

## پیش‌بینی وضعیت خشکسالی طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۳۷ تحت رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه موردی: ایستگاه‌های ایلام و دهلران)

اقبال نوروژی<sup>۱</sup>، نورالدین رستمی<sup>۲\*</sup>، محمدحسین جهانگیر<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳. استادیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۱۱/۳۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۴/۰۳)

### چکیده

خشکسالی به‌عنوان دوره‌ای مشخص می‌شود که در آن بارندگی نسبت به شرایط نرمال منطقه، کاهش یافته است. برای ارزیابی خشکسالی شاخص‌هایی وجود دارد. پدیده خشکسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند تغییرات غیرقابل پیش‌بینی داشته باشد. در تحقیق حاضر ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، خشکسالی دوره پایه ۱۹۹۸-۲۰۱۷ در سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های هواشناسی ایلام و دهلران واقع در استان ایلام ارزیابی شد. سپس، با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش با استفاده مدل ریزمقیاس LARS-WG 5.5 و تحت مدل گردش عمومی Hadcm3 و سناریوهای اقلیمی A2 و B1، مقادیر بارش ماهانه دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) بررسی شد. سپس، با استفاده از مقادیر بارش ماهانه، شاخص خشکسالی SPI برای دوره آینده و در سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ارزیابی شد. نتایج ارزیابی خشکسالی در دوره پایه در ایستگاه ایلام نشان داد دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۴ نسبتاً مرطوب بوده است. همچنین، در ایستگاه دهلران در اوایل دوره، ترسالی را نشان داده است. در ضمن، مدل LARS-WG در پیش‌بینی بارش در منطقه مطالعه شده عملکرد خوبی را نشان داد. ارزیابی خشکسالی در دوره آینده بر اساس سناریوهای A2 و B1 نشان داد در ایستگاه ایلام بین سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ دوره تقریباً خشکی و نیز، در ایستگاه دهلران از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ دوره کامل خشکی خواهد بود. همچنین، نتایج نشان می‌دهد با افزایش دوره آماری، تداوم دوره‌های خشکسالی و ترسالی بیشتر و شدت آنها کمتر خواهد بود.

**کلیدواژگان:** تغییر اقلیم، شاخص SPI، مدل LARS-WG، مدل Hadcm3.

## مقدمه

با افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، یکی از چالش‌های بزرگ موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است [۱]. گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) نشان می‌دهد در صورت ادامه روند کنونی در تولید گازهای گلخانه‌ای، به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ واحد در میلیون برسد [۲]. پدیده‌های حدی مانند سیل و خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند [۳]. از این رو، بررسی پدیده‌های حدی برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی اهمیت ویژه‌ای دارد. در زمینه آثار تغییر اقلیم و خشکسالی تحقیقاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. در گاهیان و همکارانش [۴] وضعیت خشکسالی استان لرستان را در دو دهه آینده با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد SPI<sup>۲</sup> بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها بیان می‌کرد که در آینده بارندگی افزایش و خشکسالی کاهش می‌یابد. گل محمدی و مساح بوانی [۵] با مطالعه حوضه قره‌سو نشان دادند طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ تحت مدل A2-Hadcm3 شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) کاهش می‌یابد. کیم و آستین [۶] نشان دادند احتمال افزایش شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها در منطقه ویکتوریای<sup>۴</sup> استرالیا طی دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد. فیلیپ و همکارانش [۷] اثر تغییر اقلیم را بر خشکسالی هیدرواقليمی در سراسر حوضه آبخیز ولتا<sup>۵</sup> در غرب آفریقا بررسی کردند و نشان دادند وسعت خشکسالی‌ها در آینده بین ۲۴ تا ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. ویدال و وید [۸] خشکسالی را در بریتانیا با استفاده از شاخص بارش استاندارد تحت تأثیر تغییر اقلیم و تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در آینده تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید با تداوم کم، افزایش یافته و در مقابل تعداد خشکسالی‌های بلندمدت، کاهش می‌یابد. بابائیان و همکارانش [۹] نیز خروجی‌های مدل گردش عمومی جو GCM<sup>۶</sup> با سناریوی A2 را برای دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ ریزمقیاس

کرده و نتایج آن را روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور تجزیه و تحلیل کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد برای دوره مد نظر ۹ درصد از بارندگی کاسته می‌شود که با افزایش میانگین دما به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد همراه خواهد بود و به نظر می‌رسد در دوره‌های آتی بارش به‌صورت سنگین و سیل‌آسا باشد. در مطالعه‌ای دیگر عبدالحسینی و همکارانش [۱۰] در زیرحوضه قره‌سوی استان گلستان و با استفاده از داده‌های بلندمدت ایستگاه سینوپتیک گرگان، ابتدا تغییرات دما و بارش را با کاربرد مدل Hadcm3 و با استفاده از سناریوی A2 را بررسی کرده و سپس، خصوصیات خشکسالی را با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI و شاخص شناسایی خشکسالی RDI<sup>۷</sup> برآورد و مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده افزایش متوسط بارندگی دوره آتی در همه ماه‌ها بود. تحلیل خشکسالی منطقه نیز نشان داد شاخص RDI در مقایسه با شاخص SPI در دوره گذشته شدت و مدت بیشتری دارد. دستورانی و همکارانش [۱۱] تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو را تحت تأثیر تغییر اقلیم با کاربرد مدل Hadcm3 و شاخص خشکسالی SPI در دوره ۱۴۱۹-۱۴۴۸ بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان‌دهنده کاهش فراوانی و نیز شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه ۱۳۵۰-۱۳۷۹ بوده و علت آن افزایش بارش آتی منطقه بیان شده است. عباسی و اثمیری [۱۲] به بررسی تغییرات دما و بارش آتی ایران پرداختند و بیان کردند که نتایج به‌دست‌آمده از مدل گردش عمومی Hadcm2 نشان‌دهنده کاهش بارش ایران تا دهه ۲۱۰۰ به میزان ۲/۵ درصد است. در حوضه‌ای در یونان نیز وروچیدرو و همکارانش [۱۳] نشان دادند تحت سناریوی A2 تعداد وقایع خشکسالی در دوره آتی بیش از ۹۸ درصد و تحت سناریوی B1 بیش از ۵۶ درصد افزایش خواهد یافت، همچنین تداوم خشکسالی‌ها تحت دو سناریو بیش از ۳۳ درصد افزایش می‌یابد. صالح‌پور جم و همکارانش [۱۴] اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های خشکسالی دوره آتی با کاربرد مدل گردش عمومی جو Hadcm3 در شمال غرب ایران را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده کاهش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه‌های اردبیل، خوی و ارومیه و نیز افزایش بارش متوسط سالانه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Standardized Precipitation Index
3. Hadley Centre Climate Model
4. Victoria
5. Volta
6. General Circulation Models

۱/۲ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد، در غرب کشور بین ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی در یک منطقه کوهستانی و مرتفع واقع شده است. این استان در غرب و جنوب غربی کشور در میان رشته‌کوه‌های کبیرکوه از سلسله کوه‌های زاگرس قرار دارد و از شمال به کرمانشاه، از جنوب به خوزستان، از شرق به لرستان و از غرب به کشور عراق محدود شده است. از نظر شرایط اقلیمی جزء مناطق گرمسیری محسوب می‌شود، ولی به علت وجود ارتفاعات و اختلاف دما و بارندگی در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی آن می‌توان مناطق سه‌گانه سردسیری، گرمسیری و معتدل را در این استان مشاهده کرد. ایستگاه‌های مطالعه‌شده در تحقیق حاضر ایستگاه‌های سینوپتیک دهلران و ایلام است، البته این استان ایستگاه‌های بیشتری دارد ولی به دلیل کمبود داده‌ها در دیگر ایستگاه‌ها، فقط این دو ایستگاه مطالعه می‌شود. داده‌های مورد نیاز تحقیق حاضر عبارت‌اند از: داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش که از دوره زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۷، از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شده است. موقعیت منطقه و مشخصات ایستگاه‌های ایلام و دهلران در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

#### مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG

این مدل تولیدکننده آب و هوای تصادفی است که برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش (ساعت‌های آفتابی) در شرایط اقلیم دوره‌های گذشته و آینده به کار می‌رود. در مدل یادشده از متغیرهای بزرگ‌مقیاس اتمسفری استفاده نمی‌شود و متغیرهای اقلیمی محلی به تناسب تنظیم می‌شوند تا تغییر اقلیم را نشان دهند [۱۷]. در این مدل از توزیع‌های آماری نیمه‌تجربی استفاده شده است که برآورد دما بر اساس سری‌های فورنیه انجام می‌گیرد و دمای بیشینه و کمینه روزانه به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین انحراف معیارهای روزانه الگوسازی می‌شود که به وضعیت تر یا خشک روز مد نظر وابسته‌اند. مدل برای مقایسه بین داده‌های مشاهده‌شده و تولیدشده از سه معیار توزیع‌های احتمال، میانگین‌ها و انحراف معیارها به ترتیب از طریق آزمون‌های کلموگروف اسمیرنوف (K-S)، T (آزمون تی - استیوننت) و F استفاده می‌کند. این آزمون‌ها بر این فرض

ایستگاه تبریز است. این در حالی است که ایستگاه اردبیل با کاهش ۹۷ میلی‌متری (۳۲ درصدی) بارش متوسط سالانه در دوره چهارم نسبت به دوره مبنا بیشینه مقادیر کاهش را به خود اختصاص داده است. همچنین، نتایج تحقیق یادشده نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت، مدت و فراوانی بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی است. نیکبخت شهبازی [۱۵] در تحقیقی شاخص بارش استاندارد در حوضه آبریز کارون در شرایط تغییر اقلیم و با استفاده از مدل آماری LARS-WG<sup>1</sup> را بررسی کرد. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد فراوانی سال‌های نرمال و مرطوب در سناریوی انتشار B1 و A2 بیشتر از A1B است و سال‌هایی که با خشکی همراه خواهد بود، بیشتر در سناریوی A1B قرار خواهد داشت. در تحقیقی دیگر، حسینی‌زاده و همکارانش [۱۶] تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت خشکسالی دشت دزفول-اندیمشک با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد به‌طور کلی طی دوره آتی، تداوم خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های ضعیف افزایش و تداوم خشکسالی‌های با شدت متوسط کاهش می‌یابد. بنابراین، طی دوره کشت محصول غالب، در آینده منطقه با خشکسالی‌های هواشناسی درخور توجهی مواجه خواهد بود که باید در برنامه‌ریزی‌ها مد نظر قرار گیرد. با توجه به مطالب یادشده پژوهشگران تحقیق حاضر کوشیدند تا تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام و دهلران طی دوره‌های آتی را بررسی کنند. برای انجام این کار از داده‌های اقلیمی مدل گردش عمومی Hadcm3 تحت مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت سه سناریوی انتشار استفاده شده و در نهایت خشکسالی ایستگاه‌های مطالعه‌شده تحت تأثیر تغییر اقلیم شبیه‌سازی شد. از آنجا که بیشترین سطح زیر کشت گندم استان در شهرستان دهلران واقع شده و تغییرات اقلیمی نیز تأثیر مستقیمی بر عملکرد محصول یادشده دارد، انجام این گونه تحقیقات ضرورت می‌یابد تا بر اساس نتایج آن تصمیم‌گیری شود.

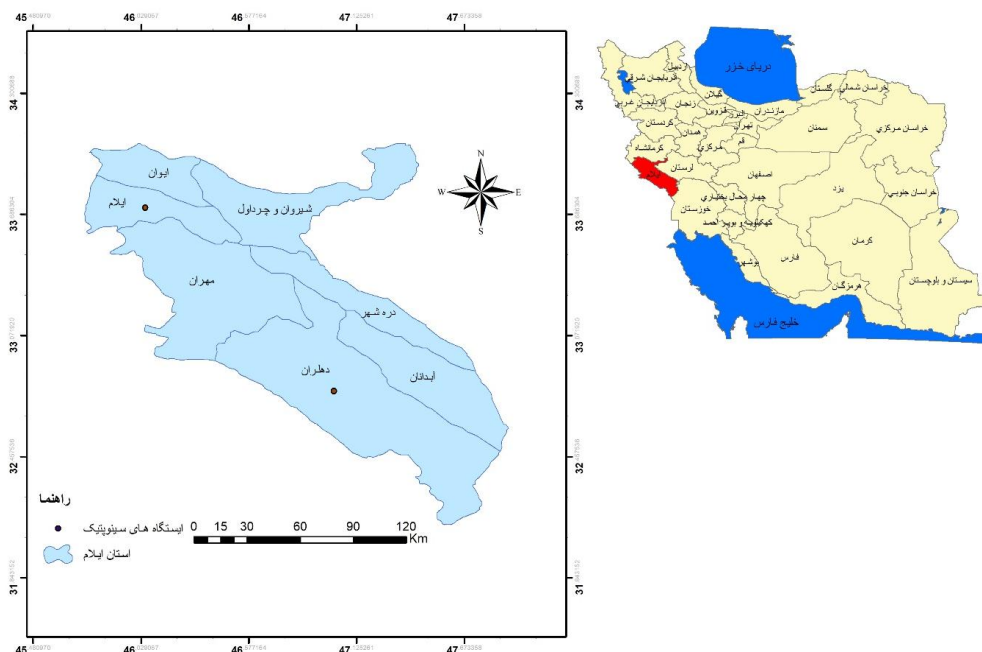
#### مواد و روش

##### تشریح منطقه مطالعه‌شده و داده‌ها

استان ایلام با مساحتی حدود ۱۹۸۷ کیلومتر مربع، که حدود

درجه طول جغرافیایی دارد. در حالت کلی، داده‌های HadCM3 از سال ۱۹۶۱-۲۰۰۱ موجود بوده و همه آنها نسبت به میانگین و انحراف معیار داده‌ها از سال ۱۹۶۱-۱۹۹۰ نرمال می‌شوند. مشخصات سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است.

هستند که داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده و تولیدشده، هر دو نمونه‌ای تصادفی از یک توزیع اند. مدل گردش عمومی HadCM3 یک مدل GCM (جفت‌شده جوئی - اقیانوسی) است؛ که در مرکز تحقیقاتی HCCPR5 در انگلیس اجرا شده و شبکه‌ای با ابعاد ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مطالعه‌شده

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام و دهلران

| ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا |
|---------|---------------|---------------|--------------------|
| ایلام   | ۴۶/۲۶         | ۳۳/۳۸         | ۱۳۳۷               |
| دهلران  | ۴۷/۱۶         | ۳۲/۴۱         | ۲۳۲                |

جدول ۲. خصوصیات سناریوهای انتشار (A2, B1) (<http://climate.mihanblog.com>)

| سناریو | توضیحات  |
|--------|--|
| A2     | جداکردن هویت فرهنگی مناطق مختلف، جهان ناهمگن و احتمال کمتر همکاری‌های بین‌المللی، تأکید بر ارزش‌های خانوادگی، سنت‌های محلی و در نتیجه رشد زیاد جمعیت، ترمز کمتر بر رشد اقتصادی |
| B1     | تسریع در ساختارهای اقتصادی، بهبود نگرانی‌های زیست‌محیطی، جمعیت جهان در سال ۲۱۰۰ به هفت میلیارد می‌رسد  |

توزیع آماری مناسب روی اطلاعات بارندگی است. تجربه نشان داده است گاما توزیع مناسبی برای برآزش روی داده‌های بارندگی است [۱۹]، در صورتی که فرض شود بارندگی در یک منطقه از توزیع گاما تبعیت می‌کند و x مقادیر بارندگی باشد، تابع چگالی احتمال دوپارامتری گاما به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) مکی کی و همکارانش برای پیش خشکسالی، شاخصی با عنوان شاخص بارندگی استاندارد (SPI) ارائه کردند [۱۸]. شاخص SPI فقط به اطلاعات بارندگی نیاز دارد و می‌تواند در سری‌های زمانی مختلف ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شود. مسئله اصلی در محاسبه SPI برآزش

سپس، تابع تجمعی  $H(x)$  به متغیر تصادفی استاندارد با استفاده از تقریب کلاسیک Abramowitz and Setgun [۲۰] به صورت روابط ۸ و ۹ تبدیل می‌شود:

$$0 < H(x) \leq 0.5 \quad \text{SPI} = -\left(t - \frac{c_1 + c_2 t + c_3 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (8)$$

$$0.5 < H(x) < 1 \quad \text{SPI} = +\left(t - \frac{c_1 + c_2 t + c_3 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5 \quad t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)} \quad (9)$$

$$0.5 < H(x) \leq 1 \quad t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{1-H(x)^2}\right)}$$

در رابطه ۸ مقادیر  $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2$  و  $d_3$  عبارت‌اند از:  $C_0 = 2.515517, C_1 = 0.802853, C_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.985269$  and  $d_3 = 0.001308$

طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی شاخص SPI در جدول ۳ نشان داده شده است.

در پژوهش حاضر ابتدا شاخص خشکسالی SPI برای دوره پایه ۱۹۹۸-۲۰۱۷ برای سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. سپس، با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش (ساعت‌های آفتابی) توسط مدل ریزمقیاس LARS-WG مقادیر میانگین بارندگی مشاهده‌ای و تولیدشده به صورت ماهانه از دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۷ محاسبه شد. مدل LARS-WG در سه مرحله اجرا می‌شود، این مراحل شامل کالیبره کردن، ارزیابی داده‌ها و تولید داده برای دوره آتی است. خروجی مدل یادشده شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش، تابش و تبخیر و تعرق پتانسیل است. در مرحله کالیبره کردن مدل داده‌های تهیه‌شده در دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) برای ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام و دهلران پردازش و مرتب

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0 \quad (1)$$

که در آن:  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس توزیع و  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما است که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  از طریق روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right]} \rightarrow A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

در رابطه ۳ تعداد مشاهدات بارندگی است.

در محاسبه شاخص SPI از توزیع احتمال تجمعی گاما استفاده می‌شود که رابطه آن به صورت زیر است (رابطه ۵):

$$F(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \rightarrow t = \frac{x}{\beta} \quad (5)$$

از آنجا که در رابطه ۵، مقدار تابع تجمعی برای مقادیر  $x=0$  تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است مقادیر صفر داشته باشد، بنابراین در این شرایط احتمال تجمعی از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

$$H(x) = q + (1-q)F(x) \quad (6)$$

در رابطه یادشده  $q$  احتمال بارندگی صفر است. برای محاسبه  $q$  می‌توان از رابطه کالیفرنیا (رابطه ۷) استفاده کرد:

$$q = \frac{m}{n} \quad (7)$$

در رابطه یادشده  $m$  تعداد داده‌های صفر موجود در سری زمانی و  $n$  نیز تعداد کل داده‌های بارندگی است.

جدول ۳. طبقه‌های مختلف خشکسالی در شاخص SPI [۲۱]

| احتمال وقوع (درصد) | مقدار SPI     | طبقات خشکسالی      |
|--------------------|---------------|--------------------|
| ۲/۳                | ۲ یا بیشتر    | ترسالی بسیار شدید  |
| ۴/۴                | ۱/۵ تا ۱/۹۹   | ترسالی شدید        |
| ۹/۲                | ۱ تا ۱/۴۹     | ترسالی متوسط       |
| ۳۴/۱               | ۰ تا ۰/۹۹     | ترسالی ملایم       |
| ۳۴/۱               | ۰ تا ۰/۹۹     | خشکسالی ملایم      |
| ۹/۲                | -۱ تا -۱/۴۹   | خشکسالی متوسط      |
| ۴/۴                | -۱/۹۹ تا -۱/۵ | خشکسالی شدید       |
| ۲/۳                | -۲ یا کمتر    | خشکسالی بسیار شدید |

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (11)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (12)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n} \quad (13)$$

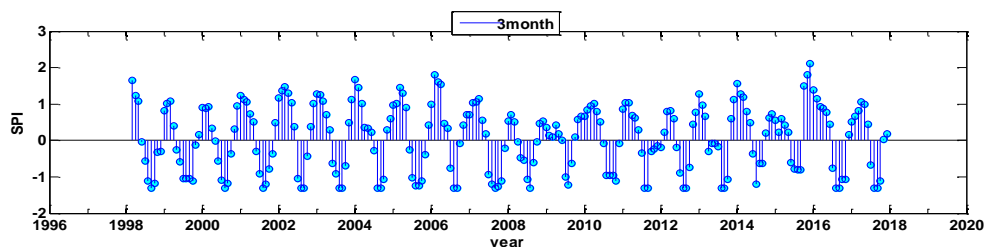
پس از به دست آوردن مقادیر ماهانه بارندگی دوره آینده با استفاده از مدل گردش عمومی جو Hadcm3 تحت مدل ریزمقیاس LARS-WG، شاخص خشکسالی SPI در دوره‌های آتی محاسبه می‌شود. محاسبه شاخص خشکسالی SPI با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

### نتایج و بحث

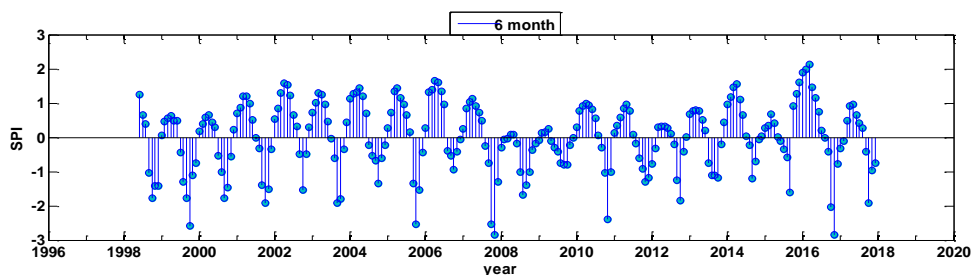
ابتدا، با استفاده از مقادیر ماهانه بارندگی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) شاخص خشکسالی SPI در ایستگاه‌های ایلام و دهلران برای سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. شکل‌های ۲ تا ۹ این مقادیر را نشان می‌دهند.

شده و داده‌ها آماده ورود به مدل LARS - WG شدند. به این ترتیب، مدل برای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) اجرا شده و پارامتر بارش به صورت روزانه برای این دوره شبیه‌سازی شد. در مرحله ارزیابی مدل، خروجی مدل تحلیل شد. به منظور ارزیابی داده‌های مشاهداتی با داده‌های شبیه‌سازی شده (تولیدشده) برای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) از محاسبه ضریب تعیین رابطه (رابطه ۱۰)، شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا RMSE<sup>۱</sup> (رابطه ۱۱)، میانگین خطای مطلق MAE<sup>۲</sup> (رابطه ۱۲) و میانگین انحراف خطا MBE<sup>۳</sup> (رابطه ۱۳) در داده‌های تولیدشده با بهره‌گیری از مدل و داده‌های واقعی (مشاهده‌شده) در دوره پایه استفاده شد. در روابط یادشده  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده واقعی (مشاهده‌شده) و شبیه‌سازی شده توسط مدل،  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  میانگین کل داده‌های  $X_i$  و  $Y_i$  در جامعه آماری و  $n$  تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده هستند. برای ارزیابی این شاخص‌ها از نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

$$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

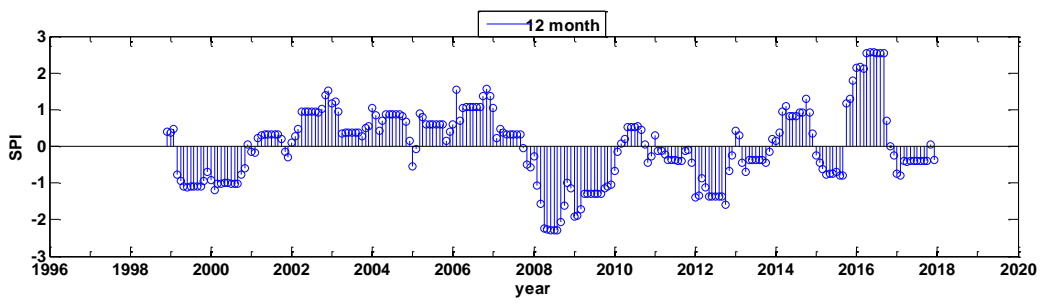


شکل ۲. نمودار مقادیر میانگین سه‌ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه ایلام

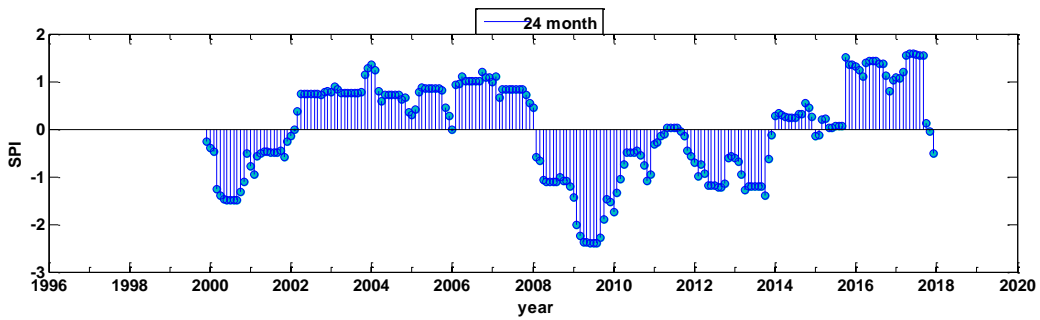


شکل ۳. نمودار مقادیر میانگین شش‌ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه ایلام

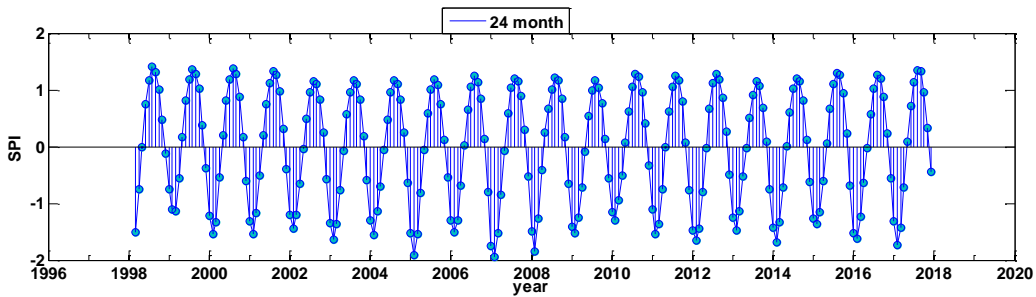
1. Root Mean Square Error
2. Mean absolute error
3. Mean Bias Error



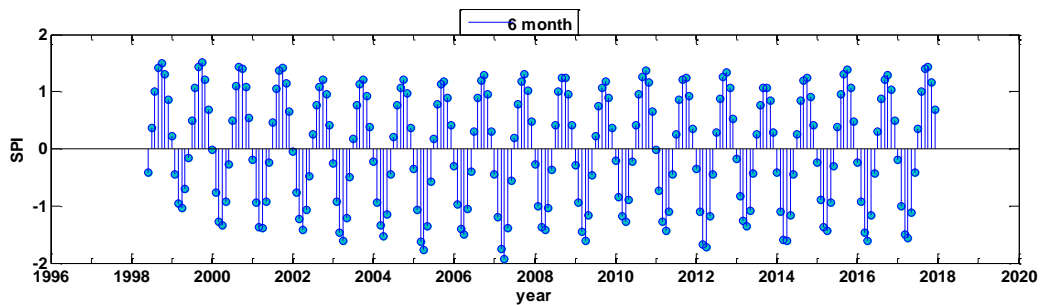
شکل ۴. نمودار مقادیر میانگین ۱۲ ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه ایلام



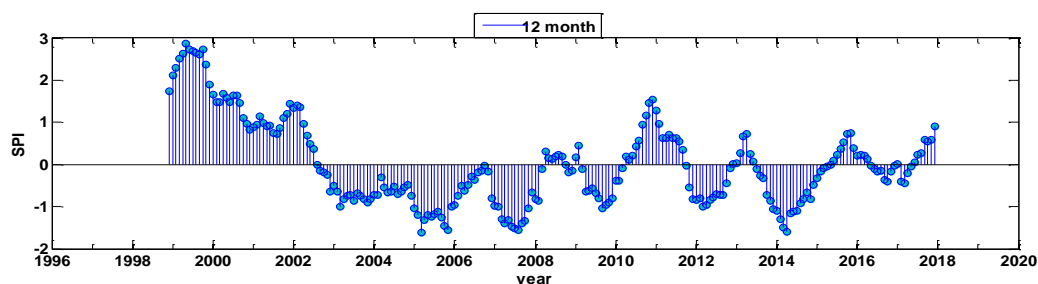
شکل ۵. نمودار مقادیر میانگین ۲۴ ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه ایلام



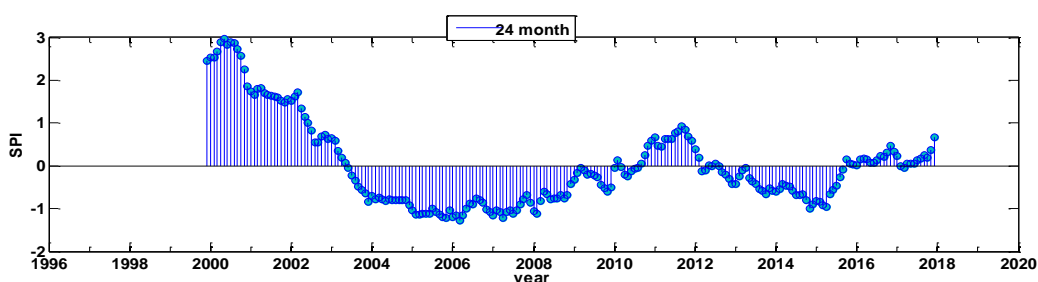
شکل ۶. نمودار مقادیر میانگین سه‌ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه دهلران



شکل ۷. نمودار مقادیر میانگین شش‌ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه دهلران



شکل ۸. نمودار مقادیر میانگین ۱۲ ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه دهلران



شکل ۹. نمودار مقادیر میانگین ۲۴ ماهه شاخص خشکسالی SPI دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) در ایستگاه دهلران

دوره‌ها بیشتر است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص SPI در ایستگاه ایلام به ترتیب، ۲/۵۷ در سری زمانی ۱۲ ماهه و در ۲۰۱۶/۳، ۲/۸۴- در سری زمانی شش‌ماهه و در ۲۰۰۷/۸، اتفاق افتاده است. در ایستگاه دهلران بیشترین و کمترین مقدار شاخص SPI به ترتیب، ۲/۹۶ در سری زمانی ۲۴ ماهه و در ۲۰۰۰/۳، ۱/۹۴- در سری زمانی سه‌ماهه و در ۲۰۰۷/۱، به وقوع پیوسته است.

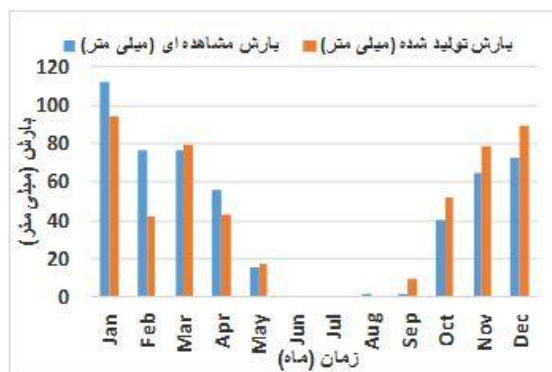
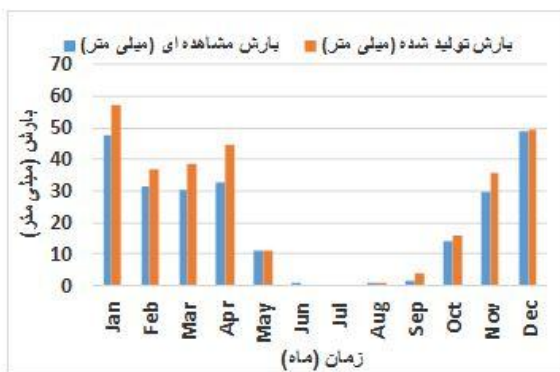
سپس، با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش (ساعت‌های آفتابی) بارش ماهانه در ایستگاه‌های مطالعه شده، با استفاده از مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت مدل گردش عمومی Hadcm3 پیش‌بینی شد.

ارزیابی خشکسالی در دوره پایه بر اساس شاخص SPI نتایج مقایسه میزان تغییرات دوره‌های خشکسالی با توجه به شکل‌های یادشده در جدول ۴ ارائه شده است. طبق نتایج، در ایستگاه ایلام دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ نسبتاً مرطوب بوده و تداوم دوره خشک در آن نسبت به سایر دوره‌ها کمتر بوده است. همچنین، در ایستگاه ایلام دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ یک دوره آماری تقریباً خشک بوده و تداوم دوره مرطوب در آن بسیار ناچیز بوده است. در ایستگاه دهلران طبق نتایج، دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ نسبتاً دوره مرطوبی بوده و تداوم دوره خشک در آن نسبت به دوره‌های دیگر کمتر است. همچنین، دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ یک دوره تقریباً خشک بوده و تداوم دوره‌های خشکسالی در آن از سایر

جدول ۴. تعداد دوره‌های خشک و شدیدترین خشکسالی دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷)

| ایستگاه | نوع شاخص | تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید | تعداد خشکسالی‌های شدید | طولانی‌ترین دوره خشکسالی (ماه) | شدیدترین خشکسالی (مقدار SPI) |
|---------|----------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| ایلام   | SPI3     | ۰                            | ۰                      | ۷                              | -۱/۳۰                        |
|         | SPI6     | ۶                            | ۱۳                     | ۸                              | -۲/۸۴                        |
|         | SPI12    | ۶                            | ۶                      | ۲۹                             | -۲/۲۷                        |
|         | SPI24    | ۸                            | ۳                      | ۳۹                             | -۲/۳۸                        |
| دهلران  | SPI3     | ۰                            | ۱۷                     | ۶                              | -۱/۹۴                        |
|         | SPI6     | ۰                            | ۱۴                     | ۶                              | -۱/۹۳                        |
|         | SPI12    | ۰                            | ۶                      | ۶۸                             | -۱/۶۰                        |
|         | SPI24    | ۰                            | ۰                      | ۸۰                             | -۱/۲۶                        |





شکل ۱۱. نمودار مقادیر میانگین تولیدشده و مشاهده‌ای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) ایستگاه دهلران

شکل ۱۰. نمودار مقادیر میانگین تولیدشده و مشاهده‌ای دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) ایستگاه ایلام

به‌دست آمده از جدول ۴ فقط در ماه فوریه در آزمون T و در ماه‌های فوریه و سپتامبر در آزمون F در ایستگاه ایلام، همچنین در ماه‌های ژوئن، جولای و اکتبر در آزمون F در ایستگاه دهلران که مقادیر در آنها کمتر از ۰/۰۵ است و در باقی ماه‌ها در دو ایستگاه یادشده این مقادیر بیشتر از ۰/۰۵ است. در واقع، مقادیر دو آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند، بنابراین بین میانگین‌ها اختلاف معناداری وجود ندارد. این نتایج عملکرد بسیار خوب مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی پارامتر اقلیمی بارش نشان می‌دهد. در جدول ۶ مقدار  $R^2$  (ضریب تعیین)، که بیان‌کننده همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است، ارائه شده است. مقدار  $R^2$  نشان می‌دهد بین داده‌ها همبستگی معناداری وجود دارد. برای اطمینان از درستی واسنجی مدل از شاخص‌های خطاسنجی MAE، SE و MBE استفاده شد.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود، مدل LARS-WG برای دو ایستگاه ایلام و دهلران مقادیر میانگین بارندگی مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده (تولیدشده) را شبیه‌سازی کرده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در بین این مقادیر و در ایستگاه ایلام در بیشتر ماه‌ها مقادیر میانگین بارش تولیدی بیشتر از میزان میانگین بارش مشاهده‌ای است و فقط در ماه‌های ژانویه، فوریه، آپریل و آگوست مقادیر بارش مشاهده‌ای بیشتر از میزان بارش تولیدشده است. همچنین، در ایستگاه دهلران مشاهده می‌شود که فقط در ماه‌های می، ژوئن و آگوست مقادیر بارندگی مشاهده‌ای بیشتر از میزان بارش تولیدشده است و در باقی ماه‌ها مقادیر میانگین بارش تولیدشده بیشتر از مقادیر میانگین بارش مشاهده‌ای است.

تحلیل داده‌های بارش دوره صحت‌سنجی با آزمون‌های T و F در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به نتایج

جدول ۵. آزمون آماری F و T مربوط به مقادیر بارش ماهانه ایستگاه‌های ایلام و دهلران در دوره صحت‌سنجی

| ایستگاه | آزمون | ژانویه | فوریه | مارس | آپریل | می   | ژوئن | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---------|-------|--------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
| ایلام   | T     | ۰/۳۲   | ۰/۰۳  | ۰/۸۷ | ۰/۲۴  | ۰/۷۴ | ۰/۲۲ | ۰/۸۳  | ۰/۱۵  | ۰/۱۶    | ۰/۶۵  | ۰/۳۶   | ۰/۳۴   |
|         | F     | ۰/۵۲   | ۰/۰۱  | ۰/۲۴ | ۰/۰۴  | ۰/۳۶ | ۰/۳۸ | ۰/۸۳  | ۰/۰۶  | ۰/۰۴    | ۰/۰۹  | ۰/۸۹   | ۰/۲۷   |
| دهلران  | T     | ۰/۳۲   | ۰/۵۱  | ۰/۲۷ | ۰/۴۳  | ۰/۹۸ | ۰/۳  | ۰/۳۱  | ۰/۷۶  | ۰/۲۷    | ۰/۷۸  | ۰/۵۱   | ۰/۹۴   |
|         | F     | ۰/۱۳   | ۰/۷۵  | ۰/۱۸ | ۰/۴۱  | ۰/۰۶ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲  | ۰/۸۶  | ۰/۵۵    | ۰/۰۴  | ۰/۵۶   | ۰/۳۶   |

جدول ۶. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG در ایستگاه‌های ایلام و دهلران

| ایستگاه | $R^2$ | RMSE  | MAE   | MBE   |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| ایلام   | ۰/۸۵  | ۱۴/۰۴ | ۱۰/۱۴ | ۰/۸۴  |
| دهلران  | ۰/۹۷  | ۵/۶۶  | ۳/۹   | -۳/۸۶ |

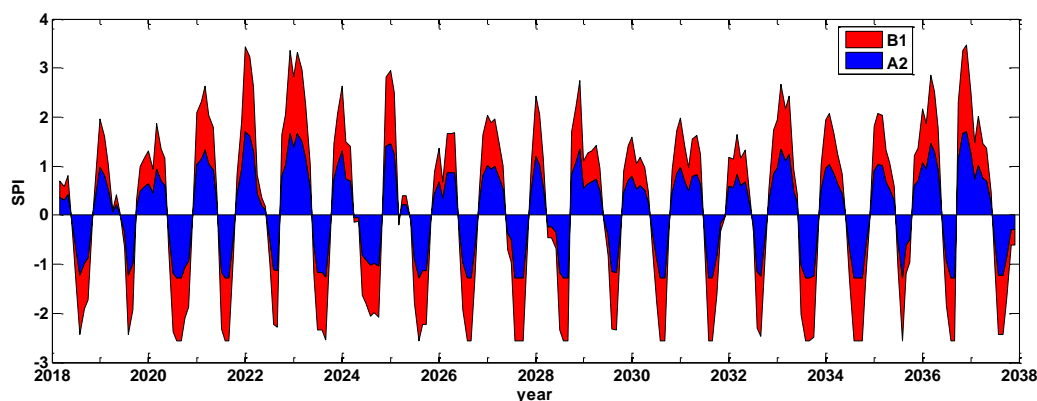
دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) بر اساس سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. جدول ۷ مقادیر بارندگی میانگین ۲۰ ساله دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) و دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) بر اساس سناریوهای A2 و B1 نشان داده شده است.

بر اساس جدول ۷ مقادیر میانگین بارندگی ۲۰ ساله دوره آتی طبق دو سناریو در ایستگاه‌های ایلام و دهلران نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت، البته در ایستگاه ایلام و تحت سناریوی B1 مقادیر بارندگی دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

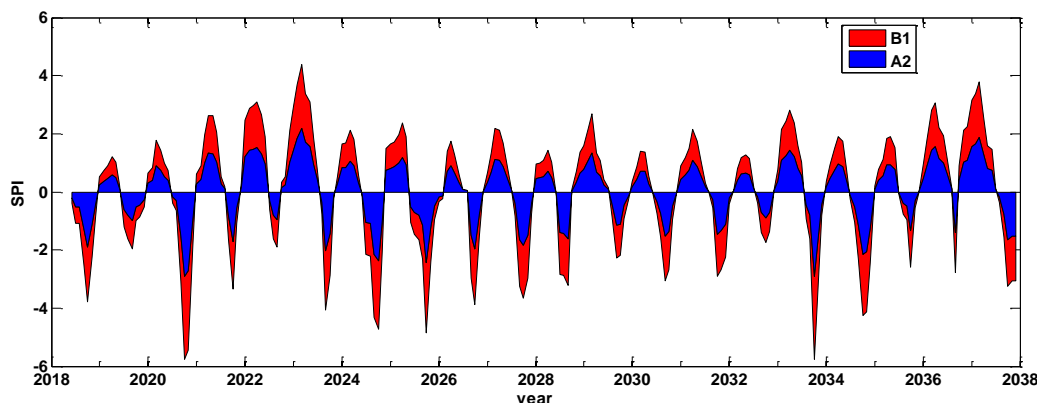
همان‌گونه که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های بارندگی در منطقه مطالعه شده دقت زیادی دارد. سپس، داده‌های بارندگی ماهانه دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) تحت مدل گردش عمومی Hadcm3 بر اساس سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A2 و B1 پیش‌بینی شد. در نهایت، بر اساس مقادیر پیش‌بینی شده دوره آتی، شاخص خشکسالی بارش استاندارد SPI برای دوره آتی محاسبه شد. مقادیر پیش‌بینی شده بر اساس داده‌های روزانه است. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB از داده‌های روزانه میانگین‌گیری کرده و مقادیر ماهانه بارندگی

جدول ۷. مقادیر میانگین بارندگی ۲۰ ساله دوره‌های پایه و آتی بر اساس سناریوهای A2 و B1

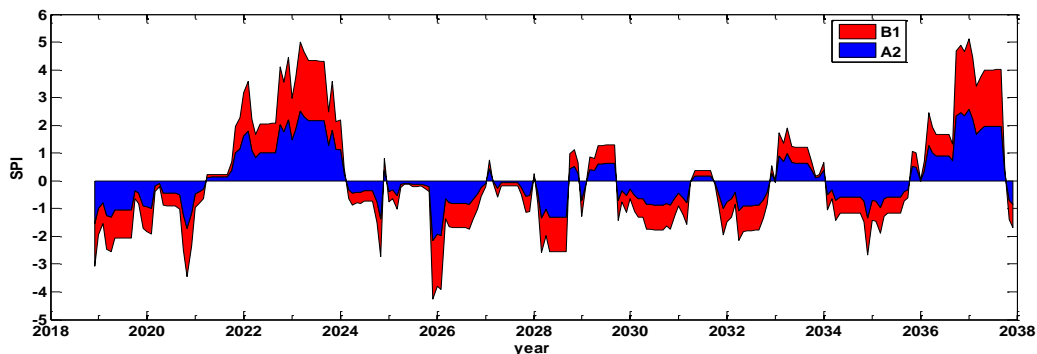
| ایستگاه | دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) |        | دوره پایه (۱۹۹۸-۲۰۱۷) |
|---------|----------------------|--------|-----------------------|
|         | B1                   | A2     |                       |
| ایلام   | ۵۴۴/۹۶               | ۵۱۶/۳۳ | ۵۱۸/۳۱                |
| دهلران  | ۳۱۶/۴۶               | ۲۹۷/۳۶ | ۳۲۳/۵۸                |



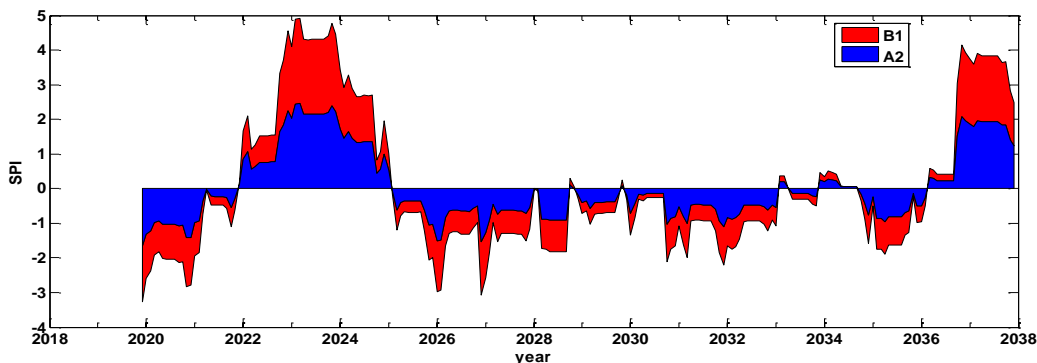
شکل ۱۱. نمودار مقادیر سه‌ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه ایلام



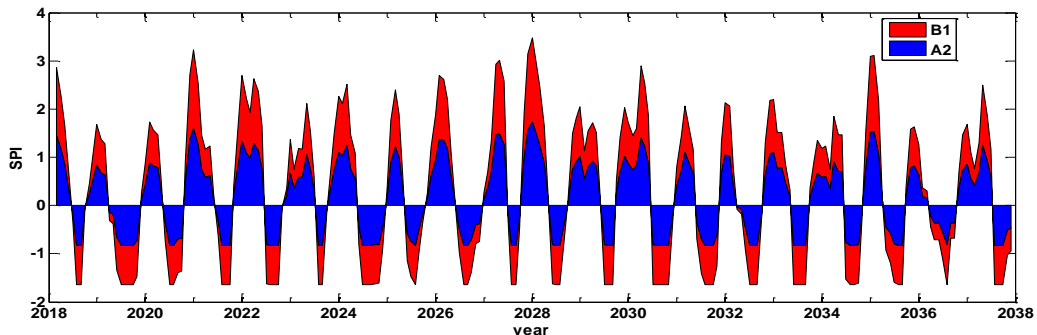
شکل ۱۲. نمودار مقادیر سه‌ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه ایلام



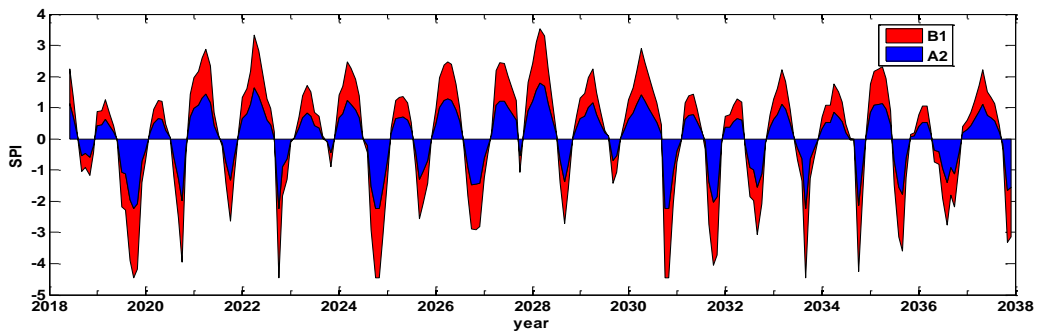
شکل ۱۴. نمودار مقادیر ۱۲ ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه ایلام



شکل ۱۵. نمودار مقادیر ۲۴ ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه ایلام

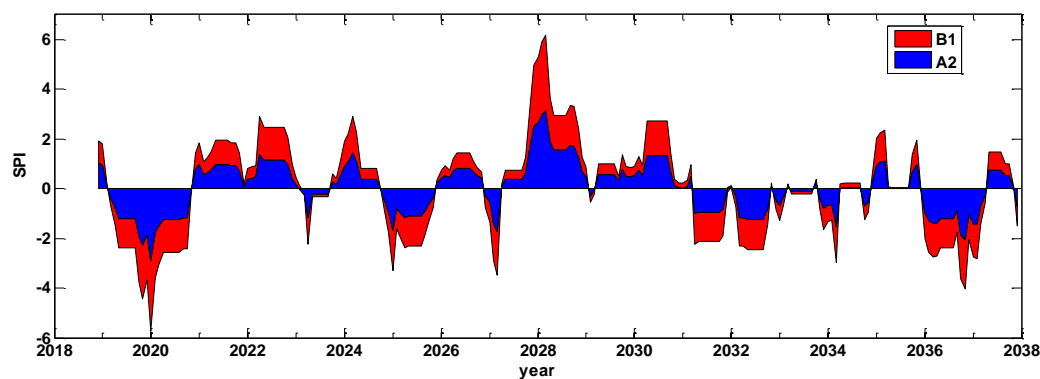


شکل ۱۶. نمودار مقادیر سه‌ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه دهلران

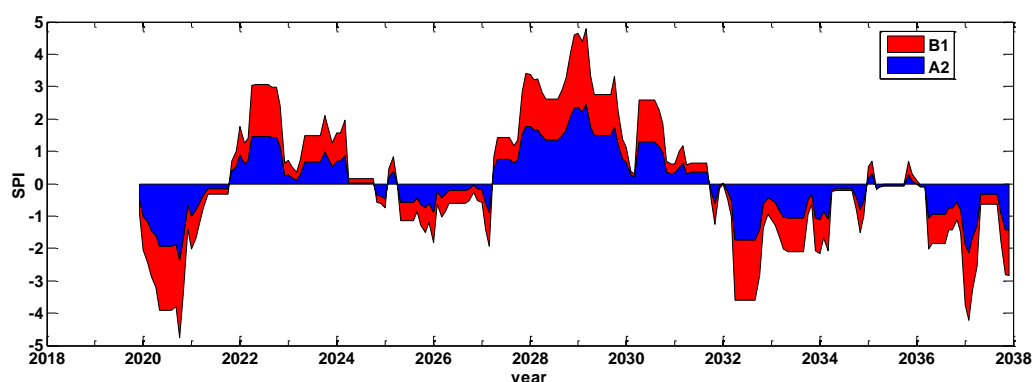


شکل ۱۷. نمودار مقادیر شش‌ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه

دهلران



شکل ۱۸. نمودار مقادیر ۱۲ ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه دهلران



شکل ۱۹. نمودار مقادیر ۲۴ ماهه شاخص خشکسالی SPI بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) در ایستگاه دهلران

آن مشاهده نمی‌شود. بیشترین و کمترین مقدار شاخص SPI در ایستگاه ایلام به ترتیب بر اساس سناریوهای A2 و B1، ۲/۵۶ و در ۲۰۳۷/۱ در سری زمانی ۱۲ ماهه بر اساس سناریوی B1، ۲/۸۹- و در ۲۰۲۰/۷ در سری زمانی شش‌ماهه بر اساس سناریوی A2، مشاهده می‌شود. بیشترین و کمترین مقدار شاخص SPI در ایستگاه دهلران به ترتیب بر اساس سناریوهای A2 و B1، ۳/۰۴ و در ۲۰۲۸/۱ در سری زمانی ۱۲ ماهه بر اساس سناریوی B1، ۲/۹۱- در سال ۲۰۲۰ در سری زمانی ۱۲ ماهه طبق سناریوی B1، اتفاق خواهد افتاد. همچنین، طول دوره‌های ترسالی و خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI افزایش یافته ولی از تکرار این دوره‌ها کاسته شده است. برخی مطالعات نیز نتایج مشابهی را گزارش داده‌اند [۱۹، ۲۲ و ۲۳].

#### ارزیابی خشکسالی در آینده بر اساس شاخص خشکسالی SPI

نتایج مقایسه میزان تغییرات دوره‌های خشکسالی با توجه به شکل‌های یادشده و بر اساس دو سناریوی A2 و B1 در جدول‌های ۸ و ۹ ارائه شده است. بر اساس سناریوهای A2 و B1، در ایستگاه ایلام از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ یک دوره آماری مرطوب را نشان می‌دهد و تداوم دوره خشک در آن بسیار ناچیز است. همچنین، یک دوره آماری بلندمدت بین سال‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ خشکسالی با تداوم زیاد را نشان می‌دهد و تداوم دوره‌های ترسالی بسیار کمی در آن اتفاق خواهد افتاد. در ایستگاه دهلران از اواسط ۲۰۲۷ تا اواسط ۲۰۳۱ یک دوره آماری چهارساله ترسالی با تداوم زیاد مشاهده می‌شود. البته، تداوم دوره‌های خشکسالی ناچیزی در آن مشاهده می‌شود. همچنین، یک دوره آماری طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ تداوم خشکسالی را در این ایستگاه نشان می‌دهد و تقریباً تداوم دوره‌های ترسالی در

جدول ۸. تعداد دوره‌های خشک و شدیدترین خشکسالی دوره آتی (۲۰۳۷-۲۰۱۸) بر اساس سناریوی A2

| ایستگاه | نوع شاخص | تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید | تعداد خشکسالی‌های شدید | طولانی‌ترین دوره خشکسالی (ماه) | شدیدترین خشکسالی (مقدار SPI) |
|---------|----------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| ایلام   | SPI3     | ۰                            | ۰                      | ۷                              | -۱/۲۷                        |
|         | SPI6     | ۹                            | ۱۲                     | ۹                              | -۲/۸۹                        |
|         | SPI12    | ۱                            | ۴                      | ۵۵                             | -۲/۱۴                        |
|         | SPI24    | ۰                            | ۳                      | ۹۶                             | -۱/۶۵                        |
| دهلران  | SPI3     | ۰                            | ۰                      | ۸                              | -۰/۸۲                        |
|         | SPI6     | ۱۰                           | ۱۰                     | ۸                              | -۲/۲۳                        |
|         | SPI12    | ۳                            | ۷                      | ۳۶                             | -۲/۹۱                        |
|         | SPI24    | ۲                            | ۱۵                     | ۷۵                             | -۲/۳۵                        |

جدول ۹. تعداد دوره‌های خشک و شدیدترین خشکسالی دوره آتی (۲۰۳۷-۲۰۱۸) بر اساس سناریوی B1

| ایستگاه | نوع شاخص | تعداد خشکسالی‌های بسیار شدید | تعداد خشکسالی‌های شدید | طولانی‌ترین دوره خشکسالی (ماه) | شدیدترین خشکسالی (مقدار SPI) |
|---------|----------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| ایلام   | SPI3     | ۰                            | ۰                      | ۷                              | -۱/۲۷                        |
|         | SPI6     | ۹                            | ۱۲                     | ۹                              | -۲/۸۷                        |
|         | SPI12    | ۱                            | ۴                      | ۵۵                             | -۲/۱۲                        |
|         | SPI24    | ۰                            | ۲                      | ۹۶                             | -۱/۶۰                        |
| دهلران  | SPI3     | ۰                            | ۰                      | ۸                              | -۰/۸۲                        |
|         | SPI6     | ۱۰                           | ۹                      | ۸                              | -۲/۲۳                        |
|         | SPI12    | ۳                            | ۷                      | ۳۶                             | -۲/۸۰                        |
|         | SPI24    | ۲                            | ۱۵                     | ۷۳                             | -۲/۳۹                        |

### نتیجه‌گیری

است، به طوری که مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده بر اساس شاخص‌های ارزیابی  $R^2$ ، RMSE، MAE و MBE، نتایج قابل قبولی را نشان داد. همچنین، ریزمقیاس‌نمایی سناریوهای آتی با استفاده از مدل LARS-WG نشان داد به طور کلی مقادیر بارندگی بر اساس سناریوی A2 در هر دو ایستگاه نسبت به دوره پایه به طور ناچیزی کاهش یافته و بر اساس سناریوی B1 مقادیر بارندگی در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج شاخص خشکسالی SPI در دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) نشان داده شد که در ایستگاه ایلام سناریوی A2 نسبت به سناریوی B1 مقادیر خشکسالی شدیدتری را ارزیابی می‌کند؛ البته تداوم دوره‌های خشکسالی در هر دو سناریو تقریباً نتایج مشابهی را نشان داد. در ایستگاه دهلران، تداوم دوره‌های خشکسالی بر اساس سناریوی A2 نسبت به سناریوی B1 بیشتر است و شدیدترین مقادیر خشکسالی بر اساس هر دو سناریو تقریباً

در تحقیق حاضر، ابتدا شاخص SPI برای ایستگاه‌های ایلام و دهلران در سری‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای آگاهی از وضعیت خشکسالی‌های دوره‌های گذشته، بررسی شد. سپس، با استفاده از مدل ریزمقیاس LARS-WG تحت مدل گردش عمومی HADCM3 و بر اساس سناریوهای A2 و B1 مقادیر بارندگی برای دوره آتی (۲۰۱۸-۲۰۳۷) ارزیابی شد و در پایان شاخص خشکسالی SPI برای دوره آینده انجام گرفت. نتایج تحقیق حاضر عبارت‌اند از: ارزیابی خشکسالی دوره پایه ایستگاه ایلام و دهلران نشان داد تداوم دوره‌های خشکسالی در ایستگاه دهلران به مراتب بیشتر از تداوم خشکسالی در ایستگاه ایلام است، اما درخور یادآوری است که شدیدترین مقدار خشکسالی ایستگاه ایلام از ایستگاه دهلران بیشتر بوده است. ارزیابی مدل LARS-WG نشان داد این مدل در تولید داده‌های آینده بسیار توانمند

- [10]. Abdul Hosseini M, Eslamian S, Musavi SF. Analysis of variation of drought socio-economic characteristics and the effect of climate change, First National Conference on Meteorology and Water Management, Tehran, University of Technology, Department of Irrigation Engineering. 2010: 1-10. [Persian].
- [11]. Dastorani MT, Massah Bavani A, Poormohammadi S, Rahimian MH. Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (case study: Yazd Station, Central Iran), *Journal of Desert*, 2011; 16(2):159-167. [Persian].
- [12]. Abbasi F, Asmari M. Forecasting and Assessment of Climate Change over Iran During Future Decades by Using MAGICC-SCENGEN Model, *Journal of Water and Soil*, 2011; 25(1): 70-83. [Persian].
- [13]. Vrochidou AE, Tzanis IK, Grillakis MG, Koutroulis AG. The impact of climate change on hydro meteorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology*, 2013; 476(8): 290-301.
- [14]. Salehpour jam A, Mohseni Saravi M, Bazrafshan J, Khalighi S. Investigation of Climate Change Effect on Drought Characteristics in the Future Period using the HadCM3 model (Case Study: Northwest of Iran), *Journal of Range and Watershed Management*, 2015; 67(4): 537-548. [Persian].
- [15]. Nikbakht Shahbazi A. Standard Precipitation Index (SPI) analysis in Karoon 3 Watershed under climate change, *Journal of Science Water Engineering*, 2013; 3(8): 83-98. [Persian].
- [16]. Hoseinizade A, Seyed Kaboli H, Zarei H, Akhond Ali AM. The Intensity and Return Period of Drought under Future Climate Change Scenarios in Dezful Iran, *Journal of Irrigation Science Engineering*, 2016; 39(1): 33-43. [Persian].
- [17]. Sajjad Khan M, Coulibaly P, Dibike Y. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 2006; 319(1-4): 357-382.
- [18]. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 1996; 17(22):179-183.
- [19]. Thom HCS. A note on the gamma distribution, *Weather Review*, 1958; 86(4):117-122.
- [20]. Abramowitz, M., Stegun, I.A. *Handbook of Mathematical Functions*. Dover Publications, 1965; New York.
- نتایج مشابهی را نشان داد. به طور کلی، در مطالعه حاضر، با افزایش دوره بررسی شده به صورت سری‌های زمانی ماهانه، طول دوره‌های ترسالی و خشکسالی بیشتر و مقادیر آنها در بعضی سرهای زمانی افزایش و در برخی کاهش یافته است.
- ### منابع
- [1]. Van Pelt SC, Swart RJ. Climate change risk management in transnational river basin: The Rhine. *Water Resource Management*, 2011; 25(1): 3837-3861.
- [2]. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 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, 2007: 450p.
- [3]. Quevauviller P. Adapting to climate change: reducing water-related risks in Europe – EU policy and research considerations. *Environmental Science and Policy*, 2011; 14(7): 722-729.
- [4]. Parvaneh B, Dargahian F, Shiravand H. Prediction of Drought in Lorestan province during 2011-2030 by downscaling 4 GCM models. *Quarterly Geographical Journal of Territory*, 2015; 12 (45):1-13. [Persian].
- [5]. Golmohammadi M, Massah Bavani A. The Perusal of Climate Change Impact on Drought Intensity and Duration, *Journal of Water and Soil*, 2011; 25(2): 315-326. [Persian].
- [6]. Kiem AS, Austin EK. Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. *Global Environmental Change*, 2013; 23:1307-1316.
- [7]. Philip GO, Babatunde JA, Gunner L. Impacts of climate change on hydro-meteorological drought over the Volta Basin, West Africa. *Global and Planetary Change*, 2017; 155; 121-132.
- [8]. Vidal JP, Wade S. A multimodel assessment of future climatological droughts in the United Kingdom. *International Journal of Climatology*, 2009; 29(14): 2056-2071.
- [9]. Babaeian E, Nagafineik Z, Zabolabasi F, Habibie M, Adab H, Malbisei S. Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, 2010; 7(16): 135-152. [Persian].

- [21]. Edwards DC, McKee TB. Characteristics of 20<sup>th</sup> century drought in the United States at multiple time scales. Colorado State University, Climatology Report Number 97-2, Fort Collins, Colorado, 1997.
- [22]. Pirnia A, Golshan M, Bigonah S, Solaimani Karim. Investigating the drought characteristics of Tamar basin (upstream of Golestan Dam) using SPI and SPEI indices under current and future climate conditions, *Journal of Ecohydrology*, 2018; 5(1); 215-228. [Persian].
- [23]. Bazrafshan O, Mohseni Saravi M, Malekian A, Moeini A. A study on drought characteristics of Golestan Province using Standardized Precipitation Index (SPI). *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 2011; 18 (3):395-407. [Persian].