

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد براساس سناریوهای RCP

مسعود گودرزی^{*}، فاطمه سادات مرتضوی زاده^۲

۱. استادیار، گروه خشکسالی و تغییر اقلیم، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۱/۲۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۴/۲۷)

چکیده

هم‌اکنون آثار منفی تغییر اقلیم به همراه بحران آب از مهم‌ترین دغدغه‌های جهانی است. پژوهش حاضر، نوعی روش کار پیشرفته برای بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم روی نوسانات سطح آب زیرزمینی است. در تحقیق حاضر برای شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی و بررسی بیلان آب دشت هشتگرد از مدل مفهومی مادفلو استفاده شده است. به این منظور، هدایت هیدرولیکی در حالت ماندگار و آبدهی ویژه در حالت غیرماندگار واسنجی شد. به منظور برآورد بارندگی و دما در منطقه از مدل ترکیبی CMIP5 تحت سناریوهای RCP2.5 و RCP8.5 استفاده شد. این داده‌ها توسط مدل LARS-WG طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۰ برای منطقه ریزمقیاس‌نمایی شد. خروجی داده‌ها در مدل بارش رواناب IHACRES وارد و میزان رواناب منطقه تحت شرایط تغییر اقلیم محاسبه شد. میزان نفوذ ناشی از رواناب دوباره به همراه پارامترهای تحت تأثیر تغییر اقلیم وارد مدل مادفلو شد و مدل‌سازی انجام گرفت. مدل کمی نشان داد که با وضعیت موجود آبخوان هشتگرد با توجه به افت سالانه ۷۳ سانتی‌متری در زمان حال، این میزان افت در آینده بیشتر خواهد شد و آبخوان را از حالت بحرانی به حالت فوق بحرانی تبدیل می‌کند. نتایج نشان می‌دهد در سناریوی RCP8.5، آبخوان هشتگرد وضعیت بحرانی‌تری 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، به میزان افت ۱۸ متر نسبت به زمان حال خواهد رسید.

کلیدواژه‌گان: تغییر اقلیم، دشت هشتگرد، ریزمقیاس‌گردانی، سناریوهای RCP، مدل IHACRES، مدل MODFLOW، نوسان آب زیرزمینی، CMIP5.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی، در بیشتر مناطق جهان، از نظر تأمین آب، جایگاه ویژه‌ای دارند. پس از دوران صنعتی شدن که بشر توانست سرعت و میزان تولیدات خود را چندین برابر کند، کره زمین با بحران جدیدی روبه‌رو شد و واژه تغییر اقلیم توسط ویکونا و دراکوپ به ادبیات علمی جهان اضافه شد [۱ و ۲]. دلایل اصلی تغییر اقلیم، پدیده محبوس شدن گازهای گلخانه‌ای در جو کره زمین است. در پژوهش حاضر ضمن معرفی مدل‌های CMIP تحت سناریوهای RCP به مدل‌سازی نوسانات آب زیرزمینی در قالب نرم‌افزار GMS پرداخته شده است [۳]. برای ریزمقیاس‌نمایی آماری از نرم‌افزار LarsWG استفاده شده است [۲]. مدل AOGCM استفاده‌شده در پژوهش حاضر مدل ترکیبی حاصل از ۲۹ مدل CMIP5 است [۴]. تغییرات آب زیرزمینی در منطقه مطالعه‌شده (هشتگرد) به دلیل نزدیکی به شهر تهران و همچنین، وجود تولیدات محصولات باغی و زراعی برای مردم بسیار این منطقه بااهمیت است. تراکم زیاد جمعیت در استان البرز، ۱۰ برابر متوسط کشوری بوده و سرانه آب در این منطقه به مراتب کمتر از متوسط کشوری است. تمرکز زیاد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی در قالب صنعت، کشاورزی و مسکونی در این منطقه، موجب شده است این دشت که از مهم‌ترین دشت‌های استان و کشور است، از نظر آسیب‌پذیری مورد توجه بیشتری قرار گیرد. براساس گزارش سال ۱۳۹۸ شرکت مدیریت منابع آب البرز، در حالت ممنوعه- بحرانی قرار دارد. از آنجا که آب زیرزمینی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع است، برای آگاهی یافتن از وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت کردن بهینه آن، باید بررسی دقیق نوسان‌های تراز آب زیرزمینی انجام شود. با بررسی دقیق نوسان‌های تراز آب زیرزمینی می‌توان نتایج آن را در مدیریت کردن منابع آب به کار برد. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی آینده نوسانات آب زیرزمینی دشت هشتگرد طی دوره آینده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۰ با استفاده از مدل ترکیبی CMIP5 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 است. طی چند سال اخیر کاربرد مدل مادفلو و نیز استفاده از مولد آب‌وهوایی لارس در داخل و خارج از کشور شروع شده است. کوهستانی (۱۳۸۸) طی پژوهشی در نرم‌اب استان گلستان تأثیر تغییرات اقلیمی روی سطح آب زیرزمینی را با استفاده از مدل مادفلو ارزیابی کرد. نتایج

پژوهش ایشان نشان داد بر اثر تغییر اقلیم در این منطقه، افت سطح آب زیرزمینی تا حدود ۴ متر بود [۵]. کارآموز و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان را با GCM ارزیابی کردند. آنها با مدل LARS-WG داده‌های بارش و دما را ریزمقیاس کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی سبب سیر نزولی آبخوان شده است. شاه‌نوریان (۱۳۹۱) تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت گرگان را بررسی کرد. نتایج مطالعه ایشان بیانگر سیر نزولی حجم آبخوان است [۶]. شهرکی (۱۳۹۲) در تحقیقی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل را با استفاده از داده‌های تراز آب ثبت‌شده ۳۵ حلقه چاه پیرومتری بررسی کرد. نتایج پژوهش ایشان بیانگر افت سطح آب کلیه چاه‌های پیرومتری مطالعه‌شده تحت هر سه سناریوی تغییر اقلیم برای دوره‌های آتی بود [۷]. سمیرمی (۱۳۹۲) آثار تغییر اقلیم بر آب زیرزمینی حوضه آبخیز بار نیشابور را ارزیابی کرد. نتایج تحقیق ایشان نشان‌دهنده افزایش میانگین سالانه دما، دمای حداکثر و حداقل است. همچنین، نتایج بیانگر کاهش حجم ذخایر آب زیرزمینی نسبت به دوره پایه بود [۸]. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با مدل ریاضی مادفلو، به بررسی بیلان آب زیرزمینی و بررسی آثار تغییر اقلیم بر بیلان آبی دشت تویسرکان با احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد پرداختند. آنها نشان دادند بیلان دشت منفی بوده و کسری مخزن حدود ۱۲/۲- میلیون متر مکعب بوده است. آثار تغییر اقلیم روی منابع آب دشت نشان می‌دهد به احتمال ۸۰ درصد مسئله بحران آب در دشت تویسرکان شدیدتر خواهد شد [۹]. گودرزی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات رواناب سطحی را با استفاده از مدل اقلیمی HadCm3 و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و مولد آب‌وهوایی Lars-WG با ۳ سناریوی خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که متوسط رواناب ماهانه بلندمدت در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه در آینده تا ۲۲/۳۵ درصد کاهش خواهد یافت و در دوره‌های آتی دورتر، این میزان بیشتر هم خواهد شد [۱۰]. بختیاری عنایت و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی رابطه بین خشکسالی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی را با GRI به عنوان شاخص منابع آب زیرزمینی در دشت هشتگرد بررسی کردند و در نهایت، نتیجه گرفتند در ارتباط زمانی

۲۰]. باب‌الحکمی و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی و پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه نکا را طی دوره‌های آتی را تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 ارزیابی کردند [۲۰ و ۲۹]. کیدموس و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی تأثیرات تغییر اقلیم روی سطح آب‌های زیرزمینی را با استفاده از مدل‌سازی وقایع حدی انجام دادند و پیش‌بینی خود را برای دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ ارائه کردند. در پژوهش یادشده افت سفره برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۲۳ متر محاسبه شده است [۲۱ و ۲۸]. بل و همکاران ۲۰۱۴ در تحقیقی نقش واسطه‌ای آب را در تغییر اقلیم و تغییرات در بخش‌های اقتصادی و معیشتی مردم مدل‌سازی کردند. در پژوهش یادشده معیشت و مسائل اقتصادی و تأثیرپذیری آن از آب زیرزمینی و درنهایت، محدودیت‌ها و فرصت‌های پیش رو در توسعه مدل‌سازی منابع آب در چارچوب این مدل یکپارچه بیان شده است [۲۲]. ولازکوئر و همکاران (۲۰۱۴) به ارزیابی جامع تأثیر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در حوضه مانچای شرقی واقع در اسپانیا پرداختند. آنها از مدل SWAT برای تخمین رواناب حوضه و به منظور ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی، مدل MT3DMS و برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی، مدل GMS-MODFLOW را به‌کار گرفتند [۲۳]. نتایج پژوهش آنها نشان داد کمیت و کیفیت آب زیرزمینی (آلودگی نیترات) همراه با تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی نیز تغییر می‌کند [۲۴ و ۳۰]. گودرزی و همکاران (۲۰۱۶) به منظور ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر ورودی آب زیرزمینی، از نوعی روش هیبریدی و برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر برداشت از آب‌های زیرزمینی، از نرم‌افزار Cropwat به منظور تعیین نیاز آبیاری تحت دو سناریوی A2 و B1 در دشت نجف‌آباد استفاده کردند و نتیجه گرفتند میزان افت سطح ایستابی در سطح دشت از حدود ۱/۲ متر به بیش از ۲/۵ متر در سال افزایش می‌یابد [۲۵].

مواد و روش‌ها

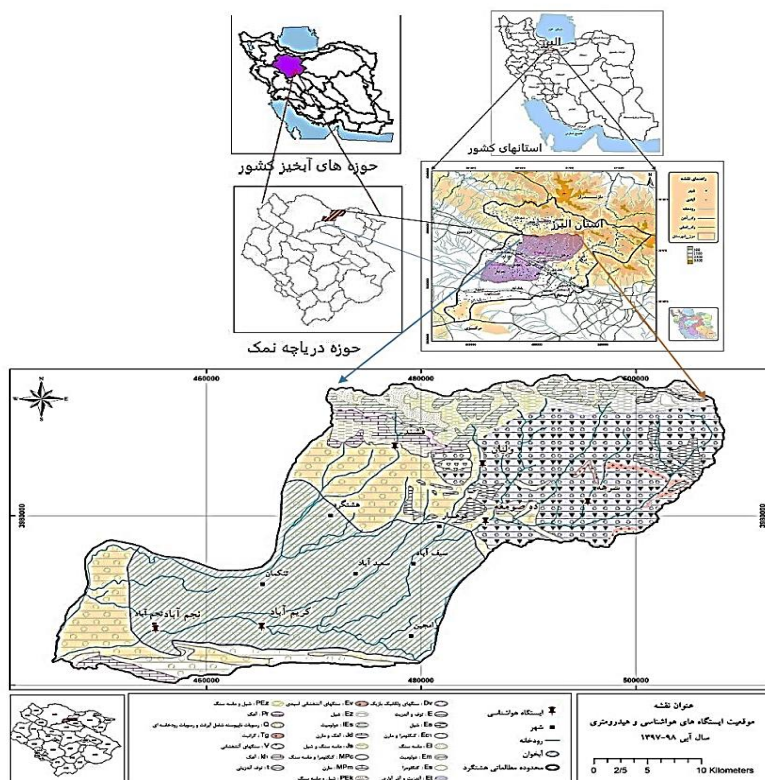
منطقه مطالعاتی و داده‌های استفاده‌شده

در کشور ما، ۶ حوضه آبخیز اصلی رتبه ۱ و ۳۰ حوضه رتبه ۲ وجود دارد. بخش عمده استان البرز در حوضه آبخیز دریاچه نمک واقع شده است و جزء حوضه‌های رتبه ۲ محسوب می‌شود. در استان البرز، سه دشت تهران-کرج، اشتهارد و

بین SPI و GRI علاوه بر وابستگی پایه زمانی شاخص خشکسالی و تأخیر زمانی بین این دو شاخص، به ارتباط درونی بین تأخیر و پایه زمانی نیز وابسته است [۱۱]. فاتحی و همکاران (۱۳۹۵) ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی جو را در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گیلان راستی‌آزمایی کردند و نتیجه گرفتند مدل لارس توان لازم را برای مدل‌سازی اقلیمی استان گیلان دارد [۱۲]. مصطفایی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به ارزیابی نقش پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی سرچاهان هرمزگان پرداختند [۱۳]. زارع‌زاده مهریزی و همکاران (۱۳۹۷) در یک تحقیق تغییرات جریان‌های آینده را بر اثر تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گاماسیاب ارزیابی کردند. آنها بر لزوم استفاده از مدل‌های سری CMIP5 با توجه به دقت زیاد آن، تأکید کردند و در تحقیق خود از دو سناریوی خوش‌بینانه RCP2.6 و بدبینانه RCP8.5 در دوره‌های آتی استفاده کردند [۱۴]. نتایج تحقیق یادشده مبین افزایش دما در هر دو سناریو و در همه ۵ ایستگاه مطالعه‌شده در استان‌های مختلف بود. جهانگیر و همکاران (۱۳۹۷) روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد را طی ۲۰ سال آتی با استفاده از مدل HadCm3 بررسی کردند [۱۵]. آنها پیش‌بینی کردند که ممکن است در این منطقه میانگین مجموع پارامترهای هواشناسی روند افزایشی داشته باشد [۱۶]. حمزه و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی اقدام به ارزیابی ریسک تأثیرات تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی آبخوان گتوند-عقیلی کردند. آنها با استفاده از مدل مادفلو تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 اقدام به شبیه‌سازی تغییرات تراز آب زیرزمینی این دشت کردند. براساس نتایج تحقیق یادشده، در سطح ریسک ۰/۱ بیشترین افت آبخوان ۱/۸ متر بوده است [۱۷]. جلالی و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب و رواناب را با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز سد لتیان تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars-WG بررسی کردند [۱۸]. جمالی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل‌های سری زمانی و GMS نوسان‌های سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان را پیش‌بینی کردند. نتایج شبیه‌سازی افت آب زیرزمینی نشان داد در تمامی مناطق دشت، سطح آب زیرزمینی افت کرده و بیشترین افت در بخش‌های جنوب غرب دشت صورت گرفته است [۱۹] و

هشتگرد وجود دارد. دشت هشتگرد با مساحتی ۴۱۰ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی استان البرز و در نیمه شمالی حوضه آبخیز دریاچه نمک بین طول‌های ۵۰°۳۹' تا ۵۱°۰۶' شرقی و عرض‌های ۳۵°۴۷' تا ۳۶°۰۷' شمالی واقع شده است (شکل ۱). نقشه کاربری اراضی دشت هشتگرد نشان می‌دهد تراکم زمین‌های کشاورزی در جنوب دشت واقع شده است. به‌منظور آنالیز پارامترهای دما در محدوده آبخوان

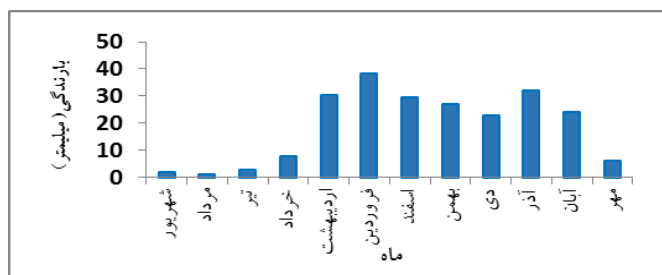
هشتگرد وجود دارد. دشت هشتگرد با مساحتی ۴۱۰ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی استان البرز و در نیمه شمالی حوضه آبخیز دریاچه نمک بین طول‌های ۵۰°۳۹' تا ۵۱°۰۶' شرقی و عرض‌های ۳۵°۴۷' تا ۳۶°۰۷' شمالی واقع شده است (شکل ۱). نقشه کاربری اراضی دشت هشتگرد نشان می‌دهد تراکم زمین‌های کشاورزی در جنوب دشت واقع شده است. به‌منظور آنالیز پارامترهای دما در محدوده آبخوان



شکل ۱. موقعیت منطقه پژوهش شده در کشور

جدول ۱. پارامترهای پنج‌گانه دمای ایستگاه کریم‌آباد

نام ایستگاه	دمای حداکثر مطلق	دمای حداقل مطلق	دمای میانگین حداقل	دمای میانگین حداکثر	میانگین دما	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
کریم‌آباد	۵۰	-۱۴/۵	۵	۲۶	۱۵	۵۱° ۳۶'	۳۵° ۵۰'



شکل ۲. میانگین درازمدت بارندگی ماهانه ایستگاه کریم‌آباد کرج

تغییرات تراز آب زیرزمینی در آبخوان و ارزیابی پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان مثل ضریب ذخیره استفاده می‌شود. بر این اساس، طی دوره یادشده، ۱۶/۴۷ متر افت سطح آب زیرزمینی وجود دارد که به طور متوسط سالانه ۷۴ سانتی‌متر می‌شود. شکل ۳ پیزومترهای موجود در آبخوان را در یک شبکه تیسین نشان داده است.

بیان آب زیرزمینی منطقه

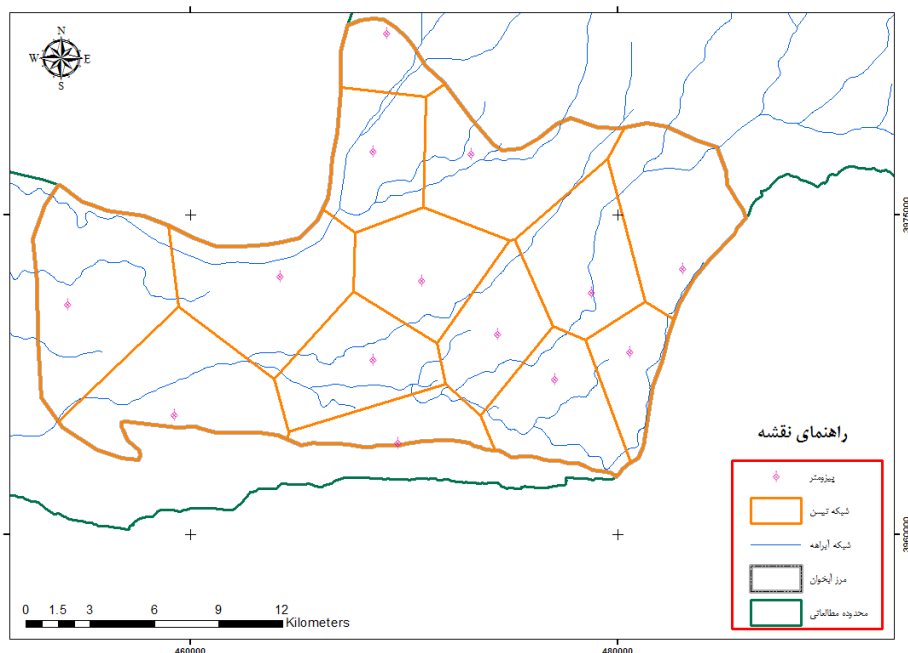
به منظور برآورد حجم آب زیرزمینی ورودی و خروجی به آبخوان، ابتدا مقاطع ورود و خروج آب زیرزمینی شناسایی شد و سپس، براساس آن حجم‌های مربوط به آن، برآورد شده و در جدول ۳ ارائه شد. شکل ۴ موقعیت مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی در آبخوان هشتگرد را نشان می‌دهد.

یکی از ارکان اصلی تغذیه آبخوان هشتگرد ناشی از نفوذ از جریان‌های سطحی در منطقه است، بنابراین بررسی وضعیت آبدی و رواناب سطحی در منطقه اهمیت دارد. سه ایستگاه هیدرومتری فشند، ده صومعه و نجم‌آباد تنها ایستگاه‌های هیدرومتری دایر در بالادست و خروجی آبخوان هشتگرد هستند که برای مطالعات هیدرولوژی و برآورد حجم تغذیه آبخوان ناشی از جریان‌های آب سطحی استفاده می‌شوند. جدول ۲ موقعیت و خصوصیات این ایستگاه را نشان می‌دهد.

شبکه پیزومتری یک منطقه با تعداد ۱۴ پیزومتر فعال و دارای آمار مستند در حال حاضر چگونگی سطح آب زیرزمینی منطقه را مورد سنجش قرار می‌دهند که از سال ۱۳۷۰ فعال بوده و آمار ثبت تا سال آبی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ استفاده شده است. هیدروگراف آبخوان برای ارزیابی رفتار

جدول ۲. خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری در آبخوان هشتگرد

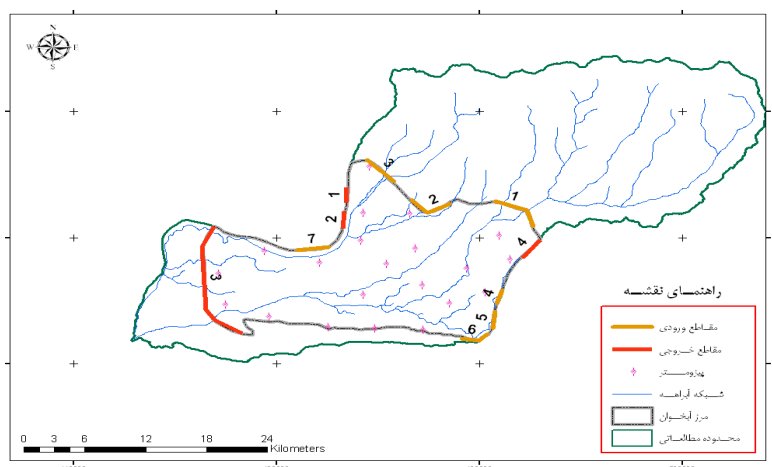
ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	کد ایستگاه	ارتفاع	X	Y	مساحت حوضه
۱	فشند (در بند)	فشند	۴۱-۰۹۳	۱۷۸۰	۵۰° ۳۰' ۱۵"	۳۶° ۰۲'	۳۳/۳
۲	ده صومعه	کردان	۴۱-۰۹۵	۱۴۱۰	۵۰° ۳۰' ۲۰"	۳۵° ۳۰' ۲۸"	۳۶۶/۷
۳	نجم‌آباد	کردان	۴۱-۰۹۷	۱۱۹۰	۵۰° ۳۰'	۵۰° ۳۰' ۲۰"	۶۱۲/۳



شکل ۳. شبکه پیزومتری در آبخوان هشتگرد

جدول ۳. مقاطع ورودی و خروجی آبخوان هشتگرد

شماره مقطع	طول (m)	عرض (m)	اختلاف ارتفاع (m)	شیب هیدرولیکی	قابلیت انتقال (m ² /s)	دبی (m ³ /day)	جریان ورودی (MCM)
مقاطع ورودی							
۱	۶۷۰۰	۵۰۰	۱۰	۰/۰۲	۱۱۰۰	۱۴۷۴۰۰	۵۳/۰۸
۲	۴۷۰۰	۵۰۰	۱۰	۰/۰۲	۶۰۰	۵۶۴۰۰	۲۰/۵۹
۳	۴۹۰۰	۲۰۵۰	۱۰	۰/۰۰۵	۱۵۰۰	۳۵۸۵۴	۱۳/۰۹
۴	۴۱۰۰	۲۱۰۰	۷	۰/۰۰۳	۱۳۰۰	۱۷۷۶۷	۶/۴۸
۵	۸۰۰	۱۶۷۶	۶	۰/۰۰۴	۱۰۰	۲۸۶۴	۱/۰۵
۶	۱۷۰۰	۴۲۶۶	۵	۰/۰۰۱	۷۰۰	۱۳۹۵	۰/۵۱
۷	۱۴۵۰	۱۶۹۵	۷	۰/۰۰۴	۵۰۰	۲۹۹۴	۱/۰۹
جمع کل							
							۹۶/۶۱
مقاطع خروجی							
۱	۲۱۰۰	۱۹۰۰	۵	۰/۰۰۳	۵۰۰	۲۷۶۳	۱/۰۱
۲	۲۷۰۰	۱۵۰۰	۸	۰/۰۰۵	۵۰۰	۷۲۰۰	۲/۶۳
۳	۱۴۰۰۰	۳۵۰۰	۶	۰/۰۰۲	۵۰۰	۱۲۰۰۰	۴/۳۸
۴	۱۰۵۰	۴۰۰	۱۰	۰/۰۲۵	۱۳۰۰	۳۴۱۲۵	۱۲/۴۶
جمع کل							
							۲۰/۴۷



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

جدول ۴. خلاصه بیلان آب زیرزمینی آبخوان هشتگرد - MCM

جریان زیرزمینی ورودی	نفوذ از بارندگی	نفوذ از جریان‌های سطحی	نفوذ از برگشتی کشاورزی	نفوذ از برگشتی شرب و صنعت	تخلیه از منابع آب زیرزمینی	زهکشی	تبخیر از آبخوان	خروجی آب زیرزمینی
۹۶/۶۱	۲۷/۳۸	۵۸/۸۷	۱۰۶/۶۴	۱۸/۳۴	۳۰۶/۸۴	.	.	۲۰/۴۷

سالانه کسری مخزنی معادل ۱۹/۴۷ میلیون مترمکعب خواهیم داشت. روش توازن بین ورودی و خروجی به‌عنوان روش انتخابی برای برآورد بیلان است.

شبیه‌سازی نوسان‌های آب زیرزمینی به‌منظور مطالعه و مدل‌سازی آبخوان با استفاده از روش تفاضل‌های محدود و مدل مادفلو، تقسیم‌بندی مکانی

براساس نتایج به‌دست‌آمده از پارامترهای بیلان آب زیرزمینی در محدوده آبخوان هشتگرد، خلاصه آماری بیلان آب زیرزمینی آبخوان هشتگرد در جدول ۴ ارائه می‌شود که مجموع تغذیه آبخوان ۳۰۷/۸۴ میلیون مترمکعب و مجموع تخلیه از آبخوان ۳۲۷/۳۱ میلیون مترمکعب به‌صورت سالانه برآورد شده است. در نتیجه،

سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند و جایگزین سناریوهای قبلی SRES شده‌اند. این سناریوها، چهار آینده اقلیمی ممکن را توصیف می‌کنند و بر این اصل استوارند که غلظت گازهای گلخانه‌ای به چه میزان در آینده منتشر خواهد شد. اسامی این چهار سناریو براساس میزان انرژی بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ است، که طبق این سناریوها به دست آمده است. سناریوهای یادشده به سناریوهای «واداشت تابشی» موسوم‌اند. به‌طور مثال، طبق سناریوی RCP8.5، میزان انرژی اضافی در سال ۲۱۰۰ میلادی در هر متر مربع 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 استوارند. از مدل ترکیبی یا Ensemble که از سایت جهانی IPCC قابل دسترس است با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری که توسط نرم‌افزار LARS-WG انجام گرفته است، برای داده‌های دما و بارش در آینده استفاده شده است [۳۳]. در جدول ۵ مشخصات مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر آورده شده است.

محدوده مطالعه‌شده به یک شبکه یا سلول انجام شد [۳۱]. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، لایه توپوگرافی استخراج و رقومی شد. براساس ۱۴ پیزومتر موجود در محدوده آبخوان خطوط هم‌پتانسیل ترسیم و به‌عنوان سطح ایستابی اولیه وارد مدل شد. ضخامت لایه اشباع براساس آزمایش‌های ژئوفیزیک انجام‌شده در محدوده آبخوان، وارد مدل شد. با توجه به شرایط آبخوان سلول‌هایی با مساحت ۵۰۰ * ۵۰۰ مترمربع انتخاب شد. برای واسنجی و صحت‌سنجی در دو حالت ماندگار (یک سال داده ماهانه) و غیرماندگار (تمام دوره آماری) استفاده شد. به‌دلیل اینکه توزیع مجموعه داده‌های بارش و تراز ایستابی آب زیرزمینی، بهنجار نیست، آزمون ناسنجه‌ای^۱ من-کندال برای تعیین کردن روند داده‌ها به کار گرفته شد [۳۲].

سناریوهای RCP و مدل ترکیبی CMIP5

جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ارزیابی پنجم معرفی شده است، نماینده خط سیر غلظت^۲ نام دارد، که شامل ۴ سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 و RCP8.5 می‌شود (Vuuren et al., 2011). این سناریوها بیانگر خط

جدول ۵. مشخصات عمومی مدل‌های منتخب CMIP5

مرجع	سناریوهای انتشار	قدرت تفکیک	نام مدل
Watanabe et al., 2010	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	2.8° * 2.8°	MIROC-ESM
Schmidt et al., 2014	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	2.0° * 2.5°	GISS-E2-R
Marsh et al., 2011	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	3.0° * 2.5°	CEM1(WACCM)
Collier et al., 2011	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	1.9° * 1.9°	CSIRO-MK 3.6.0
Watanabe et al., 2010	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	2.8° * 2.8°	MIROC-ESM-CHEM
Giorgetta et al., 2013	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5	1.9° * 1.9°	MPI-ESM- LR
Giorgetta et al., 2013	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5	1.9° * 1.9°	MPI-ESM-MR
Schmidt et al., 2014	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5	2.0° * 2.5°	GISS-E2-H
Hazeleger et al., 2010	RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5	1.1° * 1.1°	EC-EARTH

منبع: برگرفته از سایت IPCC

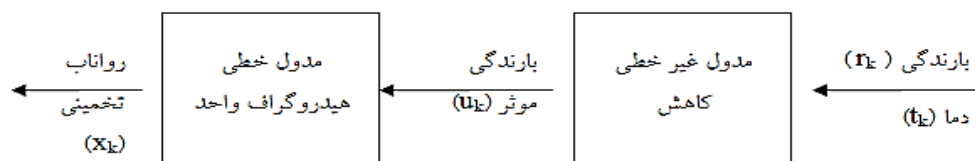
در روابط یادشده (ΔT_i) و (ΔP_i) به‌ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلندمدت ۲۰ ساله برای هر ماه ($12 \geq i \geq 1$)، میانگین $(\bar{T}_{GCM,fut,i})$ ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی‌شده توسط مدل AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، میانگین $(\bar{T}_{GCM,base,i})$ ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی‌شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه است. برای بارندگی نیز موارد یادشده برقرار است (جونز و هولم، ۱۹۹۶).

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 شبیه‌سازی‌شده پایه توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM,fut,i} - \bar{T}_{GCM,base,i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}_{GCM,fut,i} / \bar{P}_{GCM,base,i}) \quad (2)$$

1. Non-parametric
1. Representative Concentration Pathways



شکل ۵. فرایند شبیه‌سازی بارش- رواناب مدل IHACRES همراه با مدول‌های خطی و غیر خطی

شد. بنابراین، به‌منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی محدوده مطالعه شده 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 یافت. بنابراین، داده‌های سطح آب در رودخانه‌ها، تغذیه از بارندگی و آب برگشتی از چاه‌ها، میزان پمپاژ از چاه‌ها، بار هیدرولیکی شرایط مرزی و داده‌های سطح آب زیرزمینی در پیژومترها به‌صورت ماهانه 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 بهینه‌شده در منطقه مطالعه شده بین $0/001$ تا $0/27$ متغیر است. درخور یادآوری است که در این مرحله از آمار منابع و مصارف سال ۱۳۸۷ استفاده شده است. در جدول ۶، ضرایب مربوط به واسنجی مدل IHACRES و پارامترهایی که در بخش خطی و غیر خطی توسط این مدل برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شده است، نشان داده می‌شود. شکل ۶ مقادیر حاصل از واسنجی را نشان می‌دهد.

نتایج خروجی مدل ترکیبی AOGCM همان‌طور که گفته شده است، از یک مدل ترکیبی AOGCM ارائه شده در گزارش IPCC برای استخراج داده‌های ماهانه بارش و دمای بیشینه و کمینه در منطقه مطالعاتی طی دوره پایه و دوره آبی تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شد. در پژوهش حاضر، میزان تغییرات میانگین دمای بیشینه، کمینه و میزان درصد تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره آبی نسبت به دوره پایه مدل ترکیبی AOGCM به دست آمد. خروجی‌های داده‌های ریزمقیاس شده در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است. شکل ۹ وضعیت تاریخی تغییرات دما را به همراه پیش‌بینی آینده نشان می‌دهد.

در شکل ۱۰، درصد تغییرات بارش تحت مدل AOGCM برای دو سناریو آمده است.

مدل‌سازی آب سطحی با استفاده از IHACRES

مدل بارش رواناب IHACRES توسط جکمن و هورمبرگر در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. اساس این روش از دو مدول غیر خطی کاهش^۱ و مدول خطی هیدروگراف^۲ تشکیل می‌شود [۳۴]. به این منظور ابتدا بارندگی T_k و دما t_k در هر گام زمانی k توسط مدول غیر خطی، به بارندگی مؤثر U_k تبدیل می‌شود. 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، ورود پارامترهای بیلان آب زیرزمینی بسیار بااهمیت است [۳۵]. به این منظور، با ورود پارامترهای نفوذ از بارندگی، نفوذ از سیلاب با استفاده از نتایج مدل IHACRES جریان ورودی آب زیرزمینی، نفوذ از حوضه مجاور و آب بازگشتی از چاه‌های آب را به‌عنوان ورودی‌های سفره و همچنین، پارامترهای جریان زهکش خروجی و پمپاژ از چاه‌ها به‌عنوان خروجی از آبخوان در نظر گرفته شدند.

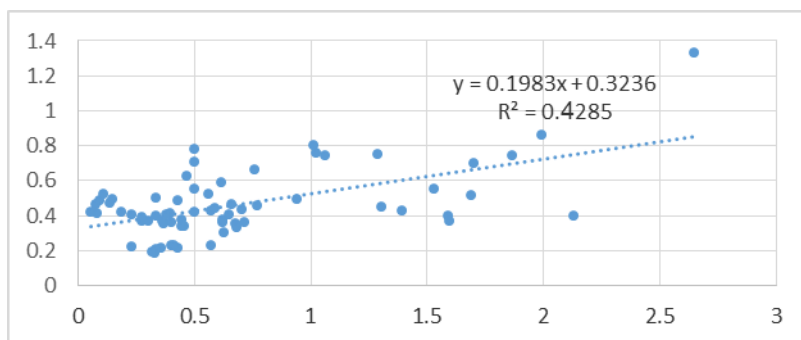
نتایج و بحث

پس از واسنجی مدل آب زیرزمینی در حالت ماندگار هدایت هیدرولیکی آبخوان در نقاط مختلف بین $0/5$ تا 19 متر بر روز تعیین شده است. مقادیر خطای متوسط و خطای مطلق به‌ترتیب $0/185$ - و $0/789$ و دقت حاصل از این واسنجی معادل $0/932$ است. به‌منظور اجرای مدل در حالت ناپایدار باید بازه‌های زمانی برای مدل تعریف شود [۳۶]. بازه زمانی در مدل‌سازی به دو صورت دوره تنش و گام زمانی قابل تعریف است که باید قبل از تعریف سایر پارامترها مانند منابع تغذیه و تخلیه در شرایط ناپایدار برای مدل تعریف شوند. در دشت هشتگرد طی دوره تنش یک ماه و با توجه به اندازه‌گیری ماهانه سطح آب در پیژومترها، گام زمانی نیز یک ماه انتخاب

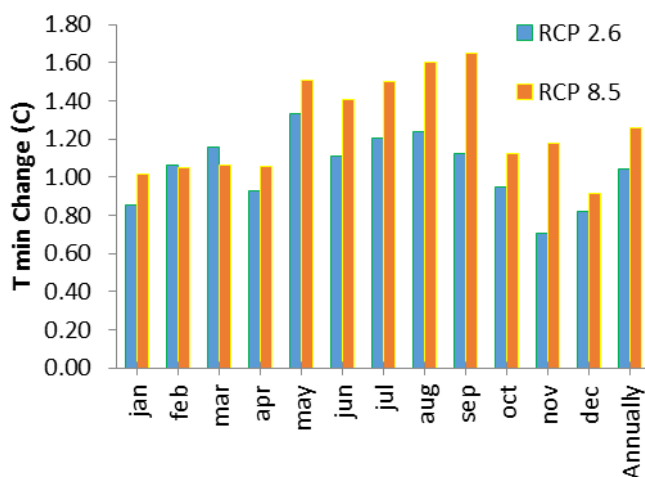
1. Non- linear Loss Module
2. Linear Unit Hydrograph Module

جدول ۶. ارزیابی مدل IHACRES در مرحله واسنجی برای ایستگاه نجم آباد

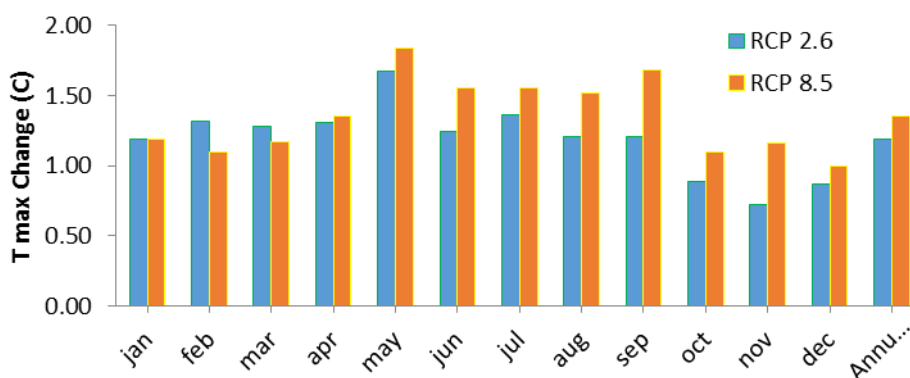
۰/۵	Bias : خطا در مجموع حجم جریان (میلی متر در سال)
۰/۳۴۶	Rel.Bias : خطای نسبی در مجموع حجم جریان
۰/۵۶۸	R Squared : اندازه تناسب بین دبی مشاهداتی و دبی شبیه سازی شده (ضریب تبیین)
۰/۷۵۳	R ² -sqrt : ارزیابی ضریب تبیین



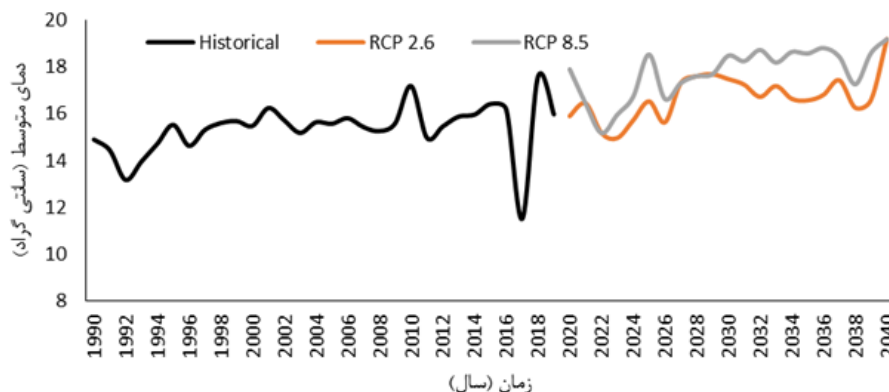
شکل ۶. نتایج صحت سنجی مدل هیدرولوژیکی



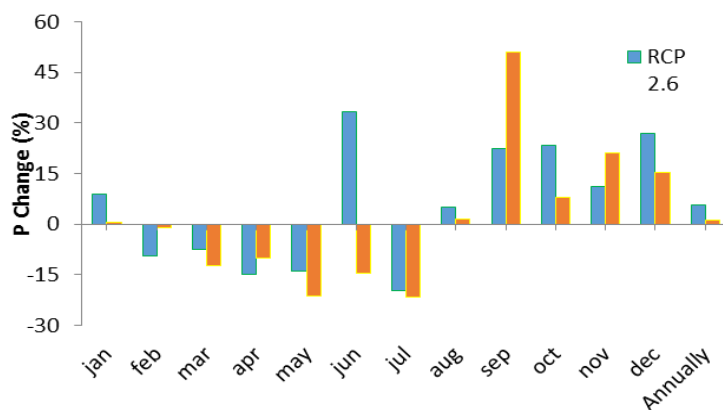
شکل ۷. میزان تغییرات دمای کمینه ماهانه و سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه



شکل ۸. میزان تغییرات دمای بیشینه ماهانه و سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه



شکل ۹. تغییرات دما در دوره پایه و سناریوهای آینده



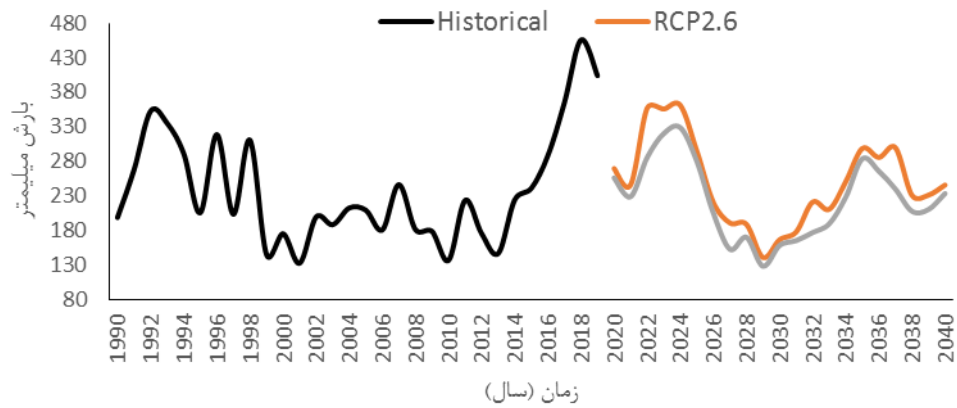
شکل ۱۰. میزان درصد تغییرات بارش میانگین ماهانه و سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه

۱۳۷۰-۱۳۹۱ نشان می‌دهد. در این دوره متوسط تراز آب زیرزمینی ۱۷/۸ متر افت داشته و متوسط افت سالانه حدود ۱/۸ متر است (شکل ۱۳).

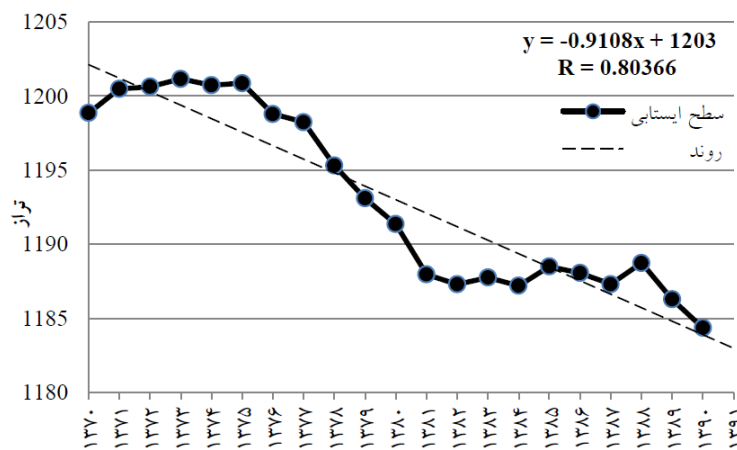
پس از ساخت مدل‌های آب زیرزمینی و آب سطحی برای دوره پایه، با حفظ ضرایب و پارامترهای موجود، با تغییر مقادیر بارش و دما برای دوره آینده، ابتدا میزان تغییرات جریان آب سطحی برای دوره آینده به دست آمد. سپس، با استفاده از آن میزان تغذیه به آب زیرزمینی وارد مدل شد. مدل‌سازی آینده نشان داد تغییرات رواناب سطحی حدود ۷ درصد کاهش برای سناریوی RCP 2.5 و ۱۹ درصد کاهش برای سناریوی 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. شکل ۱۳ میزان تغییرات آب زیرزمینی دشت هشتگرد را در دوره پایه را نشان می‌دهد (سایت شرکت مدیریت منابع آب).

همان‌طور که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود، میزان تغییرات میانگین بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه در ماه‌های مختلف و تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5، بسیار متغیر است. بیشترین افزایش با حدود ۸۰ درصد، متعلق به ماه سپتامبر تحت سناریوی RCP8.5 است که در دوره آتی نسبت به دوره مطالعاتی رخ داده است. همچنین، با توجه به شکل ۱۰، تحت سناریوی RCP2.6، میانگین بارش سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود ۵/۵ درصد افزایش خواهد یافت و تحت سناریوی RCP8.5، بارش سالانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه حدود ۱/۵ درصد افزایش خواهد یافت. شکل ۱۱ وضعیت تغییرات بارش را در دوره پایه و پیش‌بینی آینده به صورت یک‌جا نشان می‌دهد.

برای مقایسه کردن نتیجه روند من-کندال، نتیجه با روند خطی نیز بررسی شد. روند خطی در اغلب ایستگاه‌ها و چاه‌های ترسیم‌شده نشان‌دهنده سیر نزولی مجموعه بود. شکل ۱۲، نمودار تراز آب زیرزمینی دشت را طی دوره



شکل ۱۱. تغییرات بارش در دوره پایه و سناریوهای اقلیمی

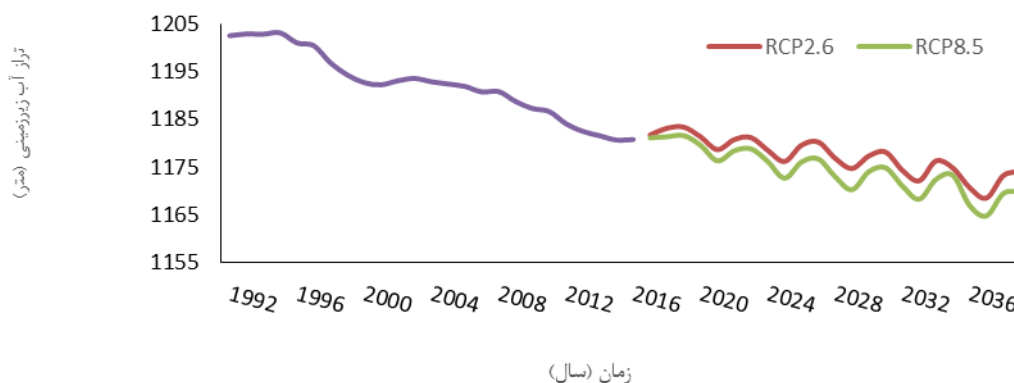


شکل ۱۲. روند تغییر تراز چاه‌های مشاهده‌ای

منبع: شیرازی و ناطقی، ۱۳۹۹



شکل ۱۳. هیدروگراف واحد در آبخوان هشتگرد



شکل ۱۴. هیدروگراف واحد در آبخوان هشترگرد تحت شرایط تغییر اقلیم

درجه سانتی‌گراد در بدترین حالت و تغییرات متفاوت بارش در ماه‌های مختلف، مشخص شد که رواناب حدود ۷ درصد برای سناریوی اول و ۱۹ درصد کاهش برای سناریوی دوم وجود خواهد داشت. همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده آشکار می‌سازد که مدل AOGCM در این مطالعه تحت هر دو سناریوی انتشار، دمای بیشتری را در تمام ماه‌ها برای دوره آبی نسبت به دوره پایه تخمین می‌زنند. با توجه به افزایش بارش در برخی ماه‌ها شاید در نظر اول گمان به افزایش رواناب باشد، اما همان‌طور که گفته شد، کاهش رواناب را شاهد خواهیم بود. دلیل این امر افزایش میزان تبخیر ترق و افزایش بارش‌ها به‌صورت باران و کاهش بارش برف خواهد بود. همچنین، با توجه به افزایش دما، ذوب شدن برف‌ها در ماه‌های زودتری انجام خواهد پذیرفت. همین عوامل با توجه به اینکه میزان نفوذ به آب زیرزمینی از طریق ذوب برف و همچنین بارش در کنار رواناب سطحی از عوامل مهم تغذیه آبخوان خواهد بود، با فرض ثابت نگه داشتن میزان برداشت‌ها از آب زیرزمینی در سال‌های آینده، تخمین زده می‌شود که آبخوان این دشت تا سال ۲۰۴۰ حداقل حدود ۱۲ متر افت را براساس سناریوی RCP 2.6 و بر مبنای سناریوی RCP 8.5 میزان ۱۸ متر افت را تجربه کند که در شکل ۱۴، تغییرات از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۰ را برای متوسط وزنی با توجه به مساحت تیسن برای تمام پیژومترها نشان داده است. نقشه‌های پهنه‌بندی آبخیز ساوجبلاق (که دشت هشترگرد نیز از زیرمجموعه‌های آن است) در سال ۱۳۷۵ که دوره ترسالی محسوب می‌شود، نشان می‌دهد قسمتی از شمال غرب حوضه افت تراز آب زیرزمینی مشهود است و در

حال با تغییرات رخ داده در بارش تحت دو سناریوی یادشده، پیش‌بینی می‌شود آبخوان تا سال ۲۰۴۰ برای سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 به ترتیب ۱۲ و ۱۸ متر افت را تجربه کند. شکل ۱۴ تغییرات از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۴۰ را برای متوسط وزنی تمام پیژومترها نشان داده است.

با توجه به شکل ۱۵ مشخص می‌شود که تغییرات آبخوان به‌صورت فصلی همچنان وجود دارد و سناریوی RCP2.6 وضعیت بهتری نسبت به سناریوی دیگر خواهد داشت. درخور یادآوری است که اگر شرایط برداشت‌ها به‌صورت ثابت فرض نشوند و برداشت‌ها افزایش پیدا کنند، حتماً شرایط فوق‌بحرانی برای آبخوان به وجود خواهد آمد.

نتایج و بحث

به‌منظور مدیریت منابع آب زیرزمینی، راهکارهای مختلفی ارائه شده است که لازمه آن، آگاهی از حجم آب‌های زیرزمینی است. پیش‌بینی تغییرات بارندگی در آینده نزدیک و تأثیر آن بر نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌های آینده کند. پس از شبیه‌سازی مؤلفه‌های هواشناسی توسط مدل ترکیبی معرفی شده در AR5 با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG و اعمال تغییرات آینده بارش و دما روی مدل‌های IHACRES و ModFlow تحت نرم‌افزار GMS برای دو سناریوی RCP2.6 و RCP 8.5 که به ترتیب هریک بهترین شرایط ممکن برای آینده و بدترین شرایط ممکن در آینده را شبیه‌سازی می‌کنند، تغییرات ماهانه رواناب سطحی و زیرزمینی برای دوره آینده محاسبه شد. با توجه به افزایش دمای حدود ۱/۶

- catchments. *Environmental Modelling & Software*; 2003: 18, 705-712.
- [8]. Dibike, B. Y., Coulibaly, P. Hydrological impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of hydrology*; 2005: 307 145-163.
- [9]. Poormohammadi, S., Dastorani, M. T., Jafari, H., Rahimian, M. H., Goodarzi, M., Mesmariyan, Z., Baqeri, F. Investigation of groundwater balance in Tuiserkan plain of Hamedan using MODFLOW, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2016: 2(4), 371. (Persian)
- [10]. Goodarzi, M., Salahi, B., Hoseini, A.). Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2015: 2(2), 175 P. (Persian)
- [11]. Bakhtiar Enayat, B., Malekian, A., Salajegheh, A. Time lag Analysis between climate Time and Lag Correlation Analysis between Climate Drought and Hydrological Drought in Hashtgerd Plain, *Iranian Journal of Soil and Water Research*; 2016: 46(4), 609-616. (Persian)
- [12]. Diaz-Nieto, J. and Wilby, R. L. A comparison of statistical and climate change factor methods: impacts on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Journal of climate change*; 2005: 69, 245-268.
- [13]. Mostafaei, A., Moradniya, V., Goodarzi, M. Evaluation the Role of Sarcahan-Floodwater Spreading in the Artificial Groundwater Recharge, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2017: 4(3), 749-761. (Persian)
- [14]. Zarezade Mehrizi, Sh., Khorani, A., Bazrafshan, J., Bazrafshan, O., (). Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Gamasiab river basin, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2018: 5(3), 777-789. (Persian)
- [15]. Arnell, N. W. And Gosling, S. N. The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*; 2013: 10584-014-1084-5
- [16]. Kamal, A., Masah Bavani, A., Goodarzi, M. Assessing Hydrologic impacts of climate change in Qarasu, 2nd national conference on Dam, Zanjan Islamic Azad University; 2009. (Persian)
- [17]. Hamzeh, S., Bagherpour, Z., Delghandi M., Kardan Moghaddam, H. Risk assessment of climate change impacts on groundwater level (Case study: Gotvand Aghili aquifer), *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2018:5(1), 111-122. (Persian)
- سال ۱۳۹۰ که خشکسالی آب‌شناختی روی داده بود، تراز سفره زیرزمینی بیشتر در جنوب حوضه افت کرده است. تداوم و شدت خشکسالی‌ها به‌ویژه در سال‌های اخیر در دوره داده‌برداری زیاد است که این یکی از علائم وقوع تغییرات اقلیمی است. آزمون ناسنجه‌ای من-کندال نشان داد روند تراز آب زیرزمینی دشت در همه ماه‌ها کاهش یافته است. روند خطی در اغلب ایستگاه‌ها و چاه‌های ترسیم‌شده نشان‌دهنده سیر نزولی مجموعه بود. از آنجا که مصارف و برداشت‌ها از منابع آب ثابت فرض شده است، بسیار محتمل است روند افت سفره‌های زیرزمینی ناشی از تغییر اقلیم باشد. با توجه به اهمیت دشت هشتگرد، استفاده از نتایج تحقیق حاضر در طرح‌های توسعه‌ای زمین‌های زراعی بخش جنوب دشت هشتگرد بسیار لازم است، چرا که بی‌شک محدودیت منابع آب ناشی از تغییرات اقلیمی تشدید خواهد شد و باید روش‌های سازگار با تغییر اقلیم مورد توجه مدیران و سیاست‌گذاران کلان بخش آب و کشاورزی قرار گیرد.

منابع

- [1]. Goodarzi, M., Hosseini, A., Mesgari, E., Choobeh, S. *Hydrologic Models*, AzarKelk publishing center, Zanjan, Iran; 2016: (Persian)
- [2]. Goodarzi, M., Hosseini, A., Mesgari, E. *Climate Models*, AzarKelk publishing center, Zanjan, Iran; 2017: (Persian)
- [3]. Goodarzi, M., Shirmohammadi, B., Nejati Jahromi, Z., *Modelling with GIS*, Salam Sepahan and Miras Kohan, Publishing center, Isfahan, Iran; 2018: (Persian)
- [4]. IPCC-TG CIA. 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; 2014.
- [5]. Kuhestani, N. climate variability impacts on underground water table: a case study Narmab Basin, Golestan, national conference on crisis management, Marvdasht Islamic Azad university; 2009. (Persian)
- [6]. Karamouz M., RezapourTabari M., Kerachian R., and Zahraie B. Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources with Emphasis on Water Quality. *Water and Environmental Resources Congress, ASCE, Alaska*; 2005.
- [7]. Dye, P. J. and Croke, B. F. W. Evaluation of stream flow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African

- [18]. Jalali, M.N., Sarai Tabrizi, M., Babazadeh, H. Investigating the effect of climate change on water flow and water balance of Latyan dam using SWAT model, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2020:7(1), 17-28. (Persian)
- [19]. Jamalizadeh, M., Bazrafshan, O., Mahdavi, R., Azareh, A., Rafiee Sardoei, E. Forecasting of Groundwater Fluctuations Using Stochastic Models and GMS (Case Study: Rafsanjan Plain), *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2020: 7(1), 97-109. (Persian)
- [20]. Babolhakami A., Gholami sefidkouhi, M. A., Emadi, A. Assessing the impact of climate change on drought and forecasting Neka river basin runoff in future periods, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2020 : 7(2), 291-302. (Persian)
- [21]. Kidmose, J. C. Refsgaard, L. Trolborg, L. P. Seaby, and M. M. Escrivà. Climate change impact on groundwater levels: ensemble modelling of extreme values. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*; 2013:17:1619-1634,
- [22]. Kao-Chin, H., Chug-Ho, W., Kuan-Chin, C., Chien-Tai, C., Kai-Wei, M. Climate-induced hydrological impacts on the groundwater system the Pingtung plain, Taiwan; 2010.
- [23]. Kay, A. L., Jones, R. G. and Reynard, N. S. RCM Rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of Hydrology*; 2006: 318 pp 163-172.
- [24]. Azaranfar, A., Abrishamchi, A., Tajrishi, M. Assessing climate change impacts on rain and temperature in Zayandehrud Basin using GCMs, 2nd national conference on Iranian water resources; 2006 :1-8. (Persian)
- [25]. Lee, E., Seong, C., Kim, H., Park, S. and Kang, M. Predicting the impacts of climate change on non-point source pollutant loads from agricultural small watershed using artificial neural network. *J Environ Sca (China)*; 2010 22: 840-845.
- [26]. Meshkati, A. H., Kordjazi, M., Babaeian, I. Evaluation of LARS-WG model in simulation of some observed meteorological parameters in Golestan province (1993-2007), *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*; 2011: 19, 81. (Persian)
- [27]. Goodarzi, M. Assessing climate change impacts on surface water resources: a case study of upper Karkha River Basin, A PhD Dissertation of the university of Tabriz; 2011: 210 pp. (Persian)
- [28]. Noruzi, E., Yarahmadi, Y., Jahangir, M. H. Investigation of Climate Parameters' Changes in Borujerd City in Next 20 Years through the Using HADCM3 Model, *Iranian Journal of Eco Hydrology*; 2018 5(4), 1345-1353. (Persian)
- [29]. P. Rasmussen, T. O. Sonnenborg, G. Goncear, and K. Hinsby. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*; 2013: 17, 421-443.
- [30]. Esmaili, M. Assessing climate variability impacts on underground water resources of Daskan basin, MS thesis, university of Yazd; 2012: 140 pp. (Persian)
- [31]. Gosling, S. N. and Arnell, N. W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*; 2013: 10584-013-0853x.
- [32]. Raje, D., and P.P. Mujumdar. A conditional random field based downscaling method for assessment of climate change impact on multi-site daily precipitation in the Mahanadi basin. *Water Resources Research*; 2009: 45.
- [33]. Rasmussen, P. Sonnenborg, T. O. Goncear, G. Hinsby, K.. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer hydrol. *Earth Syst. Sci.*; 2013: 17, 421-443.
- [34]. Semenov, M. A. Developing of high-resolution UKCUP02-based climate change scenarios in the UK. *Agricultural and Forest Meteorology*; 2007: 144 pp 127-138.
- [35]. Setegn, S.G., D. Rayner, A.M. Melesse, B. Dargahi, and R. Srinivasan. Impact of climate change on the hydro-climatology of Lake Tana basin, Ethiopia. *Water Resources Research*; 2011: 47.
- [36]. Porhemat, J. simulation of underground water flow in Ravansar-Sanjabi plain using GMS, final research report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI); 2016. (Persian)