



## بررسی تاثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت کرمان)

میثم جعفری گدنه<sup>۱</sup>، علی سلاجقه<sup>۲</sup>، آرش ملکیان<sup>۳</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۵

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

### چکیده

استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو برای درک شرایط آب‌وهوایی و جلوگیری از گسترش و پیامدهای ناشی از اثر تغییر اقلیم بر روی منابع آب زیرزمینی در همه اکوسیستم‌ها به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک ضروری می‌باشد. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت کرمان انجام شد. ابتدا جهت بررسی اثر تغییر اقلیم در دوره‌های آبی از مدل اقلیمی CanESM2 و نرم‌افزار SDSM4.2 تحت سناریوهای انتشار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و سپس از نرم‌افزار GMS10.0.5 برای مدل‌سازی کمی آب زیرزمینی دشت کرمان استفاده گردید. مدل ریاضی تهیه شده در مهرماه سال آبی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ برای حالت پایدار، در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۱ در ۱۲۰ گام زمانی برای حالت ناپایدار و در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۱ برای حالت صحت‌سنجی مورد واسنجی قرار گرفت. نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی در دوره آبی (۱۳۸۵-۱۴۰۹) نشان داد که دما به میزان ۱/۱۲، ۱/۲۳ و ۱/۳۷ درجه سانتی‌گراد و بارش به میزان ۱۴/۶۹، ۱۹ و ۲۹/۲۶ درصد در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. نتایج اعمال سناریوهای اقلیمی نشان داد که به دلیل افزایش بارندگی در این دوره، متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آبی (۱۳۹۵-۱۴۰۹) نسبت به تراز سطح آب در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به ترتیب به میزان ۷/۱۹ و ۷/۲۶ و ۷/۳۳ متر در کل محدوده کاهش می‌یابد. لذا پیشنهاد می‌گردد مسئولین تمهیداتی را در مقابله با گرمایش جهانی حاصل از تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی از طریق اصلاح الگوی کشت، روش‌های نوین آبیاری اتخاذ نمایند.

واژه‌های کلیدی: مدل CanESM2، دشت کرمان، سناریوهای اقلیمی، مدل GMS

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تلفن تماس: ۰۹۳۹۸۳۷۸۸۶۹-  
Meysam.jafary@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [Salajegh@ut.ac.ir](mailto:Salajegh@ut.ac.ir) (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [Malekian@ut.ac.ir](mailto:Malekian@ut.ac.ir)

## مقدمه

شواهد نشان‌دهنده اثرات تغییرات اقلیمی در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی می‌باشد، همچنین مشخص شده است که فعالیت‌های انسان تا به حال، تأثیر بارزی بر توسعه آن و بدتر شدن تغییرات آب‌وهوایی طبیعی داشته است، پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهانی از ۱/۸ درجه به ۴ درجه‌سانتی‌گراد افزایش یابد و سطح متوسط دریاها بین ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر بالا بیاید (European Environment Agency et al., 2008; IPCC, 2013; IPCC, 2007; Kazmi et al., 2014). تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی دو محرک اصلی هستند که فرآیندهای چرخه آب را تغییر می‌دهند و سبب تغییر در توزیع زمانی و مکانی قابلیت دسترسی به منابع آب می‌شوند و از عوامل مؤثر در برنامه‌ریزی منابع آب و هیدرولوژی منطقه‌ای می‌باشند (Zhang et al., 2012). تغییرات آینده تغذیه آب‌های زیرزمینی به دلیل تنوع و تغییرات اقلیمی و به دلیل ماهیت پیچیده فرایندهای شارژ و عدم داده‌های مشاهده‌ای نامشخص می‌باشد (Green et al., 2011). تنوع و تغییرات اقلیمی بر روی اندازه و توزیع فصلی بارش تأثیر گذاشته است (Easterling et al., 2000). اندازه‌گیری مستقیم تغذیه آب‌های زیرزمینی به دلیل نوسانات آن و همچنین تنوع محیط هیدروژئولوژیکی تقریباً غیر ممکن است (Kinzelbach, 2002). مدل‌سازی هیدرولوژیک یک روش غیرمستقیم و قابل اعتماد برای برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی (Jayakody et al., 2014) و ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه است. بنابراین سناریوهای تغییر اقلیم در آینده، برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، کشاورزی و استفاده-کنندگان از آب بسیار مهم است (Liu et al., 2011; Fu et al., 2013). مناطق خشک و نیمه‌خشک در معرض تغییرات آسیب‌پذیر هستند و از نظر کمبود بارش رنج می‌برند (Basheer et al., 2016). مناطق نیمه‌خشک استرس شدید منابع آب به دلایل طبیعی

(به عنوان مثال، خشکسالی) و عوامل انسانی (به عنوان مثال، تخلیه آب در بخش‌های مختلف) را تجربه کرده‌اند و این مناطق یکی از حساس‌ترین مناطق برای تغییرات آب‌وهوایی به دلیل کمبود بارش نسبت به تبخیر و تعرق و فعالیت‌های انسانی می‌باشند (Huang et al., 2016; Simmons et al., 2010). با توجه به بارش کم و عدم تغذیه مناسب و کافی آبخوان این مناطق، برداشت آب همواره بیش از میزان تغذیه بوده و براساس محاسبات انجام شده در این مناطق افت مداوم سطح آب زیرزمینی صورت گرفته است. بنابراین ارزیابی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر منابع آب زیرزمینی می‌تواند به طور چشمگیری به مدیریت بهتر آب کمک کند (Emam et al., 2015). تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده است که در زیر به مواردی از آنها اشاره می‌شود:

Scibek و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تعاملات آب سطحی و زیرزمینی در طول رودخانه‌های Grand و Kettle آمریکا بیان داشتند که سناریوهای تغییر اقلیم نشان دهنده یک تغییر در دبی اوج رودخانه زودتر از تاریخ زمانی رخ داد پیک آن در طول یکسال می‌باشد و این تغییرات برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ بزرگتر از دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ می‌باشد. همچنین سطح آب شبیه‌سازی شده در کنار رودخانه بیش از ۰/۵ متر گزارش گردید. Jyrkama و همکاران (۲۰۰۷)، در تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی حوزه آبخیز رودخانه Grand در آمریکا بیان داشتند که در نتیجه تغییرات آب‌وهوایی، میزان درجه حرارت در فصل زمستان افزایش می‌یابد و در پی آن ذوب شدن بهاره برف در فصل زمستان صورت می‌گیرد که باعث می‌شود آب بیشتری به داخل زمین نفوذ کند و به دنبال آن تغذیه آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد. Ali و همکاران (۲۰۱۲)، اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در جنوب استرالیا را بررسی نمود. نتایج نشان داد که تقریباً همه‌ی مدل‌های اقلیمی

و به علت گسترش شهر کرمان در این دشت و در نتیجه بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در آن، بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر کمیت آب‌های زیرزمینی ضروری می‌باشد. لذا این پیش‌بینی می‌تواند کمک در خور ملاحظه‌ای در افق نزدیک به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب در مواجهه با تغییر اقلیم و افت آب زیرزمینی در این دشت را بدهند. جنبه‌های برجسته این مطالعه عبارتند از: ۱- ارزیابی قابلیت مدل GMS به منظور پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت کرمان طی دوره آتی ۲- بررسی نوسانات اقلیمی در دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۳۰) و در نهایت ارزیابی تغییرات آبی سفره-ی آب زیرزمینی دشت کرمان تحت تاثیر تغییرات آب-وهوایی با استفاده از مدل GCM و مدل GMS می‌باشد

#### مواد و روش‌ها

##### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی دشت کرمان واقع در استان کرمان که تقریباً در جنوب غرب دشت لوت در محدوده  $26^{\circ} 56' 56''$  تا  $26^{\circ} 50' 50''$  طول شرقی و  $23^{\circ} 0' 23''$  تا  $27^{\circ} 5' 30''$  عرض شمالی واقع گردیده است. مساحت و متوسط بارش سالانه آن، به ترتیب ۲۰۳۰ کیلومتر مربع و ۱۴۷ میلی‌متر می‌باشد که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن این دشت در طبقه‌بندی اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد (Choobin et al, 2018). در این محدوده بر اساس آخرین آماربرداری در سال ۱۳۹۵ تعداد ۶۰ چاه نیمه-عمیق و ۷۹۱ چاه عمیق در این دشت وجود دارد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵). دشت کرمان با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر آن و کمبود بارش و خشکسالی‌های متوالی و نبود رودخانه دائمی و پر آب در آن و نیز افزایش تراکم جمعیت به منابع آب زیرزمینی وابسته است. به طوری که در حال حاضر به

GCM<sup>۴</sup> آب‌وهوای گرم‌وخشک را برای سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی کرده‌اند و همچنین سطح آب زیرزمینی در ادامه روند تاریخی خود رو به افت و کاهش خواهد رفت. Qui و همکاران (۲۰۱۵)، با شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی حوضه رودخانه جیلین در چین در محیط نرم‌افزار GMS<sup>۵</sup> دریافتند مقدار برداشت از منطقه بیش از تغذیه است. همچنین Gemitzi و همکاران (۲۰۱۷)، بیان داشتند که روند پیش‌بینی آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز رودخانه Vosvozis در یونان تا سال ۲۱۰۰، با استفاده از مجموعه‌ای از پنج پیش‌بینی‌کننده تغییرات آب و هوایی، نشان می‌دهد که تغذیه سالانه تا اواسط قرن حاضر افزایش می‌یابد و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد. Salem و همکاران (۲۰۱۸)، بیان داشتند که میانگین سطح آب زیرزمینی در شمال غربی بنگلادش تحت سه سناریوی بازدارندگی غلظت (RCP<sup>۶</sup>)، 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 (۲۰۱۸)، در بررسی اثرات بالقوه تغییرات آب‌وهوایی بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در حوزه آبخیز Huai Luang در شمال شرقی تایلند با استفاده از دو مدل SEACAM<sup>۷</sup> و CanESM2<sup>۸</sup> پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که طی ۳۰ سال آینده تغذیه آب زیرزمینی این تحت مدل CanESM2 افزایش و در مدل SEACAM کاهش می‌یابد. می‌توان اذعان نمود که با توجه به وضعیت اقلیمی حاکم بر کشور ایران که توأم با خشکسالی‌های با شدت و تداوم‌های مختلف، بالاخص خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی متعدد می‌باشد، لزوم انجام تحقیقات کاربردی در رابطه با منابع آب زیرزمینی امری ضروری است. از طرفی با توجه به قرار گرفتن دشت کرمان در منطقه خشک و نیمه‌خشک

<sup>۷</sup> Southeast Asia Climate Analysis & Modelling

<sup>۸</sup> Canadian Earth System Model

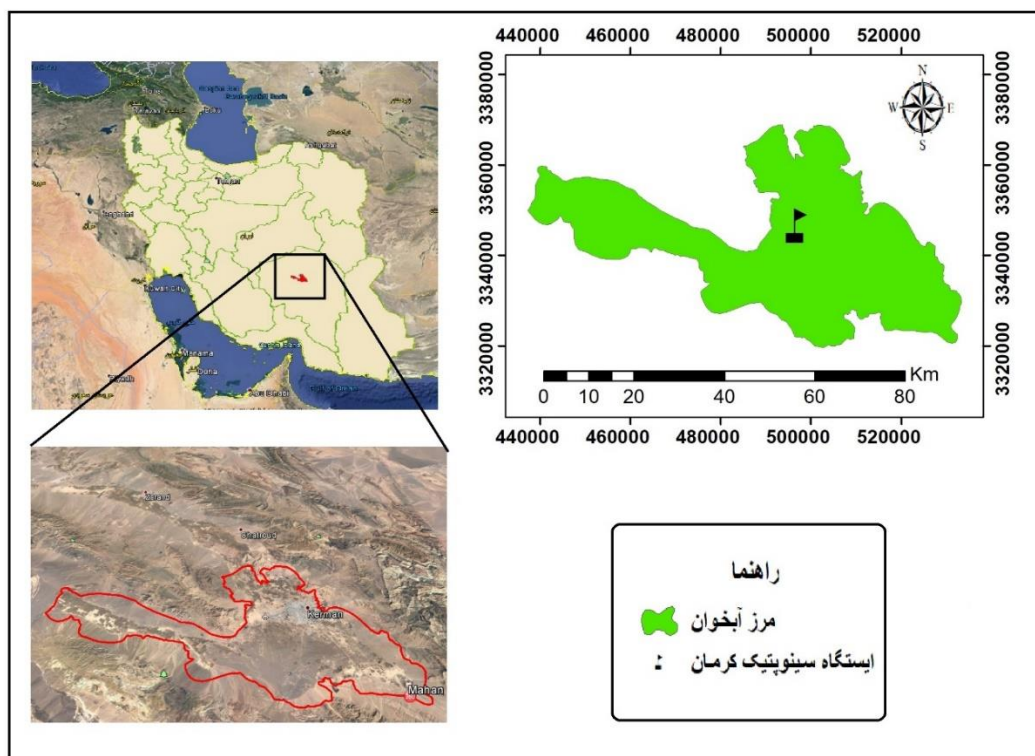
<sup>۴</sup> General Circulation Model

<sup>۵</sup> Groundwater Modeling System

<sup>۶</sup> Representative Concentration Pathways

می‌شود. موقعیت دشت کرمان در کشور و استان کرمان در شکل (۱) ارائه شده است.

علت برداشت بی‌رویه از این منابع و پیامدهای حاصل از آن یکی از دشت‌های ممنوعه در کشور محسوب



شکل (۱): محدوده آبخوان دشت کرمان

### روش تحقیق

در این تحقیق داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمان جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) از سازمان هواشناسی استان کرمان و اطلاعات هیدرولوژی (۱۳۸۱-۱۳۹۴) و زمین‌شناسی آبخوان دشت کرمان از سازمان مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی و مدل‌سازی آب زیرزمینی به ترتیب از نرم‌افزار SDSM4.2 و GMS10.0.5 استفاده گردید که مراحل انجام پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

### بررسی وضعیت تغییر اقلیم

برای شناخت و ارزیابی تغییرات بارش دشت کرمان طی دهه‌های آینده از مدل SDSM4.2 به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس گردانی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی، استفاده شده است. مدل ریزمقیاس سازی SDSM4.2 در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط Wilby و همکاران (۲۰۰۲) توسعه یافت. فرآیند ریزمقیاس گردانی عامل ایجاد کننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (پیش‌بینی شونده‌ها) و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها) است (Wilby & Dawson, 2013). داده‌های بزرگ مقیاس جوی شامل پیش‌بینی

ایستگاه در سطح ۹۵ درصد، از تحلیل همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (با هم) و با پیش‌بینی شونده‌ها از تحلیل همبستگی جزئی استفاده شد. بدین ترتیب در این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های همبستگی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها برای طراحی و چیدمان مدل رگرسیون چند متغیره در هر ماه از سال برای ایستگاه مشاهداتی دشت کرمان انتخاب گردید که در این میان هر چه میزان این همبستگی به  $\pm 1$  نزدیک‌تر باشد، شدت همبستگی بیشتر خواهد بود.

کننده‌های مرکز NCEP<sup>۹</sup> در دوره مشابه دیده‌بانی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و برونداد مدل بزرگ مقیاس CanESM2 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دوره آینده (۲۰۰۶-۲۰۳۰) از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا به صورت خام استخراج گردید (جدول ۱) و سپس پیش‌بینی‌کننده‌های این مدل نسبت به میانگین و انحراف معیار دوره مشاهداتی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) نرمالیزه گردیدند. جهت شناسایی و انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب و دارای قویترین ارتباط معنی‌داری با بارش و دمای مشاهداتی هر

جدول (۱): مشخصات مدل گردش عمومی جو CanESM2 در دسترس به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM4.2 (Miao et al., 2014)

مدل جهانی	IPCC	مرجع	قدرت تفکیک مکانی به درجه	سناریوها	واداشت تابشی ( $w/m^2$ )	غلظت دی‌اکسیدکربن
CanESM2	IPCC-AR5	مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا	۲/۸۱۲۵*۲/۷۹۰۶	RCP2.6	حداثر مقدار آن ۳ وات بر مترمربع و سپس کاهش می‌یابد	۴۹۰ Ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد
				RCP4.5	۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۹۰ Ppm بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
				RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ Ppm تا سال ۲۱۰۰

در بررسی موضوعات اقلیمی، عملکرد مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش و دمای روزانه با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) و نش‌ساتکلیف (NSE)، مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند (رابطه ۱ تا ۲).

در بررسی موضوعات اقلیمی، عملکرد مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش و دمای روزانه با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) و نش‌ساتکلیف

<sup>9</sup> National Centers for Environmental Prediction

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

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

بارش در کل دوره زمانی ارزیابی (۱۹۹۱-۲۰۰۵) می‌باشد. همچنین محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی فوق در جدول (۲) ارائه شده است.

که در آنها  $X_{obs,t}$  مقادیر داده‌های مشاهداتی و  $Y_{model,t}$  مقادیر داده‌های شبیه‌سازی شده در واحد زمانی  $t$  و  $\bar{X}_{obs}$  و  $\bar{Y}_{model}$  نیز به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما و

جدول (۲): ضرایب ارزیابی مدل و حدود تشخیص ضرایب (Moriassi et al., 2007)

ضرایب ارزیابی <sup>۱۰</sup>		ارزیابی
ضریب تبیین ( $R^2$ )	ناش-سانتلیف (NSE)	
$0.866 \leq R^2 < 1$	$0.75 < NS \leq 1$	خیلی خوب
$0.733 \leq R^2 < 0.866$	$0.65 < NS \leq 0.75$	خوب
$0.6 \leq R^2 < 0.733$	$0.5 < NS \leq 0.65$	قابل قبول <sup>۱۱</sup>
$R^2 < 0.6$	$NS \leq 0.5$	عدم قبول <sup>۱۲</sup>

### مدل‌سازی آب زیرزمینی

به‌منظور بررسی متوسط نوسان‌های سطح آبخوان و تعیین دوره‌های مرطوب و خشک و اندازه‌گیری تغییرات دوره‌ای و سالیانه مبادرت به محاسبه و ترسیم هیدروگراف تراز آب زیرزمینی دشت کرمان طی سال‌های (۱۳۸۱-۱۳۹۴) با استفاده از آمار ۲۳ چاه مشاهده‌ای شده است (شکل ۷). در گام بعدی اقدام به تهیه مدل آبخوان گردید. شبیه‌سازی حرکت آب زیرزمینی توسط کد عددی MODFLOW در قالب نرم‌افزار GMS، صورت گرفت. این کد عددی، مدل تفاضل محدود است که توانایی شبیه‌سازی سه‌بعدی

در نهایت با توجه به معادلات آماری و رگرسیون کالیبره شده بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز NCEP با پارامترهای بارش و دمای مشاهداتی، فرآیند ریزمقیاس نمایی بر روی داده‌های آینده مدل CanESM2 تحت 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 شبیه‌سازی و تولید گردیدند (Feyissa et al., 2018).

<sup>10</sup> Evaluation Criteria

<sup>11</sup> Satisfactory

<sup>12</sup> Unsatisfactory

رابطه (۳) محاسبه و به مدل وارد گردید و عمل واسنجی بر روی آن صورت پذیرفت.

$$R = \frac{P}{365} * a \quad (3)$$

که در آن: R، تغذیه ناشی از بارندگی (M/day)، P بارش سالانه به (M/years)، a درصد تغذیه ناشی از بارندگی. سپس در مرحله واسنجی مقادیر هدایت هیدرولیکی به گونه‌ای اصلاح می‌شود تا بهترین تطابق بین مقادیر بار هیدرولیکی محاسبه شده توسط مدل و مشاهده شده در چاه‌های مشاهده‌ای انجام گیرد. مقدار اولیه آبدهی ویژه با توجه به گزارش آب منطقه‌ای دشت کرمان (۱۳۹۳) به‌طور متوسط ۵ درصد در نظر گرفته شد. در شرایط غیر ماندگار نیز مانند شرایط ماندگار واسنجی به‌وسیله ترکیبی از دو روش خودکار PEST و سعی و خطای دستی، انجام شده و مقادیر آبدهی ویژه، هدایت هیدرولیکی برای سطح محدوده مدل‌سازی واسنجی شد. در نهایت، برای کالیبره کردن مدل، از روش سعی و خطا به‌عنوان روشی متعادل جهت یکسان‌سازی پارامترهای مدل از یک شبیه‌سازی به شبیه‌سازی دیگر استفاده شد. عمل کالیبراسیون برای مهر ۱۳۸۱ در حالت پایدار با تغییر در مقادیر تغذیه آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی افقی و انیزوتراپی تا رسیدن به بهترین انطباق برای مدل و همچنین عمل کالیبراسیون برای دوره (۱۳۸۲-۱۳۸۱ و ۱۳۹۱-۱۳۸۱) برای حالت ناپایدار با تغییر در مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره، ادامه یافت. بدین منظور از اطلاعات سطح آب چاه‌های منطقه در سال ۱۳۸۱ به‌عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شد. همچنین به منظور صحت سنجی مدل، داده‌های سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۱ انتخاب گردیدند. دقت کالیبراسیون مدل با پارامترهای آماری ریشه میانگین مربع خطای (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطا (ME) بررسی شد (رابطه ۴ تا ۶).

جریان در حالت پایدار را دارد (El Yaouti., 2008). حالت پایدار بیانگر حالتی است که جریان ورودی با جریان خروجی آبخوان در یک سطح باشد. در این پژوهش از نرم‌افزار GMS10.0.5 با قابلیت گرافیکی بالا، به‌منظور شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در حالت پایدار، استفاده شد. در این نرم‌افزار کاربر می‌تواند با ساخت مدل مفهومی، شبکه‌بندی و حل معادله جریان نتایج را مشاهده کند. در مدل مفهومی، جهت ورود اطلاعات به مدل هیدروژئولوژیکی از آمار پمپاژ ۷۹۱ چاه بهره‌برداری، تراز آب ۲۳ چاه مشاهده‌ای، خصوصیات هیدروژئولوژی آبخوان، اطلاعات مربوط به نوع مرزهای ورودی، سنگ کف و توپوگرافی منطقه، استفاده گردید. خصوصیات هیدرولوژیک مدل باید با شرایط مرزی نمایش داده شوند. بدین منظور، خطوط مرزی دشت، به‌صورت مرزهای بدون جریان و دارای جریان به‌صورت مرز با تراز ثابت در نظر گرفته شد. مدل با در نظر گرفتن اطلاعات توپوگرافی منطقه و تراز اولیه آب‌های زیرزمینی اجرا گردید. در نهایت از بسته PCG2 در کد عددی MODFLOW، برای حل جریان آب زیرزمینی و تخمین سطح آب، استفاده شد. این بسته، هر ساختار هیدرولوژیک را جداگانه شبیه‌سازی و جریان در هر سلول را محاسبه و در سطح آبخوان تعیین می‌نماید. برای ایجاد شبکه یکنواخت، ابعاد سلول‌ها با توجه به وسعت منطقه و نیز میزان آمار و اطلاعات موجود ۵۰۰\*۵۰۰ متر و تعداد ستون‌ها ۹۸ و تعداد سطرها ۱۹۲ در نظر گرفته شد. پس از آماده شدن مدل برای اجرا، ناحیه‌بندی سطح مدل برای توزیع پارامتر آبدهی ویژه، هدایت هیدرولیکی و تغذیه آبخوان انجام گرفت. برای تخمین مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی، مقادیر قابلیت انتقال در نرم‌افزار GIS بر مقدار تراز آب تقسیم می‌شود سپس مقادیر هدایت هیدرولیکی وارد مدل شد. همچنین مقدار اولیه ضریب تغذیه ناشی از بارندگی برابر ۰/۰۰۰۰۱۶۷ متر در روز با استفاده از



$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (h_m - h_s)^2} \quad (۶)$$

نوسانهای سطح آب زیرزمینی در طی دوره (۱۴۰۹-۱۳۹۴) نسبت به دوره پایه تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و RCP8.5 بررسی می‌شود. (شکل ۲)

### نتایج و بحث

بر طبق مواد و روش‌ها مراحل انجام پژوهش به شرح زیر مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد

### ریزمقیاس‌نمایی داده‌های منطقه توسط مدل SDSM

برای واسنجی مدل CanESM2 لازم است تا متغیرهای بزرگ مقیاسی که بیشترین ارتباط را با بارش و دمای روزانه در منطقه دارند، انتخاب شوند. با توجه به بررسی‌های آماری مختلف، متغیرهای مشخص شده در جدول (۳) به عنوان متغیرهای غالب برای مدل کردن این دو متغیر اقلیمی در ایستگاه کرمان شناخته شدند.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_i^n (h_m - h_s)_i \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |(h_m - h_s)_i| \quad (۵)$$

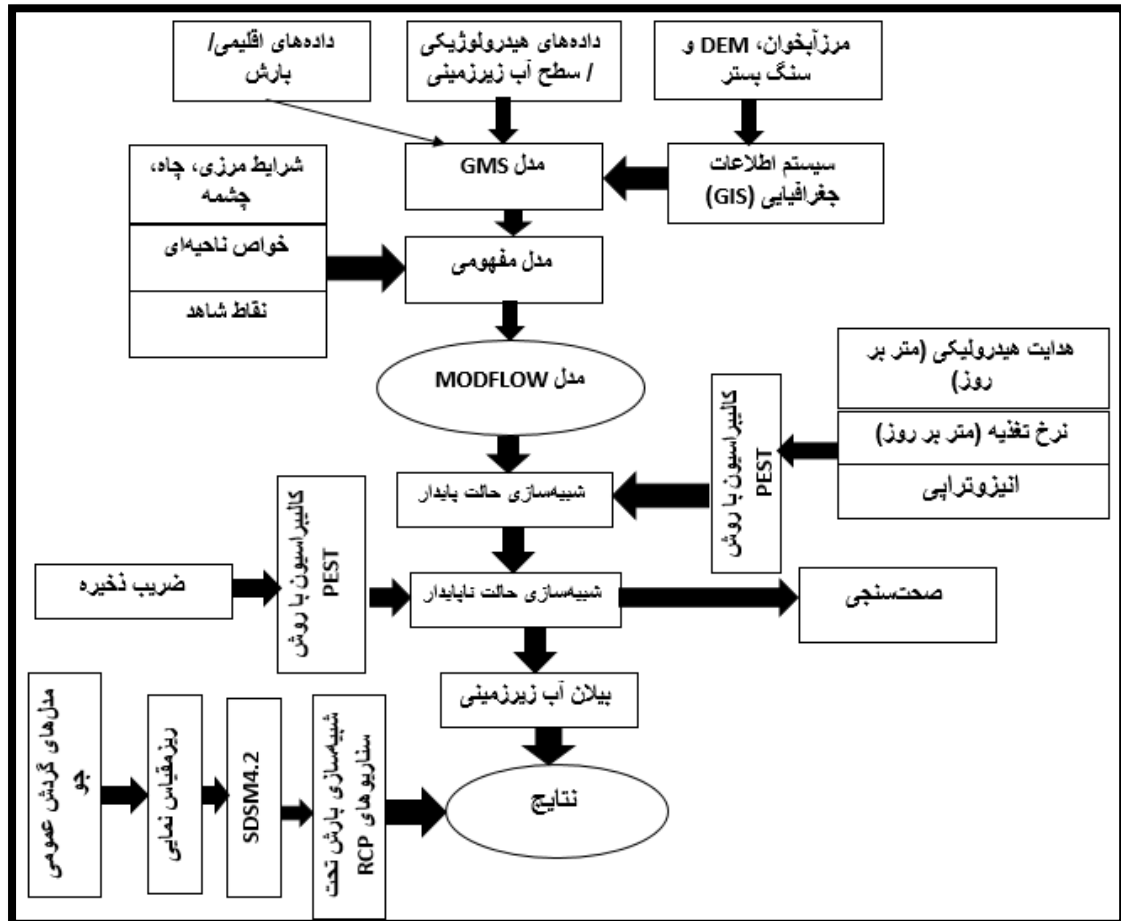
که در آن n تعداد چاه‌های مشاهداتی،  $h_m$  و  $h_s$  به ترتیب مقادیر سطح آب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده به متر

### تاثیر تغییر اقلیم بر نوسان‌های سطح آب

#### زیرزمینی

زمانی که مدل صحت‌سنجی گردید، از آن می‌توان برای پیش‌بینی، که هدف اغلب فعالیت‌های مدل-سازی‌ها می‌باشد، استفاده کرد. در این بخش نتایج در قالب بیلان، نقشه‌های تراز سطح ایستابی و نمودارها ارائه می‌شود که با استفاده از آنها می‌توان نقاط قابل توسعه احتمالی آبخوان، مناطق بحرانی از حیث افت سطح ایستابی، وضعیت آبخوان طی سال‌های آتی را تعیین نمود. در ادامه نتایج اثرات تغییر اقلیم بر





شکل (۲): مدل‌سازی آب زیرزمینی تحت سناریوهای RCP

جدول (۳): متغیرهای غالب در مدل کردن بارش و دمای روزانه

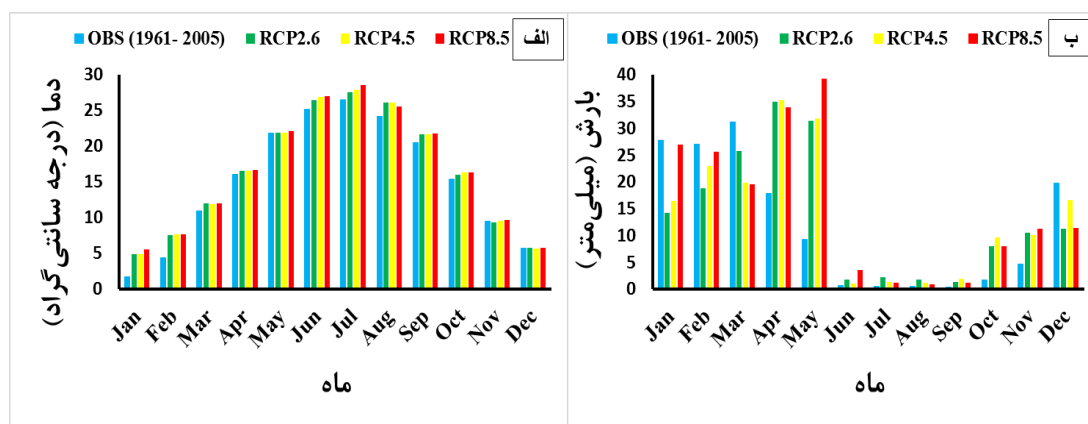
ردیف	متغیر	متغیرهای پیش‌گویی کننده	متغیرهای پیش‌گویی کننده	همبستگی جزئی
۱	بارش	Ncepp500gl.dat	رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال	-۰/۰۷۷
۲		Ncepprcpogl.dat	بارش تجمعی	۰/۲۳۲
۳		Nceps500gl.dat	رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۷
۴		Ncepshumgl.dat	رطوبت ویژه ۱۰۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۶۵
۵	دما	Nceptempgl.dat	میانگین دما در ارتفاع دو متر	۰/۹۵
۶		Ncepp1zhgl.dat	واگرایی ۱۰۰۰ هکتوپاسکال	-۰/۳۱
۷		Ncepp850gl.dat	ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۵۴
۸		Ncepp8zhgl.dat	واگرایی ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۳۹
۹		Nceps500gl.dat	رطوبت ویژه ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۳۷

دما در ماه نوامبر به میزان ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد در سناریو RCP2.6، همچنین کاهش دما در ماه دسامبر به میزان ۰/۰۲، ۰/۰۷ و ۰/۰۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد، به عبارتی افزایش دما در تمامی فصول سال رخ داده است. همچنین کاهش بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و دسامبر در هر سه سناریو اتفاق می‌افتد.

نتایج ارزیابی معیارها در کارایی مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش و دمای روزانه حاکی از افزایش NSE و  $R^2$  می‌باشد بنابراین معیارهای جدول (۴) نشان دهنده کارایی این مدل در پیش‌بینی بارش و دمای روزانه می‌باشد. همچنین در شکل (۳) تغییرات بارندگی و دمای منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. نتایج بیانگر کاهش

جدول (۴): نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی مدل CanESM2 در پیش‌بینی بارش و دما

معیار ارزیابی	پارامتر
ضریب تبیین ( $R^2$ )	ناش-ساتکلیف (NSE)
۰/۹۵	۰/۹۴
۰/۹۹	۰/۹۸
	بارش
	دما



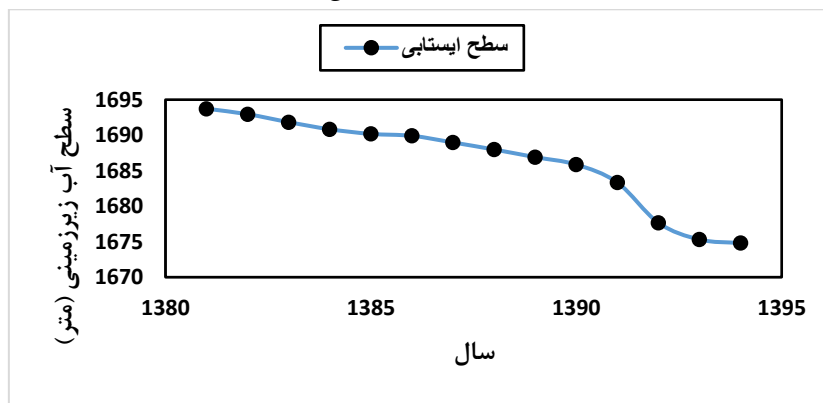
شکل (۳): متوسط تغییرات دما (الف) و بارندگی (ب) ماهانه منطقه در دوره (۲۰۰۶-۲۰۳۰) نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای

RCP

نتایج مدل CanESM2 طی دوره آماری (۲۰۳۰- فصل بهار می باشد. جدول (۵) درصد تغییرات بلند مدت بارش را به صورت فصلی و سالانه نشان می دهد. (۲۰۰۶) بیانگر کاهش بارش در فصل زمستان و اوایل جدول (۵): درصد تغییرات میانگین بلند مدت بارش شبیه سازی شده نسبت به مقادیر پایه

سناریو	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	تغییرات سالانه
RCP2.6	۵۸/۲۳	۲۳۶/۸۶	۱۹۴/۹۹	-۴۰/۶۲	۱۴/۶۹
RCP4.5	۴۹/۱۹	۱۱۱/۰۱	۲۲۳/۲۲	-۲۵/۰۶	۱۹
RCP8.5	۵۹/۰۸	۲۲۸/۲۲	۲۰۴/۴۲	-۱۴/۳۱	۲۹/۲۶

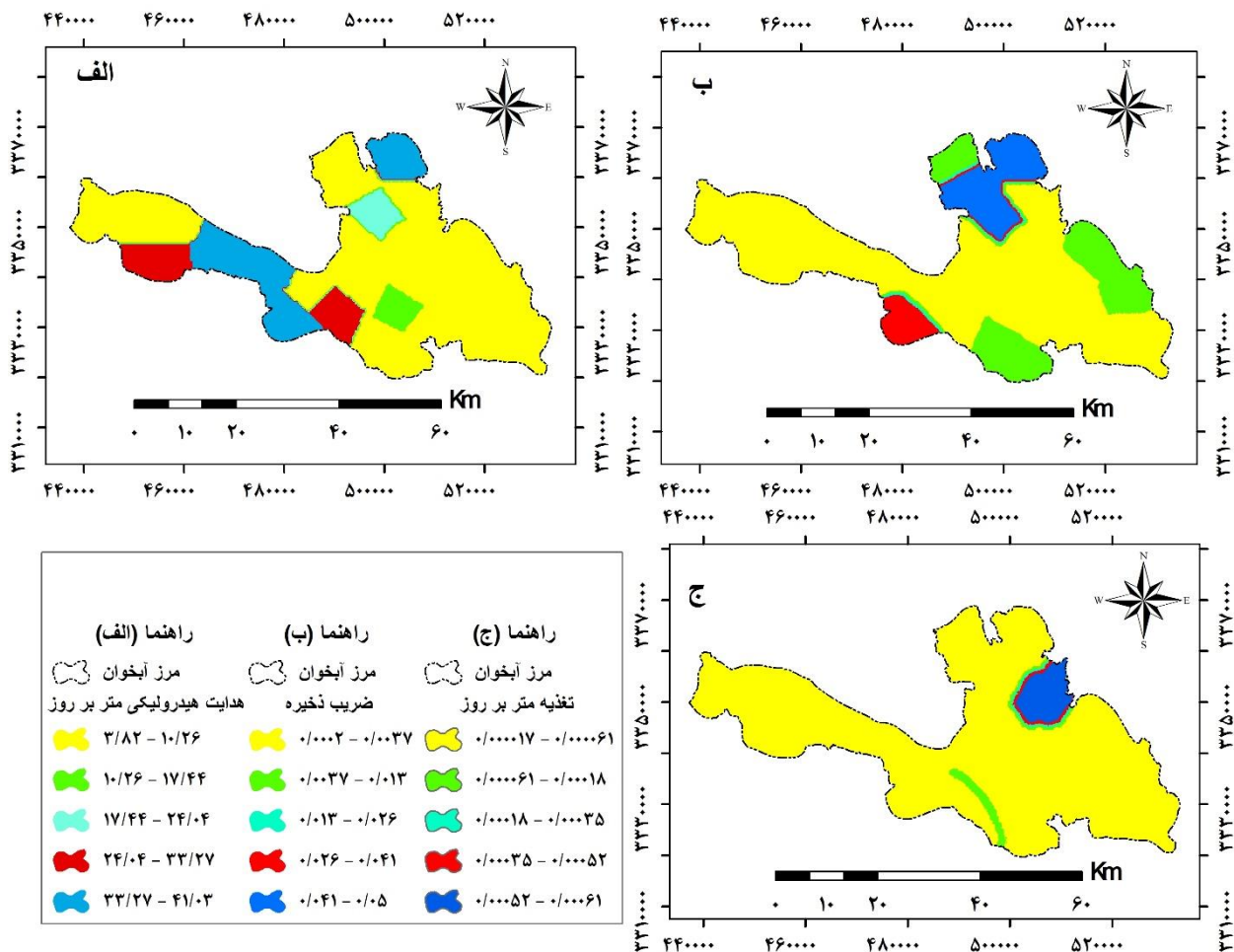
مدل سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی بر طبق گام های مواد و روش ها، نتایج بررسی متوسط نوسان های سطح آبخوان و تعیین دوره های مرطوب و خشک و اندازه گیری تغییرات دوره ای و سالیانه و همچنین هیدروگراف تراز آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه طی دوره ۱۴ ساله در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): نمودار هیدروگراف تراز آب زیرزمینی طی دوره (۱۳۸۱-۱۳۹۴)

در شکل (۵)، میزان پارامتر هدایت هیدرولیکی بر اساس نتایج واسنجی بین کمترین مقدار ۳/۸۲ متر در روز و بیشترین مقدار ۴۱/۰۳ متر در روز متغییر می باشد.

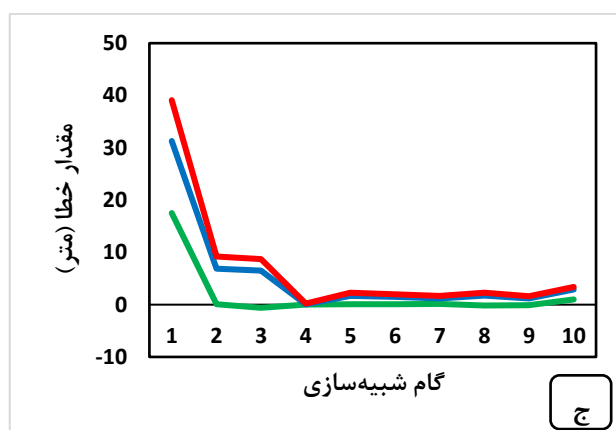
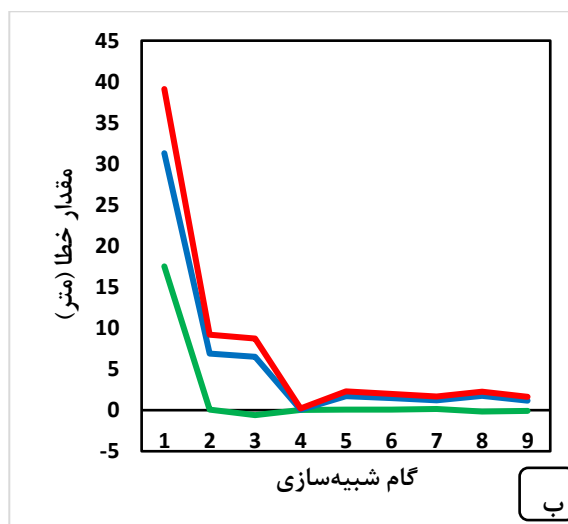
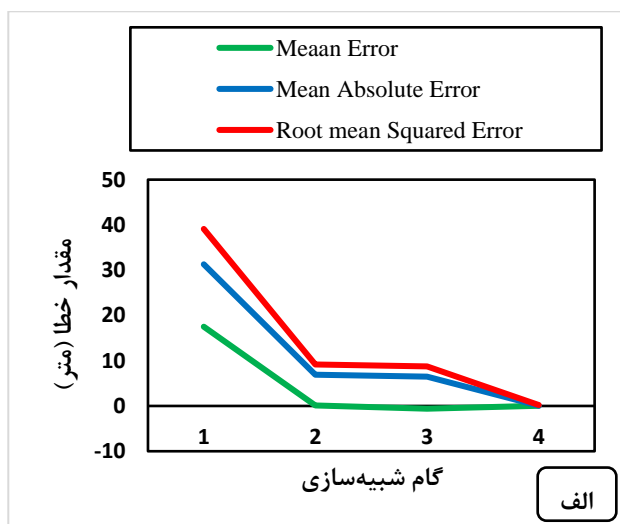
هیدروگراف (نمودار ۲) نشان می دهد که افت سطح ایستابی به طور متوسط ۱/۴۵ متر در سال در دشت کرمان در بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۴ رخ داده است که این نشانگر بحرانی بودن آبخوان دشت است. همچنین



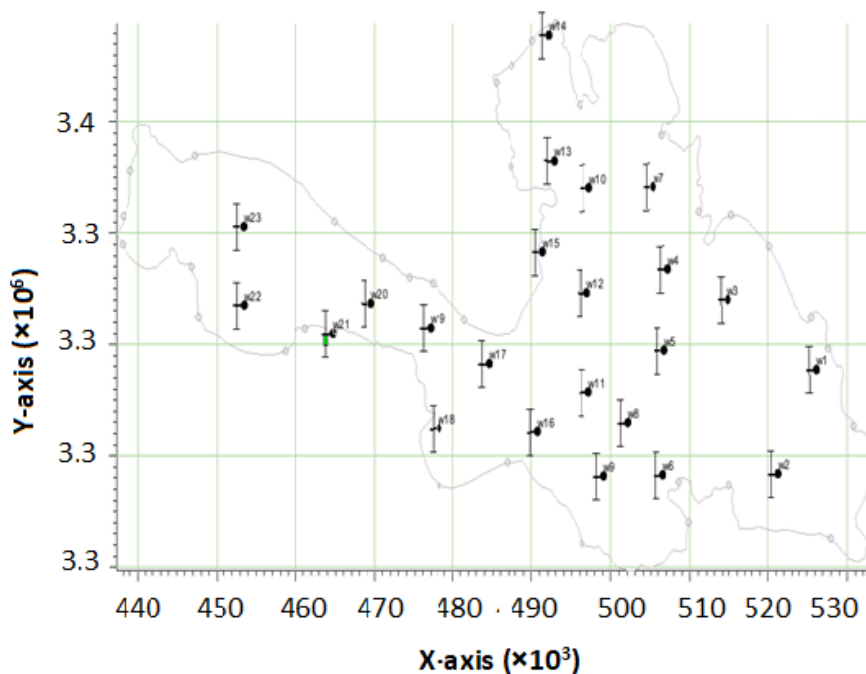
شکل (۵): ضریب ذخیره، تغذیه و هدایت هیدرولیکی آبخوان به ترتیب در اشکال الف، ب و ج

متر محاسبه گردید (شکل ۶). با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت مدل واسنجی شده از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و مدل ریاضی می‌تواند به خوبی شرایط طبیعی حاکم بر آبخوان دشت کرمان را شبیه‌سازی کند. بنابراین می‌توان از این مدل جهت شبیه‌سازی تاثیر تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های آتی استفاده کرد. همچنین نتایج وضعیت پیرومترها در شکل (۷) در حالت پایدار نشان داده شده است.

نتایج بدست آمده از مطالعات آبخوان دشت کرمان نشان داد که مقادیر RMSE، MAE و ME بعد از واسنجی در حالت ماندگار به ترتیب برابر  $0/20$ ،  $0/50$  و  $0/45$  متر می‌باشد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول مدل‌سازی در حالت ماندگار می‌باشد. همچنین مقادیر خطا در مرحله واسنجی ناپایدار ۱۰ ساله (بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۱) به ترتیب  $1/60$ ،  $1/16$  و  $0/07$  متر بدست آمد. این خطا در مرحله صحت سنجی (سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۴) به ترتیب برابر با  $3/36$ ،  $2/90$  و  $0/97$



شکل (۶): مقادیر خطا شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در تکرارهای مختلف در دوره واسنجی الف در دوره پایدار (۱۳۸۱-۱۳۸۲)، ب ناپایدار (۱۳۸۱-۱۳۹۱)، ج صحت‌سنجی (۱۳۹۱-۹۴)



شکل (۷): وضعیت پیزومترها در حالت پایدار در محیط GMS

#### بیان آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار

به منظور مقایسه نتایج بیان مدل در آخرین سال مدل‌سازی (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با بیان هیدروژئولوژی آبخوان دشت کرمان، بیان هیدروژئولوژی از گزارش بیان آب محدوده مطالعاتی کرمان، اقتباس شده است که بیان سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۶۵ می‌باشد. در این گزارش مساحت محدوده بیان ۲۰۳۰ کیلومتر مربع در

نظر گرفته شده و متوسط کسری مخزن در سال ۱۳۹۰، ۹۱/۰۶- میلیون مترمکعب به دست آمده است. در حالیکه در مدل‌سازی مقدار کسری مخزن در سال ۱۳۹۰ برابر با ۹۶/۷۴۵- میلیون مترمکعب بدست آمده است. همچنین در پایان سال مدل‌سازی (سال ۱۴۰۹) بیان آبخوان به میزان ۱۲۷/۸-، ۱۰۰/۵- و ۹۴/۴- میلیون مترمکعب به ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برآورد گردید (جدول شماره ۶)

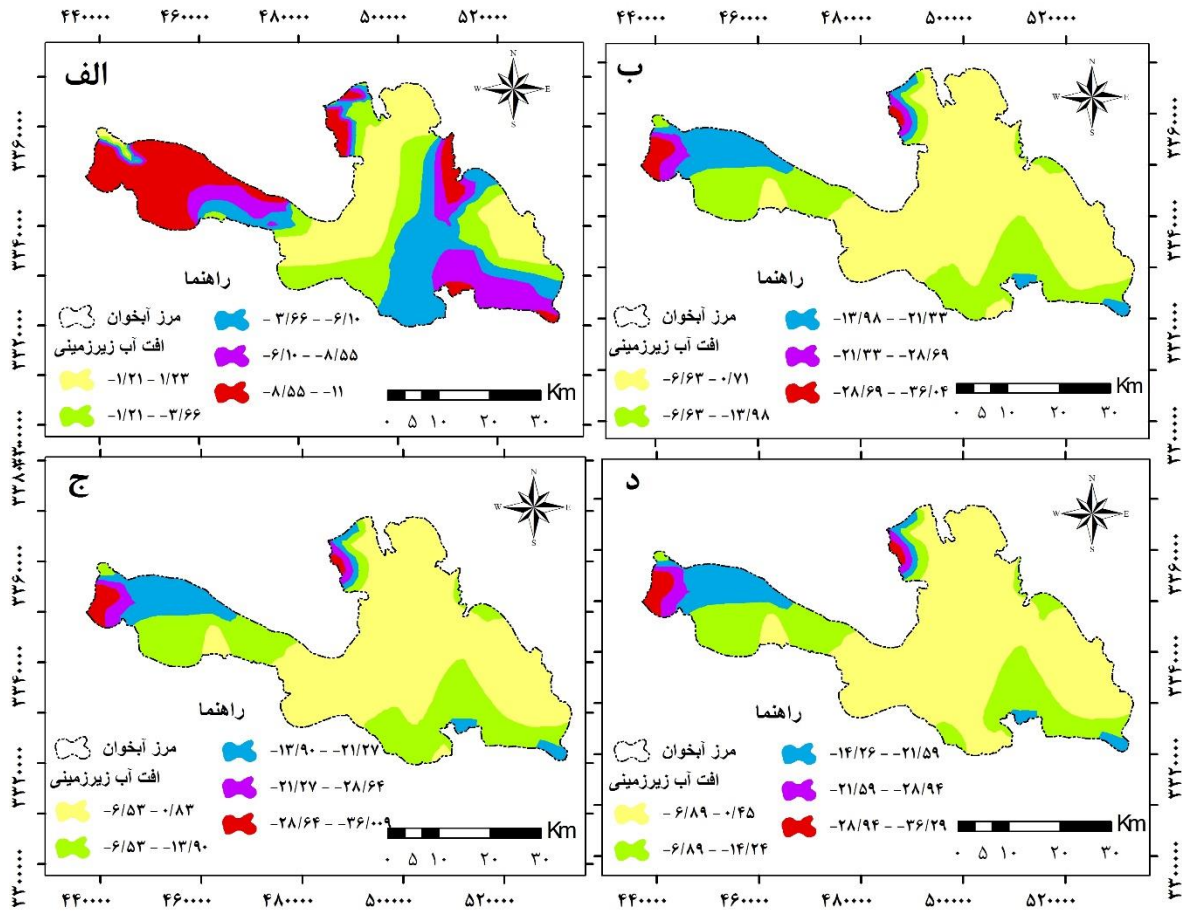
جدول (۶): نمایش تاثیر ادامه روند کنونی برداشت و تغذیه ناشی از بارش حاصل از سناریوهای اقلیمی در بیلان آبخوان دشت کرمان

سال	شرایط یکنواخت بهره‌برداری (MM <sup>3</sup> )	بارش (mm)			افت تغذیه ناشی از بارندگی (MM <sup>3</sup> )			بیلان منفی کل (MM <sup>3</sup> )		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
۱۳۹۰	-۹۶/۷۴	۱۳۹/۵	۱۶۴/۵	۳۵۹/۹	۰	۰	۰	-۹۶/۷	-۹۶/۷	-۹۶/۷
۱۳۹۱	-۹۶/۷۴	۱۹۵/۲	۱۵۲/۷	۹۸/۵	۵/۶	-۱/۲	-۲۶/۵	-۹۱/۱	-۹۷/۹	-۱۲۳/۳
۱۳۹۲	-۹۶/۷۴	۱۲۶/۷	۲۰۱/۶	۱۰۹/۴	-۶/۹	۵/۰	۱/۱	-۱۰۳/۷	-۹۱/۸	-۹۵/۶
۱۳۹۳	-۹۶/۷۴	۱۸۱/۳	۱۱۵/۶	۸۲/۶	۵/۵	-۸/۷	-۲/۷	-۹۱/۲	-۱۰۵/۵	-۹۹/۵
۱۳۹۴	-۹۶/۷۴	۹۲/۲	۱۴۳/۹	۲۲۰	-۹/۰	۲/۹	۱۳/۹	-۱۰۵/۸	-۹۳/۹	-۸۲/۸
۱۳۹۵	-۹۶/۷۴	۹۶/۶	۱۴۲/۹	۱۸۸/۵	۰/۴	-۰/۱	-۳/۲	-۹۶/۳	-۹۶/۸	-۹۹/۹
۱۳۹۶	-۹۶/۷۴	۱۴۰/۱	۱۱۴/۲	۱۲۷	۴/۴	-۲/۹	-۶/۲	-۹۲/۳	-۹۹/۷	-۱۰۳
۱۳۹۷	-۹۶/۷۴	۲۱۵/۵	۸۷/۳	۲۰۴/۶	۷/۷	-۲/۷	۷/۹	-۸۹/۱	-۹۹/۵	-۸۸/۹
۱۳۹۸	-۹۶/۷۴	۲۱۲/۶	۱۰۵/۶	۲۰۸/۶	-۰/۳	۱/۹	۰/۴	-۹۷	-۹۴/۹	-۹۶/۳
۱۳۹۹	-۹۶/۷۴	۱۹۵/۴	۲۰۶/۴	۳۶۱/۸	-۱/۸	۱۰/۲	۱۵/۶	-۹۸/۵	-۸۶/۵	-۸۱/۲
۱۴۰۰	-۹۶/۷۴	۹۷/۴	۱۹۸/۸	۱۶۱/۸	-۹/۹	-۰/۸	-۲۰/۳	-۱۰۶/۷	-۹۷/۵	-۱۱۷
۱۴۰۱	-۹۶/۷۴	۱۶۴/۷	۲۷۵/۳	۱۱۵/۶	۶/۸	۷/۸	-۴/۷	-۸۹/۹	-۸۹	-۱۰۱/۴
۱۴۰۲	-۹۶/۷۴	۱۱۷/۴	۲۴۳/۲	۱۳۶/۹	-۴/۸	-۳/۳	۲/۲	-۱۰۱/۶	-۱۰۰	-۹۴/۶
۱۴۰۳	-۹۶/۷۴	۱۸۶/۴	۱۳۰/۴	۲۸۸/۲	۷/۰	-۱۱/۴	۱۵/۴	-۸۹/۷	-۱۰۸/۲	-۸۱/۴
۱۴۰۴	-۹۶/۷۴	۱۷۰/۵	۱۲۷/۷	۱۷۳/۲	-۱/۶	-۰/۳	-۱۱/۷	-۹۸/۴	-۹۷	-۱۰۸/۴
۱۴۰۵	-۹۶/۷۴	۱۱۱/۶	۳۲۹/۵	۱۵۸/۲	-۶	۲۰/۵	-۱/۵	-۱۰۲/۷	-۷۶/۳	-۹۸/۳
۱۴۰۶	-۹۶/۷۴	۸۲/۷	۱۷۲/۲	۱۱۳/۹	-۲/۹	-۱۶	-۴/۵	-۹۹/۷	-۱۱۲/۷	-۱۰۱/۲
۱۴۰۷	-۹۶/۷۴	۲۰۶/۶	۷۹/۱	۱۳۷/۸	۱۲/۶	-۹/۵	۲/۴	-۸۴/۲	-۱۰۶/۲	-۹۴/۳
۱۴۰۸	-۹۶/۷۴	۴۲۸/۸	۲۳۶/۸	۱۳۱/۷	۲۲/۶	۱۶	-۰/۶	-۷۴/۲	-۸۰/۷	-۹۷/۴
۱۴۰۹	-۹۶/۷۴	۱۲۲/۵	۲۰۰	۱۵۵/۱	-۳۱/۱	-۳/۷	۲/۴	-۱۲۷/۸	-۱۰۰/۵	-۹۴/۴

و RCP8.5 در کل محدوده کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین میزان افزایش تراز سطح آب در شهر کرمان به دلیل چاه‌های جذبی صورت گرفته است و حداکثر کاهش و حداکثر افزایش سطح آب به میزان ۳۶/۲۹ و ۰/۸۳ متر به ترتیب در سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در سال ۱۴۰۹ نسبت به سال ۱۳۸۱ می‌باشد به طوری که نتایج آن در شکل (۸) نشان داده شده است.

### شبیه‌سازی وضعیت آبخوان در دوره آبی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی

بررسی اثرات تغییر اقلیم، با فرض ثابت ماندن میزان بهره‌برداری از چاه‌ها در دوره آبی نشان داد که متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در این دوره نسبت به تراز سطح آب در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۲ به میزان ۷/۱۹ و ۷/۲۶ و ۷/۳۳ متر به ترتیب تحت سناریو RCP4.5، RCP2.6،



شکل (۸): افت آب زیرزمینی (متر) سال ۱۳۹۴، سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سال ۱۴۰۹ به ترتیب (الف، ب، ج، د) نسبت به سال ۱۳۸۱

تاثیر قابل توجهی بر منحنی‌های تراز آب زیرزمینی داشته و به همین علت جریان‌های آب زیرزمینی اطراف به سمت این محدوده متمرکز شده است. بر اساس نتایج واسنجی در شرایط غیرماندگار، میزان پارامتر آبدهی ویژه برابر با  $0/0002$  تا  $0/05$  می‌باشد. همچنین بیشترین تغذیه سیستم منابع آب زیرزمینی دشت کرمان از راه مرزهای آبخوان صورت می‌گیرد و در درجه دوم تغذیه از سطح، یعنی بارندگی و آب برگشتی ناشی از آب مصرفی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که طی دوره ده ساله متوسط افت آبخوان  $5/084$  متر می‌باشد که حداقل افت تراز آب زیرزمینی از  $1/23$  متر در قسمت شرقی به حداکثر آن یعنی  $11$  متر افت در قسمت غربی آبخوان می‌رسد که با نتایج Gibrilla و

سیستم‌های جریان جوی به دلیل تغییرات آب‌وهوایی در مقایسه با سیستم‌های متوسط یا منطقه‌ای بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. مهمترین نتیجه این است که تغییر سیستم‌های جریانی جوی می‌تواند بر تعامل آب‌های زیرزمینی تاثیر بگذارد که می‌تواند به طور قابل توجهی باعث افزایش تنش‌ها در اکوسیستم‌های وابسته به آب‌های زیرزمینی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک شود. بر طبق نتایج بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی مربوط به قسمت‌هایی از مرکز و غرب آبخوان دشت کرمان می‌باشد که کمترین آن مربوط به قسمت‌های شرقی دشت می‌باشد. تمرکز زیاد چاه‌های بهره‌برداری در قسمت‌های مرکزی و غرب دشت و قسمت جنوب شرق



همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند سطح آب زیرزمینی در رودخانه Volta واقع در غنا حاکی از آن است که سطح آب‌های زیرزمینی سالانه به میزان ۱/۰۰۸ متر کاهش یافته مطابقت دارد. بیلان مدل در آخرین سال مدلسازی (۱۳۹۰-۱۳۹۱) با بیلان هیدروژئولوژی آبخوان دشت کرمان (۱۳۹۰)، مقایسه شد، متوسط کسری مخزن در سال ۱۳۹۰، ۹۱/۰۶- میلیون مترمکعب به دست آمده است. در حالی که در این مدلسازی مقدار کسری مخزن در سال ۱۳۹۰ برابر با ۹۶/۷۴۵- میلیون مترمکعب بدست آمده است.

نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی در دوره آتی (۱۳۸۵-۱۴۰۹) نشان داد که دما به میزان ۱/۱۲، ۱/۲۳ و ۱/۳۷ درجه سانتی‌گراد در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. مقادیر بارش در دوره آتی نسبت به حالت پایه به ترتیب به میزان ۱۴/۶۹، ۱۹ و ۲۹/۲۶ درصد در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین دوره آماری (۱۴۰۹-۱۳۸۵) حاکی از کاهش بارش در فصل زمستان و اوایل بهار می‌باشد، که با نتایج کیخا و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه رودخانه زرينه‌رود در استان آذربایجان غربی مطابقت دارد. بطوریکه این محققین بیان داشتند که بیشترین تغییرات دما و بارش در دوره آینده در فصل تابستان رخ داده است و افزایش دما از ۰/۲۵ تا ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در تمام ایستگاه‌ها مشاهده شده بود، همچنین تغییرات کیفیت آب رودخانه زرين رود در دوره آتی با فرض ثابت بودن منابع آلاینده دستخوش تغییرات زیادی نخواهد شد و تنها سرشاخه چم سقز به دلیل نزدیک بودن به نقطه شهری و ورود آلاینده‌های متعدد شرایط بحرانی خواهد داشت و همچنین با نتایج Salem و همکاران (۲۰۱۸)، در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی آب‌های زیرزمینی در شمال غربی بنگلادش، بیان داشتند که افزایش شدید دما و تغییر کوچک بارندگی، به استثنای فصل بهار،

منجر کاهش بیشتر سطح آب زیرزمینی در طول دوره آبیاری در این منطقه می‌شود، مطابقت دارد.

در بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر بیلان آبخوان دشت کرمان نتایج نشان داد که میزان کسری مخزن همچنان منفی بوده است و کسری مخزن در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب برابر ۱۲۷/۸-، ۱۰۰/۵- و ۹۴/۴- میلیون مترمکعب در سال بدست آمد که با نتایج مسماریان و همکاران (۱۳۹۵)، در ارتباط با بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در دوره‌های آتی، بیان داشتند که بارندگی در دوره آتی به طور متوسط ۱۲ درصد افزایش نشان داد، همخوانی دارد. سپس بارش تولیدی در دوره آتی تحت عنوان تغذیه به مدل آب زیرزمینی GMS ساخته شده وارد شد. به منظور برنامه‌ریزی بهتر برای منبع آب زیرزمینی، سه سناریو ادامه بهره‌برداری با وضع موجود و ادامه بهره‌برداری با ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش در دوره ۲۰۲۹-۲۰۱۵ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در اثر اعمال سناریو اول تحت تاثیر تغییر اقلیم، ۲/۳۵ میلیون متر مکعب به ذخیره آبخوان در دوره آتی نسبت به ۱۳۹۲-۱۳۹۱ اضافه شده و در اثر اعمال سناریوهای دوم و سوم به ترتیب ۶/۳ میلیون مترمکعب و ۱۰/۹۴ میلیون مترمکعب از ذخیره آبخوان کم خواهد شد، همچنین با نتایج رزندی و همکاران (۱۳۹۳)، در زمینه بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از شبیه‌سازی رفتار آبخوان توسط مدل Modflow که بیان داشتند با توجه به توزیع مکانی اراضی کشاورزی و چاه‌های بهره‌برداری، گزینه ترکیبی کاهش برداشت به میزان ۱۵ درصد در شرایط ترسالی باعث توقف افت سطح ایستابی می‌شود که با در نظر گرفتن گزینه‌های مدیریتی نظیر تغییر الگوی کشت و تغذیه مصنوعی می‌توان باعث افزایش سطح ایستابی در منطقه شد، مطابقت دارد.



## نتیجه‌گیری

سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۹ نشان داد که روند افت سفره همچنان ادامه خواهد داشت و افزایش میزان افت به سمت شرق منطقه در حال گسترش است. بررسی اثرات تغییر اقلیم نشان داد که متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در این دوره نسبت به تراز سطح آب در سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱ به میزان ۷/۱۹ و ۷/۲۶ و ۷/۳۳ متر به ترتیب تحت سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در کل محدوده کاهش می‌یابد لذا هر چند بارندگی در دوره آتی در این دشت افزایش پیدا کرده است ولی با توجه به اینکه دما روند آن افزایشی است لذا این افزایش دما منجر به افزایش تبخیر و تعرق و در نهایت کاهش تغذیه آبخوان منتج از بارندگی می‌گردد. لذا مدیران و مسئولین برای مقابله با این پدیده از کشت گونه‌های مقاوم و روش‌های نوین آبیاری استفاده نمایند. در نهایت می‌توان اذعان نمود که بهره‌برداری مستمر از سطح آب‌های زیرزمینی این دشت، سبب افت بیش از پیش آبخوان برای دوره آینده خواهد شد که سبب شور شدن بیش از حد آب‌های منطقه و به دنبال آن سبب ایجاد فرونشست در سطح منطقه می‌گردد که به خودی خود گسترش بیابان‌زایی را در دشت کرمان در پی خواهد داشت. لذا با توجه به بیلان منفی در این مناطق حساس که میزان بارندگی سالیانه در آن کم و پراکنش نامنظمی دارد و از طرف دیگر بارش‌ها عموماً زودگذر و سیل آسا هستند، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از روش‌های استحصال آب باران استفاده گردد تا فشار بر روی منابع آب زیرزمینی کم شود و همچنین با توجه به شرایط این مناطق جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و افت سفره می‌توان از راهکارهای لازم از قبیل تدابیری جهت اصلاح نظام آبیاری، روش‌هایی به منظور کاهش تبخیر و اصلاح نظام کشت، استفاده نمود.

تغییر اقلیم و افت سفره آب زیرزمینی از عوامل اصلی تخریب در چند دهه گذشته محسوب می‌گردند و باعث تخریب خاک و پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. به طوری که عامل تغییر اقلیم با افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارندگی باعث عدم تغذیه مناسب و کافی آبخوان می‌شود و همواره برداشت آب برای مصارف مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی در این مناطق بیش از میزان تغذیه بوده و افت مداوم سطح آب زیرزمینی صورت گرفته است. از اینرو در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی دشت کرمان برای آینده نزدیک (۱۳۹۵-۱۴۰۹) پیش‌بینی گردید. نتایج حاصل از بررسی بیلان آبی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که سالانه حدود ۹۶/۷۴۵ میلیون متر مکعب اضافه برداشت از منطقه صورت می‌گیرد و این بدان معناست که ورودی و خروجی آب در دشت کرمان با یکدیگر همخوانی ندارد و نتیجه آن میزان افتی است که در منطقه شاهد هستیم و سالانه به میزان ۱/۴۵ متر افت صورت می‌گیرد. همچنین نتایج بررسی میزان افت در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ نشان دهنده این نکته است که افت آب زیرزمینی در نقاط مختلف دشت صورت می‌گیرد اما شدت آن در مناطق مختلف متفاوت است که این به دلیل ساختار پیچیده آبخوان، میزان برداشت و تراکم چاه‌های بهره‌برداری در منطقه می‌باشد. در سال ۱۳۹۴، از لحاظ پراکنش مکانی نیز بیشترین میزان افت در بخش‌های غربی رخ داده است اما با گذشت زمان به سمت شرق، مرکز و جنوب منطقه نیز کشیده شده است. همچنین پیش‌بینی افت آب زیرزمینی دشت در

## منابع

- جعفری، م.، سلاجقه، ع و آ. ملکیان. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی کمیت و کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت کرمان). پایان‌نامه دانشگاه تهران. ص ۲.
- رزندی، ی.، ملکیان، آ و ش. خلیقی. ۱۳۹۳. بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی با استفاده از شبیه‌سازی رفتار آبخوان توسط مدل Modflow: مطالعه موردی دشت ورامین. پایان‌نامه دانشگاه تهران. ص ۲.

- شرکت آب منطقه‌ای کرمان. ۱۳۹۳. گزارش مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز کویرهای درانجیر و ساغند.
- کیخا، آ و ع. مساح بواتی. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر کیفیت آب سطحی در دوره های آتی ( مطالعه موردی رودخانه زرینه رود). پایان‌نامه دانشگاه تهران. ص ۲.
- مسماریان، ز، مساح بواتی، ع و س. جوادی پیربازاری. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی دشت شهرکرد در دوره‌های آتی. اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۲، ص ۲۴۲-۲۳۳.
- Ahmadi, S. H and Sedghamiz, A. 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental monitoring and assessment*, 129(1-3), 277-294.
- Ali, R., McFarlane, D., Varma, S., Dawes, W., Emelyanova, I., Hodgson, G and Charles, S. 2012. Potential climate change impacts on groundwater resources of south-western Australia. *Journal of Hydrology*, 475, 456-472.
- Basheer, A. K., Lu, H., Omer, A., Ali, A. B and Abdelgader, A. 2016. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the streamflow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1331-1353.
- Choubin, B., Zehtabian, G., Azareh, A., Rafiei-Sardooi, E., Sajedi-Hosseini, F and Kişi, Ö. 2018. Precipitation forecasting using classification and regression trees (CART) model: a comparative study of different approaches. *Environmental Earth Sciences*, 77(8), 314.
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R and Mearns, L. O. 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
- El Yaouti, F., El Mandour, A., Khattach, D and Kaufmann, O. 2008. Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). *Journal of Hydro-environment Research*, 2(3), 192-209.
- 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.
- European Environment Agency, European Commission, World Health Organization (Eds.). 2008. *Impacts of Europe's Changing Climate: 2008 Indicator-Based Assessment: Joint EEA-JRC-WHO Report*. Office for Official Publications of the European Communities, Copenhagen: Luxembourg.
- Feyissa, G., Zeleke, G., Bewket, W and Gebremariam, E. 2018. Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*, 6(3), 58.
- 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.
- Gemitzi, A., Ajami, H and Richnow, H. H. 2017. Developing empirical monthly groundwater recharge equations based on modeling and remote sensing data-Modeling future groundwater recharge to predict potential climate change impacts. *Journal of Hydrology*, 546, 1-13.
- Gibrilla, A., Anornu, G and Adomako, D. 2018. Trend analysis and ARIMA modelling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 150-163.
- Green, T. R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Hiscock, K. M and Aureli, A. 2011. Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3-4), 532-560.



Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G and Guo, R. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6(2), 166-171.

IPCC- TGCIA. 2007. Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate impact and Adaption Assessment. Version 2. Prepared by Carter, T. R. Hulme, M. and Lal, M. Intergovernmental Panel on Climate change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 66 PP.

IPCC. 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. *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, USA.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller H.L. (Eds), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Jayakody, P., Parajuli, P. B., Sassenrath, G. F and Ouyang, Y. 2014. Relationships between water table and model simulated ET. *Groundwater*, 52(2), 303-310.

Jyrkama, M. I and Sykes, J. F. 2007. The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, 338(3-4), 237-250.

Kazmi, D. H., Rasul, G., Li, J and Cheema, S. B. 2014. Comparative study for ECHAM5 and SDSM in downscaling temperature for a geo-climatically diversified region, Pakistan. *Applied Mathematics*, 5(1), 137.

Kinzelbach, W. 2002. A survey of methods for analysing groundwater recharge in arid and semi-arid regions, Division of Early Warning and Assessment. United Nations Environmental Program. UNEP/DEWA/RS. 02-2.

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.

Miao, C., Duan, Q., Sun, Q., Huang, Y., Kong, D., Yang, T and Gong, W. 2014. Assessment of CMIP5 climate models and projected temperature changes over Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*, 9 (5), 055007.

Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D and Veith, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

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.

Qiu, S., Liang, X., Xiao, C., Huang, H., Fang, Z and Lv, F. 2015. Numerical simulation of groundwater flow in a river valley basin in Jilin urban area, China. *Water*, 7(10), 5768-5787.

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.

Scibek, J., Allen, D. M., Cannon, A. J and Whitfield, P. H. 2007. Groundwater-surface water interaction under scenarios of climate change using a high-resolution transient groundwater model. *Journal of Hydrology*, 333(2-4), 165-181.

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* (Doctoral dissertation, Cambridge University Press).

Wilby, R. L and Dawson, C. W. 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707-1719.



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 and Software*, 17(2), 145-157.

Zhang, A., Zhang, C., Fu, G., Wang, B., Bao, Z and Zheng, H. 2012. Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifafa River Basin. Northeast China, *Water Resources Management*, 26(8), 2199–2217.



## Investigating the Impact of Different Climate Change Scenarios on Groundwater Fluctuations in Arid and Semi-Arid Regions (Case Study: Kerman Plain)

Meysam Jafary Godeneh<sup>1</sup>, Ali Salajeghe<sup>2</sup>, Arash Malekiyan<sup>3</sup>

The paper is extracted from the Master's thesis in the field of Watershed Science & Engineering, Faculty of Natural Resources, and University of Tehran.

### Abstract

Use the output of atmospheric general circulation models to understand the weather conditions and to prevent the spread and consequences of climate change on groundwater resources in all ecosystems, especially in arid and semi-arid regions is necessary. The present study was conducted to investigate the impacts of climate change on groundwater level fluctuations in Kerman plain, Iran. In order to investigate the impact of climate change in future periods, the CanESM2 climate model and SDSM4.2 software were used under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios. Then, GMS10.0.5 was used for quantitative modeling of groundwater in Kerman plain. The mathematical model prepared for the steady state in 2002-2003 was calibrated over 2002-2012 in 120 steps for the unsteady state condition and the 2012-2015 period for the calibration. The results of climate scenarios in the upcoming period (2006-2030) showed that temperature will increase by 1.12, 1.23 and 1.37 degrees Celsius while rainfall will increase by 14.69, 19 and 26.29 percent in RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. The results of climate scenarios showed that in spite of increased rainfall and the assumption of constant utilization of groundwater, the average groundwater level in RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the upcoming period would be lower than the water level compared with the base year (2002-2003), by 7.19 and 7.26, and 7.33 meter in the whole region, respectively. It is recommended that measures to deal with global warming resulting from climate change and over-exploitation of groundwater resources by reforming cropping patterns, irrigation new methods.

**Keywords:** CanESM2 model, Kerman plain, Climate scenarios, GMS model

<sup>1</sup> MSc Watershed Science and Engineering, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [Meysam.jafary@ut.ac.ir](mailto:Meysam.jafary@ut.ac.ir). Tell: 09398378869

<sup>2</sup> Professor, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [Salajegh@ut.ac.ir](mailto:Salajegh@ut.ac.ir). (corresponding author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir).



## Investigating the Impact of Different Climate Change Scenarios on Groundwater Fluctuations in Arid and Semi-Arid Regions (Case Study: Kerman Plain)

Meysam Jafary Godeneh<sup>1</sup>, Ali Salajeghe<sup>2</sup>, Arash Malekiyan<sup>3</sup>

### Introduction:

The evidence shows the impacts of climate change on global, regional and local scales. It has also been documented that human activities have already significantly accelerated natural climate change. It is estimated that the average global temperature will change from 1.8 degrees to 4 degrees Celsius while the average sea level rises between 0.18 to 0.59 meters by 2100. Climate change and human activities are two main driving factors of the water cycle processes and cause changes in the temporal and spatial distribution of access to water resources and play effective role in regional water resources planning and management. Groundwater is the main sources of drinking water, irrigation and food production in many countries, especially in arid and semi-arid regions. Climate change over recent years has led to significant changes in various parts of the ecosystem, especially water resources. Application of the outputs of general circulation models to understand climate conditions and the effect of climate change on groundwater resources is very important and necessary to prevent the consequences of climate change on this valuable resources. Therefore, the present study was conducted to investigate the impacts of climate change on groundwater level fluctuations in the Kerman plain, Iran.

### Materials and methods:

First, CanESM2 climate model and SDSM4.2 software under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios and then GMS10.0.5 software for quantitative modeling of groundwater in Kerman plain were used to study the effect of climate change in future periods, The mathematical model prepared in October of the water year 2002-2003 for steady state, in the years 2002-2012 in 120 time steps for unsteady state and in the period 2012-2015 for validation mode was calibrated. Once the model has been validated, it can be used for forecasting, which is the goal of most modeling activities. The effects of climate change on groundwater level fluctuations during the period “2015-2030” was compared with the base period under three RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

### Results:

The results of climate emission scenarios in the future period (2006-2030) showed that the temperature increases 1.45, 1.21 and 1.16 ° C while precipitation also increases 14.69, 19 and 29.26% in RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. The results of climatic scenarios showed that due to the increase in rainfall over this period, the average groundwater level in the scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 in the future period (2015-2030) compared to the

<sup>1</sup> MSc Watershed Science and Engineering, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [Meysam.jafary@ut.ac.ir](mailto:Meysam.jafary@ut.ac.ir). Tell: 09398378869

<sup>2</sup> Professor, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [Salajegh@ut.ac.ir](mailto:Salajegh@ut.ac.ir). (corresponding author)

<sup>3</sup> Associate Professor, Rehabilitation group of arid and mountainous areas, Faculty of Natural Resource, University of Tehran. Email: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir).



groundwater level in 2002- 2003 will decrease by 7.19, 7.26 and 7.33 meters in the whole region, respectively. Then the estimated rainfall in the simulated period was entered into the GMS groundwater model as the recharge amount. In order to better plan for groundwater resources, three scenarios of continued operation with the current situation and continued operation with a 10 to 20% increased discharge in the period 2015-2030 were considered. The results showed that by applying the first scenario of climate change, 2.35 million cubic meters will be added to the aquifer in the next future period compared to the period 2012-2013 while 6.3 and 10.94 million cubic meter of aquifer storage will be reduced due to the application of the second and third scenarios, respectively.

### Conclusion:

The study of water balance in the study area showed that about 96.745 million cubic meter of overdraft is done annually from the area, which means that water inflow and outflow in the Kerman plain are not compatible with each other and the result is a significant drop in the groundwater level which is 1.45 meter per year. Also, the results of the study on the rate of drawdown in the years 2002 to 2015 show that the decreasing level of groundwater occurs in different parts of the plain. However, its intensity varies in different regions, which is due to the complex structure of the aquifer, the amount of exploitation and the density of pumping wells in the region. In 2015 and in terms of spatial distribution, the greatest decline occurred in the western parts, but over time has been extended to the east, center and south of the region. Also, the forecast of groundwater drawdown in the plain in the years 2016 to 2030 showed that the trend of aquifer decline will continue and the increase in the slope of decline to the east of the region is accelerating. Finally, it can be acknowledged that the continuous exploitation of groundwater resources of the plain, will cause a further decline of the aquifer for the future period, which will cause excessive salinization of water as well as land subsidence in the region. This will lead to the expansion of desertification in the Kerman plain as well.

### The most important references

- Ahmadi, S. H and Sedghamiz, A. 2007. Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level. *Environmental monitoring and assessment*, 129(1-3), 277-294.
- Ali, R., McFarlane, D., Varma, S., Dawes, W., Emelyanova, I., Hodgson, G and Charles, S. 2012. Potential climate change impacts on groundwater resources of south-western Australia. *Journal of Hydrology*, 475, 456-472.
- Basheer, A. K., Lu, H., Omer, A., Ali, A. B and Abdelgader, A. 2016. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on the streamflow in the Dinder River and ecosystem habitats in Dinder National Park, Sudan. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1331-1353.
- Choubin, B., Zehtabian, G., Azareh, A., Rafiei-Sardooi, E., Sajedi-Hosseini, F and Kişi, Ö. 2018. Precipitation forecasting using classification and regression trees (CART) model: a comparative study of different approaches. *Environmental Earth Sciences*, 77(8), 314.