



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۲۷، تابستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۸۱-۶۶

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.127163.1247

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روان‌آب آبخیز کن در دوره‌ی آینده

مهدی احمدی

دانش‌آموخته‌ی دکترا، گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

بهارک معتمد وزیری

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

حسن احمدی

استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

ابوالفضل معینی

استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

غلامرضا زهتابیان

استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: bmvaziri@gmail.com

تاریخ دریافت: ۳۰ تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

چکیده

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بر زیست‌بوم‌های طبیعی و جنبه‌های مختلف زندگی انسان تاثیر دارد. تاثیر گرم‌شدن جهان بر آب‌شناسی و چرخه‌ی آب در طبیعت بسیار جدی است و شناخت کمی این اثرها آمادگی بیش‌تری برای مقابله با تبعات آن ایجاد می‌کند. در این پژوهش براساس روش کار ریزمقیاس‌گردانی SDSM بارش و دما در دوره‌ی ۲۰۰۶-۲۱۰۰ با مدل بزرگ‌مقیاس CanESM2 پیش‌بینی و اثرهای تغییر اقلیم بر شرایط آب‌شناسی آبخیز کن با مدل سوات و ANN بررسی شد. برای واسنجی و بررسی بی‌قطعی سوات نرم‌افزار سوات‌کاپ به‌کاربرده شد و براساس الگوریتم SUFI2 در سوات‌کاپ مقدار سنج‌هی موثر و بهینه‌ی شناسایی کرده‌شد. نتیجه‌ی بررسی کارایی هر چهار مدل CanESM2 و SDSM در شبیه‌سازی‌های اقلیمی و SWAT و ANN در شبیه‌سازی آب‌شناسی را تایید کرد و نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۶-۲۱۰۰ افزایش بارندگی و دما محتمل است، به‌طوری که دما ۰/۸ تا ۵/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و بارش ۴ تا ۵۵٪ افزایش می‌یابد. کارکرد ANN با توجه به نوع ساختار بهتر از سوات است، و نتیجه‌ی بررسی روان‌آب نشان می‌دهد که در دوره‌ی آینده (۲۰۰۶-۲۰۴۰) در مدل ANN ۴/۲٪ کاهش در حالت RCP 2/5 و RCP 8/5، و ۲۵٪ افزایش در حالت RCP 4/5 و در سوات به‌ترتیب در حالت RCP 2/5 و RCP 4/5 و RCP 8/5 افزایش ۴۲، ۴۳ و ۴۹٪ مشاهده شد. بیش‌ترین تغییر در بهار دیده شد. براساس داده‌های بیشینه‌ی سیلاب‌های لحظه‌ی تیر ۱۳۹۴ و فروردین ۱۳۹۸ به‌اندازه‌ی ۹۰ تا ۱۴۰ مترمکعب بر ثانیه باعث زیان جانی و مالی فراوان می‌شود، همه‌ی ۲۵۰ سازه‌ی آبخیزداری از رسوب پر می‌شود، و اثربخشی سازه‌ها در مهار سیلاب در ۲۰ سال گذشته بی‌تاثیر می‌شود. بنابراین ۴۹٪ افزایش در روان‌آب تا اندازه‌ی ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه علاوه بر افزایش دادن شدت گل‌آلودگی رود کن، همه‌ی روستاهای امام زاده داود، رندان، کیگا، سنگان، سولقان و کشار را در زیر رسوب دفن و زیان‌های جانی و مالی بسیار شدیدی به‌بار می‌آورد.

واژگان کلیدی: سناریوهای RCP، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی بارش - رواناب، مدل آب‌شناختی SWAT، مدل آماري SDSM

هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم برای شبیه‌سازی اقلیم و سنج‌های آن (بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه) به‌کارگرفته شد. برای شبیه‌سازی روان‌آب نیز دو مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۲ (ANN) و SWAT به‌کارگرفته شد. احمدی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که در حوزه‌ی آبخیز کن کارکرد مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی بارش-روان‌آب بهتر از سوات است. نظری و همکاران (۲۰۱۹) در ارزیابی اثر تغییر اقلیم در آبخیز شهری براساس حالت ممکن نسل پنجم نشان دادند که در دوره‌ی آینده اندازه‌ی بارش کاهش خواهد داشت، و در عوض شدت بارش و متوسط بارش ماهانه روند افزایشی نشان خواهد داد. هدف از این پژوهش بررسی اثر تغییر اقلیم بر روان‌آب سطحی است، شاید پژوهش‌های مختلفی در این زمینه در ایران انجام شده باشد ولی ویژگی این پژوهش به‌کاربردن حالت ممکن نسل پنجم در سه حالت انتشار RCP (سنج‌های بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه) و تاثیر آن بر مولفه‌های آب‌شناسی (بارش روان‌آب) ارزیابی می‌شود. به کمک این پژوهش می‌توان با بررسی تطبیقی بین حالت‌های نسل چهارم و پنجم به این نتیجه رسید که با توجه به سیلاب‌های ۱۹ تیر ۱۳۹۴ و ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ استان تهران (معاونت آبخیزداری اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهران، ۲۰۱۹) کارکرد کدام یک در شبیه‌سازی بارش-روان‌آب مناسب‌تر است. کارکرد چهار مدل CanESM۲، SWAT، SDSM، و ANN^۴ ارزیابی کرده می‌شود.

مواد و روش‌ها منطقه‌ی پژوهش

تهران بزرگ از هفت رود و دره تشکیل شده است که فقط در انتهای سه رود درکه، دارآباد و کن ایستگاه آب‌سنجی بلندمدت است. علاوه بر این، در مدل‌سازی نیاز است که ایستگاه‌های مختلفی با پراکنش مختلف در اطراف آبخیز باشد. به همین علت در این بررسی آبخیز کن انتخاب شد. آبخیز کن در شمال تهران و بین عرض‌های ۵۵° ۳۵' تا ۴۶° ۳۵' و طول‌های ۲۱° ۵۱' تا ۱۱° ۵۱' و مساحت آن حدود ۲۲۰ کیلومتر مربع است. این حوزه با حوزه‌های حصارک در غرب، جاجرود در شمال و شمال شرق، سد کرج در شمال و شمال غرب، حوزه وردیج در شرق و شهر تهران در جنوب هم‌مرز است (شکل ۱). رودخانه‌های حوزه از منطقه‌های مرتفع سرچشمه گرفته و به‌همین دلیل شیب آن‌ها زیاد است. مهم‌ترین آبراه آبخیز رود کن است که از ارتفاع‌های مشرف به امام‌زاده داوود سرچشمه می‌گیرد و تا خروجی حوزه (منطقه‌های مسکونی کن) ادامه دارد.

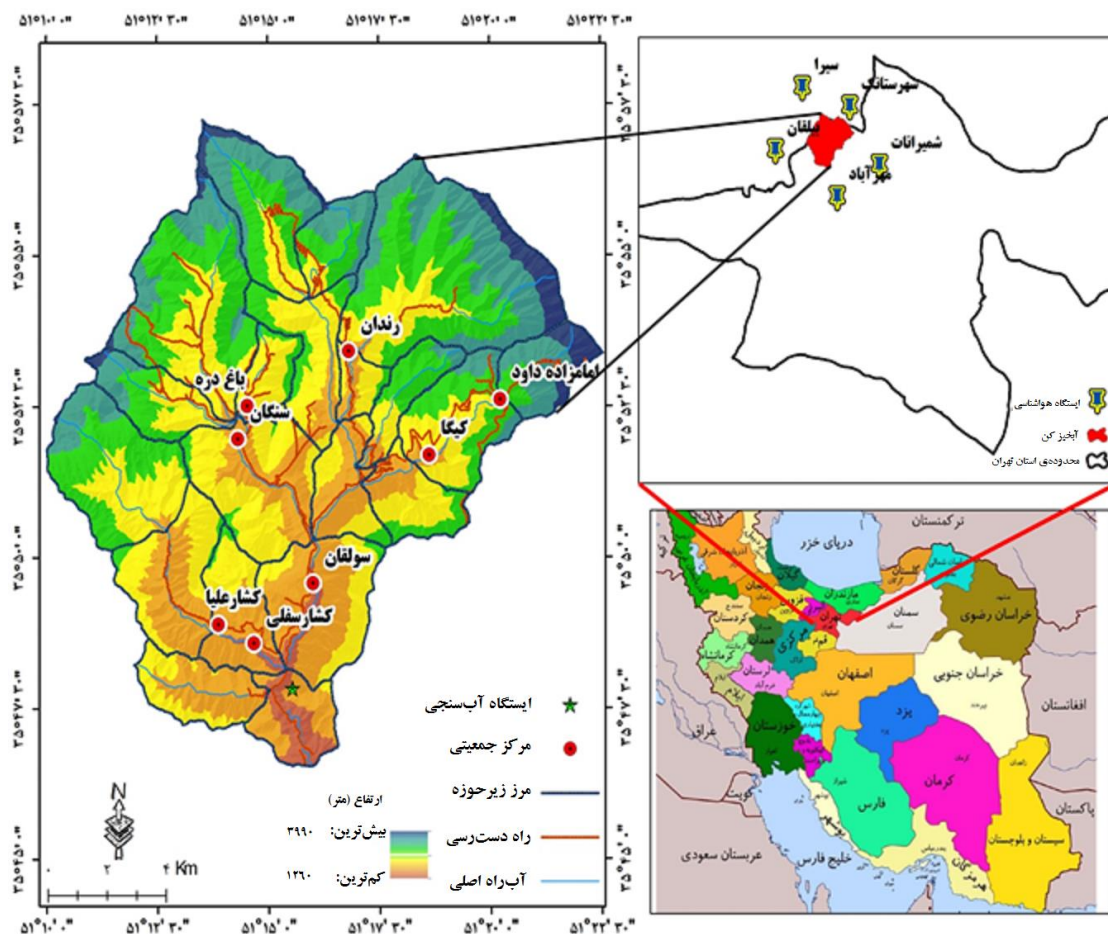
مقدمه

باید پذیرفت که تغییر اقلیم اتفاق افتاده است، اگرچه اندازه، مقدار و شدت آن در جاهای مختلف متفاوت است (رحیمی و همکاران ۲۰۱۸). برای نمونه در کلان‌شهر تهران در ایستگاه‌های هم‌دید مهرآباد و شمیرانات (شمال تهران) اندازه و شدت آن کم است، در حالی که در ایستگاه‌های باران‌سنجی فشم و دیوا مقدار و شدت بیش‌تر می‌شود. علت این را می‌توان شرایط محلی دامنه‌ی جنوبی البرز و ارتفاع پستی‌وبلندی دانست. این موضوع مهم دانسته می‌شود زیرا این ایستگاه‌ها به‌خصوص آن‌ها که اندازه و شدت بارش بیش‌تر دارند در بالادست کلان‌شهر تهران اند. جمعیت استان تهران ۸/۵ میلیون نفر است و از سال‌های دور به‌علت بارش‌های سیلابی به‌خصوص در بالادست حوزه روان‌آب‌های زیاد و سیلابی ایجاد، و باعث زیان مالی و جانی فراوانی شده است. برای نمونه می‌توان به سیلاب ۱۳۶۶/۴/۴ حوزه‌ی گلابدره-دریوند که باعث کشته‌شدن ۳۰۵ نفر شد، و سیلاب نه‌چندان دور کن در ۱۳۹۴/۴/۲۸ که ۱۱ نفر را به‌کشتن داد، اشاره کرد. پس خیلی مهم است که در شهر تهران پژوهش‌های گسترده‌ی بر بارش و تاثیر آن بر روان‌آب سطحی انجام، و به‌کمک مدل‌های تغییر اقلیم و مدل‌سازی بارش-روان‌آب برای دوره‌های آینده پژوهش شود. پژوهش‌های گسترده‌ی بر تغییر اقلیم در ایران انجام شده است (احمدی و همکاران ۲۰۱۴؛ گودرزی ۲۰۱۱؛ قرمزچشمه و همکاران ۲۰۱۴). اشرف واقفی و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی اثر تغییر اقلیم به کمک مدل SWAT در آبخیز کرخه نشان داد که در آینده دوره‌های خشک‌سالی افزایش می‌یابد. به علت بزرگ‌بودن سلول‌های محاسبه‌ی در پژوهش‌های تغییر اقلیم باید با روش کار ریزمقیاس‌گردانی، مقیاس سلول محاسبه‌ی را کوچک‌مقیاس کرد. براساس پژوهش احمدی و همکاران (۲۰۱۴) و قرمزچشمه و همکاران (۲۰۱۴) SDSM^۱ مدلی مناسب در روش کار ریزمقیاس‌گردانی است. علی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی اثر تغییر اقلیم در دریاچه‌ی ارومیه براساس حالت‌های نسل چهارم کاهش بارش در بهار را گزارش کرد. نتیجه‌ی تغییر اقلیم در آبخیز کن (حاجی‌محمدی و همکاران ۲۰۱۸) نشان می‌دهد که در دوره‌ی آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) دما به اندازه‌ی ۱/۳ و ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش، بارش در تمام ایستگاه‌ها براساس حالت نسل چهارم کاهش، روان‌آب در فصل زمستان افزایش، و در فصل‌های دیگر کاهش خواهد داشت. در این پژوهش به‌علت حالت‌ممکن برگزیده برای انجام‌دادن پژوهش‌های نسل چهارم در این حوزه (حاجی‌محمدی و همکاران ۲۰۱۸) و ارزیابی‌کردن کارکرد حالت‌های RCP^۲ در منطقه، گزارش پنجم

2- Statistical Down Scaling Model

3- Representative Concentration Pathway

4- Artificial Neural Network



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز کن.

داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هم‌دید مهرآباد و شمیرانات و ایستگاه‌های باران‌سنجی شهرستانک، سیرا، بیلقان به‌دست آمد. ایستگاه آب‌سنجی سولقان در خروجی آبخیز نیز ایستگاه مینا برای مشاهده‌ی تغییر روان‌آب گرفته شد. علاوه‌بر این، برای بازسازی داده‌ها و آزمون توالی و مشخص کردن داده‌ی پرت بارش و روان‌آب، اطلاعات همه‌ی ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌شناختی استان تهران که طول دوره‌ی داده‌برداری آن‌ها برابر با طول دوره‌ی داده‌برداری ایستگاه‌های منتخب (جدول ۱) بود، به‌کار گرفته شد.

روش پژوهش

داده‌های پایه‌ی به‌کاررفته در این پژوهش داده‌های مشاهده‌ی روزانه‌ی دما، بارش و روان‌آب در دوره‌های مختلف است که از ایستگاه‌های هم‌دید، باران‌سنجی و آب‌سنجی گرفته شده است (جدول ۱). متغیرهای دمای بیشینه و کمینه از ایستگاه‌های هم‌دید مهرآباد و شمیرانات (شمال تهران) گرفته شد. علت آن نزدیک‌بودن ایستگاه‌ها به منطقه‌ی بررسی شده و داشتن داده‌های طولانی مدت، اطلاعات مناسب و مفید و ارتفاعی تقریباً مشابه با سایر ایستگاه‌ها بود. متغیر بارش از

جدول ۱- مشخصه‌های ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی به‌کاررفته.

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

می‌کند (محمود و بابل ۲۰۱۳). در این مدل ابتدا متغیر پیش‌بینی شونده با روش وایازی ترکیبی و روش مولد هواشناسی تصادفی^۵ کوچک‌مقیاس کرده می‌شود، و سپس در محل ایستگاه دوباره تولید می‌شود (زهتابیان و همکاران ۲۰۱۶)؛ و به‌نوعی ترکیبی از روش مولدهای هواشناسی و تابع‌های تغییرشکل یافته است (ویلیبی و همکاران ۲۰۰۲؛ ویلیبی و داوسون ۲۰۰۷). به کمک مدل SDSM متغیرهای پیش‌بینی کننده از میان ۲۶ متغیر مدل CanESM انتخاب شد (جدول ۲).

مدل تغییر اقلیم و ریز مقیاس گردانی

برای ارزیابی کردن اثر تغییر اقلیم گزارش نسل پنجم و مدل ۲ CanESM^۴ در سه حالت ممکن انتشار RCP 4/5، RCP 2/6 و RCP 8/5 به‌کار گرفته شد. علت به‌کاربردن این مدل بزرگ‌مقیاس این است که فقط اطلاعات ۲۶ متغیر پیش‌بینی کننده‌ی آن در اختیار کاربران است. برای ریزمقیاس گردانی مدل SDSM 5/2 به‌کار گرفته شد (ویلیبی، ۲۰۰۲). رابطه‌ی وایازی خطی چندمتغیره بین پیش‌بینی کننده‌ها و پیش‌بینی شونده برقرار

4- Canadian Earth system Model
5- Stochastic Weather Generation

جدول ۲- متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی منتخب برای هر متغیر پیش‌بینی‌شونده.

ایستگاه	متغیر اقلیمی پیش‌بینی‌شونده	متغیر پیش‌بینی‌کننده
مهر آباد	بارش	حالت گردابی سطحی، واگرایی سطحی، سرعت زمین‌پرهون در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت زمین‌پرهون در ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت ویژه‌ی 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 زمین‌پرهون سطحی و حالت گردابی سطحی
شمیرانات	بارش	رطوبت ویژه‌ی سطحی، سرعت زمین‌پرهون در ۵۰۰ هکتوپاسکال، فشار متوسط سطح دریا، زمین‌توان در ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت مداری سطحی
	دمای بیشینه	متوسط دما در ارتفاع دو متری، فشار متوسط تراز دریا، حالت گردابی سطحی، زمین‌توان در ۵۰۰ هکتوپاسکال و سرعت مداری در ۸۵۰ هکتوپاسکال
	دمای کمینه	متوسط دما در ارتفاع دو متری، فشار متوسط تراز دریا، حالت گردابی سطحی، زمین‌توان در ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال
شهرستانک	بارش	رطوبت ویژه‌ی سطحی، فشار متوسط تراز دریا، قدرت جریان در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت زمین‌پرهون در ۵۰۰ هکتوپاسکال، تاوایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال و رطوبت ویژه یا نسبی در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	بارش	رطوبت ویژه‌ی سطحی، فشار متوسط تراز دریا، حالت گردابی سطحی، قدرت جریان در ۵۰۰ هکتوپاسکال، سرعت زمین‌پرهون در ۵۰۰ هکتوپاسکال و زمین‌توان در ۵۰۰ هکتوپاسکال
	بارش	رطوبت ویژه‌ی سطحی، سرعت مداری سطحی، سرعت زمین‌پرهون سطحی، جهت باد در ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی در ۸۵۰ هکتوپاسکال

کن مشخص، و با آزمون خودهمبستگی و وابازی، نوع رابطه‌ی میان روان‌آب با بارش روزهای قبل مشخص کرده‌شد. نوع ساختار شبکه و ورودی‌های آن در جدول ۳ نشان داده شده است. برای مشخص کردن تعداد عصب‌ها روش تعداد اجزای مختلف به کار برده، و اندازه‌ی ضریب همبستگی تعداد عصب‌های داخل هر ساختار مشخص شد. برای انتخاب کردن دوره‌ی داده‌برداری برای مرحله‌ی واسنجی و صحت‌سنجی، کل دوره‌ی داده‌های مشاهده‌ی بررسی شد (۲۰۱۰-۱۹۷۰، آمار آب‌سنجی سولقان)، و سال‌هایی را در نظر گرفتیم که اندازه‌ی داده‌ی پرت و داده‌ی گم‌شده‌ی آن کم‌تر باشد. با میانگین متحرک سه ساله‌ی جریان و میانگین سالانه‌ی جریان، دوره‌هایی را در نظر گرفتیم که شامل دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی باشد، تا مدل بتواند در شبیه‌سازی بارش-روان‌آب دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی را در نظر بگیرد. دوره‌ی داده‌برداری ۱۹۸۷-۱۹۹۱ برای واسنجی و ۱۹۹۶-۱۹۹۲ برای صحت‌سنجی انتخاب شد.

شبکه‌ی عصبی مصنوعی

در دهه‌ی گذشته به کار بردن شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پژوهش‌ها افزایش یافته است. یکی از مزیت‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی دقت زیاد آن در شبیه‌سازی است، در گذشته شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیچیدگی نداشت ولی امروز به دلیل پدیدار شدن نرم‌افزارهای قدرتمند از جمله متلب بیش‌تر از گذشته به آن توجه می‌شود. برای طراحی شبکه‌ی عصبی مصنوعی، شبکه‌ی پس‌انتشار^۶ و تابع انتقال LOGSIG و تانژانت سیگموئید^۷ به علت نتیجه‌ی بهتر از سایر شبکه‌ها (کارکانو و همکاران ۲۰۰۸؛ نوری و کالین ۲۰۱۶) به کار گرفته شد. الگوریتم به کار گرفته در این شبکه، الگوریتم لونیگ مارکوآرت^۸ بود، زیرا در نرم‌افزار متلب پیشنهاد شده است، سرعت یادگیری و دقت آن زیاد است، و خطا در آن به کم‌ترین رسانده شده است (حسن و همکاران ۲۰۱۵).

با رابطه‌های شبکه‌ی تیسسن و داده‌های ایستگاه‌های اطراف حوزه (جدول ۱) وزن هر ایستگاه در اندازه‌ی بارش دریافت‌شده‌ی آبخیز

6- Feed Forward
7- Sigmoid
8-Levenberg-Marquardt

جدول ۳- بررسی ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی.

اسم شبکه	تعداد عصب در لایه‌ی		ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی
	اول	ی دوم	
ساختار یکم	۱۹	۱۹	$Q_n = R_n, T_n$ (average)
ساختار دوم	۲۳	۲۳	$Q_n = R_{n-1}, R_n, T_n$ (average)
ساختار سوم	۲۳	۲۳	$Q_n = R_{n-1}, R_{n-2}, R_n, T_n$ (average)
ساختار چهارم	۱۲	۱۲	$Q_n = Q_{n-1}, R_n, T_n$ (average)
ساختار پنجم	۱۶	۱۶	$Q_n = Q_{n-1}, Q_{n-2}, R_n, T_n$ (average)
ساختار ششم	۲۵	۲۵	$Q_n = R_{n-1}, R_{n-2}, R_n, Q_{n-1}, Q_{n-2}, T_n$ (average)

Q_n : روان آب در روز n ، متر مکعب بر ثانیه. R_n : بارش در روز n میلی متر. T_n : متوسط دمای بیشینه و کمینه در روز n

سوات

سوات مدل شبیه‌سازی آب‌شناسی نیمه‌توزیعی پیوسته برای روان آب سطحی، نفوذ، تیخیر-تعرق، فرسایش، جابه‌جایی مواد مغذی و آفت‌کش‌ها، رشد گیاه، جریان آب زیرزمینی، و تلفات انتقال در کانال است، و برای شبیه‌سازی ذخیره‌سازی در مخزن در بازه‌های زمانی طولانی مدت به کار می‌رود. این مدل امکان اتصال یافتن به سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی دارد. بنابراین محدودیتی در وارد کردن حجم زیادی از اطلاعات حوزه‌های بزرگ به آن نیست و می‌توان آن را برای مدل‌سازی حوزه‌های وسیع و پیچیده به کار گرفت (نینگ و همکاران ۲۰۱۵). این مدل را مؤسسه تحقیقات کشاورزی آمریکا در پایان دهه‌ی ۱۹۸۰ برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در اندازه‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ کیلومتر مربع تهیه کرد. سوات مدلی فیزیکی است که به‌جای ضمیمه کردن رابطه‌های وایزی برای تشریح کردن رابطه‌های بین متغیرهای ورودی و خروجی، اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصه‌های خاک، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و روش‌های

مدیریت و کاربری زمین در سطح آبخیز می‌گیرد، و فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، رسوب، رشد گیاه، چرخه‌ی مواد مغذی و غیره مستقیماً از روی سنج‌های ورودی شبیه‌سازی می‌شود (تجاسوینگ و ساتحین ۲۰۱۸). برای شبیه‌سازی کردن جریان با مدل سوات نیاز به نقشه‌ی کاربری زمین، مدل ارتفاعی رقومی و نقشه‌ی خاک است (المختار ۲۰۱۶).

نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی از روی نقشه‌ی پستی و بلندی (۱:۲۵۰۰۰) تهیه شد. نقشه‌ی کاربری زمین (۱:۲۵۰۰۰) از دفتر مطالعات منابع طبیعی تهران (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۲۰۱۹) تهیه شد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی خاک شناسی نیز اطلاعات دفتر مطالعات منابع طبیعی استان تهران (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۲۰۱۹) به کار برده شد. برای به‌دست آوردن اندازه‌های مناسب برای واسنجی کردن، مدل SWAT-CUP به کار گرفته شد (عباسپور و همکاران ۲۰۱۵). جدول ۴ سنج‌های موثر در شبیه‌سازی روان آب در SWAT-CUP را نشان می‌دهد.

جدول ۴- پارمترهای موثر در شبیه سازی روان آب.

نام سنجه در مدل سوات	توصیف سنجه	مقدار پیشینه	مقدار کمیته	مقدار مناسب	نام سنجه در مدل سوات	توصیف سنجه	مقدار پیشینه	مقدار کمیته	مقدار مناسب
R_CN2.mg t	شماره‌ی منحنی	-۰/۱۳	-۰/۱۵	-۰/۱۳	V_CH_K2.rte	هدایت آبی آبراه اصلی (میلی- متر بر ساعت)	۱۰۲/۶۱	۷۳/۹۷	۷۶/۸۳
V_ALPHA_BF.gw	ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۶۴	V_OV_N.hru	ضریب زبری مانینگ برای مرتع‌ها	۰/۵۶	۰/۵	۰/۵۲
V_GW_DE_LAY.gw	زمان تأخیر تغذیه‌ی آب زیرزمینی (روز)	۳/۰۲	۰	۲/۱۱	V_ES_CO.hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	۰/۷	۰/۶۶	۰/۶۸
V_GWQM_N.gw	کمینه‌ی مقدار جریان در آبخوان برای جریان پایه	۲۴۶۸/۱	۲۲۴۹/۱	۲۴۴۶/۲	V_SFT_MP.bsn	دمای بارش برف (درجه‌ی سانتی‌گراد)	۰	-۴	-۲/۸
V_GW_RE_VAP.gw	ضریب تعیین نفوذ به آبخوان عمیق از آبخوان سطحی یا صعود مویبگی از آبخوان سطحی	۰/۱۱	۰/۱	۰/۱۱	V_SM_TMP.bs n	دمای ذوب توده‌ی برف (درجه سانتی‌گراد)	۵	۰	۳/۵
V_REVAP_MN.gw	کمینه‌ی اندازه‌ی ذخیره‌ی آب در آبخوان سطحی برای دریافت روان‌آب از لایه‌های بالاتر (میلی‌متر)	۱۷۱/۳۸	۱۳۹/۶۹	۱۴۲/۸۶	V_SM_FMX.bs n	عامل ذوب برف در ۲۱ ژوئن (میلی‌متر بر درجه‌ی سانتی-گراد)	۸/۳	۴/۸۹	۶/۵۹
V_RCHRG_DP.gw	عمق نفوذ آبخوان	۰/۲	۰/۱۶	۰/۱۹	V_SM_FMN.bs n	عامل ذوب برف در ۲۱ دسامبر (میلی‌متر بر درجه‌ی سانتی-گراد)	۲	۰	۱/۸
V_CH_N2.rte	ضریب مانینگ آبراه اصلی در هر زیرحوزه	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۵	V_PL_APS.sub	تغییر بارش در ارتفاع	۱۸۸	۱۶۴/۰۱	۳۴ ۱۷۱

برای بررسی بی‌قطعیتی میانگین، و برای بررسی خطا ضریب نش-ساتکلایف (NSE)، ضریب همبستگی (R)، معیار اختلاف میانگین (MBE) و میانگین مربع‌های خطا (RMSE) به‌کارگرفته شد (رابطه‌ی ۱-۴).

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

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

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)}{n} \quad (3-1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2}{n}} \quad (4-1)$$

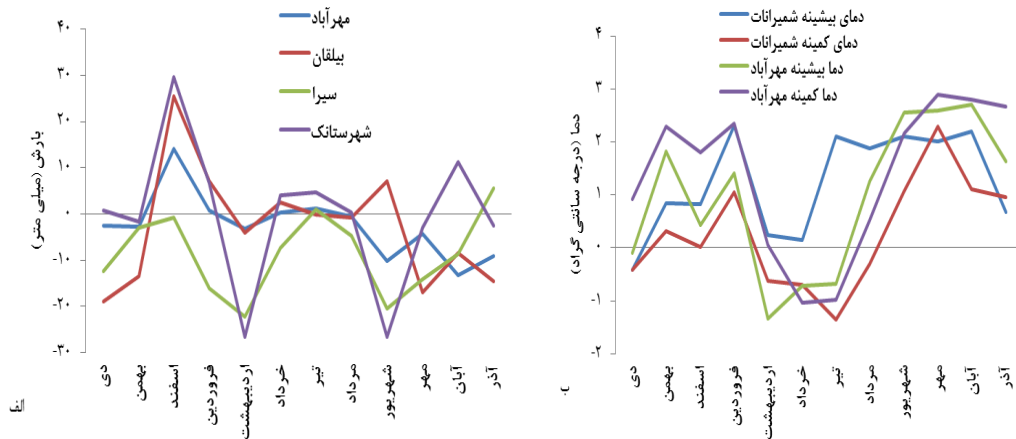
Q_i مشاهده‌ی، \bar{Q} میانگین مشاهده‌ی، S_i شبیه‌سازی‌شده، \bar{S}_i میانگین شبیه‌سازی، n تعداد داده‌ها

نتایج

شبیه‌سازی بارش، دمای بیشینه و دمای کمینه

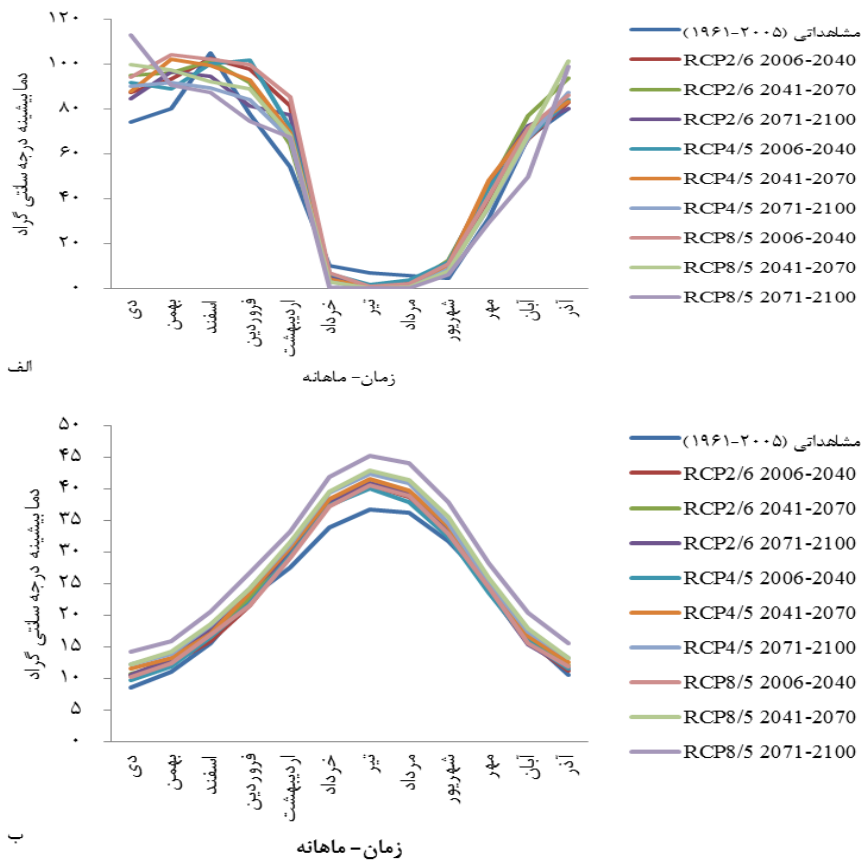
با بررسی معیار اختلاف میانگین بارش، بیش‌ترین خطا در ایستگاه‌های مهرآباد، شمیرانات، شهرستانک و بیلقان به‌ترتیب ۱۴، ۱۷، ۲۹ و ۲۵ میلی‌متر در ماه اسفند، و در ایستگاه سیرا در ماه اردیبهشت ۲۲ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۲-الف). در بررسی خطای سالانه‌ی بارش، اختلاف میانگین بارش به‌ترتیب

در ایستگاه‌های مهرآباد، شمیرانات، شهرستانک، سیرا و بیلقان ۲، ۴، ۷ و ۴ میلی‌متر بود. اختلاف میانگین دما در شکل (۲-ب) نشان می‌دهد که بیش‌ترین خطا در دمای بیشینه به‌ترتیب در ایستگاه مهرآباد و شمیرانات ۲/۷ و ۲/۲ درجه‌ی سانتی‌گراد در آبان و دمای کمینه به‌ترتیب ۲/۹ و ۲/۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در مهر به‌دست آمده است.



شکل ۲- میانگین مربع‌های خط در ایستگاه‌های منتخب: الف- بارش، ب- دما.

شکل‌های ۳- الف تا ۳- ب تغییر بارش و دمای بیشینه را در دو ایستگاه فقط برای نمونه آورده شده‌است. ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۳- بارش سیرا (الف) و دمای بیشینه مهرآباد (ب).

شبیه‌سازی آب‌شناسی

جدول ۵ نتیجه‌ی کارکرد مدل ANN و سوات را نشان می‌دهد. ساختار در شبکه‌ی عصبی مصنوعی بسیار مهم است؛ شبکه‌ی عصبی مصنوعی هنگامی کارکرد مناسبی دارد که روان‌آب‌های

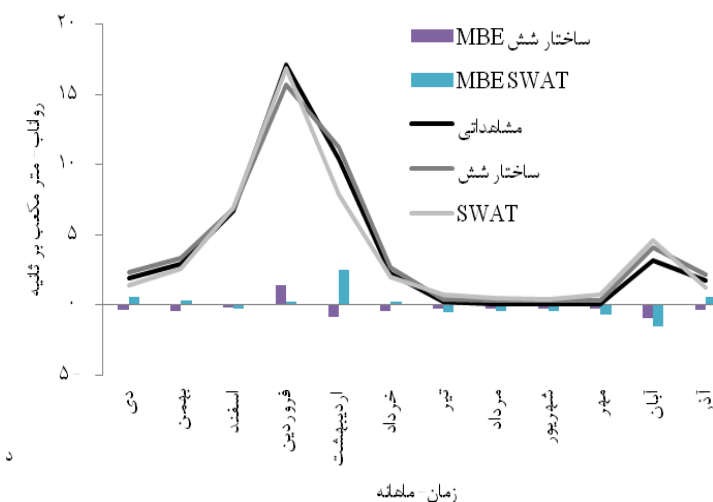
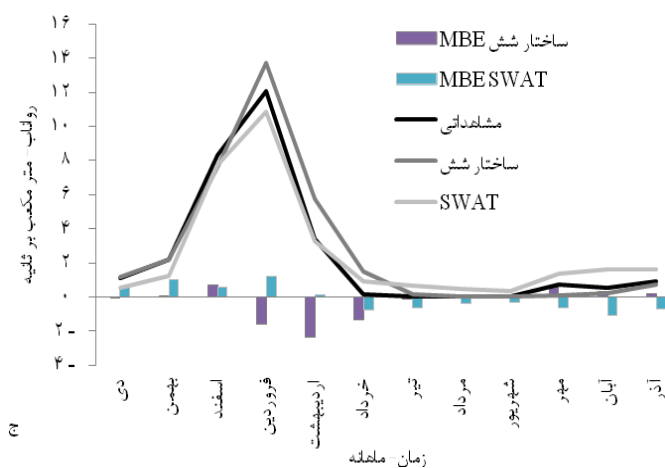
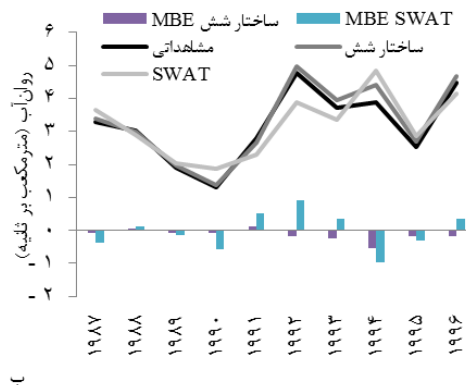
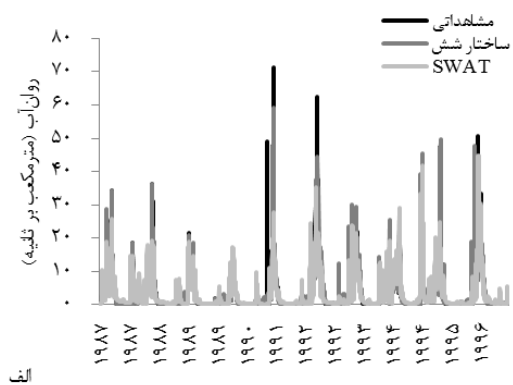
روز قبل در ساختار آن باشد. به‌طور کلی از میان شش ساختار شبکه‌ی عصبی مصنوعی، کارکرد ساختار ۶ مناسب‌ترین ساختار دانسته شد.

جدول ۵- واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های آب‌شناسی.

صحت‌سنجی				واسنجی				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	یکم
۰/۱۳	۰/۱۳	۷/۷	۰/۸۱	۰/۴۳	۰/۴۳	۳/۸	۰/۱۲	دوم
۰/۱۹	۰/۱۹	۷	۱/۱۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۳/۹	-۰/۱۵	سوم
۰/۶۷	۰/۶۷	۵/۶	۰/۱۷	۰/۹	۰/۹	۱/۶	۰/۰۲	چهارم
۰/۷۶	۰/۷۳	۳/۷	۰/۱۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۱/۵	۰/۰۲	پنجم
۰/۷۶	۰/۷۶	۳/۷	-۰/۱۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۱/۴	-۰/۰۱	ششم
۰/۶۷	۰/۶۶	۳/۳	۰/۱۶	۰/۷۲	۰/۷۱	۲/۰۸	۰/۱۵	سوات

شکل ۴-الف کارکرد هر دو مدل را در جریان روزانه در دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. هر دو مدل در شبیه‌سازی اندازه‌های بیشینه دچار اشکال می‌شود، اما کارکرد مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی بهتر از سوات است. بیش‌ترین اندازه‌ی خطا در دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی (شکل ۴-ج

و ۴-د) در مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌ترتیب در ماه فروردین و اردیبهشت ۲/۳ و ۱/۴ مترمکعب بر ثانیه و در مدل سوات به‌ترتیب در فروردین و اردیبهشت ۱/۲ و ۲/۵ مترمکعب بر ثانیه است. با بررسی نتایج مشخص شد که کارکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی بهتر از سوات است.



شکل ۴- الف: بررسی روزانه‌ی مدل و معیار اختلاف میانگین (MBE)، ب: بررسی سالانه‌ی مدل و معیار اختلاف میانگین (MBE)، ج: مقایسه-ی میانگین مشاهده‌شده و برآوردشده (واسنجی)، د: مقایسه‌ی میانگین مشاهده‌ی و برآوردی (صحت‌سنجی).

آینده است، و بیشترین تغییر روان آب در فصل بهار، به خصوص در اسفند و فروردین است. هر دو مدل بیشترین تغییر را در اسفند، فروردین، اردیبهشت، شهریور، آبان و آذر نشان دادند. به طور کلی می توان گفت که بیشترین تغییر در بهار و پاییز است.

شبیه سازی روان آب در دوره ی آینده

وقتی مدل ها برای دوره ی آینده شبیه سازی شد (شکل ۵-الف و ۵-ب) مدل ها رفتار متفاوتی نشان دادند، به طوری که تغییر مدل سوات برای بهار بسیار زیاد بود، ولی هر دو مدل نشان داد که روند تغییر ماهانه کاملاً مشابه با دوره ی



شکل ۵- روند تغییر روان آب در دوره ی آینده (۲۰۴۰-۲۰۰۶).

بیشترین تغییر در بهار و پاییز است و تمام حالت های ممکن این مبنای داده ها و تحلیل آماری ماه های میلادی بود. تغییر را نشان دادند (جدول ۶).

جدول ۶- روند تغییر فصلی روان آب در دوره آینه (۲۰۰۶-۲۰۴۰).

مشاهده‌یی	سوات			ساختار شش			مستان	بهار	مستان
	پاییز	تابستان	بهار	پاییز	تابستان	بهار			
مشاهده‌یی	۰/۷۶	۰/۴۶	۹/۷۹	۳/۲۱	۰/۷۶	۰/۴۶	۳/۲۱	۹/۷۹	۳/۲۱
RCP۲/۶	۲/۰۶	۱/۵۲	۱۴/۱۷	۴/۵۵	۰/۷۹	۰/۱۶	۳/۰۹	۸/۷۴	۳/۰۹
RCP۴/۵	۲/۴۳	۱/۴۸	۱۳/۹۷	۴/۵۸	۱/۲۲	۰/۰۸	۴/۰۲	۱۲/۶۹	۴/۰۲
RCP۸/۵	۲/۲۲	۱/۵۷	۱۴/۷۶	۴/۷۷	۱/۰۹	۰/۱	۳/۱۴	۹/۱۹	۳/۱۴
اندازه‌ی تغییر ۲/۶	-۱/۳	-۱/۰۶	-۴/۳۸	-۱/۳۵	-۰/۰۳	۰/۳	۰/۱۲	۱/۰۵	۰/۱۲
اندازه‌ی تغییر ۴/۵	-۱/۶۸	-۱/۰۲	-۴/۱۸	-۱/۳۸	-۰/۴۷	۰/۳۸	-۰/۸۱	-۲/۹	-۰/۸۱
اندازه‌ی تغییر ۸/۵	-۱/۴۶	-۱/۱۱	-۴/۹۷	-۱/۵۶	-۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۰۷	۰/۶	۰/۰۷

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی کارکرد مدل CanESM ۲ و مدل سوات در بررسی اقلیم، ارزیابی کارکرد مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و سوات در بررسی آب‌شناسی و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مولفه‌های آب‌شناسی آبخیز کن در دوره آینه با گزارش پنجم هیات بین‌دولتی تغییر اقلیم است.

بررسی کارکرد مدل SDSM و CanESM ۲ نشان‌دهنده کارکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی بارش است. بیش‌ترین خطا در بهار به‌دست آمد. در دما مدل کارکرد مناسبی نشان نداد و بیش‌ترین خطا در پاییز مشاهده شد. برپایه‌ی بررسی قرمزچشمه و همکاران (۲۰۱۴) و احمدی و همکاران (۲۰۱۴) در شبیه‌سازی بارش به کمک مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی، خطا تا ۳۰ میلی‌متر بارش را می‌توان پذیرفت. مقایسه‌ی نتیجه‌ها با حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۵) نشان می‌دهد که در سنجه‌ی بارش کارکرد حالت نسل پنجم بهتر از نسل چهارم است، در حالی که در سنجه‌ی دما شرایط برعکس می‌شود. برای مثال در پژوهش حاجی محمدی در نسل چهارم، خطای ۲۵ میلی‌متری در بهار در ایستگاه شمیرانات، و خطای ۵۰ میلی‌متری در ایستگاه بیلقان در پاییز گزارش شد، در حالی که بیش‌ترین خطا در نسل پنجم نزدیک به ۳۰ میلی‌متر در ایستگاه شهرستانک بود.

با بررسی نتایج در دوره آینه در ایستگاه مهرآباد و بیلقان در بهار کاهش بارش و در دیگر ایستگاه‌ها افزایش بارش مشاهده شد، در دوره آینه در همه‌ی فصل‌ها افزایش چندمیلی‌متری بارش به‌دست آمد. به‌طور کلی در دوره آینه (۲۰۰۶-۲۱۰۰) روند تغییر دما افزایشی با ۰/۸ تا ۵/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دما نیز در دوره‌های آخر (۲۰۷۱-۲۱۰۰) اتفاق خواهد افتاد. بارش در دوره آینه ۴ تا ۵۵٪ افزایش خواهد یافت، رگبار بیش‌تر خواهد بود، و با افزایش یافتن دما در زمستان اندازه‌ی بارش برف کم‌تر می‌شود و بیش‌تر بارش‌ها باران است. و افزایش دما در همه‌ی فصل‌های و همه‌ی دوره‌ها به‌دست آمد، اما بیش‌تر افزایش دما در تابستان پیش‌بینی شد. رحیمی و همکاران

(۲۰۱۸) نشان داده اند که تغییر بارش در دامنه‌ی جنوبی البرز کاهشی یا افزایشی، اندازه‌ی تغییر بارش متفاوت، و روند تغییر دما افزایشی است. میردشتوان و همکاران (۲۰۱۸) براساس خروجی نسل پنجم ۰/۵ تا ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش دما را در دامنه‌ی جنوبی البرز در بازه‌ی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ نشان داده اند.

بررسی خطا و بی‌قطعیتی مدل‌های آب‌شناسی نشان داد که کارکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی بهتر از مدل سوات است. هر دو مدل در برآورد کردن جریان‌های بیشینه خطا دارد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده با جامینو سائز و همکاران (۲۰۱۸) مشابه است. نوع شبکه‌ی عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی بسیار مهم است، به‌طوری‌که در شبکه‌هایی که در ورودی خود روان‌آبی نداشته باشد، شبکه‌ی عصبی مصنوعی کارکرد مناسبی نشان نمی‌دهد.

بررسی نتیجه‌ها نشان داد که روان‌آب در دوره ۲۰۴۰-۲۰۰۶ در سه حالت RCP/۶، RCP/۵، و RCP/۵ در مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی به‌ترتیب ۴٪ کاهش، ۲۵٪ افزایش، و ۲٪ کاهش؛ و در مدل سوات به‌ترتیب ۴۲، ۴۳، و ۴۹٪ افزایش دارد. حاجی محمدی و همکاران (۲۰۱۸) ۱/۳ و ۰/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش دما، و کاهش بارش در همه فصل‌ها به‌خصوص بهار، و ۷٪ افزایش روان‌آب را در بازه‌ی ۲۰۱۱-۲۰۴۰ در آبخیز کن نشان دادند. مقایسه‌ی کارکرد حالت‌های نسل چهارم و پنجم نشان می‌دهد که در شبیه‌سازی بارش کارکرد نسل پنجم بهتر از چهارم است، ولی در دما کارکرد مناسبی ندارد.

بارش یکی از مهم‌ترین عامل‌ها در شبیه‌سازی روان‌آب است. حالت‌های نسل پنجم کارکرد مناسب‌تری نشان داد. با توجه به روند افزایشی بارش در سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و افزایش بارش و روان‌آب در بهار می‌توان گفت که کارکرد حالت‌های نسل پنجم بهتر از نسل چهارم است. بر اساس آمار بیشینه‌ی سیلاب‌های لحظه‌یی تیر ۱۳۹۴ و فروردین ۱۳۹۸ به‌اندازه‌ی ۹۰ تا ۱۴۰ مترمکعب بر ثانیه باعث زیان جانی و مالی فراوان شد، و همه‌ی ۲۵۰ سازه‌ی آبخیزداری را از رسوب پر کرد، و اثربخشی سازه‌ها را در مهار سیلاب در ۲۰ سال گذشته بی‌تاثیر کرد (معاونت آبخیزداری اداره

(آوریل و می ۲۰۱۹) گویای کارآمدی و دقت و صحت ارزیابی و تحلیل های آماری این پژوهش است. پیشنهاد می شود که در تحقیقات آینده سایر مدل های نسل پنجم و نسل ششم به کار گرفته شود، و سایر مدل های آب شناسی برای شبیه سازی کردن روان آب به کار برده شود. هم اکنون باید به افزایش روان آب در دوره های آینده بسیار توجه کرد.

کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان تهران (۲۰۱۹). لذا بنابراین ۴۹٪ افزایش روان آب تا اندازه ای ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه، علاوه بر افزایش شدت گل آلودگی رودخانه ای کن همگی روستاهای امامزاده داود، رندان، کیگا، سنگان، سولقان و کشار را در رسوب مدفون، و زیان های جانی و مالی بسیار شدیدی ایجاد می کند. پیش بینی روند بارش های شدید در فروردین و اردیبهشت

- Aalinejad MH, Dinpashoh Y, Jahanbakhsh ASL S. 2016. Impact of climate change on runoff from snowmelt by taking into account the uncertainty of GCM Models (Case study: Shahrchay Basin in Urmia). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. 5(1): 200–211.
- Abbaspour K C, Rouholahnejad E, Vaghefi S, Srinivasan R, Yang, Kløve B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*. 524(1): 733–752.
- Ahmadi M, Ghasemieh H, Ghermezcheshmeh B. 2014 A. Assessment of statistical downscaling methods in Downscaling AO-GCM-MS model data as an input of hydrological models, 2nd National Conference on Water Crisis, Shahrekord. 2(1): 203-213. (In Persian).
- Ahmadi M. 2014 B. Analyzing impact of climate change on annual discharge in Qorantalar Watershed. MSc Thesis, Shahrekord University. 145 pp. (In Persian).
- Ahmadi M, Moeini A, Ahmadi, H, Motamedvaziri B, Zehatabiyan, GR. 2019. Comparison of the performance of SWAT, IHACRES and artificial neural networks models in rainfall-runoff simulation (Case study: Kan watershed, Iran). *Physics and Chemistry of the Earth*. 111(1): 65–77.
- Al-mukhtar M. 2016. Modelling the root zone soil moisture using artificial neural networks , a case study. *Environmental Earth Sciences*. 75(1): 1115–1124.
- Ashrafvaghefi S, Mousavi SJ, Abbaspour KC, SrinivasanR, Yang H. 2014. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semi-arid regions: Karkheh River Basin in Iran. *hydrological processes*. 28(4): 2018–2032.
- Carcano EC, Bartolini P, Muselli M, Piroddi L. 2008. Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. *Journal of Hydrology*. 362(3–4): 291–307.
- Forests, Range and Watershed Management Organization. 2019. Detailed-executive study plan of watershed management of Kan district of Tehran. The Report in Natural Recourses and Watershed Management of Tehran province. 124 p. (In Persian).
- Ghermezcheshmeh B, Rasuli, A, Rezaei-banafsheh, M, Massah A, Khorshiddoošt A. 2014. Investigation impact of morpho-climatic parameters on accuracy of SDSM model. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 6(2): 155–164. (In Persian).
- Goodarzi M. 2011. Evaluation and assessment of impacts of climate variability on surface water resources, Case study: Karkheh olia sub-basin. PhD Thesis. 134 p. (In Persian).
- Hajimohamadi M, Azizian A, Ghermezcheshmeh B. 2018. Evaluation of the impact of climate change runoff in Kan Watershed. *Watershed Engineering and Management*. 10(2): 144–156. (In Persian).
- Hassan Z, Shamsudin S, Harun S, Malek MA, 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. *Environmental Earth Sciences*. 74(1): 463–477.
- Jimeno-Saez P, Senent-Aparicio J, Perez-Sanchez J, Pulido-Velazquez D. 2018. A Comparison of SWAT and ANN Models for Daily Runoff Simulation in Different Climatic Zones of Peninsular Spain. *Water*. 10(2): 189–192.

- Mahmood R, Babel MS. 2013. Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*. 113(1–2): 27–44.
- Mirdashtvan M, Najafinejad A, Malekian A, Soddodin A. 2018. Downscaling the contribution to uncertainty in climate change assessments: representative concentration pathway (RCP) scenarios for the South Alborz Range, Iran. *Meteorological Applications*. 25 (3): 441–422.
- Nazari-Sharabian M, Karakouzian M, Ahmad S. 2019. Water quality modeling of Mahabad Dam watershed–reservoir system under climate change conditions, using SWAT and system dynamics. *Water*. 11(2): 380–394.
- Ning J, Gao Z, Lu Q. 2015. Runoff simulation using a modified SWAT model with spatially continuous HRUs. *Environmental Earth Sciences*. 74(7): 5898–5905.
- Noori N, Kalin L. 2016. Coupling SWAT and ANN models for enhanced daily streamflow prediction. *Journal of Hydrology*. 533(1): 141–151.
- Rahimi j, Malekian A, Khalili A. 2018. Climate change impacts in Iran: assessing our current knowledge. *Theoretical and Applied Climatology*. 135(1–2): 545–564.
- Tejaswini V, Sathian K. 2018. Calibration and Validation of Swat Model for Kunthipuzha Basin Using SUFI-2 Algorithm. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 7(1): 2162–2172.
- Wilby RL, Dawson CW, Barrow EM. 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*. 17(2): 145–157.
- Wilby RL, Dawson CW. 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*. 33(7):1707–1719.
- Zehtabian GR, Salajegheh A, Malekian A, Bo-roomand N, Azareh A. 2016. Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain. *Desert*. 21(2) 155–164.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 2, Ser. No: 127, Summer 2020, pp.66 -81
DOI: 10.22092/wmej.2019.127163.1247

Assessment of the Impact of Climate Change on Runoff on the Kan Watershed in the Future

Mehdi Ahmadi

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

Baharak Motamedvaziri

(Corresponding Author)* Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Hassan Ahmadi

Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran

Abolfazl Moeini

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

Gholam Reza Zehtabian

Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran

*Corresponding Author Email: bm vaziri@gmail.com

Received: 21 July 2019

Accepted: 17 December 2019

Abstract

Climate change is among the most important challenges affecting the natural ecosystems and various aspects of the human life. The global warming imposes serious impacts on the hydrology and water cycle in the nature, and quantitative evaluation of such impacts provides further preparedness for confronting their anticipated consequences. The so-called statistical downscaling model (SDSM) was used to forecast the trends of precipitation and temperature during the 2006 – 2100 period based on the CanESM2 large ensembles. The impact of climate change on hydrologic conditions on the Kan Watershed was evaluated using the SWAT and ANN models. The results indicated that an increase in precipitation and temperature are probable in the forecasted future period (2006 – 2100). In general, it can be stipulated that the temperature will rise by 0.8 – 5.6°C and the precipitation will increase by 4 – 55%. Given its structure, the ANN exhibited a superior performance over the SWAT. The results of the runoff studies indicated that for the forecasted future period (2006 – 2100), the ANN model predicts 2% and 4% decrease under the RCP2.6 and RCP8.5 scenarios, respectively, and a 25% increase under the RCP4.5 scenario. However, the SWAT model forecasted 42%, 43%, and 49% increase under the RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios, respectively. A 49% increase in the runoff to 200 m³/s will not only add to the suspended sediment load of the Kan River, but also will bury the Emamzadeh Davood, Rendan, Kiga, Sangan, Suleghan, and Keshar villages under sediment, but also will cause extensive financial and life damages.

Keywords: Artificial neural network, precipitation- runoff simulation, RCP scenario, SDSM statistical model, SWAT hydrological model