

بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر جریان حدی حوزه آبخیز کن

مهدی احمدی^۱، بهارک معتمد وزیری^{۲*}، حسن احمدی^۳، ابوالفضل معینی^۴ و غلامرضا زهتابیان^۵

- (۱) دانشجوی دکتری گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
(۲*) استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول مکاتبات: bmvaziri@gmail.com
(۳) استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
(۴) استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
(۵) استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷

چکیده

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بر اکوسیستم‌های طبیعی و جنبه‌های مختلف زندگی انسان تأثیر دارد. تأثیرات گرمایش جهانی بر بخش هیدرولوژی و چرخه آب در طبیعت بسیار جدی است و شناخت این اثرات به صورت کمی، آمادگی بیشتری برای مقابله با تبعات آن ایجاد می‌کند. در تحقیق حاضر بر اساس مدل SDSM و ASD به پیش‌بینی دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰ پرداخته شد و در نهایت اثرات تغییر اقلیم بر شرایط هیدرولوژیک حوزه آبخیز کن با استفاده از مدل ANN و IHACRES شبیه‌سازی شد. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل SDSM و ASD در شبیه‌سازی‌های اقلیمی و ANN و IHACRES در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی (۲۰۱۰-۲۱۰۰) افزایش بارندگی (۲-۲۷ درصد)، افزایش دما (۳/۰-۴/۴ درجه سانتی‌گراد) محتمل است. تغییرات رواناب در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) افزایش (۵-۳۶ درصدی) در سناریوهای RCP، و کاهش (۳۲-۴۱ درصدی) در سناریو A2 را نشان می‌دهد. میزان مقادیر حداکثر در دوره آتی افزایش، و جریان حداقل کاهش می‌یابد. بیش‌ترین تغییرات در فصل بهار مشاهده شد. نتایج تحقیق ضمن بیان اهمیت تأثیرات تغییر اقلیم، کاربرد آن‌ها را در بکارگیری مدیریت درست برای سازگاری با تغییرات اقلیمی در سیاست‌های آتی مدیریت حوزه آبخیز کن لازم و ضروری می‌داند.

کلید واژه‌ها: بارش - رواناب؛ مدل‌سازی اقلیمی؛ CanESM2؛ HadCM3

مقدمه

الگوهای بارندگی پدیده‌های غالب در تغییر اقلیم است که این دو تقریباً تمام بخش‌های دیگر چرخه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییر اقلیم، تغییر معنادار متوسط داده‌های هواشناسی در یک دوره زمانی معین است (Meenu et al., 2013). این دوره زمانی معمولاً ۱۰ ساله

گرم شدن زمین و تأثیر آن بر چرخه آب مساله‌ای است که امروزه تمام دانشمندان علوم جوی بر روی آن اتفاق نظر دارند. افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در

می‌شود. منطقه مطالعاتی در این پژوهش استان تهران، حوزه آبخیز کن با توجه به سیلاب ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ انتخاب شد. علت انتخاب این حوزه آبخیز عبارت است از: الف) در مطالعات اقلیم شبیه‌سازی بارش- رواناب نیاز است که اطلاعات کامل، درست و پراکنش ایستگاه‌های اطراف حوزه آبخیز کافی و مناسب باشد و ب) با توجه به مطالعات معاونت آبخیزداری استان تهران از لحاظ استراتژیک حوزه آبخیز کن یک منطقه مطالعاتی مهم، که در بالادست استان تهران قرار گرفته، و در نتیجه مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر سیلاب و خشکسالی در این منطقه پژوهشی بسیار مهم است.

نتایج به دست آمده در ارتباط با تغییر اقلیم در ایران و جهان نشان می‌دهد: در حوزه آبخیز کن، توسط حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) به کمک مدل SWAT^۶ و SDSM^۷ و خروجی نسل چهارم، تغییرهای اقلیم مطالعه شد، نتایج در دوره آتی بیان نمود که دما به میزان ۱/۳ و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش، و در تمام ایستگاه‌ها برآساس خروجی سناریو نسل چهارم کاهش بارش و در ارتباط با رواناب؛ افزایش در فصل زمستان، و کاهش در مابقی فصول را نشان داد. تفاوتی که در این پژوهش با حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۷) وجود دارد عبارت است از: الف) در این پژوهش علاوه بر خروجی نسل چهارم، از خروجی نسل پنجم و سناریوهای آن استفاده شده که در نهایت با خروجی‌های نسل چهارم مقایسه می‌شود. ب) در این پژوهش عملکرد دو مدل ریزمقیاس‌نمایی (ASD^۸ و SDSM) بررسی و عدم قطعیت آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. ج) برای شبیه‌سازی بارش- رواناب در این پژوهش از مدل‌های IHACRES و ANN استفاده شده است. د) در این پژوهش تمرکز اصلی بر مقادیر حدی است و در نهایت

یا بیشتر است. تمام مدل‌های AOGCM^۱، افزایش دما در سطح زمین و افزایش شدت بارش و مقدار آن بر اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌نمایند. یکی از اثرات پدیده تغییر اقلیم، تاثیر بر منابع آب است. شدت و خصوصیات اثرات منفی تغییر اقلیم بر منابع آب از نقطه ای به نقطه ی دیگر متفاوت است (Holcomb et al., 2013; Ramak et al., 2018).

با توجه به پژوهش‌هایی که Wilby و همکاران (2004) در کانادا، Wilby و Dawson (2013) در کانادا و Reziei و همکاران (2005) در ایران انجام داده‌اند، باید پذیرفت که تغییر اقلیم در سطح ایران و خارج از کشور در حال رخ دادن است و مقادیر سیلاب و خشکسالی به مراتب فراوان‌تر از گذشته و با شدت بیشتر اتفاق افتاده است (Mirdashtvan et al., 2018; Raziei et al., 2005).

میزان این شدت در محل‌ها و مکان‌های مختلف متفاوت است به طوری که در مناطق میانی و نیمکره شمالی جهان با شدت بیشتر در حال رخ دادن است (Jahanbani et al., 2011). برای آنکه بتوان مدیریت و برنامه‌ریزی مناسبی با این تغییرها داشته باشیم، باید مطالعاتی در مناطق مختلف زمین در ارتباط با تغییر اقلیم داشت. پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با تغییر اقلیم در سطح جهان (Zang et al., 2012; Gosling et al., 2011) و ایران (Zarghami et al., 2011; Nasseri and Zahraie, 2013) انجام شده است و نتایج مختلفی در ارتباط با تغییرهای بارش و دما حاصل شده است. در این پژوهش به کمک دو خروجی نسل چهارم (HadCM₃^۲) و نسل پنجم (CanESM2^۳) متغیرهای بارش، دما بیشینه و دما کمینه در دوره آتی شبیه‌سازی شده و در نهایت به کمک دو مدل IHACRES^۴ و ANN^۵ مقادیر حدی شبیه‌سازی

1. Atmospheric Ocean General Circulation Model
2. Hadley Centre Coupled Model, version 3
3. Canadian Earth System Model
4. Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data

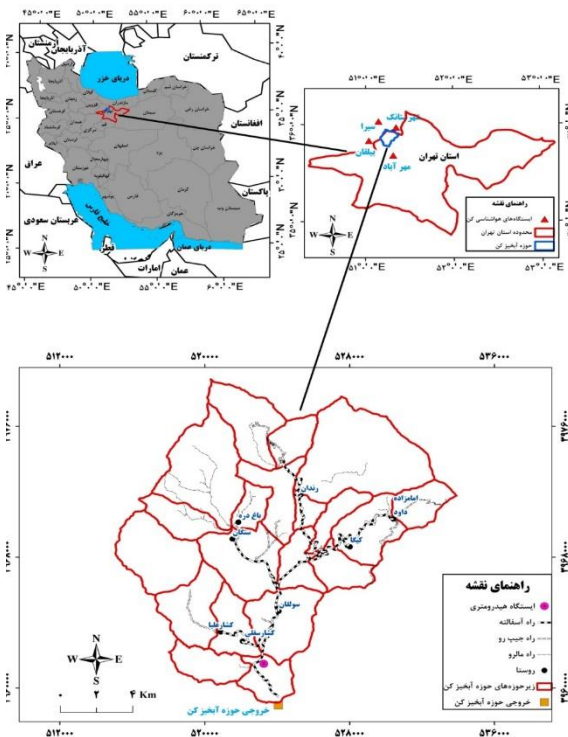
5. Artificial Neural Network
6. Soil and Water Assessment Tool
7. Statistical Down Scaling Model
8. Automated Statistical Downscaling

در دوره آتی بارش کاهش یافته و در عوض مقدار شدت بارش در دوره آتی و در نهایت متوسط بارش ماهانه یک روند افزایشی از خود نشان می‌دهد. Fenta Mekonnen و Disse (۲۰۱۹) در پژوهشی در رودخانه نیل در آفریقا به ارزیابی عملکرد خروجی نسل چهارم و پنجم پرداخته است. نتایج در این پژوهش نشان داد که عملکرد خروجی نسل پنجم بهتر از خروجی نسل چهارم است. Resende و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب در برزیل به کمک خروجی CanESM2 پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که میزان رواناب و مقادیر حدی به صورت متغیر افزایش می‌یابد، بخصوص این اتفاق در بارش‌های بالای ۱۰۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. به علت بزرگ بودن سلول‌های محاسباتی در مطالعات تغییر اقلیم باید توسط تکنیک ریز مقیاس‌نمایی، مقیاس سلول محاسباتی را کوچک مقیاس نمود. برآساس پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۳) و قرمزچشمه و همکاران (۱۳۹۲) مدل SDSM و ASD یک مدل مناسب در جهت تکنیک ریز مقیاس‌نمایی است.

تفاوت‌هایی که در این پژوهش با سایر پژوهش‌ها وجود دارد عبارت است از: الف) مقادیر حداقل و مقادیر حداکثر تحت تاثیر تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و در نهایت عملکرد مدل‌های بارش- رواناب در مقادیر حدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و ب) برای اولین بار از روش ASD در منطقه مطالعاتی در جهت ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده است. بیشتر مطالعات انجام داده شده در تغییر اقلیم؛ توجه زیاد به تغییرات در میانگین‌های ماهانه و سالانه در دوره آتی و عدم توجه به مقادیر حدی در دوره آتی، و با توجه به اینکه مقادیر حدی بخصوص جریان حداقل و جریان حداکثر در حال افزایش است بنابراین شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر در فرآیند سیلاب و جریان حداقل در فرآیند خشکسالی بسیار مهم و حائز اهمیت است.

تغییرات مقادیر حدی مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. میردشتوان و همکاران (۱۳۹۷) در دریاچه ارومیه به ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک خروجی نسل چهارم و مدل SDSM و IHACRES پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که بارش دارای یک روند افزایشی و کاهش می‌باشد، دما به میزان ۱/۲ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش و میزان رواناب به میزان ۲۵ و پنج درصد در سناریو A₂ و B₂ افزایش می‌یابد. میر اکبری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی در یزد به ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک مدل‌های RCP^۹ پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که بارش دارای روند افزایشی و کاهش به میزان یک الی ۱۷ درصد است. گودرزی و فاتحی‌فر (۱۳۹۸) به پهنه‌بندی خطر سیلاب به کمک سناریو RCP8.5 و مدل SWAT و SDSM در حوزه آبخیز آذرچای پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که بارش ۵ درصد افزایش و همچنین مقادیر حداکثر دارای افزایش متغیر است. Narsimlu و همکاران (۲۰۱۳) در هند به ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک مدل‌های SWAT و خروجی نسل چهارم پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که میزان رواناب در دوره آتی دارای یک افزایش ۱۶/۴ و ۹۳/۵ درصدی است. Ashrafvaghefi و همکاران (2014) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک مدل SWAT در حوزه آبخیز کرخه پرداخته است و نتایج در این پژوهش نشان داد که در دوره آتی دوره‌های خشکسالی افزایش می‌یابد. Tahir و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی در مالزی به ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک مدل‌های CanESM2 و SDSM پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که به ترتیب بارش به میزان ۸/۱۳، ۱۴/۷ و ۴۰/۵ در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. Zahraie و Nasseri (2019) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم در حوزه آبخیز شهری برآساس سناریو نسل پنجم پرداخته است، نتایج در این تحقیق نشان داد که

مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که علت استفاده از داده‌های روزانه، لزوم دقت در بررسی نتایج بود. در این پژوهش، متغیرهای دمای بیشینه و کمینه از ایستگاه‌های سینوپتیک مهرآباد و شمیرانات (شمال تهران) تهیه گردید. علت این موضوع، نزدیک بودن ایستگاه‌ها به منطقه مورد مطالعه و نیز دارا بودن آمار طولانی‌مدت، اطلاعات مناسب و مفید و ارتفاعی تقریباً مشابه برابر با سایر ایستگاه‌ها بود. همچنین متغیر بارش از آمار بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک مهرآباد و شمیرانات و ایستگاه‌های باران‌سنجی شهرستانک، سیرا، بیلقان به دست آمد. ایستگاه هیدرومتری سولفون واقع در خروجی حوزه آبخیز نیز، به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهدات تغییرات رواناب انتخاب گردید. علاوه بر این برای بازسازی داده‌ها و آزمون توالی و مشخص نمودن داده پرت از تمام ایستگاه‌های موجود در استان تهران، استفاده گردید.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

هدف‌های پژوهش عبارت است از: الف) ارزیابی عملکرد مدل‌های ASD و SDSM در شبیه‌سازی متغیر بارش، دما بیشینه و دما کمینه، و مقایسه خروجی‌های نسل چهارم و پنجم در استان تهران، ب) ارزیابی عملکرد مدل‌های IHACRES و ANN در شبیه‌سازی جریان حداقل و جریان حداکثر، ج) تغییرات دما بیشینه، دما کمینه و بارش در دوره آبی و د- ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی حوزه آبخیز کن

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

حوزه آبخیز کن با مساحت ۲۰۵۷۱/۰۴ هکتار است که از جنوب به شهر تهران، از شرق به حوزه درکه، از شمال به حوزه جاجرود و از غرب به حوزه رودخانه کرج ارتباط دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۲" و ۱۰' و ۵۱ تا ۳۵" ۲۲' و ۵۱° طول شرقی و ۲۸" و ۴۶' و ۳۵ تا ۱۴" ۱۶' و ۵۷° و ۳۵° عرض شمالی واقع گردیده است. رودخانه‌های حوزه آبخیز از مراتع مرتفع سرچشمه گرفته و به همین دلیل از شیب بالایی برخوردار هستند. مهمترین آبراهه حوزه آبخیز رود کن است که از ارتفاعات مشرف به امامزاده داود سرچشمه گرفته و تا خروجی حوزه آبخیز (مناطق مسکونی کن) ادامه دارد. از دیگر آبراهه‌های مهم حوزه می‌توان لالون، تالون و کشار نام برد. حداکثر ارتفاع آن از سطح دریا ۳۸۴۰ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوزه آبخیز برابر ۱۳۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

روش پژوهش

در مطالعات تغییر اقلیم در ابتدا لازم است تا داده‌های دوره پایه مشخص شوند. در این پژوهش، داده‌های پایه مورد استفاده شامل داده‌های مشاهداتی دما، بارش و رواناب به صورت روزانه در دوره‌های مختلف هستند که

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق

سال آماری	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	نوع ایستگاه	ایستگاه
۱۹۶۱-۲۰۱۰	۱۱۹۰/۸	۳۵-۴۱	۵۱-۱۹	سینوپتیک	مهرآباد
۱۹۸۸-۲۰۱۰	۱۵۴۹/۱	۳۵-۴۸	۵۱-۲۹	سینوپتیک	شمیرانات
۱۹۷۰-۲۰۱۰	۲۱۹۳	۳۵-۵۸	۵۱-۲۱	باران‌سنجی	شهرستانک
۱۹۷۰-۲۰۱۰	۱۷۹۰	۳۶-۰۲	۵۱-۰۹	باران‌سنجی	سیرا
۱۹۷۰-۲۰۱۰	۱۳۶۰	۳۵-۵۰	۵۱-۰۲	باران‌سنجی	بیلقان
۱۹۷۰-۲۰۱۰	۱۴۳۰	۳۵-۴۷	۵۱-۱۵	هیدرومتری	سولقان

ترکیبی از روش مولدهای هواشناسی استوکاستیکی و توابع تغییر شکل یافته است (Wilby and Dowson, 2007). مدل ASD یک ابزار است که این ابزار ترکیبی از مولدهای تصادفی آب‌وهوا و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی مبتنی بر رگرسیون است که باعث ایجاد سناریوهای تک‌سایت از متغیرهای آب‌وهوایی سطحی، تحت واداشت-های اقلیم حاضر و آینده می‌شود؛ که توسط حسامی با همکاری مرکز انستیتو ملی دلا و محیط زیست کانادا طراحی شده است (Taie semiromi and Koch, 2017). متغیرهای پیش‌بینی کننده را از میان ۲۶ متغیر مدل CanESM2 و HadCM3 انتخاب شد و مشخصات آن در جدول ۲ آمده است.

شبکه عصبی مصنوعی

در دهه گذشته استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مطالعات داخل و خارج از ایران در حال افزایش است. یکی از مزیت‌های شبکه عصبی مصنوعی دقت بالای آن در شبیه‌سازی است، در گذشته شبکه عصبی مصنوعی از پیچیدگی خاصی برخوردار نبودند ولی امروز شبکه عصبی مصنوعی به دلیل ظهور نرم افزارهای قدرتمند از جمله متلب بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گرفته است.

مدل تغییر اقلیم و ریزمقیاس‌نمایی

در این پژوهش برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم از خروجی گزارش نسل پنجم و چهارم استفاده شد. برای ارزیابی تغییر اقلیم از مدل CanESM2 تحت سه سناریو انتشار 'RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل HadCM3 تحت سناریو انتشار A2 استفاده شد. علت استفاده از این مدل بزرگ مقیاس به این موضوع مرتبط می‌گردد که فقط اطلاعات ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده آن در اختیار کاربران است (قرمزچشمه، ۱۳۹۲). برای ریزمقیاس کردن در این تحقیق از مدل SDSM5.2 و ASD استفاده شد. مدل SDSM یک مدل آماری ریزمقیاس‌نمایی است، که توسط Wilby در سال 2002 ارائه شده است. SDSM رابطه رگرسیون خطی چند متغیره بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده برقرار می‌کند (Mahmood and Babel, 2013). در این مدل ابتدا متغیر پیش‌بینی شونده با استفاده از روش رگرسیون ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی^{۱۱} کوچک مقیاس شده و سپس در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد (Zehtabian et al., 2016)؛ در واقع

10. Representative Concentration Pathway

11. Stochastic Weather Generation

جدول ۲. متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب برای هر متغیر پیش‌بینی شونده (بارش - میلی‌متر در روز و دما - درجه‌سانتی‌گراد)

ایستگاه	متغیر اقلیمی پیش‌بینی شونده	متغیر پیش‌بینی کننده
مهر آباد	بارش	حالت گردابی سطحی، واگرایی سطحی، سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت نصف‌النهاری در ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت ویژه سطحی
	دما بیشینه	سرعت مداری در ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط دریا، رطوبت نسبی سطحی و متوسط دما در ارتفاع دو متری
	دما کمینه	متوسط دما در ارتفاع دو متری، فشار متوسط دریا، سرعت نصف‌النهاری سطحی و حالت گردابی سطحی
شمیرانات	بارش	رطوبت ویژه سطحی، سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط سطح دریا، ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت مداری سطحی
	دما بیشینه	متوسط دما در ارتفاع دو متری، فشار متوسط سطح دریا، حالت گردابی سطحی، ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت مداری در ۸۵۰ هکتوپاسکال
	دما کمینه	متوسط دما در ارتفاع دو متری، فشار متوسط سطح دریا، حالت گردابی سطحی، ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوانی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
شهرستانک	بارش	رطوبت ویژه سطحی، فشار متوسط سطح دریا، قدرت جریان در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوانی در ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت ویژه یا نسبی در ۵۰۰ هکتوپاسکال
سیرا	بارش	رطوبت ویژه سطحی، فشار متوسط سطح دریا، حالت گردابی سطحی، قدرت جریان در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت نصف‌النهاری در ۵۰۰ هکتوپاسکال و ژئوپتانسیل در ۵۰۰ هکتوپاسکال
بیلقان	بارش	رطوبت ویژه سطحی، سرعت مداری سطحی، سرعت نصف‌النهاری سطحی، جهت باد در ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوانی در ۸۵۰ هکتوپاسکال

آبخیز که مشخصات آن در جدول ۱ قابل مشاهده است وزن هر ایستگاه در میزان بارش دریافتی برای حوزه آبخیز کن مشخص و در نهایت به کمک آزمون‌های همبستگی، نوع رابطه میان رواناب با بارش روزهای قبل مشخص شد و نتایج آن در جدول ۳ قابل مشاهده است. همچنین جدول ۳ نوع ساختار شبکه و ورودی‌های آن را نشان می‌دهد. برای مشخص نمودن تعداد نرون‌ها در این تحقیق از روش سعی و خطا و میزان ضریب همبستگی، تعداد نرون‌های داخل هر ساختار مشخص شد. در این پژوهش بازه ۱۹۸۷-۱۹۹۱ برای واسنجی و ۱۹۹۲-۱۹۹۶ برای صحت‌سنجی انتخاب شد.

یکی از مشکلاتی که در شبیه‌سازی دوره آبی وجود دارد؛ ورودی‌های مدل شبکه عصبی مصنوعی است؛ برای

در این پژوهش به منظور طراحی شبکه عصبی مصنوعی، از شبکه پسانتشار^{۱۲} و تابع انتقال LOGSIG و تانژانت سیگموئید^{۱۳} به علت نتایج بهتر نسبت به سایر شبکه‌ها (Carcano et al., 2008; Noori and Kalin, 2016)؛ و الگوریتم مورد استفاده در این شبکه، الگوریتم لونیبرگ مارکوآرت^{۱۴} بود. این الگوریتم به چند دلیل مورد استفاده قرار گرفت که عبارت‌اند از: الف- الگوریتم پیشنهاد شده در نرم‌افزار متلب، ب- سرعت یادگیری بالا و ج- دقت قابل ملاحظه و به حداقل رسیدن خطا (Hassan et al., 2015) در این پژوهش ابتدا به کمک روابط شبکه تیسن به کمک ایستگاه‌های اطراف حوزه

12- Feed Forward
13- Sigmoid
14-Levenberg-Marquardt

کد نویسی و برنامه نویسی در محیط متلب امکان پذیر شد و ساختار یک تا شش جدول ۳ اجرا شد.

نمونه ساختار یک شبکه بدین گونه است که رواناب امروز به رواناب روز قبل از آن وابستگی دارد؛ زمانی که در آینده رواناب روز قبل موجود نیست این عمل به کمک

جدول ۳. بررسی ساختار شبکه عصبی مصنوعی

اسم شبکه	تعداد نرون در	
	لایه اول	دوم
ساختار یک	۱۹	۱۹
ساختار دو	۲۳	۲۳
ساختار سوم	۲۳	۲۳
ساختار چهارم	۱۲	۱۲
ساختار پنجم	۱۶	۱۶
ساختار ششم	۲۵	۲۵

$Q_n = R_n$ رواناب در روز n ، متر مکعب بر ثانیه. $R_n =$ بارش در روز n ، میلی متر. $T_n =$ متوسط دما بیشینه و کمینه در روز n

در بخش خطی بارش موثر ایجاد شده در مرحله غیر خطی به کمک ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان، ثابت زمانی کاهش جریان و نسبت حجمی جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد، به کمک روابط رگرسیونی باعث ایجاد و تولید جریان شبیه سازی شده می شود (شکل ۲).

اختلافاتی که میان دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و IHACRES وجود دارد عبارت است از:

الف) مدل IHACRES برای شبیه سازی جریان علاوه بر جریان روزانه، دمای بیشینه و دمای کمینه از مساحت حوزه و سایر پارامترها که در بخش خطی و غیر خطی مدل IHACRES در ارتباط با آن توضیح داده شد استفاده می نماید، در حالی که شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه سازی جریان از جریان روزانه، دما بیشینه و دما کمینه استفاده می نماید.

ب) مدل شبکه عصبی مصنوعی برای ایجاد ساختار رگرسیونی خود تعداد زیادی روابط ریاضی را در درون

IHACRES

مدل بارش- رواناب IHACRES توسط هیدرولوژیست های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوزه آبخیز دانشگاه ملی استرلیا، و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی انجمن تحقیقات زیست محیطی انگلستان توسعه یافته است (Liu et al., 2018). مدل IHACRES، یک مدل بارش- رواناب در مقیاس حوزه آبخیز است. هدف از ایجاد مدل مذکور، به کارگیری آن در بخش های هیدرولوژی و مهندسی منابع آب و کمک به شناسایی ویژگی های رابطه دینامیکی میان بارش و رواناب است (Croke and Jakemen, 2004). در این مدل برای

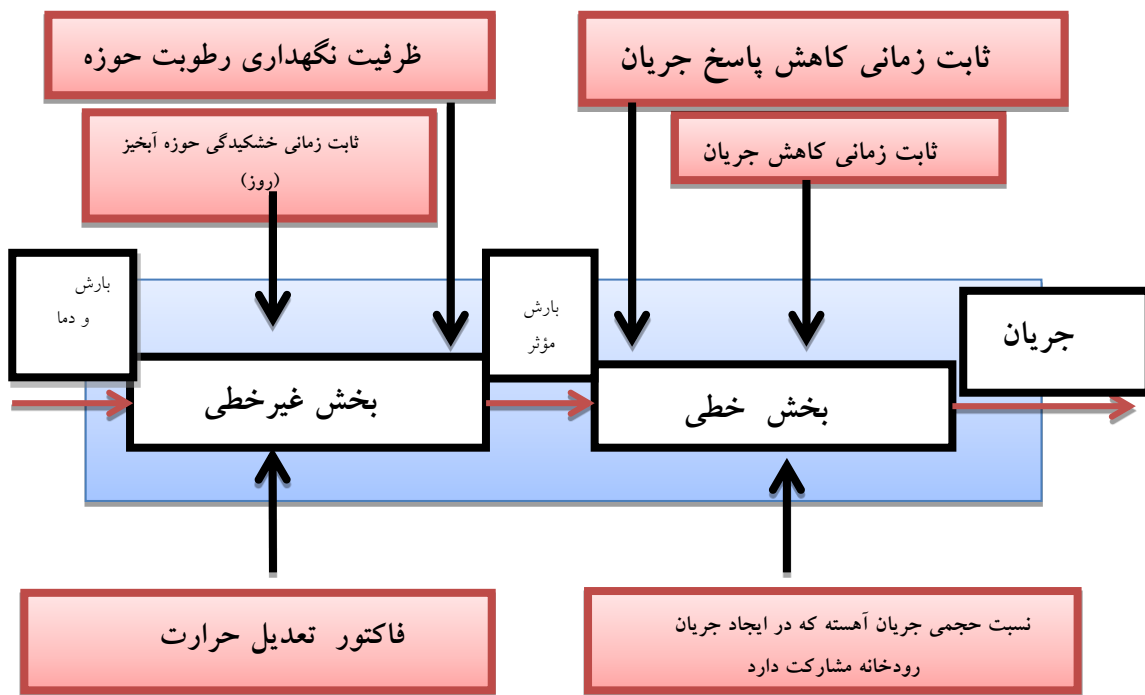
شبیه سازی بارش- رواناب از دو بخش خطی و غیر خطی استفاده شده است. در بخش غیر خطی بارش و دما وارد مدل می شود و پارامترهای ظرفیت نگهداری رطوبت حوزه آبخیز (میلی متر)، ثابت زمانی خشکیدگی حوزه آبخیز (روز) و فاکتور تعدیل حرارت (درجه سانتی گراد) تشکیل و در نهایت بارش موثر ایجاد می شود.

قبل نیاز دارد در حالی که در مدل IHACRES بدین گونه نیست.

(د) مدل شبکه عصبی مصنوعی به مقادیر حداکثر با توجه به تابع انتقال و الگوریتم وزن و اهمیت می‌دهد، و در نهایت می‌تواند مقادیر حداکثر را بهتر شبیه‌سازی نماید.

خود با توجه به نوع الگوریتم یادگیری، نوع تابع انتقال و ساختار شبکه در نظر می‌گیرد و در نهایت جریان را شبیه‌سازی می‌نماید، در حالی که در مدل IHACRES بدین گونه نمی‌باشد.

(ج) مدل شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی جریان در دوره آبی به دبی‌های شبیه‌سازی شده روزهای



شکل ۲. ساختار مدل IHACRES

اختلاف میانگین (MBE^{15})، میانگین مربعات خطا $RMSE^{16}$ و شاخص ارزیابی حداکثر خطا (MAE^{17}) استفاده شد که روابط (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۵) معادلات مربوط به آن را نشان می‌دهد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i) - (S_i - \bar{S})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{\sum (Q_i - S_i)^2}{n} \quad (3)$$

بررسی مقادیر حداقل، حداکثر و خطا

برای محاسبه جریان حداقل و حداکثر از شاخص $Q5$ و $Q95$ استفاده شد بدین گونه که این دو شاخص برای هر سال از آمار روزانه محاسبه و برای کل دوره ۳۰ ساله میانگین آن به دست آمد، و در نهایت میزان تغییرها مورد بررسی قرار گرفت (Jin et al., 2018).

برای بررسی عدم قطعیت در پژوهش از میانگین (برآورد نقطه‌ای) و برای بررسی خطا از ضریب نش-ساتکلیف (NSE)، ضریب همبستگی (R^2)، معیار

15. Mean Bias Error
16. Root Mean Square Error
17. Mean Absolute Error

و ۲۲ (مه) میلی‌متر، و در سناریو نسل چهارم به ترتیب برابر با ۳۶ (اکتبر) و ۲۹ (مه) میلی‌متر است. با بررسی بارش ایستگاه بیلقان، میانگین ماهانه برای دوره مشاهداتی برابر با ۲۸ میلی‌متر، و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۳۲/۷ و ۳۴ میلی‌متر، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۳۷/۶ و ۳۱/۸ میلی‌متر است، با بررسی MBE ماهانه بیشترین خطا به ترتیب در مدل‌های ASD و SDSM در سناریو نسل پنجم برابر با ۱۶ (اکتبر) و ۳۵ (سپتامبر) میلی‌متر، و در سناریو نسل چهارم به ترتیب برابر با ۴۱ (اکتبر) و ۱۶ (مارس) میلی‌متر است. با بررسی بارش ایستگاه شهرستانک، میانگین ماهانه برای دوره مشاهداتی برابر با ۵۰ میلی‌متر و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۵۳/۳ و ۵۱ میلی‌متر، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۶۶/۷ و ۴۴/۹ میلی‌متر است.

با بررسی دما بیشینه شکل (۳-ب)، میانگین ماهانه دما برای دوره مشاهداتی برابر با ۲۲/۷ درجه‌سانتی‌گراد و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۲۲/۴ و ۲۳ درجه‌سانتی‌گراد، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۲۲/۵ و ۲۲/۳ درجه‌سانتی‌گراد است.

با بررسی دما کمینه میانگین ماهانه برای دوره مشاهداتی برابر با ۱۲/۱ درجه‌سانتی‌گراد و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۱۱/۳ و ۱۰/۷۵ درجه‌سانتی‌گراد، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۱۲ و ۱۱/۶ درجه‌سانتی‌گراد است. با بررسی نتایج در خروجی نسل پنجم در بارش، دما بیشینه و کمینه عملکرد مدل ASD بهتر از SDSM، و در خروجی نسل چهارم عملکرد مدل SDSM تا حدودی بهتر از ASD است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{|(Q_o - Q_m)|}{n} \quad (۵)$$

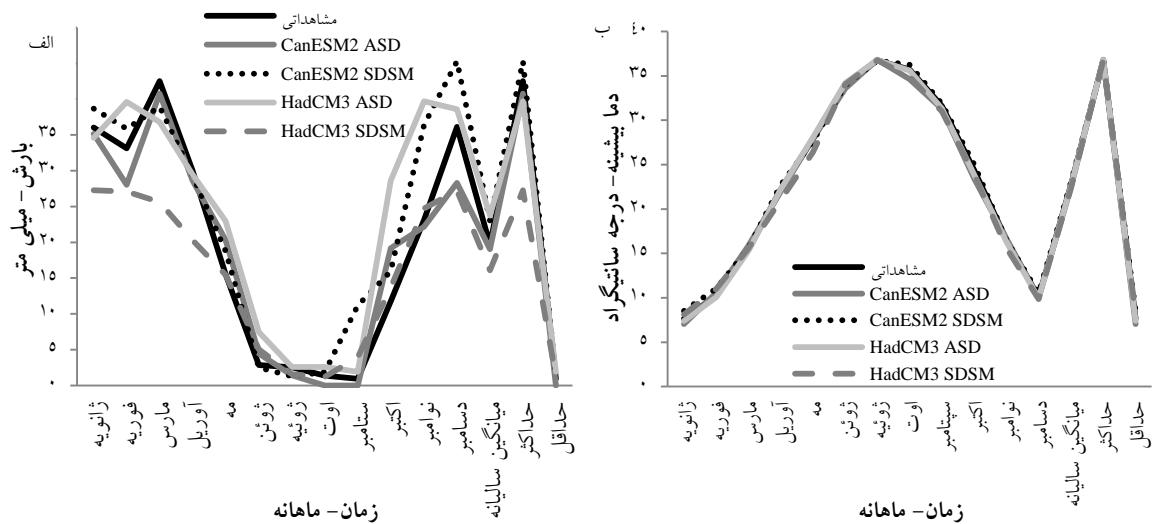
Q_i مشاهداتی، \bar{Q} میانگین مشاهداتی، S_i شبیه‌سازی شده، \bar{S} میانگین شبیه‌سازی، n ، تعداد داده‌ها

علاوه بر موارد بالا برای بررسی عدم قطعیت در پژوهش از آزمون من-ویتنی برای بارش و آزمون تی جفتی در دما بیشینه و کمینه در سطح ۹۵ درصد به کمک نرم افزار SPSS انجام شد و فرض‌ها پژوهش نیز عبارت است از: الف= فرض صفر (عدم اختلاف معنی‌دار در میانگین‌ها) و ب= فرض یک (وجود اختلاف معنی‌دار در میانگین‌ها)

نتایج و بحث

نتایج مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی

با بررسی بارش ایستگاه مهرآباد در شکل (۳-الف)، میانگین ماهانه برای دوره مشاهداتی برابر با ۱۹/۶۵ میلی‌متر و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۱۹/۱ و ۲۳ میلی‌متر، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۲۳/۷ و ۱۶/۱ میلی‌متر است، با بررسی MBE ماهانه بیشترین خطا به ترتیب در مدل‌های ASD و SDSM در سناریو نسل پنجم برابر با ۷/۸ (دسامبر) و ۱۳ (نوامبر) میلی‌متر، و در سناریو نسل چهارم به ترتیب برابر با ۱۶ (اکتبر) و ۱۷ (مارس) میلی‌متر است. با بررسی بارش ایستگاه سیرا، میانگین ماهانه برای دوره مشاهداتی برابر با ۵۰ میلی‌متر، و برای CanESM2 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۵۱/۱ و ۵۸ میلی‌متر، و برای مدل HadCM3 مدل ASD و SDSM به ترتیب برابر با ۵۶/۴ و ۵۲/۱ میلی‌متر است، با بررسی MBE ماهانه بیشترین خطا به ترتیب در مدل‌های ASD و SDSM در سناریو نسل پنجم برابر با ۱۳ (آوریل)



شکل ۳. الف) میانگین ماهانه بارش و ب) میانگین ماهانه دما بیشینه (مهرآباد)

نتایج مدل‌های بارش-رواناب

جدول ۶ معیارهای خطا را برای دو مدل بارش-رواناب نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول مشخص است از میان شش ساختار شبکه عصبی مصنوعی عملکرد ساختار ششم از سایر ساختارها بهتر است. علت برتری ساختار ششم را می‌توان در ورودی‌های ساختار شش دانست، یعنی زمانی شبکه عصبی مصنوعی عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهد که در ورودی‌های خود رواناب روزهای قبل موجود باشد. میزان ضریب همبستگی برای مدل ساختار ششم در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۴ است (شکل ۴-الف و ۴-ب). و در مدل IHACRES میزان ضریب همبستگی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۰/۵۷ است (شکل ۴-ج و ۴-د).

با بررسی جدول ۴، و انجام آزمون آماری من-ویتنی و تی جفتی، نتایج نشان داد که در فرآیند بارش خروجی نسل پنجم بسیار بهتر از نسل چهارم است و در دما بیشینه و دما کمینه عملکرد خروجی‌های نسل چهارم بهتر از نسل پنجم است. در متغیر بارش، دما بیشینه و کمینه در نسل پنجم عملکرد مدل ASD بهتر از SDSM است.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده در بالا می‌توان گفت که در منطقه مطالعاتی در متغیر بارش عملکرد خروجی‌های نسل پنجم بهتر از نسل چهارم است و در دما بیشینه و کمینه شرایط بر عکس است. جدول ۵ MAE مدل CanESM2 برای ASD را نشان می‌دهد؛ بیشترین MAE در ایستگاه سیرا برابر با ۵۱ میلی‌متر در ماه فوریه به دست آمد. بیشترین MAE در ایستگاه مهرآباد، شمال تهران، شهرستانک و بیلقان به ترتیب برابر با ۲۷/۲۹، ۳۸/۰۵، ۴۸/۴۵ و ۳۱ میلی‌متر حاصل شد.

جدول ۴. بررسی عدم قطعیت در مدل‌های بزرگ مقیاس و ریزمقیاس گردانی

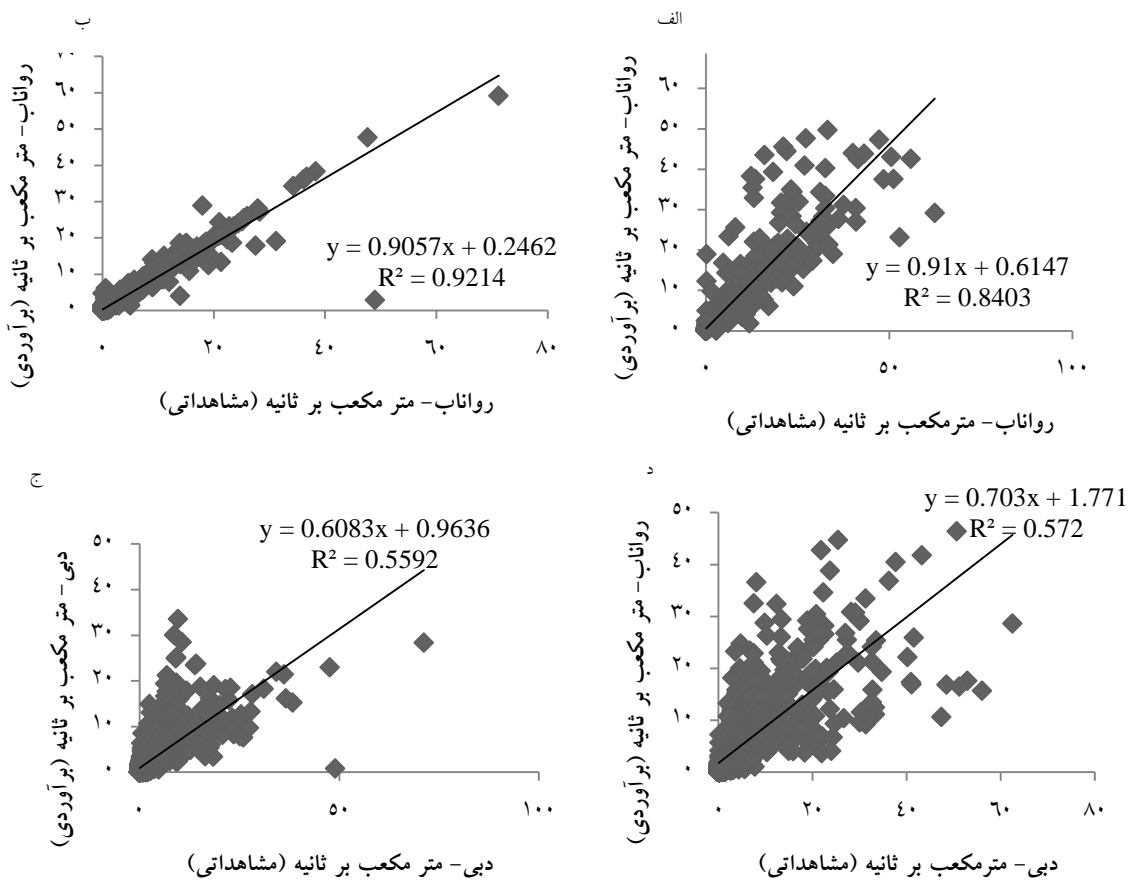
HadCM3				CanESM2				نام مدل بزرگ مقیاس
فرض یک		فرض صفر		فرض یک		فرض صفر		
SDSM	ASD	SDSM	ASD	SDSM	ASD	SDSM	ASD	نوع فرض
۷	۹	۵	۳	۸	۷	۴	۵	بارش - مهرآباد
۴	۰	۸	۱۲	۷	۳	۵	۹	دما بیشینه مهر آباد
۵	۰	۷	۱۲	۹	۸	۳	۴	دما کیمنه مهر آباد
۶	۸	۶	۴	۹	۵	۳	۷	بارش شمال تهران
۳	۲	۹	۱۰	۸	۴	۴	۸	دما بیشینه شمال تهران
۴	۴	۸	۸	۹	۷	۳	۵	دما کیمنه شمال تهران
۶	۷	۶	۵	۸	۳	۴	۹	بارش سیرا
۱۰	۸	۲	۴	۹	۸	۳	۴	بارش بیلقان
۸	۷	۴	۵	۴	۴	۸	۸	بارش شهرستانک

جدول ۵. میانگین قدر مطلق خطا (MAE) مدل CanESM2

نام ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
مهرآباد	۲۱/۸	۲۲/۳۹	۲۷/۲۹	۱۸/۵۷	۱۳/۲۵	۴/۱	۳/۱۴	۱/۳۸	۰/۹۱	۱۶/۱	۲۱/۲۹	۱۸/۹۲
شمال تهران	۲۴/۷۱	۳۵/۱۲	۳۵/۵۲	۳۴/۵۲	۲۲/۶۳	۴/۵۴	۴/۲۳	۳/۲۱	۳/۴	۱۲/۳۳	۳۸/۰۵	۲۴/۶۱
شهرسردانک	۲۷/۰۲	۴۴/۲۱	۳۷/۵۱	۴۸/۴۵	۳۹/۹۹	۱۱/۴۸	۱۲/۷۳	۹/۴۷	۷/۷۱	۲۷/۰۸	۴۴/۸	۳۱/۶۴
سیرا	۳۵/۲۶	۵۰/۹۱	۴۴/۳۶	۳۷/۴۱	۳۴/۸۵	۸/۲۱	۷/۳۱	۷/۰۴	۵/۴۵	۲۳/۴۳	۴۸/۹۴	۲۹/۶۹
بیلقان	۳۰/۸۶۶	۲۴/۷۲	۲۸/۰۴	۲۳/۵۴	۲۷/۴	۵/۴۸	۳	۱/۹۷	۷/۰۳	۲۷/۴۱	۳۰/۳۵	۲۵/۹۴

جدول ۶. بررسی خطا در مدل‌های هیدرولوژی مورد استفاده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی

صحت‌سنجی				واسنجی				نوع ساختار
R2	NSE	RMSE	MBE	R2	NSE	RMSE	MBE	
۰/۱۴	۰/۱۴	۷/۱	۱/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۹	۳/۸۹	-۰/۰۴	ساختار یک
۰/۱۳	۰/۱۳	۷/۷	۰/۸۱	۰/۴۳	۰/۴۳	۳/۸	۰/۱۲	ساختار دو
۰/۱۹	۰/۱۹	۷	۱/۱۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۳/۹	-۰/۱۵	ساختار سوم
۰/۶۷	۰/۶۷	۵/۶	۰/۱۷	۰/۹	۰/۹	۱/۶	۰/۰۲	ساختار چهارم
۰/۷۶	۰/۷۳	۳/۷	۰/۱۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۵	۰/۰۲	ساختار پنجم
۰/۸۴	۰/۸۲	۳/۷	-۰/۲۶	۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۴	-۰/۰۱	ساختار ششم
۰/۵۷	۰/۵۶	۵/۳	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۵۵	۳/۳	۰/۰۰۳	IHACRES



شکل ۴. الف) ضریب همبستگی دوره واسنجی (ANN) و ب) ضریب همبستگی دوره صحت‌سنجی (ANN) و ج) ضریب همبستگی دوره واسنجی (IHACRES) و د) ضریب همبستگی دوره صحت‌سنجی (IHACRES)

بر ثانیه و MBE در بازه ۱۹۸۷-۱۹۹۶ برابر با ۰/۵۵ متر مکعب بر ثانیه و در مدل IHACRES بیشترین خطا Q5 در سال ۱۹۹۱ برابر با ۷/۳۵ متر مکعب بر ثانیه و MBE در بازه ۱۹۸۷-۱۹۹۶ برابر با ۱/۳۶ متر مکعب بر ثانیه است. MBE مدل IHACRES در بازه ۱۹۸۷-۱۹۹۶ در Q95 برابر با ۰/۰۲ متر مکعب بر ثانیه، در حالی که این مقدار در مدل ANN برابر با ۰/۱ متر مکعب بر ثانیه است. علت برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقادیر حداکثر را می‌توان به اهمیتی و وزنی که به مقادیر حداکثر می‌دهد، مرتبط دانست، شبکه عصبی مصنوعی برای نرمال‌سازی داده‌ها (تابع mapminmax) به مقادیر حداکثر اهمیت زیادی می‌دهد.

جدول ۷ میزان MAE برای ماه‌های مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین میزان MAE در دوره واسنجی و صحت‌سنجی در مدل ANN برابر با ۰/۴۴ و ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه در فوریه و آوریل و در مدل IHACRES برابر با ۳/۵ و ۴/۶ متر مکعب بر ثانیه در آوریل و مارس است. میزان MAE سالانه در دوره واسنجی و صحت‌سنجی در مدل ANN به ترتیب برابر با ۰/۱۵، ۰/۵۱ و ۱/۱ متر مکعب بر ثانیه و در مدل IHACRES برابر با ۱/۱ و ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه است. با بررسی مقادیر حدی در جدول ۸، در مقادیر حداقل عملکرد مدل IHACRES بهتر از مدل ANN و در مقادیر حداکثر عملکرد مدل ANN بهتر از مدل IHACRES است. در مدل ANN بیشترین خطا Q5 در سال ۱۹۹۱ برابر با ۱/۱۳ متر مکعب

جدول ۷. مقادیر MAE در ماه‌های مختلف

نام مدل	ژانویه	فوریه	مار	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
واسنجی ANN	۰/۲۷	۰/۴۴	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲
صحت سنجی ANN	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۲۸	۱/۵	۰/۸۱	۰/۴۱	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۹۵	۰/۳۵
واسنجی IHACRES	۱/۲	۲/۱	۳/۱	۳/۵	۱/۲	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۰۸	۰/۲۸
صحت سنجی IHACRES	۱/۵	۳/۶	۴/۶	۴/۲	۲/۲	۱/۱۶	۰/۵۷	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۱/۲	۱/۴

جدول ۸. بررسی MBE مقادیر حدی مدل ANN و IHACRES

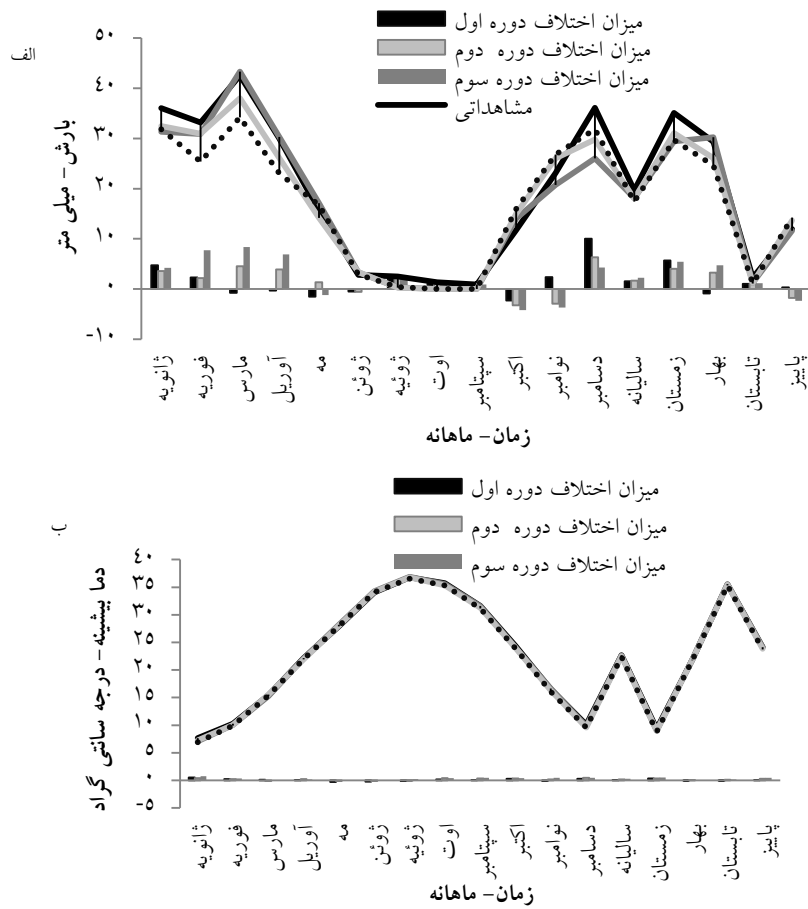
نام مدل	سال	۱۹۸۷	۱۹۸۸	۱۹۸۹	۱۹۹۰	۱۹۹۱	۱۹۹۲	۱۹۹۳	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	میانگین
ANN MBE	Q95	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-۰/۱۵	-۰/۱۶	-۰/۲۴	-۰/۱
ANN MAE	Q95	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱
IHA CRE S MBE	Q5	-۰/۲۸	۱/۴۹	-۰/۰۳	-۰/۴۸	۱/۱۳	-۰/۲۴	۰/۳۵	-۱/۱۳	۱/۷۹	۲/۹۳	۰/۵۵
IHA CRE S MAE	Q5	۰/۲۸	۱/۴۹	۰/۰۳	۰/۴۸	۱/۱۳	۰/۲۴	۰/۳۵	۱/۱۳	۱/۷۹	۲/۹۳	۰/۵۵
IHA CRE S MBE	Q95	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲
IHA CRE S MAE	Q95	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲
IHA CRE S MBE	Q5	۲/۸۶	-۱/۸۹	۱/۴۴	۰/۵۳	۷/۳۵	-۰/۴۲	۶/۵۳	۰/۸	-۰/۹۸	-۲/۶۲	۱/۳۶
IHA CRE S MAE	Q5	۲/۸۶	۱/۸۹	۱/۴۴	۰/۵۳	۷/۳۵	۰/۴۲	۶/۵۳	۰/۸	۰/۹۸	۲/۶۲	۱/۳

تغییر اقلیم در دوره آتی

با بررسی تغییرات اقلیم در سه دوره آتی که برای مدل CanESM2 عبارت از دوره اول (۲۰۰۶-۲۰۳۹)، دوره دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و دوره سوم (۲۰۷۰-۲۱۰۰)؛ و برای مدل HadCM3 عبارت از دوره اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، دوره دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و دوره سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) است. تغییرات بارش در شکل ۵ (الف) و جدول ۹ نشان داده شده است.

روند تغییرات دما بیشینه در دوره آتی در بازه ۲۰۶۶-

۲۱۰۰ در مدل CanESM2، ۰/۳ الی ۲ درجه سانتی‌گرادی (شکل ۵-ب) و دما کمینه ۰/۳ تا ۱/۵ درجه سانتی‌گرادی افزایش، حاصل شد، و روند تغییرات مدل HadCM3 در بازه ۲۰۱۰-۲۰۹۰، ۰/۷ الی ۴/۴ درجه سانتی‌گرادی (دما بیشینه)، و دما کمینه ۲/۲ درجه سانتی‌گرادی افزایش حاصل شد.



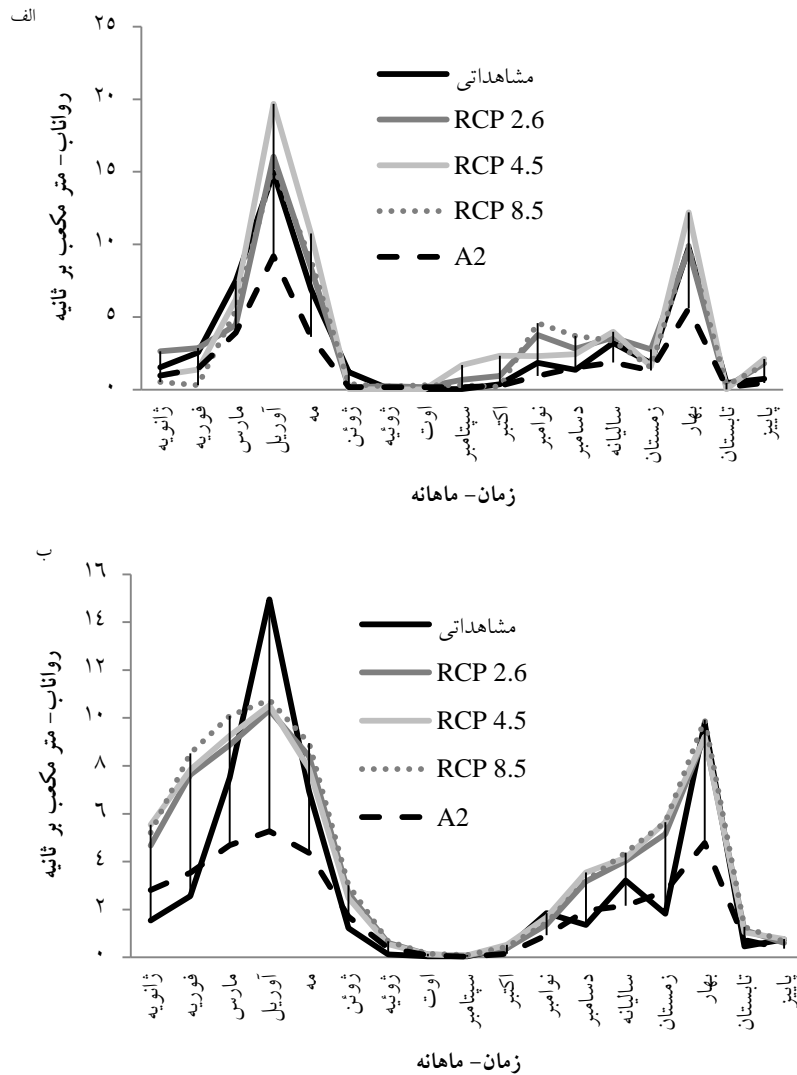
شکل ۵. الف) تغییرات بارش در دوره آتی و ب) تغییرات دما پیشینه در دوره آتی (RCP2.6)

جدول ۹. بررسی درصد تغییرات بارش در دوره‌های آتی مقادیر منفی نشان دهنده کاهش

نام سناریوها	نسل پنجم (RCP8.5)		نسل چهارم (A2)		نام ایستگاه
	دوره اول	دوره دوم	دوره اول	دوره دوم	
بارش مهرآباد	-۶	-۶	-۲۳	-۲۴	بارش مهرآباد
بارش شمال تهران	-۷	-۱۳	۸	۵	بارش شمال تهران
بارش سیرا	۱۸	۲۵	۲	۶	بارش سیرا
بارش بیلقان	۲۷	۹	۱۰	۶	بارش بیلقان
بارش شهرستانک	۷	۶	-۱۲	-۱۰	بارش شهرستانک

شد. در مدل IHACRES بیشترین تغییرها در فصل زمستان (نسل پنجم) و بهار (نسل چهارم) حاصل شد. به طور کلی تغییرها، به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش ۲۶، ۳۰ و ۳۶ درصدی و در A₂ یک کاهش ۳۲ درصدی حاصل شد (شکل ۶-ب).

با بررسی روند تغییرات مدل ANN در دوره آتی در شکل (۶-الف) بیشترین تغییرها در فصل‌های بهار و پاییز در گزارش نسل چهارم و پنجم در بازه (۲۰۱۰-۲۰۳۹) حاصل شد، به طور کلی در دوره آتی به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 افزایش ۱۲، ۲۵ و ۵ درصدی و در A₂ یک کاهش ۴۱ درصدی حاصل



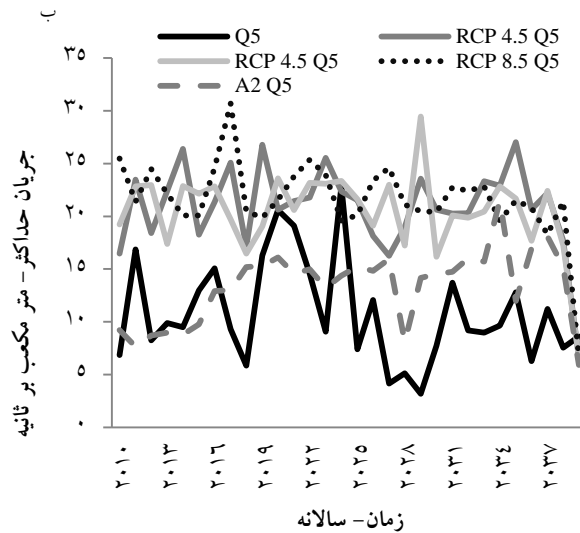
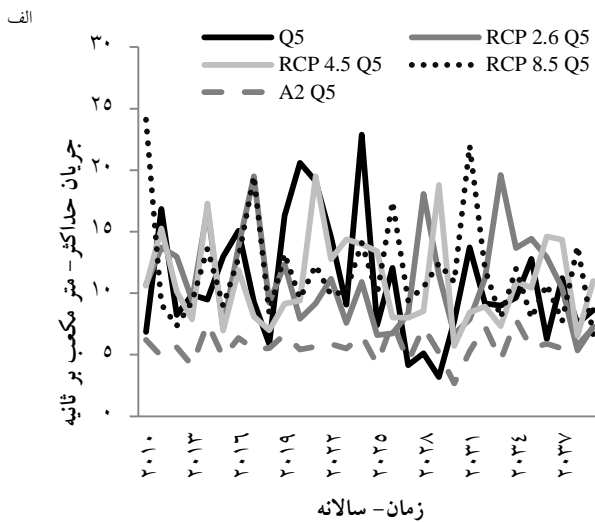
شکل ۶. تغییرات رواناب در دوره آتی الف) ANN و ب) IHACRES

با بررسی مقادیر Q5 (جریان حداکثر) مدل ANN، در دوره آتی جریان به میزان ۴۶، ۸۰، ۴۲ و ۱۳- درصد به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و A₂ نسبت به دوره پایه تغییر می‌نماید. با بررسی مقادیر Q95 (جریان حداقل)

با بررسی مقادیر Q5 (جریان حداکثر) مدل ANN، در دوره آتی جریان به میزان ۴۶، ۸۰، ۴۲ و ۱۳- درصد به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و A₂ نسبت به دوره پایه تغییر (شکل ۷-الف) و در مدل

بررسی مقادیر Q95 در مدل IHACRES، تغییرها به ترتیب در دوره مشاهداتی، RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و A₂ برابر با ۰/۰۹، ۰/۰۵، ۰/۰۶ و ۰/۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه، نسبت به دوره پایه حاصل شد.

در مدل ANN، میزان آن برای جریان مشاهداتی در دوره پایه برابر با ۰/۰۹ است، در حالی که مقدار آن برای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 و A₂ به ترتیب برابر با ۰/۱، ۰/۰۲، ۰/۰۲ و ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه است.



شکل ۷. الف) بررسی مقادیر حداکثر مدل ANN و ب) بررسی مقادیر حداکثر مدل IHACRES

الف- با بررسی نتایج ریز مقیاس‌نمایی در مدل CanESM2، عملکرد مدل ASD بهتر از مدل SDSM است و کاملاً در خطا و عدم قطعیت که به طور مفصل در قسمت بحث به آن اشاره شد، مشخص بود. علت برتری مدل ASD به این موضوع مرتبط می‌گردد که مدل ASD در واقع اصلاح شده مدل SDSM است و برای برقراری روابط رگرسیونی خود از نرم افزار متلب استفاده می‌نماید، همچنین این مدل به مقادیر حداکثر بارش به کمک توابع درون خود بسیار اهمیت می‌دهد، البته ذکر این نکته الزامی است که در نسخه‌های جدید مدل SDSM این خطا در حال بهبود می‌باشد. نتایج به دست آمده با نتایج (Fenta (Makonnen and Disse, 2018; Saatloo *et al.*, 2019) مشابه است.

ب- در مدل‌سازی بارش- رواناب به طور کلی میزان ضریب همبستگی برای دوره واسنجی (۱۹۸۷-۱۹۹۱) و

نتیجه‌گیری

به طور کلی هدف از انجام پژوهش در این تحقیق ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی حوزه آبخیز کن است. در این پژوهش از دو خروجی مدل گردش عمومی جو- اقیانوس استفاده شد؛ یکی از خروجی‌ها در ارتباط با نسل چهارم و دیگری در ارتباط با نسل پنجم است. در نهایت به کمک خروجی HadCM₃ سناریو A₂ و CanESM2 سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 تغییرهای اقلیم را بررسی نمودیم. برای ریز مقیاس‌نمایی از دو مدل SDSM و ASD. و برای شبیه سازی بارش- رواناب از مدل‌های ANN و IHACRES استفاده شد. و در نهایت برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر حدی از Q95، برای جریان حداقل و Q5 برای جریان حداکثر استفاده شد.

نتایج در این پژوهش نشان داد:

فصل بهار اتفاق می‌افتد و رواناب یک افزایش ۵ الی ۳۶ درصدی را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده با نتایج حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۷) مشابه است. علت تغییرات رواناب در فصل بهار به این موضوع مرتبط می‌گردد که دما بیشینه و دما کمینه در فصل زمستان افزایش و همچنین میزان بارش‌های رگباری با شدت بالا در فصل بهار افزایش یافته است. با افزایش دما در زمستان برف‌ها در مناطق کوهستانی سریعتر ذوب شده و با افزایش بارش‌های رگباری در اوایل فصل بهار سیلاب‌های بسیار خطرناکی را در فصل بهار به وجود می‌آورد.

د- تغییرهای Q95 در دوره آبی نشان می‌دهد؛ برای مدل IHACRES برای داده‌های مشاهداتی مقدار جریان برابر با ۰/۰۹ متر مکعب بر ثانیه، در حالی که برای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 و A2 برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۵، ۰/۰۶ و ۰/۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه است و میزان Q5 در دوره آبی در مدل ANN برای سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 و A2 به ترتیب برابر با ۸۰، ۴۲ و ۱۳- درصد حاصل شد. نتایج به دست آمده با نتایج Jin و همکاران (2018) در ارتباط با افزایش ۴۶ درصدی مقادیر حداکثر و کاهش یک متر مکعب بر ثانیه جریان حداقل مشابه است.

به طور کلی نتایج در این تحقیق نشان داد که در دوره آبی مقادیر جریان حداقل کاهش می‌یابد و باید در برنامه-ریزی‌های بلند مدت به حقابۀ پایین دست و روستاها توجه نمود. مقادیر جریان حداکثر روند افزایشی را نشان می‌دهد و مشخص است در دوره آبی در مواقع سیلاب و رخدادهای سیلاب با شدت و مقدار بیشتر اتفاق می‌افتد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از سناریوهای نسل ششم با فراگیر شدن آن‌ها در جهت مطالعات اقلیمی استفاده شود.

صحت‌سنجی (۱۹۹۲-۱۹۹۶) برای ANN به ترتیب برابر با ۰/۹۲ و ۰/۸۴ و برای IHACRES برابر با ۰/۵۶ و ۰/۵۷ است. البته ذکر این نکته الزامی است که نوع ساختار در شبکه عصبی مصنوعی بسیار مهم، و زمانی شبکه عصبی مصنوعی دارای عملکرد مناسبی است که در ساختار خود رواناب روزهای قبل موجود باشد. وقتی جریان حدی را بررسی می‌نماییم، در مقادیر جریان حداقل عملکرد مدل IHACRES و در جریان حداکثر عملکرد مدل ANN بهتر است. علت برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقادیر حداکثر به توابع و الگوریتم پردازشی مرتبط می‌گردد؛ به طوری که به مقادیر حدی بارش و رواناب در داده‌های ورودی خود وزن مناسب می‌دهد تا بتواند شبکه را بدرستی آموزش دهد. نتایج به دست آمده با نتایج (Da Silva et al., 2018) مشابه است.

ج- با بررسی متغیرها (بارش، دما بیشینه، دما کمینه و دبی) در دوره آبی می‌توان گفت که در دوره آبی افزایش ۲ الی ۲۷ درصدی در متغیر بارش و افزایش ۰/۳ الی ۴/۴ درجه سانتی‌گرادی در متغیر دما حاصل شد. بیشترین افزایش دما در فصل تابستان مشاهده شد. زمانی که درصد تغییرهای رواناب را بررسی می‌کنیم، مدل شبکه عصبی مصنوعی بیشترین تغییرها را در فصل‌های پاییز و بهار در گزارش نسل چهارم و پنجم نشان داد، و همچنین رواناب در دوره آبی به ترتیب در سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 افزایش ۱۲، ۲۵ و ۵ درصدی، و در A2 یک کاهش ۴۱ درصدی حاصل شد. در مدل IHACRES بیشترین تغییرها در فصل زمستان و بهار به دست آمد، به طوری که بیشترین تغییرهای رواناب به ترتیب در سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 افزایش ۲۶، ۳۰ و ۳۶ درصدی و در سناریو A2 کاهش ۳۲ درصدی را نشان داد. به طور کلی با بررسی رواناب در دوره آبی می‌توان گفت که بیشترین تغییرهای رواناب در

منابع مورد استفاده

- احمدی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی دبی سالیانه حوزه آبخیز قرآن طالار. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه منابع طبیعی و علوم زمین. دانشگاه کاشان.
- حاجی محمدی، م.، عزیزیان، ا. و قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه کن. انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰ (۲) ۲۱-۳۴.
- قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۲. ارزیابی عدم قطعیت ناشی از ریز مقیاس گردانی AOGCM با تحلیل دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). پایان نامه دکتری سنجش از دور. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تبریز.
- گودرزی، محمد رضا. و فاتحی فر، آتیه. ۱۳۹۸. پهنه بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهر چای). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۳) ۹۹-۱۱۷.
- میر اکبری، م.، مصباحزاده، ط.، محسنی ساروی، م.، خسروی، ح و مرتضایی فریزهندی، ق. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه سازی و پیش بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). پژوهش های جغرافیایی طبیعی. دوره ۵۰ (۳) ۵۹۳-۶۰۹.
- میر دشتوان، م.، ملکیان، آ. و محسنی ساروی، م. ۱۳۹۷. شبیه سازی جریان سطحی از طریق کوچک مقیاس سازی آماری داده های اقلیمی: حوضه دریاچه ارومیه. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۲۵ (۲) ۴۱۹-۴۳۱.
- Ashraf Vaghefi, S., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R. and Yang, H. 2014. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *Hydrol. Process*, 28: 2018–2032.
- Carcano, E.C., Bartolini, P., Muselli, M. and Piroddi, L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *J. Hydrol*, 362: 291–307. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.026>
- Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J. 2004. A catchment moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model. *Environ. Model. Softw*, 19: 1–5.
- da Silva, R.M., Dantas, J.C., de Araújo Beltrão, J. and Santos, C.A.G. 2018. Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model. *Hydrol. Res*, nh2018222.
- Fenta Mekonnen, D. and Disse, M. 2018. Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 22: 2391–2408.
- Gosling, S., Taylor, R.G., Arnell, N. and Todd, M.C. 2011. A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchment-scale hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 15: 279–294.
- Hassan, Z., Shamsudin, S., Harun, S., Malek, M.A. and Hamidon, N. 2015. Suitability of ANN applied as a hydrological model coupled with statistical downscaling model: a case study in the northern area of Peninsular Malaysia. *Environ. Earth Sci*, 74: 463–477.
- Holcomb, M.K., Alexander, K.A., Krometis, L.H. and Holcomb, M.K. 2013. The Challenges and Opportunities in Monitoring and Modeling Waterborne Pathogens in Water- and Resource-Restricted Africa: Highlighting the critical need for multidisciplinary research and tool advancement.
- Jahanbani, H., Shui, L.T., Bavani, A.M. and Ghazali, A.H. 2011. Uncertainty of climate change and its impact on reference evapotranspiration in Rasht City, Iran. *J. Water Clim. Chang*, 2: 72–83.

- Jin, L., Whitehead, P.G., Addo, K.A., Amisigo, B., Macadam, I., Janes, T., Crossman, J., Nicholls, R.J., McCartney, M. and Rodda, H.J.E. 2018. Modeling future flows of the Volta River system: Impacts of climate change and socio-economic changes. *Sci. Total Environ*, 637: 1069–1080.
- Liu, G., He, Z., Luan, Z. and Qi, S. 2018. Intercomparison of a lumped model and a distributed model for streamflow simulation in the Naoli River Watershed, Northeast China. *Water (Switzerland)* 10. <https://doi.org/10.3390/w10081004>
- Mahmood, R. and Babel, M.S. 2013. Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theor. Appl. Climatol*, 113: 27–44.
- Meenu, R., Rehana, S. and Mujumdar, P.P. 2013. Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga–Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM. *Hydrol. Process*, 27: 1572–1589.
- Mirdashtvan, M., Najafinejad, A., Malekian, A. and Sa’addodin, A. 2018. Downscaling the contribution to uncertainty in climate-change assessments: representative concentration pathway (RCP) scenarios for the South A Iberz Range, Iran. *Meteorol. Appl*, 25: 414–422.
- Narsimlu, B., Gosain, A. K., & Chahar, B. R. 2013. Assessment of future climate change impacts on water resources of Upper Sind River Basin, India using SWAT model. *Water Resources Management*, 27: 3647–3662.
- Nasseri, M. and Zahraie, B. 2013. Improved statistical downscaling of daily precipitation using SDSM platform and data-mining methods 2578, 2561–2578. <https://doi.org/10.1002/joc.3611>
- Noori, N. and Kalin, L. 2016. Coupling SWAT and ANN models for enhanced daily streamflow prediction. *J. Hydrol*, 533: 141–151.
- Ramak, Z., Porhemmat, J., Sedghi, H., Fattahi, E. and Lashni-Zand, M. 2018. The Climate Change Effect on the Water Regime. The Case Study: the Karun Catchment, Iran. *Russ. Meteorol. Hydrol*, 43: 544–550.
- Raziei, T., Arasteh, P.D. and Saghfian, B.. 2005. Annual Rainfall Trend in Arid and Semi-arid Regions of Iran. *ICID 21st Eur. Reg. Conf.* 1–8.
- Resende, N. C., Miranda, J. H., Cooke, R., Chu, M. L., & Chou, S. C. 2019. Impacts of regional climate change on the runoff and root water uptake in corn crops in Parana, Brazil. *Agricultural Water Management*, 221, 556–565.
- Saatloo, S.M.E., Siosemarde, M., Hosseini, S.A. and Rezaei, H. 2019. The effects of climate change on groundwater recharge for different soil types of the west shore of Lake Urmia—Iran. *Arab. J. Geosci*, 12: 263.
- Taie Semiromi, M. and Koch, M., 2017. Downscaling of daily precipitation using a hybrid model of Artificial Neural Network, Wavelet, and Quantile Mapping in Gharehsoo River Basin, Iran, in: *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Tahir, T., Hashim, A. M., & Yusof, K. W. 2018. Statistical downscaling of rainfall under transitional climate in Limbang River Basin by using SDSM. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 140, p. 12037). IOP Publishing.
- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P. and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. *Support. Mater. Intergov. Panel Clim. Chang.* available from DDC IPCC TG CIA 27.
- Wilby, R.L. and Dawson, C.W., 2013. Statistical downscaling model–decision centric (SDSM-DC) version 5.1 supplementary note. Loughbrgh. Univ. Loughbrgh.
- Wilby, R.L. and Dawson, C.W., 2007. SDSM 4.2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. United Kingdom.
- 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. Softw*, 17: 145–157.
- Zang, C.F., Liu, J., Van Der Velde, M. and Kraxner, F., 2012. Assessment of spatial and temporal patterns of green and blue water flows under natural conditions in inland river basins in Northwest China. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 16: 2859–2870. <https://doi.org/10.5194/hess-16-2859-2012>

- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Glob. Planet, Change* 78: 137–146.
- Zehtabian, G.R., Salajegheh, A., Malekian, A., Boroomand, N. and Azareh, A. 2016. Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain. *Desert*, 21; 155–164.



ISSN 2251-7480

Evaluating the impact of climate change on extreme flows in Kan watershed

Mehdi Ahmadi¹, Baharak Motamedvaziri^{2*}, Hassan Ahmadi³, Abolfazl Moeini⁴, and Gholam Reza Zehtabian⁵

1) Ph.D. Student, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2*) Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: bm vaziri@gmail.com

3) Professor of Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.

4) Assistant Professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

5) Professor of Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 19-08-2019

Accepted: 18-12-2019

Abstract

Climate change is one of the major challenges affecting the natural ecosystems and various aspects of human life. The effects of global warming on the hydrology and water cycle in nature are very serious, and the quantitative recognition of these effects creates more readiness to deal with its consequences. In the present study, the 2010-2100 periods is predicted based on SDSM and ASD. Finally, the effect of climate change on the hydrological conditions in the Kan watershed is simulated using the ANN and IHACRES. The results of the study, while confirming the efficiency of both SDSM and ASD models in climate simulations and ANN and IHACRES in hydrological simulation, showed that the increase in precipitation (2-27%) and temperature (0.3-4/4 C) is probable in future climate conditions for the 2010-2100 periods. Runoff changes in the upcoming period (2010-2039) show an increase (5- 36 %) in the scenario of RCPs and a decrease (32- 41%) in scenario A2. The high flow value in the upcoming period is increased, and the low flow decrease. Most changes were observed in spring. The results of research, while highlighting the importance of effects of climate change, make it essential to apply them for proper management in order to adapt to climate change in the future policies of the Kan watershed management.

Keywords: CanESM2; Climate modeling; HadCM3; Rainfall- Runoff