



## تحلیل توزیع‌های آماری در برآورد اثرات تغییر اقلیم بر سیلاب‌های آینده (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آذرشهر چای)

محمد رضا گودرزی<sup>۱\*</sup>، آتیه فاتحی فر<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه آب، دانشکده عمران، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشجوی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت‌الله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۱

### چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی در اثر تغییرات اقلیمی می‌تواند باعث افزایش احتمال وقوع رخدادهای حدی اقلیمی مانند سیلاب و افزایش فراوانی و شدت آن در بعضی از مناطق کره‌ی زمین شود. از این رو ضرورت بررسی مقادیر حدی شدت بارش و فراوانی رخداد این کمیت طی دوره‌های گذشته و همچنین تأثیر گرمایش جهانی بر روند آن طی دوره‌های آتی کاملاً احساس می‌شود. در پژوهش حاضر اثر تغییرات اقلیمی بر رواناب حوضه‌ی آذرشهر با مدل CanESM2 تحت سناریوهای انتشار، RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با ریزمقیاس‌گردانی آماری مدل SDSM از طریق مدل هیدرولوژیکی SWAT بررسی شد. نتایج ارزیابی مدل SDSM با ضریب نش-ساتکلیف ۰/۹۵ بیانگر دقت بالای این مدل در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ مقیاس است. نتایج مدل اقلیمی حاکی از افزایش دما به میزان ۰/۱ تا ۰/۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و افزایش ۴ تا ۷ درصدی بارش در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ نسبت به دوره‌ی ۲۰۵۹-۲۰۳۰ می‌باشد. به منظور تحلیل فرکانس و شدت سیلاب با استفاده از مدل Easy fit مناسب‌ترین توزیع براساس سه آزمون نکویی برازش انتخاب شد. نتایج بررسی رژیم جریان‌های حداکثر سالانه (فراوانی و شدت) از طریق برازش توزیع‌های احتمالاتی با کمترین میزان خطا برای دوره‌ی پایه توزیع ویبول، دوره‌ی آینده RCP2.6 توزیع لوگ پیرسون نوع ۳، RCP4.5 لوگ نرمال و RCP8.5 لوگ نرمال به عنوان بهترین توزیع انتخاب شده است. فراوانی و شدت سیلاب نیز افزایش یافته به طوری که، در دوره‌ی بازگشت ۵۰۰ ساله افزایش ۹۸ درصدی دبی حداکثر دوره‌ی آتی RCP8.5 نسبت به دوره‌ی پایه مشهود شده است.

**کلمات کلیدی:** آذرشهر چای، تغییر اقلیم، تحلیل فراوانی سیل، توزیع‌های آماری، مدل SWAT.

## ۱- مقدمه

گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم نشان می‌دهد که گرمایش زمین به دلیل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای باعث تغییر در چرخه آب شده است. از مهم‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم می‌توان به تغییر در توزیع زمانی و مکانی بارش و نوع آن، جریان‌های سطحی، تبخیر، افزایش سطح دریاها و خشکسالی و افزایش احتمال وقوع رخداد‌های حدی اقلیمی مانند سیلاب و افزایش فراوانی و شدت آن در بعضی از مناطق کره‌ی زمین اشاره نمود (آی‌پی‌سی‌سی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴: ۸). بررسی میزان و روند تغییرات ایجاد شده و اثر آن بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه، راهگشای پیش‌بینی وضعیت تغییرات در آینده و ارزیابی برنامه‌های مشخص در زمینه توسعه‌ی پایدار منابع آب است (نادری و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۵). تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژی بدون بررسی محاسبات احتمالی امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین تابع توزیع احتمال ابزاری مؤثر و مفید برای توصیف جامع هر متغیر هواشناسی یا هیدرولوژیکی می‌باشد (ویسک و حیوت<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹: ۷۶۰). انتخاب بهترین توزیع برازش یافته براساس یک سری معیارها و آزمون و فرضیات احتمالی صورت می‌گیرد (حداد و رحمان<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱: ۴۱۶). از این‌رو مطالعات بسیاری با توجه به اهمیت بحث تغییر اقلیم بر رواناب و اثرات ناشی از آن و تحلیل فراوانی سیل در سال‌های اخیر، در کشورهای مختلف انجام شده است. مزیدی و خوش روش (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی سیل حوضه‌ی گرگانرود با استفاده از آنالیز مرتبه اول مدل هیدرولوژیک بارش- رواناب استفاده کردند. برای بررسی تغییر اقلیم دو سناریو برای تغییرات تعریف کردند: سناریو اول ۲۵ درصد افزایش در میانگین و انحراف استاندارد عمق بارش منطبق بر توزیع گامبل و سناریو دوم افزایش ۵۰ درصدی عمق بارش می‌باشد. مقایسه‌ی منحنی فراوانی سیل نشان می‌دهد که باوجود کاهش بارش در آینده، بارش‌های حدی با شدت بیشتری نسبت به دوره‌ی پایه

1- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change)

2- Viecek & Huth

3- Haddad & Rahman

رخ خواهند داد که نشان از افزایش سیلاب در دوره‌های آینده است. کویین و لو<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) به اثر تغییر اقلیم بر فرکانس سیلاب با استفاده از GCMها و مدل مولد آب و هوا LARS-WG تحت سناریوهای A1B, B1, A2 پرداختند و از مدل SLURP برای شبیه سازی فراوانی سیل و رواناب استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش دما و شدت سیلاب‌ها بود. خزائی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات اقلیمی بر سیلاب در حوضه‌ی پاتاوه در جنوب غرب ایران پرداختند. از مدل CGCM3 تحت سناریوهای A2, A1B, B1 با مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای شبیه‌سازی وقایع اقلیمی، برای برآورد رواناب از مدل ARNO استفاده کردند. تحلیل فرکانس با استفاده از توزیع گامبل در هر سه سناریو افزایش دبی حداکثر در دوره‌ی بازگشت‌های بالا را نشان داد. آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) تأثیر تغییر اقلیم را بر دبی‌های حداکثر حوضه‌ی آیدوغموش با مدل HADCM3 و سناریو A2، با استفاده از روش کوچک مقیاس نمایی مکانی تناسبی و عامل تغییر<sup>۳</sup>، بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش ۱/۵ تا ۴ درجه‌ای دما و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارندگی دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ داشت و شدت دبی‌ها حداکثر برای دوره‌ی بازگشت‌های تا ۵۰ سال تفاوت چندانی نکرده بود اما با افزایش دوره‌ی بازگشت، شدت آن در دوره‌ی آتی افزایش یافته بود. عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۹) برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان دسترسی به منابع آب از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها افزایش شدت بارش روزانه و فراوانی سیلاب‌های شدید در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی‌های طولانی‌تر در مناطق خشک را نشان می‌دهد. الیسون و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناوب سیلاب حوضه‌های کشور انگلستان تحت خروجی‌های مدل HadRM3H RCM و سناریوی A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد علی‌رغم کاهش متوسط سالانه بارش در حوضه‌ها (به استثنای یک حوضه) در بیشتر دوره‌ی

1- Qin &amp; Lu

2- Khazaei

3- Change Factor

4- Alison et al.,

بازگشت‌ها، تناوب سیلاب‌ها افزایش یافته است. اقبال و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی سیل در حوضه رودخانه کابل برای دو دوره ۲۰۵۰-۲۰۳۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ با چهار مدل اقلیمی تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پرداختند. برای شبیه‌سازی رواناب‌های سالانه حداکثر از مدل SWAT استفاده کردند. برای انجام تحلیل فرکانس از مدل HEC-SSP استفاده کردند. نتایج نشان از افزایش دما و بارش بود. همچنین بررسی فراوانی سیل افزایش شدت و کاهش دوره‌ی بازگشت سیل را نشان داد که در RCP8.5 این مقادیر بیشتر از RCP4.5 بود.

بدیهی است که عوامل اقلیمی و عوامل حوضه‌ای در بروز سیلاب‌ها تأثیر دارند، اما برای جلوگیری از آثار زیانبار سیل نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). اما شناخت تغییرات در آینده کمک شایانی به مقابله و سازگاری با این پدیده می‌تواند داشته باشد. بنابراین در مطالعات انجام شده به بررسی تغییر رژیم سیلاب رودخانه‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم با یک توزیع آماری و یک سناریو اقلیمی پرداخته شده که در این تحقیق تلاش شده است شدت و فراوانی رژیم سیلاب با استفاده از دوره‌ی بازگشت و احتمال وقوع، تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم و مقایسه‌ی این رژیم در سه سناریو انتشار جدید RCP<sup>۲</sup> با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT با برازش پنج توزیع آماری برای هر سری از داده‌ها و انتخاب بهترین برازش برای هر کدام، بررسی شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### - منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز آذرشهر چای یکی از زیر حوضه‌های حوضه‌ی آجی‌چای در شمال غرب است. حوضه‌ی آذرشهر چای در دامنه‌های غربی توده کوهستانی سهند، در شرق دریاچه‌ی

1- Iqbal and et al.,

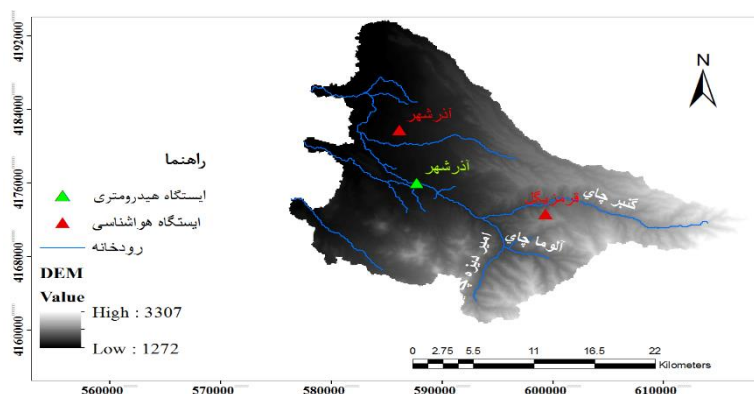
2- Representative Concentration Pathways

ارومیه و در جنوب غرب محدوده‌ی شهرستان تبریز واقع شده است. موقعیت حوضه در محدوده‌ی عرض شمالی  $37^{\circ} 37' - 37^{\circ} 49'$  و طول شرقی  $45^{\circ} 49' - 46^{\circ} 34'$  می‌باشد. متوسط دمای سالانه حدود  $13/22$  درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه  $266/21$  میلی‌متر می‌باشد. در طول مسیر جریان رودخانه آذرشهر، روستاهای متعددی پراکنده شده‌اند که خطر سیلاب تهدیدی برای آن‌ها بشمار می‌آید (شکل ۱ و جدول ۱).

جدول (۱) اطلاعات ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش، دما و دبی

Table (1) The information of the rainfall, temperature and discharge stations

ایستگاه	نوع داده	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع دوره‌ی پایه	منبع داده
آذرشهر	بارش و دما	$57^{\circ} 45'$	$47^{\circ} 37'$	۱۳۴۰	شرکت مدیریت منابع آب ایران
قرمزگل	بارش	$6^{\circ} 46'$	$44^{\circ} 37'$	۱۶۷۳	شرکت مدیریت منابع آب ایران
آذرشهر	دبی	$59^{\circ} 45'$	$60^{\circ} 45'$	۱۴۲۵	شرکت مدیریت منابع آب ایران



شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی آذرشهر چای  
 Fig (1) Location of the Azarshahrchay Basin

در پژوهش حاضر اطلاعات هواشناسی دما حداقل و حداکثر ایستگاه آذرشهر و بارش از دو ایستگاه آذرشهر و قرمزگل (۱۹۷۶-۲۰۰۵) استفاده شده است. سایر اطلاعات هواشناسی مورد نیاز در این تحقیق توسط مدل شبیه‌سازی شده‌اند.

#### – مدل اقلیمی و سناریوهای انتشار RCP<sup>۱</sup>

روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که یکی از معتبرترین آنها، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM<sup>۲</sup> هست. تاکنون مدل‌های گردش عمومی زیادی توسط مراکز مختلف تحقیقات ارائه شده‌است. مدل CanESM2<sup>۳</sup> ترکیبی از دو مدل CanCM4<sup>۴</sup> و CTEM<sup>۵</sup> است که توسط مرکز مدل‌سازی و آنالیز اقلیم کانادا<sup>۶</sup> طراحی شده و دارای شبکه‌بندی سطحی (شبکه‌های با ابعاد حدود ۲/۸۱ درجه‌ی طول و عرض جغرافیایی) است. مدل CanESM2 سه سناریو RCP (2.6, 4.5, 8.5) در سال‌های ۲۰۰۵-۲۱۰۰ و داده‌های NCEP در سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۵ را دربر می‌گیرد (پروز و هانبری<sup>۷</sup>، ۲۰۱۴: ۱۲۵). در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن موقعیت سلول محاسباتی اصلی با ویژگی‌های ۱۷x و ۴۶y داده‌های مدل CanESM2 و داده‌های بازکاوی روزانه میان‌یابی شده از پایگاه داده NCEP<sup>۸</sup> برای کوچک مقیاس‌سازی استخراج گردید.

سناریوهای جدید انتشار RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای شناخته شده‌اند. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند که براساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند. سناریو RCP2.6 دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش

- 1- Representative Concentration Pathways
- 2- General Circulation Model
- 3- Canadian Earth System Model
- 4- Canadian Coupled Global Climate Model
- 5- Canadian Terrestrial Ecosystem Model
- 6- Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
- 7- Pervez & Henebry
- 8- National Centers for Environmental Prediction

گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. در این سناریو میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، به مقدار ۴۹۰ ppm تخمین زده می‌شود. این مقدار در سناریو RCP4.5، به مقدار ۶۵۰ ppm، سناریو RCP8.5 که دربرگیرنده بیشترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است، به مقدار ۱۳۷۰ ppm می‌رسد (مینشاسن و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱: ۲۲۶-۲۳۰).

#### - ریزمقیاس نمایی

خروجی مدل‌های گردش عمومی به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس نمایی می‌گردند. در این پژوهش از مدل SDSM<sup>۲</sup> که یکی از روش‌های آماری می‌باشد استفاده شده است. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوا و مدل رگرسیونی می‌باشد. در ابتدا به‌منظور واسنجی و ارزیابی مدل، متغیرهای بزرگ‌مقیاس منطقه‌ی مطالعاتی در مقیاس روزانه در دوره‌ی مشاهداتی (متغیرهای حاصل از NCEP) به‌عنوان متغیرهای مستقل و بارندگی، دماهای بیشینه و کمینه‌ی روزانه‌ی مشاهداتی، به‌عنوان متغیرهای وابسته به‌طور جداگانه وارد مدل شده است و سپس نتایج به‌دست‌آمده از مدل با مقادیر مشاهده‌شده، مقایسه و نحوه‌ی عملکرد مدل ارزیابی می‌شود. با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده در دوره‌ی تنظیم مدل و داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی، سناریوهای بارش و دمای منطقه برای دو دوره‌ی مشاهداتی و آتی تولید می‌شود که با استفاده از آن‌ها می‌توان به تخمین تغییرات اقلیمی در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخت (ویلی و داسون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳: ۱۷۱۰).

به‌منظور بررسی میزان قابل اعتماد بودن اطلاعات شبیه‌سازی شده از سه شاخص آماری ریشه‌ی میانگین مربع‌خطا (RMSE)<sup>۴</sup> طبق رابطه‌ی (۱)، ضریب تعیین ( $R^2$ )<sup>۵</sup> طبق

1- Meinshausen et al.,

2- Statistical Down Scaling Model

3- Wilby & Dowson

4- Root Mean Square Error

5- Coefficient of Determination

رابطه‌ی (۲) و ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE)<sup>۱</sup> طبق رابطه‌ی (۳) مورد استفاده قرار گرفته‌است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (1)$$

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

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

که در آن‌ها،  $\bar{O}$  میانگین داده‌های مشاهداتی،  $\bar{S}$  میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده،  $O_i$  داده‌های مشاهداتی هر ماه در کل دوره و  $S_i$  داده‌های شبیه‌سازی شده هر ماه در کل دوره می‌باشند. هر چه میزان RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده‌ی کارایی بیشتر مدل است. مقدار  $R^2$  بین صفر تا یک متغیر است، که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد شبیه‌سازی بهتر است. در بررسی تعیین کارایی مدل تعیین کردند که اگر مقادیر ضریب تأثیر Nash بیش از ۰/۷۵ باشد شبیه‌سازی خوب و مقادیر بین ۰/۳۶-۰/۷۵ شبیه‌سازی مقبول و کمتر از ۰/۳۶ شبیه‌سازی پذیرش ناپذیر است.

#### - مدل هیدرولوژیکی SWAT<sup>۲</sup>

مدل مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) مدلی هیدرولوژیکی، نیمه‌توزیعی و با پایه‌ی فیزیکی است که در مرکز تحقیقات کشاورزی آمریکا (USDA-ARS) توسعه یافته است (آرنولد و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸: ۷۳). مدل SWAT برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت زمین‌ها بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی-کشاورزی در سطح حوضه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری زمین‌ها و شرایط مختلف مدیریتی در درازمدت

1- Nash-Sutcliffe Efficiency

2- Soil and Water Assessment Tool

3- Arnold



طراحی شده است. این مدل از معادله‌ی بیلان آب پیروی می‌کند که به صورت رابطه‌ی (۴) تعریف می‌شود: (ذهبیون و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: ۶۰۳):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})_i \quad (4)$$

که در آن  $SW_t$  مقدار نهایی آب موجود در خاک بر حسب میلی‌متر،  $SW_0$  مقدار اولیه آب موجود در خاک بر حسب میلی‌متر (تا عمق ۶۰ سانتی‌متری)،  $t$  زمان بر حسب روز،  $R_{day}$  مقدار بارش در روز  $t$  بر حسب میلی‌متر،  $Q_{surf}$  مقدار رواناب سطحی در روز  $t$  بر حسب میلی‌متر، مقدار تبخیر و تعرق واقعی در روز  $t$  بر حسب میلی‌متر،  $W_{seep}$  مقدار آب نفوذی به منطقه قشری در پروفایل خاک در روز  $t$  بر حسب میلی‌متر و  $Q_{gw}$  جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه در روز  $t$  بر حسب میلی‌متر است.

در این مدل، حوضه به تعدادی زیرحوضه و زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای کوچک‌تر (HRU) تقسیم می‌شوند. این واحدها تا حد امکان مشابه هستند و دارای ترکیبات یکسانی از خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشند. برای ارزیابی و واسنجی مدل از SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 استفاده شده است. ایده اولیه این مدل در سال ۱۹۹۷ توسط عباسپور و همکاران ارائه شد و در سال ۲۰۰۷ توسط ایشان توسعه یافت. برای ارزیابی و واسنجی مدل از شاخص‌های ضریب تعیین ( $R^2$ ) ضریب کارایی نش-ساتکلیف (NSE) در کنار R-factor و P-factor استفاده می‌شود. کیفیت برازش با تعیین درصد مربوط به متغیرهای مشاهده شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند (P-factor) و همچنین متوسط فاصله‌ی بین باندهای بالا و پایین (R-factor) تعیین می‌شوند. مقدار تئوری فاکتور P بین صفر تا ۱ و فاکتور R بین صفر تا بی‌نهایت است. بهترین نتایج در شرایطی رخ خواهد داد که فاکتور P برابر با یک و فاکتور R برابر با صفر شود (عباسپور، ۲۰۰۷: ۱۷).

1- Zahabiyoun et al.,  
2- Hydrologic Response Unit

### - تحلیل فراوانی دبی‌های حداکثر سیلابی

برآورد دبی سیلاب با روش شبیه‌سازی بارش-رواناب با استفاده از تحلیل فراوانی آماری انجام می‌شود. در تحلیل رژیم دبی‌های حداکثر، رابطه‌ی واحدی را بایستی بین بزرگی و دوره‌ی بازگشت مربوط به آن پیدا کرد. در این تحقیق از روش سری حداکثر سالانه (AM)<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. بدین منظور بعد از تولید سری زمانی روزانه رواناب ۲۰۳۰-۲۰۵۹، مقادیر دبی حداکثر سالانه مربوط به این سری مشخص شد. سپس تابع توزیع احتمالاتی با استفاده از نرم‌افزار EasyFit توزیع‌های آماری مختلف (نرمال، لوگ نرمال، پیرسون، لوگ پیرسون نوع ۳ و ویبول) برای داده‌های دوره‌ی پایه و سه سناریو آینده برازش شد. برای انتخاب بهترین توزیع آماری از سه آزمون نکویی برازش کای اسکوتر<sup>۲</sup> کلموگروف - اسمیرنوف<sup>۳</sup> اندرسون دارلینگ<sup>۴</sup> استفاده شده است (لايو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۹: ۳). بعد از مشخص شدن بهترین توزیع برای هر سری از داده‌ها، تابع توزیع احتمالاتی (PDF) برای آن‌ها تعیین می‌گردد. به منظور بررسی چگونگی تغییر رژیم دبی‌های حداکثر حوضه در دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹) از دو شاخص استفاده شد: (۱) احتمال دوره‌ی بازگشت در دبی‌های یکسان (۲) شدت دبی در دوره‌ی بازگشت‌های برابر.

### ۳- نتایج و بحث

بعد از اطمینان از صحت عملکرد مدلسازی اقدام به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در آینده شده است. سپس رواناب روزانه حوضه با مدل SWAT شبیه‌سازی شد تا بتوان تحلیل فراوانی سیل را انجام داد.

---

1- Annual Maximum  
2- Chi-square  
3- Kolmogorov-Smirnov  
4- Anderson-Darling  
5- Laio et al.,  
6- Probability Distribution Function

### صحت‌سنجی مدل SDSM -

در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی NCEP و مدل SDSM به انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب پارامترهای اقلیمی مورد نیاز پرداخته شد. بدین منظور، از بین ۲۶ پارامتر بزرگ مقیاس NCEP پارامترهای نهایی بزرگ مقیاس، برای متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را داشتند، انتخاب گردید. برای ارزیابی از سه شاخص ریشه‌ی میانگین مربع خطا، ضریب تعیین و ضریب کارایی نش-ساتکلیف استفاده شد. جدول (۲) نتایج حاصل از عملکرد بالای مدل را نشان می‌دهد.

جدول (۲) نتایج واسنجی و ارزیابی مدل گردش عمومی CanESM2 در مدل SDSM  
 Table (2) Calibration and validation results of CanESM2 GCM in SDSM model

پارامتر ایستگاه	دوره‌ی واسنجی			دوره‌ی ارزیابی				
	سال دوره	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>	سال دوره	RMSE	NSE	R <sup>2</sup>
دما بیشینه	۲۰۰۰-۱۹۹۰	۱/۸۳۲	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۲/۴۰۸	۰/۹۸۱	۰/۹۸۹
دما کمینه	۲۰۰۰-۱۹۹۰	۱/۴۸۶	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۲۰۰۵-۲۰۰۱	۰/۶۹۶	۰/۹۸۰	۰/۹۸۸
بارش	۱۹۹۵-۱۹۷۶	۰/۶۶۷	۰/۹۵۱	۰/۹۵۵	۲۰۰۵-۱۹۹۶	۰/۵۶۴	۰/۷۲۸	۰/۷۸۸
قرمزیکل	۱۹۹۵-۱۹۷۶	۰/۸۲۰	۰/۸۶۴	۰/۹۱۲	۲۰۰۵-۱۹۹۶	۰/۶۹۶	۰/۷۲۵	۰/۷۸۰

### بررسی پارامترهای اقلیمی در دوره‌ی آتی -

بعد از اطمینان از نتایج اقدام به پیش‌بینی دما و بارش برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ حوضه شد. نتایج حاصله برای پارامتر دما در جدول (۳) نشان داد که هم دمای حداکثر و هم دمای حداقل این ایستگاه‌ها در دوره‌ی آینده افزایش یافته است. بازه‌ی تغییرات دمای حداکثر ایستگاه بین ۰/۰۶ تا ۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد و بازه‌ی تغییرات دمای حداقل ایستگاه‌ها بین ۰/۱۳ تا ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در تغییرات دمای حداکثر این دوره، بیشترین افزایش دمای حداکثر و حداقل به ترتیب تحت سناریوی انتشار RCP8.5 و با میزان افزایش ۰/۲۶ و ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد است. از بررسی اجمالی نتایج بارش در جدول (۴) اینگونه برداشت می‌شود که تغییرات اقلیمی در ایستگاه آذرشهر افزایش بارش و ایستگاه قرمزیکل کاهش بارش را بدنبال داشته است. اما در طی سناریوها روند کاهشی

بارش دیده می‌شود. در این مدل کمترین میزان کاهش بارش به سناریوی RCP2.6 اختصاص یافته و میزان پیش‌بینی بارش سناریوی RCP4.5 به طور کلی حد واسط دو سناریوی دیگر است.

جدول (۳) تغییرات متوسط دمای حداقل و حداکثر دوره‌ی مشاهداتی و آتی ایستگاه آذرشهر  
Table (3) Changes in mean minimum and maximum temperature in the base and future periods of Azarshahr station

دما	دمای دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۹۰-۲۰۰۵) (°C)	دما (°C) و میزان تغییرات دما دوره‌ی آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹)					
		RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6			
حداقل	۷/۷۸	+۰/۲۳	۸/۰۱	+۰/۱۶	۷/۹۴	+۰/۱۳	۷/۹۱
حداکثر	۱۸/۷۱	+۰/۲۶	۱۸/۹۷	+۰/۱۲	۱۸/۸۳	+۰/۰۶	۱۸/۷۷

جدول (۴) میزان بارش سالانه دوره‌ی مشاهداتی و آتی ایستگاه‌ها  
Table (4) Annual precipitation in the base and future periods for stations

ایستگاه	بارش دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) (mm)	بارش (mm) و درصد تغییرات بارش دوره‌ی آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۹)					
		RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6			
آذرشهر	۲۲۸/۶۴	+۴/۵۳	۲۳۹/۰۲	+۶/۱	۲۴۲/۶۰	+۷/۴۴	۲۴۵/۶۷
قرمزگل	۲۸۷/۰۸	-۷/۵۷	۲۶۵/۳۴	-۵/۰۱	۲۷۲/۷۲	-۱/۱۵	۲۸۳/۷۷

#### آماده‌سازی و واسنجی مدل SWAT

اطلاعات ورودی مورد نیاز در این مدل در دو حالت کلی به سیستم معرفی شد. اول نقشه‌های DEM(30m)، کاربری اراضی و خاک حوضه به مدل معرفی شده است. دوم اطلاعاتی است که به صورت فایل‌های dBase (dbf، فرمت) و ASCII (txt، فرمت) وارد مدل شدند. این فایل‌ها حاوی اطلاعات مورد نیاز برای تعریف کاربری اراضی، جنس خاک و همچنین موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند. این اطلاعات بعد از پردازش در محیط GIS به صورت رستر در مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفتند. با تعریف حد آستانه ۱۰٪ برای نقشه‌ی کاربری ۵٪ خاک و ۱۰٪ شیب واحد پاسخ‌های هیدرولوژیکی حساب شدند. بر این اساس، منطقه مطالعه شده به ۲۶ زیرحوضه ۱۴۷ واحد همگن هیدرولوژیکی تفکیک شد.

بعد از تحلیل حساسیت مدل، واسنجی آن توسط مدل SWATCUP با استفاده از الگوریتم SUFI2 با تعداد تکرار ۵۰۰ مرتبه انجام گرفت و در نهایت مقدار پارامترهای مؤثر در رواناب در جدول (۵) بدست آمد. شبیه‌سازی به صورت روزانه انجام گرفت. خلاصه نتایج واسنجی (۱۹۸۴ تا ۱۹۸۷) و اعتبارسنجی (۱۹۸۸ تا ۱۹۸۹) در جدول (۶) نشان داده شده است. شکل (۲) سری زمانی رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

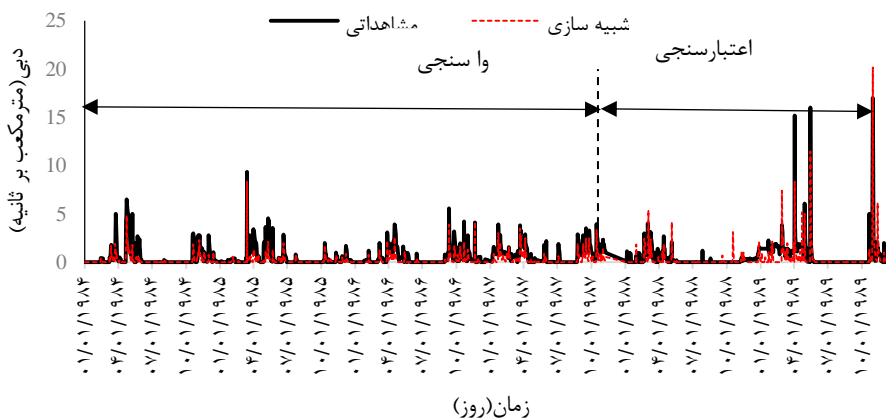
جدول (۵) پارامترهای حساس به کار رفته در مدل SWAT CUP، محدوده تغییرات و مقدار بهینه آنها  
**Table (5)** Sensitive parameters used in SWAT CUP model, their range of changes and optimal value

تعریف پارامتر	نام پارامتر و نام فایل مربوط به آن در مدل	محدوده	مقدار بهینه
شماره منحنی	r_CN2.mgt	۷۸-۴۵	-۰/۲۴
زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه‌ی خاک به سطح آب زیرزمینی	V_GW_DELAY.gw	۳۰۰-۰	۶۰/۴۹
رطوبت قابل استفاده لایه‌های خاک	r_SOL_AWC.sol	-۰/۲ -۰/۴	۰/۲۲۹
ضریب آلفای آب زیرزمینی	V_ALPHA_BF.gw	۱-۰	۰/۳۰۶
ضریب تبخیر خاک	V_ESCO.hru	۰/۹ -۱	۰/۹۶۵۴
نرخ تغییرات بارش در ارتفاع در هر زیر حوضه	V_PLAPS.sub	۱۰۰-۱۰۰	۱۰۰
دمای ذوب توده برف	V_SMTMP.bsn	-۱-۳	-۱/۵
ضریب هدایت هیدرولیکی	r_SOL_K.sol	-۰/۰-۵/۵	-۰/۳۳
نرخ تغییرات دما در ارتفاع در هر زیرحوضه	V_TLAPS.sub	-۶-۶	-۱/۷۲
آب نگهداشته شده توسط پوشش گیاهی (برگاب)	V_CANMX.hru	۶۰-۵	۲۰/۵۲
ضریب تأخیر رواناب سطحی	V_SURLAG.bsn	۲۴-۱	۲/۷۳
فاکتور ذوب برف در ۲۱ ژوئن	V_SMFMX.bsn	۱۰-۰	۴/۳۲

جدول (۶) معیارهای عملکرد مربوط به مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT  
**Table (6)** Performance measures related to Calibration and Validation of the SWAT model

NSE	R <sup>2</sup>	R-Factor	P-Factor	
۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۶۱	۰/۵۷	واسنجی
۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۶۳	اعتبارسنجی

نتایج شبیه‌سازی دبی خروجی حوضه و دبی مشاهداتی اندازه‌گیری شده توسط معیار  $R^2$  و NSE و همچنین پارامترهای عدم قطعیت P-factor و R-factor مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. بدلیل عدم قطعیت‌های مختلف مؤثر بر نتایج خروجی، هیچ‌گاه این ضرایب بهینه نمی‌باشند. یکی از اهدافی که مدل SUFI-2 دنبال می‌کند کاهش عدم قطعیت می‌باشد. بطوریکه اکثر داده‌های مشاهداتی در سطح ۹۵ درصد قرار گیرند. در تحقیقات صورت گرفته ضریب NSE بیشتر از ۰/۵ و P-factor بیشتر از ۰/۵ را بعنوان مقادیر رضایت بخش معرفی کرده‌اند. نتایج جدول فوق نشان‌دهنده‌ی دقت خوب مدل در برآورد رواناب در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد.



شکل (۲) مقایسه‌ی سری زمانی روزانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

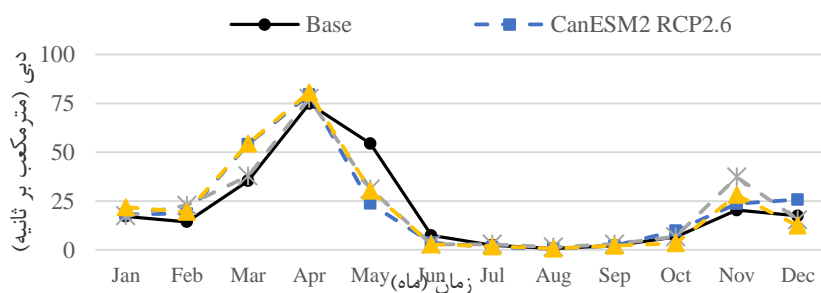
Fig (2) Comparison of observed and simulated daily time series of discharge

#### - بررسی تغییرات در رواناب

پس از معرفی سری‌های زمانی ریزمقیاس شده دما و بارش در دوره آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹) به مدل هیدرولوژیکی SWAT سری زمانی رواناب روزانه‌ی حوضه بدست آمد. نتایج افزایش متوسط دبی سالانه را نشان می‌دهد. مقدار افزایش ۳/۲، ۱/۴ و ۲/۱ درصدی رواناب به

ترتیب در RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 مشاهده شده است. شکل (۳) میزان تغییرات ماهانه دبی را نشان می‌دهد.

با دقت در این شکل مشخص می‌شود که الگوی جریان رودخانه در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ۳۰ ساله در برخی از ماه‌های سال با تغییراتی مواجه خواهد شد، به طوری که میزان جریان در طول ماه‌های اواسط اکتبر تا اوایل آوریل (اواخر پاییز تا اوایل بهار) افزایش دبی مشاهده می‌شود. همچنین بارش‌های حدی رخ داده اغلب در این ماه‌ها در آینده مشاهده شده است. دلیل این افزایش بطور مستقیم با افزایش دما و افزایش بارش‌های حدی در دوره‌ی آتی مرتبط است. افزایش دما باعث افزایش نرخ ذوب برف در منطقه خواهد شد و به مرور زمان منابع آب موجود در ارتفاعات و مناطق سرد ذوب شده که منجر به سیلاب در منطقه می‌گردد. روند کاهشی جریان در ماه‌های مه تا سپتامبر (اواخر بهار تا اوایل پاییز) مشاهده می‌شود. همچنین روند افزایش رواناب نسبت به دوره پایه و کاهش آن‌ها نسبت به RCP2.6 مشاهده شده است.



شکل (۳) نمودار تغییرات میانگین رواناب ماهانه تحت سناریوهای اقلیمی مختلف و مشاهداتی طی دوره ۳۰ ساله

**Fig (3)** Chart of mean monthly runoff changes under different scenarios and observational over a 30 years period

بطور کلی افزایش بارش و رواناب‌های حدی دلیل بر پرآب شدن منطقه نمی‌باشد. علی‌رغم افزایش رواناب، دبی پایه کاهش و روزهای خشک به دلیل تبخیر بالا افزایش یافته است.

از این رو افزایش رواناب نشان از افزایش وقایع حدی دارد که منجر به سیل در منطقه می‌گردد.

- تحلیل فراوانی دبی حداکثر در دوره‌های آتی

با در دست داشتن رواناب روزانه سری زمانی مقادیر حداکثر دبی سالانه در هر دو دوره پایه و آینده محاسبه شد و تابع توزیع احتمال آن‌ها (pdf) با استفاده از مدل Easyfit بدست آمد. بهترین توزیع برای هر سری زمانی پایه و آینده با استفاده از سه آزمون نکویی برازش کای اسکوتر، کولموگروف - اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ رتبه‌بندی و انتخاب شد. جدول (۷) نتایج خروجی از نرم افزار و بهترین توزیع برای هر سری داده را نشان می‌دهد.

جدول (۷) نتایج برازش مناسب‌ترین تابع توزیع برای داده‌های دبی روزانه دوره پایه و آتی  
Table (7) The results of the Goodness of Fit Measures of distribution function for the base and future period daily discharge data

		۱	۲	۳	۴	۵
ردیف	سناریو	ویبول	نرمال	لوگ پیرسون (۳)	لوگ نرمال	پیرسون (۳ پارامتری)
پایه	کولموگروف	مقدار خطا ۰/۱۲۵۰۷	۰/۱۸۱۸۷	۰/۱۲۴۵۲	۰/۱۲۶۴۵	۰/۱۲۰۴۷
	اسمیرنوف	رتبه ۳	۵	۲	۴	۱
	اندرسون	مقدار خطا ۰/۴۳۴۵۷	۰/۸۴۲۱۱	۰/۵۲۱۰۹	۰/۵۶۴۵۲	۰/۴۷۳۸
	دارلینگ	رتبه ۱	۵	۳	۴	۲
	کای اسکوتر	مقدار خطا ۰/۳۴۲۴۳	۱/۹۳۸۸	۰/۵۰۱۱۳	۰/۵۰۲۹۳	۰/۴۹۴۹۲
		رتبه ۱	۵	۳	۴	۲
RCP2.6	کولموگروف	مقدار خطا ۰/۰۸۸۷۸	۰/۰۱۷۵۶	۰/۰۹۱۵۸	۰/۰۹۰۵۸	۰/۰۹۴۷۷
	اسمیرنوف	رتبه ۱	۵	۳	۲	۴
	اندرسون	مقدار خطا ۰/۳۱۳۵۶	۱/۵۴۳۳	۰/۲۰۳۶۴	۰/۲۰۵۵۳	۰/۲۱۶۶۹
	دارلینگ	رتبه ۴	۵	۱	۲	۳
	کای اسکوتر	مقدار خطا ۱/۰۲۱۹	۱/۸۲۶	۰/۵۹۳۲۴	۰/۶۱۵۷۸	۱/۰۲۸۹
		رتبه ۳	۵	۱	۲	۴
RCP4.5	کولموگروف	مقدار خطا ۰/۰۹۰۴۳	۰/۱۸۱۷	۰/۰۸۵۱۴	۰/۰۸۸۸۲	۰/۰۹۲۵۱
	اسمیرنوف	رتبه ۳	۵	۱	۲	۴
	اندرسون	مقدار خطا ۰/۵۴۰۷۶	۱/۵۲۱۸	۰/۱۶۶۲۷	۰/۱۷۹۴۹	۰/۲۲۸۱۷
	دارلینگ	رتبه ۴	۵	۱	۲	۳



ادامه جدول (۷) نتایج برازش مناسب‌ترین تابع توزیع برای داده‌های دبی روزانه دوره‌ی پایه و آتی  
**Table (7)** The results of the Goodness of Fit Measures of distribution function for the base and future period daily discharge data

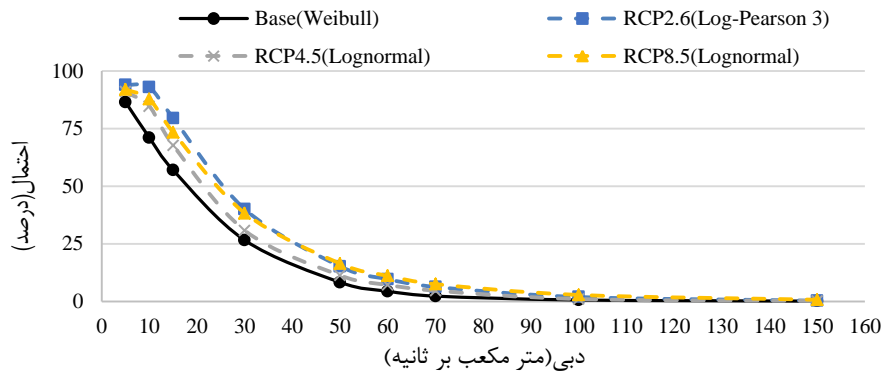
ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	
سناریو	آزمون	ویبول	نرمال	لوگ پیرسون (۳)	لوگ نرمال	پیرسون (۳ پارامتری)
کای اسکوتر	مقدار خط	۰/۱۹۵۱۱	۰/۶۱۳۲	۰/۵۱۹۲	۰/۵۰۰۷۲	۰/۵۸۵۴۶
	رتبه	۱	۵	۳	۲	۴
کولموگروف	مقدار خطا	۰/۱۲۰۱۹	۰/۲۷۳۳	۰/۱۵۲۱۸	۰/۱۲۳۶۱	۰/۱۲۵۷
	رتبه	۱	۵	۴	۲	۳
اسمیرنوف	مقدار خطا	۱/۵۲۹۷	۱/۶۶۶۷	۰/۵۶۴۶۸	۰/۵۵۶۰۸	۰/۴۷۳۸۴
	رتبه	۴	۵	۳	۲	۱
RCP8.5 اندرسون	مقدار خطا	۱/۵۴۹۵	۲/۳۸۹۱	۲/۱۲۳۷	۱/۱۹۱۳	۲/۱۶۷۶
	رتبه	۲	۵	۳	۱	۴
کای اسکوتر	مقدار خطا	۱/۵۴۹۵	۲/۳۸۹۱	۲/۱۲۳۷	۱/۱۹۱۳	۲/۱۶۷۶
	رتبه	۲	۵	۳	۱	۴

به منظور بررسی چگونگی تغییر رژیم دبی‌های حداکثر حوضه در دوره‌ی پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و آتی (۲۰۳۰-۲۰۵۹) از دو شاخص استفاده شد:

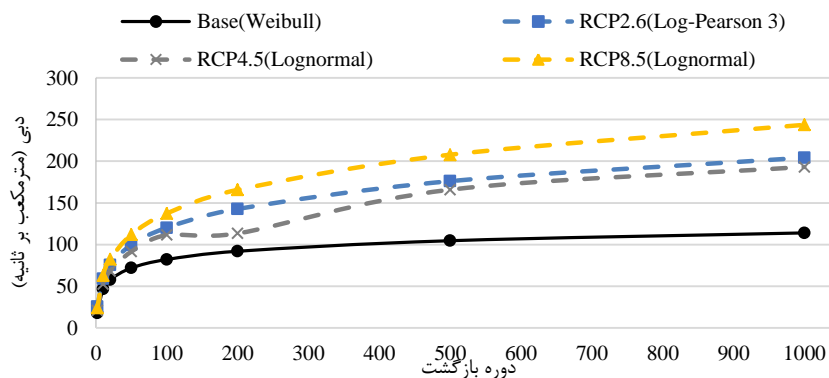
(۱) احتمال و دوره‌ی بازگشت در دبی‌های یکسان (۲) شدت دبی در دوره‌ی بازگشت‌های برابر.

برای بدست آوردن شاخص اول ابتدا با در دست داشتن تابع تجمعی احتمال برای هر سری از داده‌ها احتمال وقوع یک دبی ثابت برای تمام دوره‌ها حساب شد. همان‌طور که در شکل (۴) مشهود است احتمال وقوع دبی‌های حداکثر در دوره‌های آینده نسبت به دوره‌ی پایه بیشتر است. این احتمال برای RCP2.6 و RCP8.5 بیشتر می‌باشد.

شاخص دوم با قرار دادن دوره‌ی بازگشت‌های یکسان برای دوره‌ها شدت دبی پیک محاسبه شد. در شکل (۵) مشهود است که دبی‌های حداکثر برای دوره بازگشت تا حدود ۳۰ سال تفاوت چندانی ندارند اما با افزایش دوره‌ی بازگشت دبی‌های حداکثر در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه افزایش داشته است. همچنین این افزایش برای RCP8.5 بیشترین مقدار است که وقایع حدی بارش و افزایش رواناب پیک در این سناریو گویای افزایش دبی پیک در دوره‌ی بازگشت‌ها زیاد می‌باشد.



شکل (۴) مقایسه تغییرات احتمال و دوره بازگشت دوره پایه و آتی در دبی ثابت  
Fig (4) Comparison of the probability and return period changes at constant discharge for the base and future periods



شکل (۵) مقایسه تغییرات شدت دبی‌های پیک در دوره پایه و آتی در دوره بازگشت‌های ثابت  
Fig (5) Comparison of changes in peak discharge at constant return periods for the base and future periods

#### ۴- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم در صد سال آینده با تغییرات قابل توجهی در الگوی بارش همراه است که به تبع آن خطرات سیل و خشکسالی را در پیش دارد. در پژوهش حاضر به بررسی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش منطقه بر اساس مدل اقلیمی CanESM2 و ریزمقیاس‌نمایی SDSM

تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۹ پرداخته شد. برای شبیه‌سازی رواناب روزانه آتی از مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده شد. در نهایت برای بررسی تحلیل فرکانس سیل از مدل EasyFit برای بدست آوردن توزیع‌های آماری مناسب و شدت و دوره‌ی بازگشت‌های حداکثر دبی سالانه استفاده شد.

با توجه به یافته‌های پژوهش مدل رگرسیون خطی چندمتغیره SDSM کارایی مناسبی در شبیه‌سازی بارش و دما نشان داد. درجه حرارت با این شبیه‌سازی در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۵۹ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دمای حداقل به ترتیب  $+0/13$ ،  $+0/16$ ،  $+0/23$  درجه سانتی‌گراد، و بیشترین افزایش دما مربوط به سناریوی RCP8.5 می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی بارش تحت سناریوها افزایش مقدار بارش‌های حدی روزانه را نشان داد، که خود احتمالی بر وقوع سیلاب در منطقه می‌باشد. اکثر بارش‌های پیک رخ داده در ماه‌های مارس (اواخر اسفند اوایل فروردین) و اواخر پاییز می‌باشد. شاخص کارایی نش-ساتکلیف روزانه در واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT به ترتیب  $0/54$  و  $0/64$  بدست آمد که بیانگر عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی جریان روزانه می‌باشد. تغییرات جریان حوضه در طول ماه‌های نوامبر تا آوریل (اواخر پاییز اوایل بهار) افزایش و در ماه‌های مه تا سپتامبر (اواخر بهار تا اوایل پاییز) کاهش داشته است. بحرانی‌ترین حالت مربوط به ماه آوریل (اواخر فروردین، اوایل اردیبهشت) می‌باشد که در RCP8.5 با مقدار  $7/53\%$  نسبت به دوره‌ی پایه از سایر سناریوها بیشتر است. شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه در دوره‌ی آتی و مقایسه‌ی مقادیر دبی‌های حداکثر دوره‌ی آتی و دوره‌ی مشاهداتی حاکی از تغییر رژیم دبی حداکثر رودخانه است. بطوری که با دوره‌ی بازگشت‌های ثابت، دبی حداکثر افزایش یافته و در دبی حداکثر ثابت با افزایش دوره‌ی بازگشت (۱۰۰۰ ساله) مقدار دبی‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته است. نتایج این تحقیق نیز همانند سایر تحقیقات پیشین، این موضوع را تأیید می‌کند که تغییر اقلیم امری جدی است لذا دولت، سازمان‌ها، مراکز آموزشی بایستی اقدامات مناسب نسبت به تغییر اقلیم و سازگاری با رویدادهای حدی سیل و خشکسالی همت ورزند.

## ۵- منابع

### -References

- Abbaspour, K.C. (2007). *User Manual for SWAT-CUP*. SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland, 95 p.
- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S., & Yang, H. (2009). Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resources Research*, 45(10), W10434.
- Ahmadzadeh, H., Saeed Abadi, R., & Nori E. (2015). A Study and Zoning of the Areas Prone to Flooding with an Emphasis on Urban Floods (Case Study: City of Maku). *Journal of Hydrogeomorphology*, 1(2), 1-24. (In Persian)
- Alison, L.K., Richard, G.J., & Nicholas, S.R. (2004). RCM rainfall for UK flood frequency estimation, II. Climate change results, *Journal of hydrology*, 318(1-4), 163-172.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1), 73-89.
- Ashofteh, P., & Massah Bouani, A.R. (2010). Impact of Climate Change on Maximum Discharges: Case Study of Aidoghmoush Basin. East Azerbaijan. *JWSS*. 14(53), 28-38. (In Persian)
- Haddad, K., & Rahman, A. (2011). Selection of the best fit flood frequency distribution and parameter estimation procedure: a case study for Tasmania in Australia. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(3), 415-428.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. & Meyer, L.A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Iqbal, M.S., Dahri, Z.H., Querner, E.P., Khan, A., & Hofstra, N. (2018). Impact of Climate Change on Flood Frequency and Intensity in the Kabul River Basin. *Geosciences*. 8(4), 114-130.

- Khazaei, M. R., Zahabiyoun, B., & Saghafian, B. (2011). Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *International Journal of Climatology*. 32(13), 1997-2006.
- Laio, F. Di Baldassarre, G., & Montanari, A. (2009). Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes. *Water Resources Research*. 45(7), 1-11. doi: 10.1029/2007 WR00666.
- Mazidi, M., & Khoshravesh, M. (2016). The Effect of Climate Change on the Flood Frequency of Gorganrood Basin using Analysis of the First Order of Hydrologic Rainfall-Runoff Model. *Applied Research of Water Sciences*. 2(2), 35-44. (In Persian)
- Meinshausen M., Smith SJ., Calvin K., Daniel J S., Kainuma M LT., Lamarque J F., Matsumoto K., Montzka S A., Raper SCB., Riahi K., Thomson A., Velders GJM., & Van Vuuren, DPP. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Journal of Climatic Change*. 109(1-2), 213–241.
- Naderi, M., Ildoromi, A., Nouri, H., Aghabeigi Amin, S., & Zeinivand, H. (2018). The Impact of Land Use and Climate Change on Watershed Runoff Model SWAT (Case Study: Watershed Garin). *Journal of Hydrogeomorphology*, 4(14), 23-42. (In Persian)
- Pervez, M.S., & Henebry, G.M. (2014). Projections of the Ganges – Brahmaputra precipitation -downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology*. 517(1), 120–134. doi:10.1016/j.jhydrol.05.016.
- Qin, X.S., & Lu, Y. (2014). Study of climate change impact on flood frequencies: a combined weather generator and hydrological modeling approach. *Journal of Hydrometeorology*, 15(3), 1205-1219.
- Vicek, O., & Huth, R. (2009). Is daily precipitation Gamma-distributed?: Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov–Smirnov test. *Atmospheric Research*, 93(4), 759-766.
- Wilby, R.L., & Dawson, C.W. (2013). The Statistical DownScaling Model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*. 33(7), 1707-1719.

- Zahabiyoun, B., Goodarzi, M. R., Bavani, A. R. & Azamathulla, H. M. (2013). Assessment of climate change impact on the Gharesou River Basin using SWAT hydrological model. *CLEAN-Soil, Air, Water*. 41(6), 601-609.
- Zhang, A., Zhang, C., Fu, G., Wang, B., Bao, Z. & Zheng, H. (2012). Assessments of impacts of climate change and human activities on runoff with SWAT for the Huifa River Basin. Northeast China. *Water Resources Management*. 26(8), 2199-2217.