

تأثیر عوامل اقلیمی و زمین‌شناسی بر کمیّت و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت مه‌ولات

هانیه نجف‌زاده^۱، غلام‌رضا زهتابیان^۲ حسن خسروی^{۳*}، علی گلکاریان^۴

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۷/۲۵)

چکیده

به‌منظور بررسی کمیّت و کیفیت آب زیرزمینی دشت مه‌ولات با استفاده از داده‌های سطح آب، هدایت الکتریکی و غلظت کل نمک‌های محلول نقشه نوسانات سطح آب زیرزمینی و متغیرهای کیفی یادشده در سه دوره آماری ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ در محیط نرم‌افزار Arc GIS9.3، با روش زمین‌آماری تهیه شد. در مرحله دوم برای تعیین عوامل مؤثر بر تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی به بررسی عواملی همچون کاهش میزان بارش و خشکسالی‌ها (با استفاده از نمودار شاخص بارش استاندارد)، شرایط زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی (با ترسیم نقشه زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی) و پیشروی جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور پرداخته شد. نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی کمیّت و کیفیت آب زیرزمینی نشان داد که سطح آب در بخش اعظمی از منطقه افت داشته است و درباره متغیرهای هیدروشیمی آب زیرزمینی نیز مشخص شد که در طول دوره آماری بیشترین تمرکز متغیرهای یادشده در خروجی منطقه در بخش‌های غرب و جنوب غرب محدوده قرار داشته و روند تغییرات به‌طور معمول تا انتهای دوره آماری افزایشی و رو به حالت شوری بوده است. نتایج مؤثر تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی نشان داد که روند رو به رشد تعداد چاه‌های بهره‌برداری از راه‌های مختلف همچون افزایش اراضی باغی (به‌خصوص پسته‌کاری) و در کنار آن کاهش بارش و خشکسالی‌های اخیر، سبب افت سطح آب زیرزمینی در منطقه شده است که به‌دنبال آن پیشروی جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور در جنوب و غرب منطقه مطالعاتی را از طریق مسیل‌ها و کانال‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد و کیفیت آن‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی این پهنه‌ها از نظر کیفی با توجه به دانه‌ریز بودن رسوبات و وجود املاح فراوان و رسوبات تبخیری بی‌شک سبب کاهش نفوذ و تغذیه از سطح سفره آب زیرزمینی می‌شود. که در صورت ادامه این روند و انجام ندادن اقدامات جدی و عملی برای کاهش برداشت‌های بی‌رویه و به تعادل رساندن سفره آب زیرزمینی، در آینده‌ای نه‌چندان دور علاوه بر ایجاد و تشدید آثار نامطلوب زیست‌محیطی، شاهد آسیب شدید به کشاورزی منطقه خواهیم بود.

کلیدواژگان: آب شور، پهنه‌بندی، خشکسالی، سازند، متغیر.

مقدمه

امروزه رشد جهانی جمعیت و افزایش مصرف آب سبب ایجاد تناقض شدید بین منابع آب و تقاضا شده است [۲۲]. از سوی دیگر، آب‌های سطحی به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک به اندازه کافی و به‌سهولت در دسترس نیستند. از این‌رو آب‌های زیرزمینی منبع اطمینان‌بخشی برای تأمین نیازهای انسان محسوب می‌شوند [۱۹]. این مسئله در کنار وقوع تغییرات آب‌وهوایی، کاهش بارندگی و خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت شرایطی را برای کشور، خصوصاً مناطق خشک و فراه خشک و نیز منطقه مطالعه‌شده که از مناطق خشک کشور است، به‌وجود آورده که آن را با چالش‌های جدی در زمینه کیفیت و کمیت آب مواجه کرده است [۴].

برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی سبب کاهش کیفیت و در نتیجه به هم خوردن تعادل بین آب شور و آب شیرین و پیشروی آب شور در بستر سفره‌های زیرزمینی آب شیرین می‌شود که آغازی جدی برای نمک‌زایی، و در نهایت تخریب منابع اراضی، کویری شدن و بیابان‌زایی است. اگر در مناطق خشک ایران روند برداشت آب‌های زیرزمینی به همان شیوه ادامه پیدا کند، شاهد تخریب این منابع (شوری‌زایی) و به‌دنبال آن تخریب خاک و کاهش عملکرد و... در این مناطق خواهیم بود. بنابراین، باید دقت بیشتری در استفاده از منابع آب زیرزمینی در این مناطق صورت پذیرد [۹]. افزایش تدریجی درجه شوری آب زیرزمینی در دست بهره‌برداری، آغاز جدی برای شور شدن اراضی است [۱۰].

درباره رابطه خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی ویلهولس^۱ و همکارانش با استفاده از آنالیز نقشه‌های ترکیب‌شده از ریسک خشکسالی هواشناسی، پتانسیل خشکسالی هیدرولوژیکی و میزان آسیب‌پذیری خشکسالی آب زیرزمینی توسط انسان به بررسی ریسک خشکسالی آب‌های زیرزمینی در جنوب آفریقا پرداختند. آن‌ها مناطق با بیشترین ریسک خشکسالی آب زیرزمینی را مشخص کردند و نشان دادند که اکنون جمعیتی حدود ۳۹ میلیون نفر تحت تأثیر ریسک خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مطالعه‌شده هستند [۲۶]. همچنین شاهدی و هازاریکا^۲، به تحلیل سطح آب زیرزمینی و زمان‌های بارندگی

بارندگی در شمال غربی منطقه بنگلادش پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش برداشت آب زیرزمینی برای آبیاری در فصل‌های خشک و بازگشت خشکسالی‌ها از عوامل افت سطح آب زیرزمینی در این منطقه بوده است و اگر مداخله بشر در سامانه آب زیرزمینی وجود نداشت، یکی از عوامل افت آب زیرزمینی به‌گونه‌ای عمده مربوط به کاهش بارندگی‌ها بود [۲۵]. خان^۳ و همکارانش در بررسی رابطه خشکسالی و سطح آب زیرزمینی در اراضی یکی از دشت‌های استرالیا به این نتیجه رسیدند که بین شاخص بارندگی استاندارد شده و سطح آب زیرزمینی منطقه ارتباط قوی وجود دارد [۲۱]. یاسمنی در پژوهشی به بررسی آثار خشکسالی و برداشت بر منابع آب زیرزمینی در دشت تربت جام- فریمان پرداخت که ابتدا با به‌کارگیری شاخص SPI، تأثیر عوامل اقلیمی را بر منابع آب زیرزمینی دشت مطالعه کرد و به‌منظور بررسی میزان تأثیرپذیری کمی و کیفی آب زیرزمینی از خشکسالی، ضرایب همبستگی بین شاخص GRI و EC با شاخص SPI محاسبه شد و با توجه به وجود دوره‌های نرمال و ترسالی در بازه زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۷ همچنان سطح آب زیرزمینی سیر نزولی دارد که بیانگر آثار زیاد برداشت و خشکسالی است [۱۸]. شکیبا و همکارانش تأثیر خشکسالی را بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان در مورد تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان داد که خشکسالی‌های رخ داده بر افت سطح آب‌های زیرزمینی تأثیر به‌سزایی داشته‌اند. همچنین ایشان با توجه به وجود ضریب همبستگی بین مقدار SPI و عمق آب زیرزمینی گزارش کردند که شاخص SPI شاخص تقریباً مناسبی برای بررسی آثار خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی است [۱۲].

در زمینه عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی هسو^۴ و همکارانش در پژوهشی در دشت پینگتونگ تایوان، نتیجه گرفتند که کاهش سطح آب زیرزمینی سبب پیشروی آب شور و افت کیفیت آب زیرزمینی منطقه تحقیق شده است [۲۰]. ولایتی در یک بررسی با عنوان «تأثیر برداشت آب از چاه‌ها در شور شدن آبخوان دشت جنگل (تربت حیدریه)» نشان داد که افزایش هدایت

رضوی، تهیه و استخراج و همچنین اطلاعاتی هم محاسبه و بازسازی شد و کنترل کیفیت و صحت آمار، آزمون همگنی با روش آزمون توالی^۱ [۱۵] و بازسازی آمار در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. روش‌های متفاوتی برای مطالعه و کار با داده‌های مربوط به سطح آب زیرزمینی وجود دارد که در این پژوهش به منظور بررسی میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی و تأثیر عوامل اقلیمی و محیطی بر آن، با توجه به آمار موجود کیفیت و سطح آب زیرزمینی در چاه‌های انتخابی در طول دوره آماری اقدام به تهیه نقشه‌های مربوطه با روش زمین‌آمار در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 شد. شکل ۱ موقعیت چاه‌های بررسی شده در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی میزان تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی، پتانسیل سطح ایستابی آبخوان، تشخیص منابع تغذیه و تخلیه و تعیین جبهه‌های ورودی و خروجی آب زیرزمینی با بهره‌گیری از رقوم سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای و نیز با در نظر گرفتن ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی ناحیه، نقشه تراز آب زیرزمینی دشت در سه دوره آماری (سال‌های آبی ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱) ترسیم شد. جدول ۱ نشان‌دهنده افت سطح ایستابی آب زیرزمینی در سال (سانتی‌متر) را برای طبقه‌بندی افت سطح آب زیرزمینی است. پس از انتخاب بهترین روش میان‌یابی مربوط به هر متغیرهای کیفی، نقشه پهنه‌بندی مکانی مربوط به هدایت الکتریکی و غلظت املاح محلول در سه دوره آماری مطالعه شده (سال‌های آبی ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱) در محیط نرم‌افزاری Arc GIS 9.3 تهیه شد. البته لازم به ذکر است متغیرهای کیفیت آب متعدد هستند، اما در این پژوهش برای جلوگیری از افزایش حجم، از مهم‌ترین متغیرها استفاده شد. جدول ۲ نشان‌دهنده طبقه‌بندی متغیر کیفی EC (میکروموس/سانتی‌متر) برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این متغیر است. در پژوهش حاضر، رفتارسنجی آب‌های زیرزمینی محدوده مه‌ولات در مقابل عوامل اقلیمی و منطقه‌ای همچون کاهش میزان بارش و خشکسالی‌های منطقه، شرایط زمین‌شناسی، رسوب‌شناسی و پیشروی جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور منطقه مطالعاتی بررسی شده است. برای تهیه نقشه‌های مربوط به زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی با استفاده از اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی در محدوده

الکتریکی آب‌های زیرزمینی در حواشی روستای جنت‌آباد از ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر در سال ۱۳۶۶ به ۶ دسی‌زیمنس بر متر در سال ۱۳۷۵، ناشی از اضافه برداشت آبخوان بوده است [۱۷].

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و منطقه‌ای بر منابع آب زیرزمینی محدوده مه‌ولات، به منظور شناخت و برنامه‌ریزی برای مدیریت بهره‌برداری بهینه از منابع آب در این منطقه است. تشدید افت سطح آب زیرزمینی به علت خشکسالی و کاهش میزان بارش و تغییر کیفیت آبخوان به واسطه هجوم آب‌های شور در منطقه پدید آمده است. برای جلوگیری از ادامه این روند نیاز به برنامه‌ریزی در تهیه الگوهای مصرف آب و اجرای مدیریت صحیح بهره‌برداری از منابع آب استحصالی بدون اتکا به اجرای طرح‌های توسعه بهره‌برداری است. متأسفانه تا کنون مدیران اجرایی منابع آب به دنبال دسترسی به منابع آب جدید برای پاسخ‌گویی به متقاضیان بوده‌اند، در صورتی که با برنامه‌ریزی صحیح، اطلاع‌رسانی، مشارکت مردمی و ارائه راه حل‌های مناسب می‌توان نسبت به بهره‌برداری پایدار منابع آب اقدام و پاسخ‌گوی نیازها بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده مطالعاتی

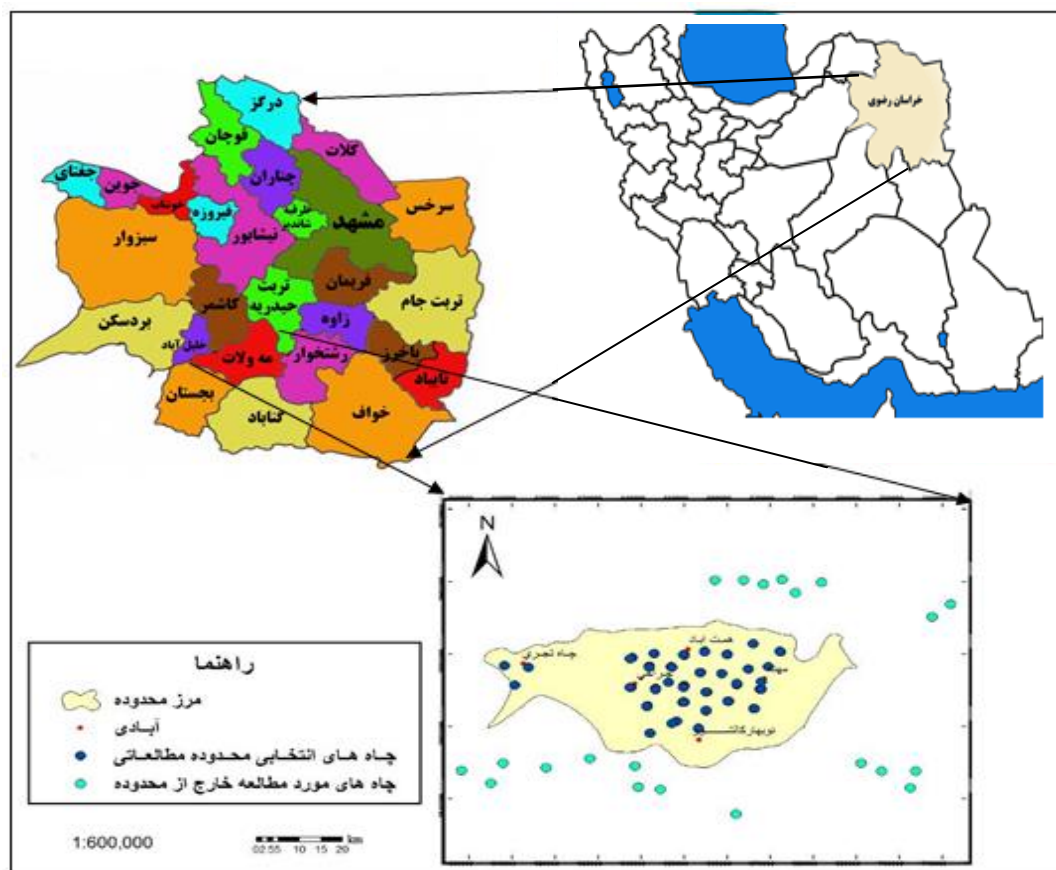
محدوده مه‌ولات در منطقه شمال شرق کشور، تقریباً در مرکز استان خراسان رضوی و مشرف به کویر نمک شهرستان بجستان است. از نظر آب و هوا بخش عمده‌ای از این محدوده در منطقه گرم و خشک با بارندگی کم و تابستان‌های داغ و زمستان‌های خشک و سرد است، با مساحتی حدود ۲۵۶۳ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی ۵۸ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۵ درجه ۸ دقیقه واقع شده است. منطقه مطالعاتی مه‌ولات به‌طور کامل منطبق بر زون ایران مرکزی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی در استان و کشور را نشان می‌دهد.

روش پژوهش

در مرحله اول با توجه به اهداف پژوهش حاضر، اطلاعات آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی مد نظر از بانک اطلاعاتی دفتر منابع آب شرکت آب مطالعات منطقه‌ای استان خراسان

توجه به وجودداشتن ایستگاه هواشناسی در منطقه مطالعه شده، ایستگاه تبخیرسنجی جنت آباد جنگل معرف محدوده مطالعاتی مهولات در نظر گرفته شد. ایستگاه یادشده دوره آماری مناسبی دارد. با استفاده از داده‌های موجود در ایستگاه‌های معرف منطقه مطالعاتی نمودار مربوط به وضعیت بارندگی منطقه مطالعاتی رسم شد و نمودار شاخص بارش استاندارد (SPI) که نشان‌دهنده شدت خشکسالی موجود در منطقه مطالعاتی است، تهیه شد تا تأثیر افزایش یا کاهش بارش و شدت خشکسالی منطقه مطالعاتی بر میزان افت یا بالآمدگی سطح آب زیرزمینی بررسی شود.

مطالعه شده در محیط نرم افزار Arc GIS 9.3 ترسیم شد. به منظور بررسی آبرفت آبخوان در منطقه مطالعاتی مهولات از نظر جنس رسوبات، دانه بندی، ضخامت، سطح آب زیرزمینی و تغییرات لایه‌های آبرفتی پرداخته شده است. این بررسی‌ها براساس نقشه‌های زمین شناسی و نتایج مطالعات ژئوالکتریک و... انجام گرفته است. براساس برش‌های زمین شناسی تهیه شده توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی از آبخوان آبرفتی منطقه مطالعاتی ضخامت آبرفت، نوع و جنس آبرفت، سطح آب زیرزمینی و... تعیین شدند. به منظور بررسی میزان تغییرات بارندگی و شدت خشکسالی نیز طبق مطالعات صورت گرفته توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی با



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده در کشور و استان و همچنین موقعیت چاه‌های بررسی شده

جدول ۱. طبقه بندی افت سطح ایستابی آب زیرزمینی در سال (سانتی متر) (زهتابیان و همکارانش، ۱۳۹۳)

کلاس	افت سطح ایستابی در سال (سانتی متر)	وضعیت
۱	<۲۰	کم
۲	۲۰ - ۳۰	متوسط
۳	۳۰ - ۵۰	شدید
۴	>۵۰	خیلی شدید

آبرفت‌های کوهپایه‌ای نفوذ و آبخوان‌های آبرفتی را تغذیه می‌کند و از ضلع غربی محدوده مطالعاتی به سمت خروجی دشت و مناطق پست و فرورفته که مناطق کویری و مشرف به کویر نمک شهرستان بجستان است، جریان دارد و این بررسی گویای ناهموار بودن سنگ کف و شیب ملایم آن به سمت غرب است.

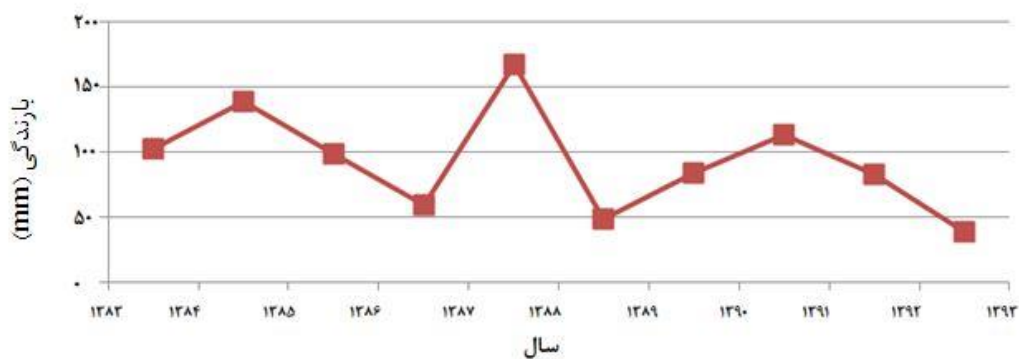
- بررسی میزان تغییرات بارندگی و شدت خشکسالی با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ که به ترتیب وضعیت بارندگی و وضعیت خشکسالی حاکم بر منطقه مطالعه شده را نمایش داده است، مشاهده می‌شود که کاهش بارش و خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته سال‌های اخیر، طی سال‌های بررسی شده در پژوهش حاضر در کاهش سطح آب زیرزمینی تأثیر بسزایی داشته است (شکل ۴).

جدول ۲. طبقه‌بندی متغیر کیفی EC (میکروموس/سانتی‌متر) (زهتاییان و همکارانش، ۱۳۹۳)

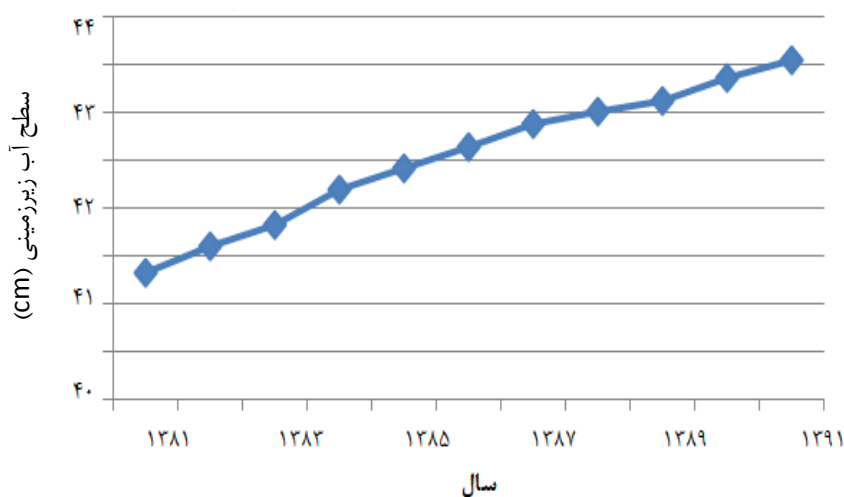
کلاس	وضعیت کمی	وضعیت کیفی
۱	<۷۵۰	کم
۲	۷۵۰-۲۲۵۰	متوسط
۳	۲۲۵۰-۵۰۰۰	شدید

نتایج

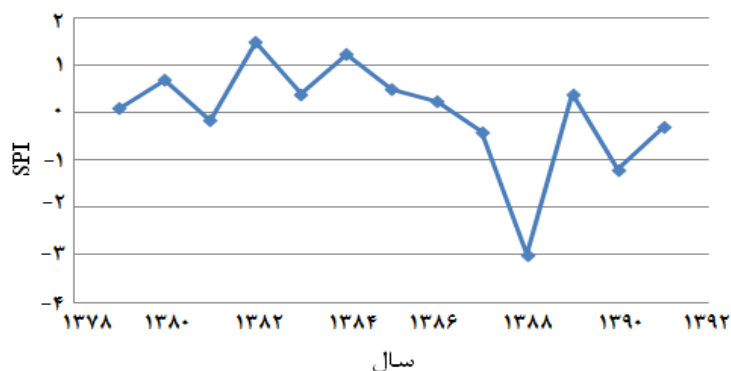
- منابع آب زیرزمینی موجود در منطقه مطالعاتی پس از انجام کلیه موارد مربوط به آنالیز داده‌ها، نتایج حاصل از بررسی منابع موجود آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی بیانگر وجود ذخایر آب زیرزمینی در رسوبات آبرفتی است که سیلاب‌های ورودی به دشت‌های محدوده مطالعاتی از ارتفاعات شمالی در مخروط‌افکنه‌ها و



شکل ۲. تغییرات بارندگی در منطقه مطالعاتی



شکل ۳. تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی



شکل ۴. شاخص خشکسالی منطقه مطالعاتی

غرب و جنوب وجود دارد. حرکت آب شور از طرف کویر بجزستان (کویر نمک) سبب تغییر کیفیت آبخوان شده است، ادامه این اتفاق در آینده علاوه بر افزایش شوری، سبب تخریب اراضی کشاورزی می‌شود و مشکلات زیادی را به وجود می‌آورد. جهت حرکت جبهه‌های آب شور از کویرهای مجاور بجزستان و کالشور نمک به منطقه مطالعاتی در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

افت سطح آب زیرزمینی

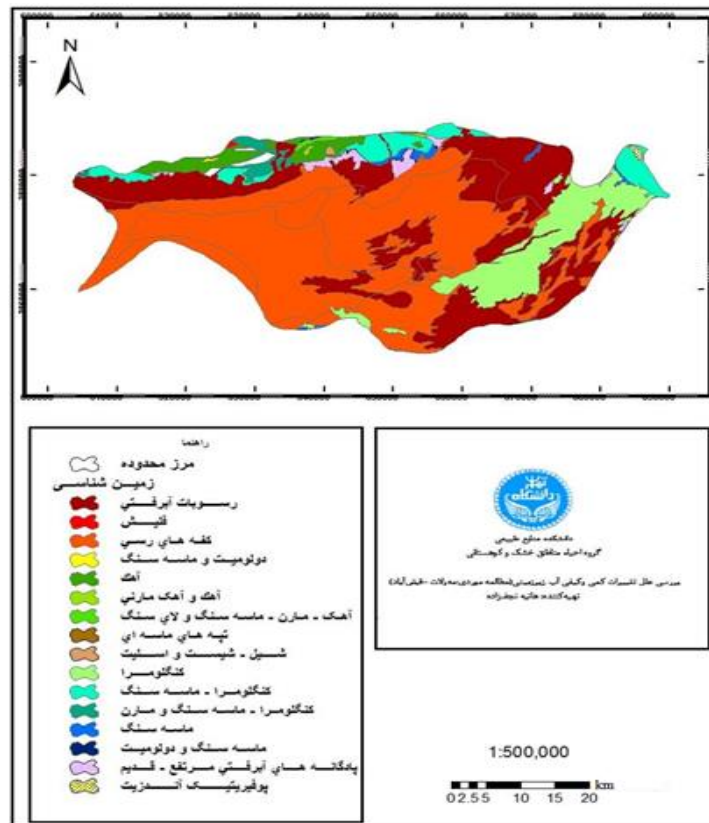
نتایج بررسی نقشه‌های نوسانات سطح آب زیرزمینی (شکل ۷) ابتدا، میانه و انتهای دوره آماری با طبقه‌بندی براساس جدول ۱ بیانگر افت سطح آب زیرزمینی (بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر) در بخش شرق و شمال شرق که ورودی جریان‌های سطحی از دشت ازغند به محدوده مطالعاتی است بوده و به تدریج به سمت خروجی دشت و مناطق پست و فرورفته که مناطق کویری و مشرف به کویر نمک شهرستان بجزستان است افت سطح آب زیرزمینی رو به کاهش (کمتر از ۲۰ سانتی متر) است. در مجموع شاهد افت آب زیرزمینی به‌ویژه در بخش مرکزی محدوده مطالعاتی هستیم که احتمالاً به دلیل برداشت بی‌رویه آب در این ناحیه بوده است. با مقایسه نقشه‌های نوسانات سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای دوره آماری به این نتیجه می‌رسیم که روند افت شدید سطح آب زیرزمینی در سطح منطقه مطالعاتی چشمگیر است، به طوری که متوسط سطح آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۰ از ۷۵/۶۰ به ۹۰/۵۴ سانتی‌متر در سال ۱۳۹۱ (۱۴/۹۴) سانتی‌متر افت متوسط سالانه و ۱/۷۹ متر میانگین افت دوره آماری) تنزل یافته است. جدول ۳ افت درازمدت برخی چاه‌های موجود در منطقه مطالعاتی از زمان حفر این چاه‌های شاهد تا انتهای دوره آماری مطالعه‌شده ما را نشان می‌دهد.

زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی

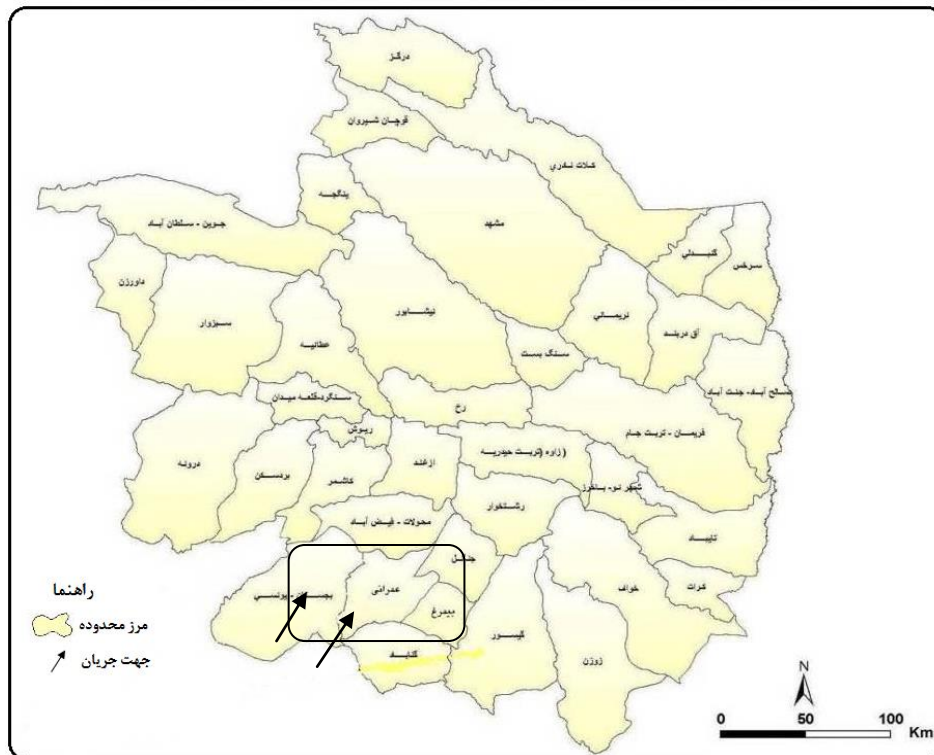
از مهم‌ترین عوامل محیطی که بیشترین تأثیر را بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه دارد، می‌توان به زمین‌شناسی منطقه اشاره کرد. در رابطه با زمین‌شناسی منطقه پهنه‌های رسی با بافت ریزدانه بیشترین پراکنش در منطقه را دارد. شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی در منطقه مطالعاتی مهولات را نشان می‌دهد. سنگ کف در این محدوده حالت چین‌خوردگی دارد و پستی و بلندی‌هایی در جهت شمال شرق، جنوب غرب در آن وجود دارد. آبرفت در شمال دشت به سبب وجود مخروط‌افکنه‌های متعدد نسبتاً دانه‌درشت است و از ریگ، شن، ماسه و سیلت با کمی رس تشکیل شده است که به طرف جنوب غرب و غرب از قطر دانه‌ها کاسته می‌شود و درصد رس و سیلت آن افزایش می‌یابد. سنگ بستر آبخوان در جنوب، چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری در شمال از رخساره‌های ماری-رسی نفوذن تشکیل شده است.

جبهه‌های آب شور

در سفره‌های آب زیرزمینی که در حاشیه کویر، در کنار سازندهای شورکننده (گچ و نمک) حاوی آب شور قرار دارند، احتمال افزایش شوری منابع آب و پیش‌روی جبهه‌های آب شور بر اثر تغییر تعادل هیدرولیکی با توجه به پتانسیل آن‌ها وجود دارد. جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی بر اساس نقشه‌های موجود از تصاویر ماهواره‌ای از شمال شرق دشت (محل ورودی کال خوش‌دره، قلعه‌جوق و ازغند و تجرود) که محل تغذیه سفره آب زیرزمینی مهولات به سمت مرکز دشت است که اکنون، از سمت غرب جهت جریان به سمت مرکز دشت از داخل کویر (جبهه آب شور) نیز افزوده شده است. در محدوده مهولات به‌واسطه مجاورت با کالشور نمک و بخش کویری خطر پیش‌روی جبهه آب شور از سمت



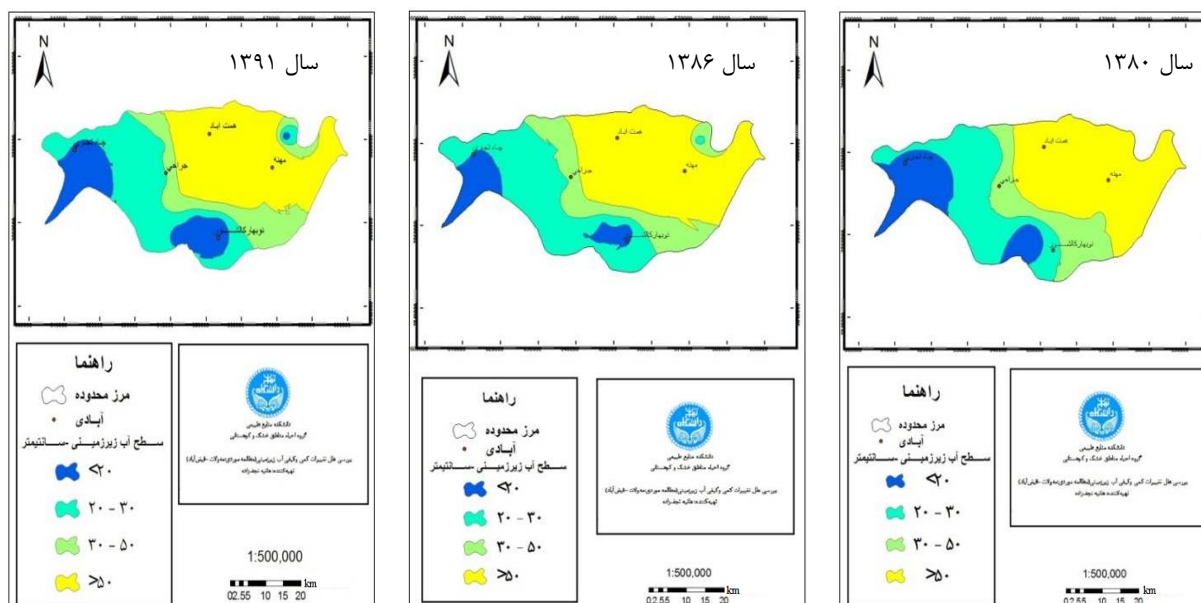
شکل ۵. زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی



شکل ۶. جهت حرکت جبهه‌های آب شور به منطقه مطالعاتی

جدول ۳. افت درازمدت برخی چاه‌های شاهد

ردیف	نام محل	تاریخ حفر	سطح آب در زمان حفر (متر)	سطح آب سال ۱۳۹۱ (متر)	افت سطح آب (متر)
۱	مهنه	۱۳۵۵	۷۵	۹۲	۱۷
۲	عبدل‌آباد	۱۳۵۵	۱۳۵	۱۸۱	۴۶
۳	فیض‌آباد	۱۳۶۴	۶۷	۱۰۷	۳۰
۴	احمدآباد	۱۳۶۴	۶۷	۱۰۰	۴۳
۵	جنت‌آباد	۱۳۶۷	۵۰	۶۴	۱۶
۶	فتح‌آباد	۱۳۷۲	۳۳	۴۵/۷	۱۲/۷۰
۷	برجک	۱۳۷۲	۲۳	۴۲/۵	۱۹/۵



شکل ۷. پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی

سمت نواحی جنوبی می‌رود و در سال ۱۳۹۰ کل محدوده غرب، شمال غرب و جنوبی بیشترین هدایت الکتریکی را دارد. روند تغییرات در شکل ۸ مشاهده می‌شود.

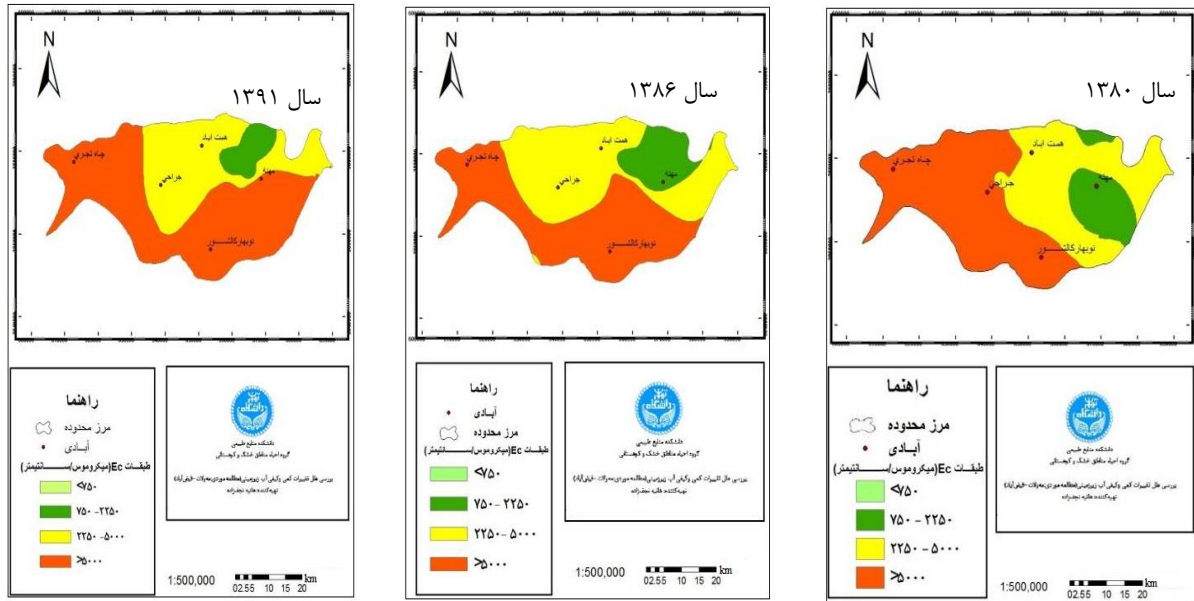
نقشه‌های کل جامدات محلول

بررسی نقشه‌های مربوط به متغیر TDS در شکل ۹ نشان می‌دهد، که این متغیر در ابتدای دوره آماری در بخش‌های غربی منطقه مطالعاتی بیشترین مقدار بوده است (۳ تا ۱۰ هزار میلی‌گرم بر لیتر) و سیر صعودی آن در نیمه دوره آماری سال ۱۳۸۶ به سمت جنوب منطقه بوده است و به‌مرور در انتهای دوره آماری کل منطقه مطالعاتی جز بخش کوچکی از شمال شرقی که ورودی جریان‌ها به مهولات است، میزان TDS به بیشترین سطح رسیده است. مقدار املاح محلول در آب از ۳۹۰ تا ۸۴۷۰ میلی‌گرم در لیتر متفاوت است.

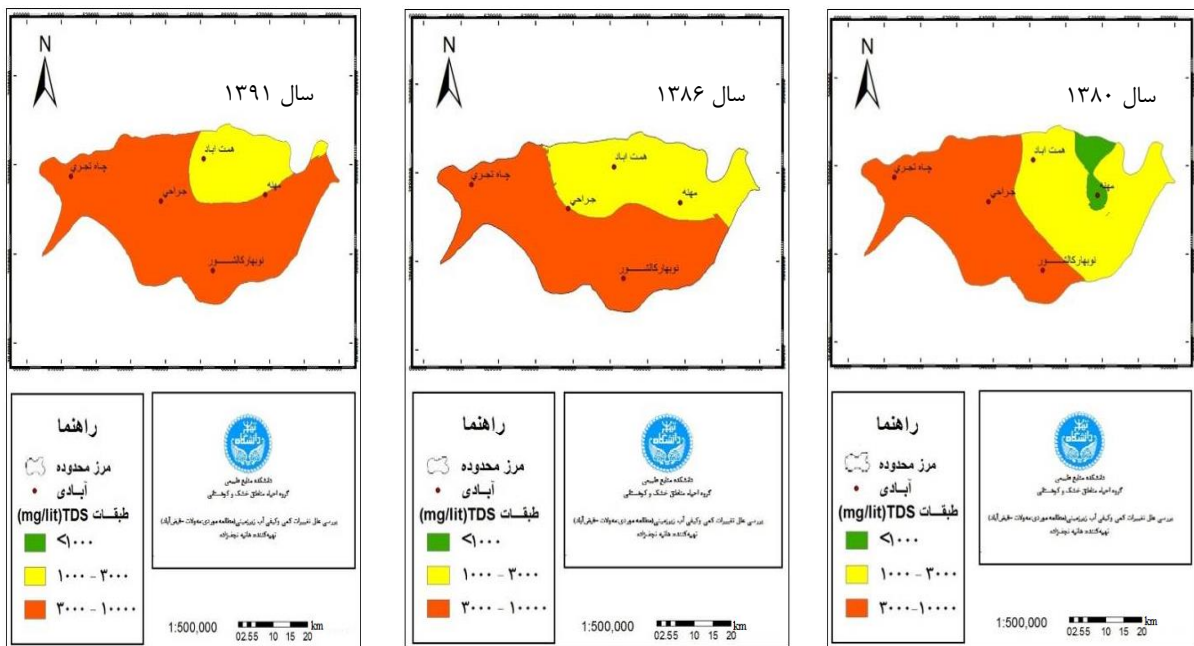
وضعیت کیفی آب زیرزمینی و عوامل تأثیرگذار در آن
ارزیابی‌های انجام‌یافته گویای کیفیت خوب منابع آب زیرزمینی در حاشیه ارتفاعات و اغلب مخروط‌افکنه‌ها است که به‌تدریج به سمت انتهای دشت در جهت جریان آب زیرزمینی مقدار املاح محلول در آب افزایش یافته به‌طوری‌که در برخی از محدوده‌ها وضعیت نامطلوبی برای بهره‌برداری دارد. این تغییرات ارتباط مستقیم با کیفیت منابع آب تغذیه‌کننده، سازندهای زمین‌شناسی، جنس لایه‌های آبرفتی و میزان بهره‌برداری دارد. در زیر وضعیت کیفی منابع آب منطقه مطالعاتی با بررسی نقشه‌های تهیه‌شده ارزیابی شده است.

بررسی نقشه‌های هدایت الکتریکی

طی دوره آماری میزان هدایت الکتریکی در قسمت‌های شمال غربی کاهش پیدا می‌کند و سیر افزایش EC به



شکل ۸. پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در منطقه مطالعاتی



شکل ۹. پهنه‌بندی کل جامدات محلول در منطقه مطالعاتی

بحث و نتیجه‌گیری

کیفیت آب زیرزمینی در جنوب فیض‌آباد و مهنه به‌واسطه سنگ کف مارنی شور و گچ‌دار میوسن (با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی) نامناسب است و املاح محلول در آب در نواحی که سنگ کف از سازندهای مارنی و رسی نتوژن تشکیل شده افزایش یافته است، ولی در سمت شمال و شمال شرق دشت به‌واسطه نفوذ جریان‌های سطحی

از محدوده ازغند کیفیت مناسبی دارند. در انتهای محدوده مهورات به‌واسطه پیش‌روی آب‌های شور از سمت کویر و ریزدانه بودن لایه‌های آبرفتی کیفیت آب نامطلوب است. پیشرفت پهنه‌ها یا کفه‌های رسی یا گلی (دق) در محدوده مهورات جریان‌های سیلابی انتقال‌یافته از طریق مسیل‌ها و کال‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و کیفیت آن‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی این پهنه‌ها سبب کاهش نفوذ و تغذیه از

سطح آب زیرزمینی در مرکز دشت و پیشروی جبهه آب شور کویری است.

بررسی تأثیر اقلیم و خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد عامل اصلی محدودیت بهره‌برداری از منابع آبی منطقه کمبود نزولات جوئی است. منبع اصلی تأمین نیاز آبی در مناطق خشک ذخایر آب زیرزمینی است، بهره‌برداری غیراصولی از این منابع و افت سطح آب زیرزمینی نیز از عوامل محدودیت بهره‌برداری در منطقه است و البته کاهش میانگین بارش و خشکسالی‌های اخیر در منطقه مطالعاتی نیز مزید بر علت است که در درجه اول سبب کاهش جریان آب‌های سطحی و سپس هجوم انسان به بهره‌برداری از آب زیرزمینی می‌شود. این مهم با یافته‌های اسلامیان با بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی، تأثیرات آن را بر تغییرات منابع آب حوضه آبریز دشت بوئین‌زهره بررسی کردند و نتایج پژوهش ایشان نشان داد که بین وقوع ریزش‌های جوئی و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی منطقه ارتباط معناداری وجود دارد [۲] و همچنین نادریان‌فر که با بررسی روند تغییرات متغیرهای کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی در شرایط اقلیمی مختلف در دشت نیشابور با بررسی آمار پیژومترهای منطقه مقدار متوسط بارندگی و تبخیر و تعرق در دشت مطالعه‌شده را محاسبه کرد و نتایج حاصله نشان داد که شیب سطح آب زیرزمینی دشت و پیژومترهای منتخب روند منفی دارد و نتایج همبستگی بین متغیرهای کیفی متوسط دشت و SPI نشان داد که خشکسالی از عوامل کاهش کیفیت آب زیرزمینی در منطقه است، ولی به‌تنهایی عامل بحران نیست بلکه در کنار آن افت سطح آب زیرزمینی سبب بدتر شدن کیفیت آب شده است [۱۶]. نتایج تحقیقات شامید و هازاریکا [۲۵]، پاندا [۲۳]، خان [۲۱]، ویلهولس [۲۶] نیز با نتایج حاصل از این تحقیق در منطقه مهولات مطابقت دارد.

با بررسی تأثیر پیشروی جبهه‌های آب شور بر منابع آب زیرزمینی این نتایج به دست آمد که اضافه برداشت از آبخوان توسط چاه‌ها سبب افت سطح آب زیرزمینی در بخش وسیعی از سفره آب زیرزمینی و کاهش ذخایر استاتیکی شده است. تغییر تعادل هیدرولیکی آبخوان بر اثر افت سطح آب سبب تغییر جهت حرکت آب زیرزمینی شده، در نتیجه جبهه آب شور از سمت غرب و جنوب به محدوده بهره‌برداری به‌تدریج نزدیک‌تر شده است و هجوم جبهه آب شور سبب افزایش

سطح سفره آب زیرزمینی می‌شود. از نظر کیفی با توجه به دانه‌ریز بودن رسوبات و وجود املاح فراوان و رسوبات تبخیری در این پهنه‌ها بی‌شک آثار منفی بر منابع آب زیرزمینی و سطحی تحت تأثیر خود دارند. پژوهشگران در تحقیقی به ارزیابی نقش عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های کشاورزی در تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رومشگان پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که غلظت یون‌های کلر و سولفات در آب زیرزمینی موجود در منطقه متأثر از سازند گچساران بسیار بیشتر بوده است [۶]. با بررسی هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی منطقه مهولات نتیجه‌گیری می‌شود که طی دوره حداقل هدایت الکتریکی در شمال شرق بوده است و به سمت جنوب افزایش می‌یابد این مسئله گویای تغذیه آبخوان از طرف شمال شرق توسط سیلاب رودخانه‌های کال‌بایگ، خوش‌دره و ازغند است. افزایش هدایت الکتریکی در جنوب دشت به‌واسطه گسترش عناصر دانه‌ریز رسی و کاهش سرعت جریان آب زیرزمینی است. این مهم با یافته‌های گرمی با هدف بررسی تغییرات شوری منابع آب زیرزمینی در دشت سراب که در آن تغییرات شاخص هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی منطقه مطالعه‌شده در دهه گذشته، کاهش میزان آب‌های با شوری خیلی کم و افزایش مقدار آب‌های با شوری کم را نشان می‌دهد [۱۴]. که همگی در نتیجه وقوع خشکسالی‌های ممتد و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی است. همچنین تولایی‌نژاد نیز در بررسی خود با عنوان «ارزیابی بیلان کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اندیمشک» ضمن تهیه نقشه متغیرهای کیفی منطقه بیان داشت که کمترین میزان هدایت الکتریکی و یون کلر در قسمت شمال، شمال شرق و شمال غرب (مناطق تغذیه) و بیشترین آن در بخش مرکزی (شهرستان اندیمشک) و جنوب دشت است و بین تغییر متغیرهای کیفی و کمی آبخوان رابطه مستقیمی وجود دارد [۵].

بررسی نقشه‌های مربوطه گویای افزایش مواد محلول در آب به طرف غرب و جنوب در جهت جریان آب زیرزمینی و جبهه آب شور واقع در انتهای دشت است. کیفیت بهتر آب در شمال شرق به‌واسطه تغذیه و نفوذ سیلاب‌های ورودی به دشت است. مقایسه نقشه‌های ترسیمی در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ (ابتدا و انتهای دوره آماری) بیانگر افزایش مواد محلول در آب به‌واسطه توسعه بهره‌برداری و افزایش افت

آن‌ها می‌توان مانع هجوم آب‌های شور شد و یا با بهره‌برداری از جبهه آب شور در صورت مناسب بودن کیفیت آب برای گیاهان شورپسند، پرورش آبیان آب شور اقدام کرد و همچنین در این راستا باید ضمن معرفی الگوی کشت مناسب و سازگار با اقلیم منطقه، افزایش بازده آبیاری با تشویق زارعان، ارائه امکانات مناسب و آموزش لازم در زمینه توسعه کشت محصولات کم‌آبر از طرف سازمان جهاد کشاورزی نسبت به مشخص کردن ارزش واقعی آب اقدامات لازم صورت گیرد.

منابع

- [۱]. آباده، محمود؛ اونق، مجید؛ مساعدی، ابولفضل. ۱۳۸۵. «بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی منطقه زیدآباد سیرجان». *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۳ (۲).
- [۲]. اسلامیان، سید سعید؛ ناصری، محمد. ۱۳۸۸. «بررسی دوره‌های ترسالی و خشکسالی و اثرات آن بر تغییرات منابع آب حوضه آبخیز دشت بوئین‌زهرآ». *مجله علوم جغرافیایی و محیط زیست*. (۳۳): ۲۵-۳۰.
- [۳]. ارجمندی، رضا. ۱۳۷۸. «تعیین عوامل مؤثر در شورشدن خاک‌های دشت گرمسار». پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ص ۹۳.
- [۴]. اکرامی، محمد؛ شریفی، ذبیح‌اله؛ ملکی‌نژاد، حسین. ۱۳۹۰. «بررسی روند تغییرات کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی دشت یزد- اردکان در دهه ۱۳۷۹-۱۳۸۸». *فصلنامه دانشکده بهداشت یزد*. ۱۰ (۲): ۸۲-۹۱.
- [۵]. تولایی‌نژاد، محمود؛ میری، علی؛ پورزنگنه، مهدی؛ کاظمی، رضا. ۱۳۸۵. «ارزیابی بیلان کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت اندیمشک». اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. صص ۱۸۱۸-۱۸۱۰.
- [۶]. رستمی زرین‌آبادی، امیر؛ کرمی، غلامرضا. ۱۳۹۰. «ارزیابی نقش عوامل زمین‌شناسی و فعالیت‌های کشاورزی در تعیین کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت رومشگان، ایران».
- [۷]. زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ مسعودی، ریحانه.

شوری آبخوان شده است که این مهم با یافته‌های شاهی‌دشت در پژوهش خود با عنوان «ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت زرد» مطابقت دارد [۱۱] و طبق یافته‌های آباده و همکارانش در تحقیق خود با عنوان «بررسی اثر افت سطح ایستابی در شوری آب زیرزمینی منطقه زیدآباد سیرجان» با بررسی داده‌های ۲۹ چاه پیژومتری و ۲۰ چاه مشاهده‌ای در یک دوره ۱۰ ساله بیان داشتند که بین افت سطح ایستابی و شوری آب زیرزمینی در منطقه همبستگی معنادار زیادی وجود دارد [۱]. همچنین با یافته‌های ارجمندی در تحقیق خود، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص کرد مهم‌ترین عامل تشدید پیشرفت بیابان تبدیل نواحی جنوبی منطقه مطالعاتی به زمین‌های کشاورزی است که بر اثر این کار حجم سفره آب شیرین بر اثر افزایش میزان پمپاژ به شدت کاهش یافته و با منفی شدن شیب هیدرولیکی سطح سفره، آب شور به داخل سفره آب شیرین نفوذ پیدا کرده است و در نتیجه آب چاه‌ها در برخی نقاط دارای EC بیشتر از ۶ هزار میکروموس بر سانتی‌متر شده است، مطابقت دارد [۳].

بررسی‌های انجام‌شده در منطقه نشان می‌دهد که به‌رغم اعلام ممنوعیت توسعه بهره‌برداری از ذخایر آب زیرزمینی، در دهه ۱۳۶۰ بهره‌برداری و تعداد چاه‌های حفرشده از راه‌های مختلف همچون افزایش اراضی باغی (به‌خصوص پسته‌کاری) در منطقه مطالعاتی زیاد شده و افت سطح آب به شدت افزایش یافته است. آبخوان محدوده مهورات به‌واسطه اضافه برداشت و کاهش میزان بارش (خشکسالی‌های اخیر) با خطر هجوم آب‌های شور مواجه شده است که در صورت ادامه این روند و انجام‌ندادن اقدامات جدی و عملی برای کاهش برداشت‌های بی‌رویه و به تعادل رساندن سفره آب زیرزمینی، در آینده‌ای نه‌چندان دور علاوه بر ایجاد و تشدید تأثیرات نامطلوب زیست‌محیطی، شاهد آسیب شدید به کشاورزی منطقه و احتمالاً وقوع ناامنی‌های اقتصادی و اجتماعی در منطقه خواهند بود. به‌طور کلی، با تغییر کیفیت سفره آب زیرزمینی در محدوده مهورات، کسری آب شرب در آینده باید از محدوده ازغند به‌رغم بیلان منفی آبخوان آن تأمین شود. در این راستا پیشنهاد می‌شود در محدوده مطالعاتی با کاهش بهره‌برداری به‌منظور جلوگیری از افت مستمر سطح آب زیرزمینی و همچنین احداث سدهای زیرزمینی با جلوگیری از خروج زه‌آب‌های زیرزمینی به نواحی کویری و جلوگیری از شورشدن

[۱۷]. ولایتی، سعداله. ۱۳۸۱. «تأثیر برداشت آب از چاه‌ها در شورشدن آبخوان دشت جنگل (ترتبت حیدریه)». فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۷: ۹۱-۱۰۶.

[۱۸]. یاسمنی، سمانه. ۱۳۹۱. «بررسی اثرات خشکسالی و برداشت بر منابع آب زیرزمینی دشت تربت جام-فریمان». پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی. دانشکده علوم (هیدروژئولوژی).

[19]. Dent, D., 2007, Environment Geophysics Mapping Salinity and Water Resources, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 9, 130-136.

[20]. Hsu, K.C., Wang, C.H., Chen, K.C., Chen, C.T., and Ma, K.W. 2007. Climate induced hydrological impacts on the groundwater system of the Pingtung Plain, Taiwan. Hydrogeol. J. 5: 903-913.

[21]. Khan, S., Gabriel, H.F., Rana, T. 2002. "Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on water tables in irrigation areas", Irrigation Drainage System 22, 153-122.

[22]. Lee J.J, Jang C.H, Wang S.W. and Liu, C.W. 2007. Evaluation of potential health risk of arsenic-affected ground water using indicator kriging and does response model. Science of the Total Environment, 384(1-3):151-62.

[23]. Panda D.K, Mishra A., Jena S. K., James B.K., Kumar A., 2002. "The Influence of Drought and Anthropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, India, Journal of Hydrology, Vol. 343, 140-153.

[24]. Pulido Bosch, A.F., Sanchez Martos, J., Martinez, V., and Naavarrete, F. 1992. Groundwater problem in a Semiarid Area. Environ. Geol. Water Sci. 20(3) p: 195-204.

[25]. Shahid, Sh., and M. K. Hazarika. 2010. Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. Water Resour. Manage. 24(10): 1989-2006.

[26]. Villholth K.G., Tøttrup C., Stendel M., Maherry A., 2013. "Integrated mapping of groundwater drought risk in the Southern African Development Community (SADC) region", Hydrogeology Journal, 21(4): 863-885 DOI 10.1002/s10040-013-0362-1.

۱۳۹۳. مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی (معیارها و شاخص‌ها). انتشارات دانشگاه تهران. ۲۵۷ص.

[۸]. زهتابیان، غلامرضا؛ جانفزا، عنایت‌الله؛ عسگری، محمدحسین؛ نعمت‌الهی، محمدجواد. ۱۳۸۹. «مدلسازی تغییرات مکانی برخی متغیرهای کمی و کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت گرمسار)». مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۷: ۶۱-۷۳.

[۹]. زهتابیان، غلامرضا. ۱۳۸۳. «بررسی آب زیرزمینی دشت ورامین جهت استفاده از آبیاری اراضی کشاورزی»، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۸: ۹۱-۱۰۲.

[۱۰]. زهتابیان، غلامرضا؛ سرابیان، لیلی. ۱۳۸۳. بررسی علل شورشدن آب و خاک در دشت گنبد-آلاگل، بیابان، جلد ۹ (۲): ۱۶۹-۱۸۱.

[۱۱]. شاهی دشت، علیرضا؛ عباس‌نژاد، احمد. ۱۳۸۹. «ارزیابی اثرات زیست‌محیطی افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت زرد و ارائه راهکارهای مدیریتی»، مجله پژوهش آب ایران، ۴ (۷): ۱۱۹-۱۲۴.

[۱۲]. شکبیا، علیرضا؛ میرباقری، بابک؛ خیری، افسانه. ۱۳۸۹. «تجزیه و تحلیل خشکسالی با شاخص SPI و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق کرمانشاه». مجله جغرافیا. شماره ۲۵: ۱۰۵-۱۲۴.

[۱۳]. عزیز، قاسم. ۱۳۸۲. «ارتباط خشکسالی‌های اخیر و منابع آب زیرزمینی در دشت قزوین»، مجله پژوهشی جغرافیایی، ۴۶: ۱۳۱-۱۴۳.

[۱۴]. کرمی، فریبا. ۱۳۹۰، «بررسی تغییرات شوری منابع آب زیرزمینی در دشت سراب»، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶ (۳۸): ۱۰۱-۱۲۲.

[۱۵]. مهدوی، محمد. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.

[۱۶]. نادریان فر، محمد. ۱۳۸۹. «بررسی روند تغییرات متغیرهای کمی و کیفی آب زیرزمینی تحت شرایط اقلیمی مختلف». پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی. دانشکده کشاورزی (گروه مهندسی آب).