

بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت روانسر - سنجابی تحت سناریوهای اقلیمی CIMP5

میلاذ سلطانی^۱، کریم سلیمانی^{۲*}، خلیل جلیلی^۳، سید جواد ساداتی نژاد^۴، فاطمه شکران^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۹

چکیده

امروزه در نظر گرفتن آب زیرزمینی به عنوان سامانه تأمین مهم نیاز آبی، برای بررسی سناریوهای مدیریتی و تغییرات آب و هوایی ضروری به نظر می رسد. بدین منظور این تحقیق در ابتدا به ارزیابی شبیه سازی آب زیرزمینی می پردازد و در ادامه، اثر احتمالاتی تغییرات آب و هوا را برای محدوده مطالعاتی روانسر-سنجابی واقع در غرب ایران بررسی می کند. در بخش اول، از اطلاعات مهرماه ۱۳۸۹ برای دوره پایدار و از آبان ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ برای دوره واسنجی مدل در نظر گرفته شد. سپس شبیه سازی آب زیرزمینی توسط کد MODFLOW برای دوره پایه ۱۳۸۰-۱۴۰۰ شبیه سازی شد. در ادامه برای دوره آتی تا سال ۲۰۴۰ پیش بینی انجام شد. در بخش دوم به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم روی منابع آب زیرزمینی، خروجی های مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای بازه زمانی آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه سازی آب زیرزمینی نشان داد که در طول دوره آتی دما به میزان ۰/۵ درجه نسبت به دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) کاهش خواهد یافت اما الگوی کاهش یا افزایش بارندگی نامشخص است. با وجود این تراز آب زیرزمینی حدود ۲۰ تا ۶۰ سانتی متر کاهش خواهد یافت. در نتیجه با ادامه روند کنونی در صورت عدم اتخاذ تصمیم مناسب در جهت بهبود وضعیت آب زیرزمینی و عدم به کارگیری راهکارهایی در جهت کاهش اثر تغییر اقلیم، در آینده این محدوده خسارات جدی را متحمل خواهد شد.

کلیدواژه ها: آب زیرزمینی، آبخوان روانسر-سنجابی، تغییر اقلیم، شبیه سازی، IPCC.

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 ۲. استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نویسنده مسئول، solaimani2001@yahoo.co.uk
 ۳. استادیار گروه مدیریت منابع محیطی، جهاد دانشگاهی کرمانشاه
 ۴. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
 ۵. استادیار گروه علوم مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است.

مقدمه

امروزه عوامل مختلفی مانند افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی، رشد صنایع، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و اقتصادی باعث کاهش منابع آب روی زمین شده است (مومنه و همکاران، ۲۰۲۰). ازاین‌رو یکی از مهم‌ترین بحران‌هایی که در آینده نزدیک، زندگی موجودات روی زمین را تهدید خواهد کرد، مسئله کمبود آب است (اسکندری دامنه و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساهو و همکاران، ۲۰۲۱) و این بحران برای مناطقی مانند ایران که در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است، با شدت بیشتری رخ می‌دهد (روشنگر و همکاران، ۲۰۲۰؛ ملک‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹). مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلایلی مانند وجود پدیده تغییر اقلیم، خشکسالی و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای استفاده‌های صنعت، کشاورزی و شرب بیشتر در معرض خطرند (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۷؛ عادل و همکاران، ۲۰۱۸). در بین عوامل مختلف، در سال‌های اخیر، اثر تغییر اقلیم در کمبود منابع آبی نسبت به دیگر عوامل پررنگ‌تر بوده است. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم^۲ (IPCC)، روند تغییرات اقلیمی اثرات قابل توجهی بر سامانه‌های مختلف منابع آب، کشاورزی، شرب و صنعت دارد (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴)؛ به‌طوری‌که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اثرات این موارد را تشدید و آب‌وهوا را گرم‌تر خواهد کرد. در دهه‌های گذشته با روند افزایش دما و کاهش بارش، وضعیت منابع آب در سراسر دنیا با چالش‌های جدی روبه‌رو شده است (عزیزی و همکاران، ۲۰۱۹). IPCC تخمین می‌زند که میانگین جهانی دما از سال ۱۸۶۱ حدود ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و نتایج پیش‌بینی حاکی از آن است که در طول ۱۰۰ سال آینده، دما ۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (مومنه و همکاران، ۲۰۲۰). در کنار افزایش دما، تغییر اقلیم باعث کاهش بارش و افزایش نرخ تبخیر خواهد شد و این امر سبب از دست رفتن آب و فشار به منابع آب‌های زیرزمینی خواهد شد؛ چراکه میزان برداشت همواره بیشتر از میزان

تغذیه بوده و افت مداوم سطح آب خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت (اسکندری و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس گزارشی که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم منتشر کرده است، انتظار می‌رود اغلب مناطق دنیا اثرات منفی تغییر اقلیم بر منابع آب و اکوسیستم‌ها را تجربه کنند (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴) منابع آب زیرزمینی از دو طریق تعامل مستقیم با منابع آب سطحی مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تعامل غیرمستقیم از طریق فرایند تغذیه، در مقابل تغییرات آب‌وهوایی آسیب‌پذیر می‌شوند (بیات همکاران، ۲۰۲۰). تغییر اقلیم، با تغییر شرایط تغذیه‌ای ناشی از بارندگی و رواناب، به‌طور غیرمستقیم بر تخلیه و ذخیره آب‌های زیرزمینی اثر می‌گذارد. بنابراین با شناسایی و تجزیه و تحلیل پارامترهای مؤثر مانند پارامترهای اقلیمی می‌توان از بروز تهدیدهایی بر منابع آب زیرزمینی مانند خشکسالی و فرونشست جلوگیری نمود (پناهی و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به نگرانی‌هایی که در زمینه منابع آب زیرزمینی وجود دارد، مطالعات جامع آب زیرزمینی به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد ضروری است (شمس‌دوها و همکاران، ۲۰۰۹). درباره این موضوع، پژوهشگران مختلفی تحقیقاتی را انجام داده‌اند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود: روسمان^۳ و همکاران (۲۰۱۳) اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی سه آبخوان ایالات متحده آمریکا را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغذیه در دشت‌های مختلف افزایش و کاهش خواهد یافت. بوقریو و همکاران (۲۰۱۸) ضمن مدل‌سازی آبخوان جنوب شرقی کشور تونس با کد مادفلو، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که با کاهش بارندگی در سال ۲۰۵۰ به‌میزان ۱۵ درصد، تراز آب زیرزمینی در دوره آتی تحت اثر تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت. دلاور و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل‌های اقلیمی، اثرات تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی خرم‌آباد ایران را برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ ارزیابی کردند. بر اساس نتایج ایشان، تراز آب زیرزمینی آبخوان

2. Shamsudduha

3. Rossman

4. Boughariou

۱. Sahoo

مهم‌ترین منبع آبی قابل استفاده، بیشتر در معرض خطرهای مانند تغییرات اقلیمی و خشکسالی قرار می‌گیرد. بنابراین انجام تحقیقات کاربردی درخصوص منابع آب زیرزمینی بر اساس وضعیت کنونی اقلیمی امری ضروری است. با این حال، این تحقیق با هدف ارزیابی تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی آبخوان روانسر - سنجابی انجام و نتایج آن تجزیه و تحلیل شده است که تاکنون ارزیابی سناریوهای اقلیمی CIMP5 در این محدوده انجام نشده است. بدین منظور در ابتدا شبیه‌سازی آب زیرزمینی توسط کد مادفلو برای دوره ۱۳۸۰-۱۴۰۰ انجام و در ادامه، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

دشت روانسر - سنجابی در شمال غربی شهرستان کرمانشاه (مرکز استان کرمانشاه) بین طول‌های جغرافیایی $46^{\circ}26'18''$ تا $46^{\circ}50'00''$ شرقی و عرض جغرافیایی $34^{\circ}25'00''$ تا $48^{\circ}34'50''$ شمالی گسترده شده است. این محدوده به صورت یک دشت نسبتاً مستطیل با کشیدگی شمالی جنوبی تحت عنوان دشت روانسر - سنجابی شناخته می‌شود. این محدوده از مرزهای غربی به خط الرأس کوه ناوله، از شمال غرب به خط الرأس کوه گل سفید، از شمال به ارتفاعات مشرف به روستاهای گراب و فیروزه، از شمال شرق به ارتفاعات کوه دزان و ماه زرد، از شرق به ارتفاعات کوه بابا حیران و کوه خراشه، از جنوب شرق به خط الرأس کوه کوچک و کوه گرده حاجی و از ناحیه جنوب در همسایگی دشت ماهیدشت به بالآمدگی زمین طبیعی قرار دارد. وسعت حوزه آبریز دشت ۱۲۳۲ کیلومتر مربع، وسعت دشت ۴۵۷ کیلومتر مربع و همچنین در این دشت مساحت آبخوان ۳۳۸ کیلومتر مربع است. جریان سطحی اصلی این دشت، رودخانه قره‌سو بوده که عمدتاً از سراب روانسر سرچشمه می‌گیرد. اکثر تشکیلات دربرگیرنده این دشت از نوع آهک‌های کارستیک بوده و به همین دلیل چشمه‌های مهمی مانند سراب روانسر از آن‌ها سرچشمه گرفته و جریان پایه آب‌های سطحی آن را تشکیل

موردنظر در دوره آتی به میزان ۱ تا ۱/۵ متر افت خواهد داشت. عدالت و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات تراز آب زیرزمینی کشور عراق را تحت اثر تغییر اقلیم مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی باعث افت ۱۳/۶ تا ۲۱/۲ درصدی تراز آب زیرزمینی عراق می‌شود.

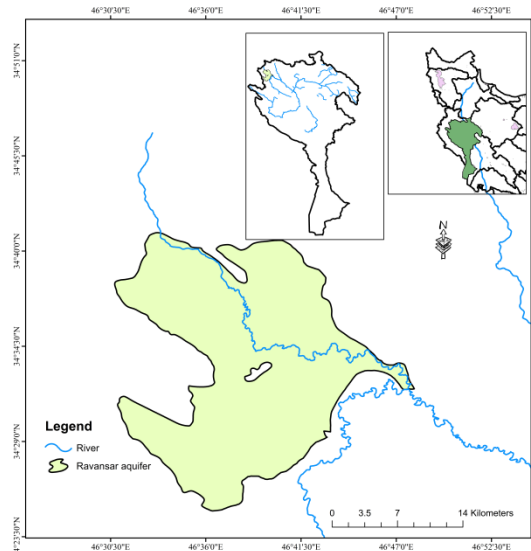
شاران^۱ و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات آب زیرزمینی در کشورهای جزیره اقیانوس آرام بررسی کردند. تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داد که تغییر اقلیم موجب کاهش ۱۹ درصدی بارش و به تبع آن باعث کاهش ۳۷ درصدی تغذیه خالص می‌شود. دیانکومبا^۲ و همکاران (۲۰۲۳) به پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی منطقه‌ای در کشور مالی تحت اثر تغییر اقلیم پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها تراز آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف از ۰/۶۲ متر تا ۱/۹۳ متر کاهش می‌یابد. زینالی و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود، تغییرات تغذیه آب زیرزمینی شیرامین را بر اثر تغییر اقلیم بررسی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که با افزایش دما و کاهش بارندگی، میزان تغذیه در محدوده مورد نظر کاهش خواهد یافت. نجفی و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم، اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ساری نکا را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که با افزایش دما در بیشتر ماه‌های سال و تغییرات کم در دما، مقدار تراز آب زیرزمینی افزایش خواهد یافت. همایون‌پور و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی خود از نوسانات آب زیرزمینی دشت برخوار اصفهان در اثر تغییر اقلیم نشان دادند که نسبت به دوره پایه، سطح ایستابی آب منطقه با شیب سالانه نزدیک به نیم متر در سال، روند کاهشی داشته است و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تحت اثر تغییرات اقلیمی، سطح آب زیرزمینی منطقه، بین ۱۵ تا ۱۷ متر نسبت به دوره پایه افت خواهد داشت.

با توجه به وضعیت اقلیمی کنونی در محدوده مطالعاتی روانسر - سنجابی، مشکل کمبود آب با گذشت زمان جدی‌تر می‌شود. از این‌رو منابع آب زیرزمینی به عنوان یکی از

نمودار جریان تحقیق

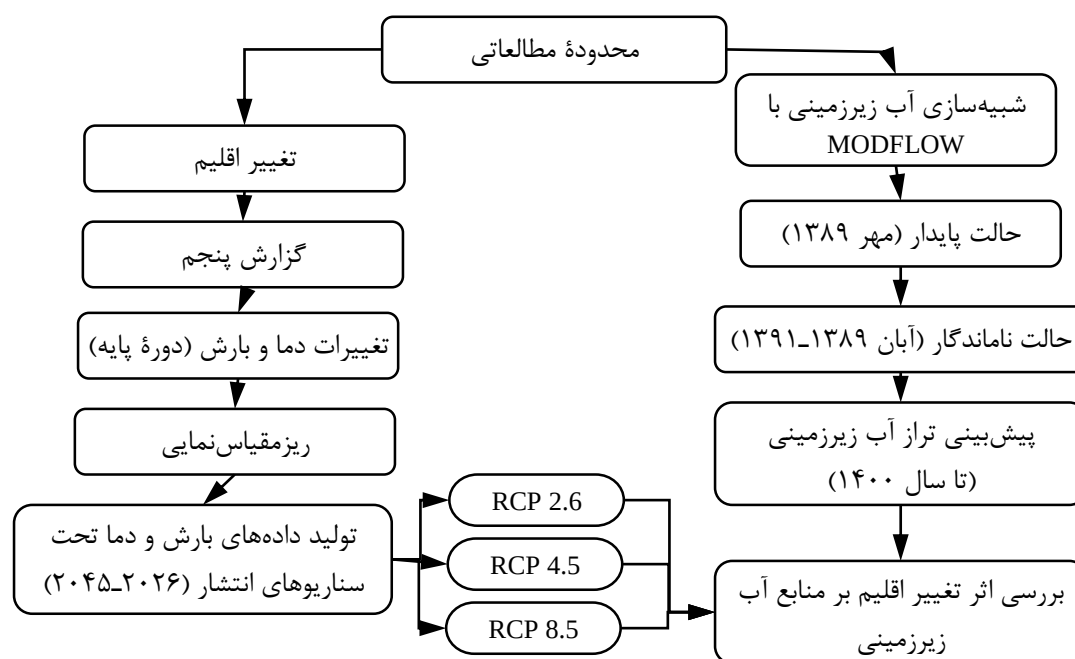
مطابق شکل (۲)، این تحقیق در دو بخش مختلف انجام شده است. در بخش یک شبیه سازی آب زیرزمینی توسط MODFLOW انجام گردید. در این بخش وضعیت کمی آب زیرزمینی در دو حالت ماندگار و ناماندگار ساخته شد. از اطلاعات چاه های بهره برداری، چاه مشاهداتی، بارندگی و میزان تغذیه از منابع سطحی به آب زیرزمینی، توپوگرافی آبخوان و رقوم سنگ کف برای مدل سازی استفاده شده است. در ادامه و در بخش دوم، تغییرات بارش و دما در آینده و مطابق گزارش پنجم برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ توسط مدل منتخب انجام شد. در این حالت برای تولید داده های آینده از سه سناریوی گزارش پنجم RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد. ریزمقیاس سازی توسط Lars-GW انجام گردید. در نهایت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی اعمال و نتایج حاصل مورد تحلیل قرار گرفت.

می دهد (گزارش آب منطقه ای کرمانشاه، ۲۰۲۰). بارش میانگین سالانه آن حدود ۵۲۰ میلی متر است. میانگین دما و تبخیر نیز به ترتیب برابر ۱۴/۹ و ۲۰۰ میلی متر است. با این حال این محدوده دارای متوسط ارتفاع ۱۳۲۰ است.



شکل (۱): محدوده مطالعاتی روانسر- سنجابی

Figure (1): Ravasar- Sanjabi study area



شکل (۲): نمودار جریان تحقیق

Figure (2): The flowchart of this study

مدل سازی آب زیرزمینی

یک جزء حجم معرف سفره با ابعاد (ΔX) و (ΔY) (در جهت افق) و (ΔZ) (در جهت عمودی) در شرایط ماندگار،

معادله اساسی جریان در محیط متخلخل، با در نظر گرفتن

بهره‌برداری و برای چاه‌های شرب حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد از میزان آب مصرفی به‌عنوان آب برگشتی به آبخوان به‌عنوان تغذیه در نظر می‌گیرند. برای چاه‌های کشاورزی این میزان درصد کمتر و در حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد و در نهایت برای چاه‌هایی از نوع صنعت در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد است (میلان و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین نیاز است محاسبات مربوطه انجام و در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. در این تحقیق برای آب برگشتی کشاورزی، شرب و صنعت به‌ترتیب ۷۰، ۷۵ و ۲۰ درصد برداشت از آبخوان در نظر گرفته شد. حدود ۲۴ چاه مشاهداتی نیز مسئولیت کنترل تراز آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی را دارند که نحوه قرارگیری آن‌ها در شکل (۳) آمده است. در این تحقیق، از مهر سال ۱۳۸۹ به‌عنوان ماه و سال پایه برای مدل‌سازی پایدار استفاده شده است. در این حالت همچنین مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی می‌شوند. مدل ساخته‌شده و واسنجی‌شده در حالت ماندگار برای حالت ناماندگار استفاده می‌شود. در حالت ناماندگار حدود ۲۴ گام زمانی ماهانه و از آبان ۱۳۸۹ تا مهر ۱۳۹۱ در نظر گرفته شد. در حالت ناماندگار، شرایط واقعی آبخوان تا حدودی در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، گام‌های زمانی مختلفی در مقیاس ماهانه یا سالانه تدوین می‌گردد. برای هر گام زمانی نیز، مقادیر چاه‌های مشاهداتی، چاه بهره‌برداری، تغذیه آبخوان و سایر اطلاعات دیگر که نسبت به زمان متغیر هستند، تعیین می‌گردد. در این حالت در هر گام زمانی نیاز است مقادیر بین چاه مشاهداتی و شبیه‌سازی کنترل گردد. همچنین در حالت ناماندگار، مقادیر اولیه آبدی ویژه به واسنجی نهایی می‌رسند. اگر مدل در حالت ناماندگار به کالیبره نهایی برسد، قابل استفاده برای اجرای سناریوهای مختلف مدیریتی است.

بار هیدرولیکی نسبت به زمان تغییر نمی‌نماید؛ به عبارت دیگر هیچ‌گونه تغییری در ذخیره آبخوان روی نمی‌دهد. از معادله لاپلاس برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در حالت ناماندگار، معادله (۲) است که یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی بوده که حل آن، توزیع مکانی و زمانی بار پیرومتریک در آبخوان محبوس، غیرهمگن و ناهمسانگرد را در شرایط غیرماندگار نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

کد MODFLOW یکی از معروف‌ترین کدها برای شبیه‌سازی کمی آب زیرزمینی است. این کد از آنجاکه محدوده آبخوان را به صورت سلول به سلول در نظر می‌گیرد، بسیار مورد توجه است و قابلیت سناریوپذیری بالایی دارد. در ابتدای مدل‌سازی در این کد، مدل مفهومی تعریف می‌گردد که شامل محدوده آبخوان، جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی آبخوان، منابع تغذیه، تخلیه و نقاط مشاهداتی آبخوان است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

مدل مفهومی و شبیه‌سازی آبخوان روانسر - سنجابی

در آبخوان روانسر - سنجابی تعداد کل چاه‌های محدوده مطالعاتی در آخرین آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۹، ۸۸۱ حلقه چاه با تخلیه ۲۷ میلیون مترمکعب در سال است (شکل ۳). عمده تغذیه آبخوان‌ها از بارندگی و مقدار آب برگشتی از چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد. حدود ۱۷ درصد از بارندگی در محدوده به‌عنوان تغذیه به آبخوان در نظر گرفته شده است (گزارش آب منطقه‌ای کرمانشاه، ۲۰۲۰). همچنین با توجه به جهت شیب آبخوان و گزارش‌های آب زیرزمینی محدوده جهت حرکت آب زیرزمینی از شمال به جنوب است و جبهه‌های ورودی آبخوان در مرزهای شمالی می‌باشد که از نوع جریان متغیر است که با توجه به تراز مرز آبخوان میزان جریان ورودی به آبخوان متغیر است. در چاه‌های

عمومی جو یک فرصت مناسب برای ارزیابی و بررسی اقلیم آینده تحت خطوط سیر مختلف یا سناریوهای واداشت تابشی را فراهم می‌آورند. اما خروجی این مدل‌ها باید به‌منظور فراهم شدن برای استفاده در مقیاس منطقه‌ای، ریزمقیاس شوند. در این میان، روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های مورد نظر وجود دارد که در این تحقیق از روش LARS-WG استفاده شده است.

معیارهای ارزیابی خطای مدل‌ها

برای ارزیابی دقت مدل‌های پیشنهادی از شاخص‌های عملکردی از قبیل ضریب تبیین خطا^۲ (R^2)، ضریب نش^۳ (NSE)، حداقل مربعات میانگین خطا^۴ (RMSE) و قدر مطلق میانگین خطا^۵ (MAE) استفاده شده که رابطه هریک از معیارهای ارزیابی خطا در ذیل آمده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)(Q_{si} - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2 \sum_i (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2} \quad (3)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2}{\sum_i (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (4)$$

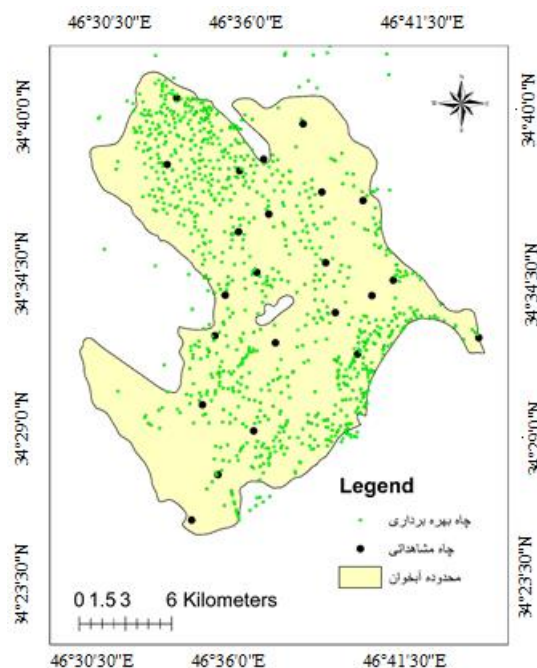
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} ((Q_o) - (Q_s))^2} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n ((Q_o) - (Q_s))}{n} \quad (6)$$

که در آن‌ها Q_m و Q_s به ترتیب پارامترهای شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در زمان Q_m و Q_s نیز به ترتیب میانگین پارامترهای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی است. N تعداد نمونه‌هاست. محدود/ مقدار R^2 از ۰ تا ۱ و NSE بین ۱- تا ۱ تعریف شده است. هرچه قدر مقادیر آن‌ها به یک نزدیک باشد، بیانگر شبیه‌سازی مناسب و در نتیجه دقت بهتر مدل مذکور است. مقادیر RMSE و MAE هرچه قدر به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، بیانگر دقت مدل شبیه‌ساز است.

نتایج

نتایج شبیه‌سازی آب زیرزمینی در حالت پایدار



شکل (۳): جبهه‌های ورودی و خروجی آبخوان روانسر- سنجابی
Figure (2): Input and output fronts of aquifer

تغییر اقلیم

افزایش میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند منجر به گرم شدن جهانی شود و این امر آب‌وهوا را تحت تأثیر قرار داده و منجر به وقوع پدیده تغییر اقلیم شود. این سناریوها شامل چهار سناریو با نام‌های RCP8.5، RCP6.0، RCP4.5، RCP2.6 و RCP2.6 هستند (ویورن^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). برای مثال در RCP2.6، که کمترین RCP است، کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ به اوج خود یعنی ۳ وات بر مترمربع خواهد رسید و بعد از آن، روند کاهش را دنبال می‌کند. سناریوی RCP4.5، یک سناریوی ثابت با افزایش نیروی واداشت تابشی کلی تا سال ۲۰۷۰ و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ است. همچنین سناریوی RCP8.5، به‌طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر مترمربع است (کی‌همایون و همکاران، ۲۰۲۲). شایان ذکر است که داده‌های اقلیمی از اول ژانویه ۱۹۶۰ تا دسامبر ۲۰۰۵ میلادی به‌عنوان دوره تاریخی و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوی انتشار آینده در نظر گرفته شده‌اند (آقاخانی افشار و همکاران، ۲۰۱۹). مدل‌های گردش

^۲ Coefficient of Determination

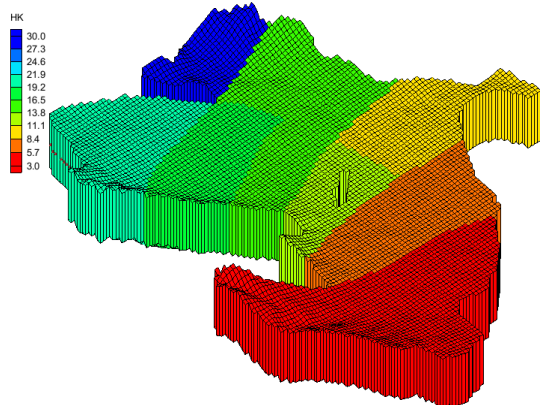
^۳ Nash-Sutcliffe

^۴ Root-mean-square deviation

^۵ Mean absolute error

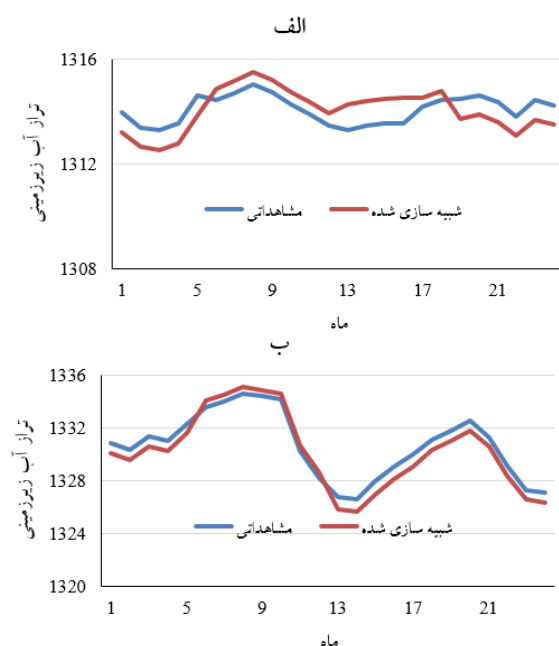
^۱ Vuuren

مقادیر هدایت هیدرولیکی با زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی نیز هم‌خوانی دارد؛ به‌طوری‌که در ابتدای آبخوان عموماً مواد تشکیل‌دهنده ساختمان آبخوان درشت‌دانه هستند. لذا شاهد بیشترین هدایت هیدرولیکی در این ناحیه هستیم. کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی نیز مربوط به انتهای آبخوان است که ریزدانه‌ها تشکیل‌دهنده ساختمان آبخوان هستند.

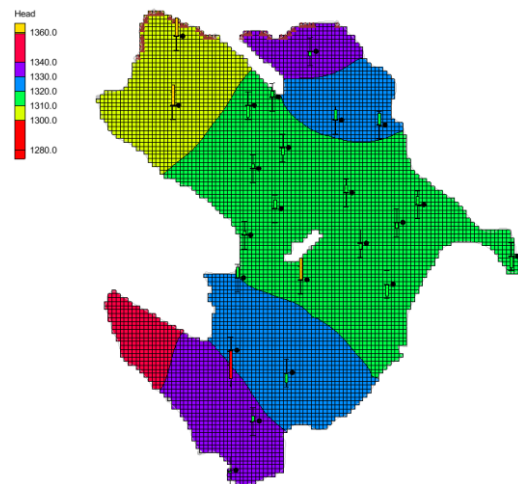


شکل (۵): مقادیر کالیبره‌شده هدایت هیدرولیکی آبخوان
Figure (5): Calibrated values of aquifer hydraulic conductivity

نتایج شبیه‌سازی آب زیرزمینی در حالت ناپایدار بعد از اجرای مدل و با تغییرات مقادیر تغذیه و جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی که در ماه‌های مختلف متفاوت‌اند، تمام گام‌ها واسنجی شدند. ملاحظه می‌گردد که انطباق خوبی بین مقادیر ذکر شده برقرار است. همچنین مدل مذکور، تغییرات تراز آب زیرزمینی را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است.



بعد از ساخت مدل مفهومی، در ادامه مدل آب زیرزمینی ابتدا در حالت پایدار اجرا گردید. شکل (۴) وضعیت چاه‌های مشاهداتی را بعد از واسنجی در حالت ماندگار و تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که تمام چاه‌های مشاهداتی موجود در آبخوان دارای رنگ سبز هستند و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد. بیشترین تراز آب زیرزمینی در شمال غرب آبخوان قرار دارد. جنوب آبخوان محل خروجی آب زیرزمینی نیز دارای کمترین تراز آب زیرزمینی است.



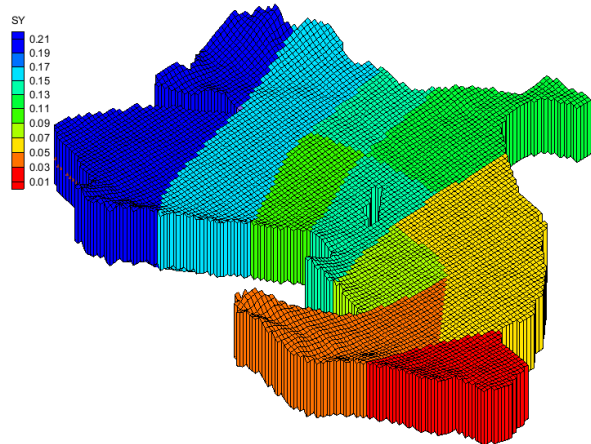
شکل (۴): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده در حالت ماندگار و وضعیت چاه‌های مشاهداتی بعد از کالیبره مدل

Figure (4): Simulated groundwater level in steady state, and status of observation wells after model calibration

مقدار ضریب تبیین آن نیز حدود ۰/۹۸۹ است که حاکی از دقت مناسب مدل از نظر معیار ارزیابی ضریب تبیین است. مدل ساخته‌شده علاوه بر دقت چشمی و رگرسیونی توسط معیارهای ارزیابی خطا نیز کنترل می‌گردد که مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۷۴ به‌ترتیب برای RMSE و MAE بیانگر شبیه‌سازی مناسب مدل‌سازی است.

شکل (۵) مقادیر کالیبره‌شده هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد. با ارجاع به شکل مشخص است که در شمال آبخوان، هدایت هیدرولیکی مقادیری بین ۳۰ تا ۵۲ متر در روز را داراست. بیشترین مقدار آن نیز در قسمت جنوب شرقی آبخوان است که مقادیر آن از ۱۶/۵ تا ۲۹ متر در روز متغیر می‌باشد. ناحیه مرکزی آبخوان نیز دارای مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی است که از ۸ تا ۱۲ متر در روز متغیر است. نتایج

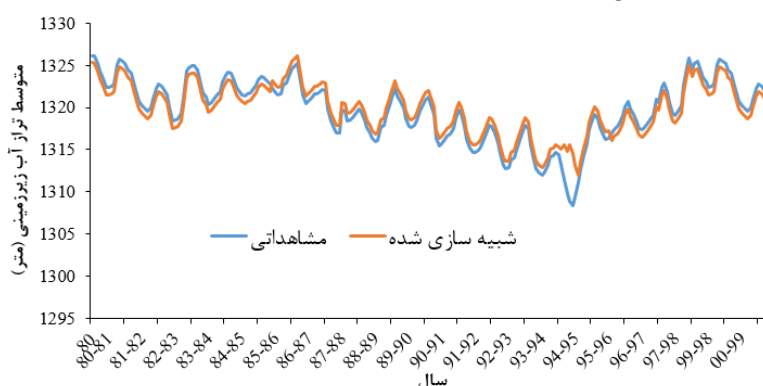
آبدهی ویژه در مرکز آبخوان از ۸/۵ درصد تا ۱۳ درصد متغیر است. با وجود این، مقادیر آبدهی ویژه همواره با گزارش‌های زمین‌شناسی منطقه همخوانی دارد.



شکل (۷): مقادیر آبدهی ویژه کالیبره شده در حالت ناماندگار

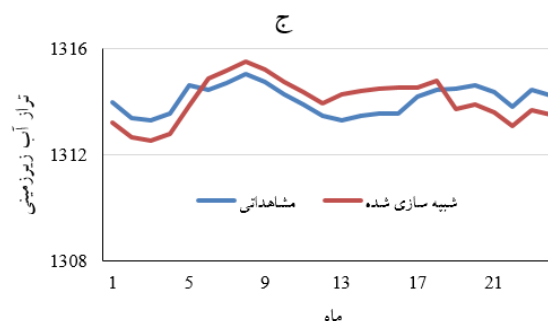
Figure 7: Calibrated specific yield values in unsteady state

در نهایت نیز شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی برای یک دوره ۲۰ ساله (از ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰) برای مدل ساخته‌شده توسعه داده شد (شکل ۸) تا بتوان اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی ارزیابی نمود. مطابق شکل مذکور مشخص است که تراز آب زیرزمینی توسط کد MODFLOW به‌خوبی شبیه‌سازی شده و نوسانات آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف به‌خوبی تخمین زده شده است. همچنین در طول دوره مورد بررسی تراز آب زیرزمینی دارای نوسانات نسبتاً زیادی بوده که در برخی از سال‌ها مانند سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۴ افت آب زیرزمینی اتفاق افتاده است، اما از سال ۱۳۹۵-۱۳۹۹ تراز آب زیرزمینی افزایش یافته است.



شکل (۸): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده (۱۴۰۰-۱۳۸۰)

Figure (8): simulated groundwater (2000-2021)



شکل (۶): مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده در حالت ناماندگار، الف)

چاه مشاهداتی P8، ب) چاه مشاهداتی P17، پ) چاه مشاهداتی P21

Figure (6): Simulated and observed values in unsteady state, a) observation P 8, b) observation P 17, c) observation P21

در انتها و همانند حالت ماندگار، نتایج ارزیابی شاخص‌های ارزیابی خطا برای حالت ناماندگار در جدول (۲) نشان داده شده است. با توجه به توضیحات داده‌شده مقادیر RMSE برابر ۰/۹۵ نشان از دقت مناسب مدل در حالت ناپایدار است. علاوه بر این، مقادیر ضریب تبیین و MAE به‌ترتیب برابر ۰/۹۸ و ۰/۸۷ متر است که در محدوده مناسبی از خطا قرار دارند.

جدول (۱): نتایج ارزیابی معیار خطا برای حالت ناماندگار

Table (2): Results of error criterion evaluation for unsteady state

حالت مدل	MAE (m)	R ²	RMSE (m)
ناماندگار	۰/۸۷	۰/۹۸	۰/۹۵

شکل (۷) مقادیر آبدهی ویژه و استجی‌شده محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. مقادیر آبدهی ویژه کالیبره‌شده بین ۱/۹ درصد تا ۲۲ درصد متغیر است که بیشترین مقادیر آن مربوط به ناحیه جنوب غربی آبخوان می‌باشد. جنوب شرقی آبخوان نیز دارای کمترین مقادیر آبدهی ویژه است.

نتایج حاصل از تغییر اقلیم

مدل‌های مناسب برای ارزیابی چگونگی تغییرات دما و بارش در دوره آینده در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. نتایج ارزیابی مدل‌ها برای ایستگاه روانسر در جدول زیر ذکر شده و بهترین عملکردها برای متغیر بارش در جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳) در مجموع مشخص شد که مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES، CanESM2 و CSIRO-Mk3-6-0 در بین ۲۰ مدل موجود، به ترتیب با رتبه ۱۷/۲۵ و ۱۵/۵ دارای بالاترین مقدار رتبه‌بندی هستند و به عنوان بهترین مدل‌ها در این پژوهش انتخاب شدند.

در جدول (۳)، نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی از گزارش پنجم که توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شده، قابل مشاهده است. برای انتخاب مدل‌ها، باید مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولیدشده توسط مدل‌های بزرگ‌مقیاس انجام شود. در این پژوهش، در ابتدا بر اساس مطالعاتی که انجام شده، ۲۰ مدل که هر ۳ سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را دارا هستند، استفاده شد. در این پژوهش بر اساس معیارهای ارزیابی خطا، ۲۰ مدل اقلیمی، با داده‌های مشاهداتی مطابق جدول (۳) به دست آمد. در نهایت

جدول (۳): نتایج حاصل از مدل LARS-WG

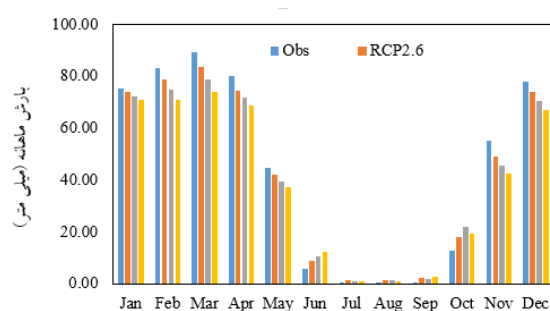
Table (3): The results from the LARS-WG model

WP	Bias	Ns	R2	رتبه	مدل
۵	۱۳	۱۳	۱۱	۱۰/۵	BCC-CSM1.1
۱۵	۳	۹	۳/۵	۷/۸۷	MPI-ESM-MR
۷	۲	۳	۸	۵	CCSM4
۱۹	۸	۱۴	۱۴	۱۳/۷۵۰	CNRM-CM5
۱۳	۲۰	۱۷	۱۹	۱۷/۲۵۰	HadGEM2-ES
۱۳	۱۸	۷	۵/۵	۱۲/۱۲۵	IPSL-CM5A-LR
۴	۱۱	۱۱	۱۲	۹/۰۰۵	MPI-ESM-LR
۱۷	۷	۶	۱/۵	۷/۸۷۵	BNU-ESM
۹	۱	۱	۹	۵/۰۰	FIO-ESM
۱۱	۱۷	۱۹	۱۵	۱۵/۵۰۰	CanESM2
۸	۶	۱۰	۲۰	۱۱/۰۰	MIROC5
۱	۴	۲	۷	۳/۵۰۰	MRI-CGCM3
۶	۱۹	۱۶	۱۰	۱۲/۷۵۰	MIROC-ESM-CHEM
۲۰	۵	۸	۳/۵	۹/۱۲۵	FGOALS-g2
۱۰	۱۲	۱۲	۱۳	۱۱/۷۵۰	MIROC-ESM
۱۲	۱۶	۱۸	۱۶	۱۵/۵۰	CSIRO-Mk3-6-0
۳	۱۴	۲۰	۱۸	۱۳/۷۵۰	IPSL-CM5A-MR
۲	۱۵	۴	۵/۵	۶/۶۲۵	GISS-E2-R
۱۵	۹	۵	۱/۵	۷/۶۲۵	GISS-E2-H
۱۴	۱۰	۱۵	۱۷	۱۴/۰۰	EC-EARTH

مشاهداتی متغیرهای بارش، دمای حداکثر و حداقل روزانه برای دوره آتی با توجه به سناریوی اقلیمی ساخته شده برای مدل منتخب (HadGEM2-ES) تحت هر سه سناریوی انتشار RCP (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) تولید شدند. بررسی

برای تولید داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی ابتدا داده‌های روزانه بارش، دمای حداکثر و حداقل ایستگاه سینوپتیک روانسر برای تجزیه و تحلیل به نرم‌افزار LARS-WG وارد و سپس با توجه به خصوصیات آماری داده‌های

نتایج میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مقدار میانگین بارش ماهانه پیش‌بینی شده برای دوره آتی نسبت به دوره پایه، روند مشخص افزایشی یا کاهش‌ی ندارد و در برخی ماه‌ها مانند Jun و Oct، افزایش بارش و در برخی کاهش بارش (مانند Jan، Feb، Apr) را در دوره آتی خواهد داشت. اما در مجموع سالانه، پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی نشان از کاهش میزان بارش در محدوده مطالعاتی دارد. همچنین نتایج نشان داد که سناریو انتشار RCP8.5، بیشترین کاهش بارندگی و سناریو انتشار RCP2.6، کمترین کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که مدل‌های GCMs و نرم‌افزار LARS-WG به‌عنوان یک مولد آب‌وهوایی عملکرد خوبی در پیش‌بینی دمای ماهانه و سالانه در ایران از خود نشان دادند.



شکل (۱۰): تغییرات بارش ماهانه در دوره آتی تحت تأثیر سناریوی مختلف اقلیمی

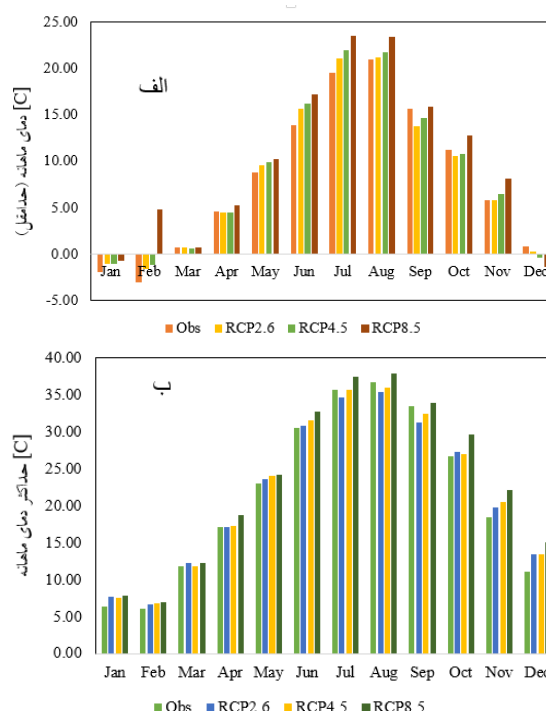
Figure (10): Monthly precipitation changes in the future period under the influence of different climate scenarios

نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر اقلیم موجب کاهش نسبی تراز آب زیرزمینی در آینده می‌گردد که همسو با نتایج تحقیقات محمدی و همکاران (۲۰۲۱) و قمرنیا^۱ و همکاران (۲۰۲۲) است. نتایج این تحقیق نشان داد که اگرچه تغییر اقلیم تغییرات نسبتی بر کاهش تراز آب زیرزمینی دارد، در صورتی که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی صورت گیرد و به وضعیت آبخوان توجه نشود، می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به سامانه آب زیرزمینی وارد نماید.

تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی

با توجه به تغییرات میزان بارش و دما در محدوده مطالعاتی، میزان تغییر رواناب سطحی و تغذیه آبخوان با توجه به

نتایج میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان می‌دهد که مقدار دمای حداقل ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه در مدل پیش‌بینی اقلیمی HadGEM2-ES، تحت هر سه سناریو انتشار افزایش نسبی داشته است که مقدار آن در حد ۰/۱ تا ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد بوده؛ البته این افزایش معنی‌دار نبوده است. همچنین سایر نتایج نشان داد که در مدل اقلیمی HadGEM2-ES، میانگین سالانه دمای حداقل تحت سناریو انتشار RCP8.5، حداکثر ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریو RCP2.6، ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) افزایش خواهد یافت. همچنین در اغلب ماه‌ها، افزایش دمای حداقل را خواهیم داشت. به‌طور کلی این نتایج، نشان از گرم‌تر شدن محدوده مورد مطالعه در دوره آتی دارد. از مقایسه نمودارهای دمای حداقل و حداکثر انتظار می‌رود دمای حداکثر افزایش بیشتری نسبت به دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه داشته باشد (شکل ۹).



شکل (۹): تغییرات دمای حداقل و حداکثر در دوره آتی تحت تأثیر سناریوی مختلف اقلیمی، الف) دمای حداقل، ب) دمای حداکثر

Figure (9): Minimum and maximum temperature changes in the coming period under the influence of different climate scenarios, a) minimum temperature, b) maximum temperature

تغییرات بارش حاصل از مدل اقلیمی HadGEM2-ES، به‌صورت میانگین ماهانه در شکل (۱۰) در دوره پایه

بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی به دلیل تغییرات احتمالی بارش و دما در آبخوان‌هایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، ضروری است. از این رو این تحقیق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پرداخت. شبیه‌سازی آب زیرزمینی آبخوان توسط مدل MODFLOW انجام شد. دوره پایداری آبخوان از مهر سال ۱۳۸۹ شروع شد و در ادامه، مدل برای دو سال از آبان ۱۳۸۹ تا شهریور ۱۳۹۱ برای حالت ناپایدار اجرا گردید. در ادامه، تراز آب زیرزمینی با توجه به ادامه روند موجود تا سال ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد تا اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی بررسی گردد. نتایج نشان داد:

۱. بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی در حالت پایدار و ناپایدار تطابق قابل قبولی برقرار بوده که عملکرد مناسب مدل شبیه‌سازی MODFLOW در آبخوان مذکور را نشان می‌دهد.

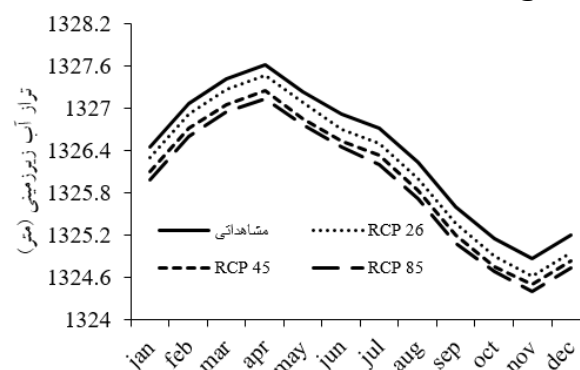
۲. معیارهای ارزیابی مدل شامل RMSE، MAE و R^2 برای دو حالت ماندگار به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۶۳، ۰/۹۹ و ۰/۸۸، ۰/۷۲ و ۰/۹۹ محاسبه شد که این مقادیر نشان از کارایی مدل دارد.

۳. نتایج تغییر اقلیم نشان داد که بارش در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تغییرات چندانی ندارد. در سناریو RCP2.5 کمترین تغییرات بارش مشاهده شده است؛ در حالی که در سناریو RCP8.5 تغییرات بارش و کاهش آن در برخی ماه‌ها مانند مهر، آبان و آذر قابل توجه بود.

۴. دما در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و در هر سه سناریو اقلیمی نتایج حاکی از کاهش دما بود. در سناریو RCP2.6، کمترین کاهش دما و در سناریو RCP8.5 بیشترین کاهش دما در محدوده اتفاق خواهد افتاد که در بدترین حالت، کاهش حدود ۰/۵ درجه سلسیوس را پیش‌بینی نموده است.

استفاده از گزارش‌های ششم تغییر اقلیم، بررسی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم، بررسی سناریوهای افزایش یا کاهش برداشت از آبخوان و ترکیب سناریوها برای ارزیابی وضعیت آبی آبخوان مذکور از جمله چشم‌اندازهای این تحقیق است که می‌تواند به تکمیل این تحقیق کمک کند.

تغییرات بارش و میزان درصد آب تغذیه سطحی (حدود ۱۷ درصد از بارندگی) منطقه محاسبه و در مدل اعمال گردید. با توجه به نتایج به دست آمده از سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، شبیه‌سازی وضعیت آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW انجام گرفت. در این شرایط، میانگین ماهانه هیدروگراف آبخوان برای دوره آتی ۲۰ ساله مطابق شکل (۱۱) استخراج گردید. مطابق شکل (۱۰) می‌توان چنین ادعا کرد که تراز آب زیرزمینی در تمام ماه‌ها حدود ۲۰ سانتی‌متر تا ۶۰ سانتی‌متر متغیر است. کمترین کاهش تراز در ماه ژانویه و بیشترین کاهش تراز در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن رخ داده است. همچنین با توجه به نتایج تغییرات دما و بارش در سه سناریوی اقلیمی، بیشترین کاهش تراز آب زیرزمینی در سناریوی RCP 8.5 رخ خواهد داد و کمترین تغییرات تراز آب زیرزمینی نیز در دوره آتی تحت سناریوی RCP 2.6 خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که شدت کاهش تراز آب زیرزمینی در سناریوی انتشار RCP 8.5 کمتر از سایر سناریوهای انتشار اقلیمی خواهد بود. به طور کلی می‌توان گفت تأثیر تغییر اقلیم روی تراز چاه‌های منطقه جزئی بوده که مقدار کاهش آن در طول دوره مورد نظر حدود ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بوده است. این تأثیر در غالب کاهش تراز در تمامی ماه‌ها رخ داده است.



شکل (۱۱): تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی (دوره آتی: ۲۰۲۱-۲۰۴۰)

Figure (11): The impact of climate change on the groundwater level (future period: 2021-2040)

منابع

- Adeli, B., & kangarani, h., & sadodin, a., & Bazrafshan, O., & Armin, M. (2018). Using the WQI method and the Man-Kendall test to assess the qualitative and quantitative status of groundwater aquifers (case study: Sarkhoon plain, Hormozgan province). *Iranian Journal of Ecohydrology*, , 5(3), 801-811. [In Persian]
- Aghakhani Afshar & Hassanzadeh (2019). Using the MIROC-ESM model in investigating the hydro-climatic conditions of a small-scale watershed under the effect of climate change. *Journal of Civil and Environmental Engineering of Tabriz University*, 49(94), 47-59
- Azizi F, Asghari Moghaddam A, Nazemi A. Groundwater Flow and Salinity Intrusion Simulation in Malekan Plain Aquifer. *jwmseir*. 2019; 13 (45) :32-43 . [In Persian]
- Bayat, M., Eslamian, S., Shams, G., & Hajiannia, A. (2020). Groundwater level prediction through GMS software–case study of Karvan area, Iran. *Quaestiones Geographicae*, 39(3), 139-145.
- Boughariou, E., Mokadem, N., Mudarra, M., Brahim, F. B., Andreo, B., Hamed, Y., & Bouri, S. (2018). Mapping potential zones for groundwater recharge and its evaluation in arid environments using a GIS approach: case study of North Gafsa Basin (Central Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 141, 107-117
- Delavar, H., Vahabzadah, K. Briya, G., Ghorbani, J., Ashrafi, M. (2021). Investigating of quantitative trend changes in Aquifer water table during 1992 -2011 by Mann-kendall test (Case study: Firoozabad plain, Fars province, Iran). *New Findings in Applied Geology*, 15(30), 165-176 [In Persian].
- Diancoumba, O., Toure, A., Keita, S., Konare, S., Mounir, Z. M., & Bokar, H. (2023). Predicting Groundwater Level Using Climate Change Scenarios in the Southern Part of Mali. *American Journal of Climate Change*, 12(1), 21-38.
- Edalat, A., Rajabi, A. M., & Khodaparast, M. (2022). Numerical modeling of groundwater flow in Ali Abad Plain of Qom to predict fluctuations of the water table and hydraulic conductivity. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology* [In Persian].
- Eskandari Doman, Hadi, Gholami, Hamid, Mahdavi, Rasool, Khorani, Asadullah, & Lee, Junran. (2020). Evaluation of land degradation using water efficiency index and drought (case study: Fars province). *Pasture and watershed scientific-research journal*, 74(1), 103-120. doi: 10.22059/jrwm.2021.314310.1550
- Ghamarnia, H., Enayati, S., Amini, A. Numerical Simulation of Bijar-Divandere Plain Aquifer Using MODFLOW Code and Investigation in The Effects of Drought on Its Quantitative Changes. *Environment and Water Engineering*, 2022; 8(1): 15-30. doi: 10.22034/jewe.2021.285092.1562
- Homayunpur, B., Goodarzi, M., Zehtabian, Q., Motamedvaziri, B., & Ahmadi, H. (2022). Assessing climate change impacts on groundwater fluctuation in Borkhar Plain, Isfahan. *Watershed Engineering and Management*, 14(4), 465-480. [In persian]
- IPCC. (2014). Summary for Policymakers. In: *Ipcc. Climate Change. Impact. Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 2 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernment Panel of Climate Change*. 132 P. Cmbridge, UK and New York. USA. Cambridge University Press.
- Jalili, Khalil, Moradi. Big Haddad, Omid. (2017). Optimizing the allocation of land and irrigation water based on the water balance perspective using linear programming. *Water and soil*, 31(2), 372-385
- Kayhomayoon Z, Babaeian F, Ghordoyee Milan S, Arya Azar N, Berndtsson R. A Combination of Metaheuristic Optimization Algorithms and Machine Learning Methods Improves the Prediction of Groundwater Level. *Water*. 2022 Feb 26;14(5):751.
- Kermanshah Regional Water Company, (2020). Explanatory reports on the ban and extension of the ban on the development of exploitation of underground water resources in the study areas of the plains of Kermanshah province, Ravansar-Sanjabi study area with code 2224. Gamasiab Consulting Engineers, Shahrivar 2014. p. 87.
- Malekzadeh, M., Kardar, S., & Shabanlou, S. (2019). Simulation of groundwater level using MODFLOW, extreme learning machine and Wavelet-Extreme Learning Machine models. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100279.
- Milan, S. G., Roozbahani, A., & Banihabib,

- M. E. (2018). Fuzzy optimization model and fuzzy inference system for conjunctive use of surface and groundwater resources. *Journal of hydrology*, 566, 421-434.
18. Mohammadi, A., & Ghaeini-Hessaroeyeh, M. (2021). Groundwater Modeling of Astaneh-Kuchesfehan Aquifer. *Irrigation Sciences and Engineering*, 44(3), 29-44 [In Persian].
 19. Momene, Sadegh, Azari, Arash, & Iqbalzadeh, Afshin. (2020). Evaluation of the effect of climate change on the level of underground water in future periods, case study: Chamchamal Plain. *Watershed Engineering and Management*, 12(4), 913-928. Dec2019-Jan2020. doi: 10.22092/ijwmse.2020.122960.1530
 20. Najafi, S., Sharafati, A., & Kardan moghaddam, H. (2022). Evaluating the effect of climate change on groundwater level changes in the Sari-Neka coastal aquifer. *Irrigation and Water Engineering*, 13(2), 312-332. [In Persian]
 21. Panahi, M., & MISAGI, F., & Asgari, P. (2018). Simulation and Estimate of Groundwater Level Fluctuations Using Gms (Case Study: Zanjan Plain). *Environmental Sciences*, 16(1), 1-14. [In Persian]
 22. Rossman, N. R., & Zlotnik, V. A. (2013). Regional groundwater flow modeling in heavily irrigated basins of selected states in the western United States. *Hydrogeology Journal*, 21(6), 1173.
 23. Roushangar, K., & Nourani, V., & Dolatshahi, M. (2020). Investigation and trend identification of groundwater level variations using discrete wavelet transform and non-parametric tests (case study: Azarshahr plain). *Iran- Water Resources Research*, 16(1), 102-115. [In Persian].
 24. Sahoo, S., Swain, S., Goswami, A., Sharma, R., & Pateriya, B. (2021). Assessment of trends and multi-decadal changes in groundwater level in parts of the Malwa region, Punjab, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 14, 100644.
 25. Shamsudduha, M., R. E. Chanler, R. G. Taylor and K. M. Ahmed. 2009. Recent trends in groundwater levels in a highly seasonal hydrological system: The Ganges-Brahmaputra- Meghana delta. *Hydrology and Earth System Science* 13: 2373- 2385.
 26. Sharan, A., Lal, A., & Datta, B. (2023). Evaluating the impacts of climate change and water over-abstraction on groundwater resources in Pacific island country of Tonga. *Groundwater for Sustainable Development*, 20, 100890.
 27. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31.
 28. Zeynali, B., Jalali, T., & Mostafavi, H. (2023). Assessment of the effect of climate change on recharge resulted from precipitation in the Shiramin basin. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(2), 6589-6602. [In Persian]

Investigating Alterations in the underground water level of Ravansar- Sanjabi Plain under CIMP5 climate scenarios

Milad Soltani¹, Karim Solaimani^{2*}, Khalil Jalili³, Seyed Javad Sadatinejad⁴, Fatemeh Shokrian⁵

Received: 05/12/2022

Accepted: 18/02/2023

Extended Abstract

Introduction: The water resources of the earth have currently been reduced due to various factors such as rising population, and an increase in human activities, including the growth of urbanization and industries, and increasing agricultural and economic activities. Therefore, water shortage seems to be one of the most important

1. Ph.D. Student, Watershed Management and Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
 2. Professor, Dept. of watershed management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University; solaimani2001@yahoo.co.uk
 3. Assistant Professor, Department of Environmental Resources management, ACECR, Kermanshah Province, Iran
 4. Associate Professor of Faculty of New Sciences and Technologist, University of Tehran
 5. Assistant Professor, Dept. of watershed management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources
 DOI: 10.22052/DEEJ.2023.248647.1001

crises that threaten the future life of living creatures.

In this regard, arid and semi-arid regions are subject to more risks due to reasons such as climate change, drought, and excessive extraction of groundwater resources for industrial, agricultural, and drinking purposes. On the other hand, in addition to the increase in temperature, climate change will also cause changes in precipitation and evaporation rates, leading to the loss of large amounts of water by decreasing precipitation and increasing evaporation rates, respectively.

In such a situation, the groundwater resources are highly pressurized, considering the continuous drop in the water level, the fact that the amount of harvest is always more than that of the recharge, and the irreparable damages that may follow. Therefore, this study sought to investigate the influence of climate change on the groundwater level of the Ravansar-Sanjabi basin and to analyze its results. To this end, first, the groundwater simulation was carried out by Mudflow code. Then, the effect of climate change on groundwater resources was investigated during the future period (2021-2040), taking into account different climate scenarios.

Materials and Methods: Known as a relatively rectangular plain with north-south extension, the Ravansar-Sanjabi plain is located in the northwest of Kermanshah city (the center of Kermanshah province) between 18°26'46" to 00°50'46" eastern longitudes and 00°25'34" to 34°50'48" latitude".

According to the latest nationally published statistics, there are 881 wells in the Ravansar-Sanjabi basin with a discharge of 27 million cubic meters per year (Figure (3)). Moreover, the main sources of the basin's recharge are precipitation and the amount of water returned from exploitation wells, with approximately 17% of the precipitation in the area being considered as recharge.

Results and discussion: As for the groundwater modeling, there was an acceptable correlation between the simulation and observation data under both stable and unstable states, indicating the appropriate performance of the MODFLOW simulation model in the Ravansar-Sanjabi basin. Moreover, the error-index value was found to be 0.95 for groundwater modeling with RMSE, suggesting an appropriate accuracy of the model in an unstable state.

In addition, the values of the explanation coefficient and MAE were reported as 0.98 m and 0.87 m, respectively, falling in a suitable error range. On the other hand, the calibrated hydraulic conductivity values showed that the hydraulic conductivity values varied from 52 and 30 meters per day in the north of the basin. However, the greatest hydraulic conductivity values were found in the southeastern part of the basin, ranging from 16.5 to 29 meters per day. Also, the average values of hydraulic conductivity belonged to the central area of the basin, ranging from 8 to 12 meters per day.

According to the results obtained for the selection of an appropriate climate model, it was found that out of 20 existing models, the HadGEM2-ES, CanESM2, and CSIRO-MK3-6-0 had the greatest values (15.5, 15.5, and 17.25, respectively), being selected as the best models in this research. Moreover, the results of climate change indicated that the precipitation rate did not change much throughout the study period (2021-2040). On the other hand, while changes in the precipitation rate were found to be small under the RCP2.5 scenarios, they were significant under the RCP8.5 scenarios, especially the reduction of precipitation in some months.

As regards the temperature changes throughout the study period (2021-2040) under all three climate scenarios, the results indicated a decrease in temperature rates, with the lowest and highest decrease occurring under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, respectively. Accordingly, the temperature is predicted to decrease by approximately 0.5 degrees Celsius in the worst case.

It was also found that the groundwater level varied from 20 cm to 60 cm in all months, with the lowest balance reduction having occurred in January, and the highest balance reduction having occurred in April, May, and June. Moreover, according to the results of changes in temperature and precipitation under the three climate scenarios, it could be argued that the greatest and slightest decrease in the groundwater level will occur under the RCP 85 and RCP 26 scenarios, respectively.

Keywords: Ground Water; Ravansar-Sanjabi Basin; Climate Change; Simulation: IPCC.