نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
صفحات ۲۷ – ۴۸

شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی بر میانگین و رخدادهای حدی برخی متغیرهای هیدرواقلیمی در حوضه ی آبریز شاندیز

الهام فهیمی نژاد[۱]، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی (گرایش تغییرات آب و هوایی)، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
محمد باعقیده، دانشیار گروه آب و هواشناسی و و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
ایمان بابایان،استادیار اقلیم شناسی،گروه تغییراقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی مشهد، مشهد، ایران.
علیرضا انتظاری، استادیار گروه آب و هواشناسی و و ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، مشهد، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۶/۱۲/۲۱ پذیرش نهایی:۱۳۹۷/۱۰/۲۲

چکیده

دو مشخصه بارز اقلیم آینده تغییر در میانگین و مقادیر حدی متغیرهای هیدرواقلیمی می‌باشد، از این رو شبیه سازی رفتار اقلیم حوضه آبریز شاندیز که یک منطقه گردشگری مهم در شمال‌شرق کشور است در دهه های آینده نقش مهمی در شناخت وضعیت اقلیم و آسیب پذیری احتمالی این مناطقه از تغییر اقلیم دارد. هدف از این پژوهش شناسایی مقادیر حدی دما، بارش و تغییرات رواناب حوضه آبریز شاندیز و مقایسه شرایط پایه و آینده است. برای نیل به این هدف از آمار روزانه دما و بارش روزانه ۳۰ سال آماری (از ۱۹۹۰-۱۹۶۱) ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده شده است. همچنین برای پیش بینی بارش، دمای حداقل و حداکثر در آینده از داده های مدل گردش کلی CanESM۲ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۴۱ استفاده شده است. برای ریزگردانی خروجی مدل CanESM۲ از روش آماری SDSM و برای استخراج مقادیر حدی بارش از نرم افزارRClimDex استفاده شده است. نتایج نشان داد که در دوره آینده نه تنها در مقدار بارش ایستگاه مشهد بلکه در الگوی بارش نیز تغییراتی رخ خواهد داد. بر اساس نتایج بدست آمده، بارش سالانه در دهه ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، بین ۳۷ تا ۵۴ درصد نسبت به دوره ی دیدبانی افزایش می یابد، و میزان افزایش بارش دهه ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بین ۵۲ تا ۶۶ درصد افزایش می یابد. تعداد رخداد بارش های روزانه با شدت های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر در روز، بارش های با آستانه های صدک ۹۵ و ۹۹ دوره های آتی در تمامی فصول ایستگاه مشهد نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) افزایش خواهند یافت. در دهه های آینده میانگین دمای حداکثر مشهد نسبت به دوره مشاهداتی بین ۶/۴ – ۰/۶ درجه سلسیوس و میانگین دمای حداقل بین ۱/۵ تا ۴/۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. از مدل SWAT جهت ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر میزان رواناب حوضه استفاده گردید. بدین منظور ابتدا این مدل با استفاده از دبی ایستگاه هیدرومتری شاندیز برای دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۳، واسنجی و اعتبارسنجی شد که مقادیر R^2 به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵۲ بدست آمد. در ادامه با بکارگیری داده‌های ریزمقیاس شده مدلCanESM۲ در مدل SWAT، تغییرات رواناب خروجی از حوضه طی دوره های ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ شبیه سازی گردید. اعمال نتایج تغییرات بارش و دمای حوضه در دهه های آینده بر مدل SWAT نشان داد که دبی حوضه شاندیز در دهه های آینده بین ۲ تا ۱۰۴ درصد افزایش خواهد یافت.

واژه های کلیدی: گرمایش جهانی، مخاطرات هیدرواقلیمی، مدل GCM، SDSM ، SWAT، حوضه آبریز شاندیز.

[۱] - نویسنده مسئول: Email:elhamfahiminezhad@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

مقدمه

غالب جوامع علمی فرایندهای محیطی را که در محیط زندگی انسان به صورت متخاصم رخ می دهد و انسان ها کنترل اندکی بر آن دارند، با عنوان مخاطرات محیطی مورد بحث قرار می دهند (Bry,۲۰۰۵). بخش قابل توجهی از مخاطرات محیطی را رویدادهای حدی آب و هوایی تشکیل می دهند. پدیده های حدی اقلیمی از قبیل، بارش شدید (سیل ها)، بادهای تند (طوفان ها)، دماهای بالا (امواج گرمایی) و غیره به سبب ندرت در وقوع و عدم سازگاری جوامع بشری و اکوسیستم با آن ها خسارات زیادی را موجب می شوند (Diaz and Murnane, ۲۰۰۸). افزایش رخدادهای حدی یکی از شش چالش بزرگ شناسایی شده توسط برنامه جهانی تحقیقات اقلیمی (WCRP) میباشد. نتایج بدست آمده توسط منابع مختلف نشان میدهد رخدادهای حدی اقلیمی در طول دهه های اخیر افزایش معنی دار داشته اند که این وضعیت موجب افزایش مخاطرات اقلیمی در دهه های آینده می گردد (Ha and Yun, ۲۰۱۲; Fan and Xiong, ۲۰۱۵; Seneviratne et.al, ۲۰۱٤; IPCC, ۲۰۱۳) تغییرات رخدادهای حدی اقلیمی قطعیت بیشتری نسبت به تغییرات در میانگین های فصلی دارند و افزایش وقوع رخدادهای حدی بر زیرساختهای اجتماعی و اقتصادی از قبیل کشاورزی، سلامت، منابع آب، خدمات عمومی تاثیر زیادی می گذارد (Easterling, ۲۰۰۰).در سالهای ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱، برنامه تحقیقات اقلیمی (WCRP/CLIVAR) و کارگروه آشکارسازی تغییراقلیم (WGCCD)[۱]، با همکاری سازمان جهانی هواشناسی[۲](WMO) کارگروهی با هدف تحقیق درباره شیوه های تولید شاخص های حدی اقلیمی با مقیاس روزانه، محدودیت ها و کاربردهای مختلف آنها در بخش های مختلف در سطوح جهان و محلی تشکیل گردید. نتایج کارگروه تخصصی ابتدا منجر به معرفی و توسعه شاخص های حدی متعددی با ویژگیهای متفاوتی از قبیل فراوانی روزانه از قبیل فروانی روزانه (روزهای همراه با بارش سنگین)، صدک ها (صدک ۹۰ ام حداقل دما) و از داده های روزانه دما و بارش گردید، سپس با تحلیل اثرات تغییراقلیم در مناطق مختلف جهان مشخص گردید مناطق مختلف از قبیل آمریکای شمالی، استرالیا، اروپا و .... روندهای متفاوتی را تجربه می کنند(Brunetti et al, ۲۰۰٤; Klein et al, ۲۰۰۲; Zhang, ۲۰۰٦; Folland et al, ۲۰۰۲; Alexander etal, ۲۰۰٦; Beniston et al, ۲۰۰۷; Nandintsetseg et al, ۲۰۰۷; Meehl etal, ۲۰۰۰; Liu et al, ۲۰۰۸, Bell et al, ۲۰۰٤; Karl and Trenberth, ۲۰۰۳، شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸. رحیم زاده و همکاران). هیات بین الدول تغییراقلیم (IPCC) سناریوهای مختلفی را برای پیش یابی چگونگی ادامه روند افزایش گازهای گلخانه ای ارائه کرده است که بر مبنای سناریوهای مختلف، تا پایان قرن ۲۱ میلادی غلظت دی اکسید کربن دو برابر خواهد شد (Grubler, ۲۰۰۷.; Hoogwijk, ۲۰۰۵.). در حال حاضر مدل های گردش عمومی (GCM)، دقیق ترین ابزار برای کمی کردن اثر تغییراقلیم بر روی پارامترهای هواشناسی هستند(IPCC, ۲۰۰۷). هدف این مدل ها شبیه سازی همه ویژگی های سه بعدی آب و هوا می باشد (Hoogwijk, ۲۰۰۹). مزیت GCMs این است که می توانند اطلاعات منطقه ای را برای همه مناطق جهان ارائه دهند. مدل های گردش عمومی هیچ گاه نمی توانند مستقیماً برای پیش بینی های منطقه ای استفاده شوند. آن ها نیازمند ریزمقیاس گردانی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن ها پیش بینی هایشان در مقیاس محلی بهبود یابند. خروجی های مدل های گردش عمومی را می توان به دو صورت دینامیک و آماری ریزمقیاس کرد(Murphy, ۱۹۹۹). در تهیه گزارش پنجم که به تدریج از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ منتشر شد، از برونداد مدل های سری CMIP٥ استفاده گردید. از مدل های سری CMIP٤ در هیچ یک از گزارش های IPCC

۱. World Meteorological Organization

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

استفاده نشد، که انتخاب این سری از مدل ها هم به عهده برنامه جهانی پژوهش های اقلیمی سازمان جهانی هواشناسی-یعنی-WCRP بوده است. این مدل ها از سناریوهای جدید RCP ، شاملRCP های ۲.۶، ۴.۵، ۶ و ۸.۵ استفاده می کنند. تفاوت عمده سناریوهای RCP و SRES در این است که سناریوهای RCP خط سیر توازن واداشت تابشی ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای را تا سال ۲۱۰۰ بر حسب وات بر متر مربع مشخص میکند، مثلا در سناریوی$RCP^{۸,۵}$ ، توازن واداشت تابشی در منتهی الیه جو و در سال ۲۱۰۰ حدود ۸.۵ وات بر متر مربع خواهد بود یعنی تابش ورودی منهای خروجی از جو مثبت ۸.۵ وات بر متر مربع است که این انباشت ۸.۵ وات بر مترمربع در سامانه جو منجر به افزایش دمای کره زمین می گردد، اما سناریوهای سری SRES خط سیر غلظت گازهای گلخانه ای را مشخص می کنند . بنابراین با توجه به انتشار سناریوهای جدید، هر کار تحقیقی هم که بعد از انتشار این داده های انجام می شود، بایستی بر اساس داه های جدید باشد مگر اینکه بخواهیم مطالعات تطبیقی انجام بدهیم. لذا داوران مجلات و پایان نامه این موضوع را مد نظر قرار می دهند و اگر کاری بر اساس سناریوهای قدیمی انجام گیرد، قطعا جای ایراد و اشکال دارد. با انتشار سناریوهای جدید در سالهای اخیر تمرکز زیادی بر استفاده از آنها شده است. (and Stocker, ۲۰۱۰; IPCC, ۲۰۱٤; Kharin et al,۲۰۱۳; Van and Garbrecht, ۲۰۰۳; Taylor et al, ۲۰۱۲; Moss Marengo et al, ۲۰۱٤ et al, ۲۰۱۰; Plattner) در گزارش ارزیابی پنجم IPCC و برخی تحقیقات دیگر، پیش بینی شده است بر اساس سناریوهای RCP، کمینه های دما نسبت به بیشینه های دما افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب های حاره ای افزایش معنی داری در دهه های آینده خواهند داشت (Collins, ۲۰۱۳). به دنبال توسعه سناریوهای RCP، برخی از محققین با استفاده از پیش بینی روند دما در سناریوهای مختلف، اثرات آن ها را بر موضوعات مختلف از قبیل منابع آب، کشاورزی و ..... بررسی نمودند (Deryng et al,۲۰۱٤.)

محققین زیادی در این سالها روند تغییرات دما را با در نظر گرفتن اثرات متفاوتی که بر بخش های مختلف از قبیل کشاورزی دارد بررسی نمودند و با توجه به تفاوت های منطقه ای که در شاخص های حدی دما مشاهده نمودند دریافتند شاخص های بیشینه و کمینه دما با شیب های خطی متفاوت، افزایش معنا داری در آینده خواهد داشت. (Kharin et al, ۲۰۱۳; Chamchati and Bahir, ۲۰۱۱; Muhire and Ahmad, ۲۰۱٦)

در تحقیق بدرال و همکاران(۲۰۱۶) ۲۴ شاخص حدی آب و هوایی شامل دمای حداکثر و حداقل روزانه و بارش روزانه در شمال تایلند با استفاده از داده های ریزمقیاس شده مدل HadCM توسط PRECIS برای دوره آتی (۱۹۶۰-۲۱۰۰) مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس تحقیق یادشده، شاخص ها حاکی از افزایش قابل توجه در تعداد روزهای تابستانی و شب های گرمسیری در آینده داشتند. کاهش قابل ملاحظه ای در تعداد روزها و شب های سرد نیز در منطقه مورد مطالعه انتظار می رود، و کاهش ناچیز در میزان بارش سالانه، تعداد روز با بارش بیش از ۱۰ و ۲۰ میلی متر برآورد شد.

دولابیان(۱۳۹۶) در مطالعه ای اثرات تغییراقلیم بر دما و بارش مناطق مختلف کشور بر اساس سناریوهای RCP را بررسی نمودند. در این مطالعه با بررسی خروجی ۲۵ مدل گردش عمومی جو از سری مدل های $CMIP^{۵}$ نتایج نشان داد که سیر صعودی دما در تمامی مناطق مورد مطالعه وجود دارد. بر خلاف دما، رژیم بارش، در مناطق و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

سناریوهای مختلف، متفاوت می باشد. بارش در مناطق جنوب غرب، افزایش و در مناطق جنوب شرق، کاهش و عدم تغییر در شمال غرب را نشان می دهد.

اثرات تغییراقلیم بر منابع آب به عنوان موضوعی چالش برانگیز در بسیاری از مناطق خشک می باشد. گرم شدن کره زمین منجر به تغییر بیلان تابش از سطح زمین، گردش اتمسفر، تغییر توزیع مکانی و زمانی شدت بارش شده و به چرخش بخار آب سرعت می بخشد، همچنین ویژگی های هیدرولوژیکی از قبیل تبخیر، رواناب و آب خاک را تحت تاثیر قرار می دهد(Merritt et al, ۲۰۰٦; Kundzewicz et al, ۲۰۰۷). با توجه به آن که آب و مسائل مربوط به آن از جمله دغدغه های اصلی بشر در دوره های آتی به حساب می آید جهت مدیریت هرچه بهتر، ضرورت دارد وقوع تغییرات اقلیمی و میزان تاثیرگذاری آن بر منابع آب ارزیابی گردد.

استفاده از مدل های هیدرولوژیکی در برنامه ریزی و مدیریت منابع آب و تحلیل تأثیر تغییرات آب و هوایی بر اجزای آب به تازگی تبدیل به یک قانون گردید (Srinivasan et al, ۱۹۹۸; Mill et al, ۲۰۰۵; Abbaspour et al, ۲۰۰۹ Faramarzi et al, ۲۰۰۹) مطالعات گذشته نشان داده است که تغییرات آب و هوایی می تواند تاثیر قابل توجهی بر میزان آب قابل دسترس، تنش آبی و تقاضای آب داشته باشد. Vörösmarty et al, ۲۰۰۰; Abbaspour et al, ۲۰۰۹; Setegn et al, ۲۰۱۰) (Beyene et al, ۲۰۱۰ ؛ انتخاب یک مدل از بین مدل های هیدرولوژیکی مختلف که بتواند تاثیرات تغییراقلیم را با توجه به شرایط مختلف مدیریت کشاورزی و منابع آبی بر روی سیستم منابع آب یک منطقه شبیه سازی کند، تاثیر بسزایی در ارزیابی اثرات این پدیده و تصمیم گیری بهتر سازمان ها و ذی نفعان مربوط دارد. بررسی تحقیقات انجام شده نشان داده است که مدل SWAT به دلایلی مانند بدون هزینه بودن و قابلیت شبیه سازی همزمان اثرات متقابل متغیرهای هیدرولوژیکی و مدیریت کشاورزی (مانند رواناب، تبخیر و تعرق و آب های زیرزمینی) و متغیرهای گیاهی (مانند عملکرد) در حوضه های پیچیده با شرایط کاربری اراضی و نوع خاک متنوع گزینه مناسبی می باشد.

لیرونگ و جیونین (۲۰۰۸) تاثیر تغییرات آب و هوایی بر میزان رواناب و تبخیر و تعرق با مدل SWAT حوضه بیانگ را بررسی کردند و با قرار دادن ۱۵ سناریو در مدل کالیبره شده تحت کاربری اراضی ثابت به این نتیجه دست یافتند که تغییرات آب و هوایی بر میزان رواناب حوضه موثر است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش بارش و تغییر نکردن دما، میزان تبخیر و تعرق و رواناب بیشتر می شود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۶)، عدم قطعیت هیدرولوژیکی را با ترکیب اثر دو سناریوی انتشار و هشت مدل گردش عمومی برای دو حوضه در شمال غرب اقیانوس آرام مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، اثرات نسبی منابع گوناگون عدم قطعیت بین دو حوضه متفاوت است و تغییرات در نیمه ی دوم زمستان برای حوضه ای برف گیر، به دلیل تفاوت در مقدار و زمان ذوب برف نسبت به حوضه های بارانی بیشتر تحت تاثیر عدم قطعیت مدل هیدرولوژیکی قرار دارد. بنابراین مطالعه اثرات تغییراقلیم در حوضه های برفی به دلیل عدم قطعیت قابل ملاحظه در پارامترهای مدل هیدرولوژیکی نیاز به تفسیر محتاط تر پیش بینی ها دارد. مولینا و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدلSWAT به بررسی اثرات منفی تغییراقلیمی بر منابع آب ترکیه پرداختند، نتایج شبیه سازی نشان داد که تمام مولفه های رژیم آبی کاهش یافته در نتیجه تنش آبی و دما افزایش یافته است. همچنین می توان به مطالعات تان و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه جوهارمالزیا و بیگر و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه های کوهستانی چین در رابطه مستقیم با تغییراقلیم بر دبی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

رودخانه اشاره کرد. پیراس و همکاران(۲۰۱۶) در مطالعه ای با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری، تاثیر تغییراقلیم را بر بارندگی و دبی اوج مناطق مدیترانه ای بررسی کردند، نتایج نشان داد که استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری برای شبیه سازی تغییرات اقلیمی کارایی بالایی دارند.

تان و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه آبریز کلانتان مالزی براساس سناریوهای واداشت تابشی پرداختند. نتایج نشان داد در دوره آینده براساس سناریوهای واداشت تابشی، میزان دما افزایش خواهد داشت. برش در ماه های سرد سال به طور ناچیز افزایش خواهد داشت اما در ماه های گرم نسبت به دوره پایه با کاهش همراه خواهد بود. در اثر افزایش دمای هوا، میزان تبخیر –تعرق پتانسیل نیز افزایش خواهد یافت.

البته باید به این مهم توجه داشت که ارزیابی حساسیت مدل به تغییرات آب و هوایی لزوما یک طرح از عواقب احتمالی تغییرات آب و هوایی را ارائه نمی دهد، با این حال، چنین مطالعاتی بینش ارزشمندی را در حساسیت سیستم های هیدرولوژیکی در آینده به تغییرات اقلیمی فراهم می کنند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱).

از دیدگاه هیدرواقلیمی، مهمترین پیامد تغییر اقلیم، افزایش رخدادهای حدی هیدرواقلیمی در اکثر مناطق کره زمین می باشد، به طوریکه با افزایش میانگین دمای کره زمین وقوع بارش های سنگین و سیل آسا بیشتر شده است. برای کاهش پیامدها و همچنین سازگاری با تغییر اقلیم در زمینه افزایش رخدادهای حدی هیدرولوژیکی نیازمند تغییر در مدیریت آبهای سطحی و رواناب وجود دارد. تغییر در برخی متغیرهای هیدرواقلیمی مانند PMP و PMF و آستانه های بارش های سیل آسا نیازمند تغییر در برخی دستورالعمل های استاندارد مهندسی سازه در طراحی دهانه پل ها، ارتفاع تاج سد ها، طراحی سیستم جمع آوری و مدیریت آبهای سطحی در مناطق شهری می باشد (IPCC,۲۰۱٤).

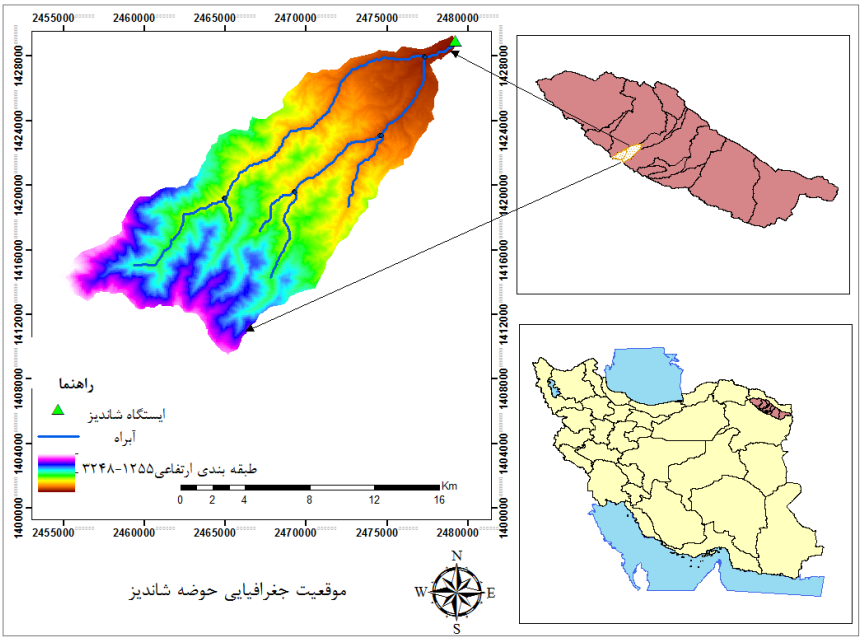
با توجه به افزایش مخاطرات اقلیمی ناشی از افزایش مقادیر متغیرهای حدی اقلیمی در نقاط مختلف دنیا، ایران نیز از این تغییر مستثنی نبوده و اثرات آن در بسیاری از مناطق کشور مشاهده شده است. در این میان حوضه ی آبریز شاندیز، در سالهای اخیر با انواع مخاطرات هیدرواقلیمی از جمله سیل و بارش های ناگهانی و خشکسالی ها پیاپی مواجه بوده است. در این مطالعه به ارزیابی اثر تغییراقلیم بر مقادیر حدی اقلیمی این حوضه با استفاده از ریزمقیاس کردن بارش و دما مدل CanESM۲ با کمک مدل SDSM و شبیه سازی رواناب با مدل SWAT در دهه های آینده پرداخته می شود.

داده ها و روش کار

حوضه ی آبریز شاندیز در طول جغرافیای ´۱۵ °۵۹ تا ´۳۵ °۵۹ و عرض جغرافیایی ´۲ °۳۶ تا ´۴ °۳۶ قرار دارد و از شمال به ارتفاعات هزار مسجد، و از جنوب به ارتفاعات بینالود محدود می شود. این حوضه ی آبریز جزء مناطق کم بارش در ایران محسوب می گردد. بارندگی کم و تبخیر و تعرق و پتانسیل بالای از ویژگی های منطقه محسوب می شود. شکل(۱) موقعیت حوضه ی آبریز شاندیز در ایران و همچنین ایستگاه های مورد مطالعه در سطح حوضه را نشان می دهد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]



شکل (۱): موقعیت حوضه ی آبریز شاندیز در ایران

در این تحقیق از آمار ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در حوضه آبریز شاندیز در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۶۱-۱۹۹۰)، برای ریزمقیاس نمایی بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه استفاده شده است. از آنجایی که خروجی مدل های گردش عمومی جو بزرگ مقیاس می باشند در این تحقیق از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM استفاده شد. سه نوع داده برای ریزمقیاس نمایی توسط مدل SDSM مورد استفاده قرار گرفت که عبارتند از: متغیرهای بزرگ مقیاس در دو دوره گذشته (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و آینده (۲۰۴۱-۲۱۰۰) حاصل از مدل گردش کلی CanESM[۳] ، متغیرهای بزرگ مقیاس باز تحلیل از مرکز پیش بینی های محیطی آمریکا NCEP در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و داده های دیدبانی بارش و دمای حداقل و حداکثر روزانه ایستگاه سینوپتیک مشهد. نرم افزار SDSM روابط آماری را بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس(پیش بینی کننده ها) و محلی(پیش بینی شونده ها) محاسبه می کند. این روابط بر اساس داده های دیدبانی و بازتحلیل NCEP در دوره گذشته(۱۹۹۰-۱۹۶۱) به صورت ماهانه تهیه می شوند . فرض بر این است که این روابط برای آینده نیز صادق است. هر دو داده های دیدبانی و مدل نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نرمالیزه می شوند. پیش بینی کننده های دیدبانی بزرگ مقیاس از داده های بازتحلیل NCEP بدست می آیند(Willby et al, ۲۰۰۲). طول دوره داده های NCEP ۱۹۶۱-۲۰۰۵ می باشد که شامل ۴۵ سال داده های پیش بینی کننده روزانه هستند که قبل از نرمالیزه شدن در شبکه /سلول هایی مشابه با ابعاد مدل گردش عمومیCanESM۲ درونیابی شده اند. با اعمال روابط رگرسیون چندگانه استخراج شده ماهانه در دوره دیدبانی بر روی متغیرهای بزرگ مقیاس برونداد مدل گردش عمومی CanESM۲می توان متغیرهای این مدل را بر روی ایستگاه مذکور ریزمقیاس نمود.

در این تحقیق رفتار رخدادهای حدی اقلیمی وابسته به دما و بارش در ایستگاه مشهد در دور ه مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۶۱، دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریو (RCP۲,۶,RCP۴,۵,RCP۸,۵) پیش بینی می

[۳] Canadian Earth System Model

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

گردد. قبل از مدل سازی تغییرات رخدادهای حدی در دهه های آتی، توانمندی روش مورد استفاده در شبیه سازی میانگین ها و رخدادهای حدی در دوره دیدبانی مورد بررسی و واسنجی قرار گرفتند که نتایج در جدول ۱ آورده شده اند. خطای شبیه سازی بارش ۵/۷- درصد و دما در حد ۰/۱ درجه سلسیوس می باشد. شبیه سازی بارش و دما در سطح اعتماد ۰/۰۵ معنی دار هستند.

جدول۱: کارآیی مدل SDSM در شبیه سازی بارش و میانگین دمای سالانه در دوره دیدبانی

فراسنج	دوره ۹۰-۱۹۶۱	مشهد
میانگین بارش	دیدبانی	۲۵۵
	شبیه سازی	۲۴۰
	خطا(٪)	- ۵/۷
	RMSE	۱۴/۵
میانگین دمای حداکثر	دیدبانی	۲۱/۱۵
	شبیه سازی	۲۱/۱۳
	خطا(^oC)	- ۰/۰۹
	RMSE	۰/۰۱
میانگین دمای حداقل	دیدبانی	۶/۴۸
	شبیه سازی	۶/۳۸
	خطا(^oC)	- ۱/۵
	RMSE	۰/۱

برای ارزیابی شاخص های حدی بارش و دما از نرم افزار RClimDex استفاده شده است. RClimDex به وسیله زانگ و یانگ در شعبه تحققیات علمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه یافته است. (Zhang, ۲۰۰٤). تیم کارشناسی آشکارسازی و نمایش تغییراقلیم و شاخص های (ETCCDI) بر اساس مجموعه استاندارد ۲۷ شاخص حدی در زبان برنامه نویسی R و بر اساس الگوریتم های بهبود یافته و کاهش خطای عددی طراحی کرده است (Zhang, ۲۰۰٤; Zhang and Yang, ۲۰۰٤). ETCCDI به صورت مشترک بوسیله کمیسیون اقلیم شناسی، سازمان جهانی هواشناسی و برنامه جهانی دیدبانی داده ها، تغییرپذیری و پیش بینی اقلیم حمایت می شود (Sillmann and , ۲۰۰۸ Roeckner). نرم افزارRClimDex بر اساس آستانه های تعریف شده برای هر شاخص میزان شیب آن ها را طی دوره آماری محاسبه می کند.

به منظور تحلیل شرایط اقلیمی دوره دیدبانی و آینده، از میان شاخص های معرفی شده توسط مرکز بین المللی ETCCDI[۲]، شاخص حدی دما شامل *TMAXmean*، *TMINmean*، و شاخص های حدی بارش شامل نمایه های حداکثر بارش یک روزه (*Rx1day*)، حداکثر بارش ۵ روزه متوالی(*Rx5day*)، تعداد روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر (*R30mm , R20mm , R10mm*)، جمع سالانه بارش روزهای خیلی تر(*R95 p*)، جمع سالانه بارش روزهای فوق العاده تر(*R99 p*) و جمع سالانه بارش روزهای تر(*PRCPTOT*) محاسبه و روند تغییرات آنها در دوره مشاهداتی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آینده (۲۰۴۱-۲۱۰۰) محاسبه شده است.

در این پژوهش از مدل SWAT نیز جهت شبیه سازی و مدل سازی چشم انداز آتی دبی حوضه آبریز شاندیز استفاده شده است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدلSWAT عبارت اند از بارش، دمای حداقل، حداکثر روزانه،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

رطوبت نسبی و ساعات آفتابی که به صورت فایل اطلاعاتی به مدل معرفی می شود. اطلاعات توپوگرافی(DEM) ، پوشش گیاهی و کاربری اراضی از دیگر داده های بعد از پردازش در محیط GIS به صورت رستر(Grid) در مدل SWAT استفاده شد. دبی ماهانه ایستگاه سر آسیاب شاندیز در یک دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۲) استفاده شد.

مدل SWAT یک مدل فیزیکی و توزیعی است که برای پیش بینی اثر کاربری، تغییراقلیم و مدیریت ها در حوضه های آبریز بزرگ و پیچیده توسعه داده شده است. برای شروع کار با مدل SWAT ۲۰۱۲، ابتدا نقشه رقومی ارتفاعی DEM حوضه آبریز شاندیز به محیط نرم افزار ArcGIS فراخوانده شد. شاخص فیزیوگرافی مختلف حوضه آبریز از مدل رقومی ارتفاعی زمین قابل استخراج هستند. با معرفی نقشه DEM حوضه، ابتدا شبکه آبراهه های حوضه به وسیله مدل SWAT تعیین و ترسیم شد و برای هر آبراهه، نقطه خروجی آن مشخص شد. سپس محدوده و مرز حوضه آبریز با توجه به توپوگرافی شبکه آبراهه ها ترسیم و در پایان حوضه به زیرحوضه های مختلف تقسیم بندی شد. سپس مدل SWAT با استفاده از نقشه های خاک، کاربری اراضی حوضه که به مدل معرفی شده است و همچنین نقشه شیب حوضه (تشکیل شده بوسیله مدل با استفاده از(DEM) زیر حوضه ها را به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRUs) تقسیم می شوند که بخش هایی از زیر حوضه ها با پوشش ها، مدیریت و خصوصیات خاک می باشد. SWAT از روش عدد منحنی اصلاح شده (USDA Soil Conservation Service,۲۰۰۱) یا روش نفوذ Green and Ampt جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU استفاده می کند. برای هر HRU از رابطه شماره ۱ محاسبات در مدل SWAT انجام می گیرد.

$$\Delta SW = \sum_{i=1}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \quad (۱)$$

در این رابطه ΔSW= آب ذخیره شده در خاک، R_{day}= بارش روزانه، Q_{surf}= رواناب سطحی، E_a= تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep}= آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیراشباع وارد می شود و Q_{gw}= جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه می باشد. مقدار رواناب سطحی برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی جداگانه شبیه سازی می شود که باعث افزایش دقت تخمین مدل می شود. در این مطالعه برای واسنجی مدل SWAT از نرم افزار SWAT-CUP استفاده می شود (عباسپور و همکاران). با استفاده از آن واسنجی و عدم قطعیت ها در ارتباط با SWAT به راحتی انجام پذیر است. برای این منظور در این مطالعه از داده های دبی ماهانه ایستگاه سرآسیاب شاندیز در سالهای ۲۰۱۲-۲۰۰۳ ، استفاده شده است که دوره واسنجی مدل دبی ماهانه سال های (۲۰۰۶-۲۰۱۰) و دوره اعتبار سنجی مدل (۲۰۱۱-۲۰۱۲) می باشد. برای ارزیابی نتایج مدل در شبیه سازی رواناب از دو ضریب Nash-Sutcliffe (E_{NS}) و ضریب تعیین (R^2) استفاده خواهد شد. هر چه عدد E_{NS} و R^2 به مقدار یک نزدیکتر باشند، دبی های شبیه سازی شده دقت مطلوب تری خواهند داشت.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})(S_i-\bar{S})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2\sum_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2} \quad (۲)$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})^2} \quad (۳)$$

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

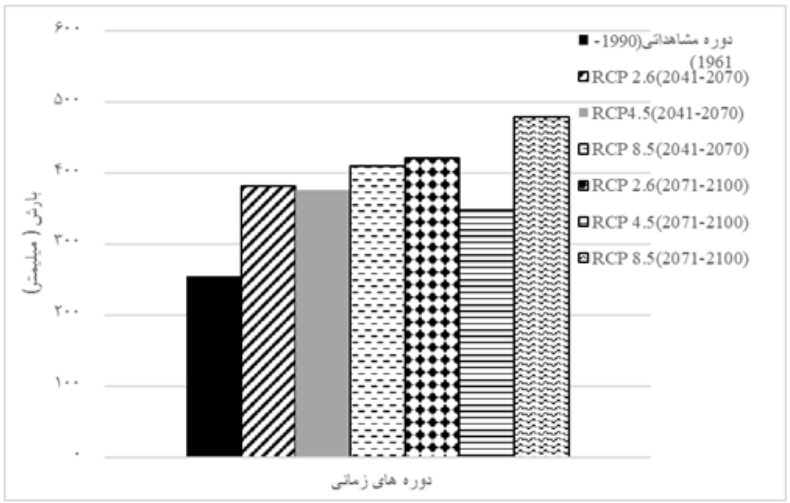
در این روابط $\bar{O}$ و $\bar{S}$ به ترتیب متوسط دبی مشاهداتی و شبیه سازی شده است.

برای تحلیل نتایج واسنجی از شاخص نش – ساتکلیف (NS) استفاده شد. . عموما اگر ضریب ناش ساتکلیف از ۰/۷۵ بیشتر باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، رضایت بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل قبول فرض می شود(ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰). همچنین طبق گزارش موریاسی اگر ضریب ناش ساتکلیف بیشتر از ۰/۶۵ باشد نتایج واسنجی و اعتبار سنجی خیلی خوب، اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ نتایج مناسب و اگر کمتر از ۰/۵ باشد نتایج واسنجی و اعتبارسنجی رضایت بخش نیست(موریاسی ۲۰۰۷).

شرح و تفسیر نتایج

الف- متغیرهای اقلیمی

میانگین بارش: در این تحقیق حاضر ابتدا داده های اقلیمی برای دو دوره آتی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) بر اساس سناریوهای RCP۲٫۶ ، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ مدل CanESM۲ توسط مدل SDSM ریزمقیاس شده است. بارش سالانه ایستگاه مشهد در دوره دیدبانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به مقدار ۲۴۹/۷ میلیمتر می باشد. در جدول ۲، چشم انداز تغییرات بارش در ایستگاه مشهد در دو دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ آورده شده است. همانطور که دیده می شود در ایستگاه مشهد و تحت هر سه سناریوی انتشار میانگین بارش سالانه دوره های آتی نسبت به دوره دیدبانی افزایش یافته است. بیشترین افزایش میانگین بارش ماهانه در دوره های آتی نسبت به دوره ی دیدبانی مربوط به ماه های می و اکتبر می باشد (شکل ۲). بارش سالانه در دهه ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، بین ۳۷ تا ۵۴ درصد نسبت به دوره ی دیدبانی افزایش می یابد، و میزان افزایش بارش دهه ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بین ۵۲ تا ۶۶ درصد افزایش می یابد.



شکل ۲ : تغییرات بارش سالانه (میلیمتر)در ایستگاه مشهد در دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

جدول ۲: درصد تغییرات در میانگین بارش ماهانه در ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲،۶، RCP٤،٥ و RCP۸.

	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۲۰۴۱-۲۰۷۱			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
		RCP ۲،٦	RCP ٤،٥	RCP ۸،٥	RCP ۲،٦	RCP ٤،٥	RCP ۸،٥
ژانویه	۳۴/۱	۳۱/۷	۳۵/۲	۲۹/۳	۳۲/۸	۲۳/۹	۳۴/۶
فوریه	۳۳/۸	۳۵/۸	۳۳/۹	۳۱/۸	۳۰/۴	۳۵	۵۳/۴
مارس	۵۲	۵۷	۴۶/۹	۴۴/۵	۵۵	۵۸	۷۰/۸
آوریل	۴۸/۲	۶۴/۹	۵۶/۵	۶۰/۶	۵۱/۳	۵۴/۳	۵۷/۷
می	۲۹/۷	۸۶/۹	۱۰۸	۱۱۲	۱۵۱	۹۰	۱۰۵
ژوئن	۵/۱	۱۷	۱۳	۹/۸	۱۲	۹/۲	۱۰
جولای	۱	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۳	۲	۱/۴
آگوست	۰/۷	۰/۹	۰/۸	۰/۹	۰/۷	۰/۹	۱/۴
سپتامبر	۱/۳	۴/۸	۹	۱۶/۸	۵	۹/۸	۱۴
اکتبر	۹/۶	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
نوامبر	۱۵	۳۷	۳۳/۸	۳۵/۳	۳۴/۴	۲۴/۷	۴۶/۴
دسامبر	۲۴/۲	۳۵/۵	۲۵/۸	۵۶/۲	۳۶/۲	۲۹/۲۵	۷۳

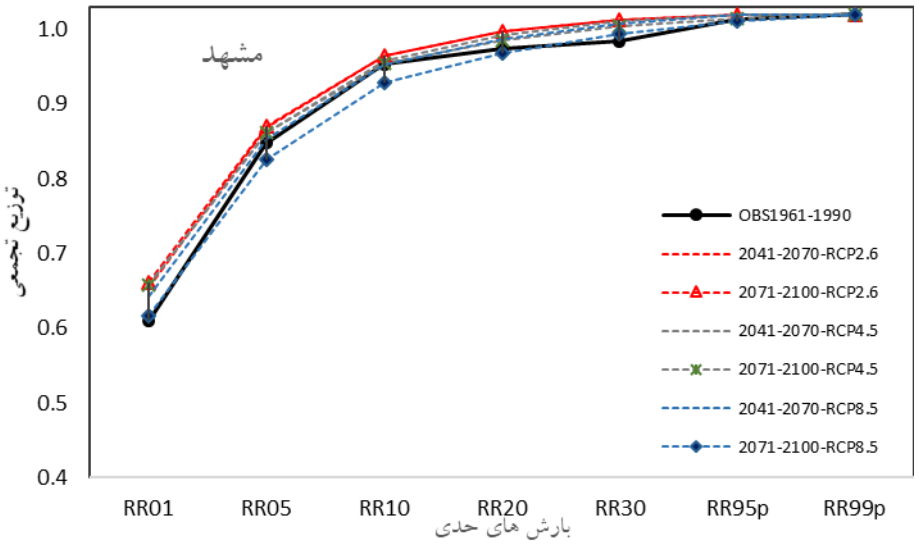
بارش های حدی: جدول(۳) تغییرات تعداد روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر (*R10mm* , *R20mm* , *R30mm*)، مجموع سالانه بارش روزهای خیلی تر(*R95 p*)، مجموع سالانه بارش روزهای فوق العاده تر(*R99 p*) ، را نشان می دهد. با توجه به نتایج بدست آمده تعداد روزهای با بارش سنگین در دو دهه ی آینده نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد. شکل (۳) نشان می دهد، تعداد روزهای با بارش های بیشتر از صدک ۹۵ و ۹۹، در دو دهه ی آینده و تحت هرسه سناریو نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد. بارش های صدک ۹۵ بین ۴۳ درصد تا ۱۱۹ درصد و بارش های صدک ۹۹ بین ۴۷ درصد تا ۹۳ درصد در سالهای (۲۰۴۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابند که نشان از سیل آسا شدن بارش های دهه های آتی و افزایش مخاطرات اقلیمی ناشی از بارش های سنگین و سیل آسا می گردد (جدول ۴). این موضوع در شکل ۳ نشان داده شد است. مطابق شکل مذکور، تابع توزیع تجمعی بارش در دهه های آینده به گونه ای است که نشان از افزایش بارش های حدی دارد.

جدول ۳: درصد تغییرات شاخص های حدی بارش ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲،۶، RCP٤،٥ و RCP۸.

		۲۰۴۱-۲۰۷۰						**۲۰۷۱-۲۱۰۰**					
	دوره مشاهداتی	RCP ۲،٦		RCP ٤،٥		RCP ۸،٥		RCP ۲،٦		RCP ٤،٥		RCP ۸،٥	
		تعداد روز	CV%	تعداد روز	CV%	تعداد روز	CV%	تعداد روز	CV%	تعداد روز	CV%	**تعداد روز**	CV%
RR۱۰	۲۳۲	۳۳۹	۴۶	۳۲۹	۴۲	۳۷۱	۶۰	۳۳۲	۴۳	۳۳۴	۴۴	۴۰۵	۷۵
RR۲۰	۴۹	۱۱۵	۱۳۵	۱۱۴	۱۳۳	۱۲۸	۱۶۱	۱۱۲	۱۲۹	۱۱۴	۱۳۳	۱۶۲	۲۳۱
RR۳۰	۱۹	۵۷	۲۰۰	۶۵	۲۴۲	۷۳	۲۸۴	۵۷	۲۰۰	۶۶	۲۴۷	۱۰۱	۴۳۱
RR۹۵p	۶۶	۱۱۳	۴۷	۱۰۹	۴۳	۱۱۶	۵۰	۱۱۳	۴۷	۱۱۵	۴۹	۱۱۹	۵۳
RR۹۹p	۱۵	۲۳	۵۳	۲۲	۴۷	۲۴	۶۰	۲۳	۵۳	۲۳	۵۳	۳۷	۹۳

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]



شکل(۳): نمودار تابع توزیع تجمعی طبقات مختلف بارش در ایستگاه مشهد

حداکثر بارش در ۵ روزه: یکی از نمایه های حدی استاندارد که توسط سازمان جهانی هواشناسی برای مطالعه تغییر اقلیم توصیه شده است، حداکثر بارش در رویدادهای بارشی با تداوم پنج روزه می باشد. حداکثر بارش ۵ روزه در دو دوره آینده نسبت به دوره دیدبانی افزایش خواهد یافت. در جدول ۴، تغییرات فصلی حداکثر بارش های پنج روزه نشان داده شده است. تغییرات فصلی حداکثر بارش۵روز، در دهه ی ۲۰۷۰-۲۰۴۱، تحت هر سه سناریویRCP افزایش می یابد. و در دهه ی ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سناریوی RCP٤،٥، حداکثر بارش ۵ روزه بدون تغییر می باشد و تحت دو سناریوی RCP٢،٦ و RCP٨،٥ حداکثر بارش ۵ روزه نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد. در فصل تابستان و پاییز میزان تغییرات شاخص حدی مذکور در سال های آینده نسبت به دوره دیدبانی، بیشتر از فصول بهار و زمستان است. این یافته ها همسو با نتایج پژوهش های بابائیان و همکاران(۱۳۸۸) و بابایی فینی(۱۳۹۵) می باشد. افزایش فراوانی رخداد بارش های سنگین احتمال وقوع مخاطرات هیدرواقلیمی(سیل) را افزایش می دهد. از آنجا که افزایش وقوع رخدادهای حدی آب و هوایی بر زیرساختهای اجتماعی و اقتصادی از قبیل کشاورزی، سلامت، منابع آب، خدمات عمومی تاثیر زیادی می گذارد(استرینگ و همکاران، ۲۰۰۰)، لذا پیشنهاد می شود دستورالعمل ها و استانداردهای ساخت تاسیسات زیربنایی گذشته مورد بازنگری قرارگرفته به نحوی که مقاومت سازه ها و تاسیسات نسبت به بارش های سیل آسا افزایش یابد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

جدول ۴: تغییرات فصلی حداکثر بارش های پنج روزه(به میلیمتر) ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵

		بهار		تابستان		پاییز		زمستان	
		بارش mm	CV%	بارش mm	CV%	بارش mm	CV%	بارش mm	CV%
۱۹۶۱-۱۹۹۰	دوره دیدبانی	۲۵/۹		۲/۲		۷/۴		۱۹/۴	
۲۰۴۱-۲۰۷۰	RCP ۲.۶	۳۳/۹	۳۱/۰۵٪	۴/۸	۱۳۶٪	۱۴/۶	۱۰۸٪	۲۰/۲	۵٪
	RCP ۴.۵	۲۵/۹	۰/۲۱٪	۴/۶	۱۳۶٪	۱۳/۶	۹۵٪	۱۹	۰٪
	RCP ۸.۵	۲۸/۷	۱۱٪	۴/۶	۱۳۶٪	۱۴	۹۴٪	۲۰	۵٪
۲۰۷۱-۲۱۰۰	RCP ۲.۶	۳۶/۶	۲۵/۹٪	۴/۲	۹۱٪	۱۵/۲	۱۰۸٪	۱۹	۰٪
	RCP ۴.۵	۳۲/۹	۲۵/۹٪	۴	۹۱٪	۱۴/۵	۹۵٪	۲۱/۱	۱۰٪
	RCP ۸.۵	۳۲/۴	۲۵/۲٪	۵/۲	۱۳۷٪	۱۷	۱۳۵٪	۲۲	۱۵٪

دمای حداکثر: با توجه به شکل ۴، میانگین دمای حداکثر در ایستگاه مشهد تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ افزایش یافته است که افزایش دمای حداکثر در دهه ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بیشتر از دهه ی ۲۰۷۱-۲۰۴۱ می باشد. به طور کلی میانگین دمای حداکثر در تمام فصول در ایستگاه مشهد و تحت هر سه سناریو نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش در میانگین دمای حداکثر فصلی به میزان ۶/۵ درجه سلسیوس در تابستان در دهه ۲۰۸۰ رخ خواهد داد، و بیشترین افزایش میانگین دمای حداکثر ماهانه در ماه ژوئن و جولای در هر دو دوره ی آتی و تحت هرسه سناریوی RCP۲٫۶ ، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ می باشد (جدول ۵).

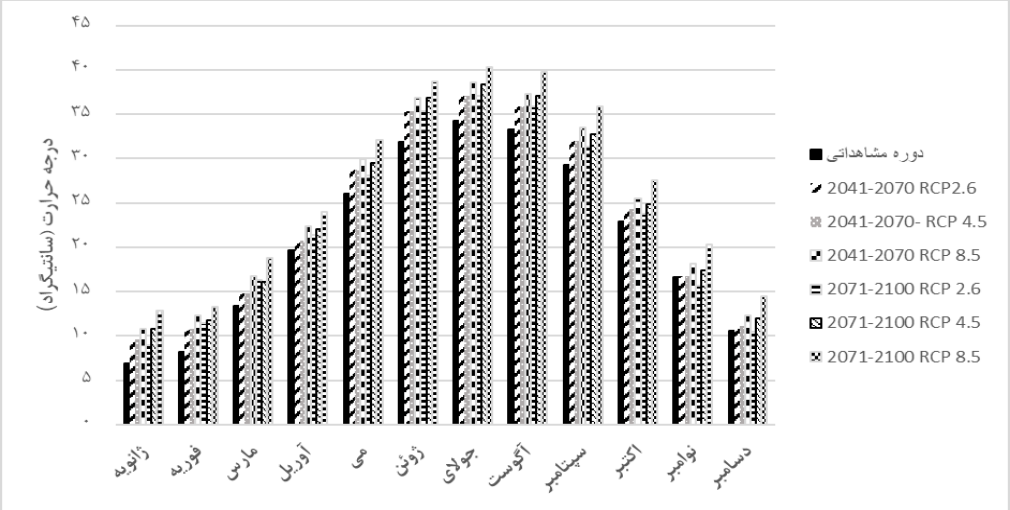
در شکل ۵، مقایسه مقادیر و تایع توزیع حداکثر دمای ماهانه تحت سناریوهای انتشار گوناگون در دو دهه آتی آورده شده است. ملاحظه می شود که ضمن جابجایی الگوی دمای بیشینه به سمت مقادیر بیشتر، ارتفاع منحنی دمای بیشینه نیز نسبت به دمای دوره پایه افزایش یافته است. افزایش دما نقش مهمی در افزایش شدت خشکی که منجر به وقوع بیشتر رخدادهای حدی خشکسالی می شود دارد، همچنین می تواند باعث بیابان زایی، کاهش منابع آب و کاهش تولیدات کشاورزی ناشی از خرابی و نابودی محصولات کشاورزی شود (Chamchati and Bahir, ۲۰۱۱; Fernández et.al, ۲۰۱۳; McFadden and Miranowski, ۲۰۱٤)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

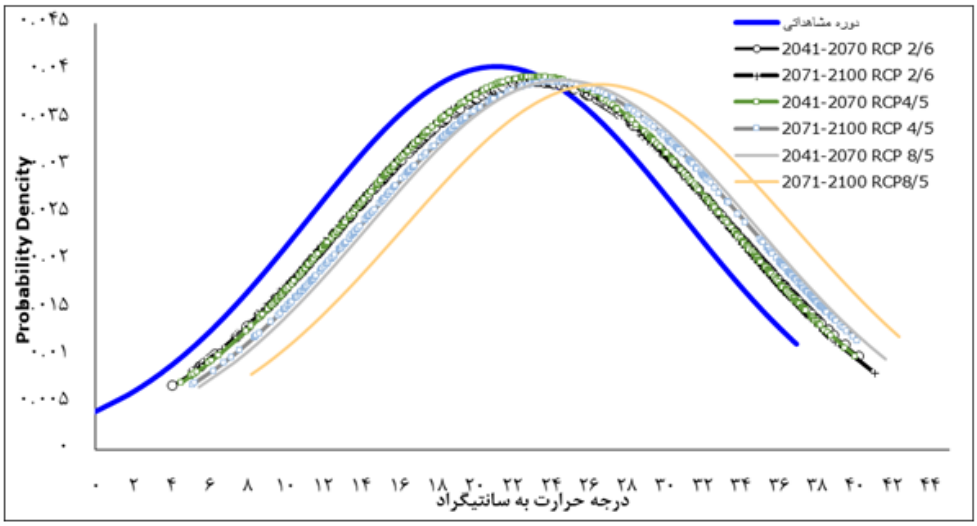
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

جدول(۵): درصد تغییرات میانگین دمای حداکثر(درجه سلسیوس) سالانه و فصلی ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,۶، RCP٤,٥ و RCP۸,٥

	۱۹۶۱-۹۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰			۲۰۷۱-۲۱۰۰		
	دیدبانی	RCP۲/۶	RCP۴/۵	RCP۸/۵	RCP۲/۶	RCP۴/۵	RCP۸/۵
زمستان	۸/۵	۱/۹	۱/۹	۳/۲	۱/۷	۲/۹	۵
بهار	۱۹/۷	۱/۷	۱/۷	۳/۳	۲/۲	۲/۸	۵/۲
تابستان	۳۳/۱	۲/۹۴	۲/۹	۴/۴	۲/۹	۴/۳	۶/۴
پاییز	۲۲/۹	۱/۴	۱/۳	۲/۷	۰/۶	۲	۴/۹
سالانه	۲۱/۱	۲/۰۱	۲	۳/۴	۱/۸	۳	۵/۴



شکل(۴): میانگین دمای حداکثر(سانتی گراد) ماهانه ایستگاه مشهد در دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,۶، RCP٤,٥ و RCP۸,٥

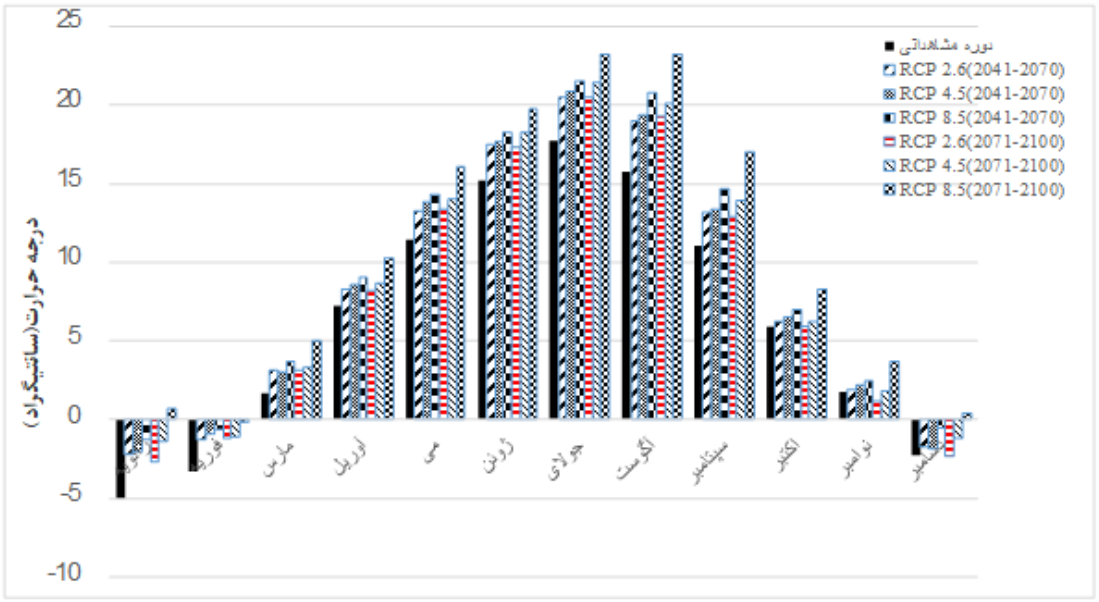


شکل۵: توزیع حداکثر دمای ماهانه در ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,۶، RCP٤,٥ و RCP۸,٥

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

دمای حداقل: با توجه به شکل ۶ میانگین دمای حداقل ماهانه در ایستگاه مشهد در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰۰ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ نسبت به دوره دیدبانی(۱۹۶۱-۱۹۹۰) افزایش یافته است. افزایش میانگین دمای حداقل در دهه ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بیشتر از دهه ی ۲۰۷۱-۲۰۴۱ می باشد. به طور کلی میانگین دمای حداقل در تمام فصول در دوره آتی و تحت هر سه سناریو نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش ضریب تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی به بیش ۱۰۹ درصد مربوط به فصل زمستان در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ سناریوی RCP۸٫۵ می باشد (جدول ۶). یکی از اثرات منفی افزایش دما بر منابع آب از طریق افزایش تبخیر تشدید می گردد و از کم و کیف منابع آب خواهد کاست. از طرف دیگر افزایش دما منجر به تغییر شکل بارش زمستانی در منطقه مورد مطالعه از برف به باران شود (منصوری و همکاران. ۱۳۹۳).



شکل(۶): میانگین دمای حداقل(سانتی گراد) ماهانه ایستگاه مشهد در دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰۰ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵

جدول ۶: درصد تغییرات دمای حداقل فصلی و سالانه ایستگاه مشهد در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰۰ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ نسبت به دوره دیدبانی(۱۹۶۱-۱۹۹۰)

	۱۹۶۱-۱۹۹۰	۲۰۴۱-۲۰۷۰						۲۰۷۱-۲۰۱۰۰					
		RCP۲٫۶		RCP۴٫۵		RCP۸٫۵		RCP۲٫۶		RCP۴٫۵		RCP۸٫۵	
		درجه حرارت	ضریب تغییرات٪	درجه حرارت	ضریب تغییرات٪	درجه حرارت	ضریب تغییرات٪	درجه حرارت	ضریب تغییرات٪	درجه حرارت	ضریب تغییرات٪	درجه حرارت	ضریب تغییرات٪
بهار	۶/۷	۸/۲	۲۱/۸	۸/۵	۲۵/۷	۹	۲۵/۷	۸/۲	۳۳/۵	۸/۶	۲۲/۱	۱۰/۴	۵۵/۱
تابستان	۱۶/۲	۱۹	۱۶/۸	۱۹/۳	۱۸/۸	۲۰/۲	۱۸/۸	۱۹	۲۴/۱	۱۹/۹	۱۶/۹	۲۲	۳۵/۷
پاییز	۶/۲	۷/۱	۱۴/۱۸	۷/۳	۱۷/۹	۸/۰۴	۱۷/۹	۶/۶	۲۸/۸	۷/۳	۶/۸	۹/۶	۵۴/۷
زمستان	- ۳/۵	- ۱/۷	۴۹/۶	- ۱/۶	۵۴/۸	- ۰/۸	۵۴/۸	-۲	۷۷/۳	- ۱/۲	۴۰/۸	۰/۳	۱۰۹/۴
سالانه	۶/۴	۸/۲	۲۶/۴	۸/۴	۳۰/۳	۹/۱	۳۰/۳	۸/۰۱	۴۱/۳	۸/۷	۲۳/۶	۱۰/۷	۶۴/۹

ب- متغیرهای هیدرولوژی

تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی مدل: از آن جایی که امکان این وجود ندارد که تمام پارامترها در فرایند واسنجی استفاده شوند، بنابراین، ابتدا یک انتخاب اولیه از پارامترهای موثر بر جریان صورت می گیرد که

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

براساس حوضه و تحقیقات انجام شده قبلی می باشد. در این مطالعه، با توجه به مطالعات سالهای اخیر که به مطالعه رواناب و جریان رودخانه پرداخته بودند(Yang et al, ۲۰۰۷). ابتدا برای ایستگاه سرآسیاب شاندیز ۲۵ پارامتر انتخاب شد و سپس روش آنالیز حساسیت مطلق (تغییر یکی از پارامترها در حالی که سایر پارامتر ها ثابت نگه داشته شده اند) در نرم افزار SWAT-CUP۲ (Abbaspour, ۲۰۰۹) اجرا شد. ابتدا برای هر پارامتر یک دامنه معقول و نسبتا بزرگ، به صورت نسبی (یعنی: یک بعلاوه / منهای دامنه، ضرب در مقدار اولیه) و یا به صورت دامنه مطلق انتخاب می شود، سپس در نرم افزار مذکور این دامنه به پنج قسمت مساوی تقسیم شده و برای هر مقدار مدل SWAT اجرا می شود و نتایج با داده های مشاهده شده براساس تغییر ایجاد شده در تابع هدف، مقایسه می شوند. در نهایت ۱۲ پارامتر نسبتا حساس مطابق جدول ۷، به دست آمد که در ادامه از آن ها در فرایند واسنجی استفاده شده است.

دوره واسنجی بین سالهای (۲۰۰۶-۲۰۱۰) می باشد، نتایج واسنجی مدل در شکل ۷ آورده شده است. دوره صحت سنجی سالهای ۲۰۱۲-۲۰۱۱ می باشد شکل ۸ دبی شبیه سازی شد در دوره صحت سنجی رانشان می دهد. جدول(۸) وضعیت عملکرد مدل SWAT را در دو دوره واسنجی و صحت سنجی نشان می دهد که با ضریب نش ۰/۶۵ در دوره واسنجی و ضریب نش ۰/۴۹ در دوره صحت سنجی به خوبی توانسته است الگوی تغییرات دبی منطقه مورد مطالعه را شبیه سازی کند.

جدول(۷): مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل SWAT

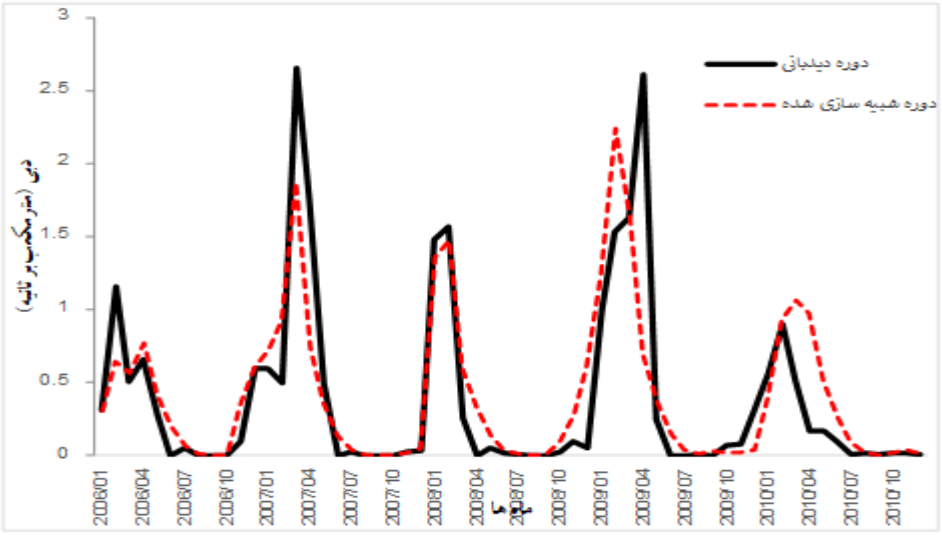
پارامتر	تعریف پارامتر	دامنه تغییرات	مقدار نهایی
CN۲	عدد CN	۳۸-۹۸	۶۳/۶۳
ALPHA_BF	ضریب آلفای آب زیرزمینی	۰-۱	۰/۷۷۱
GW_DELAY	زمان تاخیر جریان آب زیرزمینی (روز)	۰-۳۰۰	۶۲/۵۷
GWQMN	عمق آستانه آب در لایه کم عمق برای اینکه جریان پایه یا برگشتی اتفاق بیفتد.(mmH_2O)	۰-۵۰۰۰	۴۷۲۱/۶۶
SOL_BD	جرم مخصوص خاک (gr/cm^3)	۰/۹ – ۲/۵	۰/۹۵
SOL_K	ضریب هدایت هیدرولیکی در خاک (mm/hr)	۰-۲۰۰۰	۰/۱۸۸
ESCO	فاکتور تبخیر آب از خاک	۰-۱	۰/۶۰۹
EPCO	ضریب جبران جذب گیاه	۰/۰۱ – ۱	۰/۹۲۳
CH_N۲	ضریب مانینگ در رودخانه	۰/۰۱ – ۰/۳	۰/۱۹۳۲۸
CH_K۲	هدایت هیدرولیکی موثر در کانال اصلی	۰-۱۵۰	۳۲/۴۱
SURLAG.bsn	ضریب تاخیر رواناب سطحی (روز)	۱-۲۴	۱/۷۸
SMFMN	نرخ ذوب برف در دسامبر۲۱ ($mmH_2O/°C$- day)	-۵ _۵	۲/۹۸۷

جدول(۸): شاخص عملکرد مدل هیدرولوژی SWAT برای شبیه سازی جریان ماهانه حوضه آبریز شاندیز

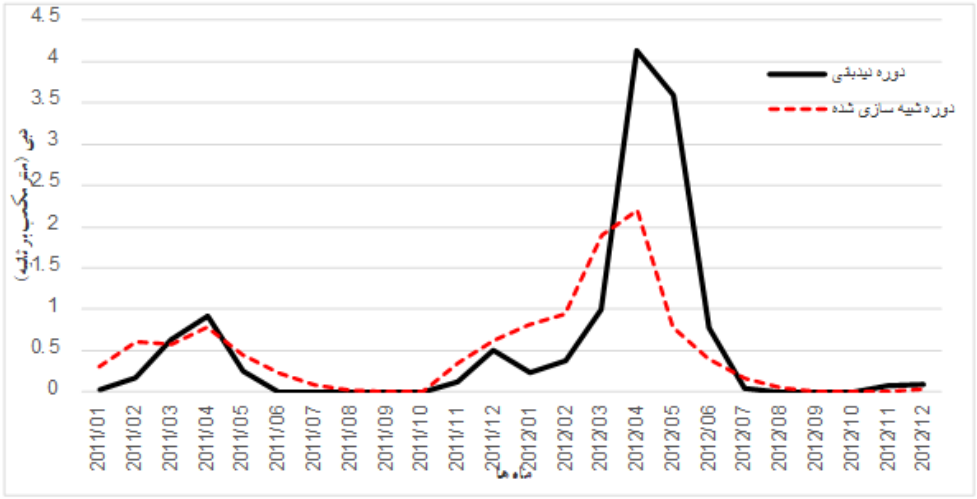
	E_{NS}	R^2
واسنجی ۲۰۱۰-۲۰۰۳	۰/۶۵	۰/۶۵
اعتبارسنجی ۲۰۱۲-۲۰۱۱	۰/۴۹	۰/۵۲

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]



شکل(۷): نتایج واسنجی مدل SWAT برای شبیه سازی جریان ماهانه حوضه آبریز شاندیز (۲۰۰۳-۲۰۱۰)



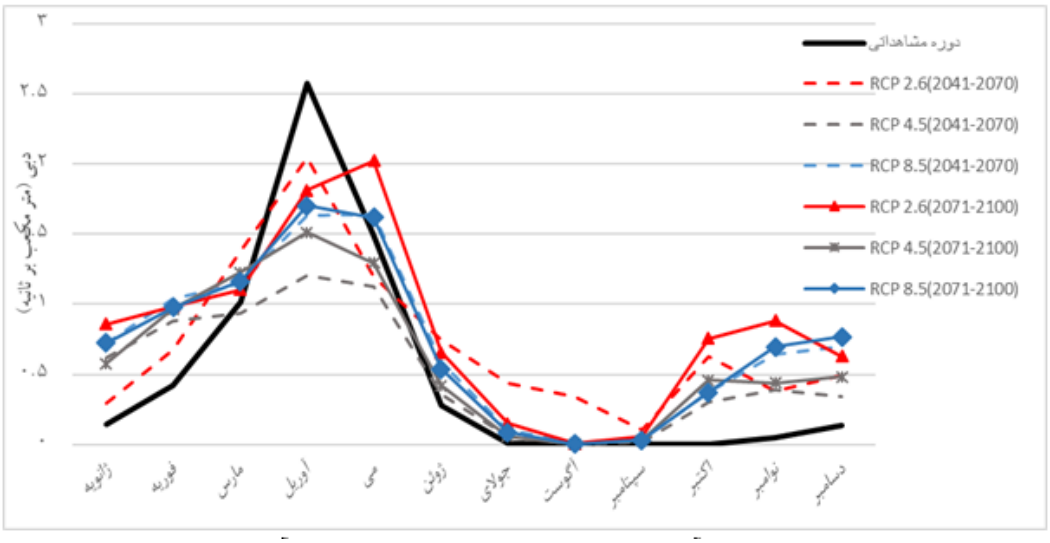
شکل(۸): نتایج ارزیابی مدل SWAT برای شبیه سازی جریان ماهانه حوضه آبریز شاندیز(۲۰۱۱-۲۰۱۲)

نتایج مدل ریزمقیاس نمایی SDSM نشان می دهند که مدل مذکور توانایی شبیه سازی متغیرهای بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل روزانه را در دوره مورد مطالعه دارا بوده و خطای مدل سازی در حد قابل قبولی می باشد، بنابراین می توان از مدل SDSM ریزمقیاس نمایی متغیرهای بارش و دما استفاده کرد. نتایج مدل بارش دبی SWAT نشان می دهد که این مدل توانایی شبیه سازی دبی ماهانه را دارد و خطای مدل سازی در حد قابل قبولی می باشد، لذا از مدل SWAT با لحاظ پارامترهای واسنجی شده می توان در شبیه سازی دبی حوضه استفاده کرد.

شبیه سازی تغییرات رواناب در دهه های آینده: در ادامه با معرفی سری های زمانی ریزمقیاس شده دمای حداکثر و دمای و بارش ریز مقیاس شده توسط مدل SDSM، به مدلSWAT سری زمانی ماهانه رواناب حوضه آبریز شاندیز در ایستگاه سرآسیاب شاندیز برای دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵، شبیه سازی گردید. شکل(۹) سری زمانی دبی ماهانه ایستگاه سرآسیاب شاندیز در دوره ی دیدبانی، و دو دهه ی ۲۰۶۰ و ۲۰۸۰ تحت سه سناریوهای انتشارRCP۲٫۶ ، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵، مدل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

CanESM۲ نشان دهنده افزایش رواناب در تمام ماه های سال بجز ماه های مارس، آوریل و می است. تنها بر طبق سناریوی RCP۲,٦ دهه ی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ در تمام ماه ها دبی ماهانه نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد.. در جدول (۹) مقدار میانگین دبی سالانه ایستگاه سرآسیاب شاندیز در دوره دیده بانی و دو دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۱۰۰ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,٦، RCP٤,٥ و RCP۸,٥ و درصد تغییرات میانگین دبی سالانه دهه های آتی نسبت به دوره دیدبانی آورده شده است. روند متوسط سالانه نشان می دهد دبی در دهه های آتی افزایش خواهد یافت. کمترین افزایش میانگین سالانه دبی مربوط به دهه ی۲۰۴۱-۲۰۷۰ سناریوی RCP٤,٥، با ۱/۵۶ درصد افزایش نسبت به دوره ی دیدبانی است. بیشترین افزایش میانگین سالانه رواناب ماهانه مربوط به دهه ی ۲۰۷۱-۲۱۰۰ سناریوی RCP ۲,٦ با ۱۰۴/۵۳ درصد رواناب نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد. در نتیجه دبی خروجی حوضه شاندیز در ایستگاه سرآسیاب در دهه های آینده بین ۱/۵۶ تا ۱۰۴ درصد افزایش خواهد یافت.



شکل ۹ : میانگین دبی ماهانه در ایستگاه سرآسیاب شاندیز دوره دیدبانی (۲۰۰۳-۲۰۱۲) و دو دوره آتی ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,٦، RCP٤,٥ و RCP۸,٥

جدول ۹: درصد تغییرات در میانگین دبی سالانه ایستگاه سرآسیاب شاندیز نسبت به دوره دیدبانی در دو دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۱۰۰-۲۰۷۱ تحت سه سناریوی انتشار RCP۲,٦، RCP٤,٥ و RCP۸,٥

	دوره دیدبانی		۲۰۷۰-۲۰۴۱		۲۱۰۰-۲۰۷۱	
			دبی	ضریب تغییرات٪	دبی	ضریب تغییرات٪
سرآسیاب شاندیز	۶/۱۳	RCP ۲,٦	۹/۶۳	۵۷/۱۱	۱۲/۵۳	۱۰۴/۵۳
		RCP ٤,٥	۶/۲۲	۱/۵۶	۱۰/۱۹	۶۶/۲۲
		RCP ۸,٥	۱۱/۲۹	۸۴/۱۹	۱۱/۳۵	۸۵/۱۵

نتیجه گیری

در این پژوهش پس از ریزگردانی داده های مدل اقلیمی، شاخص های حدی بارش و دما در سه دوره ۳۰ ساله برای دوره های پایه و آینده مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. میانگین بارش سالانه دهه های آینده ایستگاه مشهد نسبت به دوره دیدبانی افزایش یافته است. بررسی روند نمایه های حدی بارش ایستگاه مشهد در دو دهه ی آینده نشان می دهد، تعداد روزهای با بارش مساوی و یا بیشتر از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر (*R30mm , R20mm , R10mm*)،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

جمع سالانه بارش روزهای خیلی تر(*R95 p*)، جمع سالانه بارش روزهای فوق العاده تر(*R99 p*) و حداکثر بارش ۵ روزه نسبت به دوره دیدبانی افزایش می یابد.

میانگین دمای حداقل و حداکثر ماهانه در ایستگاه مشهد در دو دهه ی آینده نسبت به دوره دیدبانی(۱۹۶۱-۱۹۹۰) افزایش یافته است. افزایش میانگین دمای حداقل و حداکثر در دهه ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بیشتر از دهه ی ۲۰۷۱-۲۰۴۱ می باشد. بیشترین افزایش در میانگین دمای حداکثر فصلی به میزان ۶/۴ درجه سلسیوس در تابستان در دهه ۲۰۸۰ رخ خواهد داد. بیشترین افزایش ضریب تغییرات میانگین دمای حداقل فصلی به بیش از ۱۰۹ درصد مربوط به فصل زمستان در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ بر طبق سناریوی RCP۸،۵ می باشد.

با تلفیق دو مدل اقلیمی SDSM و هیدرولوژیSWAT چشم انداز رواناب حوضه آبریز شاندیز در شمال شرق کشور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این مرحله خروجی های بارش و دما حاصل از مدل SDSM به عنوان ورودی مدل SWAT معرفی شدند، نتایج نشان دادند که دبی خروجی حوضه شاندیز در ایستگاه سرآسیاب به میزان ۶/۲۲ تا ۱۲/۵۳ مترمکعب بر ثانیه معادل ۱/۵۶ تا ۱۰۴ درصد افزایش خواهد یافت.

نتایج این تحقیق می تواند برای سازگاری با تغییر اقلیم و مدیریت مخاطرات جوی و اقلیمی در دستگاههای ذیربط مانند سازمان مدیریت بحران، وزارت جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه ای، سازمان هواشناسی کشور و برنامه های توسعه بلند مدت مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

بابائیان، ایمان؛ زهرا، نجفی نیک. فاطمه، زابل عباسی. مجید، حبیبی نوخندان. حامد، ادب و شراره، ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *مجله جغرافیا و توسعه*، **۱۶**: ۱۵۲-۱۳۶.

بابایی فینی، ام السلمه؛ الهه، قاسمی و ابراهیم، فتاحی. بررسی اثر تغییراقلیم بر روند نمایه های حدی بارش ایران. ۱۳۹۵. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، **۳**: ۱۰۴-۸۶.

دولابیان، شهاب. ۱۳۹۶. بررسی اثر تغییراقلیم بر بارش و دمای مناطق مختلف کشور ایران بر اساس سناریوهای RCP، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود. شاهرود.

منصوری، بهاره؛ حجت، احمدزاده. علیرضا، مساح بوانی. سعید، مرید. مجید، دلاور و سعید، لطفی. ۱۳۹۳. بررسی اثرات تغییراقلیم بر منابع آب حوضه زرینه رود با استفاده از مدل SWAT. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، **۶**: ۱۲۰۳-۱۱۹۱.

Abbaspour, K.C. ۲۰۰۹. User manual for SWAT-CUP۲, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. *Swis Federal Institute of Aquatic Science and Technology*, Eawag, Duebendorf, Switzerland, ۹۵ pages.

Alexander, L.V.; X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, and A. Tagipour. ۲۰۰۶. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111*(D۵.

Badrul, M.M.; P. Soni, S. Shrestha, and N.K. Tripathi. ۲۰۱۶. Changes in Climate Extremes over North Thailand, ۱۹۶۰–۲۰۹۹. *Journal of Climatology*, ۲۰۱۶: ۱۸-۳۳.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

Bell, J.L.; L.C. Sloan, and M.A. Snyder. ۲۰۰٤. Regional changes in extreme climatic events: A future climate scenario. *Journal of Climate*. **۱۷(۱)**: ۸۱-۸۷.

Beniston, M.; D.B. Stephenson, O.B. Christensen, C.A. Ferro, C. Frei. S. Goyette, and K. Woth. ۲۰۰۷. Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, **۸۱(۱)**: ۷۱-۹۵.

Brunetti, M.; L. Buffoni, F. Mangianti, M. Maugeri, and T. Nanni, T. ۲۰۰٤. Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change*, ***40*(۱)**: ۱٤۱-۱٤۹.

Chamchati, H.; and M. Bahir. ۲۰۱۱. Contribution of climate change on water resources in semi-arid areas: Example of the Essaouita Basin (Morocco). *American Journal of Scientific and Industrial Research.* **۲(۲)**: ۲۰۹-۲۱۵.

Cheema, S.B.; G. Rasul, G. Ali, D.H. Kazmi D.H. ۲۰۱۳. A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections. *Pakistan Journal of Meteorology*. ۸: ۳۹-۵۲.

Collins, M.; R. Knutti, J.M. Arblaster, J.L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, and M. Wehner. ۲۰۱۳. *Chapter 12 - Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility.* In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5*. Eds. IPCC, Cambridge: Cambridge University Press.

Deryng, D.; D. Conway, N. Ramankutty, J. Price, and R. Warren. ۲۰۱٤. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, ***9*(۳)**: ۰۳٤۰۱۱.

Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (۲۰۰۰), Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. Science, **۲۸۹(۵٤۸۷)**: ۲۰٦۸-۲۰۷٤.

Fan, L., Xiong, Z. (۲۰۱۵), Using quantile regression to detect relationships between large-scale predictors and local precipitation over northern China, Advances in Atmospheric Sciences, **۳۲(٤)**, pp ۵٤۱-۵۵۲.

Faramarzi, M.; K.C. Abbaspour, R. Schulin, and H. Yang, ۲۰۰۹. Modelling blue and green water resources availability in Iran. *Hydrolgical Processes*. **۲۳**: ٤۸٦–۵۰۱.

Folland, C. K.; T.R. Karl, and M. Jim Salinger. ۲۰۰۲. Observed climate variability and change. *Weather*, **۵۷(۸)**: ۲٦۹-۲۷۸.

IPCC. ۲۰۰۷. Summary for Policymakers in Climate Change, 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. PP. ۱-۱۸.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for Policymakers. In ClimateChange۲۰۱۳: The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the IPCC Fifth Assessment Report Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, ۲۰۱۳.

IPCC. ۲۰۱٤. Annex II: glossary. K. J. Mach, S. Planton, C. von Stechow (Eds.), Climate change ۲۰۱٤: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, pp. ۱۱۷-۱۳۰.

Ha, K. J.; and K. S. Yun. ۲۰۱۲. Climate change effects on tropical night days in Seoul, Korea. *Theoretical and Applied Climatology.* **۱۰۹(۱-۲)**: ۱۹۱-۲۰۳.

Liu, J.; S. Fritz, C. F. A. Van Wesenbeeck, M. Fuchs, L. You, M. Obersteiner, and H. Yang. ۲۰۰۸. A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub-Saharan Africa in the context of global change. *Global and Planetary Change*. ***64*(۳)** :۲۲۲-۲۳۵.

Hoogwij M., Faaij, A., de Vries, B. and Turkenburg, W. ۲۰۰۹. Exploration of Regional and Global Cost-Supply Curves of Biomass Energy from Shortrotion Crops at Abandoned Cropland and Rest Land under Four IPCC SRES Land-use Senarios, Biomass & Bioenergy, **۳۳:** ۲٦-٤۳.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

Kharin, V. V.; F. W. Zwiers, X. Zhang, and M. Wehner, ۲۰۱۳. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP۵ ensemble. *Climatic Change*, ***119*****(۲)**: ۳٤٥-۳٥۷.

Klein T.; F. W. Zwiers, X. Zhang. ۲۰۰۹. Guideline on analysis of extremes in a changing climate in support of inform ed decisions for adaptation, *WMO Publication*, ۷۲: ٥٥pp.

Klein, T,; A. M. G. Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., A. Gocheva, and R. Heino. ۲۰۰۲. Daily dataset of ۲۰th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International journal of climatology*, ***22*****(۱۲):**۱٤٤۱-۱٤٥۳.

Kundzewicz Z.W., Mata L.J., Arnell N.W., D¨oll P., Kabat P., Jim´enez B., Miller K.A., Oki T., Sen Z. and Shiklomanov I.A. ۲۰۰۷. Freshwater resources and theirmanagement. Climate Change ۲۰۰۷: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Parry, M. L. Canziani O. F. Palutikof J. P. van der Linden P. J. and Hanson C. E. Cambridge University Press, Cambridge, UK, ۱۷۳–۲۱۰, ۲۰۰۷.

Marengo, J. A.; S. C. Chou, R. R. Torres, A. Giarolla, L. M. Alves, and A. Lyra. ۲۰۱٤. Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. Working Paper, No ۷۳.

Meehl, G. A.; F. Zwiers, J. Evans, T. Knutson, L. Mearns, and P. Whetton. ۲۰۰۰. Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*. ***81*****(۳)**: ٤۲۷-٤۳٦.

Merritt W.S., Alila Y., Barton M., Taylor B., Cohen S. and Neilsen D. ۲۰۰٦. Hydrologic response to scenarios of climate change in subwatersheds of the Okanagan basin, British Columbia. Journal of Hydrology ۳۲٦, ۷۹-۱۰۸.

Molina E.; D. Trolle, S. Martinez, and A. Sastre. ۲۰۱٤. Hydrological and Water quality impact assessment of a Mediterranean Limon-reservoir under climate change and land use management Scenarios. *Hydrology*, **٥۰۹**: ۳٥٤-۳٦٦.

Moriasi, D. N.; J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, and T. L. Veith. ۲۰۰۷. Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN ۰۰۰۱–۲۳٥۱ Transactions of the ASABE, **٥۰(۳)**: ۸۸٥-۹۰۰.

Moss, R. H.; J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. Van Vuuren, and T. J. Wilbanks. ۲۰۱۰. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. ***۶۶۳*****(۷۲۸۲)**: ۷۴۷–۷٥۶.

Muhire, I.; and F. Ahmed. ۲۰۱٦. Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology*, ***123*****(۱-۲)**: ۳۹۹-٤۱٤.

Murphy, J. ۹۲۲۲. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. Journal of Climate, **۱۹(٥)**: ۰۰۲٦-۰۰۲۲.

Nandintsetseg, B.; J. S. Greene, and C. E. Goulden. ۲۰۰۷. Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hövsgöl, Mongolia. *International Journal of Climatology*, ***27*****(۳)**: ۳٤۱-۳٤۷.

Nash J. E.; and J. V. Sutcliffe. ۱۹۷۰. River flow forecasting through conceptual models. Part I –A discussion of principles. *Journal of Hydrology* ۱۰: ۲۸۲–۲۹۰.

Plattner, G. K.; T. F. Stocker. ۲۰۱۰. From AR٤ to AR٥: New Scenarios in the IPCC Process. Workshop Report.

Piras, M.; G. Mascaro, R. Deidda, and E. Vivonia. ۲۰۱٦. Impacts of climate change on precipitation and discharge extremes through the use of statistical downscaling approaches in a Mediterranean basin. *Total Environment*. **٥٤۳:** ۹٦٥– ۹۸۰.

Seneviratne, S. I.; M. G. Donat, B. Mueller, and L. V. Alexander. ۲۰۱٤. No pause in the increase of hot temperature extremes. Nature Climate Change,**٤(۳)**: ۱٦۱-۱٦۳.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

Setegn S. G. ۲۰۱۰. Modeling hydrological and hydrodinamic prosseses in lake Tana basin, Ethiopia. KTH. TRITA-LWR PhD Thesis ۱۰۵۷. Royal Institute of Technology. Sweden. Sudheer CH, Nitin ABK, Panigrahi BK and Shashi M, ۲۰۱۳. Streamflow forecasting by SVM with quantum behaved particle swarm optimization. Neurocomputing ۱۰۱: ۱۸–۲۳.

Sillmann, J. and E. Roeckner. ۲۰۰۸. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. Climatic Change. ۸۶: ۸۳-۱۰٤.

Tan, M. L., Yusop, Z., Chua, V. P., & Chan, N. W. (۲۰۱۷). Climate change impacts under CMIP۵ RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. Atmospheric Research, ۱۸۹: ۱-۱۰.

Taylor, K. E.; R. J. Stouffer, and G. A. Meehl. ۲۰۱۲. An overview of CMIP۵ and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, ***93*****(٤)**: ٤۸۵-٤۹۸.

Vaghefi, S.A.; S. J. Mousavi, K. C. Abbaspour, R. Srinivasan, H. Yang. ۲۰۱٤. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *Hydrol. Process*. ۲۸:۲۰۱۸–۲۰۳۲.

Van Liew M.W.; and J. Garbrecht J. ۲۰۰۳. *Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT*. Journal of the American Water Resources Association ۳۹:٤۱۳-٤۲٦.

Willby, R. L., C. W. Dawson, and E. M. Barrow. ۲۰۰۲. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, **۱۷:** ۱٤۵-۱۵۷.

Zhang, X.; G. Hegerl, F.W. Zwiers, and J. Kenyon, ۲۰۰٤: Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. *J. Climate*, submitted.

Zhang, X.; and F. Yang. ۲۰۰٤. RClimDex (۱،۰) User Manual. Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada

Zhang, Q.; C. Liu, C. Xu, Y. Xu, Y, and T. Iang. ۲۰۰٦. Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past ۱۳۰ years in the Yangtze River basin, China. *J. Hydrol*. **۳۲٤**: ۲۵۵-۲٦۵.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jsaeh.6.3.27]