

ارزیابی عملکرد تغییر اقلیم به کمک دو مدل هیدرولوژیکی با ساختار متفاوت

صادق واله^۱، بهارک معتمد وزیری^{۲*}، هادی کیادلیری^۳ و حسن احمدی^۴

۱) دانشجوی دکتری گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

۲) استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

۳) دانشیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران.

۴) استاد گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: bm vaziri@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

چکیده:

یکی از مهم ترین چالش هایی که بر اکوسیستم های طبیعی و جنبه های مختلف زندگی انسان تأثیر دارد تغییر اقلیم است. 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 می کند. در تحقیق حاضر عملکرد دو مدل با ساختارهای متفاوت که یکی از آنها مدل جعبه سیاه (شبکه عصبی مصنوعی) و مدل نیمه توزیعی (SWAT) انتخاب شد و از لحاظ خطا و عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی اثر تغییر اقلیم از مدل بزرگ مقیاس (CanESM2) تحت سناریو RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شد. نتایج در این پژوهش نشان داد که مدل های جعبه سیاه عملکرد بهتری نسبت به مدل های فیزیکی دارد. نتایج تغییر اقلیم در این پژوهش نشان می دهد که بارش (۳ الی ۵۹ درصد) و دما (۱/۵۳ الی ۶/۹۳ درجه سانتیگراد) روند افزایشی دارد بخصوص این روند افزایشی در مقادیر حدی و سیلاب های تند بیشتر خود را نشان می دهد. همچنین میزان رواناب در دوره آبی ۱۱ الی ۱۱ درصدی افزایش می یابد به همین دلیل در مطالعات شهری حتماً باید به افزایش پدیده های سیلاب در دوره آبی توجه نمود.

کلید واژه ها: تغییر اقلیم؛ حوزه آبخیز امامه؛ SWAT؛ ANN

مقدمه

مقدار و شدت بیش تر می شود. علت این را می توان شرایط محلی دامنه-ی جنوبی البرز و ارتفاع پستی و بلندی دانست. نتایج به دست آمده توسط منابع مختلف نشان می دهد رخداد های حدی اقلیمی در طول دهه های اخیر افزایش معنی داری داشته اند. تغییرات منطقه ای رخداد های حدی قطعیت بیشتری نسبت به تغییرات در میانگین های فصلی دارند و افزایش وقوع رخداد های جدی بر زیرساخت های اجتماعی و اقتصادی از قبیل

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 با توجه به مطالعات معاونت آبخیزداری استان تهران در کلان شهر تهران در ایستگاه های همدیدی مهرآباد و شمیرانات (شمال تهران) اندازه و شدت آن کم است، در حالی که در ایستگاه های باران سنجی فشم و دیوا

محیط متلب (بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و رواناب) نیاز است و دومین مدل SWAT^۱ که یک مدل توزیعی پیچیده است و به داده‌ها و اطلاعات فراوان نیاز دارد، استفاده گردد.

تاکنون مطالعات مختلفی در مورد مدل‌های بارش-رواناب انجام شده است که عبارتند از:

حسینی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی در خلیج فارس تحت عنوان برآورد بیلان آبی در حوضه‌های منتهی به خلیج فارس با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT پرداخته است. در این مطالعه از ۶ استان غرب کشور شامل استان‌های ایلام (حوضه گل‌گل)، بوشهر (حوضه باغان)، خوزستان (حوضه مرغاب)، فارس (حوضه شکستیان)، کهگیلویه و بویر احمد (حوضه تنگ بریم) و استان هرمزگان (حوضه درآگاه) استفاده کردند. شاخص نش-سانکلیف در حوضه‌های شش گانه در دوره واسنجی به ترتیب معادل ۰/۶۶، ۰/۷۳، ۰/۴۰، ۰/۳۲، ۰/۵۳ و ۰/۷۸ و در دوره اعتبار سنجی معادل ۰/۴۹، ۰/۴۸، ۰/۴۲، ۰/۴۵، ۰/۴۶ و ۰/۶۲ بدست آمد.

چامیسو و همکاران (۲۰۱۶) در اتیوپی در پژوهشی تحت عنوان (ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر سطح فرآیندهای هیدرولوژیکی) با استفاده از SWAT پرداخته است. نتایج نشان داد که عملکرد مدل بسیار مناسب است و همچنین در دوره آتی دما دارای روند افزایشی و تغییرات هیدرولوژی به صورت ماهانه و فصلی بسیار شدید است. در نهایت تحقیق نشان می‌دهد که مدل نامبرده بسیار مدلی کار آمد است.

لویه و رحیمی (۱۳۹۶) در ایران در پژوهشی تحت عنوان (ارزیابی مدل‌های مختلف هیدرولوژی) از مدل‌های IHACRES^۲، HEC-HMS^۲، SLR، ANN^۳ استفاده نموده است. نتایج در این تحقیق نشان داد که

کشاورزی، سلامت، منابع آب، خدمات عمومی، تأثیر زیادی می‌گذارد منصوری و احمدی (۱۳۹۷). زمانی شدت این اثرات نامبرده در بالا افزایش پیدا می‌کند که بحث تغییر اقلیم مطرح باشد. در این مطالعه یکی از حوزه‌های آبخیز شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفته است که در بالادست شهر تهران قرار گرفته است. حوزه آبخیز استان تهران یکی از بزرگترین حوزه‌های آبخیز شهرهای ایران می‌باشد که در بالادست منطقه شهر تهران قرار گرفته است. سالانه خسارتهای زیادی ناشی از پدیده‌های اقلیمی و سیلاب در این حوزه‌های آبخیز رخ می‌دهد که خسارات جبران ناپذیری به مناطق شهری پایین دست خود وارد می‌کند، به استناد بانک اطلاعات سیلاب، طی شش دهه گذشته حوزه‌های آبخیز مشرف شهر تهران با ۲۵۵۰ کشته و بیش از ۱۰۰۰ میلیارد تومان خسارات از پتانسیل بسیار بالایی در معرض خطر سیلاب برخوردار است، بنابراین مطالعه و مدل سازی بارش-رواناب حوزه‌های آبخیز بالادست شهر تهران بسیار حائز اهمیت است. تاکنون مطالعات مختلفی، احمدی و همکاران (۲۰۱۹) زکی زاده و همکاران (۲۰۱۹) در حوزه‌های آبخیز بالادست شهر تهران انجام شده است که در آن شرایط اقلیمی آینده مورد بررسی قرار گرفت و افزایش بارندگی، افزایش دما و تغییرات رواناب محتمل است. در این مطالعه حوزه آبخیز امامه انتخاب شده است که بخش اعظمی از آب سد لتیان را فراهم می‌کند. بنابراین مطالعه هیدرولوژی این منطقه مطالعاتی به ما کمک می‌کند که در میزان آب دریافتی سد لتیان آگاهی داشته باشیم. تفاوت هایی که در این مطالعه با سایر مطالعات دارد، اهمیت منطقه مطالعاتی در حوزه آبخیز شهر تهران است و همچنین در منطقه مطالعاتی پراکنش ایستگاههای سینوپتیک و باران سنجی بسیار محدود است در نهایت در این مطالعه به این نتیجه می‌رسیم که از میان دو مدل شبکه عصبی مصنوعی که یک مدل خطی می‌باشد و به داده‌های کم نیاز دارد و فقط به علم برنامه نویسی در

^۱ The Soil & water Assessment Tool

^۲ Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System

^۳ Artificial Neural Network

زکی زاده و همکاران (۱۳۹۸) در حوزه آبخیز درکه و دارآباد که در بالادست شهر تهران واقع شده است به بررسی عملکرد مدل SWAT و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است نتایج در این پژوهش نشان داد که عملکرد مدل شبکه عصبی بهتر از مدل SWAT است و در مقادیر حدی عملکرد بهتری دارد.

با توجه به مطالعاتی که در ارتباط با تغییر اقلیم و اثر آن بر رواناب مورد پژوهش قرار گرفت به این نتیجه می-رسیم که جای مقادیر حدی در این مطالعات بسیار خالی است همچنین با حضور نسل پنجم از گزارش بهتر است از خروجی‌های جدید استفاده نمود و در نهایت یک مطالعه مقایسه‌ای با سناریو نسل چهارم انجام داد، و مدل منتخب را انتخاب نمود. در پژوهش حاضر برای بررسی بهتر و موثرتر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی از دو مدل بارش- رواناب SWAT و ANN استفاده شد. به طور کلی می‌توان گفت که در مطالعات جدید بحث صد درصد پیشرفت مطرح نیست بلکه کارایی و بهتر نمودن نتایج مدل‌ها مورد بحث است.

تفاوت‌هایی که در این پژوهش با سایر پژوهش‌ها وجود دارد عبارتند از: الف) برای اولین بار در منطقه مطالعاتی از شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی بارش- رواناب استفاده شده است و در نهایت عملکرد آن با مدل نیمه توزیعی مقایسه می‌شود، ب) در این مطالعه به کمک خروجی نسل پنجم در منطقه مورد پژوهش ارزیابی اثر تغییر اقلیم انجام می‌شود و ج) در این پژوهش ارزیابی عملکرد مدل SWAT، شبکه عصبی مصنوعی، SDSM^۱ و CanESM2^۲ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

هدف‌های پژوهش عبارت است از: الف) ارزیابی اثر تغییر اقلیم (بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه) در منطقه مورد پژوهش، ب) ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب در حوزه آبخیز امامه، ج) ارزیابی عملکرد دو مدل

بهترین عملکرد را مدل ANN با ضریب همبستگی ۰/۸۰ و بدترین را مدل SLR با ضریب همبستگی ۰/۱۸، میزان ضریب همبستگی IHACRES برابر با ۰/۶۶ است. مدل ANN در شبیه‌سازی جریان حداکثر عملکرد بسیار مناسبی را از خود نشان می‌دهد.

غلامی و همکاران (۱۳۹۶) در ایران در پژوهشی تحت عنوان (ارزیابی کارایی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه) پرداخته است. نتایج در این پژوهش نشان داد که میزان ضرایب (R-، P-factor، factor، ضریب همبستگی و ضریب نش- ساتکلیف به ترتیب برابر با ۰/۹۸، ۰/۷۹، ۰/۹۳ و ۰/۹۳ است که نشان از عملکرد مناسب مدل در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

تگن و همکاران (۲۰۱۷) در یانگ دم در پژوهش تحت عنوان (مقایسه عملکرد سه مدل SWAT، GR4J و IHACRES) پرداخته است. نتایج در این تحقیق نشان داد که عملکرد مدل SWAT از دو مدل دیگر در شبیه‌سازی به طور کلی بهتر می‌باشد و برای مدیریت منابع آب بهتر است از این مدل استفاده شود.

لطفی راد و همکاران (۱۳۹۷) در ناورود در پژوهشی تحت عنوان تخمین رواناب روزانه به کمک مدل نیمه مفهومی IHACRES در حوزه آبخیز ناورود گیلان پرداخته است. در تحقیق پیش رو دوره ۹۱-۹۴ به عنوان دوره کالیبراسیون و دوره ۸۷-۸۹ به عنوان دوره صحت سنجی شبیه‌سازی شد. میزان ضریب کارایی مدل نش- ساتکلیف در دوره واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۴۶ به دست آمد که با توجه به نتایج پژوهش- های پیشین قابل قبول است.

احمدی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی در حوزه آبخیز استان تهران به بررسی عملکرد مدل SWAT، شبکه عصبی مصنوعی و IHACRES پرداخته است، نتایج در این پژوهش نشان داد که عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی بسیار بهتر از سایر مدل‌هاست.

¹ Statistics Downscaling Model

² Canadian Earth System Model

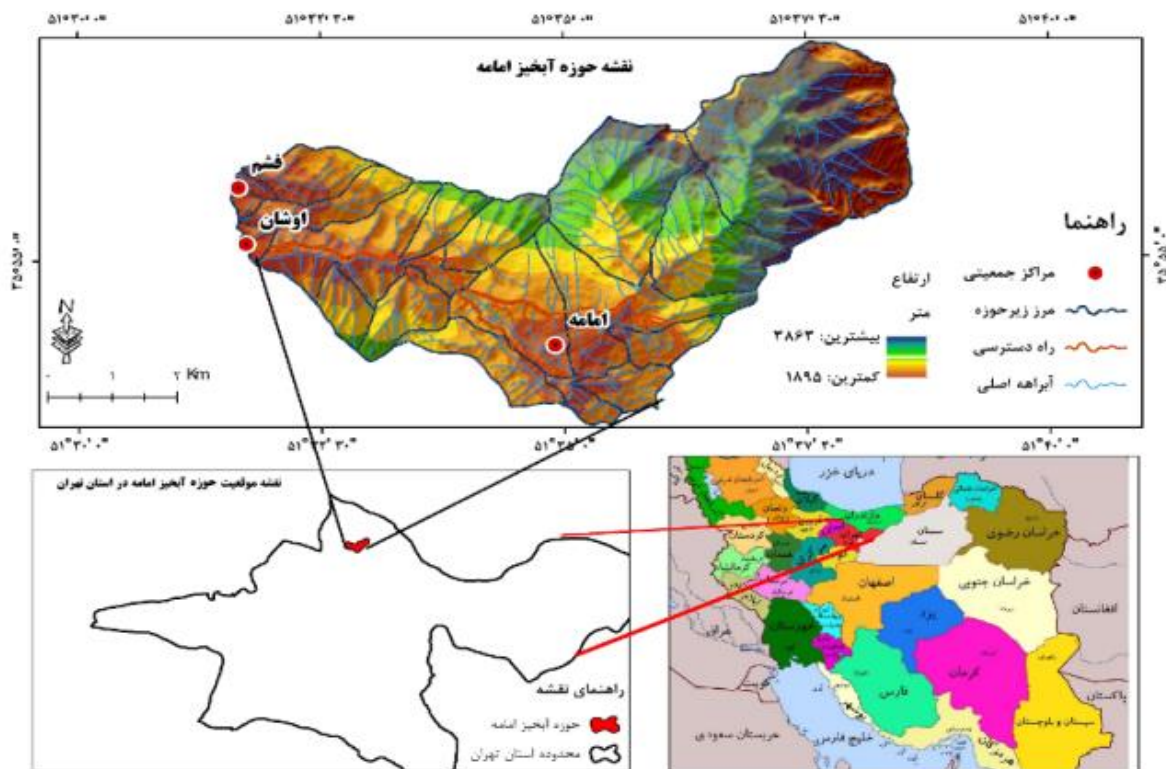
هیدرولوژیکی با ساختار متفاوت و د) ارزیابی عملکرد خروجی نسل پنجم و مدل ریز مقیاس گردانی SDSM.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز امامه با مساحت ۳۵۰۶ هکتار در استان تهران در شهرستان شمیرانات واقع شده و در محدوده جغرافیایی ۳۶° ۳۱' ۵۱" الی ۳۷° ۳۸' ۵۱" طول شرقی و ۲۶° ۵۳' ۳۵" الی ۲۷° ۵۷' ۳۵" عرض شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۸۹۶ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوضه ۱۸۹۴/۶ متر می‌باشد. بر اساس گزارش جدید هواشناسی استان تهران متوسط بارندگی سالیانه ۵۰۱ میلی‌متر در سال است و اقلیم منطقه براساس روش دومارتن بسیار مرطوب فراسرداست. رودخانه

جاجرود، در غرب حوضه جریان داشته و جاده فشم-امامه از داخل حوضه عبور می‌کند. امامه بالا و امامه پایین و قسمتی از فشم، مناطق مسکونی داخل منطقه مطالعاتی می‌باشند. میانگین درجه حرارت حوضه ۷/۳ درجه سانتی گراد است. شکل (۱) مشخصات منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد، و همچنین جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهد.

علت انتخاب ایستگاه‌های جدول یک بر مبنای داده‌های مشاهداتی موجود و آمار کافی و درست می‌باشد و همچنین ایستگاه‌های نامبرده در اطراف منطقه مورد پژوهش قرار دارد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعاتی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در شبیه سازی بارش - رواناب

طول دوره آماری	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رودخانه	نام ایستگاه
۱۳۸۸-۱۳۵۱	هیدرومتری	۱۷۰۶	۵۱/۴۹	۳۵/۸۲	دارآباد	فلاک
۱۳۸۸-۱۳۶۸	هیدرومتری	۱۷۰۰	۵۱/۴۹	۳۵/۸۲	درکه	هفت حوض درکه
۱۳۸۸-۱۳۴۸	هیدرومتری	۱۴۳۰	۵۱/۱۵	۳۵/۴۷	کن	سولقان
۱۳۸۸-۱۳۳۹	سینوپتیک	۱۱۹۰	۵۱/۱۹	۳۵/۴۱	-	مهرآباد
۱۳۸۸-۱۳۶۵	سینوپتیک	۱۵۴۹	۵۱/۲۹	۳۵/۴۸	-	شمال تهران
۱۳۸۸-۱۳۵۱	باران سنج	۱۹۴۰	۵۱/۵۳	۳۵/۹۳	آب میگون	فشم
۱۳۸۸-۱۳۵۳	باران سنج	۲۷۰۰	۵۱/۵	۳۶	جاجرود	شمشک
۱۳۸۸-۱۳۴۶	باران سنج	۱۷۱۰	۵۱/۵۵	۳۵/۸۵	جاجرود	رودک
۱۳۸۸-۱۳۶۸	باران سنج	۲۴۷۰	۵۱/۴۵	۳۵/۸۵	-	کلاک چای
۱۳۸۸-۱۳۶۰	باران سنج	۱۸۱۰	۵۱/۵۳	۳۵/۶۵	-	مرا

تغییر اقلیم CanESM2

مدل CanESM2 دارای سه سناریو است که عبارت است از: RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5. سناریو RCP2.6 دارای کمترین میزان افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو، واداشت تابشی در اواسط دوره به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته است و به ۲/۶ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر طبق سناریوی RCP4.5 حد وسط دو سناریو دیگر است، به طوری که این سناریو تحت عنوان سناریو تثبیت شناخته شده است. سناریو RCP8.5 که آخرین سناریو گزارش ارزیابی پنج است، دارای بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است.

در این مطالعه از نسل دوم مدل کانادایی سیستم زمین CanESM2 که توسط CCCma ارائه شده، استفاده شد. مدل CanESM2 نسخه ارتقایافته از مدل گردش کلی است که به آن‌ها مدل‌های سامانه زمین^۱ (ESM) گفته می‌شود. ESMها سعی بر لحاظ حداکثر مولفه‌های تاثیرگذار سامانه زمین بر اقلیم را در ساختار مدل‌سازی خود دارند.

مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

مدل ریزمقیاس‌گردانی مورد استفاده در این پژوهش، نسخه ۵/۲ مدل SDSM است که اولین بار توسط ویلی در سال ۲۰۰۲ ارائه شد. SDSM روشی است که بهترین توضیح هیبریدی را ارائه می‌کند و در مطالعات مختلفی در جهان مانند مطالعات سیلاب، منابع آب، محیط‌زیست و غیره، بسیار کاربرد دارد و نتایج حاصل از آن، رضایت‌بخش است صمدی (۱۳۸۸). مدل SDSM جزء روش‌های آماری رگرسیون خطی است. به عبارت دیگر مدل مذکور، بر پایه روابط آماری تکنیک‌های رگرسیونی چندگانه خطی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس و متغیرهای مشاهداتی محلی پایه‌گذاری شده است.

SDSM، یک روش نمونه‌برداری مجدد شرطی و دو مرحله‌ای است، بدین صورت که ابتدا مدل، متغیر پیش‌بینی‌کننده را با استفاده از روش رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی ریزمقیاس می‌کند، سپس متغیرها در محل ایستگاه‌ها مجدداً تولید می‌شوند. در واقع SDSM، هیبریدی از روش مولدهای هواشناسی استوکاستیکی و توابع تغییر شکل یافته است ویلی و داوسون (۲۰۱۳).

^۱Earth System Models

مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل SWAT مدلی در مقیاس حوزه آبخیز است که توسط آرنولد و دیگران (۱۹۹۸) ارائه شده است. این مدل، یک مدل نیمه توزیعی است که به طور کلی قادر به شبیه سازی رواناب، رسوب و تعادل آب است. مدل SWAT برای اجرا شدن به نیاز به ۴ نوع داده دارد که عبارت است از: داده های هیدرو هواشناسی، خاک، توپوگرافی و استفاده از زمین. فرآیندهای مختلفی به طور کلی در مدل شبیه سازی می شوند، که می توان به فرآیند فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکات رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و غیره نام برد. چرخه هیدرولوژیکی که در مدل SWAT شبیه سازی می شود، بر اساس معادله بیلان آب استوار است رابطه (۱).

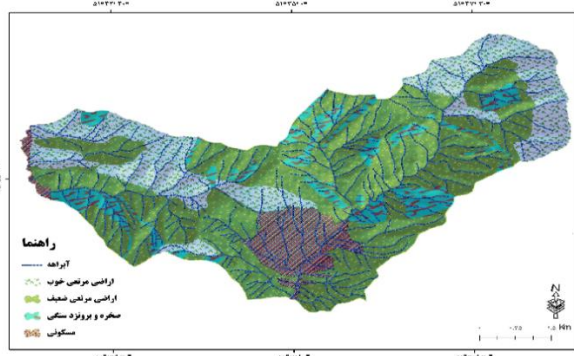
(۱)

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

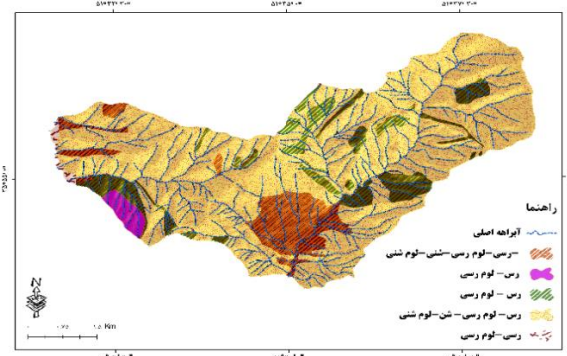
که در این معادله SW_t مقدار نهایی رطوبت خاک (میلی متر)، SW_0 مقدار اولیه رطوبت خاک (میلی متر)، t زمان (روز)، R_{day} مقدار بارش در روز t ام (میلی متر)، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در روز t ام (میلی متر)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز t ام (میلی متر)، W_{seep} مقدار نشست که در روز t ام از نیمرخ خاک وارد منطقه غیراشباع می شود (میلی متر) و Q_{gw} مقدار آب بازگشتی در روز t ام می باشد (گروسان و دیگران ۲۰۱۵، ۵۳۱)

یکی از مزایایی که مدل SWAT نسبت به سایر مدل ها دارد این موضوع است که می توان در مناطقی که فاقد آمار باشند مورد استفاده قرار گیرد و همچنین این مدل می تواند بسیاری از ویژگی های آب همانند کیفیت آب را کمی سازی نماید. مدل SWAT، می تواند حوزه آبخیز بزرگ و پیچیده را با راهکارهای مختلف مدیریتی، بدون صرف زمان زیادی اجرا نماید. مدل برای اینکه بتواند ویژگی یک حوزه آبخیز را شبیه سازی نماید، باید حوزه آبخیز را به زیر حوضه هایی تقسیم نماید. ابتدا مدل SWAT در داخل نرم افزار ARC-GIS اجرا گردید و نقشه های خاک شناسی و کاربری اراضی تشکیل شد که در شکل ها ۳ و ۲ قابل مشاهده است.

با اجرای مدل SWAT تعداد HRU ها مشخص شد. در مرحله بعد با تشکیل چهار طبقه ارتفاعی و وارد نمودن اطلاعات هواشناسی شامل بارش، دما بیشینه، دما کمینه، رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان دریافت روزانه انرژی خورشید و بارندگی ۲۴ ساعته جداول توصیفی مدل ساخته شد و در نهایت رواناب ایجاد گردید. میزان ضریب نش-ساتکلیف بسیار پایین بود و به تعداد چهار لایه ارتفاعی با توجه به مطالعات عباسپور (۲۰۰۹) (لایه ارتفاعی به مدل معرفی شد. با این حال نیز میزان ضریب نش-ساتکلیف پایین بوده و نتایج ما در محدوده رضایت بخش قرار نمی گیرد به همین دلیل خروجی مدل SWAT را وارد مدل SWAT CUP نمودیم.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی



شکل ۲. نقشه خاک شناسی

مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

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 می‌باشد، در گذشته شبکه عصبی مصنوعی از پیچیدگی خاصی برخوردار نبودند ولی امروزه شبکه عصبی مصنوعی به دلیل ظهور نرم افزارهای قدرتمند از جمله متلب بیشتر از گذشته مورد توجه قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی به کمک نرم افزار Minitab برای درجه تاثیرپذیری رواناب از بارندگی‌های روزهای قبل از آن بود. بنابراین از ترکیب‌های تاخیرهای مختلف بارندگی به عنوان ورودی استفاده شد. به همین علت برای به دست آوردن تعداد تاخیرهای مناسب بارندگی برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی از تحلیل خود همبستگی جزئی (PACF) برای داده‌های بارندگی روزانه و همبستگی متقاطع (CCF) برای بارندگی و رواناب استفاده شد. با توجه به آزمون همبستگی نسبی و همبستگی متقاطع که مشخصات آن در جدول ۲ وجود دارد، بطور کلی در این پژوهش شش ساختار تشخیص داده شد، که مشخصات آن در جدول ۳ قابل مشاهده است.

ساختار یک: در این ساختار رواناب فقط از بارش و متوسط دما تشکیل شده است.
 ساختار دو: در این ساختار رواناب از دبی یک روز قبل، بارش و دمای متوسط سالیانه ساخته شده است.
 ساختار سه: در این ساختار رواناب از رواناب دو روز قبل، رواناب یک روز قبل، بارش و دمای متوسط سالیانه ساخته شده است.
 ساختار چهار: رواناب در این ساختار بر اساس بارش یک روز قبل، بارش و دمای متوسط سالیانه ساخته شده است.
 ساختار پنج: در این ساختار رواناب بر اساس بارش دو روز قبل، بارش یک روز قبل، بارش و دمای متوسط سالیانه ساخته شده است.
 ساختار شش: در این ساختار بارش بر اساس بارش دو روز قبل، بارش یک روز قبل، بارش، رواناب دوروز قبل، رواناب یک روز قبل و دمای متوسط سالیانه ساخته شده است.
 بر اساس اجرای مدلها و تعداد نوروهای مختلف به کمک روش سعی و خطا، ساختار و نورو مناسب انتخاب گردید. برای مثال در ساختار شش شبکه عصبی مصنوعی، ساختار دو لایه با ۲۵ نورو کمترین میزان خطا حاصل شد.

جدول ۲. میزان ضریب همبستگی نسبی

تعداد تاخیرها	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
بارش	۰	۰/۲۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۲	۰/۰۳۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۵۷	۰/۰۳۷
بارش- رواناب	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲۳	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲

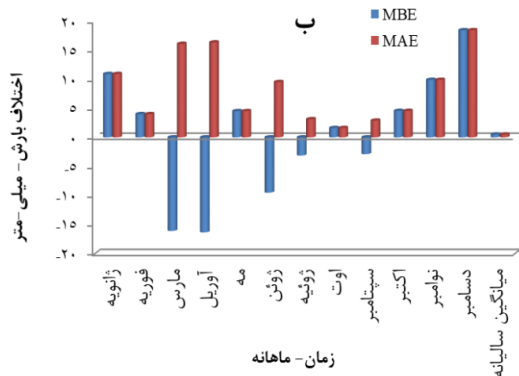
جدول ۳. ساختارهای تشکیل شده بر اساس ساختارهای شبکه عصبی مصنوعی

شبکه	
$Q_n = R_n, T_n$ (average)	ساختار یک
$Q_n = Q_{n-1}, R_n, T_n$ (average)	ساختار دو
$Q_n = Q_{n-1}, Q_{n-2}, R_n, T_n$ (average)	ساختار سه
$Q_n = R_{n-1}, R_n, T_n$ (average)	ساختار چهار
$Q_n = R_{n-1}, R_{n-2}, R_n, T_n$ (average)	ساختار پنج
$Q_n = R_{n-1}, R_{n-2}, R_n, Q_{n-1}, Q_{n-2}, T_n$ (average)	ساختار شش

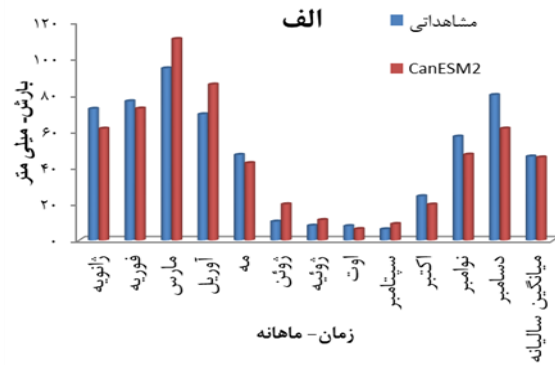
نتایج و بحث
نتایج ریز مقیاس گردانی
بارش:

۲۳ درصد، ایستگاه سیرا ۱۷ درصد، ایستگاه رودبار قصران ۲۱ درصد، ایستگاه رودک ۲۹ درصد، ایستگاه شمال تهران دارای خطای ۹ درصدی و ایستگاه لواسان بزرگ دارای خطای ۱ درصدی بیش برآورد، در نتایج است شکل (۴).

در مدل SDSM ایستگاه مهرآباد دارای خطای ۱۷ درصدی بیش برآورد در نتایج است، ایستگاه بیلقان خطای



ب = MBE و MAE ماهانه

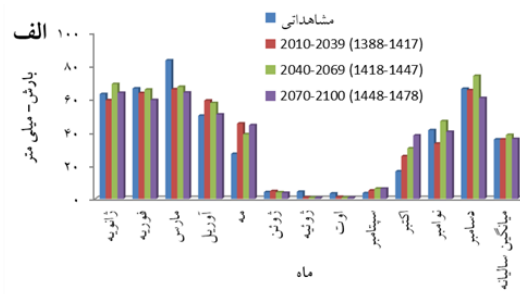
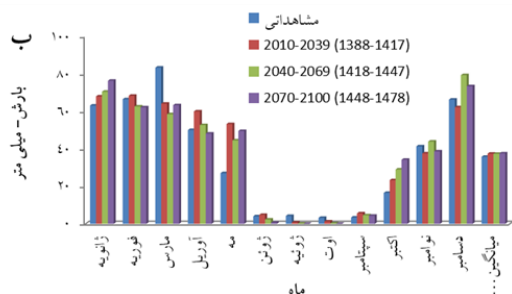


شکل ۴. الف = میانگین ماهانه، ب = MBE و MAE ماهانه

پیش بینی نمودن متغیرهای بارش، دما بیشینه و دما کمینه در زمان آینده

جدول ۴. پیش بینی نمودن متغیر بارش در سناریو RCP2.6, RCP8.5 (۲۰۱۰الی ۲۱۰۰)

ایستگاه	RCP8.5		RCP2.6		نام سناریو
	دوره اول	دوره دوم	دوره اول	دوره دوم	
مهرآباد	۲۵	۳۹	۲۰	۳۱	دوره سوم
بیلقان	۳۲	۲۹	۲۸	۲۹	دوره سوم
سیرا	۱۷	۱۱	۱۲	۱۴	دوره سوم
رودک	۲۹	۲۵	۲۷	۲۷	دوره سوم
شمال تهران	۵	۴	۰/۱۷	۶	دوره سوم

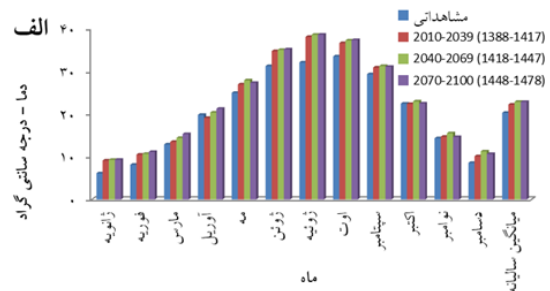
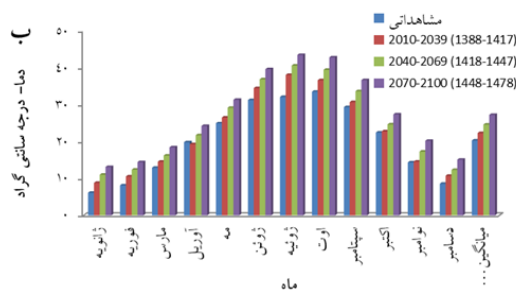


شکل ۵. الف = مقایسه میانگین ها (شمال تهران) در سناریو RCP2.6، ب = مقایسه میانگین ها در سناریو RCP8.5

دما
دما بیشینه

جدول ۵. پیش‌بینی نمودن متغیر دما بیشینه در سناریو RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۱۰الی ۲۱۰۰)

نام سناریو	RCP2.6			RCP8.5	
	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم
ایستگاه مهرآباد	۱۰	۱۰	۷	۲۷	۱۷
شمال تهران	۱۱	۱۱	۸	۳۲	۲۰

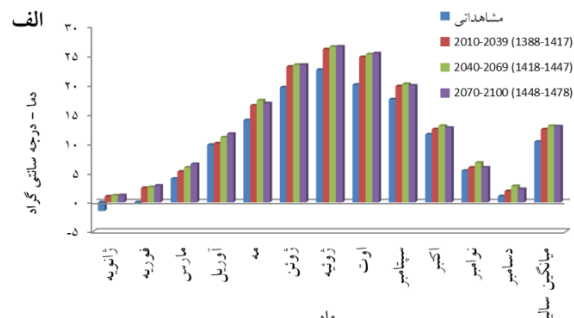
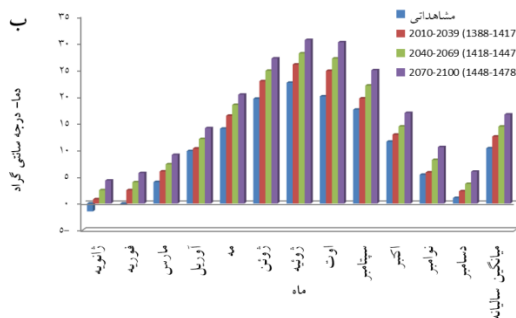


شکل ۶. الف = مقایسه میانگین‌ها (شمال تهران) در سناریو RCP2.6. ب = مقایسه میانگین‌ها در سناریو RCP8.5

دما کمینه

جدول ۶. پیش‌بینی نمودن متغیر دما کمینه در سناریو RCP2.6 و RCP8.5 (۲۰۱۰الی ۲۱۰۰)

نام سناریو	RCP2.6			RCP8.5	
	دوره سوم	دوره دوم	دوره اول	دوره سوم	دوره دوم
ایستگاه مهرآباد	۱۷	۱۷	۱۳	۴۶	۲۹
شمال تهران	۲۵/۱۷	۲۸/۸۶	۲۰	۶۰	۳۹



شکل ۷. الف = مقایسه میانگین‌ها (شمال تهران) در سناریو RCP2.6. ب = مقایسه میانگین‌ها در سناریو RCP8.5

جدول ۷. پارامترهای منتخب در منطقه مطالعاتی

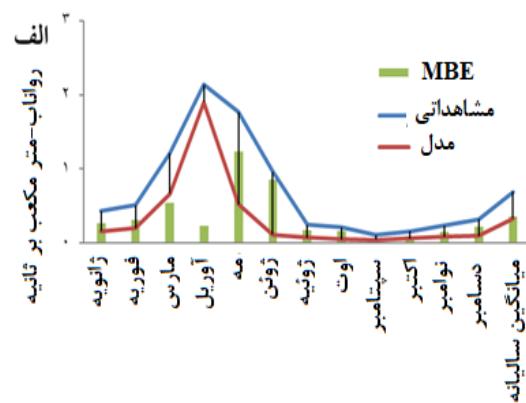
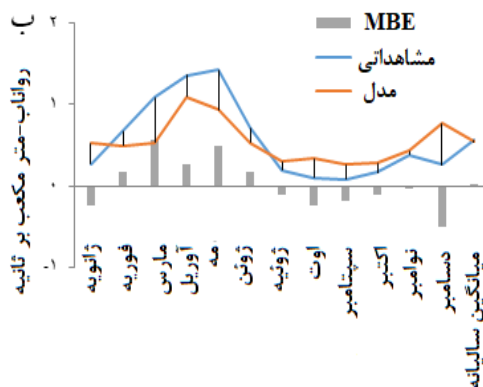
مقدار بیشینه	مقدار کمینه	مقدار بهینه	توضیحات پارامتر	نام پارامتر
۰/۲	-	۰/۱۹۶۳۶۴	شماره منحنی	1:R_CN2.mgt
۱	۰	۰/۰۶۳۶۳۶	ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی	2:V_ALPHA_BF.gw
۴۵۰	۳۰	۳۸۵/۰۹۰۹۱۲	زمان تأخیر تغذیه آب زیرزمینی (روز)	3:V_GW_DELAY.gw
۲	۰	۱/۹۸۱۸۱۸	حداقل مقدار جریان در آبخوان برای جریان پایه	4:V_GWQMN.gw
۰/۲	۰	۰/۱۵۸۱۸۲	ضریب تعیین نفوذ به آبخوان عمیق از آبخوان سطحی یا صعود مویینگی از آبخوان سطحی	5:V_GW_REVAP.gw
۱	۰/۸	۰/۸۴۱۸۱۸	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	6:V_ESCO.hru
۰/۳	۰	۰/۲۶۴۵۴۵	ضریب مانینگ آبراهه اصلی در هر زیر حوزه آبخیز	7:V_CH_N2.rte
۱۳۰	۵	۹۹/۳۱۸۱۸۴	هدایت هیدرولیکی آبراهه اصلی (میلی متر بر ساعت)	8:V_CH_K2.rte
۰/۴	-۰/۲	-۰/۱۴	ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک	9:R_SOL_AWC (..).sol
۰/۸	-۰/۸	۰/۷۲۷۲۷۳	هدایت هیدرولیکی اشباع	10:R_SOL_K (..).sol
۰/۶	-۰/۵	۰/۱۷	چگالی توده خاک	11:R_SOL_BD (..).sol
۵	-۵	۰/۵۴۵۴۵۵	دمای بارش برف (درجه سانتی‌گراد)	12:V_SFTMP.bsn

مدل سازی هیدرولوژیکی SWAT

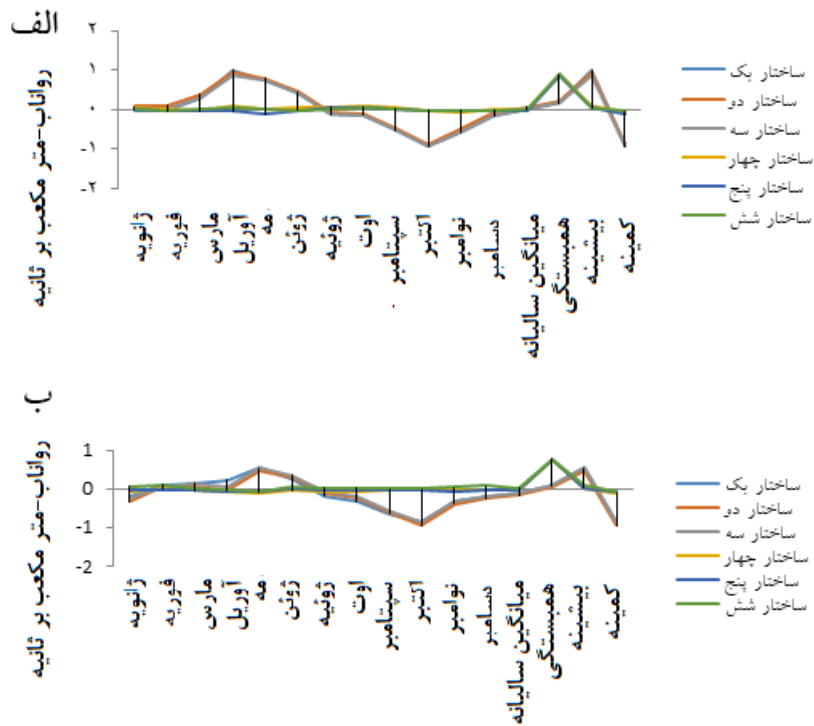
با تعداد اجراهای فراوان و پارامترهای مختلف در منطقه مطالعاتی تعداد ۱۲ پارامتر با توجه به میزان خطا و عدم قطعیت به دست آمد. میزان P-factor برابر با ۰/۵۲ و میزان R-factor برابر با ۰/۲۳ حاصل شد.

بطور کلی در منطقه مطالعاتی ۱۲ پارامتر به عنوان پارامترهای منتخب منطقه مطالعاتی انتخاب شد (جدول ۷). با بررسی میانگین ماهانه میزان ضریب نش-ساتکلیف برای دوره واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۷ به دست آمد. میزان ضریب همبستگی نیز برابر با

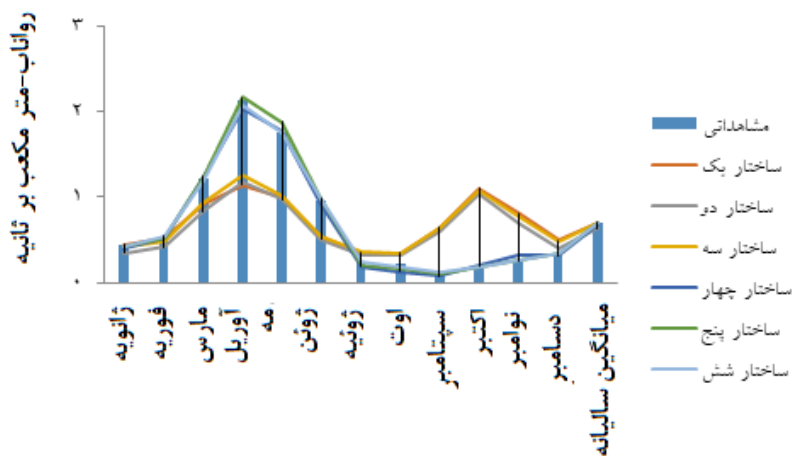
۰/۶۶ و ۰/۶۸ حاصل شد. بیشترین میزان خطا در دوره واسنجی برابر با ۱/۲ متر مکعب در ثانیه در ماه مه حاصل شد و همچنین بیشترین خطا در دوره صحت سنجی برابر با ۰/۵۵ در ماه مارس به دست آمد که مشخصات آن در شکل (۸) قابل مشاهده است. بطور کلی می‌توان گفت که مدل SWAT در شبیه سازی مقادیر حداکثر که در ماه‌های مارس، آوریل و مه، چه در دوره صحت سنجی و واسنجی عملکرد مناسبی را از خود نشان نمی‌دهد.



شکل ۸. الف = واسنجی و ب = صحت‌سنجی (SWAT)



شکل ۹. میزان اختلاف خطا، الف = واسنجی و ب = صحت سنجی



شکل ۱۰. مقایسه نتایج رواناب در دوره صحت سنجی

شبکه عصبی مصنوعی

با بررسی عملکرد ساختارهای شبکه عصبی مصنوعی در شکل (۹) بیشترین و کمترین خطا حاصل شد. بیشترین خطا را ساختار یک در دوره صحت سنجی و واسنجی از خود نشان می‌دهد. و کمترین خطا را ساختار شش از خود نشان می‌دهد.

با بررسی شکل (۱۰) ساختار پنج و ساختار شش بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد، بطوریکه میزان ضریب نش - ساتکلیف در دوره کالیبریشن از بدترین حالت (ساختار یک) تا بهترین حالت (ساختار شش) به دست آمد. میزان ضریب همبستگی برابر با ۰/۱۶ تا ۰/۸۹ انتخاب گردید و همچنین این میزان خطا در دوره صحت سنجی برابر با ۰/۰۷ تا ۰/۷۶ می‌باشد.

مارس، آوریل و مه که مقادیر حدی در منطقه مطالعاتی بسیار حائز اهمیت است مدل SWAT نمی‌تواند عملکرد مناسبی را از خود نشان دهد و به همین دلیل در فصل بهار مدل SWAT دچار عدم قطعیت می‌شود. در حالیکه در ماه‌ها و فصل‌های مختلف از خود عملکرد مناسبی را نشان می‌دهد و دچار عدم قطعیت در نتایج نمی‌شود.

دو: با بررسی ساختار شبکه عصبی مصنوعی نتایج متفاوتی حاصل شد بطوریکه ساختار شش، عملکرد بسیار مناسبی را از خود در شبیه سازی رواناب نشان می‌دهد در حالیکه ساختار یک، عملکرد مناسبی را از خود نشان نمی‌دهد. بطور کلی میتوان گفت که در ساختارهای پنج و شش میزان عدم قطعیت بسیار پایین می‌باشد و مدل شبکه عصبی مصنوعی در ساختار پنج و شش در تولید مقادیر حدی بخصوص مقادیر سیلاب عملکرد بسیار مناسبی را از خود نشان می‌دهد، در حالیکه در ساختارهای یک الی چهار بدین گونه نیست.

سه: با بررسی خطاهای دو مدل SWAT و شبکه عصبی مصنوعی، میزان خطا در فصل‌های پربارش بخصوص فصل بهار در ساختارهای پنج و شش بسیار کمتر از مدل SWAT می‌باشد. با بررسی MBE به این نتیجه رسیدیم که عملکرد ساختارهای پنج و شش بسیار بهتر از مدل SWAT می‌باشد و خطای کمتری را از خود نشان می‌دهد.

چهار: یکی از مزیت‌های مدل SWAT به این موضوع مرتبط می‌گردد که مدل نامبرده حتی می‌تواند در زیر حوضه‌هایی که اطلاعات وجود ندارد مورد استفاده قرار گیرد، ولی یکی از ایرادهای آن این است که مدل SWAT به داده‌های فراوان نیاز دارد و انتخاب پارامترهای منتخب بسیار زمانبر و هزینه بر است ولی در شبیه سازی مقادیر متوسط، عملکرد آن بسیار مناسب می‌باشد. بطوریکه اگر هدف از مطالعه بررسی شرایط متوسط حوزه آبخیز و زیر حوضه‌هایی که فاقد آمار و اطلاعات هواشناسی می‌باشند، می‌توان از مدل SWAT استفاده نمود.

بطور کلی به این نتیجه می‌رسیم در ساختارهایی که رواناب روزهای قبل در مدل وجود دارد عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بسیار مناسب می‌باشد. در حالیکه رواناب وجود نداشته باشد، عملکرد مدل مناسب نیست و مدل خطای فراوانی را بخصوص در فصل‌های پربارش از خود نشان می‌دهد. با بررسی دمای بیشینه ایستگاه مهرآباد، دما در بازه سال‌های ۲۰۱۱ الی ۲۱۰۰ دارای تغییرات ۲ الی ۶ درجه سانتیگراد می‌باشد، همچنین دمای بیشینه در ایستگاه شمال تهران دارای تغییرات ۱/۹۴ تا ۶/۹۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. دمای کمینه نیز در ایستگاه مهرآباد دارای تغییرات بین ۱/۵۳ تا ۵/۴۹ درجه سانتیگراد است و در ایستگاه شمال تهران دمای کمینه دارای تغییرات ۲/۱۲ تا ۶/۲۸ درجه سانتیگراد می‌باشد. با بررسی بارش در ایستگاه مهرآباد، تغییرات آن ۲۰ تا ۵۱ درصد، ایستگاه شمال تهران تغییرات ۰/۱۷ تا ۶ درصد، ایستگاه بیلقان ۲۳ تا ۳۲ درصد، در ایستگاه سیرا ۳ تا ۱۷ درصد، ایستگاه رودبار قصران ۲۹ تا ۴۶ درصد، ایستگاه لوسان بزرگ ۳ تا ۳۱ درصد و در ایستگاه رودک ۲۱ تا ۵۹ درصد می‌باشد. همچنین میانگین مشاهداتی دبی روزانه در بازه سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۰ برابر با ۲/۸۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد، در حالیکه این میزان در سناریو RCP2.6 برابر با ۲/۸۲ متر مکعب بر ثانیه و در سناریو RCP8.5 برابر با ۲/۹ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. با بررسی تغییرات جریان کمینه میانگین تغییرات کمینه جریان برابر با ۰/۰۷۵ متر مکعب بر ثانیه در دوره مشاهداتی می‌باشد ولی این میزان برای سناریو RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب برابر با ۰/۰۷۷ و ۰/۰۷۸ متر مکعب بر ثانیه است در نتیجه در دوره آتی با شرایط خشک تری مواجه هستیم.

نتیجه گیری

با توجه به دو عملکرد مدل SWAT و شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه می‌رسیم که:
یک: عملکرد مدل SWAT در فصول کم بارش بسیار مناسب است ولی در مقادیر حدی بخصوص در ماه‌های

الگوریتم در وزن دهی بایاس‌ها و مراحل سفید سازی به کمک تابع (mapminmax) در شبیه سازی رواناب استفاده شده است که نتایج آن را در ساختار شش مشاهده نمودیم. بطور کلی از میان شش ساختار، شبکه عصبی مصنوعی، ساختار شش به عنوان مدل منتخب هوش مصنوعی در منطقه مطالعاتی استفاده شد. با توجه به اینکه هدف از این پژوهش بررسی تغییر اقلیم بر رواناب سالیانه در دوره آتی می‌باشد و همچنین بررسی تغییر اقلیم بر سیلاب در دوره آینده است، با توجه به میزان خطا و عدم قطعیت مدل شبکه عصبی مصنوعی، ساختار شش به عنوان مدل منتخب منطقه مطالعاتی معرفی می‌شود. نتایج تغییر اقلیم در این پژوهش نشان داد که بارش (۳ الی ۵۹ درصد) و دما (۱/۵۳ الی ۶/۹۳ درجه سانتیگراد) روند افزایشی دارد بخصوص این روند افزایشی در مقادیر حدی و سیلابهای تند بیشتر خود را نشان می‌دهد، همچنین میزان رواناب در دوره آتی ۷ الی ۱۱ درصد افزایش می‌یابد.

پنج: یکی از مزیت‌های شبکه عصبی مصنوعی، به داده‌های کم مرتبط می‌گردد و یکی از ایرادهای آن حساس بودن به داده‌ها می‌باشد، به همین علت است که به مقادیر حدی اهمیت ویژه‌ای در وزن دهی بایاس در داخل نرون، داده می‌شود که در نتیجه می‌تواند مقادیر حدی را در فصل‌های پربارش زمانی که داده‌ها صحیح باشد به درستی رواناب را شبیه سازی نماید، همچنین برای مطالعات شبکه عصبی مصنوعی نیاز به یادگیری برنامه نویسی در محیط متلب می‌باشد، که با توجه به دوستانه نبودن محیط کاری متلب، بسیار وقت گیر و هزینه بر است. ولی با توجه به مطالعاتی که در داخل ایران و خارج از کشور انجام شده است، محیط کاری متلب در شبکه عصبی مصنوعی یک محیط باز می‌باشد که الگوریتم‌های مختلف و وزن دهی مختلف، باعث ایجاد مدل‌های ریاضی خطی و غیرخطی می‌شود. به همین علت است که مدل شبکه عصبی مصنوعی در محیط کاری متلب در تحقیقات مختلف متفاوت می‌باشد. ولی در این پژوهش با توجه به الگوریتم‌های منتخب و انتخاب بهترین

منابع مورد استفاده

- احمدی، م.، معتمدوزیری، ب.، احمدی، ح.، معینی، ا. و زهتابیان، غ. ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر جریان حدی حوزه آبخیز کن. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۹ (۲): ۱۰۱-۱۲۱.
- احمدی، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر جریان حدی حوزه آبخیز کن. پایان‌نامه دکتری آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم تحقیقات.
- حسینی، م.، غفوری، م.، مکاریان، ز. و طباطبایی، م. ۱۳۹۵. برآورد بیلان آبی در حوضه‌های منتهی به خلیج فارس با استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۲۰ (۷۸): ۱۸۳-۱۹۴.
- زکی زاده، ح. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد مدل SWAT و شبکه عصبی مصنوعی در حوزه آبخیز درکه و دارآباد. پایان‌نامه دکتری آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم تحقیقات.
- صمدی، ز. ۱۳۸۸. بررسی عدم قطعیت روش‌های کوچک مقیاس کردن آماری- رگرسیونی بر رواناب رودخانه حوضه قره سو. پایان‌نامه دکتری منابع آب. دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم تحقیقات.
- لطفی راد، م. ادیب، آ. و حقیقی، ع. ۱۳۹۷، تخمین رواناب روزانه به کمک مدل نیمه توزیعی IHACRES در حوضه آبریز ناورود گیلان. انتشارات دانشگاه تهران، ۵ (۲): ۴۴۹-۴۶۰.

- Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., and Srinivasan, R. (2009). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333 (2–4), 413–430.
- Grusson, Y., Sun, X., Gascoin, S., Sauvage, S., Raghavan, S., Anctil, F., and Sánchez-Pérez, J. M. (2015). Assessing the capability of the SWAT model to simulate snow, snow melt and streamflow dynamics over an alpine watershed. *Journal of Hydrology*, 531, 574–588.
- Loyeh, N. S., and Jamnani, M. R. (2017). Comparison of different rainfall-runoff models performance: A case study of Liqvan catchment, Iran.
- Wilby, R. L., and Dawson, C. W. , 2013. Statistical downscaling model–decision centric (SDSM-DC) version 5.1 supplementary note. Loughborough University, Loughborough.
- 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., Charles, S. P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., & Mearns, L. O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. Supporting Material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Available from the DDC of IPCC TGCIA, 27.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., and Barrow, E. M. 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17 (2), 145–157.



ISSN 2251-7480

Evaluation of Climate Change Performance Using two Hydrological Models with Different Structures

Sadegh Valeh¹, Baharak Motamedvairi^{2*}, Hadi Kiadaliri³ and Hassan Ahmadi⁴

- 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.
 - 3) Associate professor, Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 4) Professor of Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Karaj, Iran.
- *Corresponding author email: bmvaziri@gmail.com

Received: 13-12-2020

Accepted: 15-07-2021

Abstract

One of the major challenges affecting the natural ecosystems and various aspects of human life is climate change. 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 black box model (artificial neural network) and the semi-distributed model (SWAT) were selected and examined according to error and uncertainty. This paper employed the large-scale model (CanESM2) under scenarios RCP2.6 and RCP8.5 to investigate the effect of climate change. The results of climate change in this study showed that Rainfall (3-59%) and temperature (1.53-6.93 °C) have an increasing trend. In particular, this increasing trend is further exhibited by extreme values and severe floods. Also, the amount of runoff will increase by 7-11% in the upcoming period. For this reason, it is necessary to pay attention in urban studies to the increase of flood occurrence in the future.

Keywords: Amameh watershed, ANN, Climate change, SWAT