

مقاله پژوهشی:

پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از شبکه عصبی - فازی تحت تأثیر تغییر اقلیم

امیر خیاط^۱، مهدی امیرآبادی‌زاده^{۲*}، محسن پوررضا بیلندی^۳، حسین خزیمه‌نژاد^۴

^۱ کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^{۲*} استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

* نویسنده مسئول: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸

چکیده

امروزه موضوع تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از آن از بحران‌های اساسی مدیریت منابع آب می‌باشد و از طرف دیگر با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تأمین آب می‌باشند، تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی در دوره‌های آتی ضرورت می‌یابد. در این تحقیق برای بررسی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر تراز سطح آب زیرزمینی، مطالعه موردی بر روی سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی صورت گرفته است. در راستای این هدف به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ۲۶ پارامتر خروجی مدل گردش عمومی جو کانادا (CanESM2 AR5) و سناریوی انتشار RCP4.5 به عنوان پیش‌فرض‌های این تحقیق استفاده شده است. همچنین، به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از مدل SDSM استفاده گردید. برای بررسی تغییرات و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی از شبکه عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) بهره گرفته شد. نتایج تحقیق حاکی از سیر نزولی و افت قریب به ۳/۵ متر در سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند طی سال‌های آینده تا سال ۲۰۳۷ می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از افزایش کمی در تراز آب زیرزمینی طی سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۴۰ می‌باشد. با توجه به اهمیت آب زیرزمینی در تأمین مصارف آب در منطقه، مدیریت بهینه و هوشمند منابع آب زیرزمینی و اصلاح الگوی مصرف ضروری بنظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، اقلیم، عصبی- فازی، سناریوهای اقلیمی، دشت بیرجند.

مقدمه

صنعتی شدن جوامع در چند دهه اخیر باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده است. این افزایش سبب گرم‌تر شدن جو کره زمین شده است. گرم‌تر شدن کره زمین نیز به نوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و موجب وقوع تغییراتی در اقلیم می‌شود که تفاوت‌های اساسی با روند طبیعی این تغییرات دارد. این پدیده که بیانگر تغییرات در میانگین پارامترهای اقلیمی در درازمدت می‌باشد، تغییر اقلیم نامیده می‌شود (Massah Bavani et al., 2006). پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بدست آمده از آن، تأثیرات شایان توجهی بر سامانه‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی و محیط زیست دارد (IPCC, 2013). لذا افزایش پیوسته انتشار گازهای گلخانه‌ای این اثرات را تشدید خواهد کرد که از جمله این اثرات گرم‌تر شدن هوا، تغییر در الگوی بارش و ذوب برف و در نتیجه تغییر در دسترسی به آب شرب و کشاورزی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی از طریق تعامل مستقیم با منابع آب سطحی مثل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و تعامل غیر مستقیم از طریق روند تغذیه، با پدیده تغییر اقلیم در ارتباط است. تغییرات اقلیم با تغییر در شرایط تغذیه ناشی از بارندگی و رواناب به صورت غیرمستقیم بر تخلیه و ذخیره آب زیرزمینی اثر می‌گذارند. با توجه به اینکه منابع آب زیرزمینی به عنوان یک منبع تأمین آب خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک عمل می‌کند، این مسئله باعث وارد شدن فشار و افت قابل توجه منابع آب‌های زیرزمینی شده است. امروزه با بهره‌برداری فراوان و بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، مسئله کمبود آب جنبه بحرانی پیدا کرده است به طوری که سده آینده را می‌توان سده مبارزه با مالکیت منابع آب نام گذاری کرد (Faridpour, 2013).

در کشور ما در زمینه تغییر اقلیم و تأثیر آن بر آب‌های زیرزمینی تحقیقات محدودی صورت گرفته است. از این رو، شبیه‌سازی تغییرات تراز سطح آبخوان به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات متعددی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر کمیت آب‌های زیرزمینی انجام شده است.

تأثیر تغییر اقلیم بر آبخوان دشت ساحلی در ویتنام توسط تام و همکارانش بررسی گردید. در این تحقیق از سناریوی انتشار A1B پس از ریزمقیاس نمایی توسط مدل آماری Larse-WG برای پیش‌بینی بارندگی در منطقه مطالعه شده استفاده شد. براساس پیش‌بینی انجام شده توسط این مدل، بارندگی تا سال ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد. برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی این دشت، از مدل شبیه‌سازی بارش رواناب WetSpa و مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی SEAWAT استفاده شد. نتایج نشان داد برخلاف انتظار، افزایش بارندگی تا سال ۲۰۵۰ در ماه‌های پربارش اکتبر و دسامبر، موجب کاهش شدید در تغذیه و تراز آب‌های زیرزمینی و به تبع آن کاهش در منابع آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی می‌شود. در نتیجه، در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در مناطق ساحلی، علاوه بر بارندگی، ویژگی‌های زمین‌شناسی در نواحی تغذیه‌کننده آبخوان نیز اهمیت زیادی دارد (Tam et al., 2016).

بارت و همکاران عدم قطعیت در تخمین تغذیه آب زیرزمینی در دوره آتی در شرق کانادا را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق هفت سناریوی اقلیمی ریزمقیاس شده از ترکیب مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار و روش‌های ریزمقیاس نمایی تولید شدند و برآورد تغذیه دوره آتیه وسیله مدل HELP3 برای دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ تحت این هفت سناریو صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که تغذیه پیش‌بینی شده نسبت به تغییر در روش-های ریزمقیاس نمایی و مدل‌های GCM از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشد. تغییرات متوسط تغذیه سالانه از ۵۸ درصد افزایش تا ۶ درصد کاهش نسبت به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۶۱ متفاوت بوده است. با توجه به تغییرات وسیع اعداد حاصل، روش‌های احتمالاتی جهت بهبود نتایج پیشنهاد گردیده است (Barret et al., 2013).

بارت و همکاران تأثیر بالقوه تغییرات اقلیمی در زمان بندی، مقدار و درجه حرارت تخلیه آب زیرزمینی سفره‌های آب آزاد کم عمق دچار انجماد و ذوب شدن فصلی را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق هفت سناریوهای اقلیمی ریزمقیاس شده در دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ با اجرای مدل‌های

FORHYM2 و HELP3 جهت پیش‌بینی دمای روزانه سطح زمین و تغذیه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. سپس شرایط سطحی تحت عنوان شرایط مرزی برای شبیه‌سازی زیرسطحی به کار برده شده و شبیه‌سازی زیرسطحی توسط مدل SUTRA اصلاح شده برای فرآیندهای ذوب و انجماد دینامیک انجام شده است (Barret et al., 2014).

لمیوکس و همکارانش در تحقیقی تأثیر تغییر اقلیم و برداشت از آب‌های زیرزمینی بر نفوذ آب دریا در سفره‌های ساحلی در کانادا را بررسی کردند. بدین منظور از یک مدل سه بعدی از جریان آب‌های زیرزمینی وابسته به چگالی، برای شبیه‌سازی دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج نشان داد افزایش سطح دریا، کمترین تأثیر را بر نفوذ آب دریا در آبخوان‌های کم عمق و متوسط دارد. تدهی‌رات کاهش تغذیه در اعماق کم تا متوسط محسوس‌تر است و تأثیرات افزایش نرخ پمپاژ به مناطق نزدیک به چاه‌های بهره‌برداری و در همان عمق محدود است (Lemieux et al., 2015).

در تحقیقی آثار تغییر اقلیم بر منابع آب شیرین‌زیرزمینی در مناطق ساحلی توسط طوفان تبریزی مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق ناحیه اختلاط بین آب شور و شیرین در آبخوان دیر کنگان واقع در استان بوشهر با استفاده از مدل‌های MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی گردید و اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار مدل HadCM3 در دوره آتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تهاجم آب شور به سمت آب شیرین حدود ۳۹۰ متر بوده است (Toofan Tabrizi et al, 2009).

تور و همکاران در تحقیقی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضه‌ی کللا پرداختند. بدین منظور از مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی و از سناریوی RCP 4.5 برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبخوان مطالعه شده استفاده شد. به منظور شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی، داده‌های اقلیمی، زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و هیدرولیکی جمع‌آوری و از آنها به عنوان داده‌های ورودی به مدل استفاده شد. نتایج نشان داد تراز آب زیرزمینی در طول زمان افت می‌نماید (Tour et al., 2016).

ضرغامی و همکاران به مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج مطالعات نشان‌دهنده افزایش دمای استان تا ۵ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش سالانه تا ۶۰ میلی‌متر در سناریوی A2 و مدل HadCM3 در دوره ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ میلادی خواهد بود (Zarghami et al., 2011).

محمودزاده و همکاران در مطالعه‌ای تأثیر افزایش سطح آب دریاها و تغییرات در نرخ تغذیه‌ی آب زیرزمینی شیرین جزیره کیش را با استفاده از مدل عددی SUTRA بررسی کردند. بدین منظور ۱۲ سناریو برای افزایش سطح آب دریا و تغییرات نرخ تغذیه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد افزایش سطح آب دریاها بر اثر تغییر اقلیم تأثیر معناداری بر منبع آب زیرزمینی شیرین جزیره کیش به خصوص در نواحی پست دارد. به علاوه تغییرات نرخ تغذیه منبع آب زیرزمینی عامل مؤثرتری در مقایسه با افزایش سطح آب دریاهاست (Mahmoodzadeh et al., 2014).

در تحقیق پیشرو کارائی مدل SDSM در ریز مقیاس سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و نیز مدل عصبی-فازی واسنجی شده تولید گردید.

مواد روش‌ها

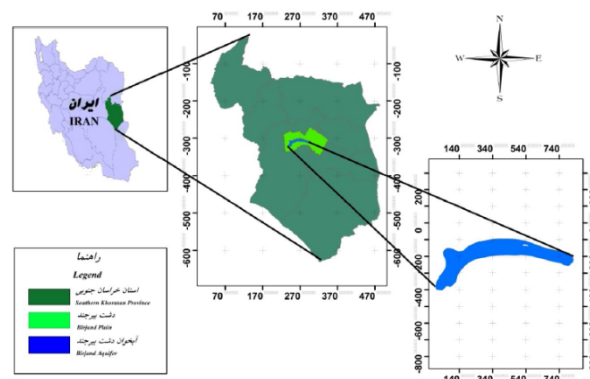
منطقه مورد مطالعه

دشت بیرجند در استان خراسان جنوبی قرار دارد که در قسمت شمالی ارتفاعات باقران محصور شده است. این دشت در مختصات ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیایی شرقی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیایی شمالی قرار گرفته است. در شکل (۱) موقعیت دشت بیرجند نشان داده شده است. حوضه آبریز بیرجند دارای وسعت ۳۱۵۵ کیلومتر مربع بوده، که ۱۸۴۵ کیلومتر دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. این دشت حالت کشیده داشته و تمامی پیرامون آن را ارتفاعات و بخش مرکزی را آبخوان آبرفتی تشکیل می‌دهد. از شرق به ارتفاعات مؤمن آباد و سیستان، از جنوب به کوه‌های باقران و کوه رج، از شمال به ارتفاعات شاه ناصر و

در این مطالعه ابتدا داده‌های هواشناسی بیشترین و کمترین دما و بارش با گام زمانی روزانه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ میلادی از ایستگاه سینوپتیک بیرجند تهیه شد. بررسی تغییرات دمای بیشینه و کمینه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۱ بیانگر آن است که ماه‌های ژوئن و دسامبر بیشترین دماهای بیشینه و کمینه را در دوره‌ی پایه دارند. به‌منظور بررسی تغییرات جوی در مقیاس جهانی از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) استفاده می‌شود. مدل‌های GCM، اقلیم را با شبکه سه بعدی در گستره جهان در نظر می‌گیرند.

اسفدن و بند دره و از غرب به ارتفاعات چنگ در و گرونک محدود می‌شود. اقلیم دشت بیرجند در سیستم طبقه‌بندی کوپن جز مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. از نظر توپوگرافی حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۷۸۷ متر در ارتفاعات شمالی (منطقه بند دره) و حداقل ارتفاع نیز ۱۱۸۰ متر در خروجی دشت (منطقه فدشک) می‌باشد.

ریز‌مقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی



شکل ۱- موقعیت مکانی استان خراسان جنوبی، دشت بیرجند و آبخوان دشت بیرجند

Figure 1- Location of South Khorasan province, Birjand plain and Birjand plain aquifer

بزرگترین محدودیت مدل‌های AOGCM بزرگ مقیاس بودن سلول محاسباتی آن‌ها است، به همین دلیل استفاده‌ی مستقیم از خروجی این مدل‌ها در اتصال به مدل‌های شبیه-سازی سامانه‌های مختلف از جمله منابع آب و کشاورزی مناسب نیست و ریزمقیاس کردن خروجی آنها با استفاده از روش‌های مناسب ضروری می‌باشد (Massah Bavani et al., 2011). در این تحقیق به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها و نیز تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ایدرآینده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) استفاده شد. در این مدل سناریوهای تغییر اقلیم برای دما و بارش تولید می‌شوند. SDSM از نوع مدل‌های تابع انتقالی است که در واقع بهترین ترکیبی از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به حساب می‌آید (Wilby and Dawson, 2007). سه دسته داده به عنوان ورودی مدل SDSM استفاده می‌شود. اولین دسته داده‌های مشاهداتی روزانه پارامتر مد نظر است که از سازمان هواشناسی استان خراسان جنوبی اخذ شد. دومین

این مدل‌ها خود شامل دو دسته کلی مدل‌های AGCMs (که برهم کنش اتمسفر را در نظر می‌گیرند) و مدل‌های OGCMs (که تأثیر متقابل اقیانوس‌ها را در نظر می‌گیرند) می‌باشند و معمولاً مدل‌های گردش عمومی ترکیبی از این دو دسته را شامل شده که به اختصار AOGCM نامیده می‌شوند. با توجه به مطالعات صورت گرفته معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده گردش عمومی جو- اقیانوس (AOGCM) می‌باشند (Wilby and Harris, 2006). در این تحقیق از پنج‌مین گزارش مدل گردش عمومی جو- اقیانوس کانادا (CanESM2) تحت سناریوی انتشار RCP 4.5 استفاده گردید که سناریوی حد وسط (RCP4.5) با درنظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی توسط دولت‌ها در آینده انتخاب شده است.

مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

دسته داده‌های جو بالایی (NCEP) هستند که شامل داده‌های روزانه ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده هستند که از بین آنها متغیرهای مستقل انتخاب می‌شوند. دسته سوم شامل داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو CanEM2 تحت سناریوی پنجم انتشار RCP 4.5 هستند. مدل SDSM در اولین مرحله به شناسایی متغیرهای پیش‌بینی کننده دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی پارامتر مورد نظر می‌پردازد (Wilby et al., 2004). سپس در مرحله بعد داده‌های مشاهداتی هریک از متغیرهای پیش‌بینی‌شونده به دو قسمت برای واسنجی ۱۹۹۱-۱۹۶۱ و صحت سنجی ۲۰۰۵-۱۹۹۲ تقسیم و مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از این مرحله، مدل واسنجی‌شده SDSM با استفاده از NCEP های منتخب و نیز داده‌های مدل گردش عمومی جو- اقیانوس اقدام به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مورد نظر می‌کند و در نهایت داده‌های پیش‌بینی شده ریزمقیاس با گام زمانی روزانه بدست می‌آیند. شکل (۲) روند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM را نشان می‌دهد.

شبیه سازی سطح آب زیرزمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم
در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند با استفاده از داده‌های دما و بارندگی آبی مربوط به سناریوهای تغییر اقلیم از مدل فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) بهره گرفته شد. مدل سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی در برگرفته دو مدل فازی و عصبی در یک ساختار است. بخش فازی رابطه‌ای بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار نموده و پارامترهای مربوط به توابع عضویت بخش فازی به وسیله شبکه عصبی تعیین می‌گردد. در فرآیند استنباط فازی، ۵ مرحله باید صورت گیرد:

۱- فازی‌سازی متغیرهای ورودی

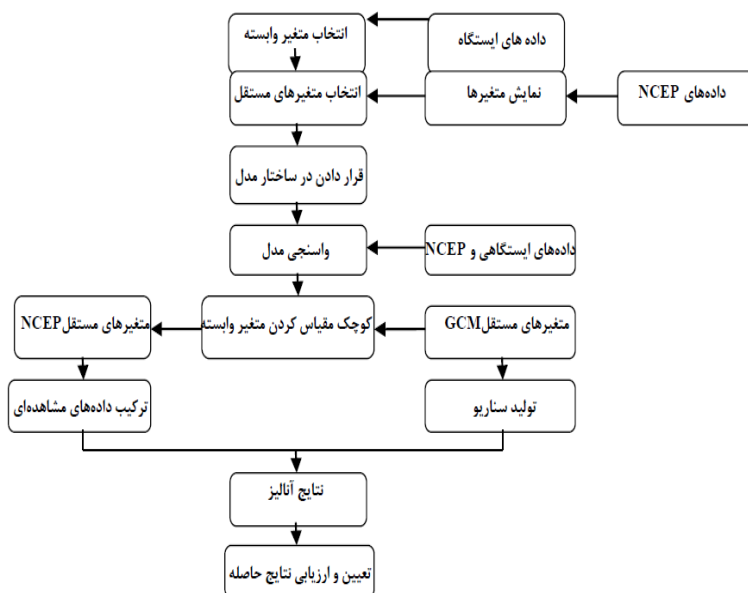
۲- به کار بردن عملگرهای (و، یا) در بخش مقدمه

۳- استنتاج از مقدمه به نتیجه در ساختار

۴- ترکیب نتایج قوانین

۵- غیرفازی کردن

روش مدل‌سازی به وسیله سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی مشابه بسیاری از روش‌های متداول می‌باشد. ابتدا ساختار یک مدل با پارامترهای مشخص (تابع و درجه عضویت) فرض می‌شود. سپس یک سری داده ورودی/خروجی به شکلی که قابل استفاده برای آموزش سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی باشد جمع آوری می‌گردد. در ادامه به وسیله سیستم استنباط فازی عصبی تطبیقی، مدل سیستم استنباط فازی را با داده‌های موجود آموزش داده، تا با اصلاح پارامترهای تابع درجه عضویت مطابق با حد خطای انتخاب شده، داده‌های حاصل از مدل به مقدار واقعی نزدیک شوند. با توجه به پیچیده بودن شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی، بخش بیشتری از داده‌های مشاهداتی با لحاظ بیش برآزشی به مرحله واسنجی اختصاص یافت. لذا داده‌های ورودی به مدل شبکه فازی عصبی تطبیقی ۸۰ درصد داده‌ها برای واسنجی مدل و ۲۰ درصد برای صحت سنجی مدل به کار گرفته شدند. پس از بررسی کیفی مدل فازی عصبی تطبیقی این مدل برای پیش‌بینی سطح آب زیر زمینی تحت تأثیر تغییر اقلیم در آینده مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور سری‌های زمانی دما و بارش بوسیله ریزمقیاس نمایی و تولید سناریو برای آینده ایجاد گردید و پارامتر ورودی تبخیر و تعرق در آینده نیز به روش تورنت وایت تولید شد. سپس با استفاده از مدل عصبی فازی تطبیقی آموزش یافته و نیز پارامترهای مورد نیاز آن، سطح آب زیرزمینی در دوره آبی پیش‌بینی گردید



شکل ۲- فرآیند ریزمقیاس سازی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM

Figure 2- The process of downscaling and producing the SDSM model climate scenario

نتایج و بحث

ریز مقیاس سازی دما و بارش

پس از واسنجی مدل SDSM به منظور ارزیابی عملکرد مدل در ریز مقیاس نمایی، متغیرهای دما و بارش منطقه، مقادیر میانگین ماهانه دما و بارندگی ریزمقیاس شده توسط این مدل در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۲) با مقادیر مشاهداتی متناظر ایستگاه مورد مطالعه در همان دوره مقایسه گردید که نتایج بدست آمده در شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است.

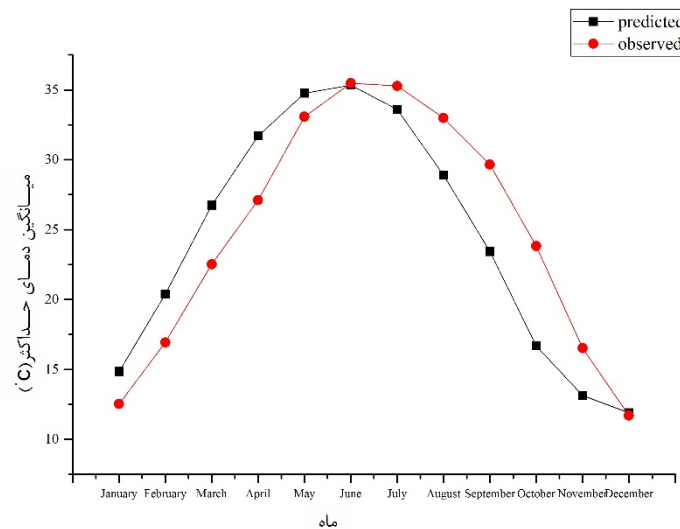
مقایسه میانگین حداکثر دمای روزانه مشاهداتی طی ماه‌های مختلف سال و ریز مقیاس‌سازی شده توسط مدل SDSM در شکل (۳) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود مقادیر میانگین درجه حرارت بیشینه ریز مقیاس شده طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن از مقادیر مشاهداتی بیشتر می‌باشد. بعبارت دیگر در این ماه‌ها مدل برآورد بیشتری نسبت به مقادیر مشاهداتی دارد. این موضوع برای ماه‌های جولای تا دسامبر دقیقاً برعکس می‌باشد. بعبارت دیگر طی این ماه‌ها مدل مقادیر پایین‌تری برای میانگین حداکثر درجه حرارت پیش‌بینی می‌نماید.

شکل (۴) مقایسه میانگین حداقل دمای روزانه مشاهداتی
 طی ماه‌های مختلف سال و ریز مقیاس‌سازی شده توسط

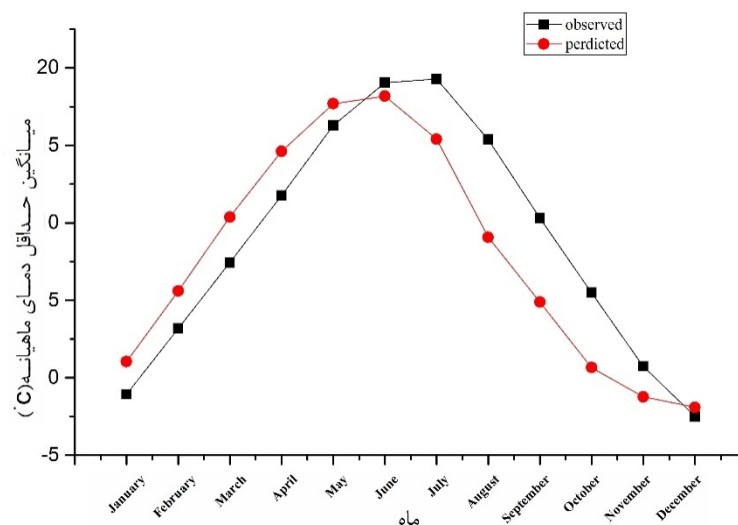
مدل SDSM را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود مقادیر میانگین درجه حرارت کمینه ریز مقیاس شده همانند میانگین درجه حرارت بشینه طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن از مقادیر مشاهداتی بیشتر می‌باشد. بعبارت دیگر در این ماه‌ها مدل برآورد بیشتری نسبت به مقادیر مشاهداتی دارد. این موضوع برای ماه‌های جولای تا دسامبر دقیقاً برعکس می‌باشد. بعبارت دیگر طی این ماه‌ها مدل مقادیر پایین‌تری برای میانگین حداقل درجه حرارت پیش‌بینی می‌نماید.

شکل (۵) مقایسه میانگین بارندگی روزانه مشاهداتی طی ماه‌های مختلف سال و ریز مقیاس‌سازی شده توسط مدل SDSM را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود مقادیر میانگین بارندگی ریز مقیاس شده در ماه ژانویه از مقادیر مشاهداتی بیشتر می‌باشد. و طی ماه‌های فوریه تا میاز مقادیر مشاهداتی کمتر می‌باشد. عبارت دیگر در این ماه‌ها مدل برآورد کمتری نسبت به مقادیر مشاهداتی دارد. این موضوع برای ماه‌های سپتامبر تا دسامبر دقیقاً بر عکس می‌باشد. عبارت دیگر طی این ماه‌ها مدل مقادیر بالاتری برای میانگین بارندگی پیش بینی می‌نماید. همچنین طی ماه‌های ژوئن تا آگوست مقادیر میانگین بارندگی ریز مقیاس شده بالاتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشد اما از آنجایی که

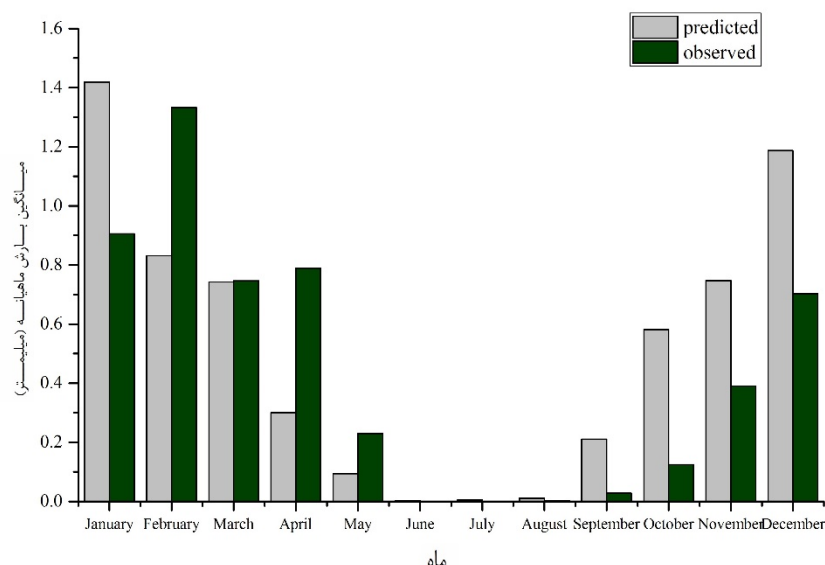
مقادیر آن بسیار پایین است نزدیک به صفر نشان داده شده است.



شکل ۳- مقایسه نتایج دمای حداکثر مشاهده‌ای در دوره پایه با مقادیر ریزمقیاس شده با مدل SDSM
Figure 3- Comparison of maximum observational temperature results in baseline with downscaled values using SDSM model



شکل ۴- مقایسه نتایج دمای حداقل مشاهده‌ای در دوره پایه با مقادیر ریزمقیاس شده با مدل SDSM
Figure 4- Comparison of minimum observational temperature results in baseline with downscaled values using SDSM model



شکل ۵- مقایسه نتایج بارش مشاهده‌ای در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده مدل SDSM

Figure 5- Comparison of observational precipitation results in baseline with downscaled values using SDSM model

که در روابط فوق: Q_{oi} داده مشاهداتی، Q_{si} داده شبیه سازی شده در زمان i ، n تعداد داده‌های مشاهداتی و Q_{oi} میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

نتایج پارامترهای اقلیمی در دوره آتی

پارامترهای میانگین حداکثر و حداقل دما و میانگین بارش برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۰ به کمک مدل SDSM شبیه‌سازی شد. نتایج بدست آمده براساس نمودار باکس پلات رسم شده در شکل‌های (۶)، (۷) و (۸) نشان می‌دهد که مدل میانگین دمای حداقل و حداکثر را برای دوره آتی بهتر از میانگین بارش شبیه‌سازی نموده است.

در شکل (۶)، (۷) و (۸) مشاهده می‌شود، میزان تغییر پذیری (عدم قطعیت) پارامتر درجه حرارت حداقل در ماه‌های اگوست و جولای بیشتر از بقیه ماه‌ها می‌باشد. و در مورد دمای حداکثر عدم قطعیت بیشتر در ماه‌های فوریه و آوریل مشاهده می‌گردد که با نتایج کار محققین دیگر همخوانی دارد (Amirabadizadeh et al., 2017). مورد پارامتر بارندگی برخلاف دو پارامتر دیگر در بیشتر ماه‌های سال میزان عدم قطعیت بالا می‌باشد که دلیل عمده آن ماهیت مکانی این پدیده می‌باشد

با توجه به شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که مدل، میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه را نسبت به میانگین بارش ماهانه، بهتر شبیه‌سازی کرده است. و داده‌های درجه حرارت حداکثر و حداقل همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند که نتایج بدست آمده با نتایج صمدی و همکاران (۱۳۸۸) و انصاری و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد. جهت بررسی عملکرد مدل از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (Willmott and Matsuura, 2005) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (Nash and Sutcliffe, 1970) (NS) استفاده گردید. براساس روابط (۱) و (۲) استفاده شد. نتایج ارزیابی عملکرد مدل CanESM2 AR5 برای شبیه‌سازی بارش و دما در جدول (۱) ارائه شده است.

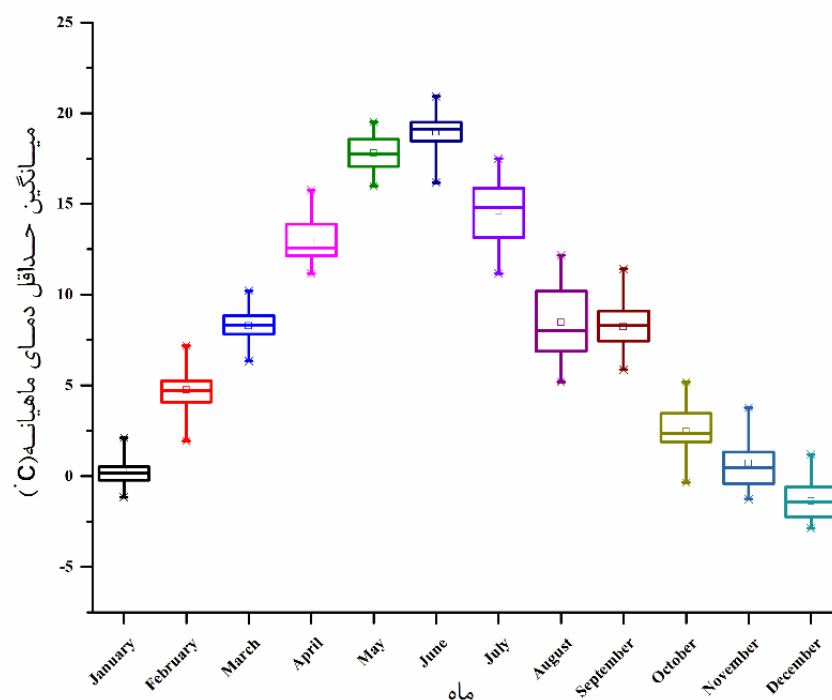
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2} \quad (1)$$

$$NS = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_{oi})^2} \right) \quad (2)$$

جدول ۱- عملکرد مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی دما و بارش

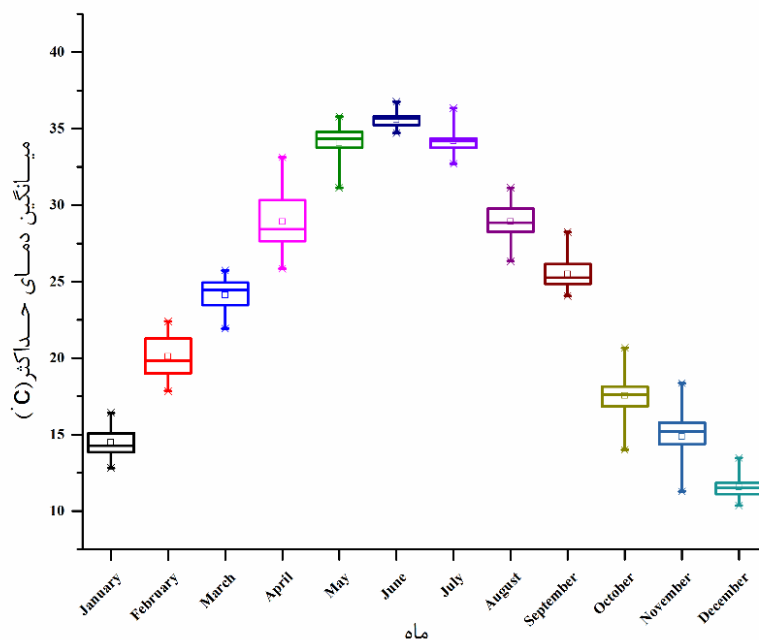
Table1- Performance of SDSM model for downscaling of climatic parameters of temperature and precipitation

پارامترهای اقلیمی	ضریب نش-ساتکلیف	مجذور میانگین مربعات خطا (m)
بارش	۰/۳۷	۰/۱۷
دمای حداکثر	۰/۷۸۷	۱/۹۹
دمای حداقل	۰/۷۸۵	۱/۷۷



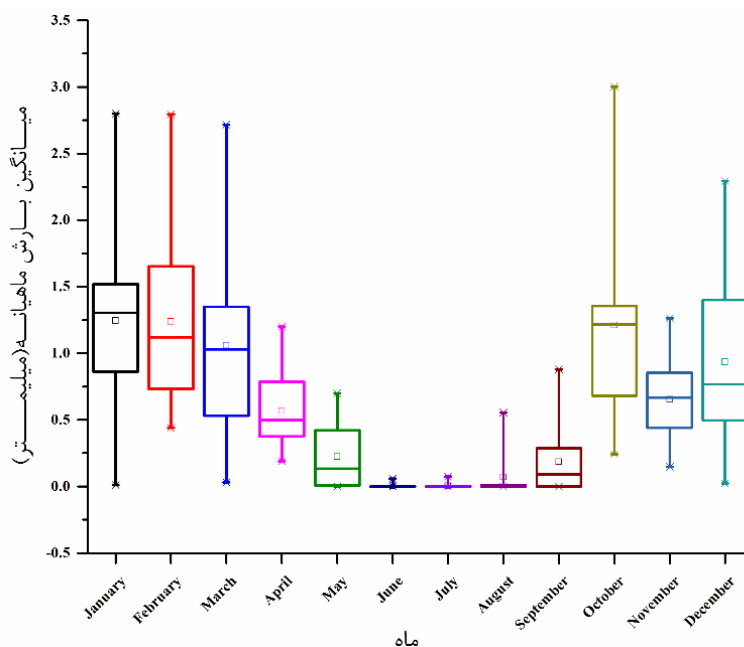
شکل ۶- میانگین دمای حداقل بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

Figure 6- Average of minimum temperature during 2020-2049



شکل ۷- میانگین دمای حداکثر بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

Figure 7- Average of maximum temperature during 2020-2049



شکل ۸- میانگین بارندگی بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

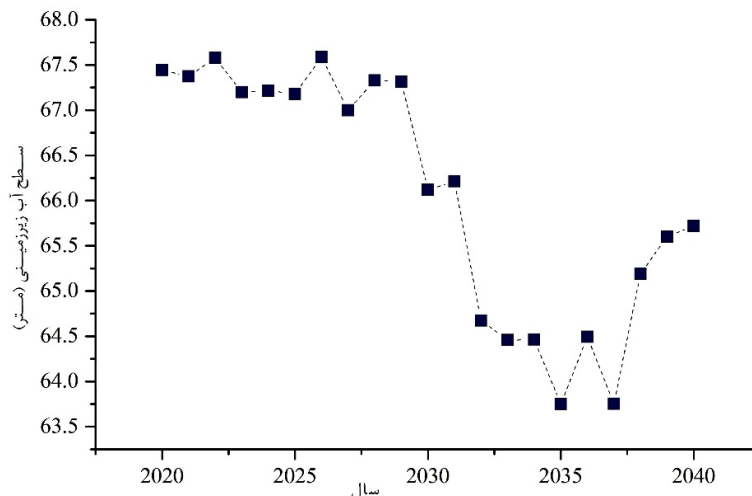
Figure 8- Average of precipitation during 2020-2049

آب زیرزمینی دشت بیرجند برای آینده پیش‌بینی گردید. با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند به کمک پارامترهای اقلیمی در طی دوره آتی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که از سال ۲۰۳۲ تا

نتایج پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در آینده با استفاده از کد برنامه نویسی نرو-فازی که با لحاظ داده‌های مشاهداتی اقلیمی و سطح آب زیرزمینی‌واسنجی گردیده است و نیز استفاده از خروجی‌های ریزمقیاس شده سطح

بگیرد. همچنین با توجه به عدم قطعیت موجود در مباحث مربوط به تغییر اقلیم، مطالعات از این نوع می تواند افق روشنتری از آینده را در اختیار تصمیم گیران قرار دهد.

سال ۲۰۳۷ افت قابل توجهی در سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند مشاهده می شود که این مسئله باید در برنامه های مدیریتی منابع آب استان خراسان جنوبی مد نظر قرار



شکل ۹- تراز سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند بین سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰
Figure 9- Groundwater level of Birjand plain between 2020 and 2040

پیش بینی گردید. بررسی نتایج بدست آمده نشان داد که تراز آب زیرزمینی حوضه در طی سال های ۲۰۳۲ تا ۲۰۳۷ افت قابل توجهی دارد حال آنکه طی سال های ۲۰۴۰-۲۰۳۸ افزایش در سطح ایستابی نسبت به سال های قبل خواهد داشت. لازم بذکر است این افزایش به میزانی نیست که بتواند افت چندین ساله در تراز آب زیرزمینی را جبران نماید. باتوجه به وسعت آبخوان دشت بیرجند و روند افت سطح آب زیرزمینی در سال های پیش بینی، مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و اصلاح الگوی مصرف ضرورت دارد.

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از سناریوی تغییر اقلیم (RCP 4.5) برای دو متغیر مهم بارش و دما در حوضه دشت بیرجند در استان خراسان جنوبی پرداخته شد و برای ریزمقیاس سازی این پارامترهای اقلیمی از مدل SDSM4.2 و در مقیاس روزانه استفاده گردید. پارامترهای ریز مقیاس شده اقلیمی بعنوان بخشی از ورودی های مدل شبکه فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) مورد استفاده قرارگرفت و سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند در طی سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰

منابع

1. Ansari S, Massah Bavani A. R and Roozbahani A., 2016, Effects of Climate Change on Groundwater Recharge (Case Study: Sefid Dasht Plain), Water and Soil, 30(2): 416-421.[in Persian]
2. Barret, L., Kurylyk Kerry, T., and Mac Quarrie, B. 2013. The uncertainty associated with estimating future groundwater recharge: A summary of recent research and an example from a small unconfined aquifer in a northern humid-continental climate. Journal of Hydrology, Volume 492, 7 June 2013, Pages 244-253.
3. Barret, L., Kurylyk Kerry, T., Mac Quarrie, B., and Clifford Voss, I. 2014. Climate change impacts on the temperature and magnitude of groundwater discharge from shallow, unconfined aquifers. Water

- Resources Research, Volume 50, Issue 4, pages 3253–3274.
4. Coulibaly, P., and Yonas, B. 2005. Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. American Meteorology society, 6, 483-496.
5. Faridpoor, M., 2013, Analysis of the effect of drought on the quantitative and qualitative characteristics of groundwater in Marand plain, M.Sc. Thesis, University of Tabriz, Faculty of Geography.[in Persian].
6. IPCC.2013. Summary for policymakers in climate change. The physical science basis contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge university press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY, USA1-33.
7. Lemieux, J., Hassaoui, J., Molson, J., Therrien, R., Therrien, P., Chouteau, M., and Quellet, M. 2015. Simulating the impact of climate change on the groundwater resources of the Magdalen Islands, Québec, Canada. Journal of Hydrology: Regional Studies. 3:400-423.
8. Mahmoodzadeh, D., Ketabchi, H., Ataie-Ashtiani, B., Simmons, C. 2014. Conceptualization of a fresh groundwater lens influenced by climate change: A modeling study of an arid-region island in the Persian Gulf, Iran. Journal of Hydrology. 519:399–413.
9. Massah Bavani A.R., Morid s., Mohammadzadeh M., 2011, Comparison of small-scale scaling methods and AOGCM models in studying the impact of climate change on a regional scale, Journal of Earth and Space Physics, 36 (4): 99-110.[in Persian].
10. MassahBavani A. R., Morid S., 2006, Investigating the effect of uncertainty on the cumulative distribution of runoff under the effect of climate change, Second Conference on Water Resources Management, Isfahan, Isfahan University of Technology, Engineering and Science Association of Iran Water Resources.[in Persian].
11. Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, J. Hydrol., 10, 282–290.
12. Samadi S.Z, Massah Bavani A.R and Mahdavi M., Selection of predictor variable in order to statistically scale the temperature and precipitation data in Karkheh watershed, Proceedings of the Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering, March 2009, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.[in Persian].
13. Tam, V., Batelaan, O., and Beyen, I., 2016. Impact assessment of climate change on a coastal groundwater system, Central Vietnam. Environmental Earth Sciences. 75(908).
14. Toofan Tabrizi N., 2009, The effect of climate change on fresh groundwater resources in coastal areas (Case study: Deir Kangan plain, Iran), M. Sc. Thesis, Faculty of Agricultural Sciences, Tarbiat Modares University.[in Persian].
15. Tour, A., Diekkruger, B., and Mariko, A. 2016. Impact of climate change on groundwater resources in the Klela basin, southern Mali. Journal of Hydrology. 3(17).
16. Wilby, R. L., and Dawson, W. C. 2007. SDSM 4.2- A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales.
17. Wilby, R. L., Charles .S .P, Zorita .E, Timbal. B, Whetton. P and Mearns .L. O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. IPCC Task Group on data and scenario support for Impact and Climate Analysis (TGICA).
18. Wilby, R.L., and Harris .I. 2006. A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. Water Resources Research, vol 42, w02419, 10 pp.
19. Willmott, C. and Matsuura, K. 2005. Advantages of the Mean Absolute Error (MAE) over the Root Mean Square Error (RMSE) in assessing average model performance, Clim. Res., 30, 79–82.
20. Zarghami. M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., and Kanani, R . 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Journal of Global and Planetary Change 78(3-4): 137-146.[in Persian].

21. Alizadeh A., 2005. Principles of Applied Hydrology. Emam Reza University, Mashhad. [in Persian].
22. Rezaei M., Davatgar N., Tajdari K., Abolpour B., 2010. Investigation the spatial variability of some important groundwater quality factors in Guilan, Iran. Journal of Water and Soil. 24(5). 932-941. [in Persian with English Summary].
23. Ostovari Y., Beigi Harchegani, Davoodian H.A.R., 2011. Assessment, Spatial Variability and Mapping of Some Water Quality Parameters for Use in Drip Irrigation Design in Lordegan Plain, Iran. Iranian Journal of Irrigation and drainage. 5(2). 242-253. [in Persian with English Summary].



Original Article:

Prediction of groundwater level in Birjand Plain using the Fuzzy-Artificial Neural Network under the effects of climate change

A. Khayat¹, M.Amirabadizadeh^{2*}, M. Pourreza Bilondi³, H.Khozaymehnezhad⁴

¹ M.Sc. graduate of Water Structure, Department of science and water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

^{2*} Assistant Professor, Department of science and water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
Corresponding author E-mail: mamirabadizadeh@birjand.ac.ir.

^{3,4} Associate Professor, Department of science and water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
*Corresponding Author E-mail: n.khanmohammadi@urmia.ac.ir

Received: 28-10-2020; Accepted: 06-02-2021

Abstract

Nowadays, climate change and its effects creates a major crisis on the management of water resources. On the other hand, since groundwater is one of the most important sources of water supply, analyzing the impact of climate change on groundwater in the upcoming period will be necessary. The goal of current study is investigation of the effects of climate change scenarios for the balance of the groundwater level, case study on the subterranean water level in the field of Birjand South Khorasan province. In line with this goal in order to evaluate the effects of climate change, 26 parameters from the output of the Canadian General Circulation Models (CGCM3.1 AR5) under the emission scenario RCP4.5 was used as predictors. As well as, the SDSM model was applied for downscaling the climate data to generate the regional daily scenarios. The Artificial neural Network Fuzzy Integrated System (ANFIS) was used to investigate the changes in the balance of underground water. The results of current study indicate a downward trend and further decline of groundwater level about 3.5m in Birjand plain during the coming years to 2037. The results indicate a slight increase in groundwater level during 2038-2040. Considering the importance of groundwater in providing water consumption in the region, optimal and intelligent management of groundwater resources and improving the consumption pattern seems necessary.

Keywords: Groundwater, climate, fuzzy neural, climate scenarios, Birjand plain.