

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل SWAT

نگار شهری<sup>۱</sup>، صادق خلیلیان<sup>۲\*</sup>، سید حبیب اله موسوی<sup>۳</sup>، سید ابوالقاسم مرتضوی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۵

### چکیده

این پژوهش آثار ناشی از تغییر اقلیم بر دما، بارندگی و رواناب در دوره‌های آتی با کمک مدل آماری LARS-WG و مدل مفهومی هیدرولوژیکی SWAT تحت سناریوهای اقلیمی A1B، A2 و B1 مورد ارزیابی قرار می‌دهد. ابتدا به منظور تولید داده‌های هواشناسی دوره آتی در حوضه مطالعاتی مدل LARS-WG مورد واسنجی قرار گرفت و ضریب تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش برای دوره‌های آتی به عنوان ورودی‌های مدل SWAT شبیه‌سازی شد. نتایج مدل LARS-WG نشان داد که دمای حداقل و حداکثر در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت و نه تنها در مقدار بارش بلکه در الگوی بارش نیز تغییراتی رخ خواهد داد. سپس شبیه‌سازی رواناب به صورت ماهانه و به وسیله مدل SWAT انجام شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی از نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. ضریب نش-ساتکلیف و ضریب تعیین  $R^2$  برای دوره واسنجی ۰/۵۸ و ۰/۶۵ و دوره اعتبارسنجی ۰/۴۹ و ۰/۵ به دست آمد. سپس با معرفی میانگین نتایج ریزمقیاس شده به مدل SWAT تغییرات رواناب خروجی از حوضه در طی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که رواناب در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت هر سه سناریو در فصول بهار و تابستان افزایش خواهد یافت و در فصول پاییز و زمستان کاهش می‌یابد. همچنین میزان رواناب در دوره‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در فصول پاییز و زمستان افزایش و در فصول بهار و تابستان کاهش خواهد یافت. این جابجایی فصلی در رواناب ناشی از اثرات تغییر اقلیم به شکل افزایش دما، تغییر الگوی بارش و ... می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل LARS-WG، رواناب، مدل SWAT

### مقدمه

جمله بخش‌هایی است که به طور جدی از تغییرات اقلیمی متأثر خواهد شد و حوزه‌های وسیعی از آن شامل منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، سازه‌های آبی، شبکه‌های آب و فاضلاب، شبکه‌های آبرسانی شهری، ایستگاه‌های پمپاژ و سازه‌های مرتبط با بخش آب با پیامدهای قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو خواهند شد. کشورهایی مانند ایران که در کمربند خشک جهانی واقع شده‌اند همواره با محدودیت منابع آب مواجه هستند و تغییر اقلیم به همراه دیگر عوامل از قبیل رشد جمعیت، آلودگی، تغییرات کاربری اراضی و غیره منجر به وضعیت بحرانی در منابع آب خواهد شد. یکی از روش‌های بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی، شبیه‌سازی با کمک مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های گردش عمومی یا مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای است. مدل‌های گردش عمومی و مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای<sup>۵</sup> ابزاری موجود جهت شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس جهانی می‌باشند که خروجی این مدل‌ها (مانند دما و بارش)، به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی به کار می‌روند و به این ترتیب اثرات تغییر اقلیم بر روی سیکل هیدرولوژی ارزیابی می‌شود (Xu, 1999).

به مجموع تغییرات ناشی از عوامل طبیعی خارجی و همچنین تغییرات ناشی از نوسانات درونی سیستم، نوسانات طبیعی اقلیم اطلاق می‌گردد. ایران در پهنه‌بندی اقلیمی دنیا جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (IPCC, 2007). شواهد داده‌های تاریخی هواشناسی و نیز پیش‌بینی‌های صورت گرفته از وضعیت اقلیم کشور، همانند دیگر نقاط دنیا، نشان‌دهنده وقوع پدیده‌ی تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر و ادامه‌ی این روند در آینده است. منابع آب کشور از

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\* نویسنده مسئول (Email: khaliliansadegh@gmail.com)

۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و دما حدود ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. همچنین آبیاری در آینده با کمبود شدید مواجه خواهد شد و استفاده از آب در آینده مستلزم برنامه‌ریزی در مصرف آب فعلی و آینده است (Kishiwa et al., 2018). کوتارنه و همکاران، با کمک مدل SWAT به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در اردن پرداختند. نتایج نشان می‌دهد دمای هوا افزایش یافته اما تغییر در روند بارش سالانه اتفاق نیافته است (Qatarnel et al., 2018). یانگ و همکاران، با استفاده از مدل SWAT به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد برنج در حوضه نانلیوجیانگ<sup>۲</sup> چین پرداختند. نتایج نشان از قابلیت بالای مدل SWAT در شبیه‌سازی حوضه مطالعاتی دارد. همچنین عملکرد برنج بین ۱/۴ تا ۱۰/۶٪ تحت مدل‌های اقلیمی GFDL-ESM2M و IPSL-CM5A-LR افزایش و تحت مدل HadGEM2-ES بین ۳/۵- تا ۰/۸-٪ کاهش می‌یابد (Yang et al., 2018). دابا به بررسی حساسیت رواناب به دما و بارش در حوضه آواش<sup>۳</sup>، اتیوپی پرداخت. نتایج نشان داد که رواناب به تغییرات دما و بارش بسیار حساس بوده و افزایش دمای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ درجه سانتی‌گراد دمای سالانه، موجب کاهش رواناب سالانه به ۰/۸۸-، ۰/۷۵-، ۰/۵۵- و ۰/۳۰-٪ می‌شود (Daba et al., 2018).

از جمله مطالعات انجام گرفته در داخل کشور در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه می‌توان به مطالعه‌ی آذری و همکارانش (۱۳۹۲) اشاره کرد. آن‌ها اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبریز گرگان‌رود را بررسی کردند. در این تحقیق از مدل SWAT برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه استفاده شد. نتایج مطالعه ضمن تأیید کارایی مدل، نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده (۲۰۷۰-۲۰۹۹) مقدار بارندگی سالانه حوضه به میزان ۳/۲ تا ۶/۷ درصد کاهش خواهد یافت. نتیجه تغییرات اقلیمی در بخش آب، کاهش مقدار رواناب سطحی به میزان ۰/۴ تا ۷/۷ درصد، کاهش آب خاک به میزان ۵/۲ تا ۱۳ درصد، افزایش آبدهی حوضه به میزان ۵/۳ تا ۱۰/۲ درصد و افزایش تبخیر و تعرق بین ۳/۶ تا ۱/۶ درصد خواهد بود. نتایج تحقیق ضمن بیان اهمیت تأثیرات تغییر اقلیم بر کاربرد آن‌ها در اتخاذ تدابیر لازم در جهت سازگاری با تغییر اقلیم، در سیاست‌های آتی مدیریت حوضه گرگان‌رود تأکید می‌کند. در مطالعه‌ای دیگر منصوری و همکاران (۱۳۹۳)، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زربینه رود با استفاده از مدل SWAT پرداختند. در گام اول به منظور تولید داده‌های هواشناسی دوره آتی در حوضه مدل LARS-WG مورد و اسنچی قرار گرفت. از مدل SWAT جهت ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان رواناب حوضه استفاده گردید. نتایج مدل نشان داد

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در خارج از کشور می‌توان به مطالعه‌ی اسکول و همکارانش اشاره کرد. آن‌ها با استفاده از مدل SWAT مقادیر مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی را در سطح زیرحوضه‌ای در آفریقا با دقت زمانی ماهانه برآورد کردند و با استفاده از آنها شاخص‌هایی به نام "کمبود آب" تعریف و محاسبه کردند (Schoul et al., 2008). یانگ و همکارانش در مطالعه خود با استفاده از مدل SWAT تغییرات سطح آب زیرزمینی در تانزانیا را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده توسط مدل با روند داده‌های مشاهداتی آن مطابقت دارد. آنها همچنین تأثیر سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی و همچنین تغییر الگوی کشت را بر روی سطح آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار دادند و نشان دادند که با اصلاح منطقی الگوی کشت مانند تغییر کشت از محصولاتی مانند گندم و ذرت به باغات و درختان جنگلی، می‌توان تا حد زیادی از مصرف آب زیرزمینی کاست (Yang et al., 2009). فیکلین و همکاران، با استفاده از مدل SWAT و نرم افزار LARS-WG اقدام به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی بار رسوبی، نیترات، فسفر و کودهای شیمیایی به جا مانده از کشاورزی در منطقه سن خواکین در کالیفرنیا پرداخته‌اند. ریز مقیاس نمایی انجام شده برای دوره ۲۱۰۰ توسط LARS-WG انجام پذیرفته است. این مطالعه اثرات سناریوهای مرجع انتشار SRES با در نظر گرفتن انتشار گاز CO<sub>2</sub> توسط فعالیت‌های کشاورزی مشخص کرد که افزایش مقادیر این آلاینده باعث کاهش ۲۳ درصدی در رواناب و افزایش ۲ درجه‌ای دما را در بر خواهد داشت (Ficklin et al., 2010). دوکوتا و گیوالی، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت مناطق و منابع آب هیدرولوژیکی حوضه رودخانه کوشی در نپال پرداختند. آنها به منظور شبیه‌سازی تأثیر هیدرولوژیکی از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم به عنوان یک تهدید بزرگ برای آب در دسترس این منطقه مطرح نمی‌باشد. اگرچه مقدار جریان پیش‌بینی شده برای دوره بازگشت در اجرای مدل آب و هوا به شدت وابسته به تغییر اقلیم می‌باشد (Devkota and Gyawali, 2015). شرسا و همکاران، برای بررسی عدم قطعیت رواناب و رسوب در آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه مکنونگ با استفاده از LARS-WG و SWAT برای دوره‌های زمانی ۲۰۳۰، ۲۰۶۰ تحت مدل GCM اقدام کرده‌اند. نتیجه این پژوهش بیانگر افزایش بار رسوبی و کاهش رواناب در آینده خواهد بود (Shrestha et al., 2016). در پژوهشی دیگر کیشیوا و همکارانش، با استفاده از مدل‌های SWAT و WEAP به ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی بر منابع آب‌های سطحی در حوضه پانگانی<sup>۱</sup> پرداختند. نتایج نشان داد رواناب در دهه

2- Nanliujiang

3- Awash

1- Pangani

نیز از تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور مشاهده شده است. در این مطالعه به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه مطالعاتی با استفاده از میانگین نتایج مدل LARS-WG و مدل SWAT تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 می‌پردازیم. مهین نادری و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهش خود با استفاده از مدل SWAT به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز گرین پرداختند. نتایج نشان داد در اکثر ماه‌های سال میانگین بارش ماهانه روندی کاهشی و میانگین دما روندی افزایشی خواهد داشت. همچنین تغییر اقلیم تحت سناریوهای A2 و B2 موجب کاهش میزان رواناب می‌گردد.

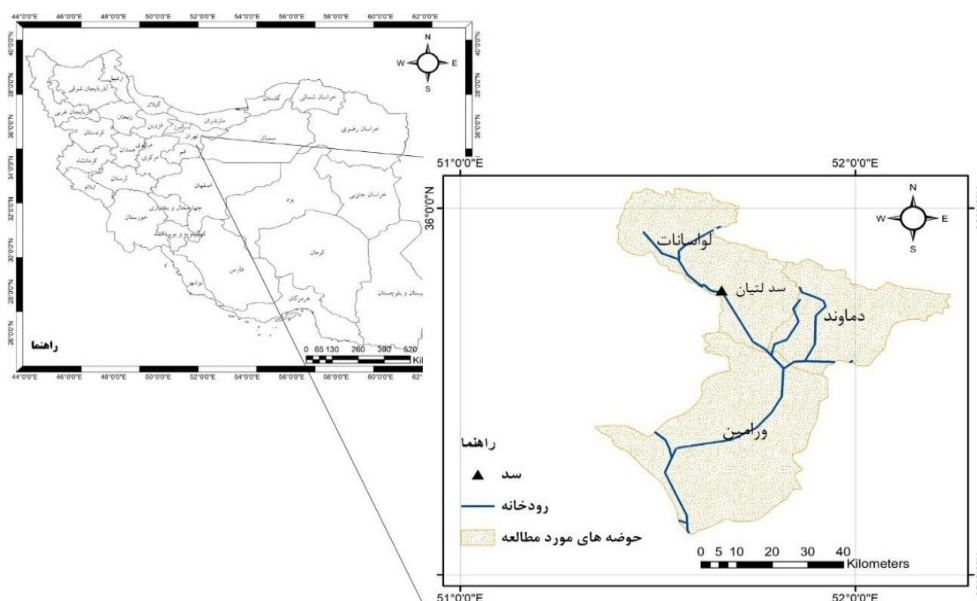
با توجه به اثرات مختلف تغییر اقلیم در نقاط مختلف دنیا، ایران نیز از تغییرات بزرگ مقیاس مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور مشاهده شده است؛ لذا در این مطالعه به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه دشت ورامین با استفاده از مدل LARS-WG و SWAT تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### تشریح منطقه مطالعاتی و داده‌ها

حوضه آبریز مورد مطالعه در این پژوهش شامل حوضه‌های آبریز لواسانات، دماوند و دشت ورامین می‌شود که از زیرحوضه‌های دریاچه نمک می‌باشند و در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه تا ۳۶ درجه عرض شمالی و ۵۱ درجه تا ۵۲ درجه طول شرقی واقع گردیده‌اند. شکل ۱ حوضه‌های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان داده است.

که متوسط ماهانه درجه حرارت حداقل و حداکثر در دوره ۲۰۱۵-۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. همچنین متوسط ماهانه بارندگی در فصل بهار کاهش یافته در حالی که به مقدار آن در فصل‌های تابستان و پاییز افزوده خواهد شد. بسالت‌پور و همکاران (۱۳۹۳) از مدل SWAT جهت پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر رواناب و منابع آبی در بخشی از حوزه آبخیز لردگان استفاده کرد. جهت بررسی تغییر اقلیم در آینده نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۳۹)، آینده میانی (۲۰۴۰-۲۰۶۹) و آینده دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹) از داده‌های ریزمقیاس شده CRU حاصل از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و نیز غلظت پیش‌بینی شده گاز دی‌اکسیدکربن تحت سناریوی انتشار A2 استفاده گردید. سپس درصد تغییرات بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه محاسبه و به مدل‌های بهینه شده اول و دوم وارد گردید. مدل SWAT دقت قابل قبولی در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی داشته است. نتایج نشان می‌دهد که آثار منفی ناشی از تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه در دوره‌های آتی شدیدتر خواهد بود. حاجی‌محمدی و همکارانش (۱۳۹۷)، در تحقیق خود به ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کن پرداختند. شبیه‌سازی متغیرهای دما و بارش به وسیله داده‌های مدل بزرگ مقیاس HadCM3 تحت سناریوی A2 و مدل ریزمقیاس‌گردانی SDSM صورت گرفت. شبیه‌سازی رواناب به صورت ماهانه به وسیله مدل هیدرولوژیکی SWAT انجام شد. نتایج نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های منتخب بارش کاهش خواهد یافت و دما افزایش می‌یابد. در نهایت سناریوهای اقلیمی ایجاد شده، افزایش رواناب برای فصل زمستان و کاهش مقدار آن را برای سایر فصول نشان داد. با توجه به اثرات مختلف تغییر اقلیم در نقاط مختلف دنیا، ایران



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه در ایران و شمالی کلی منطقه

### داده‌های مورد استفاده در مدل SWAT

در این پژوهش با استفاده از لایه DEM<sup>۱</sup> ۹۰ متری، لایه کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۰ و همچنین لایه خاک FAO v2 با ابعاد ۱۰ کیلومتری اقدام به ساخت مدل هیدرولوژیکی SWAT شده است (شکل ۲، ۳ و ۴). اولین مرحله از مدل‌سازی، تقسیم حوضه به تعدادی زیرحوضه می‌باشد که بر اساس توپوگرافی و خطوط شبکه تقسیم‌بندی در محیط ArcGIS صورت گرفت. پس از آن هر زیرحوضه با توجه به مشخصات کاربری اراضی، نقشه خاک و شیب به تعدادی واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تقسیم شد. در این پژوهش حوضه مطالعاتی به ۶۸ زیرحوضه و ۲۵۷ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم شد.

همچنین داده‌های روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش ۳ ایستگاه هواشناسی جهت شبیه‌سازی فرایندهای مورد نظر برای دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۴ وارد مدل گردید. بدین منظور از نرم‌افزار SWAT نسخه 2012-2012 که دارای یک برنامه در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۲ می‌باشد، استفاده شده است. سپس از آمار ماهانه دبی ۴ ایستگاه هیدرومتری جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT به کمک نرم‌افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI-2 صورت گرفت. در جداول ۱ و ۲ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری آورده شده است. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۵ نشان داده شده است.

### تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه با استفاده از مدل‌های

#### AOGCM

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های سه بعدی جفت شده جوی-اقیانوسی گردش عمومی هوا می‌باشند که به طور مخفف از آن به عنوان AOGCM یاد می‌شود (Wilby and Harris, 2006). این مدل‌ها بر اساس قوانین فیزیکی که توسط روابط ریاضی بیان می‌شوند، استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل شده و به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین، مؤلفه‌های اصلی سامانه اقلیمی (جو، سنگ کره، زیست کره، آب کره) در مدل‌های فرعی جداگانه جفت شده و مدل‌های AOGCM را تشکیل می‌دهند (زارع زاده، ۱۳۸۹). نخستین سری از مجموعه سناریوهای انتشار موسوم به (IS2a - IS92f) در سال ۱۹۹۲ توسط IPCC ارائه گردید، که بیان‌گر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای با نرخ ثابت تا سال ۲۱۰۰ بود. در سال ۱۹۹۶ به منظور به روز رسانی، سری جدید سناریوهای انتشار موسوم به SRES<sup>۲</sup> در یک گزارش ویژه توسط IPCC ارائه شد. در این

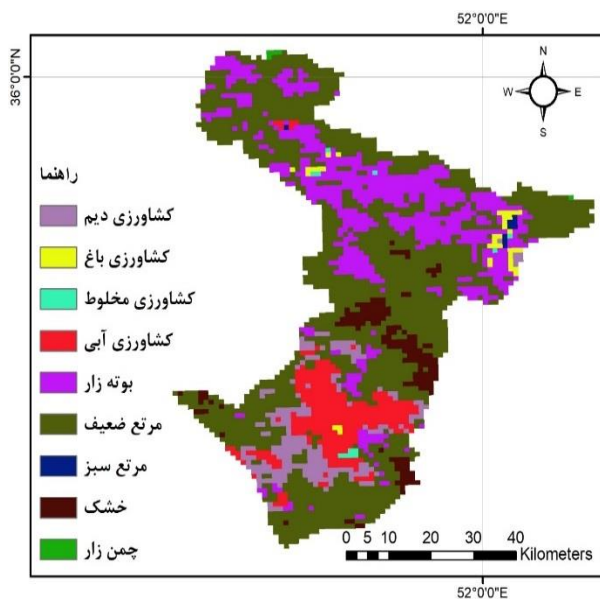
حوضه آبریز لواسانات، با وسعتی حدود ۹۸۳ کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال جولای با میانگین دمای ۲۶/۲ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال ژانویه با میانگین دمای ۰/۸- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش ۱۸۷ میلی‌متر در سال است. خشک‌ترین ماه سال آگوست با متوسط بارش کمتر از ۱ میلی‌متر و بیشترین بارش مربوط به ماه مارس به میزان ۳۲ میلی‌متر است. حوضه آبریز دماوند با وسعتی معادل ۷۶۶ کیلومتر مربع نیز یکی دیگر از زیرحوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است. میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال جولای با میانگین دمای ۲۵/۳ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال ژانویه با میانگین دمای ۲/۴- درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش ۱۴۹ میلی‌متر در سال است. خشک‌ترین ماه سال آگوست با متوسط بارش ۱ میلی‌متر و بیشترین بارش مربوط به ماه مارس به میزان ۲۵ میلی‌متر است. حوضه آبریز دشت ورامین با وسعتی معادل ۱۷۲۰ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. میانگین سالانه دما در این حوضه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال جولای با میانگین دمای ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال ژانویه با میانگین دمای ۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش ۱۵۶ میلی‌متر در سال است. خشک‌ترین ماه سال آگوست با متوسط بارش صفر میلی‌متر و بیشترین بارش مربوط به ماه مارس به میزان ۳۵ میلی‌متر است. رودخانه‌های جاجرود، کندرود - گلندوک، دماوند و آه در حوضه آبریز مطالعاتی قرار گرفته‌اند که مهمترین آنها رودخانه جاجرود است که سد لتیان در بالادست آن احداث شده است. رودخانه جاجرود از ارتفاعات رشته جبال البرز در شمال تهران سرچشمه گرفته و در جهت جنوب غربی حرکت می‌کند و به سد لتیان وارد می‌شود. سپس با دریافت رودخانه‌های دماوند و آه، به دریاچه نمک منتهی می‌شود. سد لتیان یکی از عواملی است که در چرخه هیدرولوژیکی حوضه و همچنین توسعه کشاورزی پایین دست خود تأثیر به‌سزایی دارد. سد لتیان با سطح حوضه آبریزی به مساحت ۶۹۸۰۰ کیلومتر مربع و با متوسط جریان آب سالانه به میزان ۳۵۰ میلیون متر مکعب در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی تهران و ۵ کیلومتری رودخانه جاجرود واقع شده است.

1- Digital Elevation Model

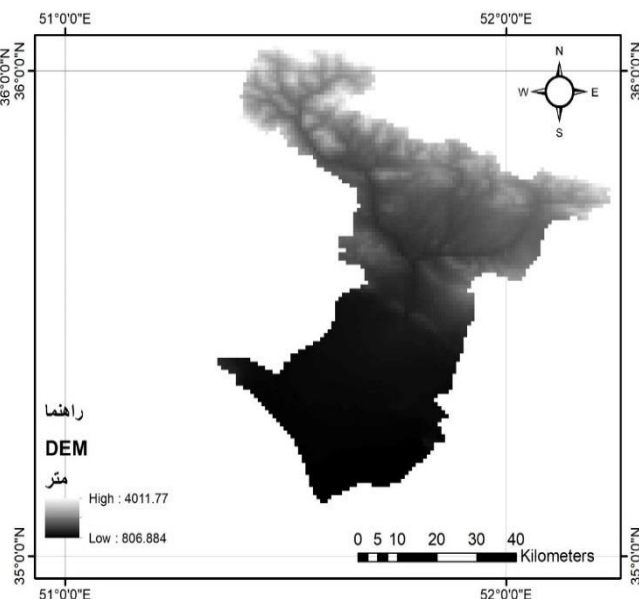
2- Special Report on Emission Scenario

اساس تقسیم‌بندی این سناریوها، پیشرفت‌های اقتصادی-اجتماعی، تجمع گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد (IPCC, 2001).

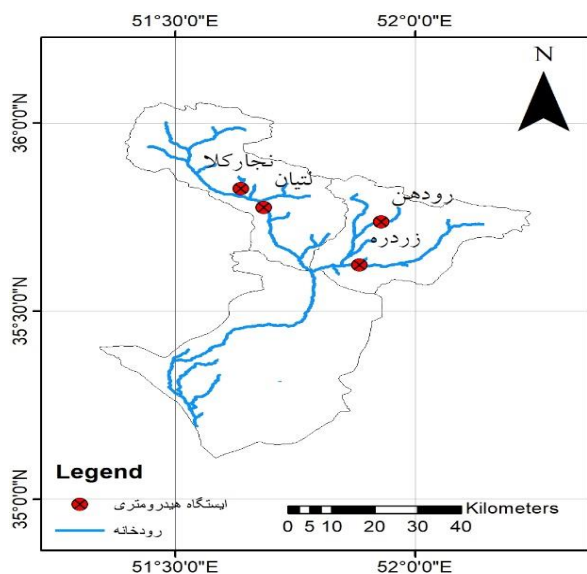
گزارش، ۴۰ سناریو برای آینده جهان ارائه شده است که در ۴ گروه اصلی یا خانواده سناریوهای A1، A2، B1 و B2 قرار می‌گیرند.



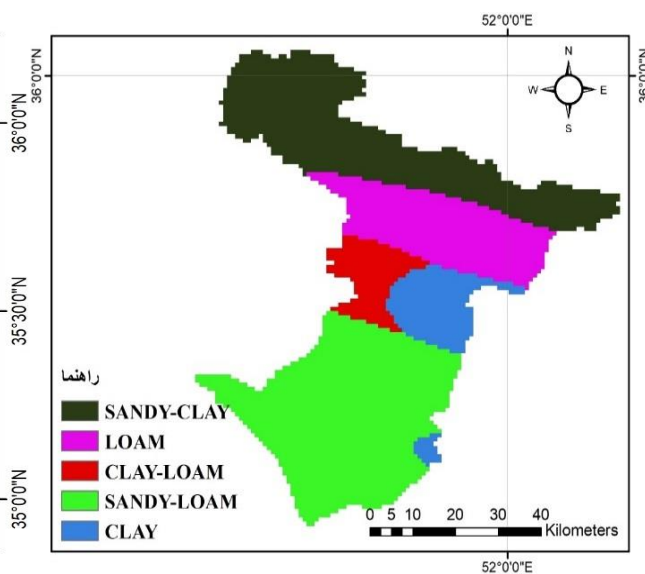
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی



شکل ۲- نقشه DEM



شکل ۵- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری



شکل ۴- لایه خاک

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
ورامین	۵۱-۳۹-۰۰	۳۵-۱۹-۰۰	۹۱۵
دوشان‌تپه	۵۱-۳۰-۰۰	۳۵-۴۲-۰۰	۱۲۲۰
گرمسار	۵۲-۲۱-۰۰	۳۵-۱۴-۰۰	۸۹۹/۹

منبع: سازمان هواشناسی کشور

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

نام ایستگاه	نام رودخانه	کد ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی (dms)	عرض جغرافیایی (dms)
لتیان	جاجرود	۴۱۱۱۹	۱۵۳۴	۵۱-۴۱-۰۷	۳۲-۴۶-۲۵
نجارکلا	کندرود- گلندوک	۴۱۱۵۹	۱۶۷۸	۵۱-۳۸-۱۳	۳۰-۴۹-۳۵
زردره	دماوند	۴۱۸۷۰	۱۴۱۵	۵۱-۵۳-۰۳	۲۱-۳۷-۳۵
رودهن	آه	۴۱۹۲۹	۱۸۴۴	۵۱-۵۵-۴۵	۱۶-۴۴-۲۵

منبع: وزارت نیرو

جدول ۳- خلاصه‌ای از مشخصات سناریوهای اقلیمی SRES در سال ۲۱۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۰

خصوصیت سناریو	1990	A1	A2	B1	B2
جمعیت جهان (میلیارد)	5.252	7.1	15.1	7	10.4
غلظت CO <sub>2</sub> در اتمسفر زمین (PPM)	354	680	834	547	601
شاخص رشد اقتصادی جهانی (GDP)	21	550	243	328	235

منبع: IPCC

شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده را با صرف کمترین زمان اجرا نموده و کاربرد را قادر می‌سازد تا به مطالعه اثرات بلند مدت برخی از عوامل نظیر رسوب، آلودگی و فرسایش بپردازد. این مدل دارای یک پایگاه داده‌ای جامع و قوی برای مولفه‌های مختلف مذکور می‌باشد. در این پایگاه داده‌ای تعاریف و محدوده مقادیر پارامترهای مربوط به بخش‌های مختلف مذکور مشخص گردیده و معرفی موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی و داده‌های آنها و همچنین مدیریت مختلف منابع آب و کشاورزی جاری در منطقه مورد مطالعه به مدل صورت می‌گیرد. داده‌های ورودی به این مدل به دو دسته کلی نقطه‌ای و مکانی تقسیم‌بندی می‌شوند.

#### شبیه‌سازی جریان رودخانه

مدل SWAT در شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیک از معادله بیلان آب (رابطه ۱) استفاده می‌کند. فرآیندهای هیدرولوژیکی که شبیه‌سازی می‌شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریان‌های زیرسطحی می‌باشد. در این پژوهش ابتدا بایستی HRU ها را تشکیل دهیم و معرفی نقشه‌های مذکور HRU ها را تقسیم کنیم. سپس پارامترهای مربوط به هر کدام از اجزای اصلی مدل شامل پارامترهای گیاهی (DAT)، خاکشناسی (Sol)، آب زیرزمینی (GW)، مدیریت (Mgt) و رودخانه (Rte) وارد مدل می‌شوند.

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

$SW_t$ : مقدار نهایی آب در خاک در روز  $t$ ,  $SW_0$ : مقدار اولیه آب در خاک,  $T$ : زمان بر حسب روز,  $R_{day}$ : میزان بارندگی در روز  $t$ ,  $Q_{surf}$ : مقدار رواناب سطحی در روز  $t$ ,  $E_a$ : تبخیر و تعرق در روز  $i$

مدل LARS-WG یکی از مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، ماکزیمم و مینیمم درجه حرارت‌های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده بکار می‌رود (Rasco et al., 1991; Semenov et al., 1998; Semenov and Barrow, 2002). اولین نسخه LARS-WG در بوداپست<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمایی به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد. یک مولد آب و هوای تصادفی، از آب و هوای روزانه مشاهده شده یک ایستگاه برای محاسبه یک مجموعه از پارامترها برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی، به علاوه ارتباط بین آن‌ها استفاده می‌کند.

#### ساختار مدل SWAT

مدل SWAT مدلی پیوسته در مقیاس حوضه‌ای می‌باشد. این مدل مفهومی به منظور پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی-کشاورزی در سطح حوضه‌های بزرگ و پیچیده با خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی و مورفولوژیکی در دراز مدت طراحی شده است. مدل مذکور یک مدلی فیزیکی-توزیعی بوده که جهت ارزیابی مسائل آب و خاک به کار می‌رود و به جای پیوست نمودن روابط رگرسیونی جهت تشریح روابط ما بین متغیرهای ورودی و خروجی، از داده‌های مرتبط آب و هوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریتی و کاربری اراضی در سطح حوضه استفاده می‌کند. در این مدل فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و غیره به طور مستقیم و از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. این مدل از نظر محاسباتی بسیار کارآمد بوده و

1- Budapest

غالب سناریوهای A1B، A2 و B1 برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ پرداخته شد. نتایج مدل LARS-WG طی دوره آماری ۲۰۱۱-۲۰۳۰ حاکی از پیش‌بینی افزایش دمای حداقل در کلیه ماه‌ها و افزایش دمای حداکثر نیز در کلیه ماه‌ها بجز فوریه و اکتبر می‌باشد. بیشترین افزایش دمای حداقل و حداکثر مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و سناریوی A2 می‌باشد. افزایش دما نامطلوب‌ترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش خشکی در منطقه است به همراه خواهد داشت. در دوره‌های آتی نه تنها در مقدار بارش بلکه در الگوی بارش نیز تغییرات صورت گرفته است و در اکثر ماه‌های سال بارندگی کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش مربوط به فصل تابستان و دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی A1B می‌باشد.

### تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

با بررسی آمار ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی موجود در محدوده حوضه آبریز مورد مطالعه و با توجه به هدف تحقیق و نیاز مدل به ورودی‌هایی با گام زمانی پیوسته و هم‌زمان بودن سری زمانی، نهایتاً دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ انتخاب گردید. از این دوره آماری سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ جهت واسنجی مورد ارزیابی قرار گرفت و سه سال آخر (۲۰۱۱-۲۰۱۴) جهت اعتبارسنجی مدل به کار گرفته شدند. سپس با تهیه سری زمانی داده‌های مشاهداتی مذکور به صورت ماهانه، به کمک نرم‌افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI-2 واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT صورت گرفت. در این پژوهش ۱۰۳ پارامتر حساس به منظور شبیه‌سازی رواناب در مدل مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت که پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر دبی خروجی از حوضه داشتند، در جدول ۴ مشخص شده‌اند.

$W_{seep}$ : مقدار آبی که در روز  $i$  از منطقه ریشه خارج می‌گردد،  
 $Q_{gw}$ : مقدار جریان برگشتی در روز  $i$

### آنالیز حساسیت و واسنجی مدل SWAT

به دلیل زیاد بودن پارامترهای مدل SWAT و همچنین شبیه‌سازی همزمان بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی و کشاورزی در این مدل، مدل جدیدی به نام SWAT-CUP جهت آنالیز حساسیت و واسنجی آن توسعه داده شده است. در این مدل دو روش آنالیز حساسیت موضعی یا یک پارامتر در یک زمان و آنالیز حساسیت Global یا سراسری وجود دارد. در آنالیز حساسیت موضعی با ثابت نگه داشتن کلیه پارامترها، یکی از پارامترها را در محدوده‌ای که قبلاً برای تغییرات آن تعریف شده است، تغییر داده و میزان تغییرات خروجی مدل با توجه به تغییرات در مقدار هر پارامتر مورد بررسی قرار می‌گیرد. هر پارامتری که مقدار قدر مطلق  $t$ -stat بیشتری داشته و  $p$ -value آن نزدیک به صفر باشد تأثیر بیشتری بر متغیر مورد نظر دارد. برای واسنجی مدل نیز از دو شاخص آماری ضریب تعیین  $R^2$  و ضریب نش-ساتکلیف (NS) استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### تولید سناریوهای اقلیمی روزانه توسط مدل LARS-WG

مقادیر  $P$ -Value همگی در سطح معنی‌داری ۱ درصد قابل قبول بوده و می‌توان گفت مدل LARS-WG، توانمندی لازم را برای شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دمای ایستگاه کلیماتولوژی در منطقه مطالعاتی را دارد. با مقایسه دو فایل آماری اختلاف معناداری میان مقادیر مشاهداتی پارامترهای اقلیمی در دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۱۶ و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG وجود ندارد. لذا به پیش‌بینی بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه مورد مطالعه، در

جدول ۴- نتایج آنالیز حساسیت و تعیین پارامترهای تأثیرگذار مدل

Parameter Name	شرح پارامترها	t-Stat	P-Value
R_CN2.mgt	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی نوع ۲	-23.99	0
V_PLAPS.sub	تغییرات سرعت بارش در ارتفاع	20.84	0
R_SOL_BD (...).sol	وزن مخصوص ظاهری خاک	3.92	0
V_CH_N2.rte	ضریب زبری مانینگ در آبراهه اصلی	-3.8	0
V_ALPHA_BF.gw	ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی	1.92	0.06
V_HRU_SLP.hru	شیب متوسط زمین در هر HRU	1.92	0.06
V_LAT_TTIME.hru	زمان حرکت جریان آبراهه فرعی	-1.88	0.06
V_SLSUBBSN.hru	متوسط طول شیب در هر HRU	-1.62	0.11
V_RCHRG_DP.gw	درصد تغذیه آبخوان عمیق	1.57	0.12

منبع: یافته‌های تحقیق

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

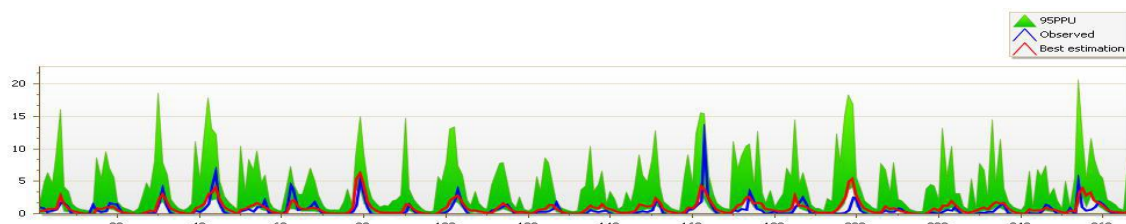
پس از انجام مرحله تحلیل حساسیت، مدل با استفاده از آمار ماهانه ۴ ایستگاه هیدرومتری واسنجی و اعتبارسنجی گردید. در این تحقیق جهت ارزیابی شبیه‌سازی‌های مدل از دو شاخص ضریب تعیین  $R^2$  و ضریب نش-ساتکلیف (NS) استفاده شد. نتایج این بخش در جدول ۵ ارائه شده است. مقادیر نهایی کالیبراسیون با وجود گستردگی حوضه نشان‌دهنده توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی حوضه مطالعاتی است. همچنین شکل‌های ۶ الی ۹ نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان نشان می‌دهد.

عبارت  $V$  و  $r$  کدهایی هستند که نوع تغییراتی را که برای پارامتر به کار برده می‌شود تعیین می‌کند. به طوری که  $V$  به معنی جایگزینی مقدار پارامتر با مقدار جدید پارامتر جدید بوده و  $r$  عبارت است از ضرب مقدار پارامتر در عبارت  $(+1)$  مقدار داده شده) جایگزین نمودن پارامتر مورد نظر. در جدول ۴ تأثیر بعضی از پارامترهای مهم دخیل در شبیه‌سازی دبی خروجی از زیرحوضه‌ها با مقادیر P-Value و t-stat آنها مشخص شده است. هر پارامتری که مقدار قدر مطلق t-stat بیشتری داشته و همچنین مقدار P-Value آن نزدیک به صفر باشد، تأثیر بیشتری بر روی دبی داشته است.

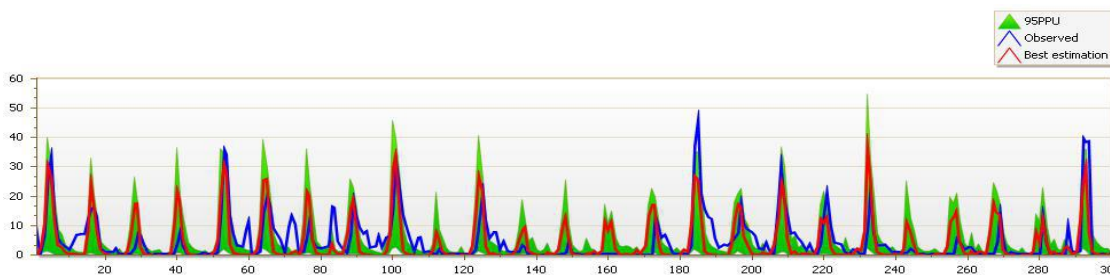
جدول ۵- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۴

R <sup>2</sup>	NS	R <sup>2</sup>	NS	ایستگاه	رودخانه	کد ایستگاه
اعتبارسنجی		واسنجی				
0.5	0.49	0.65	0.58	لتیان	جاجرود	41119
0.54	0.47	0.67	0.57	نچارکلا	کندرود- گلندوک	41159
0.55	0.46	0.64	0.6	زره دره	دماوند	41870
0.58	0.51	0.61	0.49	رودهن	آه	41929

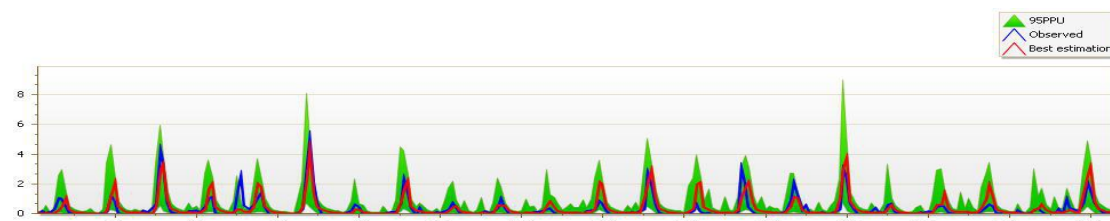
منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۶- نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه آب‌سنجی نچارکلا)

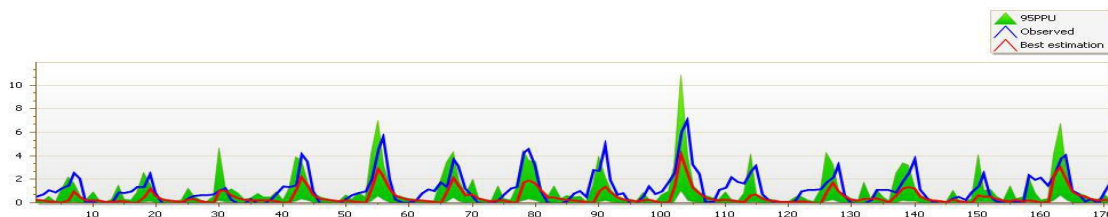


شکل ۷- نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه آب‌سنجی ورودی سد لتیان)



شکل ۸- نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه آب‌سنجی رودهن)



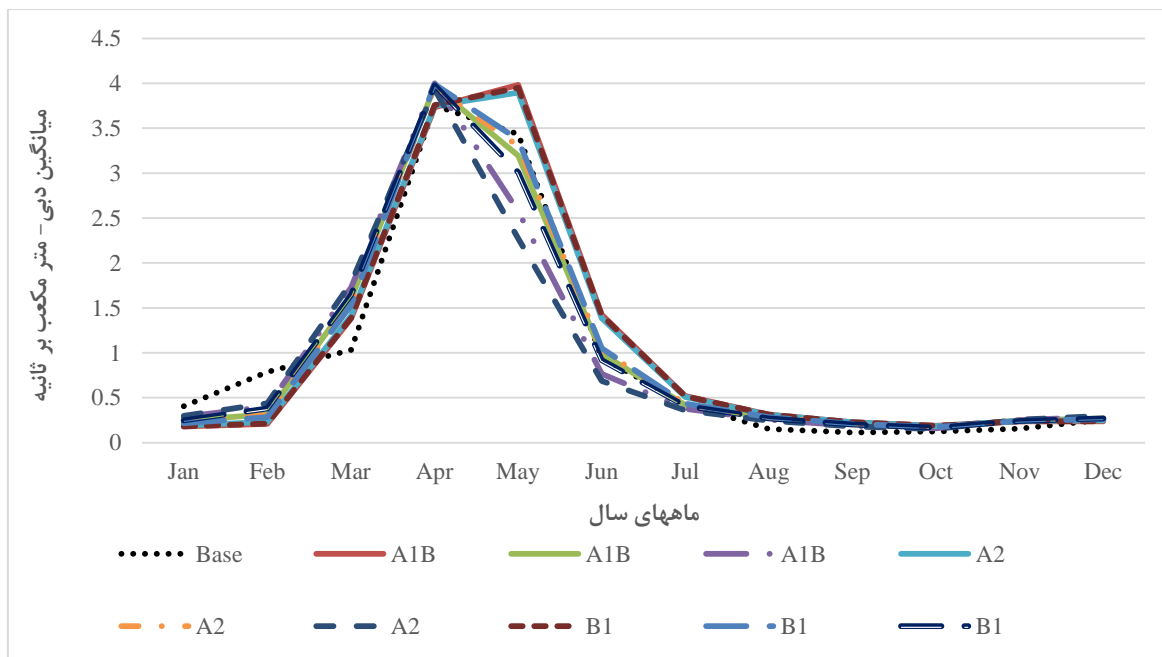


شکل ۹- نمودار سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه باند ۹۵ درصد اطمینان (ایستگاه آب‌سنجی زره دره)

### شبیه‌سازی رواناب تحت تأثیر تغییر اقلیم

با توجه به نیاز همزمان مدل SWAT به هر ۲ پارامتر مذکور، مدل HadCM3 به عنوان مدل منتخب حوضه معرفی می‌شود و در کلیه مراحل از داده‌های این مدل استفاده شده است. انتخاب سناریوها بر اساس ترسیم وضعیت اقلیمی در آینده می‌باشد، به طوری که سناریوی A1B وضعیتی معتدل را ترسیم می‌نماید در حالی که سناریو انتشار A2 بحرانی‌ترین حالت در برآورد پارامترها به دست می‌دهد و سناریو B1 نتایجی به مراتب خوشبینانه‌تر از دو سناریو دیگر را تحت تأثیر تغییر اقلیم ارائه می‌کند. پس از این که داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای یاد شده و مدل HadCM3، به کمک

مدل لارس ریزمقیاس گردید، سری زمانی ۳۰ ساله این داده‌ها برای هر ۳ دوره آتی جهت معرفی به مدل SWAT آماده شد. سپس به وسیله نرم‌افزار SWAT-CUP خروجی مدل SWAT که ضرایب مورد نظر روی آن اعمال شده است، میزان رواناب بر مبنای طول دوره پایه به صورت ماهانه برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 شبیه‌سازی گردید شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ اثرات تغییر اقلیم را بر میانگین ماهانه رواناب برای ۴ ایستگاه (لتیان، نجارکلا، زره دره و رودهن) تحت سناریوهای یاد شده، طی دوره‌های آتی نشان می‌دهد.



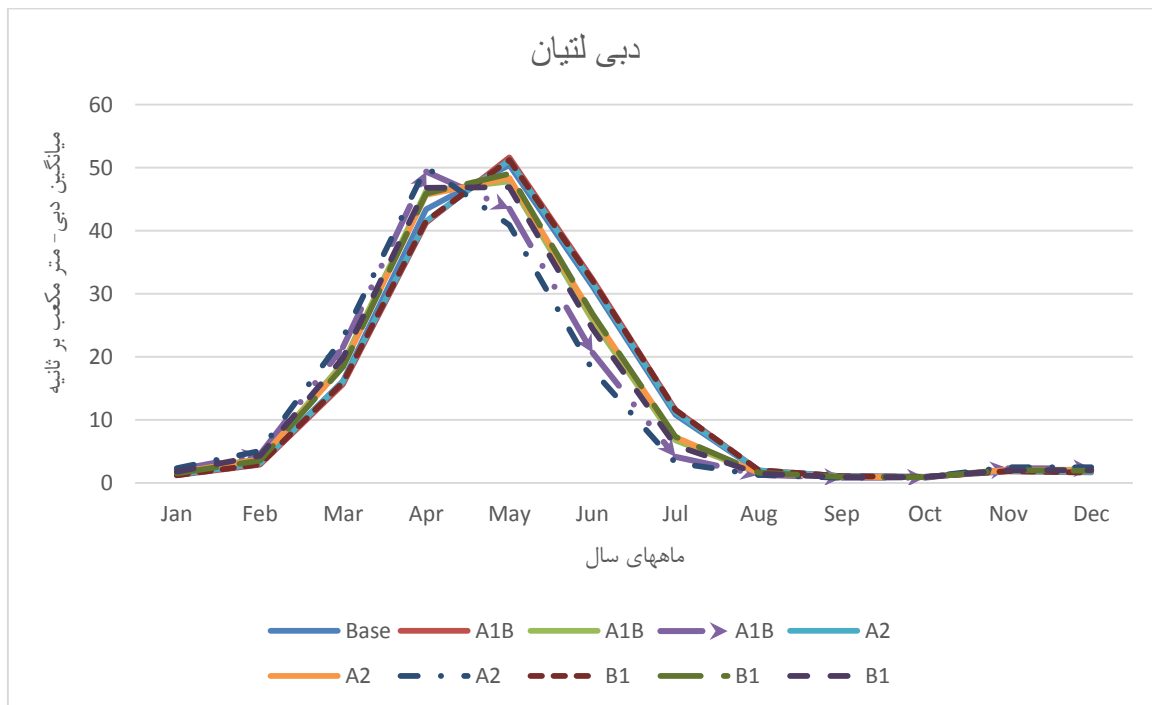
شکل ۱۰- نمودار متوسط دبی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی نجار کلا تحت سناریوهای اقلیمی

برف، تغییر در الگوی بارش و ... می‌باشد. از بین ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه بیشترین کاهش رواناب مربوط به ایستگاه هیدرومتری سد لتیان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت هر سه سناریوی اقلیمی رواناب در فصل بهار و تابستان افزایش می‌یابد و در فصل پاییز و زمستان کاهش می‌یابد. اما

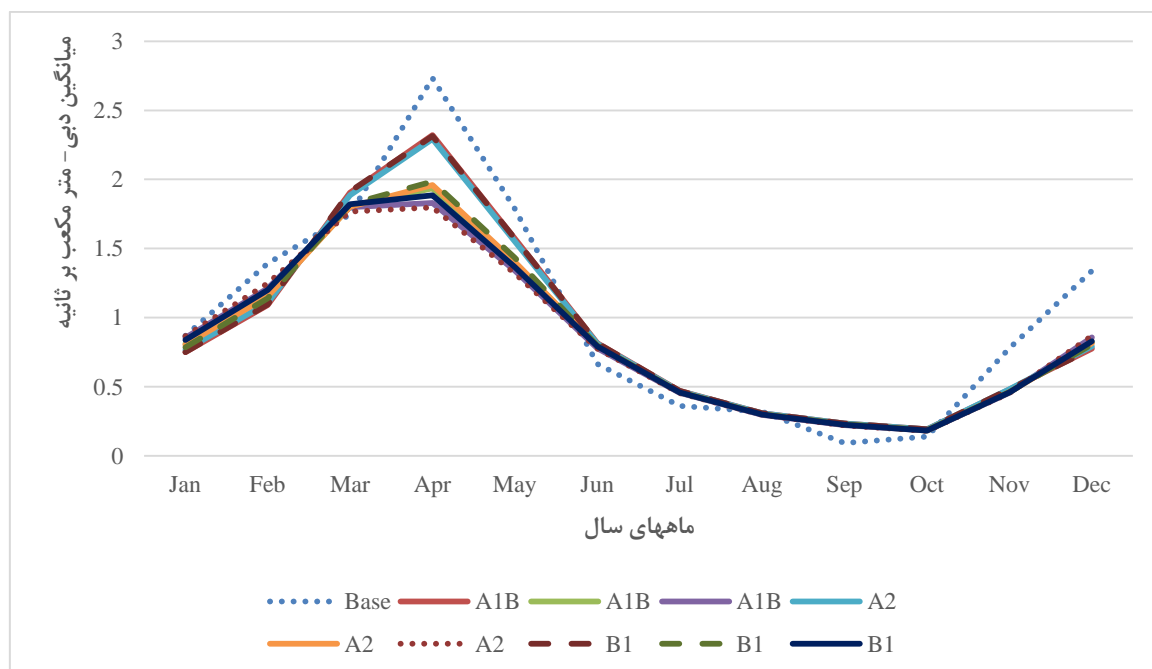
همانگونه که در شکل‌های ۱۰ الی ۱۳ مشخص است، نمودارهای دبی برای دوره‌های آتی و تحت هر سه سناریو نسبت به دوره پایه به سمت راست منتقل شده‌اند که نشان دهنده کاهش رواناب در فصل زمستان و افزایش آن در فصل تابستان و بهار است. این جابجایی ناشی از اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه مطالعاتی (از جمله ذوب

در دوره‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ رواناب تحت هر سه سناریو در فصول بهار و تابستان کاهش و در فصول پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت. بیشترین کاهش رواناب مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و فصل تابستان تحت سناریوی A2 نیز می‌باشد.

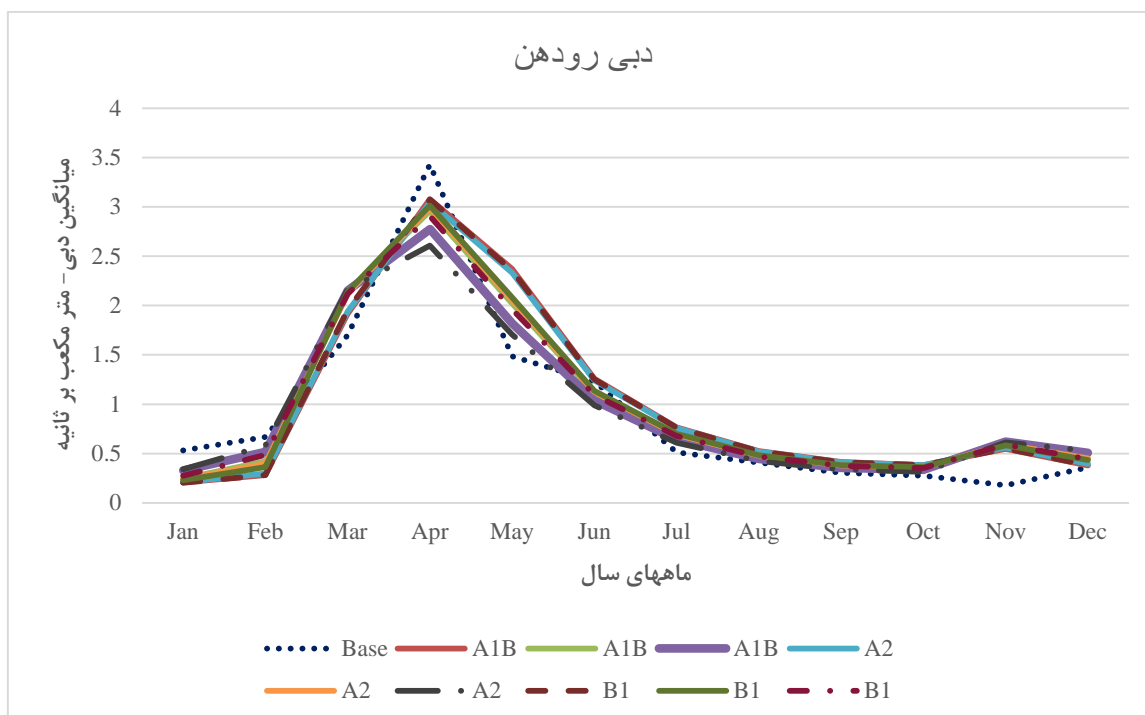
در دوره‌های ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ رواناب تحت هر سه سناریو در فصول بهار و تابستان کاهش و در فصول پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت. بیشترین کاهش رواناب مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ و فصل تابستان تحت سناریوی A2 نیز می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار متوسط دبی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی لتیان تحت سناریوهای اقلیمی



شکل ۱۲- نمودار متوسط دبی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی زره دره تحت سناریوهای اقلیمی



شکل ۱۳- نمودار متوسط دبی ماهانه ایستگاه آب‌سنجی رودهن تحت سناریوهای اقلیمی

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه مطالعاتی طی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با استفاده از مدل LARS-WG تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 مورد مطالعه قرار گرفت که تغییرات بارندگی و درجه حرارت به عنوان دو متغیر معرف اقلیم بررسی شد. میانگین نتایج ریزمقیاس شده متغیر درجه حرارت، افزایش متوسط این متغیر را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. افزایش دما نامطلوب‌ترین اثر تغییر اقلیم را که افزایش خشکی در منطقه است را به همراه خواهد داشت. همچنین اثرات منفی افزایش دما بر منابع آب از طریق افزایش تبخیر تشدید می‌باشد و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. همچنین پیش‌بینی وضعیت رواناب حاکی از کاهش رواناب در فصل زمستان و پاییز و افزایش آن در فصل بهار می‌باشد که ناشی از اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی حوضه مطالعاتی است. علت افزایش رواناب در فصل بهار می‌تواند به دلیل افزایش دما، تغییر الگوی بارش و ... باشد.

## منابع

آذری، م.، مرادی، ح.ر.، ثقفیان، ب.، فرامرزی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز گرگانرود. نشریه آب و خاک. ۲۷: ۳: ۵۳۷-۵۴۷.

بسالت‌پور، ع.ا.، ایوبی، ش.ا.، حاج عباسی، م.ع و جلالیان، ا. ۱۳۹۳. واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم پرندگان برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در یک حوضه آبخیز کوهستانی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۴: ۴: ۲۹۵-۳۱۲.

حاج‌محمدی، م.، عزیزیان، ا.، قرمزچشمه، ب. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کن. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۰: ۲: ۱۴۴-۱۵۶.

زارع‌زاده مهریزی، م. ۱۳۸۹. تخصیص منابع آب حوضه آبریز قزل-اوزن- سفیدرود تحت تأثیر تغییر اقلیم با بکارگیری رویکرد ورشکستگی در حل اختلافات. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

منصوری، ب.، احمدزاده، ح.، مساح‌بوانی، ع.، مرید، س.، دلاور، م.، لطفی، س. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زرينه‌رود با استفاده از مدل SWAT. نشریه آب و خاک. ۲۸: ۶: ۱۱۹۱-۱۲۰۳.

نادری، م.، ایلدرمکی، ع.، نوری، ح.، آقا امین، س.، زینی‌وند، ح. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز گرین). ۱۴: ۲۳-۴۲.

Al Qatarnah, G.N., Al Smadi, B., Al-zboon, K., and

- Serial approach to local stochastic models. *J. Ecological Modeling*. 57: 27-41.
- Schoul, J., Abbaspour, K.C., Yang, H., Srinivasan, R. 2008. Modeling blue and green water availability in Africa. *Water Resources Research*. Vol. 44, W07406 DOI: 10.1029/2007WR006609.
- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., Richardson, C.W. 1998. Comparison of the WGEN and Stochastic weather generators in diver's climates. *Climate Research*. 10:95-107.
- Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. A Stochastic weather generator for use in climate impacts studies. User's manual. Version 3.0.
- Shrestha, B., Cochrane, T.A., Caruso, B.S., Arias, M.E., Piman, T. 2016. Uncertainty in flow and sediment projections due to future climate scenarios for the 3S Rivers in the Mekong Basin. *Journal of Hydrology*. 540(Supplement C):1088-104.
- Wilby, R.L., Harris, I.A. 2006. Frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*. 42, W02419, DOI: 10.1029/2005WR004065.
- Xu, C.H. 1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Progress in physical Geography: Earth and Environment*. 23(2):229-249.
- Yang, Q., Meng, F.R., Zhao, Z., Chow, T.L., Benoy, G., Rees, H.W., Bourque, C.P.A. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 132:23-31.
- Yang, M., Xiao, W., Zhao, Y., Li, X., Huang, Y., Lu, F., Hou, B., and Li, B. 2018. Assessment of Potential Climate Change Effects on the Rice Yield and Water Footprint in the Nanliujiang Catchment, China. *Sustainability*. 10: 1-19.
- Shatanawi, Kh.M. 2018. Impact of Climate Change on water resources in Jordan: a case study of Azraq basin. *Applied Water Science*. 50: 1-14.
- Daba, M., 2018. Sensitivity of SWAT Simulated Runoff to Temperature and Rainfall in the Upper Awash Sab-Basin, Ethiopia. *Hydrology Current Research*. 9: 1-7.
- Devkota, L.P., Gyawali, D.R. 2015. Impacts of climate change on hydrological regime and water resources management of the Koshi River Basin, Nepal. *Journal of Hydrology*. 4:502-515.
- Ficklin, D.L., Lou, Y., Luedeling, E., Gatzke, S.E., Zhang, M. 2010. Sensitivity of agricultural runoff loads to rising levels of CO<sub>2</sub> and climate change in the San Joaquin Valley watershed of California. *Environ. Pollute*. 15.1: 223-234.
- IPCC. Climate Change 2007. Summary for Policy makers, in: Climate Change. Solomon, S.D., Qin, M., Manning, Z., Chen, M., Marquis, K.B, Averyt, M., Tignor, H.L. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. Cambridge. 1-18.
- IPCC. Climate change. 2001. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A., Maskell, K. Cambridge University Press, Cambridge. Pp 572.
- Kishiwa, P., Nobert, J., Kongo, V., Ndomba, P. 2018. Assessment of impacts of climate change on surface water availability using coupled SWAT and WEAP models: case of upper Pangani River Basin, Tanzania. *Proceedings of the International Association of Hydrological Science*. 378: 23-27.
- Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A. 1991. A

## Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources in Varamin Plain Basin Using SWAT Model

N. Shahvari<sup>1</sup>, S. Khalilian<sup>2\*</sup>, S. Habibollah Mosavi<sup>3</sup>, S. Abolghasem Mortazavi<sup>4</sup>

Received: Sep.23, 2018

Accepted: Oct.27, 2018

### Abstract

This study evaluates the effects of climate change on temperature, rainfall and runoff in future periods by LARS-WG statistical model and SWAT hydrological model under A1B, A2 and B1 climate scenarios. First, in order to produce future meteorological data, the LARS-WG model was calibrated and the coefficient of variation of minimum temperature, maximum temperature and precipitation for future periods was simulated as SWAT model vertices. The results of the LARS-WG model showed that minimum and maximum temperature will increase in future periods and there will be changes not only in rainfall but also in the rainfall pattern. Then runoff simulation was performed on a monthly basis by the SWAT model. The SWAT-CUP software and the SUFI-2 algorithm were used for calibration and validation. NS and R<sup>2</sup> coefficient for calibration period were 0.58 and 0.65, and for validation period were 0.49 and 0.5. Then, by introducing the average of the results of the SWAT model, the runoff changes from the basin were simulated during the periods 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2080. The results showed that runoff in the period of 2011-2030 will increase under all three scenarios in the spring and summer seasons and decrease in autumn and winter seasons. Also, runoff in periods of 2065-2070 and 2080-2080 will be increased under all three scenarios in autumn and winter and will decrease in spring and summer. This seasonal displacement in runoff is due to the effects of climate change in the form of temperature rise, melting snow, changing rainfall patterns, and so on.

**Key words:** Climate change, LARS-WG model, runoff, SWAT model

1- Ph.D. Candidate of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran

2- Associate Professor, Faculty of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran

3- Assistant Professor, Faculty of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran

4- Assistant Professor, Faculty of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University, Tehran

(\*- Corresponding Author Email: khaliliansadegh@gmail.com)