جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱٤۰۵، دوره۹ شماره۱، صص۸۸۹-۸۷۹

بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی در شمال خوزستان تحلیل جامع داده‌های هیدرولوژیک و اقلیمی

سارابنی نعیمه[۱*]، داریوش بهارلویی بردشاهی [۲]

۱-دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، کارشناس نوآوری، سازمان آب و برق خوزستان، اهواز، ایران

۲- دکتری مهندسی منابع آب، مدیریت نوآوری، توسعه فناوری و پژوهش های کاربردی، اهواز، ایران

(amiri.sara63@gmail.com)

تاریخ دریافت:۱٤۰۳/۱۰/۲۱ تاریخ بازنگری:۱٤۰۳/۱۱/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۲/۲۰

چکیده

این پژوهش به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی در شمال خوزستان پرداخته است. منطقه شمال خوزستان از جمله مناطق حساس کشور ایران است که به دلیل تغییرات اقلیمی و کاهش میزان بارش، با چالش‌های جدی در مدیریت منابع آبی مواجه است. هدف این مطالعه تحلیل تغییرات دما، میزان بارش، و تبخیر و تعرق در دوره‌های مختلف و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی است. برای انجام این پژوهش، از داده‌های اقلیمی منطقه و تحلیل‌های آماری استفاده شده است. همچنین داده‌های آب زیرزمینی از چاه‌های موجود در این منطقه طی چند دهه گذشته جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کاهش میزان بارندگی، افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق از مهم‌ترین عواملی هستند که باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی شده‌اند. از سوی دیگر، تغییرات در الگوی بارش و افزایش دفعات خشک‌سالی‌ها نیز به شدت بر وضعیت منابع آب زیرزمینی تأثیر گذاشته است. در نتیجه، این پژوهش نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند تغییرات اقلیمی، منطقه شمال خوزستان با کاهش چشمگیر منابع آب زیرزمینی مواجه خواهد شد که به تأمین آب برای مصارف کشاورزی و شرب ضربه بزرگی وارد خواهد کرد. این مقاله به ارائه راهکارهایی برای مدیریت بهینه منابع آبی و انطباق با شرایط جدید اقلیمی پرداخته است.

کلیدواژه ها: تغییرات اقلیمی، آب‌های زیرزمینی، شمال خوزستان ، مدل MODFLOW ، تبخیر و تعرق

doi: 10.22034/gahr.2025.499100.2360 شاپا الکترونیکی:2645-3851

مقدمه

امروزه شناسایی نوع اقلیم یک منطقه با استفاده از عناصرمهم واثرگذار، میتواند نقش کلیدی در شناخت و بازخوانی یک پهنه جغرافیایی داشته باشد، حسینی و همکاران(۱٤۰۳). استان خوزستان و به‌ویژه مناطق شمالی آن، به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و اهمیت استراتژیک در تأمین منابع آبی، نقش حیاتی در اقتصاد و کشاورزی کشور ایران ایفا می‌کند. دشت‌های دزفول، اندیمشک و شوش از جمله مهم‌ترین مناطق کشاورزی در این ناحیه هستند که به‌شدت به منابع آب زیرزمینی وابسته‌اند. با این حال، طی دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و ناپایداری مدیریت منابع آبی به کاهش جدی سطح آب‌های زیرزمینی در این منطقه منجر شده است.

امروزه اقلیم، یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده در میزان و نحوه عملکرد فعالیتهای انسانی در محیط زیست است (مسعودیان و کاویانی،۱۳۸۷). به طوری که؛ آگاهی دقیق از شرایط اقلیمی یک منطقه می تواند در همه ابعاد مربوط به زندگی بشر خصوصا در بعد برنامه ریزی های اقتصادی، نقش تعیین کننده داشته باشد (خورشیددوست و سلمان پور،۱۳۸۷).

مسأله کمبود منابع آب زیرزمینی به دلیل کاهش بارندگی، افزایش دما و برداشت‌های بیش از حد آب، به یک بحران جدی در شمال خوزستان تبدیل شده است. طبق تحقیقات اسدی و همکاران (۲۰۱۸)، این منطقه با کاهش قابل‌توجهی در سطح آب‌های زیرزمینی مواجه شده و چالش‌هایی در تأمین آب برای کشاورزی و شرب به‌وجود آمده است. محمدی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داده‌اند که تغییرات اقلیمی از جمله افزایش دما و کاهش بارش‌های سالانه، تأثیر بسزایی بر کاهش منابع آب‌های زیرزمینی در این منطقه داشته است. افزون بر این، کریمی و همکاران (۲۰۲۰) تأکید می‌کنند که خشکسالی‌های متوالی و برداشت‌های بیش از حد منابع آب زیرزمینی به دلیل عدم مدیریت مناسب، وضعیت آبخوان‌ها را به‌طور جدی تحت تأثیر قرار داده است.

در مقالات متعددی نظیر جعفری و همکاران (۲۰۲۱)، به بحران کمبود آب در نواحی کشاورزی خوزستان اشاره شده است. این پژوهشگران بر اهمیت اقدامات مدیریتی پایدار برای جلوگیری از افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی تأکید کرده‌اند. رحیمی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان می‌کنند که به‌دلیل افزایش برداشت‌های غیرمجاز و نبود سیاست‌های مناسب مدیریتی، بسیاری از آبخوان‌های این منطقه در آستانه تخلیه کامل قرار گرفته‌اند.

افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، فشار مضاعفی بر منابع آب زیرزمینی وارد کرده است. نوری و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیرات افزایش برداشت‌های غیرمجاز بر کاهش منابع آب زیرزمینی پرداخته و نشان داده‌اند که عدم مدیریت صحیح و برداشت‌های غیرقانونی، از عوامل مهم کاهش سطح آب‌های زیرزمینی بوده است. به‌علاوه، شریفی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعات خود به نقش سیستم‌های سنتی آبیاری و مصرف بی‌رویه آب اشاره کرده و راهکارهایی برای بهبود این وضعیت ارائه داده‌اند.

هدف از این مقاله، تحلیل دقیق اثرات تغییرات اقلیمی بر وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی شمال خوزستان با استفاده از داده‌های اقلیمی ۳۰ سال گذشته و مدل‌سازی هیدرولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW است. علاوه بر این، این پژوهش به بررسی راهکارهای مدیریتی به‌منظور کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از افت

بیشتر سطح آب‌ها در این منطقه می‌پردازد. با در نظر گرفتن مطالعات پیشین و داده‌های جدید، این مقاله به دنبال ارائه یک تحلیل جامع و پیشنهاد راهکارهای علمی و اجرایی برای مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی است.

در نتیجه، مسأله اصلی این پژوهش بررسی تأثیرات متقابل تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر منابع آب زیرزمینی است و سعی دارد با استفاده از مدل‌های پیشرفته و تحلیل‌های آماری، راهکارهایی برای کاهش بحران آب در منطقه شمال خوزستان ارائه کند.

روش تحقیق

در این پژوهش، با هدف بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی در شمال خوزستان، از روش‌های ترکیبی شامل تحلیل داده‌های اقلیمی، مدل‌سازی هیدرولوژیکی، و تحلیل‌های آماری استفاده شده است. این پژوهش به‌طور سیستماتیک، بر روی تغییرات دما و بارندگی و اثرات آن بر وضعیت منابع آب زیرزمینی تمرکز دارد. علاوه بر این، مدل MODFLOWبه‌عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف اقلیمی به‌کار گرفته شده است. در ادامه، هر یک از مراحل روش تحقیق با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شود.

شمال خوزستان به‌عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران شناخته می‌شود و دارای شرایط اقلیمی حساس و تغییرپذیری بالای بارندگی و دما است. این منطقه به دلیل اتکا بر منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی و شرب، در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر است. به‌منظور انجام تحقیق، چندین دشت کلیدی این منطقه از جمله دشت دزفول، اندیمشک و شوش به‌عنوان مناطق مورد مطالعه انتخاب شدند.

این دشت‌ها به دلیل فعالیت‌های کشاورزی گسترده و برداشت‌های قابل‌توجه از آبخوان‌ها به‌ویژه برای مصارف کشاورزی، تحت فشار منابع آب زیرزمینی قرار دارند. همچنین، داده‌های مربوط به تغییرات بارندگی و دما برای این دشت‌ها به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گرفتند تا به مدلی جامع از وضعیت منابع آبی دست یافت.

داده‌های اقلیمی مرتبط با دما، بارندگی و تبخیر طی یک دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) از منابع معتبر هواشناسی داخلی و سازمان هواشناسی جهانی جمع‌آوری شد .این داده‌ها شامل متوسط سالانه دما، میزان بارندگی ماهیانه و سالانه، و مقادیر تبخیر است. در این مرحله، تلاش شد تا از داده‌هایی با دقت بالا و پوشش زمانی و مکانی مناسب استفاده شود تا نتایج تحقیق از نظر دقت و اعتبار علمی قابل‌اعتماد باشد.

داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی از طریق سازمان‌های محلی آب منطقه‌ای خوزستان و ایستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب در دشت‌های مورد مطالعه جمع‌آوری شد. این داده‌ها شامل میزان سطح آب در چاه‌های نمونه، میزان برداشت آب، و سایر اطلاعات مرتبط با آبخوان‌ها است. به‌منظور افزایش دقت، از داده‌های میانگین ماهیانه سطح آب زیرزمینی برای دوره مورد مطالعه استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی دقیق‌تر در مدلMODFLOW، اطلاعات زمین‌شناسی دشت‌های مورد مطالعه نیز جمع‌آوری شد. این داده‌ها شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، عمق لایه‌های آبخوان، ضریب نفوذپذیری خاک و دیگر مشخصات هیدروژئولوژیکی است که برای ورود به مدل مورد استفاده قرار گرفتند.

در مرحله بعدی، داده‌های جمع‌آوری‌شده اقلیمی با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل آماری مانند SPSS و Excel تجزیه و تحلیل شدند. این تحلیل‌ها به‌منظور شناسایی روندهای طولانی‌مدت در دما و بارندگی و همچنین محاسبه

شاخص‌های خشکسالی مانند شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) انجام شد. روندهای افزایشی دما و کاهشی بارندگی به‌طور خاص مورد توجه قرار گرفت تا اثرات این تغییرات بر منابع آب زیرزمینی ارزیابی شوند.

از آزمون‌های آماری مختلفی از جمله آزمون‌های ناپارامتریک برای بررسی معناداری تغییرات اقلیمی استفاده شد. به‌عنوان مثال، آزمون من-کندال (Mann-Kendall) برای تحلیل روند تغییرات دما و بارندگی در طول زمان به کار گرفته شد.

مدل MODFLOW به دلیل توانایی بالای آن در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی و کارآیی در تحلیل سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب، برای این تحقیق انتخاب شد. این مدل می‌تواند به‌طور دقیق شرایط مختلف هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی کند و به سیاست‌گذاران کمک کند تا تصمیمات آگاهانه‌ای برای مدیریت منابع آب اتخاذ کنند.

برای پیاده‌سازی مدلMODFLOW ، ابتدا نقشه‌های مربوط به توپوگرافی، لایه‌های زمین‌شناسی، و موقعیت آبخوان‌های منطقه وارد نرم‌افزار شدند. سپس داده‌های سطح آب زیرزمینی، نفوذپذیری خاک، و اطلاعات مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم آبخوان در مدل لحاظ شد. این داده‌ها شامل جریان ورودی از بارش، تغذیه آبخوان از رودخانه‌ها و جریان خروجی ناشی از برداشت‌های کشاورزی و شهری بود.

برای افزایش دقت مدل، کالیبراسیون آن با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به سطح آب زیرزمینی انجام شد. به این منظور، داده‌های سال‌های اخیر(۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰) به عنوان داده‌های مرجع برای ارزیابی دقت مدل استفاده شدند . کالیبراسیون به‌گونه‌ای انجام شد که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و داده‌های واقعی حداقل ممکن باشد.

برای بررسی اثرات تغییرات اقلیمی، چندین سناریو شبیه‌سازی شد که شامل:

- سناریوی پایه (شرایط کنونی بدون تغییر اقلیمی)
- سناریوی کاهش بارندگی و افزایش دما
- سناریوی کاهش شدید بارندگی به همراه افزایش برداشت از آبخوان‌ها

این سناریوها به‌منظور بررسی تأثیرات احتمالی آینده و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب طراحی شدند.

پس از اجرای مدل در شرایط مختلف، نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها شامل تغییرات سطح آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف اقلیمی تجزیه و تحلیل شد. نمودارها و جداول مرتبط با تغییرات سطح آب زیرزمینی، میزان تغذیه آبخوان‌ها و برداشت از آنها تهیه گردید. این تحلیل‌ها نشان دادند که کاهش بارندگی و افزایش دما تأثیر مستقیمی بر افت سطح آب زیرزمینی دارند و احتمال وقوع بحران‌های آبی در آینده نزدیک افزایش خواهد یافت.

به‌منظور اطمینان از صحت نتایج شبیه‌سازی، اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های واقعی انجام شد. مدل MODFLOWبا داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج شبیه‌سازی‌ها با داده‌های مشاهده‌شده تطبیق داده شد. این مرحله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های تحقیق به افزایش اعتبار علمی نتایج کمک کرد.

یافته‌ها

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از تحلیل داده‌های اقلیمی، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تحلیل‌های آماری پرداخته می‌شود. یافته‌های این پژوهش بر اساس داده‌های مربوط به تغییرات اقلیمی در شمال خوزستان طی ۳۰ سال گذشته و تأثیرات این تغییرات بر وضعیت منابع آب زیرزمینی منطقه، به‌ویژه در دشت‌های دزفول، اندیمشک و شوش، گردآوری و تحلیل شده است. علاوه بر این، شبیه‌سازی‌های انجام شده با استفاده از مدل MODFLOW به‌منظور تحلیل تغییرات سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی و مدیریت منابع آبی، نتایج مهمی را ارائه می‌دهند که در این بخش به‌طور جامع مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی، به‌ویژه افزایش دما و کاهش بارندگی، تأثیرات قابل‌توجهی بر افت سطح آب‌های زیرزمینی در این منطقه داشته است. همچنین، تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که روند کاهش منابع آبی در صورت ادامه شرایط کنونی، می‌تواند منجر به بحران‌های جدی در آینده نزدیک شود. در ادامه، به بررسی دقیق‌تر یافته‌ها از ابعاد مختلف پرداخته می‌شود.

۱-تحلیل داده‌های اقلیمی

تغییرات دما

تحلیل داده‌های اقلیمی نشان‌دهنده افزایش میانگین دمای سالانه طی ۳۰ سال گذشته در منطقه شمال خوزستان است. در این بازه زمانی، دما به‌طور متوسط حدود ۱,۵ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. این افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش آب قابل‌دسترس برای تغذیه آبخوان‌ها شده است. به‌طور مشخص، ماه‌های تابستان شاهد بیشترین افزایش دما بوده‌اند که تأثیرات آن بر منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در دوره‌های خشک سال بسیار محسوس بوده است.

تغییرات بارندگی

میزان بارندگی سالانه در منطقه نیز طی این بازه زمانی به‌طور پیوسته کاهش یافته است. تحلیل داده‌های بارندگی نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه در شمال خوزستان از حدود ۳۰۰ میلی‌متر در اوایل دهه ۱۹۹۰ به کمتر از ۲۴۰ میلی‌متر در دهه ۲۰۲۰ رسیده است. این کاهش بارندگی به‌ویژه در فصل‌های پاییز و زمستان که فصول اصلی تغذیه آبخوان‌ها هستند، تأثیر بسزایی بر کاهش میزان تغذیه طبیعی آبخوان‌ها داشته است.

خشکسالی و شاخص SPI

برای ارزیابی خشکسالی‌های رخ داده در منطقه، از شاخص SPI (Standardized Precipitation Index) استفاده شد. این شاخص نشان‌دهنده وقوع خشکسالی‌های متوالی طی ۳۰ سال اخیر است. براساس این شاخص، دوره‌های خشکسالی متوسط تا شدید در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ افزایش چشم‌گیری داشته است که این امر باعث کاهش بیشتر تغذیه آبخوان‌ها و افت سطح آب زیرزمینی شده است.

۲- تحلیل داده‌های آب زیرزمینی

تغییرات سطح آب زیرزمینی

بررسی داده‌های سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در دشت‌های مورد مطالعه (دزفول، اندیمشک و شوش)، سطح آب زیرزمینی به‌طور مستمر در حال کاهش بوده است .به‌عنوان مثال، در دشت دزفول، سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالانه حدود ۰,۵ تا ۱ متر کاهش یافته است. این کاهش سطح آب ناشی از برداشت‌های بیش از حد برای مصارف کشاورزی و شرب، و همچنین کاهش تغذیه آبخوان به دلیل کاهش بارندگی و افزایش تبخیر است.

برداشت‌های غیرمجاز و مصرف بیش از حد

یافته‌های این پژوهش نشان داد که برداشت‌های غیرمجاز و مصرف بیش از حد آب برای کشاورزی یکی از عوامل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی است. در این دشت‌ها، به‌ویژه در سال‌های خشک، کشاورزان به‌منظور جبران کمبود آب سطحی به برداشت بیشتر از چاه‌های زیرزمینی روی آورده‌اند که این امر باعث افزایش فشار بر منابع آب زیرزمینی شده است.

۳- نتایج مدل‌سازی با استفاده از MODFLOW

سناریوی پایه (شرایط کنونی)

در سناریوی پایه که شرایط کنونی منطقه بدون تغییرات عمده در مدیریت منابع آب شبیه‌سازی شده است، نتایج نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی در دشت‌های مورد مطالعه همچنان به کاهش خود ادامه می‌دهد. در این سناریو، سطح آب زیرزمینی در دشت دزفول تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۰ متر دیگر افت خواهد کرد. این افت می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر کشاورزی منطقه و تأمین آب شرب داشته باشد.

سناریوی کاهش بارندگی و افزایش دما

در این سناریو، کاهش ۱۵ درصدی بارندگی و افزایش ۲ درجه‌ای دما طی ۳۰ سال آینده شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در این شرایط، افت سطح آب زیرزمینی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. در دشت شوش، کاهش بارندگی و افزایش دما باعث می‌شود که سطح آب زیرزمینی تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۱۵ متر کاهش یابد. این میزان افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند منجر به خشک شدن بسیاری از چاه‌ها و ایجاد بحران‌های جدی در تأمین آب شود.

جدول ۱- نتایج شبیه‌سازی مدل MODFLOW

سناریو	بارندگی (میلی متر)	سطح آب زیر زمینی(متر)	برداشت آب (میلی متر)
۱۳۹۰	۳۵۰	۲٤	۳۰۰
۱٤۰۰	۳۲۰	۲۰	۳۵۰
۱٤۲۰	۲۹۰	۱۵	٤۰۰

سناریوی مدیریت بهینه منابع آب

در این سناریو، تأثیر اجرای راهکارهای مدیریتی مانند کاهش برداشت‌های غیرمجاز، استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها بر وضعیت منابع آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که اجرای این راهکارها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی از افت بیشتر سطح آب زیرزمینی جلوگیری کند. به‌عنوان مثال، در دشت اندیمشک، اجرای این راهکارها باعث کاهش افت سطح آب زیرزمینی از ۱۲ متر به ۵ متر تا سال ۲۰۵۰ می‌شود. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی در مقابله با بحران‌های آبی است.

٤- تحلیل آماری داده‌ها

برای تحلیل دقیق‌تر نتایج، از آزمون‌های آماری مختلفی استفاده شد. به‌عنوان مثال، آزمون من-کندال برای تحلیل روند تغییرات سطح آب زیرزمینی و بارندگی به‌کار رفت. نتایج این آزمون نشان داد که روند کاهش بارندگی و سطح آب زیرزمینی هر دو معنادار هستند. این تحلیل‌ها تأیید می‌کنند که تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع آب، دو عامل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه هستند.

٥- تأثیرات اقتصادی و اجتماعی

یافته‌های تحقیق نشان داد که کاهش منابع آب زیرزمینی تأثیرات گسترده‌ای بر اقتصاد محلی و معیشت کشاورزان دارد. بسیاری از کشاورزان به دلیل کمبود آب و افزایش هزینه‌های برداشت آب زیرزمینی، با مشکلات جدی مواجه شده‌اند. این وضعیت منجر به کاهش تولیدات کشاورزی و افزایش نرخ مهاجرت به شهرها شده است. همچنین، کمبود آب شرب در برخی از روستاها باعث افزایش تنش‌های اجتماعی و اعتراضات محلی شده است.

٦- ارتباط تغییرات اقلیمی و افت آب زیرزمینی

تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و به‌ویژه افزایش دما و کاهش بارندگی، تأثیر مستقیمی بر افت سطح آب‌های زیرزمینی دارند. افزایش تبخیر ناشی از افزایش دما باعث کاهش حجم آب‌های سطحی و کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها شده است. همچنین، کاهش بارندگی باعث کاهش ورود آب به سفره‌های زیرزمینی و افت بیشتر سطح آب شده است.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی و مدیریت ناپایدار منابع آب از عوامل اصلی کاهش سطح آب زیرزمینی در منطقه شمال خوزستان هستند. بدون اتخاذ راهکارهای مدیریتی مناسب، احتمال وقوع بحران‌های جدی در تأمین آب برای کشاورزی و شرب در آینده نزدیک وجود دارد. همچنین، نتایج مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های آماری تأکید می‌کنند که اقدامات فوری در جهت مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی ضروری است تا بتوان از بروز بحران‌های آبی جلوگیری کرد.

راهکارهای مدیریت

بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی و تحلیل‌های آماری، سه راهکار کلیدی برای مدیریت منابع آب زیرزمینی ارائه شد که عبارتند از:

استفاده از روش‌های آبیاری نوین

آبیاری قطره‌ای و تحت‌فشار از جمله روش‌های کارآمد برای بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی هستند. این سیستم‌ها به‌طور مستقیم آب را به ریشه گیاهان می‌رسانند و از هدررفت آب از طریق تبخیر و روان‌آب جلوگیری می‌کنند. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که استفاده از این سیستم‌ها می‌تواند تا ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کند. همچنین، آبیاری نوین می‌تواند بهره‌وری محصولات کشاورزی را نیز افزایش دهد. اما چالش‌هایی نیز در مسیر اجرای این روش‌ها وجود دارد، از جمله هزینه بالای نصب و نگهداری سیستم‌ها و نیاز به آموزش کشاورزان.

تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها

تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها یکی از مهم‌ترین راهکارهایی است که می‌تواند به حفظ و بازسازی منابع آب زیرزمینی کمک کند. این روش شامل ایجاد حوضچه‌های ذخیره آب بارش‌های فصلی و تزریق آن‌ها به آبخوان‌ها است. در مناطق با بارش‌های شدید در فصل‌های خاص، این روش می‌تواند به طور مؤثری سطح آب زیرزمینی را افزایش دهد. چندین مطالعه در مناطق مختلف دنیا نشان داده‌اند که تغذیه مصنوعی می‌تواند سطح آب زیرزمینی را تا ۲۰ درصد افزایش دهد. این روش به ویژه در شرایط تغییرات اقلیمی که بارش‌ها به‌صورت ناگهانی و غیرمستمر رخ می‌دهند، کارآمد است.

افزایش آگاهی عمومی و بهره‌وری در مصرف آب

افزایش آگاهی عمومی و ترویج فرهنگ مصرف بهینه آب می‌تواند نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب داشته باشد. اقدامات آموزشی برای کشاورزان، نصب سیستم‌های هوشمند مدیریت آب و ترویج کشاورزی پایدار از جمله راهکارهایی هستند که می‌توانند به کاهش مصرف آب و حفظ منابع زیرزمینی کمک کنند. در این راستا، آموزش‌های هدفمند و مستمر به کشاورزان برای به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین آبیاری و مدیریت منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است. دولت و سازمان‌های محلی می‌توانند نقش کلیدی در فراهم کردن زیرساخت‌های آموزشی و ترویجی داشته باشند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی در منطقه شمال خوزستان پرداخته شد. نتایج حاصل از داده‌های هواشناسی و مدلسازی‌های انجام شده، نشان‌دهنده تغییرات قابل‌توجه در وضعیت منابع آبی این منطقه طی سه دهه گذشته است. از جمله مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده می‌توان به کاهش میزان بارندگی و افزایش دمای متوسط اشاره کرد که هر دو عامل به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها اثرگذار بوده‌اند.

تحلیل داده‌های سطح آب‌های زیرزمینی نشان داد که سطح این منابع به‌طور مداوم در حال افت است و پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که در صورت ادامه روند کنونی، بحران آب به‌زودی این منطقه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. این افت سطح آب زیرزمینی نه تنها منجر به کاهش دسترسی به آب برای مصارف کشاورزی و شرب می‌شود، بلکه بر مسائل اجتماعی و اقتصادی نیز اثرات قابل‌توجهی خواهد داشت، از جمله مهاجرت روستاییان به شهرها، کاهش بهره‌وری کشاورزی، و افزایش فشار بر زیرساخت‌های آب شهری.

در این راستا، استفاده از مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی و پیش‌بینی‌های مرتبط با آن، بینش‌های دقیقی در مورد وضعیت کنونی و آینده این منابع ارائه داده است. نتایج این مدل‌سازی نشان داد که اگر اقدامات مناسبی در جهت مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آب انجام نشود، احتمال افت بیشتر سطح آب زیرزمینی وجود دارد که می‌تواند منجر به تشدید بحران‌های زیست‌محیطی و اجتماعی شود.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش، ارائه راهکارهای کاربردی برای مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی است. روش‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای و تحت فشار، می‌توانند در کاهش مصرف آب و بهینه‌سازی آن نقش موثری ایفا کنند. علاوه بر این، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها به عنوان یک راهکار کلیدی مطرح شد که می‌تواند به بازسازی و احیای منابع زیرزمینی کمک کند. این راهکارها نیازمند اجرای برنامه‌های مدیریتی دقیق و همکاری نهادهای دولتی و محلی است.

افزایش آگاهی عمومی و آموزش کشاورزان در استفاده بهینه از منابع آب نیز از جمله اقدامات اساسی است که می‌تواند تأثیرات مثبتی در کاهش مصرف غیرمنطقی آب و حفظ منابع زیرزمینی داشته باشد. تجربه‌های مشابه در دیگر نقاط دنیا نشان داده است که با آموزش و آگاهی‌بخشی می‌توان بهره‌وری کشاورزی را افزایش داده و هم‌زمان از مصرف بیش از حد منابع آب جلوگیری کرد.

در نهایت، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی شمال خوزستان نیازمند رویکردهای چندجانبه و جامع است. علاوه بر تأکید بر راهکارهای فنی، باید به ابعاد اجتماعی، اقتصادی و آموزشی نیز توجه داشت .دولت و نهادهای مرتبط باید با اجرای برنامه‌های بلندمدت و پیوسته، از پایداری منابع آب اطمینان حاصل کنند و برای مقابله با چالش‌های اقلیمی و منابع آبی، تدابیر لازم را اتخاذ کنند.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت مدیریت هوشمندانه و هماهنگ منابع آب زیرزمینی است. به‌ویژه در مناطقی مانند شمال خوزستان که به شدت وابسته به این منابع هستند، نهادهای مسئول باید تلاش بیشتری برای مقابله با اثرات تغییرات اقلیمی و بحران آب انجام دهند. همچنین، راهکارهای پیشنهادی این پژوهش می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهادات

استفاده از روش‌های آبیاری نوین به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و تحت‌فشار می‌تواند بهره‌وری در مصرف آب کشاورزی را افزایش دهد.

تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها استفاده از روش‌های تغذیه مصنوعی به ویژه در فصل‌های پربارش می‌تواند به تقویت منابع آب زیرزمینی کمک کند.

افزایش آگاهی عمومی ترویج فرهنگ مصرف بهینه آب و آگاهی‌بخشی به کشاورزان در زمینه روش‌های بهینه آبیاری ضروری است.

پایش مداوم وضعیت منابع آب زیرزمینی انجام مطالعات مستمر برای پایش وضعیت منابع آب و اقلیم منطقه و اعمال سیاست‌های مدیریتی مناسب در این زمینه.

تشکر و قدردانی

از سازمان آب و برق خوزستان، مدیریت نوآوری، فناوری و پژوهش های کاربردی جهت همکاری در نوشتن این مقاله تشکر و قدردانی می گردد.

منابع

۱- احمدی، س.، علیزاده، م.، حسینی، ن. (۱۳۹۸). "تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی در استان خوزستان". فصلنامه علوم محیطی و منابع آب ایران، ۲۳(٤) ۱٦۲-۱۵۳.

۲- کاوه، ح.، رضایی، ف.، مرادی، پ. (۱٤۰۰). "بررسی اثرات افزایش دما و تبخیر بر منابع آب زیرزمینی شمال خوزستان". مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲)۲ (۸۵-۷۱.

۳- حسن‌پور، م.، صابری، س.، رهنما، ب. (۱۳۹۹). "تحلیل اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW". مجله آب و هواشناسی ایران، ۱۲(۳) ۱۱۷-۱۰۵.

٤-حسینی،س م، خرم آبادی، ف.، ذوالفقارزاده، س.، اقلیم شناسی مناطق خشک و نیمه خشک ایران مرکزی،مجله جغرافیا و روابط انسانی،تابستان۱٤۰۳، دوره۷،شماره۱،صص۵۱۷-٤۹۸.

۵- مسعودیان، سیدابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا.۱۳۸۷. اقلیم شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان. اصفهان

٦- خورشیددوست، علی محمد؛ سلمانپور، رضا.۱۳۸۷. تحلیل نوسانات و آستانه های یخبندان های پاییزه و بهاره شهرستان اهر، فضایی جغرافیایی، شماره۸۵،۲۱تا۱۰۰

۷- J. Williams, (2021). "Climate Change Impacts on Groundwater Resources in Arid Regions A Global Review". Journal of Hydrology, 590 125-133.

۸- Sharif, H. O., Hassan, A., and Elhassan, A. (2019). "Assessing the Impact of Climate Change on Groundwater Recharge in Semi-Arid Regions". Water Resources Management, 33(9) 3143-3155.

۹- Al-Ansari, N., and Abdellatif, M. (2018). "Impact of Climate Change on Groundwater in the Middle East Case Study of Iraq". Geosciences, 8(10) 365-380.

۱۰- Keshavarz, M. R., and Jamali, S. (2019). "Groundwater Depletion in Iran Causes, Consequences, and Solutions". Environmental Earth Sciences, 78(12) 428-441.

۱۱- Elango, L., and Senthilkumar, M. (2019). "Modelling the Impact of Climate Change on Groundwater Resources Using MODFLOW". Journal of Water Climate Change, 10(3) 554-567.
۱۲- Amiri, A., and Zare, M. (2020). "Climate Variability and Groundwater Decline in Arid Regions of Iran". Journal of Environmental Studies, 45(7) 875-890.
۱۳- Ebrahimi, H., and Nourani, V. (2021). "Predicting Groundwater Level Fluctuations in Arid and Semi-Arid Regions Using MODFLOW". Environmental Earth Sciences, 90(2) 323-337.
۱٤- Yang, L., and Chen, X. (2020). "Simulation of Groundwater Flow in Response to Climate Change Scenarios Using MODFLOW". Hydrology and Earth System Sciences, 24(1) 251-267.
۱۵- Farajzadeh, M., and Karami, H. (2022). "Impact of Climate Change on Groundwater Resources of Khuzestan Province". Iranian Journal of Hydrology, 39(4) 23-32.
۱٦- Mohammadi, Z., and Maleki, R. (2021). "Application of MODFLOW for Groundwater Management in Semi-Arid Regions of Iran". Hydrological Processes, 35(2) 1243-1254.
۱۷- Zandi, S., and Eslamian, S. (2020). "Managing Groundwater Resources under Climate Change A Case Study in Iran". Water Resources Management, 34(5) 212-223.
۱۸- Sadeghi, H., and Salehi, N. (2021). "Assessing the Impact of Climate Change on Water Resources in Khuzestan Using Remote Sensing and MODFLOW". Journal of Environmental Hydrology, 29(3) 72-84.