

ارزیابی سه روش ریزمقیاس‌نمایی در پیش‌بینی خشکسالی هواشناسی تحت تاثیر تغییر اقلیم

مصطفی یعقوب‌زاده^{۱*}، مهدی امیرآبادی‌زاده^۲، حسین خزیمه‌نژاد^۳، زهرا زراعتکار^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۵

چکیده

افزایش فراوانی و شدت خشک‌سالی همراه با تغییر جهانی اقلیم یک مسئله مهم در بخش کشاورزی و منابع آب می‌باشد. بدین منظور در این تحقیق، شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده (SPI) با مقیاس زمانی‌های مختلف به کمک داده‌های گزارش پنجم و سه روش ریزمقیاس بر ایستگاه نیشابور محاسبه شده و با یکدیگر مقایسه شدند. شاخص خشک‌سالی SPI برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) با استفاده از داده بارش تعیین شد. داده‌بارش به کمک مدل گزارش پنجم CANESM2 و دو سناریو انتشار ۸/۵ و ۴/۵ و با استفاده از سه روش ریزمقیاس LARS-WG، SDSM و فاکتور تغییر تعیین گردید. مقادیر SPI نیز برای چهار مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه تعیین شد. نتایج افزایش بارش بسیار کمی را برای هر سه روش ریزمقیاس در دوره آتی نشان می‌دهند. همچنین مقادیر شاخص SPI در مقیاس زمانی‌های طولانی مدت شدت خشک‌سالی بیش‌تر را نشان می‌دهد. در مقایسه سه روش ریزمقیاس نیز، روش فاکتور تغییر، مقادیر شاخص SPI را در محدوده خشک‌سالی خفیف تا شدید نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، خشک‌سالی، شاخص SPI، روش ریزمقیاس

مقدمه

هر نوع تغییر دراز مدت در متغیرهای اتمسفری ناشی از هر گونه پدیده‌ای طبیعی یا غیرطبیعی که بازه زمانی آن بین چندین دهه تا میلیون‌ها سال طول بکشد تغییر اقلیم می‌نامند (Jana and Majumder., 2010). در تعریفی دیگر افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر دی اکسید کربن، متان، اکسید ازت کلرو فلور، بخار آب ناشی از فعالیت‌های انسانی و در نتیجه گرم شدن کره زمین را به تغییر اقلیم تعبیر می‌نمایند (Fung. et al., 2011 و مساح‌بیوانی، ۱۳۸۵). آنچه که مهم است تغییر اقلیم را نباید با خشک‌سالی یا تغییر متغیرهای آب و هوایی در یک مدت زمان کوتاه اشتباه گرفت. آنچه که در تعریف تغییر اقلیم مهم است همان تغییر دراز مدت متغیرهای اقلیمی می‌باشد. به عنوان مثال حداقل مدت زمان برای این‌که بینیم تغییر اقلیم صورت گرفته است یا نه یک دوره ۳۰ ساله است (Fung et al., 2011). بررسی اثر تغییر اقلیم برای یک

منطقه خاص نیازمند کوچک‌نمودن مقیاس جهانی مدل‌های تغییر اقلیم به مقیاس منطقه‌ای می‌باشد که با گسترش علم هر روز به

مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس‌نمایی افزوده می‌شود. برای مثال هایلوک و همکاران کارایی ۶ مدل آماری و دو مدل دینامیکی ریزمقیاس‌نمایی را به منظور شبیه‌سازی بارش تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در جنوب شرقی و شمال غربی انگلستان مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که مدل‌های غیرخطی و شبکه عصبی نتایج بهتری را ارائه می‌دهند (Haylock et al., 2006).

گیوتز و همکاران دوازده روش ریزمقیاس‌نمایی را در اسپانیا مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند مدل‌های رگرسیونی از جمله مدل SDSM در برقرار کردن ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل و در نتیجه پیش‌بینی دما و بارش از توانایی بیش‌تری برخوردار هستند (Gutierrez et al., 2013).

ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشک‌سالی و مجاورت با پرفشار جنب‌جانب‌های دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و در نتیجه در اکثر سال‌ها دچار خشک‌سالی شدید شده است. این روند خشک‌سالی به دلیل کمبود بارش در بیش‌تر نقاط ایران در دهه‌های اخیر اتفاق افتاده است. پدیده تغییر اقلیم می‌تواند بر سیستم‌های مختلف تأثیرات متفاوت داشته باشد که به دلیل نقش حیاتی آب در زندگی انسان، بررسی تأثیرات منفی آن بر شدت و فراوانی وقوع خشک‌سالی یک منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین محققان زیادی تلاش نمودند که اثر افزایش دما و شدت خشک‌سالی

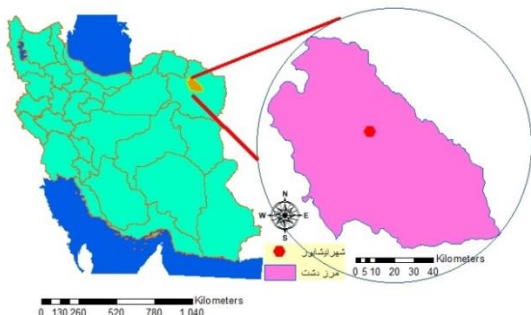
۱- و ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۴- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه بیرجند، بیرجند

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

شمالی قرار دارد (یعقوب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). آب و هوای منطقه نیمه‌خشک و خشک، متوسط درجه حرارت آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی آن به‌طور متوسط ۲۹۲ میلی‌متر گزارش شده است. میزان تبخیر به‌علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده و متوسط آن ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

روش تحقیق

داده‌ها و مدل‌های مورد استفاده

داده‌های هواشناسی شامل

- ۱) داده‌های مشاهده‌ای (بارش و دما) ایستگاه نیشابور
 - ۲) داده‌های بازسازی شده مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا شامل ۲۶ متغیر اتمسفری و داده‌های دما و بارش برای گزارش پنجم سازمان IPCC
- مدل‌های که از آن‌ها در این تحقیق استفاده شده‌است به شرح ذیل می‌باشد:

۱- خروجی مدل گردش عمومی جو- اقیانوس (CanESM2 AR5): در پژوهش حاضر از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد (جدول ۱). مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و پنجمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده^۱ (CGCM4) است و جزو سری مدل‌های^۲ CMIP5 و گزارش پنجم (AR5) هیئت بین‌دولت تغییر اقلیم (IPCC) می‌باشد. در گزارش پنجم دقت شبیه‌سازی و وضوح مکانی مدل‌ها نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. همچنین در سناریوی RCP، محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از خط سیرهای تولید گازهای گلخانه‌ای (GHGs) نسبت به سناریوهای SRES در AR4 ارزیابی شده است. به‌طور کلی عدم قطعیت‌ها در گزارش اخیر کاهش یافته است. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی کاهش‌ی سخت‌گیرانه (RCP 2.6)، دو سناریوی حدواسط (RCP 4.5 و RCP

را در تحقیقات خود نشان دهند. برای مثال دستورانی و همکاران (۱۳۹۰) به کمک مدل‌های چرخش عمومی مثل HadCM3 پیش‌بینی خشکسالی در دو دهه آینده در ایستگاه یزد را به کمک شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI و دو سناریو A2 و B1 تا سال ۲۰۳۹ انجام داده و خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها را پیش‌بینی نمودند.

سیاری و همکاران 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 (A2, B2) استفاده نمودند. نتایج آن‌ها تحت دو سناریو تغییر اقلیم نشان داد که افزایش اندک در بارش، درجه حرارت بیشینه، 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 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. نتایج آن‌ها نشان داد که شدت خشکسالی با سناریو سری A2 برای همه مناطق مورد مطالعه و مقیاس زمانی SPI افزایش یافت (Loukas et al., 2008).

در این تحقیق سعی شد به کمک داده‌های گزارش پنجم و سه روش پرکاربرد ریزمقیاس، بارندگی و شاخص خشکسالی هواشناسی تعیین و نتایج سه روش ریزمقیاس با یکدیگر مقایسه شوند. همچنین به کمک نتایج این تحقیق از وضعیت خشکسالی در آینده نزدیک می‌توان اطلاع حاصل کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق وضعیت خشکسالی هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر نیشابور واقع در دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. دشت نیشابور با وسعت ۷۲۹۳ کیلومتر مربع جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۴۱۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت (۵۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی ایستگاه نیشابور در طول جغرافیایی ۵۸/۴۸ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۲ درجه

مدل LARS-WG^۱

مدل LARS-WG از پرکاربردترین مدل‌های آماری در ریزگردانی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌گردد. در بوداپست طی سال ۱۹۹۱ LARS-WG نسخه اولیه عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هدف اصلی از اجرای این روش، غلبه بر محدودیت‌های روش زنجیره مارکف در موقع بارش بود. کارایی این مدل توسط سمونوف در سال ۱۹۹۸ در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آمریکا، اروپا و آسیا مورد ارزیابی قرار گرفت (کوهی و ثنایی‌نژاد، ۱۳۹۲). مدل LARS-WG مولد تصادفی آب و هوا است که جزئیات مبانی آن توسط سمونوف و سمونوف و استراتونوویچ، ارائه شده است (Semenov and Stratovitch., 2010; Semenov., 2008)

مدل LARS-WG می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور از داده‌های روزانه مشاهده شده یک ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها 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. LARS-WG، از یک توزیع نیمه تجربی^۲ (SED) برای تخمین توزیع‌های احتمال دوره‌های خشک و تر، بارش، دمای حداقل و حداکثر و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. درصد خطا بین نتایج مشاهداتی و برآورد شده در مرحله اول با آزمون‌های آماری p-value و ks-test انجام می‌شود. توانایی و کارایی مدل LARS-WG در تحقیقاتی که صورت گرفته (Semenov and Stratonovitch., 2010; Cowden., 2008; luo et al., 2009; Dhungana., 2006) در خارج کشور و در داخل (اشرف و همکاران (۱۳۹۰) و یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)) به اثبات رسیده است.

روش فاکتور تغییر (Change Factor)

در این تحقیق از روش عامل تغییر^۳ به‌عنوان یکی از سه روش ریزمقیاس کردن داده‌های طرح استفاده شد. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۱) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۲) بین میانگین ۲۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) دوره شبیه‌سازی شده پایه) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود. این مقادیر بیان‌گر میزان میانگین ۲۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد.

(6) و یک سناریوی بدبینانه (RCP 8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالایی باشند. RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6، RCP 8.5 اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی را در سال ۲۱۰۰ به‌ترتیب تا ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر مترمربع تخمین زده‌اند (IPCC., 2013).

جدول ۱- مشخصات مدل به کار رفته در تحقیق براساس گزارش

پنجم IPCC					
سناریوها	دوره آتی	دوره پایه	وضوح مکانی	کشور	مدل
RCP4.5 and RCP8.5	۲۰۲۰-۲۰۳۹	۲۰۱۱	۲/۸*	کانادا	CanESM2
		۱۹۹۲	۲/۸		

۲- مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG و فاکتور

تغییر به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی

مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی

مدل SDSM

داده‌های حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو به دلیل محدودیت در تفکیک مکانی (بزرگ‌بودن سلول‌ها) قابل استفاده در مقیاس محلی، منطقه‌ای و نقطه‌ای نیستند. بنابراین استفاده از آن‌ها در مقیاس حوزه‌های آبخیز یا مطالعات منابع آب باخطای زیاد همراه می‌باشد. به همین دلیل باید اطلاعات آن‌ها از سطوح بزرگ به مقیاس منطقه‌ای یا محلی تعمیم داده شود. تعمیم اطلاعات از یک سطح بزرگ به یک سطح کوچک‌تر تحت عنوان ریزمقیاس‌نمایی معروف است. روش‌های مختلفی بدین منظور ارائه شده است. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها در حال حاضر استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM می‌باشد (Wilby and Dawson, 2007). این مدل نخستین بار در سال ۲۰۰۲ تحت عنوان نسخه ۲/۱ توسط ویلی با همکاری موسسه بررسی اثرسناریوهای تغییر اقلیم انگلستان به منظور ریزمقیاس‌نمایی ارائه شد. سپس نسخه ۲/۲ آن از طریق همکاری مرکز ملی آژانس محیطی انگلستان توسعه داده شد. نسخه ۳/۱ آن با همکاری آژانس محیطی انگلستان و والز توسعه داده شد و در نهایت نسخه ۴/۲ آن در سال ۲۰۰۷ با همکاری مرکز مذکور، توسط ویلی و همکاران به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی ارائه گردید. کاربرد وسیع آن در دنیا، توانایی مناسب در ارزیابی نتایج در مرحله کالیبره نمودن و ارزیابی، استفاده مستقیم از اطلاعات مدل‌های جهانی، تعیین وقایع حدی به‌صورت جداگانه، از مهم‌ترین دلایل انتخاب این مدل جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و دما در این تحقیق می‌باشند.

1- Long Ashton Research Station-Weather Generator

2- Semi-Empirical Distribution

3- Change Factor

تحت دو سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 بدست می‌آید در جدول ۳ ارائه شده است. بیش‌ترین مقدار بارندگی دوره آتی در ماه‌های آگوست و جولای مشاهده می‌شود. مقادیر متوسط بارش روزانه در ماه برای بعضی ماه‌ها در نتایج روش SDSM بیش‌تر است و در بعضی ماه‌ها در نتایج دو روش LARS-WG و فاکتور تغییر بیش‌تر می‌باشد. آن‌چه در این جدول مشخص است متوسط بارش روزانه در ماه برای هفت ماه از سال در روش SDSM بالای یک میلی‌متر در روز می‌باشد که نشان‌دهنده افزایش بیش‌تر بارش در نتایج این روش ریزمقیاس نسبت به دو روش دیگر نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) می‌باشد.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص خشک‌سالی

طبقه‌بندی	مقادیر شاخص
به شدت مرطوب	بزرگ‌تر از ۲
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت متوسط	۱/۰ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۰۰ تا ۰/۹۹
خشک‌سالی خفیف	-۰/۹۹ تا -۰/۰۰
خشک‌سالی متوسط	-۱/۴۹ تا -۱/۰
خشک‌سالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی بسیار شدید	کم‌تر از -۲/۰

اثر تغییر اقلیم بر شاخص خشک‌سالی (SPI)

مقادیر SPI با مقیاس زمان‌های متفاوت را برای دو سناریو و سه روش ریزمقیاس در طی ۲۰ سال دوره آتی در شکل ۲ نشان داده شده است. مهم‌ترین تفاوت در شکل را می‌توان در دوره زمانی‌های بلندمدت مشاهده کرد که تفاوت آن‌ها با مقادیر SPI کوتاه مدت کاملاً مشهود است. مقادیر شاخص SPI با مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه برای بیش‌تر سال‌ها مقادیر کم‌تر از صفر دارند در حالی که مقادیر SPI ۳ و ۶ ماهه مقادیری با شدت خشک‌سالی کم‌تر را مشخص می‌نماید. همچنین از همه این شکل‌ها مشخص است روش فاکتور تغییر برای هر دو سناریو دارای مقادیر کم‌تری نسبت به دو روش ریزمقیاس دیگر است.

جدول ۴ مقادیر متوسط SPI با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای سه روش ریزمقیاس و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. همچنین در این جدول، مقادیر دوره آتی نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. این جدول همچنین نشان می‌دهد هرچه دوره زمانی شاخص SPI از سه ماهه به سمت دوره‌های طولانی مدت ۱۲ و ۲۴ ماهه حرکت کند مقادیر SPI شرایط با شدت خشک‌سالی بیش‌تر را نشان می‌دهد. بیش‌ترین تفاوت نسبت به دوره پایه برای دوره زمانی ۳ و ۶ ماهه نسبت به دوره پایه برای نتایج دو روش ریزمقیاس فاکتور تغییر و LARS-WG مشاهده شد. همچنین برای دوره زمانی کوتاه

$$\Delta T_i = (\overline{TAOGCM}, fut_i - \overline{TAOGCM}, base) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = (\overline{PAOGCM}, fut_i / \overline{PAOGCM}, base) \quad (2)$$

در روابط فوق ΔT_i ، ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما، بارش، تشعشع، رطوبت‌نسبی و باد برای میانگین بلندمدت ۲۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، \overline{TAOGCM}, fut_i میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $\overline{TAOGCM}, base_i$ میانگین ۲۰ ساله دمای شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد. میانگین ۲۰ ساله بارندگی، تشعشع، رطوبت‌نسبی و باد شبیه‌سازی شده در دوره آتی و مشابه با دوره مشاهداتی (پایه) نیز مشابه با دما در معادلات فوق مشخص می‌باشد (یعقوب‌زاده، ۱۳۹۴).

در روش عامل تغییر برای بدست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم به مقادیر مشاهداتی دوره پایه افزوده می‌شود:

$$T = T_{obs} + \Delta T \quad (3)$$

$$P = P_{obs} \times \Delta P \quad (4)$$

در رابطه فوق T_{obs} و P_{obs} بیانگر سری زمانی بارش و دمای مشاهداتی (در این‌جا روزانه) در دوره پایه، T و P سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی بارش و دما در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و ΔT و ΔP سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص بارش استاندارد شده شاخصی است که براساس 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. محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هر منطقه بر اساس ثبت داده‌های بارش در بلندمدت برای یک دوره دل‌خواه استوار می‌باشد. بنابراین متوسط بارش استاندارد شده برای هر منطقه و برای هر دوره دل‌خواهی صفر و انحراف معیار آن یکی است. مقادیر شاخص SPI در محدوده -۲ تا +۲ تغییر می‌کند. 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).

نتایج و بحث

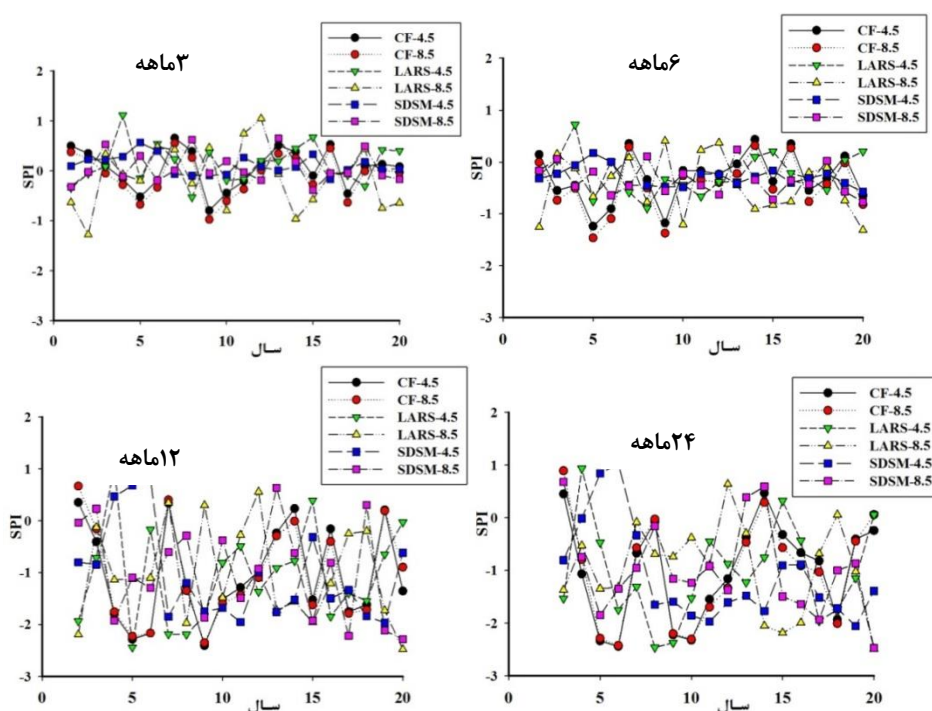
اثر تغییر اقلیم بر بارندگی

نتایجی که در بررسی تغییرات بارندگی دوره آتی ۲۰۲۰-۲۰۳۹

مدت، نتایج سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵ شرایط شدت خشک‌سالی بیشتر را نشان می‌دهند و بیش‌ترین تفاوت دوره آبی نسبت به دوره پایه برای دوره زمانی‌های بلندمدت برآورد شده است.

جدول ۳- نتایج برآورد بارندگی روزانه در مقیاس ماهیانه با استفاده از مدل SDSM برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و سناریوهای انتشار متفاوت

مدل	سناریوی انتشار	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
SDSM	RCP 4.5	۱/۸۹	۲/۹۷	۲/۵۱	۲/۱۸	۲/۱۷	-۰/۱۴	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۸	-۰/۰۴۲	-۰/۰۶۳	۱/۱۹	۱/۳۷
	RCP 8.5	۱/۸۷	۲/۸۷	۲/۳۱	۲/۲۴	۲/۲۲	-۰/۰۹۷	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۸	-۰/۰۱۹	-۰/۰۶۲	۱/۰۵۶	۱/۲۱
LARS-WG	RCP 4.5	۱/۹۹	۱/۲۱	۱/۸۸	۱/۱۰	-۰/۷۰	-۰/۳۰	-۰/۰۵	.	-۰/۰۶	-۰/۱۲	۱/۱۴	۰/۹
	RCP 8.5	۱/۳۹	۱/۳۷	۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۱۷	-۰/۴۲	-۰/۱۶	.	-۰/۰۶	-۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۶۹
Change Factor	RCP 4.5	۱/۷۶	۱/۳۵	۱/۵۱	۱/۰۷	-۰/۷۱	-۰/۱۸	-۰/۰۰۳	.	-۰/۰۶	-۰/۱۷	۰/۸۳	۱/۱۵
	RCP 8.5	۱/۳۴	۱/۱۳	۱/۲۵	۱/۰۶	-۰/۹۶	-۰/۴۰	-۰/۰۵	.	-۰/۰۶	-۰/۲۱	۰/۷۷	۰/۸۸
	Baseline	۱/۱	۱/۳۸	۱/۵۸	۱/۰۳	-۰/۶۴	-۰/۱۹	-۰/۰۴۵	.	-۰/۰۴۸	-۰/۱۵۵	۰/۷۴۷	۰/۷۹



شکل ۲- مقادیر SPI برای مقیاس زمانی‌های ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دو سناریو و سه روش ریزمقیاس در طی ۲۰ سال دوره آبی

جدول ۴- مقادیر متوسط SPI برای دوره ۲۰ساله آبی و پایه برای دوره‌های زمانی‌های متفاوت و سه روش ریزمقیاس و دو سناریو انتشار

		SPI			
		۲۴	۱۲	۶	۳
۴/۵	فاکتور تغییر (CF)	-۰/۹۸	-۱/۰۲۹	-۰/۳۰۱	۰/۰۵۲
	LARS-WG	-۱/۰۳۶	-۱/۰۴۲	-۰/۲۳۳	۰/۱۴۳
	SDSM	-۱/۰۹۱	-۱/۰۴۸	-۰/۲۹۰	۰/۱۱۹
۸/۵	فاکتور تغییر (CF)	-۰/۹۸۸	-۱/۰۲۸	-۰/۴۵۱	-۰/۰۸۴
	LARS-WG	-۰/۹۶۴	-۱/۰۱۵	-۰/۴۴۱	-۰/۱۲۰
	SDSM	-۰/۹۷۰	-۰/۹۸۲	-۰/۳۴۴	۰/۰۶۷
دوره پایه		-۰/۹۸۲	-۱/۰۳۴	-۰/۳۴۴	۰/۰۴۸

تعداد سال‌های خشک درمقیاس‌های ۶ و ۱۲ و ۲۴ ماهه نسبت به دوره مشاهداتی افزایش یافته است. همچنین سناریو ۸/۵ تعداد سال‌های خشک بیش‌تری را نسبت به سناریو ۴/۵ مشخص می‌کند.

با توجه به نتایج جدول ۵ تعداد سال‌های خشک طی دوره زمانی ۲۰ ساله در دوره آتی در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای سناریوی انتشار RCP 4.5 تقریباً مطابق با دوره مشاهداتی می‌باشد که این مسئله به دلیل حساسیت SPI به دوره‌های کوتاه‌تر است. درحالی‌که

جدول ۵- تعداد سال‌های خشک دوره ۲۰ ساله مورد مطالعه در دوره مشاهداتی و آینده

مقیاس زمانی SPI	RCP 4.5			RCP 8.5			
	دوره پایه	SDSM	LARS-WG	فاکتور تغییر	SDSM	LARS-WG	فاکتور تغییر
۳ ماهه	۸	۵	۹	۸	۱۲	۱۳	۱۱
۶ ماهه	۱۴	۱۷	۱۲	۱۴	۱۵	۱۴	۱۶
۱۲ ماهه	۱۴	۱۶	۱۷	۱۵	۱۶	۱۶	۱۶
۲۴ ماهه	۱۶	۱۶	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶	۱۵

در کلاس‌های خشک‌سالی شاخص SPI در سناریو RCP 8.5 روند تغییرات دوره‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه به دوره‌های کوتاه‌تر نزدیک می‌باشد. درمقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه به‌طور کلی مقادیر شدت خشک‌سالی دوره آتی افزایش خواهد یافت ولی افزایش روند شدت خشک‌سالی برای بیش‌تر ماه‌های سال نسبت به دو روش دیگر کم‌تر است.

دامنه تغییرات شاخص SPI

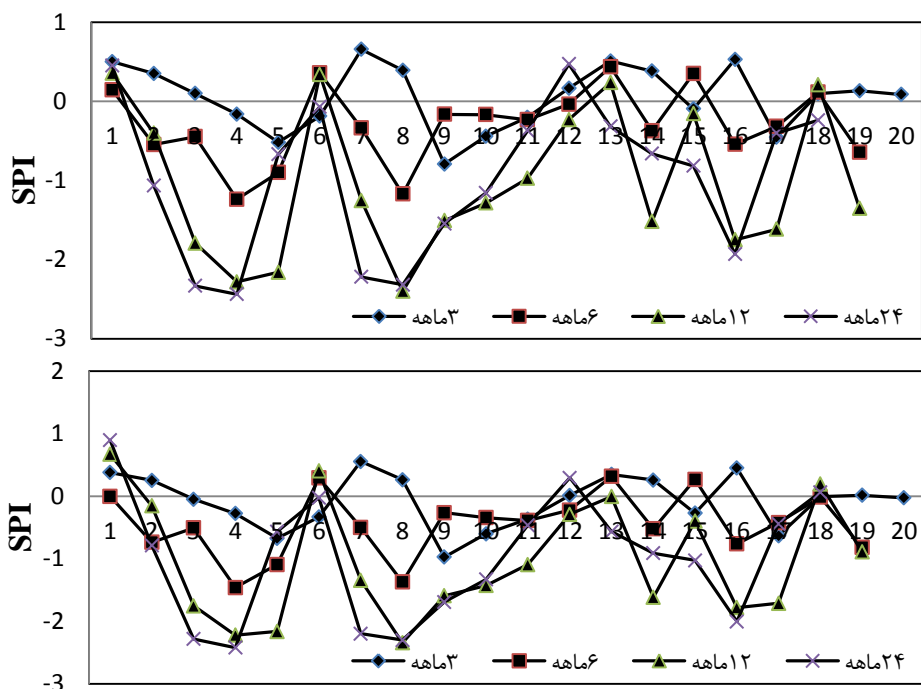
شکل ۶ مقادیر SPI حاصل از سه روش ریزمقیاس با در نظر گرفتن دو سناریو و ۴ مقیاس زمانی نشان می‌دهد. نمودار جعبه‌ای در هر سه روش ریزمقیاس برای شاخص SPI با مقیاس ۳ و ۶ ماهه کم-ترین دامنه تغییرات و بیش‌ترین قطعیت را دارد. همچنین این نمودارها مشخص می‌کند مقادیر SPI با دوره زمانی ۳ و ۶ ماهه مقادیر نزدیک حد نرمال را نشان می‌دهد در حالی‌که دوره زمانی‌های طولانی مدت از وقوع خشک‌سالی‌های شدید برای دوره آتی اطلاع می‌دهند. همچنین دامنه تغییرات در سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵ بیش‌تر است و این می‌تواند نشان دهنده عدم قطعیت بیش‌تر سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵ در برآورد شاخص SPI باشد. روش ریزمقیاس SDSM دارای دامنه تغییرات کم‌تری نسبت به دو روش ریزمقیاس دیگر می‌باشد. در مقایسه سه روش ریزمقیاس نیز روش فاکتور تغییر شرایط خشک‌سالی بیش‌تر بخصوص در مقیاس زمانی‌های طولانی مدت ۱۲ و ۲۴ ماهه را نشان می‌دهد.

شکل ۷ نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص SPI را برای دو سناریو و سه روش ریزمقیاس و مقایسه دوره آتی و دوره پایه را نشان می‌دهد. در مقایسه بین روش‌ها و سناریوها، نتایج حاصل از تعیین خشک‌سالی با روش SDSM و با مقیاس ۴/۵ دارای کم‌ترین دامنه تغییرات می‌باشد.

به منظور بیان بهتر شکل‌های فوق، در این قسمت به مقایسه تفکیکی مقادیر شدت خشک‌سالی برای هر ۴ مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه دوره آتی پرداخته شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی مقادیر شدت خشک‌سالی در همه مقیاس‌های زمانی مورد مطالعه افزایش می‌یابد. شکل ۳ تغییرات شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش ریزمقیاس فاکتور تغییر و سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 را نشان می‌دهند. به‌طور مثال در کلاس‌های خشک‌سالی شاخص SPI برای مقیاس ۳ و ۶ ماهه در دو سناریو تغییر محسوس مشاهده نمی‌شود. همچنین درمقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه به‌طور کلی مقادیر شدت خشک‌سالی دوره آتی افزایش یافته است. از آنجایی که مقیاس زمانی ۲۴ ماهه مجموع مقادیر مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر شاخص SPI را منعکس می‌کند، روند تغییرات آن نیز با دوره‌های کوتاه‌تر متفاوت می‌باشد. این مسئله به وضوح نمایانگر تاثیر تجمعی مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر بر مقادیر شاخص خشک‌سالی حاصل از دوره‌های بلندتر می‌باشد. گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۹۰) نیز افزایش شدت خشک‌سالی را برای شاخص SPI با مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای دوره آتی برآورد نمود.

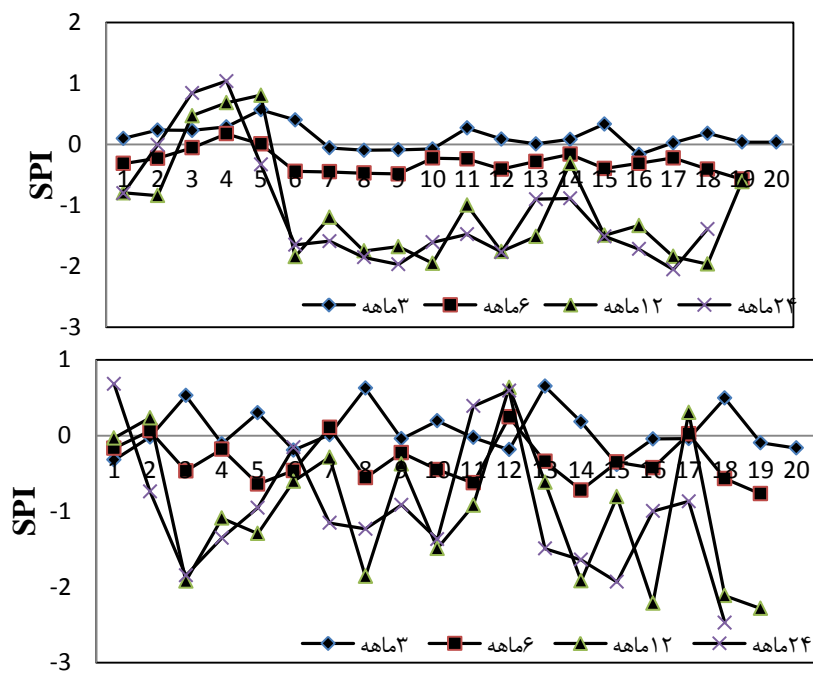
شکل ۴ نیز تغییرات شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش ریزمقیاس SDSM و سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 را نشان می‌دهند. به‌طور مثال در کلاس‌های خشک‌سالی شاخص SPI در سناریو RCP 8.5 روند تغییرات دوره‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه با دوره‌های کوتاه‌تر متفاوت می‌باشد. در مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه به‌طور کلی مقادیر شدت خشک‌سالی دوره آتی افزایش یافته است.

شکل ۵ تغییرات شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش ریزمقیاس LARS-WG و سناریوی انتشار RCP 4.5 و RCP 8.5 را نشان می‌دهند. به‌طور مثال



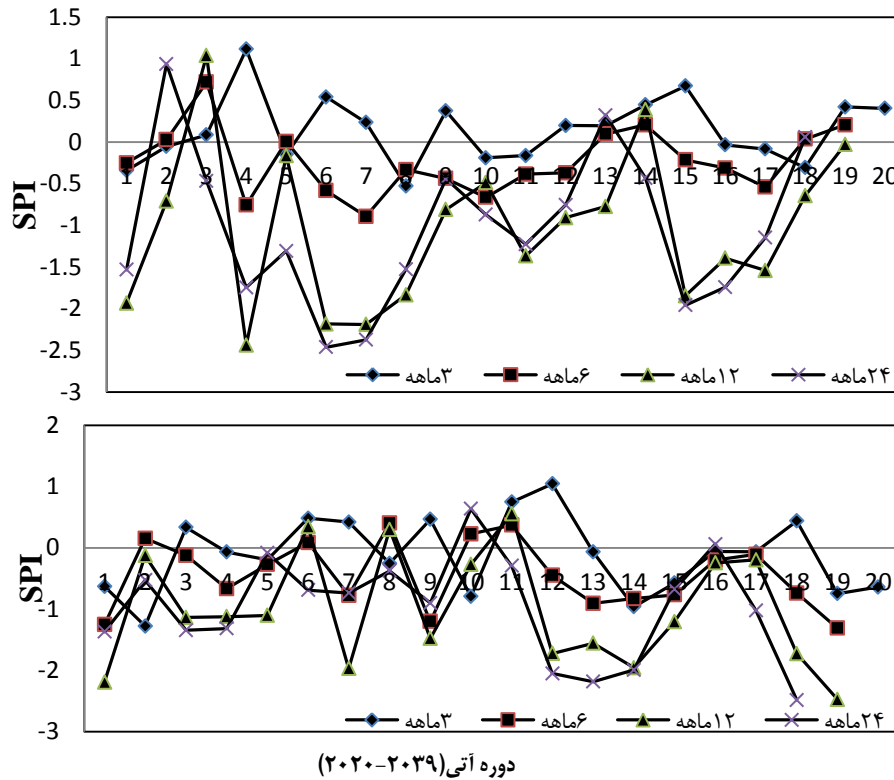
دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹)

شکل ۳- تغییرات شاخص SPI در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش فاکتور تغییر و سناریوی RCP 4.5 (بالا) و RCP 8.5 (پایین)

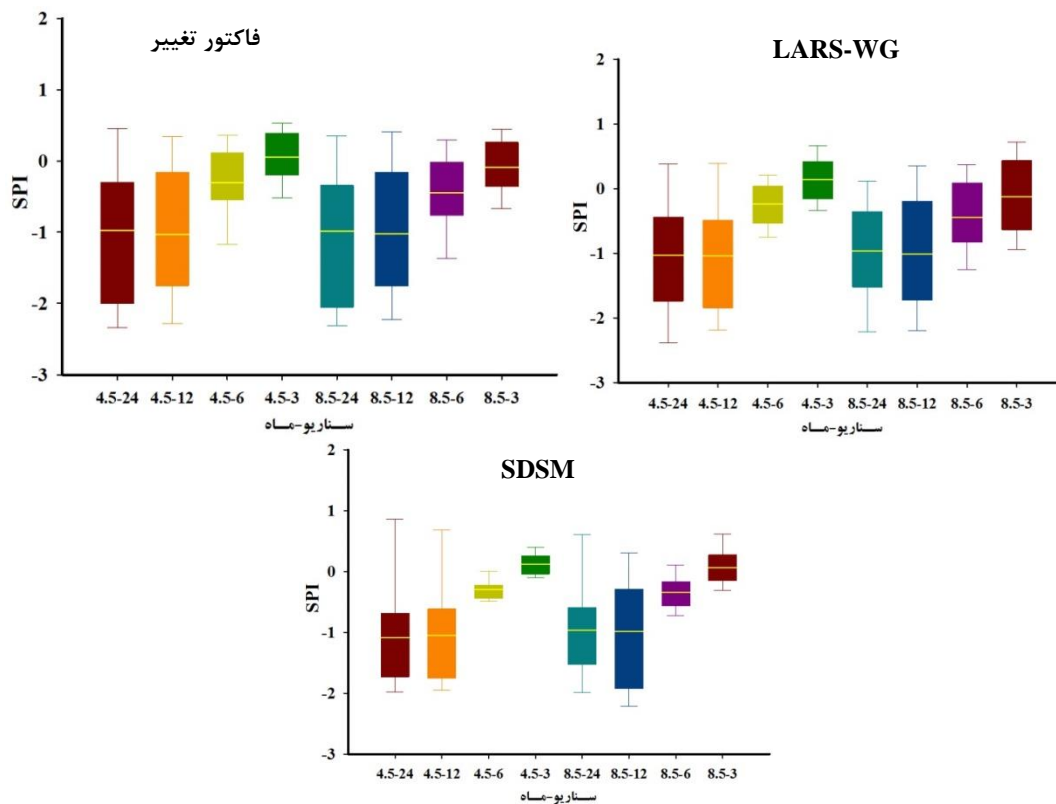


دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹)

شکل ۴- تغییرات شاخص SPI در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش SDSM و سناریوی RCP 4.5 (بالا) و RCP 8.5 (پایین)



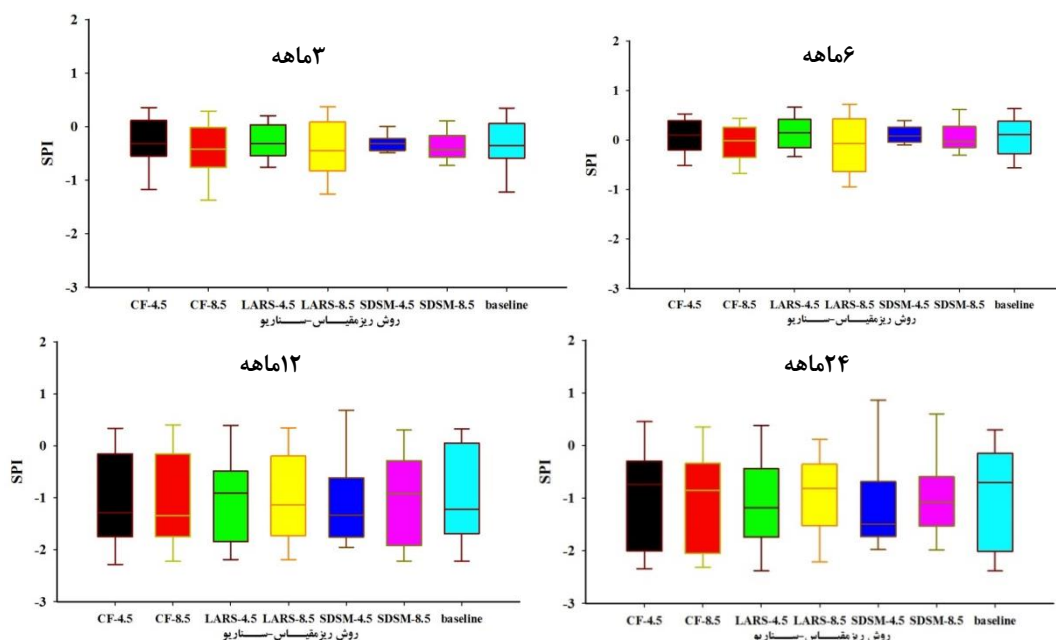
شکل ۵- تغییرات شاخص SPI در طی سال‌های دوره آتی به کمک روش LARS-WG و سناریو RCP 4.5 (بالا) و RCP 8.5 (پایین)



شکل ۶- مقادیر شاخص SPI ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 حاصل از روش‌های ریزمقیاس مختلف

جعبه بزرگ‌تر می‌باشد که از قطعیت این نمودارها می‌کاهد. در بین سه روش ریزمقیاس نیز روش فاکتور تغییر مقادیر شدت خشک‌سالی بیش‌تری را نشان می‌دهد.

همچنین مقادیر SDSM برای مقیاس زمانی کوتاه مدت در محدوده خشک‌سالی خفیف قرار دارد. این در حالی است که برای مقیاس زمانی طولانی مدت ۱۲ و ۲۴ ماهه، مقادیر SPI بیش‌تر در محدوده خشک‌سالی متوسط قرار دارد و مقادیر SPI دارای نموداری با



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای مقادیر SPI با مقیاس زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دو سناریو و سه روش ریزمقیاس

در نتایج هر سه روش ریزمقیاس به‌طور متوسط افزایش بارش برآورد شده است که این مقدار افزایش در روش SDSM بیش‌تر و در دو روش دیگر ریزمقیاس، مقدار افزایش بسیار کم و یا تقریباً ثابت است. همچنین در نتایج هر سه روش ریزمقیاس مشخص شده است که سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵ کاهش بارش را برای دوره آتی برآورد نموده است.

نتایج بدست آمده از بررسی خشک‌سالی نشان داد که دامنه نوسانات شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده در هر چهار مقیاس زمانی در حالت آتی نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. همچنین تعداد سال‌های خشک طی دوره زمانی ۲۰ ساله در دوره آتی در مقیاس زمانی ۳ ماهه برای سناریوی انتشار RCP 4.5 تقریباً مطابق با دوره مشاهداتی می‌باشد که این مسئله به دلیل حساسیت SPI به دوره‌های کوتاه‌تر است. این در حالی است که شاخص SPI در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه نسبت به دوره مشاهداتی افزایش بیش‌تر خشک‌سالی را نشان می‌دهد. برای مشخص کردن دوره خشک‌سالی بهتر است از مقادیر شاخص با مقیاس‌های طولانی مدت استفاده کرد و از بین دو سناریو گزارش پنجم، سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵، وضعیت خشک‌سالی شدیدتری را برای آینده برآورد می‌کند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش ایستگاه نیشابور به کمک مدل CanESM2 تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای مشخص کردن وضعیت خشک-سالی منطقه در دوره پایه و برآورد خشک‌سالی در دوره آتی با استفاده از شاخص SPI پرداخته شد. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی روزانه جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سه روش پرکاربرد فاکتور تغییر، LARS-WG و SDSM استفاده شده و پارامترهای اقلیمی برای دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۲۰ برآورد شدند.

در مورد بارش، روش فاکتور تغییر نسبت به دو روش دیگر دارای دامنه تغییرات کم‌تر می‌باشد. نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد بیش‌ترین تغییرات در چه محدوده‌ای تغییر می‌کنند. هرچه دامنه جعبه‌ها بیش‌تر باشد از عدم قطعیت کم‌تری برخوردار بوده است. دامنه تغییرات متوسط ماهانه با رشد سناریو ۴/۵ نسبت به ۸/۵ کم‌تر می‌باشد و این درحالی است که در ماه‌های پربارش برعکس می‌باشد. دامنه تغییرات مقادیر بارش در روش SDSM نیز نسبت به دو روش ریزمقیاس دیگر بیش‌تر است.

منابع

- Wiley and Sons. Gutierrez, J.M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanar, R. and Herrera, S. 2013. Reassessing Statistical Downscaling Techniques for Their Robust Application under Climate Change Conditions. *Journal Climate*. 26: 171–188.
- Haylock, M.R., Cawley, G.C., Harpham, C., Wilby, R.L. and Goodess, C. 2006. Downscaling heavy precipitation over the united kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future Scenarios. *International Journal OF Climatology*. 26: 1397–1415.
- IPCC, 2013. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, M., Tignor, S.K., Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the X. Gao et al. / Science of the Total Environment* 595 (2017) 191–200 199. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jana, B.K., Majumder, M. 2010. Impact of climate change on natural resource management. Springer Science and Business Media.
- Loukas, A., Vasilides, L. and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*. 17: 23–29.
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Wang, E. 2009. Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: analysis of management and breeding strategies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 129.1: 261–267.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In *Proceedings of the 9th Conference on Applied Climatology* (pp. 233–236). Dallas, Boston, MA: American Meteorological Society.
- 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: 115–127.
- Semenov, M.A. 2008. Extreme impacts of climate change on wheat in England and Wales. *Application Biological*. 88: 37–38.
- Semenov, M.A. and Stratonovitch, P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate Research*. 41: 1–14.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. 2007. *SDSM 4.2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual*. London, UK.
- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ.ع. و داروی، ک. ۱۳۹۰. پیش-بینی نیاز آبی چغندر قند در دوره ۲۰۳۰–۲۰۱۱ با استفاده از داده-های اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس‌کننده LARS-WG (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک. ۲۵: ۵: ۱۱۹۶–۱۱۸۴.
- دستورانی، م.ت.، پورمحمدی، س.، مساجح، س. و رحیمیان، م.ح. ۱۳۹۰. پیش‌بینی خشک‌سالی تحت تاثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده به کمک مدل‌های چرخش عمومی (مطالعه موردی ایستگاه یزد). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.
- کوهی، م. و ثنایی‌نژاد، س.ح. ۱۳۹۳. بررسی سناریوهای تغییر اقلیم بر اساس نتایج حاصل از دو روش ریزمقیاس‌گردانی آماری برای متغیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه ارومیه. آبیاری و زهکشی ایران. ۷: ۴: ۵۷۴–۵۵۹.
- گل محمدی، م. و مساجح، ب. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. آب و خاک. ۲۵: ۳۲۶–۳۱۵.
- مساجح‌بوانی، ع. ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۲۲۰.
- یعقوب‌زاده، م.، احمدی، م.، برومندنسب، س. و حقایقی مقدم، س.ا. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر-تعرق در طی دوره رشد گیاهان مزارع آبی و دیم با استفاده از مدل‌های AOGCM. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰: ۴: ۵۲۳–۵۱۱.
- یعقوب‌زاده، م. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی تبخیر و تعرق و رطوبت خاک به منظور ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی برای دوره‌های پایه و آتی به کمک تکنیک سنجش از دور، رساله دکتری علوم آب‌گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز.
- Cowden, J.R., Watkins, D.W. and Mihelcic, J.R. 2008. Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment. *Journal of Hydrology*. 361: 64–77.
- Dhungana, P., Eskridge, K.M., Weiss, A. and Baenziger, P.S. 2006. Designing crop technology for a future climate: An example using response surface methodology and the CERES-Wheat model. *Agricultural Systems*. 87: 63–79.
- Fung, C.F., Lopez, A., New, M. 2011. Modelling the impact of climate change on water resources. *John*

The Evaluation of the Three Downscaling Methods in Meteorological Droughts ForecaSting under the Effects of Climate Change

M. Yaghoobzadeh^{1*}, M. Amirabadizadeh², H. Khozaymehnezhad³, Z. Zeraatkar⁴

Recived: Oct.13, 2017

Accepted: Dec.06, 2017

Abstract:

Increasing frequency and intensity of drought extremes associated with global change are a key challenge for Agriculture and water resource. In the study, Standardized Precipitation droughts Index (SPI) was calculated with different time scale and by fifth report data and three method of downscaling for Neyshabour station and were compared with together. Drought Index (SPI) was determinate for baseline period (1992-2011) and future period (2020-2039) by precipitation data. Precipitation data was determinate by use fifth report model of CANESM2 and two emissions scenarios(RCP 4.5 and 8.5) and by three downscaling method of SDSM, LARS-WG and change factor. The SPI value was determinate for four time scale equal of 3, 6, 12 and 24 months. The result showed that had a slight increases of precipitation for three downscaling method for future period. Also the value of SPI index was showed that drought intensity had more for long time scale. In competition of three downscaling method, change factor method had the value of SPI index in range of drought equal of slight to intense.

Keywords: Climate change, Downscaling method, Drought, SPI index

1&2- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, University of Birjand

3- Associate professor, Department of Science and Water Engineering, University of Birjand

4- PhD Student of Water Resource Engineering , University of Birjand

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