Archive of SID

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۴۱-۱۲۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 129-141

کاربرد مدل IHACRES برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دبی حوضه آب‌ریز تجن

فاطمه موجرلو[۱]، رامین فضل‌اولی[۲*] و علی‌رضا عمادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۶

چکیده

تغییر اقلیم و گرمایش کره‌ی زمین از مسایل مهم جهان در عصر کنونی می‌باشد و در حال گسترش به سرتاسر کره‌ی زمین است و آثار زیان‌بار آن بر منابع آبی بر کسی پوشیده نیست. ازاین‌رو پیش‌بینی تغییرات اقلیمی یک منطقه، نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی خواهد داشت. هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات این پدیده بر روی دبی حوضه آب‌ریز تجن در دوره‌ی آتی می‌باشد. به این منظور در گام اول شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل جوی CANESM2 تحت سناریوهای جدید انتشار RCP2.6 و RCP8.5 و ریزمقیاس‌سازی خروجی‌های مدل جوی با مدل SDSM انجام شد. سپس شبیه‌سازی دبی روزانه حوضه در دوره آتی با مدل بارش - رواناب IHACRES انجام شد. برای بررسی دقیق عملکرد و خطای مدل ریزمقیاس‌سازی SDSM از آزمون ناپارامتری من - ویتنی استفاده شد که نشان از کارایی مدل در ریزمقیاس‌سازی دما و بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه داشت. به‌طور کلی نتایج مدل نشان داد که میانگین دمای سالانه حوضه در دوره آتی (۱۳۹۸-۱۴۲۸) نسبت به دوره پایه این تحقیق (۱۳۵۴-۱۳۸۴) تحت دو سناریو RCP 2.6 و RCP 8.5، ۱/۱۴ و ۱/۵۷ افزایش و مقدار بارش سالانه به‌ترتیب تحت همان دو سناریو ۵۹/۷۲ و ۷۰/۹۸ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. در گام آخر نتایج واسنجی و ارزیابی مدل IHACRES بررسی شد طی این دو مرحله شاخص ارزیابی نش‌ساتکلیف (NSE)، ۰/۴۵ و ۰/۴۰ به‌دست آمد که بیانگر دقت قابل‌قبول مدل در شبیه‌سازی دبی می‌باشد. با توجه به نتایج این تحقیق، پیش‌بینی شد که میزان دبی تحت دو سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 در دوره آتی نسبت به دوره پایه به ترتیب به میزان ۱۹/۸ و ۲۱/۷ درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس‌سازی آماری، سناریوهای RCP، مدل بارش - رواناب، مدل CANESM2

مقدمه

در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم به‌ویژه گرمایش کره زمین از مسایل مهم برای جامعه جهانی است و عامل مخرب و تهدید کننده‌ای برای زندگی بشر محسوب می‌شود. اقلیم سامانه‌ی پیچیده‌ای است که مطابق شواهد موجود در اثر تغییر مقدار گازهای گلخانه‌ای و فعالیت‌های بشری در حال تغییر می‌باشد. افزایش گازهای گلخانه‌ای و به‌تبع آن افزایش دما، باعث برهم خوردن تعادل سامانه اقلیمی کره‌ی زمین گردیده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره‌ی زمین به وجود آورده‌است (Andersen et al., 2006)، به‌طوری‌که در قرن گذشته، متوسط دمای جهانی ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش پیدا کرده است (IPCC., 2014). پدیده تغییر اقلیم عامل بسیارمهم و به‌شدت تاثیرگذار بر روی چرخه هیدرولوژی و منابع آب به‌شمار می‌رود (IPCC., 2007). تغییر در مقدار پارامترهای اقلیمی به‌خصوص بارش و دما نقش برجسته‌ای در تعیین میزان رواناب یک حوضه در دوره‌های آتی خواهد داشت (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵). به‌منظور پیش‌بینی و شبیه‌سازی پدیده تغییر اقلیم روش‌های مختلفی وجود دارد که جامع‌ترین آن‌ها مدل‌های گردش عمومی (GCM[4]) هستند (روشن و همکاران، ۱۳۹۱). از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM تفکیک مکانی کم آن‌ها است که به لحاظ مکانی و زمانی با دقت موردنیاز مدل‌های هیدرولوژی مطابقت ندارد (کمال و مساح‌بوانی، ۱۳۹۰)، بنابراین زمان که از مدل‌های GCM استفاده می‌شود، باید خروجی آن‌ها ریزمقیاس شود (Salon et al., 2008). در سال‌های اخیر پژوهشگران بیش‌تر روش‌های آماری را برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی به‌کار برده‌اند. از پرکاربردترین مدل‌های آماری می‌توان به مدل‌های LARS-WG و SDSM اشاره نمود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۵). پیش‌بینی اقلیم آینده و تحلیل آثار آن بر فرآیندهای هیدرولوژیک از جمله رواناب سطحی

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(* - نویسنده مسئول: Email: raminfazl@yahoo.com)

4- General Circulation Models

www.SID.ir

Archive of SID

به‌منظور شناسایی تغییرات پتانسیل منابع آبی در آینده و ارایه راهکارهای مناسب برای مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵). از آن‌جاکه اثرات پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب موضوعی بسیارمهم و حیاتی برای همه‌ی انسان‌ها می‌باشد پژوهش‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته که تعدادی از آن‌ها در ادامه آورده شده است. بویر و همکاران، اثر تغییر اقلیم را بر رواناب رودخانه لارنس در کانادا طی سه دوره آینده با دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مورد مطالعه قرار دادند. به این منظور از سه مدل AOGCM[1] تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 و مدل هیدرولوژیک HSAMI استفاده کردند. نتایج نشان داد دما افزایش و بارش کاهش می‌یابد و دبی رودخانه در دوره‌های آتی تحت‌تاثیر پدیده تغییر اقلیم قرار می‌گیرد (Boyer et al., 2010). آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹)، در تحقیقی اثر پدیده تغییر اقلیم بر رژیم دبی‌های حداکثر سالانه حوضه آیدوغموش را مورد بررسی قرار دادند. نخست مقادیر دما و بارش با مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 برای منطقه مورد مطالعه تهیه کردند. نتایج بیانگر افزایش ۱/۵ تا ۴/۰ درجه‌ای دما و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارندگی در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی بود. سپس با مدل IHACRES به شبیه‌سازی رواناب آتی حوضه پرداختند. مقایسه نتایج مدل نسبت به دوره مشاهداتی نشان از تاثیر تغییر اقلیم بر رژیم دبی‌های حداکثر این حوضه در دوره‌های آتی داشت. منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، آثار ناشی از تغییر اقلیم را بر رواناب حوضه زرینه‌رود در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۵، با استفاده از میانگین نتایج ۱۴ مدل AOGCM به کمک ریزمقیاس‌سازی آماری تحت سناریوهای A2، B1 و A1B و شبیه‌سازی رواناب با مدل SWAT مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که متوسط ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر در دوره‌ی آتی افزایش می‌یابد. هم‌چنین متوسط ماهانه بارندگی در فصل بهار کاهش و در فصل‌های تابستان و پاییز افزایش می‌یابد و درنهایت رواناب ورودی به سد زرینه‌رود در دوره آتی نسبت به دوره‌ی پایه ۲۸ درصد کاهش خواهد یافت. سهرابیان و همکاران (۱۳۹۴)، رواناب حوضه گالیکش را در شرایط تغییر اقلیم با IHACRES شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از آن بود که میزان رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد. حجاری زاده و همکاران (۱۳۹۴)، اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه رودخانه کر را بررسی کردند که نتایج نشان داد میزان رواناب سالانه حوضه در دوره آتی حدود ۹/۴۳ درصد کاهش می‌یابد. رزاقی و همکاران (۱۳۹۵)، رواناب حوضه آبخیز بابل‌رود را با مدل IHACRES و در شرایط تغییراقلیم مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ارزیابی تغییر اقلیم حوضه حاکی از نوسانات بارش بین ۴۳- تا ۳۲+ درصد و افزایش دمای میانگین سالانه به میزان ۱/۴ تا ۳/۶ درجه سانتی‌گراد در دوره آتی نسبت به دوره پایه بود. نتایج مدل بارش‌رواناب پس از ورود داده‌های دما و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل جوی، از کاهش ۱۵ تا ۱۸/۵ درصدی رواناب ماهانه در دوره آتی خبر داد. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی و ریزمقیاس‌سازی آماری نتایج تحت دو سناریو A1B و B1، بارش را برای دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پیش‌بینی کردند. سپس با استفاده از مدل بارش - رواناب HEC-HMS، مقدار رواناب را در حوضه آب‌ریز تویسرکان همدان شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد در اثر کاهش بارش در دوره آتی حجم رواناب در این دوره نسبت به دوره‌ی پایه تحت هر دو سناریو کاهش می‌یابد. قدمی و همکاران (۱۳۹۶)، اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه‌ی حوضه رودخانه سزار را مورد ارزیابی قرار دادند. به این منظور از خروجی‌های مدل جوی تحت سناریوی A2 و ریزمقیاس‌سازی SDSM برای پیش‌بینی اقلیم آینده و از مدل مفهومی IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب حوضه بهره بردند. نتایج نشان از افزایش ۱/۷ درجه سانتی‌گرادی دمای حوضه در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی مشاهداتی و کاهش بارش به میزان ۲۴ درصد بود و هم‌چنین تمام ایستگاهای مطالعاتی کاهش دبی را برای حوزه در دوره آتی نشان دادند. گودرزی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب سطحی در شرایط تغییر اقلیم در حوضه آبخیز کن پرداختند. نتایج نشان داد که مدل مذکور توانایی شبیه‌سازی داده‌های جریان روزانه و ماهانه را با دقت قابل‌قبولی دارد. مقدار رواناب تحت هر سه سناریوی مورد بررسی طی سه دوره آینده نزدیک، میانه و دور در مقایسه با دوره پایه تا ۱۸/۶۵- درصد تغییر خواهد یافت. الصافی و ساروکلیج، برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه رودخانه هاروی در غرب استرالیا از مدل مفهومی بارش-رواناب HBV استفاده کردند. به‌منظور شبیه‌سازی دبی روزانه در خروجی حوضه مورد مطالعه طی دوره‌های (۲۰۴۶-۲۰۶۵) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) با استفاده از هشت مدل جوی، بارش و دما را تحت دو سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 پیش‌بینی و توسط مدل آماری ریزمقیاس نمودند. طبق نتایج میزان دما تحت هر دو سناریو در دو دوره‌ی آتی افزایش و میزان بارش کاهش می‌یابد و همچنین متوسط جریان سالانه در دو دوره‌ی آتی تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 در سه حوضه هاروی[2]، باردی[3] و گولبورن[4] به میزان ۶۰-۳۱،۱-۲۴ و ۴۲-۱۸ درصد کاهش خواهدیافت (Al-Safi and Sarukkalige., 2018). گااو و همکاران، تغییرات رواناب‌ها و سطوح آب را در حوضه رودخانه قو در شرق چین مورد تحقیق قرار دادند. برای پیش‌بینی داده‌های هواشناسی آینده از نتایج ریزمقیاس شده مدل‌های جوی تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و برای

1- Atmospher- Ocean General Circulation Model

2- Harvey-Catchment
3- Beardy-Catchment
4- Goulburn-Catchment

www.SID.ir

Archive of SID

شبیه‌سازی رواناب از مدل GR4J استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بیش‌تر موارد رواناب‌ها و سطوح آبی روندی افزایشی خواهند داشت (Gao et al., 2018). ازآن‌جایی‌که اثر پدیده تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای است، باید اثرات این پدیده در مناطق مختلف به‌صورت مجزا بررسی شود. ازاین‌رو در این تحقیق به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی دما، بارش و دبی حوضه آب‌ریز تجن با استفاده از مدل جوی CANESM2 تحت سناریوهای انتشار جدید و مدل IHACRES پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آب‌ریز تجن، از زیرحوضه‌های دریای خزر می‌باشد. این حوضه دارای مساحت تقریبی ۴۰۰۵/۲۲ کیلومترمربع است و با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی در استان مازندران جنو شرق شهرستان ساری واقع شده‌است که حداکثر ارتفاع آن ۳۷۸۲ متر از سطح دریا و حداقل آن ۲۶- متر و شیب متوسط حوضه ۸۵ درصد است. طول شاخه اصلی رودخانه ۱۷۲ کیلومتر و سه شاخه اصلی آن دودانگه و چهاردانگه و ظالم‌رود نام دارند. متوسط بارش سالانه حوضه بین ۵۲۵/۰ تا ۶۸۷/۱ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه بین ۱۱/۸ تا ۱۶/۸ درجه سانتی‌گراد متغیر می‌باشد. در این مطالعه، از آمار و اطلاعات بارش روزانه سه ایستگاه سلیمان‌تنگه، ریگ‌چشمه و کردخیل، آمار دمای متوسط روزانه ایستگاه تبخیرسنجی سلیمان‌تنگه و آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری کردخیل واقع در خروجی حوضه در دوره آماری (۱۳۵۴-۱۳۸۴) استفاده شد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارایه شده و موقعیت آن‌ها در حوضه تجن در شکل۱ نشان داده شده است.

مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار

بارندگی و دما متغیرهای هواشناسی هستند که نقش مهمی در تغییراتی اقلیمی ایفا می‌کنند به‌منظور پیش‌بینی تغییرات آن‌ها از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴). مدل‌های اقلیمی بر اساس ساختار و عملکرد به مدل‌های توازن انرژی (EBM[1])، مدل‌های تابشی هم‌رفتی (RCM[2])، مدل‌های دوبعدی دینامیکی- آماری (SDM[3]) و مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو (GCM) تقسیم‌بندی می‌شوند (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). در عصر حاضر مدل‌های گردش عمومی دقیق‌ترین ابزار جهت پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی هستند (IPCC., 2007). تاکنون مدل‌های گردش عمومی مختلفی در مراکز مختلف تحقیقات ارایه شده است. یکی از جدیدترین این مدل‌ها، CanESM2 نام دارد که مدلی جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4[4]) است و جزو سری مدل‌های CMIP5 و گزارش پنجم هیات بین‌دولت‌ها تغییر اقلیم (AR5[5]) می‌باشد (Arora et al., 2011). در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافت (IPCC., 2014). ویژگی‌های مدل CanESM2 در شکل ۲ ارایه شده است. اساسی‌ترین ورودی مدل‌های گردش عمومی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آینده است و ازآن‌جایی‌که تعیین دقیق میزان انتشار این گازها امکان‌پذیر نیست، هیات بین‌دولت‌ها تغییر اقلیم سناریوهای انتشار را ارایه کرده است که چگونگی تغییرات انتشار این گازها را در آینده تعیین می‌کنند (مساح‌بوانی و مرید، ۱۳۸۴). جدیدترین سناریوهای انتشار RCPها هستند که هیات بین‌دولت‌ها تغییر اقلیم در گزارش پنجم خود از آن‌ها استفاده کرده است (IPCC., 2013). RCPها به چهار دسته RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.0 و RCP۸/۵ تقسیم‌بندی شده‌اند و اثر گاز گلخانه‌ای بر واداشت تابشی را تا سال ۱۴۷۹ به‌ترتیب ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده‌اند (IPCC., 2014). خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی بعد از ریزمقیاس‌سازی می‌توانند با مدل‌های هیدرولوژیکی سازگار شوند و به‌عنوان ورودی در این مدل‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Zhang et al., 2016).

مدل ریزمقیاس‌سازی آماری SDSM

مدل SDSM یک روش آماری بوده که به‌دلیل مزایای متعددی از قبیل هزینه کم و کاربرپسند بودن بیش از سایر روش‌ها مورد توجه محققان قرار گرفته‌است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). مدل SDSM توسط ویلبی و همکاران توسعه‌یافته (Wilby and Dawson., 2002) که ترکیبی از رگرسیون خطی چندگانه و مولد آب و هوایی است. این مدل با استفاده از روش آماری/ تجربی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ‌مقیاس (NCEP، داده‌های جدول ۳ و متغیرهای پیش‌بینی شونده (داده مشاهداتی) ارتباط برقرار می‌کند (Mahmood and Babel., 2014). برای ریزمقیاس‌سازی خروجی‌های مدل CANESM2 بر اساس داده‌های هواشناسی روزانه (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش) در حوضه آب‌ریز تجن با مدل SDSM، در ابتدا داده‌های مذکور در دوره‌ی آماری ۱۳۸۴-۱۳۵۴ به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های NCEP به‌عنوان متغیر مستقل وارد

1- Energy Balance Models
2- Radiative-Convective Models
3- Statistical-Dynamical Models

4- Fourth-generation Coupled Global Climate Model
5- Fifth Assessment Report

www.SID.ir

Archive of SID

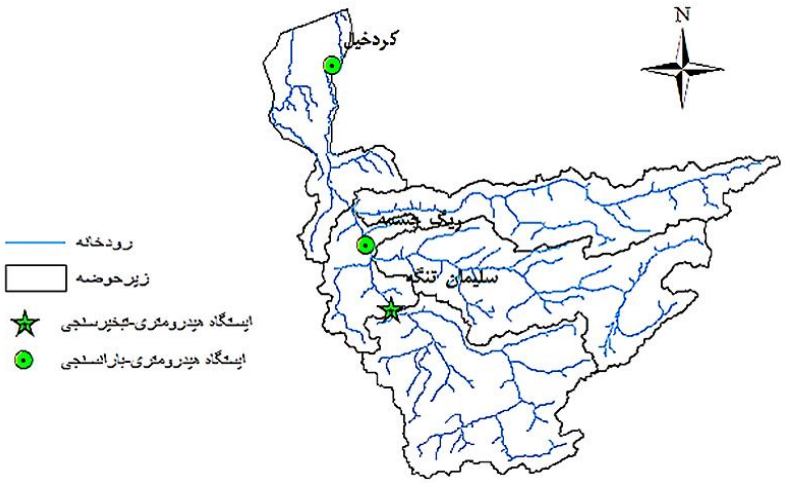
نرم‌افزار شدند. پس از کنترل کیفی داده‌ها در مرحله غربال‌گری از بین پیش‌بینی کننده NCEP متغیرهایی که بالاترین ضریب همبستگی را با متغیرهای هواشناسی داشتند انتخاب شدند و با داده‌های مشاهداتی در دوره‌های ۱۳۷۴-۱۳۵۴ و ۱۳۸۴-۱۳۷۵ به‌ترتیب مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفتند. سپس در مرحله تولید سناریوهای اقلیمی، داده‌های هواشناسی در ۲۰ سری از سال ۱۳۸۵-۱۴۷۹ تحت دو سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 تولید شدند. روند ریزمقیاس‌سازی و تولید سناریوی اقلیمی با مدل SDSM در این تحقیق مطابق نمودار گردشی تهیه شده توسط صراف و رگولوار می‌باشد (Saraf and Regulwar., 2016).

مدل بارش _ رواناب IHACRES

IHACRES یک مدل مفهومی- متریک بارش - رواناب است که نسخه اصلی آن توسط جکمن و همکاران ۱۹۹۰ توسعه یافت (Carcano., 2008). این مدل در حوضه‌هایی با اندازه‌های مختلف از ۴۹۰ مترمربع در چین و ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع در انگلستان استفاده شده و هم‌چنین برای پایه‌های زمانی ۶ دقیقه تا یک ماه با موفقیت به‌کار رفته‌است. ورودی‌های مدل شامل داده‌های بارش، دما و دبی می‌باشد که دما و بارش برای شبیه‌سازی جریان و دبی برای واسنجی و ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود (زارعی و همکاران، ۱۳۹۰). IHACRES از دو مدول غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. ابتدا بارندگی (r_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی موثر u_k تبدیل‌شده و سپس به‌وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (زندی‌دره غریبی و همکاران، ۱۳۹۷).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی	
			طول شرقی	عرض شمالی
سلیمان‌تنگه	هیدرومتری- تبخیرسنجی	۴۰۰	۱۴´-۵۳°	۱۵´-۳۶°
ریگ‌چشمه	باران‌سنجی- هیدرومتری	۲۷۰	۱۰´-۵۳°	۲۲´-۳۶°
کردخیل	باران‌سنجی- هیدرومتری	-۵	۶´-۵۳°	۴۲´-۳۶°



شکل ۱- موقعیت حوضه تجن و جانمایی ایستگاه‌های هواشناسی

جدول ۲- خصوصیات مدل CANESM2 (Arora et al., 2011)

نام مدل	شرکت توسعه دهنده	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه)	دوره شبیه‌سازی تاریخی- آینده	سناریوهای شبیه‌سازی
CanESM2	CCCMA[1]	۲/۸°×۲/۸°	۱۳۸۴-۱۲۲۸ ۱۴۷۹-۱۳۸۵	RCP2.6, RCP 4.5, RCP 8.5

1- Canadian Center for Climate Modelling and Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

مدل مذکور شامل شش پارامتر می‌باشد؛ که سه پارامتر c (ظرفیت ذخیره رطوبت حوضه آبخیز)، τ_w (مدت زمانی که طول می‌کشد حوضه خشک شود)، f (فاکتور تعدیل دما حوضه) مربوط به بخش تلفات غیرخطی مدل و سه پارامتر τ^s، τ^q (به‌ترتیب مدت زمانی‌که طول می‌کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد) و v^s (حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد) مربوط به بخش تابع خطی مدل هستند (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۷).

معیارهای ارزیابی مدل

شاخص‌های مختلفی جهت ارزیابی عملکرد و دقت مدل‌ها وجود دارد، شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق برای ارزیابی مدل بارش – رواناب عبارت‌اند از ضریب کارآیی نش – ساتکلیف (NSE) که اهمیت

جدول ۳- خصوصیات متغیرهای NCEP (Pervez and Henebry., 2014)

ردیف	متغیر پیش-گو	تعریف متغیر	ردیف	متغیر پیش-گو	تعریف متغیر
۱	mslp	میانگین فشار سطح دریا	۱۴	P5zh	واگرایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۲	P_f	سرعت جریان هوا ژئوستروفیک در نزدیک سطح	۱۵	P8_f	سرعت جریان هوا ژئوستروفیک در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۳	P_u	مولفه سرعت مداری نزدیک سطح	۱۶	P8_u	مولفه سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۴	P_v	مولفه سرعت نصف‌نهاری نزدیک سطح	۱۷	P8_v	مولفه سرعت نصف‌نهاری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۵	P_z	تاوایی نزدیک سطح	۱۸	P8_z	تاوایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۶	P_th	جهت باد در نزدیک سطح	۱۹	P850	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال
۷	P_zh	واگرایی نزدیک سطح	۲۰	P8th	جهت باد در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۸	P5_f	سرعت جریان هوا ژئوستروفیک در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۱	P8zh	واگرایی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	P5_u	مؤلفه سرعت‌مداری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۲	S500	رطوبت‌نسبی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۰	P5_v	مولفه سرعت نصف‌نهاری در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۳	S850	رطوبت‌نسبی در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۱	P5_z	تاوایی در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۴	shum	رطوبت‌نسبی در سطح
۱۲	P500	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۵	temp	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری
۱۳	P5th	جهت باد در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۶	prcp	بارش کل

نسبی واریانس مقادیر شبیه‌سازی شده را در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد (رابطه ۱). اگر مقدار NSE برابر یک باشد برازش کاملی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل وجود دارد، اگر مقدار ضریب مذکور بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد نتایج رضایت‌بخش است و اگر بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه‌سازی مدل خوب به‌شمار می‌آید (Motovilov et al., 1999). شاخص بعدی به‌کاربرده شده در این تحقیق، شاخص Bias نام دارد که با استفاده از رابطه شماره ۲ محاسبه شده و اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد (Croke et al., 2005). مقادیر منفی این شاخص تعیین می‌کند که مدل جریان را بیش‌تر از واقعیت و مقادیر مثبت آن نشان دهنده این است که مدل جریان را کم‌تر از واقعیت شبیه‌سازی کرده است، بنابراین هرچه قدرمطلق مقدار این شاخص کم‌تر و به عدد صفر نزدیک‌تر باشد نشان از عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی می‌باشد.

$$\mathbf{NSE} = \mathbf{1} - \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_o - X_s)^2}{\sum_{i=1}^{N}(X_o - \bar{X}_o)^2} \quad (۱)$$

$$\mathbf{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_o - X_s)}{N} \quad (۲)$$

در روابط بالا Xo داده‌های مشاهداتی، Xs داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

تولید سناریوهای اقلیمی آینده با مدل SDSM

در ابتدا از بین ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده NCEP متغیرهایی که دارای بالاترین ضریب همبستگی با داده‌های مشاهداتی بودند در دوره‌ی پایه (۱۳۵۴-۱۳۸۴) انتخاب شدند. اسامی این متغیرها در جدول ۴ برای ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است. سپس بیش از ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی (دمای حداقل و حداکثر و بارش روزانه) برای واسنجی و باقی‌مانده داده‌ها برای تولید داده‌های اقلیمی (صحت‌سنجی) انتخاب شدند که طی این دوره میانگین ماهانه بارش و دما شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی مقایسه شدند (شکل‌های ۴

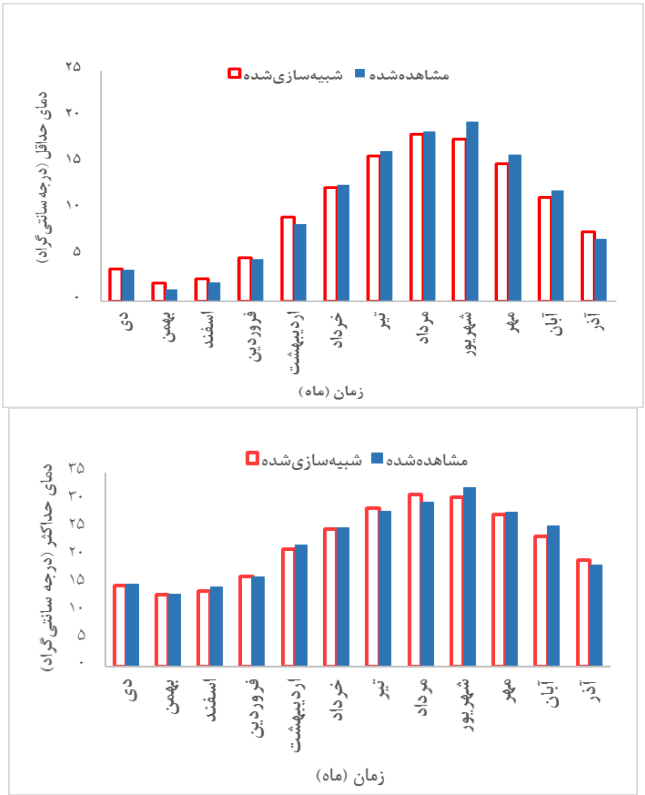
www.SID.ir

Archive of SID

و ۵). نتایج واسنجی و صحت‌سنجی حاکی از آن بود که مدل پارامتر دما را نسبت به بارش با دقت بیش‌تری ریزمقیاس می‌کند که با نتایج مطالعات الماسی و همکاران (۱۳۹۵)، حاجی‌محمدی و همکاران (۱۳۹۷) و توکلی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت داشت. برای ارزیابی عملکرد مدل و محاسبه میزان خطا در برآورد میانگین‌ها از آزمون من – ویتنی در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد (جدول ۵). نتایج نشان داد خطای مدل برای دمای حداقل در دو ماه و برای دمای حداکثر در سه ماه و برای پارامتر بارش در ایستگاه سلیمان‌تنگه و ریگ‌چشمه در یک ماه و در ایستگاه کردخیل در سه ماه معنی‌دار می‌باشد ($p<0.05$)، در بقیه ماه‌ها فرض صفر (برابری میانگین داده‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی شده) پذیرفته می‌شود که به‌طور کلی نشان از توانایی قابل‌قبول مدل در ریزمقیاس‌سازی پارامترهای هواشناسی دارد. در نهایت سری زمانی پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و بارش تحت دو سناریوی RCP 2.6 و RCP 8.5 برای دوره‌ی آتی (در این‌جا ۱۴۲۸–۱۳۹۸) تولید شدند. نتایج نشان داد که مقادیر دما در تمام فصول به‌جز پاییز روند افزایشی داشتند و به‌طور کلی دمای متوسط سالانه حوضه در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 به‌ترتیب به میزان ۱/۱۴ و ۱/۵۷ درجه سانتی‌گراد افزایش و هم‌چنین میزان بارش متوسط حوضه در تمام فصول به‌جز فصل تابستان کاهش خواهد یافت و به‌طور سالانه میزان بارش حوضه در دوره‌ی آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 به‌ترتیب ۵۹/۷۲ (۸/۹ درصد کل بارش) و ۷۰/۹۸ (۱۰/۶ درصد کل بارش) میلی‌متر کاهش می‌یابد (جدول ۶) که با نتایج منصوری و همکاران، ۱۳۹۳ مطابقت داشت.

جدول ٤- متغیرهای پیش‌بینی کننده غالب برای هر متغیر پیش‌بینی شونده

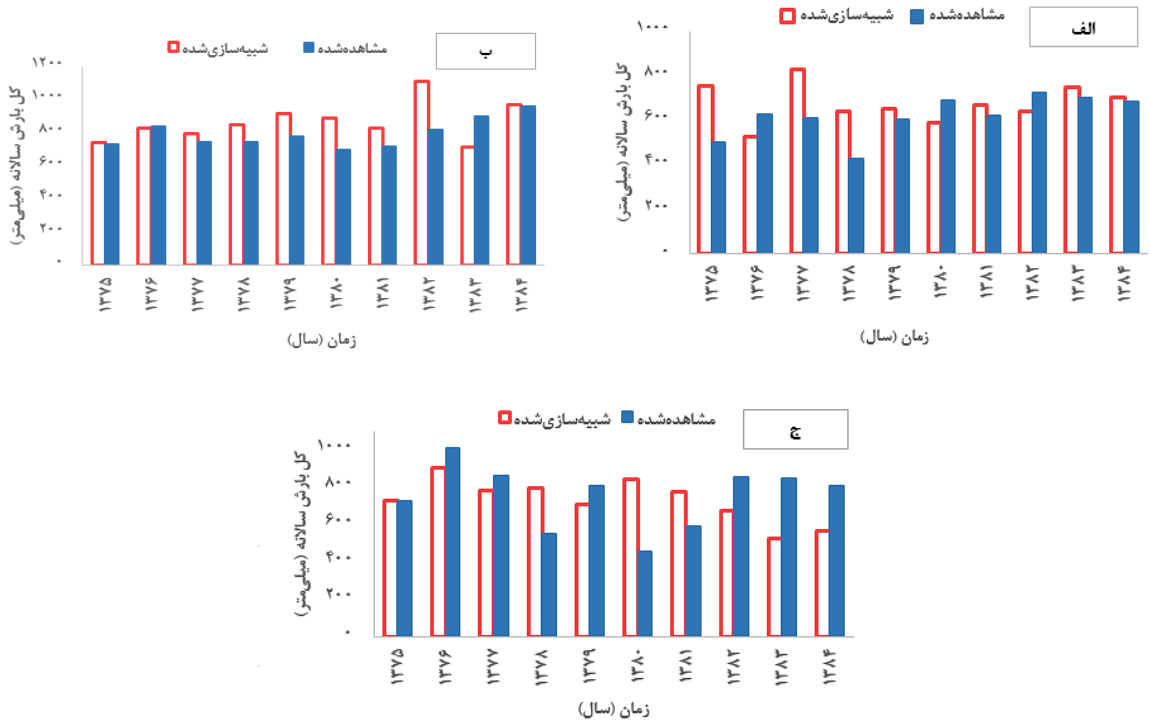
نام ایستگاه	متغیرهای هواشناسی	متغیرهای پیش‌بینی کننده	میانگین ضریب همبستگی
	دمای حداقل	temp، p500 و hum	۰/۷۳
سلیمان‌تنگه	دمای حداکثر	Temp، p500 و hum	۰/۶۸
	بارش	prcp، p8_v، p500، p5_z و p_th	۰/۲۱
ریگ‌چشمه	بارش	prcp، p8_v و p5_z	۰/۲۵
کردخیل	بارش	prcp، p8_v و p5_z	۰/۲۳



شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل و حداکثرمشاهده شده و شبیه‌سازی شده دوره صحت‌سنجی (۱۳۷۵-۱۳۸٤)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه کل بارش مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ایستگاه سلیمان‌تنگه (الف)، ریگ‌چشمه (ب) و کردخیل (ج) در دوره صحت‌سنجی (۱۳۸٤-۱۳۷۵)

جدول ۵- مقادیر p آزمون من - ویتنی برای اختلاف میانگین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

زمان	بارش			دمای حداقل	دمای حداکثر
	ایستگاه سلیمان‌تنگه	ایستگاه ریگ‌چشمه	ایستگاه کردخیل	ایستگاه سلیمان‌تنگه	ایستگاه سلیمان‌تنگه
دی	۰/۴۵۰	۰/۳۶۴	۰/۲۹۰	۰/۶۷۷	۰/۸۸۰
بهمن	۰/۵۹۷	۰/۰۹۶	*۰/۰۴۹	۰/۴۹۵	۰/۸۸۰
اسفند	۰/۳۶۴	۰/۴۹۶	۰/۳۲۶	۰/۲۸۹	۰/۴۴۹
فروردین	۰/۹۴۰	۰/۳۶۴	۰/۳۲۶	۰/۷۹۱	۰/۸۸۰
اردیبهشت	۰/۴۸۱	*۰/۰۴۹	*۰/۰۲۸	۰/۱۹۸	۰/۴۵۰
خرداد	۰/۷۶۹	۰/۳۶۴	۰/۱۵۱	۰/۷۹۱	۰/۸۲۱
تیر	۰/۴۵۰	۰/۴۵۰	*۰/۰۴۹	۰/۷۳۳	۰/۲۱۲
مرداد	*۰/۰۴۹	۰/۱۷۳	۰/۹۴۰	۰/۸۵۰	*۰/۰۴۹
شهریور	۰/۱۳۱	۰/۷۰۵	۰/۴۰۶	*۰/۰۰۳	*۰/۰۰۴
مهر	۰/۱۹۹	۰/۲۹۰	۰/۰۹۶	*۰/۰۱۳	۰/۴۴۹
آبان	۰/۳۶۴	۰/۸۲۱	۰/۵۴۵	۰/۱۱۲	*۰/۰۲۳
آذر	۰/۰۹۶	۰/۴۶۹	۰/۵۴۵	۰/۱۲۰	۰/۱۱۹

شبیه‌سازی بارش - رواناب

به‌منظور شبیه‌سازی دبی روزانه در حوضه‌ی تجن برای دوره‌ی ۱۳۹۸-۱۴۲۸، در ابتدا بارش میانگین حوضه با روش پلیگون‌های تیسن در نرم‌افزار ARC GIS 10.3 استخراج و بازسازی داده‌های دبی دوره پایه در نرم‌افزار SPSS انجام شد. سپس بارش میانگین حوضه به‌صورت روزانه و دمای میانگین روزانه ایستگاه تبخیرسنجی سلیمان‌تنگه (تنها ایستگاه تبخیرسنجی دارای آمار در بازه مورد مطالعه) به‌همراه دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری کردخیل واقع در خروجی حوضه وارد نرم‌افزار IHACRES شدند. مدل در دوره‌ی از ۱۳۶۳/۱۰/۱۱ تا ۱۳۷۵/۱۱/۲۵ واسنجی شد. تعیین دوره‌ی واسنجی

www.SID.ir

Archive of SID

مدل از طریق سعی و خطای فراوان صورت گرفت به‌طوری‌که هر بار دوره‌ای با طول آماری متفاوت انتخاب و عمل شبیه‌سازی توسط مدل انجام شد تا سرانجام دوره‌ای با بهترین شبیه‌سازی انتخاب شد. سپس مدل در دوره‌ی از ۱۳۷۵/۱۱/۲۶ تا ۱۳۸۴/۱۰/۱۰ مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ٦- تغییرات بلندمدت بارش و دمای متوسط حوضه در دوره آتی (۱۳۹۸-۱٤۲۸) نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5

	بارش (میلی‌متر)		دما (درجه سانتی‌گراد)	
زمان	RCP 2.6	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 8.5
زمستان	-۳۲/۰۰	-۳۴/۰۰	۱/۹۵	۲/۶۰
بهار	-۸/۵۱	-۷/۳۰	۲/۹۸	۳/۴۹
تابستان	۷/۶۲	۱/۸۶	۱/۳۷	۱/۷۲
پاییز	-۲۶/۸۳	-۳۱/۵۴	-۱/۷۵	-۱/۵۳
سالانه	-۵۹/۷۲	-۷۰/۹۸	۱/۱۴	۱/۵۷

در جدول ۷ مقادیر بهینه پارامترهای حاصل از واسنجی آورده شده است، مقدار پارامتر $V^{(s)}$ برابر ۰/۸۲ برآورده شده که بیانگر وجود جریان پایه‌ای بسیار زیاد در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد که مقدار زیاد این پارامتر ناشی از پوشش جنگلی در بخش اعظم حوضه است و مطابق با نتایج زارعی و همکاران (۱۳۸۸) در حوضه‌ای با پوشش جنگلی و بیش‌تر از مقدار محاسباتی لیتل‌وود و همکاران در حوضه‌ای با پوشش غالب زراعت و مرتع است (Littlewood et al., 2007). پارامتر 1/c نشان‌دهنده سرعت واکنش حوضه نسبت به بارش است. مقدار زیاد این پارامتر نشان از واکنش آهسته حوضه به بارش می‌باشد. مقدار برآور شده پارامتر در این پژوهش بیش از مقدار محاسباتی زارعی و همکاران (۱۳۸۸) است که ناشی از پوشش جنگلی انبوه‌تر در حوضه تجن می‌باشد که موجب تاخیر پیوستن بارش به جریان رودخانه می‌شود.

پارامتر τ^q، هرچه مقدار این پارامتر بیش‌تر باشد جریان سریع، دیرتر کاهش می‌یابد و کم‌تر بودن مقدار آن نسبت به τ^s بیانگر پاسخ حوضه در زمان کوتاه‌تری به جریان سریع است (صادقی و همکاران، ۱۳۹۴). در ادامه مقایسه نتایج دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ۴ آورده شده است، همان‌طور که مشخص است مدل در شبیه‌سازی دبی اوج توانایی کم‌تری دارد که با یافته‌های امیری و رودباری موسوی (۱۳۹۵)، یعقوبی و مساح بوانی (۱۳۹۳) و بسیاری از تحقیقات دیگر مطابقت دارد. در بخش ارزیابی مدل مقادیر کم بایاس نشان‌دهنده اختلاف جزیی دبی مشاهداتی نسبت به دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل است. هم‌چنین مقدار ضریب نش در دو مرحله واسنجی و ارزیابی به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۰ برآورد شد (جدول ۸) که طبق نتایج موتوویلو و همکاران شبیه‌سازی خوب بوده‌است (Motovilov et al., 1999). پس از واسنجی مدل داده‌های بارش روزانه میانگین حوضه و دمای میانگین در دوره‌ی ۱۴۲۸-۱۳۹۸ وارد مدل شدند و رواناب حوضه برای این دوره شبیه‌سازی شد (شکل ۵). همان‌طور که در شکل نشان داده شده میزان دبی دوره‌ی آینده نسبت به دوره پایه تحت هر دو سناریو در تمام ماه‌ها به‌جز خرداد، تیر و مرداد کاهش پیدا کرده است که احتمالا افزایش آن در سه ماه مذکور به‌دلیل افزایش دما و ذوب برف در این ماه‌ها می‌باشد. به‌طور کلی پیش‌بینی شده میزان دبی سالانه تحت سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 نسبت به دوره پایه به‌ترتیب به میزان ۱۹/۸ و ۲۱/۷ درصد کاهش می‌یابد

جدول ۷- مقادیر بهینه پارامترهای مدل IHACRES

گام زمانی	$V^{(s)}$	τ^s(day)	τ^q(day)	1/c (mm)	f (°c)	(τ_w day)
روزانه	۰/۸۲	۱۶/۸۱	۱/۹۷	۱۶۶۶	۲/۶۰	۲۵/۰۰

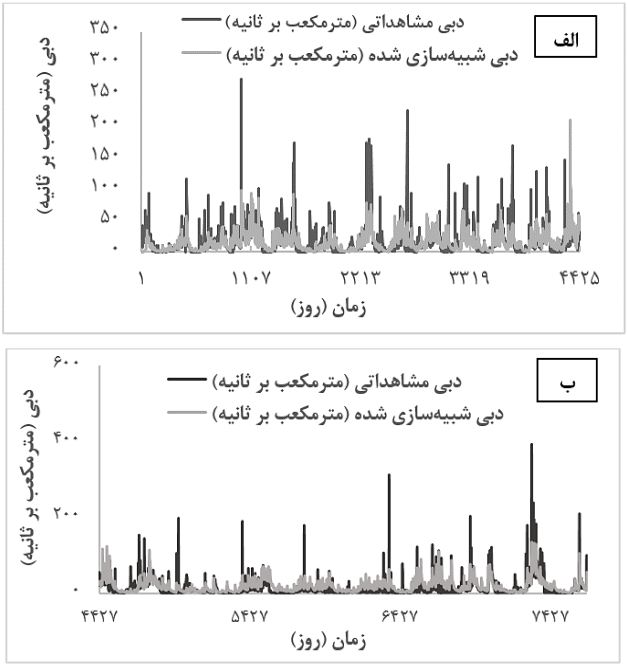
$V^{(S)}$: حجمی از جریان آهسته که در ایجاد رودخانه مشارکت دارد، τ^s: ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان آهسته، τ^q: ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع، **1/c**: ظرفیت ذخیره رطوبت حوضه، **f**: فاکتور تعدیل دما و τ^w: ثابت زمانی خشک شدن حوضه

جدول ۸- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES با معیارهای ارزیاب

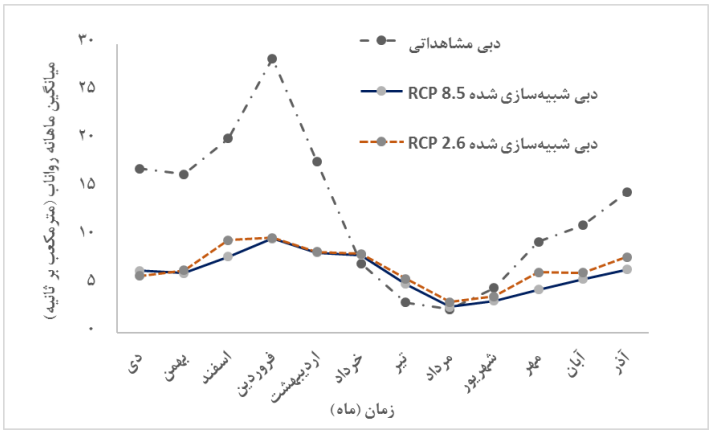
دوره	گام زمانی	NSE	BIAS(mm/year)
واسنجی	روزانه	۰/۴۵	۵/۶۸
ارزیابی	روزانه	۰/۴۰	-۴۴/۰۸

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده روزانه در مرحله واسنجی (الف) و ارزیابی (ب)



شکل ٥- تغییرات دبی شبیه‌سازی شده در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه مشاهداتی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP 8.5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق آثار تغییر اقلیم (تغییرات پارامترهای دما و بارش) در دوره‌ی آینده (۱۳۹۸-۱۴۲۸) بر دبی حوضه آب‌ریز تجن با استفاده از داده‌های مدل جوی CANESM2 و سناریوهای گزارش پنجم هیات بین‌دولت‌ها تغییر (RCP 2.6 و RCP 8.5) به‌همراه ریزمقیاس‌سازی نتایج مدل جوی با مدل SDSM مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در دوره آتی نسبت به دوره پایه بیانگر این موضوع است که تحت هر دو سناریو میزان متوسط دمای سالانه افزایش و بارش کاهش خواهد یافت. افزایش دما و به‌دنبال آن افزایش تبخیر موجب کاهش کمی و کیفی منابع آب حوضه خواهد شد. از دیگر آثار مخرب افزایش دما می‌توان به تغییر شکل بارش زمستانی اشاره کرد. کاهش در میزان بارش سبب کاهش در منابع آب از جمله افت سطح آب زیرزمینی حوضه خواهد شد. نتایج به‌دست آمده با نتایج منصوری و همکاران (۱۳۹۳) و یعقوبی و مساح بوانی (۱۳۹۳) تطابق دارد.

برای شبیه‌سازی دبی روزانه آینده حوضه از مدل IHACRES استفاده شد که طبق تحقیقات دودانگه و همکاران (۱۳۹۷)، سهرابیان و همکاران (۱۳۹۴) و صادقی و همکاران (۱۳۹۴) مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی دبی حوضه دارد. نتایج شبیه‌سازی دبی حوضه تجن در شرایط تغییر اقلیم حاکی از آن بود که میزان دبی سالانه حوضه در دوره آتی نسبت به دوره پایه تحت هر دو سناریو کاهش خواهد یافت

www.SID.ir

Archive of SID

که از پیامدهای کاهش رواناب، نقصان در تامین بهنگام و کافی نیاز آبی بخش کشاورزی و کاهش امنیت غذایی خواهد بود، که با یافته‌های منصوری و همکاران (۱۳۹۳) و مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴) هم‌خوانی دارد.

با توجه به این‌که نتایج تحقیق حاضر کارایی مدل IHACRES را در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دبی حوضه آبریز تجن به اثبات رساند و با توجه به آثار زیان‌بار تغییر اقلیم بر منابع آب و نیاز این مدل به حداقل داده‌های ورودی (دما و بارش) هم‌چنین صرف زمان کم برای اجرای آن؛ پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابهی برای سایر حوضه‌های آبریز کشور به عمل آید و از نتایج آن به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت هر چه بهتر منابع آبی و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم و بحران کم آبی استفاده شود.

سپاس‌گزاری

در انتها از جناب آقای دکتر مهدی زارعی که راهنمایی‌های ایشان در انجام بهتر تحقیق موثر بوده صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع

آشفته،پ و مساح بوانی،ع.ر. ۱۳۸۹. تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان‌شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک.۵۳. ۱۴: ۲۵-۳۹.

الماسی،پ.، سلطانی،س.، گودرزی،م و مدرس.ر. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه آبخیز بازفت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۷۸. ۲۰ : ۳۹-۵۲.

امیری،ا و رودباری موسوی،م.م. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل هیدرولوژی IHARCES در شبیه‌سازی دبی روزانه (مطالعه موردی: رودخانه‌های پل‌رود و شلمان‌رود). اکوهیدرولوژی.۴.۳: ۵۴۳-۵۳۳.

پورمحمدی،س.، دستورانی،م.ت.، مساح‌بوانی،ع.ر.، گودرزی،م.، جعفری،ه و رحیمیان،م.ح. ۱۳۹۶. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارایه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی :حوزه آب‌ریز تویسرکان همدان). نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.۳۷ .۱۱: ۱-۱۲.

توکلی،م.، کریمی،ح و نورالهی،ه. ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر منابع آب حوزه آبخیز سد ایلام. ۱۳۹۷. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۲ :۱۵۷-۱۷۰.

حاجی محمدی،م.، عزیزیان،ا و قرمز چشمه،ب. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کن. ۱۳۹۷. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۲ :۱۴۴-۱۵۶.

حجاری‌زاده،ز.ب.، آشفته،پ.س.، فتاحی،ا و غلام‌پور.ز. ۱۳۹۴. تحلیل تغییرات جریان تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از مدل شبیه‌سازی بارش - رواناب در حوضه رودخانه کر. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی.۳۸ .۱۵: ۳۱-۴۷.

دودانگه،ا.، شاهدی،ک و سلیمانی،ک. ۱۳۹۷. کاربرد تئوری کوپلا جهت ارزیابی عملکرد مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه آب‌ریز طالقان). فیزیک زمین و فضا. ۱. ۴۴: ۷۱-۸۸.

رزاقی،ه.، شاهدی،ک و حبیب‌نژاد روشن،م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز بابل‌رود با استفاده از مدل IHACRES. فصل‌نامه پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۲۶. ۷: ۱۵۹-۱۷۲.

رضایی،م.، نهتانی.م.، آبکار،.ع، میرکازهی ریگی،م. ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریز مقیاس‌نمایی آماری (*SDSM*) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی کرمان و بم). پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز.۱۰ .۵ : ۱۱۷-۱۳۱.

روشن،غ.ر.، خوش‌اخلاق،ف و عزیزی،ق. ۱۳۹۱. آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی. فصل‌نامه جغرافیا و توسعه. ۲۷: ۱۹-۳۶.

زارعی،م.، حبیب‌نژاد روشن،م.، شاهدی،ک و قنبرپور،م.ر. ۱۳۹۰. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی IHACRES به‌منظور شبیه‌سازی جریان روزانه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۱ : ۱۰۴-۱۱۴.

زارعی،م.، قنبرپور،م.ر.، حبیب‌نژاد روشن،م و شاهدی،ک. ۱۳۸۸. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش - رواناب IHARCES (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسیلیان). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۸ .۳ : ۱۱-۲۰.

زندی دره غریبی،ف.، خورسندی کوهانستانی،ز.، مزین،م و آرمان،ن. ۱۳۹۷. مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت. علوم و مهندسی آبیاری. ۲: ۱۴۷-۱۵۸.

سهرابیان،ا.، مفتاح هلقی،م.، قربانی،خ.، گلیان،س و ذاکری‌نیا،م. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی (مطالعه موردی: حوضه گالیکش در استان گلستان).

www.SID.ir

Archive of SID

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲: ۱۱۱-۱۲۵.

سیاری،ن.، علیـزاده،ا.، بنایـان‌اول،م.، فریـد حسـینی،ع.ر.، حسـامی،و.، کرمـانی،م.ر. ۱۳۹۰. مقایسـه دو مـدل گـردش عمـومی جـو (HadCM3, CGCM) در پیش‌بینی پارامترهـای اقلیمـی و نیـاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشـف‌رود). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۴: ۹۱۲-۹۲۵.

صادقی،س،ه.، قاسمیه،ه و ساداتی‌نـژاد،س.ج. ۱۳۹۴. ارزیـابی کـارایی مـدل هیـدرولوژیکی IHACRES در منـاطق مرطـوب (مطالعـه موردی حوضه ناورود، گیلان). نشریه علوم آب و خـاک (علـوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی).۷۳. ۱۹: ۷۳-۸۲.

قدمی،م.، سلطانی،س.، گودرزی،م.، نادری،س و تیموری،ح. ۱۳۹۶. اثر تغییر اقلیم بر جریان روزانه در حوضه رودخانه سزار. نشریه علـوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۴۱. ۱۲: ۸۵-۹۴.

قربـــانی،خ.، ســـهرابیان،ا.، ســـالارجزی،م و عبدالحســـینی،م. ۱۳۹۵. پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند دبی ماهانه رودخانه با بکار بردن مدل هیدرولوژیکی IHACRES مطالعه موردی :حوضـه آب‌ریـز گالیکش. نشریه حفاظت منابع آب و خاک.۵.۴ :۳۳-۱۹.

کمال،ع و مساح‌بوانی،ع.ر. ۱۳۹۰. مقایسه عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم AOGCM-AR و AOGCM-TAR در تاثیر بـر روانـاب حوضه در دوره آتی. مجله فیزیک زمین و فضا.۳. ۳۸: ۱۷۵-۱۸۸.

گودرزی،م.، معتمدوزیری،ب و میرحسینی،م.ر. ۱۳۹۶. ارزیابی کاربست مدل IHACRES برای شبیه‌سازی روانـاب سـطحی در شـرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن). علـوم و مهندسـی آبخیزداری ایران. ۳: ۸۳-۹۴.

مساح‌بوانی،ع.ر. و مرید،س. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده‌رود اصفهان. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴. ۹: ۱۷-۲۷.

منصـوری،ب.، احمـدزاده،ح.، مسـاح‌بـوانی،ع.ر.، مریـد،س.، دلاور،م و لطفی،س. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بـر منـابع آب حوضـه زرینه‌رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه آب و خاک (علـوم و صنایع کشاورزی).۶: ۱۱۹۱-۱۲۰۳.

یعقوبی،م و مساح‌بوانی،ع.ر. ۱۳۹۳. تحلیل حساسیت و مقایسه عملکرد سـه مـدل مفهـومی HBV، IHARCES و HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش – رواناب پیوسته در حوضـه‌هـای نیمـه‌خشـک (بررسی موردی: حوضه اعظم هرات – یزد). مجله فیزیک زمین و فضا. ۲. ۴۰: ۱۷۲-۱۵۳.

Al-Safi,H.I.J And Sarukkalige,P.R. 2018. The application of conceptual modelling to assess the impacts of future climate change on the hydrological response of the harvey river catchment. hydro-environment research. 32 PP.

Andersen,H.E., Kronvang,B., Larsen,S.E., Hoffmann,C.C., Jensen,T.S And Rasmussen,E.K. 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin, Science of the total environment, 365.1-3: 223-237.

Arora,V.K., Scinocca,J.F., Boer,G.J., Christian,J.R., Denman,K.L., Flato,G.M., Kharin,V.V., Lee,W.G and Merryfield,W.J. 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. 6 PP.

Boyer,C., Chaumont,D., Chartier,I and Roy,A.G. 2010. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. Journal of hydrology. 384: 65–83.

Carcano,E.C., Bartolini,P., Muselli,M and Piroddi,L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. Journal of hydrology. 362: 291– 307.

Croke, B.F.W., Andrews, F., Spate, J and Cuddy, S.M. 2005. IHACRES user guide. Technical report, second ed. ICAM, school of resources, environment and society, the Australian national university, Canberra. 39 PP. http://www.toolkit.net.au/ihacres.

Gao,C.H., Zhiguo,H., Pan,S., Xuan,W., Xu,Y.P. 2018. Effects of climate change on peak runoff and flood levels in qu river basin, east china. hydro environment research. https://doi.org/10.1016/j.jher.2018.02.005.

IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: climate change. Impacts, adaptation, and vulnerability. Part a: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change Cambridge university press, usa. 32 PP.

IPCC. 2007. Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Exit epa disclaimer contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge univ. 976 PP.

IPCC. 2013. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, 1535 PP.

Littlewood,L.G., Clarke,R.T., Collischonn,W and Crock,B.F.W. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: two Brazilian catchments. Environmental modelling and software, 22: 1229-1239.

Mahmood, R and S Babel, M. 2014. Future changes in

www.SID.ir

Archive of SID

precipitation climatology. Clim research, 38:31–41.

Saraf,V.R and Regulwar,D.G. 2016. Assessment of climate change for precipitation and temperature using statistical downscaling methods in upper Godavari river basin, india. Journal of water resource and protection. 8: 31-45..

Wilby,R.L., Dawson, C.W and Barrow, E.M. 2002. SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Environ. Model soft. 17 (2), 145-157. http://dx.doi.org/10.1016/s1364-8152(01)00060-3.

Zhang,Y., You,Q., Chen,C.H and Ge,J. 2016. Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in xin river basin, china. atmospheric research. 178: 521-534.

extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin.Weather and Climate extremes. 5-6:56–66.

Motovilov,Y.G., Gottschalk,L., Engeland,K and Rohde,A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agriculture and forest.

Pervez,M.Sh and Henebry,G.M. 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation—downscaled from GCM predictors. Journal of hydrology. 517: 120–134.

Salon,S., Cossarini,G., Libralato,S., Gao, X., Solidoro,S and Giorgi,F. 2008. Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 13, Apr.-May. 2019, p. 129-141

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۳، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۸، ص. ۱۴۱-۱۲۹

Application of the IHACRES Model to Assess the Effects of Climate Change on the Discharge of Tajan Watershed

F. Mojerloo[1], R. Fazloula [2*] and A.R. Emadi[3]

Recived: Jul.22, 2018 Accepted: Sep.17, 2017

Abstract

Climate change and global warming are one of the most important issues in the world in the current era and are spreading all over the globe and its harmful effects on water resources are not overlooked; Therefore, forecasting the climate change of an area will play an important role in the planning and management of water resources. The purpose of this study is to evaluate the effects of this phenomenon on the discharge of Tajan watershed in the upcoming period. For this purpose, in the first step, the simulation of temperature and precipitation parameters was performed using the CANESM2 atmospheric model under the new RCP2.6 and RCP8.5 release scenarios and microscopic atmospheric model outputs with SDSM model. Then simulation of daily discharge of the basin was carried out in the future period with the IHACRES rainfall–runoff model. Non-parametric Mann-Whitney test was used to check the performance and error of SDSM downscaling model, which illustrates the model's performance in the downscaling of temperature and precipitation at the studied stations. In general, the results of the model showed that the average annual temperature of the basin in the upcoming period (2020-2049) compared to the base period of this research (1976-2005) will increase under two scenarios RCP 2.6 and RCP 8.5, 1.14 and 1.57 and amount of precipitation will decrease under the same two scenarios, 59.72 and 70.98 mm, respectively. In the final step, the results of IHACRES calibration and validation were examined. In the final step, the results of the IHACRES calibration and validation were checked. During these two stages, the Nash-Sutcliff efficiency coefficient (0.45 and 0.40) was obtained, which indicates the acceptable accuracy of the model in the simulation of the discharge. According to the results of this research, it was predicted that discharge under two scenarios RCP 2.6 and RCP 8.5 will decrease 19.8 and 21.7% respectively in the upcoming period compared to the base period.

Keywords: CANESM2 model, Rainfall–Runoff Model, RCP Scenarios, Statistical Downscaling

1- M.Sc. Student in Water Resources Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
(*- Corresponding Author, Email: raminfazl@yahoo.com)

www.SID.ir