

بررسی وضعیت آب زیرزمینی دشت میناب با استفاده از مدل‌های کمی و کیفی MODFLOW و MT3DMS

زهرا مرتضوی^۱، مرضیه محسنی^{۲*}

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

DOI: 10.22103/nrswe.2023.21242.1035

چکیده

منابع آب زیرزمینی به عنوان دومین منبع آب شیرین موجود در جهان بعد از یخچال‌ها به شمار می‌آیند. کمبود آب و عدم اتخاذ مدیریت صحیح منابع آب، باعث ایجاد خشکسالی و در نتیجه بحران‌های آبی شدید در نقاط مختلف جهان و کشور ایران شده است. اضافه برداشت از مخازن آب زیرزمینی آبخوان میناب موجب شده که میزان تغذیه ورودی به آبخوان جوابگوی میزان برداشت نباشد و در نتیجه سطح آب زیرزمینی آبخوان افت کند. یکی از اهداف مطالعات هیدروژئولوژی، پیش‌بینی رفتار جریان آب زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی می‌باشد. لذا در پژوهش حاضر، مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان میناب با استفاده از نرم‌افزار GMS 7.1 انجام شد. مدل‌سازی کمی جریان آب زیرزمینی در حالت ماندگار برای مهر ۱۳۸۱ و در حالت غیرماندگار برای سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ در قالب کد MODFLOW اجرا شد. با انجام فرایند واسنجی، مقدار RMSE برای محاسبه سطح آب-زیرزمینی در مدل ماندگار و غیرماندگار، به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۲۵ متر برآورد گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، میزان افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی آبخوان پس از یک سال برداشت، حدود ۰/۰۲ متر بدست آمد. مدل کیفی جریان آب زیرزمینی به منظور برآورد تغییرات TDS با استفاده از کد MT3DMS برای دوره یک ساله و براساس نتایج بدست آمده از مدل کمی اجرا گردید. پس از اجرا و واسنجی مدل کیفی، مقدار RMSE و MAE در برآورد TDS، به ترتیب، ۴/۳۴۵ ppm و ۲/۳۵۷ ppm بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان داد که TDS در طول دوره مدل‌سازی روندی افزایشی داشته است.

واژگان کلیدی: تراز سطح آب زیرزمینی، ضریب انتشار، کل جامدات محلول (TDS)، هدایت هیدرولیکی.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد سابق آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران.

^{۲*} - نویسنده مسئول و استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران.

مقدمه

آب یکی از ارکان توسعه پایدار و حفظ محیط زیست هر کشور محسوب می‌گردد. کشور ایران در قسمت خشک کره زمین واقع شده است. میانگین بارش سالانه در ایران از یک سوم میانگین بارش در جهان کمتر است. قسمت قابل توجهی از آب مورد نیاز مردم در بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت در اقصی نقاط کشور به ویژه نواحی شرقی، جنوبی و مرکزی از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد. علاوه بر این مساحت زیادی از کشور را دریاچه‌های شور، حوضه‌های ساحلی و مناطق حاشیه کویر با آب و خاک شور تشکیل می‌دهد (Jafarlu 2016). جمعیت بالای ساکن در سواحل و حاشیه این مناطق باعث تخلیه بیشتر آب‌های زیرزمینی شده که این امر موجب حرکت آب شور به سمت آبخوان‌های ساحلی و بالا رفتن شوری آب‌های زیرزمینی خواهد شد. لذا با توجه به افزایش روزافزون نیاز به آب و کمبود منابع آب موجود، حفاظت و نگهداری منابع آب زیرزمینی به امری ضروری تبدیل شده است. اولین گام در جهت مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی اطلاع از نحوه تغییرات تراز و حرکت جریان آب زیرزمینی است که به این منظور می‌توان از مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی بهره برد.

یکی از پرکاربردترین مدل‌ها جهت مدل‌سازی آب زیرزمینی مدل MODFLOW می‌باشد. مطالعات مختلفی با استفاده از این مدل انجام شده است. (Sherif et al. 1990) معادله انتقال-انتشار را با روش اجزا محدود حل و تغییرات تراز مشاهداتی در اثر برداشت بی‌رویه در آبخوان مادر اس را بررسی نمودند. در این مطالعه از نتایج بدست آمده از مطالعه (Kawatani 1980) در آبخوان مادر اس، استفاده شد.

(Alberti et al. 2012) از کدهای MODFLOW و MT3DMS برای شبیه‌سازی تبادل حرارت در سفره‌های زیرزمینی استفاده کردند.

(Qabadian and Bahrami 2017) به بررسی تاثیر سناریوهای کمی و کیفی مختلف در آبخوان دشت خزل در استان همدان با استفاده از مدل‌های MODFLOW و MT3DMS پرداختند. در این مطالعه نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت خزل، با کد MODFLOW در دو حالت

جریان ماندگار (مهر ۱۳۸۸) و غیرماندگار (آبان ۱۳۸۸ تا مرداد ۱۳۸۹) مدل‌سازی شد. در ادامه مدل‌سازی کیفی آبخوان به منظور شبیه‌سازی غلظت کل جامدات محلول^۳ (TDS)، برای همان دوره انجام شد. در این مطالعه انتشار آلودگی توسط چاه‌های فاضلاب به عنوان یک سناریو ارزیابی گردید. نتایج نشان داد شعاع تاثیر چاه‌های فاضلاب در نقاط مختلف حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر می‌باشد.

(Azizi et al. 2019) جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان را با استفاده از نرم افزار GMS 10.1.4 شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه پارامترهای هیدرولیکی آبخوان به کمک روش‌های مختلف از جمله بررسی‌های زمین‌شناسی، روش‌های توموگرافی، هیدروژئوشیمیایی برآورد و مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی با بررسی رژیم جریان و شبیه‌سازی مدل مفهومی آبخوان، انجام گردید. سپس با استفاده از کد عددی MT3DMS شبیه‌سازی توزیع شوری و غلظت املاح انجام شد. در این مطالعه یون کلر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده تطابق نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی بود و بنابراین مدل توانست رفتار سیستم واقعی را به خوبی توصیف کند. علاوه بر این مشخص گردید که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سطح ایستابی، نفوذ آب شور در قسمت شمال غربی دشت را تسریع و در نتیجه موجب افت کمی و کیفی در این بخش از آبخوان می‌گردد.

(Nakhaei et al. 2019) به مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات غلظت TDS در آبخوان ورامین با استفاده از نرم افزار GMS پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که اگر وضعیت بهره‌برداری و همچنین ورود فاضلاب به مناطق غربی و جنوب غربی آبخوان به همین صورت ادامه داشته باشد در انتهای بازه پیش‌بینی، غلظت حتی به ۷۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز خواهد رسید و وضعیت نامناسبی برای استفاده از آب‌های این مناطق جهت مصارف شرب و کشاورزی به وجود خواهد آمد.

مطالعه (Lyazidi et al. 2020) با هدف کنترل سطح آب زیرزمینی سفره ساحلی Gareb-Bouareg در مراکش، به منظور بازگرداندن سطح آب به حد ایمن انجام شد. در این

^۳-Total dissolved solids

از مدل MODFLOW مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی انجام شده جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در شهر Urgench در جهت شمال غربی با شیب $0/0008$ تغییر می‌کند.

(Ranjbar and Pirzadeh 2022) به بررسی وضعیت کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت هنگام با استفاده از نرم-افزارهای MODFLOW و MT3DMS در دو حالت ماندگار و غیرماندگار پرداختند. در حالت غیرماندگار مدل کمی برای ۵ سال (مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۸۹) و مدل کیفی برای ۳ سال (مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۱) صحت سنجی شد. نتایج نشان داد که با ادامه وضع موجود، افتادگی سطح آب زیرزمینی با یک روند غیرخطی اتفاق خواهد افتاد. همچنین تغییرات کل جامدات محلول در طول دوره شبیه‌سازی به عنوان عامل اصلی در بررسی کیفیت منابع آب، مدل‌سازی و با خطای 120 ppm نسبت به داده‌های مشاهده‌ای واسنجی گردید. نتایج نشان داد مقدار کل جامدات محلول از مرزهای ورود آب افزایش پیدا کرده و در مرکز دشت، از روستای باغنو تا جنوب آبخوان در حال افزایش و گسترش می‌باشد. علت این امر احتمالاً به ساختار و نوع سازند سفره و چاه‌های جذبی و همچنین به کاربری اراضی متراکم کشاورزی باز می‌گردد.

از آنجا که در دشت میناب به عنوان یک آبخوان ساحلی، امکان هجوم آب شور به سمت آب شیرین وجود دارد ضروری است که مدل‌سازی کمی و کیفی به منظور مدیریت برداشت آب از چاه‌ها انجام شود. تاکنون مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی کیفی آب زیرزمینی دشت میناب انجام نشده است. لذا با توجه به اهمیت بالای چنین مدل‌سازی و همچنین توانایی بالای مدل MODFLOW و MT3DMS در شبیه‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی، در مطالعه حاضر از این مدل‌ها جهت شبیه‌سازی آب زیرزمینی آبخوان ساحلی میناب بهره گرفته شد. علاوه بر این در این مطالعه با تعریف چند سناریو، تاثیر کاهش و افزایش برداشت از چاه‌ها بر تراز و کیفیت آب زیرزمینی آبخوان میناب بررسی گردید.

مطالعه با استفاده از مدل MODFLOW واسنجی و اعتبارسنجی شده، سناریوهای مختلف با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف بهره‌برداری بر روی سطح آب در آبخوان Gareb-Bouareg اعمال گردید. در این مطالعه با اعمال سناریوی واقع‌بینانه، پمپاژ 300 لیتر بر ثانیه بر روی 10 حلقه چاه با دبی 30 لیتر بر ثانیه، کاهش سطح پیزومتريک به میزان $5/42$ متر در مساحت 14 کیلومتر مربع اتفاق افتاد و پیشنهاد شد که با شیوه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب یا با اعمال اقدامات اصلاحی برای افزایش راندمان مصرف آب، می‌توان وضعیت آبخوان را بهبود بخشید.

(Taherian et al. 2021) مدل‌سازی جریان و تغییرات کیفی (شوری) جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت نیشابور را با استفاده از نرم‌افزار GMS و کدهای MODFLOW و MT3DMS مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه به منظور ارزیابی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت نیشابور، اثر سناریوهای ادامه روند کنونی و شرایط 40 درصد کاهش برداشت از آبخوان تا سال 1404 بررسی شد. مدل کمی جریان آب زیرزمینی در شرایط غیرماندگار برای دوره 10 ساله مهرماه 1380 تا شهریورماه 1390 و برای یک دوره 4 ساله صحت‌سنجی شد. پارامتر شوری نیز برای یک دوره 14 ساله شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که تحت سناریوی ادامه روند کنونی تا افق 1404 ، هیدروگراف معرف آبخوان برای کل دشت، افت $0/79$ متر در سال را موجب می‌شود و شوری آب زیرزمینی به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. اعمال سناریوی دوم یعنی کاهش برداشت از آبخوان، نشان داد با اینکه میانگین سطح آب در آبخوان افت نمی‌کند، اما شوری آب زیرزمینی به اندازه 50 درصد کمتر از سناریوی اول و همچنان افزایشی است. این موضوع نشان دهنده این واقعیت است که کاهش برداشت از آبخوان با نرخ یکسان برای همه چاه‌های بهره‌برداری ممکن است اهداف مدیریت منابع آب را برآورده نکرده و برای مدیریت آبخوان نیاز به اطلاعات توزیعی می‌باشد.

مطالعه (Arifjanov et al. 2021) به عنوان بخشی از پروژه توسعه سیستم خودکار نظارت بر آب‌های زیرزمینی در شهر Urgench انجام شده است. در این مطالعه امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار جریان آب زیرزمینی با استفاده

مواد و روش

معرفی منطقه مطالعاتی

دشت میناب از لحاظ جغرافیایی در محدوده شهرستان میناب در استان هرمزگان واقع شده است. حوضه آبریز دشت میناب با وسعت ۹۸۱ کیلومتر مربع در محدوده عرض‌های $26^{\circ}58'$ تا $28^{\circ}29'$ شمالی و طول‌های $56^{\circ}50'$ تا $57^{\circ}54'$ شرقی قرار دارد، ۲۴/۴۸ درصد از مساحت حوزه را دشت و بقیه آن را ارتفاعات تشکیل داده است. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، محدوده مطالعاتی میناب با مساحت ۶۵۳/۶ کیلومتر مربع بخشی از دشت میناب و یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز بندرعباس - سدیح است که از این مساحت ۲۷۲/۱۴ کیلومتر مربع آن مربوط به آبخوان آبرفتی می‌باشد. ارتفاع متوسط این محدوده مطالعاتی از سطح دریا ۲۵ متر است. مهم‌ترین شهر واقع در این محدوده مطالعاتی میناب است. محدوده مطالعاتی در زون چین خورده مکران در جنوب فرورفتگی جازموریان واقع شده و از سمت شرق و شمال شرق به گسل میناب و زندان و از جنوب غربی به دریای عمان منتهی می‌گردد (Jamour et al. 2019). بررسی‌های صورت گرفته بر روی پیزومترهای حفر شده در دشت میناب نشان می‌دهد آبخوان موجود در این دشت دو لایه بوده و بنابراین دو شبکه پیزومتریک وجود دارد، یک شبکه برای آبخوان زیرین (تحت فشار) و یک شبکه برای آبخوان بالایی (آزاد). لازم به ذکر است که محدوده آبخوان تحت فشار در نیمه غربی دشت قرار دارد و دشت میناب در نیمه شرقی فقط یک لایه داشته و به‌صورت آبخوان آزاد می‌باشد (Mohammadi et al. 2020).

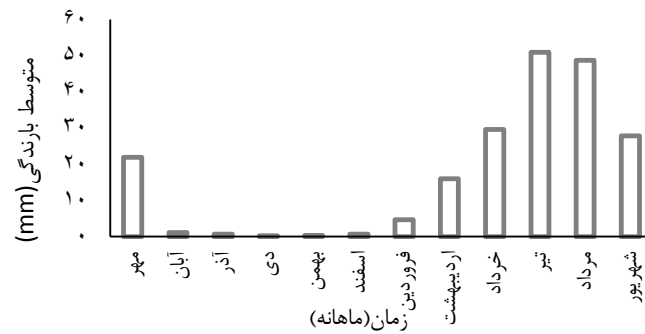
بررسی بارش فصلی که الگوی مناسبی برای تحلیل بارش منطقه است نشان می‌دهد که زمستان پر باران‌ترین فصل سال در این شهرستان است که حدود ۷۲/۷ درصد بارش کل سال را در بر می‌گیرد و فصل تابستان ۰/۷ درصد و کم باران‌ترین فصل سال است. فصول بهار و پاییز نیز به ترتیب ۱۰ و ۱۶/۷ درصد بارش سال را در بر می‌گیرد (Asadi and Asadi 2009) براساس اطلاعات تهیه شده از سازمان هواشناسی در یک دوره ۳۳ ساله (سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸)،

کمترین میزان بارندگی در منطقه ۰/۱ میلی‌متر و بیشترین مقدار ۲۵۵/۷ میلی‌متر گزارش شده‌است (شکل ۱).

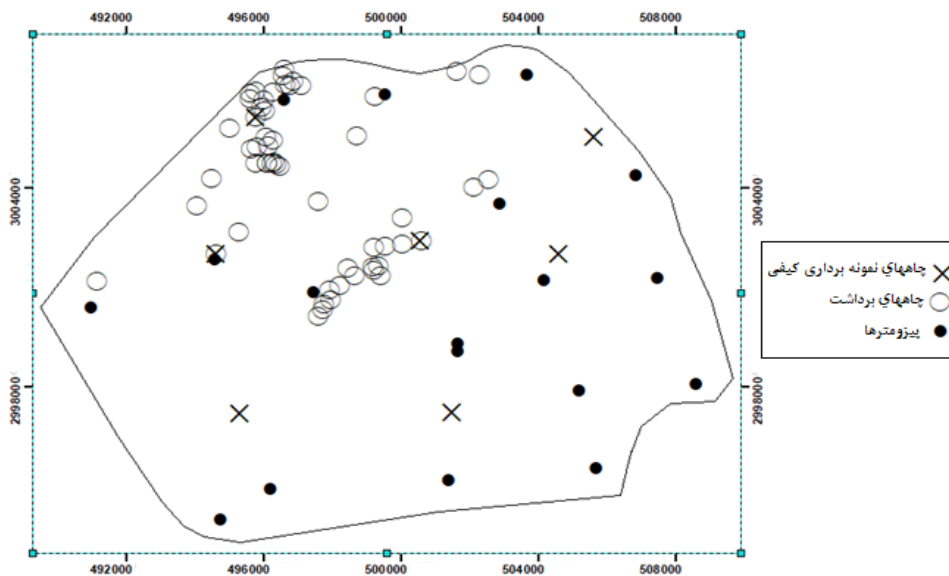
با توجه به وجود سد استقلال در ورودی به دشت، جریان حاصل از بارندگی به‌طور مستقیم در ارتفاعات به مخزن سد وارد می‌شود و جریان حاصل از بارش در سطح دشت نیز یا تبخیر شده و یا نفوذ می‌کند. در نتیجه رواناب سطحی به وجود آمده بسیار ناچیز می‌باشد. از جریان‌های حاصل از بارندگی در سطح دشت مقداری به درون سفره آب زیرزمینی دشت نفوذ می‌کند و بخشی از این جریان‌ها از طریق رودخانه‌هایی که از ارتفاعات شمالی منطقه سرچشمه می‌گیرند در جهت شرقی غربی جریان یافته و در نهایت در قسمت انتهایی دشت به هم متصل شده و در دریا تخلیه می‌شوند. مسیرهایی از ارتفاعات شمال غربی منطقه شروع شده و در جهت شمال جنوب امتداد یافته و بر سطح دشت پخش می‌شود و باعث تغذیه دشت می‌گردد (Mohammadi et al. 2020).

در مطالعه حاضر، مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان شرقی دشت میناب (آبخوان آزاد) انجام و نتایج آن در ادامه گزارش شده‌است. ضخامت متوسط آبخوان حدود ۱۰۸ متر می‌باشد که در نواحی مختلف متفاوت است (Regional Water Company of Hormozgan, 2018). محدوده مطالعاتی دارای ۱۸ چاه پیزومتر فعال برای نشان دادن سطح آب در آبخوان می‌باشد که در سرتاسر دشت تقریباً به شکل مناسبی پراکنده شده‌اند (شکل ۲). همچنین با کسر چاه‌های متروکه، ۵۶ حلقه چاه فعال کشاورزی در منطقه موجود است. میزان تخلیه از این حلقه، ۶/۴۸۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که ۱۷ درصد از این مقدار به طور سالیانه در قالب تغذیه به آبخوان باز می‌گردد (Regional Water Company of Hormozgan 2018).

شکل (۲) موقعیت چاه‌های پمپاژ فعال در محدوده منطقه را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات تهیه شده از سازمان هواشناسی، به طور میانگین هر ماه ۷/۸ میلی‌متر آب از سطح زمین تبخیر می‌شود. میزان تغذیه از سطح شامل آب برگشتی از چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی و شرب، زهکش، بارندگی سالانه در سطح آبخوان و همین‌طور فاضلاب‌ها می‌باشد که اطلاعات آن در جدول (۱) ارائه شده‌است.



شکل (۱): نمودار متوسط بارندگی در طول دوره ۳۳ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۸) (Hormozgan Province 2018)



شکل (۲): موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های برداشت فعال و چاه‌های نمونه‌برداری کیفی در محدوده آبخیز دشت میناب (Reports of Regional Water Company of Hormozgan Province 2018)

جدول (۱): حجم تغذیه سالانه از سطح بر حسب میلیون مترمکعب (Province 2018)

شماره	منبع تغذیه	حجم تغذیه (MCM)
۱	آب برگشتی از کشاورزی	۱۳
۲	پساب حاصل از شرب و بهداشت و صنعت	۵
۳	نفوذ حاصل از بارندگی	۰/۶۹۰۸۵۳
جمع	منبع تغذیه	۱۸/۶۹۰۸۵۳

در مطالعه حاضر، مقدار ضریب انتقال از نتایج آزمایش پمپاژ انجام شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان برآورد و برای منطقه مدل‌سازی شده برابر با ۷۰۰۰ متر مربع در روز محاسبه شد. ضریب انتقال در مدل آب-زیرزمینی در مرزهای ورودی و خروجی مدل و در محل زهکش‌ها که به صورت نقاط در مدل تعبیه شده‌اند، معرفی می‌گردد. مقادیر هدایت هیدرولیکی در نظر گرفته شده در این مطالعه بین ۴۶ تا ۲۳۳ متر در روز است. در لایه‌های آبدار غیر محصور، ضریب ذخیره همان آبدهی ویژه است که از چند درصد تا ۳۰ درصد تغییر می‌کند (Mokhtari and Espahbod 2009). لذا در این مطالعه به دلیل اینکه منطقه مدل‌سازی یک آبخوان آزاد می‌باشد از آبدهی ویژه استفاده شد. مقدار این پارامتر با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ تهیه شده از سازمان آب منطقه‌ای استان هرمزگان تعیین شد. مقدار این پارامتر برای کل منطقه به صورت ثابت و برابر با ۰/۰۲۵۹۴ متر مکعب در روز در نظر گرفته شد.

مدل کمی در شرایط پایدار

از آنجا که در مهرماه کمترین میزان برداشت از چاه‌ها ثبت شده است و همچنین میزان بارش هم بسیار ناچیز است، بنابراین تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی ناچیز است که مشابه شرایط پایدار می‌باشد. بنابراین مدل آب‌زیرزمینی آبخوان دشت میناب در شرایط پایدار برای مهرماه سال ۱۳۸۱ تهیه و مقادیر تراز سطح ایستابی در شهریور ۱۳۸۱ به عنوان شرایط اولیه به مدل معرفی شد. برای اجرای این مدل، ابتدا به ترسیم نقشه تراز سطح آب‌زیرزمینی در محیط نرم افزار Arc GIS و انطباق آن با محدوده مدل پرداخته شد. ابتدا ارتفاع سطح آب برای مرکز سلول‌های مدل تعیین و سپس با وارد کردن اطلاعات و مقادیر تغذیه و تخلیه زیرزمینی، مدل ارتفاع سطح آب‌زیرزمینی برای گام‌های زمانی تعریف شده، محاسبه گردید.

مدل کمی در شرایط ناپایدار

در این مرحله از مدل‌سازی براساس خطای کاسته شده در شرایط پایدار، شرایط مدل به حالت ناپایدار تغییر داده شده است. مدل آب‌زیرزمینی آبخوان میناب در شرایط ناپایدار

اولین گام در حل مدل‌های عددی، تعریف یک شبکه حل مناسب برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Mohammadmirzaei et al. 2020). در مطالعه حاضر ابتدا مدل پایدار برای مهرماه سال ۱۳۸۱ در قالب پنج مش‌بندی با ابعاد ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۲۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر اجرا شد. برای مش‌بندی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰ و ۱۵۰۰ متر مقدار ریشه میانگین مربعات ریشه میانگین مربعات خطا^۲ RMSE به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۰۹، ۰/۰۸۴، ۰/۰۸۳۶، ۰/۰۸۳۶ متر برآورد شد. همانگونه که مشاهده می‌گردد با افزایش مش‌بندی از ۱۰۰۰ به ۱۲۵۰ و ۱۵۰۰ تفاوت چندانی در مقادیر RMSE مشاهده نشد و بنابراین ادامه روند مدل‌سازی با همان مش ۱۰۰۰ متر انجام گردید.

مدل‌سازی کمی

به منظور مدل‌سازی کمی آب‌زیرزمینی از مدل MODFLOW در محیط نرم افزار GMS استفاده شد. به منظور اجرای مدل کمی MODFLOW، اطلاعاتی از قبیل داده‌های سطح آب، اطلاعات برداشت، تبخیر و تعرق، مقادیر تغذیه، شرایط مرزی، مقادیر ضرایب هیدرودینامیک و اطلاعات زهکش‌ها در قالب بسته‌های مجزا به مدل مفهومی وارد و سپس به مدل کمی انتقال داده می‌شود. با توجه به قابلیت بالای نرم‌افزار GIS در توانایی ارتباط با GMS، تمامی نقشه‌های مورد نیاز برای ساخت مدل مفهومی در محیط نرم افزار GIS ساخته و به GMS فراخوانی شد. در شکل (۳) مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. از آنجا که داده‌های برداشت شده برای محاسبه هدایت هیدرولیکی بسیار محدود هستند، برای معرفی هدایت هیدرولیکی به نرم‌افزار GMS، ابتدا نقاط مورد نظر در فضای GIS به شیپ فایل و سپس در قالب چندضلعی‌های تیسن به پلیگون تبدیل و مقادیر تغذیه، تبخیر و تعرق مربوط به هر پلیگون به طور مجزا تعریف گردید. در این مطالعه، برای تخصیص این مقادیر به مدل، ۱۹ منطقه پلیگونی تعریف و در فضای GMS به بسته مربوط به هدایت هیدرولیکی معرفی شد (جدول ۳).

^۲ -Root Mean Square Error

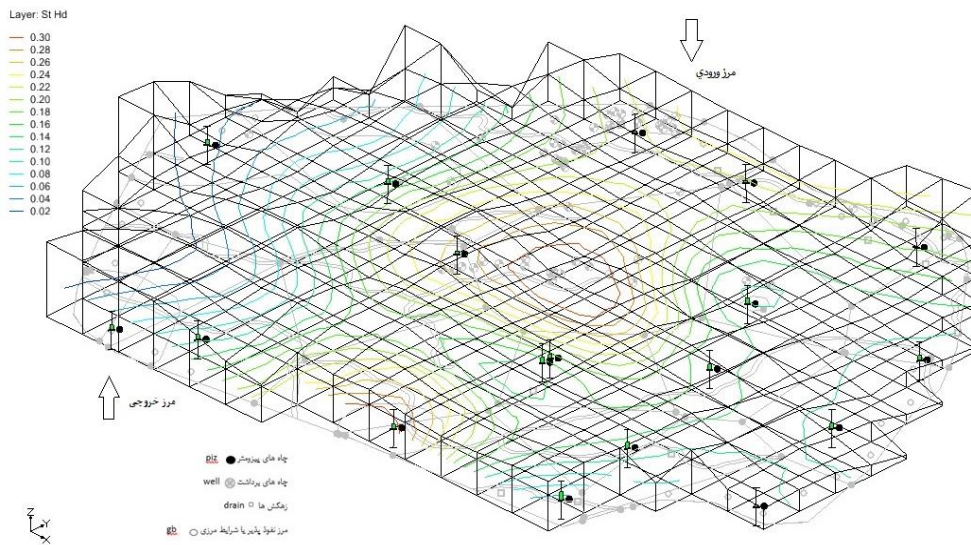
زیرزمینی و ابتدای دوره مدل‌سازی به عنوان آلودگی اولیه آب در نظر گرفته شد. با توجه به مدل‌سازی کمی، مدل-سازی کیفی نیز برای دوره یک ساله شبیه‌سازی شد. اطلاعات مربوط به چاه‌های نمونه‌برداری و میزان غلظت اولیه آبخوان در جدول (۲) ارائه شده‌است.

مقدار اولیه ضریب پخشیدگی ۳ متر مربع در روز و تخلخل منطقه ۳۰ درصد، در قالب بسته‌های نرم‌افزاری مجزا به مدل معرفی شد (Ranjbar and Pirzadeh 2022). این مقادیر در طی فرایند واسنجی بهینه شدند.

برای دوره یک ساله (سال آبی ۱۳۸۱)، در قالب دوازده دوره تنش به صورت ماهانه ایجاد شد، طول هر دوره برابر با تعداد روزهای هر ماه می‌باشد. در این مرحله علاوه بر ضرایب هیدرودینامیکی K و T، آبدهی ویژه نیز به مدل معرفی شد.

مدل سازی کیفی

برای تهیه مدل کیفی از کد MT3DMS و اطلاعات کیفیت شیمیایی مربوط به ۷ حلقه چاه کشاورزی استفاده شد (شکل ۲). اندازه‌گیری کیفی در آبخوان میناب به صورت ماهانه انجام شده است. در مطالعه حاضر پارامتر کل جامدات محلول (TDS) مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌سازی کیفی، مرزهای ورودی و خروجی به عنوان منبع آلوده کننده آب



شکل (۳): مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه

جدول (۲): مقادیر اولیه کل جامدات محلول (ppm)

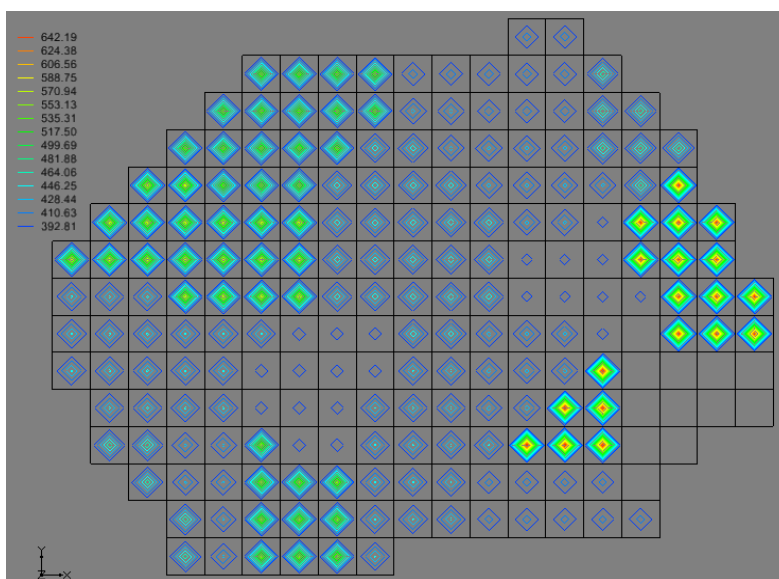
نقاط مشاهده‌ای	Y(m)	X(m)	کل جامدات محلول (ppm)
Z1	۳۰۰۶۳۹۲	۵۰۳۶۸۸	۵۵/۴۶۶۶۹
Z2	۳۰۰۲۰۲۳	۴۹۴۵۹۷	۳۵/۹۸۹۳۳
Z3	۲۹۹۷۱۸۱	۴۹۵۲۹۴	۳۱/۹۱۴۶۷
Z4	۲۹۹۷۲۳۷	۵۰۱۵۰۰	۴۵/۳۵۴۶۷
Z5	۳۰۰۱۶۴۹	۵۰۵۲۴۷	۲۷/۰۲۹۳۵
Z6	۳۰۰۶۱۸۰	۴۹۵۷۶۷	۹۴/۳۷۶۹۶
Z7	۳۰۰۲۴۳۱	۵۰۰۶۰۸	۲۵/۷۶۸۹۶

نتایج و بحث

واسنجی مدل پایدار

واسنجی مدل جریان آب زیرزمینی ابتدا با استفاده از روش واسنجی خودکار انجام شد. واسنجی به روش خودکار برای مدل در شرایط پایدار تائیری در بهبود نتایج نداشت، در نتیجه از واسنجی به روش سعی و خطا استفاده شد. واسنجی با روش سعی و خطا و تغییر مقادیر پارامترها تا رسیدن به مقدار خطای کمتر از یک متر در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای ادامه یافت. در ادامه واسنجی، پارامتر هدایت

هیدرولیکی در طول اجراهای متعدد در بازه ۳۷۵ متر در روز تا ۶۶۰ متر در روز تغییر داده شد. در نتیجه با افزایش هدایت هیدرولیکی در تمام سطح آبخوان، مقدار RMSE به ۰/۲۶۸ متر کاهش یافت. با توجه به شکل (۴) بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی مربوط به شرق آبخوان می‌باشد و در جنوب شرق آبخوان نیز کمترین میزان هدایت هیدرولیکی مشاهده می‌گردد. مقدار میانگین خطای مطلق MAE^۳ و RMSE به ترتیب برابر ۰/۲۵۲ و ۰/۲۶۸ متر در روز برآورد شدند.



شکل (۴): نمایش گرافیکی هدایت هیدرولیکی افقی در شرایط پایدار

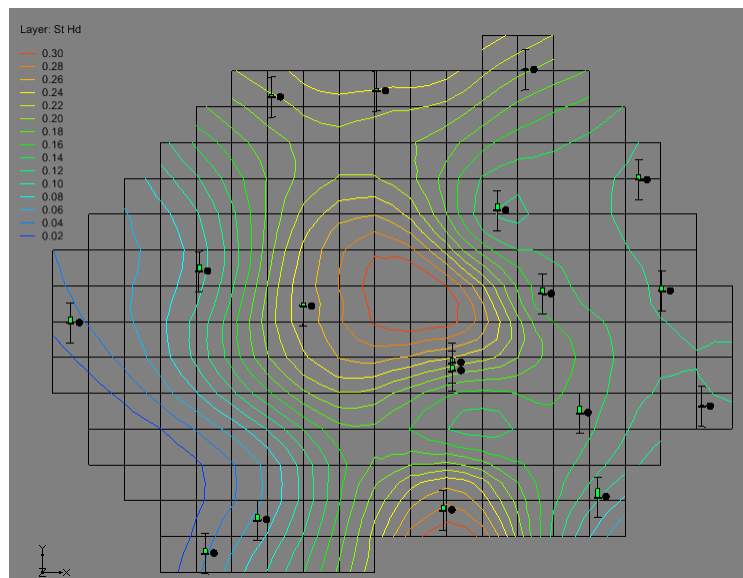
ملاحظه می‌گردد اختلاف بسیار کمی میان مقادیر مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد (کمتر از یک متر است که کاملاً قابل قبول می‌باشد). از سوی دیگر با توجه به اینکه در اغلب موارد تراز محاسباتی بیشتر از تراز مشاهداتی است می‌توان گفت که احتمالاً یا برداشت از چاه‌ها از آنچه در گزارشات آب منطقه‌ای ارائه شده است بیشتر است (چاه‌های غیرمجاز) و یا میزان تغذیه بیشتر از مقدار واقعی در نظر گرفته شده است.

در شکل (۵) تراز سطح آب زیرزمینی در شرایط پایدار نشان داده شده است. بیشترین تراز سطح آب در قسمت میانی آبخوان با تراز ۰/۳ متر و کمترین تراز حدود ۰/۰۲ متر و در قسمت جنوب غربی آبخوان می‌باشد. با توجه به مقادیر تراز سطح آب، دو جهت عمده حرکت آب در آبخوان وجود دارد. بخشی از جریان از سمت شمال شرقی به سمت جنوب شرقی و بخشی دیگر از سمت میانه آبخوان به سمت جنوب غربی آبخوان می‌باشد. در شکل (۶) تراز سطح آب مشاهداتی و محاسباتی با یکدیگر مقایسه شده است. همانگونه که

^۳ - Mean Absolute Error

جدول (۳): مقادیر واسنجی شده هدایت هیدرولیکی افقی در مدل پایدار

هدایت هیدرولیکی (m/day)	شماره پلیگون	هدایت هیدرولیکی (m/day)	شماره پلیگون
۴۵۱	۱۱	۴۸۰	۱
۵۸۰	۱۲	۵۵۰	۲
۴۳۵	۱۳	۶۶۰	۳
۴۳۶	۱۴	۴۰۰	۴
۴۵۰	۱۵	۴۶۰	۵
۵۶۰	۱۶	۶۵۰	۶
۴۸۰	۱۷	۳۸۰	۷
۴۲۰	۱۸	۳۷۵	۸
۴۳۳	۱۹	۴۰۲	۹
		۴۲۲	۱۰



شکل (۵): تراز سطح ایستابی واسنجی شده در شرایط پایدار

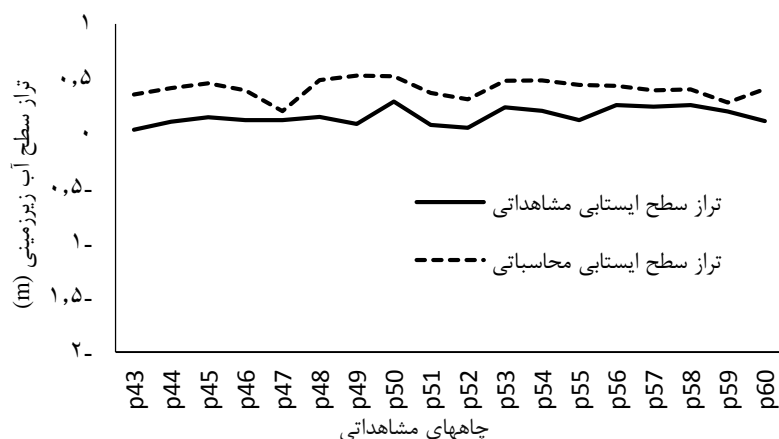
واسنجی مدل ناپایدار

در مدل‌سازی شرایط ناپایدار، مدل پایدار به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته شد. به منظور واسنجی مدل در شرایط ناپایدار، ابتدا از واسنجی به روش خودکار استفاده شد که در عمل موجب بهبود نتایج مدل‌سازی نشد. با تغییر پارامتر هدایت هیدرولیکی نیز تغییری در نتایج مشاهده نگردید بنابراین فرایند واسنجی مدل با همان مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی ادامه داده شد. پس از آن عملیات واسنجی به

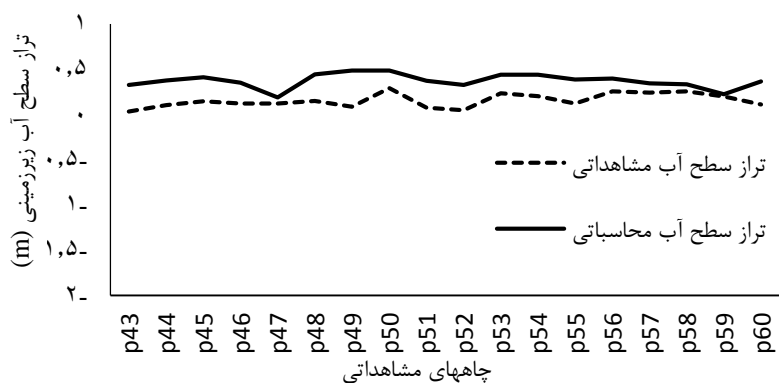
روش سعی و خطا ادامه پیدا کرد. در این مرحله ابتدا پارامتر آبدهی ویژه از ۰/۲۵۹۴ به ۰/۲۲ برای یک دوره دوازده ماهه افزایش داده شد که باعث کاهش مقدار RMSE گردید. در نتیجه مقدار پارامتر آبدهی ویژه ۰/۲۲ در نظر گرفته شد. در ادامه روند واسنجی مدل ناپایدار با افزایش و کاهش پارامتر ضریب انتقال در مرزهای ورودی و خروجی آبخوان و با افزایش پارامتر هدایت هیدرولیکی واسنجی شد. نتایج در شکل‌های (۷) و (۸) ارائه شده است. همانگونه که

نتایج دارای دقت قابل قبولی می‌باشند. به هر حال در زمینه مدل‌سازی آب زیرزمینی عدم قطعیت‌های قابل توجهی وجود دارد که یکی از راهکارهای کاهش آن حساسیت سنجی می‌باشد. در ادامه با اعمال چند سناریو تاثیر کاهش و افزایش برداشت بر تراز سطح آب زیرزمینی و غلظت جامدات محلول بررسی شده است. در شکل (۱۰) و (۱۱) تراز آب زیرزمینی و شاخص واسنجی مدل ناپایدار در ماه اول و ماه آخر نشان داده شده است. پس از واسنجی، هدایت هیدرولیکی با مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب برابر ۴۰۰، ۷۰۰ و ۵۵۰ متر در روز حاصل شد. مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین ضریب انتقال نیز ۶۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۸۰۰۰ متر مربع در روز بدست آمد.

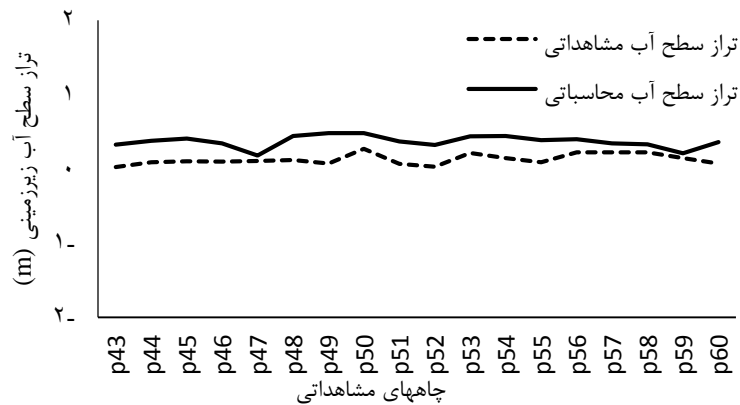
ملاحظه می‌گردد اختلاف بسیار جزئی میان مقادیر مشاهداتی و محاسباتی وجود دارد. مقادیر میانگین خطای مطلق MAE و RMSE به ترتیب برابر ۰/۲۳۱ و ۰/۲۵۰ متر برآورد شد. از آنجا که مقادیر محاسباتی همواره بیشتر از مقادیر مشاهداتی برآورد شده است چند دلیل را می‌توان ارائه کرد: ممکن است مقدار برداشت از چاه‌ها از آنچه در گزارشات شرکت آب منطقه ای استان هرمزگان ارائه شده است، بیشتر باشد و یا حفر چاه‌های غیرمجاز که داده‌های آن در دسترس نیست موجب افزایش میزان برداشت شده باشد، همچنین ممکن است مقدار تغذیه آبخوان از آنچه در واقعیت وجود دارد بیشتر در نظر گرفته شده باشد، با این وجود از آنجا که این مقدار بسیار کمتر از یک متر است



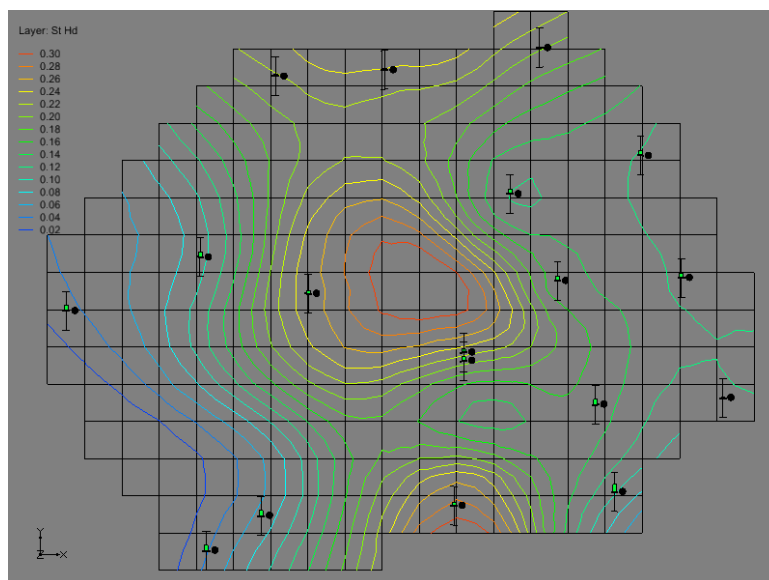
شکل (۶): مقایسه تراز سطح ایستابی مشاهداتی و محاسباتی مدل پایدار



شکل (۷): مقایسه میان تراز سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی (ماه اول مدل‌سازی، مهر ۸۱)



شکل (۸): مقایسه میان تراز سطح ایستابی محاسباتی و مشاهداتی (ماه آخر مدل‌سازی، شهریور ۸۲)



شکل (۹): نقشه تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی شده (ماه اول مدل‌سازی، مهر ۱۳۸۱)

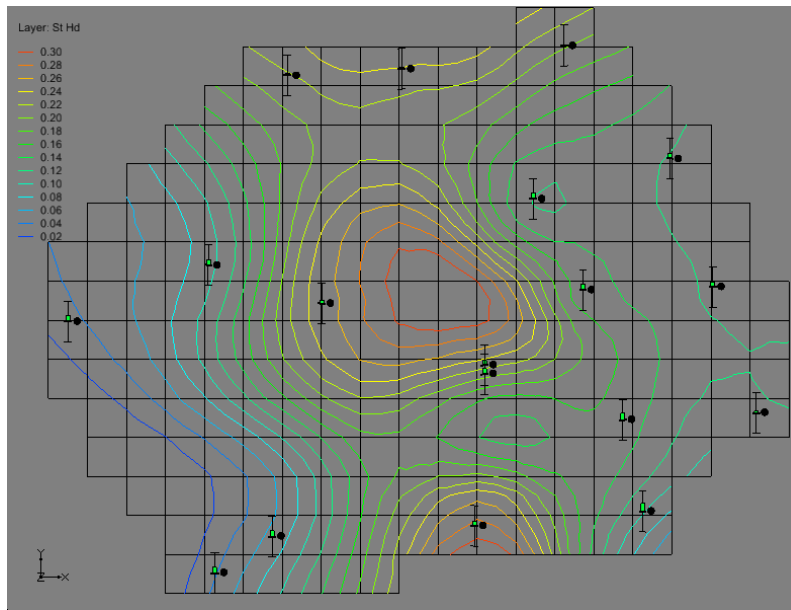
صحت‌سنجی

جهت اطمینان از صحت مدل ساخته شده، فرایند واسنجی برای یک دوره یک ساله (سال آبی ۸۲) صورت گرفت. با وارد کردن آمار و اطلاعات یک ساله چاه‌های مشاهده‌ای و چاه‌های برداشت به مدل ناپایدار، واسنجی مدل انجام شد. مقدار RMSE به دست آمده برابر $0/252$ متر بوده که بیانگر صحت پارامترهای واسنجی شده در مرحله ناپایدار می‌باشد. مقدار MAE و RMSE در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر $0/232$ و $0/253$ متر به دست آمد. جهت جریان یکی از

مسائل مهم در مدل‌سازی جریان آب‌زیرزمینی می‌باشد. همانطور که بردارهای جهت جریان در شکل (۱۱) نشان می‌دهند، جریان از مرکز آبخوان به طرف جناحین آبخوان با تراز سطح ایستابی پایین‌تر در حرکت است و در نهایت از مرزهای نفوذپذیر غربی، شرقی، جنوب غرب و جنوب شرق که سطح آب در پایین‌ترین حد خود قرار دارد، از آبخوان خارج می‌گردد. جهت جریان به منظور بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی میانگین سطح آب آبخوان برای دوره یک ساله مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل (۱۱) می‌توان

خصوص سازند کنگلومرای میناب می‌باشد. از طرفی در قسمت میانی آبخوان نیز تغذیه از ارتفاعات صورت می‌گیرد. منبع تغذیه بعدی، رودخانه میناب می‌باشد که در همان ابتدای ورود به دشت آبخوان میناب را تغذیه می‌کند. محل خروج آب زیرزمینی آبخوان میناب با توجه به جهت جریان آب تنگه هرمز می‌باشد که حداقل تراز آب در نزدیکی دریا حدود صفر می‌باشد.

دریافت که بالاترین سطح تراز آب زیرزمینی در پایان سال ۱۳۸۲ در آبخوان دشت میناب ۰/۳ متر و در بخش میانی آبخوان می‌باشد. جهت عمده تراز آب زیرزمینی در آبخوان از شمال شرق به جنوب غرب و شمال شرق به جنوب شرق می‌باشد. محل تغذیه آبخوان از ارتفاعات شمال شرقی یعنی مرز ورودی جریان آب زیرزمینی از سازندهای منطقه و به



شکل (۱۰): نقشه تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی شده (ماه آخر مدل‌سازی، شهریور ۱۳۸۲)

گرفته شد. غلظت کل جامدات محلول در مهر ۱۳۸۱ با استفاده از درون‌یابی در نرم افزار GIS به عنوان غلظت اولیه به مدل معرفی شد. حداقل غلظت کل جامدات محلول معرفی شده به مدل برابر با $25/76 \text{ ppm}$ و حداکثر مقدار برابر $94/39 \text{ ppm}$ می‌باشد. در این مرحله به منظور واسنجی مدل از روش سعی و خطا استفاده شد. طی انجام این فرایند، افزایش و کاهش پراکنده پارامتر تخلخل در برخی مناطق آبخوان و افزایش ضریب پخشیدگی طولی در تمام سطح آبخوان موجب کاهش مقدار RMSE است. همچنین مقادیر TRPT (نسبت ضریب پخشیدگی افقی به ضریب پخشیدگی طولی) و TRVT (نسبت ضریب پخشیدگی عمودی به ضریب پخشیدگی طولی) به ترتیب برابر با $0/1$ و 2 و مقدار DMCOEF (ضریب انتشار ملکولی مؤثر)، 1 در نظر گرفته شد تا بهترین نتیجه واسنجی حاصل شود. در نهایت مدل کیفی آبخوان با مقدار RMSE، $2/357 \text{ ppm}$ و واسنجی

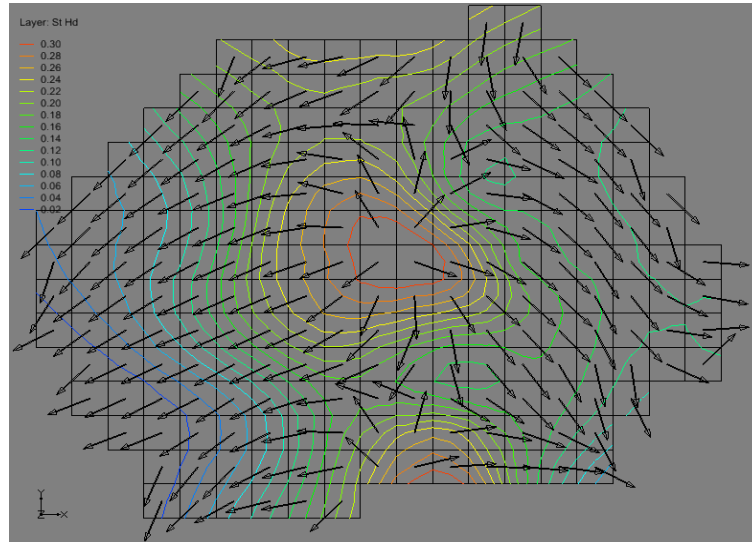
شکل (۱۲) نشان می‌دهد که تراز سطح آب در طول دوره شبیه‌سازی حدود $0/02$ متر کاهش می‌یابد. در این آبخوان به علت بارندگی خیلی کم و افزایش برداشت، سطح آب سیر نزولی دارد. ادامه این روند و عدم اتخاذ راه حل مناسب در برداشت از آب زیرزمینی موجب افت بیشتر سطح آب-زیرزمینی در آبخوان و هجوم آب شور خواهد شد.

مدل‌سازی کیفی

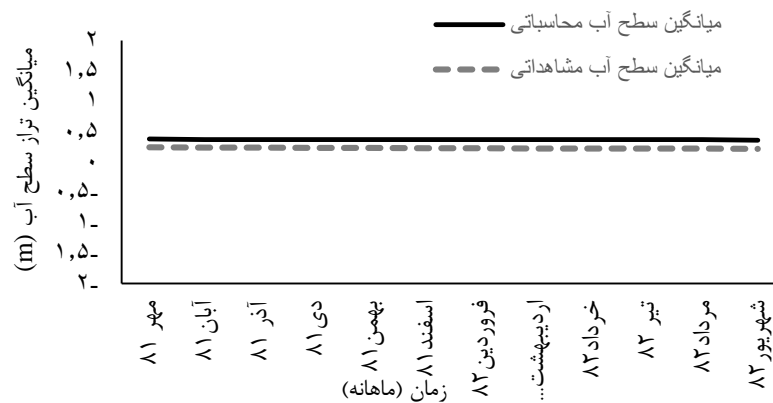
به منظور شبیه‌سازی کیفی آبخوان، پارامترهای مؤثر بر پخش آلودگی مانند ضریب پخشیدگی طولی، تخلخل، ضریب انتشار مولکولی مؤثر، نسبت‌های ضریب پخشیدگی افقی به ضریب پخشیدگی طولی، ضریب پخشیدگی عمودی به ضریب پخشیدگی طولی و ضریب انتشار مولکولی مؤثر واسنجی شد. در این مرحله غلظت کل جامدات محلول در ۷ حلقه چاه کشاورزی به عنوان نمونه مشاهده‌ای در نظر

جامدات محلول از مرکز آبخوان به سمت مرزهای ورودی افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تراکم اراضی کشاورزی در شمال آبخوان می‌باشد.

گردید. با توجه به شکل (۱۳) مشخص بیشترین مقدار غلظت کل جامدات محلول در مهر ۱۳۸۱ شمال آبخوان و کمترین مقدار در نواحی مرکزی آبخوان می‌باشد. غلظت کل



شکل (۱۱): جهت جریان شبیه سازی شده در دوره غیر ماندگار



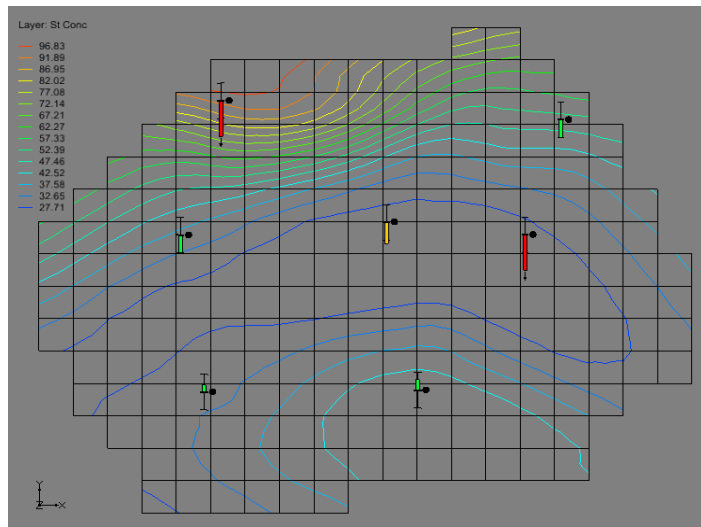
شکل (۱۲): میانگین سطح آب در دوره مدل‌سازی غیر ماندگار

تخلیه، ۱۰ درصد کاهش تخلیه، ۲۵ درصد کاهش برداشت و ۲۵ درصد افزایش برداشت از چاهها اجرا شد. نتایج اجرای این سناریوها در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) ارائه شده است. نتایج نشان داد که افزایش برداشت به میزان ۱۰ درصد، موجب افت ۳ درصد سطح ایستابی و افزایش ۰/۰۰۰۴ درصد کل جامدات محلول، ۱۰ درصد کاهش برداشت

مقایسه غلظت کل جامدات محلول شبیه‌سازی شده در ابتدا و انتهای دوره مدل‌سازی آبخوان میناب نشان می‌دهد که غلظت کل جامدات محلول در طول یک سال مدل‌سازی به مقدار ۰/۳۲۴ ppm افزایش یافته است. در انتها به منظور بررسی تاثیر میزان برداشت بر سطح ایستابی و میزان کل جامدات محلول، مدل تحت سناریوهای: ۱۰ درصد افزایش

برداشت موجب کاهش ۶/۵ درصد در سطح آب و افزایش برداشت ۰/۰۰۰۶ درصد کل جامدات محلول نسبت به وضعیت موجود می‌گردد.

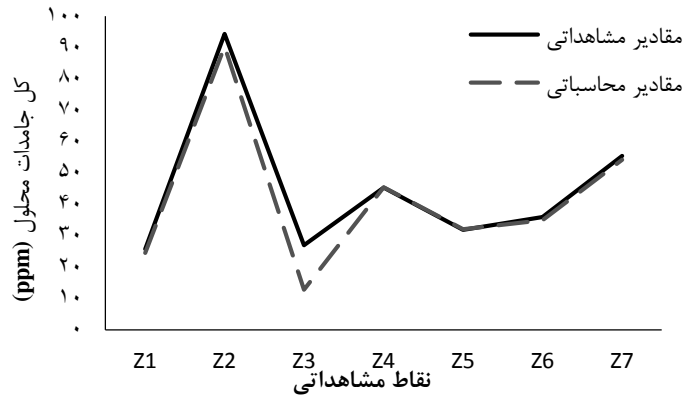
موجب ۳ درصد افزایش در سطح ایستابی و ۰/۰۰۰۴ درصد کاهش کل جامدات محلول، ۲۵ درصد کاهش برداشت موجب ۷/۵ درصد افزایش سطح آب و ۰/۰۰۰۹ درصد کاهش کل جامدات محلول و همچنین ۲۵ درصد افزایش



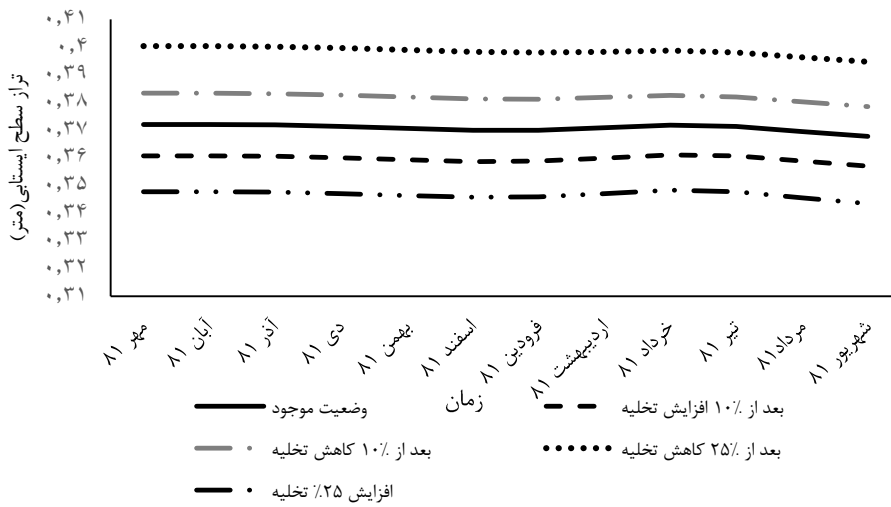
شکل (۱۳): نقشه مقادیر اولیه کل جامدات محلول (TDS)



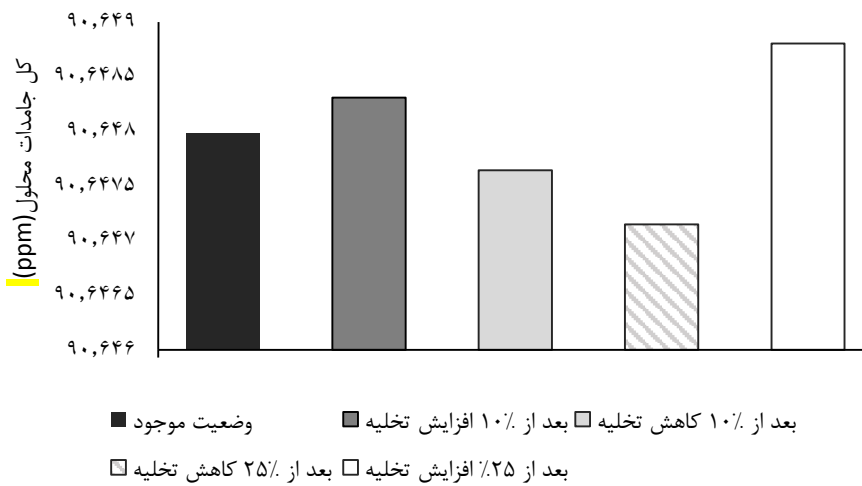
شکل (۱۴): مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی کل جامدات محلول ماه اول (مهر ۱۳۸۱)



شکل (۱۵): مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی کل جامدات محلول در ماه آخر (شهریور ۱۳۸۲)



شکل (۱۶): تغییرات تراز سطح ایستابی بعد از اعمال سناریو



شکل (۱۷): ماکزیمم کل جامدات محلول بعد از اعمال سناریو

نتیجه گیری

برآورد شد، این نتیجه نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند برداشت در سال‌های آتی، سطح آب زیرزمینی افت قابل توجهی خواهد داشت.

مدل کیفی جریان آب زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW برای سال آبی ۱۳۸۱ در قالب کد MODFLOW اجرا شد. به منظور انجام فرایند مدل‌سازی، پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ضریب انتقال واسنجی شدند. در مرحله واسنجی مدل کمی، مقدار RMSE برای شرایط ماندگار و غیرماندگار به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۲۵ متر بدست آمد، اختلاف اندک میان مقادیر تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی، نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل‌سازی کمی است. میزان افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی آبخوان میناب بعد از یک سال برداشت از چاه‌ها حدود ۰/۰۲ متر

بر این مطالعه، مدل‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی برای بخش تک لایه و آزاد آبخوان میناب با استفاده از نرم‌افزار GMS 7.1 انجام گردید. مدل‌سازی کمی جریان آب-زیرزمینی در حالت ماندگار برای مهر ۱۳۸۱ و در حالت غیر ماندگار برای سال آبی ۱۳۸۱ در قالب کد MODFLOW اجرا شد. به منظور انجام فرایند مدل‌سازی، پارامترهای هدایت هیدرولیکی و ضریب انتقال واسنجی شدند. در مرحله واسنجی مدل کمی، مقدار RMSE برای شرایط ماندگار و غیرماندگار به ترتیب ۰/۲۶۸ و ۰/۲۵ متر بدست آمد، اختلاف اندک میان مقادیر تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی، نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل‌سازی کمی است. میزان افت متوسط سالانه سطح آب زیرزمینی آبخوان میناب بعد از یک سال برداشت از چاه‌ها حدود ۰/۰۲ متر

منابع

1. Alberti L., Angelotti A., Antelmi M., Licata I., and Legrenzi, C. 2012. Low temperature geothermal energy: heat exchange simulation in aquifers through Modflow/MT3DMS codes. AQUA mundi, Am05042: 039 – 051. <http://dx.doi.org/10.4409/Am042-12-0042>.
2. Arifjanov A., Samiev L., Yusupov S., Khusanova D., Abdulkhaev Z., and Tadjiboyev S. 2021. Groundwater level analyse in Urgench city with using Modflow modeling and forecasting System. InE3S Web of Conferences. 263:03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126303010>.
3. Asadi T., and Asadi I. 2009. Environmental consequences of underground water resources and their effects on agriculture in Minab plain of Hormozgan province. National conference of human, environment and sustainable development, 2010, Islamic Azad University, Hamadan, Iran (In Persian).
4. Azizi F., AsghariMoghaddam A., and Nazemi A. 2019. Groundwater flow and salinity intrusion simulation in Malekan Plain aquifer. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 13(45): 32-43 (In Persian).
5. Jafarlu A. 2016. Investigation on the effect of cut-off wall on salt-water intrusion. MSc thesis, Faculty of Agriculture Department of Water Engineering. Urmia University (In Persian).
6. Jamour R., Eilbeigy M., Morsali, M. 2019. Assessment of the land subsidence crisis and the advent of salt water in the Minab plain aquifer. Journal of Eco Hydrology. 6(1): 223-238. <https://doi.org/10.22059/ije.2019.270938.998> (In Persian).
7. Kawatani, T., 1980, Behavior of seawater intrusion in layered coastal aquifers, Proc. 3rd Internat. Conf: Finite Element in Water Resources, University of Miss., Oxford.
8. Lyazidi R., Hessane M.A., Moutei J.F. and Bahir M. 2020. Groundwater modeling in the Mediterranean area: case of the Gareb-Bouareg coastal aquifer (Rif, Morocco). Euro-

- Mediterranean Journal for Environmental Integration.5:1-24. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126303010>.
9. Mohammadi Y., Javadipour S., Entezam I., Ghasemi A.R., and Shemshaki A. 2020. Preliminary report on subsidence investigation on minab plain, Ministry of Industry Mine and Trade Geological Survey of Iran (In Persian).
10. Mohammadmirzaei F., Zakerinia M., and Hezarjaribi A. 2020. Evaluation of different scenarios of water resources management in the gorganroud basin using WEAP and MODFLOW models. Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 24(2):137-152. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.24.2.13052> (In Persian).
11. Mokhtari H., and Espahbod M. 2009. The investigation of hydrodynamic parameters potentiality of the Varamin plain regarding the variation of salinity gradient. Journal of the Earth. 4(2): 27-47 (In Persian).
12. Nakhaei M., Mohebbi Tafreshi A., and Mohebbi Tafreshi Gh. 2019. Modeling and predicting changes of TDS concentration in Varamin aquifer using GMS software. Journal of Advanced Applied Geology, 9(1):25-37. <https://doi.org/10.22055/aag.2019.27539.1903> (In Persian).
13. Qabadian R., and Bahrami Z. 2017. Numerical analysis of applying quantitative and qualitative scenarios on Khazal plain aquifer in Hamadan province with MODFLOW and MT3DMS models. Journal of Range and Watershed Management, 69(4):1043-1062. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2017.61519> (In Persian).
14. Ranjbar A. Pirzadeh B. 2022. Investigation of groundwater status of Hengam plain using quantitative and qualitative models (MODFLOW and MT3DMS). Journal of Iranian Water Engineering Research, 1(1):27-44. <https://doi.org/10.22034/IJWER.2022.304778.1003> (In Persian).
15. Regional Water Company of Hormozgan Province, Water Resources Management, 2018.
16. Sherif M.M., Singh, V.P., and Amer A.M. 1990. A note on saltwater intrusion in coastal aquifers, Water Resources Management. 4:123-134. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00429801>.
17. Taherian P., Ansari H., Davari K., Beheshti A., Ziai A. 2021. Modeling the groundwater quality (salinity) variations in Neyshabour plain using MODFLOW and MT3DMS. Journal of Irrigation and Drainage, 15(1): 27-37 (In Persian).

Investigating the Status of Underground Water in Minab Plain Using Quantitative and Qualitative Models MODFLOW and MT3DMS

Zahra Mortazavi¹, Marzieh Mohseni*²

DOI: 10.22103/nrswe.2023.21242.1035

Abstract

Groundwater resources are considered as the second largest fresh water resource of earth after glaciers. Water shortage and lack of proper management of groundwater resources result in droughts and consequent severe water crises around the world as well as Iran. Excessive withdrawal of groundwater from the Minab Aquifer caused that the inlet of the aquifer could not cope with the withdrawal and, as a result, the groundwater level was dropped. Prediction of groundwater flow behavior for optimal management of groundwater resources is one of the objectives of hydrological studies. Thus, the present study considered quantitative and qualitative modeling of the Minab aquifer by using GMS 7.1 which has a special importance in water management. Quantitative modeling of groundwater flow was carried out in MODFLOW code for steady state in October 2002 and for unsteady state during the year of 2002-2003. By calibrating the models, the RMSE and MAE values for determining groundwater levels were estimated as 0.268 and 0.25 meters, respectively. The average annual drop of groundwater level in Minab aquifer was estimated as 0.02 m during a year. The qualitative model of groundwater flow was run for a year period to determine TDS value by using MT3DMS code. After Model calibration, the RMSE and MAE values were estimated as 4.345 ppm and 2.357 ppm. It can be concluded that the current trend of groundwater flow will decrease the groundwater level and increase the aquifer pollution level.

Keywords: Dispersion Coefficient, Hydraulic conductivity, Groundwater level, Total Dissolved Solids (TDS).

¹ - MSc. Graduate Student, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.

^{2*}-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.
Email: mohseni_m@sirjantech.ac.ir