

## اثر تغییر اقلیم بر مقدار رواناب تولیدی در منطقه هشت شهر شیراز

سعیده خالویی<sup>۱</sup>، شهرام خلیقی سیگارودی<sup>۲\*</sup>، خالد احمدالی<sup>۳</sup> و آرش ملکیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و <sup>۳</sup> استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹

### چکیده

امروزه اثرات تغییر اقلیم در چرخه هیدرولوژی حوضه و اثر در تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، موضوع مهم پژوهشی شده است. عموماً برای تعیین کمیت تاثیر تغییرات اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی، نتایج مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) همراه با مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند. در این تحقیق، داده‌های روزانه دماهای کمینه و بیشینه، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک شیراز با استفاده از مدل آماری LARSE\_WG6.0 شبیه‌سازی شد و پس از اطمینان از کارایی این مدل در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی مذکور در حوزه آبخیز شیراز، برای بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب منطقه مورد مطالعه داده‌های دو سناریوی مدل HadGEM2-ES در دو دوره با مدل آماری LARSE\_WG کوچک مقیاس شد. در مرحله بعد، رواناب منطقه با استفاده از مدل SWMM شبیه‌سازی شد و نتایج آن با رواناب اندازه‌گیری شده مقایسه شد. بدین منظور، دو واقعه برای واسنجی و یک واقعه برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس آماره‌های همبستگی (R)، ریشه مربعات خطا (RMSE) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) مدل از کارایی مناسبی برای شبیه‌سازی رواناب برخوردار است. سپس، داده‌های بارش مدل LARSE\_WG به مدل SWMM وارد شده و تغییرات رواناب در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه محاسبه شد. طبق سناریوهای اقلیمی RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌بینی می‌شود که بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۱۶/۱۰ تا ۸/۸۸ و در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱، ۱۴/۴۹ و ۱۹/۷۳ درصد افزایش خواهد داشت. بنابراین، با فرض عدم تغییر کاربری در سطح منطقه هشت شهر شیراز از این لحاظ حجم رواناب ۱۳/۳۵ تا ۲۱/۴۸ درصد افزایش خواهد یافت.

**واژه‌های کلیدی:** حجم و عمق رواناب، سناریوهای اقلیمی، شبیه‌سازی رواناب، گردش عمومی جو، مدل SWMM

### مقدمه

(Climate Change)، طی دوره صد ساله منتهی به سال ۲۰۰۵، دمای متوسط جهانی به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, 2007). پیش‌بینی‌های انجام‌شده به‌وسیله بسیاری از مدل‌های گردش عمومی (General Circulation Models, GCMs) حاکی از افزایش تعداد و مقدار وقایع اقلیمی بزرگ و تغییرات بارش در مناطق مختلف دنیا است

تغییر اقلیم عبارت است از تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت منطقه از اطلاعات ثبت و مشاهده شده، انتظار می‌رود (Mohammadlou و همکاران، 2014؛ Modarresi و همکاران، 2007؛ Cacho و همکاران، 2008). طبق گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC: Intergovernmental Panel on

و دبی، عمق و سرعت رواناب شبیه‌سازی شده با رواناب مشاهده‌ای تطابق مناسبی داشته است. تحقیق Badieizadeh و همکاران (2015)، در شهر گرگان نشان داد که مدل SWMM دقت مورد نیاز برای شبیه‌سازی رواناب‌های شهری را دارد و از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و شبکه جمع‌آوری آب سطحی استفاده کرد.

Ainloo و همکاران (2016)، اثر توسعه شهری شدن را بر میزان حجم رواناب با استفاده از مدل SWMM مورد ارزیابی قرار دادند که با استفاده از سنجنده TM ماهواره لندست نقشه کاربری اراضی ۱۳۳۴، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱ تهیه کردند و حجم رواناب برای سال‌های مذکور را با توجه به توسعه شهری شدن محاسبه کردند. نتایج نشان داد که حجم رواناب در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۳۴ به مقدار ۶۹۸/۵۸ درصد و نسبت به سال ۱۳۷۹ به میزان ۶۴/۴۵ درصد افزایش یافته است. نتایج تحقیق Rashidpour و همکاران (2017) در حوضه بابلسر، نشان‌دهنده این است که مدل SWMM توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی شکل کلی هیدروگراف و برآورد حجم جریان و دبی اوج سیلاب‌ها دارد.

در تحقیقی که به‌وسیله Arman و همکاران (2019) در شهرستان ایزه صورت گرفت، نتایج ارزیابی مدل SWMM نشان داده، انطباق خوبی بین دبی شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. بنابراین، می‌توان از این مدل برای پیش‌بینی خطر آب‌گرفتگی، طراحی و برآورد مقدار و هزینه زهکشی، مدیریت حوضه‌های شهری و اولویت‌بندی مناطق برای رفع مشکل آب‌گرفتگی استفاده کرد. Ghaderi و همکاران (2020) در پژوهشی، با استفاده از مدل SWMM، به بررسی رواناب شهری در بخشی از محدوده شهری بابلسر با هدف تحلیل قابلیت استحصال آب جمع‌آوری شده باران در دوره‌های بازگشت‌های مختلف، پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که در حدود ۵۲/۱ درصد از بارش طرح شهر بابلسر می‌تواند به رواناب تبدیل شود و ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری رواناب، علاوه‌بر کاهش خطرات سیلاب شهر بابلسر، یک منبع مکمل آبی مناسب برای جبران بخشی از مصرف غیرشرب است.

که این مساله بر روی منابع آب در آینده اثرات زیادی دارد (Abdo و همکاران، 2009).

نتایج تحقیق Samuel و همکاران (2013) در کشور آفریقای جنوبی، نشان از افزایش مقادیر حدی در دوره‌های آبی داشت، به‌طوری‌که طوفان‌های سهمگین به همراه سیلاب افزایش داشته است. تغییرات اقلیمی با تغییر در حجم رواناب خطرانی را برای حوزه آبخیز شهری به وجود خواهد آورد. از طرفی، پیش‌بینی می‌شود که روند فعلی توسعه شهری و تراکم بیشتر شهری در تمام مناطق جهان ادامه یابد (Angel و همکاران، 2011؛ UN<sup>1</sup>، 2013). در نتیجه، انتظار می‌رود که مناطق شهری حتی بیشتر در معرض آسیب‌پذیری سیلاب در آینده قرار گیرند. نتایج تحقیقات Nasiri و Yarmoradi (2013) در استان لرستان نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های واقعی و داده‌های حاصل از مدل LARS-WG وجود ندارد و مدل کارایی لازم را در جهت تولید داده‌های روزانه داراست. Kling و همکاران (2012) به بررسی آسیب‌پذیری آب‌وهوا در حوضه بالادست رودخانه تایمز با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داده که مدل LARS-WG با موفقیت متغیرهای آماری را پیش‌بینی کرده است. نتایج تحقیق Noori و همکاران (2013) نشان داده که مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی بسیار توانا عمل می‌کند، به‌نحوی‌که برای ارزیابی ایستگاه‌های فاقد اطلاعات می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. تحقیق Goodarzi و همکاران (2019) در حوضه کن، نیز نشان‌دهنده کارایی بالای مدل LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی روزانه بارش، دمای کمینه، بیشینه و ساعت آفتابی است.

در میان روش‌های مختلف برآورد رواناب سطحی، مناسب‌ترین و متداول‌ترین روشی که در سیلاب شهری در بیشتر مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است، مدل SWMM است. مطالعه Abyar و همکاران (2019) نشان می‌دهد، مدل SWMM در ارزیابی رواناب در حوضه شهری شهرکرد به خوبی عمل کرده

<sup>1</sup> United Nations

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر روی ویژگی‌های کمی رواناب شهری در استان فارس و مخصوصاً در شهر شیراز که گسترش محدوده شهر بر وسعت اراضی شهری نفوذناپذیر افزوده که خود سبب تشدید سیل‌گیری، افزایش حجم رواناب‌های شهری می‌شود، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. لذا، تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر حجم رواناب با شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز شهر شیراز صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** مطالعه در منطقه هشت شهر شیراز صورت گرفت. شهر شیراز، مرکز استان فارس به طول ۴۰ کیلومتر و عرضی متفاوت بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر با مساحت ۱۲۶۸ کیلومتر مربع به شکل مستطیل و از لحاظ جغرافیایی در جنوب غربی ایران و در بخش مرکزی فارس قرار دارد. شیراز در محدوده عرض جغرافیایی  $27^{\circ} 02'$  تا  $31^{\circ} 42'$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ} 42'$  تا  $55^{\circ} 38'$  شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است که متوسط ارتفاع آن ۱۴۸۴ متر است. بر اساس آمارگیری سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵، میانگین کمینه دمای روزانه  $9/8$  درجه سانتی‌گراد و میانگین بیشینه دمای روزانه  $25/6$  درجه سانتی‌گراد، میانگین مجموع بارندگی سالیانه ۳۴۶ میلی‌متر، میانگین تعداد روزهای با بارش باران ۴۸ روز و میانگین تعداد روزهای با بارش برف سه روز در سال است.

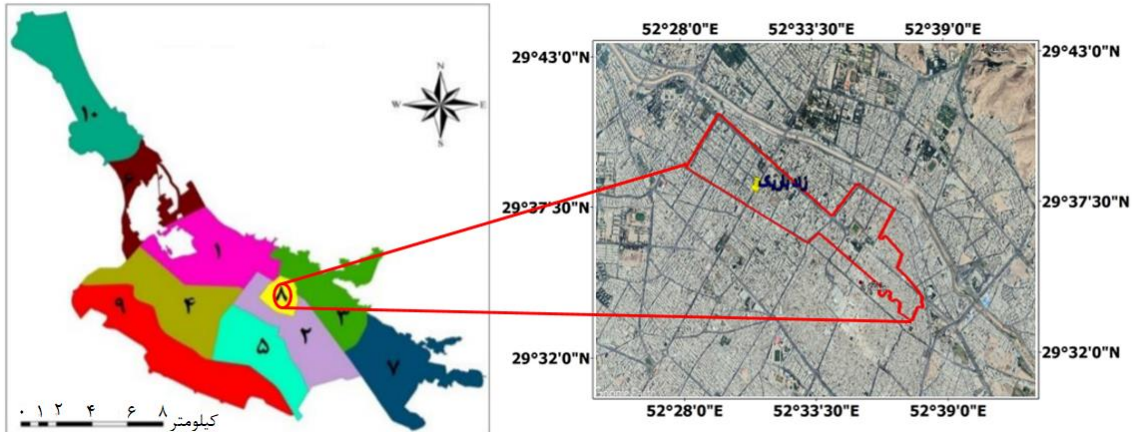
**تولید سناریوی تغییر اقلیم:** از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای بررسی وضعیت آینده متغیرهای اقلیمی بر اساس سناریوهای مختلف در مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. با ریزمقیاس‌نمایی جزئیات بیشتری از مدل نمایان می‌شود. اصلی‌ترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی شامل روش تناسبی، روش آماری و روش دینامیکی (Wilby و Haris, 2006) هستند. روش تناسبی از جمله ساده‌ترین روش‌ها در تولید داده‌های بزرگ‌مقیاس است که در آن اختلاف بین داده‌های دوره پایه و آتی گردش عمومی با روش عامل

نتایج حاصل از تحقیق Janga و همکاران (2007)، نشان داده که مدل SWMM می‌تواند خطاهایی از قبیل دبی اوج کوچک‌تر و زمان تا اوج طولانی‌تر برای شرایط بعد از توسعه را برطرف کند. به عقیده این محققان، مدل پیشنهاد شده جوابگوی ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی برای توسعه برنامه‌ریزی شهری است. نتایج تحقیق Zaghoul و Almutairi (2010) نشان داده که مدل SWMM به دلیل برخی قابلیت‌های گرافیکی و همگرایی سریع، برای طراحی بهینه پارامترهای زهکشی مناطق شهری وسیع در مقایسه با روش منطقی که به صورت سنتی در طراحی‌ها استفاده می‌شود، مناسب‌تر است و دارای قابلیت شبیه‌سازی معادله گشتاور است و منجر به طراحی دقیق‌تر شبکه زهکشی می‌شود. به طوری که این مدل، جایگزین مناسبی برای روش منطقی در طراحی است.

نتایج تحقیق Komozep و Chung (2014) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب در حوضه گنومهو در کره جنوبی نشان داد که تغییر اقلیم اثرات جدی و انکارناپذیری بر اقلیم حوزه‌های آبخیز و منابع آب سطحی و دبی رودخانه در دوره‌های آتی خواهند داشت. در سال‌های اخیر در علوم هیدرولوژی و منابع آب، اثرات تغییر اقلیم در چرخه هیدرولوژی حوضه و اثر در تغییرات رژیم هیدرولوژیکی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Khazaei, 2017) و مبحث قابل توجهی برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت آن محسوب می‌شود (Wu و همکاران, 2015)، زیرا به دنبال تغییر اقلیم، احتمال رویارویی با رخدادهای بیشینه اقلیمی چون سیل افزایش خواهد یافت (IPCC, 2007). Delghandi و Moazenzadeh (2017) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که بارش نیز از نظر حجم، شدت و شکل (مانند باران و برف) در سراسر مناطق جهان و ایران در حال تغییر است. عموماً برای تعیین کمیت تاثیر تغییرات اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی، نتایج مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) همراه با مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند.

مطالعات متعددی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر روی ویژگی‌های کمی رواناب با مدل‌های مختلف در برخی نقاط کشور صورت گرفته است، اما در زمینه

تغییر به مقادیر مشاهداتی اضافه می‌شود (Minville, 2008).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهر شیراز

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (4)$$

که در آن‌ها،  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب نامین داده واقعی (مشاهده شده) و شبیه‌سازی شده به وسیله مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی هستند.

**شبیه‌سازی جریان رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWMM** در این تحقیق، برای بخش هیدرولوژیکی، از مدل SWMM استفاده شده است. مدل SWMM که یکی از قوی‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی شبیه‌سازی بارش-رواناب پویا با مبنای فیزیکی است (Lowe, 2010) که برای شبیه‌سازی‌های تک واقعه‌ای یا طولانی مدت (پیوسته) کمیت و کیفیت رواناب حوضه‌های شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Soleimani, 2015; Laouacheria و همکاران, 2019).

مدل، جریان رواناب را در قالب شبکه زهکشی زیرحوضه‌ها و کلیه مجاری عبور آب شبیه‌سازی کرده و در طول مجاری و در محل اتصال کانال‌ها پروفیل سطح آب را ارائه می‌دهد و می‌توان از این مدل در

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های تولید داده‌های هواشناسی است که برای تولید مقادیر روزانه دماهای بیشینه و کمینه، بارش و تابش ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. در این تحقیق، از جهت بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب از داده‌های دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مدل HadGEM2-ES استفاده شده و برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل مذکور، مدل آماری WG-LARS به کار گرفته شد.

مدل LARS-WG از سه بخش اصلی تشکیل شده که شامل واسنجی، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی دهه‌های آینده است. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته است. این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه (ایستگاه سینوپتیک شیراز)، به‌عنوان دوره پایه تهیه شده و مدل بر اساس آن اجرا شد. داده‌های مفقود با کد توصیه شده جای‌گذاری شد و سپس، برای ارزیابی داده‌های تولید شده به وسیله مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) موجود در دوره پایه، از آماره‌های  $R^2$ ،  $RMSE$ ،  $NMSE$  و  $MAE$  به صورت رابطه‌های (۱) تا (۴) استفاده شد.

<sup>3</sup> Normalized Mean Squared Error

<sup>4</sup> Mean Absolute Error

<sup>1</sup> Coefficient of Determination

<sup>2</sup> Root Mean Square Error

می‌شود که به‌وسیله آن تاثیر پارامترهای ورودی به‌عنوان متغیر مستقل بر روی خروجی‌های مدل (متغیر وابسته) بررسی می‌شود (Saltelli و همکاران، 2000؛ Cibin و همکاران، 2010). نتایج این بررسی را می‌توان در مرحله واسنجی مدل مورد استفاده قرار داد، به گونه‌ای که موجب دقت نتایج و صرفه‌جویی در وقت و هزینه شود. در این تحقیق، برای انجام تحلیل حساسیت از بین پارامترهای موجود، هشت پارامتر که نسبت به بقیه پارامترها حساس‌تر و همچنین، اطلاعات آن‌ها قابل دسترس‌تر، شامل درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری منینگ در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر و درصد مناطق نفوذپذیر بدون ذخیره سطحی انتخاب شدند.

از بین خروجی‌های مختلف مدل SWMM، دبی اوج که موثرترین متغیر برآورد سیلاب است، به‌عنوان متغیر وابسته برای بررسی انتخاب شد. برای انجام تحلیل حساسیت مدل، از بارش طراحی ۴۰ دقیقه (با توجه به زمان تمرکز اندازه‌گیری شده که ۴۰ دقیقه است) با دوره بازگشت ۲۰ سال استفاده شد (Shahbazi و همکاران، 2013). با توجه به دامنه تغییرات قابل قبول به‌ترتیب در ۱۰ زیرحوضه مورد بررسی، با تغییر مقدار هر متغیر، مدل اجرا و تاثیر آن‌ها بر دبی خروجی حوضه اندازه‌گیری شد. بعد از عمل واسنجی، برای بررسی میزان انطباق بین هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در مدل، از واقعه بارش ۱۳۹۷/۱۲/۱۸ استفاده شد. میزان صحت فرایند واسنجی (اعتبارسنجی) با استفاده از معیارهای کارایی Nash-Sutcliffe و RMSE محاسبه می‌شود که در آن‌ها،  $P_i$  مقدار برآورد شده،  $O_i$  مقدار مشاهده شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای و  $N$  تعداد داده است (Dongquan و همکاران، 2009).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

**شبیه‌سازی تغییرات هیدرولوژیکی با مدل SWMM:** برای بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب منطقه مورد مطالعه، خروجی مدل آماری LARSE\_WG6.0 که بعد از اجرای متعدد مدل SWMM با سال‌های متفاوت و تصادفی، یک سال انتخاب به‌عنوان داده‌های

مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه زهکشی استفاده کرد و به برنامه‌ریزان امکان بررسی گزینه‌های مختلف طراحی را داد (Laouacheria و همکاران، 2019). خروجی‌های مدل نیز به‌صورت جدول و گرافیکی بوده و مهم‌ترین آن‌ها شامل هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان سیل‌گرفتنی در اتصالات، پروفیل سطح آب، میزان ظرفیت اشغال‌شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان‌های مختلف در مجاری، نقاط و بازه‌های بحرانی بر اساس شاخص کاربر و همچنین، هیدروگراف سیلاب خروجی از زیرحوضه‌ها است (Badieizadeh و همکاران، 2015).

**تشریح پایگاه داده‌ها و اجرای مدل:** برای روندیابی جریان سطحی و استخراج هیدروگراف خروجی، لازم است تا یک سری پارامترها که شامل درصد مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر، عرض معادل، مساحت زیرحوضه، شیب، ضریب زبری منینگ برای مناطق نفوذپذیر، نفوذناپذیر و کانال‌ها و ذخیره چالایی برای مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر است، به‌عنوان ورودی به مدل معرفی شود (Rostami Khalaj، 2011). اطلاعات هیدرولوژی از جمله موضوعات نمایشی مدل بوده و پارامترهای قابل شناسایی آن در مدل SWMM شامل، اطلاعات زیرحوضه‌ها، داده‌های بارندگی باران‌سنج‌ها، وضعیت سطح ایستابی و خصوصیات سفره آب زیرزمینی، انواع اطلاعات برف و برف‌روبی است (Poursmail، 2018).

به‌طورکلی، اطلاعات هیدرولوژیکی مورد نیاز مدل، شامل اطلاعات انواع گره‌ها، آبگذرها، خروجی‌ها و سازه‌های کنترل هستند که در این مطالعه، یک سری از اطلاعات مثل نقشه ارتفاعی و نقشه کاربری از شهرداری شیراز و داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز نیز از سازمان هواشناسی دریافت شد و بقیه پارامترهای ورودی به مدل شامل ابعاد گره‌ها، ابعاد کانال‌ها، نوع کانال، مشخص کردن خروجی هر زیرحوضه و خروجی کل حوضه، جهت حرکت آب در کانال‌ها، ارتفاع بارش حوضه و ارتفاع رواناب در خروجی حوضه از طریق بازدید میدانی و اندازه‌گیری و برداشت شد.

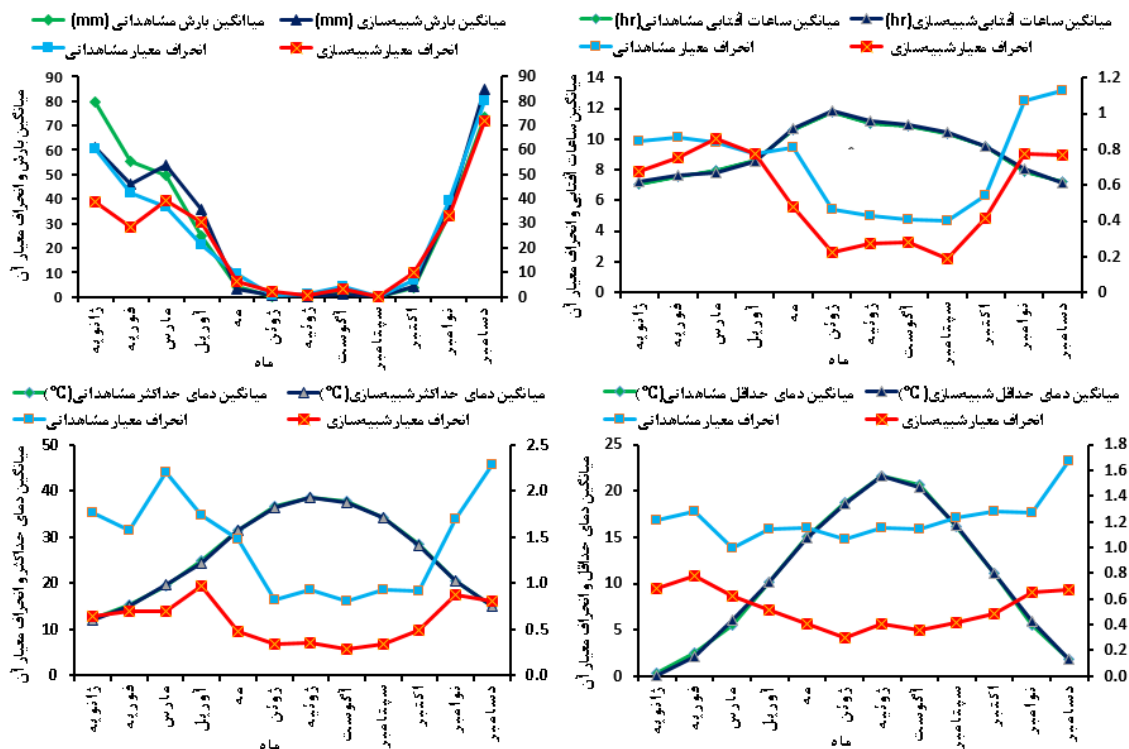
**تحلیل حساسیت، واسنجی و ارزیابی کارایی مدل:** تحلیل حساسیت به‌عنوان روشی اساسی در نظر گرفته

Goodarzi و همکاران (2019) در حوضه کن، Nasiri و Yarmoradi (2017) در استان لرستان، Samuel و همکاران (2013) در کشور آفریقای جنوبی و Kling و همکاران (2012) در حوضه بالادست رودخانه تایمز همخوانی دارد. مقادیر میانگین‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مربوط به هر کدام از متغیرهای اقلیمی بارش، دمای کمینه، بیشینه و ساعات آفتابی در دوره ۳۰ ساله ارائه شده است (شکل ۲).

۲۴ ساعته به مدل هیدرولوژیکی SWMM5.13 وارد شده و بارش-رواناب شبیه‌سازی و پس از آن تغییرات روانابی که انتظار می‌رود از تغییر اقلیم در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه به وجود آید، محاسبه شد.

### نتایج و بحث

تأثیر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی: نتایج به‌دست آمده از تغییر متغیرهای اقلیمی با نتایج تحقیق



شکل ۲- نمودارهای میانگین کمینه و بیشینه دما، بارش و ساعات آفتابی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوضه شیراز و انحراف معیار آن‌ها در دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶

ماه‌های سال به‌جز فوریه و مارس که تقریباً با هم برابرند، بیشتر از انحراف معیار شبیه‌سازی است. انحراف معیار دمای بیشینه مشاهداتی در تمام ماه‌های سال بیشتر از انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی است و اختلاف بین میانگین دمای بیشینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بسیار جزئی است. به‌طوری‌که میزان مدل در بیشتر ماه‌ها تقریباً برابر هستند. انحراف معیار دمای کمینه مشاهداتی در تمام ماه‌های سال بیشتر از انحراف معیار مقادیر شبیه‌سازی است و اختلاف بین میانگین دمای کمینه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

با توجه به شکل ۲، در ماه‌های ژانویه و فوریه بارش مشاهداتی بیشتر و در ماه‌های مارس و آوریل و دسامبر کمتر و در مابقی ماه‌ها برابر با بارش شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل است. مقادیر انحراف معیار بارش مشاهداتی در ماه‌های ژانویه، فوریه، نوامبر و دسامبر بیشتر و در ماه‌های مارس، آوریل و اکتبر کمتر و در مابقی ماه‌ها برابر با مقدار انحراف معیار بارش شبیه‌سازی شده است.

ساعات آفتابی شبیه‌سازی شده در تمام ماه‌های سال به‌جز در مارس تقریباً برابر با مقدار مشاهداتی است و انحراف معیار ساعات آفتابی مشاهداتی در تمام

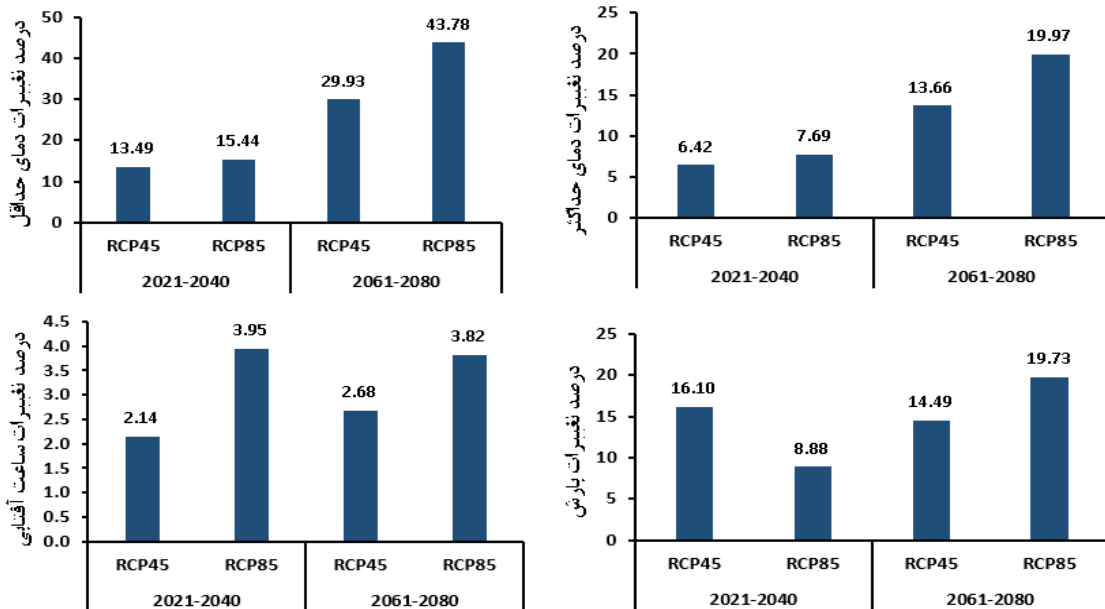
جدول ۱- مقادیر آماره‌های متغیرهای هواشناسی حوضه شیراز در دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵

آماره	بارش (mm)	دمای کمینه (°C)	دمای بیشینه (°C)	ساعت آفتابی (hr)
R <sup>2</sup>	۰/۹۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
MAE	۴/۹۶	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۰۹
NMSE	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
RMSE	۷/۷۰	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۱۱

بسیار جزیی بوده و در بیشتر ماه‌ها تقریباً با هم برابر است.

مقادیر آماره‌های MAE، NMSE، R<sup>2</sup> و RMSE مربوط به هر کدام از متغیرهای هواشناسی بارش، دمای کمینه، بیشینه و ساعات آفتابی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۶ برای ارزیابی مدل آماری LARS-WG6.0 در جدول ۱ ارائه شده است.

**بررسی تغییرات دما، بارش و ساعات آفتابی:** تغییرات بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی بر اساس پیش‌بینی‌های مدل LARSE\_WG6.0 در شکل ۳ نشان داده شده است.



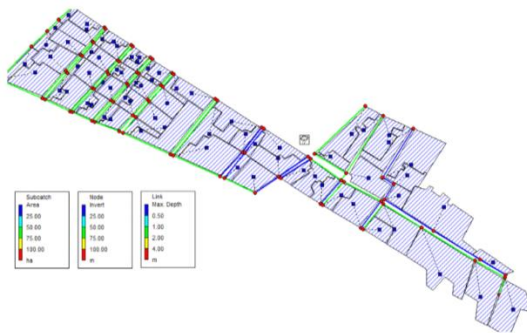
شکل ۳- نمودارهای درصد تغییرات میانگین بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی شبیه‌سازی شده سناریوهای دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱

می‌شود، در بین سناریوها و دوره‌های آماری، تغییرات بارش در هر دو دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و هر دو سناریو اختلاف چندانی با هم ندارند، فقط در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ سناریوی RCP4.5 نسبت به بقیه دارای تغییر بیشتری است. تغییرات ساعات آفتابی در طول دو دوره مورد بررسی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به میزان ناچیزی افزایش می‌یابد که این افزایش در هر دو دوره دارای اختلاف ناچیزی است.

برای بررسی تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب از داده‌های دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مدل

با توجه به شکل ۳، مشاهده می‌شود که دمای کمینه در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در مقایسه با دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بیشتر افزایش می‌یابد و از بین دو سناریوی مورد بررسی، تغییرات مربوط به سناریوی RCP8.5 نسبت به RCP4.5 بیشتر است. نحوه تغییرات میانگین دمای بیشینه نیز مشابه تغییرات مربوط به دمای کمینه است. یعنی دمای بیشینه در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در مقایسه با دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ بیشتر افزایش می‌یابد و از بین دو سناریوی مورد بررسی، تغییرات مربوط به سناریوی RCP8.5 نسبت به RCP4.5 بیشتر است. همان‌طور که ملاحظه

بالای کانال (۰/۱۹-۰/۵۳ m) و شکل کانال (دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی) به دست آمد. برای شبیه‌سازی بارش-رواناب نیاز به یکسری اطلاعات (مساحت، عرض زیرحوضه، درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، ضریب زبری منینگ، ذخیره چالابی و غیره) است و از آن جایی که انجام دستی متغیرهای مورد نیاز بسیار زمان بر است، برای تعیین آن‌ها از نرم‌افزار ArcGIS و Google Earth استفاده شد.



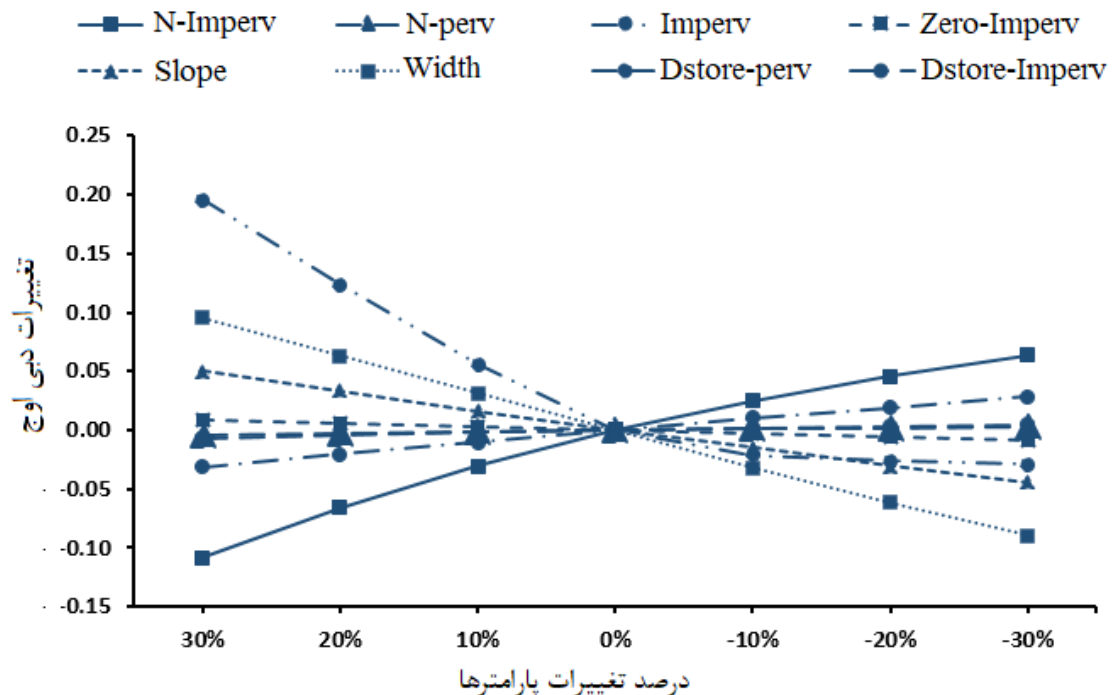
شکل ۴- زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه و مرز زیرحوضه‌ها

نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل نسبت به متغیرهای ورودی در شکل ۵ آورده شده است.

HadGEM2-ES استفاده شده و برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل مذکور، مدل آماری LARS\_WG به کار گرفته شد. نتایج حاصل، حاکی از توانمندی بالای مدل آماری LARS\_WG برای تولید داده‌های روزانه بوده و موید تحقیقات صورت گرفته به وسیله (1998) Semenov و Babaeian، (2006) Najafinik و Nasiri و Yarmoradi (2017) و Asakereh (2018) Hosseijani است.

**بررسی نتایج مدل هیدرولوژیک SWMM5.13** با استفاده از نقشه کاربری اراضی و پیمایش میدانی، منطقه مورد مطالعه به ۷۲ زیرحوضه که در شکل ۴ ارائه شده است، تقسیم شد و برای زیرحوضه‌ها اطلاعات مختلف به دست آمد که به اختصار فقط دامنه عامل مساحت ۰/۳-۸/۹ هکتار، عرض معادل ۱۶۹/۵-۳۲/۱ متر، شیب ۶۲-۷/۸۳ درصد، مناطق نفوذناپذیر ۹۱/۰-۹۸/۱۰ درصد و شماره منحنی ۶۵/۳۰-۹۸/۰۳ است.

در منطقه مورد مطالعه، ۸۲ کانال وجود دارد، اطلاعات مربوط به هر کدام از کانال‌ها شامل شماره کانال، شماره گره بالادست و پایین‌دست، طول کانال (۱۶-۴۸۰ m)، عمق کانال (۰/۲۵-۱/۰ m)، عرض

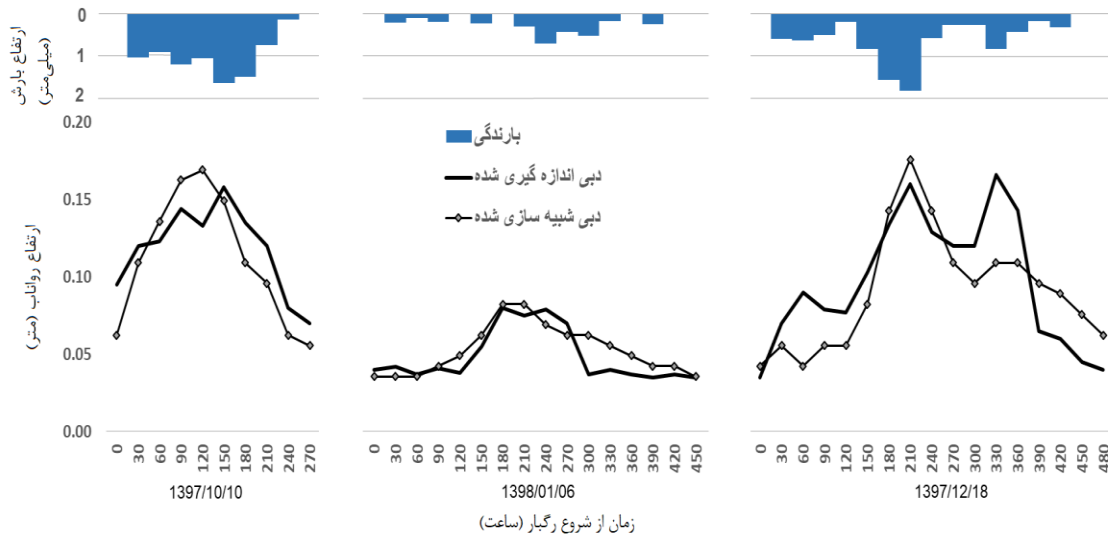


شکل ۵- درصد تغییرات متغیرهای مختلف و تأثیرات آن‌ها بر دبی اوج



نشان داده شد. بارش باران به وسیله باران سنج معمولی مدل هلمن با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه اندازه گیری شد. جدول ۱، نتایج ارزیابی مدل با استفاده از آماره های ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیار کارایی ناش-ساتکلیف (NSE) را نشان می دهد.

از دو واقعه ۱۳۹۷/۱۰/۱۰ و ۱۳۹۸/۰۱/۰۶ برای واسنجی استفاده شد و پس از بهینه کردن متغیرهای مدل، نتایج به دست آمده برای شبیه سازی واقعه وقایع مختلف و همچنین، رواناب تولیدی قابل مقایسه باشد). در شکل ۶، هیدروگراف اندازه گیری و شبیه سازی شده به همراه بارش ثبت شده در کنار یکدیگر



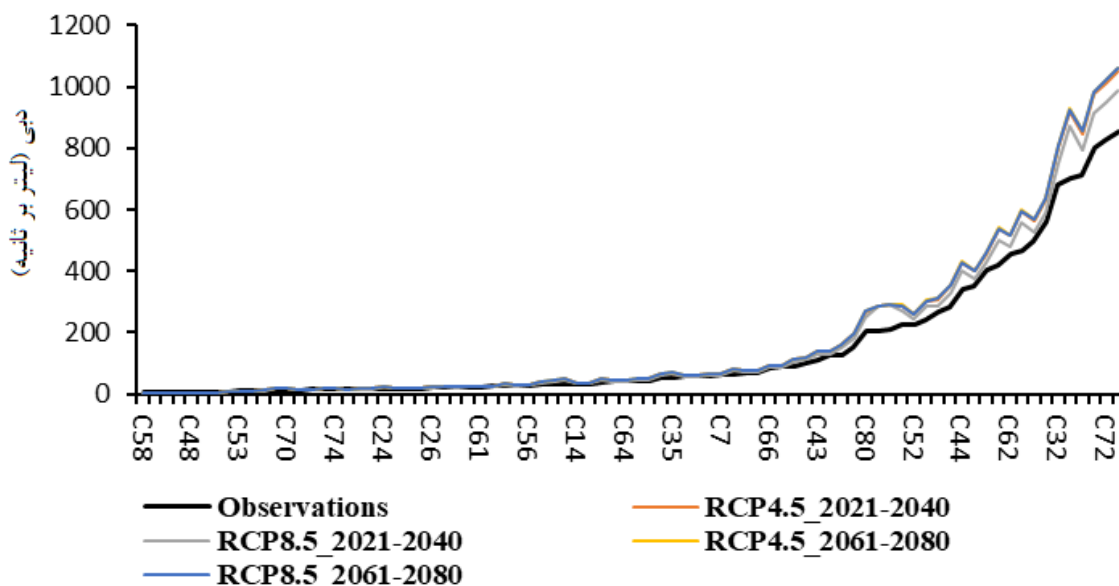
شکل ۶- هیدروگراف اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در سه واقعه بارش

جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل SWMM برای سه واقعه اندازه گیری شده

اعتبارسنجی	بهینه سازی			آماره
	۱۳۹۷/۱۲/۱۸	۱۳۹۸/۰۱/۰۶	۱۳۹۷/۱۰/۱۰	
	۰/۷۶	۰/۸۴	۰/۸۸	ضریب همبستگی (R)
	۰/۰۲۷	۰/۰۰۹۹	۰/۰۲۲۰	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)
	۰/۵۴۳	۰/۶۴۰	۰/۳۱۷	کارایی ناش-ساتکلیف (NSE)

به دست آمده، هردو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 برای آینده این منطقه افزایش دبی را پیش بینی می کنند و البته این پیش بینی نشان می دهد که مقدار افزایش دبی در دوره آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰) مقدار کمی نسبت به آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۶۰) بیشتر خواهد بود. بدین معنی که افزایش دبی تا سال ۲۰۶۰ از رشد سریع تری برخوردار است.

همان طور که دیده می شود، ضریب همبستگی (R) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در هر سه واقعه مقادیر خوبی دارد و همچنین، مقدار ضریب کارایی ناش-ساتکلیف (NSE) حاکی از دقت نسبتاً مناسب مدل است (Moriasi و همکاران، 2007). برای مقایسه اثر سناریوهای مختلف در طی دو دوره میزان تغییرات دبی نسبت به حالت پایه در حوزه آبخیز شیراز در شکل ۷ ترسیم شد، بر اساس نتایج



شکل ۷- نمودار دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با سناریوهای مختلف (محور افقی کمیتی گسسته است اما به علت تعدد کانال‌ها و تفهیم بهتر به صورت نمودار پیوسته ترسیم شد)

### نتیجه‌گیری

حوزه آبخیز یک سامانه باز است و با توجه به پیچیدگی آن و برای دست یافتن به اهداف مورد نظر اقدام به مدل‌سازی می‌شود. از طریق مدل‌سازی هزینه مطالعه برای سامانه‌های پیچیده کاهش یافته، زیرا انجام آزمایش‌های صحرایی در سطح وسیع بسیار پرهزینه و یا غیرممکن است. همچنین، از طریق تحلیل نتایج حاصل از مدل می‌توان با پیش‌بینی آینده، حوزه آبخیز را مدیریت کرد. محدودیت منابع آب و توزیع نامتجانس آن در بخش‌های مختلف کشور ایران سبب شده است که در مقایسه با بسیاری از کشورهای دیگر نسبت به پدیده تغییر اقلیم حساس‌تر و آسیب‌پذیرتر باشد، با تدوین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی با فرضیات مختلف انتشار اجرا شده‌اند تا وضعیت اقلیمی دهه‌های آتی را مشخص کنند. داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده برای آینده را می‌توان به‌عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژی لحاظ کرده و تحلیل‌های به‌دست آمده می‌تواند در برنامه‌های بلندمدت توسعه کشور در بعد منابع آب مدنظر قرار گیرد. در این تحقیق، مدل آماری-WG LARS توانست داده‌های بارش، دمای کمینه، بیشینه و ساعت آفتابی دو سناریوی انتشار RCP4.5 و

RCP8.5 مدل HadGEM2-ES در حوزه آبخیز شیراز را با دقت خوبی کوچک‌مقیاس کند و از نتایج آن برای مدل‌سازی رواناب در دوره آتی استفاده شد. به‌طوری که با کمک شبیه‌سازی‌های این دو مدل، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز شیراز در دو دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ نسبت به دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵ ارزیابی شد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیق Ghaderi و همکاران (2020) که با هدف بررسی وضعیت رواناب در بخشی از حوضه بابلسر صورت گرفت و نیز با تحقیق Arman و همکاران (2019) در حوضه ایذه که بیان کردند، نتایج حاصل از واسنجی مدل SWMM انطباق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای دارد، همخوانی دارد. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش Khazaei (2017) که بیان‌کننده اثر تغییر اقلیم بر میانگین بارش و دمای استان زنجان است، Delghandi و Moazenzadeh (2017) که بیانگر این است که بارش از نظر حجم، شدت و نوع بارش (باران، برف و غیره) در سراسر مناطق جهان و ایران در حال تغییر است و همچنین، Komozep و Chung (2014) و Wu و همکاران (2015) همخوانی دارد. نتایج نشان داد که بر اساس برآورد مدل-LARS WG برای سناریوهای مورد بررسی در دوره‌های آتی میانگین دمای حوزه آبخیز شیراز بر اثر پدیده تغییر

این افزایش رواناب در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بیشتر است. همچنین، هر دو دوره و در دو سناریو افزایش بارش و در نتیجه، افزایش رواناب نشان داده شده است، اما در دوره دور اختلاف ناچیزی بین RCP4.5 و RCP8.5 وجود دارد.

اقلیم افزایش می‌یابد. مقدار بارش نیز در هر دو سناریو و در هر دو دوره در مقایسه با دوره پایه ۸/۸۸ تا ۱۹/۷۳ درصد افزایش نشان داد و مقدار رواناب دو سناریو در دو دوره مورد بررسی در مقایسه با دوره پایه از ۱۳/۳۵ تا ۲۱/۴۸ درصد افزایش یافت. در مجموع،

#### منابع مورد استفاده

1. Abdo, K.S., B.M. Fiseha, T.H.M. Rientjes, A.S.M. Gieske and A.T. Haile. 2009. Assessment of climate change impacts on the hydrology of Gilgel Abay Catchment in Lake Tana Basin, Ethiopia. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(26): 3661-3669 (in Persian).
2. Abyar, Sh., M. Abbasi, R. Najafabadi, R. Fattahi Nafchi and H. Samadi Boroujeni. 2019. Investigating the ability of SWMM Model in designing urban runoff collection network, case study: Shahrekord. 3rd Iranian National Hydrology Conference, Tabriz (in Persian).
3. Angel, S., J. Parent, D.L. Civco, A. Blei and D. Potere. 2011. The dimensions of global urban expansion: estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Progress in Planning*, 75(2): 53-107.
4. Arman, N., A. Shahbazi, M. Faraji and S. Dehdari. 2019. The effect of urban development on runoff production using the SWMM Model, case study: Izeh City. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(3): 758-750 (in Persian).
5. Babaeian, I. and Z. Najafinik. 2006. Assessment of LARS-WG Model to simulate meteorological parameters in Khorasan Province, 1961-2003 statistical period. *Journal of Nivar*, 62: 49-65 (in Persian).
6. Badiiezadeh, S., A. Bahrehmand, A. Dehghani and N. Nora. 2015. Urban flood management through surface runoff simulation using SWMM Model in Gorgan City in Golestan Province. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22(4): 26-39 (in Persian).
7. Cacho, O., R. Hean, K. Ginoga, R. Wise, D. Djaenuidin, M. Lugina and N. Khasanah. 2008. Economic potential of landuse change and forestry for carbon sequestration and poverty reduction. Part 1, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, 33-67.
8. Cibin, R., K.P. Sudheer and I. Chaubey. 2010. Sensitivity and identify ability of stream flow generation parameters of the SWAT Model. *Journal of Hydrological Processes*, 24: 1133-1148.
9. Delghandi, M. and R. Moazenzadeh. 2017. Investigating spatiotemporal variations of precipitation and temperature over Iran under climate change condition considering AOGCM models and emission scenarios uncertainty. *Ecohydrology*, 3(3): 321-331 (in Persian).
10. Einloo, F., A. Selajgeh, Sh. Khaliqi Sigaroodi, A. Malekian and M. Ahadnejad. 2016. Investigation of the effect of urban development on runoff volume changes using precipitation model-SWMM runoff, case study: Zanjan urban watershed. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 10(95): 15-23.
11. Ghaderi, N., K. Soleimani, A. Kaviani and M. Rashidpour. 2020. Utilization of SWMM Model in determining the collection and extraction capacity of runoff in Babolsar City, Mazandaran Province. *Watershed Engineering and Management*, 12(4): 1055-1064 (in Persian).
12. Goodarzi, M., B. Motamed Vaziri and M. Mir Hosseini. 2019. Evaluation of changes in meteorological parameters due to climate change using Lars climate generator: a case study of Cannes. *Iran Watershed Management Science and Engineering*, 13(44): 25-36 (in Persian).
13. Janga, S., M. Chob, J. Yoonc, Y. Yoond, S. Kime, G. Kimf, L. King and H. Aksoyh. 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, 212(1): 344-356.
14. Khazaei, M., M. Bayazidi and A. Sharafati. 2017. The effect of climate change on annual temperature and rainfall in Zanjan Province by examining uncertainties. *Echo Hydrology*, 4: 860-847 (in Persian).
15. Komozep, T. and O. Chung. 2014. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea. *Journal of Hydro-Environment Research*, 8(4): 358-366.
16. Kling, H., M. Fuchs and M. Paulin. 2012. Runoff conditions in the upper Danube Basin under an ensemble of climate change scenarios. *Journal of Hydrology*, 424: 264-277.
17. Laouacheria F., S. Kechida and M. Chabi. 2019. Modelling the impact of design rainfall on the urban drainage system by storm water management model. *Journal of Water and Land Development*, 40(I-III): 119-125.
18. Lowe, S.A. 2010. Sanitary sewer design using EPA storm water management model. *Computer Applications in Engineering Education*, 18(2): 203-212.

19. Minville, M., F. Brissette and R. Leconte. 2008. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology*, 358(1-2): 70-83.
20. Modarresi, F., Sh. Iraquejad, K. Ebrahimi and M. Kholqi. 2011. Investigation of the effect of climate change on the annual discharge of rivers. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Resources)*, 25(6): 1377-1396 (in Persian).
21. Mohammadlou, M., A. Hagizzadeh, H. Zeiniwand and N. Tahmasebipour. 2014. Assessment of the effects of climate change on the trend of Barandozchay sea drainage changes in West Azarbaijan Province using general barley rotation models. *Ecodiology*, 1(1): 25- 34 (in Persian).
22. Moriassi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 885-900.
23. Nasiri, B. and Z. Yarmoradi. 2017. Predicting the climatic parameters changes of Lorestan Province in the next 50 years using the HADCM3 Model. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 26(101): 143-154 (in Persian).
24. Noori, M., M. Zarghami, M.B. Sharifi and M. Heydari. 2013. Utilization of LARS-WG Model for modelling of meteorological parameters in Golestan Province of Iran. *Journal of River Engineering*, 1: 19-35 (in Persian).
25. Pourasmal, M. 2018. Investigation of flood vulnerability of urban areas based on multi-criteria decision making methods, case study: Azimiyeh area of Karaj. MSc Thesis, University of Tehran, 128 pages (in Persian).
26. Rashidpour, M., K. Soleimani, K. Shahedi and W. Karimi. 2017. Flood simulation in surface runoff drainage network, case study of Shahrzad River Basin of Babolsar-Mazandaran River. *Watershed Management Research Journal*, 8(15): 19-38 (in Persian).
27. Rostami Khalaj, M., M. Mahdavi, Sh. Khalighi Sigarodi and A. Salajaghe. 2012. Sensitivity analysis of the variables influencing the urban flooding using SWMM Model. *Journal of Watershed Management*, 3(5): 12-23 (in Persian).
28. Samuel, K., L. Michele, E. Warburton, G. Archervan and P.W. Graham. 2013. Impacts of climate change on water resources in southern Africa: a reviewstudy of Vernonia. Oregon, USA, 46:137-146.
29. Shahbazi, A., Sh. Khalighi Sigaroodi, A. Malekian and A. Salajeghe. 2013. Sensitivity analysis of input parameters of SWMM urban runoff management model, case study: Mahdasht City. *Watershed Management Research (Research and Construction)*, 30(1): 67-75 (in Persian).
30. Semenov, M.A., R.J. Brooks, E.M. Barrow and C.W. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates. *Korea Meteorological Research Institute, Climate Research, Lab*, 75 pages.
31. Soleimani, K. 1394. Hydrology and quantitative modeling of urban floods in GIS and SWMM. Haraz University Press, Remote Sensing Association and Iran GIS, 322 pages (in Persian).
32. Wilby, R.L. and I. Harris. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low- flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2): 25-39.
33. Wu, H and B. Chen. 2015. Evaluating uncertainty estimates in distributed hydrological modeling for the Wenjing River Watershed in China by GLUE, SUFI-2 and Para Sol methods. *Ecological Engineering*, 76: 110-121.
34. Zaghoul, N.A. and B.L. Al Mutairi. 2010. Water harvesting of urban runoff in Kuwait. *Civil Engineering*, 17(3): 236-249.

## The effect of climate change on runoff produced in some part of Shiraz

Saeideh Khaloei<sup>1</sup>, Shahram Khalighisigaroodi<sup>2\*</sup>, Khaled Ahmadauli<sup>3</sup> and Arash Malekian<sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc of Watershed Management, <sup>2 and 4</sup> Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran and <sup>3</sup> Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran

Received: 10 August 2021

Accepted: 21 December 2021

### Abstract

Recently, the effects of climate change on the hydrological cycle and regime have become an important research topic. The results of atmospheric general circulation models (GCMs) together with hydrological models are used to determine the impacts of climate change on hydrologic regime. The daily minimum and maximum temperatures, rainfall and sunshine hours of the Shiraz synoptic station were simulated using the LARSE\_WG6.0 statistical model. The efficiency of the model for simulating climate variables was determined using historical data of Shiraz station. To investigate climate change on runoff, two scenarios of the HadGEM2-ES model for two periods were downscaled using the LARSE\_WG model. In the next step, runoff was simulated using the SWMM model and its results were compared with the measured runoff. For this purpose, 2 events were used for calibration and one event for validation. Based on coefficient correlation (R), root mean square error (RMSE) and Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), the model has a suitable efficiency for simulating runoff. Then, LARSE\_WG downscaled data were used in SWMM model and the runoff changes in future periods compared to present. According to RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios, precipitation will increase from 16.10 to 8.88% in 2021-2040 and 14.49% and 19.73% in 2061-2080. Therefore, assuming no change in landuse in Shiraz district 8, the volume of runoff will increase from 13.35 to 21.48 percent.

**Keywords:** Climate scenarios, General atmospheric circulation, Runoff simulation, Runoff volume and depth, SWMM Model

---

\* Corresponding author: khalighi@ut.ac.ir