

کمی سازی اثر تغییر اقلیم بر افت آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک

- ❖ **حامد اسکندری دامنه؛** پژوهشگر پسادکتری گروه احیاء مناطق خشک کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ❖ **غلامرضا زهتاییان؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ❖ **حسن خسروی؛*** دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ **حسین آذر نیوند؛** استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ❖ **علی اکبر براتی؛** استادیار دانشکده اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه تهران.

چکیده

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک و متأثر بودن این منابع از پدیده تغییر اقلیم، در تحقیق حاضر به ارزیابی روند تغییر اقلیم در دشت میناب از ابتدا تا زمان حاضر و تأثیر آن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره آبی پرداخته شده است. جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم از مدل اقلیمی CanESM2 با استفاده از نرم افزار SDSM4.2 و برای مدل سازی کمی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی از نرم افزار GMS10.0.5 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی پدیده تغییر اقلیم در دوره آبی (۱۴۱۴) در سناریوهای ذکر شده، گویای آن بود که به ترتیب دما به میزان ۱/۸۸، ۲/۶۰ و ۴/۲۸ درجه سانتی گراد افزایش و بارش به میزان ۳۴/۱۹، ۴۲/۰۸ و ۵۹/۴۳ درصد نسبت به حالت پایه کاهش می یابد. نتایج اعمال سناریوهای اقلیمی با استفاده از مدل آب زیرزمینی نشان داد که به دلیل کاهش بارندگی در این دوره، در سناریوهای مذکور متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در دوره های آبی ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ نسبت به تراز سطح آب در سال پایه (۱۳۸۲-۱۳۸۳) به ترتیب در سناریو RCP2.6 برابر با ۱۳/۸-، ۱۸/۰۷-، ۲۲/۱- و ۲۴/۷- متر در سال برای سناریو RCP4.5 به ترتیب برابر با ۱۳/۸-، ۱۸/۹-، ۲۲/۷- و ۲۵/۱- متر در سال و برای سناریو RCP8.5 برای سال های مذکور به ترتیب برابر با ۱۴/۲-، ۱۹/۲-، ۲۳/۰- و ۲۵/۴- برآورد شد. تغییرات یاد شده تنها مبتنی بر پیش بینی تغییرات پارامترهای بارش و دما در دوره آبی در دشت میناب می باشد و چنانچه افزایش بهره برداری نیز ادامه یابد بر وخامت شرایط در این دشت خواهد افزود. لذا توصیه می گردد برنامه ریزان و مسئولین راهکارهای لازم را برای سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید و کمبود آب در این منطقه اتخاذ نمایند و خود را با شرایط آینده تطبیق دهند.

کلید واژگان: تغییر اقلیم، دشت میناب، آب زیرزمینی، GMS، CanESM2.

۱. مقدمه

مسئله کمبود آب یکی از بحران‌های مهمی که در آینده نزدیک زندگی تمام موجودات را در اقصی نقاط کره زمین تهدید خواهد نمود [۹ و ۳۸] و این بحران در کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک نمود بیشتری پیدا می‌نماید [۱ و ۱۳]، این مناطق با توجه به پدیده تغییر اقلیم و خشکسالی و همچنین برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی در بخش‌های مختلف شرب، صنعت و کشاورزی، یکی از جدی‌ترین بحران‌های پیش‌رو را برای آینده نه چندان دور تجربه خواهند نمود [۲۲ و ۳۷]. تغییر اقلیم و تغییرات آب‌وهوایی به دلیل کمبود بارش و افزایش دما و از طرف دیگر برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی به دلیل فعالیت‌های انسانی این مناطق را به اکوسیستم‌های بسیار حساس و شکننده تبدیل کرده است [۴۰، ۱۷ و ۱۵]. در این مناطق، برداشت آب همواره بیش از میزان تغذیه بوده و افت مداوم سطح آب صورت گرفته است و خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته است [۱۰]. از این‌رو بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و همچنین بررسی تغییرات ویژگی‌های این منابع می‌تواند گام مهمی در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد و نقش ارزنده‌ای در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت استفاده و بهره‌برداری از این منابع ایفا نماید. در این میان استفاده از روش‌هایی که بتواند به مدل‌سازی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی بپردازد و به مدیریت بهتر آب در این مناطق کمک کند توصیه می‌گردد [۸ و ۳۴]. استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیک از طریق کاهش هزینه نمونه‌برداری و افزایش دقت می‌تواند به این امر کمک نماید به طوری که با استفاده از این مدل‌ها می‌توان به برآورد و بررسی روند آب‌های زیرزمینی و همچنین به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی پرداخت و با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم در آینده، برای استفاده و مدیریت منابع آب

برنامه‌ریزی نمود [۱۲، ۲۵]. در سطح جهانی و ملی در زمینه کمی‌سازی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از این مدل‌های هیدرولوژیکی تحقیقات متعددی انجام شده است، که می‌توان در ادامه به آن اشاره نمود: گودرزی و همکاران [۱۴]، به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد براساس سناریوهای RCP^۱ پرداختند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که در سناریوی RCP8.5 آبخوان هشتگرد وضعیت بحرانی تری نسبت به سناریوی RCP2.5 خواهد داشت و افت سطح آب زیرزمینی برای بدترین حالت در منطقه در سال ۲۰۴۰ با فرض ثابت بودن برداشت، افت به میزان ۱۸ متر نسبت به زمان حال خواهد رسید. مومنه و همکاران [۲۹]، در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی در دوره‌های آتی در دشت چمچمال به این نتیجه رسیدند که، سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بین ۹/۶- تا ۱۷/۹۲- متر افت خواهد داشت که نسبت به دوره ۲۰۱۵-۱۹۹۶ به میزان ۱/۰۶- تا ۹/۳۸- متر تغییر تراز را نشان می‌دهد. نتایج رستگار و پایمرد [۳۲]، در بررسی و شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر افت سطح آب زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از مدل GMS، نشان داد که افت آب زیرزمینی در دوره‌های آتی (۲۰۳۰) شدیدتر می‌باشد به طوری که در همه سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی در تحقیق آنها با افزایش زمان افت آب زیرزمینی نسبت به حالت پایه بحرانی‌تر می‌گردد. Shrestha و همکاران [۳۹]، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی منابع آب زیرزمینی در دلتای مکنون با استفاده از مدل مادفلو تحت سناریوهای RCP پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد افزایش دما و کاهش بارندگی در دوره آتی رخ خواهد داد و به دنبال آن سطح و ذخیره آب زیرزمینی در دوره آتی کاهش خواهد یافت. Salem و همکاران [۳۶]، بیان داشتند که میانگین سطح آب زیرزمینی در شمال غربی بنگلادش تحت سه سناریوی بازدارندگی غلظت (RCP)،

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

دشت میناب در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این دشت طی بازه زمانی (۱۹۸۲-۲۰۱۷) دارای متوسط دمای هوای سالانه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین رطوبت نسبی بیش از ۶۸ درصد است. میانگین نزولات سالیانه در این منطقه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی هماهنگ و غالباً به صورت رگبارهای شدید به همراه سیلاب‌های مخرب و زودگذر است که براساس روش طبقه‌بندی دومارتن این دشت در اقلیم خشک قرار می‌گیرد. با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار دشت میناب در منطقه فوق‌حاره‌ای، گرمی هوا مهمترین پدیده مشهود اقلیمی این دشت است. این منطقه از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد از ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه، یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است. فصل گرم همراه با هوای شرجی ۹ ماه به درازا می‌کشد. دشت میناب با توجه به قطب کشاورزی در جنوب کشور و شرایط اقلیمی حاکم بر آن، کمبود بارش و خشکسالی‌های متوالی و نیز افزایش تراکم جمعیت به منابع آب زیرزمینی وابسته است. به طوری که در حال حاضر به علت برداشت بی‌رویه از این منابع و پیامدهای حاصل از آن یکی از دشتهای ممنوعه در کشور محسوب می‌شود. شکل (۱)، موقعیت این دشت را نشان می‌دهد.

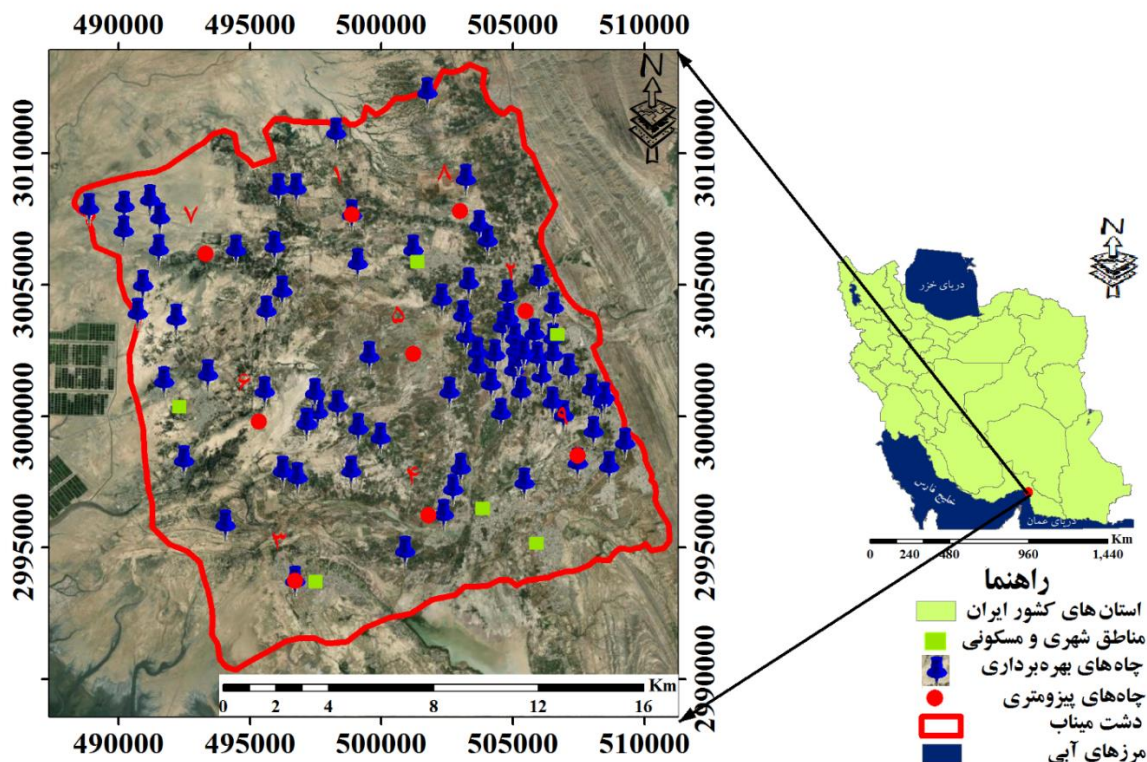
یعنی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب در محدوده ۰/۴۵ تا ۱/۱۹ متر، ۰/۵۵ تا ۱/۷۹ متر و ۰/۷۶ تا ۲/۷۱ متر کاهش داشته است. Pholkern و همکاران [۳۰]، در بررسی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در حوزه آبخیز Huai Luang در شمال شرقی تایلند با استفاده از دو مدل SEACAM¹ و CanESM2² پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که طی ۳۰ سال آینده دمای سالانه در هر دو مدل افزایش می‌یابد و همچنین طی این دوره بارش در مدل SEACAM کاهش و در مدل CanESM2 افزایش پیدا خواهد نمود و به دنبال آن تغذیه آب زیرزمینی تحت مدل CanESM2 افزایش و در مدل SEACAM کاهش می‌یابد همچنین در هر دو مدل عمق برداشت آب زیرزمینی افزایش می‌یابد و بر شوری آب افزوده می‌شود.

با توجه به مطالعات ذکر شده انجام تحقیقات کاربردی در رابطه با منابع آب زیرزمینی بر اساس وضعیت اقلیمی حاکم بر کشور ایران که توأم با خشکسالی‌های با شدت و تداوم‌های مختلف می‌باشد امری ضروری است. از طرفی با توجه به قرار گرفتن دشت میناب در منطقه خشک و به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این دشت، تصمیم به ارائه پژوهشی جهت بررسی تغییرات اقلیم بر کمیت آب‌های زیرزمینی گردید. از این‌رو هدف از این مطالعه ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تراز سفره آب زیرزمینی با استفاده از نرم‌افزار GMS و کد MODFLOW³ و همچنین شبیه‌سازی تراز سطح آب زیرزمینی می‌باشد تا با ارائه راهکارهای مدیریتی بهتر از افت بیشتر سطح آب زیرزمینی و هجوم سفره آب شور از سمت دریای عمان و خلیج فارس یا از اعماق بیشتر به سمت عمق کمتر در این دشت جلوگیری کرد.

1 Secretariat for Eastern African Coastal Area Management

2 Canadian Earth System Model

3 Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، مناطق شهری و مسکونی، چاه‌های پیزومتری و بهره‌برداری

۲.۲ روش تحقیق

در این تحقیق داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک میناب جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۲ از سازمان هواشناسی استان هرمزگان و اطلاعات هیدرولوژی ۱۳۸۲-۱۳۹۷ و زمین‌شناسی آبخوان دشت میناب از شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی و مدل‌سازی آب زیرزمینی به ترتیب از نرم‌افزار $SDSM^{1}_{4.2}$ و $GMS_{10.5}$ استفاده گردید که مراحل انجام تحقیق به شرح ذیل می‌باشد (شکل ۲).

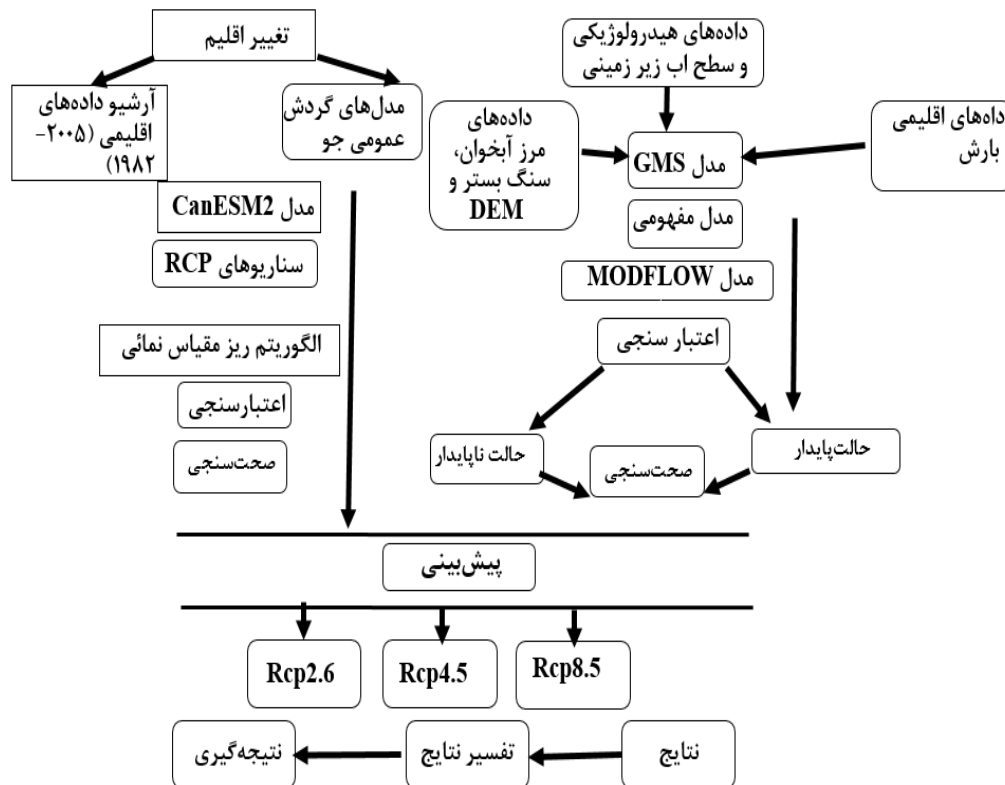
۲.۲.۱ بررسی وضعیت تغییر اقلیم

در این پژوهش برای شناخت و ارزیابی تغییرات بارش و دما در دشت میناب طی دهه‌های آینده از مدل $SDSM_{4.2}$ به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی، استفاده شد. مدل ریزمقیاس سازی $SDSM_{4.2}$ در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط Wilby و همکاران [۴۱] توسعه یافت. فرآیند ریزمقیاس نمایی عامل ایجاد کننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (پیش‌بینی شونده‌ها) و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها) است [۴۲، ۲۶]. داده‌های بزرگ مقیاس جوی شامل پیش‌بینی کننده‌های مرکز $NCEP^2$

1 Statistical DownScaling Model

خام استخراج گردید و سپس پیش‌بینی کننده‌های این مدل نسبت به میانگین و انحراف معیار دوره مشاهداتی (۱۹۸۲-۲۰۰۵) نرمالیزه گردیدند.

در دوره مشابه دیده‌بانی (۱۹۸۲-۲۰۰۵) و برون‌داد مدل بزرگ مقیاس CanESM₂ تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دوره آینده (۲۰۱۹-۲۰۳۵) از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا به صورت



شکل ۲. روند نما مدل سازی اثر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی

و ارزیابی قرار گرفت (رابطه ۱ تا ۳) [۲۴، ۱۱، ۳۳ و ۷].

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})(y_{models,t} - \bar{y}_{model})}{[\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2]^{0.5} [\sum_{t=1}^T (y_{models,t} - \bar{y}_{model})^2]^{0.5}} \right\}^2 \quad (۱) \text{ رابطه}$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (۲) \text{ رابطه}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{models,t})^2}{T}} \quad (۳) \text{ رابطه}$$

جهت شناسایی و انتخاب پیش‌بینی کننده‌های مناسب و دارای قویترین ارتباط معنی‌داری با بارش و دما مشاهداتی هر ایستگاه در سطح ۹۵ درصد از تحلیل همبستگی بین پیش‌بینی کننده‌ها (با هم) و با پیش‌بینی شونده از تحلیل همبستگی جزئی استفاده شد. در بررسی موضوعات اقلیمی، مدل‌های گزارش پنجم و داده‌های مشاهداتی با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین (R^2)، نش‌ساتکلیف (NS^1)، و جذر ریشه مربعات خطا ($RMSE^2$) مورد مقایسه

1 National Center Environmental Prediction

2 Nash-Sutcliffe coefficient

3 Root-Mean-Square Error

می‌نماید. انتخاب اندازه شبکه تابعی از اندازه کل محدوده مدل، گستردگی داده‌ها (داده‌های پیژومتری، داده‌های حفاری، نتایج آزمون پمپاژ و...) گراشیان آب زیرزمینی، ایجاد قابلیت تعریف خصوصیات فیزیکی و هیدرودینامیکی بر روی شبکه منفصل در انطباق با خصوصیات آبخوان و همچنین امکان تعریف منابع تغذیه- تخلیه به شکلی مناسب روی شبکه است. با توجه خصوصیات مربوط به دشت میناب و استفاده از تجارب محققان گذشته شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد 300×300 متر برای محدوده مورد نظر در یک لایه تهیه گردید. اطلاعات رقومی توپوگرافی سطح زمین از داده‌های DEM و با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استخراج و به مدل وارد شد. سپس با استفاده از درون‌یابی، همه نقاط به طور مستقیم به یک شبکه مدل نسبت داده شد. نقشه رقومی سنگ کف آبخوان نیز به کمک داده‌های ژئوفیزیک و نقشه تغییرات ضخامت آبخوان ساخته شد [۳۲]. شناخت ناحیه مدل و مرزهای آن، یکی از اعمال مهم در مدل‌سازی آب زیرزمینی است. در تعریف ناحیه مدل، کاربر مدل می‌بایست ناحیه مورد مطالعه را از سیستم آب زیرزمینی مجاور متمایز سازد. در نتیجه مرز مدل، فصل مشترک بین ناحیه مدل و محیط اطراف آن است. برای مشخص کردن شرایط مرزی، بار هیدرولیکی، نرخ جریان، یا ترکیبی از آنها به سلول‌های مرزی تخصیص داده می‌شود. از جمله راه‌های تعیین نوع مرز استفاده از نقشه هم‌تراز آب زیرزمینی و نقشه خطوط جریان است. مرزهایی که خطوط جریان به صورت عمود بر آنها قرار دارد (یا نزدیک به عمود) را بسته به جریان می‌توان به عنوان مرز ورودی و یا خروجی در نظر گرفت. هر کجا خط جریان با مرز موازی باشد، می‌توان مرز نفوذناپذیر دانست. پس از مشخص کردن پارامترهای زمانی و پارامترهای هیدرولیک برای هر سلول مدل، توصیف دقیق شرایط مرزی با استفاده از مناسب‌ترین بسته‌های مادفلو صورت گرفت. به منظور شناسایی مناطق تغذیه و تخلیه زیرزمینی و محاسبه میزان تغذیه و تخلیه از نقشه خطوط هم‌تراز سطح آب زیرزمینی دشت و همچنین مدل مفهومی استفاده گردید [۳۲]. این نقاط پس از مشخص

که در آنها X_{obs} ، مقادیر داده‌های مشاهداتی و Y_{model} ، مقادیر داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های گزارش پنجم در واحد زمانی t و \bar{X}_{obs} و \bar{Y}_{model} نیز به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش و دما در کل دوره زمانی ارزیابی (دوره پایه) می‌باشد. در نهایت با توجه به معادلات آماری و رگرسیون کالیبره شده بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز NCEP با پارامترهای بارش و دما مشاهداتی، فرآیند ریزمقیاس نمایی بر روی داده‌های آینده مدل CanESM2 تحت سناریوهای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد و سرانجام بر این اساس سری داده‌های روزانه بارش و دما در مقیاس ایستگاهی برای دوره آتی (۲۰۳۵-۲۰۱۹) شبیه‌سازی و تولید گردیدند [۴].

۲.۲.۲. بررسی وضعیت آب زیرزمینی

برای مدل‌سازی آب زیرزمینی از مدل GMS استفاده گردید به طوری که این مدل جریان را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود برای حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی می‌کند [۱۴]. برای ایجاد مدل جریان در نرم‌افزار GMS از روش مدل مفهومی استفاده گردید. در این مدل سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدول map به منظور تولید نقشه‌های مورد نیاز بکار برده شد. موقعیت منابع تغذیه و تخلیه مانند موقعیت چاه‌ها و تغذیه سطحی، پارامترهای لایه از قبیل هدایت الکتریکی، مرزهای مدل و اطلاعات دیگر مورد نیاز برای مدل‌سازی در سطح مدل مفهومی به نرم‌افزار داده شد و سپس شبکه ایجاد و مدل مفهومی به مدل شبکه‌ای تبدیل گردید. در ابتدا محدوده دشت میناب به مدل فراخوان شد، سپس هر یک از ویژگی‌های آبخوان، منابع تغذیه و تخلیه و چاه‌های مشاهداتی در یک پوشش جداگانه تعریف گردیدند. در مدل مفهومی محدوده مورد مطالعه، موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری به مدل داده شد. پس از این که مدل مفهومی تهیه گردید، شبکه و ابعاد آن طراحی شد [۳۲، ۳۱ و ۲۸]. کد مادفلو برای حل مسائل، از شبکه سلول مرکزی تفاضل محدود استفاده

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (h_{obs} - h_{models})^2} \quad (۶)$$

۲.۲.۳. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی

در این بخش، برای مدل سازی اثرات ناشی از تغییر اقلیم بر افت سطح ایستابی آب زیرزمینی مطابق با هدف تحقیق، از سناریوهای RCP گزارش پنجم مدل CanESM2 استفاده گردید و در نهایت با توجه به اعمال سناریوهای اقلیمی ذکر شده، افت آبخوان در دشت میناب مورد بررسی قرار گرفت.

۳. نتایج

نتایج ارزیابی معیارها در کارایی مدل CanESM2 در پیش بینی پارامترهای اقلیمی بارش و دمای روزانه حاکی از دقت قابل قبول این مدل (کاهش RMSE و افزایش R^2 و NSE) در پیش بینی این پارامترها طی دهه های آتی می باشد، جدول (۱). در شکل (۳) تغییرات بارندگی و دمای منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. نتایج بیانگر کاهش دما در ماه می به میزان ۰/۳۴ درجه سانتی گراد در سناریو RCP2.6 می باشد، این پارامتر در تمامی ماه های دیگر در همه سناریوها روند افزایشی را مطابق با گرمایش جهانی از خود نشان داد. همچنین بر طبق شکل (۳) نتایج پارامتر بارش نشان داد که در تمامی فصول تحت سناریوهای RCP کاهش بارش اتفاق خواهد افتاد.

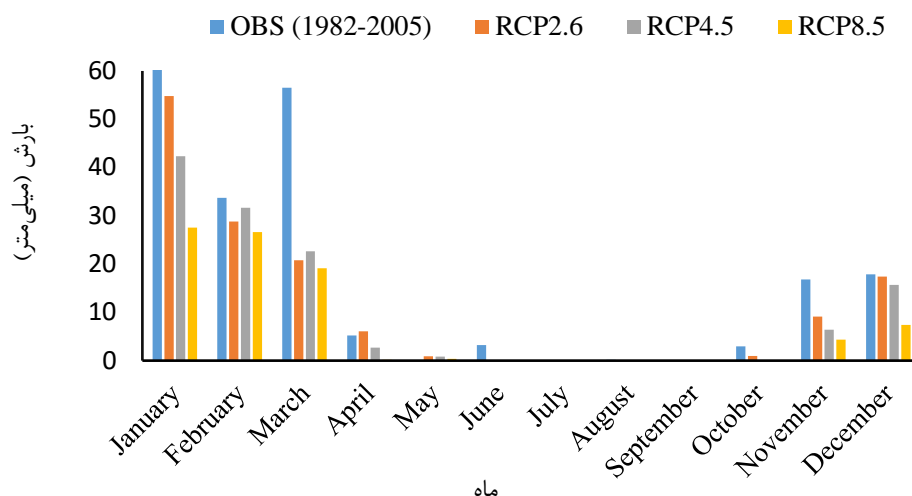
شدن به مدل فراخوان شد. همچنین در بعضی مناطق مرزی تغذیه و تخلیه زیرزمینی مشاهده می شود. پس از تعیین تمام داده های مورد نیاز کد ۲۰۰۰ مدل مادفلو، مدل آماده اجرا شد [۳۲]. در ابتدا با استفاده از چک کننده مدل^۱ خطاهای احتمالی بررسی و تصحیح گردید. در مرحله بعد، یکی از روش های محاسباتی مادفلو انتخاب و مدل اجرا شد. که در این مطالعه از روش تکرار PCG₂ استفاده گردید [۳۲]. معمولاً در اولین اجرا، برازش مناسبی بین بار هیدرولیکی محاسبه شده و اندازه گیری شده به دست نخواهد آمد. بنابراین برای رسیدن به یک برازش قابل قبول، باید خطاهای احتمالی موجود در فرایند مدل سازی شناسایی و تا حدی ممکن رفع کرد و مدل واسنجی گردد. در این مطالعه از بسته PEST از نرم افزار مدل سازی آب های زیرزمینی (GMS) حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف سنجیده شد. برای ارزیابی نتایج واسنجی از امکانات نرم افزار GMS استفاده گردید. هدف واسنجی این نرم افزار ابزاری برای نمایش بصری میزان خطا (تفاوت بین بار هیدرولیکی مشاهده ای و محاسبه ای)، پس از هر اجرای مدل در مجاورت هر پیژومتر است. از سه روش معمول برای نشان دادن معیار واسنجی (ME، MAE، RMSE) استفاده گردید [۳۲، ۶ و ۳]. که در این معادلات n تعداد چاه های مشاهده ای، h_{obs} و h_{models} به ترتیب مقادیر سطح آب مشاهده شده و شبیه سازی شده به متر می باشد.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_i^n (h_{obs} - h_{models})_i \quad (۴)$$

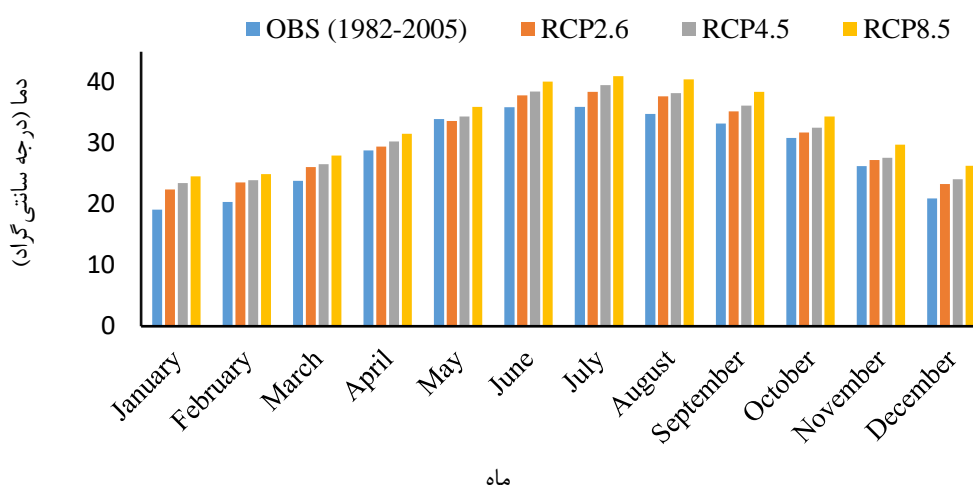
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |(h_{obs} - h_{models})_i| \quad (۵)$$

جدول ۱. مقادیر خطا بارش و دما و مدل CanESM2 طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۲

معیار ارزیابی (Evaluation Criteria)			پارامتر	منطقه
RMSE	ضریب تبیین (R^2)	ناش-ساتکلیف (NS)		
۸/۵۵	۰/۸۲	۰/۸۰	بارش	میناب
۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۷	دما	



(الف)

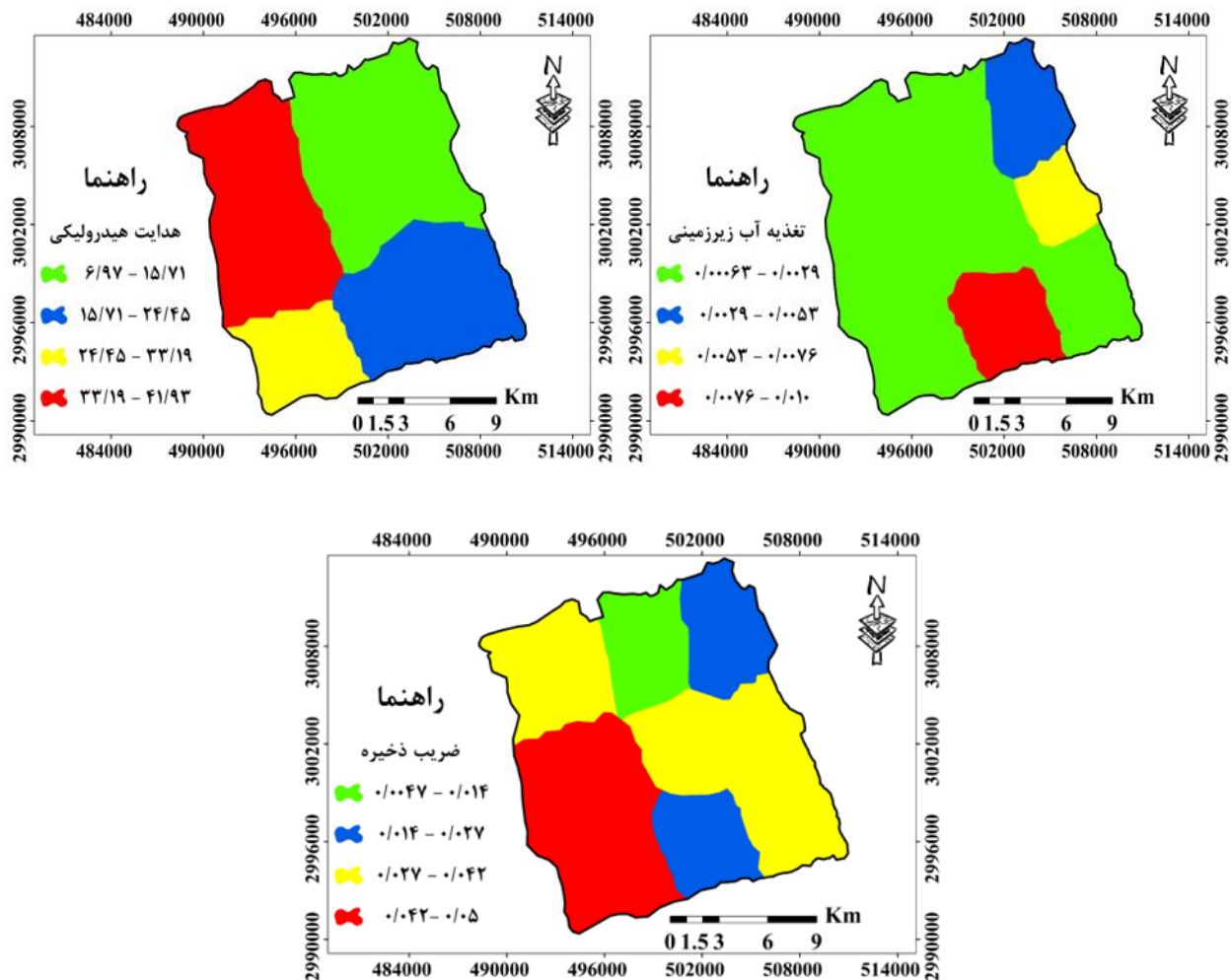


(ب)

شکل ۳. متوسط تغییرات دما (الف) و بارندگی (ب) ماهانه منطقه در دوره (۲۰۰۶-۲۰۳۵) نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP

مقدار هدایت هیدرولیکی برابر $۶/۹۷$ تا $۳۳/۱۹$ متر بر روز است. همچنین حداکثر میزان تغذیه در قسمت‌های جنوبی دشت به میزان $۰/۰۱$ متر بر روز صورت می‌گیرد. نتایج بدست آمده از مطالعه مقادیر خطاهای RMSE، MAE و R^2 در پی‌زومترهای واقع در دشت میناب در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در جدول ۲ آورده شده است که بر طبق این جدول نتایج آن حاکی از دقت قابل قبول مدل‌سازی در حالت ماندگار در سطح این پی‌زومترها می‌باشد.

نتایج بدست آمده از پارامترهای هدایت هیدرولیکی، تغذیه آب زیرزمینی و اینزوتراپی در شکل (۴) نشان داده شده است بر طبق این شکل این سه پارامتر در قسمت‌های مختلف آبخوان دارای مقادیر متفاوت می‌باشند به طوری که بر اساس نتایج واسنجی در شرایط غیرماندگار، میزان پارامتر اینزوتراپی برابر با $۰/۰۰۴۷$ تا $۰/۰۵$ می‌باشد که بیشترین مقدار آن مربوط به جنوب و جنوب غرب دشت میناب می‌باشد. حداقل و حداکثر



شکل ۴. ضریب تغذیه، هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره آبخوار دشت میناب

۳.۱. بیلان آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار

به منظور مقایسه نتایج بدست آمده از بیلان مدل در سال مدل سازی (۱۳۹۵) با بیلان هیدروژئولوژی آبخوار در دشت میناب، از گزارش بیلان هیدروژئولوژی که در همین سال (۱۳۹۵) توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب) بدست آمده است، استفاده گردید، در این گزارش مساحت محدوده بیلان ۳۲۳/۸۷ کیلومترمربع می باشد و متوسط کسری مخزن در سال ۱۳۹۵، ۸/۳۷- میلیون مترمکعب برآورد گردیده است این در حالی است که در مدل سازی مقدار کسری مخزن در سال ۱۳۹۵ برابر

همچنین مقادیر این خطاها در مرحله واسنجی ناپایدار در حالت کلی (بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۴) به ترتیب ۱/۳۳، ۱/۱۵ و ۰/۹۸ متر به دست آمد. مقادیر این خطا در مرحله صحت سنجی در حالت کلی (سال های ۱۳۹۵-۱۳۹۷) به ترتیب برابر با ۱/۸۶، ۱/۸۲ و ۰/۹۶ متر محاسبه گردید (جدول ۲). با توجه به نتایج فوق می توان گفت مدل واسنجی شده از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و مدل ریاضی می تواند به خوبی شرایط طبیعی حاکم بر آبخوار دشت میناب را شبیه سازی کند و به کمک این مدل می توان تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره های آبی را شبیه سازی نمود.

ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5
نسبت به سال مبنا (۱۳۸۲) برآورد شد (جدول، ۳).

با ۹/۱۴- میلیون مترمکعب محاسبه گردید. همچنین در
پایان سال مدل‌سازی (سال ۱۴۱۴) بیلان آبخوان به
میزان ۸/۳۱-، ۸/۲۰- و ۹/۸۶- میلیون مترمکعب به

جدول ۲. مقادیر خطا شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در تکرارهای مختلف در دوره ناپایدار (۱۳۸۲-۱۳۹۴)، صحت‌سنجی (۱۳۹۵-۱۳۹۷)

پیزومتر	واسنجی			صحت‌سنجی		
	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE
P1	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۸۴	۲/۰۷	۰/۸۹	۲/۰۳
P2	۰/۶۴	۰/۹۹	۰/۵۹	۱/۶۱	۰/۹۸	۱/۵۹
P3	۰/۸۱	۰/۹۹	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۵۰
P4	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۸۳	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۷۲
P5	۱/۳۷	۰/۹۹	۱/۱۶	۲/۶۹	۰/۹۶	۲/۶۷
P6	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۷۷	۱/۵۰	۰/۹۹	۱/۴۹
P7	۲/۷۶	۰/۹۶	۲/۴۱	۴/۲۷	۰/۹۶	۴/۲۷
P8	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۹۸	۰/۲۵
P9	۲/۷۸	۰/۹۸	۲/۳۱	۲/۸۹	۰/۹۹	۲/۸۲
خطای کلی	۱/۳۳	۰/۹۸	۱/۱۵	۱/۸۶	۰/۹۶	۱/۸۲

جدول ۳. نمایش تاثیر ادامه روند کنونی برداشت و تغذیه ناشی از بارش حاصل از سناریوهای اقلیمی در بیلان آبخوان دشت میناب

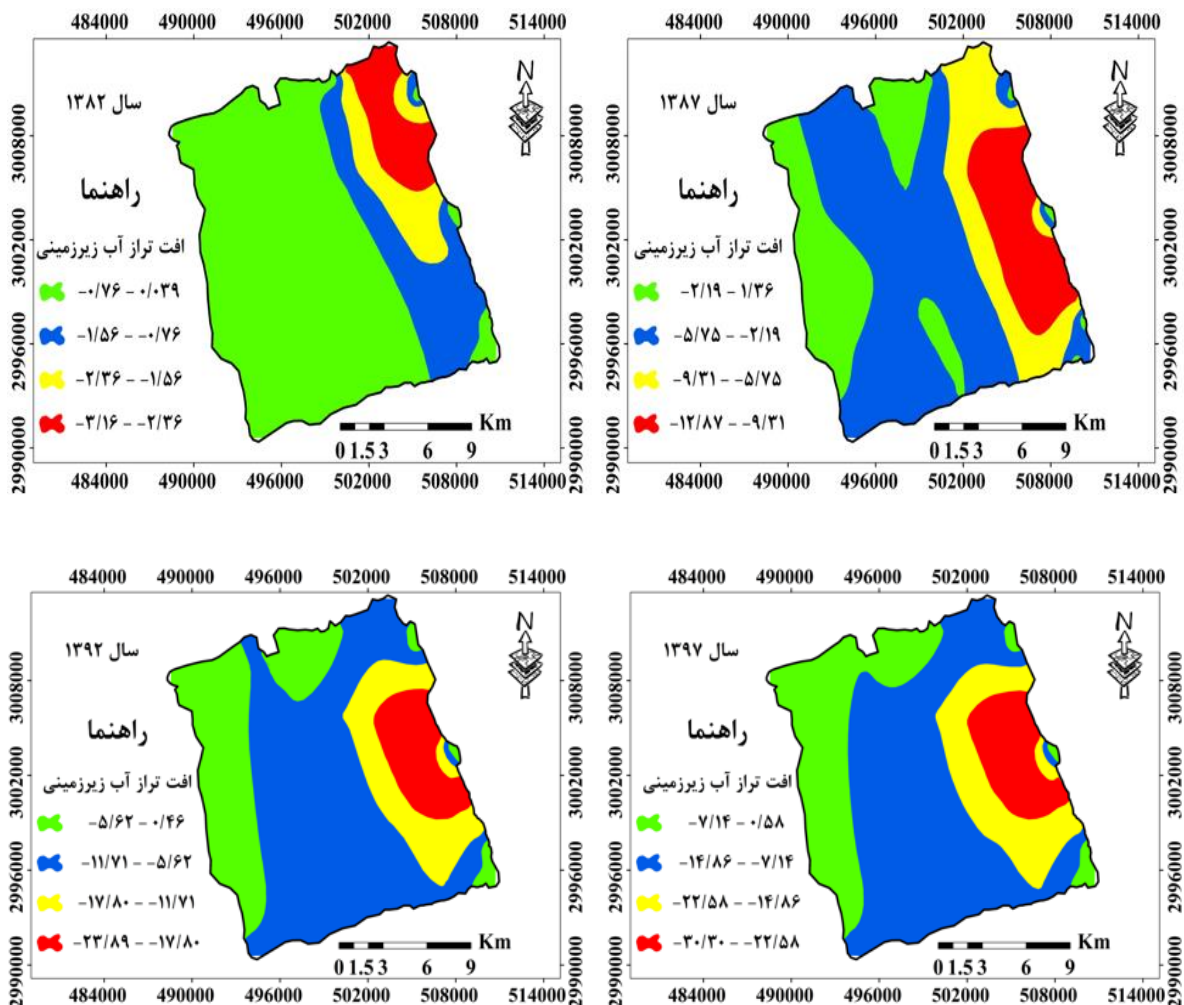
بیلان منفی کل (MM ³)			افت تغذیه ناشی از بارندگی (MM ³)			میزان تغذیه بارش موثر (MM ³)			مساحت حوزه (Km ²)	بارش (mm)			شرایط یکنواخت بهره‌برداری (MM ³)	سال
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
-۹/۱۴	-۹/۱۴	-۹/۱۴	.	.	.	۴/۹۴	۱/۸۷	۱/۶۱	۳۳۳/۸۷۱۴	۳۰۵/۲۰۸	۱۱۵/۲۱۵	۹۹/۴۴۵	-۹/۱۴	۱۳۹۸
-۱۲/۳۷	-۸/۴۷	-۷/۲۳	-۳/۲۳	-۰/۶۷	۱/۹۱	۱/۷۱	۲/۵۴	۳/۵۲	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۰۵/۵۴۷	۱۵۶/۶۲۲	۲۱۷/۲۳۳	-۹/۱۴	۱۳۹۹
-۶/۰۷	-۱۰/۳۶	-۱۰/۲۷	۳/۰۷	-۱/۲۲	-۱/۱۳	۴/۷۸	۱/۳۱	۲/۳۸	۳۳۳/۸۷۱۴	۲۹۵/۳۳۱	۸۱/۰۲۴	۱۴۷/۲۵۱	-۹/۱۴	۱۴۰۰
-۱۲/۶۲	-۶/۹۰	-۹/۳۳	-۳/۴۸	۲/۲۴	-۰/۱۹	۱/۳۰	۳/۵۶	۲/۱۹	۳۳۳/۸۷۱۴	۸۰/۴۳۸	۲۱۹/۵۶۲	۱۳۵/۴۴۳	-۹/۱۴	۱۴۰۱
-۸/۶۹	-۹/۸۵	-۹/۳۵	-۰/۴۵	-۰/۷۱	-۰/۲۱	۱/۷۶	۲/۸۵	۱/۹۹	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۰۸/۴۹	۱۷۵/۷۲	۱۲۲/۶۳۲	-۹/۱۴	۱۴۰۲
-۷/۶۸	-۹/۸۲	-۹/۴۹	۱/۴۶	-۰/۶۸	-۰/۳۵	۳/۲۲	۲/۱۶	۱/۶۴	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۹۸/۵۴۸	۱۳۳/۵۱۳	۱۰۱/۰۶۲	-۹/۱۴	۱۴۰۳
-۸/۲۶	-۷/۸۱	-۹/۳۴	-۰/۸۸	۱/۳۳	-۰/۲۰	۴/۱۰	۳/۴۹	۱/۴۴	۳۳۳/۸۷۱۴	۲۵۳/۰۹۴	۲۱۵/۶۰۷	۸۸/۷۲۱	-۹/۱۴	۱۴۰۴
-۱۱/۶۹	-۹/۸۰	-۷/۶۸	-۲/۵۵	-۰/۶۶	۱/۴۶	۱/۵۵	۲/۸۳	۲/۹۰	۳۳۳/۸۷۱۴	۹۵/۷۱۶	۱۷۴/۸۸۷	۱۷۸/۹۵۷	-۹/۱۴	۱۴۰۵
-۷/۵۰	-۹/۹۰	-۱۱/۴۷	۱/۶۴	-۰/۷۶	-۲/۳۳	۳/۱۹	۲/۰۷	۰/۵۷	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۹۷/۱۶	۱۲۷/۸۹	۳۵/۰۰۲	-۹/۱۴	۱۴۰۶
-۸/۷۰	-۹/۱۹	-۸/۷۹	-۰/۴۴	-۰/۰۵	-۰/۳۵	۳/۶۳	۲/۰۲	-۰/۹۲	۳۳۳/۸۷۱۴	۲۲۴/۲۵۶	۱۲۴/۸۳	۵۶/۸۳۲	-۹/۱۴	۱۴۰۷
-۱۱/۳۱	-۸/۶۷	-۷/۹۸	-۲/۷	-۰/۴۷	۱/۱۶	۱/۴۶	۲/۴۹	۲/۰۹	۳۳۳/۸۷۱۴	۹۰/۳۶۱	۱۵۳/۷۲۵	۱۲۸/۷۶۹	-۹/۱۴	۱۴۰۸
-۶/۷۹	-۹/۲۶	-۸/۷۸	۲/۳۵	-۰/۱۲	-۰/۳۶	۳/۸۱	۲/۳۶	۲/۴۵	۳۳۳/۸۷۱۴	۲۳۵/۵۲۲	۱۴۶/۰۱۷	۱۵۱/۱۵۳	-۹/۱۴	۱۴۰۹
-۱۰/۸۴	-۸/۹۱	-۹/۴۲	-۱/۷۰	-۰/۲۳	-۰/۲۸	۲/۱۱	۲/۵۹	۲/۱۷	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۳۰/۵۸۸	۱۶۰/۰۸	۱۳۳/۸۶۴	-۹/۱۴	۱۴۱۰
-۹/۷۵	-۹/۸۸	-۸/۹۷	-۰/۶۱	-۰/۷۴	-۰/۱۷	۱/۵۰	۱/۸۵	۲/۳۴	۳۳۳/۸۷۱۴	۹۲/۸۸۲	۱۱۴/۳۷۳	۱۴۴/۲۱۴	-۹/۱۴	۱۴۱۱
-۹/۱۵	-۸/۱۴	-۱۰/۳۷	-۰/۰۱	۱/۰۰	-۱/۲۳	۱/۴۹	۲/۸۵	۱/۱۰	۳۳۳/۸۷۱۴	۹۲/۲۹۵	۱۷۶/۰۸۴	۶۷/۹۵۳	-۹/۱۴	۱۴۱۲
-۸/۱۳	-۸/۹۰	-۸/۲۰	۱/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۹۴	۲/۵۱	۳/۰۹	۲/۰۴	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۵۴/۷۴	۱۹۱/۰۱۷	۱۲۵/۹۷۵	-۹/۱۴	۱۴۱۳
-۹/۸۶	-۸/۲۰	-۸/۳۱	-۰/۷۲	-۰/۹۴	-۰/۸۳	۱/۷۸	۴/۰۳	۲/۸۷	۳۳۳/۸۷۱۴	۱۱۰/۱۶۷	۲۴۹/۱۶۶	۱۷۷/۳۶۵	-۹/۱۴	۱۴۱۴

میزان ۱۳/۸-، ۱۸/۰۷-، ۲۲/۱- و ۲۴/۷- متر به ترتیب تحت سناریو RCP4.5 (شکل: ۷)، ۱۳/۸-، ۱۹/۰۰-، ۲۲/۷۵- و ۲۵/۱- متر و تحت سناریو RCP8.5 (شکل: ۸)، به ترتیب برلبر با ۱۴/۲۳-، ۱۹/۲۲-، ۲۳/۰۰- و ۲۵/۴۶- متر به طور متوسط در کل محدوده دشت میناب کاهش می یابد. همچنین بیشترین میزان افزایش تراز سطح آب در دشت میناب به دلیل برداشت آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی صورت گرفته است و بر میزان کاهش افت آبخوان با گذشت زمان ۱۳۸۲-۱۴۱۴ افزوده می شود و بیشترین افت مربوط به سال ۱۴۱۴ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۵۹/۶-، ۵۹/۷۱- و ۶۰/۹۲- متر می باشد. به طوری که نتایج آن در شکل (۵ تا ۸) نشان داده شده است.

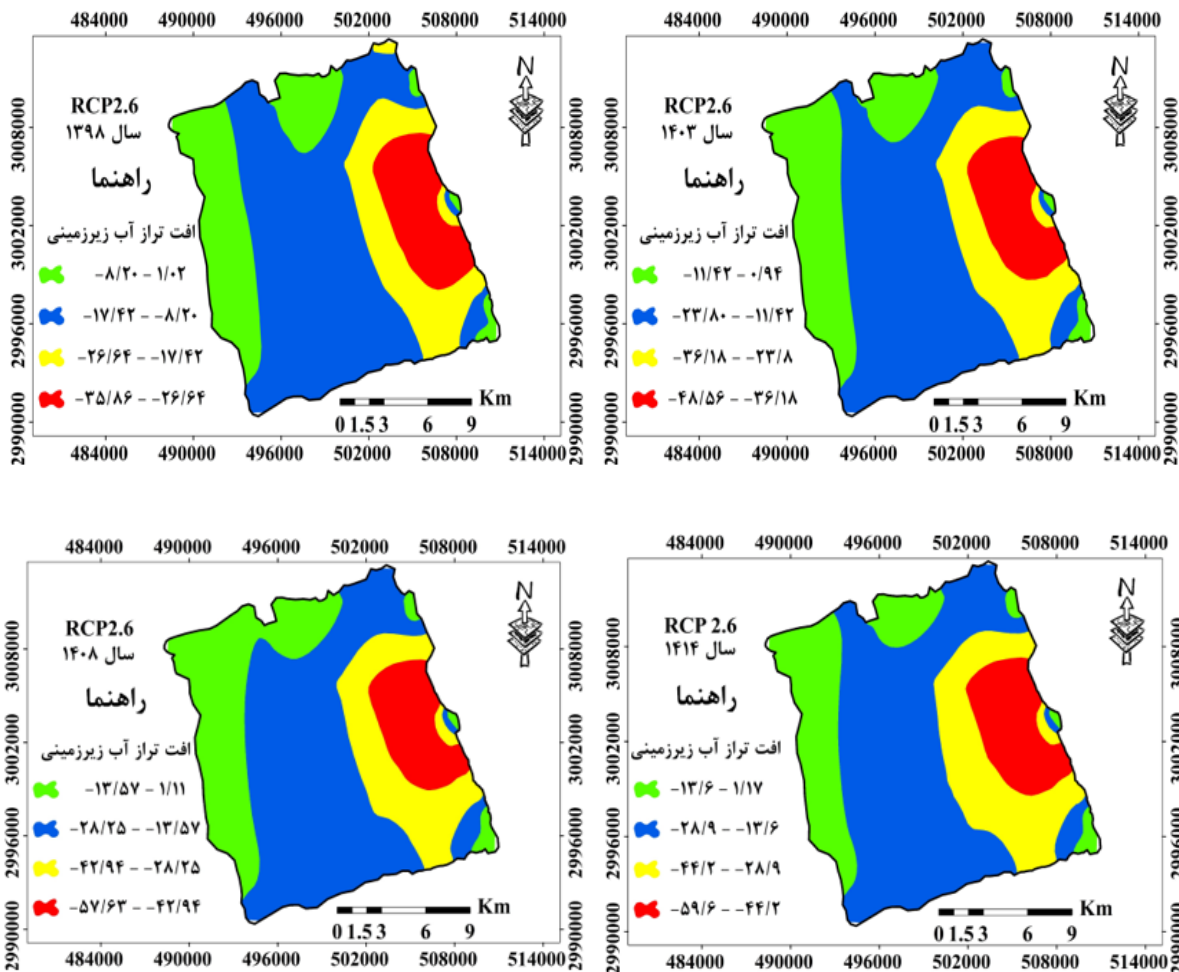
۳.۲. شبیه سازی وضعیت آبخوان در دوره آتی

تحت تأثیر تغییرات اقلیمی

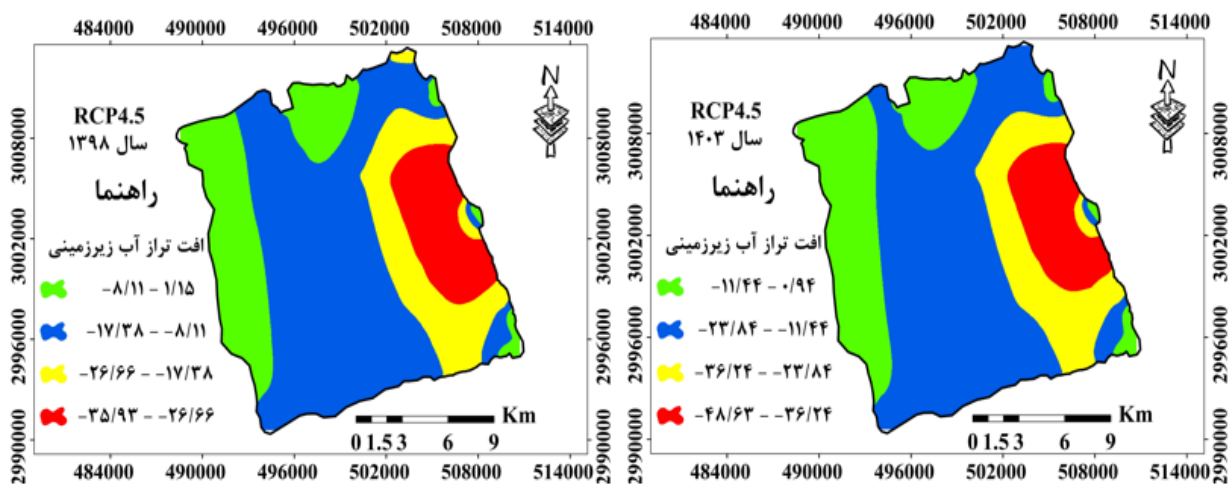
بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره های ۵ ساله مورد بررسی در حالت پایه (سال های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷) نشان داد که در این سال ها به ترتیب متوسط میزان افت آبخوان برابر با ۰/۷۲-، ۴/۵۱-، ۸/۷۲- و ۱۱/۶۴- می باشد (شکل: ۵). نتایج اثرات تغییر اقلیم، با فرض ثلث ملدن میزان بهره برداری از چاه ها در دوره آتی حاکی از آن است که متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در این دوره های ۵ ساله مورد بررسی (۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴) نسبت به تراز سطح آب در سال پایه ۱۳۸۲-۱۳۸۳ تحت سناریو RCP2.6 (شکل: ۶)، به ترتیب برابر با



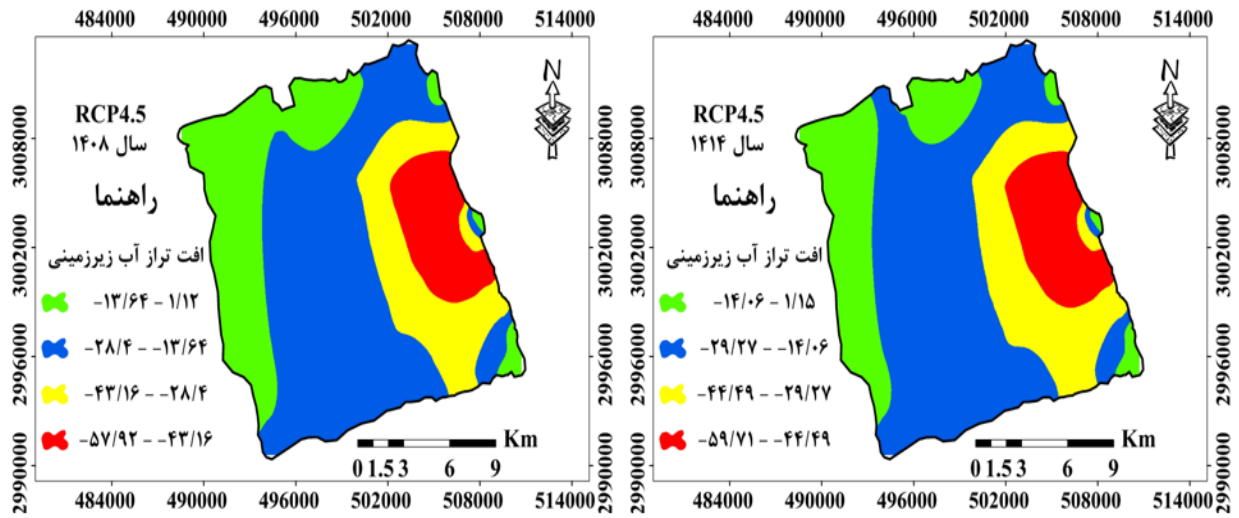
شکل ۵. افت آب زیرزمینی (متر) در سال های ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۷



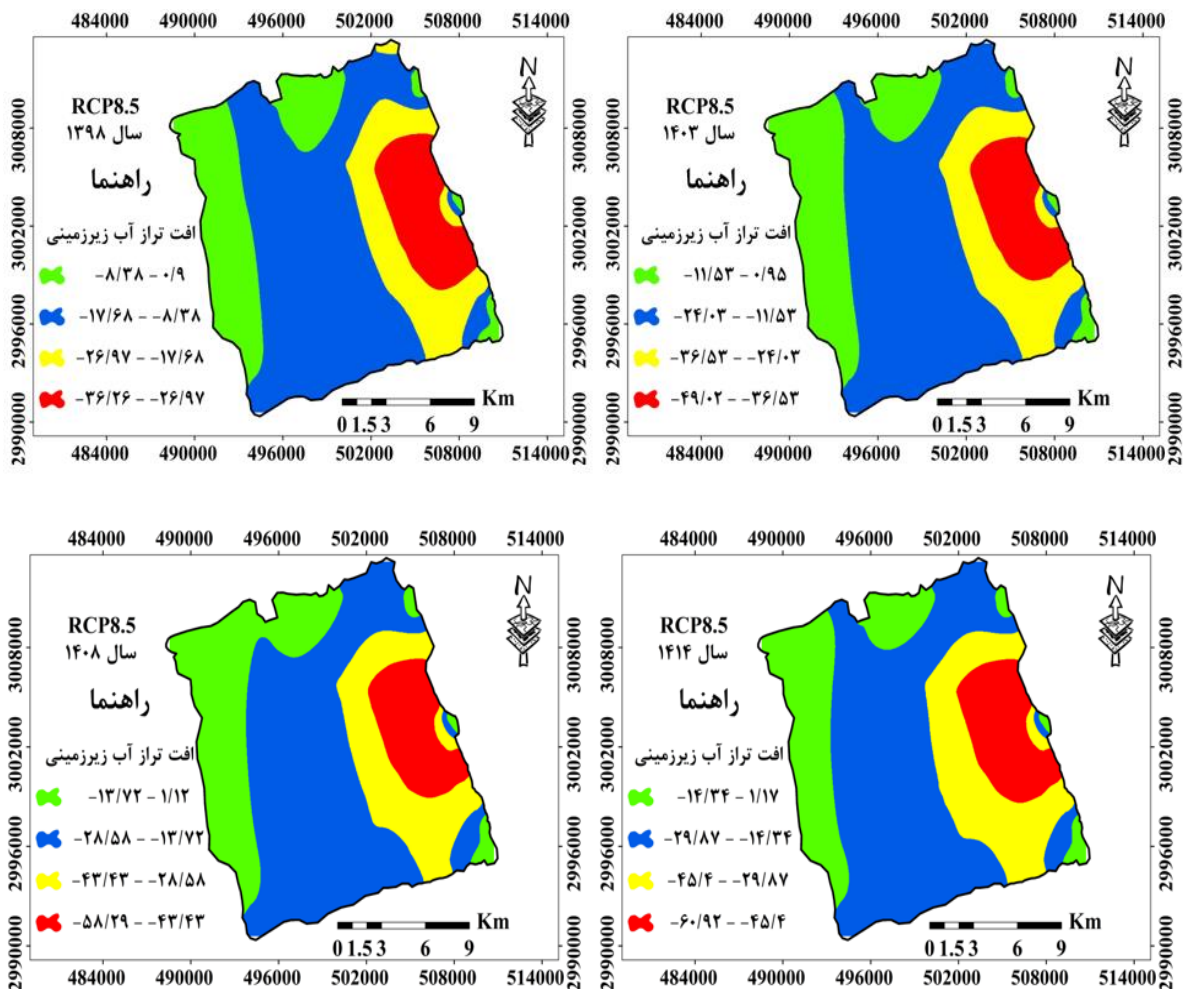
شکل ۶. افت آب زیرزمینی (متر) در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ تحت سناریو RCP2.6 نسبت به سال ۱۳۸۲



شکل ۷. افت آب زیرزمینی (متر) در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳ و ۱۴۱۴ تحت سناریو RCP4.5 نسبت به سال ۱۳۸۲



ادامه شکل ۷.



شکل ۸. افت آب زیرزمینی (متر) در سال‌های ۱۳۹۸، ۱۴۰۳، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ تحت سناریو RCP8.5 نسبت به سال ۱۳۸۲

۴. بحث و نتیجه گیری

آب زیرزمینی یکی از پارامترهای مهم محیط‌زیستی برای مصارف متعدد شرب، صنعت و کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله دشت میناب محسوب می‌شود به طوری که کاهش کمیت آن یک نگرانی محیط‌زیستی و مسئله مهم اجتماعی را در این اکوسیستم حساس و شکننده بوجود آورده است. تغییر اقلیم و افزایش جمعیت به دنبال آن بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی از دلایل افت کمی منابع آب زیرزمینی در این منطقه می‌باشند و خسارت جبران‌ناپذیری در این منطقه سبب شده است. از این رو در این پژوهش ابتدا به بررسی تغییرات اقلیم در دشت میناب پرداخته شد بدین منظور از مدل گزارش پنجم CanESM2 هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای جدید انتشار بهره گرفته شد سپس به منظور ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی این دشت در دوره آتی از نرم‌افزار GMS10.0.5 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده گردید.

نتایج معیار ارزیابی دقت مدل‌های گزارش پنجم نشان داد که مدل CanESM2 در مؤلفه‌های بارش و دما، در ایستگاه سنوپتیک میناب از دقت مناسبی برخوردار است که با نتایج آقا خانی و همکاران [۲] که از بین ۱۴ مدل اقلیمی گزارش پنجم، چهار مدل MICRO-ESM، GFDL-ESM2G، NorESM1-M و IPSL-CM5A-MR به عنوان مدل بهینه اقلیمی در حوزه آبخیز کشف‌رود انتخاب گردید مطابقت دارد و کارایی این مدل برای پیش‌بینی پارامتر دما نسبت به پارامتر بارش بیشتر و دقت آن قابل قبول تر می‌باشد ($R^2=0.98$ ؛ $RMSE=1/0.2$) که با نتایج جعفری و همکاران [۱۹]، که در بررسی کارایی مدل SDSM در پیش‌بینی پارامتر دما، همخوانی دارد.

نتایج تغییر اقلیم در این منطقه نشان داد که مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بر ابر با ۱/۸۸، ۲/۶۰ و ۴/۲۸ درجه سانتی‌گراد افزایش و مؤلفه

بارندگی تحت تأثیر این سناریوها به ترتیب به میزان ۳۴/۱۹، ۴۲/۰۸ و ۵۹/۴۳ درصد نسبت به حالت پایه کاهش پیدا خواهد کرد. که با نتایج Rowell و همکاران [۳۵] بر دامنه نوسان زیاد پیش‌بینی بارش در مقایسه مدل‌های مختلف GCM؛ حاج محمدی و همکاران [۱۶]، در بررسی عملکرد مدل SDSM در ایستگاه‌های مختلف و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره آتی در حوضه کن و همچنین کیمیاگر و همکاران [۲۴] در ریزمقیاس سازی پدیده تغییر اقلیم در حوضه سد کرج، بیان نمودند افزایش دما و کاهش بارش رخ می‌دهد، مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بررسی کمیت آبخوان دشت میناب در مرحله پایدار (۱۳۸۲-۱۳۹۴) و مرحله ناپایدار (۱۳۹۵-۱۳۹۷)، چه به صورت دستی و چه کالیبراسیون اتوماتیک و چک کردن پارامترهای آماری نظیر RMSE، MAE و R^2 که در دو دوره در پیرومترهای مورد بررسی نشان داد که واسنجی و اعتبار سنجی مدل آب زیرزمینی با دقت بالایی انجام گرفته است. که با نتایج جبالبارزی و همکاران [۲۰] و جعفری و همکاران [۱۸] براساس شاخص‌های مهم آماری، نتایج مربوط به واسنجی و صحت‌سنجی مدل نشان داد که همبستگی بالایی بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل و مقادیر اندازه‌گیری وجود دارد که در مطالعات‌شان دقت بالای مدل مادفلو را تأیید کرده بودند، مطابقت دارد.

نتایج بررسی کمیت آب زیرزمینی در دوره پایه (۱۳۹۷-۱۳۸۲) نشان داد که سالانه به طور متوسط آبخوان در این دشت دارای افتی برابر ۰/۷۲ متر است که نشان از بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و همچنین حفر چاه‌های غیر مجاز زیاد در منطقه مورد مطالعه است که با نتایج جبالبارزی و همکاران [۲۱] که جنگل‌کاری با گونه تاغ منجر به افت سالانه آبخوان دشت جعفریه قم به طور متوسط ۰/۷۳ متر در دوره (۱۳۷۱-۱۳۹۱) گردیده و همچنین با نتایج آذره و همکاران [۵] که حاکی از کاهش ۱/۳ متری سالانه تراز آب زیرزمینی در دوره آماری (۱۴۰۵-۱۳۸۰) دشت قزوین گردیده است، همخوانی دارد. در بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر بیلان آبخوان

منطقه می باشد. در سال های ۱۳۹۸ تا ۱۴۱۴، از لحاظ پراکنش مکانی نیز بیشترین میزان افت در بخش های شرقی رخ داده است اما با گذشت زمان به سمت مرکز، جنوب و غرب منطقه نیز کشیده شده است. و این روند افت سفره همچنان در این منطقه ادامه خواهد داشت و زنگ خطری برای مردم این منطقه محسوب می شود و می بایست به منظور جلوگیری از بهره برداری بیش از حد از سفره های آب زیرزمینی اقدامات لازم صورت پذیرد. در نهایت می توان اذعان نمود که بهره برداری مستمر از سطح آب های زیرزمینی این دشت، سبب افت بیش از پیش آبخوان برای دوره آینده خواهد شد که سبب شور شدن بیش از حد آب های منطقه و به دنبال آن سبب ایجاد فرونشست در سطح منطقه می گردد که به خودی خود گسترش بیابانزایی در دشت میناب را در پی خواهد داشت. لذا پیشنهاد می گردد از راهکارهای لازم متناسب با این منطقه از قبیل تدابیری جهت اصلاح نظام آبیاری و اصلاح نظام کشت، استفاده شود.

دشت میناب نتایج نشان داد که میزان کسری مخزن همچنان منفی بوده است و کسری مخزن در سناریو RCP2.6 در سال های ۱۳۹۸، ۱۴۰۴، ۱۴۰۸ و ۱۴۱۴ به ترتیب برابر با ۱۳/۸، ۱۸/۰۷، ۲۲/۱ و ۲۴/۶۱- متر در سال برای RCP4.5 به ترتیب برابر با ۱۳/۸، ۱۸/۹۵، ۲۲/۷۵ و ۲۵/۱- متر در سال و برای RCP8.5 برای سال های مذکور به ترتیب برابر با ۱۴/۲، ۱۹/۲، ۲۳/۰۰ و ۲۵/۴- متر بدست آمد که میزان کمیت آب زیرزمینی بر اساس هر سه سناریو با گذشت هر سال کاهش می باشد. که با نتایج مسماریان و همکاران [۲۷]، نتایج رزندی و همکاران [۳۳]، مطابقت دارد.

همچنین نتایج بررسی میزان افت در سال های آتی (۱۳۹۸-۱۴۱۴) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد که به طور متوسط آبخوان تحت این سناریوها دارای افتی برابر ۰/۶۶، ۰/۶۷ و ۰/۶۸ متر است و این افت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت با شدت متفاوت اتفاق می افتد که می تواند به دلیل ساختار پیچیده آبخوان، میزان برداشت و تراکم چاه های بهره برداری در

References

- [1] Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M. and Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005.
- [2] Aghakhani Afshar, A. H., Hassanzadeh, Y., Besalatpour, A. A. and Pourrezabilondi, M. (2016). Annual assessment of Kashafrood watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change, *journal of water and soil conservation*, 23(6), 217-233. (In Persian).
- [3] Aghlmand, R. and Abbasi, A. (2019). Application of MODFLOW with boundary conditions analyses based on limited available observations: A case study of Birjand plain in East Iran. *Water*, 11(9), 1904.
- [4] Ahmadi, M., Motamedvaziri, B., Ahmadi, H., Moeini, A. and Zehtabian, G. (2020). Evaluation of the impact of climate change on extreme flows in Kan watershed. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(2), 101-121. (In Persian).
- [5] Azare, A., Zehtabian, G.R., Salajegeh, A., Malekian, A. and Boroumand, N. (2016). Modeling the effects of climate change on groundwater decline and land degradation (Case study of Qazvin plain). PhD Thesis, faculty of natural resources, University of Tehran. 197 pages. (In Persian).
- [6] Boyce, S.E., Nishikawa, T. and Yeh, W.W. (2015). Reduced order modeling of the Newton formulation of MODFLOW to solve unconfined groundwater flow. *Advances in Water Resources*, 83, 250-262.

- [7] Chen, S. T., Yu, P. S. and Tang, Y. H. (2010). Statistical downscaling of daily precipitation using support vector machines and multivariate analysis. *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 13-22.
- [8] Emam, A. R., Kappas, M. and Hosseini, S. Z. (2015). Assessing the impact of climate change on water resources, crop production and land degradation in a semi-arid river basin. *Hydrology Research*, 46(6), 854-870.
- [9] Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G.R., Salajegheh, A., Ghorbani, M. and Khosravi, H. (2018). Assessing The Effect of Land Use Changes On Groundwater Quality and Quantity (Case Study: West Basin of Jazmoryan Wetland), *Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources)*, 71 (3), 578-563. (In Persian).
- [10] Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H. and Abolhasani, A. (2019). Assessing the Effect of Land Use Changes on Groundwater Quality of Zarand Plain using Satellite Images and Geostatistical, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 67-82. (In Persian).
- [11] Etemadi, H. and Delshab, H. (2020). Potential Expected Climate Change Impact on Persian Gulf Coastal Mangrove Ecosystems Based on Temperature and Precipitation Variables. *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 1-13. (In Persian).
- [12] Fu, G., Charles, S. P., Chiew, F. H., Teng, J., Zheng, H., Frost, A. J., Liu, W. and Kirshner, S. (2013). Modelling runoff with statistically downscaled daily site, gridded and catchment rainfall series. *Journal of Hydrology*, 492, 254–265.
- [13] Ghorbani, M., Eskandari-Damaneh, H., Cotton, M., Ghoochani, O. and Borji, M. (2020) Harnessing indigenous knowledge for climate change-resilient water management—lessons from an ethnographic case study in Iran. *Climate and Development*.
- [14] Goodarzi, M. and Mortazavizadeh, F.S. (2020). Assessing climate change impacts on groundwater fluctuations using RCP scenarios: A case study of Hashtgerd plain. *Iranian journal of Eco hydrology*, 7(3), 801-814. (In Persian).
- [15] Gosling, S. N. and Arnell, N. W. (2013). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 10584- 013-0853x.
- [16] Hajimohammadi, M., Ghermezcheshmeh, B. and Azizian, A. (2019). Evaluate the performance of SDSM model in different station and predict climate variables for future. *Jwmseir*, 13 (44), 28-37. (In Persian).
- [17] Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G. and Guo, R. (2016). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nat. Clim. Change*, 6, 166–171.
- [18] Jafari, M., Selajgeh, A. and Malekian, A. (2016). Investigating the effects of climate change on the quantity and quality of groundwater aquifers (Case study: Kerman plain). Master Thesis, faculty of natural resources, University of Tehran. (In Persian).
- [19] Jafary Godeneh, M., Salajegh, A., And Haghghi, P. (2020). Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 529-538. (In Persian).
- [20] Jebalbarzi, B., Zehtabian, G.R., Tavili, A. and Khosravi, H. (2017). Investigating the effect of haloxylon on groundwater slippage (Case study: in Qom Jafaria area). Master Thesis, faculty of natural resources, University of Tehran. 160 pages. (In Persian).
- [21] Jebalbarezi, B., Zehtabian, G.R., Tavili, A. and Khosravi, H. (2019). Investigation of the effect of Haloxylon planted on groundwater resources (Case study: Jafarieh plain Qom). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(1), 45-54. (In Persian).
- [22] Khalili, K., Tahoudi, M.N., Mirabbasi, R. and Ahmadi, F. (2016). Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess*, 30, 1205–1221.
- [23] Khorshiddoust, A.M. and Jafarzadeh, F. (2020). Forecasting and Analyzing of Rainfall Changes in the Southern Coasts of Caspian Sea in Order to Environmental Planning Using SDSM Model. *Journal of geographical-space*, 20(70), 37-59. (In Persian).

- [24] Kimiagar, V., Fattahi, E. and Alimohammadi, S. (2020). Analyzing effect of different statistical downscaling methods on the predicted streamflow in Karaj dam basin under climate change effect, *journal of climate research*, 98(38), 17-31. (In Persian).
- [25] Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fu, G. and Liu, L. (2011). Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. *International Journal of Climatology*, 31(13), 2006–2020.
- [26] Mahmood, R. and Babel, M.S. (2013). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theor. Appl. Climatol*, 113, 27–44.
- [27] Mesmarian, Z., Massahbavan, A. and Javadipirbazari, S. (2016). Climatechange impact on Groundwater budget of Shahrekord plain in the future periods. *Iranian journal of Ecohydrology*, 3(2), 233-242. (In Persian).
- [28] Moghaddam, H. K., Moghaddam, H. K., Kivi, Z. R., Bahreinimotlagh, M., and Alizadeh, M. J. (2019). Developing comparative mathematic models, BN and ANN for forecasting of groundwater levels. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100237.
- [29] Momeneh, S., Azari, A. and Eghbalzadeh, A. (2020). Assessing the effect of climate change on groundwater levels in the upcoming periods, case study: Chamchamal Plain, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 12 (4), 913-928. (In Persian).
- [30] Pholkern, K., Saraphirom, P. and Srisuk, K. (2018). Potential impact of climate change on groundwater resources in the Central Huai Luang Basin, Northeast Thailand. *Science of the Total Environment*, 633, 1518-1535.
- [31] Rasaei, A.H., Sharafati, A., Kardan Moghaddam, H. (2020). Analysis of groundwater uncertainty in climate change (Case study: Hashtgerd Plain), *Journal of Echo Hydrology*, 7(3), 815-827. (In Persian)
- [32] Rastegar, A. and Paimozd, S. (2020). Investigating Climate Change Effects on Groundwater-Level Decline in Kerman Plain via GMS Model, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(26), 43-60. (In Persian).
- [33] Razandi, Y., Malekian, A. and Khaliqi, S. (2014). Investigation of groundwater resources using simulation of aquifer behavior by Modflow model: A case study of Varamin plain. Master Thesis. Faculty of natural resources, University of Tehran. (In Persian).
- [34] Rejani, R., Jha, M.K., Panda, S.N. and Mull, R. (2008). Simulation modeling for efficient groundwater management in balasore coastal basin, India. *Water Resource Managment*, 22, 23–50.
- [35] Rowell, D.P., Senior, C.A., Vellinga, M., and Graham, R.J. (2016). Can climate projection uncertainty be constrained over Africa using metrics of contemporary performance *Climate Change*, 134, 621-633.
- [36] Salem, G. S. A., Kazama, S., Shahid, S. and Dey, N. C. (2018). Impacts of climate change on groundwater level and irrigation cost in a groundwater dependent irrigated region. *Agricultural Water Management*, 208, 33-42.
- [37] Sattari, M.T., Mirabbasi, R., Sushab, R.S. and Abraham, J. (2018). Prediction of Level in Ardebil Plain Using Support Vector Regression and M5 Tree Model. *Groundwater*, 56, 636–646.
- [38] Savari, M., Eskandari Damaneh, H. and Eskandari Damaneh, H. (2020). Pathology of Underground Water Resources Management among Local Communities in the Western Basin of Jasmourian Wetland. *Jwmr*, 11 (21), 84-97. (In Persian).
- [39] Shrestha, S., Bach, T. V. and Pandey, V. P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science & Policy*, 61, 1-13.
- [40] Simmons, C., Bauer-Gottwein, P., Graf, T., Kinzelbach, W., Kooi, H., Li, L. and Ward, J. (2010). Variable density groundwater flow: From modelling to applications.
- [41] Wilby, R. L., Dawson, C. W. and Barrow, E. M. (2002). SDSM—A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. *Environmental Modelling & Software*, (2)17, 157-145.
- [42] Wilby, R. L. and Dawson, C. W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, (7)33, 1719-1707.

Quantifying the Size of Climate Change Effect on Groundwater Drawdown in Arid and Semi-Arid Regions

- ❖ **H. Eskandari Damaneh;** Postdoctoral researcher, Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- ❖ **Gh. Zehtabian;** Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- ❖ **H. Khosravi***; Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- ❖ **H. Azarnivand;** Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.
- ❖ **A. Barati;** Assistant Professor, Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran.

Abstract

Given the significance of groundwater resources in arid and semi-arid regions and the effect of climate change on these resources, the present research aims to assess climate change in the Minab plain and its effect on groundwater level variability in the future period. Climate change was explored by the climatic model CanESM2 using the SDSM4.2 software package, and the effect of climate change on groundwater resources was quantitatively modeled in the GMS10.0.5 software package under the emission scenarios of RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5. The results for the effect of climate change in the future period (2035) in the context of these scenarios showed that temperature will increase by 1.88°C, 2.60°C, and 4.28°C and precipitation will decrease by 34.19%, 42.08%, and 59.43% versus the reference year, respectively. The results for the application of the climatic scenarios using the groundwater model revealed that due to the decline of precipitation in this period, the mean groundwater level balance in the future periods leading to 2019, 2024, 2029, and 2035 versus the reference year (2003-2004) will be -13.8, -18.9, -22.1, and -24.7 m/yr in RCP2.6, -13.8, -18.9, -22.7, and -25.1 m/yr in RCP4.5, and -14.2, -19.2, -23.0, and -25.4 m/yr in RCP8.5, respectively. The mentioned changes are only based on predicting changes in precipitation and temperature parameters in the future period in Minab plain, and if exploitation continues, the deterioration of conditions in this plain will increase. So, it is recommended to planners and authorities adopt strategies for adaptation to new climatic conditions and water scarcity in the region and accommodate themselves with future conditions.

Keywords: Canesm2, Climate Change, GMS, Groundwater, Minab Plain.