

تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم

الهام مظفری^۱، ام‌البنین بذرافشان^{۲*}، نوازاله مرادی^۳

۱. کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۲. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۳. استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

* نویسنده مسئول: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۷

چکیده

پدیده تغییر اقلیم، شدت و استمرار دوره‌های خشکالی، اوج، بزرگی و فراوانی رخ داد آن را در دهه‌های آینده تحت تأثیر قرار می‌دهد. ایران یکی از کشورهایی است که بیشترین خسارت را از خشکسالی متحمل شده است. بنابراین، پیش‌بینی خشکسالی برای توسعه راهبردهای کاهش آن در آینده حیاتی است. پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی وضعیت مشخصه‌های خشکسالی شامل شدت، تداوم، بزرگی و اوج آن در دوره‌های تاریخی (۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵) و دوره آینده (۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰) برای ۳۹ ایستگاه سینوپتیک کشور با بهره‌گیری از نمایه SPI انجام شد. همچنین برای شبیه‌سازی آینده از خروجی مدل گردش عمومی جو CanESM2 بر پایه دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM استفاده شد. نتایج نشان داد، روند مشخصه‌های شدت، زمان تداوم یا مدت، بزرگی و اوج خشکسالی در دوره تاریخی در بخش زیادی از کشور بدون روند معنی‌دار است. با توجه به پهنه‌بندی نقشه‌های SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف، بخش اعظم کشور در دوره گذشته حاکی با افزایش روند خشکسالی در گیر بوده است، اما در آینده با دو سناریو مورد بررسی بخش گسترده‌ای از مساحت کشور به سمت ترسالی و یا کاهش خشکسالی پیش می‌رود. همچنین روند مشخصه‌های خشکسالی شدت، مدت، بزرگی و اوج در مقیاس‌های زمانی مختلف در دوره گذشته و آینده در عموم مناطق ایران دارای روند معنی‌دار نیست، اما مقدار بیشینه این ویژگی‌ها در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، غربی و جنوبی کشور رو به افزایش است. در کل می‌توان گفت، بخش‌های جنوبی کشور به‌ویژه استان‌های هرمزگان، سیستان و بلوچستان، بخش‌های شمال شرق و غرب استان خراسان رضوی، گلستان و آذربایجان بیشترین آسیب‌پذیری را از تغییر اقلیم خواهند داشت. بنابر این، خطر خشکسالی در این مناطق زیاد بوده و ضروری است برای مدیریت منابع طبیعی و کشاورزی در این مناطق برنامه‌ریزی جدی صورت پذیرد.

واژگان کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی؛ شاخص استاندارد شده بارش؛ تحلیل روند

■ مقدمه

اقلیم یکی از اجزاء مهم بوم‌نظام به‌شمار می‌رود، به همین دلیل تغییرات ناچیز آن، اجزاء بوم‌نظام را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴). پدیده تغییر اقلیم ممکن است عواقب مثبت و منفی داشته باشد که تأثیر منفی آن بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد (۹). خشک‌سالی پدیده‌ای است که بیشتر در اثر بارندگی کمتر از حد نرمال در مدت زمان طولانی ایجاد می‌شود و با یکسری ویژگی‌ها از جمله فراوانی، مدت و شدت مشخص می‌گردد. این پدیده بسته به اینکه کدام قسمت از چرخه هیدرولوژیک بر آن‌ها بیشترین تأثیر را داشته باشد، می‌تواند اشکال مختلفی را به خود گیرد که می‌توان به خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی و اجتماعی- اقتصادی اشاره کرد. عموماً کمبود بارش در مقیاس زمانی مشخص مانند هفتگی، ماهانه و سالانه به‌عنوان خشک‌سالی هواشناسی تجلی می‌یابد. همه انواع خشک‌سالی‌ها می‌توانند برای سامانه‌های طبیعی و انسانی مضر باشند (۱۴). تغییر جهانی اقلیم موجب افزایش فراوانی و شدت وقایع خشک‌سالی و تغییر در مشخصه‌های آن در دهه‌های اخیر شده و منجر به از بین رفتن محیط‌زیست، خسارات اقتصادی و حتی درگیری بین جوامع بشری می‌شود. شناسایی خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های معتبر خشک‌سالی می‌باشد. شاخص‌های خشک‌سالی آماری زیادی وجود دارد که می‌تواند برای شناسایی و ارزیابی خشک‌سالی در بازه‌های زمانی مختلف استفاده می‌شود. این شاخص‌ها شامل شاخص‌های یک و دو متغیره هستند که فقط روی جنبه‌های اقلیمی و هیدرولوژیک تمرکز دارند. به عنوان مثال شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) در بین آن‌ها به طور گسترده استفاده شده است (۶). این شاخص به دلیل در دسترس بودن داده‌های بارندگی، ساده بودن محاسبه، توانایی محاسبه در مقیاس‌های زمانی مختلف و توانایی زیاد در محاسبه مکانی نتایج، در تجزیه و تحلیل خشک‌سالی به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین شاخصه‌ها می‌شود (۱۹). پژوهشگران بر این باورند که، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو تحت

سناریوهای اقلیمی، معتبرترین ابزار برای بررسی پدیده تغییر اقلیم هستند (۴). مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی حال حاضر کره‌زمین گسترش داده شده است تا پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده کره‌زمین انجام دهند، مدل‌های گردش عمومی جو^۲ (GCM) می‌باشند (۱۷). پژوهشگران بسیاری با توجه به اهمیت موضوع تغییر اقلیم و تأثیر که بر روی سامانه‌های مختلف به‌ویژه سامانه اقلیمی بر جای می‌گذارد در کشورهای مختلف و در سال‌های اخیر اقدام به بررسی این موضوع مهم نمودند که در ادامه به چند مورد از این مطالعات پرداخته شده است. در پژوهشی، پژوهشگران به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در حوزه مدیترانه با استفاده از شاخص‌های ترکیبی خشک‌سالی پرداختند. نتایج نشان داد، سناریوهای تغییر اقلیم منجر به افزایش کلی شدت خشک‌سالی‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌گردد (۱۵). در پژوهشی، پژوهشگران از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی^۳ LARS WG^۳ و SDSM^۴ برای بررسی تغییرات اقلیمی ایستگاه بجنورد استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد، در شبیه‌سازی اقلیم هر دو مدل توانایی خوبی دارند (۸). پژوهشگران برای پیش‌بینی تغییرات بارش در دوره آینده در شهر موصل از خروجی‌های مدل HadCM3 و روش SDSM تحت سناریو B2 استفاده نمودند. نتایج حاکی از افزایش بارش در ۲۰ سال آینده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۱). پژوهشگران برای شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارندگی از روش SDSM و خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP^۵ برای دوره آینده در ایستگاه گرگان استفاده کردند. نتایج نشان از همبستگی بهتر داده‌های دما با داده‌های مشاهداتی نسبت به بارندگی می‌باشد (۲۴). در پژوهشی دیگر، پژوهشگران رابطه شدت-مدت و فراوانی خشک‌سالی^۶ (IDF) را با استفاده از شاخص SPI^۷ توسعه دادند. نتایج این پژوهش نشان داد با استفاده از این مشخصه‌ها

2. Global Circulation Model (GCM)

3. Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS- WG)

4. Statistical Down Scaling Model

5. Representative Concentration Pathway

6. Intensity Duration Frequency

7. Standardised Precipitation Index

1. Standardized Precipitation Index

کوهستان‌های سمت غرب تا ۲۴m- در امتداد سواحل شمالی متغیر می‌باشد (۱۱). ایران براساس طبقه‌بندی دومارتن دارای پنج اقلیم متفاوت خشک، نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، مرطوب و بسیار مرطوب می‌باشد (۹). براساس طبقه‌بندی اقلیمی، بیش از ۶۰٪ مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه خشک پوشانده است (۵). میزان بارندگی در آن متغیر می‌باشد به طوری که میانگین بارندگی سالانه کمتر از یک سوم مقدار بارندگی در جهان است. میانگین بارندگی بلندمدت سالانه در ایران از زیر ۱۰۰mm تا بیش از ۱۰۰۰ mm متغیر می‌باشد (۱۰). ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در (شکل ۱) نشان داده شده است.

در پژوهش حاضر، به منظور ارزیابی تغییرات مشخصه‌های خشکسالی تحت تأثیر تغییر اقلیم، داده‌های بارش ۳۹ ایستگاه سینوپتیک منتخب کشور ایران طی دوره آماری سال ۱۹۶۶-۲۰۰۵ که دارای طولانی‌ترین دوره آماری بودند به عنوان دوره پایه، از سازمان هواشناسی کشور در محدوده مطالعاتی دریافت گردید. دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۰ برای کالیبراسیون، دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ برای صحت سنجی و دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰ برای پیش‌بینی دوره آینده استفاده شده است. برای پیش‌بینی دوره آینده از خروجی مدل گردش عمومی جو (CanESM2) و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) استفاده شده است. داده‌های مدل CanESM2^۵ دارای ۲۶ متغیر NCEP^۶ می‌باشد، لذا داده‌های روزانه این مدل براساس طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه استخراج گردید (۸).

هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود، از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است (۶). سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر کلیدی با نام‌های RCP4.5، RCP2.6، RCP8.5 و RCP6 می‌باشند که بر اساس مقدار واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده‌اند (۱).

می‌توان میزان خشکسالی را در هر منطقه تشخیص داد (۲). پژوهشگران براساس شاخص SPI و RDI^۱ ویژگی‌های مکانی و زمانی خشکسالی منطقه آپولیا را طی دوره آماری ۲۰۱۳-۱۹۶۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن می‌باشد که با افزایش مقیاس زمانی در دو شاخص، فراوانی خشکسالی کاهش و میانگین مدت خشکسالی افزایش می‌یابد (۱۶). پژوهشگران با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای (RCM)^۲ تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5 اثرات تغییر اقلیم بر مشخصه‌های خشکسالی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد با توجه به شرایط اقلیمی آینده، شدت خشکسالی در همه مناطق افزایش می‌یابد (۲۰). پژوهشگران به پیش‌بینی مشخصه‌های خشکسالی تحت سناریوهای اقلیمی با استفاده از نمایه SPEI^۳ و مدل‌های اقلیمی (GCMs)^۴ در چین پرداختند. پرداختند. نتایج نشان داد، چین در آینده خشکسالی‌های شدید و مکرری را تجربه خواهد کرد (۲۳).

بیشتر پژوهش‌ها در زمینه تغییر اقلیم و خشکسالی در دهه‌های اخیر در ایران مربوط به دوره گذشته بوده و کمتر پژوهشی به بررسی مشخصه‌های شدت، تداوم، بزرگی و اوج خشکسالی اقلیمی در دوره آینده با گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در مقیاس کل کشور پرداخته باشد. لذا هدف از پژوهش حاضر تحلیل روند زمانی مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در ایران و بررسی تغییرات مکانی آنهاست.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کشور ایران در غرب آسیا در منطقه خاورمیانه بین کشورهای عراق و پاکستان (۱۰)، با مساحت ۱۶۴۰۱۹۵ km^۲ (۷)، بین طول جغرافیایی ۴۴° تا ۶۳° درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵° تا ۴۰° درجه شمالی واقع شده است. و شامل طیف وسیعی از توپوگرافی و اقلیم متنوع می‌باشد به طوری که از ارتفاع بیش از ۵۵۰۰m در

1. Reconnaissance Drought Index

2. Radiation- Convection Models (RCM)

3. Standardized Precipitation minus Evapotranspiration Index

4. Global Circulation Model

5. Canadian Earth System Model

6. National Centers for Environmental Prediction

خشک‌سالی مطابق رابطه (۳) است. در واقع این‌گونه تعریف شد که اوج خشک‌سالی حداقل مقدار SPI را برای ماه‌های خشک‌سالی Z و برای سال i نشان داد. همچنین فراوانی خشک‌سالی براساس جدول (۱)، عبارتست از مجموع تعداد وقایع خشک‌سالی در طبقه مشخص به کل فراوانی خشک‌سالی‌های رخ داده در طول دوره آماری (۱۸).

$$DS = \sum_{i=1}^{dl} |x_0 - x_i| \quad (1)$$

$$DM = \frac{DS}{DD} \quad (2)$$

$$DP = \min [SPI_{i,j}] \quad (3)$$

در رابطه ۱، DS شدت خشک‌سالی، x_0 نقطه آستانه خشک‌سالی و x_i ماه رویداد است. در رابطه ۲، DM بزرگی خشک‌سالی و DD زمان تداوم خشک‌سالی است. در رابطه ۳، DP اوج خشک‌سالی و $SPI_{i,j}$ هم مقدار رویداد در ماه و سال مورد نظر است.

تحلیل روند من-کندال

مراحل محاسبه روش تحلیل من-کندال شامل محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S بصورت رابطه ۴، محاسبه واریانس توسط رابطه ۵ و محاسبه آماره Z با استفاده از رابطه ۶ است.

بدلیل بزرگ مقیاس بودن داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو برای مطالعات منطقه‌ای، باید ریزمقیاس شوند. در پژوهش حاضر از مدل آماری SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی استفاده شد. این مدل که در قالب یک نرم‌افزار طراحی شده است، داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه مورد نظر را به عنوان ورودی گرفته و در چند مرحله، خروجی مدل را بر اساس داده‌های روزانه در منطقه مورد نظر ریزمقیاس می‌نماید (۶). لذا در پژوهش حاضر، برای پیش‌بینی بارش در آینده از مدل گردش عمومی CanESM2 و برای شبیه‌سازی بارش روزانه از مدل SDSM تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد.

مشخصه‌های خشک‌سالی

هر خشک‌سالی دارای چندین مشخصه می‌باشد که از شاخص خشک‌سالی استخراج می‌گردد. در پژوهش حاضر مشخصه‌های شدت، مدت، بزرگی، فراوانی و اوج خشک‌سالی از SPI استخراج گردید. شدت هر دوره خشک‌سالی شروع در ماه i ام طبق رابطه (۱) تعریف شد. به عبارتی دیگر شدت خشک‌سالی، مجموع SPI در حین وقوع خشک‌سالی؛ مدت یا زمان تداوم خشک‌سالی به عنوان دوره کسری بازندگی در زمان معین، یا تعداد ماه‌هایی که یک رویداد خشک‌سالی طول می‌کشد، تعریف شد. بزرگی خشک‌سالی رویدادی است که از نسبت شدت به مدت خشک‌سالی طبق رابطه (۲) محاسبه گردید و اوج خشک‌سالی، کمترین مقدار SPI در طی یک رویداد

جدول ۱. رده‌بندی شدت خشک‌سالی در شاخص‌های SPI

مقادیر SPI	علامت	طبقات خشک‌سالی SPI
۲ و بیشتر	EW	ترسالی خیلی شدید
۲ تا ۱/۵	SW	ترسالی شدید
۱/۵ تا ۱	MW	ترسالی متوسط
۱ تا -۱	N	نرمال
-۱ تا -۱/۵	MD	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	SD	خشک‌سالی شدید
-۲ و کمتر	ED	خشک‌سالی خیلی شدید

نتایج و بحث

بررسی آماری روند تغییر در پژوهش حاضر با آزمون من-کندال صورت پذیرفت. توزیع مکانی روند متغیر بارش در دوره تاریخی ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ و دوره آینده ۲۰۱۶ تا ۲۰۵۰ با دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در (شکل ۲) ارائه شد.

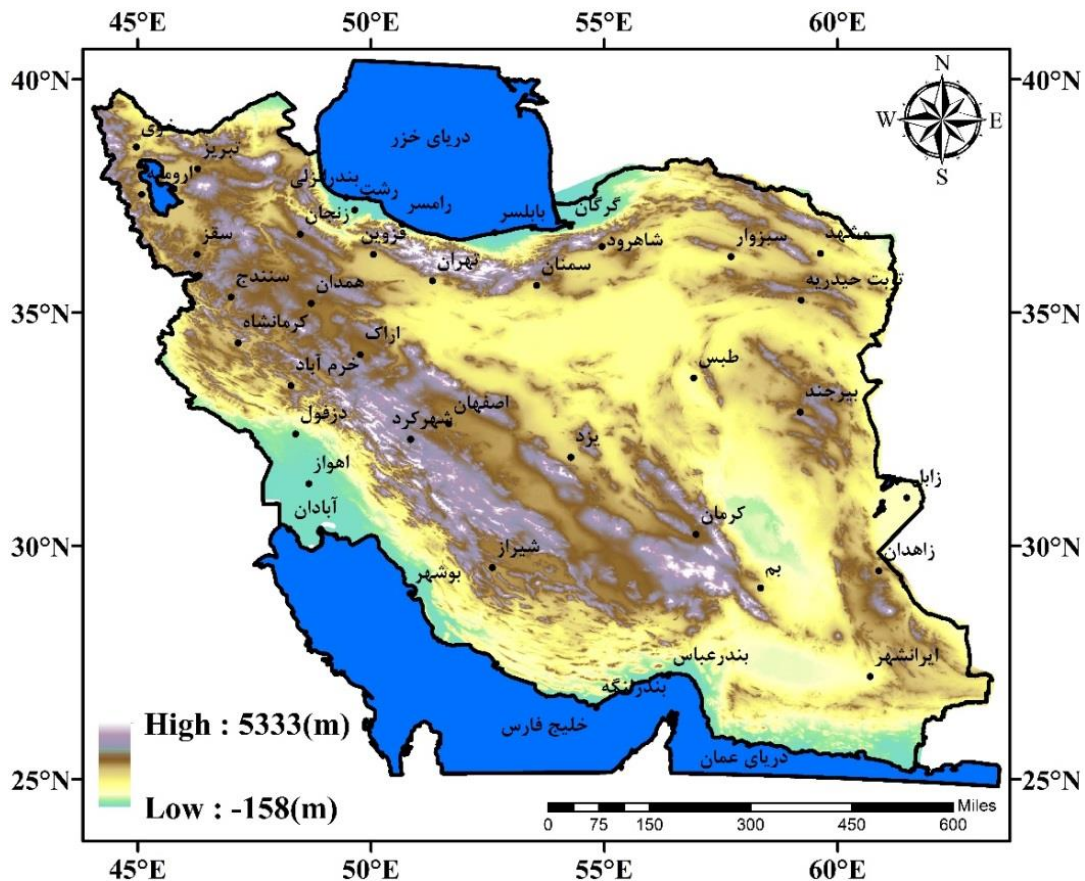
طبق نتایج، روند معنی داری در تغییرات بارش در دو دوره مورد مطالعه مشاهده نشد. اما به طور کلی، در دوره تاریخی مقدارهای روند کاهشی بارش بیشتر در بخش‌هایی از شمال، شمال غرب و غرب کشور دیده می‌شود، اما این تغییرات در دوره آینده به بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور تمایل نشان داد. بدین معنی که کاهش بارش در ایران در آینده در بخش‌هایی از مرکز و جنوب محسوس‌تر خواهد بود، اما به لحاظ آماری نسبت به دوره‌های گذشته کاهش معنی داری نخواهد داشت.

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (۴)$$

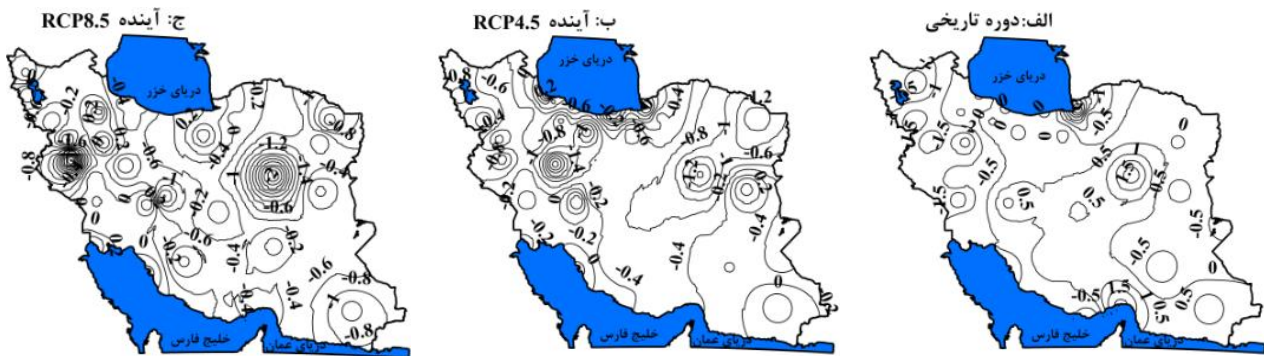
$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (۵)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۶)$$

که در این رابطه، Sign: تابع علامت؛ x متغیر، Var: واریانس و Z: آماره آزمون است. معنی داری آزمون با مقدار Z بررسی می‌شود و در فاصله اطمینان ۰/۹۵، چنانچه مقدار $Z > ۱/۹۶$ باشد، روند افزایشی و چنانچه کمتر از $۱/۹۶$ باشد، روند کاهشی را نشان می‌دهد (۲۲).



شکل ۱. نقشه توپوگرافی ایران و موقعیت ایستگاه‌های همدیدی مورد بررسی



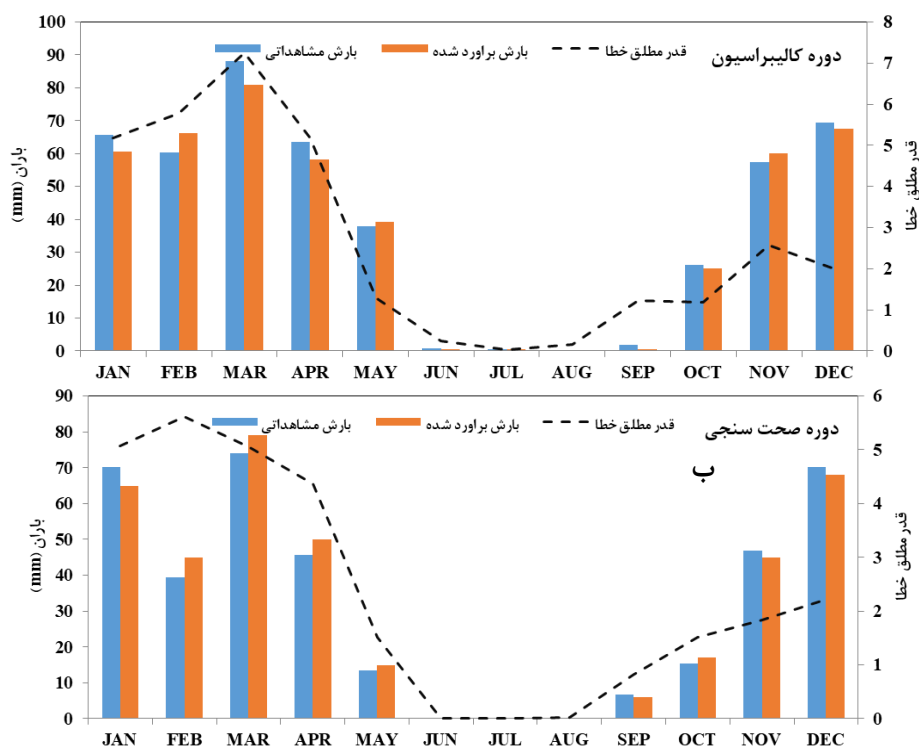
شکل ۲. توزیع مکانی روند متغیر اقلیمی بارش در الف: دوره تاریخی (۱۹۶۶-۲۰۰۵) و دوره آینده (۲۰۱۶-۲۰۵۰) با سناریوهای ب: RCP4.5 و ج: RCP8.5

مذکور برای تولید داده‌های اقلیمی طی دوره آینده استفاده کرد.

نوسان زمانی SPI در مناطق مختلف ایران در دوره تاریخی و آینده

تغییرپذیری زمانی خشک‌سالی برپایه شاخص SPI و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای دوره‌های تاریخی و آینده با سناریوهای مورد بررسی در چهار ایستگاه منتخب (شکل ۴) در آبادان، دو دوره خشک‌سالی طی دوره تاریخی دیده شد. یک دوره از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۶ ادامه یافته و دوره بعدی از ۲۰۰۶ شروع و تا ۲۰۲۰ ادامه می‌یابد.

واسنجی و صحت سنجی مدل SDSM در برآورد بارش نتایج مدل SDSM در برآورد بارش برای دوره واسنجی ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۰ (شکل ۳ الف) و صحت سنجی (شکل ۳ ب) طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ در ایستگاه کرمانشاه به‌عنوان نمونه نمایش داده شده است. طبق نتایج بدست آمده؛ انطباق زیادی بین مقادیرهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود داشته چرا که مقادیرهای خطا پایین و ضرایب همبستگی بالا است. لذا مدل SDSM از توانایی قابل قبولی در کوچک مقیاس‌سازی داده‌های بارش در مدل IPCC5 برخوردار بوده، لذا می‌توان از مدل



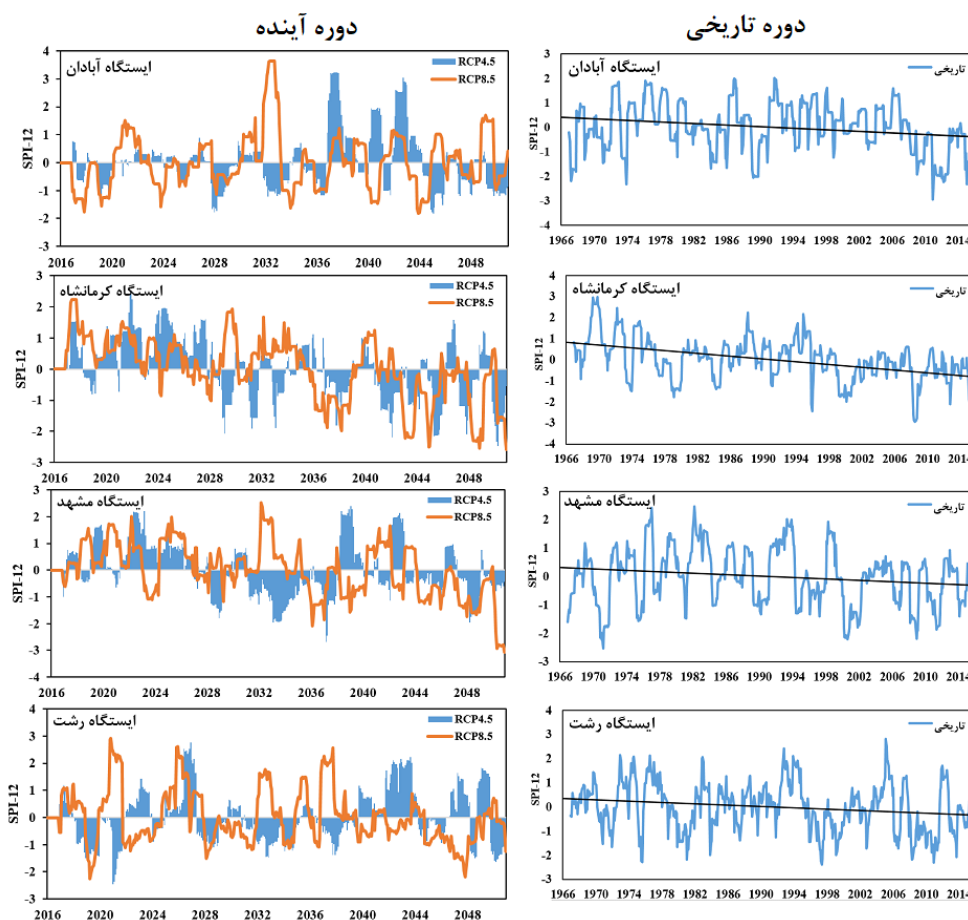
شکل ۳. واسنجی و صحت سنجی مدل SDSM برای داده بارش، الف: (واسنجی)؛ ب (صحت سنجی).

ایستگاه‌ها در ایران فراوانی قابل ملاحظه‌ای داشته اما در دو سناریوی مورد بررسی، در بیشتر ایستگاه‌ها، طبقه خیلی شدید، صفر برآورد شده است. بدین معنی که در آینده در بیشتر مناطق در ایران خشکسالی خیلی شدید را تجربه خواهند کرد. نمودار فراوانی خشکسالی را برای دوره آینده و تاریخی در (شکل ۵) نشان می‌دهد، در عموم ایستگاه‌ها، فراوانی طبقه‌های شدید و خیلی شدید در دوره تاریخی بیشتر از دو سناریوی آینده هستند. درصد فراوانی خشکسالی در آینده به سمت طبقه‌های تر و نرمال پیش خواهد رفت و این وضعیت در تمام ایستگاه‌ها دیده می‌شود. لذا با توجه به نتایج جدول فراوانی و نمودار فراوانی خشکسالی در پنج طبقه مختلف خشکسالی در دوره آینده نسبت به دوره تاریخی در طبقه‌های شدید و خیلی شدید کاهش یافته است. نتایج محققان (۶)، (۳) و (۱۲) حاکی از کاهش روند خشکسالی در آینده در بیشتر قسمت‌های ایران است.

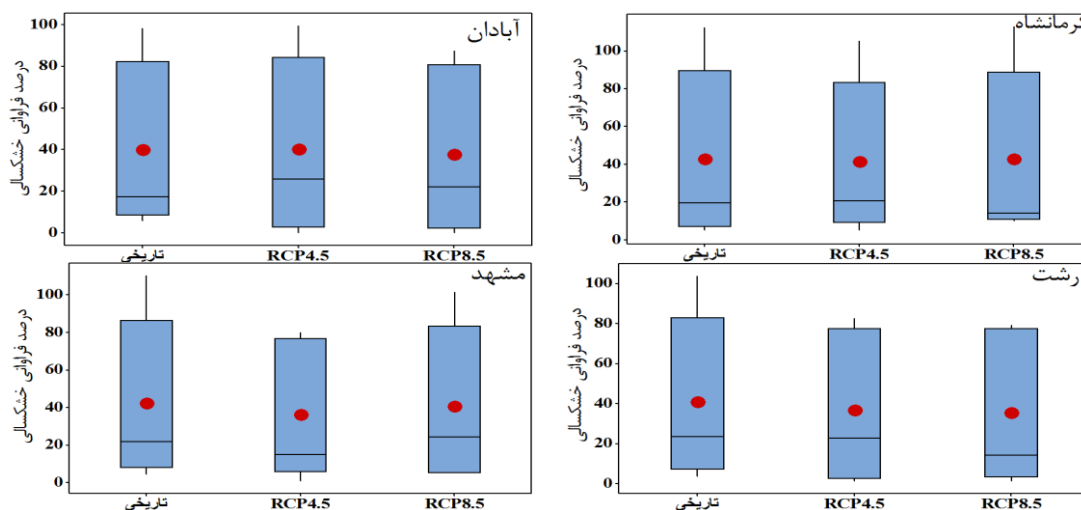
در دوره آینده، طبق دو سناریو، دوره‌های خشکسالی با تغییرات کمی، مشابه است. به طوری که، یک دوره خشکسالی از سال ۲۰۲۴ تا ۲۰۳۲ و دوره‌های دیگر به صورت دو سال به دو سال تا سال ۲۰۵۰ ادامه یافت. اما در مورد کرمانشاه، در دوره آینده دو دوره متوالی تر (۲۰۱۶-۲۰۳۶) و خشک (۲۰۳۷ تا ۲۰۵۰) طی دوره آینده دیده شد. در مورد مشهد نیز وضع به همین منوال است. اما در مورد رشت که نماینده مناطق خیلی مرطوب، دوره‌های خشک و تر در دو عصر تاریخی و آینده به صورت دوره‌های کوتاه مدت با تواترهای دوساله تکرار می‌شود.

فراوانی خشکسالی

در پژوهش حاضر، فراوانی خشکسالی ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در دوره تاریخی و آینده تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه و در طبقه‌های مختلف خشکسالی دسته‌بندی شد (جدول ۲). در دوره تاریخی طبقه‌های خشکسالی شدید و خیلی شدید در تمام



شکل ۴. تغییرات زمانی سالانه SPI-12 در ایستگاه‌های مختلف طی دوره تاریخی در سمت راست و آینده در سمت چپ



شکل ۵. باکس پلات فراوانی خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب در دوره تاریخی و آینده که نقاط قرمز میانگین وقایع (خط وسط بیشترین درصد فراوانی مشاهده شده)

جدول ۲. تعداد فراوانی خشکسالی در طبقه‌های توصیفی مختلف (مطابق جدول ۱) در دوره تاریخی و آینده

ایستگاه	تاریخی					RCP4.5					RCP8.5				
	WS	MID	MD	SD	ED	WS	MID	MD	SD	ED	WS	MID	MD	SD	ED
اراک	۲۸۹	۱۹۵	۷۳	۲۶	۶	۱۷۴	۱۶۹	۶۳	۳	۰	۱۳۹	۲۲۲	۴۶	۲	۰
ارومیه	۲۷۶	۲۰۴	۷۵	۲۸	۶	۱۶۷	۱۸۴	۵۷	۱	۰	۱۰۷	۳۰۲	۰	۰	۰
اصفهان	۳۱۹	۱۵۹	۶۸	۲۵	۱۸	۲۱۹	۱۲۱	۳۵	۳۱	۳	۱۹۵	۱۳۸	۶۴	۶	۶
اهواز	۳۲۹	۱۵۳	۶۱	۲۶	۲۰	۱۸۸	۱۵۴	۳۹	۱۴	۱۴	۲۰۰	۱۵۳	۲۴	۲۳	۹
ایرانشهر	۳۳۸	۱۵۴	۳۹	۳۸	۲۰	۲۱۳	۱۲۵	۳۰	۲۸	۱۳	۲۰۱	۱۴۱	۳۵	۲۷	۵
آبادان	۲۹۲	۱۹۶	۵۱	۳۳	۱۷	۲۰۴	۱۴۱	۵۳	۱۱	۰	۱۹۱	۱۶۱	۴۸	۹	۰
بابلسر	۲۹۹	۱۹۶	۵۴	۲۸	۱۲	۱۸۶	۱۵۷	۵۵	۷	۴	۱۸۴	۱۶۵	۵۲	۸	۰
بم	۳۰۱	۱۹۱	۴۹	۳۲	۱۶	۱۹۰	۱۵۵	۴۴	۱۲	۸	۲۱۲	۱۲۹	۲۹	۳۰	۹
بندرلنگه	۲۹۹	۱۹۲	۶۳	۲۶	۹	۲۰۶	۱۳۳	۳۷	۲۶	۷	۲۰۶	۱۳۴	۲۹	۳۵	۵
بندرآنزلی	۲۷۷	۲۲۳	۵۱	۳۱	۷	۱۷۸	۱۷۸	۳۵	۱۸	۰	۱۷۷	۱۸۳	۴۰	۹	۰
بندرعباس	۲۹۷	۱۹۰	۷۲	۲۷	۳	۲۰۸	۱۳۶	۴۱	۱۱	۱۳	۲۳۰	۹۸	۴۳	۲۰	۱۸
بوشهر	۳۰۹	۱۸۳	۵۳	۳۰	۱۴	۱۸۰	۱۸۱	۳۳	۱۳	۲	۱۸۹	۱۴۹	۵۵	۱۵	۱
بیرجند	۳۴۷	۱۳۹	۳۱	۴۹	۲۳	۱۸۵	۱۶۰	۴۵	۱۷	۲	۱۷۶	۱۹۲	۳۷	۴	۰
تبریز	۳۰۲	۱۹۷	۵۸	۱۷	۱۵	۱۷۴	۱۶۸	۵۶	۱۱	۰	۱۳۲	۲۶۹	۸	۰	۰
تربت حیدریه	۳۰۶	۱۸۲	۵۰	۳۳	۱۸	۱۹۹	۱۵۲	۵۴	۴	۰	۱۵۴	۲۱۰	۴۳	۲	۰
تهران	۳۲۸	۱۷۰	۴۵	۲۲	۲۴	۱۶۹	۲۱۱	۲۸	۱	۰	۱۴۸	۲۳۲	۲۷	۲	۰
خرم‌آباد	۳۰۵	۱۸۵	۳۸	۵۱	۱۰	۱۶۴	۲۰۲	۴۰	۳	۰	۱۶۰	۲۰۹	۳۹	۱	۰
خوی	۲۹۷	۱۸۱	۷۰	۳۹	۲	۱۶۴	۱۸۲	۶۰	۳	۰	۱۲۸	۲۷۸	۳	۰	۰
دزفول	۳۴۶	۱۸۴	۲۶	۱۱	۲۲	۱۸۶	۱۷۶	۴۵	۲	۰	۱۶۹	۱۸۸	۴۹	۳	۰
رامسر	۲۸۲	۲۰۵	۷۵	۲۱	۶	۱۸۷	۱۷۳	۳۲	۱۲	۵	۲۰۰	۱۴۵	۴۶	۱۱	۷
رشت	۳۰۰	۱۸۰	۶۸	۳۱	۱۰	۱۸۵	۱۶۲	۵۱	۸	۳	۱۷۶	۱۸۵	۳۳	۱۲	۳
زابل	۳۰۸	۱۷۵	۶۳	۳۷	۶	۱۹۰	۱۴۳	۶۷	۹	۰	۱۴۴	۲۴۱	۲۴	۰	۰
زاهدان	۲۹۲	۲۲۴	۳۲	۱۳	۲۸	۱۹۳	۱۴۳	۴۹	۲۳	۱	۲۱۱	۱۱۷	۳۵	۴۲	۴
زنجان	۳۱۲	۱۸۱	۵۰	۲۰	۲۶	۱۷۶	۱۸۴	۴۳	۶	۰	۱۵۵	۲۰۸	۴۶	۰	۰

ادامه جدول ۲. تعداد فراوانی خشکسالی در طبقه‌های توصیفی مختلف (مطابق جدول ۱) در دوره تاریخی و آینده

ایستگاه	تاریخی					RCP4.5					RCP8.5				
	WS	MID	MD	SD	ED	WS	MID	MD	SD	ED	WS	MID	MD	SD	ED
سبزوار	۲۸۳	۲۲۵	۳۹	۲۳	۱۹	۱۸۱	۱۴۸	۷۵	۵	۰	۱۸۲	۱۸۰	۴۳	۴	۰
سقر	۲۸۷	۲۱۲	۵۶	۱۵	۱۹	۱۴۲	۲۴۳	۲۴	۰	۰	۱۰۷	۳۰۲	۰	۰	۰
سمنان	۲۹۷	۲۰۸	۳۵	۳۱	۱۸	۲۰۸	۱۱۶	۷۱	۱۴	۰	۱۲۱	۲۸۵	۳	۰	۰
سندج	۲۸۳	۲۰۰	۶۵	۲۶	۱۵	۱۶۹	۱۹۹	۳۴	۷	۰	۱۷۸	۱۶۳	۶۰	۸	۰
شاهرود	۳۰۶	۱۸۸	۵۳	۲۷	۱۵	۱۷۱	۱۹۵	۴۱	۲	۰	۱۸۳	۱۷۳	۴۱	۱۲	۰
شهرکرد	۳۱۵	۱۷۲	۵۶	۳۴	۱۲	۲۰۸	۱۳۶	۳۹	۲۶	۰	۱۸۱	۱۷۵	۴۲	۱۱	۰
شیراز	۳۰۸	۱۸۴	۵۱	۲۵	۲۰	۲۲۲	۱۰۴	۵۵	۲۲	۶	۲۱۲	۱۱۶	۴۷	۲۰	۱۴
طیس	۳۲۴	۱۶۳	۱۰۲	۰	۰	۱۹۷	۱۵۶	۲۶	۲۰	۱۰	۱۸۶	۱۶۰	۲۹	۲۳	۱۱
قزوین	۲۸۹	۲۱۴	۳۸	۲۴	۲۴	۱۷۶	۱۷۰	۵۱	۱۱	۱	۱۵۸	۲۱۲	۳۴	۴	۱

شمال شرقی کشور کاسته شده است. به طور کلی طبق سناریوهای مورد بررسی از شدت خشکسالی در آینده طبق دو سناریوی موجود، کاسته خواهد شد. در سناریو RCP4.5 از وسعت مناطق در برگیرنده شدت‌های زیاد کاسته خواهد شد. به طور کلی شدت در دو سناریو از لحاظ مکانی مشابه هم هستند. طبق نتایج بدست آمده از روند بارش در آینده نیز، به لحاظ مکانی از روند کاهش بارش در آینده در هر دو سناریو کاسته شد.

نتایج حاصل از حداکثر تداوم خشکسالی (شکل ۶ ب) در بیشتر ایستگاه‌های همدیدی ایران در دوره آینده در دو سناریو نشان می‌دهد، تداوم خشکسالی نسبت به دوره تاریخی کاهش یافته است. بیشترین مقدارهای تداوم‌های خشکسالی در دوره تاریخی مربوط به ایستگاه‌های زابل، زاهدان، طیس، ایرانشهر و آبادان با مقدار بیش از ۶۰ ماه است. تقریباً در بیشتر ایستگاه‌ها مقدارهای برآورد شده RCP8.5 از دیگر سناریو بالاتر برآورد شده است.

تحلیل روند تداوم خشکسالی نیز، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در روند تداوم خشکسالی در گذشته و آینده در ایران مشاهده نمی‌شود، و بخش زیادی از مناطق ایران فاقد روند معنی‌دار در حال و آینده می‌باشند (شکل ۷ ب) و بخش‌های زیادی از جنوب، جنوب شرق و بخش‌های مرکزی دارای روند منفی و بدون روند هستند. بدین معنی که در آینده بخش اعظم ایران نسبت به دوره کنونی تغییر چندانی ندارد.

تغییرپذیری زمانی و مکانی مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده

بیشینه شدت خشکسالی در دوره تاریخی و آینده برآورد شد (شکل ۶ الف) و برپایه آن، بیشترین شدت خشکسالی در دو سناریوی مورد بررسی کاهش یافته است.

براساس تحلیل مکانی روند مشخصه شدت خشکسالی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در روند آن در آینده نسبت به گذشته در ایران مشاهده نشد (شکل ۷ الف). بخش زیادی از مناطق ایران فاقد روند معنی‌دار در حال و آینده بوده و تنها روند شدت خشکسالی در بخش‌های کوچکی از جنوب غرب و مرکز کشور رو به کاهش است. بدین مفهوم که شدت خشکسالی در اغلب مناطق ایران به لحاظ مکانی فاقد تغییر است.

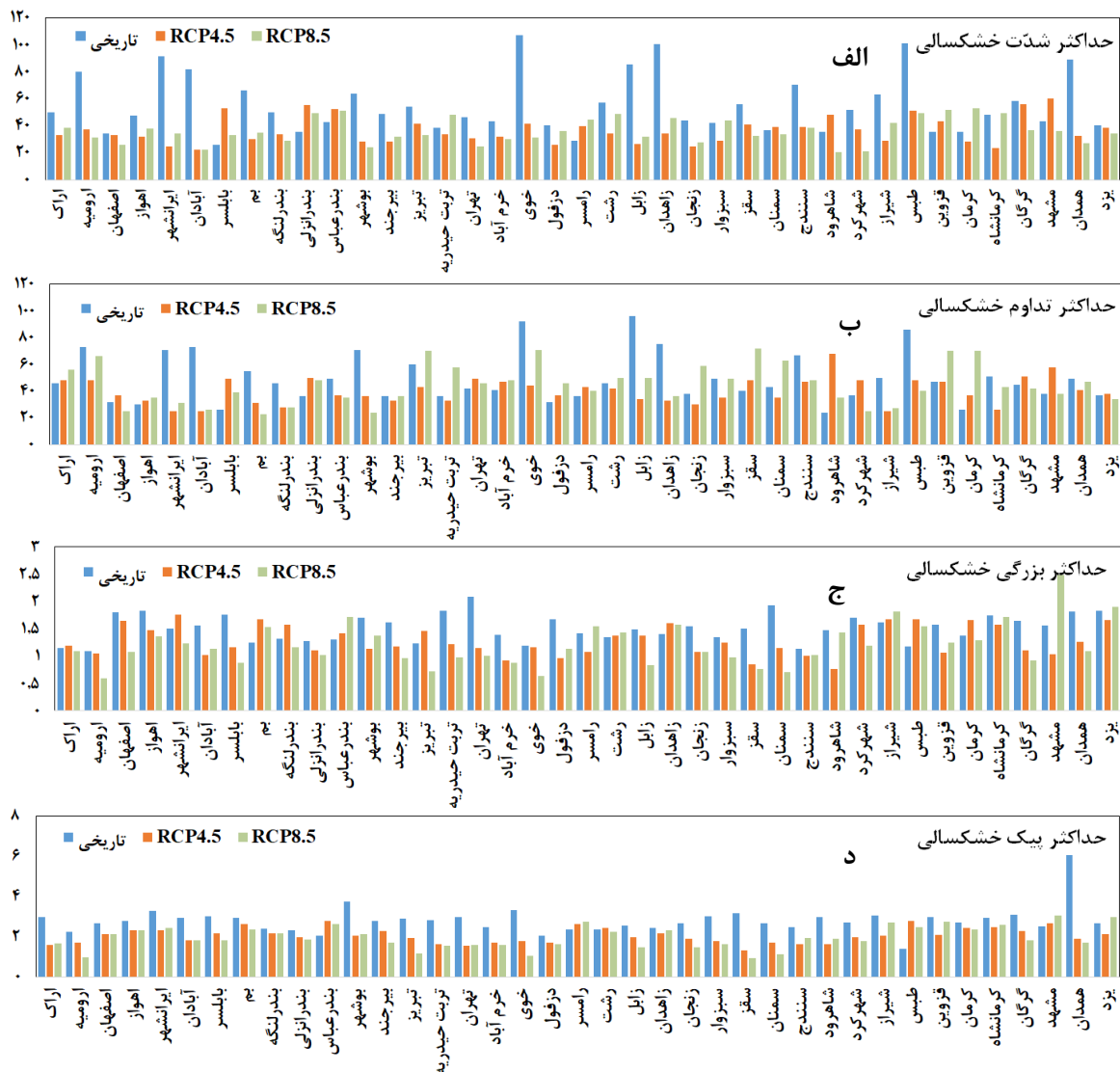
نتایج مجموع کل شدت خشکسالی برای دوره تاریخی و آینده (شکل ۸ الف) نشان می‌دهد، در دوره تاریخی بخش زیادی از کشور دارای شدت خشکسالی شدید با مقدار ۲۲۶ تا ۲۴۶ و تنها بخش‌هایی از غرب، جنوب غرب، مرکز و جنوب شرق کشور دارای شدت ۱۶۳ تا ۲۰۰ می‌باشد. اما در دوره آینده تحت سناریو RCP4.5 از کل شدت خشکسالی از بخش‌های شمالی کاسته شده و وارد بخش‌های مرکزی، جنوب، جنوب شرق، شرق و شمال شرق کشور می‌شود. در سناریو RCP8.5 شدت خشکسالی بیشتر در بخش‌های جنوبی، غربی، جنوب شرق و مرکز کشور متمرکز و از بخش‌های

۶(ج)، در بیشتر ایستگاه‌های همدیدی ایران در دوره آینده برآورد دو سناریو بسیار نزدیک به هم و بالاترین برآوردها همچنان مربوط به دوره تاریخی بود. ایستگاه‌های تهران، تربت حیدریه، سمنان و دزفول بیشترین بزرگی را در دوره تاریخی تجربه نمودند.

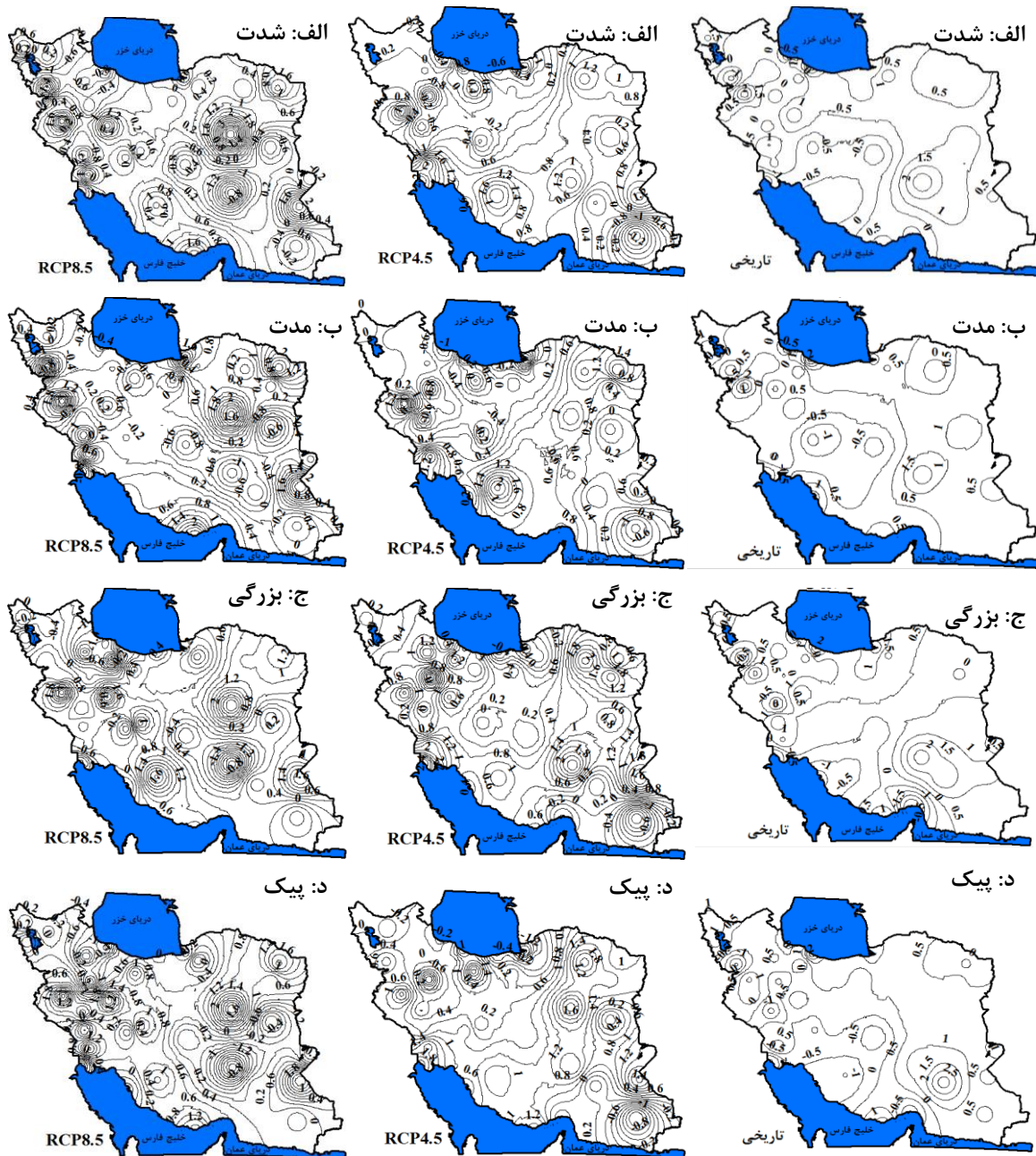
تحلیل روند بزرگی خشک‌سالی با استفاده از آزمون من- کندال نشان داد (شکل ۷ ج)، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در روند بزرگی خشک‌سالی در آینده در ایران مشاهده نمی‌شود و روند بزرگی خشک‌سالی در ایران در دوره تاریخی و آینده فاقد روند معنی‌دار است، و حتی مقدار آماره Z در بیشتر مناطق در دوره آینده نیز کاهش یافته است.

براساس نقشه‌های پهنه‌بندی مجموع کل تداوم خشک‌سالی در دوره تاریخی و آینده (شکل ۸ب) در دوره تاریخی بخش‌هایی از شمال، شمال‌غرب و شمال‌شرق کشور دارای مدت خشک‌سالی ۲۷۹ تا ۳۱۰ ماه می‌باشند. ولی در آینده با دو سناریوی مورد بررسی، از تداوم خشک‌سالی در کل کشور کاسته می‌شود که این کاهش در بخش‌های جنوبی بسیار محسوس‌تر است، به طوری که در آینده، میزان کاهش زمان تداوم خشک‌سالی در بخش‌های مرکزی و جنوبی قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

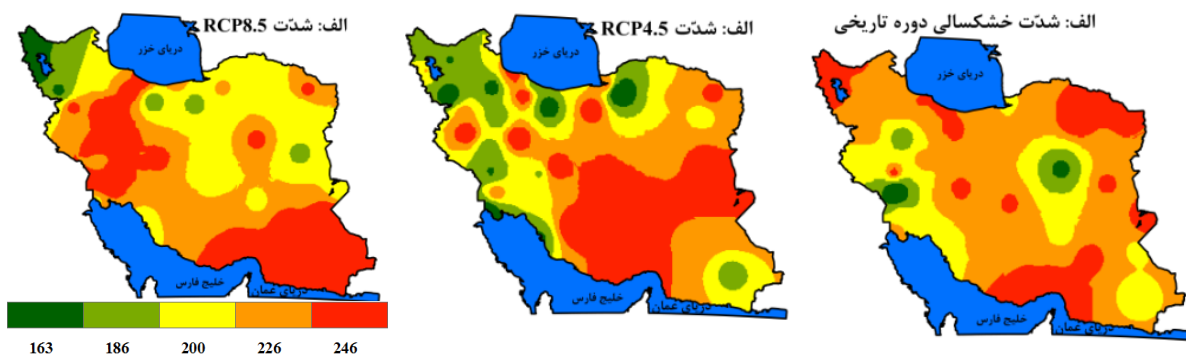
مقدارهای حداکثر بزرگی خشک‌سالی برآوردشده در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره تاریخی آینده شکل



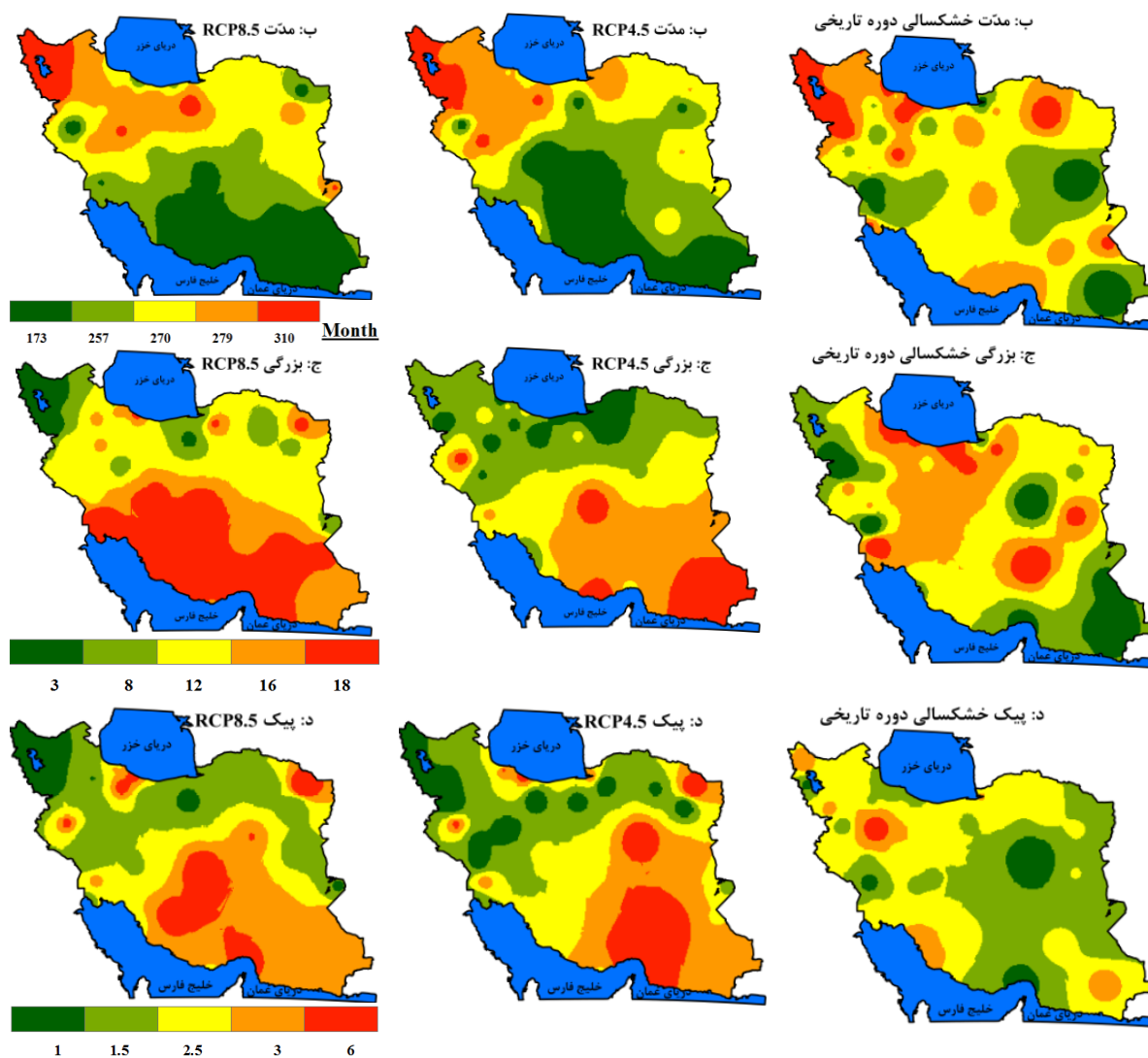
شکل ۶. تغییرات حداکثر شدت (الف)؛ مدت (تداوم) (ب)، بزرگی (ج) و اوج (د) خشک‌سالی ۳۹ ایستگاه همدیدی ایران در دوره تاریخی و آینده.



شکل ۷. تغییرات روند: (الف) شدت؛ (ب) مدت، (ج) بزرگی و (د) اوج خشکسالی ۳۹ ایستگاه همدیدی ایران در دوره تاریخی و آینده



شکل ۸. نوسان مجموع شدت (الف)؛ مدت (ب)، بزرگی (ج) و اوج (د) خشکسالی ۳۹ ایستگاه همدیدی ایران در دوره تاریخی و آینده



ادامه شکل ۸. نوسان مجموع شدت (الف)؛ مدت (ب)، بزرگی (ج) و اوج (د) خشکسالی ۳۹ ایستگاه همدیدی ایران در دوره تاریخی و آینده

براساس نقشه‌های پهنه‌بندی مجموع بزرگی خشکسالی در دوره تاریخی و آینده (شکل ۸ج) در دوره تاریخی بخش‌هایی از شمال و مرکز کشور دارای بزرگی خشکسالی ۱۶ تا ۱۸ و بخش‌های جنوبی، جنوب شرق و شمال غرب مقدار کمتری (۳ تا ۶) را تجربه نمودند. اما در آینده تحت سناریوی RCP4.5 از بزرگی خشکسالی از نیمه شمالی کاسته شده و وارد بخش‌های جنوبی کشور شد و از طرفی در این سناریو در آینده، از مقدار بزرگی خشکسالی نیز کاسته گردید. اما در سناریوی RCP8.5 بروسعت بخش‌های جنوبی اضافه شده و نیمه جنوبی کشور درگیر بزرگی‌های ۱۶-۱۸ و بخش‌های شمالی بجز مازندران و شمال غرب، سایر مناطق تحت بزرگی ۶ تا ۱۵ قرار خواهند گرفت. لذا در سناریوی دوم، ایران متحمل

مقدارهای بزرگی بسیار بالایی در آینده خواهد شد. طبق نتایج محققین (۶)، این مناطق در آینده با افزایش تعداد روزهای خشک و کاهش تعداد روزهای بارانی همراه هستند. بیشینه اوج خشکسالی مشاهده شده مربوط به هر ایستگاه در دوره تاریخی آینده در شکل ۶ (د) نشان داده شده است. در بیشتر ایستگاه‌های همدیدی ایران در دوره آینده براساس سناریو RCP4.5 و RCP8.5 اوج خشکسالی نسبت به دوره تاریخی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. همدان، بیرجند، خوی، بندرعباس و حتی شهرهای شمالی مقدارهای بالایی از اوج را در دوره تاریخی تجربه نموده‌اند، عموم این اوج‌ها از سال ۲۰۰۰ به

ایستگاه همدیدی کشور ایران در دو دوره تاریخی (۲۰۰۵ - ۱۹۶۶) و آینده (۲۰۵۰ - ۲۰۱۶) انجام شد.

با توجه به نقشه‌های مکانی روند تغییرات در دوره تاریخی و آینده نتایج نشان داد بیشترین روند منفی بارش در دوره تاریخی در بخش‌هایی از شمال، شمال‌غرب و غرب کشور رخ داده است به طوری که در دوره آینده تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 این روند منفی وارد بخش‌های جنوبی و مرکزی کشور گردید. نتایج تحلیل روند طی دوره تاریخی و آینده حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار در مشخصه‌های خشکسالی در عموم نقاط ایران است، اما با توجه به رفتار افزایشی روند مشخصه‌ها در مقدارهای بیشینه در برخی نقاط به‌ویژه در شمال شرقی، جنوب شرق و شمال‌غرب، می‌توان گفت، استان‌های هرمزگان و استان سیستان و بلوچستان، استان خراسان رضوی، گلستان و آذربایجان شرقی و غربی بیشترین آسیب‌پذیری را از تغییر اقلیم خواهند داشت. لذا خطر خشکسالی در این مناطق زیاده‌ترست و ضروری است برای مدیریت منابع طبیعی، آب و کشاورزی برنامه‌ریزی جدی صورت پذیرد. در پایان پیشنهاد می‌شود، مشخصه‌های خشکسالی با دیگر شاخص‌های دو و چندمتغیره همچون SPEI و JDI نیز محاسبه و تأثیر تغییر اقلیم بر آن ارزیابی و با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شود.

بعد رخ داده است. حال آنکه در دو دوره آینده، به مقدار قابل ملاحظه‌ای، اوج خشکسالی کاهش یافت.

از نظر تحلیل روند اوج خشکسالی نیز در دوره تاریخی، در بخش‌هایی از جنوب‌غرب کشور روند منفی و در بخش‌های مرکزی مثل کرمان اوج خشکسالی رو به افزایش بود. اما در دوره آینده در دو سناریو، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در روند اوج خشکسالی در ایران مشاهده نشد (شکل ۵۷).

مقدارهای اوج خشکسالی با قدر مطلق حداقل SPI-12 مشخص گردید. مقدارهای اوج دوره تاریخی نسبت به آینده با سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 تفاوت محسوسی را نشان داد. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی بیشینه اوج خشکسالی (شکل ۵۸) در دوره تاریخی تنها بخشی از غرب کشور دارای بیشینه اوج ۶ بودند اما در آینده تحت دو سناریوی مورد بررسی، این بیشینه اوج بخش‌های مرکزی، شمال‌شرق، جنوب و جنوب‌شرق کشور را فرا خواهد گرفت و این مناطق ایران اوج بالایی را تجربه خواهند کرد. نتایج محققان (۷) در بررسی روند خشکسالی در این مناطق حاکی از افزایش دما و کاهش بارش است.

■ بحث و نتیجه‌گیری

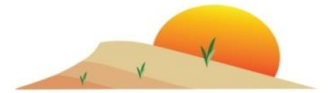
پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مشخصه‌های خشکسالی هواشناسی تحت تأثیر تغییر اقلیم در ۳۹

■ References

1. Abbas, A. S. & Abdulateef, T. M. (2020). Generation of rainfall for Mosul city using statistical downscaling method (SDSM). *Materials and Engineering*, 737(1), 1-8.
2. Aksoy, H., Onaz, B., Cetin, M., Yuces, M. I., Eris, E., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. I., Esit, M., Orta, S. & Cavus, Y. (2018). SPI –based drought Severity –Duration –Frequency Analysis. Journal In Proceedings of the 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, Izmir, Turkey, 12-14.
3. Alvankar, S. R., Nazari, F. & Fattahi, E., (2016). The Intensity and Return Periods of Drought under Future Climate Change Scenarios in Iran. *Spatial analysis environmental hazards*, 3(2), 99-120. (in Farsi)
4. Bahri, M., Dastorani, M. T. & Goodarzi, M. (2015). Assessment of future drought under climate change status, case study: Eskandari basin, Isfahan Province. *Watershed engineering management*, 7(2), 157-171. (in Farsi)
5. Bazrafshan, O., Zamani, H. & Shekari, M. (2020). A copula –based index for drought analysis in arid and

- semi -arid regions of Iran. *Natural Resource Modeling*, 33(1), 17-32.
6. Bazrafshan, O., Mahmudzadeh, F. & Bazrafshan, J. (2016). Evaluation of temporal trends of the drought indices SPI and SPEI in the Southern Coast of Iran. *Desert management*, 4(8), 54 -69. (in Farsi)
 7. Doulabian, Sh. Golian, S., Shadmehri Toosi, A. H. & Murphy, C. (2020). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Water and climate change*, 12(1), 105-129.
 8. Fallah Ghalhari, Gh. A., Yousefi, H, Hosseinzadeh, A., Alimardani, M. R. & Reyhani, E. (2019). Assessment of Climate Change in Bojnourd Station in 2016 -2050 using Downscaling Model LARS WG and SDSM. *Ecohydrology*, 6(1), 99 -109. (in Farsi)
 9. Ghebregabher, M. G., Yang, T. & Yang, X. (2016). Long -Term Trend of Climate Change and Drought Assessment in the Horn of Africa. *Advance in Meteorology*, 10(4), 1-14.
 10. Jamshidi, H., Khalili, D., Rezaeian Zaddeh, M. & Hosseinipour, E. Z. (2011). Assessment and comparison of SPI and RDI meteorological drought indices selected synoptic stations of Iran. *World Environmental and Water Resources Congress*, 1161 -1173.
 11. Kazemzadeh, M. & Akbari, J. (2020). Spatial resolution analysis of TRMM satellite images to estimate meteorological drought index, case study: Iran. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 903 -916. (in Farsi)
 12. Kousari, M. R., Ekhtesasi, M. R. & Malekinezhad, H. (2017). Investigation of long term drought trend in semi -arid, arid and hyper -arid regions of the world. *Desert Management*, 4(8), 36 -53. (in Farsi)
 13. Kwak, J., Kim, S., Jung, J., Singh, V.P., Lee, D.R. & Kim, H.S. (2016). Assessment of meteorological drought in Korea under climate change. *Advances in Meteorology*, 9(4), 1-15.
 14. Leng, G., Tang, Q. & Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Global and Planetary Change*, 126 (4), 23 -34.
 15. Marcos -Garcia, P., Lopez -Nicolas, A. & Pulido -Velazquez, M. (2017). Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin. *Hydrology*, 554(11), 292 -305.
 16. Marini, G., Fontana, N. & Mishra, A. (2018). Investigating drought in Apulia region, Italy using SPI and RDI. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(1-2), 383 -397.
 17. Naderi, S., Goodarzi, M. & Ghadami Dehno, M. (2018). Effects of Climate Change on Climate Parameters in Seymare Basin. *Watershed Management Science and Engineering*, 11(39), 69 -76. (in Farsi)
 18. Naz, F., Dars, G. H., Ansari, K., Jamro, Sh. & Krakaure, N. Y. (2020). Drought trends in Balochistan. *Water*, 12(2), 1 -16.
 19. Node Farahani, M. A., Rasekhi, A., Parmas, B. & Keshvari, A. (2018). The effects of climate change on temperature, precipitation and drought in upcoming period in shadeگان basin. *Iran -Water Resources Research*, 14(3), 160 -173. (in Farsi)
 20. Samantaray, A. K., Ramadas, M. & Panda, R. K., (2020). Assessment of Impacts of potential climate change on meteorological drought characteristics at regional scales. *Climatology*, 41(3), 319-341.
 21. Sharafati, A., Nabaei, S. & Shahid, S. (2020). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *Climatology*, 40(3), 1864 -1884.

22. Sharma, A. & Goyal, M. K. (2020). Assessment of drought trend and variability in India using wavelet transform. *Hydrological Sciences*, 65(9), 1 -16.
23. Yao, N., Li, L., Feng, P., Feng, H., Liu, D. L., Liu, Y., Jiang, K., Hu, X. & Li, Y. (2019). Projections of drought characteristics in China based on a standardized precipitation and evapotranspiration index and multiple GCMs. *Science of the Total Environment*, 704(2), 2 -53.
24. Zarei, A., Asadi, E., Ebrahimi, A., Jafari, M. & Malekian, A. (2019). Study of temperature and precipitation change under climate change scenarios in rangeland of Chahar Mahal-va-Bakhtiyari. *Rangeland*, 12(4), 426-436. (in Farsi)



Spatio-Temporal Variability of Characteristics of Meteorological Drought in Iran under Climate Change Scenarios

E. Mozafari¹, O. Bazrafshan^{2*}, N. Moradi³

1. MSc of Watershed Management, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran,
 2. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
 3. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources and Agriculture, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
- * Corresponding Author: O.bazrafshan@hormozgan.ac.ir

Received date: 26/11/2020

Accepted date: 25/02/2021

Abstract

Climate change affects severity and duration of drought, peak, magnitude, and frequency of the events in the coming decades. Iran is one of the countries that have suffered the most from drought. Therefore, drought monitoring and forecasting is crucial for drought mitigation and preparedness strategies in future. This study was conducted to evaluate the status of drought characteristics of severity, duration, magnitude, and peak in historical period from 1966 to 2015 and future from 2016 to 2050 for 39 synoptic stations in Iran using Standardized Precipitation Index (SPI). Also, for future simulation, the output of the general circulation model of CanESM2 based on two scenarios RCP4.5 and RCP8.5 and the statistical downscaling method of SDSM were used. Results showed that the trend of severity, duration, magnitude, and peak have no any significant trend. The SPI zoning map shows an increase in the historical period but will decrease in the future period under two scenarios. The results of the trend analysis of the severity, duration, and magnitude and peak drought showed that there is no significant trend in the historical and future in Iran. However, most of these characteristics are increasing in the northern, northeastern, western, and southern parts of Iran. Finally, the southern parts of Iran including Hormozgan and Sistan and Baluchestan provinces, the northeastern and western parts of Khorasan Razavi, Golestan, and Azerbaijan provinces will be most vulnerable to climate change. Therefore, the risk of drought in these regions is high and it is necessary to seriously plan for the management of natural resources, and agriculture.

Keywords: Down Scaling; Standardized Precipitation Index; Trend Analysis