



مدلسازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه آبخیز متأثر از تغییر رژیم بارش در آینده (مطالعه موردی حوضه‌های آبخیز حسین‌آباد راین و تلنگو بم، استان کرمان)

علی سلمان‌زاده یزدی^۱، مهدی حیات‌زاده^{۲*}، علی فتح‌زاده^۳، محمدرضا فاضل‌پور^۴

^۱ کارشناس‌ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

^۳ دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

^۴ دکتری آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

چکیده

تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و چرخه‌ی آب در اکوسیستم‌های طبیعی بسیار جدی است و شناخت کمی این اثرها آمادگی بیشتری برای مقابله با تبعات آن ایجاد می‌کند. هدف از این پژوهش ارزیابی اثر تغییر رژیم بارش به عنوان بخشی از تغییر اقلیم بر رواناب با استفاده از مدل SWAT می‌باشد. بدین منظور جهت مدل‌سازی دو حوضه آبخیز تلنگو و حسین‌آباد در استان کرمان از داده‌های روزانه بارش، دمای حداقل، حداکثر و متوسط روزانه سه ایستگاه هواشناسی بافت، بم و لاله زار در بازه زمانی ۳۰ سال استفاده گردید. همچنین با استفاده از مدل LARS-WG به پیش‌بینی متغیرها برای دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۶۰ تحت سناریو RCP 4.5 پرداخته شد. در ادامه جهت مدل‌سازی رواناب در حوضه‌های مورد مطالعه از مدل مفهومی SWAT استفاده گردید. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل طبق الگوریتم SUFI2 نتایج حاصله مورد آزمون قرار گرفت و در نهایت با استفاده از نتایج مدل‌سازی اقلیم و مدل مفهومی واسنجی شده، رواناب برای دوره آینده شبیه‌سازی گردید. نتایج ارزیابی حساسیت پارامترهای مدل SWAT نشان داد که پارامترهای ضریب آبی که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک و ضریب نفوذ آبخوان مشترک در هر دو حوضه دارای حساسیت بالایی هستند. همچنین در هر دو حوضه برای هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی کارایی نش-ساتکلیف از ۰/۶۵ بیشتر می‌باشد. نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر آبدی حوضه نشان می‌دهد که آبدی حوضه آبخیز حسین‌آباد در آینده نسبت به دوره حال تغییر خواهد داشت. بیشترین کاهش آبدی مربوط به ماه اسفند با تغییر ۳/۱۳ لیتر بر ثانیه و بیشترین افزایش مربوط به ماه بهمن با تغییر ۱۸/۲ لیتر بر ثانیه می‌باشد. همچنین در آینده نزدیک آبدی حوضه آبخیز تلنگو افزایشی نسبت به دوره حال خواهد داشت. دبی ماه‌های دی، اردیبهشت و تیر افزایش و در بقیه ماه‌ها به جز ماه شهریور که بدون تغییرات است، کاهش یافته است. نتایج کلی تحقیق حاضر حاکی از آنست که در آینده نزدیک در اکوسیستم‌های خشک مشابه منطقه مورد مطالعه به دنبال تغییر رژیم بارش‌های حاصل از گرمایش زمین، رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها بویژه در فصل‌های زمستان و بهار تغییر خواهد نمود و وقوع رخدادهای حدی بارش و سیل در این فصل‌ها بیش از پیش محتمل می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل SWAT، مدل LARS-WG، بارش، رواناب، دما.

مقدمه^۱

تغییر اقلیم یا ناهنجاری اقلیمی؛ هر چه بنامیم‌اش واقعیتی است که در این سالها سیطره‌اش را بر زندگی بشر می‌توان دید. تأثیرات تغییر اقلیمی فقط بر میزان

دمای اتمسفر زمین نبوده و سایر متغیرهای اقلیمی را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. به نظر می‌رسد که افزایش جهانی دمای زمین، رطوبت خاک، الگوی بارندگی، سایر عوامل اقلیمی مربوط با پدیده‌های طبیعی و محصولات کشاورزی را به شدت تغییر دهد. از جمله اثرات پدیده تغییر در رژیم

*نویسنده مسئول: mhayatzadeh@ardakan.ac.ir

بارش، افزایش احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر می‌باشد و آگاهی از زمان و مکان این رخدادها در جهت برنامه ریزی سازگاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Callaghan et al., 2022). اقلیم سیستم پیچیده‌ای می‌باشد که به خاطر افزایش گازهای گلخانه‌ای، همواره در حال تغییر است. تغییر اقلیم به آرامی در حال توسعه به همه کره زمین و تأثیر آن بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۰). پژوهش‌های گوناگونی که با استفاده از الگوهای کنونی بارش انجام شده نیز نشان داده است که بالاتر رفتن دما، منجر به افزایش تبخیر و کاهش جریان رودخانه می‌گردد (عابدی، ۱۳۹۳). برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز دارای اهمیت بسیار زیادی در بخش مدیریت منابع آب حوضه می‌باشد. برای پیش‌بینی جریان رودخانه، استفاده از مدل‌های هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و آماری از سابقه به نسبت طولانی‌تری برخوردار است. امروزه با پیشرفت تکنولوژی رایانه‌ای و همچنین پیچیدگی فدهای هیدرولوژیکی، مدل کردن یکی از قوی‌ترین متدها در مدیریت حوضه می‌باشد (Jayakrishnan et al., 2005). به همین منظور از بین مدل‌های هیدرولوژیکی مختلف، مدل ارزیابی آب و خاک^۱ (SWAT) ابزاری موثر برای شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر چرخه هیدرولوژیکی در حوضه‌های مختلف می‌باشد (Arnold et al., 1998). به‌طور کلی مدل‌سازی هیدرولوژیکی در مناطق خشک، فرصت خوبی را برای توسعه روش‌های مدیریت منابع آب و سیل‌خیزی حوضه فراهم آورده است. از طرفی این اقدامات جهت معرفی شرایط خاص مناطق خشک، نیازهای مدیریتی مرتبط با آن، همچنین تعریف اولویت‌های تحقیق و داده‌های هیدرولوژیکی مناسب می‌باشد (Wheater et al., 2007). نادری و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیق خود به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر رواناب، از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش

میزان رواناب در دوره ۲۰۴۲ تا ۲۰۵۰ نسبت به دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در اثر تغییر اقلیم (بارش و دما) بیشتر از میزان کاهش است که در اثر تغییر کاربری اراضی ایجاد می‌شود. رضائی مقدم و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود، بیلان آبی حوضه آبریز لنبران با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از دو روش GLUE و SUFI-2 استفاده نمودند. نتایج حاصل از کاربرد این دو روش نشان داد که روش SUFI-2 دارای الگوریتم موثرتری برای واسنجی و تعیین عدم قطعیت مدل در این حوضه است. بر این اساس با اطمینان بیشتری می‌توان از مدل SWAT واسنجی شده با الگوریتم SUFI-2 در مدیریت منابع آب، کمی‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری در داخل حوضه استفاده کرد. باغبانان و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر وضعیت هیدرولوژی حوضه آبریز حبله‌رود پرداخته‌اند. در این پژوهش تغییرات دما و بارش با استفاده از داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش از سال ۱۹۹۶-۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت و با به کارگیری مدل LARS-WG تغییر اقلیم حوضه آبریز حبله‌رود با استفاده از مدل HadGEM2-ES و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ شبیه‌سازی گردید. سپس با مدل هیدرولوژیکی SWAT وضعیت هیدرولوژیکی رواناب حوضه شبیه‌سازی شد. نتایج مدل اقلیمی در دوره پایه نشان دهنده تطابق کامل این دوره با اختلاف ناچیز با داده‌های مدل‌سازی بود. همچنین مشخص گردید که در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ دما و بارش تقریباً در تمامی ماه‌ها روند افزایشی داشته است. نتایج به دست آمده مدل SWAT نیز نشان داد که همبستگی مناسب و قابل قبولی بین داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی حوضه حبله‌رود وجود دارد. همچنین افزایش بارش در حوضه آبریز منجر به افزایش میزان رواناب سطحی در سطح حوضه مورد مطالعه در دوره پیش‌بینی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ شده است. Bhatta و

^۱ Soil and water Assessment Tool (SWAT)

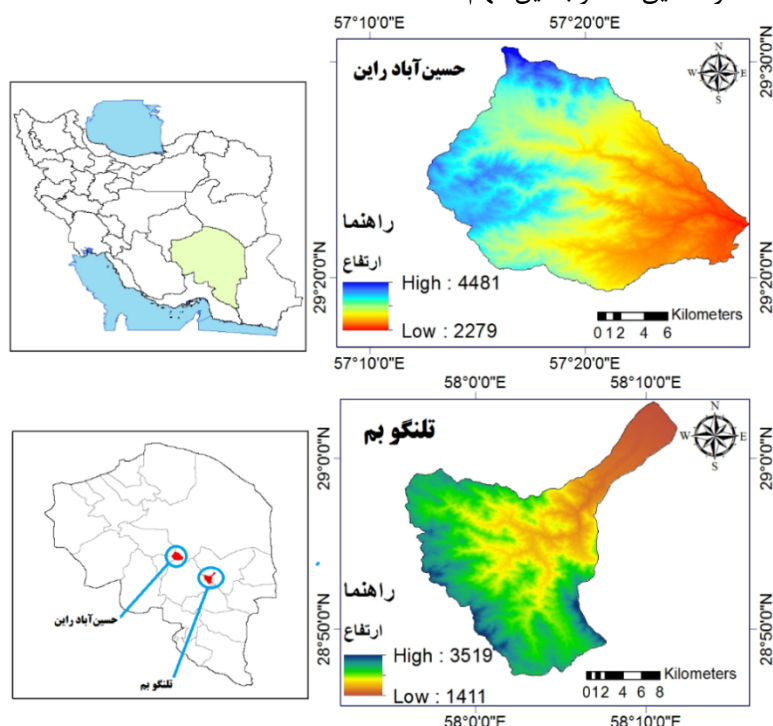
توجه ویژه‌ای گردیده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: به منظور دستیابی به اهداف تعیین شده در این پژوهش دو حوضه آبخیز حسین‌آباد و تلنگو در جنوب شرق استان کرمان در نظر گرفته شد. حوضه آبخیز حسین‌آباد در محدوده جغرافیایی $29^{\circ}19'20''$ تا $29^{\circ}30'43''$ عرض شمالی و $57^{\circ}12'38''$ تا $57^{\circ}28'25''$ طول شرقی و حوضه آبخیز تلنگو در محدوده جغرافیایی $28^{\circ}47'24''$ تا $29^{\circ}02'22''$ عرض شمالی و $57^{\circ}55'52''$ تا $58^{\circ}10'01''$ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه حوضه آبخیز حسین‌آباد و تلنگو به ترتیب ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. وسعت حوضه آبخیز حسین‌آباد حدود ۳۰۴ کیلومترمربع و مساحت حوضه تلنگو حدود ۳۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. به دلیل بارش کم و تبخیر زیاد، پوشش گیاهی هر دو حوضه، کم و تُنک است. گونه‌های گیاهی غالب در این دو منطقه درختچه‌های‌های تاغ، قیچ و بوته خارخسک، خارشتر و در بعضی نواحی درمنه، گون و اسپند می‌باشد.

همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود به ارزیابی عملکرد مدل SWAT در ارتباط با تعداد زیر حوضه‌ها، HRUها و باندهای ارتفاعی و تعیین کمیت تأثیر تغییرات آب و هوا بر جریان‌های حوضه رودخانه Tamor در هیمالیای شرقی در نپال پرداختند. این مطالعه نشان داد که آب و هوای آینده می‌تواند مقدار جریان را در طول قرن بیست و یکم تحت سناریوهای RCP8.5 بیش از ۸/۵ درصد کاهش دهد. نتایج نشان داد که باندهای ارتفاعی در دستیابی به یک مدل هیدرولوژیکی قوی در منطقه هیمالیا در مقایسه با HRU و زیر حوضه (SBs) قابلیت بالاتری دارند.

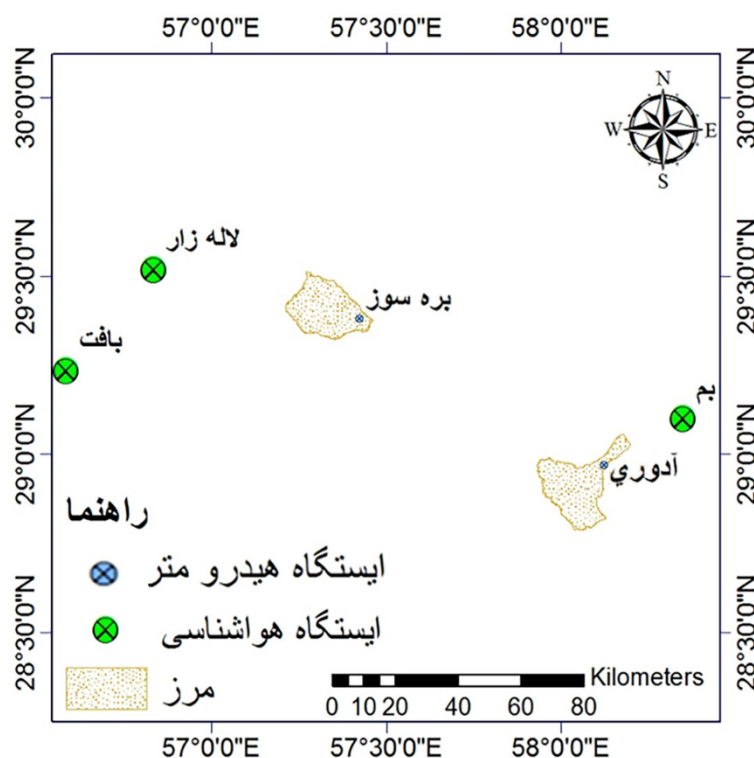
هدف پژوهش حاضر ارزیابی اثر تغییر رژیم بارش به عنوان بخشی از اثرات تغییر اقلیم بر رژیم آبدی یک اکوسیستم می‌باشد. بدین منظور دو حوضه آبخیز مستقل انتخاب و رفتار آبدی آن‌ها ناشی از تغییر رژیم بارش در آینده با استفاده از SWAT مدل‌سازی گردید. با توجه به اینکه در مدل‌سازی‌های اقلیمی اغلب تغییرات کمی بارش‌های ورودی به حوضه آبخیز در نظر گرفته می‌شود و از آنجا که تغییر در رژیم بارش‌ها و همچنین تغییر در توزیع زمانی آن از اثرات تغییر اقلیم می‌باشد لذا در تحقیق حاضر به این مهم



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمان

تأسیس ایستگاه تا سال ۲۰۱۷ جمع‌آوری شد (سپس کنترل کیفی داده‌ها انجام و بازسازی نواقص آماری در یک دوره مشترک انجام گردید).

داده‌های هواشناسی: در این تحقیق داده‌های روزانه بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین روزانه سه ایستگاه هواشناسی وابسته به سازمان هواشناسی در اطراف محدوده مورد مطالعه و در بازه زمانی بدو



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری محدوده مورد مطالعه

(۲۰۰۲) از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان اخذ گردید. شکل ۲ موقعیت این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

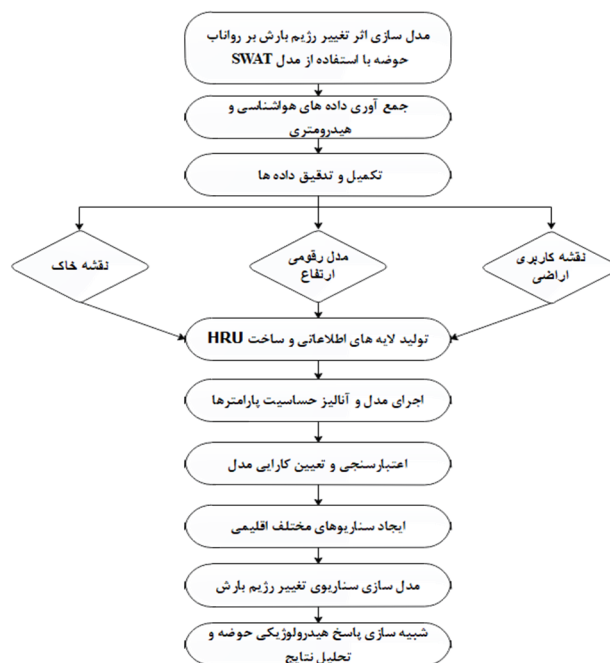
داده‌های هیدرومتری: داده‌های دبی روزانه دو ایستگاه هیدرومتری بره‌سوز و آدوری در حوضه‌های مورد مطالعه در یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۷-)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	بره سوز	۵۷/۴۲	۲۹/۳۸	۲۴۰۳
۲	آدوری	۵۸/۱۲	۲۸/۹۷	۱۶۷۳

سومین مرحله محاسبه رواناب آینده تحت تاثیر تغییر اقلیم شکل ۳ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

در ادامه این پژوهش، در سه مرحله داده‌ها مورد پردازش قرار گرفت. مرحله اول: برآورد اقلیم آینده، مرحله دوم: واسنجی مدل رواناب با داده‌های موجود و



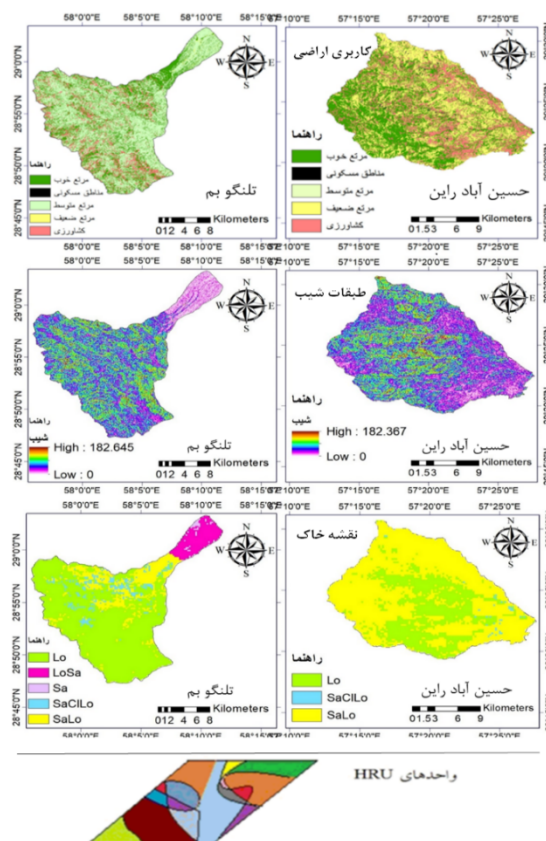
شکل ۳- نمودار جریانی تحقیق

مدل سازی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWAT: مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) یک مدل جامع در مقیاس حوضه آبخیز می باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی ایالات متحده تهیه شده است. مدل ارزیابی آب و خاک نمونه ای از مدل های فرآیند محور، از لحاظ مقیاس فضایی نیمه توزیعی و از نظر زمانی مدلی پیوسته است. کوچکترین واحد کاری در این مدل، واحد عملکرد هیدرولوژیکی^۱ می باشد که از روی هم گذاری نقشه های طبقات شیب، خاک و کاربری اراضی حاصل می شود.

داده های ورودی مدل ارزیابی آب و خاک به طور کلی شامل داده های آب و هوا، توپوگرافی آبخیز، مشخصات خاک، پوشش گیاهی و روش های مدیریت اراضی است. آب موجود در خاک، رواناب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا برای هر واحد عملکرد هیدرولوژیکی و سپس هر زیرحوضه و در نهایت کل حوضه آبخیز محاسبه می شود. شبیه سازی سیستم آبخیز در مدل ارزیابی آب و خاک را می توان به دو بخش کلی فاز زمینی و فاز آبی تقسیم نمود.

برآورد اقلیم آینده: مدل های اقلیمی برآوردهای متفاوتی از متغیرهای اقلیمی در دوره های آتی برای یک مکان مشخص دارند. بنابراین لازم است تعیین شود که کدام یک از این مدل ها برای شبیه سازی متغیر اقلیمی مورد نظر مناسب بوده و از دقت و عملکرد کافی برخوردار است. با استناد به تحقیق Abbasian و همکاران (۲۰۱۹) بهترین مدل برای برآورد بارش در ایران مدل MRI-CGCM3 مربوط به گزارش پنجم IPCC می باشد. با توجه به بزرگ مقیاس بودن مدل های گردش عمومی جو، یکی از راهکارهای فائق آمدن بر نقیصه فضایی کم این مدل ها، استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری است. از جمله این مدل ها LARS - WG است که برای ریزمقیاس نمایی از روش آماری استفاده می کند (بابایی و همکاران، ۱۳۹۳). نرم افزار LARS - WG برای مدل سازی متغیرهای هواشناسی توزیع های آماری پیچیده ای را به کار می برد. این فرآیند تولید داده های آب و هوایی به سه مرحله مجزای آنالیز داده ها، تست و ارزیابی (Q Test) و تولید اطلاعات تقسیم می شود. در این پژوهش جهت شبیه سازی اقلیم آینده منطقه مورد مطالعه از مدل جهانی MRI-CGCM3 تحت مدل ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG استفاده گردیده است.

¹ Hydrological Response Unit



شکل ۴- چگونگی تشکیل واحدهای عملکرد هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی: آنالیز حساسیت مدل عبارت است از مطالعه تغییرات کمی و کیفی خروجی‌های مدل برحسب متغیرهای ورودی. آنالیز حساسیت تعیین ورودی‌هایی است که مشارکت بیشتری در تغییر خروجی دارند و این که کدام پارامتر همبستگی بیشتری با خروجی دارد (Saraf et al., 2018). با انجام آنالیز حساسیت می‌توان پارامترهای مهم و حساس را شناخته و با تمرکز روی آن‌ها واسنجی مدل را سریع‌تر انجام داد. آنالیز حساسیت با روش آنالیز حساسیت سرتاسری استفاده از ۲۹ پارامتر انجام شد. این مقادیر برنامه SWAT-CUP قرار داده شد و در نهایت به منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل، از چهار نمایه ضریب تبیین^۲، ضریب کارایی نش-ساتکلیف، P-factor و R-factor استفاده شد. ضریب تبیین بیان‌کننده بخشی از کل واریانس مقادیر مشاهده‌ای است که توسط مقادیر شبیه‌سازی شده

شبیه‌سازی بخش زمینی چرخه هیدرولوژیک در مدل ارزیابی آب و خاک، بر پایه بیلان آبی، با استفاده از رابطه (۱) صورت می‌گیرد، ساختار مدل مفهومی چرخه هیدرولوژیک و مسیرهای در نظر گرفته شده برای حرکت آب در مدل ارزیابی آب و خاک را نشان می‌دهد.

(۱)

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

در رابطه ۱:

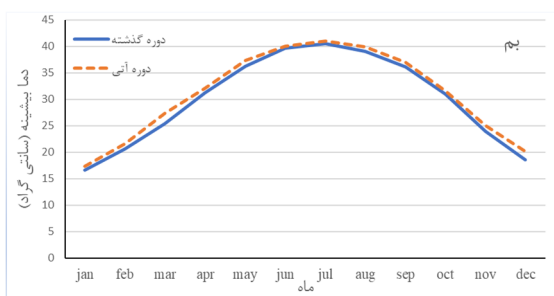
SW_t : مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، SW_0 : مقدار اولیه آب در خاک (میلی‌متر)، R_{day} : مقدار بارندگی در روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} : مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، E_a : مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} : مقدار آبی که در روز i ام از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع وارد می‌شود، Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی (میلی‌متر) در روز i ام است.

توجیه می‌شود. به عبارت دیگر، قسمتی از واریانس کل هست که به وسیله رابطه خطی موجود بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توجیه می‌گردد. مقدار این ضریب هرچقدر به عدد یک نزدیک باشد همبستگی بین مقدار مشاهده‌ای و محاسباتی بیشتر است. کارایی نش-ساتکلیف، ابزار دیگری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین یک تا منفی بی نهایت متغیر است. مقادیر P-factor هر چه به یک نزدیکتر باشد و R-factor هر چقدر از یک کوچکتر باشد مناسب‌تر است.

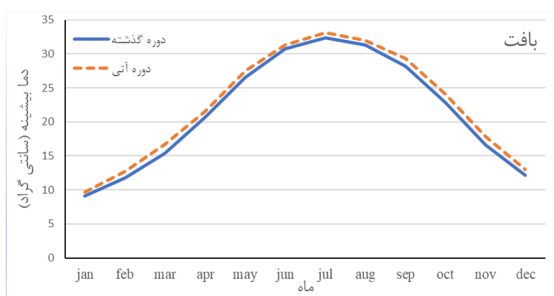
نتایج

نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دمای بیشینه: شکل‌های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب نمودار میانگین ماهانه

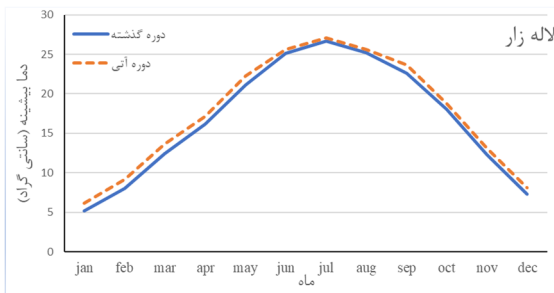
دمای بیشینه در دوره گذشته و آتی مربوط به ایستگاه‌های بَم، بافت و لاله‌زار را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودارها، به طور کلی دما در دوره آتی نسبت به دوره گذشته در تمامی ماه‌ها افزایش پیدا کرده است، اما این افزایش در ماه‌های مختلف متفاوت بوده است. به طوری که در هر سه ایستگاه افزایش میانگین دمای بیشینه دوره آتی نسبت به دوره گذشته در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های دیگر کمتر بوده است. ماه اسفند (مارس) در هر سه ایستگاه دارای بیشترین افزایش میانگین دمای بیشینه نسبت به ماه‌های دیگر است. در این ماه، میانگین دمای بیشینه ایستگاه بَم، بافت و لاله‌زار دوره آتی نسبت به دوره گذشته به ترتیب ۲/۰۲، ۱/۴۱ و ۱/۲۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است.



شکل ۵- میانگین ماهانه دمای بیشینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بَم



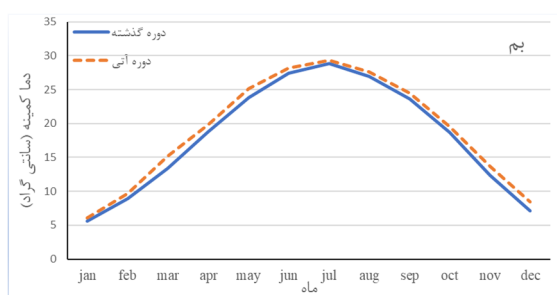
شکل ۶- میانگین ماهانه دمای بیشینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بافت



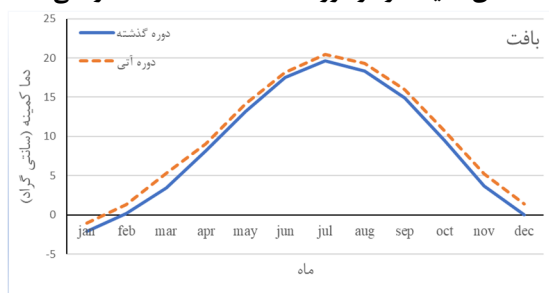
شکل ۷- میانگین ماهانه دمای بیشینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه لاله‌زار

نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دمای کمینه: اشکال ۸ تا ۱۰ به ترتیب نمودار میانگین ماهانه دمای کمینه در دوره گذشته و آتی مربوط به ایستگاه‌های بزم، بافت و لاله‌زار را نشان می‌دهد. میانگین ماهانه دمای کمینه نیز همانند میانگین ماهانه دمای بیشینه در دوره آتی نسبت به دوره گذشته در تمامی ماه افزایش پیدا کرده است اما به طور متوسط این افزایش بیشتر از افزایش میانگین ماهانه دمای بیشینه

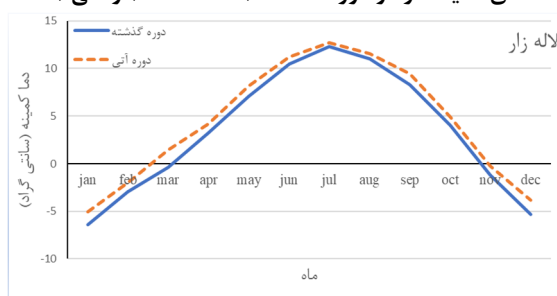
می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که میانگین ماهانه دمای کمینه در ماه‌های گرم سال کمتر از دیگر ماه‌ها افزایش یافته است. به طور کلی در هر سه ایستگاه بزم، بافت و لاله‌زار، ماه اسفند (مارس) به ترتیب با افزایش $1/76$ ، $1/84$ و $1/82$ درجه سانتی‌گراد دوره آتی نسبت به گذشته دارای بیشترین تغییرات میانگین دمای کمینه نسبت به ماه‌های دیگر است.



شکل ۸- میانگین ماهانه دمای کمینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بزم



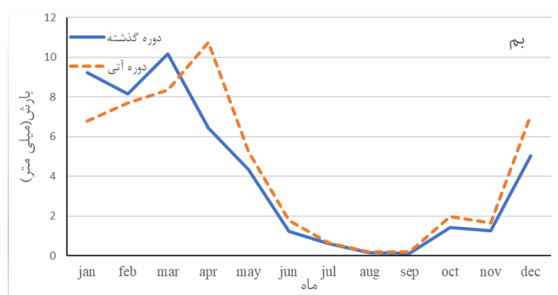
شکل ۹- میانگین ماهانه دمای کمینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بافت



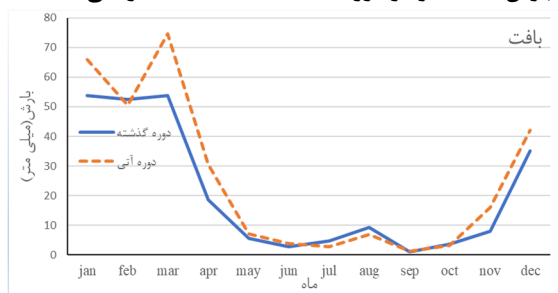
شکل ۱۰- میانگین ماهانه دمای کمینه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه لاله‌زار

نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش: شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ به ترتیب نمودار تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره گذشته و آتی مربوط به ایستگاه‌های بزم، بافت و لاله‌زار را نشان می‌دهد. نمودار تغییرات میانگین بارش ماهانه در دوره آتی برای هر سه ایستگاه نمودار یکسانی دارد. به طوری که ماه‌های اسفند (مارس) و فروردین (آوریل) در هر سه ایستگاه برای دوره آتی دارای بیشترین و ماه شهریور (سپتامبر)

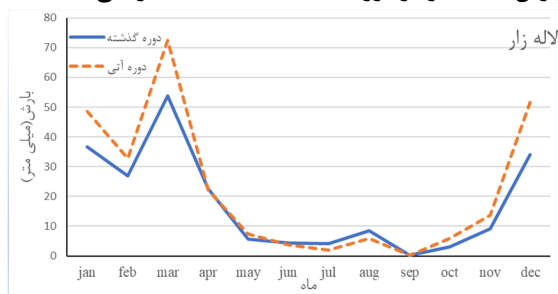
دارای کمترین مقدار بارش ماهانه می‌باشند. در ایستگاه‌های بافت و لاله‌زار بیشترین مقدار کاهش بارش دوره آتی نسبت به گذشته رخ داده است اما برای ایستگاه بزم بیشترین مقدار کاهش مربوط به دی (ژانویه) می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار افزایش بارش ماهانه دوره آتی نسبت به گذشته برای سه ایستگاه بزم، بافت و لاله‌زار به ترتیب فروردین (آوریل)، اسفند (مارس) و اسفند (مارس) می‌باشد.



شکل ۱۱- میانگین بارش ماهانه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بیم



شکل ۱۲- میانگین بارش ماهانه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه بافت

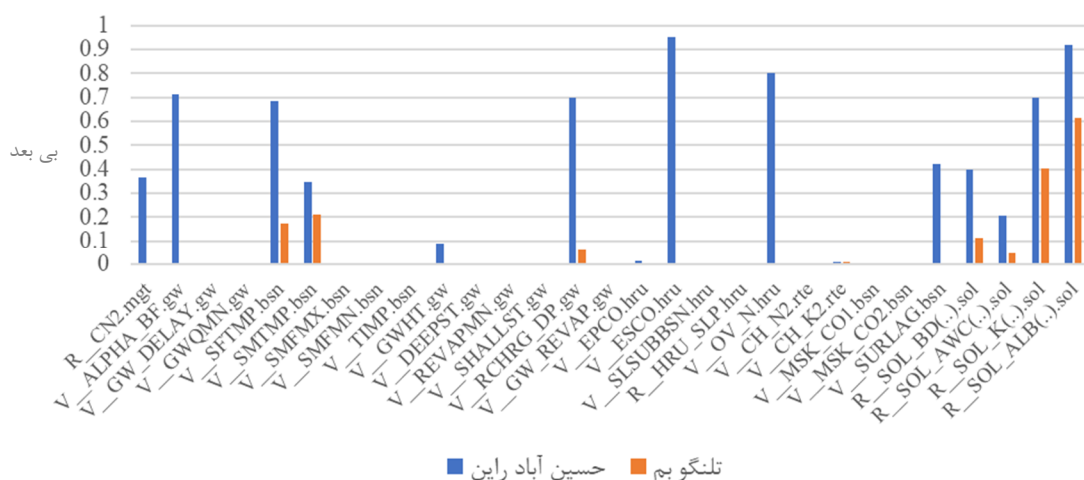


شکل ۱۳- میانگین بارش ماهانه در دو دوره گذشته (۱۹۹۳-۲۰۰۷) و آتی (۲۰۲۱-۲۰۶۰) ایستگاه لاله‌زار

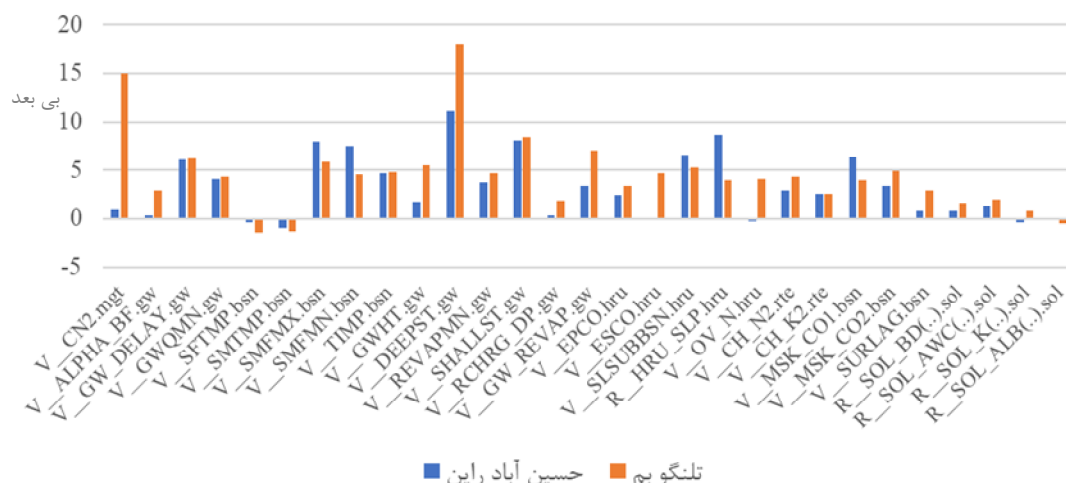
نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مدل SWAT:

با توجه به شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب حساسیت پارامترها براساس آماری P-value و t-test برای هر

دو حوضه نشان می‌دهد. به‌طور کلی هر مقدار قدر مطلق t-test بیشتر و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تأثیر بیشتری دارد.



شکل ۱۴- آنالیز حساسیت پارامترها براساس آماره P-value



شکل ۱۵- آنالیز حساسیت پارامترها براساس آماره t-test

مقادیر بهینه ۳۳۷۷، ۵۲/۰۸، ۱۵۸۱، ۰/۱ و ۷۲/۶۵ دارای بیشترین حساسیت در اجرا مدل SWAT هستند. همچنین به ترتیب پارامترهای متوسط طول شیب، ضریب تأخیر رواناب سطحی و ضریب زبری مانینگ برای جریان در کانال اصلی دارای حساسیت کمتری در مدل‌سازی رواناب حوضه آبخیز تلنگو می‌باشند.

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT:
جدول ۲ نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT را نشان می‌دهد. برای انجام این کار داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری بره سوز و آدوری برای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ برای واسنجی و ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ برای اعتبارسنجی استفاده شد. در هر دو حوضه برای هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ضریب تبیین (R^2)، کارایی نش- ساتکلیف (ENS) از ۰/۶۵ بیشتر می‌باشد که می‌توان گفت مدل SWAT با توجه به داده‌های استفاده شده توانایی نسبی در مدل‌سازی رواناب حوضه آبخیز حسین‌آباد و حوضه آبخیز تلنگو را دارد.

با توجه به نتایج در حوضه آبخیز حسین‌آباد به ترتیب پارامترهای ضریب آبی که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک بر می‌گردد^۳، ضریب زبری مانینگ برای جریان روی سطح زمین^۴، ضریب نفوذ آبخوان^۵، عمق آب در آبخوان عمیق^۶ و ثابت کاهش جریان پایه^۷ بیشترین حساسیت در مدل‌سازی رواناب با استفاده از مدل SWAT دارند. مقدار بهینه این پارامترها در حوضه آبخیز حسین‌آباد به ترتیب ۳۳۷۷، ۰، ۱۵۸۱، ۷/۳۶ و ۰/۱۵ می‌باشد. همچنین در این حوضه به ترتیب پارامترهای متوسط طول شیب^۸، ضریب تأخیر رواناب سطحی^۹ و ضریب زبری مانینگ برای جریان در کانال اصلی^{۱۰} دارای کمترین حساسیت در اجرای مدل SWAT هستند. در حوضه آبخیز تلنگو نیز به ترتیب پارامترهای ضریب آبی که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک بر می‌گردد، شماره منحنی^{۱۱}، ضریب نفوذ آبخوان، فاکتور جبران جذب گیاهی^{۱۲} و متوسط آب قابل استفاده^{۱۳} به ترتیب با

³ DEEPST.gw

⁴ HRU_SLP.hru

⁵ SHALLST.gw

⁶ SMFMX.bsn

⁷ SMFMN.bsn

⁸ ESCO.hru

⁹ SOL_ALB(..).sol

¹⁰ OV_N.hru

¹¹ CN2.mgt

¹² GW_REVAP.gw

¹³ GW_DELAY.gw

جدول ۲- مقادیر بهینه پارامترهای مدل SWAT حوزه آبخیز حسین آباد و حوزه آبخیز تلنگو

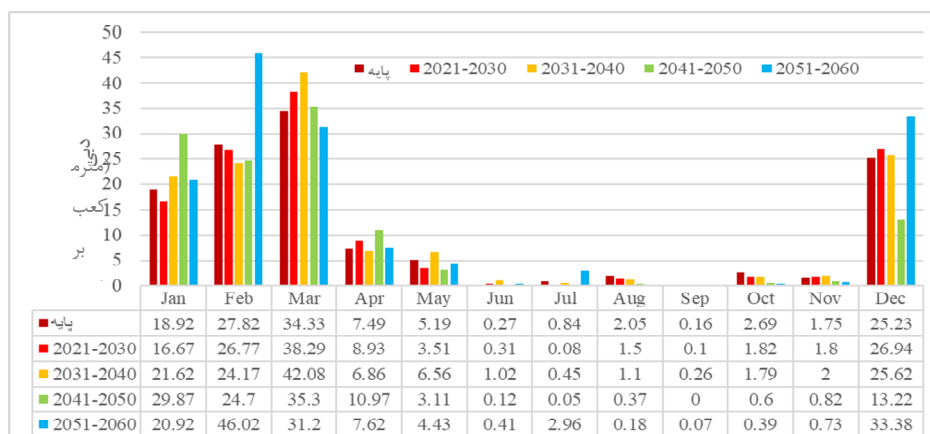
ایستگاه هیدرومتری	حوضه آبخیز	مراحل صحت سنجی	P-factor	R-factor	R ²	NSE
بره سوز	حوضه آبخیز حسین آباد	واسنجی	0.51	0.72	0.78	0.75
		اعتبارسنجی	0.56	0.82	0.73	0.7
آدوری	حوضه آبخیز تلنگو	واسنجی	0.68	1.2	0.74	0.69
		اعتبارسنجی	0.79	1.4	0.68	0.65

لیتر بر ثانیه می‌باشد. در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۶۰-۲۰۵۱) نسبت به دوره پایه، دبی ماه‌های اسفند (مارس)، اردیبهشت (می) و مرداد (آگوست) تا آذر (دسامبر) کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایش یافته است. بیشترین کاهش آبدی مربوط به ماه اسفند (مارس) ۳/۱۳ لیتر بر ثانیه تغییر و بیشترین افزایش مربوط به ماه بهمن (فوریه) با ۱۸/۲ لیتر بر ثانیه تغییر می‌باشد. به طور کلی در ۶۰ سال آینده آبدی حوزه آبخیز حسین آباد افزایشی بوده و حتی تغییر رژیم آبدی ماهانه نیز در این ۶۰ سال مشاهده می‌شود. به‌طوری که بیشترین آبدی در دوره پایه مربوط به ماه اسفند (مارس) می‌باشد در حالی که بیشترین آبدی انتهای دهه ۲۰۵۰ بیشترین آبدی مربوط به بهمن (فوریه) می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۷ حوزه آبخیز تلنگو از ماه ژوئن تا نوابر کمترین مقدار آبدی در طول سال را دارد. در دوره پایه بیشترین مقدار میانگین آبدی به ترتیب مربوط به ماه اسفند (مارس)، فروردین (آوریل)، بهمن (فوریه)، آذر (دسامبر) و دی (ژانویه) می‌باشد. در دهه ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۲۱) آبدی نسبت به دوره پایه در ماه‌های دی (ژانویه)، اردیبهشت (می) و آذر (دسامبر) افزایش، در ماه‌های تیر (ژولای) و شهریور (سپتامبر) بدون تغییر و در بقیه ماه‌ها کاهش می‌باشد. بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) با ۰/۴۹ لیتر بر ثانیه افزایش و بیشترین کاهش مربوط به ماه فروردین (آوریل) با ۰/۷۹ لیتر بر ثانیه کاهش می‌باشد. در دهه ۲۰۳۰ (۲۰۴۰-۲۰۳۱) نسبت به دوره پایه ماه‌های بهمن (فوریه)، اسفند (مارس)، فروردین (آوریل) و مرداد (آگوست) دارای دبی کاهشی، ماه‌های تیر (ژولای) و شهریور (سپتامبر) بدون تغییر و بقیه ماه‌ها افزایشی می‌باشد.

نتایج اثر تغییر اقلیم بر رواناب: بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، با استفاده از داده‌های اقلیمی آینده به دست آمده در مراحل قبل از نرم‌افزار LARS-WG، رواناب از ۲۰۲۱ تا ۲۰۶۰ شبیه‌سازی و به صورت دهه‌ای میانگین‌گیری شد و نتایج آن به همراه نتایج دوره پایه از ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ در شکل ۱۴ مربوط به حوزه آبخیز حسین آباد و ۱۵ مربوط به حوزه آبخیز تلنگو آورده شده است.

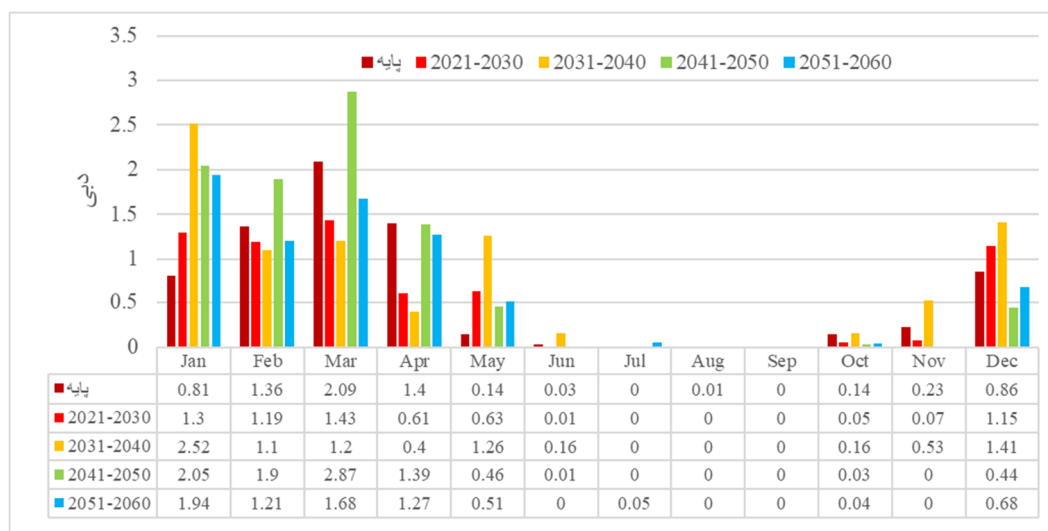
با توجه به شکل ۱۶ در حوزه آبخیز حسین آباد از ماه ژوئن تا نوابر کمترین مقدار آبدی در طول سال را دارد. در دوری پایه بیشترین مقدار میانگین آبدی به ترتیب مربوط به ماه اسفند (مارس) بهمن (فوریه) آذر (دسامبر) و دی (ژانویه) می‌باشد. در دهه ۲۰۲۰ (۲۰۳۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه ماه‌های اسفند (مارس)، فروردین (آوریل)، ژوئن و آذر (دسامبر) افزایش دبی و در بقیه ماه‌ها کاهش دبی مشاهده می‌شود. بیشترین افزایش مربوط به ماه اسفند (مارس) با ۳/۹۶ لیتر بر ثانیه افزایش و بیشترین کاهش مربوط به ماه دی (ژانویه) با ۲/۲۵ لیتر بر ثانیه کاهش می‌باشد. در دهه ۲۰۳۰ (۲۰۴۰-۲۰۳۱) نسبت به دوره پایه ماه‌های بهمن (فوریه)، فروردین (آوریل)، مرداد (آگوست)، اکتبر و تیر (ژولای) دارای دبی کاهشی و بقیه ماه‌ها افزایشی می‌باشد. بیشترین افزایش مربوط به ماه اسفند (مارس) با ۷/۷۵ لیتر بر ثانیه افزایش و بیشترین کاهش مربوط به ماه بهمن (فوریه) با ۳/۶۵ لیتر بر ثانیه کاهش می‌باشد. در دهه ۲۰۴۰ (۲۰۵۰-۲۰۴۱) نسبت به دوره پایه ماه‌های افزایش فقط در سه ماه دی (ژانویه)، اسفند (مارس) و فروردین (آوریل) رخ داده است. بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) با ۱۰/۹۵ لیتر بر ثانیه و بیشترین کاهش مربوط به ماه آذر (دسامبر) با ۱۲/۰۱



شکل ۱۶- متوسط دبی ماهانه خروجی حوضه آبخیز حسین‌آباد در دوره پایه و آینده

(می) و تیر (ژولای) افزایش و در بقیه ماه‌ها به جز ماه شهریور (سپتامبر) که بدون تغییر است، کاهش یافته است. بیشترین کاهش آبدی مربوط به ماه اسفند (مارس) با $0/41$ لیتر بر ثانیه تغییر و بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) $1/13$ لیتر بر ثانیه تغییر می‌باشد. به طور کلی آبدی حوضه آبخیز تلنگو نسبت به حوضه آبخیز حسین‌آباد چه در دوره پایه و چه در دوره آینده بسیار کمتر بوده است. در ۶۰ سال آینده آبدی حوضه آبخیز تلنگو افزایشی می‌باشد و عموماً بیشترین آبدی در ماه‌های مختلف در دهه‌های ۲۰۳۰ یا ۲۰۴۰ رخ می‌دهد.

بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) با $1/71$ لیتر بر ثانیه افزایش و بیشترین کاهش مربوط به ماه فروردین (آوریل) با یک لیتر بر ثانیه کاهش می‌باشد. در دهه ۲۰۴۰ (۲۰۴۱-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه افزایش فقط ماه‌های در ماه‌های دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و می مشاهده می‌شود. همچنین دی در ماه‌های تیر (ژولای) و شهریور (سپتامبر) بدون تغییر و بقیه ماه‌ها کاهش می‌باشد. بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) با $1/24$ لیتر بر ثانیه و بیشترین کاهش مربوط به ماه آذر (دسامبر) با $0/42$ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در دهه ۲۰۵۰ (۲۰۵۱-۲۰۶۰) نسبت به دوره پایه، دی ماه‌های دی (ژانویه)، اردیبهشت



شکل ۱۷- متوسط دبی ماهانه خروجی حوضه آبخیز تلنگو در دوره پایه و آینده

نتیجه‌گیری

آگاهی از میزان شدت و حجم رواناب ناشی از نزولات جوی و تغییرات کیفی و کمی آن در زمان و مناطق مختلف از نیازهای اساسی برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب است. نظر به اینکه تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بشر در عصر حاضر با آن روبرو است، لذا سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌ها باید توان ظرفیت‌سازی و انعطاف‌پذیری برای رویارویی با وقوع پدیده‌های اینچنین که ابعاد و اثرات زیان‌بار آن‌ها گسترده و همراه با عدم قطعیت‌های فراوان است را داشته باشند (حیدری و حسینی، ۱۳۹۸). در این راستا نتایج این پژوهش حاکی از افزایش متوسط دمای ماهانه، ماکزیمم ماهانه و مینیمم ماهانه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بسیاری از تحقیقات از جمله حاجی‌قاسمی و همکاران (۱۴۰۰)، سلیمانی‌پور و صراف (۱۳۹۹)، احمدی و همکاران (۱۳۹۹)، و نکاتار امان و همکاران (۲۰۱۷) و صراف و همکاران (۲۰۱۸) به این نتیجه اذعان دارند. این تغییر در ماه‌های مختلف متفاوت است و به طور کلی در ماه‌های با میانگین دمای پایین‌تر بیشتر می‌باشد. ارزیابی تغییرات بارش در ۶۰ سال آینده نشان داد که با وجود کاهش میانگین بارش در برخی ماه‌ها، در اکثر ماه‌ها افزایشی بوده و در هر دو حوضه در آینده بارش بیشتری مشاهده خواهد شد. تحقیقات حاجی‌قاسمی و همکاران (۱۴۰۰) و سلیمانی‌پور و صراف (۱۳۹۹) نیز بر این موضوع تاکید دارد.

هر چند در اکثر ماه‌ها افزایش بارش مشاهده می‌شود اما به نظر می‌رسد هر گونه اثرات افزایش بارش به دلیل افزایش دمای پیش‌نگری شده در هر دو حوضه بلااثر شده و منطقه در آینده درگیر تنش آبی خواهد شد که نیازمند اتخاذ روش‌های سازگاری و کاهش پیامدهای گرمایش جهانی در منطقه است. بابائیان و همکاران (۱۴۰۰) نیز در پژوهش خود به این نکته اشاره می‌کند.

در بخش دیگر این پژوهش، ارزیابی حساسیت پارامترهای مدل SWAT نشان داد که پارامترهای ضریب آبی که از سفره‌های کم عمق به پروفیل خاک

بر می‌گردد و پارامتر ضریب نفوذ آبخوان، مشترک در هر دو حوضه دارای حساسیت بالایی هستند. همچنین پارامترهای متوسط طول شیب و پارامتر ضریب تأخیر رواناب سطحی، در هر دو حوضه دارای کمترین حساسیت می‌باشند، هر چند به‌طور کلی در هر حوضه، با توجه به شرایط، نتایج متفاوتی به دست می‌آید. مقایسه نتایج این پژوهش و تحقیق سلیمانی‌پور و صراف (۱۳۹۹) نیز بر این موضوع صحت می‌گذارد. همچنین در هر دو حوضه برای هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ضریب تبیین، کارایی نش- ساتکلیف از ۰/۶۵ بیشتر می‌باشد که می‌توان گفت مدل SWAT توانایی نسبی در مدل‌سازی رواناب حوضه‌های مورد مطالعه را دارد.

نمودار مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب ماهانه، نشان دهنده‌ی اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی در دوره گذشته بود که می‌تواند به دلیل معیارهای مورد استفاده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی باشد. به علاوه، مقدار دبی خروجی حوضه در دوره‌ی آینده کمی بیشتر از میانگین دوره‌ی مشاهداتی برآورد شده است. مقایسه نمودار داده‌های دوره‌ی گذشته و هم داده‌های دوره آینده نشان دهنده‌ی تعدیل نوسانات موجود در ماه‌های مختلف در طی یکسال در دوره‌ی آینده است که این مسئله می‌تواند به دلیل عدم توانایی مدل LARS-WG در تخمین مقادیر حدی باشد.

نتایج ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه‌ها نشان می‌دهد به طور کلی آبدهی حوضه آبخیز تلنگو نسبت به حوضه آبخیز حسین‌آباد چه در دوره حال و چه در دوره آینده بسیار کمتر می‌باشد. همچنین در ۶۰ سال آینده آبدهی حوضه آبخیز حسین‌آباد نسبت به دوره حال در ماه‌های اسفند (مارس)، اردیبهشت (می) و مرداد (آگوست) تا آذر (دسامبر) کاهش و در بقیه ماه‌ها افزایش یافته است. بیشترین کاهش آبدهی مربوط به ماه اسفند (مارس) ۳/۱۳ لیتر بر ثانیه تغییر و بیشترین افزایش مربوط به ماه بهمن (فوریه) با ۱۸/۲ لیتر بر ثانیه تغییر می‌باشد. در سال‌های آینده آبدهی حوضه آبخیز تلنگو نسبت به دوره حال افزایش

به همین نتیجه رسیدند. نتایج تحقیق حاضر حاکی از آنست که در آینده نزدیک در مناطق خشک مشابه منطقه مورد مطالعه به دنبال تغییر رژیم بارش‌های حاصل از گرمایش زمین، رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌ها بویژه در فصل‌های زمستان و بهار تغییر خواهد نمود. لذا وقوع رخداد‌های حدی بارش و سیل در این فصل‌ها بیش از پیش محتمل می‌باشد.

خواهد داشت. به‌طوری‌که دبی ماه‌های دی (ژانویه)، اردیبهشت (می) و تیر (ژولای) افزایش و در بقیه ماه‌ها به جز ماه شهریور (سپتامبر) که بدون تغییرات است، کاهش یافته است. بیشترین کاهش آبدهی مربوط به ماه اسفند (مارس) با ۰/۴۱ لیتر بر ثانیه تغییر و بیشترین افزایش مربوط به ماه دی (ژانویه) ۱/۱۳ لیتر بر ثانیه تغییر می‌باشد. حاجی قاسمی و همکاران (۱۴۰۰) و احمدی (۱۳۹۹) نیز در تحقیقات خود نیز

منابع

۱. احمدی، مهدی؛ معتمدوزیری، بهارک؛ احمدی، حسن؛ معینی، ابوالفضل؛ زهتابیان، غلامرضا. (۱۳۹۹). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب آبخیز کن در دوره آینده. پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۳۳ (۲)، صص ۶۶-۸۱.
۲. بابایی، ام‌السلّمه؛ قاسمی، الهه؛ فتاحی، ابراهیم. (۱۳۹۳). بررسی اثر تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی بارش ایران زمین. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، شماره ۱ (۳)، صص ۸۵-۱۰۳.
۳. بابائیان، ایمان؛ مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم. (۱۳۸۷). ارزیابی تغییرات اقلیمی ایران در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل اقلیمی PRECIS. سومین اجلاس مدیریت منابع آب، تبریز.
۴. باغبانان، پرستو؛ احمدآبادی، علی؛ کریمی، آیت. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات هیدرولوژی حوضه آبریز حبله رود. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، شماره ۲ (۵)، صص ۲۷-۴۰.
۵. جهاد دانشگاهی استان کرمان. (۱۳۹۵). مطالعات مرحله دوم آمایش استان کرمان و بازنگری مطالعات مرحله اول. کارفرما: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان.
۶. حاجی قاسمی، شهاب؛ ذاکری نیری، محمود؛ نجفی جیلانی، عطالله. (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر رواناب سطحی با مدل SWAT (مورد مطالعه: رودخانه مزلقان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱۵ (۱)، صص ۱۲۱-۱۳۷.
۷. حیدری تاشه کبود، شادیه؛ حسینی، سید اسعد. (۱۳۹۸). ارائه برنامه راهبردی بهره‌وری مصرف آب در کشور به‌منظور سازگاری با تغییر اقلیم. نیوار، ۴۳ (۱۰۶-۱۰۷)، صص ۱۲-۲۴.
۸. حمیدیان‌پور، محسن، فلاح قاله‌ری، غلامعباس، علیم‌رادی، محمدرضا. (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل SDSM در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم برای پهنه‌های اقلیمی مختلف ایران. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی ۱۴-۱، (۵) ۲.
۹. سلیمانی‌پور، مهسا؛ صراف، امیرپویا. (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه آبریز لار با استفاده از مدل SWAT و مقایسه نتایج آن با شبکه‌های بی‌زین و مدل‌های هوشمند هیبریدی. جغرافیای طبیعی، شماره ۱۳ (۵۰)، صص ۶۱-۷۹.
۱۰. عابدی، زینب. (۱۳۹۳). ارزیابی اثر تغییر اقلیم آینده بر دبی رواناب ماهانه حوضه آبخیز هروی با کاربرد مدل SWAT پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه.
۱۱. نادری، مهین؛ ایلدرمی، علیرضا؛ نوری، حمید؛ آقابگی، امین، سهیلا؛ زینی وند، حسین. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی و اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه گرین). هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵ (۱۶)، صص ۶۱-۷۹.
12. Abbasian, M., Moghim, S., and Abrishamchi, A. (2019). Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. Theoretical and Applied Climatology, 135 (3), 1465-1483.
13. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., & Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34 (1), 73-89.
14. Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P. K., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation

- Change, edited by JJ McCarthy, OF Canziani, NA Leary, DJ Dokken and KS White (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 1032. Price:£ 34.95, ISBN 0-521-01500-6 (paperback), ISBN 0-521-80768-9 (hardback).
21. Jayakrishnan, R. S. R. S., Srinivasan, R., Santhi, C., & Arnold, J. G. (2005). Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19 (3), 749-762
 22. Li, C., & Fang, H. (2021). Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model. *CATENA*, 201, 105199
 23. Musau, J., Sang, J., Gathenya, J., Luedeling, E., & Home, P. (2016). SWAT model parameter calibration and uncertainty analysis using the HydroPSO R package in Nzoia Basin, Kenya
 24. Saraf, V.R., & Regulwar, D.G. (2018). Impact of climate change on runoff generation in the Upper Godavari River Basin, India. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 22(4), 04018021.
 25. Wheeler, H.S., Peach, D., & Binley, A. (2007). Characterising groundwater-dominated lowland catchments: the UK Lowland Catchment Research Programme (LOCAR). *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (1), 108-124.
 - and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin. *Catena*, 181, 104082
 15. Bouraoui, F., Benabdallah, S., Jrad, A., & Bidoglio, G. (2005). Application of the SWAT model on the Medjerda river basin (Tunisia). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (8-10), 497-507.
 16. Callaghan, D. P., and Hughes, M. G. (2022). Assessing flood hazard changes using climate model forcing, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 22, 2459–2472.
 17. Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadzadeh, A., & Hasanlou, M. (2020). Improved land cover map of Iran using Sentinel imagery within Google Earth Engine and a novel automatic workflow for land cover classification using migrated training samples. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 276-288.
 18. Guzha, A. C., & Hardy, T. B. (2010). Application of the distributed hydrological model, TOPNET, to the Big Darby Creek Watershed, Ohio, USA. *Water resources management*, 24 (5), 979-1003.
 19. IPCC (2007): Climate change the physical science basis. In *Agu fall meeting abstracts* (Vol. (2007), pp. U43D-01).
 20. IPCC, (2001). Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

