

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی رواناب سطحی و آب زیرزمینی با استفاده از مدل اقلیمی HadGEM2 (مطالعه موردی هشتگرد)

فاطمه سادات مرتضوی زاده^۱ - مسعود گودرزی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳

چکیده

این پژوهش با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم کمیته بین‌الدول تغییر اقلیم سازمان ملل و تحت سناریوهای RCP به بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر روی آب سطحی و زیرزمینی پرداخته است، در این تحقیق برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی و بررسی بیلان آب دشت هشتگرد از کد عددی MODFLOW در داخل بسته GMS10 استفاده شده است. به منظور مدل‌سازی هدایت هیدرولیکی در حالت ماندگار و آبدی ویژه در حالت غیرماندگار واسنجی شد. به منظور برآورد بارندگی و دما در منطقه از مدل HadGEM2 تحت سناریوهای RCP2.5 و RCP 8.5 استفاده شد. این داده‌ها توسط مدل LARS-WG برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۰ برای منطقه ریزمقیاس نمایی شد. با مدل بارش رواناب IHACRES میزان رواناب منطقه تحت شرایط تغییر اقلیم محاسبه شد. میزان نفوذ ناشی از رواناب مجدداً به همراه پارامترهای تحت تأثیر تغییر اقلیم وارد مدل شده و شبیه‌سازی انجام گرفت. مدل کمی نشان داد که با وضعیت موجود آبخوان هشتگرد با توجه به افت سالانه‌ی ۷۳ سانتی‌متری در زمان حال، این میزان افت در آینده به بیشتر از این مقدار نیز نزول نماید و آبخوان را از حالت بحرانی به حالت فوق بحرانی تبدیل نماید. نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد که سناریوی RCP8.5 وضعیت بحرانی تری نسبت به سناریوی RCP2.5 داشته و افت سطح آب زیرزمینی برای بدترین حالت در منطقه در سال ۲۰۴۰ با توجه به فرض ثابت بودن برداشت به میزان ۱۸ متر نسبت به زمان حال خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: دشت هشتگرد، HadGEM2، MODFLOW، IHACRES

مقدمه

را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد در اثر تغییر اقلیم در این منطقه افت سطح آب زیرزمینی حدود ۴ متر خواهد بود (۸). کارآموز و همکاران (۱۳۹۰)، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان را با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی (GCM) جو مورد ارزیابی قرار دادند. آنها با بهره‌گیری از مدل LARS-WG داده‌های بارش و دما را ریز مقیاس نمودند تا بتوانند مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان را طی دوره‌های آتی تعیین نمایند. آنها به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی باعث یک سیر نزولی بر روی حجم آبخوان شده است. شاه‌نوریان (۱۳۹۱)، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی را در دشت گرگان مورد بررسی قرار داد. نتایج مطالعه با فرض حفظ وضعیت موجود توسعه منطقه، حاکی از سیر نزولی حجم آبخوان با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع و مصارف محدوده مطالعاتی می‌باشد. شهرکی (۱۳۹۲)، تحقیق وی بر روی بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیر زمینی دشت اردبیل در سال‌های آتی بود. بدین منظور از داده‌های ثبت شده ۳۵ حلقه چاه پیزومتری طی دوره ۲۰۰۶-۱۹۸۷ استفاده نمود. جهت پیش‌بینی

پس از دوران صنعتی شدن که بشر توانست سرعت و میزان تولیدات خود را چندین برابر کند، کره زمین با بحران جدیدی روبرو شد، البته این بحران تا اواخر قرن ۲۰ میلادی کمتر شناخته شده بود. از سال‌های آخر قرن ۲۰ میلادی، واژه‌ی تغییر اقلیم به ادبیات علمی جهان اضافه شد (Vicuna & Dracup, 2007). دلایل اصلی تغییر اقلیم پدیده محبوس شدن گازهای گلخانه‌ای به خصوص کربن دی‌اکسید در جو کره زمین است. کوهستانی (۱۳۸۸)، با بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی سطح آب زیرزمینی در منطقه نرماب استان گلستان با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW تغییرات سطح آب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
۲- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

*- نویسنده مسئول: (Email: massoudgoodarzi@yahoo.com)

در فرانسه و یونان را با استفاده از مدلسازی وقایع حدی انجام دادند و پیش بینی خود را برای ۲۰۸۱-۲۱۰۰ ارایه نمودند، دوره مبنای مطالعاتی آنها ۱۹۹۱-۲۰۱۰ بوده است. افت سفره برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۲۳ متر محاسبه شده است. ولازکوئر و همکاران^۲ (۲۰۱۴)، به ارزیابی جامع تأثیر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوزه مانچا شرقی واقع در اسپانیا پرداختند. آن‌ها از مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم استفاده کردند همچنین جهت ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی از مدل MT3DMS و برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی مدل GMS-MODFLOW را بکار گرفتند. نتایج نشان داد که کمیت و کیفیت آب زیرزمینی (آلودگی نترات) همراه با تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی نیز تغییر می‌کند. گودرزی و همکاران (۲۰۱۶)، به منظور ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر ورودی آب زیرزمینی از یک روش هیبریدی و برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر برداشت از آب‌های زیرزمینی از نرم‌افزار Cropwat برای تعیین نیاز آبیاری تحت دو سناریوی A2 و B1 در دشت نجف‌آباد استفاده کردند. میزان افت سطح ایستابی در سطح دشت از حدود ۱/۲ متر به بیش از ۲/۵ متر در سال افزایش می‌یابد. لذا با توجه به وابستگی زیاد این دشت به منابع آب زیرزمینی و نیز با توجه به خشک شدن متناوب زاینده‌رود و در صورت نشست زمین احیای منابع آب زیرزمینی غیرممکن می‌گردد، بنابراین ادامه بهره‌برداری از آبخوان با روند کنونی منجر به از بین رفتن دائمی و غیرقابل برگشت آبخوان می‌گردد.

در این پژوهش ضمن معرفی مدل‌های CMIP تحت سناریوهای RCP به مدل سازی نوسانات آب زیرزمینی با استفاده از کد عددی MODFLOW در غالب نرم‌افزار GMS پرداخته شده است. برای ریزمقیاس نمایی آماری از نرم‌افزار LarsWG استفاده شده است. تغییرات آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه (هشتگرد) به دلیل نزدیکی این منطقه به شهر تهران و همچنین وجود تولیدات محصولات باغی و زراعی اهمیت زیادی برای مردم این منطقه دارد. این مطالعه برای اولین بار در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. هدف اصلی این پژوهش بررسی آینده نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد طی دوره آینده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ با استفاده از مدل HADGEM2 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 می‌باشد. استفاده از مدل‌های جدید تغییر اقلیم CMIP5 ها و سناریوهای RCP در برآورد بارش و رواناب دوره آینده از نوآوری‌های این پژوهش می‌باشد.

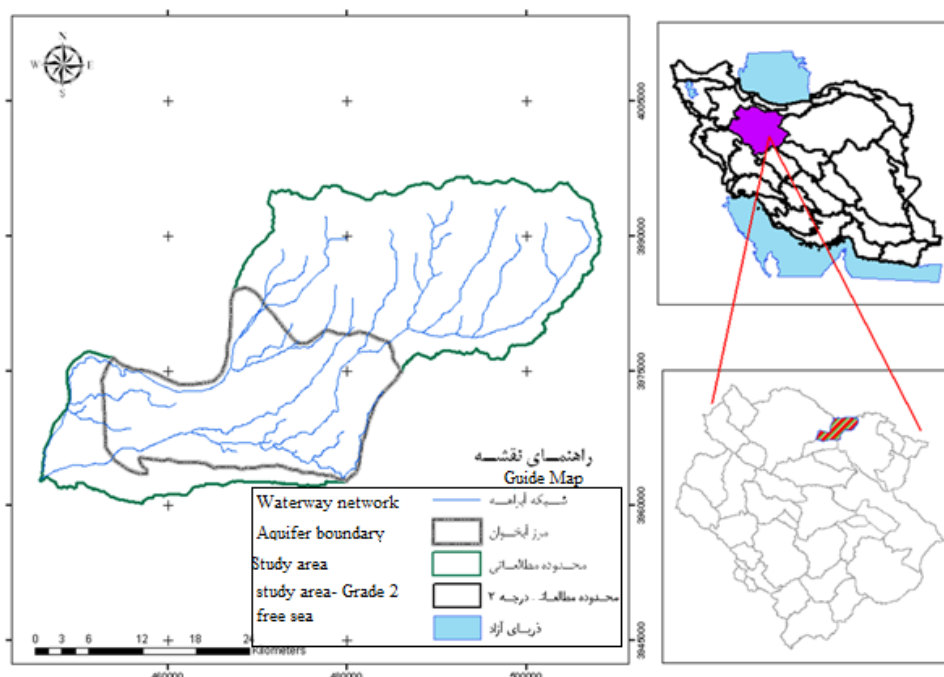
متغیرهای اقلیمی آینده از سناریوهای مدل اقلیمی HadCM3 بهره گرفت و جهت انطباق مقیاس خروجی این مدل با مقیاس مورد نیاز مطالعات تغییر اقلیم، داده‌های ثبت شده دما و بارش توسط مدل LARS-WG ریز مقیاس نمود. با استفاده از روابط حاصل از مدل‌های هوشمند، تراز آب چاه‌ها برای سال‌های آتی را تخمین زد، که نتایج حاصله، بیانگر افت سطح آب کلیه چاه‌های پیژومتری مورد مطالعه تحت هر سه سناریو تغییر اقلیم برای دوره‌های آتی بود. سمیرمی (۱۳۹۲)، اثرات تغییر اقلیم بر ذخایر آب زیرزمینی در حوزه آبخیز بار نیشابور را ارزیابی نمود، وی به این منظور ابتدا با استفاده از مدل‌های ارائه شده توسط و به کارگیری روش‌های ریزمقیاس‌سازی، وضعیت اقلیمی منطقه طی سال‌های آتی را پیش‌بینی نمود. نتایج نشان دهنده افزایش میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل تقریباً به صورت یکسان و به میزان ۱/۱، ۲/۳ و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش به میزان ۴/۱۶، ۶/۱۷ و ۳۱/۹ درصد تحت سناریو A2 مدل Hadcm3 به ترتیب در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۱۰ می‌باشد. پس از ریز مقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی اثر تغییر اقلیم بر روی دبی رودخانه بار بررسی شد نتایج بیانگر کاهش دبی به میزان ۹، ۴۴ و ۶۶ درصد به ترتیب در ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه می‌باشد. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل شاخه خشکیدگی هیدروگراف مربوط به هر سال، اثرات تغییر اقلیم بر ذخایر آب زیرزمینی منطقه بررسی گردید. نتایج حاکی از کاهش حجم ذخایر آب زیرزمینی به میزان ۷/۳۶، ۵۲/۰ و ۶۱/۰ درصد به ترتیب در سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه بود. پورمحمدی (۱۳۹۳)، در تحقیقی به تعیین اجزای بیلان آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبخیز نیمه‌خشک تویسرکان در استان همدان و بررسی اثرات تغییر اقلیم بر آن پرداخت. با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دشت با احتمال وقوع ۲۰٪، ۵۰٪ و ۸۰٪ پرداخت. نتایج نشان داد که بیلان آبی دشت به میزان ۶/۲۱ میلیون متر مکعب در سال آبی ۸۸-۸۷ منفی می‌باشد. تبخیر و تعرق که مهمترین جز هدر رفت حوضه می‌باشد، ۱۲۱ میلیون متر مکعب آب را به هدر می‌دهد. نتایج بیلان آب زیرزمینی نیز نشان داد که تغییرات ذخیره ۵/۱۲- میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب دشت نشان می‌دهد که به احتمال وقوع ۸۰٪ مسئله بحران آب در دشت تویسرکان شدیدتر خواهد شد، به طوری که تغییرات ذخیره در دوره آتی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ به ترتیب سناریوهای ذکر شده ۷/۳۹- و ۶/۴۰- میلیون متر مکعب در سال خواهد رسید. کیدموس و همکاران^۱ (۲۰۱۳) در تحقیقی تأثیرات تغییر اقلیم روی سطح آب‌های زیرزمینی

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

محدوده مطالعاتی هشتگرد از محدوده‌های دریاچه نمک ایران در دامنه جنوبی کوه‌های البرز و حاشیه شمال کویر مرکزی ایران بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و عرض‌های ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵ دقیقه قرار دارد. این دشت تقریباً بیضی شکل بوده و دارای طول تقریبی متوسط ۶۷

کیلومتر و عرض متوسط ۲۰ کیلومتر می باشد و مساحت دشت ۱۱۶۹ کیلومتر مربع می‌باشد که مساحت آبخوان هشتگرد ۴۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع ۱۴۴۹ متر در شمال منطقه و حداقل ارتفاع در این محدوده ۱۱۵۰ متر در جنوب در حاشیه کویر می باشد. این حوضه فاقد رودخانه دائمی بوده ولی تعدادی مسیل از ارتفاعات شمالی و شرقی به سمت جنوب در جریان است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی هشتگرد را در ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در کشور

Figure 1- Location of the study area in the country

مرکز آبخوان قرار دارد، استفاده گردید. جدول ۱ مشخصه‌های حرارتی و مکانی این ایستگاه را نشان می‌دهد.

به منظور آنالیز پارامترهای دما در محدوده‌ی آبخوان هشتگرد از آمار درازمدت ۲۵ ساله ایستگاه تبخیرسنجی کریم آباد که تقریباً در

جدول ۱- پارامترهای پنجگانه دمای ایستگاه تبخیرسنجی

Table 1- Five Parameters of Evaporation Station Temperature

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	میانگین دما	دمای حداکثر	دمای حداقل
Lon	Lat	Average Temperature	Maximum Temperature	Minimum Temperature
35° 0' 50"	51° 36' 50"	15	26	5

منطقه می‌باشد لذا بررسی وضعیت آبدهی و رواناب‌های سطحی در منطقه حائز اهمیت است. سه ایستگاه هیدرومتری فشنده، ده صومعه و نجم آباد تنها ایستگاه‌های هیدرومتری دایر در بالادست و خروجی آبخوان هشتگرد می‌باشند که جهت مطالعات هیدرولوژی و برآورد حجم تغذیه آبخوان ناشی از جریانات آب سطحی مورد استفاده قرار

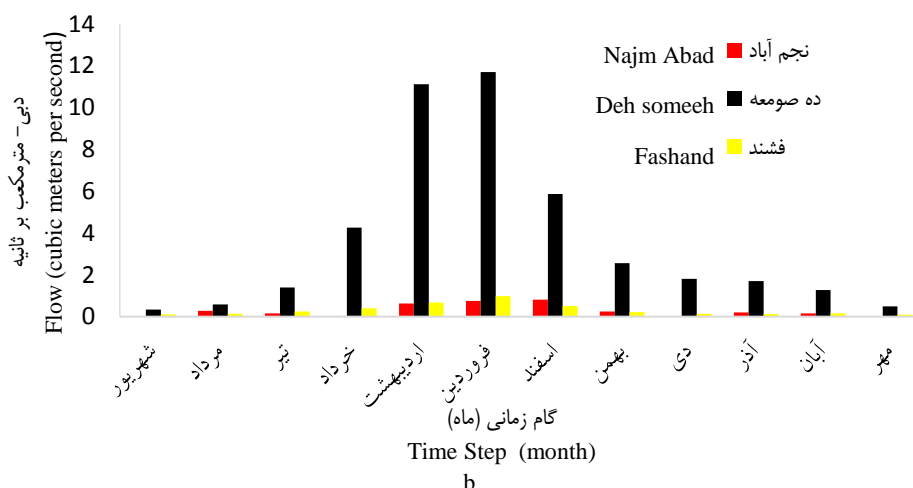
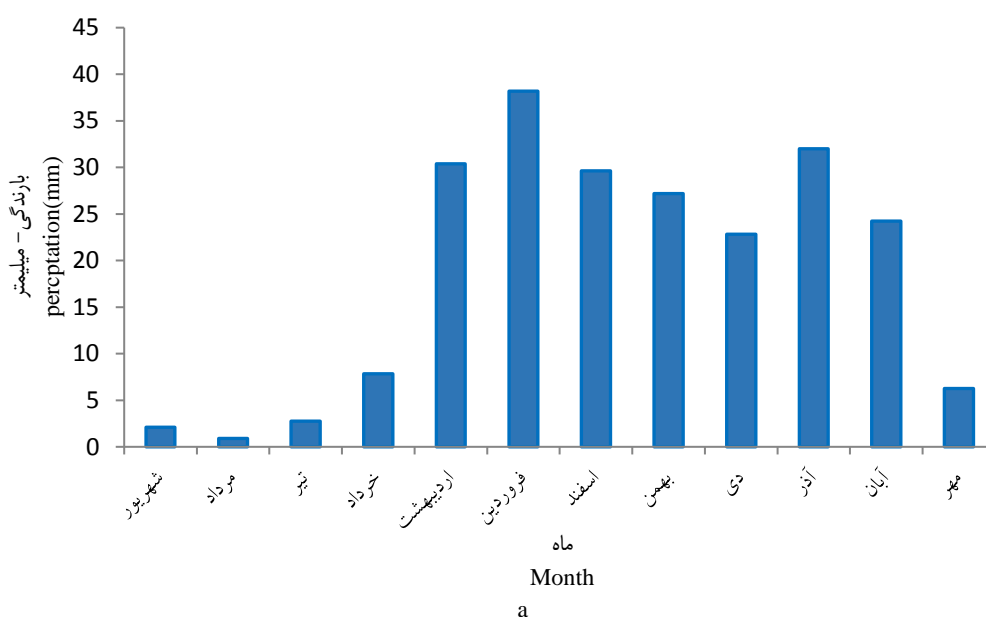
میانگین دراز مدت ۳۰ ساله بارندگی بصورت ماهانه در شکل ۲ ترسیم شد. همانطور که مشخص است رژیم بارش این منطقه در ماه‌های فصول پاییز تا اواخر بهار وجود دارد و ماه فروردین بیشترین متوسط بارش با حدود ۴۰ میلی‌متر را داراست. از آنجاکه یکی از ارکان اصلی تغذیه آبخوان هشتگرد ناشی از نفوذ از جریانات سطحی در

می‌گیرند. جدول ۲ موقعیت و خصوصیات این ایستگاه‌ها و در شکل ۲ وضعیت آبدهی این ایستگاه‌ها آمده است.

جدول ۲- خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری در آبخوان هشتگرد

Table 2- Characteristics of hydrometric stations in Hashtgerd aquifer

مساحت حوزه Area (Km2)	Y	X	ارتفاع Elevation	نام رودخانه River	نام ایستگاه Station
33.3	36.04	50.5	1780	فشند Fashand	فشند Fashand
366.7	35.96	50.84	1410	کردان Kordan	ده صومعه Deh Someh
612.3	38.84	50.5	1190	کردان Kordan	نجم آباد Najm Abad

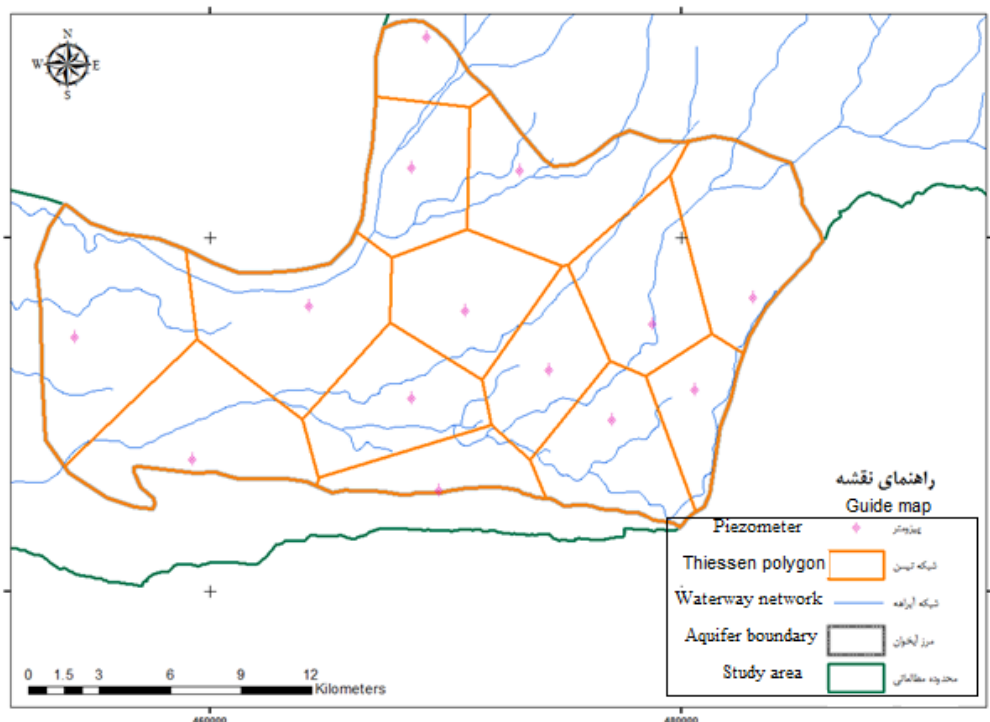


شکل ۲- میانگین درازمدت ماهانه بارندگی ایستگاه کریم آباد کرج (شکل a) و متوسط آبدهی در ایستگاه‌های هیدرومتری فعال در منطقه (شکل b)

Figure 2- average long-term monthly precipitation of Karim Abad station in karaj (Figure a) and average discharge at active hydrometric stations in the area (Figure. b)

آبخوان و ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان مثل ضریب ذخیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. براین اساس ۱۶/۴۷ متر در طی این ۲۲ سال افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد که بطور متوسط سالانه ۷۴ سانتی‌متر افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد. شکل ۳ پیزومترهای موجود در آبخوان را نشان داده است.

شبکه پیزومتریک منطقه با تعداد ۱۴ پیزومتر فعال و دارای آمار مستند در حال حاضر رفتار سطح آب زیرزمینی منطقه را مورد سنجش قرار می‌دهند. شبکه پیزومتریک منطقه از سال ۱۳۷۰ فعال بوده و آمار ثبت تا سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ مورد استفاده قرار گرفته است. هیدروگراف آبخوان جهت ارزیابی رفتار تغییرات تراز آب زیرزمینی در



شکل ۳- شبکه پیزومتری در آبخوان هشتگرد
Figure 3 - Piezometric network in Hashtgerd aquifer

بیان آب زیرزمینی منطقه

شبیه‌سازی نوسانات آب زیرزمینی

به منظور مطالعه و مدل‌سازی آبخوان با استفاده از روش تفاضل محدود و مدل Modflow، اولین گام تقسیم‌بندی مکانی محدوده مورد مطالعه به یکسری شبکه یا سلول مربعی و یا مستطیلی است. لذا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری ارتش، لایه توپوگرافی استخراج و رقومی گردید. براساس ۱۴ پیزومتر موجود در محدوده آبخوان خطوط هم‌پتانسیل ترسیم و به عنوان سطح ایستابی اولیه وارد مدل گردید. به منظور مشخص نمودن ضخامت لایه اشباع براساس ژئوفیزیک‌های صورت پذیرفته در محدوده آبخوان سنگ بستر نیز وارد شبکه مدل گردید.

به منظور برآورد حجم آب زیرزمینی ورودی و خروجی به آبخوان ابتداء مقاطع ورود و خروج آب زیرزمینی شناسایی و براساس آن احجام برآورد و در جداول ۳ و ۴ ارائه شد. شکل ۴ موقعیت مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی در آبخوان هشتگرد را نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده از پارامترهای بیان آب زیرزمینی در محدوده آبخوان هشتگرد، جدول ۴ خلاصه آماری آن را ارائه می‌دهد که براین اساس مجموع تغذیه آبخوان ۳۰۷/۸۴ میلیون متر مکعب و مجموع تخلیه از آبخوان ۳۲۷/۳۱ میلیون متر مکعب بصورت سالانه برآورد شده است که سالانه کسری مخزن ۱۹/۴۷ میلیون متر مکعب خواهیم داشت. روش توازن بین ورودی و خروجی به عنوان روش انتخابی جهت برآورد بیان می‌باشد.

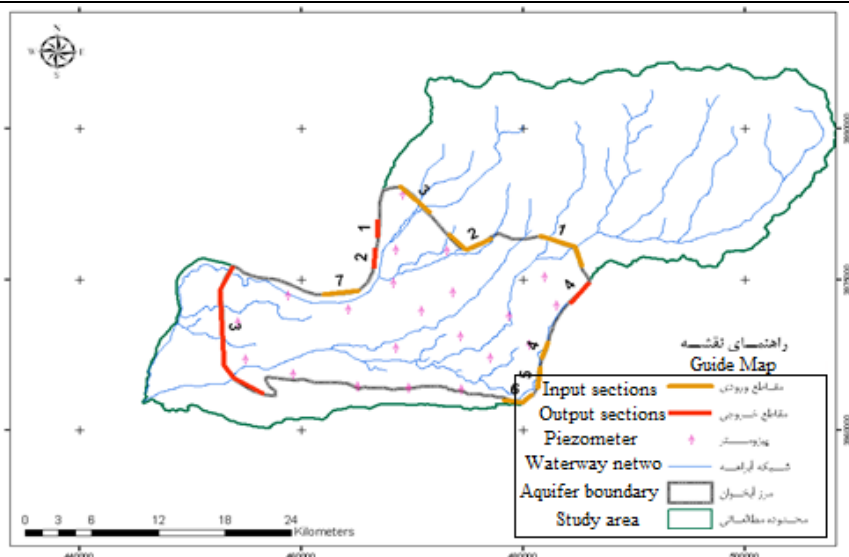
جدول ۳- مقاطع ورودی به آبخوان هشتگرد

Table 3- Entrance sections to Hashtگرد aquifer

جریان ورودی (MCM) Entrance flow (MCM)	دبی (m ³ /day) Flow (m ³ / day)	قابلیت انتقال (m ² /s) Transferability (m ² / s)	شیب هیدرولیکی Hydraulic gradient	اختلاف ارتفاع (m) Height difference(m)	عرض (m) Width(m)	طول (m) Length(m)	شماره مقطع Section number
53.08	147400	1100	0.02	10	500	6700	1
20.59	56400	600	0.02	10	500	4700	2
13.09	35854	1500	0.005	10	2050	4900	3
6.48	17767	1300	0.003	7	2100	4100	4
1.05	2864	100	0.004	6	1676	800	5
0.51	1395	700	0.001	5	4266	1700	6
1.09	2994	500	0.004	7	1695	1450	7
96.61			جمع کل				

مقطع خروجی Output section

1.01	2763	500	0.003	5	1900	2100	1
2.63	7200	500	0.005	8	1500	2700	2
4.38	12000	500	0.002	6	3500	14000	3
12.46	34125	1300	0.025	10	400	1050	4
20.47			جمع کل				



شکل ۴- مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی به آبخوان هشتگرد

Figure 4- Input and output sections of groundwater in Hashtگرد aquifer

جدول ۴- خلاصه بیلان آب زیرزمینی آبخوان هشتگرد- MCM (واحد اعداد: میلیون متر مکعب)

Table 4- Summary of Groundwater balance of Hashtگرد aquifer- MCM (Numbers unit: Million Cubic Meters)

جریان زیرزمینی ورودی Entrance underground flow	نفوذ از بارندگی Penetration of precipitation	نفوذ از جریانات سطحی Penetration of surface flow	نفوذ آب برگشتی کشاورزی Penetration of agricultural returned water	نفوذ آب برگشتی شرب و صنعت Penetration of returned water, Drinking and industrial	تخلیه از منابع آب زیرزمینی Discharge of groundwater resources	زهکشی Drainage	تبخیر از آبخوان Evaporation from the aquifer	خروجی آب زیرزمینی Underground water outlet
96.61	27.38	58.87	106.64	18.34	306.84	.	.	20.47

مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت ۲۰ ساله برای هر ماه $(12 \geq i \geq 1)$ ، $(\bar{T}_{GCM, fut, i})$ میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $(\bar{T}_{GCM, base, i})$ میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد. برای بارندگی نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد (جونز و هولم ۱۹۹۶).

مدلسازی آب سطحی با استفاده از IHACRES

مدل بارش رواناب IHACRES توسط جکمن و هورمبرگر^۱ در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. اساس این روش از دو مدول غیر خطی کاهش^۲ و مدول خطی هیدروگراف^۳ تشکیل می‌شود (رحیمی‌نسب و همکاران ۱۳۹۰). به این منظور در ابتدا بارندگی r_k و دما t_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر u_k تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل ۵).

به منظور اجرای صحیح و دقیق مدل ماندگار در آبخوان هشتگرد، ورود پارامترهای بیلان آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور با ورود پارامترهای نفوذ از بارندگی، نفوذ از سیلاب با استفاده از نتایج مدل IHACRES جریان ورودی آب زیرزمینی، نفوذ از حوضه ی مجاور و آب بازگشتی از چاه‌های آب را به عنوان ورودی‌های سفره و همچنین پارامترهای جریان زهکش خروجی و پمپاژ از چاه‌ها به عنوان خروجی از آبخوان در نظر گرفته شد.

بحث و نتایج

نتایج حاصل از مدل سازی آب زیرزمینی و سطحی برای

دوره پایه

پس از واسنجی مدل آب زیرزمینی در حالت ماندگار هدایت هیدرولیکی آبخوان در نقاط مختلف در بین ۰/۵ تا ۱۹ متر بر روز تعیین شده است. به طور متوسط و برای کل آبخوان، مقادیر خطای نسبی به مقدار ۰،۱۸۵-، مقدار خطای مطلق به میزان ۰،۷۸۹ و مقدار ریشه دوم مجذور مربعات خطا ۰،۹۳۲ متر محاسبه شده است که دقت بالای این شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

همچنین برای ارزیابی دقیق مدل طراحی شبکه و سلول‌های آن در محدوده آبخوان صورت پذیرفت، که خصوصیات هیدرودینامیکی، تغذیه و تخلیه در محدوده‌ای از آبخوان که در داخل یک سلول واقع می‌شود یکسان فرض می‌گردد. ضرورت انتخاب ابعاد کوچکتر در مناطقی بیشتر است که خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدرودینامیکی آبخوان در فواصل کم تغییرات قابل ملاحظه‌ای داشته باشد و یا اینکه قسمت‌هایی از آبخوان برای موارد خاصی مورد مطالعه قرار گیرد. در غیر این صورت، نیازی به کاهش ابعاد سلول‌ها نیست. با توجه به شرایط آبخوان سلول‌هایی با مساحت ۵۰۰*۵۰۰ متر مربع انتخاب گردید. برای واسنجی و صحت‌سنجی در دو حالت ماندگار (یک سال داده ماهانه) و غیرماندگار (تمام دوره آماری) استفاده شد که هر یک برای برآورد مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره به کار می‌روند.

سناریوهای RCP و مدل اقلیمی HadGEM2

جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ارزیابی پنجم از آن استفاده شده است، نماینده خط سیر غلظت^۱ نام دارد، که شامل ۴ سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 است (Vuuren et al., 2011). این سناریوها بیانگر خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند و جایگزین سناریوهای قبلی SRES شده‌اند. این سناریوها، چهار آینده اقلیمی ممکن را توصیف می‌کنند، که تمام آنها بر این اصل استوارند که میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای به چه میزان در آینده منتشر خواهند شد. اسامی این چهار سناریو براساس میزان انرژی بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ است، که طبق این سناریوها بدست آمده است. به طور مثال طبق سناریو RCP8.5، میزان انرژی اضافی در سال ۲۱۰۰ میلادی برابر با ۸/۵ وات بر هر متر مربع است. این سناریوها براساس محدوده وسیعی از تغییرات قابل امکان در میزان گازهای تولیدی توسط عوامل غیر طبیعی مانند انسان‌ها در آینده استوار هستند. از مدل HadGEM2 که از سایت جهانی IPCC قابل دسترس است با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری که توسط نرم‌افزار LARS-WG انجام گرفته است برای داده‌های دما و بارش برای آینده استفاده شده است. برای ایجاد سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM، مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۱) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۲) بین میانگین ۲۰ ساله در دوره‌های آتی و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود.

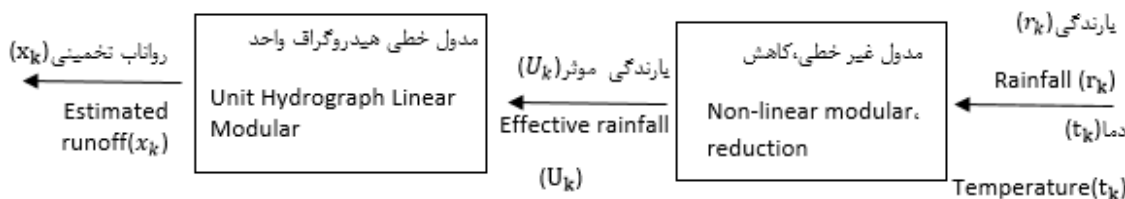
$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM, fut, i} - \bar{T}_{GCM, base, i}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}_{GCM, fut, i} / \bar{P}_{GCM, base, i}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط فوق (ΔT_i) و (ΔP_i) به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم

1- Jakeman and Hornberger
2- Non- linear loss module
3- Linear unit hydrograph module

1- Representative Concentration Pathways



شکل ۵- فرآیند شبیه‌سازی بارش- رواناب مدل IHACRES همراه با مدول های خطی و غیر خطی
Figure 5- The simulation process of rainfall-runoff IHACRES model with linear and nonlinear modules

غیرماندگار به طور متوسط و برای کل آبخوان، مقادیر خطای نسبی به مقدار ۵،۲۸۵، مقدار خطای مطلق به میزان ۵،۷۷۵ و مقدار ریشه دوم مجذور مربعات خطا ۸،۰۴۰ متر محاسبه شده است. در جدول ۵ ضرایب مربوط به واسنجی مدل IHACRES و پارامترهایی که در بخش خطی و غیرخطی توسط این مدل برای هر کدام از ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شده نشان داده می‌شود. شکل ۶ مقادیر حاصل از صحت‌سنجی را نشان می‌دهد.

نتایج خروجی مدل اقلیمی HadGEM2

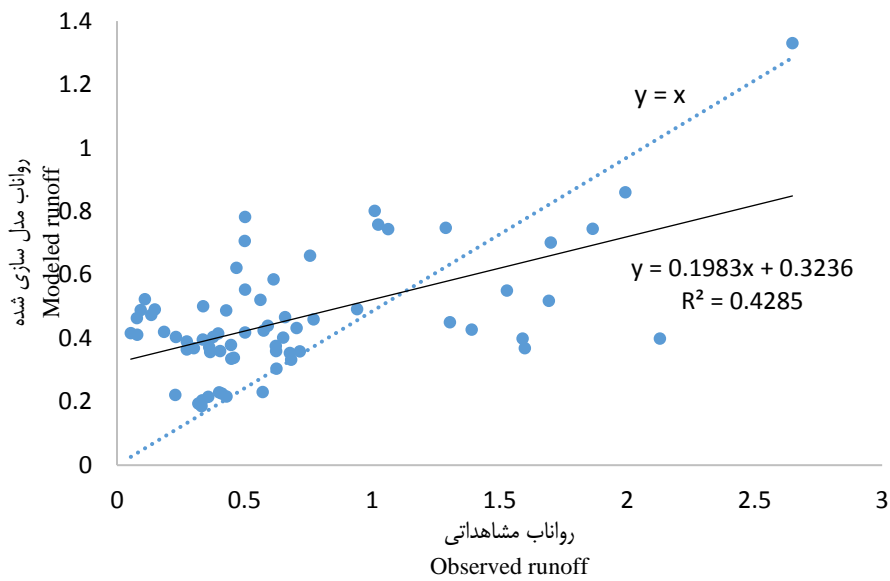
همانطور که ذکر شده است، از مدل HadGEM2 ارائه شده در گزارش IPCC برای استخراج داده‌های ماهانه بارش و دمای کمینه و بیشینه در منطقه مطالعاتی طی دوره پایه و دوره آتی ۲۰۴۰ تحت دو سناریو انتشار RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شد. در این پژوهش، میزان تغییرات میانگین دمای ماکسیمم، مینیمم و میزان درصد تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره آتی نسبت ۲۰۴۰ نسبت به دوره پایه مدل اقلیمی بدست آمد. خروجی‌های داده‌های ریزمقیاس شده در زیر آمده است.

به منظور اجرای مدل در حالت ناپایدار باید بازه‌های زمانی برای مدل تعریف شود. بازه زمانی در مدل‌سازی به دو صورت دوره تنش و گام زمانی قابل تعریف است که باید قبل از تعریف سایر پارامترها نظیر منابع تغذیه و تخلیه در شرایط ناپایدار برای مدل تعریف شوند. در دشت هشتگرد طول دوره تنش یک ماه و با توجه به اندازه‌گیری ماهانه سطح آب در پیزومترها، گام زمانی نیز یک ماه انتخاب شد. بنابراین به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه برای حالت ناپایدار از مهرماه ۱۳۸۶ تا اواخر آذر ۱۳۹۲ به مدت شش سال و سه ماه برای مدل تعریف شد و مدل مفهومی از حالت پایدار به حالت ناپایدار تغییر داده شد. بنابراین داده‌های سطح آب در رودخانه‌ها، تغذیه از بارندگی و آب برگشتی از چاه‌ها، نرخ پمپاژ از چاه‌ها، بار هیدرولیکی شرایط مرزی به و داده‌های سطح آب زیرزمینی در پیزومترها به صورت ماهیانه وارد مدل مفهومی شد. همچنین در حالت ناپایدار باید پارامتر آبدهی ویژه برای مدل تعریف شود. پس از اجرای مدل در شرایط ناپایدار، مقادیر آبدهی ویژه بهینه شد. مقدار آبدهی ویژه بهینه شده در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۲۷ متغیر می‌باشد. قابل ذکر است که در این مرحله از آمار منابع و مصارف سال ۱۳۸۷ استفاده شده است. نتایج دقت واسنجی مدل در حالت

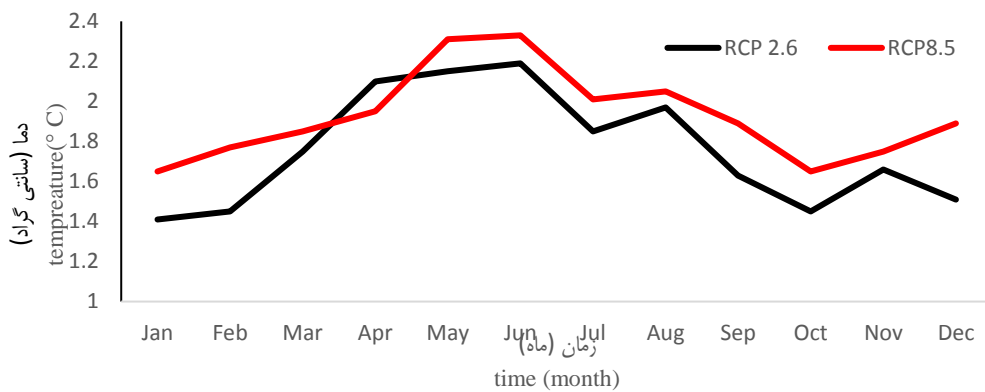
جدول ۵- ارزیابی مدل IHACRES در مرحله واسنجی برای ایستگاه نجم‌آباد

Table 5- Evaluation of the IHACRES model at calibration stage for Najmabad Station

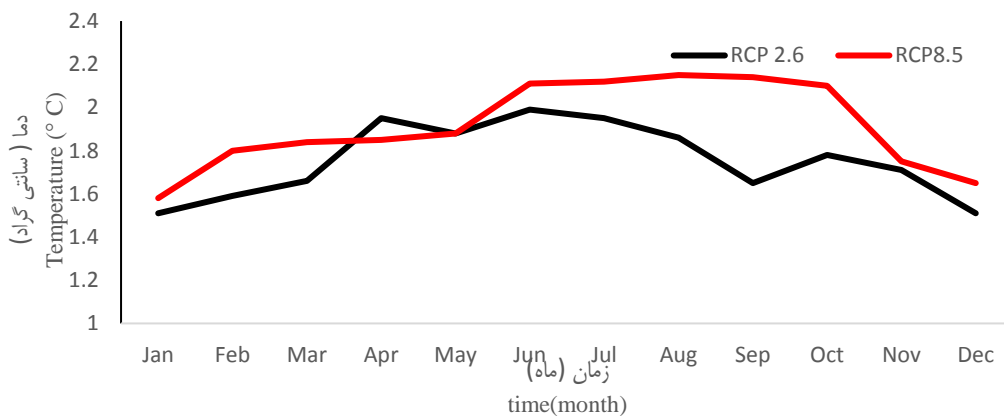
شاخص آماری	مقدار	شاخص آماری
Statistical index	Value	Statistical index
Bias	0.5	خطا در مجموع حجم جریان (میلی‌متر در سال) Error in total flow volume (millimeter per year)
Rel.Bias	0.346	خطای نسبی در مجموع حجم جریان Relative error in total flow volume
R Squared	0.568	اندازه تناسب دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده (ضریب تبیین) The size of the fit between the observed discharge and the flow rate simulated (Coefficient of determination))
R ² -sqrt	0.753	ارزیابی ضریب تبیین Evaluate the Coefficient of Determination



شکل ۶- نتایج صحت سنجی مدل هیدرولوژی
Figure 6- Validation results of the hydrologic model



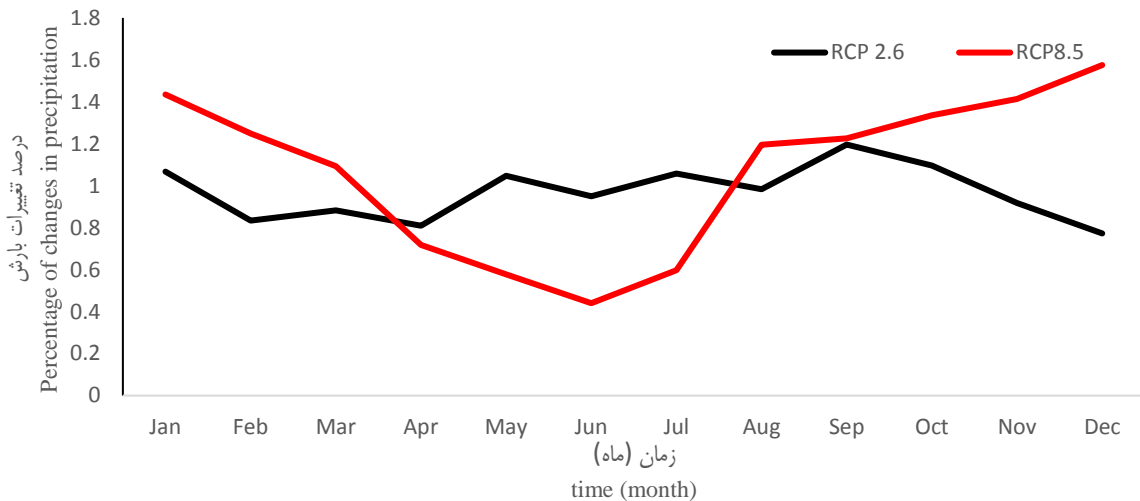
شکل ۷- میزان تغییرات دمای کمینه ماهانه در دوره آتی
Figure 7- Changes in the minimum monthly temperature in the upcoming period



شکل ۸- میزان تغییرات دمای بیشینه ماهانه و سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه
Figure 8- The monthly and annual maximum temperature changes in future period compared to the base course

دوره پایه تخمین می‌زنند. در شکل ۹ میزان درصد تغییرات بارش برای دو سناریو آمده است.

همانطور که در شکل ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود، نتایج بدست آمده آشکار می‌سازد که، مدل HadGEM2 در این مطالعه تحت هر دو سناریو انتشار، دمای بیشتری را در تمام ماه‌ها برای دوره آتی نسبت به



شکل ۹- میزان درصد تغییرات بارش میانگین ماهانه و سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه

Figure 9- Monthly and annual rainfall percentage changes in the coming period compared to the base course

برای آبخوان بوجود خواهد آمد.

مطابق با یافته‌های این پژوهش، پژوهش کوهستانی (۱۳۸۸) نشان داده است که در اثر تغییر اقلیم در گرماب گلستان افت سطح آب زیرزمینی حدود ۴ متر خواهد بود. کارآموز و همکاران (۱۳۹۰)، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی باعث یک سیر نزولی بر روی حجم آبخوان شده است. در پژوهش دیگری توسط شاه نوریان (۱۳۹۱)، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در دشت گرگان حاکی از سیر نزولی حجم آبخوان با توجه به تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع و مصارف محدوده مطالعاتی می‌باشد. تمام این نتایج نشان دهنده اثر منفی تغییر اقلیم بر روی منابع آب زیر زمینی می‌باشد.

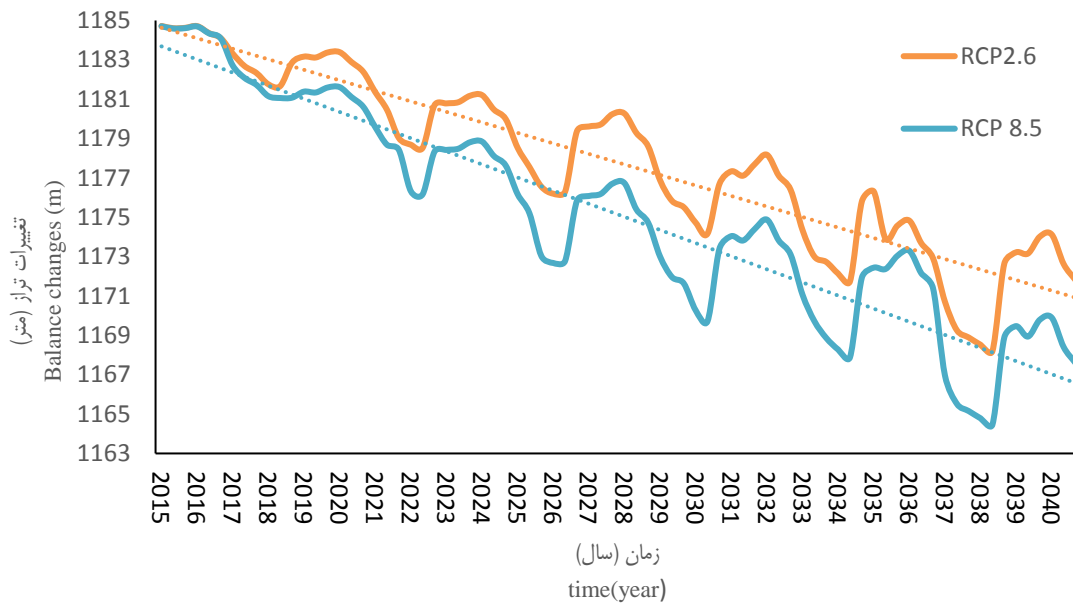
نتیجه‌گیری

پس از شبیه‌سازی مؤلفه‌های هواشناسی توسط مدل HadGEM2 معرفی شده در AR5 با استفاده از نرم‌افزار LarsWG و اعمال تغییرات آینده بارش و دما بر روی مدل IHACRES و مدل ModFlow تحت نرم‌افزار GMS برای دو سناریوی RCP2.6 و RCP 8.5 تغییرات ماهانه رواناب سطحی و نوسانات آب زیرزمینی برای دوره آینده محاسبه شد.

پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی

پس از ساخت مدل‌های آب زیرزمینی و آب سطحی برای دوره پایه، با حفظ ضرایب و پارامترهای موجود، با تغییر مقادیر بارش و دما برای دوره آینده، ابتدا میزان تغییرات جریان آب سطحی برای دوره آینده بدست آمد و سپس با استفاده از آن میزان تغذیه به آب زیرزمینی وارد مدل شد. مدل‌سازی آینده نشان داد که تغییرات رواناب سطحی حدود ۷ درصد کاهش برای سناریو RCP 2.5 و ۱۹ درصد کاهش برای سناریو RCP 8.5 خواهد داشت. تغذیه همچنین شامل تغذیه از بارش می‌شود. برای دوره آینده میزان تغییرات در مصرف و برداشت از آب زیرزمینی ثابت در نظر گرفته شده است. حال با تغییرات رخ داده در بارش تحت دو سناریوی یاد شده، پیش‌بینی می‌شود آبخوان تا سال ۲۰۴۰ حدود ۱۲ متر افت را برای سناریوی RCP 2.6 و برای سناریوی RCP 8.5 میزان ۱۸ متر افت را تجربه کند. شکل ۱۰ تغییرات از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۰ را برای متوسط وزنی تمام پیژومترها نشان داده است.

با توجه به شکل ۱۰ مشخص می‌شود که تغییرات آبخوان به صورت فصلی همچنان وجود خواهد داشت و سناریوی RCP2.6 وضعیت بهتری نسبت به سناریوی دیگر خواهد داشت. لازم به ذکر است که اگر شرایط برداشت‌ها به صورت ثابت فرض نشوند و به صورت خطی برداشت‌ها افزایش پیدا کنند، حتما شرایط فوق بحرانی



شکل ۱۰- هیدروگراف واحد در آبخوان هشنگرد تحت شرایط تغییر اقلیم

Figure 10- Unit hydrograph in Hashtgerd aquifer under climate change conditions

شکل ۱۰ تغییرات از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۰ را برای متوسط وزنی با توجه به مساحت تیسین برای تمام پیژومترها نشان داده است. همچنین برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود تا از مدل‌های دیگر تغییر اقلیم و مقایسه سناریوهای بیشتر و همچنین مقایسه سناریوهای جدید و قدیمی به منظور بررسی عملکرد مدل‌های اقلیمی استفاده گردد.

با توجه به افزایش دما در حدود ۱/۸ درجه سانتی‌گراد در بدترین حالت و تغییرات متفاوت بارش در ماه‌های مختلف، مشخص شد که رواناب حدود ۱۵ درصد برای سناریوی اول و ۲۰ درصد کاهش برای سناریوی دوم وجود خواهد داشت. با توجه به ثابت نگه داشتن میزان برداشت‌ها از آب زیرزمینی در سال‌های آینده، مشخص شد که آبخوان تا سال ۲۰۴۰ حدود ۱۲ متر افت را برای سناریوی RCP 2.6 و برای سناریوی RCP 8.5 میزان ۱۸ متر افت را تجربه کند. که در

منابع

- 1- Goodarzi M. 2011. Investigation and evaluation the effects of climate changes on surface runoff (case study: Karkheh Oliya). PhD dissertation, Faculty of Geography, Tabriz University.
- 2- IPCC-TGCI. 2014. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment report 5, Intergovernmental Panel on Climate Change, task group on scenarios for climate impact assessment.
- 3- Karamouz M., Rezapour Tabari M., Kerachian R., and Zahraie B. 2005. Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources with Emphasis on Water Quality. Water and Environmental Resources Congress, ASCE, Alaska.
- 4- Karamouz M., Mohammad Rezapour Tabar M., Kerachian R., and Zahraie B. 2005. Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources with Emphasis on Water Quality. Water and environmental resources congress, ASCE, Alaska.
- 5- Kao-Chin H., Chug-Ho W., Kuan-Chin C., Chien-Tai C., and Kai-Wei M. 2010. Climate-induced hydrological impacts on the groundwater system the pingtung plain, Taiwan.
- 6- Kay A. L., Jones R. G., and Reynard N. S. 2006. RCM Rainfall for UK floodfrequency estimation. II. Climatechange results. Journal of Hydrology, 318: 163-172.
- 7- Kidmose J., Refsgaard J. C., Troldborg L., Seaby L. P., and Escrivà M. M. 2013. Climate change impact on groundwater levels: ensemble modelling of extreme values. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 1619-1634.
- 8- Kouhestani N. 2009. The Impact of Climate Change on Groundwater Level (Case Study: Narmab Basin in Golestan Province), National Conference on Water Crisis Management, 12 March, 2009. Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.
- 9- Kokkonen T. S., and Jakeman A. J. 2002. Structural Effects of Landscape and Land Use on Streamflow Response, in: Environmental Foresight and Models: A Manifesto, 22: 303-321.

- 10- Kokkonen T. S., Jakeman A. J., Young P. C., and Koivusalo H. J. 2003. Predicting daily flows in ungauged catchments: model regionalization from catchment descriptors at the Coweeta Hydrologic Laboratory, North Carolina. *Hydrol. Process*, 17: 2219-2238.
- 11- Lee E., Seong C., Kim H., Park S., and Kang M. 2010. Predicting the impacts of climate change on nonpoint source pollutant loads from agricultural small watershed using artificial neural network. *J Environ Sca (China)*, 22: 840-845.
- 12- Montazeri M., and Fahmi H. 2003. The effect of climate change on water resources of Iran. *Third Regional Conference and First National Conference on Climate Change*, pp. 289-285.
- 13- Mshkvaty A. M., Kordjezi M., and Babaiean A. 2010. investigation and evaluation of Lars model in the simulation of meteorological data in Golestan province during the period of 1993-2007. *Journal of Applied Research of Geographic Sciences*, 16(19): 96-81.
- 14- Por hemmat F. 2016. Simulation of groundwater flow system in Ravansar-Sanjabi Plain aquifer using GMS software, Tehran Soil and Watershed Management Institute, Final Report.
- 15- Rasmussen P., Sonnenborg T. O., Gonciar G., and Hinsby K. 2013. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer. *Earth Syst. Sci*, 17, 421-443.
- 16- Setegn S.H.G., Rayner D., Melesse A.M., and Dargahi B. 2011. Impact of climate change on the hydro-climatology of Lake Tana basin, Ethiopia. *Journal of Water Resources Research* 47. 2011. Pages 113.

Evaluation of Climate Change Impacts on Surface Runoff and Groundwater Using HadGEM2 Climatological Model (Case Study: Hashtgerd)

F.S. Mortazavizadeh¹- M. Goodarzi^{2*}

Received: 04-12-2017

Accepted: 23-04-2018

Introduction: After the industrialization period, when humankind was able to multiply the speed and quantity of its production, the planet faced a new crisis, although this crisis was less known until the late 20th century. From the last years of the 20th century, the term of change has been added to the scientific literature of the world. The main reasons are the change in the phenomenon of blockage of greenhouse gases, especially carbon dioxide in the atmosphere of the planet. In this research, while introducing CMIP models under RCP scenarios, modeling of groundwater fluctuations using the MODFLOW numerical code is dominated by GMS software. The LarsWG software was used for statistical exponential measurements. Groundwater changes in the study area (Hashtgerd) are of great importance to the people of this region due to the proximity of the area to Tehran and the availability of horticultural products. The main objective of this research is to investigate the future fluctuations of groundwater in Hashtgerd plain over the next period from 2015 to 2040 using the HADGEM2 model under two scenarios RCP2.6 and RCP8.5. Innovations of this scheme include the use of the HadGEM2 climatic model to investigate the variation of underground water fluctuations.

Materials and Methods: In order to study and model the aquifer using the finite difference method and the Modflow model, the first step in the spatial division of the study area into a square or rectangular cell or network. Therefore, using topographic maps 1: 25000 of the Army Mapping Organization, the topographic layer was extracted and digitally extracted. Based on the 14 piezometers in the aquifer area, the potential lines were plotted and entered into the model as the initial staging level. In order to determine the thickness of the saturation layer, based on the geophysics in the aquifer, the bedrock was also introduced into the model network. In addition, to accurately evaluate the design of the network and its cells in the aquifer area, the hydrodynamic, feeding and evacuation characteristics of the aquifer within a cell are assumed the same. It is necessary to select smaller dimensions in areas where hydrological and hydrodynamic characteristics of the aquifer are significant at low distances, or that parts of the aquifer are studied for specific cases. Otherwise, it is not necessary to reduce the size of the cells. According to aquifer conditions, cells with 500 * 500 square meters area were selected. Calibration and verification were used in two steady state (one year data) and non-residual (full statistical period), each used for estimation of hydraulic conduction values and storage factor.

Results and Discussion: After calibration of the groundwater model in steady state, the hydraulic conductivity of the aquifer in different locations is in the range of 0.5 to 19 meters. In order to run the model in an unstable state, time intervals must be defined for the model. The time interval in modeling is defined in terms of both the stress period and the time step which must be defined before the definition of other parameters such as power and discharge conditions in unstable conditions. In the Hashtgerd plain, the length of the one-month stress period and the monthly measurements of the water level in piezometers, the time step were also selected for a month. Therefore, in order to simulate the groundwater flow, the study area for the unstable state was defined from October 2007 to late December 2013 for six years and three months for the model and the conceptual model was changed from unstable to unstable state. Therefore, data on surface water in rivers, the feeding of rainfall and return water from wells, pumping rates from wells, hydraulic load of boundary conditions, and groundwater surface data in piezometers were introduced monthly into a conceptual model. In addition, in an unstable state, the specific discharge parameter must be defined for the model. After implementation of the model in unstable conditions, special discharge rates were optimized. The amount of specially tailored discharge in the study area varies from 0.001 to 0.27. It should be noted that at this stage, the resource and expenditure statistics of 2008 were used. After constructing groundwater and surface water models for the base period, maintaining the existing coefficients and parameters, changing the rainfall and temperature values for the future period, first, the amount of surface water flow changes for the future period and then using the amount of

1- M.Sc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

2- Associate Professor, Forest and Rangeland Research Institute, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: massoudgoodarzi@yahoo.com)

nutrition The groundwater entered the model. Future modeling showed that surface runoff variations would be about 7 percent lower for RCP 2.5 and 19 percent for the RCP scenario of 8.5. Nutrition also includes nutrition from the rainfall. For the upcoming period, changes in land use and land use counts are considered constant. With rainfall changes under the two scenarios, the aquifer is projected to drop by about 12 m by 2040 for the RCP scenario of 2.6 and for the RCP scenario of 8.5 by 18 m.

Conclusions: After simulating the meteorological component by the HadGEM2 model introduced in AR5 using LarsWG software and applying future changes in rainfall and temperature on the IHACRES model and ModFlow model under GMS software for the two scenarios RCP2.6 and RCP 8.5, respectively. Due to the temperature rise of 1.8 ° C in the worst case and different rainfall variations in different months, it was found that runoff would be about 15% for the first scenario and 20% for the second scenario. The same factors are because the level of penetration into groundwater through snow melting as well as precipitation along with surface runoff is one of the important factors in feeding to the aquifer. Given the constant maintenance of groundwater withdrawals in the coming years, it was found that the aquifer will drop by about 12 m for the scenario RCP 2.6 by 2040, and for the RCP 8.5 scenario, it will drop by 18 m.

Keywords: HadGEM2, Hashtgerd Plain, IHACRES, Modflow