

بررسی اثر تغییر اقلیم بر برخی پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز جامیشان با استفاده از مدل SWAT

سارا پرویزی، علی طالبی، حسین ملکی نژاد و مریم صادقی

دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۴۴۳ - ۴۳۰

Vol. 6(4), Winter 2020, 430 – 443

DOI: 10.22034/jewe.2020.238651.1383

Investigation of the Effect of Climate Change on  
Some of Hydrological Parameters in Jamishan  
Watershed using SWAT Model

Parvizi S., Talebi A., Malekinezhad H. and  
Sadeghi M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

پرویزی س.، طالبی ع.، ملکی نژاد ح. و صادقی م. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر برخی پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز جامیشان با استفاده از مدل SWAT. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۴۳۰-۴۴۳.

**Citing this paper:** Parvizi S., Talebi A., Malekinezhad H. and Sadeghi M. (2020). Investigation of the effect of climate change on some of hydrological parameters in Jamishan watershed using SWAT model. Environ. Water Eng., 6(4), 430-443. DOI: 10.22034/jewe.2020.238651.1383.

## بررسی اثر تغییر اقلیم بر برخی پارامترهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز جامیشان با استفاده از مدل SWAT

سارا پرویزی<sup>۱\*</sup>، علی طالبی<sup>۲</sup>، حسین ملکی نژاد<sup>۳</sup> و مریم صادقی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup>استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۴</sup>کارشناس ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

\*نویسنده مسئول: saraparvizi@stu.yazd.ac.ir

### مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۴/۱۸]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۸/۱۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۸/۱۹]

### چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن، سبب بر هم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین به وجود آورده است. در این پژوهش، ابتدا مدل SWAT برای حوزه جامیشان واسنجی شد. در مرحله درجه‌بندی و اعتبارسنجی ضرایب NS و  $R^2$  به ترتیب ۰/۶، ۰/۶۱، ۰/۵۲ و ۰/۵۴ به دست آمد. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت در منطقه مشخص شد که از میان ۲۰ پارامتر مؤثر بر رواناب، شماره منحنی به عنوان مهم‌ترین پارامتر بود. سپس مقادیر دما و بارش برای دوره آبی بر اساس سناریو تغییر اقلیم با خروجی‌های مدل چرخش عمومی جو HadCM3 برای سه سناریو A2، B1 و A1B با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. سپس به منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه، داده‌ها به مدل SWAT معرفی شد و نتایج نشان داد رواناب در دوره آماری ۲۰۱۵ و ۲۰۲۶ نسبت به دوره مشاهداتی در هر سناریو A2، A1B و B1 به ترتیب به میزان متوسط ۶، ۷ و ۶٪ افزایش پیدا کرده و این موضوع، نشان‌دهنده تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب در دوره آینده نزدیک ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۶ می‌باشد. این پژوهش نشان داد که تغییر در پارامترهای هواشناسی منجر به تغییر قابل توجهی در رژیم هیدرولوژیکی مانند رواناب حوزه خواهد شد. افزایش میزان بارش و دما احتمالاً در آینده سبب ایجاد سیل در منطقه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم؛ مدل LARS-WG؛ مدل SWAT؛ مدل HadCM3.

## ۱- مقدمه

منطقه بود. (Godarzi et al. 2015) تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی در حوزه‌ی آبخیز دریاچه‌ی ارومیه بررسی کردند. نتایج بررسی تغییرات رواناب سطحی نشان داد متوسط رواناب سالانه‌ی بلندمدت در دهه‌های ۲۰۸۰، ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب ۵/۴، ۲۲/۳۵، ۶۵/۴ کاهش می‌یابد.

(Sanikhani et al. 2013) اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آجی چای در استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. بررسی داده‌های ریزمقیاس شده مدل HADCM3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 با کمک مدل LARS-WG در افق ۲۰۵۵ افزایش دما و کاهش بارش را در منطقه نشان داد. همچنین رواناب شبیه‌سازی‌شده با کمک مدل هوشمند برنامه‌ریزی بیان ژن نیز کاهش قابل توجهی در حوضه مورد مطالعه داشته است. ایران در برابر تأثیرات نامطلوب تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است (Shahni Danesh et al. 2016). متوسط بارش در ایران در سال‌های اخیر حدود ۲۱۰ mm است که کم‌تر از یک‌چهارم میانگین بارش جهانی (۸۶۰ mm) است. همچنین تغییرات دما در ایران گاهی اوقات از ۲۰- تا ۵۰ °C می‌باشد. تخمین زده شده است که اگر مقدار کربن دی‌اکسید در سال ۲۱۰۰ دو برابر شود، متوسط دما در این کشور ۱/۵ تا ۴/۵ °C افزایش خواهد یافت. که تغییرات قابل توجهی در منابع آب ایجاد خواهد کرد (Kheiri et al. 2017). یکی از مدل‌هایی که برای ریزمقیاس‌نمایی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است مدل LARS-WG است. (Zare et al. 2016) از مدل SWAT<sup>1</sup> برای شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب در حوضه قره‌سو استان گلستان و شناسایی و اولویت‌بندی مناطق بحرانی حوضه از نظر فرسایش و رسوب استفاده نمود. نتایج نشان داد که علی‌رغم کمبود و عدم قطعیت

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته، سبب افزایش دمای کره زمین و تغییر در دیگر پارامترهای اقلیمی شده است که در نوشته‌های علمی به آن پدیده‌ی تغییر اقلیم اطلاق می‌شود. تغییر اقلیم با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد. نوسانات اقلیمی دوره‌ای است و انحرافات پارامترهای اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند و در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند اتفاق بیفتد. تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند (Khosravi et al. 2010).

از دیگر پیامدهای پدیده تغییر اقلیم و افزایش دمای کره زمین تبدیل الگوی بارش برف به باران می‌باشد که این مسئله باعث کاهش آورد رودخانه وابسته به ذوب برف در فصول بهار و تابستان و افزایش رواناب در فصول پاییز و زمستان می‌شود. این مسئله باعث می‌شود که آبدهی مطمئن سدها با آنچه در زمان طراحی در نظر گرفته شده تطابق نداشته باشد که از جمله چالش‌های پیش‌رو در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب خواهد بود (Steele-Dunne et al. 2008). تغییرات اقلیمی در حال حاضر به‌طور قابل توجهی بر توزیع فضایی و زمانی منابع آب تأثیر می‌گذارد. آب‌وهوای گرم‌تر چرخه هیدرولوژیکی را تسریع کرده و بارندگی و مقدار رواناب، رسایش خاک و انتقال رسوب را تغییر می‌دهد (Azari et al. 2016). (Ashofteh and Bozorg Hadad 2013) ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر منابع آب با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردانی WGIARS تحت سناریوی A2 مدل HadCM3 و مدل بارش-رواناب IHACRES در حوزه‌ی آبخیز آیدوغموش پرداختند، نتایج به‌دست‌آمده بیانگر کاهش متوسط بلندمدت رواناب سالانه در سه دوره‌ی زمانی آتی نسبت به دوره‌ی پایه است. (Laleh Siyah et al. 2012) با استفاده از دو مدل HadCM3 و CSIRO تحت دو سناریوی A2 و B1، تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌ی رودخانه‌ی کارون را طی دوره‌ی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده، بیانگر افزایش دما و کاهش بارش در

<sup>1</sup> Soil and Water Assessment Tool

در این پژوهش، با استفاده از مدل LARS-WG، اثرات بالقوه تغییر اقلیم با مدل HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B برای دوره ۲۰۲۶-۲۰۰۰ ارزیابی شد. سپس به منظور تعیین میزان کارایی مدل SWAT در محدوده مورد مطالعه در شرایط با داده مشاهداتی محدود و بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی و زیرسطحی، مدل سازی تغییر اقلیم روی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده حوزه آبخیز جامیشان در شمال شرق استان کرمانشاه واقع شده است. این حوضه بین مختصات جغرافیایی  $34^{\circ}$  و  $33^{\circ}$  تا  $47^{\circ}$  و  $50'$  طول شرقی و  $34^{\circ}$  و  $38'$  تا  $34^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده است. مساحت آن  $53/53/53991$  ha است، حداقل ارتفاع حوضه  $1480$  m و حداکثر ارتفاع آن  $3319$  m می‌باشد. رودخانه جامیشان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منطقه و بلندترین کوه منطقه دالاخانی می‌باشد.

### ۲-۲- روش کار

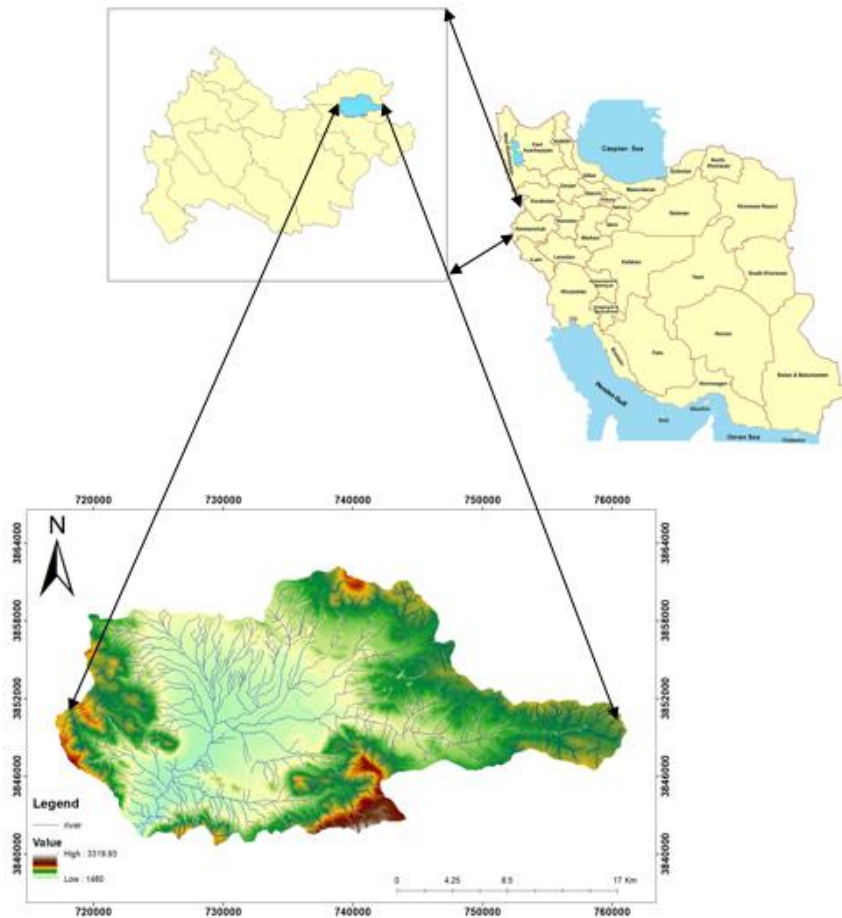
#### ۲-۲-۱- ریزمقیاس نمایی داده‌ها

در پژوهش‌های تغییر اقلیم لازم است تا داده‌های دوره‌ی پایه مشخص شوند. بدین منظور ابتدا داده‌های مورد نیاز شامل مقادیر روزانه‌ی بارش، دما و تبخیر و ترقق در دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۰۰ مختص به ایستگاه‌های کرمانشاه، سنقر، کنگاور از سازمان آب منطقه‌ای و اداره هواشناسی استان کرمانشاه تهیه شدند (Kermanshah Meteorological Organization 2014). به منظور ارزیابی تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دما در دوره‌های، از خروجی‌های مدل اقلیمی HADCM3 در مدل تولید داده LARS-WG استفاده شد. مدل لارس، از یک توزیع نیمه تجربی برای تقریب توزیع‌های احتمالاتی سری‌های خشک و مرطوب، بارش، کم‌ترین و بیش‌ترین دماها و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. لارس برای تولید سری‌های زمانی روزانه‌ی دما و بارش در آینده، نیاز به معرفی فایل سناریوی تغییر

داده‌های موجود، کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در حوضه قره‌سو نسبتاً قابل قبول است.

(Abbaspour et al. 2015) در اروپا به مطالعه درجه‌بندی و عدم قطعیت با رزولوشن بالا مدل SWAT در مقیاس بزرگ پرداختند. مدل کالیبره شده و نتایج ارائه پشتیبانی از اطلاعات به این دستورالعمل چارچوب آب اروپا و ذخیره کردن پایه و اساس ارزیابی بیش‌تر از تأثیر تغییرات آب‌وهوا در دسترس بودن آب و کیفیت رویکرد و روش‌های توسعه یافته به‌طور کلی است و می‌تواند به هر منطقه بزرگ در سراسر جهان استفاده کرد. (Malekian et al. 2019) بررسی آثار تغییر اقلیم بر برخی ویژگی‌های هیدرولوژیک منابع آب استان لرستان پرداختند. نتایج نشان‌دهنده کاهش میزان بارش در دوره آبی و نیز افزایش متوسط دمای منطقه بود. (Jahangir et al. 2018) در مطالعه‌ای به بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد در ۲۰y آبی با استفاده از مدل HADCM3 پرداختند. نتایج به‌دست آمده از برآورد مدل برای سناریوهای بررسی شده در دوره‌های آبی، نشان داد که میانگین مجموع پارامترهای هواشناسی روند افزایشی داشته است. هر سه سناریو این میزان افزایش را نشان می‌دهند. (Amoakowaah Osei et al. 2019) به بررسی تأثیر تغییر آب‌وهوا و کاربری اراضی بر روی فرآیندهای هیدرولوژیک حوضه آوایی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. پیش‌بینی جریان آینده بر اساس سه سناریو اقلیمی RCP4.5، RCP2.6، RCP8.5 کاهش بارندگی را نشان داد و موفقیت‌آمیز بودن استفاده از مدل SWAT برای ارزیابی هیدرولوژیکی حوضه را نشان داد. (Anand and Oinam 2019) تأثیر تغییرات آب‌وهوایی آینده بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه رودخانه مانی‌پور با استفاده از مدل SWAT را بررسی نمودند. نتایج RCP8.5 نشان داد که میانگین دما و میزان بارندگی سالانه  $2/5^{\circ}\text{C}$  و  $0/062$  mm تا پایان قرن ۲۱ افزایش می‌یابد. و پیش‌بینی شد در دهه‌های آینده احتمالاً منطقه تحت تأثیر سیل و لغزش و رانش زمین قرار گیرد.

اقلیم دارد. مدل گردش عمومی جو HADCM3، یکی از مدل های جفت شده اقیانوسی جوی است که به وسیله مرکز تحقیقات و پیش بینی اقلیمی هادلی در بریتانیا طراحی شده است. جهت اجرای مدل تغییر اقلیم از اطلاعات یک ایستگاه درون حوضه و دو ایستگاه خارج از حوضه استفاده شد. موقعیت این ایستگاه ها در جدول (۱) ذکر شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز جامیشان

Fig. 1 Geographical location of Jamyshan watershed

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های سینوپتیک و اقلیم شناسی مورد استفاده در منطقه

Table 1 Specifications of synoptic and climatic stations used in the region

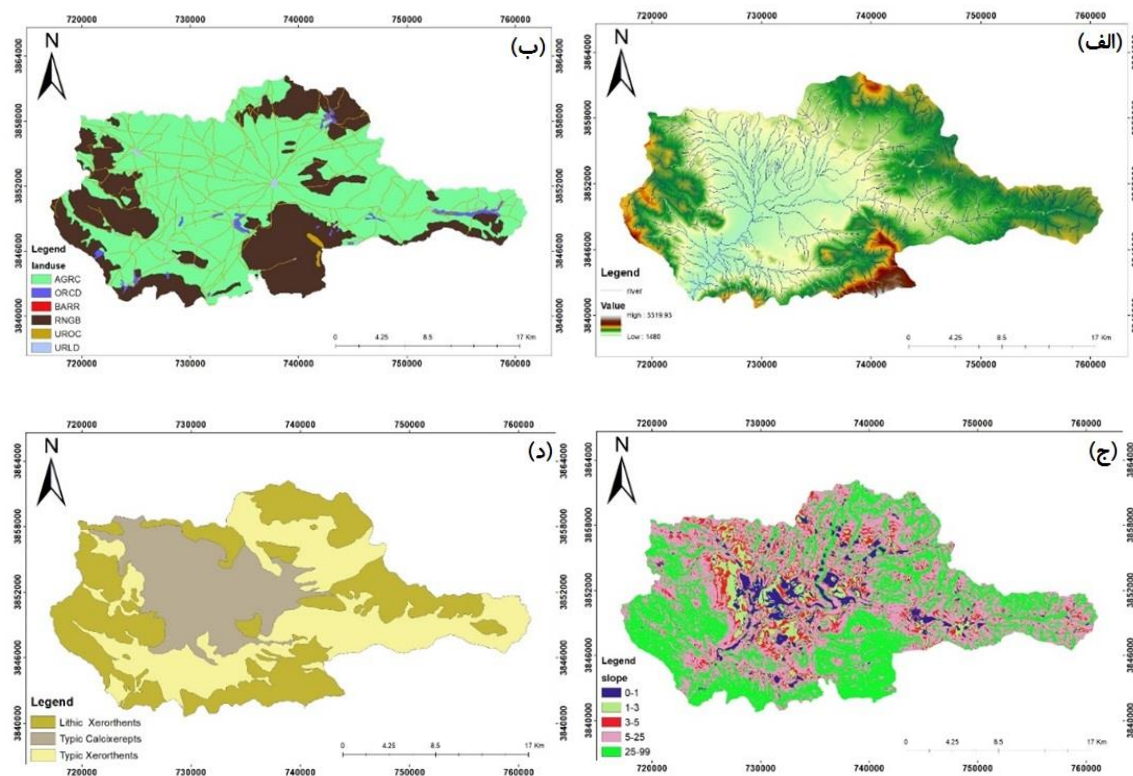
| Row | Station Name | Station Type | Longitude | Latitude | Height (m) |
|-----|--------------|--------------|-----------|----------|------------|
| 1   | Kermanshah   | Synoptic     | 47° 09'   | 21° 34'  | 1318       |
| 2   | Kangavar     | Synoptic     | 48° 59'   | 30° 34'  | 1468       |
| 3   | Songhor      | Climatology  | 47° 35'   | 34° 47'  | 1700       |

ساعات آفتابی و رطوبت نسبی روزانه از سازمان های مربوطه تهیه شد. جهت استفاده از نقشه خاک برای اجرای مدل SWAT نیاز به داده های ورودی مانند گروه هیدرولوژیکی خاک، ظرفیت تبادل آنیون، هدایت هیدرولیکی، بافت خاک

#### ۲-۲-۲-۱ اجرای مدل SWAT

برای اجرای مدل SWAT داده های مورد نیاز مدل شامل نقشه های رقومی ارتفاع، نقشه خاک و نقشه کاربری اراضی، داده های هواشناسی شامل دمای حداقل و حداکثر و بارش،

تخلخل، آب قابل دسترس و تعدادی پارامترهای دیگر می‌باشد که بدین منظور از اطلاعات پروفیل‌های حفر شده در منطقه استفاده شد. مدل برای پایه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۴ شبیه‌سازی و واسنجی شد. سپس نتایج خروجی نرم‌افزار لارس<sup>۱</sup> به مدل



شکل ۲- نقشه‌های موردنیاز اجرای مدل SWAT: الف- نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه، ب- نقشه کاربری اراضی حوضه، ج- نقشه شیب حوضه، د- نقشه خاک حوضه

Fig. 2 Maps required to run the SWAT model: a) Digital model of the height of the basin, b) Land use map of the basin, c) Basin slope map and d) Basin soil map

به شمار آورد. از نظر زمانی نیز فرآیندهای مختلف بیان شده را می‌توان در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و یا سالانه شبیه‌سازی کرد. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل‌محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود. جهت محاسبه تبخیر و تعرق از روش هارگریوز استفاده شد معادله بیلان آب در مدل SWAT رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

### ۲-۲-۳- مدل SWAT

SWAT مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوضه می‌باشد. این مدل از نوع مدل‌های با مبنای فیزیکی است، زیرا بر اساس راه‌حل معادلات اساسی فیزیک به شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ و مطالعه‌ی فرآیندهای سیستم اصلی می‌پردازد. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) می‌باشد که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، کاربری اراضی و خاک حاصل می‌شود. بر این اساس باید SWAT را یک مدل نیمه‌توزیعی

<sup>۱</sup>Lars



دما به کمک سری فوریه انجام می‌شود و حداقل و حداکثر دمای روزانه به صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقادیر دیده‌بانی شده حاصل می‌شوند در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های حداقل و حداکثر مورد استفاده قرار می‌گیرند. تولید داده‌ها توسط مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارت‌اند از: درجه‌بندی، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی. در این مدل ابتدا داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل ECHO-G یک سناریوی خاص تولید داده تدوین می‌شود. برای تدوین این سناریو باید داده‌های شبکه‌ای مدل ECHO-G در دوره آینده با داده‌های دوره پایه مقایسه شوند.

جدول ۲- ویژگی‌های مدل HadCM3 و تعریف سناریوهای تغییر اقلیم (IPCC-2007)

| Model Name | Founder        | Spatial Accuracy (Width and Length)   | Simulated Scenarios |
|------------|----------------|---|---------------------|
| HadCM3     | UK Met, Office | 2.5°×3.75°  | A2, B1, A1B         |
|            | A2             | The average growth of the economy, technology and the rate of rapid population growth and a world distinct from the current situation             |                     |
| Scenarios  | B1             | Rapid growth in the economic structure of nations, the growth of clean technologies and the slow growth rate of the population                    |                     |
|            | A1B            | Rapid economic growth, mostly population growth in the middle of the century and declining trends, rapid growth of new and effective technologies |                     |

### ۳-۳- واسنجی

بعد از درجه‌بندی مدل، جهت واسنجی تولید داده‌های آینده، نتایج شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی در دوره پایه با استفاده از دو معیار ارزیابی مجذور میانگین مربع خطاها (RMSE) مطابق با رابطه (۲) و معیار نش ساتکلیف (NS) مطابق با رابطه (۳) مقایسه شد.

$$RMS = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_e)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (2)$$

که در آن  $SW_t$  محتوای آب نهایی در خاک،  $t$  زمان (روز)،  $SW_0$  مقدار آب اولیه موجود در خاک،  $R_{day}$  مقدار بارش در هر روز،  $Q_{surf}$  مقدار رواناب سطحی در هر روز،  $E_a$  مقدار تبخیر و تعرق روزانه،  $W_{seep}$  مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری و  $Q_{gw}$  مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی می‌باشد.

### ۲-۲-۴ مدل LARS-WG

جهت ریز مقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل HadCM3 از مدل آماری LARS-WG استفاده شد که ویژگی‌های آن در جدول (۲) بیان شده است. این مدل برای تولید داده‌های روزانه بارش، تابش و دمای حداقل و حداکثر یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. همچنین توزیع‌های نیمه تجربی برای مدل‌سازی طول دوره‌تر و خشک، بارش روزانه و سری‌های تابش به کار می‌رود و برآورد

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- درجه‌بندی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG

مدل در دوره مشاهداتی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ اجرا و ارزیابی مدل از طریق مقایسه بین داده‌های ثبت شده با داده‌های تولید شده انجام شد. پس از ارزیابی مدل دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، ساعات آفتابی به صورت روزانه تحت سناریوهای (A2)، (B1) و (A1B) برای دوره ۱۲ yr با استفاده از مدل HadCM3 برای سه ایستگاه کنگاور کرمانشاه و سنقر تخمین زده و با دوره پایه (۲۰۰۶-۲۰۱۴) مقایسه شد.

استفاده شد. سپس نتایج مورد ارزیابی قرار داده شد با توجه به نتایج آنالیز حساسیت مدل پارامترهای مؤثر شناسایی شد و در بهینه کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت در جدول (۱) و شکل (۳) نمودار و مقادیر نتایج واسنجی آورده شده است. برای انجام آنالیز حساسیت از روش "یک پارامتر در هر بار" (OAT) که متعارف‌ترین روش می‌باشد استفاده شد. در روش OAT در هر بار اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می‌مانند و اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند (Remigio and Confesor, 2007).

### ۳-۵- اعتبارسنجی

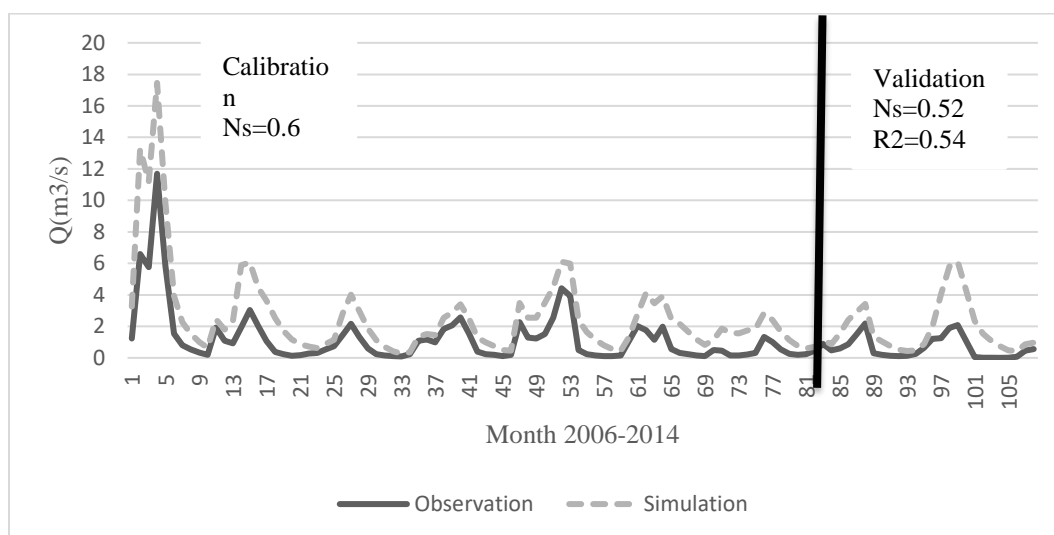
بعد از مرحله واسنجی مدل به ارزیابی مدل پرداخته شد. ارزیابی مدل نیز نتایج قابل قبولی را نشان داد. در این مرحله با توجه به نتایج بهینه مرحله واسنجی شده با استفاده از داده سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۴ اقدام به شبیه‌سازی جریان رودخانه شد. نتایج نهایی اعتبارسنجی مدل در جدول (۳) و شکل (۳) ذکر شده است.

$$NS = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_e)^2}{\sum_{i=1}^n (SSC_o - SSC_m)^2} \right] \quad (3)$$

معیار NS از منفی بی‌نهایت تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد برآورد دقیق‌تر است. در روابط بالا SSCo مقادیر مشاهده‌ای (دما و بارش)، SSCe مقادیر برآوردی، N تعداد نمونه‌های مشاهده‌ای و SSCm متوسط مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. برای صحت‌سنجی مدل LARS-WG داده‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل در دوره پایه ۲۰۰۶-۲۰۱۴ برای مقادیر حداقل دما، حداکثر دما و بارندگی در هر ماه به‌صورت نمودار ارائه شد.

### ۳-۴- واسنجی مدل SWAT

پس از اجرای مدل SWAT، واسنجی مدل با استفاده از برنامه SUFI2 در قالب نرم‌افزار SWAT-CUP به مدل سوات لینک شده است جهت واسنجی از آمار هفت‌ساله اندازه‌گیری (۲۰۱۲-۲۰۰۵) بارندگی، دما و دبی روزانه



شکل ۳- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی با پایه زمانی ماهانه  
Fig. 3 Comparison of simulated hydrographs and observations in the period of metering and validation with a monthly time base

به دلیل به دست آمدن مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی و شبیه‌سازی خوب دبی پایه و زمان وقوع دبی اوج نتایج مدل‌سازی مطلوب می‌باشد و به‌طور کلی نشان‌دهنده توانایی

بررسی شاخص‌ها و نمودار به دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است



و دقت قابل قبول مدل SWAT در شبیه سازی دبی رواناب (Rostamian et al. (2018)، Jahangir et al. (2009) ماهانه حوزه آبخیز جامیشان می باشد. که با نتایج Xu et al. (2008) تطابق دارد.

جدول ۳- ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

Table 3 Evaluate the efficiency of the model in the testing phase

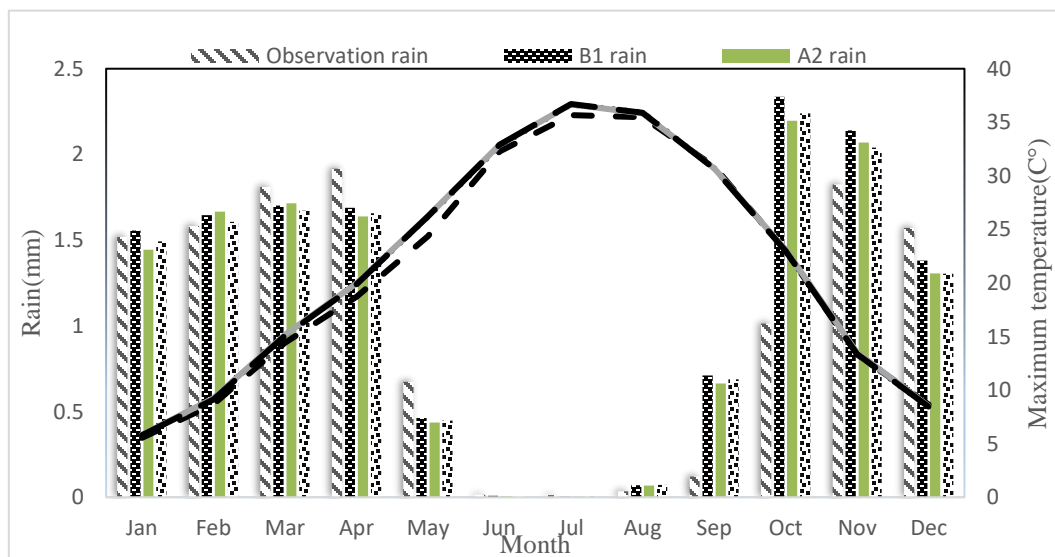
| Index           | Simulation of Validation Period | Simulation of the Calibration Period |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| NS              | 0.52                            | 0.60                                 |
| R <sup>2</sup>  | 0.54                            | 0.61                                 |
| BR <sup>2</sup> | 0.56                            | 0.6                                  |

برای انجام آنالیز حساسیت از روش یک پارامتر در هر بار که اثر آن تغییر بر تابع هدف، حساسیت پارامتر را مشخص متعارف ترین روش می باشد استفاده شد. در این روش هر بار می کند. مقادیر بهینه پارامترهای اثرگذار در جدول (۴) اجرای مدل یک پارامتر تغییر کرده و بقیه ثابت می ماندند و آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر بهینه پارامترهای حساس بعد از واسنجی برای منطقه مطالعاتی

Table 4 Optimal values of sensitive parameters after weaving for the study area

| Row | Parameter name | Optimal limits | Row | Parameter name | Optimal limits |
|-----|----------------|----------------|-----|----------------|----------------|
| 1   | CN2            | -0.01          | 11  | R_SOL_BD       | 2.07           |
| 2   | V_ALPHA_BF     | 1.40           | 12  | V_GWQMN        | 3254.33        |
| 3   | V_GW_DELAY     | 107.04         | 13  | V_SFTMP        | 18.52          |
| 4   | R_SOL_AWC      | 0.95           | 14  | V_SURLAG       | 18.73          |
| 5   | V_GW_REVAP     | 0.16           | 15  | V_SMTMP        | -8.38          |
| 6   | V_ESCO         | 0.52           | 16  | V_SMFMX        | 9.92           |
| 7   | V_CH_N2        | 0.50           | 17  | V_EPCO         | 0.97           |
| 8   | V_CH_K2        | 79.33          | 18  | V_CANMX        | 5.61           |
| 9   | V_ALPHA_BNK    | 0.07           | 19  | V_TLAPS        | 44.31          |
| 10  | R_SOL_K        | 0.76           | 20  | V_REVAPMN      | 404.16         |



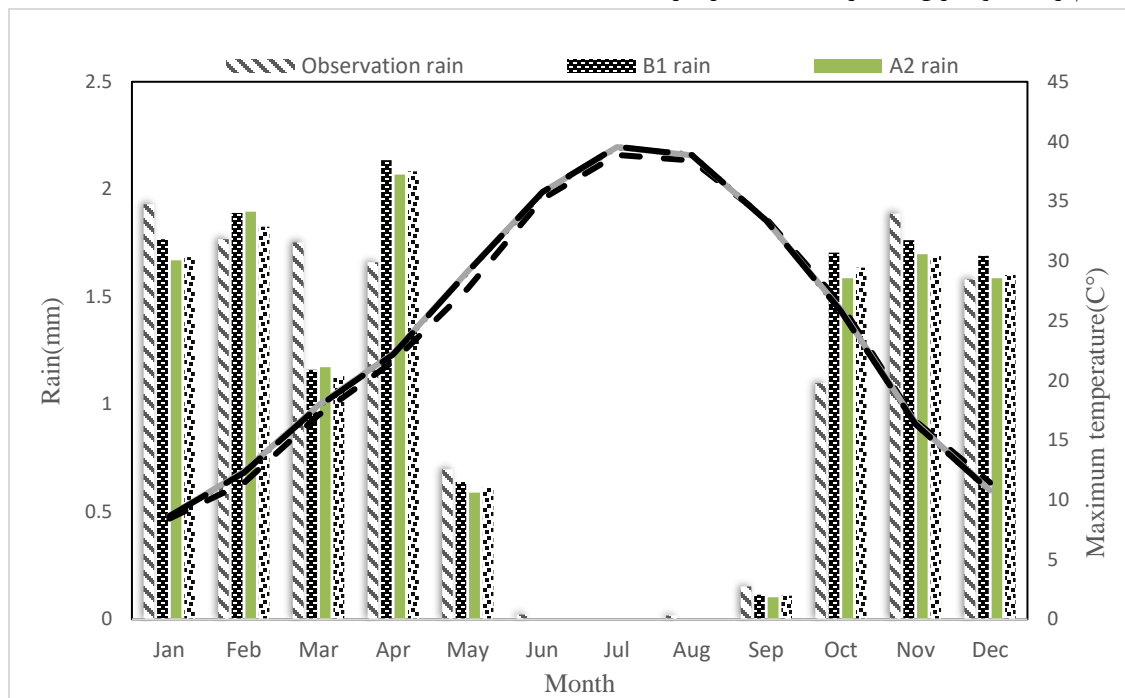
شکل ۴- بارش و دمای حداکثر ایستگاه سنقر

Fig.4 Precipitation and maximum temperature of Songhor station

## ۳-۶- شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی

اکتبر، آگوست، ژولای، می، آوریل، مارس و فوریه دمای مشاهداتی کمتر از شبیه‌سازی می‌باشد. شکل (۴) نشان می‌دهد میزان بارش برای ایستگاه سنقر برای سناریو A1B و A2 حدود ۱/۱ mm و سناریو B1 حدود ۱/۶ mm و میزان دما در ایستگاه سنقر، برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۱، ۰/۹ و ۰/۹ °C افزایش داشته است.

نتایج شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی به ترتیب در شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) به تفکیک هر ایستگاه ذکر شده است. با توجه به شکل (۴) میزان بارش در ایستگاه سنقر در ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر میزان مشاهداتی از شبیه‌سازی کمتر است و میزان دما در ایستگاه سنقر، در ماه‌های



شکل ۵- بارش و دمای حداکثر ایستگاه کرمانشاه

Fig. 5 Precipitation and maximum temperature of Kermanshah station

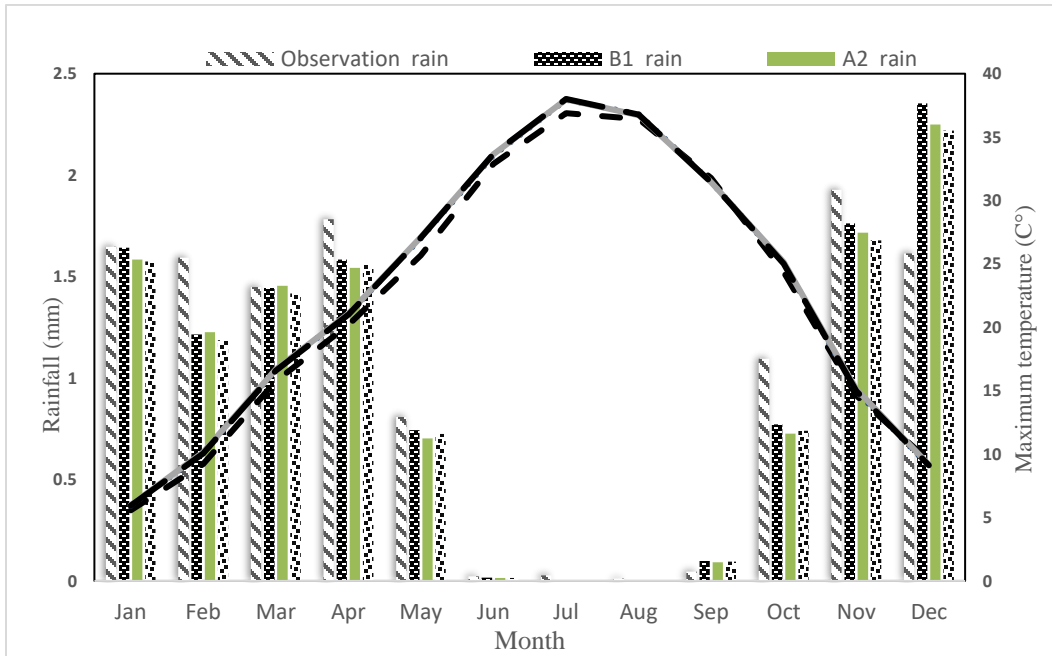
حدود ۰/۳۸ mm و سناریو B1 حدود ۰/۷ mm و سناریو A2 حدود ۰/۱۶ mm و سناریو B1 به ترتیب ۱، ۰/۹ و ۰/۹ °C افزایش یافته است.

## ۳-۷- مدل‌سازی سناریو اثر تغییر اقلیم

در این تحقیق، از مدل WG-LARS برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی اقلیمی A1B، B1، A2 در حوزه آبخیز کرمانشاه استفاده شد که نتایج، حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی، برای تولید داده‌های روزانه پارامترهای ذکر شده و مؤید تحقیقات صورت گرفته به وسیله Semenov (2002) and Barrow (2005) and Elshamy et al. (2006) و Babaeian and Najafinik است. داده‌های اقلیمی

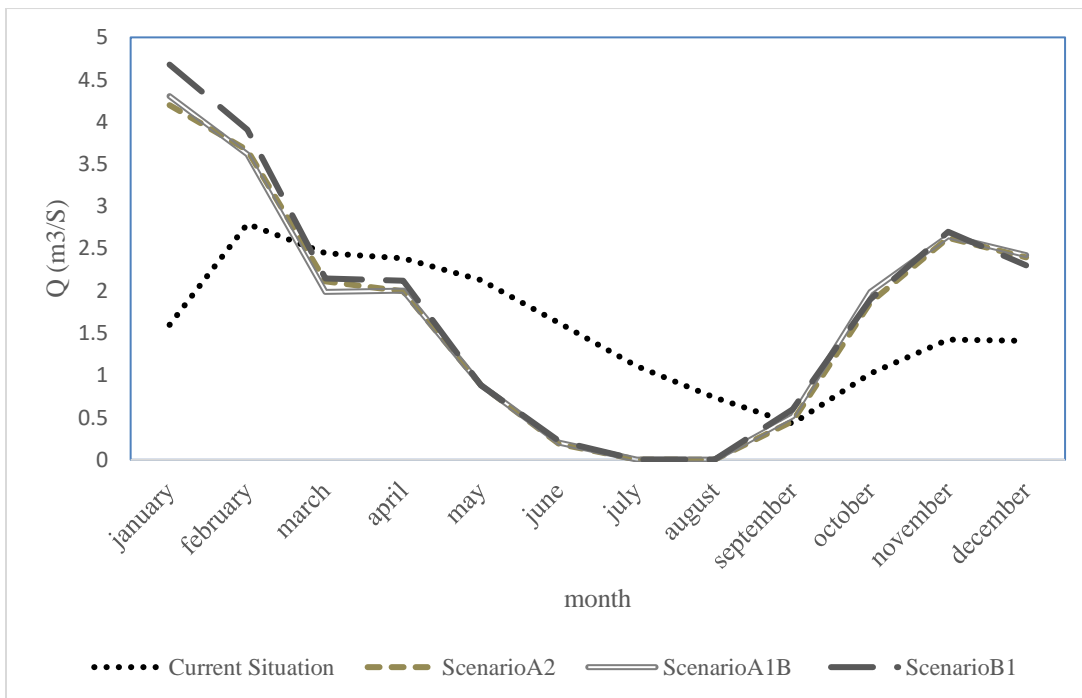
با توجه به شکل (۵) میزان بارش ایستگاه کرمانشاه در ماه‌های آوریل، دسامبر میزان بارش مشاهداتی از بارش شبیه‌سازی کمتر است و میزان دما مشاهداتی در ماه‌های فوریه، آوریل، می و ژولای کمتر از شبیه‌سازی می‌باشد شکل (۵) نشان می‌دهد بارش ایستگاه کرمانشاه سناریوهای A2 حدود ۰/۰۳ mm و B1 حدود ۰/۳ mm افزایش بارندگی و سناریو A1B در حدود ۰/۱۶ mm کاهش و میزان دما برای سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۰/۳۶، ۰/۳۱ و ۰/۳۲، افزایش یافته است. با توجه به شکل (۶) میزان بارش ایستگاه کنگاور در ماه دسامبر میزان بارش مشاهداتی کمتر از شبیه‌سازی می‌باشد و دما مشاهداتی در ماه‌های فوریه، آوریل، می، ژولای کمتر از شبیه‌سازی می‌باشد. شکل (۶) نشان می‌دهد بارش ایستگاه کنگاور برای سناریو A1B و A2

شبیه سازی شده آینده (۲۰۱۵-۲۰۲۶) به عنوان ورودی مدل SWAT استفاده شده و نتایج سناریو با نتایج مدل سازی شرایط گذشته مقایسه شد. نتایج در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۶- بارش و دمای حداکثر ایستگاه کنگاور

Fig.6 Precipitation and maximum temperature of Kangavar station



شکل ۷- مقایسه مدل سازی سناریوها (A2, A1B, B1) و شرایط حال (اثر تغییر اقلیم بر رواناب)

Fig. 7 Comparison of scenario modeling (A2, A1B, B1) and current conditions (effect of climate change on runoff)

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی سناریوها

Table 5 Scenario simulation results

| Month | Current Situation | Scenario A1B | Scenario A2 | Scenario B1 |
|-------|-------------------|--------------|-------------|-------------|
| Jan   | 1.59              | 4.19         | 4.3         | 4.67        |
| Feb   | 2.79              | 3.66         | 3.61        | 3.9         |
| Mar   | 2.4               | 2.1          | 1.98        | 2.1         |
| Apr   | 2.38              | 1.99         | 2           | 2.1         |
| May   | 2.12              | 0.88         | 0.88        | 0.93        |
| Jun   | 1.62              | 0.18         | 0.2         | 0.22        |
| Jul   | 1.1               | 0.003        | 0.002       | 0.003       |
| Agu   | 0.73              | 0.0019       | 0.0018      | 0.002       |
| Sep   | 0.42              | 0.45         | 0.51        | 0.59        |
| Oct   | 1.02              | 1.86         | 1.98        | 2.24        |
| Nov   | 1.42              | 2.62         | 2.64        | 2.93        |
| Des   | 1.4               | 2.39         | 2.42        | 2.69        |

مدیریت حوزه آبخیز بسیار ضروری می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد:

۱- در ایستگاه سنقر برای هر سه سناریو (B1, A1B, A2) بارش و دما افزایش یافته، در ایستگاه کرمانشاه برای دو سناریو A2 و B1 افزایش بارندگی و سناریو A1B کاهش بارندگی مشاهده شد و میزان دما برای هر سه سناریو افزایش را نشان داد. برای ایستگاه کنگاور برای هر سه سناریو کاهش بارش و میزان دما بر اساس نتایج سه سناریو افزایش دما را نشان داد.

۲- سناریوهای بررسی شده نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه در آینده به سمت اقلیمی با رطوبت بیش‌تر پیش می‌رود. نتایج تغییرات بارش مبنی بر اینکه افزایش بارش دوره آینده خیلی ناچیز بوده و مقدار آن در آینده دور بیشتر است.

۳- بر اساس تغییر اقلیم پیش‌بینی شده و افزایش بارش و دما احتمالاً در آینده سیل‌های بیش‌تری در حوضه اتفاق خواهد افتاد. دلیل این امر نیز افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم بارش حوضه بیش‌تر به حالت باران خواهد بود و در نتیجه حجم بیش‌تر بارش به شکل رواناب جریان می‌یابد.

۴- در این پژوهش از روش‌های کوچک‌مقیاس کردن آماری در مدل LARS-WG استفاده شد، ولی روش‌های آماری کوچک‌مقیاس کردن دارای انواع و ملاحظات فنی مختلفی هستند که در این زمینه نیز جای پژوهش فراوانی وجود دارد. محققین برای بررسی‌های دقیق‌تر، از ساختار مدل‌های GCM برای تهیه مدل‌هایی اقلیمی منطقه‌ای RCM استفاده

نتایج حاصل از مقایسه شرایط هیدرولوژیکی آینده و حال حاضر در حوضه مورد مطالعه نشان از افزایش میزان رواناب حوضه برای هر سه سناریو اقلیمی A2، B1 و A1B می‌باشد. برای سناریو A2 در حدود ۶ درصد، سناریو A1B در حدود ۷٪ و در سناریو B1 در حدود ۶٪ افزایش رواناب سطحی داشته است. نتایج نشان داد که برای ایستگاه سنقر برای سناریو A1B و A2 حدود ۱/۱ mm و سناریو B1 حدود ۱/۶ mm، ایستگاه کرمانشاه سناریوهای A2 حدود ۰/۰۳ mm و B1 حدود ۰/۱۶ mm افزایش بارندگی و سناریو A1B در حدود ۰/۳ mm کاهش و ایستگاه کنگاور برای سناریو A1B و A2 حدود ۰/۷ mm و سناریو B1 حدود ۰/۳۸ mm بارندگی کاهش می‌یابد. نتایج سناریوهای بررسی شده نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه در آینده به سمت اقلیمی با رطوبت بیش‌تر پیش می‌رود. نتایج تغییرات بارش مبنی بر اینکه افزایش بارش دوره آینده خیلی ناچیز بوده و مقدار آن در آینده دور بیش‌تر است با نتایج مطالعات (Dilghandi and Moazenzadeh 2016) هم‌خوانی دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در آینده شاهد افزایش دما و بارش خواهیم بود که با نتایج (Anand and Oinam 2019) هم‌خوانی دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

شناخت و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما و رواناب در مباحث مهندسی منابع آب و هیدرولوژی و پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت برای وقوع سیلاب و پیش‌بینی بلندمدت برای

گفت هدف کلی از برنامه ریزی بلایا و مخاطرات محیطی، بهینه سازی فعالیت های مقابله با بحران و به حداقل رساندن خسارات ناشی از آن است.

میکنند. تهیه مدل RCM برای کل ایران یا مناطقی که از نظر منابع آبی اهمیت دارند، یکی دیگر از پروژه های تحقیقاتی مورد نیاز کشور است. مدیریت صحیح برای مقابله و کاهش خسارات بلایای طبیعی از ملزومات می باشد. بنابراین می توان

## References

- Abbaspour K. C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Srinivasan R., Yang H. and Kløve B. (2015). A continental scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *J. Hydrol.*, 524, 733-752.
- Amoakowaah Osei M., Amekudzi L. K., Wemegah D. D., Preko K., Gyawu E. S. and Obiri-Danso K. (2019). The impact of climate and land-use changes on the hydrological processes of Owabi catchment from SWAT analysis. *J. Hydrol : Regional Studies*.
- Anand V. and Oinam B. (2019). Future climate change impact on hydrological regime of river basin using SWAT Model. *Global J. Environ. Sci. Manag.*, 5(4), 471-484.
- Anonymous. (2014). Meteorological information from Kermanshah Meteorological. Kermanshah Meteorological Organization. [www.kermanshahmet.ir](http://www.kermanshahmet.ir).
- Ashofteh P. S. and Bozorg Hadad O. (2013). Provide probabilistic approach to evaluate the effects of climate change on runoff. *J. Water Resources Engineering* ., 66-51 [In Persian].
- Azari M., Moradi H. R., Saghafian B. and Faramarzi M. (2016). Climate change impacts on streamflow and sediment yield in the north of Iran. *J. Hydrol. Sci.*, 61(1), 123-133.
- Babaeian I. and Najafinik Z. (2006). Presentation and evaluation of LARS-WG for modeling Khorasan Province parameters. period:1961-2003. *Nivar J.*, 62, 49-65 [In Persian].
- Dilghandi M. and Moazenzadeh R. (2016). A study of changes location rainfall and temperature of Iran under changing conditions climate considering the uncertainty of AOGCM models and diffusion scenarios. *Ecohydrol.*, 3(3), 321-331 [In Persian].
- Elshamy M. E., Wheeler H. S., Gedney N. and Huntingford C. (2005). Evaluation of the rainfall component of weather generator for climate change studies. *J. Hydrol.*, 326, 1-24.
- Godarzi M., Salahi B. and Hosseini S. A. (2015). The effect of climate change on surface runoff changes (case study: Oroomeyeh). *J. Ecohydrol.*, (2), 175-189 [In Persian].
- Jahangir M. H., Norouzi E. and Yar Ahmadi Y. (2018). A study of climate change parameters in Boroujerd in the next 20 years using HADCM3 model. *J. Ecohydrol.*, 5(4), 1353-1345 [In Persian].
- Khosravi M., Ismail Nejad M. and Nazaripoor H. (2010). Climate change and its impact on Middle East water resources. 2010. 4<sup>ed</sup> Int Congress of Islamic Geographers [In Persian].
- Kheiri M., Soufizadeh S., Ghaffari A., Alikhani M. A. and Eskandari A. (2017). Association between temperature and precipitation with dryland wheat yield in northwest of Iran. *Clim. Change*, 141(4), 703-717.
- Laleh Siyah M., Fatahi E. and Mahsafar H. (2012). The impact of climate change on river basin runoff Karun. 2012 1<sup>st</sup> national conference of the desert. 15 p [In Persian].
- Malekian, A., Mirdashtvan M. and Ghadimi M. (2019). A study of the effects of climate change on some hydraulic characteristics of Ardabil Province water resources. *J. Ecohydrol.*, 6(3), 705-695 [In Persian].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). Summary for policy makers. In: IPCC. Climate change: The physical Science basic, Contribution of working group first to the Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, 450 p.
- Remegio B. and Confesor J. (2007). Sensitivity analysis and interdependence of the SWAT

- model parameters. Written for presentation at the 2007 ASABE Annual International Meeting Sponsored by American Society of Agricultural and Biological Engineers Minneapolis Convention Center, Minneapolis, Minnesota.
- Rostamian R., Jaleh A., Afyuni M., Mousavi S. F., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour K. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrol. Sci.*, 53, 977-988
- Sanikhani H., Dinpajoh Y., Pour Yusef S., Ghavidel S. Z. and Solati B. (2013). The impacts of climate change on runoff in watersheds (case study: Ajichay watershed in East Azerbaijan Province, Iran). *J. Water Soil*, 27(6), 1225-1234 [In Persian].
- Shahni Danesh A., Ahadi M. S., Fahmi H., Nokhandan M. H. and Eshraghi H. (2016). Climate change impact assessment on water resources in Iran: applying dynamic and statistical downscaling methods. *J. Water Clim. Change.*, 7(3), 551-577.
- Steele-Dunne S., Lynch P., McGrath R., Semmler T., wang S., Hanafin J. and Nolan P. (2008). The impacts of climate change on hydrology in Ireland. *J. Hydrol.*, 356, 28-45.
- Semenov M. A. and Barrow E. M. (2002). LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's Manual, Version 3.0.
- Xu Z. X., Pang J. P., Liu C. M. and Li J. Y. (2009). Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SAWT model. *Hydrol. Process.*, 23, 3619-3630.
- Zare Garizi A. and Talebi A. (2016). Identification and prioritization of crisis areas in the watershed in terms of erosion and sedimentation with SWAT model. *J. Watershed Eng. Manag.*, 8(4), 350-361 [in Persian].

## Investigation of the Effect of Climate Change on Some of Hydrological Parameters in Jamishan Watershed Using SWAT Model

Sara Parvizi<sup>1\*</sup>, Ali Talebi<sup>2</sup>, Hossein Malekinezhad<sup>3</sup> and Maryam Sadeghi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>4</sup>M.Sc, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

\*Corresponding author: saraparvizi@stu.yazd.ac.ir

### Original Paper

Received: July 08, 2020

Revised: November 09, 2020

Accepted: November 09, 2020

### Abstract

The increase in greenhouse gases in recent decades and the resulting increase in temperature have upset the balance of the planet's climate system and caused widespread climate change in most parts of the world. In this study, first the SWAT model was calibrated for Jamishan watershed. The calibration and validation stages, NS and R<sup>2</sup> coefficients were 0.6, 0.61, 0.52, and 0.54, respectively. According to the results of sensitivity analysis in the region, it was found that among the 20 parameters affecting runoff, the curve number was the most important parameter. Then, the values of temperature and precipitation for the next period based on the climate change scenario were subscaled with the outputs of the HadCM3 general atmosphere rotation model for the three scenarios A2, B1 and A1B using the LARS-WG model. Later, in order to simulate the watershed runoff, the data were introduced to the SWAT model and the results showed that the runoff in the statistical period of 2015 and 2026 increased by 6, 7 and 6% respectively compared to the observation period in each scenario A2, A1B and B1 and this shows the impact of climate change on runoff in the near future from 2016 to 2026. This study showed that changes in meteorological parameters will lead to significant changes in hydrological regime such as watershed runoff. Increasing rainfall and temperature are likely to cause floods in the region in the future.

**Keywords:** Climate Change; HadCM3 Model; LARS-WG Model; SWAT Model.