

اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشکسالی در خراسان جنوبی

مختار صالحی طبس^{۱*}، مصطفی یعقوب زاده^۲، غلامرضا زمانی^۳، مهدی امیرآبادی زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی است که خسارت‌های زیادی را بر منطقه تحت تأثیر خود وارد می‌کند. در این تحقیق، به منظور بررسی تغییرات بارش و شدت خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک بیرجند در طی دو دوره آبی از خروجی مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم استفاده شد. داده‌های بارش دو دوره آبی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و دوره آبی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) در مقابل دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۰۵) به همراه دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. سپس مقادیر SPI برای شش مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه تعیین شد. نتایج نشان داد که در اکثر مدل‌ها، تغییرات بارش برای هر دو دوره آبی نزدیک و دور نسبت به دوره پایه زیاد نخواهد بود. ولی با این وجود در دوره آبی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) نسبت به دوره آبی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) بارش بیشتر کاهش خواهد یافت. در بین مدل‌های GCM، مدل CanESM2 بیشترین میزان تغییرات نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد و سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 کاهش بارندگی بیشتری نسبت به دوره پایه برآورد می‌کند. در مقایسه مدل‌های GCM نیز مدل NorESM1-M تعداد سال‌های با شدت خشکسالی بیشتری را برآورد می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که در دوره‌های آبی، هرچه دوره آبی شاخص SPI از بازه زمانی‌های کوتاه مدت به بلندمدت افزایش یابد مقادیر SPI شرایط با شدت خشکسالی بیشتر را نشان خواهد داد. در بررسی عدم قطعیت مدل‌ها نیز مشخص شد که بیشترین قطعیت در بین مدل‌ها برای SPI بلندمدت و کوتاه مدت به ترتیب مربوط به مدل‌های NorESM1-M و Mpi-esm-mr است. نتایج کلی نیز نشان‌دهنده افزایش شدت و مدت خشکسالی در آینده (بخصوص آینده دور) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارش، شاخص SPI، عدم قطعیت، مدل‌های GCM، مدل LARS-WG

مقدمه

و ... پدیده‌ی تغییر اقلیم مقام اول را به خود اختصاص داده است (هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا^۱، ۲۰۰۷). طبق گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم اگر در حال حاضر انتشار تمامی گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین متوقف شود، پدیده تغییر اقلیم تا اواخر قرن بیست و یکم ادامه خواهد داشت که این امر به دلیل عمر ماندگاری ۱۵۰ ساله دی‌اکسید کربن به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای در جو زمین است (هیئت بین‌الدول تغییر آب و هوا^۱، ۲۰۰۷). پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای جو زمین شامل دی‌اکسید کربن، متان، اکسید نیتروژن، بخار آب و ذرات سولفات می‌باشد که در اثر فعالیت بشر تولید می‌شوند. هر کدام از این سناریوها بر مبنای فرضیات مختلفی راجع به رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تحول فن‌آوری، سطح زندگی و گزینه‌های موجود تولید انرژی استوار می‌باشند که به آن‌ها سناریوی انتشار نیز اطلاق می‌شود. پژوهشگران زیادی در خصوص بررسی روند تغییرات پارامترهای هواشناسی و خشکسالی برای دوره‌های آبی تحقیق نموده‌اند (نادری و همکاران، ۱۳۹۶ و کریمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴، عباسی و همکاران، ۱۳۸۹ و

انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت سازگاری با این پدیده و نیز کاهش هزینه‌های خسارات بار ناشی از این تغییرات بسیار ضروری می‌باشد. پدیده‌ی تغییر اقلیم که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی‌اکسید کربن در جو است، باعث تغییراتی در رژیم بارش، میزان رواناب، سرعت باد، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود. توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴). تبعات منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می‌تواند مخرب باشد که در بین ده عامل تهدیدآمیز برای بشر در قرن بیست و یکم، مانند فقر، سلاح‌های هسته‌ای، کمبود غذا

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی زراعت، دانشگاه بیرجند

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

*- نویسنده مسئول: (Email: Mokhtarsalehi@birjand.ac.ir)

خشکسالی SPI، PNPI^۶ و ARI^۷ برای نمایش شدت و مدت خشکسالی در حوضه کشف رود (شمال شرقی ایران) استفاده کردند و از این شاخص‌ها به کمک مدل HadCM3 برای ارزیابی حوادث خشکسالی در آینده تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2، B2) استفاده نمودند. نتایج آن‌ها تحت دو سناریو تغییر اقلیم نشان داد که افزایش اندک در بارش، درجه حرارت ماکزیمم، درجه حرارت کمینه در سال‌های آینده وجود خواهد داشت که سبب افزایش احتمال خشکسالی به دلیل گرم شدن جهانی و نتایج شاخص‌ها خواهد شد (Sayari et al., 2013). لوکاس و همکاران نیز اثرات تغییر اقلیم بر روی شدت خشکسالی در ناحیه تسالی کشور یونان را به کمک شاخص بارش استاندارد شده (SPI) ارزیابی کردند. آن‌ها خروجی‌های مدل انتشار جهانی CMCM2 را برای دو سناریو سری A2 و B2 به کار بردند و روشی را برای تخمین منحنی‌های فراوانی، مقیاس زمانی، شدت خشکسالی تجمعی سالیانه پیشنهاد کردند که شدت و فراوانی خشکسالی را برای انواع مختلف خشکسالی به دست می‌آورد. همچنین سری‌های زمانی SPI و شدت خشکسالی تجمعی سالیانه را تخمین زدند و با سری‌های زمانی و مقادیر ثبت شده ۱۹۶۰-۱۹۹۰ مقایسه کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که شدت خشکسالی با سناریو سری A2 برای همه مناطق مورد مطالعه و مقیاس زمانی SPI افزایش یافته است (Loukas et al., 2008).

تحقیقات اشاره شده بیشتر با استفاده از داده‌های گزارش چهارم IPCC انجام شده‌است و همچنین تنها یک مقیاس زمانی شاخص SPI و یک مدل AOGCM به صورت جداگانه مورد بحث قرار دادند. در این تحقیق ضمن استفاده از مدل‌های گزارش پنجم IPCC برای برآورد خشکسالی در دوره‌های آتی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و (۲۰۴۵-۲۰۷۵)، شاخص SPI برای شش مقیاس زمانی و چهار مدل AOGCM انجام شد و همچنین برای اطمینان به نتایج تغییر اقلیم، عدم قطعیت مدل‌های گزارش پنجم نیز تعیین شد که اهمیت این تحقیق را آشکارتر می‌نماید.

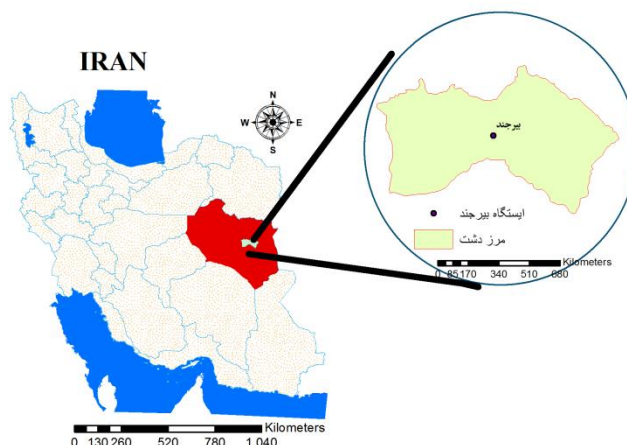
مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و وضعیت خشکسالی هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک شهر بیرجند واقع در دشت بیرجند مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت (شکل ۱). دشت بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه با ارتفاع ۱۴۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد واقع است. آب و هوای آن خشک و نیمه خشک و متوسط دمای سالیانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد با متوسط بارش سالیانه ۱۷۱ میلی‌متر است (صالحی طبس، ۱۳۹۸).

احمدی و همکاران، (۱۳۹۴). کابوسی و کردجزی (۱۳۹۶) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی در استان گلستان پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین فراوانی طبقات بارش سالانه در دوره آماری پایه و مدل ECHO-G در محدوده ۳۵۰ تا ۵۵۰ میلی‌متر است، در حالی که در مدل HadCM3 در محدوده‌ی ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر است. بیشترین میزان تغییر بارش تحت پیش‌بینی مدل‌های HadCM3 و ECHO-G به ترتیب در شهرستان‌های مراوه‌تپه و بندرگز مشاهده گردید. در زمینه خشکسالی بونگ و ریچارد به ارزیابی خشکسالی و تغییر آب و هوا با استفاده از شاخص استاندارد بارندگی (SPI) برای حوضه رودخانه ساراواک در مالزی پرداختند و نشان دادند که به طور کلی یک روند کاهش برای مقادیر SPI برای سه مقیاس زمانی وجود دارد که نشان دهنده تمایل بیشتر به افزایش واقعه خشکسالی در حوضه است. علاوه بر این، مشاهده شد که در ماه‌های اخیر تعداد ماه‌های خشک در اکثر ایستگاه‌های بارندگی نسبت به ۳۰ تا ۴۰ سال گذشته افزایش یافته‌است، که این می‌تواند ناشی از تغییرات آب و هوایی باشد (Bong and Richard, 2019). حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی به تأثیر تغییرات آب و هوا بر شدت، مدت و فراوانی خشکسالی در یک حوضه کشاورزی نیمه خشک در خوزستان پرداختند و نشان دادند که بیشترین افزایش در طول دوره خشکسالی برای شرایط عادی (SPI < -0.5) و شدید (SPI < -2) رخ می‌دهد در حالی که بیشترین افزایش در دفعات خشکسالی تحت سناریو آب و هوای گرم و خشک در بخش غربی حوضه رخ می‌دهد. فراوانی خشکسالی‌های متوسط (SPI < -1) و شدید (SPI < -1.5) در کلیه سناریوها کاهش می‌یابد در حالی که بیشتر سناریوها افزایش در فراوانی خشکسالی شدید (SPI < -2) را نشان می‌دهد. دوبروسکی و همکاران (۲۰۰۹) نیز در تحقیقی دو شاخص خشکسالی Rpsdi^۳ و Rspi^۲ معرفی نمودند که از واسنجی کردن شاخص‌های PDSI^۴ و SPI با داده‌های اندازه‌گیری بدست آمده‌است. آن‌ها از این دو شاخص برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی آینده در کشور چک استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص PDSI به دلیل این‌که تنها وابسته به بارش نیست، خشکسالی را بهتر نمایش می‌دهد. همچنین سناریوهای مدل‌های اقلیم جهانی (GCM^۵) در SPI افزایش بارش و در PDSI افزایش بارش و درجه حرارت را در آینده پیش‌بینی می‌کند (Dubrovsky et al., 2009). سیاری و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی از سه شاخص

- 1 Standardized Precipitation Index
- 2- relative Palmer Drought Severity Index
- 3- relative Standardized Precipitation Index
- 4- Palmer Drought Severity Index
- 5- Global Climate Model

6- Percent of Normal Precipitation Index
7- Average Rate Index



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در کشور

جدول ۱- مشخصات مدل‌های به کار رفته در تحقیق براساس گزارش پنجم (IPCC, 2013)

مدل	وضوح مکانی (درجه طول جغرافیایی × عرض جغرافیایی)	سازمان تولیدکننده مدل
MRI-CGCM3	۱*۱	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, Japan
Mpi-esm-mr	۱/۸*۱/۸	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
CanESM2	۲/۸*۲/۸	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis, Canada
NorESM1-M	۲*۲	Norwegian Climate Centre, Norway

روش تحقیق

در این تحقیق از داده‌های دما و بارش مدل‌های GCM گزارش پنجم سازمان IPCC استفاده شده است. در خصوص مدل‌سازی اقلیمی دوره‌های آتی، روش‌های مختلفی وجود دارد که جامع‌ترین این روش‌ها، مدل‌های گردش عمومی جو GCM هستند. مدل‌های GCM قادر به شبیه‌سازی چرخه عمومی جو بوده و می‌توانند برای شبیه‌سازی جو-اقیانوس با مقیاس‌های گوناگون به کار گرفته شوند هدف این مدل‌ها شبیه‌سازی همه ویژگی‌های سه بعدی آب و هوا می‌باشد. از این رو این مدل‌ها جامع‌ترین مدل‌های جوی برای پیش‌بینی وضعیت آینده می‌باشند. مدل‌های اقلیمی براساس نوع و میزان دقت تقسیم‌بندی می‌گردند. در این تحقیق از ۴ مدل CMIP5^۱ برای برآورد بارش و دما در دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۴۵-۲۰۷۵ به عنوان دوره‌ی آتی و دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۵ به عنوان دوره‌ی پایه مورد استفاده قرار گرفت که در ادامه می‌توان، مشخصات مدل‌ها را در جدول ۱ مشاهده کرد.

در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت

به گزارش پیشین افزایش یافته‌است. همچنین در سناریو RCP^۲ محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای (GHGs) نسبت به سناریوهای SRES در AR4 ارزیابی شده است. به طور کلی عدم قطعیت‌ها در گزارش اخیر کاهش یافته‌است. سناریوهای RCP شامل یک سناریو کاهش خوش بینانه (RCP 2.6)، دو سناریو حد واسط (RCP 4.5 و RCP 6) و یک سناریو بدبینانه (RCP 8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند. RCP 8.5، RCP 6، RCP 4.5 و RCP 2.6 اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی را در سال ۲۱۰۰ به ترتیب تا ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر مترمربع تخمین زده‌اند (IPCC, 2013) که در این تحقیق از دو سناریو RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شده‌است (Ullah et al., 2018).

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند. سناریو RCP8.5 بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار

2- Representative Concentration Pathway
3- Greenhouse Gases

1- Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

برای تعیین درجه سختی خشکسالی در سال‌های مختلف لازم است که آستانه‌هایی برای SPI تعریف شوند. جدول ۲ اولین طبقه‌بندی از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) که در سال ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ توسط مک‌کی ایجاد شده است را نشان می‌دهد (McKee et al, 1995).

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی SPI

طبقه‌بندی	مقادیر شاخص
به شدت مرطوب	بزرگتر از ۲
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱/۰ تا ۱/۴۹
نرمال	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی خفیف	۰ تا -۰/۹۹
خشکسالی متوسط	-۱/۴۹ تا -۱/۰
خشکسالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۴۹
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۲/۰

نتایج و بحث

در این تحقیق، ابتدا داده‌های بارش دریافت شده از سایت IPCC که به صورت ماهانه و دارای شبکه‌ای به اندازه حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع زمینی در طول و عرض می‌باشند با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند و مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. جدول ۳ ارزیابی نتایج مدل LARS-WG برای ماه‌های مختلف سال نشان داده شده است. هرچه مقادیر p-value به یک و مقادیر ks-test به صفر نزدیکتر باشد، نشان از دقت نتایج ریزمقیاس داده‌های بارش و دما برای آن ماه مخصوص است. نتایج بدست آمده از جدول ۳ نشان می‌دهد که از مدل LARS-WG به خوبی می‌توان برای تولید داده‌های بارش و دمای حداقل و دمای حداکثر برای ایستگاه استفاده کرد.

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

شکل ۲ مقادیر متوسط بارش سالانه دوره‌ی آتی نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۱۵) و دوره‌ی آتی دور (۲۰۷۵-۲۰۴۵) برآورد شده توسط چهار مدل GCM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و داده‌های متوسط بارش سالانه دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۵) را نشان می‌دهد. در این شکل برای دوره‌ی آتی نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۱۵) در دو دهه ابتدایی دوره و برای هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 دو مدل Mpi-esm- mr و Noresm1-m کاهش بارش بیشتری را نسبت به دوره‌ی پایه برآورد می‌کنند. در مجموع می‌توان گفت تغییرات دوره‌های آتی بخصوص دوره‌ی آتی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه اندک خواهد بود. در مقایسه بین مدل‌ها نیز مدل Canesm2 افزایش بارش بیشتری نسبت به دوره‌ی پایه و مدل‌های دیگر نشان می‌دهد. همچنین این

و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره‌ی زمین در خط سیر سناریو انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت؛ به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد.

مدل ریزمقیاس نمایی آماری

مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در ریزمقیاس نمایی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو محسوب می‌گردد. در بوداپست و در سال ۱۹۹۱ LARS-WG نسخه‌ی اولیه به عنوان بخشی از پروژه‌ی ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هدف اصلی از اجرای این روش، غلبه بر محدودیت‌های روش زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. کارایی این مدل توسط سمونف در سال ۱۹۹۸ در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آمریکا، اروپا و آسیا مورد ارزیابی قرار گرفته است (کوهی و ثنایی نژاد، ۱۳۹۳). مدل‌های AOGCM از مقیاس‌های کوچک شامل آب و هوای یک منطقه تا مقیاس‌های بزرگ شامل تغییرات اقلیم در مقیاس‌های قاره‌ای را شامل می‌شوند. هرچند مدل‌های بزرگ مقیاس کلی بوده و نشان‌دهنده‌ی تغییرات عمومی می‌باشند، اما استفاده از مدل‌های در مقیاس کوچک برای کاربردهای منطقه‌ای و تبدیل نتایج مدل‌های AOGCM به پدیده‌های منطقه‌ای لازم است (Salehnia et al., 2019). مدل LARS-WG از سلسله‌ی

برای استفاده از مدل ابتدا دوره پایه و آتی مدل‌های AOGCM و سپس نسبت دوره آتی به پایه مقادیر بارش محاسبه شده و وارد مدل LARS-WG می‌شود سپس بعد از آنالیز داده‌ها با داده‌های ایستگاه سینوپتیک، داده‌های دوره آتی مورد نظر بدست می‌آید.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به کار برده می‌شود. همچنین رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش‌بینی و به تخمین شدت خشکسالی کمک می‌کند. با توجه به این موضوع، مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵) شاخص استاندارد بارش را در مقیاس‌های زمانی سه، شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه SPI برای هر مکان براساس ثبت بارش‌های طولانی‌مدت در دوره‌های زمانی موردنظر پایه‌گذاری شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

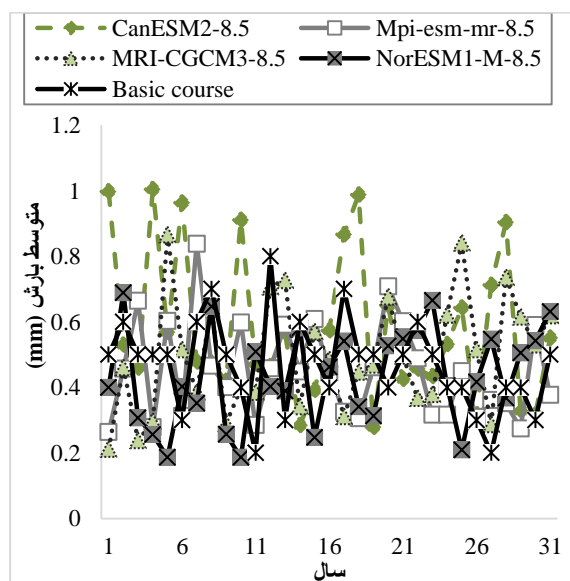
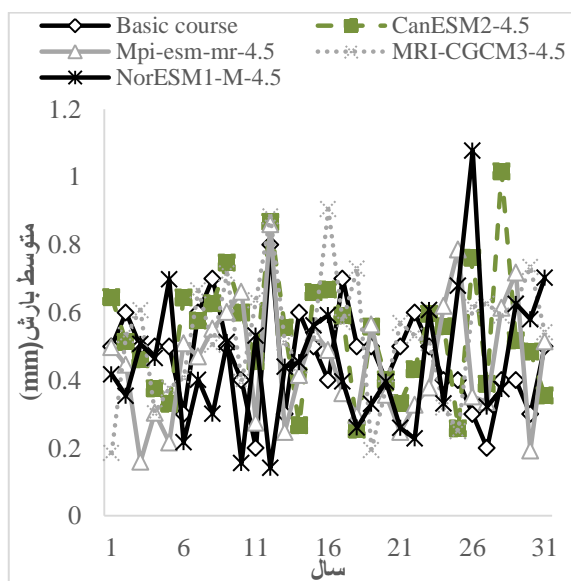
که در آن، P_i مقدار بارش در دوره موردنظر، \bar{P} میانگین درازمدت بارش برای دوره موردنظر و SD انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد.

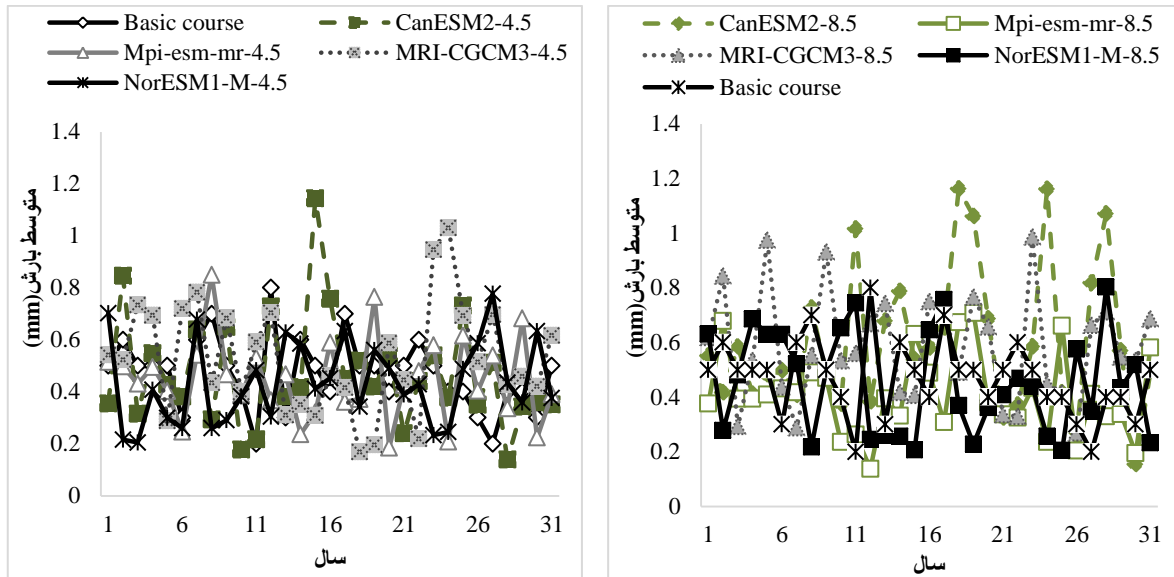
این دوره در مورد مقایسه بین مدل‌ها و سناریوها شبیه دوره‌ی آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) بوده با این تفاوت که متوسط بارش سالانه در این دوره کمتر از دوره‌ی آتی نزدیک می‌باشد.

کاهش بارش در بیشتر مدل‌ها برای سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 بیشتر رخ خواهد داد. همچنین مقادیر بارش برای دوره‌ی آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) نیز نشان می‌دهد که نتایج حاصله از

جدول ۳- تحلیل سناریوهای روزانه تولید شده برای دوره (۱۹۷۵-۲۰۰۵) توسط مدل LARS-WG

ks-test			p-value			ماه
دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش	دمای حداکثر	دمای حداقل	بارش	
۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۰۴۲	۰/۹۱۲۵	۰/۹۱۲۵	۱/۰۰۰۰	ژانویه
۰/۱۵۸	۰/۱۰۶	۰/۰۶۳	۰/۹۱۲۵	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	فوریه
۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۰۵	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	مارس
۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۴۶	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	آوریل
۰/۰۵۳	۰/۱۰۶	۰/۰۴۶	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	می
۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۸۷	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	ژوئن
۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۲۱۸	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	۰/۵۸۹۵	جولای
۰/۱۰۶	۰/۱۵۸	۰/۱۵۸	۰/۹۹۸۹	۰/۹۱۲۵	۰/۶۸۵۲	آگوست
۰/۱۰۶	۰/۰۵۳	۰/۳۰۴	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	۰/۱۹۶۲	سپتامبر
۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	۰/۰۶۴	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۸۹	۱/۰۰۰۰	اکتبر
۰/۰۵۳	۰/۰۸۵	۰/۰۰۵	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	نوامبر
۰/۰۵۳	۰/۰۵۳	۰/۰۷۱	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	دسامبر

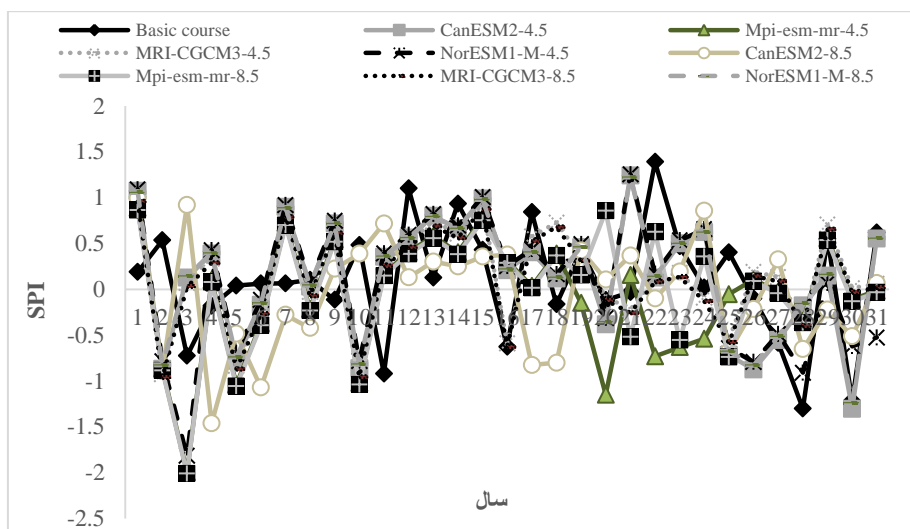


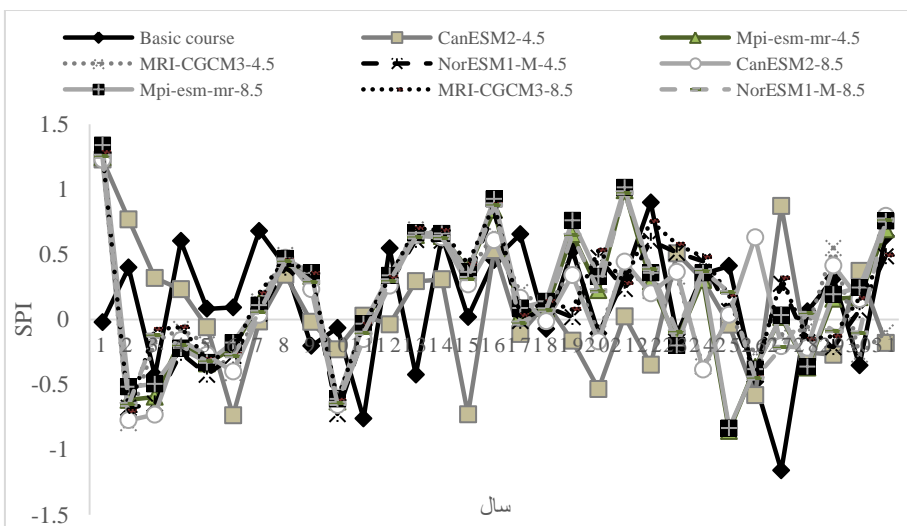
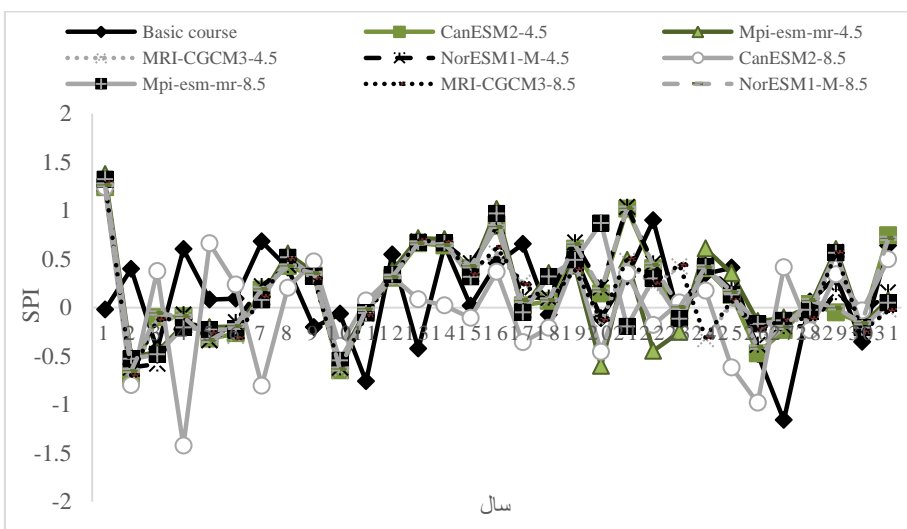
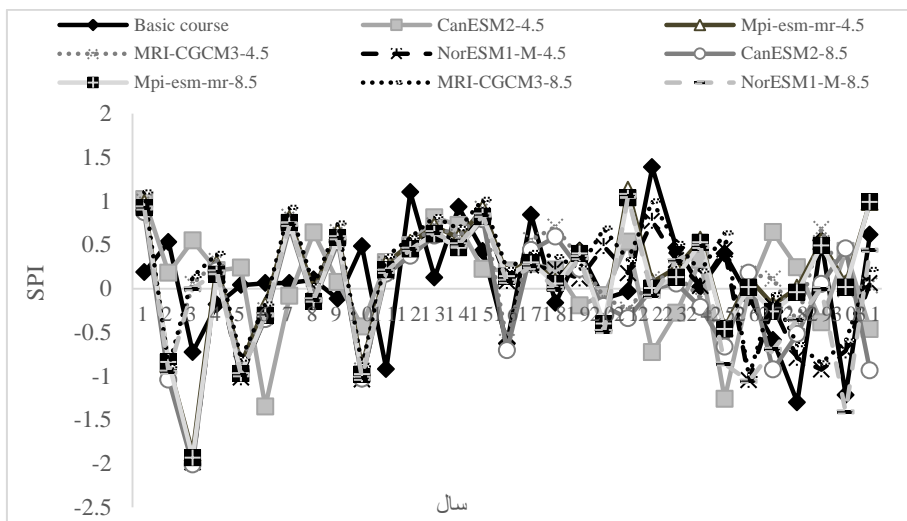


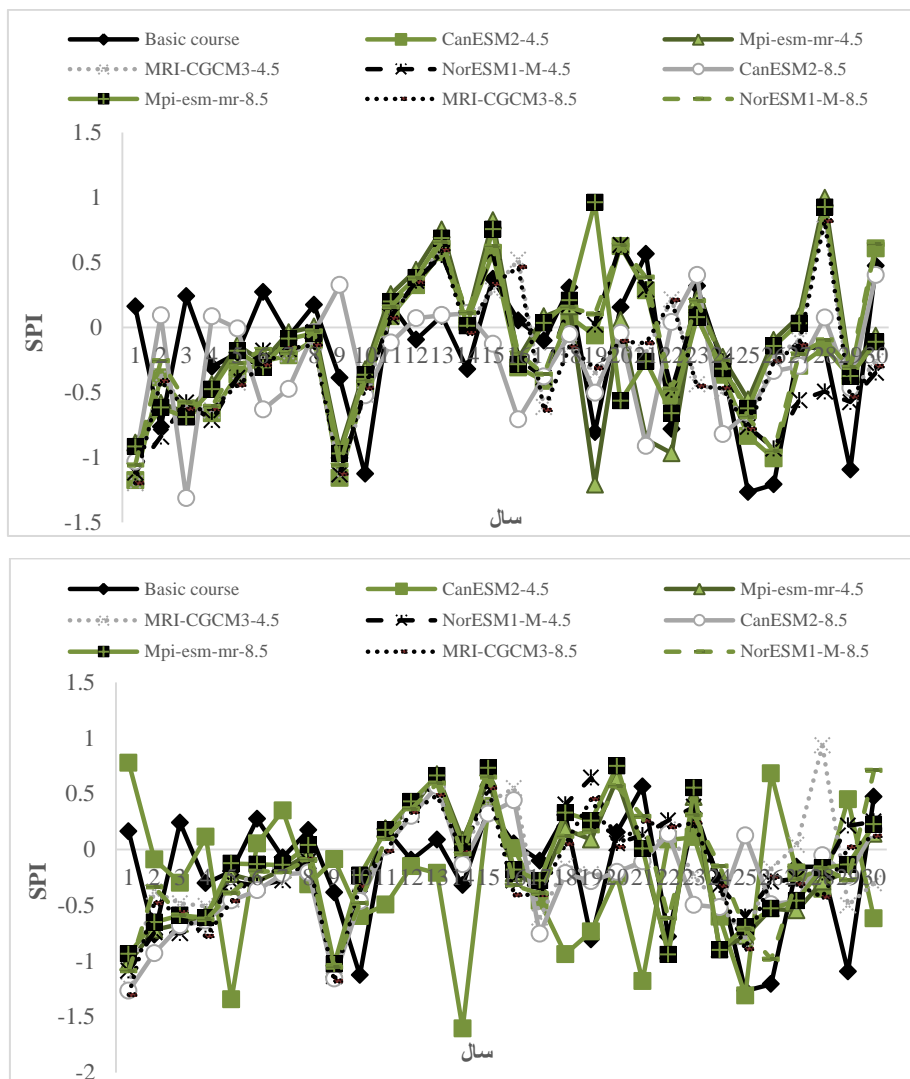
شکل ۲- مقادیر متوسط بارش سالانه برای دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) (بالا) و دوره آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) (پایین) و دوره پایه و مدل‌های GCM در دو سناریو RCP4.5 (سمت چپ) و RCP8.5 (سمت راست)

همچنین مقادیر SPI ۳ ماهه برای هر دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) نشان می‌دهد که در دهه ابتدایی اکثر مدل‌ها خشکسالی خفیف، دهه دوم رطوبت نرمال و دهه سوم هم خشکسالی خفیف و رطوبت نرمال مشاهده می‌شود. مقادیر SPI ۶ ماهه در بیشتر مدل‌ها برای هر دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) در دهه ابتدایی خشکسالی خفیف و متوسط، در دهه دوم حالت نرمال و خشکسالی خفیف و برای دهه سوم نیز خشکسالی خفیف و متوسط را برآورد می‌کنند. رفتار مقادیر SPI ۳ و ۶ ماهه در مدل Cansem2 در دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) با بقیه مدل‌ها تفاوت دارد.

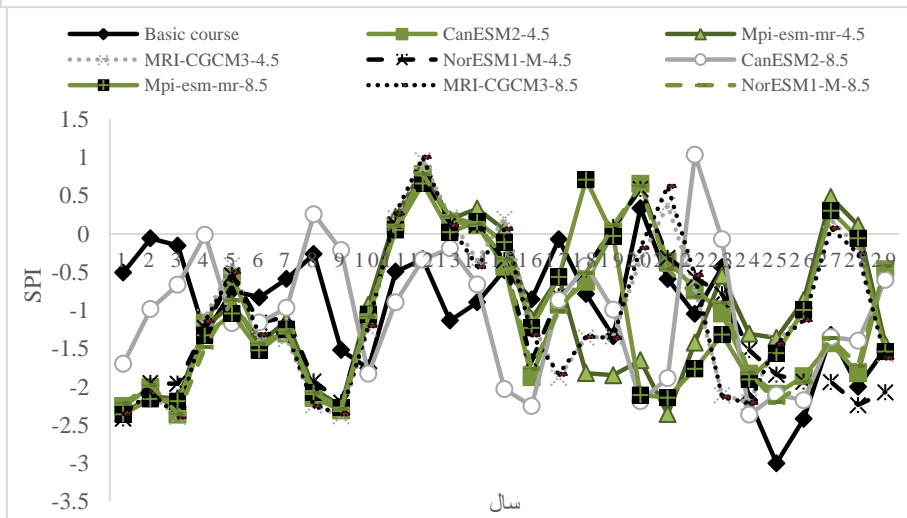
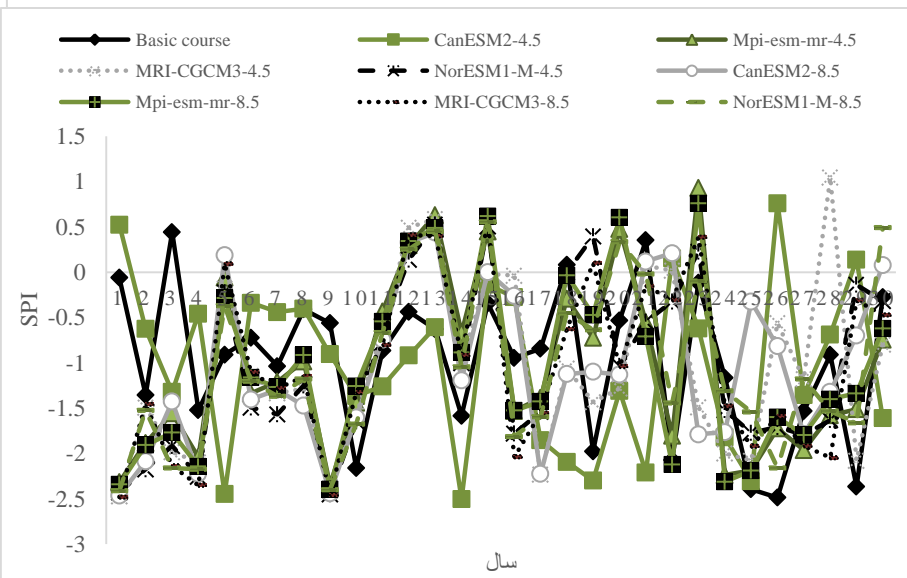
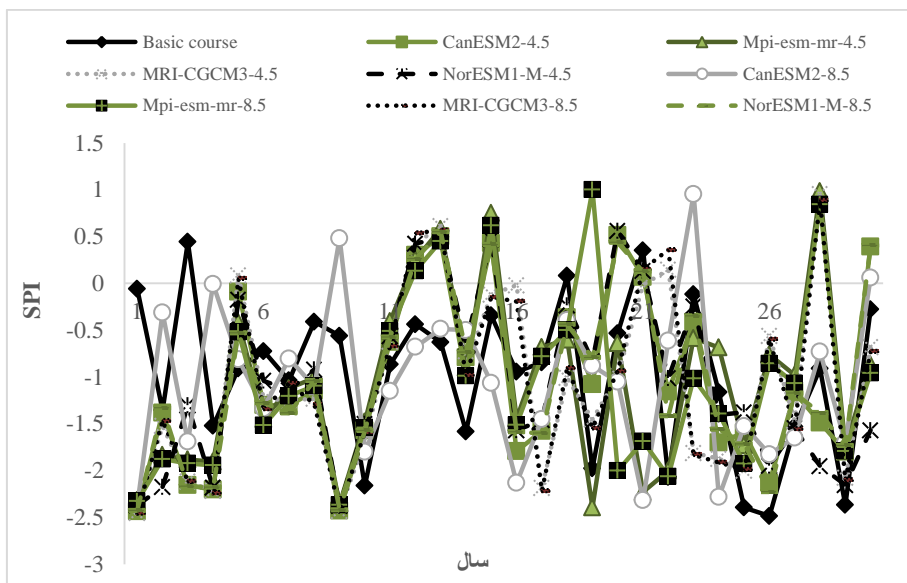
پس از تعیین بارش برای دوره‌های آتی می‌توان شاخص خشکسالی SPI را برای دوره‌های آتی و دو سناریو مشخص نمود. در شکل ۳ مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت برای دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 و دو دوره آتی نشان داده شده است. مقادیر SPI ۱ ماهه اکثر مدل‌ها در دهه ابتدایی هر دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) خشکسالی خفیف و متوسط را نشان می‌دهند به جز مدل‌های Mmpi-esm-mr و Noresm1-m سناریو RCP8.5 که خشکسالی شدید را نشان می‌دهد. در دهه دوم دوره نیز اکثر مدل‌ها حالت نرمال و در دهه سوم نیز اکثر مدل‌ها حالت نرمال و خشکسالی خفیف را نشان می‌دهند.

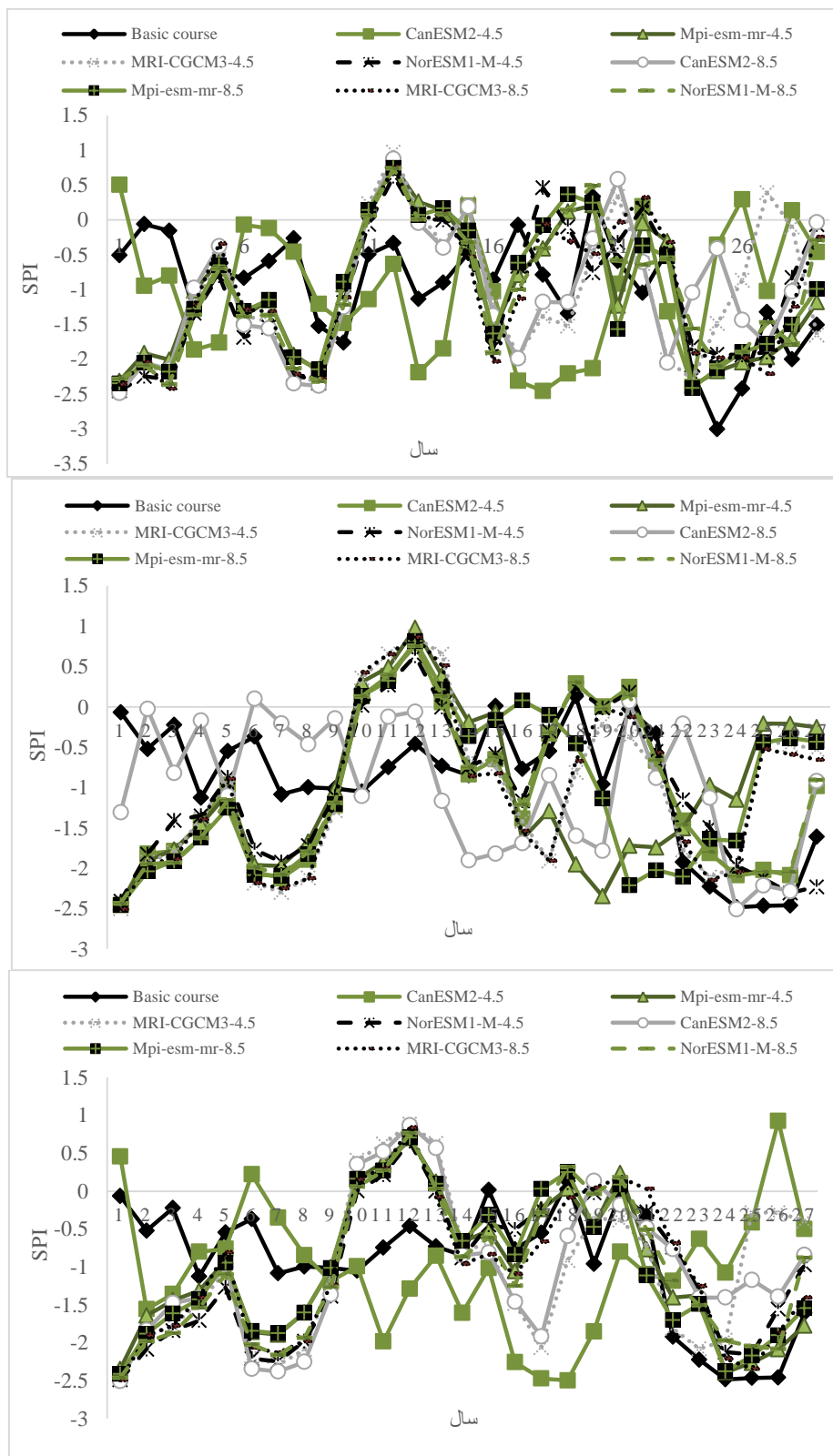






شکل ۳- مقادیر شاخص SPI ۱، ۳ و ۶ ماهه (به ترتیب از بالا به پایین) برای دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) (سمت چپ) و دوره آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) (سمت راست) و مدل های GCM و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5





شکل ۴- مقادیر شاخص SPI ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه (به ترتیب از بالا به پایین) برای دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) (سمت چپ) و دوره آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) (سمت راست) و مدل های GCM و دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5

طولانی مدت شدت خشکسالی بیشتر را نشان داد و مقادیر شاخص SPI را در محدوده خشکسالی خفیف تا شدید نشان داد. در جدول ۴ مقادیر متوسط SPI با مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و دو دوره آتی نزدیک و دور نشان داده شده است. در این جدول هرچه دوره زمانی شاخص SPI از ۱، ۳ و ۶ ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه حرکت کند مقادیر SPI شرایط با شدت خشکسالی شدیدتری را برآورد می‌کند. همچنین مقادیر شاخص SPI در دوره آتی دور (۲۰۶۰) نسبت به دوره آتی نزدیک (۲۰۳۰) و دوره پایه خشکسالی با شدت بیشتری نشان می‌دهد. در مقایسه نتایج مدل‌ها نیز تفاوت قابل توجهی بین مدل‌ها وجود ندارد ولی با این حال مدل‌های Noresm1-m و Mpi-esm-mr نسبت به دو مدل دیگر وجود خشکسالی بیشتر در آینده را برآورد می‌کند.

در جدول ۵ تعداد سال‌های خشک در دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) برای مقادیر شاخص SPI در بازه زمانی (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸) و برای مدل‌های GCM در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. در مقایسه سناریو‌ها برای تعداد سال‌های با خشکسالی خفیف و متوسط بین دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تفاوت زیادی وجود ندارد ولی سناریو RCP8.5 نسبت به سناریو RCP4.5 تعداد سال‌ها با خشکسالی شدیدتری را نشان می‌دهد در بین مدل‌های GCM نیز مدل Noresm1-m در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تعداد سال‌ها با خشکسالی شدید بیشتری را نسبت به بقیه مدل‌های تغییر اقلیم نشان می‌دهد. در مقایسه دوره پایه با دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) تعداد سال‌ها با خشکسالی شدید در دوره آتی نزدیک بیشتر است.

در شکل ۴ مقادیر SPI با مقیاس زمانی‌های طولانی مدت را برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره آتی نزدیک و دور نشان داده شده است. در مقادیر SPI ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای هر دو دوره آتی نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۵) و دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) در دهه‌های ابتدایی و انتهایی دوره تقریباً همه مدل‌های GCM، خشکسالی خفیف تا خشکسالی بسیار شدید را برآورد می‌کنند. این درحالی است که در دهه میانی هر دو دوره علاوه بر اینکه مشخص است بیشتر مدل‌ها خشکسالی خفیف تا خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهند ولی با این وجود بعضی مدل‌ها در بعضی سال‌ها برای هر دو دوره آتی نزدیک و دور حالت رطوبت نرمال را برآورد می‌کنند. مدل Cansem2 سناریو RCP4.5 برای دوره آتی نزدیک و سناریو RCP8.5 برای دوره آتی دور رفتار متفاوتی از سایر مدل‌ها بخصوص برای شاخص SPI با مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه از خود نشان می‌دهند. همچنین شکل‌ها مشخص می‌کنند که اختلاف زیادی بین مقادیر SPI دوره‌ی پایه با دو دوره‌ی آتی مدل‌های GCM بخصوص برای شاخص SPI با مقیاس ۲۴ و ۴۸ ماهه در دهه‌های ابتدایی و میانی وجود دارد. مقادیر SPI دوره پایه دهه‌های اول و دوم، خشکسالی خفیف و متوسط و در دهه سوم نیز خشکسالی شدید و بسیار شدید را نشان می‌دهند این درحالی است که مدل‌های GCM برآورد متفاوتی از خشکسالی را در دهه‌ی میانی دوره برآورد می‌کنند و در دهه‌های میانی حالت رطوبت نرمال برآورد شده است. یعقوب زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیق مشابه به ارزیابی سه روش ریزمقیاس‌نمایی در پیش خشکسالی هواشناسی تحت تاثیر تغییر اقلیم پرداختند که نتایج، افزایش بارش بسیار کمی را برا هر سه روش ریزمقیاس در دوره‌ی آتی نشان داد. همچنین مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی‌های

جدول ۴- مقادیر متوسط شاخص SPI با بازه‌های زمانی مختلف برای مدل‌های GCM در طی دوره پایه و دو دوره آتی دور و نزدیک

دوره پایه	RCP4.5				RCP8.5				دوره پایه	
	SPI	Cansem2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3	Nnoresm1	Cansem2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3		Noresm1-m
۱ ماهه	۲۰۳۰	۰/۱۰۰	۰/۱۵۱	۰/۱۱۸	-۰/۰۳۶	-۰/۱۰۷	۰/۰۸۹	-۰/۱۸۳	-۰/۰۱۱	۰/۰۸۷
۳ ماهه	۲۰۳۰	۰/۰۶۳	۰/۱۳۷	۰/۱۱۰	-۰/۱۲۹	۰/۱۲۲	۰/۱۷۲	۰/۲۱۳	۰/۱۶۷	۰/۱۲۶
۶ ماهه	۲۰۳۰	-۰/۲۹۴	-۰/۲۱۶	-۰/۱۸	-۰/۱۳۷	-۰/۲۷۵	-۰/۱۵۱	-۰/۱۹۷	-۰/۱۷۱	-۰/۱۹۱
۱۲ ماهه	۲۰۳۰	-۰/۲۱۵	-۰/۱۶۲	-۰/۲۲	-۰/۲۵۷	-۰/۲۵۸	-۰/۱۲۴	-۰/۲۳۲	-۰/۱۳۸	-۰/۱۹۱
۲۴ ماهه	۲۰۳۰	-۱/۰۲۰	-۱/۰۵۸	-۱/۰۵	-۱/۰۴۵	-۱/۰۴۴	-۱/۰۵۴	-۱/۰۳۲	-۱/۰۵۱	-۰/۹۷۷
۴۸ ماهه	۲۰۳۰	-۱/۰۴۹	-۱/۰۶۱	-۱/۰۵	-۱/۰۵۴	-۱/۰۳۹	-۱/۰۷۷	-۱/۰۵۸	-۱/۰۴۸	-۰/۹۷۷
دوره پایه	۲۰۳۰	-۱/۰۲۵	-۱/۰۳۰	-۱/۰۵	-۱/۰۳۱	-۱/۰۳۷	-۱/۰۳۰	-۱/۰۲۸	-۱/۰۴۱	-۰/۹۷۵
دوره پایه	۲۰۳۰	-۱/۰۴۳	-۱/۰۵۶	-۱/۰۵	-۱/۰۴۴	-۱/۰۴۱	-۱/۰۵۸	-۱/۰۵۳	-۱/۰۴۷	-۰/۹۷۵
دوره پایه	۲۰۳۰	-۱/۰۲۸	-۱/۰۱۶	-۱/۰۴	-۱/۰۲۰	-۱/۰۱۳	-۱/۰۲۲	-۱/۰۲۸	-۱/۰۳۶	-۰/۹۴۱
دوره پایه	۲۰۳۰	-۱/۰۴۰	-۱/۰۴۹	-۱/۰۳	-۱/۰۲۴	-۰/۹۷۲	-۱/۰۳۷	-۱/۰۳۷	-۱/۰۴۵	-۰/۹۴۱

جدول ۵- تعداد سال‌های خشک در دوره آتی نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۱۵) و دوره پایه با استفاده از مقادیر شاخص SPI در بازه زمانی مختلف برای مدل‌های GCM

خشکسالی	RCP4.5				RCP8.5				دوره پایه	
	Cansm2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3	Noresm1-m	Cansm2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3	Noresm1-m		
۱ ماهه	خفیف	۹	۸	۱۲	۷	۱۲	۹	۸	۱۲	۱۰
	متوسط	۲	۱	۰	۴	۲	۱	۱	۳	۲
	شدید	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
۳ ماهه	خفیف	۱۶	۱۱	۱۴	۱۱	۱۲	۱۱	۱۰	۱۳	۱۱
	متوسط	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
	شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶ ماهه	خفیف	۱۶	۱۸	۲۰	۱۶	۲۰	۱۷	۱۷	۱۸	۱۳
	متوسط	۳	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۲	۴
	شدید	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲ ماهه	خفیف	۱۲	۸	۶	۷	۵	۸	۷	۶	۱۵
	متوسط	۵	۴	۹	۳	۹	۶	۷	۷	۳
	شدید	۹	۱۳	۱۰	۱۵	۹	۱۱	۱۰	۱۲	۹
۲۴ ماهه	خفیف	۹	۷	۶	۱۰	۸	۷	۹	۷	۱۶
	متوسط	۶	۵	۷	۲	۷	۴	۶	۶	۵
	شدید	۹	۱۱	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۷
۴۸ ماهه	خفیف	۹	۶	۹	۹	۸	۵	۷	۶	۱۴
	متوسط	۸	۶	۴	۳	۸	۳	۵	۴	۵
	شدید	۷	۹	۱۰	۱۰	۶	۱۲	۹	۱۱	۶

دامنه تغییرات شاخص SPI با بازه زمانی‌های مختلف برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و دو دوره آتی در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس برای دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۵) بیشترین و کمترین قطعیت در سناریو RCP4.5 به ترتیب مربوط به SPI ۱ ماهه و SPI ۲۴ ماهه است و برای سناریو RCP8.5 دقیقاً برعکس سناریو RCP4.5 است. برای دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۷۵) بیشترین و کمترین قطعیت در سناریو RCP4.5 به ترتیب مربوط به SPI ۲۴ ماهه و ۱ ماهه ولی برای سناریو RCP8.5، SPI ۳ ماهه و ۱ ماهه به خود اختصاص داده‌اند. که یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی در زمینه عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم در برآورد بارش به نتایج مشابهی دست یافتند.

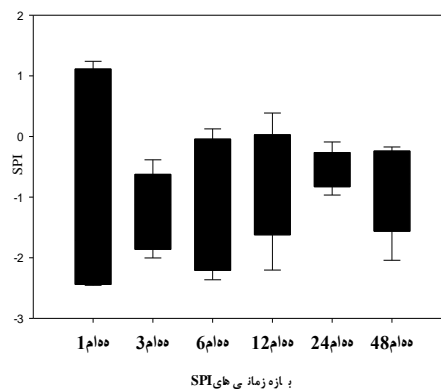
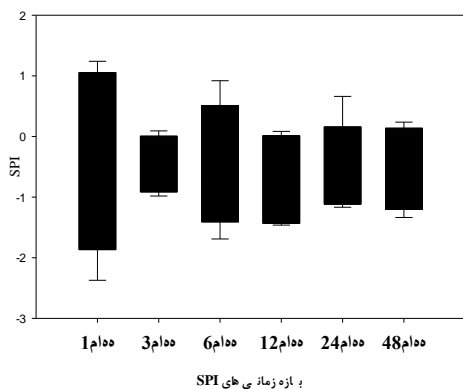
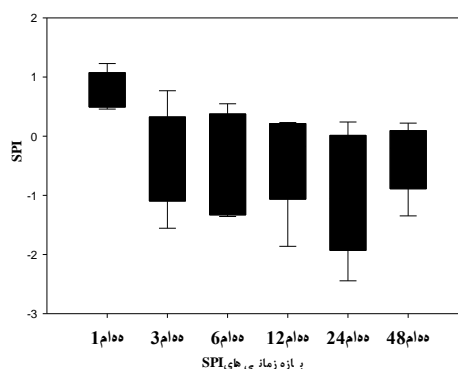
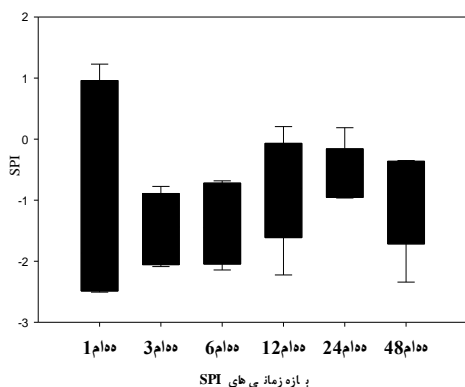
شکل ۶ دامنه تغییرات SPI کوتاه و طولانی مدت را برای مدل‌های تغییر اقلیم نشان می‌دهد. که این شکل به منظور تعیین قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم در برآورد مقادیر SPI ۳ ماهه (کوتاه مدت) و ۱۲ ماهه (طولانی مدت) در یک دوره آتی یکسان (۲۰۴۵-۲۰۱۵) و سناریو RCP4.5 رسم شد که نتایج نشان نشان داد برای SPI کوتاه مدت بیشترین و کمترین قطعیت به ترتیب مربوط به مدل‌های NorESM1-M و Canesm2 هستند ولی برای SPI طولانی مدت مشابه قبلی کمترین قطعیت مربوط به مدل Canesm2 و بیشترین قطعیت را مدل Mpi-esm-mr به خود اختصاص داده است.

در مقایسه مقادیر شاخص SPI با دوره زمانی مختلف هرچه دوره زمانی شاخص SPI از ۱، ۳ و ۶ ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه حرکت کند، مقادیر SPI شرایط با شدت خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد.

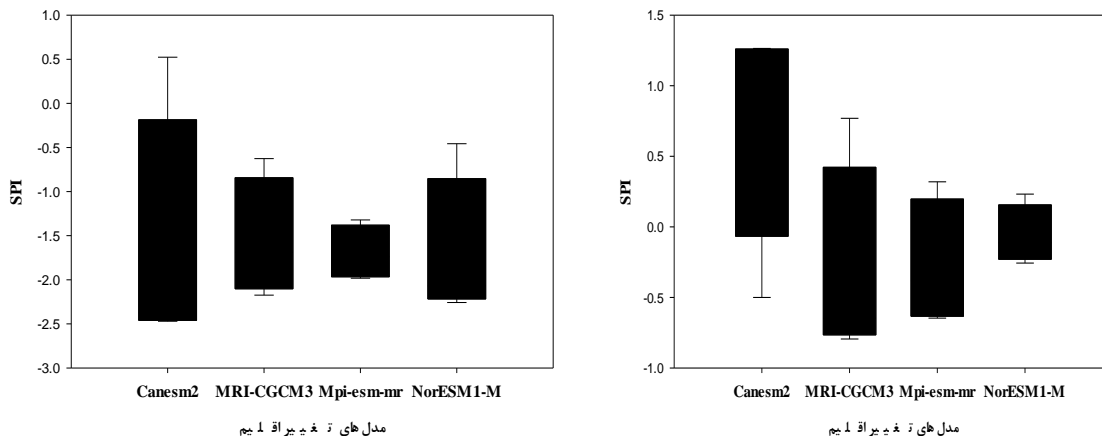
جدول ۶ تعداد سال‌های خشک در دوره آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) را با استفاده از مقادیر شاخص SPI در بازه زمانی (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸) برای مدل‌های GCM در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. در مقایسه سناریوها، سناریو RCP8.5 تعداد سال‌ها با خشکسالی شدید بیشتری را نشان می‌دهد. در بین مدل‌ها در سناریو RCP4.5 مدل Mpi-esm-mr و در سناریو RCP8.5 مدل Cansem2 در مجموع تعداد سال‌ها با خشکسالی خفیف، متوسط و شدید بیشتری را نشان می‌دهند. با این حال از نظر تعداد سال با خشکسالی شدید در سناریو RCP4.5 مدل Noresm1-m و در سناریو RCP8.5 مدل Mpi-esm-mr تعداد سال خشک بیشتری را نشان می‌دهند. نتایج همچنین مشخص می‌کند دوره آتی دور (۲۰۴۵-۲۰۷۵) تعداد سال با خشکسالی شدید بیشتری را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد و در مقایسه مقادیر شاخص SPI با دوره زمانی مختلف هرچه دوره زمانی شاخص SPI از ۱، ۳ و ۶ ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه حرکت کند مقادیر SPI شرایط با شدت خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد.

جدول ۶- تعداد سال‌های خشک در دوره آتی دور (۲۰۷۵-۲۰۴۵) و دوره پایه با استفاده از مقادیر شاخص SPI در بازه زمانی مختلف برای مدل‌های GCM

خشکسالی	RCP4.5				RCP8.5				دوره پایه	
	Cansem2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3	Noresm1-m	Cansem2	Mpi-esm-mr	Mri-cgcm3	Noresm1-m		
۱ ماهه	خفیف	۹	۱۲	۱۱	۱۱	۱۲	۱۰	۱۲	۹	۱۰
	متوسط	۱	۳	۰	۰	۲	۲	۰	۱	۲
	شدید	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰
۳ ماهه	خفیف	۱۲	۱۴	۱۴	۱۱	۱۲	۱۴	۱۴	۱۱	۱۱
	متوسط	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
	شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۶ ماهه	خفیف	۱۷	۱۷	۲۰	۱۸	۱۸	۱۹	۲۱	۱۷	۱۳
	متوسط	۳	۱	۲	۲	۲	۰	۲	۲	۴
	شدید	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲ ماهه	خفیف	۵	۱۱	۸	۷	۱۱	۶	۸	۶	۱۵
	متوسط	۸	۵	۶	۷	۶	۶	۴	۷	۳
	شدید	۱۱	۱۰	۱۱	۱۱	۱۰	۱۳	۱۲	۱۱	۹
۲۴ ماهه	خفیف	۷	۵	۵	۷	۱۴	۴	۵	۷	۱۶
	متوسط	۶	۸	۹	۴	۴	۷	۹	۶	۵
	شدید	۱۰	۹	۹	۱۲	۹	۱۲	۹	۱۰	۷
۴۸ ماهه	خفیف	۶	۶	۱۰	۷	۱۲	۷	۱۰	۶	۱۴
	متوسط	۴	۵	۳	۵	۵	۳	۲	۴	۵
	شدید	۱۰	۱۲	۱۰	۱۰	۸	۱۲	۱۱	۱۱	۶



شکل ۵- دامنه تغییرات بازه زمانی‌های SPI برای دوره آتی (۲۰۱۵-۲۰۴۵) (بالا) و (۲۰۴۵-۲۰۷۵) (پایین) برای سناریو RCP4.5 (راست) و سناریو RCP8.5 (چپ)



شکل ۶- دامنه تغییرات SPI کوتاه (راست) و طولانی (چپ) مدت برای مدل‌های تغییر اقلیم

منابع

احمدی، م، لشکری، ح، آزادی، م و کیخسروی، ق. ۱۳۹۴. آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ، مجله پژوهش‌های دانش زمین. ۲۳(۶): ۳۴-۵۲.

صالحی طبس، م. ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی و هواشناسی دشت بیرجند با استفاده از مدل گیاهی DSSAT و شاخص‌های خشکسالی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند.

کابوسی، ک و کردجزی، م. ۱۳۹۶. بررسی اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و خشکسالی در استان گلستان. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۱۳(۳): ۲۰۵-۲۱۳.

کریمی‌راد، ا، ابراهیمی، ک و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات آب و هوایی بر چند لایه سفره‌های آب (مطالعه موردی: دشت گرگان). مجله آب و آبیاری. ۵(۲): ۲۶۱-۲۷۵.

کوهی، م و ثنائی‌نژاد، ح. ۱۳۹۳. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۷(۴): ۵۵۹-۵۷۴.

عباسی، ف، ملبوسی، ش، بابائیان، ا، اثمیری، م و برهانی، ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. مجله آب و خاک. ۲۴(۲): ۲۱۸-۲۳۳.

محمدی، ح و تقوی، ف. ۱۳۸۴. روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران. فصل‌نامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۳۳(۱): ۱۵۱-۱۷۲.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش ایستگاه سینوپتیک بیرجند به کمک مدل‌های GCM در سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای مشخص کردن وضعیت خشکسالی منطقه در دوره پایه و برآورد خشکسالی در دوره آتی با استفاده از شاخص SPI پرداخته شده است. نتایج تحقیق مشخص کرد که تغییرات بارش در هر دو دوره آتی نزدیک و دور نسبت به دوره پایه اندک خواهد بود ولی با این وجود در دوره آتی دور نسبت به دوره آتی نزدیک کاهش بارش بیشتر اتفاق خواهد افتاد. همچنین مقادیر شاخص SPI خشکسالی با شدت متوسط و شدید بیشتری را در دو دوره آتی (به خصوص دوره آتی دور) نسبت به دوره پایه نشان می‌دهند. همچنین سناریو RCP8.5 مقدار بارندگی کمتر و شدت خشکسالی بیشتری را نسبت به سناریو RCP4.5 نشان می‌دهند. در بین مدل‌های GCM مدل Mpi-esm-mr و مدل NorESM1-M کمترین مقدار بارش و بیشترین تعداد سال با خشکسالی شدید را در بین مدل‌های GCM پیش‌بینی می‌کنند. همچنین نتایج این تحقیق مشخص کرد هرچه دوره زمانی شاخص SPI از ۱، ۳ و ۶ ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه حرکت کند مقادیر SPI شرایط با شدت خشکسالی بیشتر را نشان می‌دهد. در بررسی عدم قطعیت مدل‌ها نیز هر چه پهنای باند مدل‌ها کمتر باشد قطعیت بیشتری را نشان می‌دهند که بیشترین قطعیت در بین مدل‌ها برای SPI بلندمدت و کوتاه‌مدت به ترتیب مربوط به مدل‌های NorESM1-M و Mpi-esm-mr است. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناخت سال‌های دچار خشکی کمک کند و می‌توان برای قطعیت بیشتر نتایج می‌توان از مدل‌های AOGCM دیگر استفاده کرد.

- IPCC. 2013. Summary for policymakers. In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M and Midgley, P. (Eds.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press. Pp 1-19.
- Loukas, A., Vasiladias, L. and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*. 17: 23-29.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales, In *Proc, 9th Conf. on Applied Climatology*. January 15-20. American Meteorological Society. Massachusetts. Pp 233-236.
- Salehnia, N., Farid, A., Hosseini, F., Kolsoumi, S., Zarrin, A., and Hasheminia, M. 2019. Comparing the performance of dynamical and statistical downscaling on historical run precipitation data over the semi-arid region. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, DOI: 10.1007/s13143-019-00112-1
- 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: Kashafrud basin). *Meteorological Applications*. 20.1: 115-127.
- Ullah, A., Salehnia, N., Kolsoumi, S., Ahmade, A. and Khaliq, T. 2018. Prediction of effective climate change indicators using statistical downscaling approach and impact assessment on pearl millet yield through Genetic Algorithm in Punjab, Pakistan. *Ecological Indicators*. 90: 569-576.
- نادری، س.، گودرزی، م و قدمی‌دهنو، م. ۱۳۹۶. اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی در حوزه سیمره. نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۱(۳۹): ۶۹-۷۶.
- یعقوب‌زاده، م.، امیرآبادی‌زاده، م و سیدکابلی، س.ح. ۱۳۹۶. بررسی عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیم در برآورد دما، بارش و تبخیر و تعرق منطقه نیشابور. *مجله مخاطرات محیطی طبیعی*. ۱۷(۱۷): ۵۳-۶۸.
- یعقوب‌زاده، م.، امیرآبادی‌زاده، م.، خزیمه‌نژاد، ح و زراعتکار، ز. ۱۳۹۶. ارزیابی سه روش ریزمقیاس‌نمایی در پیش‌خشکسالی هواشناسی تحت تاثیر تغییر اقلیم. *مجله آبیاری و زهکشی*. ۱۲(۲): ۳۲۴-۳۳۴.
- Bong, C.H. and Richard, J. 2019. Drought and climate change assessment using Standardized Precipitation Index (SPI) for Sarawak River Basin. *Journal of Water and Climate Change*.
- Dubrovsky, M., Svoboda, M.D., Trnka, M., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., Zalud, Z. and Hlavinka, P. 2009. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*. 96.1-2: 155-171.
- Hosseinizadeh, A., SeyedKaboli, H., Zareie, H., Akhondali, A. and Farjad, B. 2015. Impact of climate change on the severity, duration and frequency of drought in a semi-arid agricultural basin. *Geoenvironmental Disasters*. 2.1: 23-45.
- IPCC-TGICA. 2007. General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.

The Effect of Climate Change on Drought Severity and Frequency in South Khorasan

M. Salehi Tabas^{*1}, M. Yaghoobzadeh², Gh.R. Zamani³, M. Amirabadizadeh⁴

Received: Nov.27, 2019

Accepted: Feb.04, 2020

Abstract

Drought is one of the natural destructive phenomena which cause a lot of damage to the affected area. In this study, outputs of Fifth climate change report were used to investigate changes in precipitation and drought intensity at Birjand Synoptic Station during the next two periods. Precipitation data for two near future periods (2015-2045) and distant future period (2045-2075) against base period (1975-2005) were downscaled using two scenarios RCP4.5 and RCP 8.5 through LARS-WG model. Then the SPI values were determined for six time scales 1,3,6,12,24 and 48 months. The results showed that in most models, precipitation changes for both the near and distant future periods would not be much greater than the base period. However, precipitation will decrease more considerably in the period of 2045-2075 than 2015-2045. Among the GCM models, the CanESM2 model shows the highest change over the base period and the RCP8.5 scenario estimates a lower rainfall than the RCP4.5 scenario. Also, in comparing the GCM models, NorESM1-M estimates the number of years with more severe drought. The results also showed that in future periods, as the SPI period increases from short to long intervals, SPI values will show more severe drought conditions. Models uncertainty analysis also showed that the highest uncertainty value among models for long-term and short-term SPIs was related to NorESM1-M and Mpi-esm-mr models, respectively. The overall results also indicate an increase in severity and duration of drought in the future (especially the distant future).

Keywords: GCM Models, SPI index, Precipitation, LARS-WG, Uncertainty

1- M.Sc. Student, Water Resource Engineering, University of Birjand

2- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, University of Birjand

3- Associate Professor, Department Science and Agronomy Engineering, University of Birjand

4- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, University of Birjand

(*- Corresponding Author Email: Mokhtarsalehi@birjand.ac.ir)