A
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 15, Apr.-May. 2021, p. 27-37

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۵، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۰، ص. ۳۷-۲۷

مقاله علمی-پژوهشی

مدل‌سازی جریان و تغییرات کیفی (شوری) آب‌زیرزمینی در دشت نیشابور توسط کدهای MODFLOW و MT3DMS

پریسان طاهریان [۱]، حسین انصاری [۲*]، کامران داوری [۳]، علی نقی ضیایی [۴]، علی اصغر بهشتی [۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۲

چکیده

در این مطالعه، به منظور ارزیابی تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی در دشت نیشابور تحت سناریوهای مختلف از کدهای MODFLOW و MT3DMS استفاده شد. در مرحله شناخت آبخوان و تهیه مدل مفهومی، مشخص شد افزایش شوری آبخوان به دلیل وجود آبرفت ریزدانه و کانی‌های تبخیری در حاشیه دشت و آب برگشت کشاورزی می‌باشد. مدل جریان آب‌زیرزمینی در شرایط ناماندگار برای دوره ۱۰ ساله مهرماه ۱۳۸۰ تا شهریورماه ۱۳۹۰ واسنجی و برای یک دوره ۴ ساله (مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۴) صحت‌سنجی شد. خطای مدل جریان در دوره واسنجی و صحت‌سنجی (برحسب RMSE) به ترتیب ۱/۹۲ و ۱/۶۵متر بود. همچنین خطای مدل انتقال جرم برای دوره ۱۴ ساله شبیه‌سازی در حدود ۱/۷۸ میلی‌گرم در لیتر بود. در مرحله بعد، اثر دو سناریوی ادامه روند کنونی و شرایط ۴۰ درصد کاهش برداشت از آبخوان تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی شد. تحت سناریوی یک و ادامه روند کنونی تا افق ۱۴۰۴، هیدروگراف معرف آبخوان برای کل دشت افت ۰/۷۹ متر در سال نشان داد و شوری آب‌زیرزمینی بطور پیوسته افزایش می‌یابد. تحت سناریوی دوم که هدف آن کاهش برداشت از آبخوان به منظور رسیدن به وضعیت تعادلی در بیلان آب‌زیرزمینی بود، برداشت از همه چاه‌های آبخوان به اندازه ۴۰ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد با اینکه میانگین سطح آب در آبخوان افت نمی‌کند، اما شوری آب‌زیرزمینی همچنان افزایشی است البته با نرخی به اندازه ۵۰ درصد کمتر از سناریوی اول. 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 نکند و برای مدیریت آبخوان نیاز به اطلاعات توزیعی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دشت نیشابور، شوری آب زیرزمینی، مدل‌سازی ریاضی انتقال جرم در آبخوان، MODFLOW، MT3DMS

مقدمه

با توجه به اینکه ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، ۵۶ درصد از آب آشامیدنی کشور از منابع آب‌زیرزمینی استخراج می‌شود (سبحان اردکانی، ۱۳۹۵) و بهره‌برداری ناپایدار از این منابع موجب افت مستمر سالانه بیش از ۱۱ میلیارد متر مکعب و بیلان منفی آبخوان‌ها شده است (میبدی، ۱۳۹۴) .خطر آلودگی کمتر نسبت به سایر منابع آبی و هزینه پایین استحصال آن باعث شده تا برداشت از این منابع همچنان ادامه داشته باشد. این اضافه برداشت به مرور زمان موجب بروز آثار منفی دیگری همچون پیشروی آب شور، نشست زمین و کاهش حجم طبیعی آبخوان و معضلات بوم شناختی شده است که به مرور تبدیل به یک معضل اجتماعی شده است (فرزانه و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین ارزیابی کمیت و کیفیت آب‌زیرزمینی از اهمیت بسزایی در مدیریت سلامت، کشاورزی، اقتصاد و سیاست جامعه برخوردار است. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل‌های ریاضی MODFLOW و MT3DMS، چگونگی تغییرات کیفیت آب‌زیرزمینی و پیشروی آب شور در دشت نیشابور به عنوان

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ansary@um.ac.ir)
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.1.3.3

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از دشت‌های ممنوعه کشور که با بحران کاهش سطح آب‌زیرزمینی، فرونشست و شور شدن آب‌زیرزمینی روبرو است بررسی شده است.

در مطالعات مختلف از مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی جریان و فرآیندهای انتقال جرم در آبخوان استفاده شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. مشهدی و باغوند (۱۳۸۹) به بررسی و مدل‌سازی آلودگی ناشی از زباله‌های محل دفن بر آب‌های زیرزمینی آبخوان امان آباد اراک با استفاده از کد MODFLOW پرداختند در این تحقیق مسیر حرکت آلودگی روندیابی گردید که نتایج حاصل از مدل‌سازی کیفی نشان می‌دهد که با توجه به نزدیک بودن فاصله محل قرارگیری چاه‌های آب شرب و مسیرهای حرکت آلودگی نهایتاً حرکت آلاینده‌ها به چاه‌های آب شرب منتهی می‌شود و در آینده‌ای نه چندان دور به تمام چاه‌ها می‌رسد. از اینرو منطقه موجود از پتانسیل آلودگی بالایی برخوردار می‌باشد.

چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از با کدهای MODFLOW و MT3DMS در قالب نرم افزار PMWIN 5.3، غلظت نیترات بر اثر فعالیت‌های کشاورزی در دشت رامهرمز (استان خوزستان) را شبیه‌سازی کردند. در این مطالعه، مدل انتقال آلودگی نیترات به مدت شش ماه از خرداد ۱۳۸۹ تا آبان ۱۳۸۹ واسنجی و طی یک دوره دو ماهه در مهر و آبان ۱۳۸۹ صحت‌سنجی شده است. نتایج حاصل از مدل نشان داد که از نظر کیفی نیز آبخوان در مرحله گذر از مرز ۵۰ درصد آلودگی است که با توجه به سناریوهای مختلف و با برنامه‌ریزی مناسب می‌توان طی طولانی مدت آبخوان را پاکیزه کرد.

زمزم و رهنما (۱۳۹۱) به ارزیابی کیفیت آب‌زیرزمینی دشت رفسنجان با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW و MT3DMS و نتایج آنالیز کیفی ۶۲ حلقه چاه کشاورزی پرداختند که پس تهیه مدل کمی و کیفی آبخوان با انجام عملیات واسنجی مدل کالیبره گردید و صحت‌سنجی مدل برای دوره‌های زمانی مختلف اجرا شد. نتایج تحقیق نشان داد پارامترهای مختلف کیفی در آب‌زیرزمینی منطقه خصوصاً کلر و EC ظرف ۲ تا ۵ سال آینده روند افزایشی داشته و در طی سال‌های آتی از حد مجاز خواهد گذشت و کشت و آبیاری درختان مقاوم به شوری را با مشکل مواجه خواهد نمود.

قبادیان و بهرامی (۱۳۹۵) از مدل ریاضی برای شبیه‌سازی انتشار آلودگی چاه‌های فاضلاب در دشت خزل واقع در استان همدان استفاده کرده‌اند. در این تحقیق، مدل کمی آبخوان با کد MODFLOW در دو حالت جریان ماندگار (مهرماه ۱۳۸۸) و جریان غیرماندگار (از آبان-ماه ۱۳۸۸ تا مردادماه ۱۳۸۹) واسنجی و در شهریورماه ۱۳۸۹ صحت-سنجی شده است. سپس با مدل کالیبره شده تأثیر اجرای طرح تغذیه مصنوعی آبخوان به مدت ۵ ماه از اواخر مهر تا اواخر اسفند (توسط ۳۱ چاه تزریق) بررسی شده است. نتایج نشان داده است که با پاسخ مثبت آبخوان، حداکثر میزان بالا آمدگی سطح آب‌زیرزمینی دشت به مقدار ۱۹ سانتی‌متر در فروردین ماه خواهد بود. مدل کیفی آبخوان با کد MT3DMS تهیه و برای همان دوره‌ی شبیه‌سازی جریان، با کالیبراسیون مقادیر ضریب پراکندگی طولی مواد آبخوان و ضریب توزیع (به روش سعی و خطا) واسنجی شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که شعاع تأثیر چاه‌های فاضلاب در نقاط مختلف حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر می‌باشد.

صابری مهر و همکاران (۱۳۹۶) دشت شبستر در سمت شمال-شرقی دریاچه ارومیه؛ یکی از دشت‌های حاصلخیز کشور است که سالیانه کشاورزی در آن به وسعت بسیار زیاد انجام می‌پذیرد. علاوه بر آب‌های سطحی که بخش کمی از آب‌های مورد نیاز کشاورزی منطقه را تأمین می‌نماید؛ بطورکلی کشاورزی منطقه به آب‌زیرزمینی دشت وابسته است و حجم زیادی از آب‌زیرزمینی هر ساله در همین جهت استخراج می‌شود. دشت شبستر طی سالیانه گذشته تحت تأثیر نفوذ پیشرونده آب شور قرار گرفته است که منبع و علت شوری آن شورابه‌های به دام‌افتاده در رسوبات انتهای دشت می‌باشد. مدل کمی و کیفی دشت با استفاده از نرم‌افزار GMS جهت مدیریت صحیح برداشت از آب‌زیرزمینی منطقه و جلوگیری از پیشرفت جبهه آب شور در این پژوهش انجام شده است. تغییرات سطح آب با استفاده از آمار سطح ایستابی ۲۴ حلقه چاه پیزومتری موجود در محدوده مورد مطالعه، مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از تعیین پارامترهای آبخوان در اثنای واسنجی مدل و اطمینان از منطقی بودن جواب‌ها و پس از طی مرحله صحت‌سنجی وضعیت هیدرولیکی آبخوان بررسی و تحلیل گردید. در دو منطقه از دشت یکی در قسمت جنوبی و دیگری در قسمت شمال غربی دشت بعلت وجود تراکم چاه‌ها افت شدید تراز آب ملاحظه گردید. در نهایت از کد عددی MT3DMS که انتقال توده‌ای ذرات را شبیه‌سازی می‌کند برای تخمین مسیر حرکت جبهه آب شور استفاده گردید که نشان داد نفوذ جبهه آب شور در قسمت جنوبی و در منطقه‌ای که افت تراز آب ایجاد شده بود اتفاق می‌افتد.

همچنین از دیگر استفاده‌های کد MODFLOW برای شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی می‌توان به مطالعه انصاری فر و همکاران (۲۰۱۹)[a,b] در آبخوان ساحلی بندر گز، کریمی و همکاران (۲۰۱۹) در آبخوان تهران و یوسفی و همکاران (۲۰۱۹) در آبخوان کرج اشاره کرد.

از تجربیات بین‌المللی می‌توان به تحقیق بی‌وی و همکاران در سال ۲۰۰۸ اشاره کرد که در آن اثر ۳۷۲ لندفیل غیر کنترل شده در استان چه‌جیانگ کشور چین بر کاهش تدریجی کیفیت آب‌زیرزمینی بررسی شده است. آن‌ها از کدهای MT3D و MODFLOW برای شبیه‌سازی مدل جریان آب‌زیرزمینی و انتقال آلودگی استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده این موضوع بود که نشت از لندفیل‌ها تأثیر بسیار زیادی بر کاهش کیفیت آب‌زیرزمینی منطقه دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

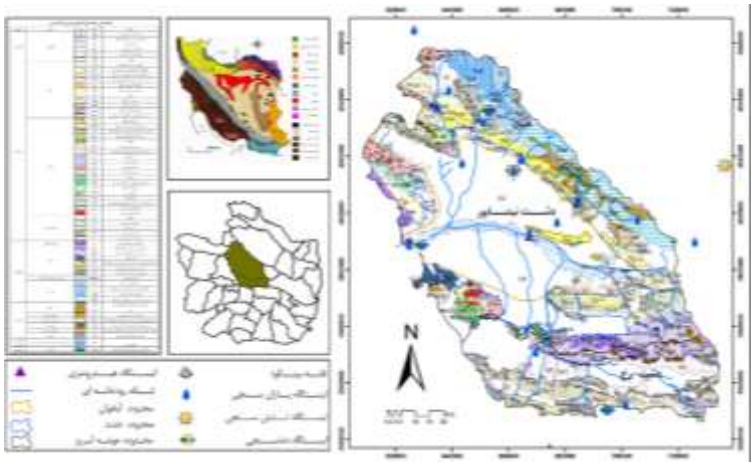
موکوپادیای و همکاران اثر پساب مخازن نفتی بر آلودگی آب‌زیرزمینی در شمال کویت را بررسی نمودند. به این منظور چهار چاه مشاهده‌ای در اطراف میدان‌های نفتی که محل دفع پساب بود حفر شد. غلظت TDS در چاه‌های مشاهده‌ای در حدود ۵۷۰۰۰ میلی-گرم در لیتر بود. آنها از روش تفاضل محدود و نرم افزار visual MODFLOW برای مدل‌سازی جریان آب‌زیرزمینی و برای مدل-سازی روند انتقال آلودگی (مواد شیمیایی) از MT3D استفاده نمودند. مدل عددی ساخته شده نشان داد آلودگی ایجاد شده توسط پساب نشتی از مخازن نفتی پس از یک دوره ۵ ساله، ۸۰ تا ۸۵ متر در جهت شمال‌شرقی حرکت کرده و آلودگی را منتقل می‌کند. در نهایت پیشنهاد شد که محل‌های دفع پساب موجود در منطقه و یا نزدیکی آن تعطیل شده و مکان‌های جدید خارج از محدوده کنونی ایجاد گردد (Mukhopadhyay et al., 1994).

چیتراکار و سانا مدل‌سازی کمی و کیفی آب‌زیرزمینی با کدهای MT3DMS و MODFLOW برای آبخوان ساحلی البتینه در کشور عمان انجام دادند و تاثیر سناریوهای مختلف بر نفوذ آب شور در منطقه بررسی کردند (Chitrakar and Sana, 2015). همچنین، نگم و الترابیلی با بکارگیری کدهای MT3DMS و MODFLOW تغییرات غلظت نیترات را منطقه ال‌منوفیا در مصر شبیه‌سازی کردند (Negm and Eltarabily, 2016).

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز نیشابور با وسعت ۹۱۵۷ کیلومتر مربع در استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای منطقه نیمه خشک تا خشک است. متوسط بارندگی در کل حوضه معادل ۲۳۴ میلی‌متر و متوسط تبخیر برای کل حوضه حدود ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال گزارش شده است (شفیعی، ۱۳۸۸).

به دلیل قرارگیری این دشت در اقلیم نیمه‌خشک، آبخوان آبرفتی دشت نیشابور است که مساحتی در حدود۲۸۳۳ کیلومترمربع را دربر می‌گیرد منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه (شکل ۱). به دلیل عدم مدیریت مناسب برداشت‌ها، به تبع افزایش جمعیت و صنایع وابسته به آب، مشکلات عدیده‌ای مانند افت شدید سطح آب‌زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات و افزایش شوری آب‌زیرزمینی در منطقه ایجاد شده است.



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز نیشابور در استان خراسان رضوی و نقشه زمین‌شناسی آن به همراه مرز آبخوان، ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری و شبکه‌ی آبراهه‌ها

به منظور بررسی کیفیت آب‌زیرزمینی و مدل‌سازی ریاضی تغییرات شوری آب‌زیرزمینی در آبخوان نیشابور در ابتدا مدل مفهومی کمی و کیفی سامانه آب‌زیرزمینی دشت نیشابور تهیه گردید. هدف از تهیه‌ی مدل مفهومی، ساده‌سازی محدوده‌ی مطالعاتی و سازماندهی آمار و اطلاعات موجود در آن است بطوری که بتوان سیستم منابع آب (سطحی و زیرزمینی) را به آسانی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در این مطالعه از نتایج کار ایزدی و همکاران (۲۰۱۳) استفاده شد که ضمن ارائه یک دستورالعمل جامع بمنظور تهیه‌ی مدل مفهومی آب‌زیرزمینی، اقدام به تهیه مدل مفهومی کمی دشت نیشابور کردند. در این پژوهش، با استفاده از اطلاعات آنالیز شیمیایی آب ۵۵ ایستگاه پایش کیفیت آب‌زیرزمینی (انجام شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی) و انجام مطالعات هیدروژئوشیمی، مدل مفهومی کیفی آبخوان نیشابور تهیه شد.

به منظور انجام مطالعات هیدروژئوشیمی از داده‌های کیفیت آب‌زیرزمینی مربوط به سال آبی ۹۴- ۱۳۹۳ بودند استفاده شد. ۵۵ نمونه از ایستگاه در سراسر دشت مورد بررسی قرار گرفت که ۵۱

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه مربوط به چاه و ۴ نمونه مربوط به قنوات می‌باشند و از لحاظ توزیع مکانی در وضعیت مطلوبی هستند (شکل ۲). قالب این نمونه‌ها در آبخوان آبرفتی نیشابور واقع شده‌اند که این امر موجب می‌شود که برآورد خوبی از وضعیت کیفیت شیمیایی آب موجود در آبخوان بدست آید.

در گام بعدی، به‌منظور تعیین بیلان آب‌زیرزمینی در دوره‌های مختلف زمانی و شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت نیشابور از کد MODFLOW استفاده گردید. در این مدل، یک شبکه‌ی منظم تفاضلات محدود با مساحت حدود ۲۳۶۰ کیلومترمربع و با اندازه‌ی سلول ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر مورد استفاده قرار گرفت. برای ایجاد مدل جریان آب‌زیرزمینی از نتایج مطالعات قبلی بویژه مطالعه انجام گرفته توسط ایزدی (۱۳۹۲) بهره گرفته شد و مدل جریان تهیه شده در مطالعات قبلی با داده‌های جدید بروزرسانی و واسنجی مجدد شد.

سپس، به منظور بررسی تغییرات شوری (کیفیت آب‌زیرزمینی) با استفاده از کد MT3DMS فرایند انتقال جرم بصورت محلول در آبخوان شبیه‌سازی شد. حرکت و انتقال مواد محلول در محیط‌های متخلخل بطور کلی به خصوصیات محیط متخلخل (خصوصیات مسیر حرکت)، مشخصات محیط مایع (بستر حرکت) و خصوصیات نوع ماده محلول بستگی دارد. در کد MT3DMS حرکت مواد محلول را با استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی (بر اساس قانون بقای جرم) و با استفاده از فرآیندهای انتقال (همرفت) و پخش هیدرودینامیکی شبیه‌سازی می‌نماید.

با توجه به اهداف مطالعه، یون کلر در آب‌زیرزمینی به عنوان آلاینده در نظر گرفته شد. سری زمانی یون کلر در ایستگاه‌های پایش کیفیت آب‌زیرزمینی به عنوان داده مشاهده‌ای به مدل کیفی وارد شد.

نتایج و بحث

به‌طور کلی تحلیل‌های کیفی و ارزیابی روند تغییرات کیفیت شیمیایی منابع آب علاوه بر جایگاه آن در تامین نیازهای مصارف گوناگون، در مطالعه هیدروژئولوژی و مدیریت آبخوان نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین‌جهت عموماً به صورت دوره‌ای از منابع آب انتخابی یا به‌صورت مطالعات موردی در مقاطع زمانی و در اعماق مختلف، از منابع آب‌زیرزمینی نمونه‌برداری کیفی نیز انجام شده و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن‌ها شامل هدایت الکتریکی (EC)، pH و غلظت عناصر اصلی مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین مشخصه کیفی منابع آب، هدایت الکتریکی است که به‌عنوان شاخصی برای پی‌بردن به وضعیت کیفیت منابع آب استفاده می‌شود. نقشه توزیع هدایت الکتریکی در آبخوان دشت نیشابور (شکل ۲) نشان می‌دهد که در نواحی شمال شرق دشت که آبخوان تحت تأثیر تغذیه زیرزمینی و سطحی مناسبی قرار دارد و دانه‌بندی درشت تر می‌باشد آبخوان دارای بهترین کیفیت می‌باشد و در نواحی جنوب و غرب آبخوان که آبرفت‌ها ریزدانه‌تر بوده و سرعت حرکت آب‌زیرزمینی در آن‌ها کمتر است، شوری آب‌زیرزمینی افزایش می‌یابد.

بررسی سری زمانی طولانی مدت هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های پایش کیفیت آب‌زیرزمینی دشت نیشابور نشان می‌دهد میانگین شوری در آبخوان بین سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ افزایشی بوده است (شکل ۲).

در این مطالعه با استفاده از نمودار پایپر (شکل ۳)، تیپ آب برای نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت نیشابور تعیین شده است که بر این اساس، تیپ سدیم–کلراید (۶۳/۶ درصد)، سدیم–بیکربنات (۱۴/۵ درصد)، منیزیم– بی‌کربنات (۱۲/۷ درصد)، سدیم–سولفات (۷/۲ درصد) و منیزیم–کلراید (۱/۸ درصد) نمونه‌ها را شامل می‌شود.

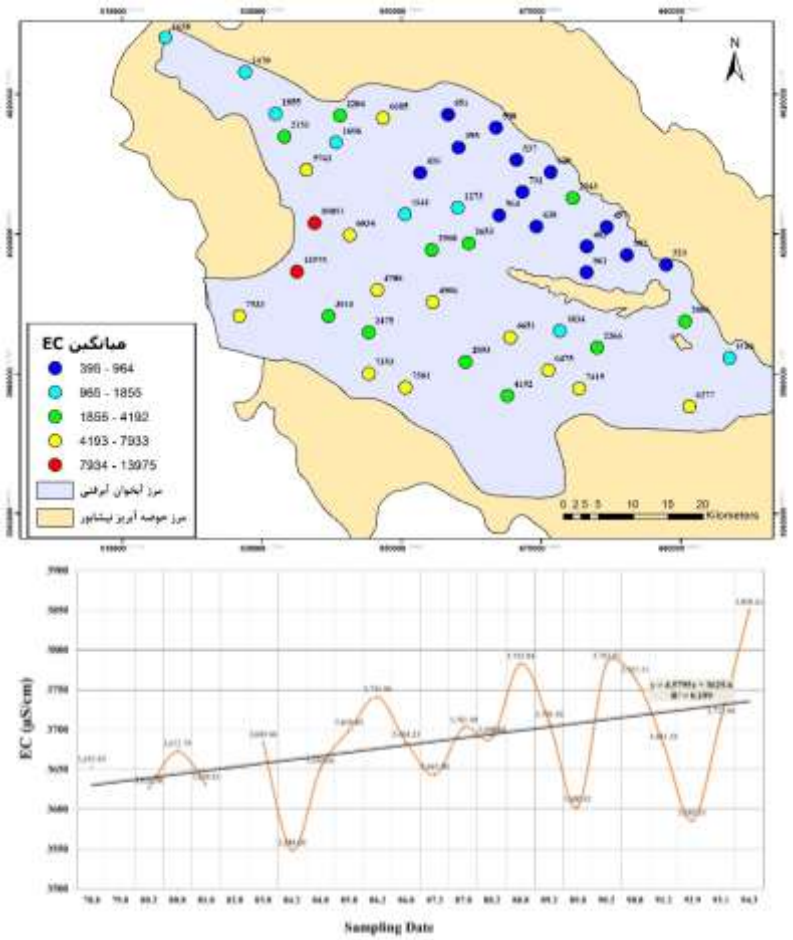
از نظر مکانی نمونه‌های با تیپ سدیم–کلرید بیشتر در جنوب، مرکز و غرب دشت خصوصا در مناطق تخلیه آبخوان دیده می‌شود. اما رخساره‌های کربناته که شاخص مناطق تغذیه‌ای محسوب می‌شود در مناطق شمالی و شرقی و عموما نزدیک به ارتفاعات و مخروط افکنه‌های مشرف به بلندی‌های این مناطق دیده می‌شود. نمونه‌های با رخساره سولفاته نیز هر چند به تعداد کم در بین نمونه‌های با رخساره کلروره و بیکربناته دیده می شوند.

بخشی از شوری آب‌زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می تواند ناشی از آبشویی لایه‌های نمک حاصل از تبخیر آب از سطح خاک باشد. روند کاهشی در نمودار EC در برابر نسبت کاتیون‌ها به کلر (Na/Cl ، Ca/Cl، K/Cl و Mg/Cl) نشان می‌دهند این کاتیون‌ها می‌توانند ناشی از هوازدگی سیلیکات‌ها و یا انحلال کربنات‌ها باشند (شکل ۴). چنانچه این روند افقی و موازی با محور EC باشد نشان دهنده نقش تبخیر در افزایش غلظت سدیم است. همان طور که مشاهده می شود بخشی از نمونه‌ها اثر بارز تبخیر و یا انحلال هالیت را نشان می‌دهند که اغلب مربوط به نمونه های واقع شده در غرب و بعضا مرکز دشت نیشابور هستند.

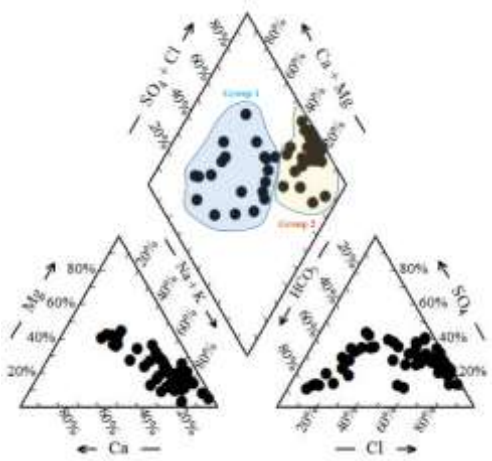
رابطه مستقیم بین کلر و EC (شکل ۴) نیز به خوبی نشان‌دهنده اثر برهمکنش آب–سنگ (water-rock interaction) می‌باشد. آب‌هایی که مسیر طولانی در آبخوان حرکت کرده‌اند، برهمکنش بیشتری با مواد آبخوان داشته و تکامل بیشتری را طی کرده‌اند و در نتیجه غلظت‌های بالاتری از مواد محلول را دارا هستند (Moran-Ramírez et al., 2016). با توجه به رابطه کلر و EC، از یون پایدار کلر می‌توان به عنوان نماینده شوری آب‌زیرزمینی برای مدل سازی استفاده کرد.

www.SID.ir

Archive of SID



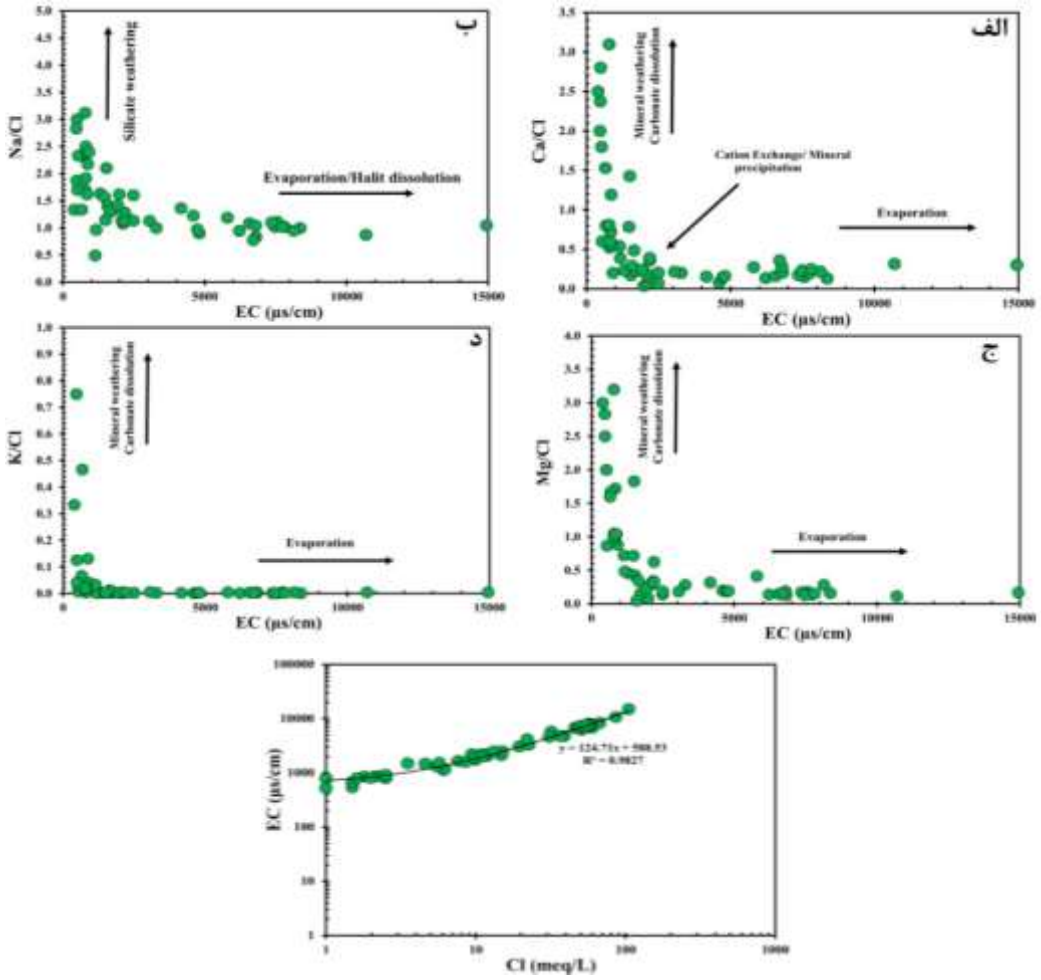
شکل ۲- نقشه توزیع هدایت الکتریکی در نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت نیشابور (الف) و نمودار تغییرات هدایت الکتریکی (کموگراف) دشت نیشابور بین سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹٤ (ب)



شکل ۳- نمودار پایپر نمونه‌های آب‌زیرزمینی محدوده مطالعاتی نیشابور

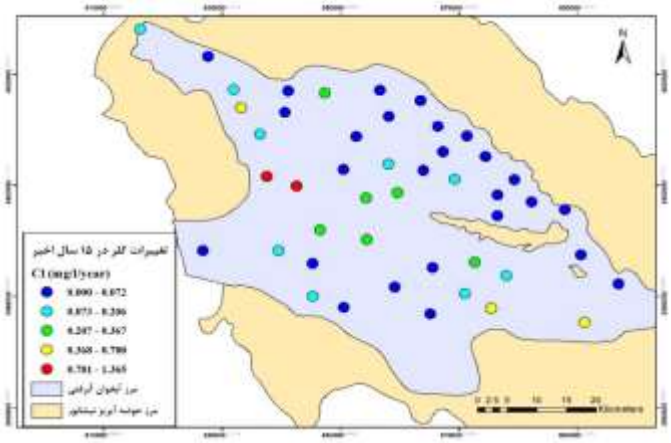
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- نمودار نسبت های مختلف کاتیون ها و هدایت الکتریکی در برابر EC

بررسی سری زمانی ۱۵ ساله یون کلر در آب‌زیرزمینی دشت نیشابور نشان می‌دهد بیشترین افزایش کلر در حاشیه‌های غربی و شرقی دشت مشاهده شده است (شکل ۵). در این نواحی سنگ کف مارنی و آبرفت ریزدانه‌تر بوده و ضخامت اشباع کمتر از مرکز دشت می‌باشد. با پایین رفتن سطح آب‌زیرزمینی، چاه‌ها از لایه‌های پایین‌تر آبخوان که دارای شوری بیشتری می‌باشند آب می‌گیرند. در ادامه، چگونگی پیشروی آب‌های شور در آبخوان توسط مدل ریاضی شبیه-سازی شده است.

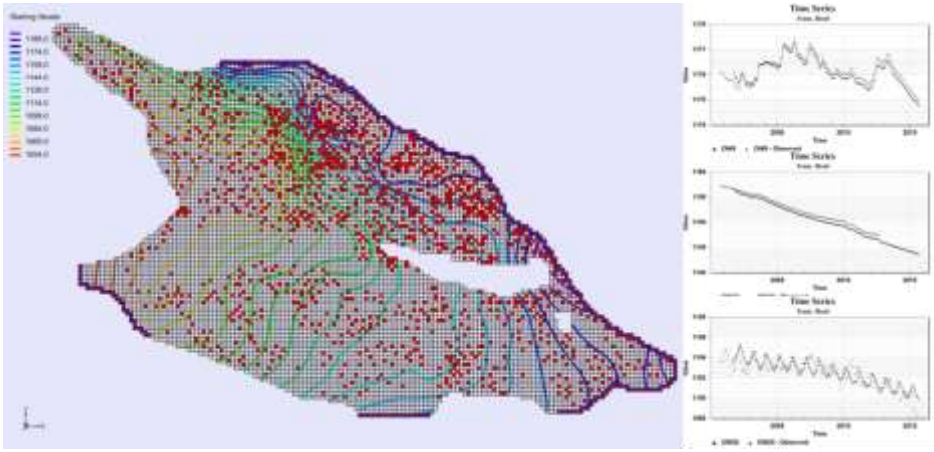


شکل ٥- نقشه تغییرات زمانی یون کلر در نمونه‌های آب‌زیرزمینی دشت نیشابور

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که قبلا گفته شد، پس از تهیه مدل مفهومی کمی و کیفی، شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت نیشابور با استفاده از کد MODFLOW بر اساس از نتایج مطالعه ایزدی (۱۳۹۲) انجام شد و مدل جریان تهیه شده در مطالعات قبلی با داده‌های جدید بروزرسانی و مدل در شرایط ناماندگار برای دوره ۱۰ ساله مهرماه ۱۳۸۰ تا شهریورماه ۱۳۹۰ با گام زمانی یک ماهه و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای سطح آب‌زیرزمینی واسنجی شد (شکل ۶). سپس مدل جریان آب‌زیرزمینی برای یک دوره ۴ ساله (مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۴) صحت‌سنجی شد. نتایج مدل نشان داد که مطابقت خوبی بین تراز آب‌زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای در زمان شبیه‌سازی دیده می‌شود بطوریکه در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مقادیر خطا (برحسب RMSE) به ترتیب به مقادیر ۱/۹۲ و ۱/۶۵ متر کاهش یافت.

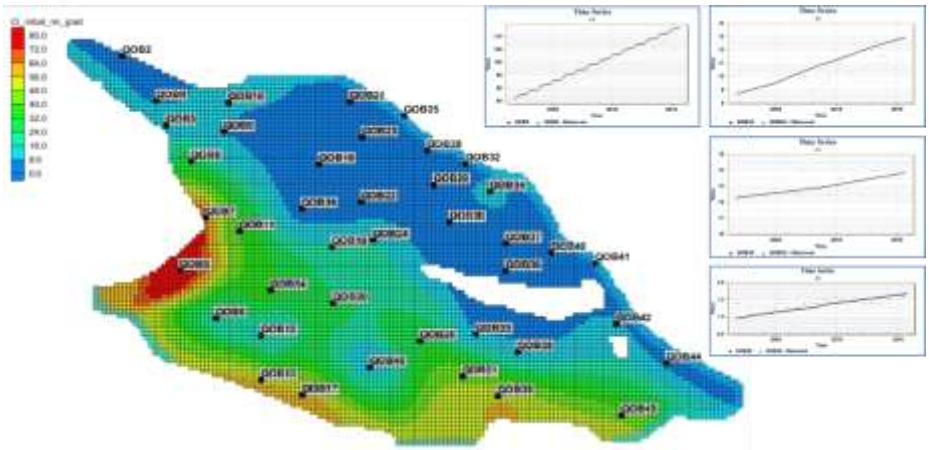


شکل ٦- سطح آب اولیه و شرایط مرزی در مدل جریان به همراه مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی در چند چاه مشاهده‌ای

پس از تهیه مدل جریان، به منظور بررسی تغییرات شوری (کیفیت آب‌زیرزمینی) با استفاده از کد MT3DMS، انتقال یون کلر بصورت محلول در آبخوان شبیه‌سازی شد. سری زمانی یون کلر در ایستگاه‌های پایش کیفیت آب‌زیرزمینی به عنوان داده مشاهده‌ای به مدل کیفی وارد شد.

با توجه به عدم وجود داده‌های مربوط به پخش (شامل پخش طولی و عرضی) در محدوده آبخوان، مقدار اولیه این پارامترها با توجه به نوع دانه‌بندی رسوبات آبخوان و استفاده از مراجع معتبر موجود بصورت اولیه برای محدوده مدل‌سازی تعریف گردید.

با توجه به این موضوع واسنجی مدل کیفی با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیرگذار در مدل کیفی شامل تغذیه، شرایط مرزی و پخشودگی طولی تا حصول به دقت مورد نیاز انجام گردید. شبیه‌سازی کیفی در آبخوان نیشابور برای دوره ۱۴ ساله مهرماه ۱۳۸۰ تا شهریورماه ۱۳۹۴ انجام گرفت و خطای محاسبه شده (برحسب RMSE) برای یون کلر در ایستگاه‌های پایش در حدود ۱/۷۸ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد (شکل ۷).

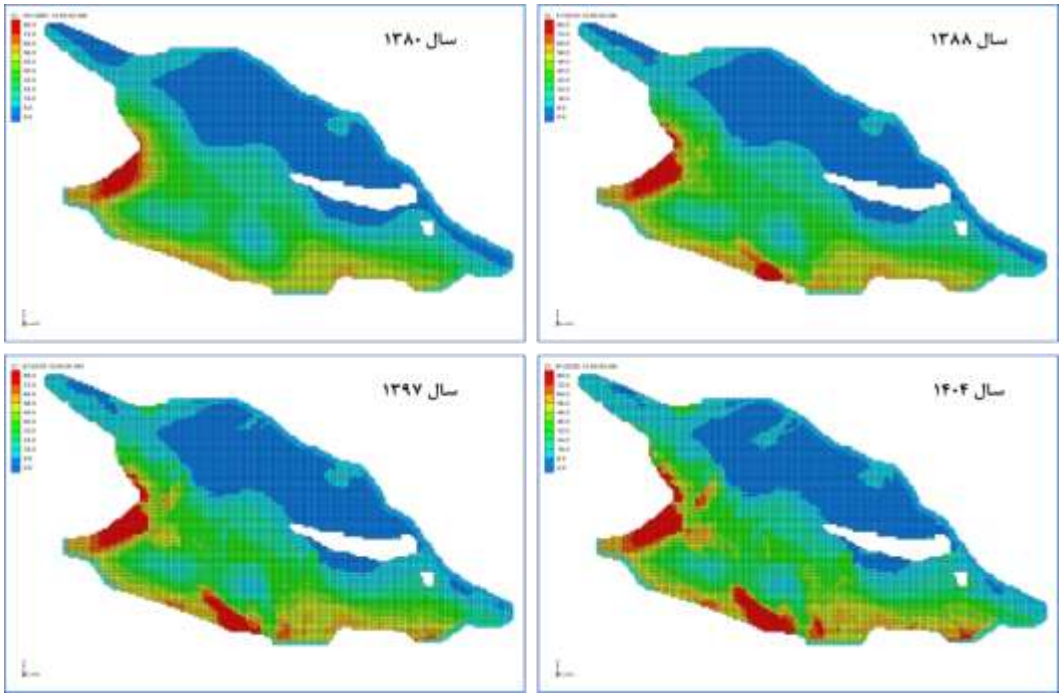


شکل ۷- غلظت یون کلر در شرایط اولیه مدل انتقال جرم به همراه مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی غلظت یون کلر در چند نقطه پایش

www.SID.ir

Archive of SID

پس از واسنجی مدل‌های جریان و انتقال جرم در آبخوان نیشابور، دو سناریو در مدل تعریف شد و اثرات آن تا شهریورماه سال ۱۴۰۴ توسط مدل بررسی شد. در سناریوی اول فرض شده است طی دوره - پیش‌بینی (۱۳۹۴ تا ۱۴۰۴) مقدار برداشت از آبخوان و میزان تغذیه مشابه شرایط کنونی باقی بماند. در این سناریو افت سطح آب و افزایش شوری آبخوان ادامه خواهد یافت (شکل‌های ۸ و ۹). بطوریکه مساحت قسمت‌هایی از آبخوان که دارای آب با کیفیت است به تدریج کمتر خواهد شد و آب شور از حاشیه‌های جنوب شرق تا غربی آبخوان به سمت مرکز و شمال پیشروی خواهد داشت (شکل ۸).



شکل ۸- تغییرات زمانی-مکانی غلظت یون کلر در آب‌زیرزمینی دشت نیشابور در دوره شبیه‌سازی و پیش‌بینی در سناریوی اول (ادامه روند کنونی)

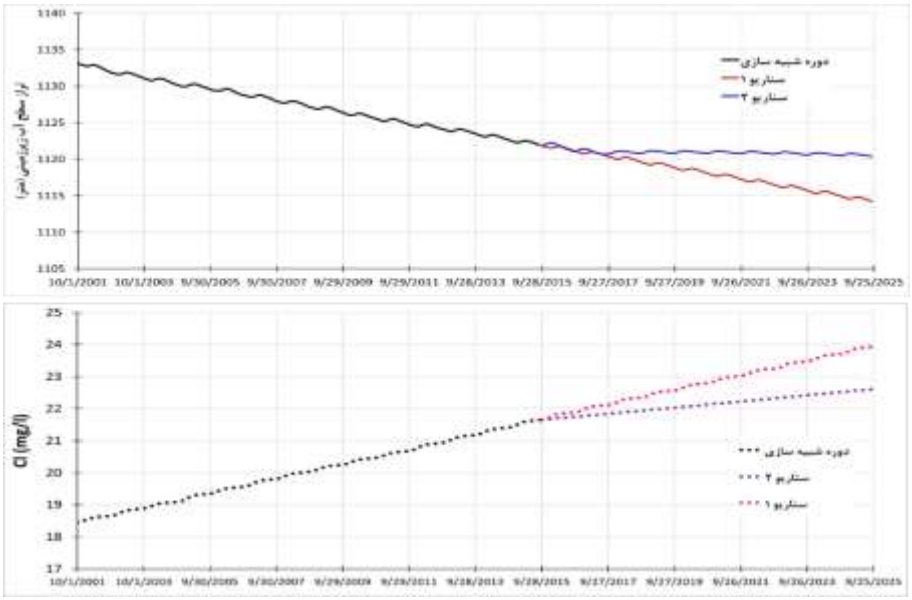
سناریوی دوم، کاهش برداشت از آبخوان به منظور رسیدن تعادل در بیلان آب‌زیرزمینی می‌باشد. نتایج نشان داد که برداشت از آبخوان بایستی به میزان تقریبی ۴۰ درصد کاهش یابد تا بتوان به شرایط تعادلی دست یافت. در این سناریو فرض شد که مقدار تغذیه در طول دوره پیش‌بینی ثابت باشد و تخلیه‌ی کلیه‌ی چاه‌ها بطور مساوی در کل دشت کاهش یابد. حتی با در نظرگرفتن شرایط تعادلی در این سناریو، تراز آب‌زیرزمینی در نواحی شرق و جنوب شرق دشت همچنان دارای روندی کاهشی است و میانگین شوری آبخوان افزایش می‌یابد اما نرخ افزای شوری ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۹).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مدل مفهومی و مدل ریاضی جریان آب‌زیرزمینی و انتقال جرم بصورت محلول برای شبیه‌سازی پیشرفت شوری در آبخوان نیشابور با استفاده کدهای MODFLOW و MT3DMS انجام شد. پس از کسب شناخت از هیدروژئولوژی و هیدروژئوشیمی منطقه، مدل عددی ایجاد شد و مرزهای مدل و تنش‌های وارد بر سلول‌های فعال تعریف شدند. مطالعات هیدروژئوشیمی نشان داد که افزایش شوری آبخوان به دلیل وجود کانی‌های تبخیری و آب برگشت کشاورزی است. مدل جریان در شرایط ناماندگار برای دوره ۱۰ ساله مهرماه ۱۳۸۰ تا شهریورماه ۱۳۹۰ با گام زمانی یک ماهه و با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای سطح آب‌زیرزمینی واسنجی و برای یک دوره ۴ ساله (مهرماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۴) صحت‌سنجی شد. نتایج مدل نشان داد که مطابقت خوبی بین تراز آب‌زیرزمینی شبیه‌سازی-شده و مشاهده‌ای در زمان شبیه‌سازی دیده می‌شود. در مرحله بعد، اثر دو سناریوی ادامه روند کنونی و شرایط ۴۰ درصد کاهش برداشت از آبخوان تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی شد. تحت سناریوی یک و ادامه روند کنونی تا افق ۱۴۰۴، هیدروگراف معرف آبخوان برای کل دشت افتی معادل ۰/۷۹ متر در سال نشان داد. همچنین سطح محدوده مدل‌سازی در جنوب‌شرق دشت بخاطر خشک‌شدن آبخوان در آن نواحی به سمت داخل پیشروی کرده و به تدریج کوچک و کوچک‌تر می‌گردد و شوری آب‌زیرزمینی بطور پیوسته افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- میانگین سطح آب‌زیرزمینی و غلظت یون کلر (شوری) در آبخوان نیشابور طی دوره‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی

تحت سناریوی دوم که هدف کاهش برداشت از آبخوان بمنظور نیل به وضعیت تعادلی در بیلان آب‌زیرزمینی می‌باشد، نتایج نشان داد که برداشت از آبخوان بایستی به میزان تقریبا ۴۰ درصد کاهش یابد تا بتوان به شرایط تعادلی دست یافت. همچنین بر اساس هیدروگراف واحد آبخوان، تراز آب‌زیرزمینی حداکثر تا ۰/۶۸ متر در انتهای دوره (شهریور ۱۴۰۴) افزایش نشان می‌دهد. نکته قابل توجه ادامه روند افزایش شوری آبخوان البته با نرخی به اندازه ۵۰ درصد کمتر از سناریوی اول می‌باشد. 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 نکند و برای مدیریت آبخوان نیاز به اطلاعات توزیعی می‌باشد.

منابع

ایزدی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد و ارزیابی یک مدل توسعه‌یافته تلفیقی آب‌زیرزمینی–آب سطحی در حوضه آبریز نیشابور. پایان نامه دوره دکتری، دانشگاه فروسی مشهد.

چیت سازان، م.، موسوی، ف.، میرزائی، ی. و رستگارزاده، س. ۱۳۹۱. مدیریت کمی و کیفی آبخوان دشت رامهرمز با استفاده از مدل ریاضی در MODFLOW و MD3DMS. زمین شناسی کاربردی پیشرفته. ۵ (۲): ۱–۸.

زمزم ع. و رهنما م.ب. ۱۳۹۱. ارزیابی کیفیت آب‌زیرزمینی با مدل ریاضی MT3DMS (مطالعه موردی دشت رفسنجان). نشریه پژوهش آب ایران، دوره ۶، شماره ۱۰.

سبحان اردکانی، س. ۱۳۹۵. ارزیابی آلودگی آرسنیک، روی، سرب، کادمیوم، کروم، مس و منگنز در منابع آب‌زیرزمینی دشت رزن همدان توسط شاخص‌های کیفیت آب . مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور. ۴ (۴): ۴۵–۳۳.

شفیعی، م. ۱۳۸۸. مدل سازی هیدرولوژکی آب سطحی توسط مدل SWAT و GIS: مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.

صابری مهر ص.، اصغری مقدم ا. و ندیری، ع. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی جریان آب‌زیرزمینی و نفوذ آب‌شور در آبخوان ساحلی دشت شبستر با استفاده از نرم‌افزار GMS. فصلنامه کواترنری ایران. ۳ (۱):۴۱ –۵۱.

طائی‌سمیرمی، س.، مرادی، ح. خداقلی، م. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات جریان رودخانه بار نیشابور تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. فصلنامه انسان و محیط زیست، ۲۹: ۱–۱۹.

فرزانه، م.، باقری، علی.، و رمضانی قوام آبادی، م. ۱۳۹۵. بنیان‌های نهادی بحران در مدیریت منابع آب‌زیرزمینی ایران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۶۴: ۹۴–۵۷.

قبادیان, ر.، بهرامی، ز. ۱۳۹۵. بررسی عددی اعمال سناریوهای کمی و کیفی بر آبخوان دشت خزل استان همدان با مدل های MODFLOW و .MT3DMS مرتع و آبخیزداری،۶۹ (۴): ۱۰۶۲–۱۰۴۳.

www.SID.ir

Archive of SID

مشهدی میقانی، ل. و باغوند، ا. ۱۳۸۹. بررسی و مدل‌سازی آلودگی ناشی از زباله‌های محل دفن بر آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی آبخوان امان‌آباد). چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط-زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط‌زیست.

میبدی، ج. ۱۳۹۴. طرح تعادل بخشی آب‌های زیرزمینی کشور، کارگاه حقوق آب ایران، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس.

نظری، ر. و جودوی، ع. ۱۳۹۳. مدل‌سازی کاربردی جریان و انتقال آلاینده در آبخوان. چاپ اول، نشر آفتاب عالمتاب، مشهد، ۲۴۰ صفحه.

Ansarifar, M.M., Salarijazi, M., Ghorbani, K. and Kaboli A.R. 2019a. Simulation of groundwater level in a coastal aquifer, Marine Georesources & Geotechnology, DOI: 10.1080/1064119X.2019.1639226

Ansarifar, M.M., Salarijazi, M., Ghorbani, K. and Kaboli A.R. 2019b. Spatial estimation of aquifer's hydraulic parameters by a combination of borehole data and inverse solution. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. DOI: 10.1007/s10064-019-01616-w

Baiwei, L. and Zhonghua, T. 2008. Investigation and Modeling of the Environment Impact of Landfill Leachate on Groundwater Quality at Jiaxing, Southern China, Journal of Environmental Technology and Engineering.

Chitrakar, P. and Sana, A. 2015. Groundwater Flow and Solute Transport Simulation in Eastern Al Batinah Coastal Plain, Oman: Case Study. Journal of Hydrologic Engineering.

Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ziaei, A. N., Alipoor, A., Joodavi A. and Brusseau, M.L. 2013. A framework toward developing a groundwater conceptual model. Arabian Journal of Geosciences.

Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ziaei, A.N., Akhavan, S., Alipoor, A., Joodavi, A. and Brusseau, M.L. 2015. Groundwater conceptualization and modeling using distributed SWAT-based recharge for the semi-arid agricultural Neishaboor plain, Iran. Hydrogeology Journal. 23.1: 47–68.

Karimi, L., Motagh, M., Entezam, I. 2019. Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model. Groundwater for Sustainable Development. 8:439-449. DOI: 10.1016/j.gsd.2019.01.003

Morán-Ramírez, J., Ledesma-Ruiz, R., Mahlknecht, J. and Ramos-Leal, J.A. 2016. Rock–water interactions and pollution processes in the volcanic aquifer system of Guadalajara, Mexico, using inverse geochemical modeling. Applied geochemistry. 68: 79-94.

Mukhopadhyay, A., Al-Sulaimi, J. and Marie Barrat, J. 1994. Numerical Modeling of Groundwater Resource Management Option in Kuwait, Journal of groundwater. 32(6).

Negm A.M. and Eltarabily M.G.A. 2016. Modeling of Fertilizer Transport Throught Soil, Case Study: Nile Delta. In: Negm A. (eds) The Nile Delta. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 55. Springer, Cham.

Yousefi, H., Zahedi, S., Niksokhan, M.H. et al. 2019. Ten-year prediction of groundwater level in Karaj plain (Iran) using MODFLOW2005-NWT in MATLAB. Environmental Earth Sciences. 78: 343. DOI: 10.1007/s12665-019-8340-y

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 15, Apr.-May. 2021, p. 27-37

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۵، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۰، ص. ۳۷-۲۷

Modeling the Groundwater Quality (Salinity) Variations in Neyshabour Plain Using MODFLOW and MT3DMS

P .Taherian[1], H. Ansary*[2], K. Davari[3], A. Naghi Ziai, A. Beheshti[5]
Recived: Oct.30, 2019 Accepted: Dec.03, 2019

Abstract

In this study, MODFLOW and MT3DMS codes were used to evaluate changes in groundwater quality in Neyshabour plain under different scenarios. During developing the conceptual model, it was found that the aquifer salinity increased due to the presence of fine alluvium and evaporite minerals in the margins of the plain and agricultural return flow. Groundwater models was calibrated under transient condition for 10 years from October 2001 to September 2011 and validated for a 4-year period (October 2011 to September 2015). Quantitative comparison of the head and Cl data in all the observation points indicated a reasonable match between the observed and the calculated values. The root mean squared error (RMSE) was 1.92 m and 1.65 m for the calibration and validation periods in the flow model, and the RMSE was 2 mg/l for the mass transport model in Neyshabour aquifer. The MODFLOW and MT3DMS models were used to simulate the effect of the two scenarios: (1) continue the current trend in groundwater withdrawals and (2) 40% reduction in groundwater withdrawals has been examined by the model. In the first scenario, the average groundwater level showed annual loss of 0.79 m and increasing in the groundwater salinity. Under the second scenario, which aimed to achieve equilibrium status in the groundwater balance, pumping rate for all wells were reduced by 40%. The results showed that although the average water level in the aquifer does not decrease, the groundwater salinity is still increasing, with a rate of 50% lower than in comparison to the first scenario. This reflects the fact that reduced groundwater withdrawals at the same rate for all wells may not meet water resource management goals and groundwater management requires distributed information about the aquifer.

Keywords: Mass transport modeling in aquifer, Groundwater salinity, MODFLOW, MT3DMS, Neyshabur plain

1- Ph.D Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
5- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: ansary@um.ac.ir)

www.SID.ir