Archive of SID.ir

مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، سال‌سیزدهم شماره۲، پائیزوزمستان ۱۴۰۱(پیاپی‌سی‌وهشت،)، ص ۴۶-۳۳، نوع مقاله : علمی پژوهشی/۳۳

بهینه‌سازی بهره‌برداری از آبخوان دشت شهریار با شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی به روش مدل‌سازی ترکیبی

نیما صالحی‌شفا[۱]، حسین بابازاده[۲*]، فیاض آقایاری[۳]، علی صارمی[۴]، محمدرضا غفوری[۵]، مسعود صفوی[۶] و علی پناهدار[۷]

۱) دانش‌آموخته دکتری رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲) استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: h_babazadeh@hotmail.com

۳) استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۴) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۵) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته هیدروژئولوژی، بخش مهندسی آب و محیط زیست، مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، تهران، ایران.

۶) دانشجوی دکتری رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۷) دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴

چکیده

در پژوهش حاضر یک الگوی شبیه‌سازی چندهدفه ارایه شد و شش سناریو بر اساس بیلان آب زیرزمینی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از آبخوان دشت شهریار تعریف شد. به این منظور، ابتدا با استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS و با روش‌های فازی و وزنی، مناطق پر آب و کم‌آب محدوده مطالعاتی به‌منظور اولویت‌بندی منابع و مصارف شناسایی شدند. سپس سناریوهای مورد نظر به وسیله مدل GMS شبیه‌سازی و ارزیابی شدند، در نهایت به منظور افزایش دقت نتایج پژوهش، غلظت TDS و بیلان آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج روش‌های فازی و وزنی، مناطق رباط‌کریم، سپس اسلامشهر و در نهایت شهریار به‌عنوان نواحی کم‌آب مشخص شدند. بر اساس نتایج حاصل شده، بیلان حالت ناپایدار و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۳۴۴/۶۸- و ۱۰۹/۹۸- میلیون‌مترمکعب محاسبه شدند. سناریوی سوم با بیلان ۲۰۳/۳۳ میلیون‌مترمکعب به‌عنوان بهترین سناریو انتخاب شد و بیلان حاصل از آن نسبت به بیلان حاصل از مدل GMS و شبکه عصبی برای سال آبی ۹۵ به‌ترتیب برابر ۲۸۴/۸۷ و ۲۸۴/۸۳ درصد افزایش یافت. همچنین غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی حاصل از مدل GMS و شبکه عصبی در کل بازه زمانی مطالعاتی به‌طور میانگین برابر ۶۵۵ و ۶۵۱ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شدند. معیارهای ضریب همبستگی و ضریب تعیین حاصل از مدل‌های شبکه عصبی برای بیلان آب زیرزمینی و کل داده‌ها برابر یک و برای غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۴ برآورد شدند. در تحقیق حاضر، الگوی شبیه‌سازی چندهدفه به‌عنوان یک روش جامع و کاربردی با ارایه روش‌های شبیه‌سازی نوین، توانایی پشتیبانی از چند سناریوی مؤثر را داشته و منجر به افزایش پایداری سیستم آب زیرزمینی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بهینه، پتانسیل آب زیرزمینی، شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، مدل GMS.

مقدمه

بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی یک مشکل رایج است که منجر به کاهش قابل توجه سطح آب‌های زیرزمینی و همچنین وقوع فرونشست زمین می‌شود، بهترین راه‌حل برای جلوگیری از برداشت بیش از حد به‌منظور مدیریت منابع آب، استفاده از تمام منابع آبی (آب‌های سطحی، زیرزمینی و فاضلاب) در هر منطقه است (Alaviani *et al.*, 2018). همچنین آلودگی آب‌های زیرزمینی یک مسئله مهم است. اثرات منفی بر سطح آب‌های زیرزمینی اغلب توسط سطوح بالای برداشت، آلاینده‌های سطحی و جریان برگشتی آب آبیاری آلوده ایجاد می‌شود، با توجه به این موارد، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی به‌منظور حفظ این منبع آبی ارزشمند ضروری است.

Abebrese و همکاران (۲۰۲۲) از یک رویکرد یکپارچه شامل

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] و سنجش از دور به منظور تولید نقشه پهنه پتانسیل آب زیرزمینی برای منطقه ساوانا در غنا استفاده نمودند. وزن لایه‌های موضوعی بر اساس تاثیر نسبی آنها بر وقوع آب‌های زیرزمینی تعیین کردند و سپس لایه‌های موضوعی وزن‌دار را با استفاده از مجموع وزنی در سنجش از دور برای ایجاد نقشه مناطق پتانسیل آب زیرزمینی همپوشانی دادند. نتایج نشان داد مناطق بالقوه آب زیرزمینی بسیارخوب تا متوسط به‌طور عمده در اطراف حاشیه‌های جنوبی، شرقی و غربی منطقه هستند، درحالی‌که مناطق بالقوه آب زیرزمینی منصفانه تا ضعیف حاشیه‌های شمالی و مرکزی و برخی از بخش‌های حوزه جنوبی را پوشش می‌دهند. Sun و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای به‌منظور کشف مناطق بالقوه آب زیرزمینی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] و تکنیک سنجش از دور برای حاشیه‌های بیابان وادی اسیوتی یک شاخه منحل‌شده از حوضه نیل مصر در صحرای شرقی انجام دادند. نتایج ایشان، شش منطقه متمایز را با نمرات بسیار پایین ۱۰/۵۹ درصد تا عالی ۳/۰۳ درصد نشان داد و ۴۸ درصد از چاه‌های جمع‌آوری شده را به‌عنوان سازگار تا عالی طبقه‌بندی نمود.

Pathak و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی حساسیت پارامتر برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و تکنیک تجزیه و تحلیل تصمیم چندمعیاره[3] در منطقه خادادوی مانتالی و ناحیه رامش هاپ واقع در استان باگ‌ماتی نپال پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شده با استفاده از نقشه‌های خطی و هیدروژئومورفیک نتیجه بهتری دارند و خطواری و هیدروژئومورفولوژی یک منطقه بیشترین تاثیر را در ترسیم پهنه‌های پتانسیل آب زیرزمینی در ناحیه کوهستانی منطقه هیمالیا دارد. John و Das (۲۰۲۰) مطالعه‌ای برای یافتن مناطق با حداکثر کاهش آب زیرزمینی در کلکته هندوستان با استفاده از مدل سنجش از دور انجام دادند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل تحقیق آنها، مکان‌هایی مانند نارندراپور، چیتپور، سینتی، بالی‌گانج، خیابان پارک، جاداوپور همگی روند کاهشی را نشان دادند. همچنین با پیشرفت در تامین آب‌های سطحی و با کاهش تراکم جمعیت، رکود سطح آب‌های زیرزمینی در شهر استراحتی کلکته وجود نداشته است.

تاکنون تحقیقات متعددی در مناطق مختلفی مانند منطقه وادای شرق کشور چاد (Al-Djazouli *et al*., 2021)، زیرحوضه نانديآرو، تامیلنادو در کشور هندوستان (Kolandhavel & Ramamoorthy, 2019)، حوضه رودخانه بادر ویتنام (Minh *et al*., 2022)، منطقه میدلند حوضه رودخانه واماناپورام هندوستان (Prasad & John, 2018)، استان اینوگو در جنوب‌شرقی نیجریه (Igwe *et al*., 2020)، حوضه رودخانه پی‌کانگ و حوضه رودخانه چوشو در تایوان (Chen *et al*., 2022)، مناطق خشک و نیمه‌خشک تونس (Trabelsi *et al*., 2022)، زیرحوضه دانگتارامیز در حوضه وابی‌شبل در اتیوپی (Tolche *et al*., 2021)، منطقه‌ای در شرق هندوستان (Singh *et al*., 2018)، حوضه آبخیز غیس در شمال مراکش (Bourjila *et al*., 2021)، استان آتشفشانی دکن، ماهاراشترا هندوستان (Ajay Kumar *et al*., 2020) و شمال‌غربی خلیج سوئز در کشور مصر (Abu El-Magd & Embaby, 2021) به‌منظور بهره‌برداری بهینه از پتانسیل آب زیرزمینی و حل کمبود منابع آبی انجام شده است.

Sarah و همکاران (۲۰۱۴) بیلان آب زیرزمینی توسط مدل‌های اتو رگرسیون و مدل مادفلو در حوضه آبخیز کریستالین در کانادا را بررسی نمودند. در این پژوهش سناریورهای مختلفی برای مخروط افت آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد ناهمگنی‌های زمین‌شناسی منطقه تاثیر زیادی بر سطح ایستابی دشت دارد و مدل مادفلو[4] به خوبی می‌تواند در تعیین بیلان آب زیرزمینی و شبیه‌سازی سطح ایستابی چاه‌های پیزومتری دشت مفید باشد. Pisinaras و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی و ارایه راهکارهایی برای تعدیل تاثیرات ۸۷ چاه بهره‌برداری واقع در اراضی کشاورزی دشت اسماریدا یونان به مساحت ۴۶/۷۵ کیلومترمربع پرداختند. جریان آب زیرزمینی را در بازه زمانی ۳ ساله از طریق مدل مادفلو شبیه‌سازی نمودند. بر اساس نتایج حاصل از بیلان آب زیرزمینی چهار گزینه مدیریتی، کاهش ۳۳ درصدی میزان برداشت مناسب‌ترین گزینه بود. همچنین در صورت اعمال این گزینه، تخلیه آبخوان به رودخانه واقع در نزدیکی آن بعد از یک دوره ۲۰ ساله به میزان بسیار کمی کاهش می‌یافت.

Jabbari و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات سطح و غلظت کل مواد جامد محلول[5] آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی اراک را بررسی نمودند. آنها برای این منظور از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی[6] برای آبخوان اراک در ایران استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد هم در دوره خشکسالی و هم افزایش بهره‌برداری از چاه‌های پمپاژ، سطح آب بیش از ۵ متر کاهش یافته و غلظت کل مواد جامد محلول در نواحی اطراف دریاچه واقع در بخش‌های مرکزی به‌دلیل تبخیر تالاب میقان و ساختار زمین‌شناسی منطقه به مراتب بیشتر است. Karlović و همکاران (۲۰۲۲) غلظت‌های آتی نیترات در آب‌های زیرزمینی را با استفاده از مدل مادفلو برای جریان آب زیرزمینی حالت پایدار و توسط کد MT3DMS برای انتقال نیترات شبیه‌سازی نمودند. بر اساس نتایج حاصل‌شده غلظت نیترات در قسمت شمالی آبخوان پایین خواهد ماند که عمدتا به‌دلیل رقیق شدن توسط رودخانه بوده و بخش مرکزی آبخوان به شدت به تغییر غلظت نیترات روی زمین وابسته می‌باشد.

در مورد مسایل کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی تحقیقات بسیاری توسط سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی در مناطق مختلف مانند نواحی مرکزی دلتای رود نیل الغربیای مصر (Ghoraba *et al*., 2013)، حوضه آبخیز بجنورد در استان خراسان شمالی در ایران (Kheirandish *et al*., 2020)، استان شانگ‌دان در چین (Qi *et al*., 2022)، بخش جنوبی مرکزی دلتای نیل (Eltarabily *et al*., 2017)، ساحل جنوبی دریای مارمارای ترکیه (Sengor & Unlu, 2013)، حوضه آبخیز تانتاریا ناحیه بمتارا در هندوستان (Sahu & Jhariya, 2022)، دشت ورامین در ایران (Valivand & Katibeh, 2020)، منطقه دلتای نیل غربی در مصر (Sobeih *et al*., 2017)، آبخوان برخوار استان اصفهان در ایران (Ostad-Ali-Askari &

1 GIS
2 AHP
3 MCDA
4 MODFLOW
5 TDS
6 GMS

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

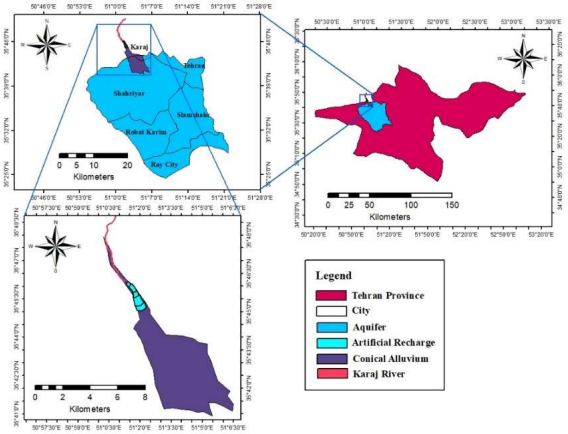
Shayannejad, 2021)، جنوب‌غربی بیجینگ در چین (Zhao *et al.*, 2021)، آبخوان ساحلی نوار غزه (Jaroun & Günal, 2022) و منطقه‌ای در چین (Wang *et al.*, 2021) انجام شده است.

هدف تحقیق حاضر، بهره‌برداری بهینه از آب زیرزمینی با استفاده از الگوی مدل‌سازی ترکیبی جهت استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی و کاهش مسایل کمی و کیفی آب زیرزمینی و ارتقای کیفیت زیست‌محیطی آن در محدوده مطالعاتی می‌باشد. در تحقیقات انجام شده از مدل‌های شبیه‌ساز به صورت مستقل به‌منظور تحلیل کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی و یا مدیریت بهره‌برداری بهینه از این منبع آبی استفاده شده است. ولی در تحقیق حاضر یک الگوی مدل‌سازی ترکیبی شامل سه مدل سنجش از دور، شبیه‌ساز GMS و مدل شبکه عصبی مصنوعی[1] جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی، مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این موضوع، نوآوری تحقیق مورد نظر استفاده از الگوی مدل‌سازی ترکیبی به‌منظور ارایه سیاست‌های بهره‌برداری بهینه از آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه بر اساس شرایط و محدودیت‌های آبخوان دشت شهریار و با قابلیت تعمیم به سایر مناطق دیگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

محدوده دشت شهریار در حاشیه غربی شهر تهران و در موقعیت جغرافیایی "۱۴ '۲۲ °۵۰ تا " ۰۲ '۲۲ °۵۱ طول شرقی و "۳۲ '۴۴ °۳۵ تا " ۲۵ '۰۲ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است که از شمال‌غربی به شهر کرج، از غرب به ارتفاعات سیاه کوه، از شرق و شمال‌شرقی به شهر تهران و رودخانه کن و از جنوب به رباط‌کریم محدود می‌شود. این محدوده به مساحت تقریبی ۸۹۷ کیلومترمربع می‌باشد. محدوده مورد مطالعه از نظر تقسیمات سیاسی جز استان تهران بوده و شهرهای شهریار، رباط‌کریم، اسلامشهر و نیز بخش‌هایی از شهرستان‌های تهران، کرج و همچنین حاشیه شمالی شهرستان ری را در خود جای می‌دهد. سیستم تغذیه مصنوعی در مخروطه افکنه و در شمال محدوده مطالعاتی قرار گرفته است. این طرح شامل پنج حوضچه تغذیه متوالی بوده که در راستای محور طولی رودخانه قرار گرفته‌اند. ظرفیت آنها حدود ۳۱۹۶۴۱۶ مترمکعب بوده و دارای پنج خاکریز می‌باشد که خاکریز اول تا چهارم دارای یک سرریز و خاکریز پنجم دو سرریز دارد. در نهایت آب مازاد در حوضچه آخر از دو سرریز و سازه مقسم بر روی خاکریز پنجم خارج شده و وارد رودخانه‌های کرج و شاد چای می‌شود. منبع تغذیه آب زیرزمینی در این سیستم تغذیه، مقادیر سیلابی است که از سد انحرافی بیلقان به سمت پایین دست حرکت کرده و وارد مخروطه افکنه و طرح تغذیه مورد نظر می‌شود. در پایین دست طرح تغذیه مصنوعی، شن چاله‌های وسیع قرار گرفته‌اند که در انتهای مخروطه افکنه قرار دارند. در این طرح، نوع سرریزها اوجی بوده و جنس آنها از بتن و قلوه‌سنگ با روکش بتن مسلح می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه، مساحت آبخوان برابر مساحت محدوده مورد نظر است و حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری برآورد شده است. حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی در دوره زمانی مورد نظر در جدول (۱) نشان داده شده است. بیلان آب زیرزمینی با استفاده از اطلاعات موجود، محاسبات و تحلیل آمار و اطلاعات برآورد شد. جدول (۲) بیلان آب زیرزمینی محدوده در بازه زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقیاس زمانی داده‌های تحلیل شده به صورت روزانه، ماهانه و سالانه بوده و مربوط به سه سال آبی ۹۳ تا ۹۵ می‌باشد. در تحقیق حاضر، آمار و اطلاعات مورد نظر از شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران و مدیریت منابع آب ایران دریافت شده است. شکل (۱) موقعیت محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

جدول ۱. حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی (میلیون‌مترمکعب)

سال آبی	کشاورزی	شرب	صنعت
۹۳	۵۰۲	۱۹۳	۵۰
۹۴	۵۱۴	۱۹۰	۴۸
۹۵	۵۲۵	۲۰۸	۵۲

1 ANN

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۲. بیلان آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی (میلیون‌مترمکعب)

جریان	پارامتر	سال آبی ۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶
ورودی	رودخانه	۲۸	۲۸	۲۸
	مرز	۱۰۶	۲۶۳	۲۶۶
	تغذیه از سطح و آب‌های برگشتی	۳۸۴	۳۵۵	۳۹۶
	مجموع ورودی	۵۱۹	۶۴۶	۶۹۱
خروجی	چاه	۷۴۴	۷۵۲	۷۸۵
	مرز	۸	۱۱	۱۱
	مجموع خروجی	۷۵۲	۷۶۳	۷۹۶
	اختلاف (ورودی- خروجی)	-۲۳۳	-۱۱۷	-۱۰۵

شبیه‌سازی فازی نواحی پرآب و کم‌آب با مدل GIS

در تحقیق حاضر به‌منظور شناسایی مناطق پرآب و کم‌آب و تعیین پتانسیل بهره‌برداری از منابع آبی و استفاده از آن در برنامه‌ریزی بهینه منابع آبی در محدوده مورد مطالعه به‌وسیله مدل‌های GMS و شبکه عصبی مصنوعی، تحلیل محدوده مطالعاتی از نظر شرایط منابع آبی نواحی مورد نظر به روش‌های فازی و وزنی انجام شد. به این منظور، داده‌های غلظت TDS آب زیرزمینی، حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی، عمق آب زیرزمینی، ضرایب هیدرودینامیکی آب زیرزمینی مانند هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و ضریب قابلیت انتقال به‌منظور درون‌یابی با استفاده از ماژول Geostatistical Analyst در محیط GIS برآورد شدند. متغیرهای مورد نظر با استفاده از روش‌های درون‌یابی وزنی فاصله معکوس[۱] و چندجمله‌ای جهانی[۲] با توان‌های یک، دو و سه، چندجمله‌ای محلی[۳] با مدل‌های نمایی و گوسی و با توان‌های یک، دو و سه، توابع پایه شعاعی[۴] مشتمل بر اسپلاین منظم[۵]، اسپیلاین کشش[۶]، چندربعی[۷]، چندربعی معکوس[۸]، اسپلاین صفحه نازک[۹]، روش‌های کریجینگ[۱۰] و کوکریجینگ[۱۱] هر کدام با چهار روش معمولی، ساده، عمومی و گسسته جهت محاسبات درون‌یابی برآورد شدند. سپس جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای هر لایه از شاخص‌های آماری استفاده شد. شاخص‌های آماری مورداستفاده عبارت‌بودند از میانگین خطاها[۱۲] و جذر میانگین مربعات خطاها[۱۳] که به‌منظور ارزیابی نتایج روش‌های درون‌یابی استفاده شدند. بعد از پهنه‌بندی هر متغیر و تعیین بهترین روش درون‌یابی، به‌منظور تشخیص نواحی پرآب و کم‌آب در محدوده مطالعاتی از لایه‌های منتخب هر متغیر در قالب مدل منطق فازی و مدل وزنی استفاده شد. به‌منظور تحلیل فازی مناطق پرآب و کم‌آب در محدوده مطالعاتی مورد نظر، ابتدا مناسب‌ترین لایه رستری درون‌یابی شده منتخب هر متغیر در مرحله ارزش‌گذاری، ارزش‌دهی شد و سپس در مرحله فازی‌سازی، با استفاده از توابع عضویت فازی لایه‌های مربوط به هر یک از متغیرها برآورد شدند. همچنین لایه پلیگونی طول و عرض رودخانه‌ها، مسیل‌ها و کانال‌ها برای محاسبه فاصله از رودخانه‌ها و کانال‌ها با روش فاصله اقلیدوسی رستری شدند، سپس تمام لایه‌های فازی با یکدیگر ترکیب شد و در نهایت به همراه داده پلیگونی محدوده کاربری اراضی و ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه، تحلیل فازی انجام شد. در این پژوهش برای انجام تحلیل فازی به‌عنوان بخشی از تحلیل انجام شده از توابع عضویت اسمال[۱۴] و لارج[۱۵] استفاده شد.

انتخاب معیارهای مناسب جهت تعیین پتانسیل بهره‌برداری در مناطق پر آب و کم آب

بر اساس شرایط منطقه، روش و میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، پارامترهای مختلفی می‌توانند در تعیین مناطق پر آب و کم آب موثر باشند. در این تحقیق از معیارهای فاصله از رودخانه‌ها و کانال‌ها، شیب زمین و عمق آب زیرزمینی استفاده شد (Shi *et al.*, 2021). علاوه بر این معیارها، ضخامت آبخوان، حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در بخش‌های مختلف مصارف در محدوده مورد مطالعه، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، ضریب قابلیت انتقال و غلظت TDS آب زیرزمینی از جمله عوامل مهمی هستند که در انتخاب معیارهای فنی مورد استفاده قرار گرفتند. در این پژوهش بعضی از لایه‌های رستری درون‌یابی شده منتخب که شامل متغیرهای عمق آب زیرزمینی، شیب، غلظت TDS آب زیرزمینی، حجم مصارف در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت، فاصله از رودخانه‌ها و فاصله از کانال‌ها می‌باشند، به‌وسیله تابع فازی اسمال فازی‌سازی شدند. همچنین لایه‌های رستری درون‌یابی شده منتخب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، ضریب قابلیت انتقال و ضخامت آبخوان به‌وسیله تابع‌فازی لارج فازی‌سازی‌شدند. به‌منظورترکیب‌لایه‌هایی که تابع عضویت آنها تهیه شده‌بود، عملگر گاما با مقدار ۰/۹ اعمال گردید.

شبیه‌سازی وزنی نواحی پر آب و کم آب با مدل GIS

جهت تحلیل وزنی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی، ابتدا ارزش‌گذاری لایه‌های رستری درون‌یابی شده، انجام شد. در این مرحله رتبه ۱ کم‌ترین ارزش تا رتبه ۱۰ ارزشمندترین مقدار برای لایه‌های مورد نظر در نظر گرفته شد. در این بخش بر اساس اهمیتی که هر لایه اطلاعاتی به‌عنوان یک عامل مهم تاثیرگذار بر پتانسیل منابع آبی داشت، وزن متناسب با اهمیت آن لایه اختصاص داده شد و در نهایت با یکدیگر همپوشانی شدند (Arulbalaji *et al.*, 2019). وزن‌های مربوط به هر لایه در جدول (۳) و الگوریتم فرآیند محاسبات مدل‌های فازی و وزنی در شکل (۲) مشخص شده‌اند.

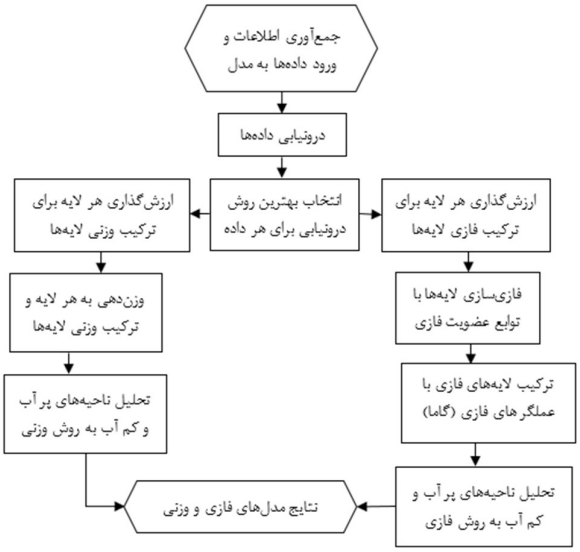
1 IDW
2 GPI
3 LPG
4 RBF
5 Completely Regularized Spline
6 Spline with tension
7 Multiquadric
8 Inverse multiquadric
9 Thin plate spline
10 Kriging
11 Co-Kriging
12 ME
13 RMSE
14 Small
15 Large

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۳. وزن لایه‌ها در شبیه‌سازی مدل وزنی

نام لایه	وزن لایه‌ها	نام لایه	وزن لایه‌ها
عمق	۰/۰۸۴	غلظت TDS آب زیرزمینی	۰. ۰۸۵
هدایت هیدرولیکی	۰/۰۷۹	برداری کشاورزی‌دبی بهره	۰/۰۹۳
آبدهی ویژه	۰/۰۷۷	دبی بهره‌برداری شرب	۰/۰۸۸
ضریب قابلیت انتقال	۰/۰۷۶	دبی بهره‌برداری صنعت	۰/۰۸۳
شیب	۰/۰۷۴	فاصله از رودخانه	۰/۰۹۱
ضخامت آبخوان	۰/۰۸	فاصله از کانال	۰/۰۹



شکل ۲. الگوریتم فرآیند محاسبات مدل‌های فازی و وزنی

شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی با مدل MODFLOW

در ابتدا مدل مفهومی که در این پژوهش استفاده گردیده است، شامل استفاده از ابزارهای سنجش از راه دور در مدول نقشه برای تهیه مدل مفهومی منطقه‌ای است که مدل ریاضی آن تهیه گردید. مدل تفهیمی در مدول نقشه با استفاده از نقاط، خطوط، و چندوجهی‌ها تعریف شد. پس از اینکه مدل تفهیمی تعریف شد، با ایجاد شبکه مدل کلیه پارامترهای تعریف شده در مدل مفهومی به سلول‌های شبکه نسبت داده شد. با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه هم‌پتانسیل، نقشه منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰۰×۵۰۰ متر شامل ۸۲ ستون و ۹۲ سطر برای محدوده مورد نظر تهیه شد و پارامترهای تهیه شده در مدل مفهومی به هر یک از سلول‌های مدل اختصاص داده شد. به‌منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در حالت پایدار، داده‌های هدایت هیدرولیکی، انیزوتراپی عمودی، قابلیت انتقال، تراز سنگ کف، تراز زمین، تراز سطح آب زیرزمینی، دبی چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه از باران، رودخانه و تغذیه مصنوعی به‌صورت میانگین سه ماه بهمن، اسفند و فروردین سال ۹۳ وارد مدل شدند. تراز آب زیرزمینی در این سه ماه نسبت به ماه‌های دیگر در طول سه سال، حدودا ثابت و پایدار بوده است. بنابراین داده‌های این دوره زمانی برای حالت پایدار در نظر گرفته شد، سپس واسنجی (کالیبراسیون) مدل در حالت پایدار انجام شد. پس از واسنجی داده‌ها در حالت پایدار، تمام داده‌های مذکور به صورت ماهانه برای سال ۹۳ و ۹۴ و در حالت ناپایدار محاسبه و سپس واسنجی شدند. در مرحله صحت‌سنجی از داده‌های ماهانه سال ۹۵ جهت محاسبات این مرحله استفاده شد. در نهایت سناریوهای مدیریتی منابع و مصارف آب زیرزمینی و مقادیر تغذیه مصنوعی توسط داده‌های ماهانه سال ۹۵ تعریف و برآورد شدند. همچنین مقادیر بیلان در مرحله آنالیز ناپایدار برآورد و در سناریوهای مدیریتی تحلیل شدند.

شبیه‌سازی غلظت TDS آب زیرزمینی با مدل MT3DMS

جهت شبیه‌سازی با مدل MT3DMS ابتدا مدل کمی اجرا شد. سپس مقدارکیفی TDS با واحد (میلی‌گرم بر لیتر) و پخشیدگی طولی جهت برآورد آنها به مدل کیفی معرفی شدند. پس از معرفی داده‌ها به مدل و اجرای آن، مقادیر پخشیدگی طولی ماهانه و در بازه زمانی سال ۹۳ و ۹۴ و به روش دستی واسنجی شدند. سپس مدل با داده‌های ماهانه و در بازه زمانی سال ۹۵ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. حل عددی معادلات انتقال و پخش آلودگی در آبخوان معمولا با سه نگرش اولرین، لاگرانژین و تلفیق اولرین- لاگرانژین انجام می‌شود. این مدل معادله انتشار آلودگی را به روش تلفیقی اولرین-لاگرانژین حل می‌کند

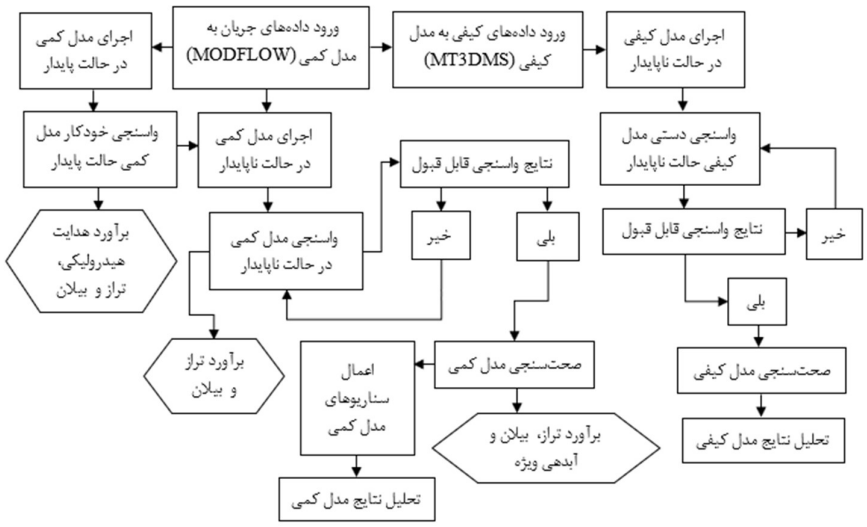
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

که برای تقریب زدن معادلات از سه روش خطوط مشخصه، روش اصلاح شده خطوط مشخصه و روش هیبرید خطوط مشخصه استفاده می‌کند. در این پژوهش از روش خطوط مشخصه استفاده شده است.

سناریوهای مدل MODFLOW

با در اختیار داشتن مدل عددی جریان آب زیرزمینی در محدوده آبخوان دشت شهریار، امکان بررسی سناریوهای مختلف فراهم می‌باشد. پس از واسنجی مدل کمی و کیفی به‌منظور کاربردی کردن نتایج آنها، چندین سناریو ارایه و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفت. سناریوهای مورد بررسی شامل ۱. افزایش ۵۰ درصد تغذیه مصنوعی؛ ۲. افزایش ۵۰ درصد تغذیه مصنوعی و همزمان ۳۰ درصد کاهش مصارف از چاه‌های بهره‌برداری؛ ۳. افزایش ۵۰ درصد تغذیه مصنوعی و همزمان ۴۰ درصد کاهش مصارف از چاه‌های بهره‌برداری؛ ۴. ۳۰ درصد کاهش مصارف از چاه‌های بهره‌برداری؛ ۵. ۴۰ درصد کاهش مصارف از چاه‌های بهره‌برداری؛ ۶. حذف مقادیر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به اندازه چاه‌های بهره‌برداری شرب و صنعت و تاثیر آن بر آبخوان می‌باشند. با توجه به شرایط مدیریت آب زیرزمینی و پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل سعی بر آن شد تا همه پارامترها ثابت در نظر گرفته شوند و تنها پارامترهای تاثیرگذار در شرایط آب زیرزمینی که در سناریوها نام برده شده‌اند، تغییر نمایند. در نهایت بر اساس سناریوهای نام برده الگوی برنامه‌ریزی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی ارایه شدند و الگوریتم فرآیند مدل‌سازی توسط GMS به صورت شکل (۳) تهیه شد.



شکل ۳. روندنمای فرآیند محاسبات مدل GMS

شبیه‌سازی غلظت TDS و بیلان آب زیرزمینی با شبکه عصبی مصنوعی

پس از محاسبات مدل MODFLOW توسط نرم‌افزار GMS، جهت برآورد غلظت TDS و بیلان آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه، داده‌های حاصل از برآورد مدل‌های MT3DMS و MODFLOW برای کل بازه زمانی مورد مطالعه، در مدل‌های شبکه عصبی مورد نظر اعمال شدند. به‌منظور محاسبه مدل‌های شبکه عصبی غلظت TDS و بیلان آب زیرزمینی از داده‌های حجم آب زیرزمینی ورودی و خروجی در مرزهای محدوده، تغذیه از سطح و تخلیه آب زیرزمینی توسط چاه‌های بهره‌برداری به‌عنوان ورودی و داده‌های غلظت کل مواد جامد محلول و بیلان آب زیرزمینی به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شدند. واحد متغیرهای ورودی (میلیون‌مترمکعب) و متغیرهای خروجی غلظت کل مواد جامد محلول (میلی‌گرم بر لیتر) و بیلان (میلیون‌مترمکعب) می‌باشند. در مدل شبکه عصبی کیفی، داده‌های ورودی با خروجی هم‌جنس نیستند، ولی به دلیل اینکه داده‌های ورودی بر کیفیت آب زیرزمینی تاثیر مستقیم و مهمی بر آن می‌گذارند، از این داده‌ها به‌عنوان ورودی استفاده شده است. همچنین در مدل شبکه عصبی بیلان آب زیرزمینی، به‌دلیل اینکه متغیرهای لایه ورودی با متغیر لایه خروجی هم‌جنس بوده و رابطه مستقیم با یکدیگر دارند، به‌منظور تحلیل مدل شبکه عصبی مورد نظر انتخاب شدند.

طراحی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی

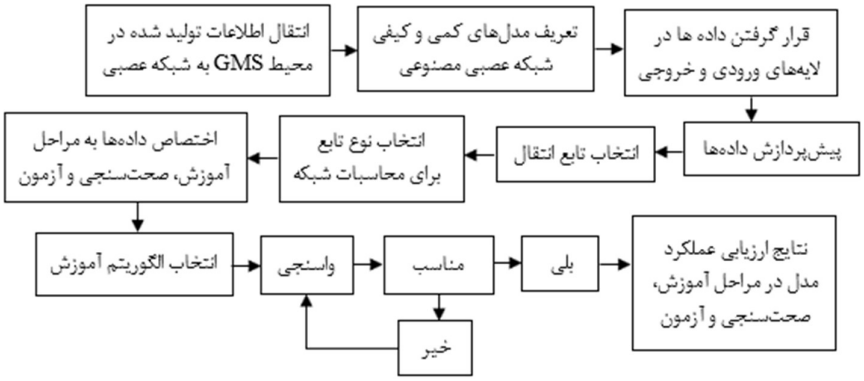
ساختار مدل‌های شبکه عصبی با چهار لایه که شامل یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی می‌باشند، در نظر گرفته شدند. همچنین در مدل شبکه عصبی کیفی آب زیرزمینی برای لایه اول پنهان ۵ نرون، لایه دوم پنهان ۱۰ نرون و لایه خروجی ۱ نرون برآورد شدند. در این مدل تابع انتقال نرون‌ها در لایه پنهان اول، تابع tansig در لایه پنهان دوم، تابع tansig و در لایه خروجی، تابع انتقال purelin می‌باشند. در مدل شبکه عصبی کمی آب زیرزمینی نیز تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان مانند مدل شبکه عصبی کیفی محاسبه شدند با این تفاوت که برای لایه دوم پنهان ۸ نرون در نظر گرفته شد. در مدل کمی، توابع انتقال نرون‌ها مانند مدل شبکه عصبی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

کیفی انتخاب شدند. در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی مورد نظر از تابع feed forward backpropagation network و با نام newff استفاده شد که در واقع شبکه‌های مورد نظر یک شبکه پیش‌خور می‌باشند. همچنین این مدل‌ها با استفاده از الگوریتم لونبرگ- مارکوآرت، آموزش داده شدند. در ادامه، داده‌ها به‌منظور اختصاص به مراحل آموزش، صحت‌سنجی و آزمون به سه دسته تقسیم شدند که با توجه به این موضوع در مدل کیفی آب زیرزمینی، ۷۰ درصد داده‌ها به مرحله آموزش، ۱۵ درصد داده‌ها به مرحله صحت‌سنجی و ۱۵ درصد دیگر داده‌ها به مرحله آزمون اختصاص داده شدند و همچنین در مدل بیلان آب زیرزمینی، ۷۰ درصد داده‌ها به مرحله آموزش، ۲۰ درصد به مرحله صحت‌سنجی و ۱۰ درصد نیز به مرحله آزمون اختصاص داده شدند.

انتخاب ساختار بهینه مدل‌های شبکه عصبی با توجه به آموزش شبکه‌های عصبی و بر مبنای آزمون و خطا و نیز معیارهای ارزیابی آماری صورت پذیرفت. به این منظور مدل‌های شبکه عصبی واسنجی شدند. برای انجام واسنجی مدل‌ها، تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های آنها، توابع انتقال، الگوریتم آموزش، درصد اختصاص داده‌ها به مراحل آموزش، صحت‌سنجی و آزمون و نیز تعداد تکرار محاسبات جهت برآورد پارامتر خروجی مورد نظر، برای هر اجرا تغییر یافتند و در نهایت با استفاده از معیارهای ارزیابی آماری، بهترین آرایش شبکه ارایه شد. با توجه به نتایج واسنجی مدل‌ها از تابع انتقال خطی purelin در لایه خروجی و از تابع tansig در لایه پنهان اول و دوم استفاده شد. همچنین تعداد دوره‌ها یا تکرارهایی است که شبکه در حین آموزش انجام می‌دهند برابر ۱۰۰۰ دور برای هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی در نظر گرفته شد. در انتها به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه از معیارهای آماری ضریب همبستگی، ضریب تعیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطا استفاده شد. شکل (۴) روند نمای فرآیند محاسبات مدل‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.



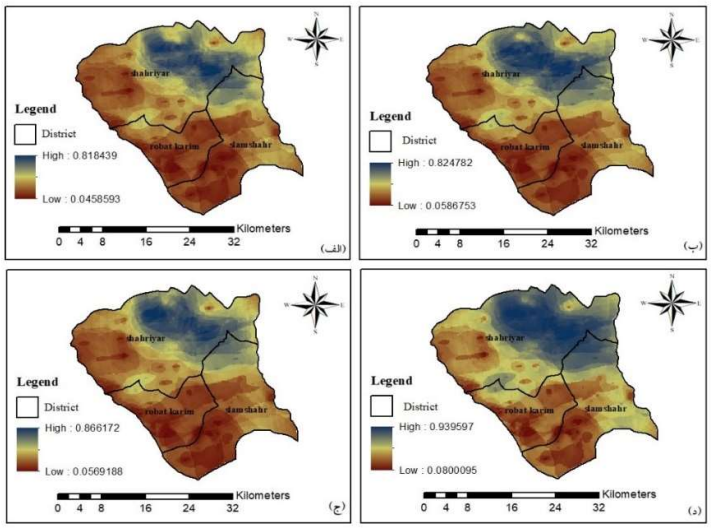
شکل ۴. روند نمای فرآیند محاسبات مدل‌های شبکه عصبی غلظت TDS و بیلان آب زیرزمینی

نتایج

با توجه به تحلیل روش فازی به‌منظور شناسایی مناطق پر آب و کم آب و نتایج به‌دست آمده، نواحی کم آب محدوده مورد مطالعه به‌ترتیب رباط کریم، اسلامشهر و سپس شهریار می‌باشند. مطابق شکل (۵) همان‌طور که مشاهده شد سطح بخش‌هایی که پر آب می‌باشند کمتر از بخش‌های کم آب بوده و مناطق شمال، شرق و جنوب ناحیه شهریار و مناطق شمالی ناحیه اسلامشهر را می‌توان به‌عنوان مناطق پر آب در نظر گرفت. مناطقی که از نظر تنش آبی در رتبه‌بندی متوسط قرار می‌گیرند بیشتر در مناطق نوار مرزی شمال و شرق ناحیه شهریار، مرکز، شرق و جنوب شرق ناحیه اسلامشهر و شمال‌غرب ناحیه رباط کریم قرار دارند. مناطق غرب ناحیه شهریار و مناطق جنوب‌غرب، غرب ناحیه اسلامشهر و مناطق غرب، شمال‌شرق، شرق و جنوب ناحیه رباط‌کریم را می‌توان به‌عنوان مناطق کم آب در نظر گرفت. بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده و مطالب یاد شده می‌توان کل محدوده مورد مطالعه را به‌عنوان یک منطقه کم آب و دارای تنش آبی در نظر گرفت.

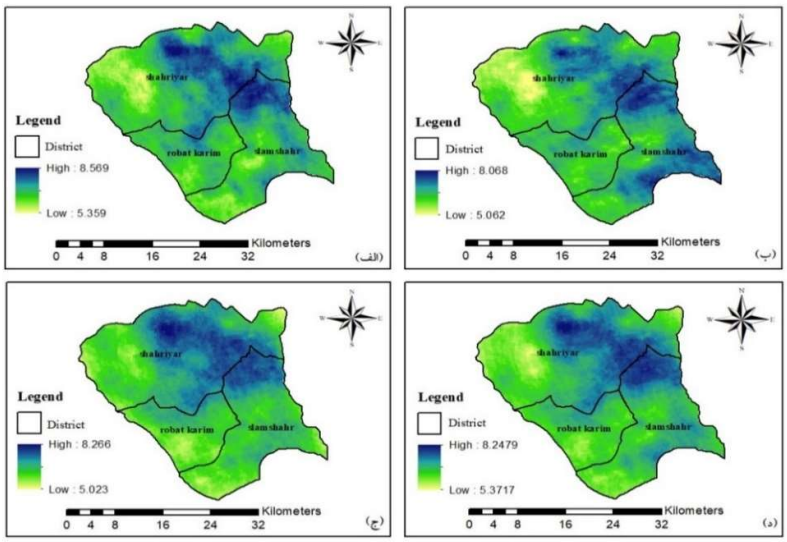
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۵. الف) آنالیز فازی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۳؛ ب) آنالیز فازی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۴؛ ج) آنالیز فازی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۵؛ د) آنالیز فازی مکان‌های پر آب و کم آب کل دوره زمانی

نتایج تحلیل روش وزنی مشابه روش فازی بوده و نواحی کم آب محدوده مورد مطالعه را به‌ترتیب رباط‌کریم، اسلامشهر و سپس شهریار نشان می‌دهند. در شکل (۶)، نواحی پرآب و کم آب مشخص می‌باشند و همانند شکل (۵) بخش‌هایی که پر آب می‌باشند را کمتر از بخش‌های کم آب نشان می‌دهند. با توجه به نتایج تحلیل‌های روش فازی و وزنی، بیشتر مناطق پر آب محدوده مورد مطالعه در ناحیه شهریار و اسلامشهر قرار دارند. در این روش نیز نواحی محدوده مورد مطالعه از نظر تنش آبی کمتر به‌ترتیب ناحیه شهریار، اسلامشهر و رباط کریم هستند. بنابراین در ادامه به‌منظور تعیین اولویت منابع و مصارف محدوده در بهره‌برداری بهینه و متناسب با شرایط منابع آبی محدود مطالعاتی، اولویت مصارف با منابع آب سطحی، سپس منابع آب زیرزمینی و اولویت نواحی از نظر مصارف ابتدا با ناحیه رباط‌کریم، سپس اسلامشهر و در نهایت شهریار خواهند بود.



شکل ۶. الف) آنالیز وزنی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۳؛ ب) آنالیز وزنی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۴؛ ج) آنالیز وزنی مکان‌های پر آب و کم آب در سال ۹۵؛ د) آنالیز وزنی مکان‌های پر آب و کم آب کل دوره زمانی

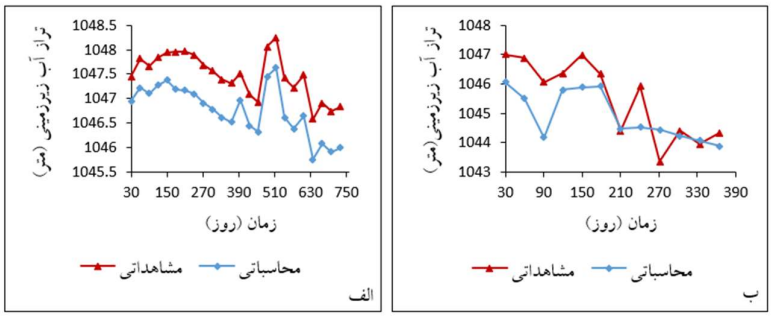
در مرحله واسنجی حالت پایدار مدل کمی MODFLOW، سعی بر آن بود که با توجه به بهینه نمودن پارامتر هدایت هیدرولیکی، اختلاف بین تراز مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کاهش یافته و به دنبال آن خطای مدل نیز کاهش یابد. بنابراین بعد از چندین دوره محاسبه و واسنجی هدایت هیدرولیکی توسط کد PEST برای هر یک از ناحیه‌های مورد نظر، تراز آب زیرزمینی در حالت پایدار با دقت مناسب

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

محاسبه شد و خطای آن کاهش یافت. با توجه به نتایج حاصل شده، حداکثر مقدار هدایت هیدرولیکی حاصل از مرحله واسنجی حالت پایدار برابر ۶۲/۳۸ و حداقل مقدار آن ۴/۴۸ متر بر روز برآورد شد. حداقل مقدار این متغیر مربوط به نواحی جنوبی و حداکثر آن مربوط به نواحی شمالی محدوده می‌باشند.

بعد از واسنجی مدل در حالت پایدار، مدل ناپایدار با شرایط اولیه سطح آب شبیه‌سازی شده در حالت پایدار اجرا شد. سپس با مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی، مدل به‌وسیله ضریب آبدهی ویژه برای هر یک از ناحیه‌های تعیین شده واسنجی شد. حداکثر مقدار آبدهی ویژه ۰/۰۹۷۶ و حداقل مقدار آن ۰/۰۰۰۳ (بی‌بعد) برآورد شد. حداقل مقدار این متغیر مانند هدایت هیدرولیکی مربوط به نواحی جنوبی و حداکثر آن مربوط به نواحی شمالی محدوده می‌باشد. علت بیشتر بودن این پارامتر در نواحی شمالی، درشت بودن تشکیلات آبرفتی این مناطق و قرار داشتن در محدوده مخروطه‌افکنه و در جنوب سیستم تغذیه مصنوعی می‌باشد. پس از واسنجی برای تامین اعتبارمدل و سنجش دقت آن، صحت‌سنجی مدل صورت‌گرفت. نتایج مقادیر بار هیدرولیکی محاسبه شده توسط مدل و اندازه‌گیری‌شده برای دوره صحت‌سنجی بیانگر آن بود که مدل توانسته است تا حد قابل قبولی شرایط جریان آب زیرزمینی در آبخوان را شبیه‌سازی کند. شکل(۷) مقایسه سطح آب مشاهداتی و محاسباتی درمرحله واسنجی و صحت‌سنجی در طول دوره زمانی مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۷. الف) مقایسه تراز آب زیرزمینی حاصل از شبیه‌ساز GMS و مشاهداتی (مرحله واسنجی)؛ ب) مقایسه تراز آب زیرزمینی حاصل از شبیه‌ساز GMS و مشاهداتی (مرحله صحت‌سنجی)

مدل کالیبره شده در حالت پایدار مربوط به میانگین سه ماه بهمن، اسفند و فروردین سال ۹۳ می‌باشد. همان‌طور که اختلاف (ورودی- خروجی) آن در جدول مذکور نشان داده شده است، ۰/۰۰۹۷- میلیون‌مترمکعب در حالت پایدار است. از آنجایی که در شرایط پایدار، بیلان باید صفر و مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها مساوی باشند، مدل آب زیرزمینی مورد نظر در شرایط پایدار تغییرات ذخیره را نزدیک به صفر برآورد کرده است که نشان از کالیبراسیون مناسب مدل است. در حالت پایدار بسیاری از پارامترها یا اعمال نمی‌شوند یا با فرض ثابت بودن اعمال می‌شوند، بنابراین نتایج بیلان در این حالت صفر یا نزدیک به آن می‌باشد. در حالت ناپایدار به علت اینکه پارامترها با توجه به دوره زمانی ماهانه سال‌های آبی ۹۳ و ۹۴ به‌صورت متغیر می‌باشند تا حدودی به شرایط واقعی نزدیک شده و مقادیر ورودی و خروجی متفاوت بوده و به دنبال آن مقدار بیلان منفی یا مثبت خواهد بود. بیلان حالت ناپایدار و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۳۴۴/۶۸۶۶- و ۱۰۹/۹۸۳۶- میلیون‌مترمکعب برآورد شدند که نشان‌دهنده بیلان منفی محدوده مورد مطالعه بوده و نزدیک به مقدار واقعی بیلان می‌باشند.

همان‌طور که در جدول (۴) مشخص می‌باشد پارامترهای ورودی، خروجی و در نهایت بیلان آب زیرزمینی سال آبی ۹۵ تحت سناریوهای مورد نظر برآورد شده‌اند. حداکثر و حداقل بیلان توسط سناریوهای شماره سه و یک محاسبه شده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از سناریوها بهترین سناریوی منتخب که با اعمال آن به‌عنوان یک راهکار بهینه، می‌توان مشکلات منابع آب زیرزمینی را کاهش داد، سناریوی شماره سه می‌باشد. در نهایت بهترین سناریوهای منتخب به‌ترتیب سناریوی شماره سه، پنج، شش، دو، چهار و یک می‌باشند که با توجه به شرایط محدوده مورد مطالعه به‌عنوان یک راهکار بهینه ارایه شدند. بنابراین در صورتی که سناریوی شماره سه به‌عنوان الگوی برنامه‌ریزی بهینه برای محدوده مورد مطالعه اعمال شود، نواحی کم آب از حالت تنش آبی خارج شده و نواحی پر آب نیز از پتانسیل آبی بهتر برخوردار خواهند شد.

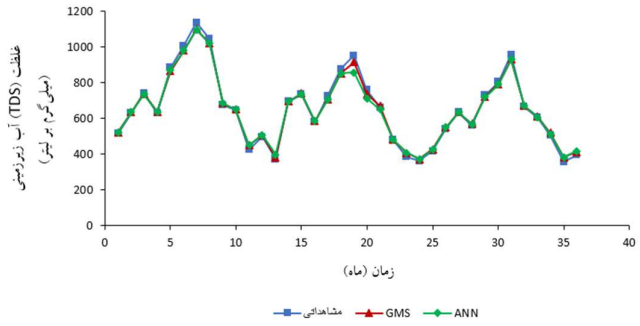
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۴. بیلان حاصل از تحلیل سناریوها (میلیون‌مترمکعب)

جریان	پارامتر	سناریو ۱	۲	۳	۴	۵	۶
ورودی	رودخانه	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱	۳۲/۴۱
	مرز	۲۷۵/۴۸	۲۷۵/۴۸	۲۷۵/۴۸	۲۷۵/۴۸	۲۷۵/۴۸	۲۷۵/۴۸
	تغذیه از سطح و آب‌های برگشتی	۳۷۸/۲۷	۳۷۸/۲۷	۳۷۸/۲۷	۳۷۴/۹۳	۳۷۴/۹۳	۳۷۴/۹۳
	مجموع ورودی	۶۸۶/۱۵	۶۸۶/۱۵	۶۸۶/۱۵	۶۸۲/۸۲	۶۸۲/۸۲	۶۸۲/۸۲
خروجی	چاه	۷۷۴/۹۴	۵۴۲/۴۶	۴۶۴/۹۶	۵۴۲/۴۶	۴۶۴/۹۶	۵۲۴/۷۱
	رودخانه	۷/۹۴	۷/۹۴	۷/۹۴	۷/۹۴	۷/۹۴	۷/۹۴
	مرز	۹/۹۲	۹/۹۲	۹/۹۲	۹/۹۲	۹/۹۲	۹/۹۲
	مجموع خروجی	۷۹۲/۸	۵۶۰/۳۲	۴۸۲/۸۳	۵۶۰/۳۲	۴۸۲/۸۳	۵۴۲/۵۷
	اختلاف (ورودی- خروجی)	-۱۰۶/۶۵	۱۲۵/۸۳	۲۰۳/۳۳	۱۲۲/۵	۱۹۹/۹۹	۱۴۰/۲۵

همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است، در اکثر ماه‌های سه سال آبی ۹۳ تا ۹۵ میزان غلظت TDS آب زیرزمینی اندازه‌گیری‌شده نزدیک به مقادیر حاصل از برآورد مدل‌های کیفی GMS و شبکه عصبی مصنوعی بوده و اختلاف کمی بین مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی (مدل‌های شبیه‌ساز) دیده می‌شود. بنابراین عملکرد مدل‌های کیفی مورد نظر و نتایج حاصل از آنها مناسب می‌باشند. همچنین در اکثر ماه‌های دوره زمانی مورد مطالعه اختلاف بسیار کمی بین مقادیر حاصل از شبکه عصبی و مدل کیفی وجود دارد که این موضوع نشان می‌دهد مدل شبکه عصبی مصنوعی در تحقیق حاضر به‌عنوان یک ابزار قدرتمند و کاربردی، متغیر مورد مطالعه را با استفاده از نتایج حاصل از مدل کیفی در مدت زمان کم و با دقت مطلوب برآورد و پیش‌بینی نموده است.



شکل ۸. غلظت TDS آب زیرزمینی مشاهده‌ای، شبکه عصبی مصنوعی و شبیه‌ساز GMS

با توجه به نتایج مدل‌های شبکه عصبی، مقدار ضریب همبستگی غلظت TDS برای کل داده‌ها برابر ۰/۹۹۷ بوده و این معیار برای بیلان برابر یک می‌باشد. با توجه به این موضوع، معیار ضریب همبستگی در سطح (۰/۰۵) در سه وضعیت و کل داده‌ها برای مقادیر مشاهداتی (مقادیر لایه خروجی) و محاسباتی (خروجی شبکه) هر دو متغیر معنی‌دار است. Farooq و همکاران (۲۰۲۲) از مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره[1] و شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی مقدار کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی برای سه زیربخش در لاهور پاکستان استفاده نمودند. نتایج نشان داد خطای مدل شبکه عصبی کمتر از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره بوده و مقدار ضریب همبستگی برای زیربخش شهر، فرخ‌آباد و شاهادرا برای مدل شبکه عصبی به‌ترتیب برابر ۰/۹۸۱، ۰/۹۵۲ و ۰/۸۶۹ و برای مدل رگرسیون خطی چندمتغیره ۰/۹۷۸، ۰/۹۴۱ و ۰/۸۶۰ برآورد شده است. بنابراین آنان مدل شبکه عصبی را به‌عنوان یک ابزار پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی به‌منظور برآورد TDS ارزیابی نمودند. همچنین Nasr و Zahran (۲۰۱۴) با استفاده از مدل شبکه عصبی، کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی شهر نیوبورگ العرب در اسکندریه مصر را شبیه‌سازی نمودند. بر اساس نتایج، معیار ضریب همبستگی برای سه وضعیت آموزش، آزمایش و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۰/۶۴، ۰/۹۰ و ۰/۶۷ برآورد شد و نیز پاسخ شبکه، قابل قبول ارزیابی گشت. مقادیر ضریب تعیین غلظت TDS برای کل داده‌ها برابر ۰/۹۹۴ و برای بیلان برابر یک برآورد شد. این موضوع نشان داد متغیرهای موردنظر با دقت مطلوب توسط ورودی‌های مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (لایه‌های ورودی) پیش‌بینی شده‌اند. Maedeh و همکاران (۲۰۱۳) کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی شهر تهران در ایران را توسط مدل شبکه عصبی شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد معیار ضریب تعیین با مقدار ۰/۹۶ برای پیش‌بینی داده‌ها قابل قبول بوده و مدل شبکه عصبی توانسته متغیر کیفی مورد نظر را در حد مناسبی برآورد نماید.

1 MLR

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همچنین میزان خطای جذر میانگین مربعات خطاها[1] و میانگین مربعات خطاها[2] مدل‌های شبکه عصبی بیلان و غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی برای کل داده‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۰۰۴، ۱۱/۶۵۲ و ۱۳۵/۷۸۸ برآورد شدند. Jafari و همکاران (۲۰۱۹) غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی را با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی بیان ژن و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی برآورد نمودند. با توجه به نتایج تحقیق آنها مدل شبکه عصبی با عملکرد مناسب و با خطای جذر میانگین مربعات خطاها برابر ۶۷/۶۷ به‌عنوان یک مدل مطلوب جهت برآورد غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی ارزیابی شد. بنابراین نتایج مدل‌های کمی و کیفی شبکه عصبی قابل اطمینان بوده و از دقت مطلوبی برخوردار بودند. با توجه به این موضوع، عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مورد نظر به‌منظور برآورد بیلان و غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی، مناسب ارزیابی شد.

بیلان آب زیرزمینی حاصل از بهترین سناریوی منتخب (سناریوی سوم)، نسبت به بیلان آب زیرزمینی حاصل از مدل GMS برای مرحله صحت‌سنجی و سال آبی ۹۵، ۲۸۴/۸۷ درصد و نسبت به مدل شبکه عصبی بیلان در این بازه زمانی برابر ۲۸۴/۸۳ درصد افزایش یافته است. همچنین غلظت TDS آب زیرزمینی حاصل از مدل GMS و مدل شبکه عصبی در کل بازه زمانی مورد مطالعه به‌طور میانگین برابر ۶۵۵ و ۶۵۱ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شده است که این موضوع نشان می‌دهد، مدل‌های مورد نظر در برآورد بیلان و کل مواد جامد محلول اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند. بنابراین به‌دلیل اینکه کاهش بهره‌برداری و افزایش منابع آبی منجر به کاهش آلودگی منابع آبی می‌شود، سناریوی منتخب توانایی کاهش تنش آبی یا حل مشکل کم آبی و به دنبال آن کاهش آلودگی منابع آب زیرزمینی در نواحی کم آب محدوده مورد مطالعه را دارد. همچنین در صورت اعمال سناریوی منتخب مورد نظر و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی در دسترس، ابتدا استفاده از منابع آب سطحی، سپس منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود و در اولویت‌بندی مناطق جهت تامین نیاز آبی، ناحیه رباط‌کریم در اولویت اول قرار داشته، سپس ناحیه اسلامشهر و در نهایت شهریار خواهند بود.

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، یک الگوی شبیه‌سازی چندهدفه ارایه شد که شامل سه مدل شبیه‌ساز GIS، GMS و شبکه عصبی مصنوعی با اهداف برنامه‌ریزی نوین بودند. بنابراین با توجه به نتایج تحلیل روش‌های فازی و وزنی مدل سنجش از دور، بیشتر مناطق پر آب محدوده مورد مطالعه در ناحیه شهریار و اسلامشهر قرار داشتند و به‌ترتیب نواحی رباط‌کریم، اسلامشهر و سپس شهریار به عنوان نواحی کم آب مشخص شدند. همچنین بر اساس نتایج مدل شبیه‌ساز GMS، بیلان حالت ناپایدار و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۳۴۴/۶۸- و ۱۰۹/۹۸- میلیون‌مترمکعب برآورد شدند. حداکثر و حداقل بیلان آب زیرزمینی مربوط به سناریوهای شماره سه و یک بودند، بنابراین سناریوی سوم با بیلان ۲۰۳/۳۳ میلیون‌مترمکعب به‌عنوان بهترین سناریو ارزیابی شد. با توجه به نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، مقدار ضریب همبستگی غلظت TDS برای کل داده‌ها برابر ۰/۹۹۷ بود و این معیار برای بیلان برابر یک برآورد شد. همچنین میزان خطای جذر میانگین مربعات خطاها و میانگین مربعات خطاها مدل‌های شبکه عصبی بیلان و غلظت کل مواد جامد محلول آب زیرزمینی برای کل داده‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۰۰۴، ۱۱/۶۵۲ و ۱۳۵/۷۸۸ برآورد شدند. با توجه به ارزیابی شاخص‌های آماری مدل‌های شبکه عصبی، متغیرهای مورد نظر با دقت مطلوب پیش‌بینی شد و نتایج مدل‌های شبکه عصبی قابل اطمینان بودند. همچنین بیلان سناریوی سوم نسبت به بیلان آب زیرزمینی حاصل از مدل GMS و نسبت به بیلان مدل شبکه عصبی در این بازه زمانی به‌ترتیب برابر ۲۸۴/۸۷ و ۲۸۴/۸۳ درصد افزایش یافته است. همچنین غلظت TDS آب زیرزمینی حاصل از مدل GMS و مدل شبکه عصبی در کل بازه زمانی مطالعاتی به‌طور میانگین برابر ۶۵۵ و ۶۵۱ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شده است. در صورت اعمال سناریوی منتخب به‌منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آبی، ابتدا استفاده از منابع آب سطحی و سپس منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند و در اولویت‌بندی مناطق جهت تامین نیاز آبی بر اساس مناطق کم آب، به‌ترتیب ناحیه رباط‌کریم، سپس ناحیه اسلامشهر و در نهایت شهریار در اولویت قرار خواهند گرفت. الگوی شبیه‌سازی مورد نظر با ارایه روش‌های شبیه‌سازی و سیاست بهره‌برداری بهینه می‌تواند از چند سناریوی موثر پشتیبانی کند و باعث افزایش پایداری منابع آب زیرزمینی شود. در نهایت پیشنها می شود، روش ارایه شده به‌عنوان یک روش جامع برای سیستم آب‌های زیرزمینی و مناطق مشابه قابل استفاده است.

منابع

Abebrese, S., Anornu, G. K., Kabo-Bah, A. T., Dekongmen, B. W., and Sunkari, E. D. (2022) Assessment of groundwater potential zones using GIS and remote sensing techniques in the Bole District, Savannah Region, Ghana. International Journal of Energy and Water Resources, 6(4): 445-456.

Abu El-Magd, S.A. and Embaby, A. (2021) To investigate groundwater potentiality, a GIS-based model was integrated with remote sensing data in the Northwest Gulf of Suez (Egypt). Arabian Journal of Geosciences, 14(24): 1-12.

Ajay Kumar, V., Mondal, N.C. and Ahmed, S. (2020) Identification of groundwater potential zones using RS, GIS and AHP techniques: A case study in a part of Deccan volcanic province (DVP), Maharashtra, India. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48(3): 497-511.

Alaviani, F., Sedghi, H., Moghaddam, A.A. and Babazadeh, H. (2018) Adopting Gms–Pso model to reduce groundwater withdrawal by integrated water resources management. International Journal of Environmental Research, 12(5): 619-629.

Al-Djazouli, M.O., Elmorabiti, K., Rahimi, A., Amellah, O. and Fadil, O.A.M. (2021) Delineating of groundwater potential zones based on remote sensing, GIS and analytical hierarchical process: A

1 RMSE
1 MSE

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Karlović, I., Posavec, K., Larva, O., and Marković, T. (2022) Numerical groundwater flow and nitrate transport assessment in alluvial aquifer of Varaždin region, NW Croatia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 41(3): 101084.

Kheirandish, M., Rahimi, H., Kamaliardakani, M., and Salim, R. (2020) Obtaining the effect of sewage network on groundwater quality using MT3DMS code: case study on Bojnourd plain. Groundwater for Sustainable Development, 11(2): 100439.

Kolandhavel, P. and Ramamoorthy, S. (2019) Investigation of groundwater potential zones in NandiAru Sub Basin, Tamilnadu, India—an integrated geophysical and geoinformatics approach. Arabian Journal of Geosciences, 12(4): 1-19.

Maedeh, P.A., Mehrdadi, N., Bidhendi, G.N. and Abyaneh, H.Z. (2013) Application of artificial neural network to predict total dissolved solids variations in groundwater of Tehran Plain, Iran. International Journal of Environment and Sustainability, 2(1): 10-20.

Minh, D.T., An, B.N., Hanh, T.H., Long, N.Q. and Kieu, T.D. (2022) Investigation of groundwater level fluctuations on the Bariver basin for water resources management and planning: A GIS-based approach. Sustainable Water Resources Management, 8(3): 1-15.

Nasr, M. and Zahran, H.F. (2014) Using of pH as a tool to predict salinity of groundwater for irrigation purpose using artificial neural network. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 40(2): 111-115.

Ostad-Ali-Askari, K. and Shayannejad, M. (2021) Quantity and quality modelling of groundwater to manage water resources in Isfahan-Borkhar Aquifer. Environment, Development and Sustainability, 23(11): 15943-15959.

Pathak, D., Maharjan, R., Maharjan, N., Shrestha, S. R., and Timilsina, P. (2021) Evaluation of parameter sensitivity for groundwater potential mapping in the mountainous region of Nepal Himalaya. Groundwater for Sustainable Development, 13(2): 100562.

Pisinaras, V., Petalas, C., Tsihrintzis, V. A., and Zagana, E. (2007) A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece. Environmental Modeling & Assessment, 12(2): 75-89.

Prasad, G. and John, S.E. (2018) Delineation of ground water potential zones using GIS and remote sensing–A case study from midland region of Vamanapuram river basin, Kerala, India. In AIP conference proceedings, Vol. 1952, No. 1, p. 020028, AIP Publishing LLC.

Qi, Y., Zhou, P., Wang, J., Ma, Y., Wu, J. and Su, C. (2022) Groundwater pollution model and diffusion law in ordovician limestone aquifer owe to abandoned Red Mud Tailing Pit. Water Journal, 14(9): 1472.

Sahu, S.K. and Jhariya, D.C. (2022) 3D-Mathematical model to simulate groundwater flow and sulfate concentration in Tantaria watershed, Bemetara case of Waddai, eastern Chad. GeoJournal, 86(4): 1881-1894.

Arulbalaji, P., Padmalal, D. and Sreelash, K. (2019) GIS and AHP techniques based delineation of groundwater potential zones: a case study from southern Western Ghats, India. Scientific reports, 9(1): 1-17.

Bourjila, A., Dimane, F., Ouarghi, H.E., Nouayti, N., Taher, M., Hammoudani, Y.E. and Bensiali, A. (2021) Groundwater potential zones mapping by applying GIS, remote sensing and multi-criteria decision analysis in the Ghiss basin, northern Morocco. Groundwater for Sustainable Development, 15(4): 100693.

Chen, N.C., Wen, H.Y., Li, F.M., Hsu, S.M., Ke, C.C., Lin, Y.T. and Huang, C.C. (2022) Investigation and estimation of groundwater level fluctuation potential: A case study in the Pei-Kang river basin and Chou-Shui river basin of the Taiwan mountainous region. Applied Sciences, 12(14): 7060.

Eltarabily, M.G., Negm, A.M., Yoshimura, C. and Saavedra, O.C. (2017) Modeling the impact of nitrate fertilizers on groundwater quality in the southern part of the Nile Delta, Egypt. Water Science and Technology: Water Supply, 17(2): 561-570.

Farooq, M.U., Zafar, A.M., Raheem, W., Jalees, M.I. and Aly Hassan, A. (2022) Assessment of algorithm performance on predicting total dissolved solids using artificial neural network and multiple linear regression for the groundwater data. Water Journal, 14(13): 2002-2002.

Ghoraba, S. M., Zyedan, B. A., and Rashwan, I. M. H. (2013) Solute transport modeling of the groundwater for quaternary aquifer quality management in Middle Delta, Egypt. Alexandria Engineering Journal, 52(2): 197-207.

Igwe, O., Ifediegwu, S.I. and Onwuka, O.S. (2020) Determining the occurrence of potential groundwater zones using integrated hydro-geomorphic parameters, GIS and remote sensing in Enugu State, Southeastern, Nigeria. Sustainable Water Resources Management, 6(3): 1-14.

Jabbari, E., Fathi, M. and Moradi, M. (2020) Modeling groundwater quality and quantity to manage water resources in the Arak aquifer, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 13(14): 1-16.

Jafari, R., Torabian, A., Ghorbani, M.A., Mirbagheri, S.A. and Hassani, A.H. (2019) Prediction of groundwater quality parameter in the Tabriz plain, Iran using soft computing methods. Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA, 68(7): 573-584.

Jaroun, A. and Günal, A.Y. (2022) Investigation of the impact of the implementation of the coastal aquifer management plan on nitrate pollution in Gaza Strip Aquifer using modeling techniques. Turkish Journal of Engineering, 6(4): 282-292.

John, B., and Das, S. (2020) Identification of risk zone area of declining piezometric level in the urbanized regions around the City of Kolkata based on ground investigation and GIS techniques. Groundwater for sustainable development, 11(2): 100354.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

and monitoring land use/land cover changes in an arid region using remote sensing and GIS techniques. Water Journal, 14(15): 2435.

Tolche, A.D. (2021) Groundwater potential mapping using geospatial techniques: a case study of Dhungeta-Ramis sub-basin, Ethiopia. Geology, Ecology, and Landscapes, 5(1): 65-80.

Trabelsi, N., Hentati, I., Triki, I., Zairi, M. and Banton, O. (2022) A GIS-Agriflux modeling and AHP techniques for groundwater potential zones mapping. Journal of Geographic Information System, 14(2): 113-133.

Valivand, F. and Katibeh, H. (2020) Prediction of nitrate distribution process in the groundwater via 3D modeling. Environmental Modeling & Assessment, 25(2): 187-201.

Wang, Z., Zhao, X., Xie, T., Wen, N. and Yao, J. (2021) A comprehensive evaluation model of ammonia pollution trends in a groundwater source area along a river in residential areas. Water Journal, 13(14): 1924-1924.

Zhao, X., Wang, D., Xu, H., Ding, Z., Shi, Y., Lu, Z. and Cheng, Z. (2021) Simulation and prediction of groundwater pollution based on GMS: A case study in Beijing, China. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 826(1): 012014. IOP Publishing.

district, Chhattisgarh, India. Environment, Development and Sustainability, pp. 1-17.

Sarah, S., Ahmed, S., Boisson, A., Violette, S. and De Marsily, G. (2014) Projected groundwater balance as a state indicator for addressing sustainability and management challenges of overexploited crystalline aquifers. Journal of hydrology, 519(B), 1405-1419.

Şengor, S.S. and Unlu, K. (2013) Modeling contaminant transport and remediation at an acrylonitrile spill site in Turkey. Journal of Contaminant Hydrology, 150(?): 77-92.

Shi, F., Zhao, C., Zhao, X., Zhou, X., Li, X. and Zhu, J. (2021) Spatial variability of the groundwater exploitation potential in an arid alluvial-diluvial plain using GIS-based Dempster-Shafer theory. Quaternary International, 571(1): 127-135.

Singh, L.K., Jha, M.K. and Chowdary, V.M. (2018) Assessing the accuracy of GIS-based multi-criteria decision analysis approaches for mapping groundwater potential. Ecological Indicators, 91(8): 24-37.

Sobeih, M.M., El-Arabi, N.E., Helal, E.E.D.Y. and Awad, B.S. (2017) Management of water resources to control groundwater levels in the southern area of the western Nile delta, Egypt. Water Science, 31(2): 137-150.

Sun, T., Cheng, W., Abdelkareem, M. and Al-Arifi, N. (2022) Mapping prospective areas of water resources

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Optimizing the exploitation of the Shahryar plain aquifer by simulating the groundwater flow using the combined modeling method

Nima Salehi Shafa[1], Hossein Babazade[2], Fayaz Aghayari[3], Ali Saremi[4], Mohammad Reza Ghafouri[5], Masoud Safavi[6] and Ali Panahdar[7]

1) Graduated Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email Address: h_babazadeh@hotmail.com
3) Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
4) Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
5) Graduated M.Sc. Student in Hydrogeology, Department of Water and Environmental Engineering, Iran Structural Consulting Engineers, Tehran, Iran.
6) Ph.D. student of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
7) Graduated M.Sc. Student of hydraulic structures, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2022/11/11 Date of Acceptance: 2022/12/25

Abstract

In this study, a multi-objective simulation model was presented and six scenarios were defined based on the groundwater budget for optimal exploitation of Shahryar plain aquifer. For this purpose, first, using the GIS based models and using fuzzy and weight methods, the regions with high water and low water in the study area were identified in order to prioritize resources and uses. Then the desired scenarios were simulated and evaluated by the (GMS) model. Finally, in order to increase the accuracy of the research results, the (TDS) concentration and the groundwater budget were simulated using the artificial neural network model (ANN). According to the results of fuzzy and weighted methods, the areas of Rabat Karim, then Islamshahr and finally Shahryar were identified as low water areas. Based on the obtained results, the unsteady state budget and verification were calculated as -344.68 and -109.98 (MCM), respectively. The third scenario with a budget of 203.33 (MCM) was chosen as the best scenario and the budget resulting from that, ratio to the budget resulting from the model (GMS) and the neural network for the year 95, has increased by 284.87 percent and 284.83 percent respectively. Also, the concentration of total dissolved solids in the groundwater obtained from the desired models in the entire study period was estimated by 655 and 651 mg/liter on average. The criteria of correlation coefficient and determination coefficient obtained from neural network models for groundwater budget and total data were estimated to be equal to one and for the total dissolved solids concentration of groundwater were estimated to be 0.997 and 0.994, respectively. In the present research, the multi-objective simulation pattern as a comprehensive and practical method by providing new simulation methods has the ability to support several effective scenarios and leads to increase the stability of the groundwater system.

Keywords: Artificial neural network (ANN), GMS model, Groundwater potential, Optimal planning.

Archive of SID.ir