

## استفاده از مدل MIROC-ESM در بررسی شرایط هیدرو- اقلیمی حوضه آبخیز کوچک مقیاس تحت اثر تغییر اقلیم

یوسف حسن‌زاده\*<sup>۱</sup> و امیرحسین آقاخانی افشار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دکتری عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

(دریافت: ۹۶/۸/۹، پذیرش: ۹۷/۲/۸، نشر آنلاین: ۹۷/۲/۹)

### چکیده

چرخه هیدرولوژی در حوضه رودخانه‌ها و منابع آب قابل دسترس در مناطق نیمه خشک جهان به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیم و افزایش بیش از حد انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارند. هدف این تحقیق بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر شرایط اقلیمی حوضه آبخیز زشک- ابرده در استان خراسان رضوی می‌باشد. مدل SWAT توسط الگوریتم SUFI-2 با هدف بهبود نتایج شبیه‌سازی دبی حوضه مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. مدل MIROC-ESM از سری مدل‌های گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (Coupled Model Intercomparison Project; CMIP5) جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های هیدرو- اقلیمی حوضه و تحت چهار سناریوی انتشار (Representative Concentration Pathways; RCPs) به نام‌های ۲/۶، ۴/۵، ۶/۰ و ۸/۵ و در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۴۲-۲۰۱۴)، میانی (۲۰۷۱-۲۰۴۳) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۲) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، روند تغییرات حوضه با استفاده از آزمون من- کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات درجه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP6.0 در دوره زمانی آینده نزدیک و میانی و آینده دور (RCP6.0) از یک روند معنی‌دار افزایشی تبعیت می‌کند. از طرف دیگر، مؤلفه بارش در تمامی سناریوها از تغییرات کاهش غیرمعنی‌داری پیروی می‌کند. همچنین، تغییرات رواناب تحت سناریوی RCP4.5 و در دوره‌های زمانی آینده میانی و دور و تحت سناریوی RCP8.5 و در آینده دور از روند معنی‌دار کاهش تبعیت می‌کند. به طور کلی، میزان درجه حرارت در یک مسیر افزایشی پیش می‌رود، در حالی که مقادیر بارش و رواناب یک جابجایی کاهشی را تا انتهای قرن ۲۱ در حوضه دنبال می‌کنند.

**کلیدواژه‌ها:** مدل ارزیابی آب و خاک، تغییر اقلیم، گزارش پنجم هیأت بین‌الدول، سناریوی انتشار، آزمون من- کندال.

### ۱- مقدمه

تغییر اقلیم<sup>۱</sup>، افزایش جهانی دما را ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند. علاوه بر تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی، تغییر در مقادیر حدی بارندگی نیز نسبت به مقادیر گذشته آن از دیگر پیامدهایی خواهد بود که به معنای افزایش سال‌های خشک یا مرطوب می‌باشد (IPCC, ۲۰۰۷). امروزه به دلیل افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی تأثیرات چشمگیری در میزان بارش و فرآیندهای رواناب و منابع آبی داشته است (Cuo و همکاران، ۲۰۱۴ و Henebry, ۲۰۱۵). به عنوان مثال، در قرن گذشته، میانگین درجه حرارت جهانی به ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است (IPCC, ۲۰۱۳). بنابر این میانگین متغیرهای اقلیمی به خصوص

شواهد دیرینه‌شناسی اقلیمی نشان می‌دهد همواره تغییرات آب و هوایی در طول تاریخ کره زمین وجود داشته است، اما تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، دو وجه متمایز با تغییرات اقلیمی گذشته را دارا می‌باشند. نخست آن که فعالیت‌های انسانی در ماهیت تغییرات اقلیمی فعلی، نقش بیشتری داشته و دوم آن که سرعت تغییرات اقلیمی اخیر نیز افزایش یافته است، به طوری که در بازه زمانی کوتاه، شاهد تغییرات زیادی در شرایط جوی کره زمین هستیم (Telmer و همکاران، ۲۰۰۴). میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش است به طوری که سناریوهای اخیر هیأت بین‌الدول

1. Intergovernmental Panel of Climate Change; IPCC

و RCP8.5 در دو دوره زمانی گذشته (۲۰۰۲-۱۹۹۲) و آینده (۲۰۷۵-۲۰۴۰) مورد بررسی قرار دادند. توانایی مدل‌های اقلیمی در مقیاس روزانه، ماهانه و سالیانه براساس معیارهای ارزیابی خطای میانگین و جذر مجموع مربعات (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های MIROC5، HadGEM2-CC، BCC-CSM1-1 و HadGEM2-ES تغییرات بارش ماهانه را بهتر از مدل‌های GFDL-ESM2G، GFDL-ESM2M، IPSL-CM5A-LR و HadCM3 پیش‌بینی می‌کنند. تحت سناریوی RCP4.5 بارش سالانه کمتر از ۱۰ درصد و تحت سناریوی RCP8.5 کمتر از ۲۰ درصد افزایش بارندگی در کل قرن ۲۱ رخ می‌دهد. Masood و همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی شامل رواناب، تبخیر و تعرق در حوضه‌های برهماپورتا، گانگر و مقنا واقع در کشور بنگلادش را به کمک پنج مدل گزارش پنجم شامل MIROC-ESM، MIROC5، MRI-CGCM3 و MRI-AGCM3.2S در سه دوره زمانی گذشته (۲۰۰۳-۱۹۷۹)، آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۵) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۵) مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ در کل این سه حوضه دما تا حدود ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش، میانگین بارش (رواناب) برای حوضه‌های برهماپورتا، گانگر و مقنا به ترتیب برابر ۱۶/۳ (۱۶/۲)، ۱۹/۸ (۳۳/۱) و ۲۹/۶ (۳۹/۷) درصد افزایش یافته و این تغییرات در فصل‌های خشک (نوامبر تا آپریل) بیشتر از فصل‌های مرطوب (می تا اکتبر) می‌باشد. از طرف دیگر تبخیر و تعرق نیز بر اثر افزایش دما در این حوضه‌ها (به ترتیب در حوضه‌های برهماپورتا، گانگر و مقنا برابر ۱۶/۴، ۱۳/۶ و ۱۲/۹ درصد) افزایش می‌یابد. Shanley و همکاران (۲۰۱۵)، اثرات تغییر اقلیم در مناطق جنگلی شمال آمریکا را با استفاده از پنج مدل CMIP5 و تحت دو سناریوی انتشار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میانگین سالانه دما نسبت به میانگین دوره مبناء (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در تمامی پنج مدل و تحت سناریوی RCP4.5 از ۳/۲ تا ۶/۹-۴/۹ درجه سانتی‌گراد یا تحت سناریوی RCP8.5 بین ۶/۴ تا ۸/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر میانگین بارش سالانه از ۳۱۳۰ میلی‌متر در سناریوی RCP4.5، به ۳۴۰۰-۳۲۱۰ میلی‌متر (۳ الی ۹٪) و در سناریوی RCP8.5، به ۳۶۹۰-۳۳۲۰ میلی‌متر (۶ الی ۱۸٪) افزایش یافته و همچنین بارش کل به عنوان برف از ۱۲۰۰ میلی‌متر در سناریوی RCP4.5، به ۹۴۰-۷۲۰ میلی‌متر (۲۲ الی ۴۰٪) و در سناریوی RCP8.5، به ۵۰۰-۷۲۰ میلی‌متر (۴۰ الی ۵۸٪) تا سال ۲۰۸۰ (دوره زمانی ۳۰ ساله از سال ۲۰۷۱ الی ۲۱۰۰) کاهش می‌یابد. حوضه مطالعاتی تحقیق حاضر (زشک- ابرده) از منابع مهم درآمدی روستانشینان

مؤلفه‌های دما، بارش و رواناب در مقیاس‌های سالانه و یا فصلی، نقش غالبی را در چرخه هیدرولوژی ایفاء می‌نمایند و معمولاً به عنوان شاخص‌هایی مهم جهت ارزیابی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (Afshar و همکاران، ۲۰۱۷).

بارش به عنوان یک عامل کلیدی در تغییر فرکانس و دامنه چرخه هیدرولوژیکی، عواقب جدی در تحولات اجتماعی، اقتصادی و کشاورزی می‌تواند داشته باشد (Moazami و Najafi، ۲۰۱۶). از طرف دیگر، ناهنجاری‌ها در دما و بارندگی نقش مهمی در صنعت کشاورزی و توسعه سریع کشور ایفاء می‌کند. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه سریع اقتصادی نشان می‌دهد که ایران با چالش‌های گسترده‌ای در منابع آب قابل دسترس در حال حاضر و به ویژه در آینده مواجه است (Afshar و همکاران، ۲۰۱۷).

برخی از مطالعات در رابطه با بررسی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه‌های آبخیز ایران و تأثیرات آن بر روی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی در این مناطق در دوره‌های اخیر و آتی براساس مدل‌های ارزیابی گزارش چهارم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR4<sup>۱</sup>) انجام پذیرفته است که دارای قدرت تفکیک‌پذیری پایین و از سناریوهای انتشار قدیمی‌تر نسبت به مدل‌های ارزیابی گزارش پنجم هیأت مذکور (AR5<sup>۲</sup>) استفاده می‌نماید (Javan و همکاران، ۲۰۱۳؛ Vaghefi و همکاران، ۲۰۱۵؛ Pourtouserkani و همکاران، ۲۰۱۵؛ Das و Umamahesh، ۲۰۱۵؛ Sigdel و Ma، ۲۰۱۶؛ قربانی و همکاران، ۱۳۹۴).

بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبخیز ایران توسط مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا و به ویژه توسط مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم و تحت سناریوهای جدید انتشار امری ضروری به نظر می‌رسد. به گونه‌ای که تحقیقات Afshar و همکاران (۲۰۱۷) در رابطه با ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی در حوضه آبخیز کشف‌رود در دوره‌های آتی و با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان داد که مؤلفه بارش، روند تغییرات قابل توجه کاهش و افزایش متغیری را از خود نشان می‌دهد. همچنین، دمای متوسط حوضه نیز روند افزایشی قابل توجهی با سطح اعتمادپذیری ۹۰، ۹۹، ۹۹/۹ درصد از خود نشان می‌دهد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ و در مقایسه با دوره تاریخی در تمامی مناطق حوضه آبخیز مطالعاتی و با در نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوها، به طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش به میزان ۱۰/۷٪ کاهش می‌یابد.

Akurut و همکاران (۲۰۱۴)، اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی دریاچه ویکتوریا در شرق آفریقا را در قرن ۲۱ با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گزارش پنجم و تحت دو سناریوی RCP4.5

۲. Fifth assessment report; AR5

۱. Fourth assessment report; AR4

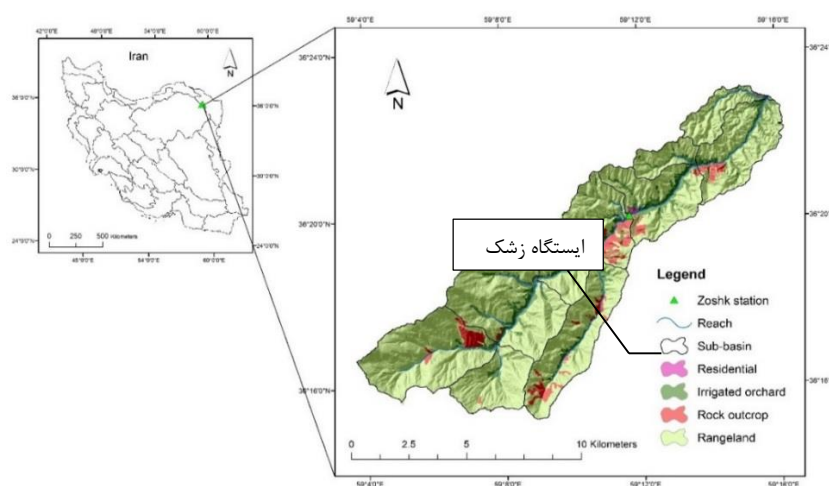
استان خراسان رضوی واقع شده است. شیب متوسط حوضه ۵۲/۴۶ درصد، ارتفاع میانگین ۲۲۳۵ متر از سطح دریا و طول حوضه ۲۱/۵۳ کیلومتر می‌باشد. این حوضه در موقعیت جغرافیایی "۳۹° ۴' ۵۹" تا "۱۳° ۱۶' ۵۹" طول شرقی و "۱۶' ۱۵" تا "۳۶° ۲۳' ۱۲" عرض شمالی قرار دارد (شکل (۱)). خروجی هیدرولوژیکی حوضه نیز بر روی روستای ابرده قرار گرفته است. منطقه مطالعاتی فوق در حوضه آبخیز بزرگ کشف رود واقع شده است و از زیرحوضه‌های آن محسوب می‌گردد که کل رواناب آن از خروجی بالادست روستای ابرده علیاء خارج می‌گردد. (شکل (۱)). متوسط بارندگی سالانه حوضه آبخیز زشک ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین، بیشترین بارندگی ماهانه نیز به ترتیب با ۷۱ و ۶۵ میلی‌متر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت ماه اتفاق می‌افتد که هرکدام حدود ۱۸ و ۱۶ درصد از کل بارش را به خود اختصاص می‌دهند و ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور نیز خشک‌ترین ماه‌های سال می‌باشند. این حوضه دارای متوسط درجه حرارت سالیانه ۸/۷ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت سالیانه ۲/۸ و ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقشه پایه حوضه در شکل (۱) نشان داده شده است. در این تحقیق، داده‌های مشاهداتی روزانه و در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۲) شامل پارامترهای درجه حرارت حداقل و حداکثر، بارش، کاربری اراضی، شیب، پروفیل‌های خاک و همچنین نقشه‌های مربوط به تنها ایستگاه موجود در منطقه (ایستگاه زشک)، از سازمان هواشناسی خراسان رضوی، سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی، سازمان آبخیزداری و منابع طبیعی و نهایتاً از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردیدند.

منطقه در استان خراسان رضوی بوده و جنبه اکوتوریستی بالایی دارد. همچنین جزء یکی از زیرحوضه‌های، حوضه آبخیز کشف‌رود بوده که به نوعی یک حوضه آبخیز شهری نیز محسوب می‌گردد. همچنین با توجه به شواهد و سوابق تاریخی حوضه مطالعاتی، تحقیق حاضر دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالایی نیز می‌باشد. بنابر این، با توجه به موارد بیان شده و اهمیت آورد آبی حوضه آبخیز زشک- ابرده ضروری به نظر می‌رسد که تأثیرات تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده بر رژیم هیدرولوژیکی این حوضه مشخص و در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب قرار گیرد. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدرو- کلیماتولوژی حوضه آبخیز زشک- ابرده در شهرستان طرقله- شاندیز و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی منطقه با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک ( Soil and Water Assessment Tool; SWAT) و بر اساس خروجی ریزمقیاس نمایی شده (با استفاده از روش جداسازی فضائی تصحیح اریبی (Bias correction spatial disaggregation(BCSD)) تغییر اقلیم MIROC-ESM و تجزیه و تحلیل خروجی‌های این مدل با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال می‌باشد. در این مقاله پیش‌بینی‌های آبی در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۴۲-۲۰۱۴)، متوسط (۲۰۷۱-۲۰۴۳) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۲) در مقایسه با دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۹۲) صورت پذیرفت. مهم‌ترین نوآوری این مقاله کاربرد مدل گردش عمومی مندرج در گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در حوضه مطالعاتی در دوره‌های آبی می‌باشد.

## ۲- روش تحقیق

### ۲-۱- خصوصیات منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز زشک- ابرده با مساحتی در حدود ۹۲۲۵/۹ هکتار در محدوده شهرستان طرقله- شاندیز و بخش شاندیز در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

## ۲-۲- شبیه‌سازی هیدرولوژیکی با مدل SWAT

شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در مدل SWAT به دو فاز اصلی تقسیم‌بندی می‌شود: ابتدا، فاز زمین که کنترل کننده میزان ورودی آب، رسوب، عناصر غذایی و آلودگی‌های شیمیایی به کانال اصلی در هر زیرحوضه می‌باشد و سپس فاز آب یا فاز روندیابی که کنترل کننده حرکت آب، رسوب و عناصر غذایی و شیمیایی درون شبکه آبراهه اصلی زیرحوضه تا خروجی هر زیرحوضه است. هر زیرحوضه در مدل به زیرمجموعه‌هایی به نام واحد پاسخ هیدرولوژیک تقسیم‌بندی می‌شود که در واقع واحدهای همگن از لحاظ پارامترهای خاک، کاربری اراضی و شیب می‌باشند (Arnold و همکاران، ۲۰۱۱؛ Memarian و همکاران، ۲۰۱۴؛ Neitsch و همکاران، ۲۰۱۱؛ Afshar و Hassanzadeh، ۲۰۱۷).

در این مطالعه، رواناب سطحی با استفاده از روش سرویس حفاظت خاک (SCS<sup>۱</sup>) محاسبه گردید (USDA-SCS، ۱۹۸۶) و از معادله مانینگ جهت محاسبه نرخ و سرعت جریان و از روش ماسکینگ‌نام نیز جهت روندیابی استفاده شد. نهایتاً، پایگاه داده crop در مدل SWAT جهت بهینه‌سازی پارامترهای رشد گیاه متناسب با منطقه مطالعاتی به روزسازی و رکوردهای اطلاعاتی لازم جهت درج در پایگاه داده خاک نیز به بانک اطلاعاتی مربوطه اضافه گردید.

## ۳-۲- واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل

### SWAT

در این تحقیق از الگوریتم عدم قطعیت SUFI-2<sup>۲</sup> (Abbaspour، ۲۰۰۷) جهت بررسی آنالیز حساسیت، واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT استفاده گردید. الگوریتم فوق برای هر یک از پارامترهای ورودی مدل یک مقدار t-Stat ارائه داده و سپس پارامترهای حساس را مشخص می‌کند.

(Memarian و همکاران، ۲۰۱۴). این الگوریتم حساسیت نسبی را بر پایه تقریب‌های خطی<sup>۳</sup> ارائه می‌دهد، از این رو تنها اطلاعاتی جزئی درباره حساسیت تابع هدف نسبت به پارامترهای مدل را فراهم می‌کند. مقادیر قدر مطلق t-stat میزان حساسیت هر پارامتر را نیز نشان می‌دهد و پارامترهای با مقدار t-stat بیشتر دارای حساسیت نسبی بیشتری می‌باشند. از طرف دیگر، این الگوریتم یک مقدار p-value را برای هر پارامتر به منظور تعیین میزان معنی‌داری حساسیت نسبی آنها ارائه می‌کند که هر چه مقدار آن به عدد صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده معنی‌داری بیشتر حساسیت پارامتر می‌باشد (Memarian و همکاران، ۲۰۱۴). در این الگوریتم عدم قطعیت پارامترها در برگیرنده تمام

منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در مدل‌سازی می‌باشد (Abbaspour، ۲۰۰۷).

محدوده عدم قطعیت در الگوریتم فوق می‌تواند با شناسایی یک محدوده از پارامترها که عدم قطعیت کل داده‌های خروجی را کاهش می‌دهد، محدود گردد. جهت پیدا کردن پارامترهای بهینه، الگوریتم SUFI-2 تجزیه و تحلیل واسنجی و عدم قطعیت را با کم‌ترین تعداد تکرار و کوچک‌ترین پهنای باند عدم قطعیت پیش‌بینی احتمالی ترکیب می‌نماید (Abbaspour و همکاران، ۲۰۱۵) و یک مجموعه از محدوده پارامترها برای تمامی منابع عدم قطعیت (شامل پارامترها، مدل مفهومی، داده‌های ورودی و ...) ترسیم می‌گردد. در مدل SWAT، پارامترها، عدم قطعیت‌ها و تجزیه و تحلیل آماری از طریق یک تابع سازگاری مناسب محاسبه می‌گردد. در این تحقیق از تابع سازگاری ناش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف جهت واسنجی الگوریتم SUFI-2 استفاده گردید (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰).

مقدار ایده‌آل این ضریب زمانی حاصل می‌گردد که مقدار آن بین ۰/۷۵ تا ۱ گردد و زمانی که این ضریب بیشتر از ۰/۳۶ باشد، نتایج ممکن است رضایت بخش باشند (Moriasi و همکاران، ۲۰۰۷). درجه عدم قطعیت توسط دو فاکتور به نام‌های r-factor و P-factor محاسبه می‌گردد. P-factor عبارتست از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب (LHS<sup>۴</sup>) به دست آمده، محاسبه می‌گردد (Memarian و همکاران، ۲۰۱۴).

r-factor از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای حاصل می‌گردد. الگوریتم SUFI-2 بدنبال طیفی از پارامترها می‌باشد که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در پهنای باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند. زمانی که صد در صد داده‌های مشاهده‌ای در پهنای باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند، بیش‌ترین مقدار P-factor برابر عدد یک می‌باشد. کم‌ترین مقدار r-factor نیز نشان دهنده عملکرد بهتر مدل می‌باشد (Memarian و همکاران، ۲۰۱۴ و Abbaspour و همکاران، ۲۰۱۵).

جهت اعتبارسنجی، محدوده‌های پارامترهای واسنجی شده بدون هیچ‌گونه تغییرات با یک مرحله تکرار و با همان تعداد شبیه‌سازی یکسان به کار گرفته شده در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳. Linear approximations

۴. Latin Hypercube Sampling; LHS

۱. Soil Conservation Service; SCS

۲. Sequential Uncertainty Fitting-Version 2; SUFI-2

جدول ۱- سناریوهای واداشت تابشی در گزارش ارزیابی پنجم (Van Vuuren و همکاران، ۲۰۱۱)

سناریوها	واداشت تابشی (وات بر مترمربع)	غلظت دی‌اکسید کربن (قسمت در میلیون، ppm)
RCP2.6	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر متر مربع و سپس کاهش می‌یابد	۴۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد
RCP4.5	۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۶۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
RCP6.0	۶/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند	۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ ppm تا سال ۲۱۰۰

جداسازی فضایی تصحیح اریبی (BCSD<sup>۳</sup>) استفاده گردید (Ahmed و همکاران، ۲۰۱۳).

روش BCSD در سه مرحله انجام می‌پذیرد. در مرحله اول اصلاح انحراف آماری شبیه‌سازی‌های مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت در مقیاس شبکه مدل‌های گردش عمومی جو و در گام زمانی ماهانه محاسبه می‌گردد. در مرحله دوم، ریزمقیاس نمائی فضایی از شبکه مدل‌های گردش عمومی به شبکه مورد نظر (محلّی یا منطقه‌ای) انجام می‌پذیرد و در مرحله سوم خروجی‌ها با مقیاس‌های ماهانه به مقیاس زمانی روزانه به طور موقت جداسازی می‌گردند (Brekke و همکاران، ۲۰۱۳ و Afshar و همکاران، ۲۰۱۷). در این تحقیق، تمامی خروجی‌های مدل MIROC-ESM به شبکه‌هایی با قدرت تفکیک پذیری ۰/۵ درجه جهت مقایسه دقیق بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی، ریزمقیاس گردیدند. پس از ریزمقیاس نمائی داده‌های اقلیمی، با توجه به مختصات ایستگاه مشاهداتی زشک- ابرده داده‌های تاریخی چهار ایستگاه در مجاورت ایستگاه مرجع (ایستگاه مشاهداتی زشک) با فواصل نیم درجه استخراج گردید. در گام دوم، اطلاعات تاریخی ایستگاه مرجع و با در اختیار داشتن اطلاعات چهار ایستگاه اطراف آنها به کمک روش فاصله وزنی معکوس (IDW<sup>۴</sup>)، حاصل گردید و در گام نهایی، با استفاده از میانگین‌گیری به روش چند ضلعی تیسن و به صورت وزن‌دهی مکانی- مساحتی، داده‌ها استخراج گردیدند. اعتبار سنجی مدل با استفاده از ضرایب ناش- ساتکلیف (NS)، درصد ضریب اریبی (PBIAS)، نسبت جذر ریشه مربعات خطا به انحراف معیار استاندارد داده‌های مشاهداتی (RSR) و ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - Q_{s,t})^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - \bar{Q}_m)^2} \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{s,t} - Q_{m,t})}{\sum_{t=1}^T Q_{m,t}} * 100 \quad (2)$$

۴. Inverse Distance Weight; IDW

## ۲-۴- مدل و سناریوهای واداشت تابشی در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم

برخلاف سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR4)، در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) از نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP<sup>۱</sup>) استفاده می‌گردد که در جدول (۱) اطلاعات آنها ارائه شده است. سناریوهای جدید انتشار براساس سطح واداشت تابشی<sup>۲</sup> تا سال ۲۱۰۰ میلادی بنا نهاده شده‌اند. از بین جدیدترین مدل‌های مستخرج از گزارش پنجم، مدل MIROC-ESM جهت بررسی تغییرات اقلیم آتی تحقیق حاضر، انتخاب گردید. زیرا این مدل براساس معیارهای ارزیابی بیش‌ترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی حوضه از خود نشان داد که نتایج مطالعات Afshar و همکاران (۲۰۱۷)، این نتایج را پشتیبانی و تأیید می‌کند. این مدل شامل چهار سناریوی واداشت تابشی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند (Van Vuuren و همکاران، ۲۰۱۱). به عنوان مثال در RCP2.6، که کم‌ترین میزان انتشار را داراست کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ میلادی به اوج خود یعنی ۳ وات بر مترمربع خواهد رسید و بعد از آن روند کاهشی را دنبال می‌کند. سناریوی RCP4.5، یک سناریوی ثابت با افزایش نیروی واداشت تابشی کل تا سال ۲۰۷۰ میلادی و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ میلادی می‌باشد. همچنین سناریوی RCP8.5، به طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر مترمربع می‌باشد (Chong-Hai و Ying، ۲۰۱۲).

مدل‌های گردش عمومی جو یک فرصت مناسب را جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیم آینده و تحت خطوط سیر مختلف یا سناریوهای واداشت تابشی فراهم می‌آورد. این مدل‌ها دارای وضوح نسبتاً پائین بوده و برای مطالعات در سطح منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند. بنابراین، خروجی این مدل‌ها به منظور استفاده در مقیاس منطقه‌ای بایستی ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس نمائی به منظور تجزیه و تحلیل روند هیدرولوژیکی منطقه‌ای، به دو رویکرد دینامیکی و آماری تقسیم‌بندی می‌شوند. در این تحقیق از روش ریزمقیاس نمائی آماری تحت عنوان روش

۱. Representative Concentration Pathway; RCP

۲. Radiative forcing

۳. Bias correction and spatial disaggregation

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, (X_j - X_i) > 0 \\ 0, (X_j - X_i) = 0 \\ -1, (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$Z_C = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

در روابط فوق  $X_i$  و  $X_j$  داده‌های مربوط به نقطه  $i$  ام و  $j$  ام می‌باشند. مقادیر افزایشی یا کاهش‌ی برای آزمون آماری  $Z_C$  نشان دهنده یک روند رو به بالا یا رو به پایین می‌باشد و اگر  $Z_C$  از آماره توزیع نرمال استاندارد بیشتر باشد روند تغییرات قابل ملاحظه و معنی‌دار می‌باشد (Afshar و همکاران، ۲۰۱۷).

### ۳- نتایج و بحث

مدل SWAT پس از تعریف سه سال دوره گرم کردن (warm up) اجرا گردید و در مجموع ۲۹۴ واحد پاس‌سرخ هیدرولوژیک (HRU<sup>۱</sup>) در ۱۲ زیرحوضه استخراج گردید. نتایج آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی و همچنین تحلیل عدم قطعیت مدل در بخش‌های زیر آورده شده است.

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - Q_{s,t})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - \bar{Q}_m)^2}} \quad (3)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - \bar{Q}_m) * (Q_{s,t} - \bar{Q}_s)}{\left[ \sum_{t=1}^T (Q_{m,t} - \bar{Q}_m)^2 \right]^{0.5} * \left[ \sum_{t=1}^T (Q_{s,t} - \bar{Q}_s)^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (4)$$

در روابط فوق  $Q_{m,t}$ ،  $Q_{s,t}$ ،  $\bar{Q}_m$  و  $\bar{Q}_s$  به ترتیب دبی مشاهداتی، دبی شبیه‌سازی شده، متوسط دبی مشاهداتی، متوسط دبی شبیه‌سازی شده و کل دوره زمانی می‌باشند.

### ۲-۵- تحلیل روند سری‌های زمانی داده‌های اقلیمی

از آنجا که هدف تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل روند تغییرات بارش و دما در مدل گزارش ارزیابی پنجم (MIROC-ESM) و اثرات آن بر رواناب می‌باشد، لذا از آزمون غیر پارامتری من-کندال استفاده گردید. آزمون فوق یک روش آماری است که به طور گسترده‌ای برای تشخیص روند تغییرات در پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون من-کندال به عنوان یک آزمون غیر پارامتری برای تشخیص روند توسط Mann (۱۹۴۵) و به عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیر خطی و نقطه عطف توسط Kendall (۱۹۷۵) فرموله گردید. در این آزمون آماره  $S$  به صورت زیر تعریف می‌گردد (Afshar و همکاران، ۲۰۱۷ و Memarian و همکاران، ۲۰۱۵):

جدول ۲- پارامترهای وارد شده به مدل SWAT-CUP، مقادیر حداقل، حداکثر و نتایج p-value و t-stat پس از آنالیز حساسیت

پارامترها	علامت اختصاری	حداکثر	حداقل	p-value	t-stat
شماره منحنی	CN2	۱	-۰/۲	۰	۲۶/۱۲
ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی	ALPHA_BF	۱	۰	۰/۱۶	۱/۴۱
زمان تأخیر جریان تغذیه آب زیرزمینی	GW_DELAY	۵۰۰	۰	۰/۰۴	-۲/۱۰
فاکتور جبران تبخیر از خاک	ESCO	۱	۰	۰/۲۰	-۱/۲۸
فاکتور جریان برداشت آب گیاه	EPCO	۱	۰	۰/۴۸	۰/۷۱
هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع mm/h	SOL_K	۰/۵	-۰/۵	۰	۳/۱۹
ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک	SOL_AWC	۰/۵	-۰/۵	۰/۸۴	-۰/۲۰
چگالی توده خاک	SOL_BD	۰/۵	-۰/۵	۰	۵/۷۳
متوسط طول شیب m	SLSUBBSN	۰/۵	-۰/۵	۰/۰۲	-۲/۴۲
ضریب زبری دامنه	OV_N	۰/۵	-۰/۵	۰/۱۰	۱/۶۵
درجه حرارت ریزش برف (سانتی‌گراد)	SFTMP	۰/۵	-۵	۰/۳۵	۰/۹۴
درجه حرارت ذوب برف (درجه سانتی‌گراد)	SMFMX	۱۰	۰	۰/۹۳	۰/۰۹
درجه حرارت ذوب برف (درجه سانتی‌گراد)	SMFMN	۱۰	۰	۰/۴۶	-۰/۷۴
ضریب تأخیر دمای توده برف	TIMP	۱۰	۰	۰/۳۴	-۰/۹۵
ضریب تأخیر جریان سطحی	SURLAG	۲۴	۱	۰/۳۱	-۱/۰۲
ضریب مانینگ در کانال اصلی	CH_N2	۰/۵	-۰/۵	۰/۰۵	۱/۹۵
هدایت هیدرولیکی در کانال اصلی	CH_K2	۱۵۰	۰	۰/۹۹	-۰/۰۱

۱. Hydrologic Response Unit; HRU

### ۳-۱- آنالیز حساسیت پارامترهای مدل

جهت تجزیه و تحلیل حساسیت مدل از الگوریتم SUFI-2 در قالب نرم‌افزار SWAT\_CUP به مدل SWAT لینک می‌شود، استفاده گردید. پس از ۵۰۰ مرحله اجراء الگوریتم در نهایت ۱۷ پارامتر در تولید رواناب حوضه مطالعاتی به عنوان پارامترهای مؤثر شناخته شدند. در جدول (۲) مقادیر t-stat و p-value برای پارامترهای مختلف مؤثر در رواناب خروجی حوضه نشان داده شده است. بررسی و مقایسه مقادیر t-stat به دست آمده برای هر پارامتر نشان می‌دهد که پارامترهای SOL\_BD، SOL\_K و CN2، بیشترین میزان حساسیت نسبی و پارامترهای CH\_K2، SMFMX و SOL\_AWC از کم‌ترین میزان حساسیت نسبی برخوردار می‌باشند که نتایج مطالعات Memarian و همکاران (۲۰۱۴) و Arnold و همکاران (۲۰۱۱) نیز تأیید کننده این نتایج می‌باشد.

### ۳-۲- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

با هدف بهبود نتایج شبیه‌سازی دبی حوضه آبخیز زشک- ابرده، مدل SWAT با توجه به اطلاعات ایستگاه هیدرومتری زشک و در مقیاس ماهانه با استفاده از الگوریتم SUFI-2 واسنجی و اعتبارسنجی گردید. فرآیند واسنجی با استفاده از آمار ۷ ساله دبی ماهانه (۲۰۰۶-۲۰۰۰) و اعتبارسنجی آن با استفاده از آمار ۳ ساله دبی ماهانه (۲۰۱۰-۲۰۰۷) انجام پذیرفت. شایان ذکر است که در اکثر ایستگاه‌های مشاهداتی کشور، داده‌ها و اطلاعات ناقص بوده که از عوامل مختلفی (نظیر خطاهای انسانی، خطاهایی دستگاه اندازه‌گیری و ...) حاصل می‌گردد که خود باعث خطا و عدم قطعیت می‌گردد. از طرف دیگر در تحقیق حاضر ۴ درصد داده‌ها و اطلاعات حاصله از ایستگاه مشاهداتی ناقص و مفقود و احیاناً داده‌های پرت می‌باشد که به نسبت کل داده‌های موجود قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

### جدول ۳- پارامترهای حساس در شبیه‌سازی رواناب و مقادیر بهینه آنها پس از فرآیند واسنجی

نام پارامتر	حداکثر	حداقل	مقدار بهینه
CN2	۰/۷	-۰/۲	۰/۶۰۲
ALPHA_BF	۱	۰	۰/۲۸۴
GW_DELAY	۵۰۰	۰	۱۸۱/۲۵۰
ESCO	۱	۰/۰۱	۰/۷۷۵
SOL_K	۰/۵	-۰/۵	۰/۳۴۴
SOL_BD	۰/۵	-۰/۵	-۰/۱۵۸
SLSUBBSN	۰/۵	-۰/۵	۰/۰۷۸
OV_N	۰/۵	-۰/۵	۰/۰۱۱
SURLAG	۲۴	۱	۱۸/۵۱۵
CH_N2	۰/۵	-۰/۵	۰/۳۹۶

ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب  $R^2$ ، و NS بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی صورت پذیرفت (روابط (۱) و (۴)).

ضریب تبیین ( $R^2$ ) بیان کننده بخشی از واریانس کل می‌باشد که به وسیله رابطه خطی موجود بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توجیه می‌گردد. ضریب تبیین بین صفر تا یک تغییر می‌نماید و مقدار بهینه آن برابر یک می‌باشد. ضریب ناش- ساتکیلف نیز بیان کننده اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی می‌باشد. براساس نتایج، مقادیر ضرایب فوق برای مؤلفه رواناب در مرحله واسنجی به ترتیب برابر ۰/۵۲ و ۰/۴۷ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۴۶ و ۰/۴۲ برآورد گردید. مقایسه این شاخص‌ها در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد که مدل در مرحله اعتبارسنجی، ضعیف‌تر عمل نموده است (جدول (۴)). نتایج مدل با توجه به اینکه مقادیر ضریب NS بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ می‌باشد، قابل قبول به شمار می‌رود (Motovilov و همکاران، ۱۹۹۹) ولی در مجموع رضایت بخش نمی‌باشد. دلیل عملکرد نه چندان رضایت بخش مدل را می‌توان به موارد زیر مرتبط دانست:

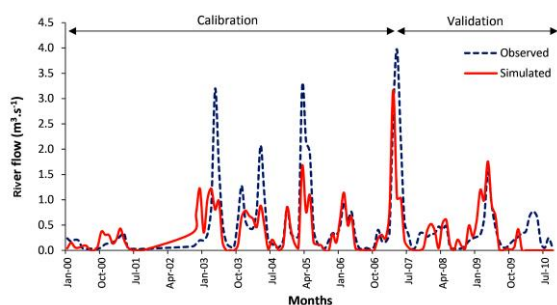
- ۱- وجود خطا در آمار مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری و باران‌سنجی که پرسش و پاسخ از کارشناسان با تجربه در آب منطقه‌ای خراسان رضوی نیز تأیید کننده آن می‌باشد،
  - ۲- آمار و اطلاعات در رابطه با میزان آب برداشت شده از رودخانه توسط باغات و چاه‌های بالادست حوضه موجود نمی‌باشد و
  - ۳- همچنین در خطالرأس حوضه تعدادی چشمه دره‌ای و کنتاکی وجود دارد که آمار دقیق از آن‌ها در فصول مختلف سال در دسترس نمی‌باشد و تنها یک عدد دبی از آن چشمه‌ها موجود است که آن هم تقریبی می‌باشد.
- شکل (۳) نشان دهنده کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های مشاهداتی در طی فرآیندهای واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که مدل مقادیر دبی اوج را کمتر از مقادیر واقعی برآورد نموده است، که متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نیز مؤید این مطلب می‌باشد. همچنین، متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۳۳ و ۰/۳۸ متر مکعب در ثانیه می‌باشد، در حالی که این مقادیر برای داده‌های مشاهداتی در این دو دوره به ترتیب برابر ۰/۴۵ و ۰/۵۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشند.

### جدول ۴- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

شاخص‌های ارزیابی	واسنجی	اعتبارسنجی
$R^2$	۰/۵۲	۰/۴۶
NS	۰/۴۷	۰/۴۲
P-factor	۰/۶۵	۰/۶۰
r-factor	۰/۵۴	۰/۶۰

عملکرد مدل‌سازی قابل قبول بوده، اما مدل SWAT تمایل دارد که جریان‌ات اوج را هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی کم برآورد نماید. این مسئله را می‌توان به کاربرد روش تبخیر تفرق گیاهی که سبب کاهش بیش از حد رواناب برای جریان‌ات اوج می‌گردد و همچنین منجر به شبیه‌سازی بهتر جریان‌ات چندساله می‌شود، نسبت داد. علاوه بر این، آنها تأیید نمودند که با استفاده از روش شماره منحنی (SCS) جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه در مدل SWAT، مدت زمان و شدت بارندگی در نظر گرفته نمی‌شود. این محدودیت برای حوضه‌های آبخیز که در مناطق خشک و نیمه خشک واقع شده‌اند، قابل توجه می‌باشد. کاربرد مدل SWAT جهت برآورد رواناب در دو حوضه کوهستانی نیمه خشک در مرکز ایران توسط Rostamian و همکاران (۲۰۰۸)، مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل واسنجی مدل و عدم قطعیت توسط الگوریتم SUFI-2 انجام پذیرفت. نتایج معیارهای P-factor و r-factor نشان داد که واسنجی مدل نسبتاً قابل قبول بوده و عدم قطعیت‌ها تا حدی کاهش می‌یابد. ضعف مدل جهت شبیه‌سازی رواناب برای برخی ماه‌ها احتمالاً به دلیل ضعف ویژگی‌های فرآیند ذوب برف در این حوضه‌های کوهستانی، عدم وجود داده‌های دبی مناسب و کافی و همچنین، عدم اطلاعات ورودی جهت شبیه‌سازی دبی تخلیه آب زیرزمینی و اندرکنش بین رودخانه و آب زیرزمینی می‌باشد.

براساس تحقیقات اشاره شده، آشکار است که مدل SWAT در بسیاری از حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک ایران و به علت دلایل مختلف (که اکثر آنها در این مطالعه قابل استناد می‌باشند و همچنین به علت عدم وجود داده‌های با دقت بالا) نمی‌تواند عملکرد بسیار بالایی در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه از خود نشان دهد. درجه عدم قطعیت توسط دو فاکتورهای r-factor و P-factor محاسبه گردید.



شکل ۲- مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی پس از فرآیند واسنجی و اعتبارسنجی

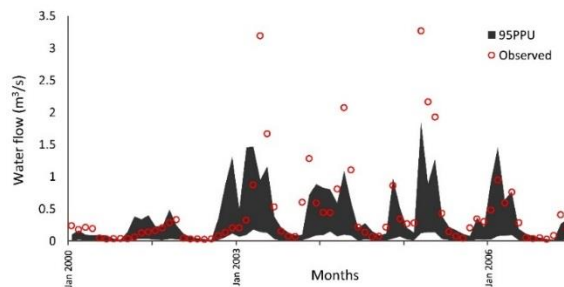
عملکرد نهایی مدل را می‌توان به دلایل زیر مرتبط نمود:  
 ۱- در آمار مشاهداتی ایستگاه هیدرومتریکی و اندازه‌گیری باران، که توسط کارشناسان سازمان مدیریت آب منطقه‌ای تأیید می‌شود، خطا وجود دارد.  
 ۲- مقدار آب استخراج شده از رودخانه توسط باغ‌ها و چاه‌های بالادست حوضه، در دسترس نمی‌باشد و  
 ۳- همچنین تعدادی از دره‌ها و چشمه‌های تماسی در حوضه وجود دارد که فاقد اطلاعات آماری دقیقی از دبی آنها در فصل‌های مختلف سال می‌باشند و تنها آمار یک دبی تخلیه تخمین زده شده از آنها وجود دارد.

عملکرد مدل SWAT و الگوریتم SUFI-2 در چندین حوضه در مناطق نیمه خشک ایران مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، Shafiei و همکاران (۲۰۱۳) عملکرد مدل و الگوریتم فوق را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در یکی از نزدیکترین حوضه‌ها به حوضه مطالعه تحقیق حاضر (حوضه آبخیز نیشابور) مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه، ایستگاه‌های هیدرومتریکی حسین‌آباد و اندراب جهت فرآیند واسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ضرایب  $R^2$  و NS در مرحله واسنجی برای ایستگاه حسین‌آباد به ترتیب برابر  $0.74$  و  $0.65$  و برای ایستگاه اندراب به ترتیب برابر  $0.31$  و  $0.11$  می‌باشند. در فرآیند اعتبارسنجی نیز ضرایب  $R^2$  و NS تغییر قابل توجهی از خود نشان دادند. این ضرایب به ترتیب برای ایستگاه حسین‌آباد برابر  $0.42$  و  $-0.82$  و برای ایستگاه اندراب به ترتیب برابر  $0.06$  و  $-0.17$  حاصل گردیدند. مقادیر ضرایب P-factor و r-factor در مرحله واسنجی و برای ایستگاه حسین‌آباد به ترتیب برابر  $0.67$  و  $1/41$  و برای ایستگاه اندراب به ترتیب برابر  $0.23$  و  $0.25$  به دست آمد. در فرآیند اعتبارسنجی نیز، فاکتورهای فوق به ترتیب برای ایستگاه حسین‌آباد برابر  $0.53$  و  $2/8$  و برای ایستگاه اندراب به ترتیب برابر  $0.3$  و  $0.38$  حاصل گردید. نتایج تأیید نمود که مدل قادر به شبیه‌سازی دقیقی از جریان‌های کم نمی‌باشد. این مشکل توسط ساده‌سازی‌هایی از مدل مفهومی و تعامل پیچیده بین رواناب و جریان زیر سطحی در رخداد‌های بارش کم توجیه می‌گردد. روش مشابهی جهت شبیه‌سازی جریان روزانه برای حوضه آبخیز رودان (به عنوان یک حوضه آبخیز نیمه خشک) که در جنوب کشور ایران واقع شده است، مورد استفاده قرار گرفت (Jajarmizadeh و همکاران، ۲۰۱۲). برای واسنجی مدل، مقادیر NS و  $R^2$  به ترتیب برابر  $0.66$  و  $0.68$  و برای اعتبارسنجی این مقادیر به ترتیب برابر  $0.51$  و  $0.55$  گزارش گردید. آنها همچنین اشاره نمودند که



نتایج آزمون من-کندال و ضریب P-value نشان داد که تغییرات در مؤلفه بارش در تمامی سناریوها روند کاهشی می‌باشد، اما روند آن به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی دار قرار نمی‌گیرد. مطابق جداول (۶) تا (۹) تغییرات درجه حرارت متوسط در برخی دوره‌های زمانی و تحت سناریوهای مختلف از روند معنی‌دار قابل توجهی پیروی می‌کنند. در دوره زمانی آینده نزدیک و میانی تحت سناریوی RCP2.6 تغییرات افزایشی و بدون سطح معنی‌دار ۵٪ می‌باشد. در آینده دور یک روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۵٪ و تحت سناریوی RCP2.6 مشاهده می‌گردد در حالی که، در همین دوره زمانی و تحت سناریوی RCP4.5 تغییرات افزایشی با روند غیرمعنی‌داری رخ خواهد داد. در آینده‌های میانی و دور و تحت سناریوی RCP6.0 روند افزایشی معنی‌دار مشاهده گردید. نهایتاً در آینده میانی و تحت سناریوی RCP8.5 روند افزایشی معنی‌دار مشاهده گردید. درحالی‌که، در دوره‌های زمانی آینده نزدیک و دور تغییرات افزایشی از روند غیر معنی‌دار پیروی می‌کند.

تجزیه و تحلیل روند سالانه متغیرها نشان داد که میزان بارش تحت گرمایش در دوره‌های زمانی آینده تا پایان قرن ۲۱ در این حوضه، کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات کاهشی در مؤلفه بارش و بیشترین روند افزایشی در مؤلفه‌های درجه حرارت تحت بیشترین مسیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5) حاصل می‌گردد. علاوه براین، در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور و تحت سناریوی RCP2.6 تغییرات رواناب کاهشی و روند آن به لحاظ آماری غیر معنی‌دار می‌باشد. در دوره‌های زمانی آینده میانی و دور و تحت سناریوی RCP4.5 یک روند کاهشی معنی‌داری در مؤلفه رواناب وجود دارد و درحالی‌که تغییرات کاهشی در آینده نزدیک در سطح ۵٪ معنی‌دار قرار نمی‌گیرد. در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور تحت سناریوی RCP6.0 تغییرات رواناب کاهشی اما روند آن به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده و در آینده دور و تحت سناریوی RCP8.5 روند کاهشی معنی‌دار و در آینده نزدیک و میانی نیز تغییرات رواناب کاهشی اما روند آن به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. کاهش بارش و همچنین افزایش درجه حرارت در حوضه سبب کاهش میزان رواناب حوضه در دوره‌های آتی خواهد شد به گونه‌ای که امنیت ساکنین منطقه به شدت تحت تأثیر آن قرار خواهد گرفت. نتایج مطالعات صورت گرفته توسط Afshar و همکاران (۲۰۱۷)؛ Javan و همکاران (۲۰۱۳) و Gebre و Ludwig (۲۰۱۵)، نیز نتایج این مطالعه را تأیید و پشتیبانی می‌نماید.



شکل ۳- باند عدم قطعیت رواناب حوضه زشک-ابرد در فرآیند واسنجی

مطابق شکل (۳)، نتایج نشان داد که بیش از ۵۰ درصد داده‌های مشاهداتی در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی درون باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند و ضریب r-factor در اطراف ۰/۵ نوسان می‌کند که این نشان دهنده قطعیت نسبتاً قابل قبول شبیه‌سازی می‌باشد (Abbaspour, Kumar; ۲۰۰۹ و همکاران، ۲۰۱۷ و Ozdemir و همکاران، ۲۰۱۷).

### ۳-۳- نتایج شبیه‌سازی تغییر اقلیم و تجزیه و تحلیل روند تغییرات

پارامترهای دما و بارش با استفاده از روش BCSD برای ۴ سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 و برای ۳ دوره زمانی آینده‌های نزدیک، میانی و دور ریزمقیاس نمایی مکانی شدند (Afshar و همکاران، ۲۰۱۷). با در نظر گرفتن مؤلفه بارش به عنوان مهم‌ترین عامل در بررسی موضوعات اقلیمی، از بین جدیدترین مدل‌های مستخرج در گزارش ارزیابی پنجم، مدل MIROC-ESM که بیشترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی و بر اساس معیارهای ارزیابی از خود نشان داد، انتخاب گردید (جدول ۵). خروجی‌های ریزمقیاس نمایی شده مدل (مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت حداقل و حداکثر در دوره‌های زمانی آینده) در ابتدا وارد مدل SWAT گردید سپس رواناب پیش‌بینی شده برای دوره‌های زمانی آینده استخراج گردید. تجزیه و تحلیل روند سالانه مدل MIROC-ESM و تحت چهار سناریوی انتشار و در سه دوره زمانی آینده در مقایسه با دوره مشاهداتی برای مؤلفه‌های هیدرول- کلیماتولوژیک در جداول (۶) تا (۹) ارائه شده است (اطلاعات داده‌های آینده استخراج و درون‌یابی گردید).

### جدول ۵- نتایج معیارهای ارزیابی مدل MIROC-ESM و Afshar و همکاران، (۲۰۱۷)

مدل منتخب	شاخص‌های ارزیابی مدل			
	RSR	R <sup>2</sup>	PBIAS	NS
MIROC-ESM	۰/۳۳	۰/۹۷	-۲/۸۸	۰/۹۵

جدول ۶- تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- کليما‌تولوژیک تحت سناریوی انتشار RCP2.6

مؤلفه‌های اقلیمی	دوره زمانی	p-value	Zc	روند تغییرات
بارش	آینده نزدیک	۰/۳۹۲	-۰/۰۴۳	↓
	آینده میانی	۰/۷۹۵	-۰/۰۰۹	↓
	آینده دور	۰/۱۶۶	-۰/۰۴۴	↓
درجه حرارت	آینده نزدیک	۰/۰۷۵	۰/۰۲۷	↑
	آینده میانی	۰/۰۹۲	۰/۰۱۵	↑
	آینده دور	۰/۰۳۷	۰/۰۳۵*	↑
رواناب	آینده نزدیک	۰/۳۲۷	-۰/۰۴۱	↓
	آینده میانی	۰/۷۴۵	-۰/۰۱۲	↓
	آینده دور	۰/۱۲۷	-۰/۰۵۷	↓

\* نشان دهنده معنی‌دار بودن روند تغییرات در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۷- تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- کليما‌تولوژیک تحت سناریوی انتشار RCP4.5

مؤلفه‌های اقلیمی	دوره زمانی	p-value	Zc	روند تغییرات
بارش	آینده نزدیک	۰/۳۰۲	-۰/۰۳۴	↓
	آینده میانی	۰/۱۰۳	-۰/۰۴۹	↓
	آینده دور	۰/۲۰۱	-۰/۰۶۱	↓
درجه حرارت	آینده نزدیک	۰/۰۱۵	۰/۰۳۳*	↑
	آینده میانی	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲*	↑
	آینده دور	۰/۴۴۰	۰/۰۱۷	↑
رواناب	آینده نزدیک	۰/۲۱۸	-۰/۰۳۸	↓
	آینده میانی	۰/۰۳۳	-۰/۰۸۲*	↓
	آینده دور	۰/۰۳۶	-۰/۰۸۹*	↓

\* نشان دهنده معنی‌دار بودن روند تغییرات در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۸- تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- کليما‌تولوژیک تحت سناریوی انتشار RCP6.0

مؤلفه‌های اقلیمی	دوره زمانی	p-value	Zc	روند تغییرات
بارش	آینده نزدیک	۰/۵۵۹	-۰/۰۲۵	↓
	آینده میانی	۰/۳۶۵	-۰/۰۳۲	↓
	آینده دور	۰/۸۶۵	-۰/۰۰۳	↓
درجه حرارت	آینده نزدیک	۰/۹۹	۰/۰۰۹	↑
	آینده میانی	۰/۰۱۴	۰/۰۳۴*	↑
	آینده دور	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۵*	↑
رواناب	آینده نزدیک	۰/۵۸۳	-۰/۰۲۱	↓
	آینده میانی	۰/۱۷۲	-۰/۰۵۰	↓
	آینده دور	۰/۸۶۲	-۰/۰۰۶	↓

\* نشان دهنده معنی‌دار بودن روند تغییرات در سطح ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۹- تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرو- کليما‌تولوژیک تحت سناریوی انتشار RCP8.5

مؤلفه‌های اقلیمی	دوره زمانی	p-value	Zc	روند تغییرات
بارش	آینده نزدیک	۰/۲۷۳	-۰/۰۵۲	↓
	آینده میانی	۰/۴۱۸	-۰/۰۳۵	↓
	آینده دور	۰/۲۸۶	-۰/۰۴۰	↓
درجه حرارت	آینده نزدیک	۱/۰۰	۰/۰۲۲	↑
	آینده میانی	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۳*	↑
	آینده دور	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۱	↑
رواناب	آینده نزدیک	۰/۰۷۹	-۰/۰۶۶	↓
	آینده میانی	۰/۱۴۴	-۰/۰۶۳	↓
	آینده دور	۰/۰۴۴	-۰/۰۵۸*	↓

\* نشان دهنده معنی‌دار بودن روند تغییرات در سطح ۵ درصد می‌باشد.

## ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ارزیابی کارایی مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب حوضه زشک- ابرده در استان خراسان رضوی با استفاده از ضرایب  $R^2$  و NS صورت پذیرفت. مقادیر ضرایب فوق در مرحله واسنجی به ترتیب برابر  $0.52$  و  $0.47$  و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب برابر  $0.46$  و  $0.42$  برآورد شدند. به طور کلی، نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه رضایت‌بخش نبوده ولی در مرز قابل قبولی قرار دارد. سپس مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب براساس مقادیر ریزمقیاس نمائی شده (به روش جداسازی فضائی تصحیح اریبی، BCSD) مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت مدل MIROC-ESM (که بیش‌ترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی حوضه از خود نشان داد) به کار گرفته شد.

شبیه‌سازی تغییر اقلیم حوضه نشان داد که بارش در تمامی دوره‌های زمانی دارای تغییرات کاهشی بوده که روند آن به لحاظ آماری در سطح  $5\%$  معنی دار نمی‌باشد و مؤلفه درجه حرارت در تمامی سناریوهای انتشار از یک روند معنی‌دار افزایشی پیروی می‌کند. همچنین، کم‌ترین تغییرات درجه حرارت تحت سناریوی انتشار RCP2.6 و در آینده‌های نزدیک و دور مشاهده گردید. به هر حال، تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در آینده‌های نزدیک و میانی و تحت سناریوی انتشار RCP6.0 در آینده‌های نزدیک، میانی و دور روند افزایشی درجه حرارت به لحاظ آماری دارای سطح معنی‌دار  $5\%$  می‌باشد. تغییرات رواناب تحت سناریوی انتشار RCP4.5 و در آینده‌های میانی و دور و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 و در آینده دور از روند معنی‌دار کاهشی تبعیت می‌کند. رواناب در دوره زمانی آینده نزدیک در سناریوی انتشار RCP4.5 و در آینده‌های نزدیک و میانی تحت سناریوی انتشار RCP8.5 دارای تغییرات کاهشی بوده اما روند آن به لحاظ آماری در سطح  $5\%$  معنی‌دار نمی‌باشد. به طور کلی این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت، بارش و رواناب تا انتهای قرن ۲۱ در حوضه زشک- ابرده به ترتیب روند تغییرات افزایشی، کاهشی و کاهشی را شاهد خواهند بود. روند افزایش پارامترهای اقلیمی دما و به خصوص دمای حداقل می‌تواند بر روی میزان تبخیر و تعرق و همچنین بارش برف در آینده در منطقه تأثیرگذار باشد. بنابر این، میزان رواناب نیز دستخوش تغییر و کاهش خواهد شد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر در واقع چشم‌اندازی مناسبی از شرایط هیدرولوژیکی و اقلیمی حوضه مطالعاتی در دوره‌های زمانی آینده از مؤلفه‌های بارش، درجه حرارت و رواناب، فراهم می‌نمایند که می‌تواند دید بهتری از آینده حوضه برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب ایجاد نماید. پیشنهاد می‌گردد که در این حوضه اثرات تغییر اقلیم بر میزان سطح

سفره‌های آب زیرزمینی، کاربری اراضی و پوشش خاک منطقه جهت تحقیقات بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۵- مراجع

- قربانی م ع، حسینی س ح، حسن‌پور کاشانی م، عباسی ح، "ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از مخزن سد علویان در شرایط تغییر اقلیم آتی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۴، ۴۵ (۷۹)، ۷۲-۵۹.
- Abbaspour KC, "User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs", Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland, 2007.
- Abbaspour KC, "SWAT-CUP2 SWAT Calibration and Uncertainty Programs. Version2", 2009.
- Abbaspour KC, Rouholahnejad E, Vaghefi S, Srinivasan R, Yang H, Kløve B, "A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model", Journal of Hydrology, 2015, 524, 733-752.
- Afshar AA, Hasanzadeh Y, Besalatpour AA, Pourrezabilondi M, "Climate change forecasting in a mountainous data scarce watershed using CMIP5 models under representative concentration pathways", Journal of Theoretical and Applied Climatology, 2017, 129 (1-2), 683-699.
- Afshar AA, Hassanzadeh Y, "Determination of Monthly Hydrological Erosion Severity and Runoff in Torogh Dam Watershed Basin Using SWAT and WEPP Models", Iranian Journal of Science and Technology Transaction of Civil Engineering, 2017, 41 (2), 221-228.
- Ahmed KF, Wang G, Silander J, Wilson AM, Allen JM, Horton R, Anyah R, "Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the US northeast", Journal of Global and Planetary Change, 2013, 100, 320-332.
- Akurut M, Willems P, Niwagaba CB, "Potential Impacts of Climate Change on Precipitation over Lake Victoria, East Africa, in the 21st Century", Journal of Water, 2014, 6 (9), 2634-2659.
- Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R, Williams JR, Haney EB, Neitsch SL, "Soil and Water Assessment Tool input/output file documentation: Version 2009", College Station: Texas Water resources institute technical report, US, 2011, pp.365.
- Brekke L, Thrasher BL, Maurer EP, Pruitt T, "Downscaled CMIP3 and CMIP5 climate projections: release of downscaled CMIP5 climate projections, comparison with preceding information, and summary of user needs", US Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, Colorado, US, 2013.
- Chong-Hai XU, Ying X, "The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 multi-model ensemble", Journal of Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2012, 5 (6), 527-533.

- Motovilov YG, Gottschalk L, Engeland K, Rodhe A, "Validation of a distributed hydrological model against spatial observations", *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 98, 257-277.
- Najafi MR, Moazami S, "Trends in total precipitation and magnitude-frequency of extreme precipitation in Iran, 1969-2009", *International Journal of Climatology*, 2016, 36 (4), 1863-1872.
- Nash JE, Sutcliffe JV, "River flow forecasting through conceptual models: part I. A discussion of principles", *Journal of Hydrology*, 1970, 10 (3), 282-290.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR, "Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009", Texas Water Resources Institute, US, 2011.
- Ozdemir A, Leloglu UM, Abbaspour KC, "Hierarchical approach to hydrological model calibration", *Journal of Environmental Earth Sciences*, 2017, 76 (8), 318.
- Pervez MS, Henebry GM, "Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2015, 3, 285-311.
- Pourtouserkani A, Rakhshandehroo GR, Akbari H, "Comparison of statistical downscaling methods in projecting climate change impact on extreme runoff events in Chenar Rahdar River basin (Iran)", *Journal of Watershed Management*, 2015, 23.
- Rostamian R, Jaleh A, Afyuni M, Mousavi SF, Heidarpour M, Jalalian A, Abbaspour KC, "Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran", *Hydrological Sciences Journal*, 2008, 53 (5), 977-988.
- Shafiei M, Ansari H, Davari K, Ghahraman B, "Calibration and Uncertainty Analysis of a Semi-Distributed Model in a Semi-Arid Region, Case Study: Nishabour Watershed", *Journal of science and technology of agricultural and natural resources, Water and Soil Science*, 2013, 17 (64), 137-149 (In Persian).
- Shanley CS, Pyare S, Goldstein MI, Alaback PB, Albert DM, Beier CM, Brinkman TJ, Edwards RT, Hood E, MacKinnon A, McPhee MV, Patterson TM, Suring LH, Tallmon DA, Wipfli MS, "Climate change implications in the northern coastal temperate rainforest of North America", *Journal of Climatic Change*, 2015, 130 (2), 155-170.
- Sigdel M, Ma Y, "Evaluation of future precipitation scenario using statistical downscaling model over humid, subhumid, and arid region of Nepal-a case study", *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 2016, 123 (3-4), 453-460.
- Telmer K, Bonham-Carter GF, Kliza DA, Hall GE, "The atmospheric transport and deposition of smelter emissions: Evidence from the multi-element geochemistry of snow, Quebec, Canada", *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta (GCA)*, 2004, 68 (14), 2961-2980.
- USDA-SCS, "US Department of Agriculture-soil Conservation Service (USDASCS): Urban Hydrology for Small Watersheds", USDA, Washington, DC. US, 1986.
- Vaghefi SA, Mousavi SJ, Abbaspour KC, Srinivasan R, Arnold JR, "Integration of hydrologic and water
- Cuo L, Zhang Y, Zhu F, Liang L, "Characteristics and changes of streamflow on the Tibetan Plateau: A review", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2014, 2, 49-68.
- Das J, Umamahesh NV, "Multisite Downscaling of Monsoon Precipitation over the Godavari River Basin under the RCP 4.5 Scenario", *World Environmental and Water Resources Congress, Austin, USA, 17-21 May, 2015*.
- Gebre SL, Ludwig F, "Hydrological response to climate change of the upper Blue Nile River Basin: based on IPCC Fifth Assessment Report (AR5)", *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, 2015, 3 (1), 1-15.
- IPCC, "Climate change: The physical science basis. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, 2007, pp 996.
- IPCC, "Climate change: the physical science basis. In: Stocker TF et. al. (eds) Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change", Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.
- Jajarmizadeh M, Harun S, Ghahraman B, Mokhtari MH, "Modeling daily stream flow using plant evapotranspiration method", *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2012, 4 (6), 218-226.
- Javan K, Nasiri saleh F, Taheri Shahraiyini H, "The influences of climate change on the runoff Ghahresoo River watershed", *American Journal of Climate Change (AJCC)*, 2013, 2 (4), 296-305.
- Kendall MG, "Rank correlation methods", 4<sup>th</sup> edn. Charles Griffin, London, 1975, 272p.
- Kumar N, Singh SK, Srivastava PK, Narsimlu B, "SWAT Model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction of the Tons River Basin, India, using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) algorithm. Model", *Journal of Earth Systems and Environment*, 2017, 3 (1), 30.
- Mann HB, "Non-parametric test against trend", *Journal of Econometrica*, 1945, 13, 245-259.
- Masood M, Yeh PJF, Hanasaki N, Takeuchi K, "Model study of the impacts of future climate change on the hydrology of Ganges-Brahmaputra-Meghna basin", *Hydrology and Earth System Sciences*, 2015, 19 (2), 747-770.
- Memarian H, Balasundram SK, Abbaspour KC, Talib JB, Boon Sung CT, Sood AM, "SWAT-based hydrological modelling of tropical land-use scenarios", *Hydrological Sciences Journal*, 2014, 59 (10), 1808-1829.
- Memarian H, Balasundram SK, Abbaspour KC, Talib JB, Sung CTB, Sood AM, "Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale", *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 2015, 38 (2), 139-158.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL, "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations", *Transactions of the ASABE*, 2007, 50 (3), 885-900.

allocation models in basin-scale water resources management considering crop pattern and climate change: Karkheh River Basin in Iran", *Journal of Regional Environmental Change*, 2015, 15 (3), 475-484.

Van Vuuren DP, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt GC, Kram T, Krey V, Lamarque JF, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith SJ, Rose SK, "The representative concentration pathways: an overview", *Journal of Climate Change*, 2011, 109, 95-116.

**EXTENDED ABSTRACT**

## Using the MIROC-ESM Model to Investigate the Hydro-Climatic Conditions of the Small-Scale Watershed under the Impact of Climate Change

Yousef Hassanzadeh<sup>\*</sup>, Amirhosein Aghakhani Afshar

Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 31 October 2017; Accepted: 28 April 2018

---

**Keywords:**

Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Climate change, Fifth assessment report, Emission scenario, Mann-kendall test.

---

### 1. Introduction

Climatic paleontology evidences that climate change has always been present throughout the history of the planet, but the climatic changes of the last century have two distinct features, as compared with past climatic changes. First, human activities play a greater role in the nature of the current climate change. Second, the speed of recent climatic changes is greater, so that, a lot of changes will be occurring in the Earth's atmosphere during a short term (Telmer et al. 2004). Nowadays, global warming has significant effects on precipitation and runoff yield and water resources due to the increased concentration of greenhouse gases (Pervez and Henebry 2015). The average of climatic variables, especially the components of temperature, precipitation and runoff in the annual or seasonal scale, play a predominant role in the hydrological cycle and usually used as an indicator for assessing the climate change on the available water resources of Iran now and especially in the future (Afshar et al. 2017). A number of studies have been done to investigate the impact of climate change on the hydrological components of watersheds in Iran on the basis of the IPCC's Fourth Assessment Report models (AR4). These models together with older emission scenarios have less resolution, in comparison with the Fifth Assessment Report (AR5) models. Thus, climate change studies with higher resolution climate models under the new emission scenarios (RCPs) of the AR5 seem necessary in the watersheds of Iran. Zoshk-Abardeh is one of the important sources of income for the regional villagers and has a high ecotourism potential in Khorasan Razavi Province, Iran. It is considered as an urban watershed and according to the historical evidence has a high flood potential, as well. Therefore, the identification of climate change effects on the hydrologic regime of this watershed is necessary for water resource planners.

### 2. Methodology

#### 2.1. Study area and data set

The Zoshk-Abardeh Watershed as a sub-watershed of the kashafrood basin is located in the west of Mashhad in Khorasan Razavi Province, Iran (Fig. 1). In this study, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was employed for hydrological simulation of the watershed based on the downscaled outputs (using the Bias Correction and Spatial Disaggregation (BCSD) method) of fifth assessment report climate change model (MIROC-ESM) for historical and future time periods. The trend analysis of hydro-climatic records was done according to the non-parametric Mann-Kendall test. The future projection was conducted for the near (2006-2037), mid (2037-2070), and far (2070-2100) future periods related to historical records in the period of 1992-2005.

---

\* Corresponding Author

E-mail addresses: yhassanzadeh@tabrizu.ac.ir (Yousef Hassanzadeh), a.s.a.a.6269@gmail.com (Amirhosein Aghakhani Afshar).

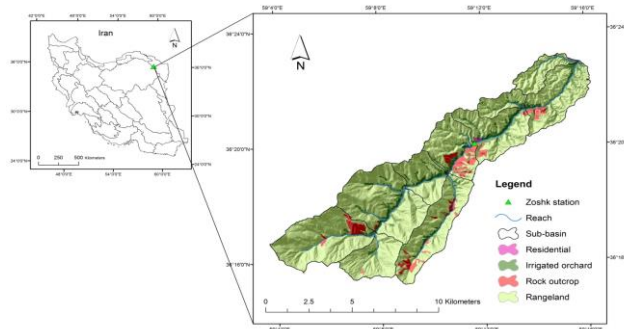


Fig. 1. Geographic location of the study area

## 2.2. SWAT set-up and calibration, validation and uncertainty analysis

In this study, runoff was estimated using the Soil Conservation Service (SCS) method. The Manning equation and Muskingum method were utilized to calculate flow velocity and routing phase, respectively. On the other hand, the SUFI-2 algorithm was employed to calibrate and analyze the sensitivity, and uncertainty of the SWAT model. The sensitivity analysis is based on linear approximation and the degree of uncertainty is calculated by two factors called r-factor and P-factor. The calibration and validation were performed using runoff data in the periods of 2000-2006 and 2007-2010, respectively. The coefficients of determination ( $R^2$ ) and Nash-Sutcliffe (NS) were used as the objective function to determine the goodness of fit.

## 2.4. Radiative forcing scenarios and AR5 models

In the AR5 new emission scenarios based on emission forcing level until 2100 were employed. In order to investigate the future climate change, the Model for Interdisciplinary Research on Climate-Earth System Models (MIROC-ESM) was selected among the newest extracted models presented in the AR5, because the result of this model in kashafrood basin showed the highest agreement with observational data (Afshar et al. 2017). This model consists of four emission forcing scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5) (Table 1).

Table 1. Overview of representative concentration pathways (RCPs)

RCPs	Scenarios
2.6	Peak in radiative forcing at $\sim 3$ W/m <sup>2</sup> ( $\sim 490$ ppm CO <sub>2</sub> equivalent) before 2100 and then decline
4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m <sup>2</sup> ( $\sim 650$ ppm CO <sub>2</sub> equivalent) at stabilization after 2100
6.0	Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m <sup>2</sup> ( $\sim 850$ ppm CO <sub>2</sub> equivalent) at stabilization after 2100
8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m <sup>2</sup> ( $\sim 1370$ ppm CO <sub>2</sub> equivalent) by 2100

## 3. Results and discussion

### 3.1. SWAT sensitivity analysis, calibration and validation analysis

Seventeen parameters were chosen for SWAT sensitivity analysis using the 500 simulations of SUFI-2. Results showed that the parameters CN2, SOL\_BD and SOL\_K have the highest relative sensitivity. Based on the results, the coefficients  $R^2$  and NS for runoff simulation were estimated to be 0.52-0.47 and 0.46-0.42 in the calibration and validation stage, respectively (Table 2). Therefore, the results of the model are acceptable but the model performance it is not satisfactory in general.

Table 2. Goodness of fit statistics and uncertainty metrics during calibration and validation process

Evaluation criteria	Calibration	Validation	Evaluation criteria	Calibration	Validation
$R^2$	0.52	0.46	p-factor	0.65	0.60
NS	0.47	0.42	r-factor	0.54	0.60

Hydrograph of monthly observed and simulated runoff during the calibration and validation periods are shown in Fig. 2-a. The results showed that the model has estimated the amount of peak discharge less than the actual amounts, which is confirmed by the average monthly simulated discharge during calibration and validation periods. The average monthly simulated discharge and the amounts of actual data during calibration and validation periods are 0.33 and 0.38 m<sup>3</sup>/s and 0.45 and 0.50 m<sup>3</sup>/s, respectively. As shown in Fig. 2-b, the results showed that more than 50% of the observational data in both calibration and validation phases are bracketed by the 95PPU uncertainty estimation band, which indicate a rather acceptable degree of certainty in simulation.

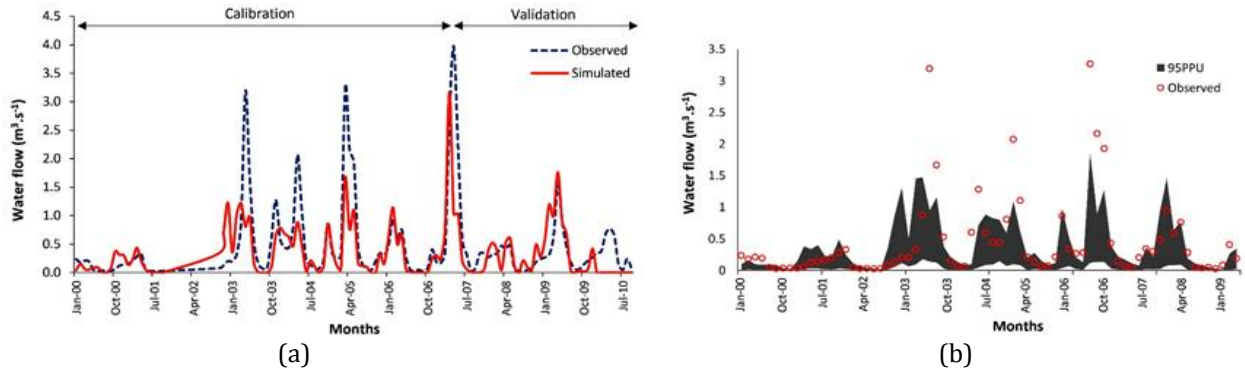


Fig. 2. SWAT model performance: (a) Observed vs. simulated runoff, (b) Observed points overlaid on the 95PPU band.

### 3.2. Climate change simulation results and trend analysis

In the near and mid-future, there are increasing changes under the RCP2.6 scenario, but the trends of rainfall are not statistically significant at the 5% level. In the far-future a significant increasing trend is observed under the RCP2.6 scenario, meanwhile in far-future under the RCP4.5 scenario there are increasing changes, but the trends are not statistically significant. In the mid and far-future under the RCP6.0 scenario, a significant increasing trend has been observed. Finally, in the mid-future under the RCP8.5 scenario, there is a significant increasing trend. However, the increasing changes in the near and far-future periods are not statistically significant at the confidence level of 95%. The trend analysis of variables indicates that the amount of rainfall will decrease in this watershed during the future periods by the end of the 21st century. The most decreasing alterations in the rainfall and the highest increase in the temperature are achieved under the highest concentration of greenhouse gases (RCP8.5). Moreover, in the near, mid, and far-future, the runoff changes are decreasing under the RCP2.6 scenario, but the trend is not statistically significant. In the mid and far-future periods under the RCP4.5 scenario, there is a statistical significant decreasing trend in runoff, however the decreasing variation in the near-future is not significant. In the near, mid, and far-future under the RCP6.0, runoff variations are declining, but the trend is not statistically significant. In the far-future period, under the RCP8.5, there is a significant decreasing trend; however, in the near and mid-future, runoff declining changes are not statistically significant. Reduced rainfall and increased temperature in the watershed will reduce the rate of runoff in the future periods in such a way that the security of the inhabitants of the region will be severely affected.

## 4. Conclusions

Results of evaluation criteria ( $R^2$  and NS) showed that the SWAT performance for the simulation of runoff in the Zoshk-Abardeh watershed was not satisfactory, but it was in an acceptable range. Climate change simulation indicated a decreasing trend for rainfall in all future periods, but this trend was not statistically significant. The temperature variable in all RCPs had an increasing trend. However, temperature trend analysis under the RCP4.5 scenario during the near and mid-future and under the RCP6.0 scenario during the near, mid, and far-future showed a significant upward trend. Runoff under the RCP4.5 scenario during the mid to far-future and under the RCP8.5 scenario during the far-future period followed a significant downward trend. Runoff during the near-future period under the RCP4.5 scenario and throughout the near to mid-future under the RCP8.5 scenario, had declining variations, but its trend was not statistically significant. In general, these results indicated that the amount of temperature will follow an increasing tendency; while rainfall and runoff will follow a decreasing movement in this watershed by the end of the 21st century.

## 5. References

- Afshar AA, Hasanzadeh Y, Besalatpour AA, Pourreza-Bilonidi M, "Climate change forecasting in a mountainous data scarce watershed using CMIP5 models under representative concentration pathways", *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 2017, 129 (1-2), 683-699.
- Pervez MS, Henebry GM, "Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin", *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2015, 3, 285-311.



Telmer K, Bonham-Carter GF, Kliza DA, Hall GE, "The atmospheric transport and deposition of smelter emissions: Evidence from the multi-element geochemistry of snow, Quebec, Canada", *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta (GCA)*, 2004, 68 (14), 2961-2980.