

## مقاله پژوهشی

# تحلیل وضعیت خشکسالی هواشناسی ایستگاه نیشابور به کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم

سعید قوام سعیدی نوقایی<sup>۱</sup>، مصطفی یعقوب‌زاده<sup>۲\*</sup>، محمدحسین نجفی مود<sup>۳</sup>، مختار صالحی طبس<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۳۰

۱ و ۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲ و ۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

### چکیده

خشکسالی یک پدیده خزننده محیطی است که اثرات مخرب زیادی بر اقتصاد، کشاورزی و جامعه دارد. این پدیده در بخش‌های شرقی، مرکزی و جنوبی ایران به دلیل آب و هوای خشک و نیمه‌خشک نمود بیشتری دارد. با توجه به اینکه خشکسالی هواشناسی با کمبود بارندگی آغاز می‌شود، بدین منظور، شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) با مقیاس‌های زمانی مختلف (۳، ۶ و ۱۲ ماهه) به کمک داده‌های گزارش پنجم، برای ایستگاه سینوپتیک نیشابور تعیین شد. داده‌های بارش مصنوعی به کمک شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تعیین گردید. در نهایت، با استفاده از داده‌های بارش، مقادیر شاخص خشکسالی SPI برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) برای سه مقیاس زمانی محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار متوسط بارش روزانه در مقیاس سالیانه برای دوره آتی تحت تأثیر سناریو RCP4.5 به ترتیب، مربوط به مدل‌های Canesm2 و MIROC بود و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مربوط به مدل‌های GISS-ES-R و Csiromk-3.6 می‌باشد. مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نسبت به ۳ و ۶ ماهه شدت خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد تحت تأثیر سناریو RCP4.5 مدل‌های MIROC و GISS-ES-R و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مدل‌های Canesm2 و MIROC تعداد سال‌های خشک بیشتری را برآورد کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بارش، سناریو انتشار، شاخص SPI، مدل GCM، مدل LARS-WG

## Analysis of Meteorological Drought Situation of Neyshabour Station Using Data of the Fifth Report of Climate Change

S Ghavam Saeidi Noghabi<sup>1</sup>, M Yaghoobzadeh<sup>2\*</sup>, MH Najafi Mood<sup>3</sup>, M Salehi Tabas<sup>4</sup>

Received: November 14, 2018 Accepted: May 19, 2020

<sup>1,4</sup> MSc, Dept. of Science and Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Birjand, Iran

<sup>2,3</sup> Assist. Prof., Dept. of Science and Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Birjand, Iran

\*Corresponding Author, Email: M.Yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

### Abstract

Drought is a crawling environmental phenomenon that has a major impact on the economy, agriculture and society. This phenomenon is more pronounced in the eastern, central and southern parts of Iran due to its dry and semi-arid climate. According to the fact that the meteorological drought starts by the rainfall shortage, so, the standard precipitation index (SPI) with different time scales (3, 6 and 12 months) are obtained for the Neyshabour synoptic station using the fifth report data. Precipitation synthetic data were determined using the 6 models and the two RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios of the LARS-WG downscaling model. Finally, using the rainfall data, the value of SPI drought index for the base period (1992-2011) and the future period (2020-2039) were calculated in the three-time scales. The results showed that the highest and lowest daily precipitation mean values in the yearly scale for the future period under influence of the RCP 4.5 scenario the Canesm2 and MIROC models and under influenced of the RCP8.5 scenario belonged to the GISS-ES-R and Csiromk-3.6 models, respectively. The SPI values at 12-month time scale showed more drought intensity than the 3 and 6-month periods. The results also showed that under the RCP4.5 scenario the MIROC and GISS-ES-R models and under the RCP8.5 scenario the Canesm2 and MIROC models estimated a greater number of dry years.

**Keywords:** Emotion scenario, GCM model, LARS-WG model, Precipitation, SPI Index

### مقدمه

خشکسالی را می‌توان از جمله بلایای طبیعی دانست که به آرامی و با روندی تدریجی رخ می‌دهد و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی بخش‌های مختلفی نظیر منابع آبی، کشاورزی و محیط زیست را از نقطه نظر اجتماعی و اقتصادی متأثر می‌سازد. این پدیده ممکن است، در تمامی مناطق اقلیمی رخ دهد، گرچه ویژگی‌های آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. این پدیده از بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق، محتوای رطوبت قابل دسترس خاک و وضعیت آب زیرزمینی تأثیر می‌پذیرد (مونتاندون و اسمال ۲۰۰۸، شهاب‌فر و همکاران ۲۰۱۲). خشکسالی را می‌توان به‌واسطه مهمترین عوامل تأثیرگذار در سه بخش هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی دسته‌بندی نمود. خشکسالی

هواشناسی در اثر کمبود بارندگی، خشکسالی

کشاورزی در اثر کمبود رطوبت خاک و خشکسالی

هیدرولوژیک به دلیل افت سطح آب در آبراهه‌ها تعریف می‌شوند. پایش همزمان این سه پدیده و آگاهی از تأثیرات متقابل آنها بر یکدیگر، تعیین دقیق خشکسالی را با مشکل مواجه می‌سازد (هیم ۲۰۰۲).

یکی از بزرگترین چالش‌های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای است (ون پلت و اسوارت ۲۰۱۱). گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی تولید گازهای گلخانه‌ای به دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ ppm برسد (بی‌نام ۲۰۰۷). حال آنکه اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، تحت چهار

به کمک دو شاخص  $SPI$  و  $SPEI$  بررسی کردند. نتایج نشان داد که وسعت خشکسالی‌ها در آینده بین ۲۴ تا ۳۴ درصد افزایش می‌یابد. از طرفی، شدت خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص  $SPEI$  بیشتر از شاخص  $SPI$  است. گیدی و همکاران (۲۰۱۸) به پیش‌بینی خطر خشکسالی هواشناسی آینده (۲۰۱۶-۲۰۷۰) تحت سناریو RCP4.5 در منطقه اتیوپی شمالی پرداختند. نتایج حاکی از افزایش رو به رشد وقوع خشکسالی در آینده نسبت به سه دهه گذشته بود. بونگ و ریچارد (۲۰۱۹) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی حوضه رودخانه ساراواک با استفاده از شاخص  $SPI$  پرداختند. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های بارش ماهانه بین سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۷۵ برای ۱۵ ایستگاه بارندگی در حوضه، مقادیر شاخص خشکسالی برای سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۹ ماهه محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقادیر  $SPI$  برای هر سه مقیاس زمانی، روندی کاهشی دارد که نشان‌دهنده تمایل بیشتر به افزایش واقعه خشکسالی در حوضه است. احمدابراهیم‌پور و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات اقلیمی بر خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه را با استفاده از دو شاخص  $SPI$  و  $SPEI$  برای سه دوره آتی کوتاه مدت (۲۰۴۰-۲۰۱۱)، میان مدت (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و بلند مدت (۲۱۰۰-۲۰۷۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) بررسی کردند. نتایج تجزیه و تحلیل  $SPI$  نشان داد که تحت سناریو RCP2.6، فراوانی خشکسالی تقریباً ثابت است در حالی که تحت سناریو RCP8.5 فراوانی دفعات وقوع خشکسالی به‌ویژه در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ افزایش یافته است. نتایج شاخص  $SPEI$  نیز نشان داد که تعداد دفعات و مدت زمان خشکسالی‌ها در تمام دوره‌های آتی تحت هر دو سناریو انتشار افزایش می‌یابد.

سناریو جدید افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، میانگین دمای هوای کره زمین تا اواخر قرن ۲۱ بیش از یک‌ونیم تا دو درجه سلسیوس نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش می‌یابد که این افزایش دما در سال‌ها و دهه‌های مختلف، یکسان نیست (بی‌نام ۲۰۱۳). از این‌رو بررسی این پدیده‌ها برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برخلاف تحقیقات بی‌شماری که در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر روی رواناب و سیل انجام گرفته است (چانزینگ و همکاران ۲۰۱۳، بارگا و همکاران ۲۰۱۳، کوبیرسکا و همکاران ۲۰۱۳)، در زمینه خشکسالی مطالعات به‌مراتب کمتری انجام شده است. بیشتر تحقیقات مانند رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) و اقتدارنژاد و همکاران (۱۳۹۵) به پایش خشکسالی با شاخص  $SPI$  و شاخص‌های دیگر در دوره پایه پرداختند. به‌منظور تعیین میزان خشکسالی هواشناسی در آینده با استفاده از شاخص خشکسالی  $SPI$ ، تحقیقاتی در این زمینه به‌شرح ذیل انجام شده است. وروچیدو و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که تحت سناریو A2 تعداد وقایع خشکسالی در دوره آتی در حوضه‌ای از یونان بیش از ۹۸ درصد و تحت سناریو B1 تعداد خشکسالی‌ها بیش از ۵۶ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین تداوم خشکسالی‌ها تحت دو سناریو بیش از ۳۳ درصد افزایش می‌یابد. چانپینگ و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی را با استفاده از دو شاخص  $SPI$  و  $SPEI$  در شرایط تغییر اقلیم در منطقه‌ای در چین بررسی کردند. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد، شاخص  $SPEI$  در شرایط تغییر اقلیم نسبت به  $SPI$  قابلیت بهتری در نشان دادن وضعیت خشکسالی دارد. اوگونتوند و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی هیدرواقلمی حوضه آبخیز ولتا در غرب آفریقا را

داده‌های خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 از مدل SDSM برای دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج شاخص *SPI* نشان داد، در هر دو دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و آتی (۲۰۴۹-۲۰۲۰) بیشترین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به ترتیب در اواخر و نیمه ابتدایی دو دوره رخ داده‌اند. از آنجا که در محاسبه شاخص *SPEI* پارامترهای اقلیمی بیشتری علاوه بر بارندگی برای ارزیابی خشکسالی لحاظ می‌شود، بنابراین ارزیابی خشکسالی بر اساس شاخص *SPEI* شرایط خشکسالی شدیدتری را نسبت به شاخص *SPI* نشان داد.

بررسی تحقیقات نشان می‌دهد که در اکثر تحقیقات صورت گرفته در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی از خروجی یک مدل گردش عمومی جو استفاده شده است. با توجه به اینکه هر کدام از این مدل‌ها دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که توجه نکردن به آنها می‌تواند باعث ایجاد خطا در پیش‌بینی و برنامه‌ریزی شود (آشفته و مساح بوانی ۲۰۰۹) بنابراین، سعی شد با در نظر گرفتن شش مدل و دو سناریو از داده‌های گزارش پنجم، میزان بارش و شاخص *SPI* برای سه مقیاس زمانی مختلف تعیین شود و قطعیت مدل‌های گزارش پنجم نیز مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان به نتایج حاصل از برآورد خشکسالی برای آینده اطمینان حاصل کرد.

#### مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق وضعیت خشکسالی هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر نیشابور واقع در دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. دشت نیشابور با وسعت حدود ۷۲۹۳ کیلومترمربع جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۴۱۰۰ کیلومترمربع آن را دشت (۵۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند (یعقوب‌زاده و همکاران

سیاری و همکاران (۲۰۱۳) از سه شاخص خشکسالی *SPI*، *PNPI* و *ARI* برای نمایش شدت و مدت خشکسالی در حوضه کشف‌رود (شمال شرقی ایران) استفاده کردند و از این شاخص‌ها به کمک مدل Hadcm3 برای ارزیابی حوادث خشکسالی در آینده تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ( $A_2$ ,  $B_2$ ) استفاده نمودند. نتایج آنها تحت دو سناریو تغییر اقلیم نشان داد که افزایش اندک در بارش، بیشینه درجه حرارت، کمینه درجه حرارت در سال‌های آینده وجود خواهد داشت که سبب افزایش احتمال خشکسالی به دلیل گرم‌شدن جهانی و نتایج شاخص‌ها خواهد شد. صالح‌نیا و همکاران (۲۰۱۳) به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی پالم (*PDSI*) به کمک مدل ریزمقیاس LARS-WG و مدل گردش عمومی HadCM3 پرداختند. دوره‌های آماری مورد استفاده شامل دو دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۱۰) و آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) بود. نتایج نشان داد که میزان بارش در دشت نیشابور، ۱۲ و ۳۰ درصد افزایش در دو دهه اول و دوم و ۵ درصد کاهش در دهه سوم را به همراه خواهد داشت. همچنین نتایج خروجی مدل پایش خشکسالی نشان داد که خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید در سه دهه آتی نسبت به ۲۰ سال دوره پایه کاهش خواهند یافت. دهقان و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی مقایسه‌ای مدل‌های SDSM، IDW و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس کردن پارامترهای اقلیمی دما و بارش پرداختند. نتایج دو مدل SDSM و IDW بیان‌کننده افزایش تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌ها حتی به میزان ناچیز و بیشینه در اواخر بهار و تابستان است. در حالی که تبخیر و تعرق محاسبه شده در مدل LARS-WG برآورد بسیار کمتری را نسبت به دوره پایه نشان داده است که نشان‌دهنده توانایی کم مدل در محاسبه این متغیر است. پیرنیا و همکاران (۲۰۱۸) وضعیت خشکسالی حوضه آبخیز تمر (بالادست سد گلستان) را با استفاده از شاخص‌های *SPI* و *SPEI* بررسی کردند. به منظور ریزمقیاس نمایی

از نشان دادن درستی و صحت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های بارش، به‌منظور تولید سناریوهای تغییر اقلیم روزانه در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) به‌کمک داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۱-۱۹۹۲) ایستگاه سینوپتیک نیشابور، پارامتر اقلیمی بارش برای شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 ریزمقیاس شد. همچنین برای ارزیابی عدم قطعیت نتایج شاخص *SPI*، از باندهای عدم قطعیت یا باکس پلات استفاده شد. به‌طوری که هرچه دامنه باکس کمتر باشد، نشان‌دهنده قطعیت بیشتر در پایش خشکسالی می‌باشد.

(۲۰۱۷). مشخصات و موقعیت ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه به‌ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

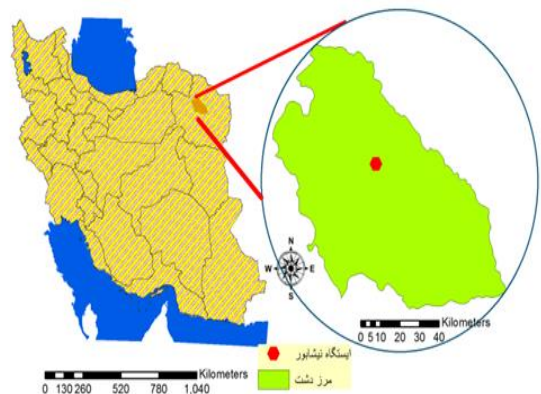
### روش تحقیق

ابتدا داده‌های مشاهده‌ای بارش از ایستگاه سینوپتیک نیشابور جمع‌آوری شد. این داده‌ها در هنگام دریافت از سایت، مربوط به یک منطقه جغرافیایی با مساحت بزرگ است که باید تبدیل به منطقه مورد مطالعه شوند. بنابراین، عمل واسنجی و صحت‌سنجی داده‌های ماهانه تولید شده و تبدیل آن‌ها به داده‌های روزانه با عمل ریزمقیاس کردن توسط مدل LARS-WG انجام شد. پس

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک نیشابور.

نوع اقلیم	متوسط سرعت باد سالانه ( $\text{km h}^{-1}$ )	متوسط رطوبت نسبی سالانه (%)	متوسط تبخیر و تعرق گیاه مرجع سالانه ( $\text{mm day}^{-1}$ )	مجموع بارش سالیانه (mm)	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )		ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دوره آماري
					کمینه	بیشینه				
نیمه‌خشک و خشک	۵/۲۷	۷۹	۵/۸۱	۱۲۵/۹	۶/۸	۲۲/۰۸	۱۴۸۰	$۳۶^{\circ} ۳۲'$	$۵۸^{\circ} ۴۸'$	۲۰۱۱- ۱۹۹۲

اقلیمی با استفاده از داده‌های سناریوهای انتشار اجرا می‌شوند. در این تحقیق، جهت پیش‌بینی مقادیر بارش در طی دوره‌های پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) از شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد (جدول ۲). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های چهار خط سیر کلیدی گازهای گلخانه‌ای با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 استفاده نموده است. نام‌گذاری سناریوهای خانواده RCP بر اساس میزان سطح واداشت‌های تابشی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا پایان قرن ۲۱ به‌ترتیب، شامل مقادیر ۲/۶، ۴/۵، ۶ و ۸/۵ ( $\text{W/m}^2$ ) انجام شده است. مشخصات



شکل ۱- موقعیت ایستگاه سینوپتیک نیشابور در کشور و استان.

### سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

از آنجا که تغییرات اقلیمی آینده به شدت به فعالیت‌های بشری در سال‌های آینده بستگی دارد، لذا مدل‌های

در موسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شده است. در صورت عدم اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریو انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. میزان جمعیت برای سال ۲۱۰۰ در این سناریو حدود ۱۲ میلیارد نفر خواهد بود که این میزان، جمعیتی بین سناریو A<sub>1</sub> و A<sub>2</sub> در سری SRES می‌باشد. در این سناریو میزان غلظت دی‌اکسیدکربن تا سال ۲۱۰۰، ۱۹۶۰ (ppm) تخمین زده شده است. ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ (W m<sup>-2</sup>) در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. با توجه به میزان جمعیت در نظر گرفته شده در این سناریو و نیاز جمعیت ساکن در کره زمین به تامین انرژی، استفاده از انواع انرژی (به‌جز انرژی زیستی) و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در این سناریو بیش از دیگر سناریوها در نظر گرفته شده است.

سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق به‌شرح زیر می‌باشد (بی نام ۲۰۱۳).

#### سناریو RCP4.5

این سناریو توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است. در این سناریو تا سال ۲۱۰۰، میزان غلظت دی‌اکسیدکربن (ppm) ۷۵۰ تخمین زده شده و واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای تا قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ (W m<sup>-2</sup>) ثابت می‌ماند. در این سناریو میزان رشد جمعیت کمتر از سناریو RCP2.6 تخمین زده شده است، اما در دیگر پارامترهای موثر در تغییرات اقلیمی (مانند نرخ استفاده از انرژی‌های نو، رشد تکنولوژی و غیره) نسبت به سناریو RCP2.6 ضعیف‌تر در نظر گرفته شده است. در نتیجه سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت این سناریو در واداشت‌های تابشی بیش از سناریو RCP2.6 می‌باشد.

#### سناریو RCP8.5

این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی

### جدول ۲- مشخصات مدل‌ها و سناریوهای بکار رفته در تحقیق بر اساس گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم ۲۰۱۳).

سناریوهای انتشار	نام مدل	کشور	وضوح مکانی (طول جغرافیایی × عرض جغرافیایی) درجه
	Canesm2	کانادا	۱/۲۵ × ۱/۸۷۵
	GFDL	آمریکا	۲/۵ × ۲
RCP4.5 & RCP8.5	MIROC IPSL	ژاپن فرانسه	۱/۷۷ × ۲/۸۱ ۱/۸۷۵ × ۳/۷۵
	Csiromk-3.6	استرالیا	۱/۸ × ۱/۸
	GISS-ES-R	آمریکا	۲ × ۲

کاهش مقیاس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌شود. این مدل از نوع مولدهای آب و هوایی است که می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور، از داده‌های روزانه مشاهده شده یک

#### مدل ریزمقیاس نمایی (LARS-WG<sup>1</sup>)

به‌منظور ریزمقیاس نمایی و تبدیل داده‌ها از مقیاس ماهانه به مقیاس کوچکتر از مدل LARS-WG استفاده شد. این مدل یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در

<sup>1</sup> Long Ashton Research Station-Weather Generator

وضعیت نرمال	+۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	کوچکتر از -۲

### نتایج و بحث

#### واسنجی و صحت‌سنجی مدل LARS-WG

با توجه به نتایج جدول ۴ مشاهده می‌شود که مقادیر p-value و ks-test آزمون کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۳</sup> در ماه‌های جولای و سپتامبر برای بارش تفاوت دارد. در ماه جولای و سپتامبر مدل LARS-WG برای بارش مقدار اندک و ناچیزی در نظر می‌گیرد که هرچند با عدد صفر اختلاف معنادار دارد، ولی نسبت دو عدد مقداری بزرگ می‌شود. همین عامل سبب شد که در ماه ژوئیه داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دارای اختلاف معناداری باشند. بنابراین، با این آزمون می‌توان اظهار داشت که مدل LARS-WG قادر است متغیر بارش را در ایستگاه سینوپتیک نیشابور به خوبی شبیه‌سازی کند.

جدول ۴- تحلیل سناریوهای روزانه تولید شده توسط مدل LARS-WG در نیشابور.

ماه	بارش	
	ks-test	p-value
ژانویه	۰/۰۴۲	۱/۰۰۰۰
فوریه	۰/۰۶۳	۱/۰۰۰۰
مارس	۰/۰۵	۱/۰۰۰۰
آوریل	۰/۰۴۶	۱/۰۰۰۰
می	۰/۰۴۶	۱/۰۰۰۰
ژوئن	۰/۰۸۷	۱/۰۰۰۰
ژوئیه	۰/۲۱۸	۰/۵۸۹۵
اوت	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰۰
سپتامبر	۰/۳۰۴	۰/۱۹۶۲
اکتبر	۰/۰۶۴	۱/۰۰۰۰

ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها را برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی و همچنین همبستگی بین آنها تولید کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دلخواه استفاده می‌شود (سمنو و همکاران ۲۰۰۲). بدین ترتیب داده‌های مورد نیاز در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) بدست آمد.

شاخص بارش استاندارد شده ( $SPI^2$ )

جهت مطالعه خشکسالی هواشناسی شاخص‌های متعددی ارائه گردیده که معروف‌ترین آن‌ها شاخص بارش استاندارد شده می‌باشد (مکی و همکاران ۱۹۹۳). این شاخص براساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها عامل موثر در محاسبه این شاخص، میزان بارندگی است. این شاخص به دو صورت کوتاه مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و بلند مدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود که مقادیر مثبت آن بیانگر بارندگی بیش از حد نرمال و مقادیر منفی آن بیانگر بارندگی کمتر از حد نرمال می‌باشد. برای تعیین درجه خشکسالی با استفاده از این شاخص، از جدول ۳ استفاده می‌شود.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad [1]$$

در این رابطه،  $P_i$  مقدار بارش برای ماه مورد نظر ( $i$ ) و  $\bar{P}$  میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و  $S$  انحراف معیار مقادیر بارش است.

جدول ۳- طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس مقدار شاخص بارش استاندارد (ورجانی و تودیسکو ۲۰۱۱).

طبقه خشکسالی	مقدار شاخص بارش استاندارد
ترسالی بسیار شدید	بزرگتر از ۲
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹

<sup>3</sup> Kolmogorov-Smirnov

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Index

نوامبر	۱/۰۰۰۰	۰/۰۵
دسامبر	۱/۰۰۰۰	۰/۰۷۱

### اثر تغییر اقلیم بر بارش

در این تحقیق، تغییرات بارش دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) برای شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم برآورد شده و نتایج مربوطه در جدول ۵ ارائه شده است. بیشترین و کمترین مقدار بارش دوره آتی نسبت به دوره پایه برای سناریو RCP4.5 به ترتیب، در سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۴ و برای سناریو RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۷ و ۲۰۳۵ مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین و کمترین مقدار متوسط بارش روزانه در مقیاس سالیانه برای دوره آتی نسبت به دوره پایه تحت تأثیر سناریو RCP4.5 به ترتیب، مربوط به مدل‌های Canesm2 و MIROC و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مربوط به مدل‌های GISS-ES-R و Csirumk-3.6 می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار متوسط بارش در دوره پایه برابر با ۰/۶۳ (میلی‌متر در روز) می‌باشد، بنابراین، از مقایسه بین مدل‌ها و سناریوها می‌توان نتیجه گرفت که در طی دوره آتی تحت تأثیر سناریو RCP4.5، مدل Canesm2 برای ۱۸ سال و تحت تأثیر سناریو RCP8.5، مدل GISS-ES-R برای ۱۶ سال دارای مقادیر بارش بیشتر از ۰/۶۳ (میلی‌متر در روز) می‌باشد که نشان دهنده افزایش بیشتر بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای این دو مدل در مقایسه با مدل‌های دیگر می‌باشد. در مجموع سناریو RCP8.5 نسبت RCP4.5 کاهش بارش بیشتری را برای مدل‌ها برآورد کرده است.

### اثر تغییر اقلیم بر شاخص خشکسالی هواشناسی

مقادیر *SPI* با مقیاس‌های زمانی متفاوت (۳، ۶ و ۱۲ ماهه) برای شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم برای دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) در شکل ۲ نشان داده شده است. مهم‌ترین تفاوتی که در شکل‌ها وجود دارد، تفاوت مقادیر *SPI* در دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت

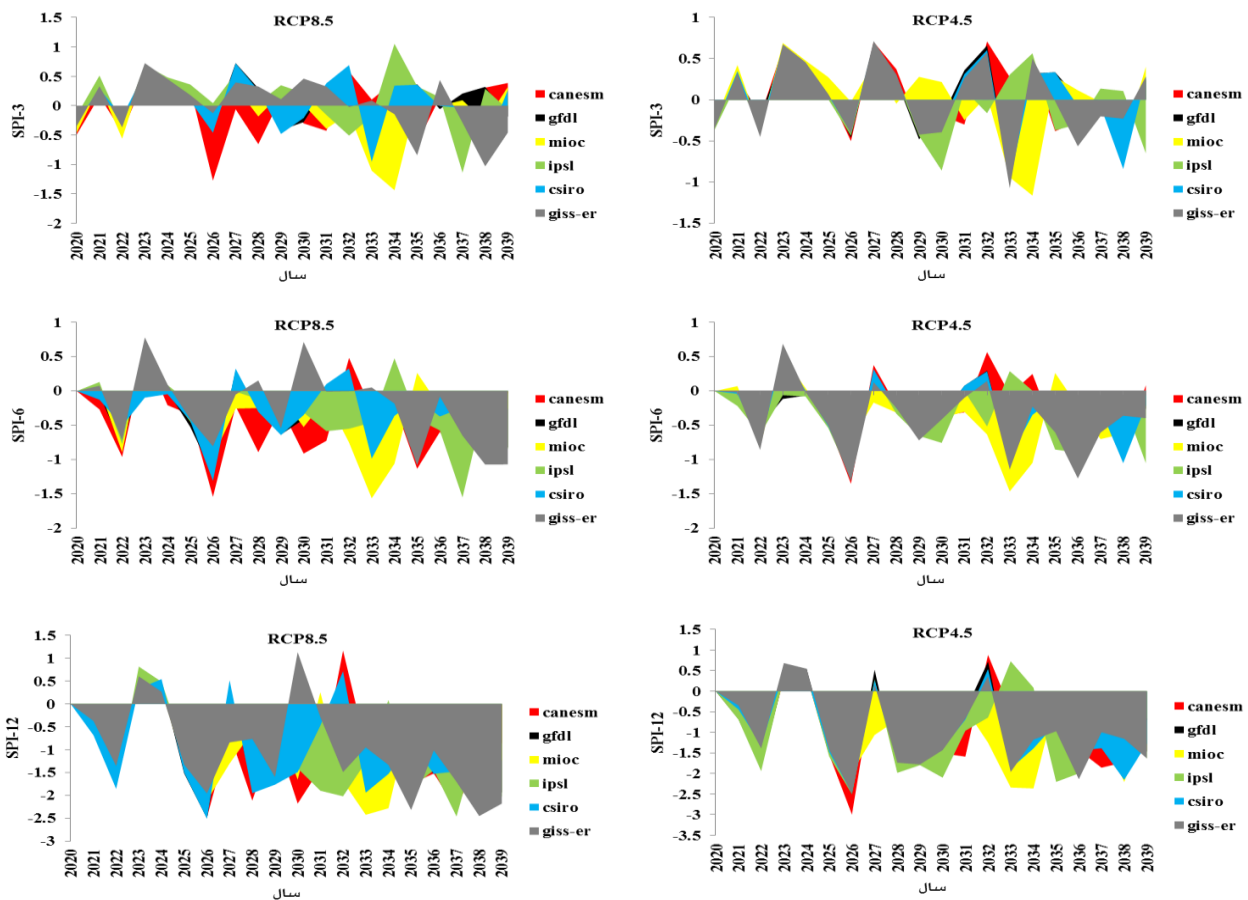
می‌باشد. مقادیر شاخص *SPI* با مقیاس ۳ ماهه برای بیشتر سال‌ها مقادیر بیشتر از صفر را نشان می‌دهد که بیانگر شدت خشکسالی کمتر بوده، در صورتی که مقادیر این شاخص با مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه برای بیشتر سال‌ها مقادیر کمتر از صفر را نشان می‌دهند که به عبارتی شدت خشکسالی را بیشتر مشخص می‌نمایند. همچنین برای مقادیر *SPI* ۳ ماهه و ۶ ماهه، مدل MIROC و برای مقادیر *SPI* ۱۲ ماهه، مدل Canesm2 برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 دارای مقادیر کمتر نسبت به پنج مدل دیگر می‌باشد.

در جدول ۶ مقادیر متوسط *SPI* با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم و نیز مقادیر دوره پایه ارائه شده است. در این جدول با تغییر دوره زمانی شاخص *SPI* از دوره ۳ ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۶ و ۱۲ ماهه، مقادیر *SPI* شدت خشکسالی را بیشتر نشان می‌دهند. مقادیر شاخص *SPI* در دوره آتی خشکسالی را نسبت به دوره پایه با شدت بیشتری نشان می‌دهند. همچنین بیشترین تفاوت دوره آتی نسبت به دوره پایه برای دوره‌های زمانی بلندمدت برآورد شده است. برای دوره‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه، نتایج سناریو RCP4.5 نسبت به RCP8.5 شدت خشکسالی بیشتری را نشان داده، ولی برای دوره زمانی ۱۲ ماهه نتیجه برعکس بود یعنی نتایج سناریو RCP8.5 نسبت به RCP4.5 بیانگر شدت خشکسالی بیشتر می‌باشد. همچنین با مشاهده مقادیر برآورد شده برای مدل‌ها تحت تأثیر سناریوهای انتشار مختلف، مشاهده می‌شود که برای سناریو RCP4.5، مدل IPSL نسبت به پنج مدل دیگر بیانگر شدت خشکسالی بیشتر می‌باشد، در حالی که برای سناریو RCP8.5، مدل‌های Canesm2 و MIROC نسبت به چهار مدل دیگر وجود خشکسالی بیشتر در آینده را برآورد می‌کنند. نتایج این بخش تا حدودی مشابه نتایج گل‌محمدی و مساح بوانی (۲۰۱۱) می‌باشد.



جدول ۵- نتایج برآورد میانگین بارش روزانه در طول سال (mm) با استفاده از شش مدل تغییر اقلیم و دو سناریو انتشار متفاوت برای دوره آتی در نیشابور.

متوسط	۲۰۲۹	۲۰۲۸	۲۰۲۷	۲۰۲۶	۲۰۲۵	۲۰۲۴	۲۰۲۳	۲۰۲۲	۲۰۲۱	۲۰۲۰	۲۰۲۹	۲۰۲۸	۲۰۲۷	۲۰۲۶	۲۰۲۵	۲۰۲۴	۲۰۲۳	۲۰۲۲	۲۰۲۱	۲۰۲۰	مدل تغییر اقلیم	سناریوهای انتشار
-/۷۹	-/۹۶	-/۹۷	-/۶۵	-/۷۶	-/۷۵	-/۹۱	-/۹۶	-/۷۴	-/۸۰	-/۶۳	-/۸۷	-/۹۸	-/۴۲	-/۷۹	-/۷۱	-/۷۲	-/۹۸	-/۷۸	-/۷۹	-/۵۷	Canesm2	RCP4.5
-/۷۴	-/۴۳	-/۳۸	-/۸۸	-/۷۹	-/۹۱	-/۶۳	-/۵۲	-/۸۰	-/۹۵	۱/۰۰	-/۵۵	-/۹۳	-/۸۶	-/۷۴	۱/۰۵	-/۵۸	-/۷۷	-/۸۲	-/۶۴	-/۶۱	Canesm2	RCP8.5
-/۷۵	-/۵۱	-/۴۹	-/۹۶	-/۹۲	-/۷۰	-/۷۶	-/۵۶	-/۴۳	-/۶۸	-/۸۸	-/۸۰	-/۹۷	-/۴۱	-/۵۹	۱/۱۷	۱/۲۷	-/۷۷	-/۵۳	۱/۰۰	-/۶۷	GFDL	RCP4.5
-/۶۶	-/۷۴	-/۷۵	-/۵۲	-/۷۸	-/۹۴	-/۴۸	-/۴۹	-/۵۰	-/۶۳	-/۳۷	-/۹۷	-/۷۵	-/۴۹	-/۴۵	-/۷۸	-/۷۹	-/۶۱	-/۸۹	-/۶۱	-/۵۸	GFDL	RCP8.5
-/۶۲	-/۷۶	-/۶۰	-/۷۲	-/۸۰	-/۶۳	-/۳۵	-/۵۶	-/۶۸	-/۶۸	-/۴۱	-/۴۹	-/۶۵	-/۷۶	-/۷۷	-/۴۵	-/۸۲	-/۴۶	-/۸۰	-/۷۲	-/۵۶	MIROC	RCP4.5
-/۷۱	-/۴۸	-/۶۹	-/۸۸	-/۹۹	-/۳۱	-/۷۶	-/۷۴	-/۶۰	-/۴۷	-/۵۰	-/۴۴	-/۶۰	۱/۱۲	۱/۰۴	-/۸۷	-/۸۸	-/۷۳	-/۶۸	-/۹۶	-/۴۳	MIROC	RCP8.5
-/۷۱	۱/۰۴	-/۵۲	-/۷۶	-/۵۷	-/۷۲	-/۷۷	-/۹۶	-/۶۹	۱/۰۵	-/۷۱	-/۵۴	-/۶۷	-/۵۷	-/۷۳	-/۸۰	-/۶۵	-/۵۱	-/۶۴	-/۵۵	-/۷۱	IPSL	RCP4.5
-/۶۴	-/۶۷	-/۶۲	-/۶۱	-/۵۷	-/۷۸	-/۵۳	-/۶۲	-/۶۶	-/۸۴	-/۶۷	-/۷۴	-/۴۳	-/۵۶	-/۶۶	-/۷۳	-/۵۳	-/۵۱	-/۸۶	-/۷۰	-/۴۸	IPSL	RCP8.5
-/۶۵	-/۶۱	-/۸۷	-/۸۴	-/۸۲	-/۸۱	-/۴۱	-/۶۸	-/۴۴	-/۴۶	-/۴۸	-/۴۸	-/۷۴	-/۵۴	-/۴۰	-/۹۸	-/۸۰	-/۶۵	-/۷۹	-/۴۳	-/۷۸	Csiromk-3.6	RCP4.5
-/۶۲	-/۴۶	-/۶۳	-/۹۱	-/۵۸	-/۴۶	-/۶۸	-/۶۸	-/۴۴	-/۵۴	-/۶۹	-/۵۶	-/۷۳	-/۹۳	-/۷۶	-/۵۱	-/۶۱	-/۵۶	-/۳۷	-/۷۰	-/۵۷	Csiromk-3.6	RCP8.5
-/۷۴	-/۷۲	-/۶۱	-/۷۸	-/۷۹	-/۶۴	-/۵۴	-/۹۶	-/۵۸	-/۶۱	-/۶۱	-/۴۷	-/۹۵	-/۷۸	-/۶۴	-/۷۸	۱/۱۸	-/۶۲	-/۹۳	-/۸۲	-/۷۷	GISS-ES-R	RCP4.5
-/۷۸	-/۵۷	-/۸۳	-/۵۳	-/۵۵	-/۸۶	-/۹۸	۱/۰۳	-/۸۱	-/۷۲	-/۸۳	-/۶۵	-/۷۷	-/۹۰	-/۶۸	۱/۰۰	-/۶۷	-/۹۵	-/۷۱	-/۵۹	-/۹۱	GISS-ES-R	RCP8.5
-/۶۲	-/۶۲	-/۵۹	-/۹۳	-/۳۶	-/۷۶	-/۶۰	-/۶۶	-/۸۲	-/۶۶	-/۵۲	-/۴۹	-/۴۳	-/۵۸	-/۷۱	-/۶۹	-/۳۵	-/۴۸	-/۵۳	-/۸۷	-/۹۵	دوره پایه	



شکل ۲- مقادیر شاخص دوره آبی برای مدل‌ها و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس‌های زمانی مختلف در نیشابور.

جدول ۶- مقادیر متوسط SPI در طی دوره پایه و آبی برای شش مدل و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در بازه‌های زمانی مختلف در نیشابور.

مقادیر متوسط SPI در بازه‌های زمانی مختلف			مدل‌های	سناریوهای
۱۲ ماهه	۶ ماهه	۳ ماهه	تغییر اقلیم	انتشار
-۱/۰۳۰	-۰/۲۴۹	۰/۰۵۹	Canesm2	RCP4.5
-۱/۰۳۵	-۰/۳۰۸	۰/۰۵۹	GFDL	
-۱/۰۲۲	-۰/۳۷۰	۰/۰۰۱	MIROC	
-۱/۰۱۹	-۰/۴۱۴	-۰/۰۲۸	IPSL	
-۱/۰۳۴	-۰/۳۰۶	۰/۰۲۷	Csiromk-3.6	
-۱/۰۳۰	-۰/۴۱۲	۰/۰۰۳	GISS-ES-R	
-۱/۰۰۶	-۰/۴۷۰	-۰/۰۶۱	Canesm2	RCP8.5
-۱/۰۴۴	-۰/۳۲۷	۰/۰۸۸	GFDL	
-۱/۰۰۳	-۰/۳۸۸	-۰/۱۱۱	MIROC	
-۱/۰۴۱	-۰/۳۰۲	۰/۱۲۵	IPSL	
-۱/۰۲۶	-۰/۳۱۲	۰/۰۵۲	Csiromk-3.6	
-۱/۰۴۸	-۰/۲۵۳	۰/۰۱۰	GISS-ES-R	
-۱/۰۳۴	-۰/۳۴۴	۰/۰۴۸		دوره پایه

مقیاس‌های ۶ و ۱۲ ماهه برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. همچنین به‌منظور مقایسه سناریوها، سناریو RCP8.5 تعداد سال‌های خشک بیشتری را نسبت به سناریو RCP4.5 برآورد کرده است. از طرفی تحت تأثیر سناریو RCP4.5 مدل‌های MIROC و GISS-ES-R و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مدل‌های Canesm2 و MIROC تعداد سال‌های خشک بیشتری را برآورد کرده‌اند.

در این تحقیق، همچنین تعداد سال‌های خشک در طی دوره پایه و آتی برای شش مدل و دو سناریو در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در جدول ۷ نشان داده شده است. تعداد سال‌های خشک دوره آتی در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تقریباً با تعداد سال‌های خشک دوره پایه برابر می‌باشد که دلیل آن، حساسیت *SPI* به دوره‌های کوتاه‌تر است. درحالی که تعداد سال‌های خشک در

جدول ۷- تعداد فراوانی سال‌های خشک در طی دوره پایه و آتی برای شش مدل و دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس‌های زمانی مختلف در نیشابور.

مجموع	مقیاس زمانی <i>SPI</i>			مدل‌های تغییر اقلیم	سناریوهای انتشار
	۱۲ ماهه	۶ ماهه	۳ ماهه		
۳۹	۱۵	۱۴	۱۰	Canesm2	RCP4.5
۳۹	۱۵	۱۶	۸	GFDL	
۴۱	۱۷	۱۵	۹	MIROC	
۳۸	۱۴	۱۵	۹	IPSL	
۳۸	۱۵	۱۴	۹	Csiromk-3.6	
۴۱	۱۵	۱۶	۱۰	GISS-ES-R	
۴۲	۱۶	۱۷	۹	Canesm2	RCP8.5
۳۸	۱۵	۱۵	۸	GFDL	
۴۱	۱۶	۱۵	۱۰	MIROC	
۳۸	۱۶	۱۵	۷	IPSL	
۳۸	۱۴	۱۵	۹	Csiromk-3.6	
۳۸	۱۶	۱۳	۹	GISS-ES-R	
۳۶	۱۴	۱۴	۸		دوره پایه

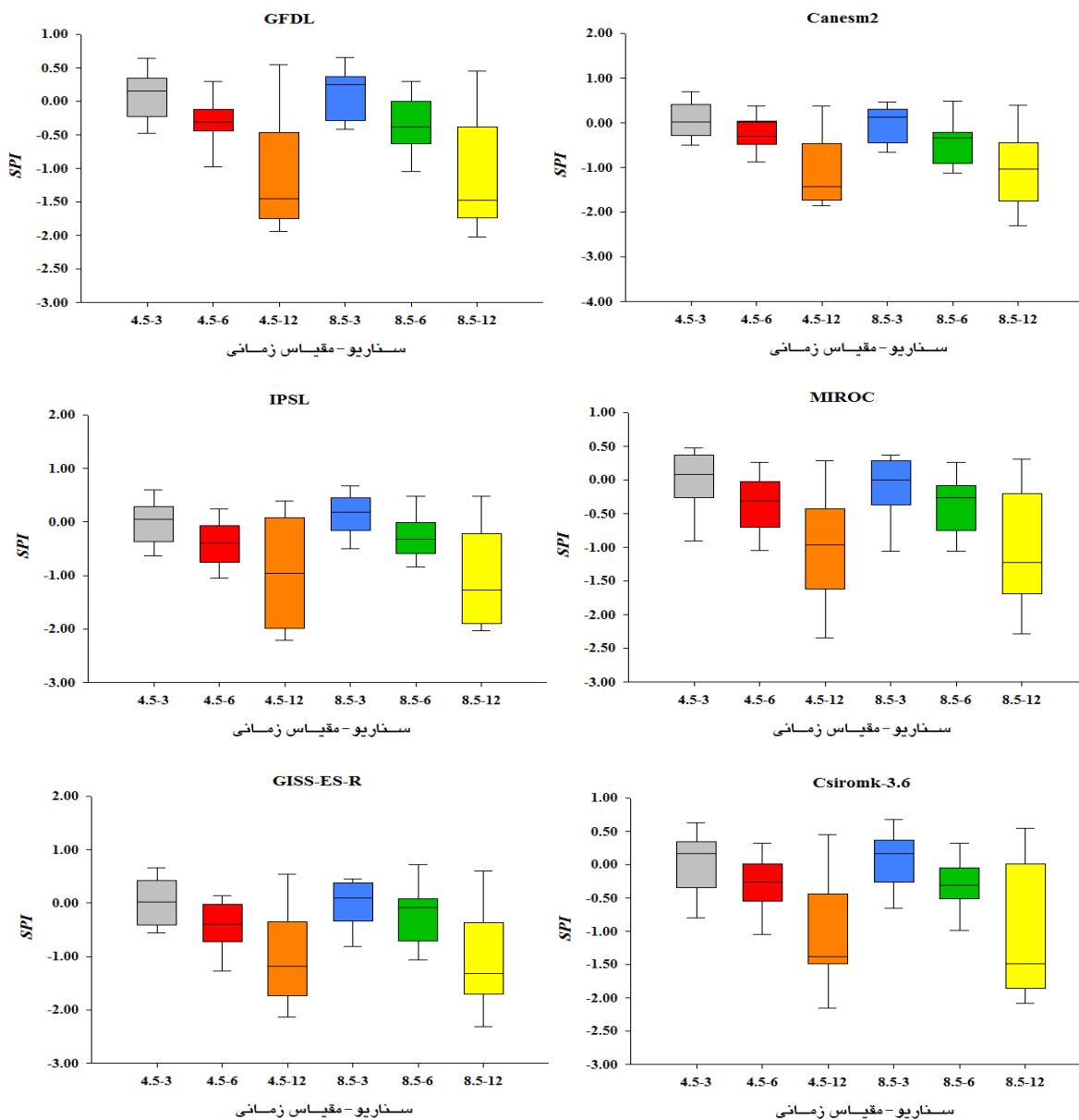
۳ و ۶ ماهه، شرایط نزدیک به وضعیت نرمال را نشان دادند، در صورتی که برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه، از وقوع خشکسالی‌های شدید برای دوره آتی اطلاع می‌دهد. یعقوب‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) نیز برای مقیاس‌های زمانی طولانی مدت نسبت به کوتاه مدت افزایش خشکسالی بیشتر را نشان داده است. همچنین برای اکثر مدل‌ها، دامنه تغییرات سناریو RCP8.5 نسبت به RCP4.5 بیشتر می‌باشد. در میان مدل‌های بکار رفته در این تحقیق، مدل Canesm2 دارای دامنه تغییرات

#### دامنه تغییرات شاخص *SPI*

دامنه تغییرات مقادیر *SPI* برآورد شده برای شش مدل تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد، نمودارهای جعبه‌ای در تمام مدل‌های بکار رفته برای محاسبه شاخص *SPI*، در مقیاس ۶ ماهه دارای کمترین دامنه تغییرات و در مقیاس ۱۲ ماهه دارای بیشترین دامنه تغییرات می‌باشند. همچنین در اکثر مدل‌های بکار رفته، مقادیر *SPI* با مقیاس‌های زمانی

شرایط خشکسالی را به‌خصوص در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه بیشتر نشان می‌دهد.

کمتری نسبت به پنج مدل دیگر می‌باشد. از طرفی به‌منظور مقایسه مدل‌های بکار رفته، مدل MIROC



شکل ۳- نمودار جعبه‌ای مقادیر  $SPI$  برای شش مدل و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس‌های زمانی مختلف در نیشابور.

### نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش ایستگاه سینوپتیک نیشابور به‌کمک شش مدل تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای مشخص کردن وضعیت خشکسالی منطقه در دوره پایه و خشکسالی در دوره

آتی با استفاده از شاخص  $SPI$  تحلیل شد. به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد و پارامترهای اقلیمی برای دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) برآورد شدند. نتایج بدست آمده از بررسی تغییرات بارش نشان داد که بیشترین و کمترین

حساسیت *SPI* به دوره‌های کوتاه‌تر است. این درحالی است که در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه نسبت به دوره پایه، تعداد سال‌های خشک بیشتری برآورد شده است. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که به‌منظور بررسی بهتر وضعیت خشکسالی هواشناسی لازم است از مقادیر شاخص *SPI* با مقیاس‌های زمانی طولانی مدت استفاده شود. همچنین از بین دو سناریو مورد استفاده در این تحقیق، سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 شرایط خشکسالی شدیدتری را برای دوره آتی برآورد می‌کند.

مقدار متوسط بارش روزانه (در مقیاس سالیانه) برای دوره آتی نسبت به دوره پایه تحت تأثیر سناریو RCP4.5 به‌ترتیب، مربوط به مدل‌های Canesm2 و MIROC و تحت تأثیر سناریو RCP8.5 مربوط به مدل‌های GISS-ES-R و Csiromk-3.6 می‌باشد. سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 کاهش بارش بیشتری را برای مدل‌ها برآورد کرده است. همچنین نتایج بدست آمده از بررسی خشکسالی نشان داد که تعداد سال‌های خشک در دوره آتی در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای سناریو RCP4.5 تقریباً با تعداد سال‌های خشک دوره پایه برابر می‌باشد، که این مسئله به‌دلیل

منابع مورد استفاده

- Ahmadebrahimpour E, Aminnejad B and Khalili K, 2019. Assessing future drought conditions under a changing climate: A case study of the Lake Urmia Basin in Iran. *Water Supply* 19(6):1851-1861.
- Anonymous, 2007. The physical science basis, Pp.1-43, In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K, Tignor M, Miller H, (eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- Anonymous, 2013. The physical science basis, Pp.741-865, In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM, (eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge. UK.
- Ashofteh PS and Massah AR, 2009. Impact of climate change uncertainty on temperature and precipitation of Aidoghmoush Basin in 2040-2069 periods. *Water and Soil Science University of Tabriz* 19(2):85-98. (In Persian with English abstract).
- Braga AC, da Silva RM, Santos CA, de Oliveira Galvão C and Nobre P, 2013. Downscaling of a global climate model for estimation of runoff, sediment yield and dam storage: A case study of Pirapama Basin, Brazil. *Journal of Hydrology* 498: 46-58.
- Bong CHJ and Richard J, 2020. Drought and climate change assessment using standardized precipitation index (SPI) for Sarawak River Basin. *Journal of Water and Climate Change* 11(4): 956-965.
- Changxing S, Yuanyuan Z, Xiaoli F and Wenwei S, 2013. A study on the annual runoff change and its relationship with water and soil conservation practices and climate change in the middle Yellow River Basin. *CATENA* 100:31-41.
- Chunping T, Jianping Y and Man L, 2015. Temporal-spatial variation of drought indicated by SPI and SPEI in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Journal of Atmosphere* 6:1399-1421.
- Dehghan Z, Fathian F and Eslamian S, 2017. Comparative assessment of SDSM, IDW and LARS-WG models for simulation and downscaling of temperature and precipitation. *Journal of Water and Soil* 29(5):1376-90. (In Persian with English abstract).
- Eghtedar Nezhad M, Bazrafshan O and Sadeghi Lari A, 2016. Adaptive evaluation of SPI, RDI and SDI indices in analyzing the meteorological and hydrological drought characteristics (case study: Bam plain). *Water and Soil Science- University of Tabriz* 25(1):113-123. (In Persian with English abstract).

- Gidey E, Dikinya O, Sebego R, Segosebe E and Zenebe A, 2018. Predictions of future meteorological drought hazard (~ 2070) under the representative concentration path (RCP) 4.5 climate change scenarios in Raya, Northern Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment* 4(2):475-488.
- Golmohammadi M and Massah Bavani A, 2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of Water and Soil* 25(2):315-326. (In Persian with English abstract).
- Heim Jr RR, 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83(8):1149-1165.
- Kobierska F, Jonas T, Zappa M, Bavay M, Magnusson J and Bernasconi SM, 2013. Future runoff from a partly glacier zed watershed in central Switzerland: A two-model approach. *Advances in Water Resources* 55:204-214.
- McKee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Pp 179-184. In proceedings of the 8th conference of applied climatology. 17-22 January, Anaheim, California.
- Montandon LM and Small EE, 2008. The impact of soil reflectance on the quantification of the Green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment* 112(4):1835-1845.
- Oguntunde PG, Abiodun BJ and Lischeid G, 2017. Impacts of climate change on hydro-meteorological drought over the Volta Basin, West Africa. *Global and Planetary Change* 155:121-132.
- Pirnia A, Golshan M, Bigonah S and Solaimani K, 2018. Investigating the drought characteristics of Tamar Basin (Upstream of Golestan dam) using SPI and SPEI indices under current and future climate conditions. *Iranian Journal of Eco hydrology* 5(1):215-228. (In Persian with English abstract).
- Rezaei Banafsheh M, Rezaei A and Faridpour M, 2015. Analyzing Agricultural Drought in East Azarbaijan Province Emphasizing Remote Sensing Technique and Vegetation Condition Index. *Water and Soil Science -University of Tabriz* 25(1):113-123. (In Persian with English abstract).
- Salehnia N, Mossavi Baygi M and Ansari H, 2013. Drought prediction with PDSI, Lars-WG5 and HadCM3 (case study: Neyshabour Basin). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 7(1):93-103. (In Persian with English abstract).
- Sayari N, Bannayan M, Alizadeh A and Farid A, 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the Northeast of Iran (case study: Kashafrood Basin). *Meteorological Applications* 20(1):115-127.
- Semenov MA, Barrow EM and Lars-Wg A, 2002. A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Man Herts UK.
- Shahabfar A, Ghulam A and Eitzinger J, 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation* 18:119-127.
- Van Pelt SC and Swart RJ, 2011. Climate change risk management in transnational River Basin: The Rhine. *Water Resource Management* 25(14):3837-3861.
- Vergni L and Todisco F, 2011. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(3):301-313.
- Vrochidou AE, Tsanis IK, Grillakis MG and Koutroulis AG, 2013. The impact of climate change on hydro meteorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology* 476:290-301.
- Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, Khozaymehnezhad H and Zeraatkar Z, 2018. The evaluation of the three downscaling methods in meteorological droughts forecasting under the effects of climate change. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 12(2):324-334. (In Persian with English abstract).
- Yaghoobzadeh M, Amirabadizadeh M, Ramezani Y and Pourreza-bilondi M, 2017. The investigation of uncertainty emissions scenarios of climate change in soil moisture estimation during the growing season of wheat. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 11(4):586-596. (In Persian with English abstract).