnerability to contamination for Gaza Coastal aquifer, palestine. Journal of Environmental management, 88: 577-593.

Antonakos A.K. and lambrakis N.J. 2007. Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer Vulnerability to nitrates, based on the Drastic model, an example from NE Korinthia, Greece, journal of Hydrology, 333: 288-304.

Babiker I.S., Mohamed M.A.A., Hiyama T. and Kikuo K. 2005. A GIS-based DRASTIC model for assessing

احمدی، ع، آبرومند، م. ۱۳۸۸. بررسی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه زمین شناسی کاربردی، ۵(۱): ۱-۱۱.

افروزی، م. و محمودزاده، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی آسیب پذیری آبخوان دشت بروجن-فردان به با استفاده از مدل DRASTIC بر اساس نیترات. مجله پژوهش آب ایران، ۷(۱۲): ۲۱۳-۲۱۸.

باقرزاده، س، کلانتری، ن، مرادزاده، م، رحیمی، م، دانشیان، ح. و ظاهری عبدهوند، ز. ۱۳۸۹. استفاده از GIS برای تحلیل حساسیت تک پارامتری روش های DRASTIC و SINTACS جهت ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی دشت بهبهان. همایش ملی ژئوماتیک.

شرکت مهندسی مشاور بهکار آب اهواز. ۱۳۹۱. مطالعات هیدروژئولوژی نیمه تفصیلی دشت دز فول- اندیمشک. سازمان آب و برق خوزستان. شیوا، ن، کمالی، ا. و کمالی، ن. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل آلودگی سفره آب زیرزمینی دشت زرنده با استفاده از مدل دراستیک در محیط GIS. سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

فدایی نوبندگانی، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی پتانسیل آسیب پذیری ذاتی ویژه

- Science, 6(11): 65-78.
- Lodwick W.A., Monson W. and Svoboda L. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operation in GIS: suitability analysis. *Int J Geogr Inf Syst*, 4(4): 413-428.
- Napolitano p. 1995. Gis for aquifer vulnerability assessment in the piana campana, southern Italy, using the DRASTIC and SINTACS method. Thesis of Master of Sciences in Geology Survey. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Pisciotta A., Cusimano G. and Favara R. 2015. Groundwater nitrate risk assessment using intrinsic Vulnerability methods : A Comparative study of environmental impact by intensive farming in the Mediterranean region of sicily, Italy, *Journal of Geochemical Exploration*, 156: 89-100.
- Rahman A. 2008. A Gis based Drastic model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh. India. *Applied Geography*, 28: 32-53.
- Ribeiro L. 2000. Desenvolvimento de um indice para avalior a susceptibilidade, ERSIA-CVRM, 8P.
- Stigter T.y., Ribeiro L. and Carvalho Dill A. M.M. 2006. Evaluation of an intrinsic and a specific Vulnerability assessment method in comparsion with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal, *Hydrogeology journal*, 14: 79-99.
- Tilahun K. and Merkel B. J. 2010. Assessment of groundwater Vulnerability to Pollution in Dire Dawa, Ethiopia using DRASTIC. *Enviromental Earth Science*, 59(7): 1485-1496.
- Van stemproot D., Evert L. and wassenaar L. 1993. Aquifer Vulnerability index a Gis compatible method for groundwater Vulnerability mapping. *Canadian Water Resources Journal*, 18: 25-37.
- Voudouris K., Nazakis N., Polemio M. and Kareklas K. 2010. Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus, *European Water*, 30:13-24
- Wen X., Wu J. and J, Si. 2009. A GIS-based DRASTIC model for assessing shallow groundwater Vulnerability in the Zhangye Basin, northwestern China. *Environmental Geology*, 57(6): 1435-1442.
- aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment*, 345(1-3): 127-140.
- Bartzas G., Tinivella f., Medini L., Zaharaki D. and Komnitsas k. 2015. Assessment of groundwater contamination risk in an agricultural area in north Italy, *Information processing in agriculture*, 2: 109-129.
- Brahim, F.B., Kanfir, H. and Bouri, S. 2012. Groundwater Vulnerability and Risk mapping of the Northern sfax Aquifer, Tunisia .*Arabian Journal for Science and Engineering*, 37(5): 1405-1421.
- Chiglieri, G., Barbieri, G., Vernier, A., Carletti, A., Demurtas, N., Pinna, R. and Pittalis, D. 2009. potential risk of nitrate pollution in aquifers from agricultural practices in the Nurra region, north western Sardinia, Italy, *Journal of Hydrology*, 379: 339-350.
- Civita M. 1994. Le carte della vulnerabilita degli acquiferi all inquinamento. Teori and practica (Aquifer vulnerability maps to pollution (in italian): pitagora Ed, Bologna, 325p.
- Daly D. and Drew D. 1999. IRISH Methodology for Karst aquifer protection. P 267-272, In: Beck, B.F., Pettit, A.J. and Hering, J.G.(eds) *Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and karst Rotterdam*, Bakema.
- Focazio J.M, Reilly E.T, Rupert G.H. and Helset R.D. 2002. Assessing groundwater vulnerability to contamination: providing scientifically defensible information for decision makers. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 00-4273, 33 p.
- Foster S.S. 1987. fundamental concept in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In Van Duijvenbooden, W., Van Waegeningh, H.G.(Eds), *Vulnerability of soils and Groundwater to pollution TNO committee on Hydrological Research, the Hague, proceedings and information*, 38:69-86.
- Gogu R. C. and Dassargues A, 2000. Current trends and future challenges in groundwater Vulnerability assessment using overlay and index methods, *Environmental Geology*, 39: 549-559.
- Hasiniaina F. Zhou J. and L Guoyi. 2010. Regional assessment of groundwater Vulnerability in Tamtsag basin, Mongolia using drastic model. *Journal of American*

Estimation and Conservation of Strategic Groundwater Resources Based on Probable Maximum Drought (PMD)

H.Derakhshan¹, K.Davary^{2*}, S.M.Hasheminia³, A.N. Ziaei⁴

1, 2, 3, 4 – M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Professor, Assistant Professor & Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: k.davary@gmail.com)

Received: 12-02-2017

Accepted: 12-08-2017

حداکثر خشکسالی محتمل مبنایی برای تخمین و حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی

هاشم درخشان^۱، کامران داوری^{۲*}، سید مجید هاشمی‌نیا^۳، علی‌نقی ضیائی^۴

۱، ۲، ۳، ۴ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، استاد منابع آب، استادیار و دانشیار آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۵/۲۱

Abstract

The pressure on ecosystem and the reduction of welfare and livelihood in human communities are one of the most important effects of drought which, if the severity and duration of this event increases, could become one of the most catastrophic natural disasters. Therefore, many countries have different climate-based policies in facing water stress issue, such as severe and prolonged droughts. However in almost all of them, groundwater has been considered as a strategic resource because of its reliability in water stress situations. Strategic groundwater resource refers to the volume of fresh groundwater that should be stored in an aquifer for various activities, especially for drinking water, and also to be gradually used for human needs in some serious long-term droughts. Strategic groundwater reserve is the most important support of water supply management in water stress conditions of "severe and prolonged droughts" particularly in arid and semi-arid areas. Unfortunately for many years, the concept of balancing water resources and developing sustainability has received little attention in Iran, consequently this unique water resource is continuously declining. This study sought the necessity of developing the concept of Probable Maximum Drought (PMD) as the basis for determining the maximum withdrawal of groundwater, as the most important factor for increasing resilient development in water stress conditions by preserving strategic groundwater reserves. The lack of attention to maintaining strategic resources could bring irreparable damage and cause changes in society. Finally, this study introduces suggestions for drought risk management based on the aforementioned concept hence, it is important to develop a comprehensive program for drought risk management in the event of severe and long-term droughts for each study area.

Keywords: Sustainability, Resilience, Drought, Strategic Groundwater Resource.

چکیده

فشار بر اکوسیستم و کاهش سطح رفاه و معیشت در اجتماعات بشری از مهم‌ترین آثار بلای خشکسالی بوده، که در صورت افزایش شدت و دوام این واقعه، می‌تواند به یکی از فاجعه‌بارترین بلایای طبیعی تبدیل گردد. لذا در کشورهای مختلف برای مقابله با شرایط تنش آبی از جمله «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» سیاست‌های متفاوتی «متناسب با اقلیم» خود دارند، اما تقریباً در تمام آن‌ها، آب‌های زیرزمینی به دلیل اطمینان‌پذیری بالا به عنوان ذخیره استراتژیک برای شرایط تنش آبی شناخته می‌شود. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی به حجمی از آب زیرزمینی شیرین گفته می‌شود که بایستی به عنوان ذخیره برای فعالیت‌های مختلف به ویژه شرب در آبخوان حفظ گردد؛ تا در صورت وقوع «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» به تدریج از آن برای رفع نیازهای بشری بهره‌برداری شود. عدم توجه به حفظ ذخیره استراتژیک می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه داشته و موجب تغییر مسیر سرنوشت یک جامعه گردد. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی، مهم‌ترین پشتوانه مدیریت تأمین آب در شرایط تنش آبی، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. متأسفانه سال‌هاست که در ایران این مفهوم به فراموشی سپرده شده است و این منابع آب بی‌همتا در حال افت مستمر است. این تحقیق به ضرورت بسط مفهوم حداکثر خشکسالی محتمل به عنوان مبنایی برای تعیین حداکثر برداشت از آب زیرزمینی پرداخته، و حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی را به عنوان مهم‌ترین عامل برای افزایش تاب‌آوری توسعه در این شرایط مورد توجه قرار داده است. در نهایت پیشنهادهایی نیز برای مدیریت ریسک خشکسالی براساس این مفهوم ذکر گردیده و ضرورت تدوین برنامه جامع مدیریت ریسک خشکسالی برای هر محدوده مطالعاتی در صورت وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت مورد تأکید قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تاب‌آوری، خشکسالی، ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی.

خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی می‌باشد که از بین رفتن تمدن‌هایی از جمله مایاها به آن نسبت داده شده است. در داستان حضرت یوسف در قرآن کریم نیز از بلای خشکسالی نام برده شده است. توجه به بلای خشکسالی در تمدن، فرهنگ و حتی قصه‌های ایرانیان جایگاه ویژه‌ای به خود اختصاص داده است. بر روی کتیبه‌های دوره هخامنشیان (دعای معروف کوروش کبیر) نیز از خشکسالی به عنوان یکی از سه مصیبت این سرزمین یاد شده، که نمونه‌ای از توجه تاریخی به این موضوع می‌باشد. در واقع سرزمین ایران با کم‌آبی‌ها و وقوع متواتر خشکسالی‌ها، همواره مواجه بوده است. نیاکان این سرزمین به خوبی این طبع را درک کرده و سازگاری با آن را پیشه نموده‌اند. اما در چند دهه‌ی اخیر گویا مسیر زندگی ایرانیان عوض شده و دیگر توجه به محدودیت‌های اقلیمی و سازگاری با اکوسیستم در دستور کار قرار نداشته است. از نمونه‌های این تغییر، می‌توان به عدم تناسب تراکم جمعیت و صنایع آب‌بر با واقعیت محدودیت منابع آبی اشاره نمود. در واقع جمعیت و تولیدات کشور، بطور مطلق، بیش از بقیه کشورهای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا در مناطقی قرار دارند که برداشت از منابع آبی بسیار بیشتر از ظرفیت تجدیدپذیری این منابع است. این شرایط ایران را بیش از متوسط جهانی در معرض کم‌آبی شدید قرار داده است (گزارش بانک جهانی، ۱۳۹۶). از نشانه‌های زیست‌محیطی آن می‌توان به خشک‌شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها، فرونشست زمین و آلودگی آب‌ها اشاره نمود. سطح اولیه دریاچه ارومیه (بزرگترین دریاچه نمکی جهان) نسبت به سال ۱۳۶۰ حدود ۸۸ درصد کوچکتر شده است. این اضمحلال به دلیل خشکسالی‌های متوالی همراه با برداشت بیش از حد از منابع آب‌های بالادستی بوده، که نمونه‌ای از شرایط موجود می‌باشد (Fathian و همکاران، ۲۰۱۴). در اثر توسعه بی‌رویه و تغییر اقلیم، کشور ایران به «ورشکستگی آبی» دچار شده و تحریم‌ها نیز وضعیت را بدتر نموده است. به عبارت دیگر، منابع آبی موجود ایران به خاطر اثرات اقلیمی و انسانی از گذشته نیز محدودتر شده‌اند؛ دیگر جوابگوی نیازهای رو به افزایش بخش آب نیستند. از نظر علمی تنها با کاهش جدی تقاضا و افزایش بهره‌وری آب، می‌توان به خارج شدن ایران از حالت ورشکستگی آبی امیدوار بود (Madani و همکاران، ۲۰۱۶).

امروزه منابع آب و مدیریت صحیح آن در تأمین امنیت بشر نقش مهمی دارند. هم‌چنین در بسیاری از مناطق کشور برای رسیدن به توسعه پایدار، آب یکی از مولفه‌های اساسی می‌باشد که اگر به آن توجه نگردد، می‌تواند بحران‌آفرین باشد (UN-Water، ۲۰۱۳). بر اساس نتایج برنامه توسعه سازمان ملل

(UNDP، ۱۹۹۴) «امنیت انسان یک موضوع مردم‌محور است» یا به عبارت دیگر امنیت باید از دید مردم مورد بررسی قرار گیرد. این تعریف هر دو جنبه ایمنی از مخاطرات، (مزمّن و ناگهانی) را در بر می‌گیرد. امنیت بشری دارای هفت مولفه شامل «اقتصاد»، «غذا»، «بهداشت»، «محیط زیست»، «فردی»، «سیاسی» و «اجتماعی» می‌باشد (UNDP، ۱۹۸۴). البته بخش‌های دیگری هم مانند امنیت رفاهی و امنیت انرژی و سوخت نیز به آن اضافه شده است، که بیشتر ابعادی که تاکنون گفته شده با دسترسی به مقدار آب کافی و با کیفیت مناسب مرتبط می‌باشد (O'Brian and Leichenko، ۲۰۰۷). در مطالعات اخیر، مفهوم «امنیت آبی بشر» توسعه بیشتری یافته و در آن‌ها به مباحث آب زیرزمینی نیز توجه گردیده است، گرچه هنوز به عنوان یک موضوع محوری به آن توجه نشده است (Barnet و همکاران، ۲۰۱۰). به این موارد باید افزود که در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک منابع آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی (یا حداقل یک مولفه‌ی مهم) تأمین آب شیرین؛ مورد توجه می‌باشد. به همین دلیل، این منابع نقش بسیار مهمی در تأمین امنیت و رفاه روزانه مردم در این مناطق دارند (UNESCO-WWAP، ۲۰۰۳). هم‌چنین آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی در تعادل محیط‌زیست این مناطق ایفا می‌کند (Verhagen و Vrba، ۲۰۱۱). منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش به سزایی داشته باشد (Izady و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال و علی‌رغم اهمیت بسیار زیاد این منابع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، متأسفانه و در اغلب موارد منابع آب زیرزمینی به‌صورت بهینه مدیریت نشده‌اند و عمدتاً در معرض استفاده بیش از حد بوده و یا به طور مداوم آلودگی آن‌ها تشدید می‌شود (UNESCO-WWAP، ۲۰۱۲). افت مستمر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در بسیاری از کشورها (از جمله ایران)، این کشورها را با چالش‌های جدی و سخت در آینده روبرو خواهد نمود. خشکسالی یک بلای طبیعی است که مخاطرات آن «کاهش تجدیدپذیری منابع آب» و «وقوع تنش آبی برای گیاهان و جانوران (اکوسیستم)» می‌باشد. البته مهم‌ترین موضوع تأمین کمبود آب شرب (شهری و روستایی) خواهد بود. در واقع اطمینان برای تأمین آب در زمان وقوع یک دوره «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت» و یا بلافاصله بعد از وقوع عواقب آن، بسیار اساسی و مهم است. آب زیرزمینی این توان بالقوه را دارد تا بتواند نقش مهمی در تأمین امنیت آبی در چنین شرایطی ایفا نماید (UNISDR، ۲۰۱۵).

آب زیرزمینی از حیاتی‌ترین سرمایه‌های هر کشور محسوب شده، که در دنیا نیز آن را با نام ذخیره‌ی استراتژیک (ذخیره

برای شرایط تنش آبی) می‌شناسند (Capelli و همکاران، ۲۰۰۱). مدیریت ریسک خشکسالی، به معنی کاهش مصارف آبی و نیز تأمین نسبی آب برای مصارف ضروری دوره خشکسالی (در عین کاهش منابع تجدیدپذیر) است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب زیرزمینی یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب محسوب گردیده که استفاده صحیح از این منابع، می‌تواند عامل اصلی مدیریت ریسک خشکسالی باشد. طی چند دهه اخیر به عنوان نمونه در ایران نسبت به این نعمت یگانه (آب زیرزمینی) بی‌توجهی گردیده است؛ تا جایی که اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق نه تنها رمق سیستم قنات (سازگارترین سیستم برداشت از منابع آب زیرزمینی) را بریده است؛ بلکه بیم این می‌رود که ادامه چنین روندی، نخست منجر به شورشدن آبخوان‌ها و نهایتاً به

مفاهیم و مبانی

در این بخش از پژوهش ارتباط مفاهیم و مبانی مهم مرتبط با موضوع مقاله، مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش به مدیریت ریسک بلای خشکسالی پرداخته است. خشکسالی یکی از موثرترین بلایای طبیعی بر جوامع بشری می‌باشد که بصورت گسترده عمل نموده و در صورت وقوع، کل یک اکوسیستم را تحت تأثیر قرار خواهد داد (UNFPA، ۲۰۱۵). امروزه آینده‌پژوهی و مدیریت ریسک نقش چشم‌گیری در کاهش بلایای طبیعی داشته است. لذا مشابه مفهوم حداکثر بارش محتمل (PMP)^۲ برای مدیریت ریسک شکست سدهای بزرگ، مفهوم حداکثر

۱- اهمیت خشکسالی

خشکسالی از پدیده‌های مورد توجه دانشمندان در سطح دنیاست. بررسی‌های انجام شده در جهان نشان می‌دهد که خشکسالی، از نظر فراوانی وقوع و همچنین ویژگی‌هایی که دارا است، نسبت به سایر بلایای طبیعی اولویت داشته و مخاطره آمیزتر است. لذا نیازمند توجه بیشتری در تصمیم‌گیری‌های سیاسی می‌باشد (Wilhite و Glantz، ۱۹۸۵). عدم اطلاع عمومی از ضرر و زیان‌های خشکسالی، یکی دیگر از دلایلی است که علاقه‌مندی برای برنامه‌ریزی خشکسالی را کاهش می‌دهد. عموماً تصور بر این است که میزان خسارات‌های ناشی از خشکسالی کمتر از سوانح غیرمترقبه که معمولاً واضح‌تر و در دوران کوتاه‌تری اتفاق می‌افتند، می‌باشد. در مقام مقایسه خسارات‌های خشکسالی در زمان طولانی‌تری توزیع شده، و زمانی که به خسارات‌های واقعی خشکسالی پی برده شود، این خسارت‌ها می‌تواند ضررهای ناشی از حوادث غیرمترقبه را ناچیز جلوه دهد (Wilhite، ۲۰۰۰). به عنوان مثال بر اساس گزارش FAO خشکسالی در جنوب غربی

نابودی آن‌ها ختم گردد. لذا اولین و اساسی‌ترین هدف در مدیریت منابع آب زیرزمینی بایستی کنترل اضافه برداشت‌ها و نیز بازنشانی تعادل آبخوان‌ها باشد. از طرف دیگر اگر شرایط موجود در یک دوره استرس شدید آبی ناشی از «خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت»، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، ابعاد فاجعه‌آمیز عقوبت پیشرو آشکار خواهد گردید. برای این منظور و روشن شدن ابعاد فاجعه، اساسی‌ترین هدف در مدیریت منابع آب زیرزمینی پاسخ به این سؤال است که «آیا آب باقیمانده در آبخوان پاسخگوی ریسک‌های خطرناک آبی ناشی از خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت هست؟» پاسخ به این پرسش نیازمند بسط مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی است. در این مقاله، بسط این مفاهیم و نیز پیشنهادهایی برای مدیریت ریسک مزبور ارائه گردیده‌اند.

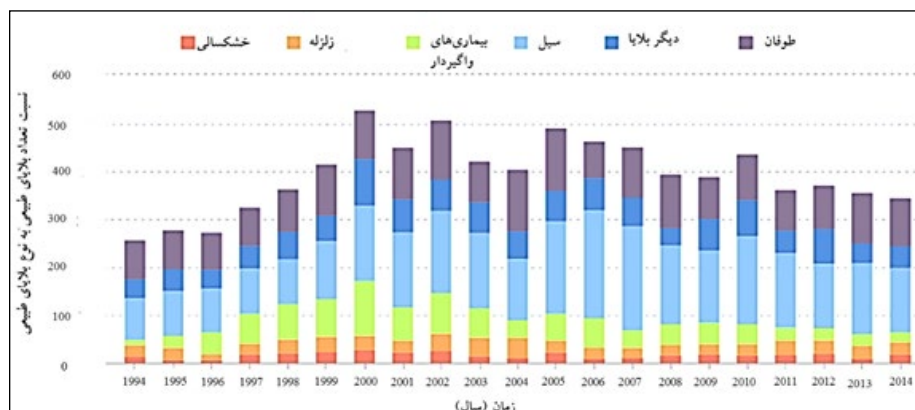
خشکسالی محتمل (PMD)^۲ مورد معرفی قرار گرفته است. می‌توان مقدار کمبود آب تجدیدپذیر (نسبت به حالت نرمال) در برآورده نمودن مصارف در صورت وقوع PMD را ذخیره استراتژیک نامید. آب‌های زیرزمینی، این پتانسیل را دارند تا این حجم از کمبود را تأمین نمایند که به آن ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی گفته می‌شود. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی بنیادی‌ترین روش در مدیریت ریسک خشکسالی می‌باشد. زیرا این ذخیره می‌تواند ضربه ناشی از خشکسالی را دریافت نموده و تاب‌آوری^۳ (برگشت‌پذیری) یک توسعه را در صورت وقوع PMD افزایش دهد (درخشان، ۱۳۹۶). در ادامه به شرح این مفاهیم پرداخته شده است.

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. به‌علاوه تمامی هزینه‌های ناشی از خشکسالی کاملاً مشخص و تعریف شده نیست. اثرات اجتماعی خشکسالی و هزینه‌های مربوط به آن و چگونگی گسترش اثرات آن در سراسر جامعه و این‌که در نهایت چه کسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد باید بهتر شناخته شود. ضررهای غیر مستقیم ناشی از خشکسالی بسیار بیشتر از ضررهای مستقیم آن هستند، اما به‌دلیل ماهیت پراکندگی و درازمدت بودن آن‌ها امکان تشخیص و ارزیابی آن‌ها مشکل است و اغلب ناشناخته می‌ماند (FAO، ۲۰۱۳).

در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ توسط سازمان صندوق جمعیت ملل متحد (UNFPA) در تحقیقی تمام بلایای طبیعی مورد بررسی قرار گرفته، و به مقایسه بلایای طبیعی از نظر تعداد افراد تحت تأثیر این بلایا پرداخته شده است. شکل (۱) تعداد کلیه بلایایی که در دنیا طی این سال‌ها رخ داده را نشان می‌دهد.

خشکسالی در دنیا نسبت به این گونه بلایا بسیار ناچیز به نظر می‌رسند.

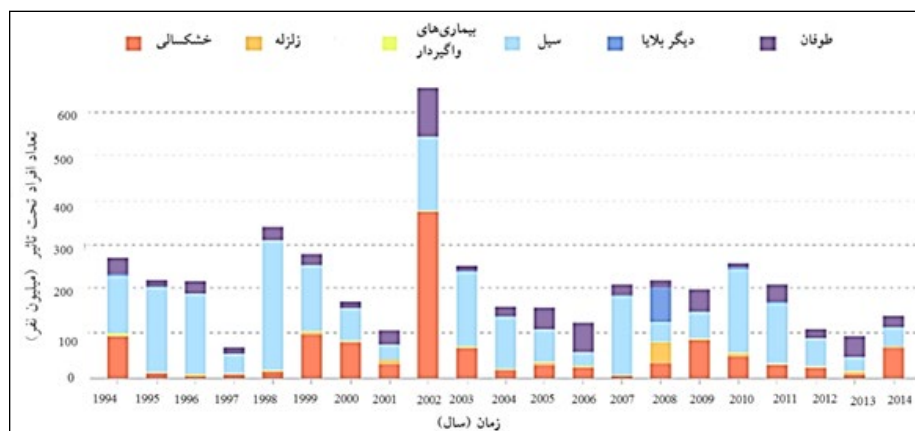
با توجه به شکل مشخص است که بیشترین تعداد وقوع بلایای طبیعی مربوط به سیل و طوفان بوده، و تعداد بلایای طبیعی



شکل ۱- تعداد بلایای طبیعی اتفاق افتاده (UNFPA، ۲۰۱۵)

اکثر بلایای طبیعی در یک سطح کوچک واقع شده و وقتی هم اتفاق می‌افتند، سر و صدای زیادی به پا می‌کنند و بعد از آسیب زدن به افرادی که در معرض آن بوده‌اند از بین می‌روند. اما خشکسالی یک بلای خزنده است که مانند یک بیماری در بدنه جامعه رسوخ کرده و کم‌کم آثار خود را نشان می‌دهد.

شکل (۲) نسبت تعداد افراد تحت تأثیر این بلایا را برحسب میلیون نفر به تعداد وقایع طبیعی نشان می‌دهد، که در آن خشکسالی سهم ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. این بلای طبیعی بسته به این‌که در چه مکان و زمانی واقع گردد، می‌تواند سهم قابل توجهی از مردم آن سرزمین را تحت تأثیر قرار دهد.



شکل ۲- تخمین تعداد افراد تحت تأثیر بلایای مختلف (UNFPA، ۲۰۱۵)

تأثیر قرار دهد. البته این‌که خشکسالی در چه منطقه‌ای به وقوع می‌پیوندد نیز بسیار مهم است. به طوری‌که هرچه خشکسالی در مناطق آسیب‌پذیرتر (نواحی با جمعیت بالا و منابع محدود) وقوع یابد، می‌تواند پتانسیل بسیار بالاتری برای آسیب رساندن داشته باشد. لذا یکی از علل افزایش جمعیت متأثر از خشکسالی در سال ۲۰۰۲، می‌تواند وقوع این واقعه در منطقه آسیب‌پذیرتر باشد.

از مقایسه‌ی شکل (۱ و ۲) می‌توان به این نتیجه رسید که تعداد افرادی که تحت تأثیر واقعه خشکسالی قرار می‌گیرند، بسیار زیادتر از دیگر بلایای طبیعی بوده و این بلای طبیعی توانایی تحت تأثیر قرار دادن بخش وسیعی را دارد. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۲ که در سطح جهانی پدیده‌ی خشکسالی، رشد اندکی نسبت به دیگر بلایای طبیعی داشته است، توانسته سهم قابل توجهی از مردم را تحت

۲- حداکثر خشکسالی محتمل (PMD)

بروز خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت نقش ویژه‌ای در تضعیف و زوال تمدن‌های گذشته داشته است. خشکسالی منجر به از بین رفتن نمونه‌های زیادی از تمدن‌های بزرگ بشری (از جمله مایاها) گشته است (Gerald و Larry، ۲۰۰۵). گرچه با توسعه و بهبود حمل و نقل مواد غذایی، تجهیزات مورد نیاز و سیستم‌های هشدار سریع، میزان فجایع کاهش یافته، ولی با این حال فجایع طبیعی وابسته به آب، گروه بزرگی از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهند و خسارت‌های اقتصادی بسیار زیادی را به بار خواهند آورد که حدود ۹۰٪ از آسیب‌های طبیعی را شامل می‌گردد (UNESCO-WWP، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۲).

امروزه رشد مباحث «مدیریت ریسک» و «آینده‌پژوهی» فرصت‌های زیادی برای جلوگیری از خسارات شدید ناشی از

بلایای طبیعی پدید آورده است. به عنوانه نمونه، در مدیریت ریسک سیل، می‌توان به ساخت سرریز سدهای بزرگ براساس مفهوم حداکثر بارش محتمل (PMP) اشاره نمود. با الهام از همین مفهوم، برای خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت، مفهوم «حداکثر خشکسالی محتمل (PMD)» پیشنهاد می‌گردد. تفاوت اساسی این مفهوم با PMP در طول مدت یا دوام است. معمولاً مفهوم PMP اشاره به وقایع رگبار و سیل با دوام‌های کوتاه (چند ساعت تا چند روز) دارند؛ در حالیکه مفهوم PMD می‌تواند دوام‌هایی از چند ماه تا چندین سال را در بر داشته باشد. بر اساس شباهت با PMP، مفهوم PMD به خشکسالی‌هایی با شدت و دوام بسیار زیاد گفته می‌شود که وقوع خشکسالی شدیدتر و طولانی‌تر از آن به دلیل شرایط جغرافیایی، جوی و اقلیمی در محدوده‌ای معین غیر محتمل است (درخشان، ۱۳۹۶).

۳- ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی

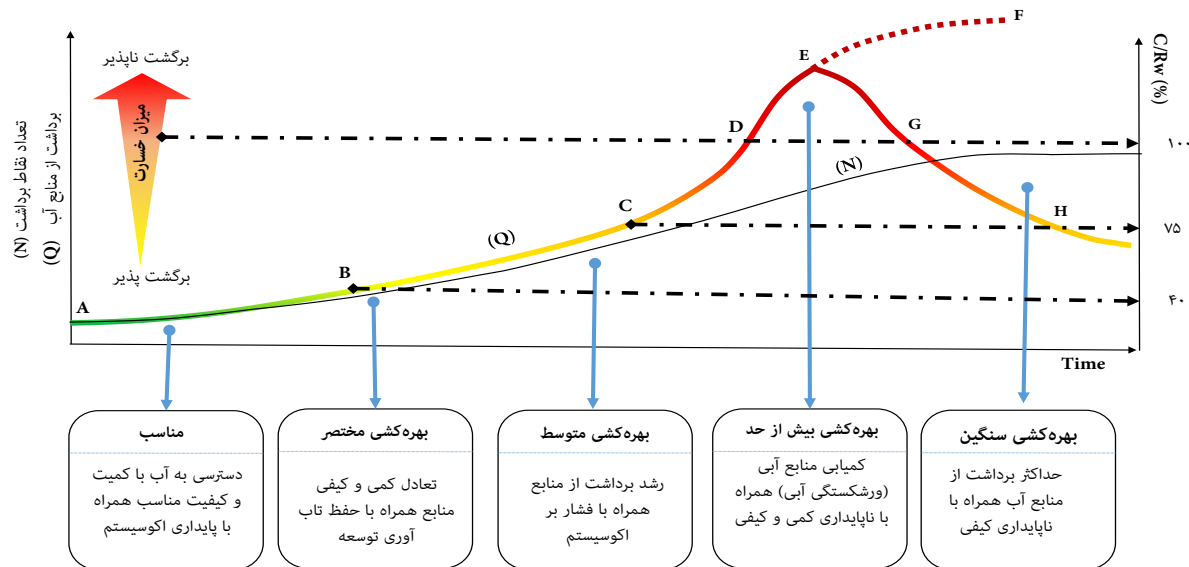
ذخیره استراتژیک ذخیره‌ای است حیاتی، که سرنوشت (پایداری و بقا) یک جامعه در گروی آن است. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی^۵ به حجمی از آب شیرین برای فعالیت‌های مختلف گفته می‌شود که بایستی محاسبه و در آبخوان ذخیره گردد تا در صورت وقوع PMD بتوان برای تأمین مصارف ضروری از آن

بهره‌برداری نمود (Langridge)، ۲۰۱۲. حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی را می‌توان معادل میزان کمبود منابع آب تجدیدپذیر از حد نرمال در دوره مورد نظر لحاظ نمود. این ذخیره بایستی مصارف ضروری را طی دوره خشکسالی برآورده نماید. تعیین حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی تابع سطوح ریسک قابل قبول خشکسالی می‌باشد.

۴- تاب‌آوری در توسعه

توان تحمل فشار موقت بیرونی و بازگشت به حالت عادی پس از رفع فشار در یک سیستم اجتماعی-اقتصادی را تاب‌آوری گویند؛ که در بسیاری از منابع با نام «برگشت‌پذیری» نیز از آن یاد شده است. تاب‌آوری یکی از مولفه‌های اصلی در توسعه پایدار^۶ می‌باشد (Simonovic، ۲۰۰۹). توسعه‌ای که نیاز کنونی را برآورده می‌سازد، بدون آنکه به توانایی‌های موجود در محیط (که در برآورده‌سازی همان نیازها در آینده مؤثرند)، صدمه‌ای وارد نماید، توسعه پایدار گویند (WCED، ۱۹۸۷). توسعه در هر کشور بر مبنای منابع تجدیدپذیر قابل طرح‌ریزی می‌باشد. شکل (۳) نمای ساده‌ای از روند تغییرات پایداری توسعه با توجه به برداشت از منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در هر محدوده مطالعاتی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در مشخص نمودن میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر، نسبت مصرف به تجدیدپذیری (C/Rw) بوده، که در محور سمت راست شکل (۳) نشان داده شده است. در توسعه پایدار این نسبت کمتر از ۰/۴ برآورد گردیده است. این نوع توسعه در صورت وقوع PMD نیز پایداری خود

را حفظ می‌نماید. البته بایستی به این نکته توجه گردد که این مقادیر آستانه، تقریبی و غیر دقیق بوده و در هر حوضه متناسب با شرایط هیدرولوژیکی، میزان آلودگی و فعالیت‌های بشری قابل تغییر می‌باشد (شاهدی و طالبی حسین‌آباد، ۱۳۹۲). این شاخص متناسب با شرایط و ویژگی‌های کشور ایران مورد ارزیابی قرار گرفته و بر اساس مصوبه وزارت نیرو (سال ۱۳۹۳) در شورای عالی آب «حداکثر تا ۷۵ درصد منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر و آب برگشتی» اجازه برداشت داده شده است. حفظ نسبت مصارف به تجدیدپذیری برابر ۷۵ درصد بایسته بوده، و این شاخص به منظور حفظ حداقل کیفیت برای منابع آب معرفی گردیده است. زیرا خروج مقداری مشخصی از منابع آب برای ایجاد تعادل و خروج نمک از حوضه آبریز ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که تفکیک مراحل مشابه نسبت مصرف به تجدیدپذیری (C/Rw) بطور کلی ۷۵ درصد اعلام شده، و در صورتی که بخواهد فقط برای یک آبخوان معین بطور دقیق تبیین گردد، بهتر است که این شاخص بر اساس ویژگی‌های همان آبخوان مورد تصحیح قرار گیرد.



شکل ۳- ارتباط توسعه با حفاظت از منابع آب (درخشان، ۱۳۹۶)

آبی است. در این حالت توسعه ناپایدار نه تنها آب تجدیدپذیر محدوده مطالعاتی را مصرف نموده، بلکه منابع تجدیدناپذیر نیز در حال افت شدید می‌باشد. معمولاً خسارت‌ها به اکوسیستم و منابع آب زیرزمینی مانند فرونشست زمین در حال افزایش است. با توجه به شکل در این مرحله تغییر نوع خسارات از جبران‌پذیر به جبران‌ناپذیر محسوس‌تر می‌باشد. بنابراین در صورت وقوع PMD، شرایط از آنچه هست بسیار وخیم‌تر خواهد شد.

۵) $F \leftarrow E$: توسعه در حالت گذار از E به F نمونه‌ای کامل از یک توسعه ناپایدار می‌باشد. ایران یکی از کشورهایی است که با بیشترین آسیب‌پذیری در برابر کم‌آبی رو به رو است. بیش از ۹۰ درصد جمعیت و تولید ناخالص داخلی در مناطقی قرار دارند که برداشت از منابع آبی از حد بهره‌برداری قابل دوام فراتر رفته است (گزارش بانک جهانی، ۱۳۹۶). بنابراین تغییر نگرش برای کاهش برداشت از منابع آبی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در غیر این صورت با ادامه‌ی این روند، نابودی منابع آب زیرزمینی دور از انتظار نخواهد بود. در این مرحله آسیب‌پذیری^۷ نسبت به بلایای طبیعی به حداکثر رسیده است. توسعه در این شرایط نسبت به بلایای طبیعی مانند PMD بسیار شکننده بوده و در صورت وقوع می‌تواند فاجعه‌ای انسانی به وجود آورد.

۶) $G \leftarrow E$: توسعه در حالت گذار از E به G با تعادل کمی منابع آب ($C/Rw = 1$) همراه بوده، که از آن با نام تعادل بخشی کمی منابع آب یاد می‌گردد و هنگامی رخ خواهد داد که تدابیر، اقدامات و عملیات تعادل بخشی موثر واقع گردد (وزارت نیرو، ۱۳۹۳). یکی از اولین اقدامات در این مرحله که در کوتاه‌ترین زمان ممکن باید اتفاق بیافتد، حفظ ذخایر تجدیدناپذیر و

شکل (۳) مراحل تغییر پایداری توسعه در هفت کلاس را نشان می‌دهد که هر مرحله به اختصار در زیر تشریح گردیده است:

۱) $A \leftarrow B$: توسعه در حالت گذار از A به B همچنان در پایداری کامل قرار دارد. در این حالت منابع فراوان بوده و کمبود آب در این مرحله وجود ندارد (Brown، ۲۰۱۱). تاب‌آوری بالا بوده و در صورت وقوع PMD، مشکل خاصی به وجود نخواهد آمد. در این مرحله نیاز چندانی به افزایش عرضه آب احساس نمی‌گردد.

۲) $B \leftarrow C$: توسعه در حالت گذار از B به C همراه با تغییر پایداری توسعه بوده، که ناشی از ادامه توسعه اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. این تغییر، تقاضای آب را افزایش داده که با افزایش تعداد نقاط برداشت آب (چاه‌ها و ساخت سازه‌های هیدرولیکی) میسر گردیده است. به بیان دیگر این مرحله با بهره‌کشی از منابع آب همراه بوده، و باعث کاهش تاب‌آوری توسعه در صورت وقوع PMD می‌گردد.

۳) $D \leftarrow C$: توسعه در حالت گذار از C به D به یک توسعه ناپایدار تبدیل خواهد شد. در این مرحله تقاضا در حال سبقت گرفتن از عرضه منابع آب می‌باشد. نقطه C شروع کمبود منابع آبی بوده و ادامه این روند ناپایداری کیفی منابع آب زیرزمینی را به همراه دارد. در این مرحله نگرانی‌های آسیب به اکوسیستم بسیار جدی است. تعداد چاه‌ها و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی به حداکثر ممکن خود رسیده است. پایداری کیفی آب برای توسعه مورد تهدید می‌باشد، که تغییر رویکرد از مدیریت تأمین آب به مدیریت تقاضای آب ضروری می‌باشد.

۴) $E \leftarrow D$: توسعه در حالت گذار از D به E کاملاً از حالت پایداری کمی و کیفی خارج شده است و حداکثر بهره‌کشی از منابع آبی وقوع خواهد یافت. نقطه D شروع کمیابی منابع

استراتژیک برای افزایش تاب‌آوری توسعه و جلوگیری از نابودی آب‌های زیرزمینی تجدیدناپذیر برای نسل‌های آتی می‌باشد (درخشان، ۱۳۹۶).

(۷) $H \leftarrow G$: توسعه در حالت گذار از G به H با تعادل کیفی منابع آب ($C/Rw = 0.75$) همراه بوده، که از آن با نام تعادل بخشی کیفی منابع آب یاد می‌گردد. این مرحله در امتداد فعالیت‌های بازنشانی تعادل منابع و مصارف بوده و در بلندمدت می‌تواند اتفاق بیفتد. اهداف این مرحله شامل دستیابی به توسعه پایدار و ایجاد توازن میان نیازهای «محیط انسانی و اکوسیستم» است.

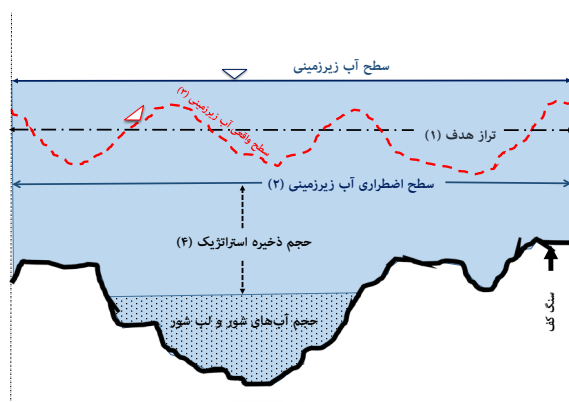
۵- راهکار مدیریت ریسک PMD

مدیریت ریسک خشکسالی مشابه مدیریت ریسک تخلیه سیلاب بر روی سریز سدهای بزرگ قابل برآورد می‌باشد. سدها به سه نوع بزرگ کوچک و متوسط (براساس حجم ذخیره و ارتفاع) تقسیم شده‌اند و خسارت شکست سد برای هر یک، ارزیابی شده است. در مورد سدهای بزرگ با توجه به احتمال مرگ‌ومیر و نیز وقوع خسارت‌های شدید اقتصادی، تاکید شده است تا برای طراحی سریز از PMP استفاده گردد. به همین نحو، سطح پذیرش ریسک خشکسالی‌ها بر اساس میزان خسارت محتمل (مرتبط با جمعیت، اقتصاد و سایر اهمیت‌های فرهنگی، تاریخی و اجتماعی) برای هر محدوده مطالعاتی قابل بررسی و تعیین می‌باشد. این حجم نیز با توجه به میزان خسارات جبران‌پذیر و جبران‌ناپذیر وارده بر توسعه، در سه سطح زیاد، کم و متوسط به صورت کلی قابل برآورد است. بدیهی است به تناسب کوچک شدن گستردگی توسعه، می‌توان درصدی از PMD (و نه تمام آن) را برای ذخیره استراتژیک مد نظر قرار داد. آب‌های زیرزمینی این پتانسیل را دارند، تا کاهش آب تجدیدپذیر ناشی از وقوع PMD را جبران نمایند. مدیریت ریسک خشکسالی بر اساس برآورد حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی معادل کمبود آب تجدیدپذیر در دوره‌های خشکسالی با دوره بازگشت‌های معین، برای برآورده نمودن مصارف مختلف، قابل محاسبه می‌باشد (درخشان، ۱۳۹۶).

در شکل (۴) شماتیکی از مقطع آب زیرزمینی برای این مفهوم ارائه شده، تا مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی (شماره ۴ از شکل ۴) در یک آبخوان تعریف گردد. منطقه هاشور خورده در کف آبخوان، محل قرارگیری آب‌های شور می‌باشد و بالای آن آب‌های شیرین و با کیفیت مناسب وجود دارد، که تا سطح آبخوان امتداد یافته است. مهم‌ترین مفاهیم مرتبط با ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی شامل تراز هدف^۱، سطح اضطراری آب زیرزمینی^۱ و سطح واقعی آب زیرزمینی^۱ می‌باشد.

توسعه در بسیاری از دشت‌های کشور سال‌هاست که از مرز پایداری کمی و کیفی عبور کرده و میزان مصارف از آب تجدیدپذیر در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی بیشتر شده است. حتی منابع تجدیدناپذیر هم در صورت عدم کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی، در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی رو به اتمام خواهد بود. بنابراین اولین اقدام، حرکت به سمت بازنشانی تعادل میان منابع و مصارف در آبخوان می‌باشد. در مرحله بعد بایستی به ارائه راهکار برای مدیریت ریسک‌های ناشی از PMD پرداخته شود که حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی از مهم‌ترین اولویت‌های آن می‌باشد.

تراز هدف (شماره ۱ از شکل ۴) می‌تواند سطح واقعی بلند مدت آب زیرزمینی باشد و یا در هر آبخوانی متناسب با شرایط آن آبخوان سطحی را برای یک افق معین برای برنامه‌ریزی مدیریت برداشت از منابع آب زیرزمینی به عنوان تراز هدف فرض گردد (Izady و همکاران، ۲۰۱۳). سطح اضطراری آب زیرزمینی (شماره ۲ از شکل ۴)، سطحی از آب زیرزمینی است که به تناسب پذیرش ریسک خشکسالی قابل تعیین می‌باشد. برداشت آب زیرزمینی پایین‌تر از این سطح، منوط به وقوع PMD و صدور مجوزهای خاص برای برداشت از ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی می‌باشد. سطح واقعی آب زیرزمینی (شماره ۳)، با خط چین قرمز رنگ مشخص شده است. این سطح متناسب با تغذیه آبخوان تغییر می‌نماید. با فرض اینکه برداشت از آبخوان عددی کوچکتر از متوسط تجدیدپذیری آبخوان باشد، شیب منفی در این منحنی به معنای وقوع دوره خشکسالی و شیب مثبت در این منحنی به معنای وقوع دوره‌های ترسالی می‌باشد. فاصله بین سطح آب‌های شور با سطح آب در شرایط اضطراری را برآورد حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی در صورت وقوع PMD تعیین خواهد نمود (درخشان، ۱۳۹۶).



شکل ۴- مفهوم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی (درخشان، ۱۳۹۶)

چارچوب سازمان بین‌المللی «کاهش ریسک بلایای طبیعی»، مهم‌ترین عوامل برای کاهش ریسک خشکسالی را ایجاد آمادگی^{۱۱} در مقابل بلایای طبیعی معرفی نموده است. بنابراین، تاب‌آوری یک توسعه می‌تواند با ایجاد آمادگی در مقابل بلای خشکسالی افزایش یابد (UNISDR، ۲۰۰۹). حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی، ابزاری برای آمادگی پذیرش ریسک‌های خطرناک ناشی از PMD می‌باشد، که می‌توان براساس میزان برداشت از این ذخیره، برنامه مدیریت خشکسالی را ارتقاء بخشید. سازگاری^{۱۲} با خشکسالی از طریق کنترل مصارف می‌تواند نقشی مهمی در کاهش حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی و مدیریت

جمع‌بندی

بحران آب و محدودیت منابع آب در حال حاضر برای بسیاری از کشورها و در آینده‌ای نزدیک برای کلیه کشورهای جهان به صورت یک معضل جدی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد؛ چرا که این محدودیت، رشد و تعالی کشورها را می‌تواند تحت الشعاع قرار دهد. از این رو اهمیت مدیریت آب در صورت وقوع PMD بارزتر خواهد گردید. برآورد حدکثر خشکسالی محتمل در هر محدود مطالعاتی می‌تواند مبنایی برای تعیین حداکثر برداشت از آب زیرزمینی قرار گیرد تا از نابودی هرچه بیشتر ذخایر تجدیدنپذیر جلوگیری به عمل آید. بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا حجم ذخیره استراتژیک در تمام آبخوان‌ها مورد محاسبه قرار گیرد. مدیریت ریسک خشکسالی از طریق حفظ ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی می‌تواند تاب‌آوری جوامع

پی‌نوشت

- 1- Water-Bankrupt
- 2- Probable Maximum Precipitation
- 3- Probable Maximum Drought
- 4- Resilience
- 5- Groundwater Strategic Resource

منابع

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 دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

ریسک خشکسالی ایفا نماید. افزایش قیمت آب متناسب با اهمیت مصارف، یکی از ابزارها برای مدیریت مصارف در دوره خشکسالی می‌باشد و حتی در صورت طولانی شدن و ورود به سطوح شدیدتر خشکسالی با اولویت‌بندی و تعدیل مصارف، می‌توان تاب‌آوری نسبت به پدیده خشکسالی را افزایش داد. راه‌اندازی بیمه خشکسالی یکی دیگر از راهکارهای اساسی در ایجاد آمادگی برای مقابله با بلای خشکسالی می‌باشد که همزمان با پذیرش تعدیل مصارف امکان جبران خسارات مالی را نیز فراهم خواهد نمود. یعنی بخشی از کاهش درآمد ناشی از خسارات خشکسالی از طریق وجوه بیمه جبران می‌گردد.

را در مقابل بلایای فاجعه‌بار ناشی از PMD افزایش دهد. لذا ضروری است تا مدیریت ریسک خشکسالی براساس حجم آب موجود در آبخوان‌ها برای تمام محدوده‌های مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد. بدیهی است که در صورت عدم وجود ذخیره کافی در آبخوان، برآورد کلیه نیازها در دوره PMD ممکن نبوده و می‌تواند خسارات جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. در این صورت برآورد حجم ذخیره استراتژیک، می‌تواند توأم با مدیریت تقاضا صورت پذیرد. قیمت‌گذاری آب، اولویت‌بندی و تعدیل مصارف در دوره خشکسالی، راه‌اندازی بیمه خشکسالی از مهم‌ترین ابزارها برای مدیریت ریسک خشکسالی بوده، که باید در مدیریت صحیح ریسک خشکسالی از آن‌ها استفاده شود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد تا برنامه جامع مدیریت ریسک خشکسالی برای شرایط وقوع PMD در هر محدوده مطالعاتی تدوین گردیده و در دستور کار قرار گیرد.

- 6- Sustainable Development
- 7- Vulnerability
- 8- Sustainability Threshold Level
- 9- Water Emergency Level
- 10- Groundwater Actual Level
- 11- Preparedness
- 12- Mitigation

سایت جمعیت ناجیان آب، مصوبه پانزدهمین جلسه شورای عالی آب در وزارت نیرو:

<http://najianeab.ir/index.php/2015-01-12-17-59-34/230-25-1393> (visited 17 July 2017)

شاهدی، م. و طالبی حسین‌آباد، ف. ۱۳۹۲. ارائه چند شاخص کاربردی به منظور بررسی تعادل منابع آب و پایداری توسعه،

- O'Brian K. and Leichenko R. 2007. Human Security, vulnerability and sustainable adaptation. Human Development Report 2007/2008, Human Development Report Office occasional paper, UN Development Programed, New York
- Larry P. and Gerald H. 2005. Climate and the Collapse of Maya Civilization, A series of multi-year droughts helped to doom an ancient culture, *American Scientist*, 93:322-329.
- Langridge R. 2012. "Drought and Groundwater: Legal Hurdles to Establishing Groundwater Drought Reserves in California" *Environs: Environmental Law and Policy Journal*, 4:34. [1environs.law.ucdavis.edu/issues/36/1/Langridge.pdf](http://environs.law.ucdavis.edu/issues/36/1/Langridge.pdf). (visited February 12, 2017).
- Simonovic S.P. 2009. Managing Water Resources Methods and Tools for a Systems Approach, Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), pages 233-241.
- UNFPA (The United Nations Population Fund), state of world population. 2015. Shelter from the storm, A transformative agenda for women and girls in a crisis-prone world; Adopted from: CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). 2015a. EM-DAT database. <http://www.emdat.be/>. Accessed 3 November 2015.
- UNDP .1994. Human development report: new dimensions of human security. UN Development Programme, New York.
- UNESCO – WWAP. 2003. Water for people–water for life .The United Nations World Water Development report 1 (WWDR1). Part of the UN World Water Assessment Program me (WWAP), UNESCO, Paris and Berghahn, New York.
- UNESCO - WWAP .2012. Managing water under uncertainty and risk, vol 1. The United Nations World Water Development report 4) WWDR4). Part of the UN World Water Assessment Program me(WWAP), UNESCO, Paris
- UNISDR. 2009. Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action Geneva. Available at: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications-and-reports/publication.asp?id=254>
- نشریه علمی- ترویجی آب و توسعه پایدار، ۱: ۷۳-۷۹.
- بانک جهانی. ۱۳۹۶. ترجمه گروه مطالعات جهانی اقتصاد کلان و مدیریت مالی خاورمیانه و شمال آفریقا. ناظر اقتصادی ایران بهبود نفت خیر. به سوی امنیت آبی ایران: چالش‌ها و فرصت‌ها، منبع:
- <http://documents.worldbank.org/curated/en/475561498863952323/Iran-economic-monitor-oil-driven-recovery> (visited 1 march 2018) Barnett J., Matthew R.A., O'Brian K.L. 2010. Global environmental change and human security: an introduction. The MIT Press, Cambridge, MA, pp 3-32.
- Brown A. and Matlock M.D. 2011. A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. The Sustainability Consortium, White Paper, University of Arkansas, AR, USA, 106 pp.
- Capelli G., Salvati R. and Petita M. 2001. Strategic groundwater resources in northern Latium volcanic complexes(Italy): identification Criteria and purposeful management, integrated water Resources Management. IAHS Publ.no. 272.2001.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013.No date. 'Drought facts'. rome, Italy. Available at fao.org/docrep/017/aq191e/aq191e.pdf. (visited 1 march 2018)
- Fathian F, Morid S. and Kahya E. 2014. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theor Appl Climatol*: 1–22 doi: 10.1007/s00704–014–1120–4.
- Izady A., Davari k, Ghahraman B., Alizadeh A., Sadeghi M. and Moghaddamnia A. 2012a. Application of panel-data modeling to predict groundwater levels in the Neishaboar Plain, Iran. *Hydrogeology Journal* 20(3):435-447, DOI: 10.1007/s10040-011-0814-2.
- Izady A., Davary K., Alizadeh A., MoghaddamNia, A., Ziaei A.N. and Hasheminia, S.M. 2013. Application of NN-ARX model to predict groundwater levels in the Neishaboar Plain, Iran. *Water Resources Management*, 27(14): 4773–4794. DOI: 10.1007/s11269-013-0432-y.
- Madani K., Aghakouck A. and mirchi A. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation, *Iranian Studies*, 49:6, 997-1016

- Series on Groundwater no. 3, UNESCO, Paris.
- WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. Our Common Future. (The Brundtland Report). Oxford, UK: Oxford University Press. 383 pages.
- Wilhite D.A. and Glantz M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10(3): 111-120.
- Wilhite D.A. 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions, University of Nebraska – Lincoln, Chapter 1, 2-6.
- able at unisdr.org/we/inform/publications/11541.
- UNISDR . 2015. Making development sustainable: the future of disaster risk management. Global assessment report on disaster risk reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva.
- UN-Water .2013. Water security and the global water agenda: a UN-Water analytical brief. Available at http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf. Accessed November 2015.
- Vrba J. and Verhagen B. 2011. Groundwater for emergency situations: a methodological guide. IHP-VIII,

Individual, Social, and Communication Factors which Affect Farmers' Participation in Irrigation Network Management in Sahand Dam, Iran

E. Tabrizi Dokht Fard¹, A. Shams^{2*}, Z. Hooshmandan Moghaddam Fard³

1, 2, 3- MSc. in Agricultural Extension and Education, Associate Professor & Ph.D Student in Agricultural Extension and Education, Department of Agricultural Extension, Communication and Rural Development, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*(Corresponding Author Email: Shams@Znu.ac.ir)

Received: 10-07-2016

Accepted: 12-04-2017

عوامل فردی، اجتماعی و ارتباطی تأثیرگذار بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری سد سهند

النا تبریزی دخت فرد^۱، علی شمس^{۲*}، زهرا هوشمندان مقدم فرد^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد ترویج و آموزش کشاورزی، دانشیار و دانشجوی دکتری ترویج و آموزش کشاورزی، گروه ترویج، ارتباطات و توسعه روستایی، دانشگاه زنجان.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: Shams@Znu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

Appropriate management of irrigation networks in the country requires an active participation of farmers in WUAs where different factors affect the participation level in this regards. The aim of this correlational-descriptive study is to investigate the components that influence the farmers' participation in irrigation network management of the Sahand Dam. The research tool was a questionnaire which its validity was confirmed by experts and by conducting a pilot study; and calculation of Cronbach's alpha higher than 7.0 for the composite indicators. The statistical population consists of all members of the three WUAs in the Sahand Dam Basin (N=34), which based on Krejcie and Morgan sampling table, 30 candidates were selected using a simple random sampling method. Data was collected by personal interviews in the villages and analyzed through the SPSS20 software. The results show that 73.3 percent of members had a medium and lower level of participation and their participation had a significant negative correlation with their age, family size, and years of agricultural experience. However, there was a significant positive correlation with their educational degree, social participation, social trust, social cohesion, usage of related information, usage of extension communication, and their knowledge of WUAs. Regression analysis show that the three variables of social cohesion, social trust, and age were responsible for 76.2 percent of participation variance. According to the results, with an increase in social capital among WUA members, the level of their participation in the management of water resources will be increased.

Keywords: Sustainable water management, Water user association, Farmers participation, Effective Factors.

چکیده

مدیریت صحیح شبکه‌های آبیاری در پایاب سدهای احداث شده در کشور نیازمند مشارکت فعال کشاورزان در قالب تشکلهای آبربران می‌باشد و عوامل متعددی بر مشارکت کشاورزان تأثیرگذار هستند که هدف تحقیق توصیفی همبستگی حاضر شناسایی سازه‌های فردی، اجتماعی و ارتباطی تأثیرگذار بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری سد سهند بود. ابزار پژوهش پرسشنامه ای بود که اعتبار آن توسط کارشناسان، انجام یک مطالعه آزمایشی و محاسبه آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ برای شاخص‌های ترکیبی بدست آمد. جامعه آماری کلیه ۳۴ بهره‌بردار مزارع پایین‌دست سد (به مساحت ۱۶۱ هکتار و شامل ۴ واحد زراعی) و اعضای تشکلهای آبربران گویچه قملاق، حاجی کندی و یانیق بودند که از طریق فرمول نمونه‌گیری کرجسی و مورگان ۳۰ نفر مشخص و به صورت تصادفی مطالعه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که اکثریت بهره‌برداران (۷۳/۳ درصد)، مشارکتی در حد متوسط و پایین‌تر داشتند و سطح مشارکت آن‌ها با متغیرهای سن، تعداد اعضای خانوار و سابقه کار کشاورزی رابطه منفی و معنی‌دار داشته ولی با سطح تحصیلات، اعتماد اجتماعی، انسجام اجتماعی، سطح ارتباطات ترویجی، میزان استفاده از منابع اطلاعاتی و سطح آگاهی از تشکلهای آبربران رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. نتایج تحلیل رگرسیونی نیز نشان داد سه عامل سن، انسجام و اعتماد اجتماعی ۷۶/۲ درصد از واریانس سطح مشارکت بهره‌برداران را تبیین می‌کند. با توجه به نتایج، با افزایش سرمایه اجتماعی در بین اعضای تشکلهای آبربران، مشارکت آن‌ها در مدیریت منابع آبی نیز افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پایدار منابع آب، تشکلهای آبربران، مشارکت کشاورزان، عوامل اثرگذار.

بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران (۱۳۹۳)، اراضی زیر کشت ایران حدود ۱۷ میلیون هکتار است که حدود ۸۷ میلیون هکتار آن را اراضی آبی تشکیل می‌دهد و از آنجا که کشور ایران از نظر جغرافیایی در یکی از مناطق خشک جهان جای دارد (UNDESA, ۲۰۱۲)، در نتیجه، کمبود آب از گذشته تا امروز یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه کشاورزی به شمار می‌آمده است (ازکیا و رستمعلی زاده، ۱۳۹۳؛ Nejat Pour, ۲۰۰۸)؛ به طوری که بر اساس شاخص سازمان ملل و مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آب واقع است (شاهروندی و چیدری، ۱۳۸۷). میانگین مصرف آب شیرین استحصالی بخش کشاورزی در ایران در حدود ۹۲ درصد است که در مقایسه با میانگین جهانی ۷۰ درصد در حدود ۲۲ درصد بیشتر است (جلیل پیران، ۱۳۹۱؛ ماقبل و همکاران، ۱۳۹۳) و با توجه به این میزان مصرف بالای آب در بخش کشاورزی، لزوم مدیریت صحیح استفاده از آب در کشاورزی بیش‌ازپیش احساس می‌شود (Ludwig و همکاران، ۲۰۱۴؛ Milano و همکاران، ۲۰۱۳؛ Cazcarro و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی تجارب گذشته نمایانگر این بوده که با وجود اینکه ورود دولت‌ها به عرصه ساخت سدهای بزرگ و یا سایر اقدامات وسیع دیگر در راستای تأمین و توزیع آب، باعث سرعت بخشیدن به رشد کشاورزی شده است، ولی این رویکرد، با مشکلاتی از قبیل نگهداری ضعیف از سامانه‌های آبیاری، اتلاف آب، استفاده نکردن از دیدگاه‌های کشاورزان در طراحی، اجرا و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با توسعه سامانه‌های آبیاری و فقدان انگیزه برای صرفه‌جویی آب همراه بوده است (نصرآبادی و حیاتی، ۱۳۹۳؛ حاتم و همکاران، ۱۳۹۱؛ Ayranci و همکاران، ۲۰۱۱؛ Ozertan و Kadirbeyolu, ۲۰۱۱). زیرا در چنین حالتی، کشاورزان در خود تعهدی در برابر آنچه که به آن‌ها متعلق نیست احساس نمی‌کنند (زارع و حیاتی، ۱۳۹۴). بنابراین، از آنجایی که مدیریت بهینه منابع آبی به منظور دستیابی به توسعه پایدار، امری ضروری است (Brame و همکاران، ۲۰۱۱؛ Wang و همکاران، ۲۰۰۸) و دستیابی به اهداف توسعه پایدار نیز بدون مشارکت مردم به عنوان عامل محوری توسعه امکان‌پذیر نیست (Azizi Khalkheili و Zamani, ۲۰۰۹؛ FAO, ۲۰۰۸؛ ازکیا و ایمانی، ۱۳۸۷)، دولت‌ها باید زمینه‌ها و سیاست‌هایی برای جلب مشارکت‌های مردمی برای مدیریت منابع آبی و در واقع مدیریت آبیاری مشارکت مدار فراهم نمایند (حاتم و همکاران، ۱۳۹۱؛ Facon, ۲۰۰۷). مدیریت آبیاری مشارکت‌مدار در تعریف بانک جهانی به معنی درگیری آب‌بران در تمامی سطوح و حوزه‌های مدیریت آبیاری است (Vuren و همکاران، ۲۰۰۴) و مناسب‌ترین راه انتقال مدیریت آب از دولت به کشاورزان، تعاونی‌های روستایی و تشکلهای آب‌بران می‌باشند (Facon, ۲۰۰۷). چنین تشکلهایی، موجب ایجاد حس مالکیت کشاورزان در نظام آبیاری، دخالت دادن کشاورزان در تمامی مراحل تسهیم هزینه‌ها،

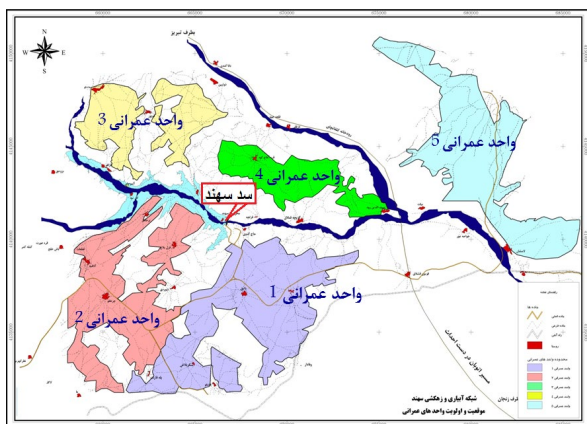
برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، حفاظت از سامانه‌های آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب آبیاری می‌شوند که وجود منافع مشترک بین نماینده امور آبیاری و زارعین باعث موفقیت هر چه بیشتر تشکلهای آب‌بران می‌شود (Zamani و Azizi Khalkheili, ۲۰۰۹؛ McDonald و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rattanatangtrakul, ۲۰۰۸؛ Kumar Das, ۲۰۰۷؛ آقاپور صباغی، ۱۳۹۱).

عوامل متعددی بر مشارکت کشاورزان تأثیرگذارند. در مطالعه‌ای به منظور بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در حفاظت، احیاء و بهره‌برداری از مراتع حوزه آبخیز خورتاب رودبار نتایج نشان داد که فقر اقتصادی و اجتماعی، عدم حمایت مالی دولت از مردم، فقر دانش منابع طبیعی و عدم آگاهی از قوانین و مقررات، عدم تشکیل کلاس‌های آموزشی و ترویجی، عدم به‌کارگیری دانش بومی در اجرای طرح‌های مرتع‌داری و دولتی ازجمله عوامل مؤثر بر عدم مشارکت بهره‌برداران بودند (محمودی و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج بررسی نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳) در زمینه عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در توسعه شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی در حوضه رودخانه بوژان شهرستان نیشابور نشان داد که از بین متغیرهای تحقیق، ده متغیر میزان مراجعه سایر کشاورزان به بهره‌بردار، بازدید از مزارع نمایشی، ملاقات با مروجان و کارشناسان، دسترسی به اعتبارات و تسهیلات، تحصیلات، میزان آب در دسترس، مقدار اراضی زیرکشت، آگاهی از مزایا و معایب مشارکت، سابقه اختلاف با جهاد کشاورزی و رضایتمندی شغلی توانستند جمعاً ۶۰ درصد از تغییرات متغیر وابسته میزان مشارکت بهره‌برداران در توسعه شبکه‌های فرعی آبیاری را پیش‌بینی کنند. همچنین در جایی دیگر، در فرآیند ظرفیت‌سازی تعاونی‌های آب‌بران، میرزایی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیقی گزارش کردند، نمایش فیلم‌های ترویجی، ملاقات مروج با کشاورزان در روستا و توصیه رهبران محلی ۳۶ درصد از مشارکت کشاورزان در تعاونی‌های آب‌بران را تبیین می‌کنند. در مطالعه انجام شده توسط Tohidyan Far و Rezaei Moghaddam (۲۰۱۵)، نتایج نشان داد که نگرش کشاورزان به مشارکت در پروژه‌های آبیاری، تحت تأثیر عواملی چون انسجام اجتماعی، کنترل رفتار درک شده، هنجارهای اجتماعی و نگرش به متغیرهای مدیریت منابع آبی قرار می‌گیرد. همچنین، نتایج حاکی از آن بود که متغیر انسجام اجتماعی در گروه پذیرنده و متغیر کنترل رفتار درک شده در گروه غیرپذیرنده اثر معنی‌داری را در نگرش کشاورزان به مشارکت در پروژه‌های آبیاری داشته است. Bohnet و همکاران (۲۰۱۱)، Arrnette و همکاران (۲۰۱۰) و Parkes و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات خود گزارش کردند که عوامل فردی و اجتماعی از قبیل آموزش، وابستگی به دولت، مشارکت اجتماعی و عضویت در نهادهای اجتماعی، تجربه، سطح تحصیلات، شغل و تعداد اعضای خانوار تحت پوشش بر مشارکت افراد در پروژه‌های حفاظت از آب و خاک اثر گذارند. Zamani و Azizi Khalkheili (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای در ارتباط با

مشارکت کشاورزان در شبکه آبیاری سد درودزن دریافتند که بعد خانوار، درک مسأله، وابسته بودن به سد به خاطر آب و تحصیلات افراد بر روی مشارکت آن‌ها در زمینه مدیریت آبیاری تأثیرگذار بودند و در مقابل تماس با منابع اطلاعاتی، تعداد دام، جامعه‌پذیری، سن و تجربه کار کشاورزی بر مشارکت آنها بی‌تأثیر بودند. نتایج مطالعه‌ای در قرقیزستان (Kazbekova و همکاران، ۲۰۰۹) در ارتباط با عملکرد تعاونی آب‌بران، نشان دهنده بالا بودن کارایی تعاونی مورد بررسی بود و این تعاونی‌ها به عنوان راه‌حل مناسبی برای مسأله توزیع آب بین کشاورزان گزارش شدند. Bhatta و همکاران (۲۰۰۶)، در پژوهشی دریافتند که کشاورزان جوان‌تر، تمایل بیشتری به مشارکت در پروژه‌های آبیاری دارند. در مطالعه دیگری که به منظور بررسی رابطه بین مشارکت و نتایج پروژه‌های آب روستایی در هند انجام شد، نتایج نشان داد که میزان مشارکت در طرح‌ها با افزایش دخالت خانواده‌ها در تصمیم‌گیری و همکاری در پرداخت هزینه‌ها بیشتر می‌شود (Prokopy، ۲۰۰۵، Serunkuma و همکاران (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که کشاورزان جوان‌تر و کشاورزانی که آبی‌کار هستند بیشتر از کشاورزان مسن‌تر و کشاورزان دیم‌کار، تمایل به مشارکت در پروژه‌های آبیاری مشارکتی دارند.

همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج متعدد صورت گرفته حاکی از اثرگذاری متغیرهای مختلف بر مشارکت بهره‌برداران در مدیریت شبکه آبیاری می‌باشد. با توجه به اینکه در حوضه سد سهند هشت‌رود استان آذربایجان شرقی مطالعه‌ای در این خصوص صورت نگرفته بود و نظر به اینکه مشارکت بهره‌برداران در مدیریت منابع آبی یکی از عوامل مهم در پایداری این مدیریت است، این مطالعه با هدف سنجش میزان مشارکت بهره‌برداران و عوامل اثرگذار بر مشارکت آن‌ها صورت گرفت و تأثیر سه دسته از عوامل اجتماعی، فردی و ترویجی ارتباطی بر میزان مشارکت اعضا، مورد بررسی قرار گرفت. شبکه آبیاری و زهکشی سهند به منظور انتقال آب از سد مخزنی سهند و توزیع آب به اراضی توسعه و بهبود در قالب پنج واحد عمرانی اجرا شده است (شکل ۱). این سد بر روی رودخانه قرآنقو چای از سرشاخه‌های قزل‌اوزن در شهرستان هشت‌رود استان آذربایجان شرقی احداث شده است. سد سهند از نوع خاکی با ارتفاع ۴۷ متر از بستر رودخانه و ۵۹ متر از پی می‌باشد. حجم کل سد ۱۶۵ میلیون مترمکعب و طول مخزن ۱۰ کیلومتر می‌باشد. واحد عمرانی یک شامل ۲۲۹۸ هکتار آبیاری بارانی و ۶۶۷ هکتار آبیاری قطره‌ای است و در مجموع با مساحتی در حدود ۳۰۰۰ هکتار در ارتفاعی بالاتر از تراز آب در مخزن سد قرار گرفته است. آب‌رسانی به اراضی از طریق ایستگاه پمپاژ اصلی و فرعی و شبکه لوله‌های تحت فشار صورت می‌گیرد (توتاخانه و همکاران، ۱۳۸۹). تا قبل از اصلاحات ارضی ۱۳۴۱ هیچ‌گونه نهاد رسمی مشارکتی در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود نداشت. در این دوره مدیریت کلان بهره‌برداری از اراضی کشاورزی و مراتع، بهره‌برداری از منابع آب و سازماندهی

گروه‌های بهره‌بردار به عهده‌ی مالک یا نماینده‌ی وی (ارباب) بود. نظام بهره‌برداری قبل از تشکیل تعاونی آب‌بران در این منطقه آغچا بوده که هر گروه فامیلی در دو یا سه جا از روستا اراضی زراعی در اختیار داشت که بخشی از آن یک آغچا تلقی می‌شد. هر آغچا مجموعه‌ی چند جفت گاو زمین بود که آق‌سقل هر گروه فامیلی بهره‌برداران، مسئولیت آن گروه بهره‌بردار که اصطلاحاً «جفت» (یا جوت) خوانده می‌شود را به عهده داشت و سرجفت نامیده می‌شد. سرجفت‌ها که در شمار ریش‌سفیدان آبادی محسوب می‌شدند، به عنوان معتمد و ذینفع در روستا، فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی را در روستاها سازماندهی می‌کردند. توزیع اراضی بین خانوارهای بهره‌بردار عضو گروه‌های فامیلی روستا، آغچابندی و صحرابندی اراضی کشاورزی، تنظیم نظام حقایقه‌بری و بهره‌برداری از منابع آب در روستاهایی که دارای زمین آبی بودند با هماهنگی و ابتکار عمل سرجفت‌ها سازماندهی می‌شد (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل، ۱۳۸۳). بعد از احداث سد و شروع به فعالیت تشکیل‌های آب‌بران نظام جدیدی از مدیریت منابع آبی مشترک در منطقه شکل گرفته است و مشارکت کشاورزان در این نظام بهره‌برداری و عوامل موثر بر این مشارکت هدف تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت پنج واحد عمرانی حوزه سد سهند نسبت به مخزن سد

روش پژوهش

تحقیق حاضر از لحاظ پارادایمی کمی، از لحاظ هدف کاربردی، از نظر نحوه گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات توصیفی (غیرآزمایشی) همبستگی و از نظر میزان نظارت نیز، جزء تحقیقات میدانی بوده است. متغیر وابسته تحقیق سطح مشارکت اعضای تشکیل‌های آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی بود که با استفاده از شاخص‌سازی ترکیبی مشتمل بر ۸ بعد و دربردارنده ماهیت مدیریت آب و برگرفته از نتایج مطالعات صورت گرفته در این حوزه تدوین گردید. همچنین از طریق شاخص‌سازی ترکیبی مشارکت اجتماعی (۲ گویه)، اعتماد اجتماعی (۳ گویه)، انسجام اجتماعی

(۵ گویه)، سطح آگاهی از تشکل (۶ گویه)، استفاده از منابع اطلاعاتی (۷ کانال) و سطح ارتباطات ترویجی (۵ گویه) به همراه برخی متغیرهای دیگر سنجیده شدند. روایی ابزار تحقیق پرسشنامه از طریق نظرات اعضای هیات علمی متخصص در رشته‌های مهندسی آب، ترویج و آموزش کشاورزی، توسعه روستایی، همچنین کارشناسان صاحب نظر شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی تأیید شد و نظرات اصلاحی و تکمیلی آن‌ها در تکمیل پرسشنامه مدنظر قرار گرفت. برای تعیین پایایی یا قابلیت اعتماد با انجام پیش‌آزمون و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ برای بخش‌های مختلف اقدام شد. جامعه آماری تحقیق کلیه بهره‌برداران تشکل‌های در حال بهره‌برداری از آب زیر حوزه سد سهند هشتروند بودند. بهره‌برداران مزارع پاپلوت (به مساحت ۱۶۱ هکتار و شامل ۴ واحد زراعی) با ۳۴ نفر از اعضای تعاونی‌های آب‌بران گویجه قملاق، حاجی کندی و یانیق بودند (عملیات لوله‌کشی اراضی این تشکل‌ها از سال ۱۳۸۸ شروع و در سال ۱۳۸۹ به بهره‌برداری رسیده بود) که از طریق جدول نمونه‌گیری کرجسی و مورگان (۱۹۷۰) با خطای پنج درصد ۳۰ نفر به عنوان نمونه مشخص و با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب و مطالعه شدند. ۲۰ درصد کشاورزان انتخاب شده از روستای گویجه قملاق، ۱۰ درصد از روستای یانیق و ۷۰ درصد از روستای حاجی کندی بودند. این سه روستا در منطقه

نتایج یافته‌ها

در تحقیق حاضر برای سنجش سرمایه اجتماعی (انسجام اجتماعی، اعتماد اجتماعی و مشارکت اجتماعی)، سطح آگاهی از تشکل، میزان استفاده از منابع اطلاعاتی و سطح ارتباطات ترویجی بهره‌برداران از طیفی چهارسطحی (هیچ تا زیاد) استفاده شد. با جمع جبری امتیازات کلیه گویه‌ها و لحاظ کردن حداقل امتیاز شاخص (تعداد گویه ضریدر پایین‌ترین امتیاز طیف مورد سنجش یعنی هیچ برابر با صفر) و حداکثر امتیاز شاخص (تعداد گویه ضریدر بالاترین امتیاز طیف مورد سنجش یعنی زیاد برابر با ۳)، این شاخص‌های ترکیبی در سه طبقه کم، متوسط و زیاد کدبندی مجدد شد. در خصوص بعد انسجام سرمایه اجتماعی نتایج نشان داد که از دید اکثریت افراد مورد مطالعه (۶۶/۷ درصد)، انسجام اجتماعی در سطح متوسط بود. اعتماد اجتماعی ۵۰ درصد کشاورزان در سطح متوسط و در مجموع اعتماد اجتماعی ۹۶/۷ درصد متوسط و کمتر بود. ۴۰ درصد کشاورزان دارای مشارکت اجتماعی زیاد و مابقی ۶۰ درصد هم به صورت مساوی دارای مشارکت اجتماعی کم و متوسط بودند. سطح آگاهی اکثریت بهره‌برداران (۴۰ درصد) در خصوص تشکل در حد متوسط بود. با توجه به درگیر بودن اعضای تشکل‌ها در کارهای تشکل این سطح آگاهی قابل قبول می‌باشد. اکثریت (۵۳/۳ درصدی) افراد مورد مطالعه در سطح متوسطی از منابع اطلاعاتی در خصوص

مورد مطالعه، اراضی تحت پوشش واحد عمرانی یک شبکه آبیاری سد سهند بودند. داده‌های این تحقیق از کشاورزانی جمع‌آوری شد که اکثریت آن‌ها میان سال بودند (میانگین = ۴۰ سال). متوسط بعد خانوار آن‌ها چهار نفر بود. از نظر سطح تحصیلات، ۳۶/۶ درصد افراد بی‌سواد و بقیه افراد (۵۳/۴ درصد) که غالب پاسخگویان را تشکیل می‌دادند، دارای تحصیلات تا سطح دیپلم بودند و فقط ۱۰ درصد دارای تحصیلات دانشگاهی بودند. شغل ۷۶/۷ درصد کشاورزی بود و میانگین سابقه کار کشاورزی آن‌ها نیز در حدود ۴۰ سال بود. از نظر محل سکونت ۱۳ نفر از کشاورزان ساکن در روستا نبوده بلکه در شهرهایی مثل هشتروند، نظرآباد، تبریز و تهران سکونت داشتند و به عبارتی دیگر دارای مهاجرت فصلی بودند. با توجه به اینکه در زمان انجام تحقیق برخی از این کشاورزان در روستا حضور نداشتند، لذا پس از کسب آدرس دقیق این کشاورزان و پیدا کردن شماره تماس آن‌ها و هماهنگی قبلی، ضمن مراجعه حضوری به درب منازل آن‌ها نسبت به انجام مصاحبه حضوری و تکمیل پرسشنامه‌ها اقدام گردید. جامعه آماری مورد مطالعه فاقد اراضی اجاره‌ای بودند و زمین‌های تحت کشت در مالکیت شخصی خودشان بود. متوسط میزان کل اراضی پاسخگویان (اراضی دیم و اراضی دیم تبدیل شده به اراضی آبی) ۸/۲ هکتار بود که نشان‌دهنده بزرگ بودن قطعات زراعی جامعه مورد مطالعه می‌باشد.

مدیریت آب استفاده می‌کردند، ولی در مقابل ۶۰ درصد آن‌ها از ارتباطات ترویجی پایین برخوردار بودند.

جدول ۱- توزیع درصد و فراوانی پاسخگویان بر پایه متغیرهای مورد مطالعه

متغیر	کم	متوسط	زیاد
انسجام اجتماعی	۳۱ (۳/۳)	۲۰ (۶۶/۷)	۹ (۳۰)
اعتماد اجتماعی	۱۴ (۴۶/۷)	۱۵ (۵۰)	۱ (۳/۳)
مشارکت اجتماعی	۹ (۳۰)	۹ (۳۰)	۱۲ (۴۰)
سطح آگاهی از تشکل	۷ (۲۳/۳)	۱۲ (۴۰)	۱۱ (۳۶/۷)
استفاده از منابع اطلاعاتی	۹ (۳۰)	۱۶ (۵۳/۳)	۵ (۱۶/۷)
سطح ارتباطات ترویجی	۱۸ (۶۰)	۱۰ (۳۳/۳)	۲ (۶/۷)

طیف مورد استفاده: هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳)

متغیر وابسته تحقیق، یعنی مشارکت کشاورزان با ۸ گویه مورد سنجش قرار گرفت. رتبه‌بندی ابعاد مشارکت برحسب میانگین در جدول (۲) نشان می‌دهد که مشارکت در رفع مشکلات ناشی از توزیع آب در رتبه اول و مشارکت در تأمین هزینه‌های حفظ و نگهداری سامانه‌های آبیاری در رتبه آخر قرار گرفته‌اند. پاسخگویان در چهار بعد اول مشارکتی بیشتر از حد متوسط ولی در چهار مورد بعدی، مشارکت کمتر از حد متوسط داشتند.

جدول ۲- توزیع فراوانی و رتبه‌بندی پاسخگویان در خصوص ابعاد مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری

رتبه	ابعاد مشارکت	درصد فراوانی					شاخص‌های آماری	
		هیچ	کم	متوسط	زیاد	میلگین	انحراف معیار	
۱	مشارکت در رفع مشکلات و اختلافات محلی ناشی از توزیع آب	۱۰	۲۳/۳	۳۰	۳۶/۷	۱/۹۳	۱/۰۱۵	
۲	مشارکت در برنامه‌ریزی طرح‌های آب‌رسانی (تعیین مسیر لوله‌ها یا واگذاری زمین خود برای اجرای تأسیسات طرح)	۲۰	۱۰	۲۶/۷	۴۳/۳	۱/۹۳	۱/۱۷۲	
۳	مشارکت و کمک در کارهای احداث شبکه (لوله‌گذاری و پمپاژ) از نظر مالی	۲۳/۳	۱۳/۴	۱۳/۳	۵۰	۱/۹۰	۱/۲۶۹	
۴	مشورت با کارشناسان و مسئولین در رابطه با تعمیر و نگهداری شبکه و لوله‌ها	۲۶/۷	۱۶/۶	۳۰	۲۶/۷	۱/۵۷	۱/۱۶۵	
۵	مراجعه به سازمان‌های دولتی در رابطه با مسائل مربوط به آب روستا	۳۰	۳۳/۳	۱۳/۴	۲۳/۳	۱/۳۰	۱/۱۴۹	
۶	مشارکت در تعمیر و نگهداری لوله‌ها و سامانه‌های آبیاری از نظر نیروی کارگری	۳۶/۷	۲۰	۲۶/۷	۱۶/۶	۱/۲۳	۱/۱۳۵	
۷	مشارکت کارگری در کارهای احداث شبکه (لوله‌گذاری و پمپاژ)	۳۶/۷	۳۳/۳	۲۰	۱۰	۱/۰۳	۰/۹۹۹	
۸	مشارکت در تأمین هزینه‌های حفظ و نگهداری سامانه‌های آبیاری	۴۶/۷	۲۰	۲۳/۳	۱۰	۰/۹۷	۱/۰۶۶	

طیف مورد استفاده: هیچ (۰)، کم (۱)، متوسط (۲)، زیاد (۳)

همچنین شاخص‌های عددی ضریب تلورانس (بزرگ بودن همه موارد از ۰/۷۸) و نیز شاخص‌های عددی عامل تورم واریانس (همه موارد کوچک‌تر از ۱/۲۶) نشان می‌دهد که هم خطی بین متغیرهای مستقل وجود نداشته و فرض دوم تحقیق نیز صادق است. آماره دوربین واتسن (مابین ۱/۵ و ۲/۵) نیز نشان داد که خطاها از هم مستقل بوده و لذا انجام تحلیل رگرسیون خطی از لحاظ آماری مشکلی ندارد.

جدول ۳- همبستگی بین سطح مشارکت با متغیرهای مورد مطالعه

متغیر مستقل	r	p
سن	-۰/۶۲۱	۰/۰۰۰**
تعداد اعضای خانوار	-۰/۶۰۶	۰/۰۰۰**
میزان تحصیلات	۰/۵۳۰	۰/۰۰۳**
سابقه کار کشاورزی	-۰/۳۹۸	۰/۰۲۹*
مشارکت اجتماعی	۰/۵۹۷	۰/۰۰۱*
اعتماد اجتماعی	۰/۵۴۷	۰/۰۰۳**
انسجام اجتماعی	۰/۶۸۹	۰/۰۰۰**
سطح ارتباطات ترویجی	۰/۶۴۱	۰/۰۰۰**
میزان استفاده از منابع اطلاعاتی	۰/۵۴۰	۰/۰۰۳**
سطح آگاهی از تشکل	۰/۵۷۵	۰/۰۰۱**

*، ** به ترتیب معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱

پس از جمع جبری امتیازات هشت گویه و کدبندی مجدد، نتایج نشان داد که اکثریت بهره‌برداران (۷۳/۳ درصد) مشارکتی در حد متوسط و پایین‌تر داشتند. ۲۶/۷ درصد هم مشارکتی زیاد داشتند. جهت شناسایی رابطه بین میزان مشارکت با سایر متغیرهای مورد مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ۳).

نتایج همبستگی نشان داد که کشاورزان مسن‌تر، با سابقه کار کشاورزی بیشتر و نیز دارای تعداد اعضای خانوار بیشتر در مقایسه با افراد جوان‌تر، دارای سابقه کمتر کشاورزی و نیز خانوار کمتر دارای مشارکت کمتری هستند. ولی در مقابل کشاورزانی که دارای سطح بالای استفاده از منابع اطلاعاتی و نیز ارتباطات ترویجی بودند و نیز آگاهی آن‌ها از ماهیت و کارکرد تشکل بیشتر بود، مشارکتشان در مقایسه با کشاورزان دیگر بیشتر بود. همچنین سرمایه اجتماعی در قالب سه مؤلفه اعتماد، انسجام و مشارکت اجتماعی رابطه مثبتی با مشارکت دارا بود، به عبارتی با افزایش سرمایه اجتماعی سطح مشارکت کشاورزان هم بالاتر بود. از رگرسیون چندگانه خطی برای بررسی تأثیر متغیرهای مستقل مورد مطالعه بر مشارکت استفاده گردید (جدول ۴). در ابتدا برای بررسی نرمال بودن متغیر وابسته تحقیق (میزان مشارکت) از آزمون تک نمونه‌ای کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد و نتایج نشان داد ($p=0/584$, $Z=0/776$) که توزیع این متغیر با توزیع نرمال، تفاوت معنی‌داری نداشته و لذا می‌توان آن را نرمال فرض کرد.

جدول ۴- رگرسیون گام به گام تأثیر متغیرهای مستقل مورد مطالعه بر مشارکت بهره‌برداران

متغیر مستقل	R	R2	B	Beta	T	Sig	Tolerance	VIF
مقدار ثابت	-	-	۲/۵۱۲	-	۰/۶۵۵	۰/۵۱۸		
انسجام اجتماعی	۰/۶۸۹	۰/۴۷۵	۱/۱۴۰	۰/۴۷۳	۴/۳۸۴	۰/۰۰۰**	۰/۷۸۹	۱/۲۶
اعتماد اجتماعی	۰/۸۲۰	۰/۶۷۳	۰/۹۵۷	۰/۴۱۶	۴/۲۶۷	۰/۰۰۰**	۰/۹۶۳	۱/۰۳
سن	۰/۸۷۳	۰/۷۶۲	-۰/۱۷۲	-۰/۳۳۶	-۳/۱۰۹	۰/۰۰۵**	۰/۷۸۵	۱/۲۷

آماره دوربین واتسن: ۱/۹۲۵ Sig = ۰/۰۰۰ F = ۲۷/۶۹۶

تحلیل رگرسیونی با توجه به مقدار آماره F در سطح یک درصد معنی دار بود. از مجموعه متغیرهای مستقل مورد مطالعه سه متغیر انسجام اجتماعی، اعتماد اجتماعی و سن، در سه گام وارد معادله شدند و در مجموع این متغیرها ۷۶/۲ درصد از واریانس متغیر وابسته (میزان مشارکت) را تبیین کردند. بررسی ضرایب رگرسیون استاندارد شده نشان می دهد که متغیر انسجام اجتماعی نسبت به سایر متغیرها سهم و نقش بیشتری در تبیین متغیر وابسته دارد و به ازای یک واحد تغییر در انحراف معیار این متغیر به اندازه ۰/۴۷۳ در انحراف معیار متغیر وابسته (میزان مشارکت) تغییر ایجاد می گردد. نتایج جدول فوق بیانگر این است که دو متغیر به صورت مستقیم و مثبت ولی متغیر سن کشاورزان به صورت معکوس پیش بینی کننده های میزان مشارکت هستند.

بحث و پیشنهادها

هرگونه برنامه ریزی در راستای اثربخش کردن کارکرد تشکلهای آببران نیازمند افزایش مشارکت اعضای این تشکلهای مدیریت شبکه آبیاری می باشد. افزایش مشارکت هم نیازمند شناسایی سازه های اثرگذار می باشد که این تحقیق نیز با این هدف در زیرحوضه سد سهند هشت رود انجام گرفت. سه تشکلهای مورد مطالعه تنها تشکلهایی بودند که اعضای آن از آب استفاده می کنند و پروژه به حالت بهره برداری رسیده بود. نتایج تحقیق نشان داد که در کل میزان مشارکت اکثریت کشاورزان متوسط به پایین است و لذا نیاز است که این سطح مشارکت افزایش داده شود. مشارکت با سن کشاورزان رابطه منفی داشت و همان گونه که Bhatta و همکاران (۲۰۰۶) و Serunkuma و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیق خود دریافتند، کشاورزان جوان تر تمایل بیشتری به مشارکت در پروژه های آبیاری دارند، در تحقیق حاضر نیز همین مشاهده گردید و با افزایش سن بهره برداران، تمایل آن ها به مشارکت کاهش می یابد. البته در مطالعه Khalkheili و Zamani (۲۰۰۹)، سن، تأثیری بر مشارکت نداشته است. تأثیر سن بر مشارکت خود تحت تأثیر متغیرهای میانجی دیگری مانند سطح تحصیلات، درآمد، بعد خانوار و غیره تعدیل می شود. برای مثال، با افزایش سن، احتمال تأهل افراد و افزایش تعداد خانوار بیشتر می شود و همین بر روی مشارکت افراد تأثیر می گذارد. آن گونه که Bohnet و همکاران (۲۰۱۱)، Arnette و همکاران (۲۰۱۰) و Parkes و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کرده اند، تعداد اعضای خانواده بر روی مشارکت افراد در پروژه های آبیاری تأثیر دارد. در این تحقیق نیز در تطابق با یافته های رودگر و همکاران (۱۳۹۲)، مشاهده شد که این ارتباط منفی است و با افزایش تعداد اعضای خانوار بهره بردار، مشارکت او در مدیریت شبکه آبیاری کاهش معنی داری پیدا کرده است. نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳)، گزارش کردند که رابطه مشارکت افراد مورد مطالعه با تعداد اعضای خانوار مثبت ولی با تجربه کار کشاورزی منفی بود. نتایج تحقیق نشان داد که سابقه کار کشاورزی رابطه منفی با مشارکت داشت. طبق مطالعات Bohnet و همکاران (۲۰۱۱)، Arnette و همکاران

(۲۰۱۰) و Parkes و همکاران (۲۰۱۰) سابقه کار کشاورزی بر مشارکت تأثیری مثبتی ولی در مطالعه نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳) این تأثیر منفی بود. Zamani و Azizi Khalkheili (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که تجربه کار کشاورزی، اثری بر میزان مشارکت افراد ندارد. به نظر می رسد که افراد مسن تر به دلیل تمایل کمتر به ریسک پذیری، پذیرش ایده ها و تغییرات جدید و یا به عبارتی محافظه کاری تمایل کمتری برای مشارکت در طرح های جدید داشته باشند. از طرفی افراد در سنین بالاتر تجربه بیشتری از طرح های انجام شده در گذشته دارند و اگر این تجربه برایشان ایجاد ذهنیت منفی کرده باشد، باعث مقاومت آن ها در برابر تجربیات جدید و شرکت در طرح ها و پروژه های پیشنهادی خواهد شد. با توجه به واقعیت فوق پیشنهاد می شود به منظور جلب مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه آبیاری و ایجاد اطمینان از موفقیت پروژه ها قبل از اجرای هر پروژه آبیاری از طریق ارزیابی مشارکتی نسبت به شناخت نیازهای بهره برداران و عوامل اجتماعی و اقتصادی مرتبط با پروژه اقدام کرد. زیرا اجرای پروژه ها بدون مطالعات مناسب زمینه های، عدم موفقیت را در پی خواهد داشت (سروستانی و همکاران، ۱۳۹۱). سپس با استفاده از جلسات مشاوره، افراد را به مشارکت تشویق نمود. همچنین، در تطابق با نتایج تحقیقات Azizi Khalkheili و Zamani (۲۰۰۹)، نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳)، Bohnet و همکاران (۲۰۱۱)، Arnette و همکاران (۲۰۱۰) و Parkes و همکاران (۲۰۱۰) و رودگر و همکاران (۱۳۹۲)، مشخص شد که سطح تحصیلات تأثیر مثبتی بر میزان مشارکت دارد. با توجه به اینکه با افزایش تحصیلات، آگاهی افراد، تمایل آن ها به یادگیری، علاقه به پیشرفت و در نتیجه تمایل به مشارکت افزایش پیدا می کند، این نتیجه قابل توجه است. نظر به رابطه مثبت و معنی دار بین میزان برخورداری از تماس های ترویجی، میزان استفاده از منابع اطلاعاتی و میزان آگاهی از تشکلهای مدیریت مشارکت افراد لازم است، برای افرادی که از سطح تحصیلات پایین تری برخوردارند، دوره های آموزشی و ترویجی مناسبی برای آگاه سازی آن ها با مزایای مشارکت در مدیریت شبکه آبیاری برگزار شود. Aydogdu و همکاران (۲۰۱۵) بین آگاهی از تشکلهای رضایت افراد از طرح های مشارکتی آبیاری رابطه مثبتی را گزارش کرده اند و نیز طبق تحقیق Ozertan و Kadirbeyolu (۲۰۱۱)، بهره بردارانی که دارای میزان بالاتری از مشارکت بودند، دارای رضایت بیشتری از تشکلهای خود بودند. یافته های محمودی و همکاران (۱۳۹۳) در این زمینه نشان داد که عدم آگاهی از قوانین و مقررات و عدم تشکیل کلاس های آموزشی و ترویجی از جمله موانع مشارکت بهره برداران بوده اند. بنابراین، هرچه قدر افراد راجع به فعالیت هایی که در تشکلهای انجام می گیرد، اطلاعات بیشتری کسب نمایند، رضایتشان نیز بیشتر می شود و انگیزه و تمایل بیشتری به مشارکت در فعالیت های آن پیدا می کنند که این یافته با نتایج تحقیقات میرزایی و همکاران (۱۳۸۸) و نصرآبادی و حیاتی (۱۳۹۳) همخوانی دارد. همچنین با توجه به تأثیر مهم گروه های مرجع افراد بر شکل گیری هنجارهای ذهنی، استفاده از افراد تحصیل کرده و باسوادتر در ترغیب سایر اعضای گروه به مشارکت در مدیریت طرح های آبیاری

می‌تواند مؤثر باشد. هم‌راستا با یافته‌های Rezaei و Moghaddam (۲۰۱۵)، بین اعتماد اجتماعی و انسجام اجتماعی با مشارکت، رابطه مثبت و معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده این است که مشارکت در افراد جامعه‌ای که اعتماد و انسجام بیشتری بین اعضای آن وجود دارد، بیشتر است. در واقع، اعتماد و انسجام اجتماعی دو وجه بارز از وجوه سرمایه اجتماعی هستند (احمدوند و شریف‌زاده، ۱۳۹۰) و تحقیقات مختلف نیز نشان‌دهنده این بوده‌اند که روستاییانی که سرمایه اجتماعی بالاتری دارند، راحت‌تر به منابع دانش و آگاهی در راستای افزایش تولیدات خود دست یافته و از فعالیت‌های اقتصادی موجود خود محافظت می‌کنند و حتی قادرند با خلق شرایط اقتصادی

منابع

جدیدتر، شرایط موجود خود را بهبود بخشند (Krause و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین، با توجه به اهمیت بالای دو عامل اعتماد و انسجام اجتماعی، در مشارکت افراد در مدیریت آبیاری، لازم است نسبت به تقویت آن‌ها در جامعه سرمایه‌گذاری نمود. برای مثال از طریق ترویج فرهنگ همیاری در روستاها، تشویق افراد در تسهیم دانش و اطلاعات خود با یکدیگر، استفاده از نشریات، رادیو و تلویزیون محلی برای ارائه اطلاعات مناسب و به موقع و با گوییش محلی به روستاییان، اعتماد آن‌ها را به مسئولین محلی و برنامه‌های در نظر گرفته شده افزایش داد و انسجام اجتماعی را در جامعه تقویت نمود تا بدین وسیله زمینه‌های بروز مشارکت بیشتر و مؤثرتر افراد در مدیریت شبکه‌های آبیاری فراهم شود.

شاهرودی، ع. ا. و چیدری، م. ۱۳۸۷. عوامل تأثیرگذار بر مشارکت کشاورزان در مدیریت شبکه‌های آبیاری. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۱۳۹(۱): ۶۳-۷۵.

محمودی، ج.، لطفی، ش. و مهدوی، س. خ. ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در حفاظت، احیاء و بهره‌برداری از مراتع (مطالعه موردی حوزه آبخیز خورتاب رودبار شهرستان نور). حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی. ۲(۱): ۴۹-۶۴.

ماقبل، ر. ا. نادری مهدی، ک.، پاک‌نیا، ف. و نصیری، م. ۱۳۹۳. بررسی سازوکارهای توسعه و تقویت تعاونی‌های آب بران (مطالعه موردی: حوضه رود ارس) کاربرد روش AHP. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۸(۱): ۵۵-۶۳.

مرکز آمار ایران. ۱۳۹۳. سرشماری عمومی کشاورزی، قابل‌دستیابی در <http://www.amar.org.ir>

میرزایی، آ.، مدنی، س. م. و اسداللهی، م. ۱۳۸۸. اثرات اقتصادی-اجتماعی تعاونی‌های آب‌بران خراسان شمالی (سد بارزو شیروان). اولین همایش ملی رویکردهای نوین مشارکت مردمی در مطالعه، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۷ و ۸ بهمن ماه ۱۳۸۸. مجتمع فرهنگی و رفاهی فرهنگیان شیراز. ۴۹۳-۵۰۳.

نصرآبادی، ح. و حیاتی، د. ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر مشارکت بهره‌برداران در توسعه شبکه‌های فرعی آبیاری و زهکشی در حوضه رودخانه بوژان شهرستان نیشابور. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۸(۴): ۷۲۵-۷۳۵.

سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل. ۱۳۸۳. مطالعات اجتماعی و بهره‌برداری از شبکه آبیاری و زهکشی سد سهند، گزارش گزینه‌های اقدام پایاب سد سهند.

Arrnette A., Zobel C., Bosch D., Pease J. and Metcalfe T. 2010. Stakeholder ranking of watershed goals with the vector analytic hierarchy process: Effects of participant grouping scenarios. Journal of Environmental Modeling and Software, 25: 1459-1469.

Aydogdu M., Karli B. and Yenigun K. 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): 033-041.

احمدوند، م. و شریف‌زاده، م. ۱۳۹۰. تعیین‌کننده‌های مشارکت اجتماعی زنان روستایی: مورد مطالعه شهرستان بوی‌احمد. مطالعات زنان، ۹(۳): ۱۳۹-۱۶۶. ازکیا، م. و رستمعلی‌زاده، ا. ۱۳۹۳. جنبه‌های اجتماعی نظام آبیاری در ایران. انسان‌شناسی، ۱۲(۲۱): ۱۱-۴۳.

ازکیا، م. و ایمانی، ع. ۱۳۸۷. توسعه پایدار روستایی، نشر اطلاعات، تهران، ویرایش اول.

آقاپور صباغی، م. ۱۳۹۱. عوامل مؤثر بر پذیرش تشکلهای مردمی مرتبط با آب: مطالعه موردی اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی گتوند. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۰(۷۹): ۶۷-۸۸.

توتخانه، ی.، آقاپور، ی. و فانی، غ. ۱۳۸۹. نگرشی بر محدودیت‌ها و چالش‌های فراوری تعاونی آب‌بران و راه‌های برون‌رفت از آن در شبکه آبیاری و زهکشی صوفی‌چای. پنجمین کارگاه فنی مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران: ۱۱۵-۱۰۴.

جلیل پیران، ح. ۱۳۹۱. نقش قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب، بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی، ۲: ۱۱۹-۱۲۸.

حاتم، ا.، منعم، م. ج. و باقری، ع. ۱۳۹۱. توسعه مدل پویایی سامانه بهسازی شبکه آبیاری با توجه به مشارکت کشاورزان و ارتقای مدیریت شبکه. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۳(۴): ۱-۲۴.

رودگر، ا.، محمودی، ج. و مهدوی، س. خ. ۱۳۹۲. بررسی رابطه بین ویژگی‌های فردی بهره‌برداران و میزان مشارکت آن‌ها در اجرای طرح‌های مرتعداری (مطالعه موردی: دهستان فارساق از توابع بخش لاریجان شهرستان آمل). اولین همایش سراسری محیط‌زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران، موسسه آموزش عالی مهراروند، گروه ترویجی دوستداران محیط‌زیست. زارع، ش. و حیاتی، د. ۱۳۹۴. تجربه موفق مدیریت مشارکتی آبیاری، مطالعه موردی: شرکت سهامی آبیاری و کشاورزی مجن-شاهرود. نشریه آب و توسعه پایدار، ۱(۳): ۸۳-۸۸.

سروستانی، م.، پروین، ا.، بقایی، ح. و کردانی، م. ۱۳۹۱. بررسی نقش و اهمیت مشارکت جوامع روستایی در طرح‌های توسعه نواحی روستایی (مطالعه موردی: پروژه آبیاری میاناب شوشتر). همایش ملی توسعه روستایی، رشت، دانشگاه گیلان.

- Adaptation and Integrated Water Resource Management in the Water Sector. *Journal of Hydrology*, 518: 235-242.
- Milano M., Ruelland D., Dezetter A., Fabre J., Ardoin-Barin S. and Servat E. 2013. Modeling the Current and Future Capacity of Water Resources to Meet Water Demands in the Ebro basin. *Journal of Hydrology*, 500:114-126.
- Nejat Pour H. 2008. Optimal use of water resources using low-irrigation techniques (case study, Fars province). *Reporting journal*, 3(17): 37-43.
- Parkes MW., Morrison KE., Bunch MJ., Hallstrom LK., Neudorffer RC., Venema HD. and Waltner-Toews D. 2010. Towards integrated governance for water, health and social- ecological systems: The watershed governance prism. *Journal of Global Environmental Change*, 20: 693-704.
- Bhatta K. P., Ishida A. Taniguchi K. and Sharma R. 2006. Irrigation and Drainage Systems, 20(11): 110-131.
- McDonald K., Bosshard P. and Brewer N. 2009. Exporting dams: china's hydropower industry goes global. *Journal of Environmental Management*, 90 :294-302.
- Prokopy LS. 2005. The relationship between participation and project outcomes: audience from rural water supply projects in India. *Journal of World Development*, 33(11): 1801-1819.
- Rattanatangtrakul U. 2008. Participatory Irrigation Management (PIM) In Thailand. [on-line] Available at: <http://www.rid.go.th/Thaacid/text/07PIM.pdf>.
- Serunkuma D., Ochom N. and Ainembabazi H. 2003. Collective Action in Canal Irrigation Systems Management: The Case of Doho Rice Scheme in Uganda, IFPRI. Eastern Africa Food Policy Network. Report 9, Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.474.9290&rep=rep1&type=pdf>.
- Tohidyan Far S. and Rezaei Moghaddam K. 2015. Attitudes of farmers toward participation in irrigation and drainage projects: the structural equations modeling analysis. *Iran Agricultural Research*, 34(1): 80-91.
- United Nation Developments of Economic and Social Affairs (UNDESA). 2012. Word Water Development Report 4, World Water Assessment Programme (WWAP).
- Vuren GV., Papin C. and Haouari NE. 2004. Participatory Irrigation Management: comparing theory with practice, A case study of the Beni Amir irrigation scheme in Morocco. Wageningen University, 11p.
- Wang X., Yu Z., Cinderby S. and Forrester J. 2008. Enhancing participation: experiences of participatory geographic information systems in Shanxi province, China. *Applied Geography*, 28(2): 96-109.
- Ayranci Y. and Temizel K. 2011. Participatory irrigation management. *Tarım Bilimleri Arastırma Dergisi*, 4(1): 77-86.
- Azizi Khalkheili T. and Zamani G.H. 2009. Farmer participation in irrigation management: The case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran. *Agricultural Water Management*, 96: 859-865.
- Bohnet CL., Roberts B., Harding E. and Haug KJ. 2011. A typology of grazers to inform a more targeted approach for developing natural resource management policies and agricultural extension programs. *Journal of Land Use Policy*, 28(3): 629-637.
- Brame J., Li Q. and Alvarez PJ. 2011. Nanotechnology-enabled water treatment and reuse: emerging opportunities and challenges for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 22(11): 618-624.
- Cazcarro I., Duarte R. and Sanchez-Chlíz J. 2013. Economic Growth and the Evolution of Water Consumption In Spain: A Structural Decomposition Analysis, *Journal of Ecological Economics*, 96: 51-61.
- Facon T. 2007. Performance of Irrigation and Participatory Irrigation Management: Lesson from FAO's Irrigation Modernization Program in Asia. Available at: www.vn-cold.vn/Modules/CMS/Upload/13/Documents/PIM-faconEW_19_10_07/PIMfaconEW.pdf.
- FAO. 2008. Irrigation management transfer, worldwide efforts and results, *Water Report*. 32: 119.
- Kadibeyolu Z. and Ozertan G. 2011. Users' Perceptions of Water User Associations: Evidence from Three Cases in Turkey Working Paper. 1-29. [on-line] Available at: http://www.econ.boun.edu.tr/public_html/RePEc/pdf/201101.pdf
- Kazbekova J., Abdullaev I., Manthirithilak H., Qureshi A. and Jumaboev K. 2009. Evaluating planning and delivery performance of water user associations (WUAs) in Osh Province, Kyrgyzstan, *Agriculture Water Management*, 96(8): 1259-1267.
- Khalkheili T. A. and Zamani G. H. 2009. Farmer participation in irrigation management: the case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran. *Agricultural water management*, 96(5): 859-865.
- Krause DR., Handfield RB. and Tyler BB. 2007. The relationships between supplier development, commitment, social capital accumulation and performance improvement. *Journal of Operations Management*, 25: 528-545.
- Kumar Das D. 2007. Community Based micro-planning in PIM: Entry point activates for sustainability. The 4th Asian regional conference and 10th International Seminar on participatory irrigation management, Tehran- Iran 2-5 May 2007.
- Ludwig F., Van Slobbe E. and Cofin W. 2014. Climate Change

The Importance of Water Resources Ecotourism on the Tourism Development of Mountainous Areas (Case study: Hamadan province)

A.R. Ildoromi^{1*}, M. Ghorbani²

1- Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, University of Malayer, Iran. 2- M.Sc. in Habitat and Biodiversity, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

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

Received: 23-10-2016

Accepted: 12-04-2017

اهمیت اکوتوریسم منابع آبی در توسعه گردشگری مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: استان همدان)

علیرضا ایلدرمی^{۱*}، محمد قربانی^۲

۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه ملایر. ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست-زیستگاه‌ها و تنوع زیستی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
*(نویسنده مسئول، E-Mail: Ildoromi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۱/۲۳

Abstract

In recent years, ecotourism and tourism with a focus on water resources has attracted more attention. In many mountain valleys of Iran during the last fifty years, the use of natural resources, especially water, has continuously increased. A steady increase in the consumption and subsequent pressure on natural resources in the context of these areas has created serious challenges. The purpose of this study is to identify the role of water ecotourism in tourism development in mountainous areas using a descriptive - analysis approach. The weaknesses, strengths, opportunities, and threats to water resources in ecotourism development were extracted through closed interviews with 20 aboriginal candidates and 30 local authorities, and were made available in the form of a questionnaire to tourists. SWOT analysis shows that among all internal factors affecting the development of ecotourism in the area of water resources, 11 factors as strengths and 8 factors as weaknesses were identified and evaluated. The analysis shows that among all external factors affecting the development of ecotourism in the area of water resources, 10 factors as external opportunities and 9 factors as external threats facing these regions were identified. Finally, using the SWOT technique it was shown that the ecotourism in the area of water resources are very robust in the considered areas (3.33 and 3.34 points in terms of internal and external factors, respectively). In the considered area, there is a good potential for the agricultural crop and livestock packaging industry, rural small industries, and tourism activities. Relying on participatory management, development, and implementation of appropriate strategies, especially competitive, we are able to use the potential of the region to create jobs and income in order to reduce the pressure on natural resources, especially water, in non-agricultural sectors. The analysis of the data indicates that water ecotourism development cause the conservation of the environment so that it can provide the most use at the lowest cost.

Keywords: Water resources, Ecotourism, Tourism, SWOT Model, Hamedan province.

چکیده

در سال‌های اخیر طبیعت‌گردی و گردشگری با محوریت منابع آب مورد توجه قرار گرفته است. در بیشتر دره‌های کوهستانی ایران طی پنجاه سال گذشته، استفاده از منابع طبیعی بویژه آب به طور مداوم افزایش یافته است. افزایش مداوم مصرف و به دنبال آن فشار بر منابع طبیعی زمینه بروز چالش‌های جدی را در این مناطق به وجود آورده است. هدف این تحقیق شناسایی نقش اکوتوریسم منابع آبی استان همدان در توسعه گردشگری مناطق کوهستانی بوده که از روش تحقیق توصیفی-تحلیلی برای بررسی این نقش استفاده شده است. نقاط ضعف، قوت، فرصت و تهدید توسعه اکوتوریسم منابع آبی استان از طریق مصاحبه‌ی بسته با ۲۰ نفر از افراد مطلع محلی و ۳۰ نفر از مسئولین استخراج شده و در قالب پرسشنامه‌ای در اختیار گردشگران قرار گرفت. براساس نتایج تحلیل SWOT، از بین مجموع عوامل داخلی مؤثر بر توسعه اکوتوریسم منابع آبی در نواحی مورد مطالعه، تعداد ۱۱ عامل به عنوان نقاط قوت و تعداد ۸ عامل به عنوان نقاط ضعف مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفتند. همچنین این تحلیل نشان می‌دهد که از بین مجموع عوامل خارجی مؤثر بر توسعه اکوتوریسم منابع آبی در نواحی مورد مطالعه، تعداد ۱۰ عامل به عنوان فرصت خارجی و تعداد ۹ عامل به عنوان تهدید خارجی پیش روی این نواحی قرار گرفته‌اند. همچنین نشان داد اکوتوریسم منابع آبی مناطق مورد نظر قوت بسیار بالایی (۳/۳۳ امتیاز از نظر عوامل داخلی و ۳/۳۴ امتیاز از نظر عوامل خارجی) را دارا هستند. در محدوده مورد مطالعه ظرفیت‌های مناسبی برای ایجاد صنایع بسته‌بندی تولیدات زراعی و دامی، صنایع کوچک روستایی و فعالیتهای گردشگری وجود دارد که با تکیه بر مدیریت مشارکتی و تدوین و اجرای استراتژی‌های مناسب بویژه رقابتی، می‌توان از امکانات بالقوه‌ی منطقه جهت ایجاد شغل و درآمد در بخش‌های غیرکشاورزی به منظور کاهش فشار بر منابع طبیعی به خصوص آب استفاده کرد. نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها نشان داده که توسعه اکوتوریسم منابع آبی می‌تواند باعث حفظ محیط زیست شده بطوریکه بیشترین استفاده با کمترین هزینه را فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم آبی، اکوتوریسم، گردشگری، مدل SWOT، استان همدان.

روستاهای مورد مطالعه را بررسی نموده، سپس بر اساس شاخص‌های مؤثر در توسعه اکوتوریسم تالابی به طراحی راهبردهای توسعه این نوع اکوتوریسم اقدام نموده است. حیدری (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با عنوان "ارزیابی قابلیت‌های گردشگری شهر زنجان و راهبردهای تقویت جذب گردشگر" تکنیک SWOT را جهت شناخت عوامل مؤثر بر توسعه گردشگری این شهر و ارائه استراتژی و راهبردهای علمی و عملی در این راستا بکار برده و از مدل AHP به منظور اولویت‌بندی استراتژی‌های تعیین شده استفاده کرده است.

رضانی (۱۳۹۰) در پژوهش خود به شناخت و ارزیابی آسیب‌پذیری سواحل انزلی با استفاده از مدل SWOT پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داده که در نوار ساحلی این بندر عواملی چون سواحل شنی با شیب مناسب، نقطه قوت ناحیه محسوب می‌شود. در حالی که به دلیل عدم مدیریت و نظارت بر این سواحل، ورود آب‌های آلوده که از رشت و سایر نواحی) حوضه فومنا (وارد ساحل و دریا می‌شوند باعث تهدید آن شده است. ضیایی و میرزایی (۱۳۸۸) به مطالعه چالش‌های مدیریتی و توسعه گردشگری در سواحل جنوبی دریای خزر مانند تالاب میانکاله پرداختند. هدف این پژوهش ارزیابی جامع توانمندی‌ها و تنگناهای تالاب میانکاله در راستای حفاظت از زیستگاه‌های طبیعی و حمایت از تنوع زیستی (QSPM) و ارائه بهترین راهبرد مدیریتی با استفاده از ماتریس برنامه‌ریزی کمی راهبردی SWOT و مدیریت بهینه آن به منظور بهبود وضع حفاظت موجود و تقویت نقاط قوت و استفاده از فرصت‌ها بوده است.

بررسی نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که ماتریس SWOT با در نظر گرفتن شرایط و عوامل داخلی و خارجی حاکم بر یک سیستم، مبنای خوبی را برای تدوین راهبردها فراهم می‌آورد (Huang و Chang، ۲۰۰۶). در این پژوهش برای پاسخ‌دهی به سوالات تحقیق در ارتباط با وضعیت اکوتوریسم منابع آبی استان همدان (سوالاتی همچون پتانسیل‌های خاص منابع طبیعی آبی همدان در جذب گردشگران چیست؟ و آیا توسعه اکوتوریسم منابع آبی استان موجب حفظ محیط زیست و استفاده بهینه از چشم‌اندازهای طبیعی با کمترین هزینه خواهد شد؟) روش SOWT مورد نقد و بررسی کارشناسانه قرار گرفته و در انتها ضمن بیان نقاط ضعف و قوت، فرصت و تهدید اکوتوریسم منابع آبی استان همدان، پیشنهاداتی جهت بهره‌برداری مؤثر و مفید از این تکنیک ارائه می‌شود.

و پست‌ترین مکان این استان اراضی عمرآباد در کنار رود قره‌چای در بخش شرا و پیشخوار است. به طور کلی مناطق مرتفع استان آب و هوای سرد کوهستانی دارد و مناطق جنوبی آن (ملایر و نهاوند) دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. حداکثر دما ۳۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دما ۲۵/۴- درجه سانتی‌گراد است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد تحقیق را نشان می‌دهد.

جاذبه‌های مناطق کوهستانی از جمله مهم‌ترین چشم‌اندازهایی هستند که همه ساله توریست‌ها را به خود جلب می‌کنند. در کشور ما کوهستان‌های دماوند، سیلان، سهند و... از مهم‌ترین جاذبه‌های کوهستانی هستند که به علت وجود طبیعت بکر و زیبا پذیرای توریست‌ها از اقصی نقاط کشور و جهان هستند. استان همدان نیز در منطقه کوهستانی غرب کشور در میان ارتفاعات زاگرس و ایران مرکزی واقع شده که از جانب شرق به ارتفاعات و بیابان‌های ایران مرکزی با پستی و بلندی‌های فراوان و دشت‌ها و مناطق کوهستانی، قله‌های مرتفع، رودخانه‌ها، چشمه‌سارها، و سرآب‌های متعدد و غارها و تالاب‌های زیبا که پناهگاه‌هایی ارزشمند برای حیات وحش می‌باشند، قابلیت‌هایی بی‌نظیر در زمینه پذیرش علاقمندان به طبیعت را دارا می‌باشد. به طور کلی از دلایل مهمی که ساماندهی و طراحی محیط‌های کوهستانی را می‌طلبد می‌توان به موارد همچون فشار گردشگری، احداث مسیر در کوهستان، گسترش شهر به سمت کوهستان به دلیل فشار استفاده‌های مردمی، همچنین فرسودگی حاصل از فشار روز افزون بهره‌برداری و آسیب‌پذیری اکولوژیکی و حادثه‌خیزی آن و عدم شناخت عناصر فضاهای ارزشمند کوهستان یا به عبارتی روحیه کوهستان، فقدان درک درست از توپوگرافی محل که مانع درک درست برای طراحی می‌باشد، اشاره نمود (جوزی، ۱۳۹۴).

Ping (۲۰۰۶) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل SWOT از صنعت اکوتوریسم پارک جنگلی ملی کوهستان Zipeng، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل SWOT نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای صنعت اکوتوریسم در این پارک را بررسی کرده است. Lixao-dong (۲۰۰۵) در پژوهشی تحت عنوان کاربرد SWOT در برنامه‌های سفر به پارک‌ها در جین‌یویی‌تان، نقاط ضعف و قوت، فرصت‌ها و تهدیدهای وضعیت فعلی این منطقه را بررسی نموده و از طریق تجزیه و تحلیل کاملی از داخل و محیط خارج از آن، پایه نظری برای تدوین توسعه و برنامه‌های ساخت و ساز پارک ملی کشت و زرع در جین‌یویی‌تان گذاشته شد. وزین (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان تدوین الگوی برنامه‌ریزی راهبردی توسعه اکوتوریسم تالابی در راستای سلامت اکوسیستم تالاب و پایداری جوامع روستایی، در محدوده تالاب‌های میانکاله و لپوی زاغمرز با روش توصیفی - تحلیلی و شیوه میدانی (پرسشنامه)، ظرفیت اکوتوریسم تالابی در

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

استان همدان که در غرب ایران واقع شده، با مساحت ۲۰ هزار و ۱۷۲ کیلومتر مربع، ۱/۲ درصد از کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. بلندترین نقطه ارتفاعی استان قله الوند با ارتفاع ۳۵۷۴ متر

در فرانسه و غارهای شوالیه و بوکان در استرالیا، چنین زیبایی خیره‌کننده‌ای وجود دارد. آب دریاچه‌های غار، بدون رنگ و بو می‌باشد و مزه آن معمولی است. همچنین گونه حیات جانوری در آن وجود ندارد. عمق آب غار در قسمت‌های مختلف آن از صفر تا ۱۲ متر در نوسان است (شکل ۲).



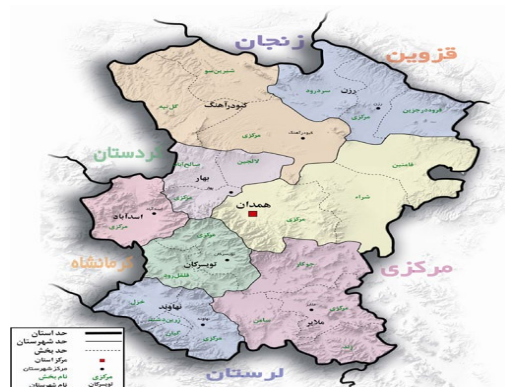
شکل ۲- غار علیصدر

• آبشار گنج‌نامه:

آبشار گنج‌نامه در ۵ کیلومتری غرب شهر همدان در دامنه‌های کوه الوند و در کنار کتیبه‌های گنج‌نامه قرار دارد. این آبشار ۱۲ متر ارتفاع دارد و دارای آب دائمی است. در زمستان‌ها نیز جریان دارد اما در برخی موارد که یخبندان شدید است یخ می‌زند. دبی متوسط آب این آبشار ۲۰۰ لیتر در ثانیه است که از دره زیبای عباس‌آباد و گنج‌نامه می‌گذرد. این آبشار در مسیر صعود به ارتفاعات کوه الوند و نزدیک شهر همدان واقع شده است. وجود قندیل‌های یخی در فصول سرد، زیبایی این آبشار را دو چندان و خیل عظیمی از یخ‌نوردان را به خود جذب می‌کند. همچنین در فصول گرم سال علاوه بر گردشگران، صخره‌نوردان در صخره‌های اطراف آن سنگ‌نوردی می‌کنند (شکل ۳).



شکل ۳- آبشار گنج‌نامه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان همدان یکی از مراکز تمدنی بسیار کهن در ایران و جهان به شمار می‌آید. به همین دلیل این سرزمین آثار باستانی و تاریخی مختلفی را از دوران گذشته به یادگار دارد. وجود این آثار زمینه و امکان فراوانی را برای رونق صنعت گردشگری استان در کنار جاذبه‌های فرهنگی، هنری و اقتصادی فراهم کرده است. بنابراین استان همدان برای تبدیل شدن به یکی از قطب‌های گردشگری در سطح کشور و حتی جهان از ویژگی و امکان بالایی برخوردار است. در کنار این ویژگی‌ها این منطقه از لحاظ طبیعت گردی و چشم‌اندازهای منابع آبی و کوهستانی دارای پتانسیل قابل توجه گردشگری طبیعت می‌باشد. از منابع آبی قابل توجه می‌توان حداقل به سه منطقه کوهستانی آبی شامل سد اکباتان، غار علیصدر و آبشار گنج‌نامه که از مهمترین مناطق آبی گردشگری استان همدان نیز می‌باشد اشاره نمود؛ لذا در این تحقیق تمام بررسی‌ها و مقایسه‌ها بر روی این سه منطقه انجام شده است.

• غار علیصدر:

این غار در روستای علیصدر از توابع شهرستان کبودر آهنگ در ۷۵ کیلومتری شمال غربی شهر همدان واقع شده است. این غار یکی از عجایب طبیعی جهان و نمونه نادری از غارهای آبی قابل قایق‌رانی است. مردم روستای علیصدر و روستاهای اطراف از قدیم الایام، از آب آن بهره‌برداری می‌کردند؛ ولی هیچ‌گاه کاربری گردشگری آن مطرح نبوده است. تا اینکه در پنجم مهر ماه ۱۳۴۲ خبر کشف یک غار شگفت‌انگیز و بی‌انتهای در رسانه ملی، سیر محققان، کوهنوردان و علاقمندان آثار طبیعی را به سوی آن سرازیر کرد. غار علیصدر از بسیاری جهات، علی‌الخصوص به علت وجود گذرگاه‌های ممتد آبی و دریاچه‌های وسیع قایق‌رانی که در سرتاسر غار گسترده شده است، یکی از زیباترین جلوه‌های طبیعی ایران و جهان و پدیده‌ای منحصر به فرد در نوع خود می‌باشد که فقط در معدودی از غارهای جهان، مثل غار مویس



شکل ۴- دریاچه اکباتان

• سد اکباتان:

سد اکباتان در ۱۱ کیلومتری شرق همدان قرار گرفته است که از ۵ کیلومتری جاده همدان - ملایر منشعب شده و راه دسترسی به آن، به سمت روستای سنگستان می‌باشد. ویژگی‌هایی مانند: نزدیکی به شهر، فضای سبز اطراف و دریاچه سد، موجب شده است که کاربرد تفریحی نیز به آن افزوده گردد (شکل ۴).

روش پژوهش

در این تحقیق از دو روش توصیفی-تحلیلی و پیمایشی در راستای اهداف و برای پاسخ به سوالات پژوهش استفاده شده است. بر این اساس ابتدا به بررسی گزارش‌ها، اسناد و نقشه‌های مرتبط با حوزه مورد مطالعه و موضوع تحقیق، پرداخته شد و در قالب روش‌های میدانی سایر اطلاعات مورد نیاز که بخش مهمی از تحقیق را شامل می‌شود طی پرسشنامه، مصاحبه و مشاهده از محل تحقیق جمع‌آوری و طبقه‌بندی گردید. با توجه به هدف تحقیق و با استفاده از روش SWOT ویژگی‌های جغرافیایی جاذبه‌های اکوتوریستی، مشتمل بر اکوتوریسم منابع آبی در سه منطقه غار علیصدر، آبشار گنج‌نامه و دریاچه سد اکباتان امکان‌سنجی و بررسی شد و بعد از تجزیه و تحلیل توصیفی و تحلیل نقاط قوت، ضعف، تهدید و فرصت، به تدوین راهبردها و استراتژی‌های مناسب جهت توسعه اکوتوریسم منابع آبی در مناطق کوهستانی اقدام شده و ماتریس نهایی در نواحی مورد مطالعه تهیه گردید. به این منظور مهمترین نقاط ضعف

و قوت و فرصت و تهدیدهای مناطق مورد نظر، به صورت پرسشنامه برای کسب نظرات ۵۰ نفر از مسئولین و افراد مطلع محلی تدوین شده و در قالب طیف لیکرت (سوالات ۵ گزینه‌ای) در اختیار ۲۵۰ نفر از گردشگران قرار گرفته، نتایج در نرم‌افزار spss13 تجزیه و تحلیل شد. در ادامه برای رتبه‌دهی به عوامل داخلی و خارجی از مسئولین خواسته شد، به هر کدام از عوامل رتبه ۱ تا ۴ بدهند. رتبه‌های هر عامل در ضریب اهمیت آن عامل ضرب گردیده و در نهایت امتیاز نهایی دو ماتریس عوامل داخلی و خارجی در ماتریس نهایی SWOT به غایش گذاشته شد. در پایان مهمترین استراتژی‌ها برای توسعه اکوتوریسم منابع آبی مشخص شد.

نتایج و بحث

نقاط ضعف و قوت و فرصت و تهدیدهای مناطق مورد نظر از نظرات ۵۰ نفر از مسئولین و افراد مطلع محلی استخراج گردیده که در جداول شماره (۱) تا (۷) قرار داده شده‌اند.

جدول ۱- ماتریس عوامل داخلی مؤثر بر گردشگری ناحیه مطالعه (نقاط قوت)

نقاط قوت
۱. وجود جاذبه‌های مورفولوژیکی-زمین‌شناختی و تاریخی در کنار جاذبه‌های آبی سه منطقه
۲. وجود پوشش گیاهی مناسب در مناطق مورد نظر بخصوص در اطراف دریاچه اکباتان و آبشار گنج‌نامه
۳. آب و هوای کوهستانی به عنوان مزیت رقابتی بخصوص در تابستان
۴. وجود سابقه گردشگری در منطقه
۵. نگرش مثبت جامعه محلی نسبت به گردشگری
۶. وجود زیرساخت‌های اولیه گردشگری در مقایسه با سایر حوزه‌های اطراف در منطقه
۷. نزدیکی مناطق مورد نظر به همدان به عنوان بزرگترین مرکز جمعیتی استان
۸. استعداد مناطق نمونه برای سرمایه‌گذاری
۹. امکان توسعه ورزش‌های زمستانی و نیز آبی در اکوسیستم مورد نظر همچون غواصی و قایق‌رانی در غار علیصدر و دریاچه اکباتان به دلیل وجود عمق مناسب
۱۰. افزایش آگاهی افراد محلی نسبت به ارزش‌های زیست محیطی مناطق مورد نظر
۱۱. تشویق روحیه جمعی محلی و احساس غرور در میان ساکنان مناطق مورد نظر

جدول ۲- ماتریس عوامل داخلی مؤثر بر گردشگری ناحیه مطالعه (نقاط ضعف)

نقاط ضعف
۱. کمبود فضای مربوط به پارکینگ
۲. عدم اطلاع‌رسانی مناسب در مورد اکوتوریسم منابع آبی مناطق مورد نظر بخصوص درباره دریاچه اکباتان
۳. کمبود امکانات اقامتی و رفاهی متنوع و استاندارد همچون وجود فضای مناسب برای چادر زدن و ...
۴. وضعیت نامناسب برخی جاده‌های منتهی به مناطق مورد نظر
۵. وجود زمستان‌های سرد و عدم امکان بهره‌برداری بهینه از جاذبه‌های آبی سه منطقه به دلیل عدم زیرساخت‌های مناسب
۶. افزایش آلودگی اکوسیستم‌های آبی و کاهش منابع آبی مناطق مورد نظر
۷. عدم آگاهی گردشگران و بی‌توجهی نسبت به اهمیت زیست‌محیطی منابع آبی مناطق مورد نظر
۸. عدم سازماندهی مناسب گردشگران منابع آبی در مناطق مورد نظر متناسب با ظرفیت منطقه

جدول ۳- ماتریس عوامل خارجی مؤثر بر گردشگری ناحیه مورد مطالعه (فرصت‌ها)

فرصت‌ها
۱. وجود منابع آبی فراوان در استان که قابلیت اکوتوریستی دارند
۲. افزایش گرایشات و توجهات روزافزون به اکوتوریسم منابع آبی در کشور
۳. امکان افزایش انگیزه گردشگران خارج از استان و خارج از کشور
۴. وجود ظرفیت‌های بی‌شمار سرمایه‌گذاری در اکوتوریسم منابع آبی
۵. موقعیت جغرافیایی منحصر بفرد استان به عنوان حلقه اتصال مرکز کشور به غرب کشور و نزدیکی به قطب‌های جمعیتی مرکز همچون تهران به عنوان قطب‌های گردشگری
۶. وجود راه‌های ارتباطی متعدد به مناطق نمونه
۷. افزایش توجهات به وضعیت زیست‌محیطی اکوسیستم‌های آبی و مناطق حفاظت شده
۸. امکان بهره‌گیری از افراد مطلع بومی و جوانان در مشاغل مربوط به اکوتوریسم منابع آبی و کاهش بیکاری منطقه
۹. سودآوری و جاری شدن سرمایه و درآمد به منطقه
۱۰. برنامه‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست در حفظ منابع طبیعی

جدول ۴- ماتریس عوامل خارجی مؤثر بر گردشگری ناحیه مورد مطالعه (تهدیدها)

تهدیدها
۱. در معرض خطر قرارگرفتن گونه‌های گیاهی و جانوری بر اثر پیدایش یک میکرواقلیم ناشی از دریاچه پشت سد اکباتان
۲. فصلی‌بودن اکوتوریسم منابع آبی بخصوص در مناطق کوهستانی
۳. ظرفیت پایین مدیریتی و عدم وجود نیروهای متخصص در منطقه
۴. عدم انگیزه بانک‌ها و موسسات اعتباری در گردشگری
۵. تخریب محیط‌زیست و بهره‌برداری‌های غیرعقلایی از آن
۶. ضعف ساختار تأسیسات و تجهیزات متناسب با گردشگری منابع آبی در کشور
۷. تراکم مسافران و شلوغی در مناطق میزبان در فصول گردشگری
۸. ضعف تبلیغات کافی برای معرفی مناطق مورد نظر به عنوان اکوتوریسم منابع آبی
۹. تنگناهای ناشی از بوروکراسی اداری برای کسب مجوز بازدید

ساده می‌توان گفت که این نواحی نیازمند بازنگری و سیاست‌های مناسب در جهت رفع ضعف‌ها و تهدیدها با استفاده از نقاط قوت و فرصت‌ها می‌باشند. بررسی‌های حاصل از ماتریس داخلی و خارجی (IE)^۲ به منظور تعیین استراتژی‌های برتر (مطلوب) در جداول شماره (۵) و (۶) ارائه گردیده است. با توجه به نظرات ارائه شده و محاسبات انجام شده بر روی این نظرات به منظور جمع‌بندی آنها اقدام به تشکیل این جداول گردید. ضریب اهمیت

در سه منطقه مورد مطالعه طبق جداول شماره (۱) تا (۴) تعداد ۱۱ قوت داخلی در برابر ۸ نقطه ضعف داخلی و تعداد ۱۰ فرصت خارجی در برابر ۹ تهدید خارجی مورد شناسایی و بررسی قرار گرفته است. بدین ترتیب در مجموع تعداد ۲۱ نقطه قوت و فرصت به عنوان مزیت‌ها و ۱۷ ضعف و تهدید به عنوان محدودیت‌ها و تنگناهای پیش‌روی اکوسیستم‌های آبی این مناطق جهت گسترش اکوتوریسم قابل شناسایی است. لذا در یک جمع‌بندی و تحلیل

بیانگر اهمیت نسبی یک عامل در مجموع نقاط قوت و ضعف و فرصت و تهدید است و از بی‌اهمیت (صفر) تا بسیار مهم (یک) می‌باشد. ضریب اهمیت از تقسیم مجموع وزن هر عامل بر جمع وزن عوامل داخلی بدست می‌آید. مجموع ضرایب بدست آمده باید برابر یک باشد. رتبه نیز شامل عدد ۱-۴ می‌باشد که توسط مسئولین به نقاط ضعف و قوت؛ فرصت و تهدید مناطق داده شده است. امتیاز نهایی از ضرب رتبه در ضریب اهمیت بدست می‌آید. در ماتریس داخلی و خارجی جمع نمره نهایی، بر روی محور Xها از ۱/۰ تا ۱/۹۹ نشان‌دهنده ضعف داخلی/خارجی سیستم است.

نمره‌های ۲/۰ تا ۲/۹۹ نشان‌دهنده این است که سیستم در وضع متوسط قرار دارد و نمره‌های ۳/۰ تا ۴/۰ بیانگر قوت سیستم است. نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای استخراج شده از نتایج مصاحبه با مسئولین و افراد مطلع محلی بیانگر اهمیت نسبی عامل S۱۱ با ضریب اهمیت ۰/۰۵۸۵ در بین عوامل داخلی و O۴ با ضریب اهمیت ۰/۰۵۸۹ در بین عوامل خارجی است. عدد ۲/۳۳ و ۳/۳۴ در این جدول بیانگر قوت داخلی و فرصت‌های نسبتاً زیاد سه منطقه نمونه در توسعه اکوتوریسم مبتنی بر منابع آبی می‌باشد.

جدول ۵- ماتریس عوامل داخلی تحلیل SWOT (رتبه‌بندی و اولویت‌سنجی نقاط قوت و ضعف)

اولویت نهایی	امتیاز نهایی	رتبه	ضریب اهمیت	مجموع وزن‌ها	تحلیل SWOT
قوت‌ها					
۷	۰/۱۸	۳/۴۱	۰/۰۵۳۶	۷۹۸	S۱- وجود جاذبه‌های مورفولوژیکی-زمین‌شناختی و تاریخی در کنار جاذبه‌های آبی سه منطقه
۴	۰/۲۱	۳/۹۲	۰/۰۵۳۷	۸۰۰	S۲- وجود پوشش گیاهی مناسب در مناطق مورد نظر بخصوص در اطراف دریاچه اکباتان و آبشار گنج‌نامه
۱۰	۰/۱۵	۲/۸۹	۰/۰۵۱۳	۷۶۴	S۳- آب و هوای کوهستانی به عنوان مزیت رقابتی بخصوص در تابستان
۵	۰/۲۰	۴	۰/۰۴۹۸	۷۴۲	S۴- وجود سابقه گردشگری در منطقه
۶	۰/۱۹	۳/۸۸	۰/۰۴۹۹	۷۴۳	S۵- نگرش مثبت جامعه محلی نسبت به گردشگری
۱۱	۰/۱۱	۲/۱۳	۰/۰۵۱۳	۷۶۴	S۶- وجود زیرساخت‌های اولیه گردشگری در مقایسه با سایر حوزه‌های اطراف در منطقه
۲	۰/۲۲	۳/۸۲	۰/۰۵۶۷	۸۴۴	S۷- نزدیکی مناطق مورد نظر به همدان به عنوان بزرگترین مرکز جمعیتی استان
۹	۰/۱۶	۲/۹۷	۰/۰۵۵۰	۸۲۰	S۸- استعداد مناطق نمونه برای سرمایه‌گذاری
۳	۰/۲۱	۳/۷۱	۰/۰۵۶۵	۸۴۱	S۹- امکان توسعه ورزش‌های زمستانی و نیز آبی در اکوسیستم مورد نظر همچون غواصی و قایق‌رانی در غار علیصدر و دریاچه اکباتان به دلیل وجود عمق مناسب
۸	۰/۱۷	۳/۴۲	۰/۰۵۰۵	۷۵۲	S۱۰- افزایش آگاهی افراد محلی نسبت به ارزش‌های زیست‌محیطی مناطق مورد نظر
۱	۰/۲۳	۴	۰/۰۵۸۵	۸۷۱	S۱۱- وجود روحیه جمعی محلی و احساس غرور در میان ساکنان مناطق مورد نظر
ضعف‌ها					
۲	۰/۲۰	۴	۰/۰۴۹۳	۷۳۴	W۱- کمبود فضای مربوط به پارکینگ
۱	۰/۲۱	۳/۹۱	۰/۰۵۳۶	۷۹۹	W۲- عدم اطلاع‌رسانی مناسب در مورد اکوتوریسم منابع آبی مناطق مورد نظر بخصوص درباره دریاچه اکباتان
۶	۰/۱۳	۲/۵۳	۰/۰۵۲۰	۷۷۵	W۳- کمبود امکانات اقامتی و رفاهی متنوع و استاندارد همچون وجود فضای مناسب برای چادر زدن و ...
۸	۰/۱	۲/۰۸	۰/۰۴۹۴	۷۳۶	W۴- وضعیت نامناسب برخی جاده‌های منتهی به مناطق مورد نظر
۳	۰/۱۹	۳/۶۳	۰/۰۵۲۴	۷۸۱	W۵- وجود زمستان‌های سرد و عدم امکان بهره‌برداری بهینه از جاذبه‌های آبی سه منطقه به دلیل عدم زیرساخت‌های مناسب
۵	۰/۱۸	۳/۶۸	۰/۰۴۹۹	۷۴۴	W۶- افزایش آلودگی اکوسیستم‌های آبی و کاهش منابع آبی مناطق مورد نظر
۴	۰/۱۸	۳/۳۳	۰/۰۵۳۶	۷۹۸	W۷- عدم آگاهی گردشگران و بی‌توجهی نسبت به اهمیت زیست‌محیطی منابع آبی مناطق مورد نظر
۷	۰/۱۱	۱/۹۸	۰/۰۵۳۱	۷۹۱	W۸- عدم سازماندهی مناسب گردشگران منابع آبی مناطق مورد نظر متناسب با ظرفیت منطقه
-	۳/۳۳	-	Σ۱	۱۴۸۹۷	IFE

جدول ۶- ماتریس عوامل خارجی تحلیل SWOT (رتبه بندی و اولویت سنجی نقاط فرصت، تهدید)

تحلیل SWOT					
اولویت نهایی	امتیاز نهایی	رتبه	ضریب اهمیت	مجموع وزن ها	
فرصت ها					
۱	۰/۲۴	۴	۰/۰۵۸۸	۸۵۲	O۱- وجود منابع آبی فراوان در استان که قابلیت اکوتوریسمی دارند
۷	۰/۱۶	۳/۵۳	۰/۰۴۴۸	۶۴۹	O۲- افزایش گرایشات و توجهات روزافزون به اکوتوریسم منابع آبی در کشور
۹	۰/۱۱	۱/۹۹	۰/۰۵۴۴	۷۸۸	O۳- امکان افزایش انگیزه گردشگران خارج از استان و خارج از کشور
۲	۰/۲۲	۳/۷۵	۰/۰۵۸۹	۸۵۴	O۴- وجود ظرفیت های بی شمار سرمایه گذاری در اکوتوریسم منابع آبی
۴	۰/۲۰	۳/۵۹	۰/۰۵۶۷	۸۲۲	O۵- موقعیت جغرافیایی منحصر بفرد استان به عنوان حلقه اتصال مرکز کشور به غرب کشور و نزدیکی به قطب های جمعیتی مرکز همچون تهران به عنوان قطب های گردشگر فرست
۵	۰/۱۹	۳/۸۵	۰/۰۵۰۶	۷۳۳	O۶- وجود راه های ارتباطی متعدد به مناطق نمونه
۳	۰/۲۱	۳/۹۸	۰/۰۵۱۵	۷۴۷	O۷- افزایش توجهات به وضعیت زیست محیطی اکوسیستم های آبی و مناطق حفاظت شده
۸	۰/۱۴	۲/۷۵	۰/۰۴۹۴	۷۱۶	O۸- امکان بهره گیری از افراد مطلع بومی و جوانان در مشاغل مربوط به اکوتوریسم منابع آبی و کاهش بیکاری منطقه
۶	۰/۱۸	۳/۸۸	۰/۰۴۶۸	۶۷۸	O۹- سودآوری و جاری شدن سرمایه و درآمد به منطقه
۱۰	۰/۰۷	۱/۵۵	۰/۰۴۸۳	۷۰۰	O۱۰- برنامه های سازمان حفاظت محیط زیست در حفظ منابع طبیعی
تهدیدها					
۹	۰/۱۰	۲/۱۱	۰/۰۴۹۲	۷۱۳	T۱- در معرض خطر قرارگرفتن گونه های گیاهی و جانوری بر اثر پیدایش یک میکرواقلیم ناشی از دریاچه پشت سد اکباتان
۸	۰/۱۴	۲/۵۵	۰/۰۵۵۸	۸۰۹	T۲- فصلی بودن اکوتوریسم منابع آبی بخصوص در مناطق کوهستانی
۲	۰/۲۱	۳/۹۸	۰/۰۵۳۵	۷۷۶	T۳- ظرفیت پایین مدیریتی و عدم وجود نیروهای متخصص در منطقه
۶	۰/۱۷	۳	۰/۰۵۶۴	۸۱۷	T۴- عدم انگیزه بانک ها موسسات اعتباری در گردشگری
۱	۰/۲۲	۴	۰/۰۵۵۱	۷۹۹	T۵- تخریب محیط زیست و بهره برداری های غیرعقلایی از آن
۷	۰/۱۷	۳/۵	۰/۰۴۹۵	۷۱۷	T۶- ضعف ساختار تأسیسات و تجهیزات متناسب با گردشگری منابع آبی در کشور
۴	۰/۲۱	۴	۰/۰۵۳۵	۷۷۵	T۷- تراکم مسافران و شلوغی در مناطق میزبان در فصول گردشگری پذیر
۵	۰/۱۹	۳/۴۴	۰/۰۵۵۱	۷۹۹	T۸- ضعف تبلیغات کافی برای معرفی اکوتوریسم منابع آبی
۳	۰/۲۱	۴	۰/۰۵۱۷	۷۴۹	T۹- تنگناهای ناشی از بوروکراسی اداری برای کسب مجوز بازدید
-	۳/۳۴	-	Σ۱	۱۴۴۹۳	ΣEFE

• راهبردها

می باشد. با این حال سه نوع راهبرد دیگر نیز آورده شده است. جدول شماره (۷) خلاصه راهبردهای ارائه شده را نشان می دهد.

براساس نتایج حاصل از جدول SWOT، مهمترین راهبردها در مورد اکوتوریسم منابع آبی استان همدان راهبرد تهاجمی

جدول ۷- ماتریس خلاصه راهبردها و راهکارهای لازم برای توسعه اکوتوریسم منابع آبی استان همدان بر اساس تحلیل SWOT

فرصت‌ها (O)		تهدیدها (T)
O۱۰ O۹ O۸ O۷ O۶ O۵ O۴ O۳ O۲ O۱		T۹ T۸ T۷ T۶ T۵ T۴ T۳ T۲ T۱
قوت‌ها (S) S۱ S۲ S۳ S۴ S۵ S۶ S۷ S۸ S۹ S۱۰ S۱۱	استراتژی‌های رقابتی / تهاجمی (SO) ۱. بهره‌گیری بهینه از فرصت وجود منابع آبی فراوان در استان در کنار جاذبه‌های تاریخی، فرهنگی، ژئومورفولوژیکی، فضای سبز مناسب برای به حداکثر رساندن توسعه اکوتوریسم، توریسم فرهنگی و توریسم تاریخی در جهت استفاده مؤثر از انواع جاذبه‌های آبی استان همدان ۲. بهره‌گیری از وجود راه‌های ارتباطی متعدد به مناطق نمونه برای توسعه زیرساخت‌های اکوتوریستی موجود ۳. استفاده بهینه از قابلیت‌های منابع آبی موجود در توسعه ورزش‌های آبی ۴. استفاده از شرایط آب و هوای کوهستانی در توسعه ورزش‌های زمستانی در فصل سرد ۵. بهره‌گیری از فرصت موقعیت جغرافیایی همدان و نزدیکی آن به تهران با توجه به نزدیکی این نواحی به همدان در توسعه گردشگری منابع آبی استان ۶. استفاده از امکان بهره‌گیری از افراد مطلع بومی و جوانان در مشاغل مربوط به اکوتوریسم منابع آبی و کاهش بیکاری منطقه با توجه به وجود روحیه جمعی محلی و احساس غرور در میان ساکنان مناطق مورد نظر ۷. تأکید بر همکاری سازمان حفاظت محیط‌زیست در مناطق نمونه گردشگری آبی استان برای افزایش آگاهی افراد محلی نسبت به ارزش‌های زیست‌محیطی مناطق مورد نظر ۸. ایجاد تشکلهای ژئوتوریستی با توجه به پدیده‌های متنوع ژئومورفولوژیکی در این ناحیه ۹. افزایش توجه دولت و بخش خصوصی در جهت استفاده از فرصت وجود ظرفیت‌های بی‌شمار سرمایه‌گذاری در اکوتوریسم منابع آبی برای توسعه استعدادهای سرمایه‌گذاری در مناطق مورد نظر ۱۰. تمرکز بر استفاده از جاذبه‌های اکوسیستم‌های آبی استان همدان با توجه به افزایش گرایشات و توجهات روزافزون به اکوتوریسم منابع آبی در کشور	استراتژی‌های تنوع (ST) ۱. تنوع بخشی به افزایش انگیزه بانک‌ها و موسسات اعتباری برای سرمایه‌گذاری در اکوتوریسم با توجه استعداد مناطق نمونه ۲. تنوع بخشی به برنامه‌های تبلیغاتی به منظور معرفی جاذبه‌های اکوتوریستی این منابع آبی و جذب گردشگر ۳. بهره‌گیری بهینه و هدفمند با تأکید بر توانایی‌های درونی و ارتقاء ظرفیت‌های آن (نقاط قوت) در جهت برنامه‌ریزی برای حذف یا کاهش تهدیدات بیرونی (تهدیدها) مانند کاهش تنگناهای ناشی از نظام اداری، ساماندهی گردشگران متناسب با ظرفیت منطقه ۴. برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری و مطالعه دقیق گونه‌های زیستی در جهت کاهش تخریب‌های زیست‌محیطی در مناطق مورد نظر با بهره‌گیری از افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی افراد محلی نسبت به ارزش‌های زیست‌محیطی ۵. تنوع بخشی در بهره‌گیری از نیروهای متخصص در منطقه برای شناسایی و بهره‌گیری از نقاط قوت اکوتوریستی منابع آبی استان همدان ۶. تنوع بخشی در استفاده از جاذبه‌های مورفولوژیکی- زمین‌شناختی و تاریخی در کنار جاذبه‌های آبی سه منطقه برای کاهش تهدید ناشی از فصلی بودن اکوتوریسم منابع آبی استان
	استراتژی‌های بازنگری (WO) ۱. بازنگری در جهت کاستن از محدودیت‌ها و ضعف‌ها و نارسایی‌های داخلی با بهره‌مندی از فرصت‌های موجود و پیشنهادی از سوی محیط بیرونی ۲. بازنگری در بهره‌گیری فصلی از اکوسیستم‌های آبی در گردشگری با توجه به افزایش گرایشات و توجهات روزافزون به اکوتوریسم منابع آبی در کشور ۳. بازنگری در از بین بردن ضعف عدم اطلاع‌رسانی مناسب در مورد اکوتوریسم منابع آبی با توجه به بهره‌گیری از موقعیت جغرافیایی استان و نزدیکی به مراکز بزرگ جمعیتی کشور به عنوان قطب‌های گردشگر فرست ۴. بازنگری یا کاهش ضعف درونی از جمله نامناسب بودن نحوه و ارائه تسهیلات، نبود یا کمبود تسهیلات و تجهیزات اقامتی و رفاهی ۴. بازنگری در کاهش ضعف نامناسب بودن وضعیت جاده‌های ارتباطی با توجه به فرصت وجود راه‌های ارتباطی متعدد به مناطق مورد نظر ۵. بازنگری در کمبود پارکینگ و سایر امکانات اقامتی در مناطق نمونه با بهره‌گیری از درآمدهای جاری شده از اکوتوریسم آبی به منطقه ۶. بازنگری در نحوه سازماندهی گردشگران متناسب با ظرفیت منطقه ۷. بهره‌گیری از برنامه‌ها و قوانین سازمان حفاظت محیط‌زیست در جهت کاهش یا حذف آلودگی‌های زیست‌محیطی اکوسیستم‌های آبی مورد نظر	استراتژی‌های تدافعی (WT) ۱. استفاده از منابع موجود (طبیعی- انسانی، تکنولوژی و ساختاری و ...) در جهت کاهش یا حذف نارسایی‌ها و موانع درونی و تهدیدها و خطرات موجود در محیط بیرونی با استفاده از استراتژی ترمیمی، حفاظتی و تغییر ۲. برگزاری سمینارها، همایش‌ها و نشست‌ها در جهت توسعه سرمایه‌گذاری در صنعت اکوتوریسم منابع آبی توسط میراث فرهنگی و گردشگری استان، شورای شهر و سایر نهادها و مسئولان مرتبط و دعوت از سرمایه‌گذاران مختلف ۳. برنامه‌ریزی برای افزایش امکانات اقامتی در کنار اکوسیستم‌های آبی استان همدان ۴. اطلاع‌رسانی و توسعه تبلیغات در مورد ظرفیت اکوسیستم‌های آبی استان همدان برای توسعه سرمایه‌گذاری و توسعه گردشگر ۵. افزایش آگاهی گردشگران و مردم محلی نسبت به اهمیت اکوسیستم‌های آبی برای کاهش تخریب‌ها و بهره‌برداری‌های غیرعقلایی از محیط‌زیست مناطق مورد نظر ۶. هم‌اندیشی برای کاهش گردشگری فصلی مناطق آبی مورد نظر و سایر مناطق آبی استان

• استراتژی‌های تدوین شده در بخش آب

با توجه به داده‌های استخراج شده از پرسشنامه‌ها، ماتریس ارزیابی عوامل داخلی و خارجی تنظیم و با استفاده از ماتریس تجزیه تحلیل SWOT، استراتژی‌ها تدوین شد. در پایان با استفاده از ماتریس چهارخانه‌ای عوامل داخلی و خارجی (IE)، استراتژی‌های مطلوب جهت افزایش بازده اقتصادی در رابطه با گردشگری و مشاغل با توجه به محدودیت منابع آبی ارائه شده انتخاب و پیشنهاد گردیدند (جدول ۸).

جدول ۸- استراتژی افزایش بازده اقتصادی در رابطه با گردشگری و مشاغل با توجه به محدودیت منابع آبی

ردیف	استراتژی	(فرصت‌ها) O	(قوت‌ها) S
SO _۱	ایجاد مناطق گردشگری و تفریحی (تفرجگاه‌های پیرامون شهری)	O۱،۵،۶	S۱،۳،۷،۹،۲
SO _۲	ایجاد و توسعه صنایع تبدیلی و بسته‌بندی به منظور افزایش ارزش افزوده فرآورده‌های کشاورزی و دامی	O۴،۸،۹	S۵،۶،۱۰،۱۱
ردیف	استراتژی	(تهدیدها) T	(قوت‌ها) S
ST _۱	ایجاد شغل در قالب تشکلهای تولیدی به منظور کاهش فشار بر منابع آب و خاک	T۳،۴،۶،۹	S۶،۷،۸،۱۱
ST _۲	اصلاح الگوهای مصرف آب در بخش کشاورزی با استفاده از فن‌آوری‌های جدید	T۵،۶،۷،۸	S۳،۶،۱۰
ST _۳	ایجاد و گسترش شیوه‌های نوین بهره‌برداری از منابع آب و خاک	T۳،۵،۶،۷،۸	S۵،۶،۱۰
ST _۴	ترویج و تحکیم مکانیزم‌های مدیریتی مشارکت جویانه با اولویت به کارگیری نیروهای ماهر و تحصیل کرده بومی	T۳،۶،۸،۹	S۵،۶،۸،۱۰
ST _۵	ایجاد و گسترش شرکت‌های مردمی چند منظوره	T۳،۶،۸،۹	S۵،۶،۸،۱۰
ردیف	استراتژی	(تهدیدها) T	(ضعف‌ها) W
WT _۱	اصلاح و تصویب قوانین و مقررات مربوط در خصوص مدیریت منابع آب	T۳،۴،۵،۶،۸	W۲،۷،۸
WT _۲	توسعه و ترویج مهارت‌های لازم در زمینه استفاده بهینه از منابع از طریق برگزاری کارگاه‌های آموزشی محلی و منطقه‌ای	T۳،۶،۸،۹	W۱،۲،۳،۷،۸
WT _۳	ایجاد و تقویت طرح آبخیزداری به منظور حفاظت از منابع طبیعی	T۳،۴،۵،۶،۸	W۲،۵،۷،۸

توسعه گردشگری منابع آبی می‌باشد. با توجه به شکل شماره (۵) موقعیت استراتژیک، رشد و توسعه گردشگری در این ناحیه به خوبی مشخص شده است. این موقعیت استراتژیک، بیانگر انتخاب استراتژی تهاجمی و حرکت با تمام قوا به سمت رشد و توسعه اکوتوریسم منابع آبی می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان گفت که این تکنیک در مراحل مختلف می‌تواند راهبردها و راهکارهای لازم را برای توسعه اکوتوریسم منابع آبی در استان همدان با از بین بردن ضعف‌ها و مبارزه با تهدیدهای بیرونی و بهره‌گیری از نقاط قوت و فرصت بیرونی ارائه دهد. به علاوه این تکنیک توانسته اولویت‌بندی نهایی عوامل مؤثر (نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها) در توسعه اکوتوریسم منابع آبی را به خوبی شناسایی و بیان کند.

نمره نهایی عوامل داخلی ۱/۰ تا ۱/۹۹ نشان‌دهنده ضعف داخلی سیستم، نمره‌های ۲/۰ تا ۲/۹۹ نشان‌دهنده قرارگیری سیستم در وضعیت متوسط و نمره‌های ۳/۰ تا ۴/۰ بیانگر قوت سیستم است. به همین صورت جمع نمره ماتریس عوامل خارجی از ۱/۰ تا ۱/۹۹ بیانگر ضعف سیستم و نمره‌های ۲/۰ تا ۲/۹۹ بیانگر وضع متوسط و نمره‌های ۳/۰ تا ۴/۰ بیانگر قرارداشتن سیستم در وضعیت عالی است. با توجه به مطالب فوق و با تجزیه و تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید از طریق تکنیک SWOT نمره نهایی نقاط قوت و ضعف اکوسیستم‌های آبی مناطق مورد نظر برابر با ۳/۳۳ است که بیانگر پتانسیل بسیار بالای مناطق مورد نظر در جذب گردشگران است. نمره نهایی فرصت‌ها و تهدیدات نیز معادل ۲/۳۴ است که نشان‌دهنده فرصت‌های خارجی زیاد برای

سبب آنکه استفاده از طبیعت را به صورت بهینه و با برنامه‌ریزی مد نظر قرار می‌دهد، می‌تواند فشار کمتری بر محیط‌زیست اکوسیستم‌های آبی در مقایسه با استفاده بی‌برنامه و بدون زیرساخت‌های مناسب فراهم آورد. ۴۶ درصد مسئولین و جامعه محلی و ۳۲ درصد گردشگران توسعه زیرساخت‌های گردشگری را در حفظ محیط‌زیست بسیار مؤثر دانسته‌اند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- تأثیر توسعه زیرساخت‌های گردشگری در حفظ محیط

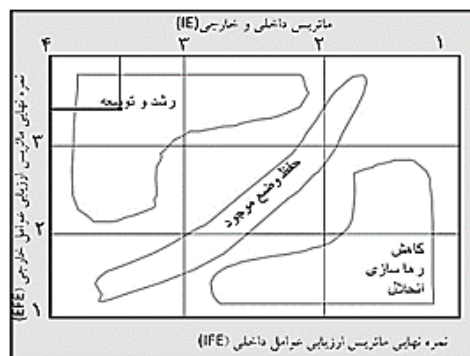
زیست

ارزش	گردشگران		مردم و مسئولین	
	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
خیلی زیاد	۲۳	۱۱/۵	۳	۶
زیاد	۶۴	۳۲	۲۳	۴۶
متوسط	۵۹	۲۹/۵	۱۲	۲۴
کم	۳۳	۱۶/۵	۶	۱۲
خیلی کم	۲۱	۱۰/۵	۵	۱۰
جمع	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰

۳۶/۵ درصد گردشگران و ۶۰ درصد مسئولین و مردم معتقد به تأثیر بالای توسعه اکوتوریسم منابع آبی در توجه به مناطق حفاظت شده بوده‌اند. بالاترین درصد در سطح بعدی تأثیر در سطح متوسط بوده است که در گروه گردشگران ۳۳ درصد و در گروه مسئولین و افراد مطلع بومی ۲۲ درصد می‌باشد. این بدان معنی است که از دیدگاه پرسش‌شوندگان گسترش اکوتوریسم در مناطق مورد مطالعه موجب حفظ محیط‌زیست و استفاده بهینه از چشم‌اندازهای طبیعی با کمترین هزینه می‌گردد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- تأثیر توسعه اکوتوریسم منابع آبی در توجه به مناطق حفاظت شده

ارزش	گردشگران		مردم و مسئولین	
	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
خیلی زیاد	۱۲	۶	۲	۴
زیاد	۷۳	۳۶/۵	۳۰	۶۰
متوسط	۶۶	۳۳	۱۱	۲۲
کم	۳۴	۱۷	۴	۸
خیلی کم	۱۵	۷/۵	۳	۶
جمع	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰



شکل ۵- ماتریس نهایی (موقعیت استراتژیک، رشد و توسعه گردشگری)

نتایج پرسشنامه جامعه آماری نشان می‌دهد که بیش از ۵۴ درصد از تعداد گردشگران و مسئولین، به نقش متوسط به بالای اکوتوریسم منابع آبی در افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی معتقد بودند. جدول (۹) توزیع نظرات پاسخگویان را در بین دو گروه بر حسب فراوانی و درصد آنها نشان داده است. بین دو متغیر گسترش اکوتوریسم منابع آبی و افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی نسبت به ارزش اکوسیستم‌های مورد نظر همبستگی معناداری وجود دارد.

جدول ۹- نقش اکوتوریسم منابع آبی در افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی

ارزش	گردشگران		مردم و مسئولین	
	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
خیلی زیاد	۲۲	۱۱	۴	۸
زیاد	۳۴	۱۷	۷	۱۱
متوسط	۱۰۸	۵۴	۳۳	۶۹
کم	۲۰	۱۰	۴	۸
خیلی کم	۱۶	۸	۲	۴
جمع	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰

ارتباط بین دو متغیر گسترش زیرساخت‌های اکوتوریسم منابع آبی و حفظ محیط‌زیست مناطق مورد مطالعه از طریق نتایج پرسشنامه‌ها بررسی شده، نشان داده شد که میان این دو متغیر همبستگی مستقیم وجود دارد. به این معنی که اگر زیرساخت‌های اکوتوریسم در مناطق مورد نظر انجام گیرد به

سد اکباتان به عنوان مهمترین نقطه ضعف و مؤلفه وضعیت نامناسب برخی جاده‌های منتهی به مناطق مورد نظر به عنوان آخرین اولویت در نقاط ضعف جهت توسعه اکوتوریسم منابع آبی مورد شناسایی قرار گرفته شده است. علاوه بر این از بین فرصت‌های بیرونی، وجود منابع آبی فراوان در استان که قابلیت اکوتوریستی دارند مهمترین فرصت بیرونی و برنامه‌های سازمان حفاظت محیط زیست در حفظ منابع طبیعی به عنوان کم اولویت‌ترین فرصت خارجی برای توسعه اکوتوریسم مورد شناسایی قرار گرفته است. همچنین از بین تهدیدهای خارجی مؤلفه تخریب محیط‌زیست و بهره‌برداری‌های غیرعقلایی به عنوان مهمترین تهدید و در معرض خطر قرارگرفتن گونه‌های گیاهی و جانوری بر اثر پیدایش یک میکرواقلیم ناشی از دریاچه پشت سد اکباتان به عنوان کم‌اهمیت‌ترین تهدید خارجی به شمار آمده است. نتایج این تحقیق رهیافت‌های نوینی را با توجه به قابلیت‌ها و تنگناهای فضای-مکانی در راستای توسعه‌ی همه جانبه در اختیار قرار می‌دهد و بیانگر وجود قابلیت‌های توسعه گردشگری در منابع آبی استان است. بررسی پرسشنامه‌ها نیز نشان داد که بین دو متغیر گسترش زیرساخت‌های اکوتوریسم منابع آبی و حفظ محیط‌زیست مناطق مورد مطالعه همبستگی مستقیم وجود دارد. به این معنی که اگر زیرساخت‌های اکوتوریسم در مناطق مورد نظر انجام گیرد به سبب آنکه استفاده از طبیعت را به صورت بهینه و با برنامه‌ریزی مد نظر قرار می‌دهد می‌تواند موجب مصرف بهینه منابع آبی و همچنین توسعه گردشگری در منطقه مورد مطالعه گردد. به علاوه این موضوع می‌تواند موجب ایجاد اشتغال و توسعه صنعت گردشگری و خدمات آن گردد.

- ۴- استفاده بهینه از قابلیت‌های منابع آبی موجود براساس ویژگی‌های فرهنگی و اجتماعی در جهت توسعه تفرجگاهی.
- ۵- استفاده از شرایط آب و هوای کوهستانی در توسعه ورزش‌های زمستانی در فصل سرد مثل اسکی.
- ۶- برنامه‌ریزی در بهره‌گیری فصلی از اکوسیستم‌های آبی در گردشگری با محوریت حفاظت از منابع آبی در منطقه.
- ۷- اطلاع‌رسانی و توسعه تبلیغات در مورد ظرفیت اکوسیستم‌های آبی استان همدان برای توسعه سرمایه‌گذاری و توسعه گردشگری به جای استفاده از منابع آب در سایر بخش‌های کم بازده.

پی‌نوشت

- 1- Quntitative Strategic Planning Matrix
- 2- Internal-External Matrix

در این پژوهش با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی جاذبه‌های اکوتوریستی منابع آبی به روش SWOT، اکوتوریسم منابع آبی در سه منطقه غار علیصدر، آبشار گنج‌نامه و دریاچه اکباتان امکان‌سنجی و بررسی شد. بعد از تجزیه و تحلیل توصیفی و تحلیل SWOT، به تدوین راهبردها و استراتژی‌های مناسب جهت توسعه اکوتوریسم منابع آبی در مناطق کوهستانی و ماتریس نهایی در نواحی مورد مطالعه اقدام گردید. از بین مجموع عوامل داخلی مؤثر بر توسعه اکوتوریسم منابع آبی در نواحی مورد مطالعه، تعداد ۱۱ عامل به عنوان نقاط قوت و تعداد ۸ عامل به عنوان نقاط ضعف و از بین مجموع عوامل خارجی مؤثر بر توسعه اکوتوریسم منابع آبی در نواحی مورد مطالعه، تعداد ۱۰ عامل به عنوان فرصت خارجی و تعداد ۹ عامل به عنوان تهدید خارجی شناسایی و در تحلیل SWOT مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که از دیدگاه پرسش‌شوندگان گسترش اکوتوریسم منابع آبی در مناطق مورد مطالعه موجب حفظ محیط‌زیست و استفاده بهینه از چشم‌اندازهای طبیعی با کمترین هزینه می‌گردد. بعلاوه در بین نقاط قوت، مؤلفه وجود روحیه جمعی محلی و احساس غرور در میان ساکنان مناطق مورد نظر به عنوان مهمترین نقطه قوت و مؤلفه وجود زیرساخت‌های اولیه گردشگری در مقایسه با سایر حوزه‌های اطراف در منطقه به عنوان کم‌اهمیت‌ترین نقطه قوت در توسعه توریسم محسوب شده‌اند. همچنین مؤلفه عدم اطلاع‌رسانی مناسب در مورد اکوتوریسم منابع آبی مناطق مورد نظر بخصوص درباره دریاچه

پیشنهادهای

- با توجه به نتایج پژوهش حاضر، استراتژی‌های زیر به عنوان استراتژی‌های مطلوب به ترتیب اولویت پیشنهاد می‌گردند:
- ۱- ایجاد مشاغل در قالب تشکلهای خدماتی اکوتوریسم آبی به منظور کاهش فشار بر منابع آب و خاک.
- ۲- اصلاح الگوهای مصرف آب در بخش کشاورزی با استفاده از فناوری‌های جدید در مناطق کوهستانی الوند و تمرکز بر روی حفاظت از آن در جهت استفاده در اکوتوریسم آبی مثل مراکز تفریحات آبی.
- ۳- بهره‌گیری بهینه از فرصت وجود منابع آبی فراوان در استان در کنار جاذبه‌های تاریخی، فرهنگی، ژئومورفولوژیکی، فضای سبز مناسب برای به حداکثر رساندن توسعه اکوتوریسم، توریسم فرهنگی و توریسم تاریخی در جهت استفاده مؤثر از انواع جاذبه‌های آبی به عنوان مکمل توسعه گردشگری استان همدان.

- وزین، ن. ۱۳۹۳. تدوین الگوی برنامه‌ریزی راهبردی توسعه اکوتوریسم تالابی در راستای سلامت اکوسیستم تالاب و پایداری جوامع روستایی، مورد محدوده تالاب‌های میانکاله و لپوی زاغمرز. مجله علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی، جغرافیا، ۴(۲)، پیاپی ۱۳: ۱۵۳-۱۷۴.
- Chang H. and Huang W. 2006. Application of a quantification SWOT analytical method. Mathematical and computer modeling, 43: 158-169.
- Lixao-dong L.I. 2005. An application of SWOT analytic way in national parks' traveling programs of Jing Yue-tan [J]. Journal of Changchun University, 6: 23.
- Ping R. 2006. SWOT Analysis of Ecotourism Industry in Zipeng Mountain National Forest Park [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 9: 98.
- جوزی، ع. ۱۳۹۴. طراحی محیط‌زیستی پارک کوهستانی با تأکید بر توسعه گردشگری طبیعت، (نمونه موردی: پارک کوهستانی گلابدره منطقه یک تهران). پژوهش‌های محیط‌زیست، ۶(۱۱): ۱۴-۳.
- حیدری، ت. ۱۳۹۲. ارزیابی قابلیت‌های گردشگری شهر زنجان و راهبردهای تقویت جذب گردشگر. مطالعات گردشگری، ۷(۲۱): ۵۷-۲۹.
- رمضانی، ب. ۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی گردشگری سواحل بندر انزلی با استفاده از مدل SWOT. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶(ویژه‌نامه شماره ۱): ۲۷۵-۲۸۷.
- ضیایی، م. میرزایی، ر. ۱۳۸۸. چالش‌های مدیریتی و توسعه گردشگری در مناطق تحت حفاظت سواحل جنوبی دریای خزر (مطالعه موردی پناهگاه حیات وحش میانکاله). فصلنامه مطالعات جهانگردی، ۲: ۱-۳۴.

Pressure Management in Water Distribution Networks using Geographic Information System and Spatial Open Source Database (Case Study: Golestan Town of Shiraz)

Gh.R. Fallahi¹, M. Salehzadeh^{2*}

1- Assistant Professor, Technical Surveying School, National Surveying Organization, Tehran, Iran. 2- M.Sc. student of Science in Civil Engineering-Remote Sensing Engineering, GIS. Larestan Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

*(Corresponding Author Email: msz.salehzadeh@gmail.com)

Received: 07-02-2017

Accepted: 23-06-2017

مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب با استفاده از سامانه‌های اطلاعات مکانی و پایگاه داده مکانی متن‌باز (مطالعه موردی: شهرک گلستان شیراز)

غلامرضا فلاحي^۱، محمد صالح‌زاده^{۲*}

۱- استادیار آموزشکده نقشه برداری، سازمان نقشه برداری کشور. ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی سنجش از دور GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان.

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

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۴/۰۲

Abstract

One of the existing problems in water and wastewater companies is the management of pressure in the water distribution networks. Due to the direct relationship between the network pressure and the rate of users' consumptions, modeling the spatial distribution of pressure in a hydraulic software is possible. However, because of the Spatial Reference of the water network database, GIS is the preferred approach. Also, all the hydraulic behaviors and its changes can be modeled with a high location accuracy with this software. In this research, database reference modeling for a water distribution network has been carried out, as well as implementing its physical model in the PostgreSQL and PostGIS open source spatial database network, where the cost of its production, development, and support is less than a similar commercial software. Considering that topographical factors, pressure, and consumers demand have the greatest impact on the optimal distribution of water at the network, solutions such as determining the correct installation location for the suggested pressure reducing valves instead of the existing ones in order to optimize the pressure in high pressure areas have been suggested.

Keywords: Water distribution network, Pressure Management, Open source software, PostgreSQL, PostGIS.

چکیده

یکی از مشکلات موجود در سطح شرکت‌های آب و فاضلاب مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب است. با توجه به ارتباط مستقیم بین فشار شبکه و میزان مصارف مشترکین، مدل‌سازی توزیع مکانی فشار در نرم‌افزارهای هیدرولیکی قابل انجام است؛ ولی به علت مکان مرجع بودن داده‌های شبکه آب انجام آن در GIS ارجحیت داشته و می‌توان تمام رفتارهای هیدرولیکی و تغییرات آن را با دقت مکانی بالا مدل نمود. در این تحقیق، مدل‌سازی پایگاه داده برای شبکه توزیع آب انجام شده و مدل فیزیکی آن در نرم‌افزار پایگاه داده مکانی متن‌باز PostgreSQL و PostGIS که هزینه‌های تهیه، توسعه و پشتیبانی آن کمتر از نرم‌افزارهای تجاری مشابه می‌باشد، پیاده‌سازی گردیده است. با توجه به اینکه عوامل توپوگرافی، فشار و مصارف مشترکین بیشترین تأثیر را بر توزیع بهینه آب در شبکه توزیع دارند، راهکارهایی از قبیل تعیین محل صحیح نصب شیرآلات فشارشکن پیشنهادی به جای فشارشکن‌های موجود به منظور بهینه کردن فشار در مناطق پرفشار پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: شبکه توزیع آب^۱، مدیریت فشار، نرم‌افزار متن‌باز، PostgreSQL، PostGIS.

آب را می‌توان حیاتی‌ترین کالای عصر حاضر در نظر گرفت که ارزش آن روزبه‌روز در جوامع مختلف بشری مشهودتر و بااهمیت‌تر می‌گردد. به دلیل رشد سریع صنعتی و توسعه زیربنایی لازم است که مدیریت ساختارهای زیربنایی بهینه و کامل شوند. از جمله این ساختارها می‌توان شبکه‌های آب و فاضلاب را نام برد. با توجه به اهمیت این ماده حیاتی، استحصال، انتقال و توزیع آن بایستی با مدیریت صحیح و استفاده از فناوری‌های نوین انجام شود.

وجود نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری امری اجتناب ناپذیر است. امروزه کاهش نشت با استفاده از مدیریت پارامترهای هیدرولیکی نظیر فشار در کنار پروژه‌های نشت‌یابی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کنترل هوشمند فشار، روشی مناسب برای کنترل نشت و کاهش صدمات ناشی از فشارهای زیاد در شبکه به‌نظر می‌رسد. نتایج کنترل هوشمند فشار پس از مدل‌سازی و تلفیق روش اندازه‌گیری جریان حداقل شبانه و نصب شیر فشارشکن در شیر ورودی شبکه، همچنین تحلیل هیدرولیکی، نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از روش مدیریت فشار، ضمن کاهش نشت شبانه به حدود ۳۵ درصد، توزیع فشار را نیز در شبکه یکنواخت‌تر نمود (سلطانی اصل، ۱۳۸۸). از سویی بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب شهری، وقت و هزینه‌های بسیار سنگینی را طلب می‌کند. لذا محققین همواره به دنبال ایجاد روش‌های بهتر برای بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع آب بوده‌اند تا این روش‌ها را بتوانند در قالب برنامه‌های مکان مرجع از جمله سیستم اطلاعات مکانی^۲ ارائه نمایند. به همین دلیل استفاده از GIS، به‌عنوان یکی از علوم و فناوری‌های اخذ و مدیریت بهینه اطلاعات مکان مرجع ضروری می‌باشد. GIS در بسیاری از حالات یک اتصال عمومی میان انواع مختلف سیستم‌های اطلاعاتی به وجود می‌آورد که برای شبکه‌های توزیع آب، این اتصال سیستم‌های اطلاعاتی می‌تواند به‌عنوان یک کاربرد زیربنایی قلمداد گردد. از دیگر قابلیت‌های GIS دسترسی سریع و مطمئن به حجم عظیمی از اطلاعات متنوع می‌باشد که اصولاً ماهیت مکانی داشته و از بازایی، تجزیه و تحلیل، ترکیب و مدل‌سازی داده‌های موجود ایجاد می‌شوند (صارمی‌پور، ۱۳۸۳). فشار بالا همیشه یکی از مشکلات شبکه‌های توزیع آب به حساب می‌آید. نشت یکی از

پیامدهای فشار بالا در محل گره‌های مصرف می‌باشد که با توجه به هزینه بالای خسارت ناشی از نشت در هر سال، مدیریت نشت در شبکه حائز اهمیت است و می‌بایست اولویت مناطق مختلف از نظر مدیریت نشت مورد بررسی قرار گیرد. همچنین فشار پایین در شبکه نیز می‌بایست با تصحیح ضریب زبری افزایش یابد و اولویت آن در شبکه مشخص گردد که می‌توان از نرم افزار WaterGEMS و ArcGIS جهت اولویت‌بندی مدیریت نشت در شبکه توزیع آب و برطرف کردن مشکلات ناشی از فشار و به منظور تعیین اولویت استفاده کرد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۲). در بررسی اثرات فشار بر مصرف و تلفات آب با اعمال الگوهای متفاوت فشار برای خروجی شیر فشارشکن، می‌توان با اجرای مدیریت فشار تغییرات سه فاکتور حداقل جریان شبانه، جریان ورودی به شبکه و مصرف مشترکین را به ترتیب ۵۰، ۲۱ و ۳۰ درصد کاهش داد (قاضی‌زاده و ایدی، ۱۳۹۵). مواجه شدن با حجم عظیمی از داده‌ها و اطلاعات مکانی در زیرساخت‌های آب و فاضلاب، استفاده از فناوری‌های نوین را جهت جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، پردازش، دسترسی، مدل‌سازی و در نهایت فرایند تصمیم‌سازی در کوتاه‌ترین زمان و با بالاترین دقت و کمترین هزینه مطرح می‌سازد (عاشوری و احدی، ۱۳۹۴). از طرفی برای مدیریت پویا و بهینه شبکه‌های توزیع آب وجود یک پایگاه داده مکان محور^۳ لازم و ضروری است. پایگاه داده‌ای که دائماً به‌نگام شده و بتواند قوانین، خواسته‌ها و نیازهای سازمان را پیاده‌سازی و مرتفع نماید (محرابی و همکاران، ۱۳۸۶). باوجود تأمین مناسب آب از منابع مختلف، متأسفانه توزیع مناسب در سطح مناطق تحت پوشش انجام نمی‌گیرد و گهگاه مشاهده می‌گردد که در برخی مناطق افزایش فشار شبکه موجب مشکلاتی از قبیل ترکیدگی لوله، انشعاب، شیرآلات و دستگاه‌های اندازه‌گیری شده درحالی‌که در سایر مناطق با افت فشار و در نهایت مشکل در تأمین آب با فشار استاندارد و مناسب برای مشترکین مواجه می‌باشد. به همین دلیل با توجه به اینکه اغلب داده‌های شبکه‌های انتقال و توزیع آب ماهیت مکانی داشته و در پایگاه داده مکان محور این شرکت‌ها ذخیره‌سازی می‌گردند، با استفاده از GIS می‌توان مدیریت مؤثر بر این داده‌ها و در نهایت اعمال تصمیم بهینه در زمینه موضوع تحقیق را با استفاده از اطلاعات و تحلیل‌هایی که در اختیار کاربران، کارشناسان و مدیران قرار می‌دهد، اعمال نمود.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

شهرک گلستان در شمال غربی شهر شیراز و در مجاورت بزرگراه شیراز سپیدان و شهر صدرا و شهرک‌های بهشتی، حافظ، استقلال و بزین و در دامنه کوه دراک قرار دارد. این ناحیه در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۲ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۰

ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۴ دقیقه و ۳۳ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه شمالی قرار دارد. مساحت این شهرک حدود ۴۰۴ هکتار و طبق سرشماری رسمی سال ۱۳۸۵ این منطقه دارای جمعیتی بالغ بر ۳۷۴۳۵ نفر می‌باشد (مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶). نقشه پایه مورد استفاده در این شهرک، نقشه ۱:۲۰۰۰ شهر شیراز می‌باشد که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده است. شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد.

• داده‌های مکانی منطقه مورد مطالعه

در ابتدا نقشه شبکه آب شهرک گلستان با فرمت DWG اخذ و نسبت به آماده‌سازی (GIS Ready) این اطلاعات اقدام گردید. پس از تبدیل به فرمت ژئودیتابیس و اعمال توپولوژی بر روی داده‌های اخذ شده کلیه خطاهای توپولوژیکی آن‌ها رفع گردید. نقشه اخذ شده شامل لایه‌های قطعات ملکی، آدرس‌ها، شبکه آب، شیرآلات، مخازن و پمپاژهای آن شهرک می‌باشد.

در خصوص پایگاه‌های داده موجود در شرکت آب و فاضلاب شیراز دو پایگاه داده در شرکت مذکور موجود می‌باشد:

۱- پایگاه داده حوادث و اتفاقات ۲- پایگاه داده مشترکین که هر دو در محیط پایگاه داده SQLserver 2008 نگهداری می‌شود.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (محدوده شهرک گلستان)

• روش پیاده‌سازی داده‌ها جهت تحلیل هیدرولیکی

شبکه، مجموعه‌ای از خطوط مرتبط بوده و مجموعه‌ای از عوارض را به هم مرتبط می‌کند که از میان آن‌ها، منابع جریان دارند (تجویدی، ۱۳۸۱). برای انجام آنالیز شبکه، ما بین اجزاء آن بایستی پیوستگی کامل وجود داشته باشد. قبل از ورود داده‌ها به نرم‌افزار تحلیل هیدرولیکی بایستی بر روی داده‌های شبکه آب، شبکه هندسی^۴ را پیاده‌سازی نمود. در شبکه هندسی، ابتدا یک حد مجاز^۵ برای متصل شدن تمام اجزاء شبکه تعریف گردیده و سپس تمام لوله‌ها به صورت لبه‌های پیچیده مدل گردیده‌اند (Brussela و Alib، ۲۰۰۴) شکل (۲) شبکه هندسی پیاده‌سازی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. نرم‌افزار WaterGEMS جهت انجام تحلیل هیدرولیکی شبکه آب بر اساس داده‌های مکانی نرم‌افزار استفاده می‌شود. برای انجام تحلیل‌های هیدرولیکی این تحقیق از نرم‌افزار WaterGEMS V8i SELECT series 6 به همراه ArcGIS 10.3.1 استفاده گردید.



شکل ۲- شبکه هندسی پیاده‌سازی شده این تحقیق

• پایگاه داده مکانی و نحوه پیاده‌سازی

مجموعه نرم‌افزارهایی که منبع کد آن‌ها موجود بوده و قابل دسترس همگان می‌باشد را متن‌باز می‌گویند. فلسفه وجود

چنین نرم‌افزارهایی توسعه نرم‌افزار و برطرف شدن مشکلات آن توسط همه مردم می‌باشد. با این دیدگاه، نرم‌افزارهای بسیاری به صورت متن‌باز در حال حاضر در دنیا وجود دارد که می‌توان آن‌ها را از سایت‌های اینترنتی مرتبط دریافت نمود و به صورت رایگان استفاده کرد و در صورت نیاز کد آن‌ها را تغییر داد (نظامی، ۱۳۹۰). پایگاه داده طراحی شده در این تحقیق، Spatial Geodatabase تحت سیستم مدیریت پایگاه داده PostgreSQL می‌باشد. سپس عوارض بر اساس نتایج فاز مدل‌سازی مفهومی، در قالب Feature Class طراحی گردیدند. در جدول (۱) نام پایگاه داده، نام سرور، محل ذخیره‌سازی داده‌ها بر روی سرور و نحوه دسترسی به آن‌ها ارائه شده است. قابلیت بسیار خوب تعریف نوع داده‌های جدید به همراه ساخت توابع و عملگرهای مربوط در PostgreSQL این امکان را برای تیم توسعه شرکت Refractions Research Inc فراهم آورد تا امکانات داده‌های مکانی به نام PostGIS را به این پایگاه داده بیفزایند. در واقع PostGIS به PostgreSQL امکانات مکانی اضافه کرده و آن را به یک پایگاه داده‌ی مکانی، برای GIS تبدیل می‌کند. PostGIS از استانداردهای کنسرسیوم متن‌باز مکانی (OGC)^۶ تبعیت کرده و یک پایگاه داده مکانی استاندارد می‌باشد. از مهم‌ترین مزیت‌های این پایگاه داده این است که تقریباً تمامی نرم‌افزارها و کتابخانه‌های متن‌باز (Map) شوند (Bonniface و Coppins، ۲۰۰۷). همچنین این پایگاه داده می‌تواند با نرم‌افزارهای تجاری‌ای چون ESRI ArcGIS مدیریت شود. شکل (۳) نحوه ارتباط با پایگاه داده طراحی و نرم‌افزار شده این تحقیق را نشان می‌دهد. همچنین نحوه اختصاص سیستم مختصات^۸ نقشه داده‌های شبکه توزیع آب شهرک گلستان که در پایگاه داده Postgres پیاده‌سازی شده است به صورت ذیل می‌باشد:

EPSG: 32639

WGS84 Bounds: 48.0000, 0.0000, 54.0000, 84.0000

Projected Bounds: 166021.4431, 0.0000, 833978.5569, 9329005.1825

Scope: Large and medium scale topographic mapping and engineering survey.

Last Revised: June 2, 1995

Area: World - N hemisphere - 48°E to 54°E - by country

جدول ۱ - نحوه ذخیره سازی داده ها و نحوه دسترسی در سیستم

محل ذخیره سازی داده ها و نحوه دسترسی

Type of data: vector digital data

Location of the data:

Server=Localhost; Service=5151; Database= Postgis20_water_network; User=postgres; Version=sde.DEFAULT

Data processing environment: Microsoft Windows 10; ESRI ArcCatalog 10.3.0.4322

در این بسته از قابلیت های نرم افزار Potgres و ERSI ArcGIS و PostGIS برای پردازش های مکانی استفاده می شود.

• تهیه مدل مفهومی

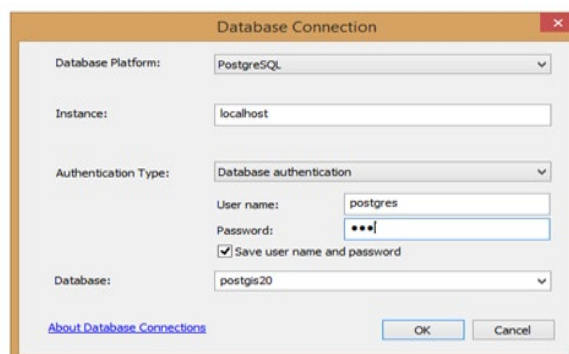
جهت مدل سازی شبکه توزیع آب شهرک گلستان و به منظور تهیه مدل مفهومی این شبکه نسبت به تعیین عوارض مکانی و اطلاعات توصیفی متناسب به هر عارضه، اقدام گردید که به طور خلاصه شامل موارد ذیل می شود:

۱- تعیین داده های مکانی مورد نیاز این تحقیق

۲- تعیین مشخصات توصیفی عوارض شبکه توزیع آب

• مدل داده ای شبکه توزیع آب شهرک گلستان

با بررسی های انجام شده در زمینه عوارض موجود در شبکه توزیع آب شهری و اخذ نظرات کارشناسان مرتبط شرکت آب و فاضلاب شیراز، به تعیین عوارض مکانی، مشخصات توصیفی این عوارض و نوع داده های اطلاعات توصیفی عوارض شبکه توزیع آب اقدام گردید. این اطلاعات جهت تهیه مدل مفهومی و تشکیل پایگاه داده مکانی مورد نیاز می باشد و در نهایت در پایگاه داده شبکه توزیع آب شهرک گلستان طراحی و پیاده سازی گردید. به منظور طراحی منطقی عوارض شبکه توزیع آب در پایگاه داده این تحقیق، نیاز به تعیین دقیق نوع داده ها و خصوصیات فیلدهای^{۱۰} اطلاعاتی این عوارض در فاز طراحی مدل مفهومی، می باشد. به همین منظور فرایند تعیین نوع داده ای فیلدهای اطلاعاتی عوارض تعیین شده انجام پذیرفت که نمونه ای از نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۳ - نحوه ارتباط با پایگاه داده

• مدل سازی منطقی و طراحی سیستم مدیریت پایگاه داده

بر اساس مطالعات و بررسی های صورت گرفته، با توجه به وجود متخصصین کافی در زمینه معماری بانک های اطلاعاتی متن باز از قبیل PostgreSQL و همچنین وجود مستندات کافی در زمینه سیستم مدیریت پایگاه داده مبتنی بر Postgres و قابلیت توسعه این سیستم با بالاترین سرعت و کمترین هزینه، در تحقیق حاضر، معماری PostGIS /Postgres/ESRI جهت ذخیره اطلاعات مکانی و توصیفی استفاده شده است. در یک سیستم مدیریت پایگاه داده شی-رابطه ای، داده ها در جداولی متشکل از سطرها و ستون ها ذخیره می شوند. دستورات ساده تا پیچیده SQL، این اجازه را به کاربر می دهد که هر نوع پرسش و پاسخ^{۱۱} را از ستون های جداول بگیرند. تفاوت عمده بسته های فناوری در خصوص مؤلفه موتور تحلیل مکانی می باشد (Feinberg, ۲۰۰۶). PostGIS /Postgres/ ESRI بسته فناوری مناسب استفاده شده در این تحقیق می باشد.

جدول ۲- فیلدهای اطلاعات توصیفی عارضه شیرآلات و نوع داده‌ای آن‌ها

نام لاتین عارضه: Valve		
Valve_Type	Valve_Substance	Spanner_Type
Alias: Valve_Type	Alias: جنس شیر	Alias: نوع آچار مربوطه
Data type: String	Data type: String	Data type: SmallInteger
Width: 30	Width: 50	Width: 2

• الزامات پیاده‌سازی پایگاه داده متن‌باز

با طراحی این پایگاه داده و شبکه هندسی نتایج زیر به دست آمد:

۱- برای ایجاد پایگاه داده مکانی بایستی داده‌های ورودی کاملاً رفع خطا شده تا بتوان در نهایت قوانین اعتبارسنجی^{۱۱} را به‌درستی طراحی و پیاده نمود.

نتایج و بحث

• نتایج بررسی وضعیت فشار در گره‌های شبکه توزیع آب شهرک گلستان

با استفاده از GIS می‌توان توزیع مکانی فشار در شبکه‌های آب‌رسانی شهری را مدل نمود. گرچه این عمل در نرم‌افزارهای هیدرولیکی قابل انجام است ولی ارجحیت GIS به مکان مرجع بودن آن می‌باشد و می‌توان تمام رفتارهای هیدرولیکی و تغییرات آن را با همان دقت و با توجه به مکان دقیقشان مدل نمود. با توجه به ارتباط مستقیم بین فشار آب در شبکه و میزان مصارف مشترکین، در این تحقیق نسبت به مدل‌سازی فشار در سه سناریوی فشاری مختلف اقدام گردید: ۱- مدل‌سازی شبکه بدون اعمال فشارشکن‌های موجود، ۲- مدل‌سازی شبکه با در نظر گرفتن فشارشکن‌های موجود در شبکه، ۳- مدل‌سازی شبکه با در نظر گرفتن فشارشکن‌های پیشنهادی این تحقیق.

• وضعیت فشار آب شهرک گلستان بدون نصب فشارشکن

شکل (۴) وضعیت فشار مدل شده این شهرک بدون نصب فشارشکن در شبکه و لحاظ فشار ناشی از توپوگرافی منطقه در هر نقطه را برحسب متر آب نشان می‌دهد.

حداکثر فشار شبکه آب طی ۲۴ ساعت زمانی که هیچ فشارشکنی در شبکه موجود نمی‌باشد ۱۲۸ متر آب^{۱۴} است.

شکل (۵) مدل رستری^{۱۵} رقومی فشار منطقه مورد مطالعه را با استفاده از توابع درونیابی^{۱۶} (تابع کریجینگ^{۱۷}) و در زمان عدم اعمال فشارشکن نشان می‌دهد.

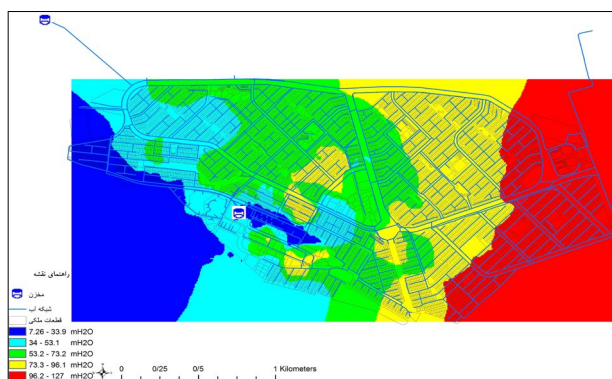
۲- قبل از ایجاد یک شبکه هندسی حتماً بایستی بر روی شبکه، توپولوژی زده شود.

۳- به دلیل آنکه شبکه هندسی یک مدل کاملاً توپولوژیک است، شبکه‌های هندسی آب و فاضلاب در دسته داده‌های متفاوت از بقیه عوارض شهری مثل قطعات ملکی قرار می‌گیرند تا امکان توپولوژی زدن بر روی آن‌ها وجود داشته باشد.

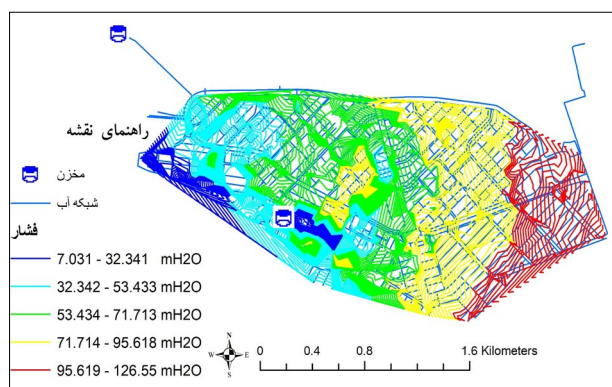
۴- برای بررسی درستی تحلیل‌های شبکه می‌بایست تمام اجزای شبکه کاملاً به هم متصل باشند.

۵- دامنه‌های توصیفی که در ژئودیتابیس تعریف می‌شوند، محدودیت بسیار کارآمدی را برای توصیفات کلاس‌های عارضه ایجاد می‌کنند.

۶- برای مدل‌کردن جهت حرکت آب در شبکه هندسی آب‌رسانی، مخزن به‌عنوان منبع اصلی ایجاد جریان در نظر گرفته شده است.



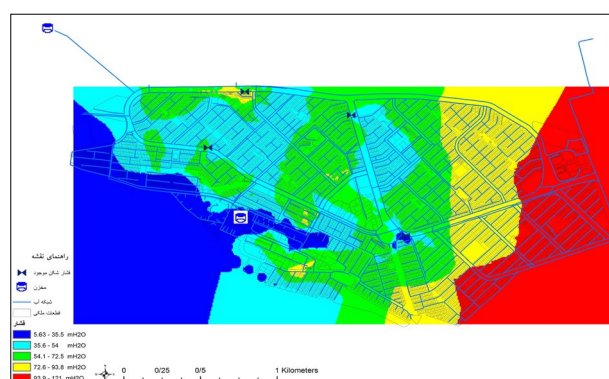
شکل ۴- مدل وضعیت فشار آب شهرک گلستان بدون نصب فشارشکن در شبکه و لحاظ فشار ناشی از توپوگرافی منطقه برحسب متر آب در هر نقطه



شکل ۵- مدل رستری رقومی فشار منطقه مورد مطالعه بر اساس توابع درونیابی

• وضعیت فشار آب شهرک گلستان با نصب فشارشکن‌های موجود

در سال‌های اخیر شرکت آب و فاضلاب نسبت به نصب چندین فشارشکن در مناطق مختلف شبکه آب شهرک گلستان اقدام نموده است که نتیجه آن تقلیل حداکثر فشار در این شهرک به میزان نسبتاً کمی می‌باشد. حداکثر میزان فشار شبکه آب طی یک بازه زمانی ۲۴ ساعته با اعمال فشارشکن‌های موجود، ۱۲۲ متر آب می‌باشد. شکل (۶) محل قرارگیری فشارشکن‌های موجود و مدل رستری رقومی فشار منطقه مورد مطالعه را با استفاده از توابع درون‌یابی کریجینگ و در زمان اعمال فشارشکن‌های موجود نشان می‌دهد.



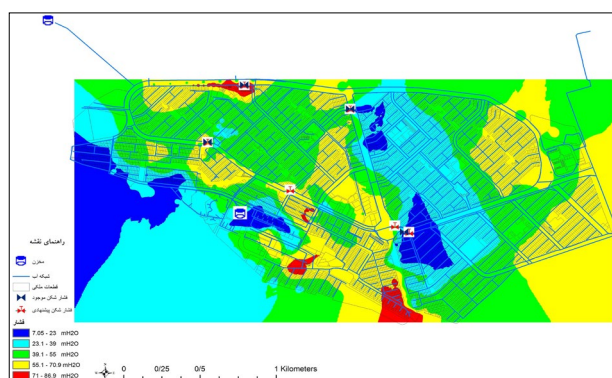
شکل ۶- نقشه محل قرارگیری فشارشکن‌های موجود و مدل رستری رقومی فشار منطقه مورد مطالعه پس از اعمال فشارشکن‌های موجود در مدل

• **بررسی وضعیت فشار در گره‌های شبکه توزیع آب شهرک گلستان**
جدول (۳) میزان فشار در ساعت ۱۲ شب در دو گره شماره ۱۰۳۴ و ۵۰۱ که به طور تصادفی از تعداد ۱۰۰۹ گره موجود در شبکه انتخاب شده است را در سه سناریوی بدون اعمال فشارشکن، با اعمال فشارشکن موجود و با اعمال فشارشکن پیشنهادی در مدل نشان می‌دهد. با کنترل میزان فشار در هر نقطه ثابت، می‌توان میزان مصرف مشترکین در آن نقطه را کاهش داد؛ زیرا از طرفی باعث کاهش حداقل جریان شبانه در شبکه شده و با توجه به بهینه‌شدن فشار باعث کاهش مصرف می‌گردد.

جدول (۴) بازه فشاری و درصد مساحت مناطق دارای فشار بهینه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول با اعمال فشارشکن‌های پیشنهادی علاوه بر کاهش حداکثر

• وضعیت فشار آب شهرک گلستان با نصب فشارشکن‌های اثربخش پیشنهادی

با توجه به اینکه فشارشکن‌های موجود در محل‌های مناسب نصب نشده و کمترین تأثیر بر کاهش فشار آب در شبکه را نیز نداشته، در این تحقیق نسبت به ارائه مکان‌های مناسب تعبیه و نصب فشارشکن پیشنهادی ارائه شده و نتیجه اعمال فشارشکن‌های پیشنهادی در مدل هیدرولیکی بررسی شده است. حداکثر میزان فشار شبکه طی یک بازه زمانی ۲۴ ساعته با اعمال فشارشکن‌های پیشنهادی ۸۸ متر آب می‌باشد که بیانگر کمینه‌کردن میزان فشار شبکه آب در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل (۷) محل قرارگیری فشارشکن‌های پیشنهادی و مدل رستری رقومی فشار منطقه مورد مطالعه را با استفاده از توابع درون‌یابی و در زمان اعمال فشارشکن‌های پیشنهادی نشان می‌دهد.



شکل ۷- مدل رستری رقومی فشار منطقه مورد مطالعه پس از اعمال فشارشکن‌های پیشنهادی در مدل

بازه فشاری در شبکه آب منطقه مورد مطالعه از میزان ۱۲۶ به ۸۶ متر آب، میزان مساحت مناطق دارای فشار بهینه نیز به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته است.

جدول ۳- مقایسه فشار دو گره در سه حالت بدون نصب فشارشکن در شبکه، نصب فشارشکن‌های موجود و نصب فشارشکن‌های پیشنهادی تحقیق

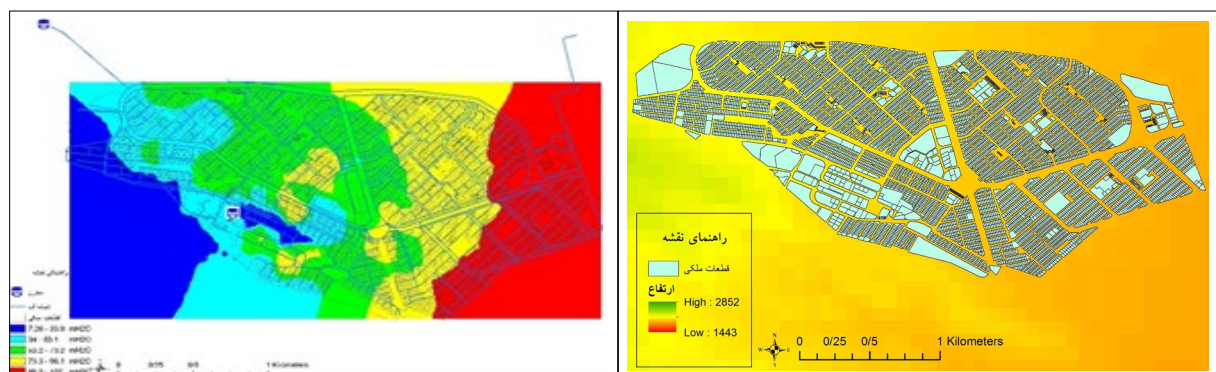
سناریو	فشار در گره ۱۰۳۴ (mH2O)	فشار در گره ۵۰۱ (mH2O)
فاقد فشارشکن	۱۱۷	۱۰۳
فشارشکن موجود	۱۱۱	۹۲
فشارشکن پیشنهادی	۶۱	۶۴

جدول ۴- بازه فشاری و درصد مساحت مناطق دارای فشار بهینه در

منطقه مورد مطالعه		
بازه فشاری	درصد مساحت	
mH20	تحت پوشش	
۰-۱۵	۰/۴۲	فاقد فشارشکن
۱۵-۲۵	۸/۴۳	
۲۵-۴۵	۱۸/۴۸	
۴۵-۱۲۶	۷۲/۶۷	
۰-۱۵	۰/۲۳	فشارشکن موجود
۱۵-۲۵	۱۰/۳۳	
۲۵-۴۵	۱۸/۲۰	
۴۵-۱۲۰	۷۱/۲۱	
۰-۱۵	۰/۳۳	فشارشکن پیشنهادی
۱۵-۲۵	۱۴/۲۰	
۲۵-۴۵	۲۹/۵۸	
۴۵-۸۶	۵۵/۸۷	

با توجه به اینکه تنها منبع تغذیه منطقه تحت پوشش، دو مخزن موجود در شبکه می باشد و هیچ گونه ایستگاه پمپاژی در منطقه و مدل هیدرولیکی وجود ندارد، تنها عامل ایجاد فشار آب در منطقه، فشار ستون آب ایجاد شده بر اساس فاکتور توپوگرافی منطقه می باشد، به صورتی که مناطق دارای کمترین ارتفاع دارای بیشترین فشار ستون آب می باشند و با افزایش ارتفاع در منطقه فشار کاهش می یابد (شکل ۸). همچنین این عامل در مدیریت بهینه توزیع آب بیشترین تأثیر را دارد. همان گونه که مشاهده می گردد با کاهش ارتفاع در منطقه میزان فشار آب افزایش می یابد و ملاحظه می گردد که میزان فشار در مناطق شمالی شبکه واقع در ورودی این شهرک بیشترین مقدار و در نتیجه دبی عبوری آب در این لوله ها بالاست و مناطق جنوبی شهرک دارای کمترین فشار آب و در نتیجه دبی عبوری دارای کمترین مقدار می باشد.

تغییرات فشار و بقیه رفتارهای هیدرولیکی آب در این منطقه وابسته به میزان مصرف آب در گره های برداشت می باشد و توپوگرافی و شیب در آن بیشترین تأثیر را دارند (شکل ۷).



شکل ۸- مطابقت نقاط کم ارتفاع منطقه مورد مطالعه با نقاط پرفشار و نقاط مرتفع با نقاط دارای فشار حداقل (شکل سمت راست مدل رقومی فشار و رابطه آن با ارتفاع منطقه مورد مطالعه و شکل سمت چپ رابطه بین توپوگرافی منطقه و مدل رقومی فشار را نشان می دهد).

نتیجه گیری

مکان محور هیدرولیکی در تعیین فشار هر کدام از اجزای شبکه توزیع آب کمک کرده و با مکانی شدن فشار، محل های پرفشار شبکه تعیین می شود که با کنترل آن ها می توان در کاهش حوادث، کاهش تلفات آب و در نهایت مدیریت مناسب توزیع آب در شبکه اقدام نمود.

میزان مصارف مشترکین در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت می باشد و این مصارف بر میزان فشار مناطق تأثیرگذار می باشد به صورتی که با کاهش مصرف مشترکین، میزان فشار در این مناطق افزایش می یابد و این امر باعث افزایش میزان نشت در این مناطق شده و با توجه به هدررفت آب، توزیع آن با مشکل مواجه می شود. برای رفع این مشکل بایستی در این مناطق شیرآلات فشارشکن نصب کرد و نسبت به توزیع مناسب فشار اقدام نمود.

در حال حاضر مناطق نزدیک مخازن در این شهرک، دارای فشار

با استفاده از تحلیل های یافتن مسیر بالادست و پایین دست، می توان لوله های بالادست یا خروجی از محل حادثه دیده را به سرعت شناسایی کرده و اقدامات لازم جهت رفع مشکل را انجام داد. با تحلیل های شبکه می توان به شیر خط هایی رسید که با بستن آن ها آب محل حادثه دیده قطع می گردد و یا لوله هایی را شناسایی کرد که با بستن یک شیر خط، بی آب می گردند. تمام این تحلیل ها باید با در نظر گرفتن فشار در چرخه ها انجام شود. در نتیجه برای رسیدگی دقیق و سریع به حوادث و اتفاقات در این شبکه ها استفاده از شبکه های هندسی آب بسیار مؤثر و کارآمد می باشد.

با توجه به اینکه فشار بالای آب در شبکه توزیع باعث ایجاد ترکیدگی و نشت در شبکه می شود، استفاده از GIS و تحلیل های

متعادل بوده و با دور شدن از مخزن و با توجه به تأثیر توپوگرافی بر فشار، فشار اکثر نقاط با فاصله از مخازن زیاد می‌شود.

با توجه به محدودیت منابع آب بخصوص در این شهرک بایستی نسبت به توزیع مناسب آن و با در نظرگرفتن میزان فشار آب در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه اقدام نمود؛ که این عمل باعث افزایش نرخ فروش واقعی آب، جلوگیری از سرمایه‌گذاری غیرضروری، کاهش هدر رفت آب و کاهش ترکیدگی لوله‌های شبکه آب با بهینه‌سازی میزان فشار می‌شود.

مهمترین عامل استفاده از معماری PostGIS/Postgres/ESRI متن باز بودن و قابلیت توسعه توسط کاربران مختلف و سادگی کار در این معماری می‌باشد. برای پایگاه داده می‌توان چند زیرسیستم در

پی‌نوشت

- 1- Geometric Network
- 2- GIS
- 3- Spatial database
- 4- Geometric Network
- 5- Tolerance
- 6- Snap
- 7- Open Geospatial Consortium
- 8- Coordinate System
- 9- Query
- 10- fields
- 11- Validation Rules
- 12- Domain
- 13- Relationship
- ۱۴- متر آب mH2O: فشار اعمالی توسط ستونی از آب به ارتفاع يك متر به واحد سطح برابر با 0.1 bar یا 10 kpa یا 0.1 kg/cm2 می‌باشد.
- ۱۵- مدل داده رستری، شبکه منظمی از سلول‌های مربعی یا مستطیلی می‌باشد و هر سلول نشان‌دهنده یک مساحت و یک مقدار از سطح زمین است.
- 16- Interpolation
- 17- Kriging
- 18- Loops

منبع

تجویدی، گ. ۱۳۸۱. مقدمه‌ای بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، چاپ اول، سازمان نقشه‌برداری کشور.

قاضی‌زاده، ج. و ایدی، ض. ۱۳۹۵. ارائه روابط تحلیلی مدیریت فشار در شبکه‌های توزیع آب، مجله علمی دانشگاه تهران، ۴۲(۳): ۵۱۷-۵۲۹.

عاشوری، ا. و احدی، ع. ۱۳۹۴. پیاده‌سازی سامانه اطلاعات مکانی و

نظر گرفت و برای هر کدام طراحی و برنامه‌ریزی خاص خود را انجام داد؛ مانند زیرسیستم مشترکین جهت کمک به مدیریت موارد مربوط به آن‌ها، زیرسیستم حوادث و اتفاقات به‌منظور دریافت، ثبت و مدیریت بهینه حوادث و اتفاقات در شبکه، زیرسیستم بهره‌برداری و یا تعمیر و نگهداری و زیرسیستم‌های دیگر با توجه به امکانات و نیازمندی‌های موجود.

با GIS Ready کردن صحیح تمام شبکه‌های آب و تأسیسات مرتبط، همچنین با تحلیل فشار شبکه‌های آب و محاسبه دقیق محل فشار شبکه آب توسط GIS و با اعمال فشارشکن در مناطقی از شبکه که فشار آب زیاد می‌باشد، می‌توان از مشکلات بسیار زیادی که ناشی از فشار زیاد در شبکه است، جلوگیری به عمل آورد.

کاربرد آن در مدیریت و تصمیم‌سازی شرکت‌های آب و فاضلاب

شهری، مجله آب و توسعه پایدار، ۲(۲): ۸-۱۰.

سلطانی‌اصل، ف. ۱۳۸۸. مدیریت هوشمند فشار به‌منظور کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی، مطالعه موردی: منطقه سرافرازان مشهد، مجله آب و فاضلاب، ۲۰(۳): ۹۹-۱۰۴.

صارمی‌پور، م. ۱۳۸۳. طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل وضعیت فشار در شبکه‌های انتقال آب شهری با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

محرابی، ع.، رنگزن، ک.، آبشیرینی، ا. و معتمدی، م. ۱۳۸۶. مدیریت شبکه فاضلاب منطقه شهری کیان پارس و کیان‌آباد با طراحی ژئودیتابیس و شبکه هندسی، همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

محمودی، ف.، کمالی، ج. و حق‌جوئی، ه. ۱۳۹۲. اولویت‌بندی مدیریت نشت در شبکه توزیع آب با استفاده از GIS، ششمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور. نظامی، س. ۱۳۹۰. نرم‌افزارهای متن‌باز در دنیای سیستم‌های اطلاعات مکانی، نشریه نقشه‌برداری، شماره ۱۱۰، سازمان نقشه‌برداری کشور.

نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۸۵، مرکز آمار ایران، ۱۳۸۶.

Brussela M.J.G. and Alib A.M. 2004. Improving utility operation and maintenance through use of GIS. The case of New Fayoum. Presented at the ITI 6th Arab GIS Conference, Cairo. Information Technology Institute.

Bonniface J. and Coppins G. 2007. Particle data management-turning data into accessible information. Environmental Projects Department, UKAEA Dounreay, UK, 18: 230-254.

Feinberg D.H. 2006. Integrating GIS with utility Information management Systems, GIS Specialist. GIS development, Montgomery Watson Americas, Inc., U.S.A.



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 رشته آب دارای رتبه‌های یک و دو

o پیمانکاران مرتبط با رشته 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،

پیشنهادهای 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

بدنه‌ی 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، به‌روشنی 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 A۴ 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: نگارنده‌گان. 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, New York.

۳. همایش‌ها: نگارنده‌گان. 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.

آب کالایی چند وجهی است؛ عمومی، اقتصادی و خاص. ارزش اقتصادی آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک انکارناپذیر است و توسعه اقتصادی و اجتماعی در این نواحی وابسته آن می‌باشد. آب ماده‌ای بی‌همتا و غیرقابل جایگزین برای اکوسیستم و انسان بوده و بدین لحاظ جایگاه بسیار ویژه‌ای دارد. بنابراین، کارآمدی یا ناکارآمدی مدیریت آب می‌تواند تأثیر فوق‌العاده‌ای بر جوامع انسانی و محیط طبیعی بگذارد. چند وجهی بودن آب، موجب تعدد دیدگاه‌ها نسبت به آن و نوعی سردرگمی گشته است. این امر به نوبه خود منجر به برداشت‌های متفاوت و حتی متعارض از ماهیت اجتماعی-اقتصادی آب و رویکردهای مدیریت آن شده است. لذا بنظر می‌آید ابهام‌زدایی در مورد مفاهیم مدیریت آب ضروری است. آنچه ارایه می‌شود طرح نظرگاه نویسندگان است. از خوانندگان محترم دعوت می‌گردد تا این یادداشت را برای دستیابی به وضوح بیشتر، نقد و بررسی کنند و مطالب خویش را برای درج به نشریه آب و توسعه پایدار منعکس نمایند.

«هیأت تحریریه نشریه»

چکیده

جامعه‌شناسی علمی است که با تأکید بر پدیده‌های اجتماعی، به مطالعه ساختارها و نهادها و نیز روابط و گروه‌های موجود در یک جامعه می‌پردازد. این علم در سه دهه گذشته نقشی فزاینده در مباحث مدیریت آب یافته است. به تناسب این نقش، برخی مفاهیم و واژگان از این علم وام گرفته شده و در حوزه مدیریت آب کاربرد یافته و رایج گردیده‌اند. اما در بسیاری از متون فارسی مدیریت آب، کاربرد این واژگان با بی‌دقتی همراه شده است. این یادداشت به تشریح برخی از این واژگان (مرتبط با کلمه Stakeholder) و ابهام‌زدایی از مفاهیم آنها پرداخته است. به این منظور، برداشت‌های متخصصان با دیدگاه‌های متفاوت (علوم اجتماعی، اقتصاد، مدیریت، مهندسی صنایع، محیط‌زیست، و مهندسی آب) از مفاهیم مورد نظر پرسش و پردازش شد. سپس این نظرات جمع‌بندی گردیده و در نهایت، برگردان مناسب برای هر کلمه پیشنهاد گردیده است. در انتها اشاره‌ای به زیر مجموعه‌های کلمه Stakeholder شده است تا باب بحث را برای آنها نیز بگشاید.

کلید واژه‌ها: گرودار، کنشگر، کنشگر کلیدی، مدیریت آب.

۱- مقدمه

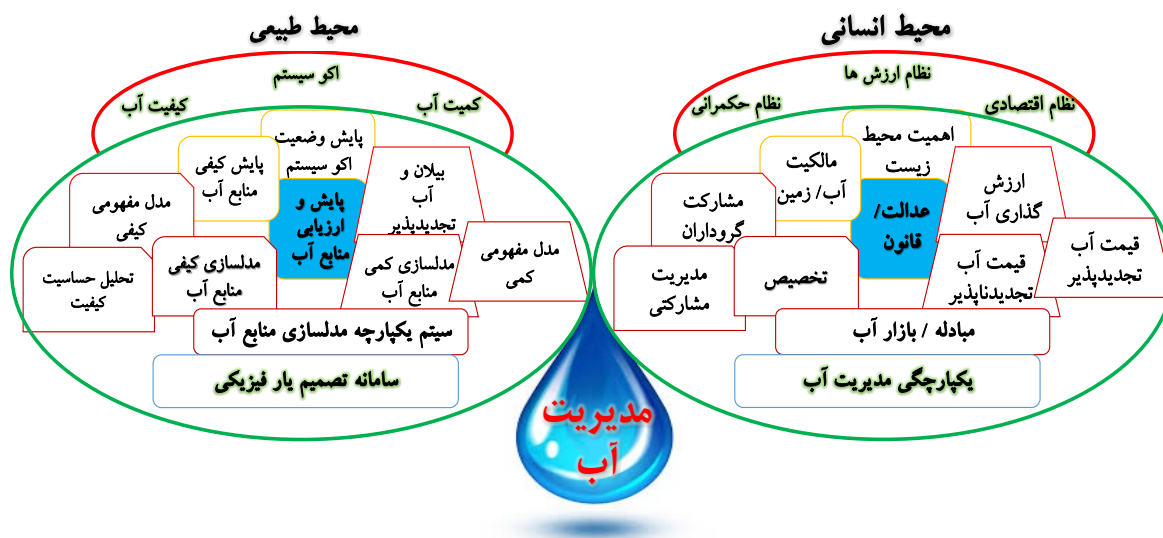
آب یک منبع حیاتی و کمیاب است که موجودات زنده بطور مستمر به آن نیاز دارند. همچنین کالایی با ارزش و غیرقابل جایگزین در توسعه اجتماعی و اقتصادی است. آب غیر قابل جایگزین است زیرا به عنوان نمونه، گرچه کشاورزی بدون خاک امکان‌پذیر است، اما بدون آب حتی تصور کشاورزی هم غیر ممکن است. از طرف دیگر این کالای غیرقابل جایگزین (آب)، از نظر مالکیت جزء مشترکات است. زیرا همه به آب در حد شرب و بهداشت نیازمندند و حتی در اعلامیه حقوق بشر هم تأمین آب شرب و بهداشتی سالم وظیفه‌ای برای دولت‌ها تلقی شده است. اما مشترک بودن آب، اگر به درستی مدیریت نشود، خود موجب مشکلات خواهد بود؛ آنطور که «گارت جیمز هاردین» بوم‌شناس آمریکایی در سال ۱۹۶۸ در مقاله‌ای با عنوان «تراژدی منابع مشترک» شرح داده است. یک مرتع مشترک بین دو دامدار را تصور نمایید. هر دامدار یک گاو دارد و اجازه دارد

تا به رایگان گاو خود را برای چرا به این مرتع ببرد. سهم هر دامدار ۵۰ درصد است. اما اگر یکی از دامدارها یک گاو دیگر هم به مرتع ببرد، دامدار دیگر مجبور است برای آنکه به سهم ۵۰ درصدی خود برسد، او نیز گاوی دیگر به مرتع ببرد و البته هر دو دامدار به نسبت زمانی که تنها یک گاو داشتند، سودی بیشتر می‌برند. به همین ترتیب برای داشتن سود بیشتر، هر یک از دامدارها به تعداد گاوهایشان اضافه خواهند کرد و احتمالاً عدالت در این است که سهم ۵۰ درصدی‌شان نیز حفظ شود. در حالیکه این رقابت برای دستیابی به سود بیشتر، موجب نابودی مرتع می‌شود. معمولا در محاسبات اقتصادی مرسوم به پایداری منابع (در این مثال: کمیت و کیفیت مرتع) کمتر توجه می‌شود. این مقاله هاردین، بحث‌های زیادی را برانگیخت که دامنه آنها از حوزه بوم‌شناسی و علوم طبیعی فراتر رفت و به حوزه‌های سیاست و اقتصاد نیز تعمیم یافت. تجربه مدیریت آب در کشورهای مختلف نشان داده است که بحران آب در بسیاری از موارد ناشی از کمبود آب نبوده بلکه متأثر از عدم توجه به مقوله پایداری در توسعه و ضعف مدیریت آب است. بر این اساس، می‌توان نشان داد رابطه معنادار و مشخصی بین ساختار سیاسی، اجتماعی و اقتصادی یک کشور و نحوه مدیریت آب در آن وجود دارد. به نحوی که این مدیریت، تابعی از این ساختارها بوده، اگرچه که تأثیرگذار بر آنها هم بوده است. نکته مهمی در تئوری آقای هاردین وجود دارد که در مدیریت آب کشور کمتر به آن توجه شده است: «منابع مشترک دارای خصلت رقابت‌پذیری هستند». یعنی استفاده بیشتر از منابع مشترک توسط هر بهره‌بردار، موجب کاهش سهم سایر بهره‌برداران می‌شود و تسلسل رقابتی برای برداشت بیشتر ایجاد می‌نماید. بنابراین مدیریت آب باید با تدبیر بگونه‌ای عمل نماید که نه تنها رقابت بر سر برداشت بیشتر را دامن نزند، بلکه هم‌افزایی در حفاظت از این منبع مشترک را فراهم سازد. چنین مدیریتی نیازمند شفافیت، جلب اعتماد و مشارکت آبران است. علاوه بر این، اصل پایداری باید رعایت گردد، یعنی موجودات زنده‌ای که در این اکوسیستم با استفاده از آب دوام و بقا داشته‌اند، نباید از آب محروم گردند و نیز دسترسی نسل‌های آینده این سرزمین به منابع آب دچار محدودیت نشود.

۲- مدیریت آب

تجربه‌های موجود و چالش‌های به وجود آمده در حوزه مدیریت و بهره‌برداری از منابع طبیعی بطور عام و منابع آب بطور خاص، نشانگر این واقعیت است که مدیریت کارآمد بر این منابع (چه در حوزه سیاست‌گذاری و چه در حوزه بهره‌برداری) امری **میان‌رشته‌ای** بوده و نیازمند رویکردی **فرابخشی، عمومی و کل‌نگر** است. در واقع دخالت عوامل متعدد انسانی، شبکه‌ای تنیده از روابط اقتصادی-اجتماعی-سیاسی پیرامون «منابع-مصارف آب» ایجاد نموده است. علاوه بر این، عوامل طبیعی (از جمله مسئله گرمایش جهانی) منشاء عدم قطعیت‌های بسیار هستند. بنابراین، مدیریت آب ابعاد متعدد و دامنه مکانی و زمانی گسترده دارد و ماهیتاً بسیار پیچیده است. لذا، مدیریت مرسوم آب در کشور نیازمند تحولی کلی و جدی است. تجربه چند دهه اخیر مدیریت آب در ایران حاکی از آن است که تاکنون بیشتر بعد فنی-عملیاتی مدیریت آب مورد توجه بوده و به دیگر ابعاد آن، بویژه حوزه علوم انسانی (اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، سیاسی) کمتر توجه شده است و متأسفانه همین روال

همچنان تداوم دارد. ادامه این روند، موجب لاینحل ماندن مسائل در حوزه انسانی گشته و متعاقباً ریشه بخش عمده‌ای از مشکلات و چالش‌های آبی کشور خشک نشده و باقی می‌ماند. البته باید یادآوری نمود که به تازگی اقدامات امید بخشی در رابطه با مباحث علوم انسانی در وزارت نیرو کلید خورده است. شاید بتوان این رویکرد جدید مدیریت آب را رویکرد «حکمرانی خوب برای آب»، تلقی نمود؛ که در آن به جامعه و ارزش‌های آن نیز توجه می‌شود. شکل (۱) فضای مدیریت آب در این رویکرد جدید را بطور اجمالی نشان می‌دهد. در این شکل، مدیریت آب دارای مؤلفه‌هایی در هر دو محیط طبیعی و انسانی است و با اقدامات متناسب در هر دو محیط به انجام می‌رسد و البته با مشارکت حداکثری مردم. در واقع، مدیریت آب هنگامی به نتیجه مطلوب خواهد رسید که اقدامات همزمان و متعادل و متناسب در هر دو عرصه را برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی نماید. بدیهی است حداقل نیاز مدیران برای ساماندهی وضع وخیم آب کشور، داشتن داده و اطلاعات موثق و کافی از هر دو محیط است.



شکل ۱- شبکه مدیریت آب و مؤلفه‌های آن (صرفاً نمونه‌ای از عناوین در شکل ارائه شده است)

کلمات و اصطلاحات در حوزه مدیریت آب باعث کج‌فهمی‌ها و تشدید اختلاف‌نظرهای گردد. این یادداشت توجهی خاص به کاربرد واژه Stakeholder در حوزه مدیریت آب دارد. همچنین سایر واژگان مرتبط با آن، مانند Actor و Proactivist مد نظر قرار گرفته‌اند. در حال حاضر، کلمات متعددی در زبان فارسی برای انتقال مفهوم Stakeholder مورد استفاده قرار دارند. در این یادداشت سعی شده است تا به استناد دیدگاه‌های متخصصان مختلف، واژه‌ی برگردان شده مناسبی برای کلمات مزبور گزارش گردد. قبل از ورود به بحث تعریف کلمات از فرهنگ لغت استخراج گردید که مناسب‌ترین این تعاریف در جدول (۱) آورده شده است.

تاکنون سهم محیط طبیعی از منابع آب به دلیل عدم تأثیرگذاری مستقیم بر فرآیند مدیریت آب نه تنها احقاق نگردیده بلکه به آن اجحاف شده است. ضروری است تا در رویکرد جدید ضمن هماهنگی میان بخش‌های مختلف، با جامع‌نگری پایداری اکوسیستم مورد تأکید قرار گیرد. ایجاد این هماهنگی میان بخشی و نیز فراهم ساختن بستر مشارکت مردم، نیازمند زبان مشترک برای دسترسی به اجماع است. در واقع یکسان‌سازی اصطلاحات و عبارات برای کاربرد در گفتگوها از اصول اولیه برای انتقال مفاهیم و مفاهیم میان تمامی مشارکت کنندگان در فرآیندهای مدیریت آب است. بویژه که در رویکرد جدید، برخی کلمات از حوزه علوم انسانی در حال ورود و رواج یافتن در حوزه مدیریت آب هستند. نبود تعریفی مشخص و استاندارد از این

جدول ۱- تعاریف منتخب از فرهنگ لغات (مرتبط با حوزه مدیریت آب) برای کلمات مورد نظر

Proactivist	Actor	Stakeholder
An actor who makes things happen or change, rather than reacting	A participant in an action or process	A person with an interest or concern in something

جدول ۲- نظرات و دیدگاه‌های متخصصان مختلف مورد مشورت

Proactivist	Actor	Stakeholder	حوزه تخصصی
چندان مورد استفاده نیست	معادل پیشنهادی: کنشگر شرح: فرد یا گروهی است که به اختیار و آگاهانه تصمیم می‌گیرد.	معادل پیشنهادی: - شرح: کسی است که در یک دارایی مشترک سهم است به معنای سهام‌دار و گاهی هم شریک مورد کاربرد است.	علوم اجتماعی
معادل پیشنهادی: کنشگر کلیدی شرح: -	معادل پیشنهادی: کنشگر شرح: کسانی هستند که می‌توانند تصمیمات موثری اتخاذ نموده و اقدام نمایند. کلمه عامل و یا بازیگر هم مورد کاربرد است. کلمه کنشگر که به تازگی رواج یافته پسندیده‌تر است.	معادل پیشنهادی: - شرح: کلمه ذینفع مورد کاربرد است. البته این کاربرد شامل ذینفع و ذی‌ضرر (هم‌گروه تأثیرگذار و هم‌گروه تأثیرپذیر) می‌باشد.	مهندسی صنایع
معادل پیشنهادی: - شرح: شخصی که اقدام به وضع قوانین، تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی می‌کند و اقدامات پیشگیرانه انجام می‌دهد. کنش‌گرا و پویش‌گرا است. سیستم باز و فعالی که خود اقدام به تصمیم‌گیری و کنترل می‌کند پیش از اینکه تحت تأثیر تصمیمات دیگر قرار گیرد.	معادل پیشنهادی: - شرح: شخصی است که بر اساس قوانین و ضوابط جاری اقدام به تصمیم‌گیری می‌کند.	معادل پیشنهادی: ذی‌اثران شرح: به کلیه اشخاصی گفته می‌شود که از یک شخصیت حقوقی (شرکت، موسسه، سازمان، ...) سود می‌برند، و این اشخاص لزوماً سهام‌دار نیستند. به عبارت دیگر این واژه هم «ذی‌نفعان» و هم «ذی‌ضرران» را دربر می‌گیرد. به نقل از استاندارد دانش مدیریت پروژه (PMBOK)، به معنی کسانی است که بر روی پروژه تأثیر می‌گذارند و یا از آن تأثیر می‌پذیرند. شاید بتوان واژه «ذی‌اثران» را معادل مناسب‌تر و جامع‌تری از کلمه مورد کاربرد کنونی (ذینفعان) به حساب آورد.	مدیریت
معادل پیشنهادی: کنشگر پیش‌تاز شرح: کنشگرانی با انگیزه که به جای چانه‌زنی در شرایط جاری برای کسب سهم بیشتر، تحول خواهند و سعی در تغییر وضعیت جاری با تغییر قواعد بازی دارند. (تا کنون کاربرد نشده است).	معادل پیشنهادی: کنشگر شرح: کنشگر هر گروه‌داری است که قدرت تصمیم‌گیری و ابراز وجود داشته باشد. کاربرد کلمه کنشگر رایج است. به عبارت دیگر کنشگران کسانی هستند که در مقام برنامه‌ریزی و مدیریت آب (برای زمان حال و آینده) بازیگرند و نقش‌آفرینی می‌کنند.	معادل پیشنهادی: گروه‌داران شرح: این کلمه در حوزه‌های عمومی (مانند مدیریت آب)، شامل گروه‌هایی می‌شود که به نحوی در فرآیند مدیریت آب باید ملاحظه شوند. شاید عبارت «آنها که در گروی آب‌اند و یا آب در گروی آنهاست» معرف خوبی باشد.	مدیریت آب
معادل پیشنهادی: کنشگر شرح: فرد یا گروه یا نهادی فعال و آینده‌ساز است، که فارغ از منافع فردی یا گروهی یا نهادی، به اخلاق بین‌نسلی معتقد بوده و سعی می‌کند تا آینده مطلوبی را که در نظر دارد طراحی کرده و مسیرهایی را برای دسترسی به آن پدید آورد.	معادل پیشنهادی: عامل یا بازیگر شرح: فرد یا گروه یا نهادی است که در نقش یا قالب داده شده قرار گرفته و به دفاع از سهم خودش در برنامه‌های جاری (دیگته شده) می‌پردازد.	معادل پیشنهادی: گروه‌داران شرح: فرد یا گروه یا نهادی است که علاقه یا سهم یا تأثیری از فعالیت یا پدیده‌های در وضعیت جاری یا در حال اجرا یا در آینده دارد.	محیط‌زیست

۳- نظرات متخصصان

در این بررسی به پنج تن از متخصصان (در پنج دانشکده از دانشگاه فردوسی مشهد) که واژگان مورد نظر در حوزه تخصصی ایشان کاربرد دارد مراجعه و کسب نظر گردید. مشارکت کنندگان شامل نامبردگان ذیل بودند: (۱) دکتر احمدرضا اصغریور ماسوله از گروه علوم اجتماعی؛ (۲) دکتر حمیدرضا کوشا از گروه مهندسی صنایع؛ (۳) دکتر محمد لگزیان از گروه مدیریت؛ (۴) دکتر کامران داوری از گروه علوم و مهندسی آب؛ و (۵) دکتر مهدی کلاهی از گروه مرتع و آبخیزداری. کلمه Proactivist به پیشنهاد دکتر مهدی کلاهی به فهرست واژگان افزوده شد. خلاصه‌ی نظرات ایشان در جدول (۲) ارائه گردیده است. تمامی متخصصان مزبور معتقد بودند که واژه ذی‌نفع برگردان مناسبی برای Stakeholder نمی‌باشد و در انتقال مفهوم دارای ابهام است. زیرا این کلمه شامل گروه ذی‌نفع، گروه ذی‌ضرر و نیز مسئولین است. همچنین برخی از متخصصین معتقد بودند که در مفهوم این کلمه معنای تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (علاوه بر توجه به سود و ضرر) نیز مستتر است که باید مورد تأکید قرار گیرد. واژه‌های ذی‌اثران و گروه‌داران برای برگردان این کلمه پیشنهاد شد. در مجموع با توجه به موارد مشروح زیر، نگارنده کاربرد کلمه **گرودار** را به عنوان برگردانی مناسب برای Stakeholder در حوزه مدیریت آب پیشنهاد می‌نماید.

- ۱- در فرهنگ لغت اکسفورد (جدول ۱) Stakeholder با عبارت «کسی و یا گروهی که دارای علاقه و یا دغدغه نسبت به چیزی است» معنا شده است.
- ۲- کتاب «یاری‌گری گروداران در حکمرانی فراگیر آب» که اخیراً چاپ گردیده است، Stakeholder را گرودار ترجمه نموده است (درودیان، ۱۳۹۶).

۴- انواع گروداران در مدیریت آب

شکل (۲) به تفکیک زیرمجموعه‌های گروداران در حوزه مدیریت آب اشاره دارد. در این شکل، کلمات کلیدی مرتبط با گروداران که در حوزه مدیریت آب مورد استفاده قرار دارند دسته‌بندی و نمایش داده شده‌اند. تصویر الف (سمت راست) در شکل (۲)، گروداران را به دو گروه اصلی تقسیم‌بندی کرده است. گروه اول گرودارانی هستند که از آب موجود در زمان حاضر، سهم و یا بهره دارند. این نوع گروداران خود به دو دسته اصلی از نظر ارتباط با آب قابل تفکیک هستند. گروهی که بصورت مستقیم از منابع آب بهره‌مند می‌شوند که با کلمه بهره‌مندان (ذی‌نفعان) مشخص شده‌اند. گروه دیگری از گروداران کسانی هستند که از آب بهره‌ای ندارند بلکه این گروه نسبت به آب مسئولیت (عرفی و یا رسمی) دارند. این گروه شامل شرکت‌های آب منطقه‌ای، دادگستری‌ها (قوه قضائیه)، نیروی انتظامی و ... می‌باشد؛ که به عبارت دیگر مسئولان یا دست‌اندرکاران مدیریت آب (ذی‌مدخلان) هستند که مدیریت صحیح آب در گروهی تصمیمات ایشان قرار دارد. بهره‌مندان خود به دو گروه آب‌بران و

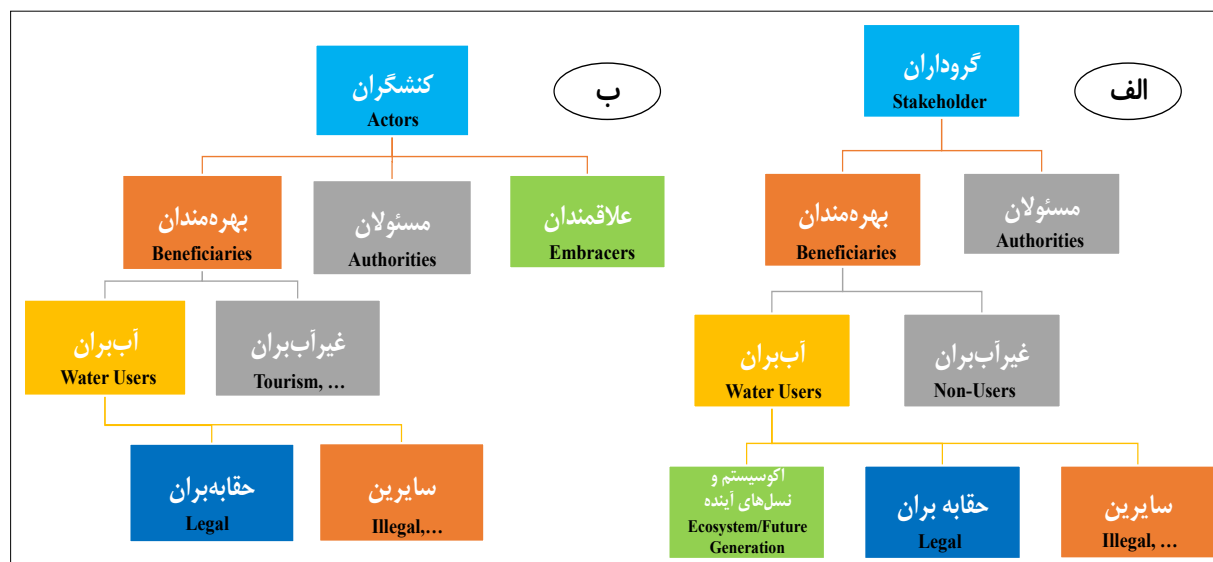
۳- کلمه ذی‌اثران اگرچه کلمه بامسمایی است ولی فارسی محسوب نمی‌گردد.

واژه Actor در فرهنگ لغت اکسفورد با عبارت «فرد یا گروهی که در یک اقدام و یا فرآیند مشارکت می‌نماید» معنا شده است. کلمه Proactivist، خود نوعی از Actor محسوب می‌شود و در فرهنگ لغت اکسفورد با عبارت «فرد و یا گروهی که ایجاد اتفاق و یا تغییر را رقم می‌زند و یا نسبت به واقع‌ای احتمالی پیش‌دستانه واکنش نشان می‌دهد» معنا شده است. در واقع کلمه Proactivist علاوه بر جنبه تحول‌خواهی به تلاش خودجوش و نوعی ایثارگری اشاره دارد. متخصصان مورد مشورت، دو نوع پیشنهاد برای این دو کلمه مطرح نمودند. پیشنهاد اول کاربرد کلمه عامل و یا بازیگر برای Actor، و کاربرد کلمه کنشگر برای Proactivist است. پیشنهاد دوم نیز مشابه بوده با این تفاوت که برای Actor، کلمه کنشگر، و برای کلمه Proactivist، کنشگر کلیدی و یا کنشگر پیش‌تاز را کاندید نموده است. نگارنده برای برگردان کلمه Actor واژه کنشگر برای Actor را که در حال حاضر در حوزه علوم اجتماعی رایج است، توصیه می‌نماید. کلمه Proactivist در حال حاضر کاربرد چندانی در ایران ندارد، اما به نظر تفکیک مناسبی برای وضوح بیشتر در مباحثات است. واژه کنشگر کلیدی در تحلیل‌های (Stakeholder OR Actor Analysis) در علوم اجتماعی، معنای خاص و کاربرد دارد؛ و منظور از آن کنشگری است که سایر کنشگران او را مرجع می‌شناسند و از او پیروی می‌کنند. چنین کنشگری، ممکن است لزوماً تحول‌خواه و پیش‌تاز نباشد (و حتی محافظه کار باشد). بنابراین، نگارنده واژه «کنشگر پیش‌تاز» (یا پیش‌رو) را مناسب‌تر یافته و توصیه می‌نماید.

غیر آب‌بران (مانند اکو-توریسم) تقسیم می‌شوند. آب‌بران از آب سهم دارند و از آن استفاده نافع نموده و یا نفع می‌برند. این گروه خود به سه زیرگروه تفکیک می‌گردد: حقایقه‌بران (یا آب‌بران قانونی)، اکوسیستم و سایرین (بهره‌برداران غیرمجاز). تصویر ب (سمت چپ) در شکل (۲)، به تقسیم‌بندی کنشگران اشاره دارد. کنشگران، گروهی خاص از گرودارانند که در فرآیند تصمیم‌سازی نقش ایفاء می‌نمایند. تفاوت اصلی کنشگران با گروداران در این است که در مقام برنامه‌ریزی منابع آب، اکوسیستم و نسل‌های آینده اگرچه گرودار هستند ولی کنشگر نیستند. یعنی نقشی و تأثیری در فرآیند مدیریت آب ندارند. معمولاً گروه‌های اجتماعی به دفاع از حقوق اکوسیستم و نسل‌های آینده بر می‌خیزند و در فرآیند مدیریت آب اثر می‌گذارند. در تصویر ب، این گروه با نام علاقمندان مشخص شده است که منظور همان سازمان‌های مردم‌نهاد (سمن‌ها) و یا از این قبیل می‌باشد. لازم به ذکر است که وجود گروه‌های علاقمندان برای تأسیس و نیز برای کارایی و تأثیرگذاری لازم نیازمند کنشگران پیش‌تاز (Proactivist) می‌باشند.

اندازه تأثیرگذاری کنشگران بر فرآیند مدیریت آب (ناشی از نفوذ یا قدرت ایشان) بسیار متفاوت با یکدیگر است. به عنوان نمونه یک کشاورز ممکن است اثر چندانی نداشته باشد در حالیکه نقش آفرینی اتحادیه کشاورزان می‌تواند بسیار موثر واقع گردد. رئیس اتحادیه کشاورزان که نقش پررنگی در تصمیم‌گیری‌های اتحادیه دارد و تصمیم او می‌تواند اثر بزرگی

بر دیگر کشاورزان داشته باشد، یک کنشگر دارای نفوذ و کلیدی است. مقامات اصلی دولتی و قضایی هم کنشگران با قدرتی هستند که نقشی کلیدی در فضای مدیریت آب دارند. باید یادآوری نمود که نقش بسیار برجسته رسانه‌ها در فضا سازی، نقشی کاتالیزوری است که در جانبداری از هر طرفی شکل گیرد کارساز است.



شکل ۲- زیرمجموعه‌های گروداران و کنشگران

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پارادیم جدید مدیریت آب، بر توجه متناسب و هماهنگ مدیریت آب به هر دو محیط طبیعی و انسانی تأکید دارد. ورود این پارادیم به عرصه مدیریت آب کشور، فرهنگی جدید به همراه دارد که نیازمند زبانی مشترک برای انتقال مفاهیم آن میان متخصصان مختلف حوزه مدیریت آب است. در این شرایط، اهمیت واژه‌یابی مناسب برای انتقال درست این مفاهیم دو چندان شده است. در این نوشتار به بیان مبانی برای روش‌ترنمودن این ضرورت پرداخته و به ابهام‌زدایی از کاربرد کلمه مناسب در انتقال مفهوم Stakeholder پرداخته است. در کاربردهای قبلی برای انتقال مفهوم Stakeholder کلمه ذی‌نفع مورد کاربرد بوده است که دارای ابهام می‌باشد. در واقع، ذی‌نفعان (بهره‌بران) فقط اشاره به گروهی خاص از گروداران دارد. در کاربردهای اولیه توجه به نفع و ضرر مطرح گردیده است در حالی مسئولان و علاقه‌مندان به خودی خود نفع و ضرری از تغییر فرآیند مدیریت آب متوجه‌شان نیست و بدین لحاظ جزء ذی‌نفعان محسوب نمی‌گردند ولی گرودار هستند. علاوه بر این، نظرات متخصصین مورد مشورت بر توجه به مفهوم اثرگذاری و اثرپذیری در برگردان کلمه Stakeholder تأکید داشت. بنابراین این، واژه «گرودار» به عنوان مناسب‌ترین برگردان برای کلمه Stakeholder پیشنهاد گردید. همچنین کاربرد واژه کنشگر برای برگردان کلمه Actor و واژه مرکب کنشگر پیش‌تاز برای

برگردان کلمه Proactivist توصیه گردیده است. منشاء عضویت در گروداران آب، داشتن حق و یا وظیفه‌مندی است. تفکیک صحیح این مفاهیم از یکدیگر اهمیت دارد زیرا در کاربردهای قبلی حقوق اکوسیستم و نسل‌های آینده نامشخص بوده آنان در زمره گروداران تعریف نشده بودند. حضور در مجموعه کنشگران، ناشی از قابلیت ابراز نظر و توانایی پی‌گیری و مطالبه آن است. بدین لحاظ اکوسیستم و نسل‌های آینده که قابلیت ابراز نظر ندارند در این مجموعه حضور ندارند. اما علاقه‌مندان به نیابت از ایشان در فضای کنشگری نقش‌آفرینی می‌نمایند. گروه‌های ضعیف اجتماعی یا صنفی نیز بدلیل عدم توانایی کافی در پی‌گیری و مطالبه حقوق خود، نقش‌آفرینی چندانی در تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری مدیریت آب ندارند. از این رو، توجه به توانمندسازی گروه‌های ضعیف اجتماعی یا صنفی و نیز علاقه‌مندان (سمن‌ها و سایر کنشگران محیط‌زیستی و طرفدار پایداری توسعه) به منظور رشد قابلیت ابراز نظر و توانایی پی‌گیری مطالبات و با هدف واگذاری نقش شایسته به ایشان در فرآیند مدیریت آب ضرورتی جدی و فوری دارد.

۶- منابع

دورودیان، ح. ر. ۱۳۹۶. یاریگری گروداران در حکمرانی فراگیر آب. پژوهشگاه فرهنگ، هنر و ارتباطات.

این واقعیت پذیرفته شده است که سرنوشت مردم جهان بهم گره خورده و پیوسته می باشد. تغییرات آب و هوایی همراه با افزایش رشد جمعیت جهان و افزایش رقابت بر سر تأمین منابع و رفاه زندگی، سلامت و پایداری کره خاکی را به مخاطره انداخته است. بحران های مرتبط با آب و محیط زیست از جمله مهم ترین چالش های کشورهای مختلف می باشد. در این راستا سازمان ملل متحد و جامعه جهانی با معرفی مفهوم توسعه پایدار تلاش نموده اند که گام های موثری در حفظ پایداری زمین بردارند. روز جهانی آب هر ساله با انتخاب موضوع متناسب با اهداف توسعه پایدار به دنبال ترغیب و اشاعه مشارکت جهانی در حل مسائل مرتبط با آب می باشد. چالش های جهانی محیط زیستی برای حل نیازمند روش های جدید تفکر، گفتمان جهانی، حکمرانی منعطف و توجه به مفهوم کاربردی «توسعه پایدار» است. مجمع عمومی سازمان ملل متحد به ابتکار کشور تاجیکستان، دهه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۸ را «دهه اقدام؛ آب برای توسعه پایدار» نام گذاری نموده است. این دهه با هدف بهبود همکاری ها، مشارکت و ظرفیت سازی در پیاده سازی آرمان های توسعه پایدار بخصوص در بحث «آب» نام گذاری شده است. هدف این نوشتار که در سه گزاره مختصر تدوین شده، معرفی موضوع سال ۲۰۱۸ روز جهانی آب و اصول پیاده سازی آن به همراه تأملی بر «آرمان های توسعه پایدار» سازمان ملل متحد در موضوع آب و لزوم احیاء تفکر «جهانی اندیشیدن و منطقه ای عمل نمودن» در عرصه تغییر رویکردها در حل مسائل آب و محیط زیست می باشد.

۱- طبیعت برای آب

دوم فروردین هر سال با هدف جلب توجه عموم به اهمیت آب، روز جهانی آب در نظر گرفته شده است. در سال ۲۰۱۸ موضوع «طبیعت برای آب» به جهت کشف اینکه چگونه می توان از طبیعت برای غلبه بر چالش ها و مسائل آب در قرن حاضر استفاده نمود، نام گذاری شده است (UN، ۲۰۱۸). راه حل های مبتنی بر طبیعت (Nature-based Solutions, NBS) ارزان ترین و در عین حال مغفول ترین راه حل های موجود است. آسیب های زیست محیطی به همراه تغییرات اقلیمی، محرک اصلی بحران های مرتبط با آب در نقاط مختلف جهان می باشد. اثرات سیلاب، خشکسالی و آلودگی آب با تخریب پوشش گیاهی، خاک، رودخانه ها و دریاچه ها بسیار بدتر شده است. بر اساس تعریف اتحادیه بین المللی حفاظت از طبیعت (IUCN)، راه حل های طبیعت - محور این گونه تعریف شده است: اقداماتی که جهت حفاظت، مدیریت پایدار و احیاء اکوسیستم های طبیعی با هدف مقابله موثر و سازگار با چالش های اجتماعی (مانند امنیت آبی، امنیت غذایی، تغییر اقلیم و ...) باشد و در عین حال رفاه انسان و تنوع زیستی را به مخاطره نیاندازد. نگاهی که به NBS وجود دارد به مثابه چتری است که پوشاننده تمامی انواع روش های مبتنی بر اکوسیستم برای مقابله با چالش های اجتماعی کره زمین است. در راستای اشاعه موضوع روز جهانی آب، پویش (campaign) «پاسخ در طبیعت نهفته است» شکل گرفته و هدف آن آگاهی بخشی در زمینه NBS می باشد. از این دست راه حل ها می توان به ایجاد جنگل های جدید، اتصال مجدد رودخانه ها به دشت های سیلابی و احیاء تالاب ها که همه آنها موجب برگشتن تعادل به چرخه آب در طبیعت و بهبود سلامت ساکنان کره زمین خواهد شد، نام برد. در حقیقت می توان اذعان نمود که راه حل های طبیعت - محور پتانسیل بالایی در حل بسیاری از چالش های آبی و محیط زیستی را دارند (UN، ۲۰۱۸). اخیراً هم زمان با روز جهانی آب ۲۰۱۸ و هشتمین مجمع جهانی آب در برزیل، گزارش توسعه جهانی آب سازمان ملل (WWDR) با عنوان «راه حل های طبیعت - محور برای آب» رونمایی گردید. این گزارش شامل هفت فصل می باشد که در آن مفاهیم، کاربرد NBS در حفظ آب، مدیریت آب، کاهش مخاطرات آبی و ارتباط آن با جنبه های

«توسعه پایدار» پرداخته شده است (WWDR، ۲۰۱۸). به طور مثال در این زمینه، IUCN اصول هشت گانه راه حل های طبیعت - محور را منتشر کرده است است (Cohen-Shacham و همکاران، ۲۰۱۶): (۱) پذیرش و لحاظ کردن هنجارها و اصول حفاظت از طبیعت. (۲) قابلیت اجرا را به تنهایی داشته باشد یا بتواند با سایر راه حل های چالش های اجتماعی به صورت یکپارچه تلفیق شود. (۳) منطبق با طبیعت مکان مورد نظر و فرهنگ آن باشد به طوری که دربردارنده سنت ها و دانش محلی باشد. (۴) تأمین کننده کننده منافع اجتماعی به صورت منصفانه و عادلانه باشد، به نحوی که ترویج دهنده مشارکت گسترده و شفافیت باشد. (۵) حافظ تنوع زیستی و فرهنگی باشد و همچنین حفظ کننده توانایی تکامل اکوسیستم در طول زمان باشد. (۶) قابلیت کاربرد در مقیاس های بزرگ (مانند اکوسیستم های مختلف و زمین ها با کاربری متفاوت) را هم داشته باشد. (۷) به لحاظ توسعه به منفعت های تولید زودبازده اقتصادی و امکان افزایش تولید با توجه به ظرفیت اکوسیستم در آینده توجه داشته باشد. (۸) این راه حل ها بتواند به عنوان بخشی جدایی ناپذیر و یکپارچه در طرح ریزی سیاست ها، اقدامات و پایش آنها در حل چالش ها در نظر گرفته شوند. پرواضح است که راه حل های پایدار و موثر در مواجهه با چالش های جهانی محیط زیست (از جمله راه حل های طبیعت - محور)، نیازمند درک عمیق تر پیوند و وابستگی متقابل بین بخش های مختلف (مانند آب، اقلیم، کشاورزی و انرژی) است. جمعیت جهان در حال حاضر ۷/۴ میلیارد نفر می باشد، سالانه حدود ۸۳ میلیون به آن اضافه می شود و پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۳۰ میلادی جمعیت به ۸/۶ میلیارد برسد. بنابراین سوالی که مطرح است این است آیا زمین و منابع آن پاسخ گوی رشد جمعیت می باشد؟ چه مسائل و مخاطراتی زندگی بشر و بقاء او را تهدید می کند؟ چگونه می توان با چالش های محیط زیستی (مانند انواع آلودگی ها، گرمایش جهانی، کمبود منابع انرژی و غذا و ...) مواجه شد؟ بنابراین این مسائل جهانی است و تمام ملت ها نیازمند گفتگمانی موثر در مواجهه و حل این معضلات می باشند و این امر زمانی اهمیت بیشتری می یابد که بسیاری از منابع نیز به صورت

مشترک در بین کشورها وجود دارد. بنابراین هدایت و مواجهه با چالش‌های جهانی محیط زیستی نیازمند روش‌های جدید تفکر، گفت‌وگو، همکاری، حکمرانی منعطف و توجه به مفهوم توسعه پایدار می‌باشد.

۲- «توسعه پایدار» و چالش‌های محیط زیستی

زمین، آب، هوا و انسان زنجیره‌های به هم پیوسته حیات هستند که همواره بایستی در تعادل نگه‌داشته شوند. برهم خوردن هر یک از آنها همه چارچوب فلسفه زندگی روی زمین را برهم خواهد زد. بیش از ۲۰۰ تعریف برای «توسعه پایدار» ارائه شده است. متداول‌ترین آن، توسعه‌ای است که رفاه نسل فعلی را بدون ایجاد اشکال در توانایی نسل‌های آینده برای دستیابی به رفاه خود تأمین کند. این رفاه در بردارنده سه جنبه مهم اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی می‌باشد. از این‌رو توسعه در عصر معاصر نبایستی به قیمت نابودی و اضمحلال زندگی آیندگان که برای دفاع از حقوق خود فعلاً حضور ندارند، تمام شود. بنابراین «توسعه پایدار»، یک انتخاب نیست؛ بلکه تنها راهی است که به بشریت این امکان را می‌دهد که در زندگی شرافتمندانه در این کره خاکی، یعنی تنها سیاره‌ای که در حال حاضر در اختیار داریم، سهمیم باشند.

از سال ۱۹۹۲ که اولین بار اهداف توسعه پایدار در چارچوب سند غیر الزام‌آور دستور کار ۲۱ سازمان ملل تدوین گردید تا به امروز یعنی تدوین دستورکار «آرمان‌های توسعه پایدار» (SDGs, Sustainable Development Goals)، اسناد مختلفی در راستای اجرای اهداف توسعه پایدار تهیه و ارائه شده است (Costanza و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال تلاش‌ها جهت پیاده‌سازی و اجرای این اهداف همچنان با کمبودهایی مواجه است و نیاز به تأمل و بررسی بیشتری وجود دارد. مسئله مهمی که به خصوص در کشورهای در حال توسعه وجود دارد، تبدیل شدن توسعه پایدار به کلیشه و شعار است بدون اینکه تلاش جدی برای تحقق اهداف آن صورت پذیرد. علت آن کمبود آگاهی، تجربه و عدم ایجاد ظرفیت‌های مناسب (از طریق افزایش مشارکت) در درک و پیاده‌سازی این مفهوم می‌باشد.

آرمان‌های توسعه پایدار سازمان ملل متحد ۲۰۳۰-۲۰۱۵ حاوی ۱۷ آرمان (Goal) و ۱۶۹ هدف (Target) است. زمینه‌های تحت پوشش اهداف این دستورکار در شش مفهوم اساس طبقه‌بندی شده که شامل کرامت، رفاه، عدالت، مشارکت، زمین و مردم است. در واقع آرمان‌های توسعه پایدار تلاشی چند جانبه در جهت سوق دادن کره زمین به سمت پایداری و تاب‌آوری است (UN، ۲۰۱۵).

بر اساس اهداف اعلام شده توسط سازمان ملل، از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰، کلیه کشورهای عضو سازمان ملل باید تلاش نمایند که به اهداف و شاخص‌های توسعه پایدار با همکاری و تعامل یکدیگر در سه سطح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی تا سال ۲۰۳۰ دست یابند. این آرمان‌ها عبارتند از: پایان دادن به فقر؛ پایان دادن به گرسنگی؛ زندگی سالم و ارتقاء رفاه؛ آموزش با کیفیت، برابری جنسیتی؛ در دسترس بودن آب سالم و فاضلاب؛ دسترسی به انرژی پاک و مقرون به صرفه؛ رشد اقتصادی پایدار و کار شایسته؛ ارتقاء زیرساخت‌های

تاب‌آور و صنعتی فراگیر؛ کاهش نابرابری؛ شهرها و جوامع پایدار و تاب‌آور؛ الگوی تولید و مصرف پایدار؛ اقدامات جهت مبارزه با تغییرات اقلیم؛ استفاده پایدار از اقیانوس و دریاها؛ ارتقای اکوسیستم و جلوگیری از بین رفتن تنوع زیستی؛ جامعه پایدار و صلح‌آمیز؛ و احیای مشارکت جهانی برای تحقق آرمان‌ها.

آرمان شماره ۶ این سند (SDG6) مستقیماً مرتبط با موضوع آب و فاضلاب است و با عنوان «دسترسی مطمئن و مدیریت پایدار آب و فاضلاب برای همه» می‌باشد و ذیل آن ۸ مورد اهداف آن تعریف شده است:

SDG 6-1: تحقق دسترسی همگانی و برابر به آب شرب سالم و در توان پرداخت همگان.

SDG 6-2: تحقق دسترسی به سیستم دفع بهداشتی کافی و برابر فاضلاب برای همگان.

SDG 6-3: بهبود کیفیت آب با کاهش آلودگی، حذف تخلیه زباله و به حداقل رساندن رها شدن مواد شیمیایی خطرناک و مواد، به نیم رساندن سهم پساب تصفیه نشده، و افزایش بازچرخانی و استفاده مجدد مطمئن تا درصد مشخص در سطح جهان.

SDG 6-4: افزایش اساسی در کارایی مصرف آب در تمام بخش‌ها و اطمینان از برداشت و تضمین پایدار آب شیرین برای رویارویی با کمیابی آب، و کاهش اساسی در شمار افراد گرفتار کمیابی آب.

SDG 6-5: پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در تمام سطوح، شامل همکاری برون‌مرزی.

SDG 6-6: حفاظت و احیا اکوسیستم‌های وابسته به آب، شامل کوه‌ها، جنگل‌ها، تالاب‌ها، رودخانه‌ها، آبخوان‌ها و دریاچه‌ها.

SDG 6-a: توسعه همکاری بین‌المللی و پشتیبانی از ظرفیت‌سازی در کشورهای در حال توسعه در فعالیت‌های مرتبط با آب و دفع بهداشتی فاضلاب و طرح‌ها، شامل جمع‌آوری آب، نمک‌زدایی، کارایی آب، تصفیه پساب، بازچرخانی و فناوری‌های استفاده مجدد.

SDG 6-b: پشتیبانی و تقویت مشارکت جوامع محلی برای بهبود مدیریت آب و فاضلاب.

آنچه که بیدیهی است به جز آرمان ششم، سایر آرمان‌ها نیز اغلب به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به موضوع آب می‌باشند، بنابراین آب محور توسعه به شمار می‌رود. این امر به وضوح در مسائل و چالش‌های محیط زیستی کشور نیز به چشم می‌خورد. به نظر می‌رسد چهار هدف آخر آرمان ششم (از SDG 6-4 تا SDG 6-b) از مهم‌ترین مواردی هستند که بایستی در سیاست‌ها و تغییر رویکردهای مدیریت آب و منابع طبیعی در کشور بدان توجه شود. از جمله مهم‌ترین مسائل محیط زیستی کشور به موارد ذیل می‌توان اشاره نمود:

- (۱) گسترش بیابان، افزایش فرسایش خاک و گرد و غبار
- (۲) خشک شدن تالاب‌ها (مانند ارومیه، بختگان، پریشان، هامون، گاوخونی و ...)
- (۳) استفاده بی‌رویه از انرژی‌های فسیلی و بی‌توجهی به سوخت‌های پاک
- (۴) افت سطح آب‌های زیرزمینی و نشست زمین

حال واقعیتهایی که وجود دارد این است که حفاظت از آب و محیط زیست مسئله‌ای جهانی است که نیازمند اقدامات منطقه‌ای و محلی برای رفع و کاهش اثرات تخریب آن می‌باشیم. این امر به وضوح در مسائل محیط زیستی کشور به چشم می‌خورد. اکنون این پرسش مطرح است که آیا با اتکا به مفهوم کاربردی توسعه پایدار و تجارب بین‌المللی می‌توان در راستای پویای «پاسخ در طبیعت نهفته است» و در راستای تحقق اهداف توسعه پایدار در سال جدید گام‌های موثری برداشت؟ آیا می‌توان جهانی فکر کرد و منطقه‌ای عمل نمود؟

۳- جهانی فکرکردن و منطقه‌ای عمل نمودن (Think Globally, Act Locally)

عبارت «جهانی فکر کردن و منطقه‌ای عمل نمودن» اولین بار در مورد چالش‌های محیط زیستی در دنیا مطرح شده است و سپس در موضوع تجارت و اقتصاد جهانی نیز پذیرفته شده است. برای سلامت کره زمین بایستی جهانی اندیشید و محلی عمل نمود زیرا برنامه‌ریزی باید با توجه به توان‌ها و محدودیت‌های محلی صورت پذیرد. از این رو می‌توان اذعان نمود که یکی از مضامین افزایش مشارکت در پیاده‌سازی اصول توسعه پایدار (به‌خصوص بُعد حفظ محیط زیست) توجه به مفهوم جهانی اندیشیدن می‌باشد. در این زمینه مصادیق متعددی وجود دارد از جمله پدیده گرد و غبار یا مسائل مرتبط با آب‌ها و حوضه‌های مرزی که کشور ما نیز با آنها دست و پنجه نرم می‌کند.

از مهم‌ترین مصادیق جهانی اندیشیدن می‌توان تفکر هم‌بست (Nexus thinking) یا نکسوس را نام برد که اولین بار در سال ۲۰۱۱ توسط مجمع جهانی اقتصاد (WEF، ۲۰۱۱) جهت ترویج و ارتقا پیوندهای ناگسستنی بین استفاده از منابع جهت برآوردن نیازهای اولیه و حقوق جهانی امنیت غذا، آب و انرژی توسعه یافته است. تفکر هم‌بست به دنبال پاسخی برای اثرات خارجی یا جانبی بخش‌های مختلف یک سیستم بر روی هم می‌باشد و این امر بر افزایش کارایی کل سیستم متمرکز است تا اینکه به دنبال بهره‌وری تک تک اجزاء یک سیستم باشد. بنابراین در بلندمدت «توسعه پایدار» زمانی محقق می‌شود که ارتباط متقابل و همبسته بین بخش‌های مختلف به همراه محدودیت منابع در نظر گرفته شوند. از این رو تصمیمات و سیاست‌گذاری‌ها بایستی به نحوی باشد که منجر به افزایش کارایی و بهره‌وری کل سیستم گردد و نه اینکه تمرکز آن بر یک بخش و زیرسیستم‌ها باشد و اثرات متقابل آنها بر یکدیگر را نادیده بگیرند (Kurian و Ardakanian، ۲۰۱۵). نمونه‌های مختلفی از تفکر هم‌بست وجود دارد که می‌توان رویکرد هم‌بست آب - غذا - انرژی یا آب - خاک - پسماند را نام برد. قابل ذکر است که تفکر هم‌بست همچنین به عنوان یکی از مسائل مهم در تدوین برنامه سیاستی جدید سازمان ملل به عبارتی آرمان‌های توسعه پایدار قرار گرفته است. بسیاری از مؤسسات تحقیقاتی مانند DIE آلمان و SEI سوئد روش‌های مبتنی بر هم‌بست را برای پشتیبانی و یکپارچه‌نگری بخش‌های مختلف «آرمان‌های توسعه پایدار» ارائه

داده‌اند (Weitz و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین از دیگر مصادیق جهانی اندیشیدن، اخیراً ظهور علم هیدرولوژی اجتماعی (Soico-hydrology) است که در این مفهوم دیگر مسائل یک حوضه آبریز تنها تحت تأثیر هیدرولوژی فیزیکی و در درون مرزهای آن محدود نمی‌باشد بلکه به مسائل اجتماعی مانند افزایش جمعیت و مهاجرت یا مسائل اقتصادی مانند واردات و صادرات آب مجازی وابسته است (Sivapalan و همکاران، ۲۰۱۲). در این علم، پایداری حوضه آبریز تحت تأثیر عوامل خارج از مرزهای آن هم خواهد بود. در نهایت آنچه که مسلم است، امروزه نمی‌توان قدرت و قلمرو خود را بر اساس واحدها و مرزهای جغرافیایی سنجید. جبر جغرافیایی امروز به اندازه گذشته نمی‌باشد و جغرافیا نمی‌تواند سرنوشت انسان‌ها را بسازد (Khanna، ۲۰۱۶). بلکه پیوسته بودن، سرنوشت انسان‌هاست (Connectivity is destiny) و این جبر جدیدی است که هر روز بیش از جبر جغرافیایی گذشته، بر ما حاکم می‌شود. همچنین واقعیت دیگری که وجود دارد این است که دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم با سرعت حیرت‌آوری در حال تغییر و تحول است. فناوری‌های جدید مفاهیم پایه زندگی را از جمله زمان، مسافت و حتی روابط را دستخوش تغییرات عمیقی کرده است. بنابراین جهانی فکر کردن و منطقه‌ای عمل نمودن اجتناب‌ناپذیر است.

۴- منابع

- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., and Maginnis, S. 2016 Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN, Gland, Switzerland, 97.
- Costanza, R., Fioramonti, L. and Kubiszewski, I. 2016. The UN Sustainable Development Goals and the dynamics of well-being. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), pp.39-59.
- Khanna, P. 2016. *Connectography: Mapping the future of global civilization*. Random House. 459pp.
- Kurian, M., and Ardakanian, R. 2015. The nexus approach to governance of environmental resources considering global change. In *Governing the Nexus* (pp. 3-13). Springer, Cham.
- UN, 2018. <http://worldwaterday.org>.
- Sivapalan, M., Savenije, H. H. G., and Blöschl, G. 2012. Socio-hydrology: A new science of people and water. *Hydrol. Process.* 26, 1270-1276.
- Weitz, N., Huber-Lee, A., Nilsson, M., Davis, M. and Hoff, H. 2014. Cross-sectoral integration in the Sustainable Development Goals: a nexus approach. Stockholm Environment Institute (SEI), Discussion Paper.
- WWDR, 2018. *Nature-based Solutions for Water*, 2018. UN World Water Development Report. 139pp.

بخش ویژه: ضرورت تغییر در سیاست‌های آبی کشور

به بهانه اولین اجلاس هم‌اندیشی
وزارت نیرو با متخصصان علوم آب و محیط زیست



- ۱۷۱ حرکت به سمت حکمرانی موفق آب با هم‌افزایی دانش و خرد جمعی: ایده تشکیل مجلس محلی آب
- ۱۷۲ سیاست‌هایی برای بهبود طرح تعادل بخشی از دیدگاه حکمرانی
- ۱۷۳ الگوی استقرار مدیریت مشارکتی و یکپارچه منابع و مصارف آب بر اساس تجربه تعادل بخشی محدوده مطالعاتی اسفراین
- ۱۷۴ ضرورت توجه به مدیریت راهبردی و تولید نقشه‌های راه در مدیریت آب حوضه‌های آبریز
- ۱۷۵ ضرورت تغییر در برنامه‌ریزی آب وزارت نیرو از رویکرد برداشت-محور به تیخیر-محور
- ۱۷۶ حسابداری آب: لزوم تعریف مأموریت جدید دفاتر مطالعات پایه شرکت‌های آب منطقه‌ای کشور با هدف تغییر رویکرد از «تولید داده خام» به «کیمیاگری»
- ۱۷۷ فضای موهوم مدیریت آب
- ۱۷۸ از شناسنامه حوضه آبریز تا پایش به سفارش
- ۱۷۹ مدیریت و توسعه آمایش-محور منابع آب
- ۱۸۰ پیاده‌سازی مدیریت مشارکتی منابع آب در حوضه آبریز ایران: فعال نمودن شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز
- ۱۸۱ مدیریت فرانهادی آب با هدف استقرار الگوی پایدار امنیت آب-غذا-انرژی
- ۱۸۲ کاربرد رویکرد همبست آب-انرژی-غذا در دیپلماسی آب و مدیریت چالش‌های رودخانه‌های فرامرزی شرق کشور
- ۱۸۳ نحوه ارتباط بین علم و سیاست در بخش آب و محیط زیست
- ۱۸۴ سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی گسترش کمی و ارتقاء کیفی فعالیت‌های بین‌المللی امور آب و آبفا
- ۱۸۵ ظرفیت‌سازی اجتماعی، اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی در حوزه آب؛ تأکیدات بسیار و عملکردهای اندک
- ۱۸۶ طرح تدوین «تیپولوژی سرمایه‌آبی و سرمایه اجتماعی» در کشور
- ۱۸۷ تحلیل وضعیت و پیشنهاد رویکردهایی در رابطه با آب و مشاغل
- ۱۸۸ تغییر رویکردهای مدیریت منابع آب از نگرش هیدرولوژی مهندسی تا هیدرولوژی اجتماعی
- ۱۸۹ دیدگاه‌های مسأله بحران آب و راه‌های برون‌رفت از آن
- ۱۹۰ حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی در گروی تهیه و پیاده‌سازی برنامه مدیریت ریسک ابرخشکسالی

چرا در مدیریت آب کشور ناموفق بوده‌ایم؟ و چرا بیش از یک دهه (و حتی دو دهه) است با وجود نقد و نظر فراوان، مدار همچنان بر وفق مراد نیست و سرگشته مانده‌ایم؟ برای خروج از این چرخه معیوب چه باید کرد؟

در آغاز بکار جناب آقای دکتر اردکانیان در سمت وزیر نیرو، برگزاری همایشی ویژه (به طراحی خود ایشان) برای یافتن پاسخ آخرین سوال ابتکاری بی‌نظیر بود که جای تقدیر فراوان دارد. البته نقاط منفی و مثبت در نحوه برگزاری قابل شمارش است، اما این اقدام جسورانه را مطلعی بر

گزارش اجلاس

اولین اجلاس هم‌اندیشی با متخصصان آب و محیط‌زیست توسط وزارت نیرو در پژوهشگاه نیرو در تاریخ دهم اسفند ماه ۱۳۹۶ برگزار شد. ایده برگزاری این اجلاس توسط دکتر رضا اردکانیان، وزیر محترم نیرو در ابتدای شروع فعالیت ایشان در دولت دوازدهم مطرح شده است. آب حوزه‌ای عمومی و به شدت مرتبط با جامعه و مردم است و لذا فضای مدیریت آب، فضایی است که متعلق به عموم ذی‌نفعان است. مدیریت آب نیازمند یک نظام مزدوج برای "برنامه‌ریزی و اجرا (با ماهیت کارشناسی)" و "اجماع‌سازی و سیاست‌گذاری (با ماهیت عمومی)" است. اتصال این دوگانه به یکدیگر بسیار ویژه و نیازمند ظرفیت‌سازی نیروی انسانی از دیسپلین‌های مختلف است. با توجه به اینکه در حال حاضر ساختار مدیریتی و کارشناسی وزارت نیرو و ترکیب و تخصص نیروی انسانی آن متناسب با این فضا نیست، یکی از مهمترین اهداف این اجلاس، شناسایی ظرفیت‌های کارشناسی موجود در کشور برای تقویت بخش آب وزارت نیرو در راستای فضای ذکر شده است. محورهای موضوعی اجلاس متناسب با برنامه پیشنهادی بخش آب و آبفای وزارت نیرو در چهار بسته موضوعی به شرح زیر در فراخوان درج شد:

بسته موضوعی اول: ارزیابی منابع آب کشور

بسته موضوعی دوم: مدیریت یکپارچه و جامع‌نگر

بسته موضوعی سوم: اقتصاد و حقوق آب

بسته موضوعی چهارم: جهت‌گیری‌های توسعه بهره‌برداری از منابع آب متناسب با توان اکولوژیک سرزمین

حضور وزیر محترم نیرو در کل زمان برگزاری اجلاس باعث شد که فرصت هم‌اندیشی با ایشان هم برای حضار فراهم شود. تنوع مطالب ارسال شده و وجود نگاه‌ها و صداها کاملاً متفاوت که فرصتی بزرگ برای مدیریت آب کشور است. مشارکت بسیار فعال متخصصان جوان این حوزه در اجلاس، فرصتی ایده‌آل و امیدبخش برای بهبود وضعیت مدیریت آب در کشور است.

مجموعه مباحث تخصصی ارائه شده در اجلاس در قالب محورهای کلی زیر قابل جمع‌بندی است:

یک رویکرد نو باید تلقی نمود: نزدیکی و همکاری جدی میان بخش اجرایی و دانشگاه‌ها در عرصه مدیریت آب کشور. این همایش از ارایه‌کنندگان مقالات خواسته بود تا به این دو پرسش پاسخ دهند: آیا سیاست‌های جاری در مدیریت آب کشور کافی برای حل مشکل آب می‌باشد؟ و اگر نه، چه گردشی و یا تغییری در سیاست‌ها باید انجام گردد؟

نشریه آب و توسعه پایدار که با هدف ایجاد گفتگوی تخصصی میان بخش اجرایی و دانشگاه تأسیس شده است، این فرصت را مغتنم شمرده و به بهانه برگزاری این همایش خلاصه‌های تعدادی از مقالات ارسالی به این همایش را (که توسط هیأت تحریریه برگزیده شده‌اند) در این بخش ویژه ارائه می‌نماید. باشد که مقبول افتد و مفید باشد.

۱. راهکارهای احیا و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی

۲. راهبردهای حکمرانی اثربخش و کارآی مدیریت منابع آب

۳. افزایش بهره‌وری سامانه‌های آبیاری

۴. راهکارهای سازگاری با کم‌آبی

۵. مدیریت یکپارچه، جامع‌گرایانه و تطبیقی منابع آب و سیلاب

۶. چارچوب‌های اصلی مفهوم مدیریت حوضه آبریز

۷. اندرکنش مدیریت منابع آب و کنترل ریزگردها

۸. راهکارهای تسریع اصلاح شبکه‌های آب شهری و بازچرخانی آب

۹. راهکارهای ارتقاء چارچوب‌ها اصلی تسهیم و تخصیص آب

۱۰. راهبردهای هم‌افزایی بین‌المللی در مدیریت آب و انرژی و تقویت صلح در منطقه

۱۱. پیوندهای آب، غذا و انرژی، محیط زیست و اقلیم

۱۲. راهکارهای هم‌افزایی میان بخش آب، دانشگاه‌ها و صنعت

۱۳. نقش اخلاق حرفه‌ای در تبیین سناریوهای برد-برد

۱۴. چارچوب‌های اصلی برای تأسیس مرکز ملی اطلاعات آب

۱۵. نظام قیمت‌گذاری آب و راهکارهای تأمین مالی

۱۶. مشارکت‌های اجتماعی در مدیریت منابع آب

۱۷. آگاهی‌بخشی همگانی و راهکارهای ارتقاء سواد آب

۱۸. فرصت‌ها و چالش‌های بهره‌برداری از آب‌های غیر متعارف

۱۹. حرکت به سمت توسعه فعالیت‌های بین‌المللی حوزه آب

۲۰. راهبردهای ظرفیت‌سازی لازم برای بخش آب

هرچند که ممکن است پیشنهادها سیاستی، راهبردها و اقدامات معرفی شده در نشست، الزامات و زیرساخت‌ها و اثربخشی آنها لزوماً مورد توجه ارائه‌دهندگان نبوده است. به همین دلیل

دبیرخانه اجلاس فعال بوده و در کارگروه‌های تخصصی که پس از اجلاس تشکیل شده است، مجموعه پیشنهادات سیاستی دقیق‌تر بررسی می‌شود. استمرار فعالیت دبیرخانه اجلاس و تشکیل کارگروه‌ها منجر به دستیابی به اهداف زیر خواهد شد:

• ایجاد فرصتی برای ارائه دیدگاه‌هایی که فرصت ارزیابی آنها در اجلاس اول فراهم نشد.

• ایجاد شبکه متخصصان آب و محیط‌زیست کشور در راستای تحقق اهداف نشست

• هم‌افزایی برای تهیه برنامه اقدام جهت دستیابی به اهداف برنامه بخش آب و آبفا



حرکت به سمت حکمرانی موفق آب با هم افزایی دانش و خرد جمعی: ایده تشکیل مجلس محلی آب

مهدی زرغامی، استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تبریز.

شرح مسأله

ایجاد خواهد کرد. برای حل این نوع مسأله‌ها ایده دیپلماسی آب (گفتمان آب) شکل گرفته است و افراد متخصص از کشورهای مختلف به رشد و بالندگی آن کمک کرده‌اند. در این دیدگاه به کمک روش‌های خلاقانه، مورد قبول اکثریت، قابل اجرا و پایدار، مسائل منابع آبی مورد تضاد بررسی می‌گردد تا برگشت‌پذیری و اطمینان‌پذیری بیشتری به بخش مدیریت آب ارائه نماید. اصول مدیریت آب در این دیدگاه بر این اساس درک مشترک از «صورت مسأله»، «شبکه‌سازی و توسعه ارتباطات» و «مدیریت مناسب شبکه ذی‌نفعان» برای موفقیت این رویکرد بسیار اهمیت دارد که حصول آن منوط به گفتمان آب می‌باشد. در این پیشنهادیه سیاستی بر اساس تجربه موفق اتاق گفتمان آب آذربایجان، یک سازو کار حقوقی مدیریتی برای حل مسأله تصمیم‌گیری مشارکتی آب در کشور معرفی شده است.

ادامه وضعیت بحرانی آب در کشور علاوه بر مخاطرات امنیتی، ضرر فراوانی به اقتصاد و سلامت مردم وارد می‌کند. لذا برای حل این مسأله نیاز به سازوکار تصمیم‌گیری‌های صحیح، قاطع و مورد اجماع است. هر چه قدر تصمیم‌گیری‌ها مالکانه، آمرانه، بخشی‌نگرانه، دیر و یا یکجانبه باشد موجب ایجاد هم‌گسیختگی در سامانه‌های اجتماعی، اقتصادی و تشدید تهدیدات فرهنگی تحمیل خواهد شد. در شرایطی که افزایش جمعیت، تحولات اجتماعی-اقتصادی و تغییرات آب و هوایی به یکی از دغدغه‌های جوامع کنونی تبدیل شده است، لزوم ارائه راهکارهای نو و مورد قبول ذی‌نفعان کاملاً محسوس است. در عین حال تحصیل این هدف نیازمند اعتماد، درک مشترک، همفکری و وحدت نظر بین ذی‌نفعان است. در غیر این صورت اجماع بر روی تصمیم‌ها صورت نگرفته و در نتیجه هزینه فرصت و نابسامانی زیادی در مدیریت آب

سیاست تجویزی

در یک حوضه آبریز با مرزهای هیدرولوژیکی، سیاسی، اجتماعی و اقتصادی شفاف و محدود و برای یک مدت مشخص تشکیل شود. بعد از مستندسازی تجربه برگزاری این مجلس، سپس اساسنامه دقیقی برای تشکیل آن در سایر حوضه‌ها و تفویض اختیار به آن صورت گیرد. اصول ۱۰۰ تا ۱۰۶ قانون اساسی کشور حامی تشکیل شوراها بوده و از آنها می‌توان به عنوان مبنای قانونی تشکیل چنین مجلسی بهره گرفت. موارد مورد نیاز در اساسنامه تشکیل چنین مجلسی موارد زیر می‌باشند:

- نوع طرح‌های توسعه منابع آب و حیطه تصمیم‌گیری این مجلس
- مدت زمان لازم برای بررسی هر طرح و زمان تصمیم‌گیری در مورد آن
- نحوه انتخاب نمایندگان مجلس آب (تقسیم قدرت)
- نحوه انتخاب هیات رئیسه مجلس آب
- تنظیم گردش مالی مجلس آب
- تعیین سازوکار نظارتی، تعیین مرجع رسیدگی به شکایات و نحوه انتشار مذاکرات و تصمیم‌ها
- تنظیم دقیق فرایند تصمیم‌گیری و وظیفه مدیر جلسه برای ایجاد اجماع روی آن.
- فرایند حل اختلاف روی طرح‌های با اجماع کم (از طریق وتو یا جبران خسارت اقلیت)
- تنظیم نحوه انحلال مجلس آب
- تنظیم امکان رفت و برگشت در تصمیم‌گیری بالخصوص در شرایط تعامل بالادست و پائین دست و نیز حوضه فرعی با اصلی
- تنظیم نحوه تشکیل مجلس ملی آب و جایگزینی آن با شورای عالی آب.

- ایده تشکیل مجلس محلی آب و مزایای آن:

یکی از مهمترین یافته‌های اتاق گفتمان آب آذربایجان آن است که حل مسأله پیچیده آب و محیط زیست ایران درگرو وحدت و همدلی ابتدا بین خود نهادهای دولتی و سپس بین دولت و مردم می‌باشد. کشور چالش‌های پیچیده‌تری را بخاطر وجود وحدت، (نمونه: دفاع مقدس) با موفقیت پشت سرگذاشته است. برای ایجاد این وحدت، نظرات و ترجیحات ذینفعان مختلف باید در تصمیم‌ها لحاظ شود. ولی نهادهای موجود در کشور در حال حاضر جوابگوی این نیاز نیستند. لذا نیاز به تشکل و نهادی وجود دارد که با سهم مشخصی از قوه مجریه، قوه مقننه، قوه قضائیه، نمایندگان بهره‌برداران، سازمان‌های مردم‌نهاد، شوراها محلی و متخصصین دانشگاهی برای یک حوضه آبریز تشکیل شود. وظیفه این نهاد که در این تحقیق "مجلس محلی آب" نامیده می‌شود تصمیم‌گیری برای طرح‌های احیا، تخصیص، ظرفیت‌سازی در حوضه آبریز می‌باشد. از مهم‌ترین مزایای آن (۱) فرایند تصمیم‌گیری در این مجلس بر قاعده رای اکثریت بوردا (Borda count) بوده و قبل از رای‌گیری وقت مساوی به مخالفین و موافقین طرح‌ها تخصیص داده می‌شود. (۲) تصمیم‌ها مورد استناد حقوقی بوده و تنها مرجع تصمیم‌گیری در مسائل خواهد بود. (۳) ایجاد وحدت به واسطه شنیده شدن ارزش‌ها، شبکه‌سازی بین ذی‌نفعان، تسریع در تصمیم‌گیری‌ها و (۴) کاهش رویکرد آمرانه و نیز هزینه‌های اجتماعی دیوان سالاری دولت در مدیریت آب است.

- برنامه پیشنهادی برای تأسیس مجلس محلی آب:

برای تأسیس مجلس محلی آب ابتدا دولت باید به مجلس شورای اسلامی پیشنهادیه ارائه نماید. پیشنهاد می‌شود این مجلس ابتدا



سیاست‌هایی برای بهبود طرح تعادل بخشی از دیدگاه حکمرانی

انوش نوری اسفندیاری، پژوهشگر حکمرانی و مدیریت آب، اندیشکده تدبیر آب ایران.

محمد ارشدی، پژوهشگر آب، اندیشکده تدبیر آب ایران.

شرح مسأله

تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی «که با اضافه کردن سه پروژه به ۱۲ پروژه طرح قبلی، از جمله این اقدامات محسوب می‌شوند. امروز این سوال پیش می‌آید که پس از ۵ دهه برنامه‌ریزی و مدیریت کشور برای جلوگیری از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، این برنامه‌ها تا چه اندازه موثر بوده‌اند؟ در انتخاب هدف‌ها و جهت‌گیری‌ها چگونه عمل شده است؟ به عبارت دیگر، اگر اثربخشی (Effectiveness) را انتخاب اهداف و سیاست‌های درست و کارایی (Efficiency) را انتخاب بهترین خط‌مشی و ابزارها و شیوه برای تحقق آن اهداف بدانیم، می‌توان انتظار داشت با انتخاب و اولویت‌بندی و یا موازنه نادرست میان هدف‌ها و جهت‌گیری‌ها، پیامدهای زیان‌باری برای جامعه رقم بخورد. تعیین واقع‌بینانه و بستمند اهداف و جهت‌گیری، توجه به بافتار اقتصادی سیاسی آب زیرزمینی، نظام انگیزه‌ها، شناخت، تحلیل و مشارکت گرداران و فهم روابط بین آنها و نهادهای مختلف را نیازمند است. در ادامه توصیه‌های سیاستی از دیدگاه حکمرانی آب برای ارتقاء اثربخشی در حوزه آب زیرزمینی و طرح تعادل بخشی ارائه می‌شود.

منابع آب زیرزمینی به دلیل ویژگی‌های خاص خود چون غیرقابل رویت بودن، در دسترس بودن، انطباق کامل با تقاضا، سرمایه‌گذاری اولیه کم و کیفیت بالای آن بیشتر مورد دست‌اندازی قرار گرفته است. به طوری که بر اساس آمار رسمی وزارت نیرو، در سال ۹۵، تشدید افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن در آبخوان‌ها، ممنوعیت بیش از ۳۱۳ محدوده از ۶۰۹ محدوده مطالعاتی کشور، که این آبخوان‌ها حجم بیش از ۹۰ درصد منابع آب زیرزمینی کشور را در خود جای داده‌اند، را به دنبال داشته است. در مجموع، تجمیع اضافه برداشت از ذخایر آب زیرزمینی در فاصله چهار دهه گذشته از آبخوان‌های کشور بیش از ۱۲۰ میلیارد متر مکعب (تا سال ۱۳۹۴) اعلام شده است. این برداشت‌های بی‌رویه باعث بروز پیامدهای پدید و ناپیدایی شده است.

برای کنترل این برداشت‌های بی‌رویه در چهار دهه گذشته در دولت اقداماتی پیش‌بینی و پیگیری شد. طرح‌های تغذیه مصنوعی در سال‌های ۷۳-۷۴، «طرح تعادل بخشی تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب» شامل ۱۲ پروژه مجزا و در نهایت «طرح احیاء و

سیاست تجویزی

ایجاد تنوع در سازوکارها و اصلاح ساختار انگیزه‌ها: اعمال تصمیمات از طریق شناخت سیستم‌های اجتماعی، سنت‌ها، نهادها و کنشگران و استفاده از شکل‌های متنوع و موثر ابزارهای حکمرانی.

تمرکز زدایی در طرح: بهبود حکمرانی آب زیرزمینی از طریق کنترل‌های درونی و سازوکارها همچون بازار.

ضرورت ارتقای سیاست‌های اطلاع‌رسانی: پاسخگویی، شفافیت و اطلاع‌رسانی درست و آموزش و توانمندسازی جامعه محلی.

تطبیق و مرور سیاست‌های اتخاذ شده قبلی: در نظر گرفتن ارزیابی منابع (بررسی شرایط هیدرولوژیک و اجتماعی)، تعیین ضوابط مدیریتی (درباره عرضه، تقاضا و کیفیت آب)، انتخاب ضوابط مدیریتی (در خصوص تعدیلات سیاستی کلان، تنظیم مقررات و مشارکت جامعه محلی) در برنامه جامع مدیریت آب زیرزمینی.

به طور کلی بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی نیازمند داشتن یک برنامه جامع مدیریت بحران آب زیرزمینی در بافتار اصلاح حکمرانی آب زیرزمینی است. برای بازسازی حکمرانی آب زیرزمینی باید کنترل‌های درونی و سازوکار بازار را تقویت کرد. کنترل‌های درونی، از طریق اقناع، همراه شدن و همدلی و همکاری ایجاد و تقویت می‌شود. احترام به حقوق ذی‌نفعان، پاسخگویی، شفافیت و اطلاع‌رسانی درست و آموزش و توانمندسازی جامعه محلی از ارکان تأمین شرایط این‌گونه حکمرانی است.

بررسی طرح احیا و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی از دیدگاه حکمرانی آب در سه سطح سیاستی، راهبردی و حکمرانی محلی بر اساس چارچوب ارزیابی حکمرانی آب زیرزمینی بانک جهانی نشان می‌دهد که این طرح با کاستی‌های بسیار روبروست و ناکام بودن نسبی این طرح هم به دلیل عدم توجه به سازوکارها و مولفه‌های حکمرانی آب زیرزمینی است. سیاست‌های ارائه شده برای بهبود طرح‌های تعادل بخشی از دیدگاه حکمرانی آب زیرزمینی توصیه و پیشنهاد ارائه می‌گردد.

تدوین برنامه جامع: ایجاد یک چتر فراگیر و جامع برای سازماندهی منطقی مجموعه اقدامات، در مرحله بهبود طرح.

ایجاد توازن و هماهنگی سیاست‌های آب زیرزمینی با دیگر سیاست‌های بخش آب و سایر بخش‌ها: قرارگیری سیاست‌های آب زیرزمینی در درون سیاست‌های بخش آب و سیاست‌های آب در پیوستگی تنگاتنگ با سیاست‌های کلان نظام اقتصادی-اجتماعی کشور.

مشخص کردن تغییرات اجتماعی مورد نیاز: اصلاح حکمرانی از طریق تغییرات اجتماعی با تنوع بخشی و تکمیل ساختار انگیزشی با کمک شکل‌گیری نهادها و تشکیلات در سطوح محلی.

در نظر گرفتن پیوند استحصال آب زیرزمینی با معیشت جامعه روستایی: توجه به معیشت پایدار و متنوع سازی معیشت جامعه روستایی با کم کردن فشار بر منابع آب.



الگوی استقرار مدیریت مشارکتی و یکپارچه منابع و مصارف آب بر اساس تجربه تعادل بخشی محدوده مطالعاتی اسفراین

وحید واسطه، معاون حفاظت و بهره‌برداری منابع آب شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی.

شرح مسأله

پایداری و ضمانت اجرایی طرح‌های مدیریت آب بدون جلب مشارکت جوامع ذی‌نفع امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین در شرایط حال حاضر نیازمند تغییر رویکردها در این زمینه می‌باشیم. مهم‌ترین تغییر در رویکردها به صورت ذیل خلاصه شده است:

- ۱- توجه به اصول و ابعاد توسعه پایدار (اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیست) و همچنین ارزیابی (evaluation) و پایش (monitoring) آنها در ابعاد مختلف توسط نشانگرهای (indicators) مناسب.
- ۲- توجه به اسناد بالادستی توسعه در سطح بین‌المللی و ملی. شامل الف) آرمان‌های ۱۷ گانه توسعه پایدار سازمان ملل (Sustainable Development Goals, SDGs) ب) برنامه پنج‌ساله ششم توسعه کشور، ابلاغیه معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور و ج) طرح‌های ۱۵ گانه احیاء و تعادل‌های آبخوان‌ها در حوضه‌های آبریز کشور ابلاغیه شورای عالی آب.
- ۳- توجه به لزوم ایجاد چشم‌انداز مشترک (ترسیم فضای مشارکت) در مدیریت آب. ایجاد چشم‌انداز مشترک موجب تقویت فضای مشارکت در بین گرداران می‌شود. در واقع ایجاد چشم‌انداز مشترک (shared vision) نگرشی برای جلب مشارکت پایدار گرداران می‌باشد.
- ۴- توجه به لزوم برنامه‌ریزی «راهبردی» در مدیریت آب. مدیریت راهبردی با شناسایی ارزش‌ها (values) و منافع (interests) گرداران موجب تسهیل فرآیند تصمیم‌سازی و تضمین اجرای سیاست‌های کلان و اجرایی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت می‌شود.

موانع استقرار مدیریت یکپارچه منابع آب و لزوم تغییر رویکردها در مدیریت یکپارچه با تأملی بر تجربه تعادل بخشی در محدوده مطالعاتی اسفراین:

دشت اسفراین از معدود دشت‌های ممنوعه بحرانی کشور می‌باشد که توانست افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی را کنترل و موفق به دریافت دیلم افتخار سال ۲۰۱۴ از انجمن بین‌المللی آب شود. پایداری و تداوم این نتیجه بدون جلب مشارکت جوامع ذینفع امکان‌پذیر نیست. بررسی سیاست‌های گذشته نشان می‌دهد این سیاست‌ها به طور کامل نتوانسته نیاز اساسی و واقعی کشور را در خصوص مدیریت منابع و مصارف برآورده نماید و این خود موجب شده تا حرکتی اصلاحی برای بازنگری و آسیب‌شناسی رفتار گذشته و یافتن راه‌هایی برای افزایش کارایی مدیریت آب در کشور آغاز گردد. مهم‌ترین موانع بر سر استقرار مدیریت یکپارچه به شرح ذیل است:

- ۱- فقدان یک نظام جامع برای شناسایی نقش و شناخت روابط ساختاری دست‌اندرکاران (کنشگران) نهادی و سازمانی که بایستی در یک فرآیند مشارکتی مبتنی بر پایداری و تاب‌آوری، برای مدیریت پایدار منابع، همکاری، هماهنگی و هم‌افزایی داشته باشند.
- ۲- اعمال سیستم مدیریت از بالا به پایین با قدرت متمرکز دولتی و نگاه تک‌بخشی به موضوع
- ۳- تعارض سایر برنامه‌های حوزه‌های دیگر علی‌الخصوص کشاورزی
- ۴- غیرواقع بینانه بودن و عدم تطابق با شرایط موجود کشور
- ۵- عدم در نظر گرفتن مشارکت مردم به شکل اجرایی

سیاست تجویزی

از فرآیند تصمیم‌گیری باشند. شکل این مشارکت بستگی به مشخصات و ویژگی‌های مدیریت منابع آب دارد. جلب مشارکت عموم و بویژه آب‌بران نیز در تمامی سطوح تصمیم‌گیری (خرد/کلان) برای مدیریت آب از طریق ایجاد اعتمادسازی، فرهنگ‌سازی و بعضاً اصلاح قوانین امکان‌پذیر است. همچنین یکپارچگی در تخصیص بیانگر تصمیم‌گیری متمرکز در تخصیص منابع به مصارف و مدیریت توامان عرضه و تقاضا می‌باشد که این امر خود نیز نیازمند هماهنگی متقابل بین بخش‌های مختلف با بخش آب است. بنابراین براساس رویکردهای موجود و در جهت تشخیص و رسیدن به وضع مطلوب در مدیریت منابع و مصارف آب ۴ گام اصلی تعریف شده است که شامل: برنامه‌ریزی مقدماتی، بررسی و تحلیل وضع موجود منابع و مصارف آب منطقه، برنامه‌ریزی راهبردی (تدوین چشم‌انداز و ترسیم نقشه‌راه)، و در نهایت پیاده‌سازی نقشه راه و راهبردی اقدامات می‌باشد. در برنامه‌ریزی‌های راهبردی (مدیریت استراتژیک) سه مرحله اصلی تدوین سیاست‌ها، اجرا و ارزیابی وجود دارد. تدوین نقشه راه مهم‌ترین ابزار در مرحله اجرا به حساب می‌آید.

راهبرد و چارچوب پیشنهادی استقرار مدیریت جدید و مشارکتی منابع و مصارف آب:

به دنبال توجه به اهدافی چون ایجاد تعادل بین منابع و مصارف، تأمین پایدار آب مورد نیاز بخش‌های مصرف‌کننده با توجه به اصول توسعه پایدار، حفاظت و صیانت از منابع آب، ارتقای مشارکت بهره‌برداران در مدیریت منابع آب، احیاء و تعادل بخشی آب زیرزمینی، اصلاح ساختار اقتصاد و مدیریت آب و ارتقای بهره‌وری به ارائه چارچوبی جهت پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب در محدوده مطالعاتی اسفراین می‌پردازیم که دارای ویژگی‌های «جامع نگرانی در برنامه‌ریزی و مطالعات»، «مشارکت در مدیریت» و نیز «یکپارچگی در تخصیص» است. جامع نگرانی در برنامه‌ریزی و مطالعات توجه به اثرات و پیامدهای تصمیمات در ابعاد مختلف زمان و مکان است. جامع‌نگری نیازمند داده‌های موثق و کافی و نیز تحلیل تأثیر و تأثر محیط انسانی و طبیعی است و همچنین توجه به سه بعد پایداری (اجتماعی، اقتصادی و محیط زیست) می‌باشد. توسعه پایدار زمانی بوجود می‌آید که ذی‌نفعان بخشی



ضرورت توجه به مدیریت راهبردی و تولید نقشه‌های راه در مدیریت آب حوضه‌های آبریز

حمید عمرانیان خراسانی، کارشناس ارشد شرکت هیدروتک توس مشهد.

کامران داوری، استاد دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی آب.

شرح مسأله

در زمینه ایجاد مدیریت یکپارچه منابع آب تدوین شده است اما هیچکدام از آنها به سرانجام نرسیده است. به نظر می‌رسد بطور اعم اجرای ناقص/ ناهماهنگ برنامه‌ها و بطور اخص عدم مشارکت گردداران (Stakeholders) از دلایل اصلی این ناکامی بوده است. آنچه اهمیت دارد، ارائه برنامه‌ای برای پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب با مشارکت گردداران کلیدی و با تأکید بر توالی و تناسب برنامه‌ها در دراز مدت خواهد بود.

توسعه ناپایدار و تخصیص غیر یکپارچه در محدوده‌های مطالعاتی کشور، وضعیت کمیابی آب و متعاقباً تنزل کیفیت منابع آب، روند جاری توسعه (شهری، صنعتی، کشاورزی) را در معرض مخاطره قرار داده است. راه‌حل، همانا ایجاد «مدیریت جامع، یکپارچه و مشارکتی آب» در تمامی حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی با هدف دستیابی به پایداری است؛ که خود در گرو اصلاح مدیریت منابع آب می‌باشد. در این راستا تاکنون برنامه‌های متنوع و متعددی

سیاست تجویزی

پروژه‌ها، فعالیت‌ها) را در مسیرهای پیاده‌سازی تشریح می‌نماید. بعلاوه، در نقشه مزبور تناسب زمانی اقدامات موازی نیز بخوبی نمایش داده می‌شود. به عبارت دیگر مسیرهای تحول (⇒ اقدامات لازم) از نقطه عزیمت (⇒ وضع موجود) به نقطه مقصد (⇒ استقرار توسعه پایدار) به صورت برنامه‌های بلندمدت، میان مدت و کوتاه مدت با رعایت توالی و تناسب میان برنامه‌ها تا دستیابی به پایدار نمایش داده شد است.

دستیابی به یک نقشه راه منسجم در هر حوضه آبریز بایستی با ایجاد یک اجماع قوی و همگانی در میان کنشگران و براساس دیدگاه جامع، یکپارچه و مشارکتی قابل تحقق باشد. جلب مشارکت کنشگران در گروی ایجاد فضای گفتگو و اعتمادسازی متقابل است. در نهایت، سنگ زیرین این مدل «ایجاد فهم مشترک از مخاطره اصلی (ناپایداری منابع آب) است»؛ مخاطره‌ای که سرنوشت همه آب‌بران و مسئولین را تحت تأثیر قرار خواهد داد. نمونه موفق از تدوین نقشه راه و برنامه‌ی راهبردی در قالب فرآیند «تدبیر آب مشهد» با برگزاری جلسات جمعی و اجماع نسبی حول هدف مشترک (کنترل بحران آب) امکان پذیر شده است. هم اکنون این فرآیند با هدف پایداری توسعه مشهد شروع شده و در راستای رسیدن به مدیریت جامع، یکپارچه و مشارکتی آب در حوضه آبریز کشف‌رود حال فعالیت می‌باشد. در این فعالیت به منظور ایجاد مسیری مشخص در پیاده‌سازی و سپس استقرار هر چه بهتر مدیریت جامع، یکپارچه و مشارکتی آب از برنامه‌ریزی راهبردی- مشارکتی جهت مدیریت منازعات و پیدا کردن راه‌حل‌ها و همین‌طور همسنگی بین اهداف مختلف استفاده شده است. خوشبختانه در این فرآیند سیمای واقعی خردورزی جمعی با حضور کنشگران از بخش‌های مختلف به نمایش درآمد که نشان از عزم راسخ ایشان برای بهبود مدیریت منابع آب می‌باشد. به‌طور کلی فرایند تدبیر آب مشهد فرایندی مقدماتی برای ایجاد یک حرکت قانونی مورد تأیید مراجع ذیربط در امتداد اصلاح امور به سمت پایداری حوضه آبریز کشف‌رود بوده است.

برنامه‌های از جنس «راهبردی»، کمک شایان توجهی در «پیاده‌سازی» مدیریت یکپارچه منابع آب و دسترسی به هدف «توسعه پایدار» خواهد نمود. به طوری که برنامه‌ریزی راهبردی با بکارگیری مجموعه‌ای از فرآیندهای خاص، از سایر الگوهای برنامه‌ریزی متمایز می‌گردد. این نوع برنامه ریزی شامل: ۱) گردآوری گزینشی اطلاعات، ۲) تجزیه و تحلیل روشمند محیط پیرامون، ۳) جلب مشارکت کنشگران (Actors)، ۴) تدوین و ارزیابی گزینه‌های راهبردی، ۵) بررسی پیامدهای آتی، ۶) اصلاح مجدد و به روز آوری برنامه‌ها و ۷) تأکید بر اجرای موفق آن، است. در واقع اختلاف برنامه‌ریزی راهبردی با سایر برنامه‌ها در تحلیل محیط و به روزآوری برنامه‌های تدوین شده است. همچنین جهت تدوین برنامه‌های راهبردی مدیریت آب، بایستی گردداران از بخش‌های «خدمات و شهرنشینی»، «کشاورزی»، «صنعت و معدن»، «محیط زیست و منابع طبیعی»، «متولیان آب» و ... حضور داشته باشند. در جلسات گفتگوی گردداران دغدغه‌ها و نگرانی‌هایشان شناسایی و سپس راهکارهای پیشنهادی (مورد توافق نسبی جمع) فهرست شود. در همان جلسات، چشم‌انداز مشترک جهت رسیدن به «وضع مطلوب» نیز بایستی استخراج گردد. سپس منطبق بر چشم‌انداز، راهبردهای مطلوب استخراج گردد.

همانطور که ذکر شد بسیاری از برنامه‌های راهبردی در مسیر پیاده‌سازی با موانع زیادی رو به رو شده‌اند، تا حدی که پیاده‌سازی آنها کامل نگردیده است. از بزرگترین دلایل شکست برنامه‌ها، وجود شکاف میان راهبردها با برنامه‌ها بوده است. «نقشه راه» را به عنوان پلی بین آرمان‌ها و برنامه‌ها نشان داده است. در واقع، گذر از موانع و رسیدن به هدف، نیازمند چند اقدام است: ارزیابی وضعیت موجود و نیز شناسایی مولفه‌های تحول و البته از همه مهم‌تر نیازمند تنظیم «برنامه تحول» می‌باشد. با فرض معلوم بودن هدف (چشم‌انداز)، «نقشه راه» ابزاری نمایشی برای ایجاد تفاهم حول برنامه تحول است. این نقشه، تصویری است از ارتباط میان وضع موجود و وضع مطلوب که بخوبی تقدم-تأخر اقدامات (سیاست‌ها، برنامه‌ها،



ضرورت تغییر در برنامه ریزی آب وزارت نیرو از رویکرد برداشت-محور به تبخیر-محور

سعید مرید، استاد دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی منابع آب.

شرح مسأله

به دریا و آبی که وارد جرم محصول می‌گردد. از این مجموعه تبخیر و تعرق و به اختصار "تبخیر" مولفه اصلی است که بیشترین سهم را دارد. بدین ترتیب هرگونه اقدام که بخواهد منجر به صرفه‌جویی آب شود، لازم است، اثبات نماید که چگونه کاهش "تبخیر" و یا تخلیه آب از سیستم را منجر شده که در شکل بسیار ساده آن مطابق رابطه بیلان: [تبخیر - بارندگی = تغییرات ذخیره (+/-)] می‌باشد. متناسب با اهم چالش‌های فعلی کشور "تغییرات ذخیره" می‌تواند شامل تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی و یا احیای تالاب‌ها باشد. چهار مورد از اقداماتی که هم اکنون در کشور با رویکرد برداشت-محور اجرا می‌شود و در آنها انتظار است تا بتوانند در نجات سفره‌های آب زیرزمینی، تالاب‌ها (مانند احیاء دریاچه ارومیه) و یا امنیت غذایی موثر باشند، در متن اصلی مختصر اشاره شده است. از این موارد که ابهامات متعددی در مورد آنها وجود دارد، از جمله طرح ملی تعادل بخشی سفره‌های آب زیرزمینی، طرح تجمیع چاه‌ها، توسعه سیستم‌های آبیاری نوین، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌توان نام برد.

امروزه کاهش منابع آبی سطحی و زیرزمینی به مشکلی جهانی تبدیل شده است. در این راستا، اقدامات مختلفی برای مدیریت این چالش با هدف حفظ و حتی افزایش تأمین عرضه آب در دستور کار قرار گرفته است که امنیت غذایی و حفظ اشتغال بخش کشاورزی، از مهمترین اهداف آن می‌باشند. در ارزیابی این اقدامات و به مدت مدیدی؛ مولفه "برداشت" نقش اصلی را ایفا نموده (مانند آنچه تحت عنوان افزایش راندمان آبیاری مرسوم بود)، اما تدریجاً کاستی‌های آن ظاهر شد. مسلماً مهمترین نقیصه در این باره، دیده نشدن آب برگشتی در آن می‌باشد.

در پاسخ به این نقیصه، متعاقباً مفهوم "تحت عنوان" صرفه‌جویی واقعی آب" ارائه گشت که بعد از سال ۲۰۰۰ بطور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته شده است. در این رویکرد به جای "برداشت"، مبنا "تخلیه آب" از سیستم قرار گرفت. تخلیه آب نیز از ۴ طریق اتفاق می‌افتد که عبارتند از: تبخیر و تعرق، تغییر کیفیت آب بطوریکه دیگر قابل استفاده نیست (مانند زه‌آب شبکه‌های نیشکر خوزستان)، آب به جایی برود که قابل برداشت نباشد (مانند تخلیه رودخانه‌ها

سیاست تجویزی

صرفه‌جویی آب؛ سیستم فعلی محاسبه بیلان "منابع و مصارف" وزارت نیرو نیاز به بازنگری دارد. برآورد "تبخیر" در این سیستم و برای پاسخ به بحث‌های چالشی که نمونه‌های آن در قبل آمد، از کفایت لازم برخوردار نیستند. نیاز است که مولفه‌های صرف با دقت لازم برآورد شود، (مانند ۱) امکان تفکیک تبخیر و تعرق مفید از غیرمفید (۲) امکان پایش اقداماتی که بخش‌های خصوصی و دولتی از آن به عنوان صرفه‌جویی یاد می‌کنند و (۳) بحث‌های کلان بهره‌وری آب از منظر صرفه‌جویی آن.

رویکرد تبخیر-محور و حکمرانی آب:

از ویژگی‌هایی که در تغییر رویکرد می‌توان قائل شد، ارتباط و تعامل شفاف‌تر در سیستم حکمرانی آب کشور می‌باشد. در بحث "بهره‌وری آب"، مشخص می‌گردد که افزایش آن بواسطه افزایش تعرق بوده و یا بدون آن. در توسعه سیستم آبیاری نوین مشخص می‌گردد که آنها به چه میزان تبخیر غیر مفید را کاسته‌اند و به چه میزان "تعرق" را افزایش داده‌اند. در برنامه‌های توسعه، آن هنگام که صحبت از جبران بیلان منفی سفره‌ها است، قانون‌گذار متوجه می‌گردد که در بندهای دیگر برنامه چه ظرفیتی را برای تحقق چنین هدفی بوجود آورده است. در این راستا وزارت نیرو نیز این امکان را خواهد داشت تا سیستم پایش اقدامات و برنامه‌های خود و دیگر دستگاه‌های اجرایی کشور را پایش نموده و بر این اساس؛ حضوری فعال‌تر، موثرتر و علمی‌تر در حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی کشور داشته باشد.

- حسابداری آب و نقش آن در برنامه‌ریزی و ارزیابی اقدامات:

موسسه بین‌المللی آب و در ادامه فائو برای پرهیز از برخی سوء برداشت‌ها و همچنین کمک به تدقیق ارزیابی‌های اقدامات، سیستم حسابداری آب را توصیه می‌کنند. این سیستم مولفه‌های مختلفی را دارد که موارد ذیل بخشی از آن می‌باشد:

۱) بهره‌برداری مصرفی (Consumptive use) (تبدیل آب به بخار آب)، که شامل: مصرف سودمند (Beneficial Consumption) مانند تعرق گیاه و تبخیر از تالاب‌ها و مصرف غیر سودمند (Non-beneficial Consumption) مانند: تبخیر از سطح آزاد آب، و خاک مرطوب؛ تعرق از علف‌های هرز. ۲) بهره‌برداری غیرمصرفی (Non-consumptive use) (آبی که در حالت مایع باقی می‌ماند)، شامل: آب قابل برگشت (Recoverable flows) آبی که به رودخانه یا سفره باز می‌گردد و امکان استفاده مجدد آن وجود دارد و آب غیر قابل برگشت (Non-recoverable flows) آبی که به دریا یا سایر تخلیه‌گاه‌های می‌رود که به لحاظ اقتصادی برداشت آن مقرون به صرفه نباشد. در اقلام فوق، مجدداً این مصرف یا "تبخیر" است که مبنای اصلی قرار دارد و تأکید بر آب برگشتی نیز در جهت شفاف‌سازی "برداشت" و واقعی‌سازی آن می‌باشد. بدین معنا که "برداشت" به تنها کفایت لازم را برای ارزیابی‌ها ندارند.

- بیلان منابع و مصارف و حسابداری آب:

در جهت حصول به اهداف فوق و تلاش برای تدوین دقیق‌تر برنامه‌های کلان مدیریت آب و برای واقعی کردن اقدامات در



حسابداری آب: لزوم تعریف مأموریت جدید دفاتر مطالعات پایه شرکت های آب منطقه ای کشور با هدف تغییر رویکرد از «تولید داده خام» به «کیمیایگری»

مجتبی شفیع، استادیار پژوهش، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI).

پولاد کریمی، استادیار، گروه مهندسی آب، موسسه آب IHE Delft، هلند.

شرح مسأله

سازماندهی داده های مختلف از بخش های گوناگون هیدرولوژیکی، زیست محیطی و اقتصادی امکان پردازش و تفسیر آنها را در کنار یکدیگر فراهم می شود. در واقع هدف اصلی رویکرد حسابداری آب، به دست آوردن داده های مهم از منابع آب و اقتصاد، دسته بندی آنها در قالب حساب ها، در کنار هم قرار دادن حساب ها و ایجاد بستری مناسب برای استخراج نشانگرهای تحلیلی جهت پایش وضعیت منابع آب و اخذ تصمیمات مدیریتی مناسب است. چارچوب های مختلفی جهت پیاده سازی سامانه های حسابداری آب تا کنون ارائه شده است. از مهم ترین آنها چارچوب WA+ می باشد که رویکرد استفاده از منابع داده های ماهواره ای و تفکیک مصارف در آن نیز تأکید شده است. این چارچوب به عنوان روشی آسان و استاندارد است که وضعیت مدیریت آب و زمین را در حوضه های آبریز پیچیده می تواند توصیف نماید. اصلی ترین فناوری ها که امروزه می توانند در تخمین مجهولات بیلان و یا تدقیق آنها موثر باشند کاربرد فناوری سنجش از دور و کاربرد مدل های شبیه سازی مفهومی هیدرولوژی است.

مفهوم کیمیایگری در مدیریت منابع آب به معنی تبدیل کردن داده های خام به اطلاعات با ارزش مدیریتی می باشد. آنچه که امروز در مطالعات و بررسی بیلان آب در کشور انجام می شود ناکارآمد و با تأخیر زمانی طولانی می باشد. در سوی دیگر صرف تمرکز بر بیلان آب و مولفه های آن، هرچند در نوبه خود هنوز هم رویکردی سنتی داشته و مطابق با شرایط امروزی کیمیایی آب نیست، ولیکن نمی تواند ارزش اقتصادی و اجتماعی آب را آشکار سازد. اینکه ورودی و خروجی آب چه مقدار و چگونه هست به تنهایی پاسخ های شرایط امروز مدیریت آب را نمی تواند تامین نماید. تأمل بر ارزش آب و سرمایه گذاری در مسیری که بر مبنای این ارزش ها ریل گذاری گردد، رویکردی نوین و در عین حال الزامیست تا سرانجام نتایج ارزشمند مدیریتی از اطلاعات منابع و مسایل آب تولید نماید. سامانه های حسابداری آب، رویکردی در جهت استاندارد کردن نحوه سازماندهی داده ها و اطلاعات می باشد. این سامانه ها، به عنوان مهم ترین ورودی در پیاده سازی مدیریت جامع نگر و یکپارچه منابع آب هستند. در این سامانه ها با

سیاست تجویزی

موضوع را راهبری، نظارت و پشتیبانی نماید، این امر بدین سبب است که بخشی از مفاد و کاربرگ های حسابداری آب مرتبط با مدیریت آب شهری است)

- از آنجایی که همزمان در وزارت نیرو و شرکت مدیریت منابع آب در مورد بازبینی دستورالعمل های محاسبات بیلان طرح های مختلفی در حال انجام است، توصیه می شود تمامی طرح های مذکور در قالب بخشی از سامانه حسابداری آب جمع شوند.
- تدوین سازوکار جهت استفاده صحیح و پایدار از ظرفیت های بخش خصوصی

۲- اصلاحات محتوایی:

- توجه به دستورالعمل ها و نتایج طرح های ۱۵ گانه تعادل بخشی آب زیرزمینی کشور (دستورالعمل های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ طرح های تعادل بخشی که هم اکنون در مرحله بررسی و تأیید می باشد و همچنین منطبق بر اهداف پیاده سازی حسابداری آب در حوضه های آبریز و تدقیق و برآوردی مولفه های بیلان می باشد)
- استفاده موثر از تجارب تحقیقاتی و کاربردی که در سطح کشور وجود دارد یا در حال انجام می باشد.
- در نهایت پیشنهاد می شود برنامه راهبری مشخصی (نقشه راه) همراه با ایجاد تغییرات ساختاری (موارد پیشنهادی)، ارائه آیین نامه ها و رویکرد استفاده از فناوری های نوین در این زمینه تدوین گردد.

همانطور که اشاره شد، حسابداری آب با گردآوری اطلاعات لازم و تحلیل دقیق از وضعیت موجود و تغییرات صورت گرفته در زمینه بهره برداری از منابع آبی، مدیریت پایدار این منابع را امکان پذیر می سازد. در شهریور ماه ۹۶ برای اولین بار در کشور همزمان با تفاهم نامه وزارت نیرو با موسسه بین المللی آب IHE Delft و پیگیری های صورت گرفته، با رویکرد انتقال دانش فنی و توانمندسازی موسسات محلی پروژه «تهیه سامانه حسابداری آب در حوضه کشف رود» به صورت طرح مشترک با مجموعه مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق در شهر مشهد کلید خورده است. براساس تجربه بدست آمده و چالش های موجود، چگونگی پیاده سازی این مفاهیم و رویکردها در دو بخش اصلاحات نهادی و محتوایی خلاصه شده است:

۱- اصلاحات ساختاری و نهادی:

- تغییرات در ساختار وظایف دفاتر مطالعات پایه منابع آب استان ها به عنوان متولی جمع آوری و تحلیل داده های منابع آب. این امر می تواند به نحوی باشد که به جای تولید گزارشات روتین تلفیق و بیلان، سامانه های حسابداری آب و به روزسانی آنها در یک بازه مشخص جایگزین گردد.
- تأسیس دفتر مرکزی حسابداری آب حوضه های آبریز کشور در وزارت نیرو (شرکت مدیریت منابع آب به تنهایی نمی تواند این



شرح مسأله

و مشاورین حوزه آب که تنها جهت دستیابی به منفعت شخصی انجام می‌شوند. ۵- برای انجام کارهای اشتباه در کشور و از جمله برای تصمیمات مدیران عقوبتی وجود ندارد. ۶- تقابل مدیران اجرایی کشور در مشارکت و حضور ذی‌نفعان و دانشگاهیان در حوزه‌های تصمیم‌گیری آب از دیگر دلایل این ناکامی است. ۷- انتخاب مدیران غیرمتخصص و ظاهراً متعهد از دیگر دلایل ناکامی است. ۸- مدیریت‌های کشور بصورت هیجانی و روزمره و در قالب تصمیمات آنی اداره می‌شود. طبیعتاً تمامی مدیران به دنبال بهبود وضع موجود و افزایش بهره‌وری در دوره‌های مدیریتی خود هستند و غالباً برای خود برنامه‌های کوتاه‌مدت جهت دستیابی به اهدافشان در نظر می‌گیرند. این خطای استراتژیک منجر به روزمرگی رفتار مدیران خواهد شد. علاوه بر موارد مذکور ممکن است ده‌ها مورد دیگر نیز وجود داشته باشد که باعث شود مدیریت آب در کشور دچار بحران شود. بر اساس آمار هزینه‌ها و طرح‌های متعدد و همچنین دستاوردهای ضعیف ناشی از آن‌ها می‌توان «فراگسیختگی اجتماعی-اقتصادی» و در نهایت نشر «ناپایداری» را برای کشور متصور بود. لذا بایستی نگرش مدیریت یک‌تنه و بدون مشارکت مردم به مدیریتی مبتنی بر تعامل با محیط «اجتماعی-اقتصادی» تغییر یابد.

سال‌هاست که موضوع بحران آبی مورد بحث جوامع و محافل علمی کشور بوده، برای مقابله با آن برنامه‌ریزی‌های فراوانی شده، پروژه‌های زیادی احداث شده، میلیاردها دلار خرج شده و هزاران قانون و دستورالعمل تولید شده که نتیجه آنها تقریباً صفر و خروجی تشدید وضعیت اسفبار منابع آب بوده است. شرح مختصری از علل ناکامی مدیریت آب در ایران به صورت موارد ذیل عنوان شده است:

۱- امروزه اظهار نظر و ارائه پیشنهادات و سیاست‌گذاری در حوزه آب، بدون داده و اطلاعات رایج شده است. ۲- در فضای تصمیم‌گیری افراد غیرمتخصص و غیر ذینفع به حوزه‌های تخصصی ورود نموده‌اند. بسیاری از طرح‌ها به دلایل سیاسی ابتدا اجراء می‌شوند و سپس برای آنها تأییدیه محیط‌زیستی، اجتماعی و ... تهیه می‌شود. ۳- ورود بدون برنامه بخش اقتصادی در زمینه‌های تصمیم‌گیری از دیگر دلایل ناکامی است. بسیاری از طرح‌ها بدون آنکه لزوم و ماهیت آنها تأیید شود، صرفاً به دلیل اعتبارات مالی که برای آنها در نظر گرفته شده، با چشمان بسته و بدون تحلیل عواقب مورد حمایت قرار گرفته‌اند. ۴- حس تعلق و ملی‌گرایی در کشور پایین است. اجرای پروژه‌هایی با خروجی پایین توسط متخصصین

سیاست تجویزی

این کنترل برگزیده می‌شوند. منظور از بهره‌وری نه تنها «کارایی اقتصادی»، بلکه «مطلوبیت» نیز هست. یعنی به لحاظ تخصیص آب و منابع مالی، بایستی حداکثر کارائی و مطلوبیت حاصل گردد. منظور از عدالت، دسترسی همه به آب با کمیت و کیفیت کافی است. منظور از پایداری، پایداری زیست محیطی و جلوگیری از اثرات تخریبی بر سیستم‌های طبیعی (از جمله منابع آب) است به نحوی که نسل‌های بعدی نیز بتوانند از آنها استفاده نمایند. در هر صورت جهت مدیریت تحول، بایستی براساس برنامه‌های راهبردی و نقشه راه مدیریت آب اقدامات زیر هرچه سریع‌تر اتفاق بیفتند:

۱- براساس برنامه‌های راهبردی بایستی کار را به کاردان سپرد. ۲- معیارهای انتخاب مدیران و مسئولین براساس برنامه‌های راهبردی باید تغییر یابد. ۳- بخش اقتصادی باید به جای خودش بگردانده شود و بایستی هزینه‌های مرتبط را پرداخت نماید. ۴- دانشگاه از طریق مشارکت هم‌جانبه (علوم مختلف مرتبط با آب) و ذی‌نفعان واقعی، سیاست‌گذاری در کشور را در دست بگیرد. ۵- مردم باید در همه اظهارنظرها آزاد باشند و باید قدرت نقد همه را بدون هزینه داشته باشند. ۶- نهادهای مردمی واقعی برای جلوگیری از انجام هر کار اشتباه و زیان‌بار شکل بگیرند و قدرت جامعه مدنی را بالا ببرند نه اینکه برای هر اظهارنظری هزینه بدهند. ۷- قوه مقننه، مجریه و قضاییه باید به صورت مستقل کار خود را با افراد تخصصی به پیش ببرند نه اینکه به صورت غیرتخصصی مانع فعالیت یکدیگر شوند. ۸- جریان آزاد، اطلاع‌رسانی باید شکل بگیرد و شفافیت باید در دستور کار همه سازمان‌ها باشد. ۹- در کوتاه مدت و به فوریت باید نسبت به جمع‌آوری و تکمیل داده‌ها و اطلاعات درست اقدام نمود. ۱۰- باید مشارکت مدنی و مردمی را در تمام حوزه بالا برد.

در پرتو بازخوانی مسائل فوق و نیز بررسی تجارب سایر کشورها احتمالاً نتیجه می‌شود که برای حل بنیادی معضلات آب بایستی به اقدامات اساسی (به ترتیب زیر) پرداخت و در سایه آن برنامه عملیاتی (ده ساله و پیرو آن ۵ ساله) را تدوین نمود:

الف) مدیریت راهبردی: هدف‌گذاری بلندمدت (۵۰ ساله، ۱۰۰ ساله) که معمولاً در قالب نقشه راه ارائه می‌شود. برنامه‌های بلند مدت نتیجه محور است و بدین لحاظ بر «مشارکت» (توجه و جلب همکاری گرداران) و «پیاده‌سازی» متمرکز می‌باشد. این چنین برنامه‌ای مدیریت تغییر/تحول است که به دلیل مقاومت‌های اجتماعی-سیاسی و گستردگی و پیچیدگی مسائل آب، پیاده‌سازی آن بسیار زمان‌بر خواهد بود؛ اما می‌توان برای انحراف از برنامه‌ها برای مدیران و کارشناسان متخطی عقوبت در نظر گرفت.

ب) ظرفیت‌سازی: ساختار نهاد آب نیازمند بهبود و توسعه ظرفیت‌ها در سطوح عموم (فرهنگ‌سازی)، گرداران (ساماندهی مشارکت‌ها)، کارشناسان و به‌ویژه مدیران (مهارت‌ها) است. حتی بایست ظرفیت‌سازی به حوزه تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران (مثلاً نمایندگان مجلس) تسری یابد.

پ) برنامه تحول: با توجه به پویایی سیستم «آب-اکوسیستم-اجتماع-اقتصاد»، برنامه‌ی «تحول» باید «تطبیقی» باشد تا هوشمندانه خود را با شرایط در حال تحول انطباق دهد. بنابراین لازم است مدیریت آب در سه لایه کوتاه مدت (۳ ساله)، میان مدت (افق ده ساله) و بلندمدت (افق ۳۰ ساله) برنامه‌هایی را تدوین نموده و به‌طور موازی پیاده‌سازی نماید. مسلماً بازنگری دوره‌ای برنامه تحول ضروری است.

مدیریت نیازمند معیارهایی برای جلوگیری از انحراف برنامه‌ها در امتداد پایداری می‌باشد. در بسیاری موارد معیارهای «بهره‌وری»، «عدالت» و «پایداری» برای

شرح مسأله

موضوع «سنجش و پایش منابع آب» به معنای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی اطلاعات مربوط به منابع آب تعبیر شده است. به طوری که انبوهی از داده‌ها جمع‌آوری شده و به اشکال عمدتاً نامناسب نگهداری و ذخیره می‌شود که هزینه قابل توجهی بر شرکت مدیریت منابع آب کشور تحمیل نموده است. با این وجود، همیشه متخصصان دانشگاهی، برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب در مورد فقدان و ضعف در اطلاعات کمی و کیفی منابع آب مورد نیاز برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی و مدیریت آن‌ها گلایه نموده‌اند. لذا باید از شرایط موجود با عنوان سندرم «داده‌های غنی اما

اطلاعات فقیر» یاد کرد. لذا دو چالش برای مطالعه حوضه‌های آبریز وجود دارد. نخست داده‌های پراکنده، کم دقت و در عین حال پرهزینه و دوم مطالعات بسیار، غیر دقیق و متناقض. حال این سوال مطرح می‌شود که چاره چیست؟ چاره کار نخست تهیه شناسنامه تفصیلی حوضه آبریز برای وحدت شناخت از حوضه و دوم تعیین هدف مطالعات و انجام هدفمند داده‌برداری یا به عبارت دیگر «پایش به سفارش» می‌باشد.

آگاهی از وضعیت منابع و مصارف آب در مناطق مختلف کشور، گام نخست در تدوین برنامه‌های مدیریت کلان و خرد منابع آب می‌باشد. ابزارها، بررسی‌ها و تحلیل‌های قابل انجام برای پاسخ به این نیاز، در قالب مجموعه فعالیت‌هایی تحت عنوان مطالعات پایه منابع آب تعریف می‌گردد. هدف این فعالیت‌ها، ارزیابی شرایط کمی و کیفی منابع آب با هدف تأمین نیازهای آبی بخش‌های مختلف مصرف‌کننده و کاهش ریسک مخاطرات آبی می‌باشد. این مطالعات باید شناخت کافی برای تصمیم‌گیری خردورانه مبتنی بر اطلاعات کافی مستند در سطوح مختلف اعم از شهرستان، حوضه، استان و ملی را فراهم آورد. خوشبختانه در ایران از سال‌های بسیار دور سازوکار ساختاری و فنی لازم برای انجام این تحلیل‌ها در سطوح مکانی مختلف وجود داشته و فعالیت‌های ارزشمندی در این زمینه صورت گرفته است. اما روشن نبودن هدف مطالعات و مسیر پیشرفت این بخش باعث شده است که مطالعات متعدد و بعضاً متناقض با هزینه‌های هنگفت صورت گرفته و با این وجود نیازهای مدیریتی نیز به طور کامل مرتفع نگردیده است. همچنین

سیاست تجویزی

- تهیه شناسنامه تفصیلی حوضه آبریز:

یکی از مهم‌ترین اقداماتی که به منظور مدیریت صحیح منابع آب در راستای تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی باید صورت گیرد، تکمیل و تدقیق اطلاعات مربوط به منابع آب سطحی و زیرزمینی در حوضه‌های آبریز می‌باشد. به طوریکه در نهایت مؤلفه‌های بیلان منابع آب به صورت دقیق‌تر شناسایی گردد و امکان پیش‌بینی وضعیت کمی و کیفی این منابع تحت تأثیر برنامه‌ها و مدیریت‌های مختلف فراهم گردد. شناسنامه تفصیلی در واقع شناخت جامع از حوضه شامل مرزها، توپوگرافی، فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی، هندسه مخزن آب زیرزمینی، لایه‌شناسی مخزن آب زیرزمینی، ضرایب هیدرودینامیک، اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی، کلیه مصارف آب سطحی و زیرزمینی و در نهایت تعیین مؤلفه‌های معادله بیلان آب در مقیاس سالانه بصورت یکپارچه می‌باشد. تدوین شناسنامه تفصیلی کمی آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی کشور باید مکان‌های فاقد اطلاعات و یا اطلاعات ناقص را مشخص نموده و اولویت پایش را نیز مشخص نماید.

- پایش به سفارش:

یک اصل قدیمی و اثبات شده بیان می‌کند که «اگر شما نمی‌توانید چیزی را اندازه‌گیری کنید، شما نمی‌توانید آن را مدیریت کنید».

این اصل به همان اندازه برای مدیریت منابع آب صادق است که برای مدیریت هر نوع دیگری از فعالیت‌های انسانی صدق می‌کند. تقاضا برای پایش، یکی از نیازهای اساسی در مدیریت منابع آب است. طراحی برنامه‌های پایش و فعالیت‌های وابسته باید بر اساس اهداف مشخص و از پیش معین باشند. هدف‌گذاری یکی از راه‌هایی است که به واسطه آن می‌توان اطمینان پیدا کرد تمام جنبه‌های يك موضوع در نظر گرفته شده است. به علاوه هر کدام از اهداف پایش منابع آب برای برآورده شدن الزاماتی متفاوت اهمیت داشته که نیاز به راه‌کارهایی متفاوت برای برنامه‌ریزی پایش دارد.

همانطور که مطرح گردید، به طور قطع یکی از عمده‌ترین چالش‌های کنونی مدیریت منابع آب در کشور، کمبود داده و اطلاعاتی است که علی‌رغم تلاش‌های گسترده صورت گرفته در سال‌های اخیر، هنوز نتوانسته است امکان مدیریت به‌روز منابع آب را فراهم سازد. شاید مهم‌ترین عامل این وضعیت، عدم توجه به "تقاضا" برای پایش منابع آب بوده که فقدان طراحی برنامه‌های پایش به صورت هدفمند و چارچوب محور را سبب گردیده است. این مشکل با تهیه شناسنامه محدوده مطالعاتی و تعیین تمام نواقص اطلاعاتی و اولویت هر کدام، هدف مطالعات مشخص شده و پایش به صورت هدفمند انجام شده و از داده‌های بسیار و اطلاعات متناقض پرهیز خواهد شد.



عیسی بزرگزاده، دانشجوی دکتری دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر و معاون فنی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
سیدجمشید موسوی، استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

شرح مسأله

نمودن سیاست‌ها، برنامه‌ها و اقدامات بخشی، در قالب و چارچوبی منطقی و به هم پیوسته ضروری است. در این ارتباط Louks در آخرین مقاله خود و در قالب جمع‌بندی تجربیات ۵۰ ساله خود در مدیریت منابع آب ضرورت توجه به ارتباطات بین بخشی (interconnectedness) در مدیریت منابع آب را بیان کرده است. در این راستا توجه دست اندرکاران امر توسعه به ضرورت پرداختن به عوامل و مؤلفه‌های فرابخشی و بحران آفرین در بخش آب و محیط زیست جلب می‌شود و درمان درد نه ضرورتاً در دایره ترفندها و اقدامات بخش آب، بلکه در خارج از آن و به شکل بین بخشی جستجو می‌شود. توجه به آمایش سرزمین، به عنوان نقشه راه و راهنمای بالادستی برای دستیابی به توسعه‌ای متوازن، می‌تواند تا حد زیادی تغییر رویکرد در شیوه مدیریت را عملیاتی نماید. در این مقاله چارچوب توسعه آمایش محور مقید به آب و مراحل آن به عنوان بستری مناسب برای برای برون رفت از شرایط بهره‌برداری بی‌رویه و تضمین پایداری بهره‌برداری از منابع آبی ارایه شده است.

بی‌توجهی به ضرورت برنامه‌ریزی فضایی (برنامه‌ریزی آمایش سرزمین) و اتخاذ رویکرد بخشی در مطالعات توسعه‌ای از جمله در بخش آب از گذشته شیوه‌ای رایج بوده است. شیوه برنامه‌ریزی اقدامات توسعه‌ای در ایران به گونه‌ای است که رقابت بر سر منابع محدود از جمله منابع آب را افزایش داده است و همزمان مسئولیت‌پذیری کنش‌گران را در این حیطه به شدت مخدوش و تضعیف ساخته است. مدیریت بخشی‌نگر و پاره پاره توسعه، بی‌توجهی به ابعاد فرابخشی تصمیمات و تأثیرپذیری شدید از عوامل برون‌بخشی غالباً منجر به حاکمیت گروه‌ها، اقشار، نهادها و سازمان‌هایی با منافع متناقض در چگونگی بهره‌برداری از دارایی‌ها موجود در سطوح ملی، منطقه‌ای و محلی شده است. در واقع در بسیاری از کلان پروژه‌های آب کشور در بستری بیرون از نقشه‌ها و برنامه‌های جامع توسعه اقتصادی - اجتماعی و بدون ارتباط با طرح‌های آمایش سرزمین یا مطالعات یکپارچه منابع آب ظهور یافته‌اند. از این رو یافتن روش‌ها و راهکارهای مناسب برای هماهنگی

سیاست تجویزی

و اقدامات هادی برای از بین بردن شکاف موجود بین این دو وضعیت (موجود و مطلوب) با به حداقل‌رساندن آن است. در این متن تنها عناوین گام‌های اصلی ۷ گانه آن ارائه شده است:

گام ۱: تهیه فهرست جهت‌گیری‌ها، راهبردها و فعالیت‌های اولویت‌دار و مطلوب هر منطقه (تحلیل موضوعی)

گام ۲: طراحی کالبدی-فضایی منطقه (تحلیل مواعی و نهادی)

گام ۳: تهیه فهرست برنامه‌ها (Programs)

گام ۴: برآورد آب قابل برنامه‌ریزی

گام ۵: تخصیص و توزیع آب قابل برنامه‌ریزی به فعالیت‌ها و برنامه‌ها

گام ۶: مقاله وضع موجود و تعیین شکاف آن با وضع مطلوب

گام ۷: ارائه راهکارهای حذف شکاف بین وضع موجود و مطلوب

قابل ذکر است که گام‌های اول تا سوم منطبق بر «مطالعات آمایشی» است. گام چهارم و پنجم منطبق بر «مطالعات آب با نگاه فرابخشی» است و گام ششم و هدف منطبق بر «ارائه راهکارها» می‌باشد.

در رویکرد آمایش محور مقید به آب، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در بستر اصول عملیاتی شده آمایش سرزمین بازتعریف و آب قابل برنامه‌ریزی برای استفاده در بخش‌های مختلف برآورد می‌شود این رویکرد مبتنی بر یک چارچوب بین بخشی است که در آن فرایند توسعه در هر بخش و منطقه و نتیجتاً تقاضای استفاده از منابع آب در آن، با توجه به دارایی‌ها و ویژگی‌های آمایشی و همچنین پیامدها و آثار آن بر سایر بخش‌های نیازمند توسعه و متقاضی مصرف آب شکل می‌گیرد. همچنین رویکرد پیشنهادی از منظر روش‌شناسی و سکوی حکمرانی آب در کشور، توجه و حرکت به توسعه مطلوب که برآمده از آمایش سرزمین بر محور آب و هم‌زمان با محدودیت آب است، می‌باشد. بنابراین تأکید می‌شود که منظور از واژه آمایش یا توسعه بر محور آب این نیست که آب محور آمایش و توسعه قرار می‌گیرد، بلکه مراد برنامه‌ریزی توسعه بر اساس آب قابل برنامه‌ریزی در سطح هر حوزه است. رویکرد کلی چارچوب پیشنهادی مبتنی بر ترسیم وضعیت مطلوب توسعه با دیدگاه برنامه‌ریزی فضای و از نگاه آب قابل برنامه‌ریزی، مقایسه آن با وضع موجود و تعریف راهکارها



پیاده‌سازی مدیریت مشارکتی منابع آب در حوضه آبریز ایران: فعال نمودن شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز

عباس جنگی مرنی، رئیس اداره نظارت بر حوضه آبریز زاینده‌رود، شرکت مدیریت منابع آب ایران.

شرح مسأله

و حتی تا حدودی منابع مالی (در مقایسه با کشورهای فقیر)، کمبود قابل توجهی در کشور نیست. متخصصان زیادی هستند که می‌توانند راه‌حل‌های فنی و علمی مختلفی برای چالش‌های مدیریت منابع آب ارائه دهند. اما موانعی وجود دارند که باعث می‌شوند اساساً درک کامل و مشترکی از چالش‌های منابع آب در عرصه‌های سیاست‌گذاری، اجرایی و نظارتی و نیز در فضای عمومی کشور ایجاد نگردد و سطح بسیار پایین و شکننده‌ای از تعامل و همکاری برای مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز به وجود آید. ایجاد فضای گفتگو، شفافیت و همکاری جمعی می‌تواند بستری برای حل مشکلات منابع آب ایجاد نماید. در این نوشتار سیاستی، پیاده‌سازی مدیریت مشارکتی منابع آب در حوضه‌های آبریز کشور با ارائه الگویی برای تشکیل و یا فعال‌تر نمودن شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز، به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی و غیر سازه‌ای مدیریت منابع آب تبیین می‌شود.

منابع آب به عنوان یکی از عناصر کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی به شمار می‌آید و محدودیت منابع آب در ایران، به مسأله‌ای مهم تبدیل شده و توسعه پایدار و محیط زیست کشور را تحت تأثیر خود قرار داده است. همچنین مدیریت منابع آب در ایران کاملاً پیچیده و چند وجهی شده است؛ چون تحت تأثیر عوامل مختلف و پویای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی می‌باشد و سیاست‌ها، دستگاه‌ها و نهادهای مختلفی در آن موثر هستند. این عوامل در کنار رشد فزاینده مراکز جمعیتی، صنعتی و کشاورزی، کاهش منابع آب تجدیدپذیر و افزایش تقاضا برای آب و رقابت برای دسترسی به آن، مدیریت بهینه منابع آب را با چالش‌های جدی روبرو کرده است. لذا به نظر می‌رسد سازوکارهای مدیریتی قبلی در منابع آب، پاسخگوی چالش‌های جدید نیست. برای جلوگیری از تعمیق و گسترش چالش‌های مدیریت منابع آب ایران و تعدیل و رفع آنها به نظر می‌رسد در زمینه دانش، مهارت فنی، نیروی انسانی

سیاست تجویزی

حوضه آبریز زاینده‌رود، برخی از وظایف و مأموریت زیر برای شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب سایر حوضه‌های آبریز کشور قابل پیشنهاد است:

بررسی برنامه منابع و مصارف آب سالانه حوضه آبریز و تصویب برنامه منابع و مصارف آب حرفه در هر سال آبی؛ بازنگری و تصویب اصلاحیه سرمایه منابع و مصارف آب حرفه در هر سال آبی؛ تعیین سهمیه آب مصرف‌کنندگان هر استان، بر اساس منابع آب قابل استحصال در هر سال آبی و اعمال صرفه‌جویی لازم در مواقع کم آبی و خشکسالی؛ توسعه مشارکت موثر ذی‌نفعان و دست‌اندرکاران در مدیریت حوضه آبریز؛ بررسی و شفاف‌سازی کلیه اطلاعات حوضه آبریز؛ تصویب برنامه‌های آماده‌سازی و فرهنگی‌سازی برای مصرف‌بهینه آب در حوضه آبریز؛ ارائه برنامه و سیاست‌گذاری برای جلوگیری از برداشت‌های غیر مجاز آب و اضافه برداشت آب در حوضه آبریز؛ ساماندهی مدیریت و بهره‌برداری یکپارچه منابع آب حوضه آبریز؛ سیاست‌گذاری لازم برای مدیریت یکپارچه پساب‌ها و زه‌آب‌های حوضه آبریز؛ تهیه و تدوین خط مشی، برنامه‌ها و راهکارهای لازم جهت حل مناقشات مرتبط با منابع آب در حوضه آبریز؛ برنامه‌ریزی برای کنترل و نظارت صحیح بر برداشت‌های آب از حوضه آبریز و ارزیابی برنامه منابع و مصارف آب حوضه آبریز؛ تعیین محدودیت‌های منابع آب حوضه آبریز و اولویت‌های توسعه پایدار در منطقه و اعمال رویکرد مدیریت به هم پیوسته منابع آب؛ پایش و حفاظت کیفی منابع آب و محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب حوضه آبریز؛ تصویب مقررات و دستورالعمل‌های اجرایی برای ارتقای مدیریت کمی و کیفی منابع و مصارف آب حوضه؛ سایر موارد، حسب نیاز و شرایط مدیریت منابع آب حوضه آبریز.

هدف و الزامات:

برای شروع فرآیند همکاری و مشارکت در مدیریت منابع آب حوضه‌های آبریز، تشکیل و فعال‌شدن نهادی بین بخشی و بین دستگاهی، مشارکت جدی و موثر ذی‌نفعان اصلی حوضه آبریز (نظیر نمایندگان صنف کشاورزان)، لازم و ضروری به نظر می‌رسد. الگوی شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز می‌تواند اولین مرحله از نهاد بین بخشی باشد. پیاده‌سازی این الگو، روشی سازنده و مبتنی بر همکاری و مشارکت جمعی در سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و فعالیت‌های مربوط به منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، توسعه مراکز جمعیتی، انرژی، گردشگری و صنعت است که طرف تعامل و گفتگویش نیز فقط وزارت نیرو نیست، بلکه تمام دستگاه‌های اجرایی و نهادهای حاکمیتی و نمایندگان ذی‌نفعان اصلی هستند. بر اساس این همکاری و مدیریت مشارکتی منابع آب در حوضه‌های آبریز و بسترسازی مناسب برای افزایش سرمایه اجتماعی آب و ارتقای سطح همفکری و همکاری جمعی، چالش‌های مدیریت منابع آب می‌تواند یکی پس از دیگری تعدیل و یا حتی حل شوند.

استقرار مدیریت به هم پیوسته منابع آب در حوضه‌های آبریز، قبل از آنکه بر مبنای تغییر ساختار سازمانی باشد، بر پایه تغییر رویکرد دست‌اندرکاران و ذی‌نفعان است و پیاده‌سازی رویکرد فوق موجب کنترل دامنه و عمق چالش‌های مدیریت منابع آب و در راستای توسعه پایدار خواهد بود. همکاری‌های دست‌اندرکاران و ذی‌نفعان حوضه آبریز در قابل شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز می‌تواند این رویکرد را عینیت ببخشد.

فعالیت‌ها و ساختار:

بر پایه الگوی شورای هماهنگی مدیریت به هم پیوسته منابع آب



مدیریت فرانهادی آب با هدف استقرار الگوی پایدار امنیت آب - غذا - انرژی

میثم مجیدی، استادیار پژوهش، مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI).

شرح مسأله

متمركز بر آموزش و پژوهش‌های كم‌اثر بوده و برابند آن بر مسایل آب بویژه، غیرقابل کاربرد و ارزیابی است.

گزاره چهارم - آسیب‌های حوزه اجرایی و مشارکت‌های مردمی:

درسی که امروزه در تمامی ابعاد بویژه حوزه‌های مدیریت آب و کشاورزی و توسعه شهری و روستایی، آموخته‌ایم، اینست که عدالت، اقتصاد و شفافیت، درون‌مایه مشارکت مردمی است و مشارکت، پیش‌شرط موفقیت و پایداری برنامه‌ها.

- **عدم اشراف ذی‌نفعان به مسایل منابع آب:** ضعف اطلاعات و از آن مهمتر ضعف در یکپارچه‌سازی آن، تولید اطلاعات فقیر، عدم وجود زیرساخت و سازوکار مناسب اطلاع‌رسانی و بهره‌برداری مناسب از آنها، مسیر برقراری ارتباط و زبان مشترک بین متولیان و ذی‌نفعان را بسیار ناهموار نموده و مشارکت را، شعارگونه جلوه می‌نماید.

- **سرآب آمایش سرزمین:** باید پذیرفت که سند راهبردی به نام آمایش سرزمین، اگر جامع و تخصصی حتی نگاشته شده باشد، برگرفته از واقعیت جامعه‌ای با محدودیت شدید بحران‌های آبی و محیط زیستی نیست و اگر بود، خود حلقه‌ی اتصال جدی بین تمامی دستگاه‌ها و فعالان بخش خصوصی می‌بود.

- **رسانه، فرهنگ:** در حالیکه وجود رسانه‌های متخصص، نه فقط بحران‌های طبیعی، که بسیاری از مسایل را منصفانه و هوشمندانه می‌تواند تحلیل نماید و با ارتقاء آگاهی، مشارکت و در نهایت پایداری منابع تجدیدنپذیر را روحی دوباره بدمد. در حالیکه، مأموریتی برای حوزه آب در رسانه تعریف نشده است تا به‌دور از گرایش‌های سیاسی، بتوان این آگاهی را در جامعه افزود.

در امتداد درک صحیح از شرایط ویژه کمپایی آب در ایران، تغییر و تحول در نگرش به «مدیریت آب» و «استقرار حکمرانی آب» بدون تردید ضروری‌تر از هر زمانی است. اکنون نه زمانی برای سعی و خطا مانده است و نه منابعی برای این قمار ناعادلانه. تصویر مبهمی از اینکه در کجای مسیر قرار گرفته‌ایم و به کجا قرار است برویم، راه را برای عبور سخت‌تر نیز می‌نماید.

گزاره نخست - تضادهای مفهومی پیش‌رانه‌ها و سیاست‌گذاری:

بی‌تردید بی‌توجهی به پیش‌رانه‌ها، آنچه ریشه‌های بروز بحران و مخاطرات امنیت غذایی است، اصل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی‌ها در این حوزه را به طور کلی منحرف می‌نماید.

گزاره دوم - ساختار سنتی و انتظارات مدرن:

در شرایطی که چرخه ماهیتاً به هم پیوسته آب - غذا - انرژی به صورت مصنوعی و کاملاً مجزا و ناپیوسته، هر کدام متولیان مختلف و گاه‌ها حتی نقش‌های درون‌نهادی متفاوت به لحاظ رسالت سازمانی داشته و به صورت بخشی عمل می‌کنند، چطور می‌توان امنیت غذایی و هم‌پایداری منابع آب را به انتظار نشست. این آرمان، تنها یک رویکرد سلبی و یا ایجابی نیست، از جنس بهینه‌یابی و توازن است با حفظ عدالت و در نهایت امنیت غذایی.

گزاره سوم - آسیب‌های حوزه دانش و فناوری:

رسالت مراکز علمی آموزشی و پژوهشی در این میان گم است. خلاء برنامه جامعی که در آن مأموریت‌ها و رسالت‌های بخش آموزش و پژوهش در راستای مسایل و مشکلات ملی و منطقه‌ای گنجانده شده و پایش شود، اساسی‌ترین مسایلی است که توسعه پایدار و مولفه‌های وابسته آن را بدون پشتوانه رها کرده است. دانشگاه در شرایط کنونی،

سیاست تجویزی

الف - اصلاح ساختار مدیریت آب از طریق ادغام نهادهای مرتبط:

در این رویکرد، و به منظور مدیریت فرانهادی آب، اینکه مسئولیت‌های مختلف تأمین و حفاظت و در نهایت پایداری منابع آب، از آبخیزداری تا بازچرخانی، هرکدام در دستگاهی مجزا تعریف شود، در قالب ادغام و بازنگری مسئولیت و پایش آن، و از همه مهمتر دخالت مشخص نهادهای اجتماعی و مشارکت موثر مردمی، بازسازی و ادغام می‌گردند.

ب - تعریف طرح فرانهادی و تعیین مأموریت‌های نهادها:

رویکرد دوم که عملاً تا حدی منطبق با تجارب پیشین نیز هست، صرفاً نهادهای مختلف را در قالب یک طرح کلان با یکدیگر ترکیب می‌کند و متناسب با اهداف خود، مأموریت‌های الزام‌آوری به نهادهای مختلف داده و خروجی آنها را نیز رصد و پایش می‌کند. در این رویکرد، طرح فرانهادی، بستر مدیریت یکپارچه و مشارکتی منابع آب را به نحوی مستقر می‌کند که در قالب یک پروژه مشترک و شرح وظایف و مأموریت‌های مشخص، تمامی نهادها نقش‌آفرینی می‌کند. مسلماً پیش‌رانه این مشارکت، اشراف همگان و اجماع و توافق در خصوص وضع فعلی و وضع مطلوب خواهد بود. سپس نقشه‌های راه قابل پیاده‌سازی و پایش است.

مدیریت فرانهادی با رویکرد همه‌سوی در چارچوب توسعه فضایی، سعی دارد با پدیده عدم تعادل‌های منطقه‌ای برخورد کرده و راهکارهای مناسب را برای تحقق توسعه متوازن، همه‌جانبه و پایدار در سطح سرزمین، ارائه نماید. متولیان آب رسالت و دغدغه‌ی همیشگی داشته و متولیان بخش‌های مصرفی هم که به یقین، تلاشی جز مصرف آن نداشته و ندارند. در این دور رسالت سازمانی «توسعه و تأمین»، «مدیریت یکپارچه منابع و مصارف آب» نادیده گرفته شده است. از این رو، هر سازمان اعم از «مردمی و غیرمردمی»، راهکار و رویکرد متفاوت و لزوماً غیرکارشناسی نامتناهی در خصوص منابع محدود موجود پیش رو می‌گیرد و حاکم شدن هر کدام از این نگاه‌های ضعیف، فجایع بیشتری را به ارمغان خواهد آورد. انتظار می‌رود سیاست‌گذاران، تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان، متفکران و کلیه دست‌اندرکاران توسعه و نهادهای ذیربط در تعامل سازنده با یکدیگر، بتوانند در چارچوب توسعه ملی و به صورت یک برنامه کلان، برنامه آمایش کشور را در قالب یک «برنامه فرانهادی با محوریت آب» متناسب با شرایط و ظرفیت‌های توسعه کشور، بازتعریف، تدوین و اجرا نمایند.



کاربرد رویکرد همبست آب-انرژی-غذا در دیپلماسی آب و مدیریت چالش‌های رودخانه‌های فرامرزی شرق کشور

حجت میان‌آبادی، استادیار دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی آب.

شرح مسأله

المللی آمودریا و در غرب در حوضه پرتنش بین امللی دجله و فرات قرار دارد و در این حوضه‌ها سهیم است. از دیدگاه بین‌المللی، ایران در منطقه‌ای قرار دارد که مسئله آب همانند مسئله انرژی از اهمیت ژئوپلیتیک ویژه‌ای برخوردار است.

چالش‌های دیپلماسی آب ایران در شرق کشور:

افغانستان به عنوان یکی از کشورهای پر آب منطقه که در همسایگی شرقی ایران قرار دارد از ۵ حوضه آبریز اصلی تشکیل شده است. از بین این حوضه‌ها چهار حوضه آن (آمودریا، کابل، هیرمند و هریرود) جزء حوضه‌های فرامرزی هستند که افغانستان در تمامی آنها در موقعیت بالادست قرار دارد. دو حوضه آبریز، هیرمند و هریرود در مناطق شرقی ایران مشترک هستند و بخش‌های عمده‌ای از امنیت آبی شرق کشور از این دو منبع و رودخانه تأمین می‌گردد. تاکنون بیش از ۶۲ سد در افغانستان ساخته شده و در حال بهره‌برداری است. علاوه بر این، ۱۰۹ طرح انحراف آب نیز احداث شده است. این در حالی است که این کشور برنامه ساخت ۱۰۴ سد پیشنهادی دیگر را بر روی رودخانه‌های فرامرزی مشترک خود در دستور کار دارد. دولت افغانستان مکرر هدف خود از احداث این سازه‌های بالادستی را تولید انرژی و توسعه کشاورزی و توسعه امنیت غذایی و انرژی اعلام کرده است.

امنیت آبی بخش مهمی از امنیت ملی کشور است. این مسئله، در مناطق مرزی از درجه اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است. ارتباط مستقیم منابع آبی با امنیت غذایی و اقتصادی کشورها، به ویژه در غرب آسیا و آسیای مرکزی، باعث اهمیت یافتن جدی مسأله تأمین منابع آب در مفاهیم امنیت ملی کشورها شده است. این مسأله باعث شده است که کشورها نسبت به منابع آبی خود به ویژه منابع آبی مشترک که با امنیت ملی آنها گره خورده است، حساسیت بیشتری داشته باشند. بر این اساس، عموماً کشورهای بالادست از «آب» برای کسب «قدرت» بیشتر و کشورهای پایین دست از «قدرت» برای کسب «آب» بیشتر استفاده کنند.

- چالش‌های دیپلماسی آب ایران در منطقه:

کشور ایران با داشتن حداقل ۱۵ همسایه، بیشترین تعداد همسایه پس از کشورهای روسیه و چین در دنیا، با تمام همسایه‌های خود دارای مرز آبی مشترک است. این مسئله سبب شده است که ایران از پیچیدگی‌های خاص هیدروپلیتیکی برخوردار گردد. علاوه بر این، یک ویژگی دیگر که بر پیچیدگی‌های خاص هیدروپلیتیکی ایران افزوده است آن است که کشور ایران در مرزهای شرقی خود در پایین دست و در مرزهای غربی در بالادست حوضه‌های آبریز مرزی قرار دارد. همچنین کشور ایران از شمال شرق در حوضه پرتنش بین

سیاست تجویزی

از منابع طبیعی شده و پایداری دراز مدت امنیت غذا، آب و انرژی در منطقه را به مخاطره افکنده و چالش‌هایی را پیش روی دستیابی پایدار به امنیت و توسعه پایدار قرار داده است.

در حال حاضر دولت افغانستان در حال توسعه زیرساختی و عمرانی و رشد اقتصادی است. از مهم‌ترین چالش‌های آن تأمین انرژی و ایجاد کشاورزی به عنوان ساده‌ترین راه توسعه می‌باشد. بنابراین کاربرد رویکرد همبست در حل چالش‌های آبی رودخانه‌های مرزی شرق کشور به عنوان یکی از مهم‌ترین راهبردهای دیپلماسی آبی کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهم‌ترین محورهای اصلی در حل چالش‌های ذکر شده را می‌توان در موارد ذیل خلاصه نمود:

- شناسایی فرصت‌ها و چالش‌های هیدروپلیتیکی دو کشور ایران و افغانستان
- ضرورت و لزوم اتخاذ رویکرد همبست آب، انرژی و غذا در مدیریت پایدار تنش‌های رودخانه‌های فرامرزی مشترک دو کشور
- نحوه اجرایی کردن رویکرد همبست آب، انرژی و غذا در حوضه‌های آبریز شرق کشور
- لزوم شناسایی ضعف‌ها و بخشی‌نگری درون/بین‌سازمانی و نهادی سازمان‌ها و دستگاه‌های متولی پیاده‌سازی این رویکرد در کشور

بدون شک، احداث این حجم از سازه‌های آبی در بالادست ایران و بویژه تالاب‌های بین‌المللی هامون، می‌تواند مشکلات بسیار حاد و وخیمی را در ابعاد زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی، انسانی و امنیتی برای ایران ایجاد کند. لذا مطالعه و اتخاذ یک رویکرد جامع و پویا که بتواند منطقه و دو کشور را به سمت مدیریت پایدار منابع مشترک آبی و حل این چالش و نیل به رویکرد برد-برد برای دو کشور کمک کند از اهمیت به سزایی در سیاست‌گذاری‌ها و مدیریت و دیپلماتی آب کشور برخوردار است. طی مطالعات صورت گرفته و با توجه به شرایط و ویژگی‌های منطقه و این مسأله، رویکرد همبست آب-غذا و انرژی می‌تواند در این خصوص بسیار کارا و موثر واقع شود.

در رویکرد همبست، یک مدیر یا متخصص نباید به منابع مختلف و یا حوزه‌های توسعه‌ای به صورت مجزا و بخشی نگاه کند. بخش آب نمی‌تواند بدون در نظر گرفتن دیگر بخش‌های توسعه‌ای نظیر انرژی، غذا و دیگر منابع محیط زیستی خود تحلیل یا مدیریت شود. به رغم بهم پیوستگی ذاتی میان تولید غذا، آب و انرژی، نهادهای مسئول اغلب به صورت پراکنده و منزوی کار می‌کنند. هماهنگی بخشی ضعیف و تجزیه سازمانی باعث استفاده ناپایدار

شرح مسأله

ساختاری بنیادی، حتی برغم بهترین تلاش‌های ممکن در برقراری ارتباط، پابرجا می‌مانند. به عبارت دیگر، تفاوت‌های بنیادی بین سیستم علم و سیستم سیاسی، اساساً مانع از انتقال دانش علمی می‌شوند. فرآیند علمی و سیاست‌گذاری عمومی اصولاً ناسازگار هستند. در بسیاری موارد، بازیگران سیاسی باید فوراً تصمیم بگیرند و نمی‌توانند منتظر علم برای تولید اطلاعات بیشتر بمانند. در نتیجه، ایجاد ارتباط بین علم و سیاست به علت تفاوت بنیادی این سیستم‌ها، دشوار است. در علم سیاست، عادی است که سیاست در درجه اول، درباره حل موثر مسأله نیست، بلکه در مورد کسب و حفظ قدرت است. در مواردی، بازیگران سیاسی به حل مسأله، اصلاً علاقه‌ای ندارند بلکه تقریباً دانش علمی را به دلایلی به جز خود علم بکار می‌بندند. بنابراین، بکارگیری تخصص علمی نه تنها به کیفیت علمی بلکه به سودمندی‌اش برای بازیگران متفاوت سیاسی نیز بستگی دارد.

برخی معتقدند که علم (دانشگاه) و سیاست (تصمیم‌گیری و اجرا)، هر کدام در یک سپهر مجزایی شکل گرفته و ریشه یافته‌اند؛ یعنی دنیای متفاوتی دارند. به طبع، اکثر زبان‌های همدیگر را یا متوجه نمی‌شوند و یا بد متوجه می‌شوند. ولی چاره‌ای نیست جز یافتن راهی برای همکاری موثر این بخش‌ها. درست است که تا جریان یافتن همه اطلاعات بین علم و سیاست خیلی مانده است، ولی یادگیری زبان طرف دیگر، وقت گذاشتن برای گوش کردن به هر استدلالی-حتی اگر بعضی قابل درک نباشند- و قبول یک جریان انتخابی اطلاعات، اصولی هستند که مبادله اطلاعات را تا حد امکان بهبود می‌دهند. زیرا این دانش علمی است که به سیاست‌های بهتر، سیاست‌گذاری مبتنی بر شواهد، و افزایش تأثیر بخشی و کارایی تصمیمات سیاسی در اجرا منتهی می‌شود.

انتقال دانش علمی را نمی‌توان به آسانی بوسیله فعالیت‌های برقراری ارتباط یا ترجمه سخنان، بهتر ساخت، زیرا تفاوت‌های

سیاست تجویزی

باید به فرق بین «علمی‌شدن سیاست» و «سیاسی‌شدن علم» پردازیم. همچنین قبول کنیم که استقلال این دو بخش علم و سیاست برای رسیدن به شکوفایی در مسایل آب و محیط‌زیست ضروری است. معتقدم اگر می‌خواهیم بین علم و سیاست در موضوعات آب و محیط‌زیست ارتباطی ایجاد کنیم باید از مدل پاب بهره ببریم. پس با وجود داشتن بخش علم (دانشگاه) و بخش سیاست (سازمانی و اجرایی) در کشور، اکنون لازم است نسبت به ساختار بندی بخش «ادغام» کوشا باشیم. این قابلیت، گامی است برای گفتمان‌سازی و حکمرانی خوب طبیعت ایران زمین در راستای علم پایدار و سیاست پویا.

رویکردهای انتخابی متفاوتی برای انتقال دانش علمی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به مدل‌های خطی یا فن‌سالار، مدل‌های مختلف سیستمی، مدل‌های کارکردی، مدل‌های هم‌تولید و ایجاد ارتباط، و در نهایت مدل انتقال دانش علمی «پاب» (Research-Integration-Utilization یا همان پژوهش-ادغام- بهره‌برداری) اشاره نمود. این رویکردها قادر به همیاری شرایطی‌اند که تحت آن، علم می‌تواند تأثیری بر تصمیمات سیاسی داشته باشد. در بخش آب و محیط‌زیست ویژگی‌ها و قابلیت‌های مدل پاب نسبت به سایر مدل‌ها برجسته است.

نقطه شروع مدل انتقال دانش علمی «پاب» شرایطی است که تحت آن اطلاعات علمی مرتبط با آب و محیط‌زیست می‌توانند بر تصمیمات سیاسی (و اجرایی) اثر بگذارند. مدل پاب یک ابزار تحلیلی برای شناسایی عوامل مهمی است که در انتقال دانش علمی به سیاست‌گذاری موثر هستند. بنابراین، این مدل علاوه بر مساعدت به تحلیل موارد انتقال دانش علمی، می‌تواند به بهسازی انتقال دانش و ارزیابی آن کمک کند. به عبارت دیگر، مدل پاب، شالوده‌ای برای تحکیم انتقال دانش علمی فراهم می‌کند به صورتی که با ایده‌آل‌های پژوهش علمی مستقل کیفیت بالا، ادغام کثرت‌گرا و تصمیم‌گیری سیاسی مبتنی بر مردم‌سالاری هدایت شده است. راه‌حلی که مدل پاب ارائه می‌دهد مستقل نگره داشتن پژوهش، اما پیوند دادن آن با بهره‌برداری بخش اجرایی از طریق یک عرصه فعالیت خاص، به نام ادغام، است. در داخل ادغام، شمول وسیع بازیگران به انتخاب نتایج علمی که به طرف هنجارهای اخلاقی و نیازهای اجتماعی جهت‌گیری می‌شوند میدان می‌دهد. در پایان،



سیاست گذاری و برنامه ریزی گسترش کمی و ارتقاء کیفی فعالیت های بین المللی امور آب و آبفا



سیدعلی چاوشیان، مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری- تهران (تحت پوشش یونسکو).

شرح مسأله

موجود و میزان انطباق آن با نیازهای وزارت نیرو شده است. لذا ضروری است با تدوین سیاست ها، برنامه ریزی مناسب و ارائه سازوکار عملیاتی، تلاش کرد تا ضمن انسجام بخشی و هدفمندی فعالیت های بین المللی امور آب و آبفا وزارت نیرو و تشکیلات تابعه، فعالانه در محافل و رویدادهای بین المللی حضور یافته و از ظرفیت همکاری های علمی، آموزشی، مالی و حقوقی مربوطه بهره برد.

این متن سیاستی به منظور توسعه و بهره گیری از دیپلماسی آب، برقراری ارتباط هدفمند و موثر با ترتیبات فراملی و حضور در عرصه های منطقه ای، انتقال دانش و فناوری های مورد نیاز و توسعه و ایجاد سازوکارهای مناسب جذب سرمایه خارجی و صدور خدمات فنی و مهندسی تهیه شده است.

با گسترش ارتباطات بین جوامع و دولت ها در عرصه بین الملل و تعیین چارچوب های فنی و حقوقی برای گسترش روابط و تعاملات، به تدریج ترتیبات فراملی و چند جانبه مختلف به عنوان وسیله ای برای همکاری نهادهای منطقه ای و بین المللی شکل گرفته است. از سوی دیگر یکی از موضوعات مورد توجه در بخش های مختلف برنامه پیشنهادی وزیر محترم نیرو، گسترش کمی و ارتقاء کیفی فعالیت های بین المللی وزارت نیرو به ویژه در بخش آب است. وجود دیدگاه ها و تشکیلات متفاوت با عملکرد بخشی و جزیره ای در حوزه ارتباطات بین المللی و نیز پایین تر از حد انتظار پیرامون موضوعاتی نظیر دیپلماسی آب و ارتباطات منطقه ای و بین المللی، موجب طرح سوالات و ابهاماتی در زمینه کارآمدی وضع

سیاست تجویزی

برنامه های عملیاتی و چگونگی تحقق آنها در اینجا ارائه نشده و برای اطلاعات بیشتر به اصل مقاله رجوع شود.

- ملزومات و توصیه های اجرایی کردن سیاست و برنامه های پیشنهادی:

پیشنهاد می شود ماهیت اصلی و فرعی هر یک از برنامه های عملیاتی پیشنهادی در بخش های تعاملات منطقه ای و بین المللی، آموزش و ظرفیت سازی و انتقال تکنولوژی، پژوهش و تولید محتوا، اطلاع رسانی، جذب سرمایه و فاینانس، بازاریابی و صدور خدمات و سایر موارد مشابه تقسیم بندی شده و مشارکت کنندگان در اجرای هر برنامه عملیاتی تعیین شوند.

همچنین توصیه ها و اقدامات لازم به منظور اجرای سیاست و برنامه های پیشنهادی در چهار مرحله زیر پیشنهاد می شود:

• برگزاری جلسات توجیهی و کارگاه های آموزشی در سطح مدیران و کارشناسان وزارت نیرو به منظور تبیین محورها،

• راهبردها و برنامه های عملیاتی معرفی شده و تقسیم بندی نوع و ماهیت برنامه ها،

• برنامه ریزی فعالیت ها و اقدامات اجرایی مشارکت کنندگان،

• ارایه گزارش عملکرد سالانه مشارکت کنندگان و بررسی میزان موفقیت اجرای برنامه ها با ذکر چالش ها و کمبودها،

• برنامه ریزی جهت برطرف نمودن موانع و بازنگری راهبردها و برنامه ها.

در نهایت اینکه، برنامه های عملیاتی ارایه شده در ذیل شش راهبرد پیشنهادی این متن سیاستی می تواند سرلوحه کار وزارت نیرو به منظور

گسترش و توسعه فعالیت های خود در بخش های تعاملات منطقه ای و بین المللی، آموزش و ظرفیت سازی و انتقال تکنولوژی، پژوهش و تولید

محتوا، اطلاع رسانی، جذب سرمایه و فاینانس، بازاریابی و صدور خدمات و سایر موارد مشابه به منظور تحقق موارد مندرج در برنامه پیشنهادی

وزیر محترم نیرو و دستیابی به اهداف دیپلماسی آب، برقراری ارتباط هدفمند و موثر با ترتیبات فراملی و ایجاد سازوکارهای مناسب جذب

سرمایه خارجی و صدور خدمات فنی و مهندسی قرار گیرد.

مجموعه سیاست های پیشنهادی که توسط مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری- تهران (تحت پوشش یونسکو) تهیه و تدوین گردیده، سیاست ها و برنامه های مورد نیاز را در قالب سه محور زیر بیان می کند:

محور الف) توسعه همکاری های منطقه ای و بین المللی، بازاریابی و جذب سرمایه (Marketing/Financing & Net)

محور ب) حضور موثر و محتوا محور در رویدادهای بین المللی (Contributions & Participation Active)

محور ج) انتقال تکنولوژی و آموزش و توسعه ظرفیت (Development Capacity / Training & Transfer Technology)

جهت دستیابی به وضعیت مطلوب در هر یک از محورهای ذکر شده، راهبردهای شش گانه زیر ارایه شده است:

راهبرد یک: شناسایی و ارتباط با مراکز و نهادهای بین المللی و هدایت فعالیت های مربوطه.

راهبرد دو: صدور خدمات فنی و مهندسی و اطلاع رسانی فرصت های سرمایه گذاری.

راهبرد سه: مشارکت موثر در اجلاس و رویدادهای مهم بین المللی

راهبرد چهار: بهبود و توسعه عملکرد مراکز، کمیته ها و سایر ظرفیت های داخلی.

راهبرد پنج: توسعه ظرفیت ها و آموزش و تربیت نیروی انسانی ماهر مورد نیاز.

راهبرد شش: انجام مطالعات تطبیقی و آموزش تجربیات بین المللی و بومی سازی آنها.

در ذیل هر یک از راهبردهای شش گانه فوق، ۱۱ برنامه عملیاتی معرفی شده که نحوه تحقق راهبردها را به منظور پاسخگویی به

چالش های صنعت آب از جمله توسعه و تقویت دیپلماسی آب، جذب سرمایه خارجی و انتقال دانش و تکنولوژی با استفاده از ظرفیت های

مختلف بین المللی و بومی سازی آنها را تبیین می نماید. موارد



ظرفیت‌سازی اجتماعی، اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی در حوزه آب؛ تأکیدات بسیار و عملکردهای اندک

محمد بهنام رسولی، مدیرعامل مشاور آبانگاه، عضو شورای عالی مدیریت مرکز همکاری‌های آب و علوم اجتماعی.

شرح مسأله

و به اصطلاح "تقاضامحوری" را جایگزین کنیم؛ ضروریست جایگاهی خاص برای آگاهی، حساسیت و مشارکت عموم افراد جامعه، در نظر بگیریم. امری که تاکنون بر آن در سخنرانی‌ها، اسناد و برنامه‌های گوناگون، تأکید بسیار رفته اما در عمل، بسیار کم به آن به صورت صحیح پرداخته شده است.

بسیاری از کارشناسان بر این باورند که "نجات آب" در صورتی محقق می‌شود که عموم افراد و نخبگان جامعه در مورد آن حساس و دغدغه‌مند بوده و در پیاده‌شدن آن، مشارکت کنند. در تجدیدنظر برای این که به جای رویکردهایی که صرفاً بر تأمین و به اصطلاح "عرضه" آب تأکید دارند، رویکردهایی با محوریت سازگاری با شرایط و منابع آبی در هر منطقه

سیاست تجویزی

انتظارات خود را در این حوزه، دنبال کنیم. برای تکمیل پازل نجات آب، قطعات مختلفی مورد نیاز است. تأکید بسیار و در مقابل عملکرد اندک در حوزه مباحث اجتماعی می‌تواند به یک اپیدمی ناسالم منتهی شود. به چند دلیل افراط در پرداختن به موضوعات اجتماعی یک آسیب محسوب می‌شود. اول اینکه: انتظار از این مباحث را از سطح بستر ساز به سطح نتیجه‌ساز ارتقا می‌دهد.

دوم اینکه: بیان مکرر معضلات و چالش‌های موجود در بخش آب، بدون پرداختن به ریشه‌های اساسی مشکلات و ایجاد حس مطالبه‌گری اجتماعی (مانند غالب اقدامات صدا و سیما) تأثیری جز طبیعی‌شدن و بی اثر شدن هشدارها نخواهد داشت.

سوم اینکه: اپیدمی اجتماعی شکل گرفته در میان تصمیم‌گیران و تصمیم‌سازان موجب پیدایش پروژه‌هایی با محوریت پرداختن به مباحث اجتماعی می‌شود. ورود به این عرصه بدون وجود مطالعات کافی و آشنایی مناسب با ابعاد موضوع، حاصلی جز اتلاف منابع و سرمایه‌های اجتماعی نخواهد داشت.

۵- نکات حوزه آموزش و ظرفیت‌سازی، از دیدگاه تخصصی و بویژه با لحاظ مختصات بومی جامعه ما، بسیار است. از جمله اسناد مهم در این رابطه می‌توان به دستورالعمل دوم طرح احیاء و تعادل‌بخشی اشاره نمود که در نوع خود منحصر بفرد و با مبانی تئوریک و همزمان چارچوب‌بندی مناسب از اقدامات عملی است و می‌تواند از منظر سیاستی، مورد استفاده اساسی قرار گیرد.

برای اقدام صحیح در رابطه با اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی لازم است به چند سرفصل سیاستی زیر توجهی دوباره داشته باشیم:

۱- منظور از آموزش و ظرفیت‌سازی مباحث آبی، به هیچ وجه توصیه‌های کلیشه‌ای به صرفه‌جویی در مصرف آب (به صورت مستقیم) نیست؛ در حقیقت، در نقطه مقابل با این، هدف آنست که با آموزش، به ایجاد سواد آبی، گسترش روحیه مسئولیت‌پذیری و مطالبه‌گری، توضیح مبانی و دلایل لزوم حفاظت از منابع آبی و راهکارهای آن و ...، دست بیابیم.

۲- این درست است که بخش اعظم مصرف آب در بخش کشاورزی است و تحقق نجات آب در گرو کاهش جدی مصرف آب در این بخش است اما این بدان معنا نیست که این اتفاق ربطی به عموم مردم ندارد. دقیقاً بر عکس، این اتفاق به دلایل متعددی دقیقاً توسط مدیران و نخبگان و با همراهی عموم، قابل رخ دادن است.

۳- آموزش و ظرفیت‌سازی یک کار تخصصی است و صرف دانستن مباحثی از آب، دلیل بر آن نیست که فرد یا مجموعه‌ای بتواند به حوزه آموزش ورود پیدا کند. آموزش و ظرفیت‌سازی صحیح و موثر منوط به دانش‌های میان‌رشته‌ای و مهارت‌هاییست تا براساس آن‌ها نکات ظریف و دقیق مورد نیاز در این عرصه، لحاظ شود.

۴- این درست است که آموزش و ظرفیت‌سازی یکی از زیربناهای مهم برای نجات آب است اما این بدان معنا نیست که تمامی



طرح تدوین «تیپولوژی سرمایه آبی و سرمایه اجتماعی» در کشور

محمد حب وطن، رئیس گروه نظام‌های بهره‌برداری و حفاظت منابع آب سطحی، وزارت نیرو.

شرح مسأله

بین سرمایه اجتماعی و نحوه مدیریت منابع آب پرداخته شده و در نهایت طرح تدوین تیپولوژی سرمایه آبی و سرمایه اجتماعی برای کشور ارائه شده است تا به کمک آن بتوان برای هر منطقه بر مبنای جایگاه آن منطقه در این تیپولوژی و گروه‌بندی انجام شده (به لحاظ بالا یا پایین بودن سرمایه اجتماعی و سرمایه آبی منطقه) سیاست‌گذاری و حکمرانی متناسب با آن جایگاه ارائه داد و طرح‌ها و برنامه‌های متناسب با آن را در زمینه مدیریت منابع آب منطقه تدوین و اجرا کرد.

مدیریت و بهره‌برداری منابع آب یک موضوع پیچیده و چند بعدی است که تاکنون بیشتر بعد فنی آن مد نظر قرار گرفته و به ابعاد اجتماعی آن کمتر توجه شده است. سرمایه اجتماعی به منزله سطح روابط، همکاری، انسجام و اعتماد و مشارکت افراد جامعه، نقش مهمی در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی از جمله منابع آب دارد و می‌تواند بستر و زمینه مناسبی را برای اجرای طرح و برنامه‌های دولت در مدیریت و حل مشکلات منابع آب و رفع تنش‌های اجتماعی ناشی از آنها مهیا کند. در این نوشته به رابطه

سیاست تجویزی

اجتماعی مناطق نیز باید ملحوظ شوند. بر این اساس، با مقایسه و تلفیق این دو متغیر یعنی سرمایه اجتماعی و سرمایه آبی مناطق، می‌توان نوعی تیپولوژی سرمایه اجتماعی و سرمایه آبی برای کشور ارائه داد که در آن مناطق (استانها یا شهرستان‌ها) با یکی از وضعیت‌ها و جایگاه‌های زیر مواجه خواهند بود:

- ۱- مناطق با سرمایه اجتماعی و سرمایه آبی بالا که به احتمال قوی توسعه کاملاً پایداری در منابع آب می‌توانند داشته باشند.
 - ۲- مناطق با سرمایه اجتماعی بالا و سرمایه آبی پایین که به احتمال قوی این جوامع به کمک ظرفیت‌های ناشی از سرمایه اجتماعی (تسهیل کنش‌ها و روابط متقابل افراد و ذی‌نفعان، سطح بالای انسجام، اعتماد و مشارکت اجتماعی) و با رفتارهای مصرفی صحیح از منابع محدود خود، می‌توانند تنش‌ها و چالش‌های ناشی از کم آبی را تعدیل نمایند.
 - ۳- مناطق با سرمایه اجتماعی پایین و سرمایه آبی بالا که به احتمال قوی در این جوامع از یک سو به دلیل وفور منابع آب نیاز به ابتکار عمل و اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از منابع احساس نمی‌شود و از سوی دیگر به دلیل پایین بودن سرمایه اجتماعی، مسیر توسعه پایدار اقتصادی اجتماعی مختل شده و علی‌رغم سرمایه آبی بالا احتمالاً در آینده با مشکل مدیریت منابع آب مواجه خواهند شد.
 - ۴- مناطق با سرمایه اجتماعی و سرمایه آبی پایین که به احتمال قوی توسعه ناپایداری در منابع آب خواهند داشت و برای حل مشکل قطعه علاوه بر تدابیر فنی-سازه‌ای (تأمین آب جدید)، تدابیر جدی برای افزایش و تقویت سرمایه اجتماعی مورد نیاز است.
- کارکرد این طرح و مدل می‌تواند این باشد که بر مبنای جایگاه هر منطقه یا جامعه در این تیپولوژی و گروه‌بندی، می‌توان سیاست‌گذاری و حکمرانی متناسب با آن جایگاه را ارائه داد و طرح‌ها و برنامه‌های متناسب با آن را در زمینه مدیریت منابع آب تدوین و اجرا کرد. همچنین با ارزیابی میزان سرمایه اجتماعی هر منطقه و برنامه‌ریزی برای تقویت آن می‌توان از شدت تنش‌های اجتماعی ناشی از کمبود آب کاست.

با توضیحات فوق، به نظر می‌رسد شناخت سطح سرمایه اجتماعی هر منطقه و تلفیق آن با میزان سرمایه آبی آن منطقه ظرفیت منابع آبی منطقه می‌تواند الگو و رهیافت مناسبی برای تدوین راه‌حل‌ها و برنامه‌های مدیریت منابع آب منطقه به متولیان و برنامه‌ریزان ارائه دهد و می‌توان سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های متناسبی را بر مبنای وضعیت نسبی این دو سرمایه، برای هر منطقه (شهرستان، استان یا حوضه آبریز) تدوین و به مورد اجرا گذاشت. این موضوع از این جهت حائز اهمیت و توجه است که به نظر می‌رسد مناطق و استان‌های مختلف کشور ظرفیت و رفتار متفاوتی را در مواجهه با تنش‌ها و مشکلات آبی دارند. به عنوان مثال علی‌رغم اینکه بیشترین انتقال آب از حوضه‌های مجاور به حوضه آبریز زاینده رود انجام گرفته است و قاعدتاً نباید تنش آبی و اجتماعی در این حوضه می‌داشتیم، اما ملاحظه می‌شود در سال‌های اخیر بیشترین تنش اجتماعی و اختلافات بر سر منابع آب در همین حوضه بوده است. در مقابل، دو استان یزد و خراسان جنوبی قرار دارند که علی‌رغم فقر منابع آب و بارش، تنش اجتماعی بر سر بهره‌برداری منابع آب در آنها کم است. این موضوع وقتی میزان سرمایه اجتماعی این سه استان با هم مقایسه شوند، قابل تأمل و الهام بخش می‌شود؛ به گونه‌ای که سطح سرمایه اجتماعی خرد در استان اصفهان به طور نسبی پایین اما در دو استان یزد و خراسان جنوبی بالاست. آیا رابطه‌ای بین میزان سرمایه اجتماعی و نوع رفتارهای مصرفی بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان این استان‌ها وجود دارد؟ در رابطه با همین سوال، این نکته قابل تأمل است که کمترین تعداد چاه غیر مجاز در استان یزد وجود دارد. آیا این موضوع می‌تواند با سرمایه اجتماعی بالا (حس همکاری، انسجام و اعتماد بالای مردم نسبت به یکدیگر) در این استان در ارتباط باشد؟! بنابراین در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های منابع آب (نظیر طرح‌های انتقال آب، مدیریت تقاضا و ...) نباید تنها شرایط و عوامل فنی (مانند نیاز و کمبود آب، ظرفیت منابع آبی و هیدرولوژی) مناطق را ملاک عمل قرار داد بلکه عوامل و متغیرهای اجتماعی نظیر سرمایه



شرح مسأله

نظر کمی و مناسب از نظر کیفی تا چه میزان می‌تواند زندگی و معیشت کارگران و صاحبان مشاغل را تغییر دهد و به تبع آن اجتماع و اقتصاد را تحت‌الشعاع قرار دهد. با نگاهی به وضعیت آب در ایران در می‌یابیم که در حال حاضر، وضعیت کمی، کیفی و مدیریتی منابع آب در کشور بویژه در بخش آب‌های زیرزمینی، دچار چالش‌های جدی است و روندهای فعلی، این چالش‌ها را تشدید نیز خواهد نمود.

«آب» و «اشتغال و معیشت»، هر دو از موضوعات و چالش‌هایی هستند که کشور امروزه با آن مواجه است. این دو مسئله به ظاهر مجزا، تأثیرات مهمی بر روی یکدیگر دارند که عدم لحاظ این تأثیرات، دستیابی به شرایط پایدار را در هر دو موضوع دشوار می‌نماید. روز جهانی آب در سال ۲۰۱۶، به این دلیل، بر موضوع آب و مشاغل (Water and Jobs) متمرکز شده بود تا بتواند به بحث و بررسی این امر بپردازد که میزان آب کافی از

سیاست تجویزی

جانمایی صنایع جدید متناسب با ظرفیت‌های آبی منطقه، تبیین شرایط آبی میان‌مدت هر منطقه برای سرمایه‌گذاران و بنگاه‌های اقتصادی، تکیه و تأکید بر روش‌های دانش‌بنیان که به کاهش مصرف آب در معیشت‌های مختلف منتهی می‌شود؛ از جمله راهکارهایی است که در این رابطه می‌تواند در دستور کار نهادهایی نظیر وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، بانک‌ها و پارک‌های علم و فناوری قرار گیرد.

۳. بدنه حرفه‌ای بخش خصوصی صنعت آب در کشور ما (در قالب مشاور و پیمانکار و ...) در دو- سه دهه اخیر در عرصه مباحث سازه‌ای، تنومند و فربه شده است و در جایگاه خود، خدمات و ارزش‌های جدی برای جامعه ایجاد کرده است. کوبیدن یک‌سویه این بدنه حرفه‌ای و انگ مافیایی به آن زدن، بیشتر نوعی مقاومت در آن‌ها ایجاد کرده و زمینه اشتغال و معیشت آن‌ها را نیز در معرض تهدید قرار می‌دهد و به تبع آن، واکنش‌ها و لابی‌های آن‌ها چه‌بسا مسیر درست تغییر پارادایم از نگاه صرفاً سازه‌ای به نگاه جامع (سازه‌ای و غیر سازه‌ای) را در مدیریت منابع آب، تحت‌الشعاع قرار دهد.

۴. معضلات و چالش‌های آبی، در کنار تهدیدها، فرصت‌هایی را نیز در حوزه اشتغال فراهم می‌آورند. به نظر می‌رسد آنچه موسوم به بحران آب است، نیازهایی جدید از نوع محصولی (نوآوری‌هایی در حوزه آب شرب، فاضلاب، آبیاری، پساب صنعتی و ...) و یا خدماتی و همچنین پژوهشی را ایجاد می‌کند و شغل‌های جدیدی برای پاسخ به این نیازها شکل می‌گیرد. اقدامات و حوزه‌های میان‌رشته‌ای و جدیدی برای پاسخ به این نیازها قابل‌تعریف است و اشتغالات حرفه‌ای جدیدی در این فضا می‌توانند رشد کنند.

بهره‌گیری از مدل‌های در دستور کار مراکز نوآوری بزرگ جهان نظیر مرکز نوآوری دانشگاه کنکوردیا مونترال کانادا، که مولفان این یادداشت سیاستی، تجربه ارتباط نزدیک با آن را در در شش ماه نخست سال ۱۳۹۶، داشته‌اند؛ می‌تواند در الگوبرداری برای مرکز جذب و پرورش استارت‌آپ‌های آبی در ایران به کار رود.

در هم تنیدگی بحث‌های آب و اشتغال، در چهار حوزه، کشاورزی، اشتغال‌زایی، مشاوران و پیمانکاران عرصه آب و در نهایت عرصه‌های میان‌رشته‌ای و جدید؛ مورد بررسی اجمالی قرار گرفته و به تناسب رویکردهایی پیشنهاد شده است.

۱. بخش کشاورزی، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب است و نزدیک به ۱۷٪ از اشتغال کشور نیز در این بخش، متمرکز شده است. کلید نجات آب و بازگرداندن تعادل به منابع، در بخش کشاورزی است اما این امر در صورتی پایدار است که معیشت کشاورز و حقوق او در نظر گرفته شود. راهکارهای چکشی، بازتاب‌ها و بازخوردهای چکشی به همراه خواهد داشت. در آینده آبی این سرزمین، آن بخشی از کشاورزی که بتواند به‌صورت مکانیزه و با افزایش بهره‌وری نهاده‌ها از جمله و به‌ویژه آب، ادامه یابد موجه است. شایان ذکر است که روش‌های فعلی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، نظیر توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، علیرغم تبلیغات زیاد در سال‌های اخیر، عمده‌تاً نتوانسته است کمکی به منابع آبی داشته باشد. فناوری‌های جدید از جمله فناوری‌هایی که میزان نیاز آبی را به‌صورت نقطه‌ای تعیین می‌کنند، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای، تعامل و مشارکت دادن واقعی و هم سنگ، با جامعه کشاورزان، می‌تواند کلید نجات آب را در بخش کشاورزی، بپرچاند. این سیاست‌های پیشنهادی در حوزه وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی و به‌ویژه همکاری این دو وزارت در طرح احیاء و تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

۲. افزایش میزان بی‌کاری در سال‌های اخیر، موجب شده است تا سیاست‌های فوریتی اشتغال‌زایی به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی دولت در سال‌های اخیر اعلام شود. بدون در نظر گرفتن راهکارهایی برای لحاظ کمیت و کیفیت آب در اشتغال‌های هر منطقه، اشتغال پایدار امکان رویش نخواهد داشت و راه‌حلهایی که بدون این ملاحظات طراحی شود، خودشان مشکلات جدی حتی در حوزه اشتغال در سال‌های بعد ایجاد می‌کند. به‌طور مشخص،

شرح مسأله

اغلب محدوده‌های مطالعاتی کشور در شرایط بحرانی قرار دارند. در روی دیگر سکه، همین بن‌بست‌ها و گاه ورشکستگی آبی، هیدرولوژیست‌ها را بر آن داشته است که از تمرکز بر تخمین‌ها و پیش‌بینی‌های مبتنی بر هیدرولوژی سنتی، به‌درک، توضیح و کشف فرایندهای بنیادین هیدرولوژیک متمایل شوند. در این شرایط هدف علم هیدرولوژی اجتماعی به‌عنوان یک علم پایه‌ی الهام‌بخش، ایجاد درکی بنیادین از شرایط درهم پیچیده‌ی سیستم‌های انسانی-آبی می‌باشد که در اتخاذ تصمیمات مدیریتی آبی با هدف حفظ پایداری سیستم‌های آبی نقشی اساسی را ایفا خواهد نمود. مسلماً در چنین شرایطی ماهیت و نقش پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی نیز از حالت صرفاً آبی به صورت کاملاً میان‌رشته‌ای تغییر نموده است. اما در ایران علی‌رغم حاکم بودن شرایط بحرانی بر اکثر حوضه‌های آبریز، مطالعات هیدرولوژی سالیان مدیدی است که با ساختاری مشخص و مبتنی بر ماهیت حوضه‌های آبریز بکر انجام می‌شود. حتی در دهه‌ی اخیر با وجود فشارها و تهدیدهای فزاینده بر کمیت و کیفیت منابع آب شیرین نیز، مطالعات پایه‌ی هیدرولوژی نسبت به گذشته هیچ تغییری نداشته است. حال آنکه در این شرایط ضروری به نظر می‌رسد که تحقیقات پیش رو از شکل کاملاً سنتی خود که مبتنی بر تخمین‌های محلی و مدل‌های منطقه‌ای می‌باشد، بر درک چگونگی ارتباط و پیوستگی میان جوامع انسانی با چرخه‌ی هیدرولوژیکی متمرکز شوند. مسلماً تغییر رویکرد مطالعات از هیدرولوژی سنتی به سمت هیدرولوژی اجتماعی، با شناسایی دقیق مفاهیم و اصول «هیدرولوژی اجتماعی» و بررسی جایگاه آن در تصمیم‌گیری‌های مدیریت آبی در ایران و در نهایت تعیین مؤلفه‌های کلیدی یک «نقشه‌راه» برای پیاده‌سازی این تغییر رویکرد میسر خواهد شد.

برخلاف رویکردهای دقیق مهندسی، مدیریت آب تمامی نگرش‌هایی را شامل می‌شود که تعامل بشر و چرخه‌ی آب در آن نقش اساسی دارد، واقعیتی که تاکنون در کشور دیده نشده و پایش نیز نگردیده است. امروزه توسعه جوامع انسانی، منجر به پیوندی ناگسستنی میان بشر و سیستم‌های هیدرولوژیک شده و اثرات توسعه اجتماعی از طریق تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بر سیستم‌های آبی بازتاب می‌یابد. به‌طور یقین در چنین شرایطی پیش‌بینی واکنش‌های حوضه‌های آبریز با تکیه بر هیدرولوژی سنتی غیرممکن خواهد بود. این شرایط منجر به تحولی عظیم در علم هیدرولوژی گردید و موضوع جدید «هیدرولوژی اجتماعی» در سال ۲۰۱۲ برای اولین بار مطرح شد. هیدرولوژی اجتماعی، شکل گرفته در چارچوب‌های اقتصاد و سیاست، مرزهای علم هیدرولوژی را به سمت پذیرش انسان به‌عنوان جزئی تفکیک‌ناپذیر و یکپارچه با چرخه‌ی هیدرولوژی سوق داده است. این شاخه‌ی نوظهور از هیدرولوژی، در جستجوی درک معنادار پویایی، هم‌تکاملی و برهمکنش‌های سیستم‌های پیوسته‌ی انسان - آب بوده، به‌طور مؤثری یکپارچگی جامع جنبه‌های محیطی و اقتصادی-اجتماعی هیدرولوژی را در نظر داشته و با تمرکز بر اصول علمی و بنیادین، شناسایی و تحلیل برهمکنش‌ها، بازخوردها و هم‌تکاملی رفتار جوامع انسانی با سیستم هیدرولوژیکی را بر عهده می‌گیرد.

ایران که از فشارهای ناشی از توسعه‌ی جوامع انسانی مصون نبوده است، با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، برداشت بی‌رویه و افسارگسیخته از منابع آب تجدیدناپذیر، تاکنون نظاره‌گر نابودی بخش زیادی از منابع آب خود بوده است. کسری مخازن و افت شدید سطح آب زیرزمینی در اغلب حوضه‌های آبریز ایران تبدیل به مشکلی پیچیده شده است، به‌طوری‌که در حال حاضر

سیاست تجویزی

گروه آب سطحی به هیدرولوژی اجتماعی
۴. تدوین دستورالعمل‌ها و چارچوب‌های کاربردی جهت انجام مطالعات هیدرولوژی اجتماعی



شکل ۱- مؤلفه‌های نقشه‌راه تغییر رویکرد از هیدرولوژی به هیدرولوژی اجتماعی

پذیرفتیم که باید در حوزه آب تغییر کنیم. برای پیشرفت در این مسیر نیاز به جامعه‌ای علمی متشکل از مدیران آگاه، دانشمندان، محققان و مهندسانی داریم که ببینند و تجزیه و تحلیل کنند؛ پیش‌بینی کنند؛ ممارست کنند؛ شکست بخورند و پیروز شوند؛ و همواره در همکاری، تعامل و رقابت با یکدیگر باشند. تمام تلاش چنین جامعه‌ای بر این است که ایده‌هایی نو پروراند و گسترش یابند و تنها رهبرانی آگاه قادرند که ایده‌های کوچک نو را انتخاب نموده و به تحولی عظیم تبدیل نمایند. برای درست پیمودن این مسیر لازم است بدانیم تاکنون از چه مسیری عبور کرده‌ایم، در حال حاضر در چه نقطه‌ای ایستاده‌ایم و در آینده هدف رسیدن به چه نقطه‌ای است؟ از این رو نیازمند «نقشه‌راهی» برای تغییر هستیم. بخشی از مؤلفه‌های این نقشه‌راه به شرح زیر قابل بررسی هستند (شکل ۱):

۱. تعیین نقش و سهم پژوهش در شناسایی و درک هرچه بیشتر مفاهیم هیدرولوژی اجتماعی در شرایط امروز ایران
۲. تعیین جایگاه هیدرولوژی اجتماعی در مدیریت منابع آب در ایران
۳. تغییر ساختار سازمانی مطابق با رویکردهای هیدرولوژی اجتماعی: از



شرح مسأله

یک روش پایدار برای تأمین آب از منابع زیرزمینی "برگزار نمود؛ اما در ایران روش قنات، کنار گذاشته شده و روش احداث سد مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. احداث سدها، بیش‌تر با توجه تأمین آب شرب می‌باشد، اما اصولاً در بخش‌های دیگر مانند کشاورزی، انحراف پیدا نموده است که حتی در این بخش نیز با عدم کارایی مواجه بوده و هیچ پایشی بعد از احداث سد وجود نداشته است تا پیگیری شود که قبل و بعد از احداث سد، چه تغییری در تولیدات کشاورزی زمین‌های بالادست و پایین‌دست رخ داده است. تأثیر سدسازی و انتقال آب بین حوضه‌ای بر خشک شدن رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، کاهش سطح آب زیرزمینی، فرونشست زمین در دشت‌ها، گسترش بیابان‌ها، نابودی مراتع، جنگل‌ها و تغییرات اقلیمی، جابجایی جمعیت‌ها در ایران باید مورد ارزیابی قرار گیرد. آب مایه حیات است و نعمتی است که بی‌توجهی و عدم مدیریت مناسب آن بشریت را به مخاطره می‌اندازد تا آنجا که تحلیلگران، جنگ‌های آینده را در راستای منابع آبی و رسیدن به آن می‌دانند. به همین منظور در این پژوهش به دیدگاه‌های مسأله بحران آب و راه‌های برون‌رفت از آن پرداخته می‌شود.

قرن بیست و یکم را باید قرن افزایش همگرایی جهانی نامید که پیامد آشکار آن تغییر در الگوی تولید، مصرف و سرمایه‌گذاری است. همزمان با دگرگونی‌های عظیم جهانی که در مدت زمان کوتاهی رخ داده است، نیازمندی‌ها و الزام‌های مدیریتی منابع طبیعی از جمله آب که زیربنا و ماده اولیه حیات، تولید و رونق اقتصادی است، دستخوش نوسان‌ها و دگرگونی‌های بسیاری شده است. اگر در گذشته مدیریت منابع آب، منحصر به مهار، استحصال، انتقال، تصفیه و توزیع آب بوده و رویکردهای فیزیکی و سازه‌ای، تفکر غالب در مدیریت آب محسوب می‌شد و اگر فراوانی آب مشکل مالکیت آن را مخفی نگاه می‌داشت، امروزه مدیریت آب با تغییر در مفاهیم، کنش و واکنش با محیط روبه‌رو است و سرفصل‌های جدیدی پیش روی آن قرار گرفته است که مدیریت آن‌ها نیازمند نظم‌های علمی چون اقتصاد، جامعه‌شناسی، حقوق و سیاست است. یکی از نیازهای اصلی برنامه‌ریزی دقیق در مورد مسایل آب، پیش‌بینی در مورد تقاضا و آشنایی با عوامل و ابزارهای مؤثر بر تقاضا است. ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب از مهم‌ترین مسایل مدیریت آب می‌باشد. یونسکو تاکنون دو مجمع جهانی با موضوع "قنات به عنوان

سیاست تجویزی

خانگی، میزان مصرف آب را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. حرکت به سمت بهره‌برداری از فاضلاب تصفیه‌شده در مصارف کشاورزی و استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری (بارانی و قطره‌ای) به جای سیستم‌های سنتی (با مطالعه و ارزیابی دقیق)، استفاده از ناظر بخش کشاورزی با مدیریت هماهنگ و صحیح در استفاده از نهاده‌های کشاورزی و بخصوص آب در سیستم‌های جدید آبیاری از راهکارهای ضروری در بخش کشاورزی می‌باشد. راه حل دیگر برای حداقل نمودن مصرف آب در کشورهای کم آب، افزایش واردات محصولات است که برای تولید آن‌ها به آب زیادی نیاز است. در این جا به ضرورت بیان آب مجازی پرداخته می‌شود. می‌توان مقدار آب مجازی در یک محصول را به صورت حجم آبی که برای تولید آن محصول مصرف می‌شود، تعریف نمود. از دیگر راهکارهای کاهش مصرف آب می‌توان به کاهش میزان تلفات شبکه‌های آب‌رسانی در کشور از طریق بهبود تجهیزات و نوسازی آن‌ها اشاره نمود. این تلفات شبکه‌های آب‌رسانی را داراست، ولی متأسفانه هم‌چنان به این موضوع توجه جدی نمی‌شود. مقایسه وضعیت منابع آبی و هم‌چنین جمعیت آینده ایران و سایر کشورهای منطقه نشان می‌دهد که ایران جزو کشورهای پرجمعیت و البته کم آب به حساب می‌آید. لذا علی‌رغم این که مصرف سرانه آب خانگی، ایران را در زمره کشورهای کم‌مصرف این منطقه قرار می‌دهد ولی می‌توان امیدوار بود که با بهبود الگوی مصرف، این مقدار در آینده کاهش یابد.

مدیریت بخش آب از مدیریت سایر بخش‌ها جدا نیست بلکه در ارتباط با هم و متأثر از یکدیگر هستند. برای مثال، مدیریت آب شهری در ارتباط با سیاست‌های شهرسازی و توسعه شهری است. مفهوم مدیریت آب با عنوان "مدیریت جامع آب شهری" مطرح شده است و شامل دو بخش عمده می‌باشد: بخش نخست "حکمرانی آب" است که شامل شکل و طرز کار سازمان‌ها، مقررات، قوانین، استانداردها و مسایلی مثل هماهنگی بین بخش‌ها، عدالت و کارایی در تخصیص منابع و خدمات، مشارکت مردمی، روشن کردن نقش دولت، مردم و بخش خصوصی، اعتمادسازی، فرهنگ‌سازی، شفاف‌سازی، رفع موانع دیوان‌سالاری و فساد، تعیین تعرفه‌ها و عوارض می‌باشد. مدیریت یکپارچه منابع آب، حرف اول را در دنیا می‌زند و باید سرلوحه امور قرار گیرد. اگر قرار باشد در هر گوشه و کنار یک متولی باشد به اهداف واقعی نخواهیم رسید. آموزش و ارتقای آگاهی در زمینه کاهش مصرف آب یکی از ابزارهای تغییر نگرش برای تمامی سطوح است. راه حل دیگر، واقعی شدن قیمت‌هاست به طوری که هزینه تأمین آب به طور کامل برگشت‌پذیر باشد و آب به عنوان یک کالای مجانی تلقی نگردد. البته بهداشت قشر آسیب‌پذیر نباید دچار مخاطره گردد. با توجه به مقایسه وضعیت فعلی و پیش‌بینی وضعیت آینده ایران با سایر کشورها به ویژه کشورهای همسایه و خاورمیانه در زمینه مسایل آبی، می‌توان از هر یک از دو رویکرد، منطقه‌ای و بازدهی توسعه، برای برآورد حداقل مقدار آب مورد نیاز برای توسعه اجتماعی و اقتصادی استفاده نمود. استفاده از سیستم‌های نوین آب‌رسانی و هم‌چنین ابزارآلات مدرن



حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی در گروی تهیه و پیاده‌سازی برنامه مدیریت ریسک ابرخشکسالی

هاشم درخشان، کارشناس ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.

شرح مسأله

و مدیریت ریسک ابرخشکسالی به منظور حفاظت از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی در مدیریت آب کشور مورد توجه قرار گرفته، و برنامه اقدامی برای کاهش آسیب‌پذیری در مقابل این بلای طبیعی تهیه شود. بخش قابل‌توجهی از مناطق ایران دور از دریا و نزدیک به کویر مرکزی قرار دارند که به این مناطق گرم و خشک دور از دریا، مناطق بری (Continental Region) گویند. اضافه برداشت توأم با اثرات مخرب پدیده تغییر اقلیم (کاهش تغذیه آب زیرزمینی) در این مناطق، منجر به اضمحلال ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی شده است. ادامه این روند ناپایداری را به همراه داشته، و در صورت وقوع یک ابرخشکسالی می‌تواند شرایط بسیار شکننده‌ای را برای توسعه رقم زند. بی‌توجهی و عدم مدیریت ریسک ابرخشکسالی، حتی ممکن است که به متروک شدن دشت‌ها و اضمحلال توسعه مناطق بری (مناطق گرم‌وخشک دو از دریا) بیانجامد. علی‌رغم شدت چنین فاجعه‌ای، متأسفانه پاسخ به این سؤال که «آیا برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها برنامه‌ای وجود دارد؟» و یا اینکه «آیا محدودیت تاب‌آوری توسعه در برابر وقوع ابرخشکسالی در برداشت از آب زیرزمینی لحاظ می‌شود؟» منفی است.

سیاست تجویزی

می‌شود. این مقدار کمبود آب تجدیدپذیر می‌تواند مبنایی برای مدیریت تخصیص در برنامه مدیریت ریسک ابرخشکسالی واقع شود. ۴- اکثریت بلایای طبیعی مدیریت ریسک آنها مربوط قبل از وقوع واقعه است اما مدیریت ریسک ابر خشکسالی نه تنها مربوط به قبل از وقوع ابرخشکسالی می‌باشد بلکه بخش بزرگی از این مدیریت ریسک، مربوط به حین وقوع ابرخشکسالی است. بی‌توجهی به این امر باعث گردیده است تا میزان کمبود منابع آب در شرایط خشکسالی بدون مدیریت و برنامه قبلی، از ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی برداشت شود. این عامل یکی از کلیدی‌ترین عوامل در ایجاد افت مستمر آب زیرزمینی بوده، که خسارات جبران‌ناپذیر در پی داشته و خواهد داشت. این جنبه نیز می‌تواند در برنامه مدیریت ریسک ابرخشکسالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و چاره‌اندیشی مناسب اتخاذ شود. ۵- پیشنهاد می‌شود تا مصرف‌کنندگان آب از جمله شهرداری‌ها به کمک سازمان‌های مرتبط در هر استان، ذیل ضوابط وزارت نیرو به تهیه برنامه‌ها جامع مدیریت ریسک ابرخشکسالی بر اساس حجم آب موجود در آبخانه‌های هر محدوده مطالعاتی اقدام نمایند. چرا که در صورت عدم ذخیره کافی در آبخانه، برآورد کلیه نیازها در دوره وقوع ابرخشکسالی ممکن نبوده و می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به همراه داشته باشد. لازم است تا وزارت نیرو با همکاری دیگر مصرف‌کنندگان آب، ابزارها برای مدیریت ریسک ابرخشکسالی همچون قیمت‌گذاری مناسب آب، اولویت‌بندی و تعدیل در تخصیص مصارف و راه‌اندازی بیمه خشکسالی را در برنامه پیشنهادی مورد توجه قرار دهند.

بیش از ۹۶ درصد آب شیرین دنیا (به غیر از یخچال‌ها) در آب زیرزمینی قرار دارد که این منبع حیاتی را، به مهمترین ذخیره آب شیرین بر روی کره زمین تبدیل نموده است. همچنین، آب زیرزمینی نقشی مهم و پررنگی در تعادل محیط زیست و اکوسیستم دارد. 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 ایفا نماید.

بر اساس مستندات علمی، خطرناکترین و فاجعه بارترین بلای طبیعی خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت است. که در متون علمی از آن به ابرخشکسالی و یا خشکسالی‌های چند دهه‌ای یاد می‌شود. نابودی برخی از تمدن‌ها از جمله مایاها به آن نسبت داده شده است. داستان حضرت یوسف در قرآن کریم، و معرفی خشکسالی به عنوان یکی از سه مصیبت ایران زمین در دعای معروف کورش کبیر نمونه‌ای از توجه تاریخی به این موضوع است. در حال حاضر پدیده‌ی گرمایش جهانی و به دنبال آن تغییر اقلیم از مهمترین نگرانی‌های جوامع بشری محسوب شده، که افزایش آسیب‌پذیری نسبت به واقعه ابرخشکسالی را در پی دارد. ضروری است تا تغییر اقلیم

۱- آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب است که در صورت وقوع واقعه حدی خشکسالی (ابرخشکسالی) به یگانه منبع تأمین آب تبدیل خواهد شد. اما بی‌توجهی به ظرفیت تجدیدپذیری آب زیرزمینی و محدودیت‌های برداشت از آن خسارات جبران‌ناپذیر از جمله کاهش تنوع زیستی موجودات زنده، فرونشست زمین، شوری آب آبخانه، کاهش ظرفیت ذخیره آب و... را به همراه داشته است. جلوگیری از این محدودیت‌ها می‌تواند مبنایی مبنایی معقول برای دستیابی به مدیریت پایدار آب زیرزمینی قرار گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود تا برای هر یک از این محدودیت‌ها معیاری توسعه یافته و مبنای تخصیص آب زیرزمینی قرار گیرد.

۲- اگرچه که سال‌هاست در دنیا تغییر رویکردی در مدیریت بلایای طبیعی از رویکرد مدیریت بحران به رویکرد مدیریت ریسک اتفاق افتاده است و مضاف بر این امر افزایش احتمال وقوع ابرخشکسالی در اثر تغییر اقلیم اهمیت پرداختن به این ضرورت را دوچندان می‌نماید اما هنوز هم در حوزه مدیریت ریسک ابرخشکسالی‌ها در ایران اتفاق خاصی نیافتاده است. پیشنهاد می‌شود تا برنامه جامع مدیریت ریسک ابرخشکسالی در هر حوضه آبریز تهیه شده، و تمهیدات لازم را برای برداشت و جایگزینی ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی فراهم شود. بدیهی است که انتظار می‌رود تا این برنامه بتواند در بالاترین سطح از ریسک ابرخشکسالی، تأمین آب شرب مردم را تضمین نماید.

۳- با الهام از مفاهیمی همچون برآورد حداکثر بارش محتمل در طراحی سربز سدهای بزرگ، می‌توان برآورد حجم ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی مبتنی بر تحلیل آسیب‌پذیری نسبت به ابرخشکسالی را کمی‌سازی نمود. لازم است تا میزان کاهش آب تجدیدپذیر معادل فشار بر آبخانه فرض



آبفا مشهد، منتخب وزارت نیرو به عنوان شرکت پژوهشی برتر

گزارش



به نقل از: گروه تحقیقات شرکت آب و فاضلاب مشهد

شرکت آب و فاضلاب مشهد به عنوان شرکت پژوهشی برتر در سطح شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی سراسر کشور در سال ۹۵ انتخاب شده و در آیین تقدیر از برترین‌های پژوهش در جشنواره پژوهش و فناوری وزارت نیرو از سوی وزیر نیرو مورد تقدیر قرار گرفت. همزمان با هفته پژوهش، جشنواره پژوهش و فناوری وزارت نیرو در روزهای ۲۶ و ۲۷ آذر ماه در محل پژوهشگاه نیرو دائر گردید.

در آیین افتتاح این جشنواره که با حضور وزیر نیرو، معاون تحقیقات و منابع انسانی وزیر نیرو، و مدیران عامل شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت توانیر، شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، مؤسسه تحقیقات آب و پژوهشگاه نیرو برگزار شد، از شرکت‌های برتر این وزارتخانه در امر پژوهش در سال ۱۳۹۵ تقدیر گردید که بر این اساس و بنا بر ارزیابی صورت گرفته، آبفا مشهد به عنوان شرکت پژوهشی برتر از میان ۶۵ شرکت زیرمجموعه انتخاب شده و از سوی وزیر نیرو مورد تقدیر قرار گرفت.

خاطر نشان می‌گردد محورهای ارزیابی شرکت‌های آب و فاضلاب در بخش پژوهش، عبارت از وضعیت اعتبارات و هزینه کرد (۱۵ نمره)، تعداد جلسات و کارگروه‌های برگزار شده (۲ نمره)، مقالات علمی چاپ شده در مجلات معتبر و ارائه شده در کنفرانس‌ها و سمینارهای معتبر علمی (۵ نمره)، حمایت از پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی (۶ نمره)، حمایت از چاپ کتب مصوب کمیته حمایت علمی شرکت مهندسی (۷ نمره)، کنفرانس‌ها، سمینارها یا کارگاه‌های برگزار شده (۲ نمره)، تفاهم‌نامه‌های مبادله شده با دانشگاه‌ها و مراکز علمی - تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان (۲ نمره)، ساخت تجهیزات صنعتی و حمایت از اختراعات و ابتکارات و کاربردی نمودن دستاوردهای تحقیقاتی (۲۰ نمره)، وضعیت پیشرفت پروژه‌های تحقیقاتی (۱۵ نمره)، بکارگیری زیرساخت‌ها در حوزه پژوهش، حضور فعال در جشنواره‌ها و نمایشگاه‌های پژوهش و فناوری و تعامل سازنده با دفتر تحقیقات شرکت مهندسی (۱۲ نمره)، و فعالیت‌های ارزشمند در شرکت و یا سطح ملی (۱۴ نمره) بوده که آبفا مشهد با کسب بیشترین امتیاز، حائز رتبه اول پژوهش در سطح کشور گردید.



معرفی کتاب



"رگرسیون چندگانه، مفاهیم و کاربردها در مهندسی آب" اثر بیژن قهرمان

ناشر: انتشارات جهاد دانشگاهی خراسان رضوی
بسیاری از مدل‌سازی‌ها در علوم تجربی و مهندسی به رگرسیون وابسته است. در این کتاب، مفاهیم رگرسیون، با توجه به جنبه کاربردی بودن آن توضیح داده شده است. براساس داده‌های واقعی استان خراسان، چندین مثال در مورد مهندسی آب طراحی و با جزئیات کامل حل شد تا به درک مفاهیم کمک کند. دانشجویانی که در شاخه‌های مختلف مهندسی آب تحصیل می‌کنند مخاطبین اول این کتاب هستند تا با اصول مدل‌سازی آشنا شوند. مخاطبین دوم، مهندسين مشاوري هستند که در زمینه عمران فعالیت می‌کنند. این کتاب، در ۱۶۸ صفحه و ۵ فصل سازماندهی شده است.

علاقه‌مندان می‌توانند جهت خرید این کتاب به فروشگاه‌های معتبر سراسر کشور یا به درگاه اینترنتی www.jdmppress.com مراجعه و یا تلفن ۳۸۸۴۲۳۳۰ دفتر پخش انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد تماس حاصل نمایند.



به استحضار کلیه پژوهشگران محترم می‌رساند اولویت‌های پژوهشی سال جدید شرکت آب و فاضلاب مشهد از تاریخ ۱۰ اسفند ماه ۱۳۹۶ در زیرپورتال تحقیقات این شرکت به نشانی <http://rd.abfamashhad.ir> بارگذاری گردیده است. لذا از کلیه پژوهشگران محترم دعوت می‌گردد ضمن ملاحظه این عناوین، در صورت دارا بودن پتانسیل و تخصص مورد نیاز نسبت به ثبت نام در سامانه محقق به نشانی <http://research.abfamashhad.net> و ثبت پروپوزال اقدام نمایند. لیست اولویت‌های پژوهشی به شرح جدول ذیل می‌باشد:

ردیف	عنوان	نوع موضوع	نوع اولویت
موضوعات حوزه آب			
۱	بررسی میزان بار سطحی بر کیفیت آب خروجی از صافی‌های ماسه‌ای تند باز تک لایه و ارزیابی پارامترهای مؤثر بر ارتقای ظرفیت این صافی‌ها	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲	تحلیل شبکه‌های آب و جانمایی سنسورهای پایش لحظه‌ای/ پایلوت: زون A	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۳	مستندسازی تجربیات، ارزیابی اقتصادی و ارائه راهکارهای اجرایی برای اصلاح لوله‌های فرسوده در حال بهره‌برداری با استفاده از روش‌ها و فناوری‌های نوین پوشش لوله از داخل	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
موضوعات حوزه فاضلاب			
۴	ارائه راهکارهای عملی و اجرایی حذف بو در سازه مقسم تصفیه‌خانه‌های فاضلاب غرب مشهد	پایان‌نامه دانشجویی	وزارت نیرو
۵	ارائه طرح توجیهی احداث هاضم بی‌هوازی، تولید و تصفیه گاز حاصله و احداث مولدهای هم زمان تولید برق و حرارت (CHP) برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشهد	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۶	امکان‌سنجی استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف شهر مشهد	پایان‌نامه دانشجویی / اینترنتشیپ	داخلی
۷	امکان‌سنجی انجام تصفیه اولیه فاضلاب طی مسیر انتقال به تصفیه‌خانه/ مطالعه موردی: خط انتقال فاضلاب تصفیه‌خانه اولنگ	پایان‌نامه دانشجویی	وزارت نیرو
۸	آسیب‌شناسی تأثیرات مخرب فعالیت در واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد و ارائه راهکارهایی در جهت بهبود سلامت جسمی و روحی کارکنان شاغل در این واحدها	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۹	بررسی امکان بهبود کیفیت پساب خروجی تصفیه فاضلاب با استفاده از گیاهان/ مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد	پایان‌نامه دانشجویی	وزارت نیرو
۱۰	بررسی راهکارهای جلوگیری از ورود آب باران و آب‌های سطحی به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر مشهد	پایان‌نامه دانشجویی	وزارت نیرو
۱۱	حذف پدیده فومینگ در تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآبادیک	طرح پژوهشی / پایان‌نامه دانشجویی	داخلی
۱۲	راهکارهای پایش خطوط شبکه فاضلاب شهر مشهد و سنجش آلودگی در نقاط مختلف	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۱۳	مدلسازی و طراحی سه بعدی هیدرولیک تانک‌های مختلف یک تصفیه‌خانه فاضلاب به منظور دست‌یابی به بازده تصفیه حداکثر/ مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مشهد	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۱۴	بررسی و شبیه‌سازی آنالیز پیامد و ریسک انتشار گاز سمی کلر در صورت بروز حادثه در تصفیه‌خانه‌های منتخب شرکت آب و فاضلاب مشهد	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
موضوعات حوزه مشترکین، مدیریت مصرف، انرژی			
۱۵	اثربخشی ساخت و بهره‌برداری از سلول خورشیدی در شرکت آبفا مشهد با قابلیت انعطاف در مدیریت مصرف انرژی	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۱۶	امکان‌سنجی و اجرای طرح جداسازی پهنه‌های آبی شرکت آب و فاضلاب مشهد به منظور مدیریت بهینه مصرف و بررسی میزان اثربخشی حاصل از آن	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۱۷	آسیب‌شناسی قرائت‌کنتر در شرکت آب و فاضلاب مشهد با رویکرد بهینه‌سازی؛ از نقطه‌نظرهای رضایت‌مندی مشترکین، درآمد‌های شرکت و بکارگیری روش‌های نوین	طرح پژوهشی / اینترنتشیپ	داخلی
۱۸	بررسی تأثیر نصب انشعابات به صورت تکی (حجمی) و مقایسه آن با نصب کلکتوری و تأثیر آن بر مدیریت مصرف مشترکین در سطح شهر مشهد	پایان‌نامه دانشجویی / اینترنتشیپ	داخلی
۱۹	پایش و شناسایی انشعابات غیرمجاز (آسیب‌شناسی روش‌های جاری، بررسی راهکارهای جدید و انگیزشی)	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲۰	تعیین خطای انتقال داده‌های قرائت‌کنتر تولید به مصرف، به منظور تأثیر آن بر هدررفت در سه محور خطای انسانی، بهره‌برداری و مدیریتی در شرکت آب و فاضلاب مشهد	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲۱	ارزیابی فنی و اقتصادی و عملکرد سامانه آب گرمایی مرکز امامیه شرکت آب و فاضلاب مشهد (اثربخشی سیستم نصب شده)	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲۲	بررسی و امکان‌سنجی پوشش استخراج یک میلیون متر مکعبی خط انتقال سد دوستی به وسیله سلول‌های خورشیدی و ارزیابی فنی و اقتصادی آن	طرح پژوهشی / اینترنتشیپ	وزارت نیرو
۲۳	یکپارچه‌سازی سیستم‌های اندازه‌گیری، کنترل و حفاظت هوشمند در الکتروموتورهای فشار قوی	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲۴	امکان‌سنجی پیاده‌سازی سیستم سرمایش موتور خودرو به منظور دستیابی به روش بهینه سرمایش الکتروموتورهای ایستگاه پمپاژ خط انتقال آب سد دوستی	طرح پژوهشی / اینترنتشیپ	وزارت نیرو
۲۵	بومی‌سازی فناوری تصفیه آب با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی	طرح پژوهشی	وزارت نیرو
۲۶	ارزیابی و مقایسه راندمان ایستگاه‌های هیدروپاور پمپ معکوس (PAT) با ایستگاه‌های هیدروپاور میکروتوربین آبی و امکان‌سنجی پیاده‌سازی روش دوم	طرح پژوهشی	وزارت نیرو

In the Name of Allah

Journal of **Water** and Sustainable Development



Volume 4 - Issue 2 (Serial No. 9) - March 2018

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

Ataeifar, H, Assistance of research and industrial relations center of National Water and Wastewater Engineering Company (Chairman of the council)
Tabatabai, S. A., Managing director of Mashhad Water & Wastewater Company
Jafari, S.H., 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
Alipour, M. R., Representative of Mashhad Water & Wastewater Company
Ghandehari, A. Representative of Khorasan Razavi Province's Regional Water Company

Executive Expert

Publisher

Graphic

Print

Circulation

ISSN

E-Mail

Website

Address

Sponsor

Shahedi, M., Talebi Hossein Abad, F.
Ferdowsi University of Mashhad Press(FUMP)
Shaikhi, M.R.
Khorasan Print City, Mashhad
1000 Copies
2423-5474
jwsd@um.ac.ir
<http://jm.um.ac.ir/index.php/WSD>
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

Journal of Water and Sustainable Development

Volume 4 -Issue2 (serial No.9) - March 2018

Articles in issue:

- **Wastewater Circular Economy Approach in Sustainable Development**
S.H. Sajadifar, A.A. Ghane, M. Davoodabadi, Sh. Shalpour
- **Evaluating the Cost of Quality and Selecting the Appropriate Option for Cost Reduction using Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Models (Case Study: The Water and Wastewater Company of Markazi Province)**
R. Shahrjerdi, Gh.R. EbrahimAbadi, S. Shahbazi
- **Assessment of the Water Quality of the Anzali International Wetland using Qualitative Indices**
M. Fallah, S. Fakheran
- **Investigation of the Efficiency of Sewage Treatment using Activated Sludge Method to Supply Water for Reuse in Agricultural Irrigation (Case Study: Kermanshah Sewage Treatment Plant)**
A. Dindarlou, M. Dashtourani
- **Risk Assessment of Hydraulic Components in the Overflow Spillways (Case-Study: Chandir Dam)**
M. Maghrebi, A.A. Ghezelsofloo, H. Alimirzaei
- **Optimal Pressure Control for Leakage Minimization in Water Distribution Networks**
J. Jafari Asl, B.SamiKashkooli, M. Bahrami
- **Investigation of the Effects of Aquifer Management on the Physical and Chemical Changes of the Soil Properties**
H. Moslemi
- **A Historical Review of Innovations and Developments of Subsurface Irrigation Systems**
SH. Bastani
- **A Review of Sustainable Urban Drainage Systems in Adaptation to Climate Change Impacts**
N. Binesh, M.H. Niksokhan, A. Sarang
- **A Review on Hydrological Modelling Concepts: Part 1 - Introduction of Modelling Process**
M. Shafiei, Sh. Gharari
- **Introduction of Three-Dimensional Geology Models and Their Application for Layering of Alluvial Aquifers (Case Study: Bojnourd Aquifer)**
M. Tajabadi, A.N. Ziaei, A. Izady, R. Bahrami, J. Meshkiny
- **Evaluation of the Vulnerability of the Jarmeh Aquifer using DRASTIC and SINTACS Methods**
F. Radmanesh, S. Sadri, A shahbazi
- **Estimation and Conservation of Strategic Groundwater Resources Based on Probable Maximum Drought (PMD)**
H.Derakhshan, K.Davary, S.M.Hasheminia, A.N.Ziaei
- **Individual, Social, and Communication Factors which Affect Farmers' Participation in Irrigation Network Management in Sahand Dam, Iran**
E. Tabrizi Dokht Fard, A. Shams, Z. Hooshmandan, Moghaddam Fard
- **The Importance of Water Resources Ecotourism on the Tourism Development of Mountainous Areas (Case study: Hamadan province)**
A.R. Ildoromi, M. Ghorbani
- **Pressure Management in Water Distribution Networks using Geographic Information System and Spatial Open Source Database (Case Study: Golestan Town of Shiraz)**
Gh.R. Fallahi, M. Saleh zadeh

ISSN (Print): 2423-5474

