

کلید واژه‌ها: *CanESM2*، خشکسالی هواشناسی، *SPI*، *SPEI*

مقدمه

تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی و تأثیرات اقتصادی اجتماعی آن، از نگرانی‌های اصلی بشر است. شدت، تداوم و گسترش مکانی تأثیرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و حتی محلی بسیار متغیر می‌باشد. به طوری که تأثیرات سریع تغییر اقلیم توسط تغییرات تدریجی دما و بارندگی قابل مشاهده نیست بلکه این تأثیرات در قالب وقایع حدی همانند خشکسالی نمایان می‌شوند [۸، ۲۰، ۲۱، ۲۸، ۳۰]. بنابراین درک تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی وقایع حدی همانند خشکسالی مسئله مهم در مدیریت مناسب منابع آب می‌باشد. خشکسالی در نتیجه وجود نوسانات آب و هوایی شدید در مقیاس‌های زمانی مختلف حاصل می‌شود که بایستی در مقایسه با شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی متوسط در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد. طبق گزارشات اخیر هیت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه فراوانی و شدت وقایع خشکسالی در برخی نقاط جهان بدلیل پدیده تغییر اقلیم و افزایش دمای کره زمین در حال افزایش است [۱، ۱۴].

تعیین مشخصه‌های خشکسالی بصورت عینی بسیار مشکل است از این رو شاخص‌های خشکسالی برای ارزیابی ارائه شده‌اند. با توجه به تعاریفی که برای خشکسالی وجود دارد معرفی یک شاخص واحد و جهانی برای آن بسیار مشکل است [۱۰]. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده (SPEI⁸) از پرکاربردترین شاخص‌ها برای تحلیل شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی می‌باشند [۲۶]. شاخص SPI بدلیل این که تنها از پارامتر بارندگی برای استخراج دوره‌های خشکسالی و ترسالی استفاده می‌کند نسبت به دیگر شاخص‌ها قابل دسترس تر می‌باشد [۳]. شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف بیانگر انواع خشکسالی می‌باشد. مقیاس زمانی کوتاه مدت مربوط به رطوبت خاک که بیانگر خشکسالی کشاورزی می‌باشد، مقیاس زمانی متوسط خشکسالی هیدرولوژیکی و بلند مدت خشکسالی آب زیرزمینی را توصیف می‌کند [۷]. شاخص SPEI علاوه بر بارندگی از پارامتر دما

بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در حال و آینده با استفاده از مدل سری CMIP5 تحت سناریوهای RCP

طیبه مصباح‌زاده^۱، مریم میراکبری^۲، محسن محسنی ساروی^۳،

حسن خسروی^۴ و قاسم مرتضایی فریزه‌ندی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۸

چکیده

کاهش یا افزایش پارامترهای اقلیمی همچون دما و بارندگی در نتیجه فرایند تغییر اقلیم، سبب ایجاد انواع خشکسالی می‌گردد. در این مطالعه به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی خشکسالی هواشناسی در استان یزد پرداخته شده است بدین منظور سری‌های زمانی خشکسالی در دو دوره تاریخی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) و آینده (۲۰۱۷-۲۱۰۰) توسط دو شاخص *SPI* و *SPEI* تعیین شدند. داده‌های تاریخی حاصل از ایستگاه سینوپتیک یزد و داده‌های آینده توسط مدل *CanESM2* تحت سناریوهای *RCP* تولید شدند. مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی طبق تئوری ران جهت مقایسه و بررسی روند تغییرات خشکسالی آینده استخراج شدند. نتایج حاصل نشان داد طبق شاخص *SPI* منطقه مطالعاتی در آینده تحت سه سناریو *RCP* خشکسالی‌های شدیدتری را نسبت به دوره تاریخی مشاهده می‌کند در حالی که براساس شاخص *SPEI* تحت سناریوهای *RCP2.6* و *RCP4.5* مشخصه‌های خشکسالی در آینده نسبت به دوره تاریخی کاهش می‌یابد و براساس سناریو *RCP8.5* شدت و مدت خشکسالی روند افزایشی خواهد داشت. هم‌چنین براساس نمودارهای شدت - فراوانی و مدت - فراوانی، با افزایش دوره بازگشت، شدت و مدت خشکسالی نیز افزایش می‌یابد. به طوری که خشکسالی‌های طولانی‌تر با شدت و دوره بازگشت بالاتری نسبت به خشکسالی‌های کوتاه‌تر اتفاق می‌افتد.

۱- نویسنده مسئول و استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: tmesbah@ut.ac.ir

۲- دانش آموزخته دکتری بیابانزادی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۴- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۵- دانشیار پژوهشکده مطالعات توسعه سازمان جهاد دانشگاهی تهران، مامور در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

6- Intergovernmental Panel on Climate Change

7- Standardized Precipitation Index

8- Standardized Precipitation- Evapotranspiration Index

۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ می‌باشد. مطالعاتی که تاکنون در منطقه مطالعاتی در رابطه با تغییر اقلیم صورت گرفته از مدل‌های گزارش چهارم ارزیابی تغییر اقلیم استفاده شده است در حالی که براساس آخرین گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم مدل‌های گزارش پنجم برای ارزیابی وضعیت اقلیم در آینده و پیامدهای ناشی از آن همانند خشکسالی در دسترس هستند [۱۳]. به‌عنوان نمونه استیج و همکاران [۲۲] خشکسالی هواشناسی را با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم با تفکیک مکانی ۰/۱۱ درجه تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در اروپا و براساس شاخص SPI تحلیل کردند. نتایج حاصل پیش‌بینی مدل‌های تغییر اقلیم نشان داد منطقه مطالعاتی در شمال و مرکز اروپا در آینده بارندگی بیشتری را تجربه می‌کند و خشکسالی هواشناسی روند کاهشی خواهد داشت. مطالعه دیگری توسط حسین‌زاده و همکاران [۱۱] شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی را توسط شاخص SPI در حال و آینده با استفاده از مدل گردش عمومی جو در حوزه دزفول، یکی از بزرگترین حوزه‌های کشاورزی در ایران مقایسه کردند. در این مطالعه از سناریوهای GISS AB1 (گرم‌تر و خشک‌تر)، CSIROMK3.5 B1 (سردتر و مرطوبتر)، INGV-SXG A1B (شرایط میانه)، ECHO-G A2 (گرم‌تر و مرطوبتر) و ECHAM5 B1 (سردتر و مرطوبتر) برای پیش‌بینی تغییرات بارندگی و بررسی روند خشکسالی در آینده استفاده کردند و خروجی‌های مدل گردش عمومی جو توسط شبکه عصبی مصنوعی برای منطقه مطالعاتی ریزمقیاس شد. نتایج این تحقیق نشان داد مدت خشکسالی‌های شدید روند افزایشی داشته در حالی که مدت خشکسالی‌های متوسط برطبق تمام سناریوها روند کاهشی دارد. لوکاس و همکاران [۱۶] تأثیرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی هواشناسی در منطقه‌ای در یونان بررسی کردند. در این مطالعه شاخص SPI جهت تخمین شدت خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم بکار برده شد. سری‌های زمانی بارندگی برای تخمین شدت خشکسالی توسط شاخص SPI تحت سناریوهای A2 و B2 مدل گردش عمومی جو برای دو دوره آینده ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شدند و درنهایت سری‌های خشکسالی در دوره تاریخی و دو دوره آینده توسط نمودار فراوانی-شدت مقایسه شدند. نتایج این مقایسه نشان داد شدت خشکسالی سالانه در تمام منطقه افزایش یافته که این افزایش براساس سناریو A2 شدت بیشتری داشته است. لی و همکاران [۱۵] تأثیر تغییر اقلیم بر مشخصه‌های خشکسالی را توسط سری‌های زمانی SPI و SPEI در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۱۰۰ با استفاده از مدل HadGEM2 AO از سری مدل‌های CMIP5 در دشت وانگا کره شمالی بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد احتمالاً خشکسالی‌های شدیدتری در منطقه تحت شرایط تغییر اقلیم رخ خواهد داد. تیلکراتن و سیدهار [۲۵] تغییرات آینده خشکسالی هواشناسی در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۵۷) و آینده دور (۲۰۵۸-۲۰۹۹) بر اساس شاخص SPI و ۱۵ مدل گردش عمومی جو حاصل از گزارش پنجم تغییر

برای استخراج دوره‌های خشکسالی استفاده می‌کند. به همین دلیل توسط این شاخص آثار خشکسالی ناشی از افزایش دمای پیش‌بینی شده توسط مدل‌های تغییر اقلیم به خوبی قابل تشخیص است [۶]. لذا شاخص SPEI برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم ناشی از افزایش دمای کره زمین مناسب می‌باشد. وضعیت اقلیم آینده توسط مدل‌های گردش عمومی جو براساس گزارش پنجم ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود. گزارش ارزیابی پنجم آخرین نسخه مدل‌های تغییر اقلیم است که تا سال ۲۰۱۴ توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم تکمیل شد [۱۳]. این مدل‌ها از سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP^۱) استفاده می‌کنند [۱۹]. مدل‌های گردش عمومی جو شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در محدوده مطالعاتی کاملاً متفاوت باشد. لذا کاربرد این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی به دلیل بالا بودن تفکیک مکانی باعث می‌شود خروجی مدل برای بررسی تأثیرات زیست محیطی تغییر اقلیم قابل استفاده نباشد [۹]. مهمترین و مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس محلی/ منطقه‌ای و مقیاس مدل گردش عمومی جو ریزمقیاس‌نمایی می‌باشد. روش‌های متعددی برای ریزمقیاس‌نمایی ارائه شده است که عدم هماهنگی بین مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای را در نظر می‌گیرند. بطور کلی دو روش آماری و دینامیکی برای این منظور ارائه شده است. در روش آماری ریزمقیاس‌نمایی، ارتباط تجربی/ آماری بین متغیرهای بزرگ مقیاس و محلی برقرار می‌شود. با استفاده از روش‌های آماری متغیرهای اقلیمی در مقیاس جهانی همانند میانگین فشار سطح دریا، باد ناحیه‌ای، دما، ارتفاع ژئوپتانسیل و ... با متغیرهای مقیاس محلی/ منطقه‌ای جفت می‌شوند [۲۷]. اساس روش‌های آماری برپایه روابط رگرسیونی می‌باشد. از بین روش‌های آماری ریزمقیاس‌نمایی، SDSM^۲ تا کنون بطور گسترده‌ای جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی، در سرتاسر جهان استفاده شده است [۱۲].

تحقیقات اندکی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی خشکسالی هواشناسی در استان یزد پرداخته‌اند. از میان تحقیقات صورت گرفته، تنها دستورانی و همکاران [۵] تأثیر تغییر اقلیم را بر خشکسالی هواشناسی توسط دو شاخص SPI و RDI براساس مدل HadCM3 حاصل از گزارش ارزیابی چهارم در استان یزد بررسی کردند. در این مطالعه داده‌های بارندگی، دمای حداکثر و حداقل توسط مدل HadCM3 و سناریوهای A2 و B2 برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ پیش‌بینی شدند و وضعیت خشکسالی هواشناسی در دوره حال و آینده توسط دو شاخص RDI و SPI مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد برطبق سناریو A2 خشکسالی دارای روند افزایشی و سناریو B2 دارای روند کاهشی نسبت به دوره پایه

1- Representative Concentration Pathway

2- Statistical Downscaling Model

ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی و دما توسط SDSM

در این مطالعه جهت تولید داده‌های بارندگی و دمای متوسط برای دوره آینده از مدل CanESM2 با ریزمقیاس‌نمایی توسط روش SDSM استفاده شده است. CanESM2¹ نسل دوم مدل کانادایی سیستم زمین است که توسط CCCma² ارائه شده است. این مدل دارای سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد. ریزمقیاس‌نمایی توسط روش SDSM جهت ایجاد رابطه کمی بین متغیرهای بزرگ مقیاس/مدل گردش عمومی جو و متغیرهای مشاهداتی کوچک مقیاس (محلی/ منطقه‌ای) صورت می‌گیرد [۲۹]. این روش دارای چهار بخش اصلی می‌باشد که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP³، واسنجی مدل، صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای گزارش پنجم برای دوره آینده می‌باشد.

محاسبه شاخص SPI

SPI براساس مقادیر کمبود بارندگی ماهانه نسبت به مقدار میانگین بلند مدت آن برای شناسایی و ارزیابی وقایع خشکسالی در مقیاس‌های زمانی چندگانه محاسبه می‌شود [۲۳]. جهت محاسبه این شاخص تابع توزیع گاما به سری‌های زمانی بارندگی ماهانه برازش داده شد و با تبدیل مقادیر احتمال تجمعی بارندگی به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ مقادیر SPI حاصل می‌شود (رابطه ۱ و ۲). تابع توزیع گاما به‌عنوان تابعی مناسب برای برازش به داده‌های بارندگی می‌باشد [۲، ۲۲، ۳۱].

$$Z = SPI = - \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (1)$$

$$Z = SPI = + \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (2)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2} \right)} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (4)$$

در این روابط $H(x) = q + (1-q)G(x)$ است که q احتمال صفر بودن بارندگی و G مقدار احتمال تجمعی تابع گاما می‌باشد که به مقادیر تجمعی بارندگی برازش داده شده است. همچنین ثابت‌های معادله $C_0 = 2.515517$ ، $C_1 = 0.802853$ ، $C_2 = 0.010328$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_2 = 0.18929$ ، $d_3 = 0.001308$ می‌باشند.

محاسبه شاخص SEPI

براساس شاخص SPI بارندگی تنها پارامتر تأثیرگذار بر خشکسالی هواشناسی می‌باشد. SPI با این فرض که تغییرپذیری در مقدار بارندگی نسبت به دیگر پارامترهای اقلیمی بیشتر است،

اقلیم در حوزه رودخانه میکانگ بررسی کردند. با توجه به این‌که خشکسالی یک پدیده تصادفی چند متغیره می‌باشد در این مطالعه در کنار تحلیل تک متغیره، تحلیل دومتغیره برای مقایسه خشکسالی در دوره تاریخی (۱۹۶۴-۲۰۰۵) و آینده انجام شد. نتایج نشان داد طبق تمام سناریوهای مدل‌های گردش عمومی جو منطقه مطالعاتی خشکسالی‌های شدیدتری را در آینده تجربه خواهد کرد. همچنین تحلیل چندمتغیره، افزایش خطر خشکسالی را در آینده نشان می‌دهد. ارزیابی وضعیت خشکسالی آینده در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب لازم و ضروری است [۱۸]. در این مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی هواشناسی توسط مدل CanESM2 از سری مدل‌های CMIP5 در استان یزد بررسی می‌شود. مطالعات اندکی بر روی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی هواشناسی در منطقه مطالعاتی صورت گرفته و تمام مطالعات از داده‌های گزارش چهارم جهت بررسی روند تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن استفاده شده است. لذا در این مطالعه جهت کاهش عدم قطعیت مدل‌سازی تغییر اقلیم از داده‌های گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم برای پیش‌بینی تغییرات خشکسالی هواشناسی استفاده شده است. بدلیل بزرگ مقیاس بودن خروجی مدل گردش عمومی جو از روش آماری SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی و دمای متوسط استفاده شد. دوره‌های خشکسالی توسط SPI و SPEI به‌عنوان پرکاربردترین شاخص‌های تحلیل خشکسالی هواشناسی در دوره تاریخی (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵) و آینده (۲۰۱۷ تا ۲۱۰۰) استخراج شدند. با استفاده از تئوری ران مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده محاسبه، و میزان افزایش دوره‌های خشک نسبت به دوره حال بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان یزد با مساحت ۱۳۱۵۷۵ کیلومتر مربع در مرکز ایران و در حاشیه دشت کویر و بیابان لوت از یک سو و کوه‌های نائین و زاگرس از سوی دیگر قرار دارد. متوسط بارندگی در این منطقه در دوره آماری ۶۳ ساله ۵۷ میلی‌متر، متوسط دمای میانگین ۱۹/۵۸ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای بیشینه در گرمترین ماه سال ۴۵/۶ درجه، حداقل دمای کمینه در سردترین ماه سال ۱۶- درجه سانتی‌گراد و حداکثر سرعت باد تا ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت می‌باشد. رطوبت نسبی سالانه بطور متوسط ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد که حداکثر مقدار آن در فصل زمستان در ماه دی و حداقل آن در فصل تابستان در مرداد می‌باشد. همچنین میزان تبخیر در محدوده مطالعاتی بطور متوسط ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ میلی‌متر بوده که در مقایسه با بارندگی مقدار بالایی می‌باشد. بالاتر بودن میزان تبخیر نسبت به بارندگی باعث شده منطقه مطالعاتی در گروه مناطق خشک و با آب و هوای گرم و بیابانی طبقه‌بندی شود. بدلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص، محدوده مطالعاتی تحت تأثیر خشکسالی‌های طولانی مدت و شدید

1- Canadian Earth System Model(second generation)

2- Canadian Center for Climate Modeling and Analysis

3- National Center for environmental Prediction

ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 توسط روش SDSM

با توجه به این‌که مدل‌سازی توسط مدل تغییر اقلیم نیاز به دوره آماری بلند مدت دارد و هم‌چنین برای محاسبه SPI به دوره آماری حداقل ۳۰ سال نیاز است [۲۴]، تنها ایستگاه سینوپتیک یزد (۱۹۶۱-۲۰۱۶) در استان دارای دوره آماری قابل قبول برای ورود به مدل SDSM است. بعد از بررسی و کنترل کیفیت داده‌های مشاهداتی، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP که دارای بیشترین همبستگی با هریک از داده‌های مشاهداتی هستند، انتخاب شدند. مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل براساس متغیرهای NCEP برای دوره مشاهداتی صورت گرفت و در نهایت داده‌های مدل بزرگ مقیاس CanESM2 تحت سناریوهای RCP توسط روش SDSM برای داده‌های بارندگی و دمای متوسط در دوره آینده (۲۰۱۷-۲۱۰۰) ریزمقیاس‌نمایی شدند. جهت بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره آینده نسبت به دوره پایه آزمون روند من-کندال برای سری‌های حاصل از مدل CanESM2 و مشاهداتی انجام شد (جدول ۱). براساس نتایج آزمون من-کندال داده‌های بارندگی مشاهداتی و مدل‌سازی شده تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری نمی‌باشند. در حالی‌که داده‌های تولید شده توسط سناریو RCP4.5 روند معنی‌دار کاهشی را نشان می‌دهد. نتایج آزمون من-کندال دمای متوسط نشان داد سری‌های مدل‌سازی شده توسط سناریوهای RCP و هم‌چنین داده‌های مشاهداتی از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار هستند. هم‌چنین درصد تغییرات میانگین سالانه سری‌های مدل‌سازی شده تحت سناریوهای RCP نسبت به مقادیر مشاهداتی نشان داد میانگین بارندگی طبق سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۶۹ و ۶۲/۲۸ میلی‌متر خواهد بود که نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۹/۱۸ و ۱۷/۲ درصد افزایش دارد. میانگین بارندگی براساس سناریو RCP4.5 ۵۸/۳۹ میلی‌متر بوده که نسبت به دوره مشاهداتی ۰/۸۱ درصد کاهش خواهد داشت. میانگین سالانه دمای متوسط طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۲۰/۵۹، ۲۱/۰۳، ۲۲/۱۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود که نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۴/۵، ۶/۷ و ۱۲/۸ درصد افزایش دارد.

جدول ۱- نتایج آزمون روند من-کندال داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده تحت سناریوهای RCP

Table 1. Results of Mann- Kendall trend test of observed and modeled under RCP scenario

P-value	آماره Z	پارامتر اقلیمی
	Z value	Climatic Parameter
0.37	0.32	بارندگی
0.42	0.19	RCP2.6
0.02	-1.92	RCP4.5
0.83	0.21	RCP8.5

خشکسالی را محاسبه می‌کند. در حالی‌که با اثبات پدیده تغییر اقلیم توسط محققان [۱۳] افزایش دما تأثیر بسزایی در چرخه آبی کره زمین و وقوع دوره‌های خشک دارد. شاخص SPEI [۲۶] علاوه بر بارندگی از پارامتر دمای متوسط نیز برای تعیین وضعیت خشکسالی استفاده می‌کند. SPEI همانند SPI بر اساس احتمال عدم تجاوز بیلان آبی اقلیم که از اختلاف بین بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل (D=P-PET) نتیجه می‌شود، در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه خواهد شد (رابطه ۵). در این شاخص تبخیر-تعرق از رابطه تورنت وایت محاسبه خواهد شد.

$$SPEI = \left[w - \frac{C_0 + C_1t + C_2t^2}{1 + d_1t + d_2t^2 + d_3t^3} \right] \quad (5)$$

در این رابطه $t = (-\ln(P))^{0.5}$ و $P <= 0.5$ احتمال بیشتر شدن مقادیر تعیین شده D است. مقادیر ثابت نیز همانند رابطه SPI خواهد بود. تمام محاسبات مربوط به شاخص‌ها با کدنویسی در محیط برنامه متلب صورت گرفته است.

ارزیابی مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی توسط تئوری ران

یک واقعه خشکسالی براساس شاخص‌های SPI و SPEI به‌عنوان دوره‌ای که مقادیر شاخص‌ها بطور پیوسته منفی و مقدار آن به ۱- یا کمتر برسد، تعریف می‌شود و توسط مشخصه‌های شدت و مدت توصیف می‌شود. تئوری ران یک روش احتمالاتی است [۳۲] که جهت استخراج مشخصه‌های خشکسالی براساس SPI و SPEI استفاده می‌شود. این روش بطور گسترده در مطالعات خشکسالی برای تعیین مشخصه‌های آن بکار برده می‌شود که اساس آن تعیین یک سطح آستانه جهت محاسبه شدت و مدت خشکسالی می‌باشد. براساس تئوری ران شدت خشکسالی برابر با مجموع مقادیر SPI/SPEI که زیر سطح آستانه قرار می‌گیرد، و طول زمانی که مقدار SPI/SPEI بطور پیوسته زیر سطح آستانه قرار گیرد مدت خشکسالی تعریف می‌شود.

نمودارهای شدت- فراوانی و مدت- فراوانی سری‌های زمانی SPI و SPEI

جهت بررسی تغییرات خشکسالی در دوره تاریخی و آینده از نمودارهای شدت- فراوانی و مدت- فراوانی براساس دوره بازگشت تک متغیره استفاده شد. بدین منظور دوره بازگشت خشکسالی طبق رابطه (۶) براساس میانگین فاصله زمانی بین وقایع خشکسالی (E(L)) و تابع توزیع تجمعی مقادیر شدت و مدت خشکسالی (F_X(x)) حاصل می‌شود. دوره بازگشت، متوسط فاصله زمانی بین وقوع یک پدیده است، که چندین بار در طول زمان تکرار می‌شود و برای توصیف شدت و فراوانی خشکسالی کاربرد دارد [۱۷]. براین اساس متوسط فاصله زمانی بین وقایع خشکسالی بدین صورت تعریف می‌شود: E(L) = N/n در صورتی‌که N طول زمان یک واقعه، n تعداد وقایع باشد.

$$T_x = \frac{E(L)}{1 - F_x(x)} \quad F_x(x) \Pr[X \geq x] \quad (6)$$

یک ماهه ۵۴ درصد و در مقیاس شش ماهه ۴۲ درصد و ۱۲ ماهه ۱۵ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش داشته است. لازم به ذکر است که با افزایش مقیاس زمانی محاسبه SPI و SPEI میزان اختلاف بین داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده کمتر می‌شود.

مشاهداتی	0.005	4.64	Historical/	دمای متوسط
RCP2.6 <td>0.004 <td>2.6 <td></td> <td>Temperature</td> </td></td>	0.004 <td>2.6 <td></td> <td>Temperature</td> </td>	2.6 <td></td> <td>Temperature</td>		Temperature
RCP4.5 <td>0.006 <td>9.5 <td></td> <td></td> </td></td>	0.006 <td>9.5 <td></td> <td></td> </td>	9.5 <td></td> <td></td>		
RCP8.5 <td>0.002 <td>11.86 <td></td> <td></td> </td></td>	0.002 <td>11.86 <td></td> <td></td> </td>	11.86 <td></td> <td></td>		

محاسبه سری‌های زمانی SPI و SPEI در دوره تاریخی و آینده

سری‌های زمانی SPI و SPEI در سه مقیاس ۱، ۶ و ۱۲ ماهه برای دوره تاریخی و آینده محاسبه شدند. مشخصه‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی طبق تئوری ران با انتخاب سطح آستانه برای سری‌های زمانی SPI و SPEI در مقیاس ۱، ۶ و ۱۲ ماهه بدست آمد. مقادیر منفی SPI بیانگر دوره‌ای است که بارندگی ماهانه از میانگین طولانی مدت آن کمتر و SPI مثبت، بارندگی ماهانه بیشتر از میانگین طولانی می‌باشد. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی در دوره تاریخی طبق شاخص SPI در مقیاس ۱ ماهه دارای شدت ۰/۸۵- و مدت هشت ماه می‌باشد. با افزایش مقیاس زمانی SPI شدت و مدت خشکسالی افزایش یافته به طوری که براساس SPI6 شدیدترین خشکسالی دارای شدت ۱۵/۰۶- و مدت ۱۴ ماه و طبق SPI12 دارای شدت ۳۰/۶- و مدت ۳۸ ماه می‌باشد. بنابراین با افزایش مقیاس زمانی SPI فراوانی دوره‌های خشک کاهش می‌یابد که این کاهش با افزایش شدت و مدت خشکسالی توأم می‌باشد (جدول ۲). مقادیر SPEI نشان داد این شاخص بدلیل در نظر گرفتن دمای متوسط در محاسبه دوره‌های خشک، مشخصه‌های خشکسالی را نسبت به SPI بالاتر نشان می‌دهد. به طوری که بر طبق این شاخص شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۱ ماهه دارای شدت ۱۴/۲۳- و مدت ۱۱ ماه می‌باشد. همچنین شدیدترین خشکسالی در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب دارای شدت ۸۷/۷۶- و ۱۶/۶- و مدت ۵۷ و ۱۱۲ ماه می‌باشد. فراوانی خشکسالی نیز همانند SPI با افزایش مقیاس زمانی کاهش و شدت و مدت افزایش می‌یابد (جدول ۳). براساس شاخص SPI منطقه مطالعاتی خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تری را در آینده طبق هر سه سناریو مدل گردش عمومی جو نسبت به دوره تاریخی تجربه خواهد کرد (جدول ۲). به طوری که شدت خشکسالی‌های تولید شده توسط سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 براساس SPI ۱ ماهه به ترتیب ۷۵، ۷۸ و ۸۱ درصد نسبت به دوره تاریخی افزایش یافته است. این افزایش در مقیاس ۶ ماهه برای تمام سناریوها به ترتیب ۳۶، ۴۱/۴ و ۵۷ درصد و برای مقیاس ۱۲ ماهه به ترتیب ۳۱/۲، ۳۶/۳ و ۵۸/۸ درصد می‌باشد. همان‌طور که مشخص است مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی حاصل از سناریو RCP8.5 نسبت به سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 بالاتر می‌باشد. مشخصه‌های خشکسالی حاصل از شاخص SPEI تولید شده توسط سناریوهای RCP متفاوت از SPI می‌باشد. به طوری که براساس سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 منطقه مطالعاتی خشکسالی‌های با شدت و مدت کمتری را در آینده نسبت به دوره تاریخی تجربه می‌کند در حالی که بر طبق سناریو RCP8.5 خشکسالی‌ها با شدت و مدت بالاتری در منطقه مطالعاتی وقوع می‌یابد. مقادیر SPEI تولید شده توسط سناریو RCP8.5 نشان داد شدت خشکسالی در مقیاس

جدول ۲- مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده براساس SPI

Table 2. Drought characteristics in historical and future based on SPI

ماه Month	مشخصه خشکسالی Drought Characteristics	تاریخی Historical	RCP		
			2.6	4.5	8.5
1	شدت / Severity	-0.85	-3.4	-3.8	-4.5
	مدت / Duration	8	9	10	11
	فراوانی Frequency	77	227	216	214
6	شدت / Severity	-15.06	-23.5	-25.7	-35
	مدت / Duration	14	22	31	30
	فراوانی Frequency	45	85	82	82
12	شدت / Severity	-30.6	-44.4	-48	-74.3
	مدت / Duration	38	42	50	58
	فراوانی Frequency	19	62	39	36

جدول ۳- مشخصه‌های خشکسالی در دوره تاریخی و آینده براساس SEPI

Table 3. Drought characteristics in historical and future based on SEPI

ماه Month	مشخصه خشکسالی Drought Characteristics	تاریخی Historical	RCP		
			2.6	4.5	8.5
1	شدت / Severity	-14.1	-10.5	-17	-30.6
	مدت / Duration	11	11	17	22
	تعداد خشکسالی Frequency	118	242	228	172
6	شدت / Severity	-87.6	-47.9	-41.9	-152
	مدت / Duration	57	33	30	112
	تعداد خشکسالی Frequency	41	86	64	42
12	شدت / Severity	-166.6	-57.9	-102	-197
	مدت / Duration	112	33	99	187
	تعداد خشکسالی Frequency	17	66	31	23

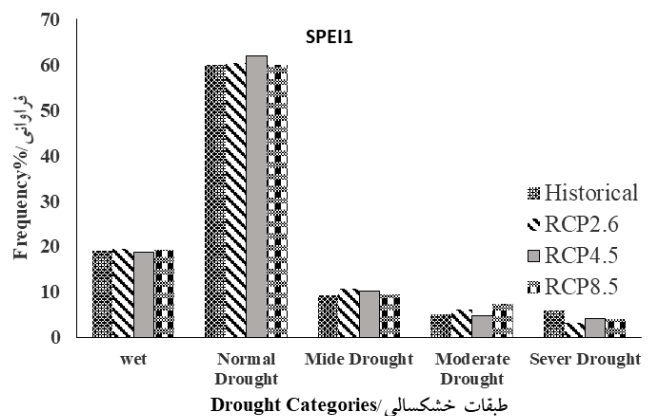
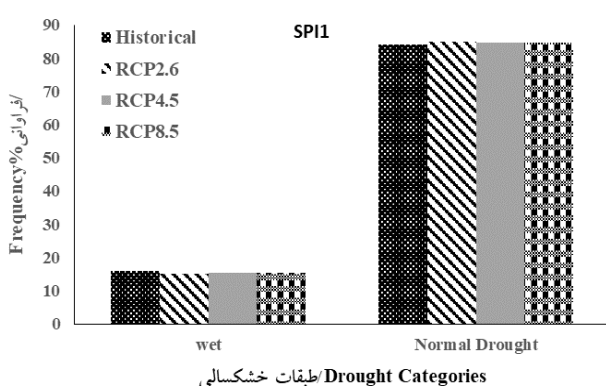
هم‌چنین فراوانی طبقات مختلف خشکسالی برای تمام مقیاس‌های

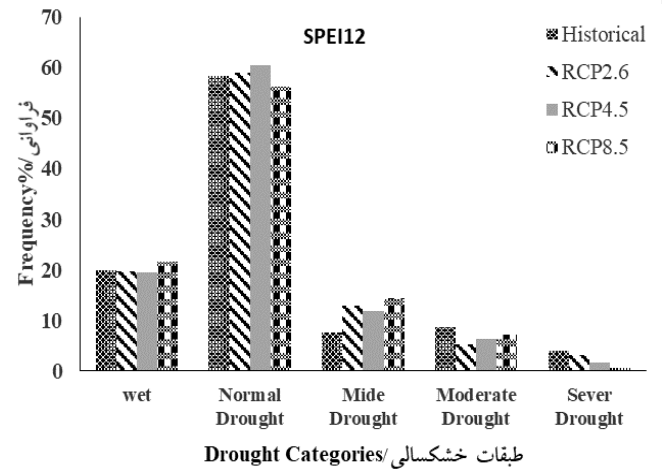
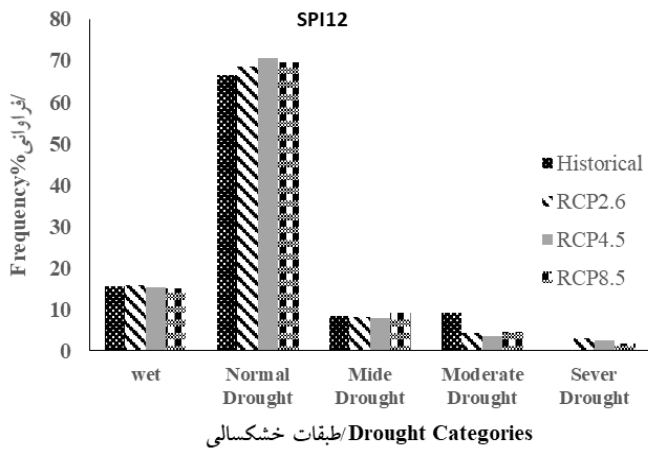
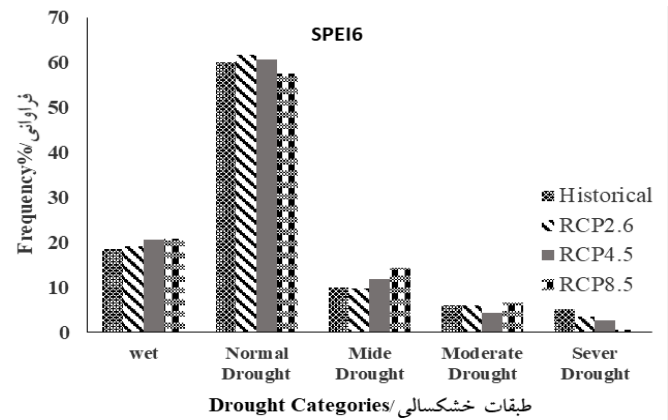
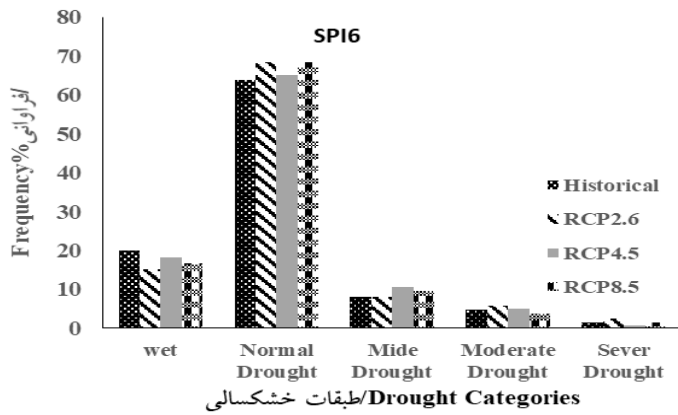
به آینده از فراوانی بالاتری برخوردار می‌باشد (شکل ۱). طبقات خشکسالی براساس SPI6 دارای فراوانی یکسانی در دوره تاریخی و مقادیر تولید شده توسط سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 می‌باشد. فراوانی و تحت سناریو RCP8.5 فراوانی این طبقه کاهش می‌یابد. فراوانی طبقه خشکسالی ملایم در دوره تاریخی و تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 یکسان می‌باشد در حالی که تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 فراوانی این طبقه افزایش می‌یابد. طبقه خشکسالی متوسط در دوره تاریخی و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 از فراوانی یکسانی برخوردار است در حالی که تحت سناریو RCP4.5 کاهش می‌یابد. هم‌چنین خشکسالی شدید تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی کاهش می‌یابد (شکل ۱). فراوانی خشکسالی براساس مقادیر SPEI12 تولید شده تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 در طبقه نرمال یکسان است در حالی که تحت سناریو RCP8.5 به ترتیب بالاتر و پائین‌تر می‌باشد. فراوانی خشکسالی ملایم تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 در مقایسه با دوره تاریخی افزایش می‌یابد. هم‌چنین فراوانی خشکسالی متوسط و شدید در دوره تاریخی نسبت به مقادیر تولید شده توسط سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 بالاتر می‌باشد.

نمودارهای شدت- فراوانی و مدت- فراوانی

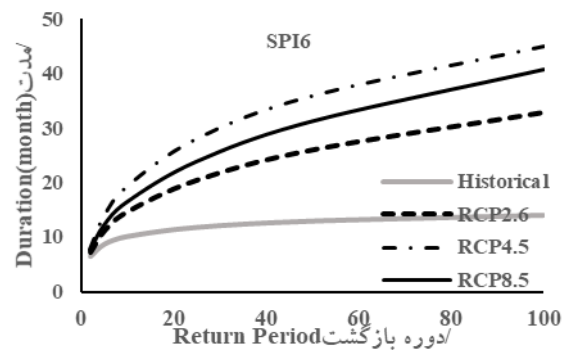
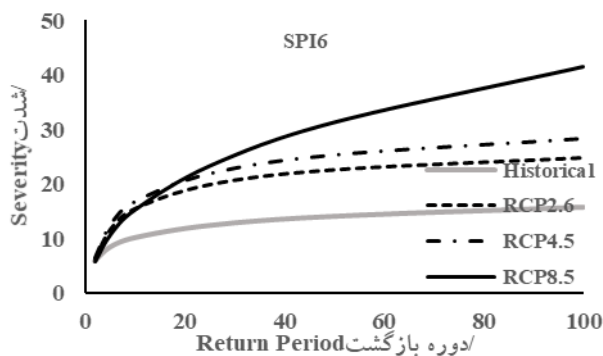
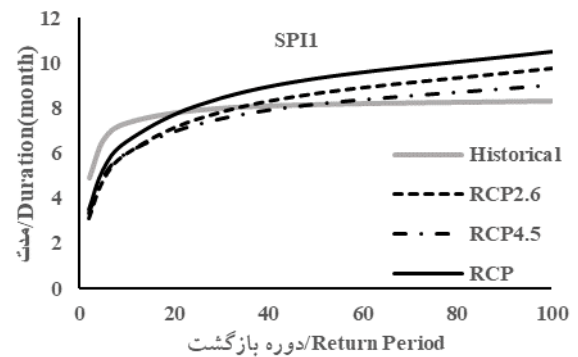
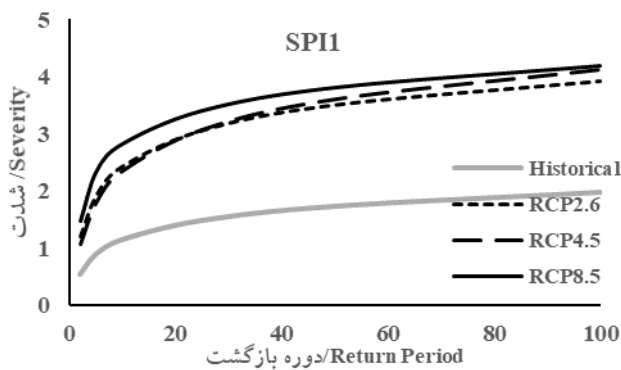
خشکسالی‌های تولید شده براساس SPI و SPEI تحت سناریوهای RCP برای رسم نمودارهای شدت- فراوانی و مدت- فراوانی در آینده و همین‌طور دوره تاریخی استفاده شدند. این نمودارها برای توصیف رابطه بین شدت و مدت با دوره بازگشت یا فراوانی خشکسالی استفاده می‌شوند. نتایج نشان داد شدت و مدت خشکسالی براساس سری‌های زمانی SPI و SPEI با افزایش دوره بازگشت تحت سناریوهای RCP در آینده و همین‌طور در دوره تاریخی افزایش می‌یابند. به طوری که براساس شاخص SPI برای هر سه مقیاس زمانی یک و شش و ۱۲ شدت و مدت خشکسالی تحت سناریوهای RCP در آینده نسبت به دوره تاریخی افزایش یافته است (شکل ۲). در حالی که براساس شاخص SPEI روند تغییرات ثابتی برای مقادیر شدت، مدت و دوره بازگشت در آینده نسبت به

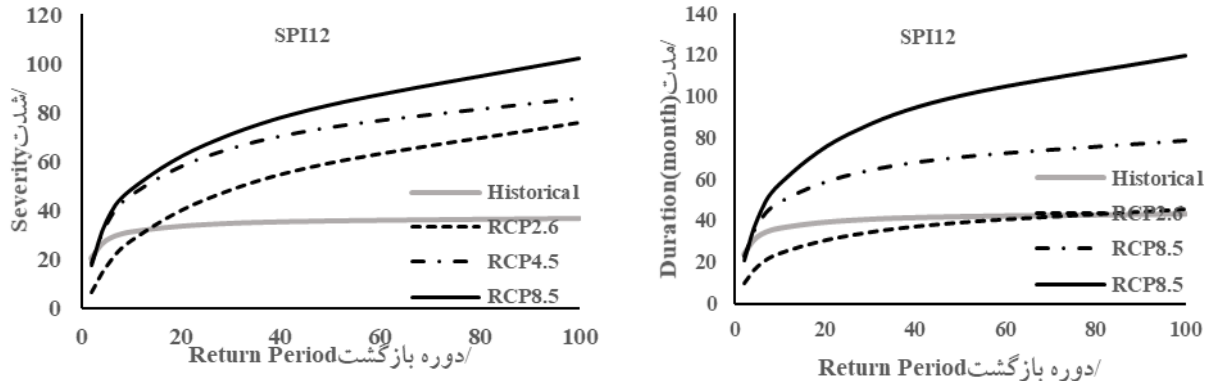
زمانی SPI و SPEI تعیین شد. نتایج حاصل نشان داد SPEI نسبت به SPI طبقات خشکسالی را بهتر نشان می‌دهد. این ویژگی می‌تواند بدلیل حساسیت این شاخص به تغییر بارش با در نظر گرفتن درجه حرارت باشد. در واقع درجه حرارت باعث تشدید اثر خشکسالی و کاهش شدیدتر رطوبت می‌گردد. بر این اساس دو طبقه خشکسالی نرمال و متوسط از فراوانی بالاتری نسبت به دیگر طبقات برخوردار هستند که با افزایش مقیاس زمانی، طبقه خشکسالی شدید نیز به سری زمانی اضافه می‌گردد (شکل ۱). فراوانی طبقات خشکسالی تولید شده توسط سناریوهای RCP نشان داد براساس SPI1 همانند دوره تاریخی تنها خشکسالی نرمال در آینده وقوع یافته که دارای فراوانی یکسانی در هر دو دوره می‌باشد. فراوانی طبقات خشکسالی براساس مقادیر SPI6 تولید شده توسط سناریوهای RCP و دوره تاریخی دارای فراوانی یکسانی در طبقه خشکسالی نرمال، خفیف و متوسط می‌باشد. در این مقیاس زمانی در دوره تاریخی خشکسالی شدید وقوع نیافته در حالی که براساس مقادیر SPI6 تولید شده توسط سناریوهای RCP شدت خشکسالی افزایش یافته که فراوانی آن تحت سناریو RCP2.6 و RCP4.5 بیشتر از RCP8.5 می‌باشد (شکل ۱). براساس SPI12 فراوانی خشکسالی نرمال در آینده نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد در حالی که خشکسالی ملایم دارای فراوانی تقریباً یکسانی در هر دو دوره می‌باشد. هم‌چنین فراوانی خشکسالی متوسط در دوره تاریخی نسبت به مقادیر تولید شده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 بیشتر می‌باشد. فراوانی خشکسالی شدید تولید شده توسط سناریو RCP8.5 نسبت به دو سناریو دیگر کمتر می‌باشد (شکل ۱). مقادیر SPEI تولید شده توسط سناریوهای RCP همانند دوره تاریخی طبقات خشکسالی را نسبت به SPI بهتر توصیف می‌کنند. فراوانی طبقات خشکسالی نرمال و ملایم براساس SPEI1 تولید شده تحت سناریوهای RCP و طبقه متوسط تحت سناریو RCP8.5 با دوره تاریخی یکسان می‌باشد. طبقه خشکسالی متوسط براساس سناریو RCP2.6 و RCP4.5 نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد. هم‌چنین خشکسالی شدید در دوره تاریخی نسبت





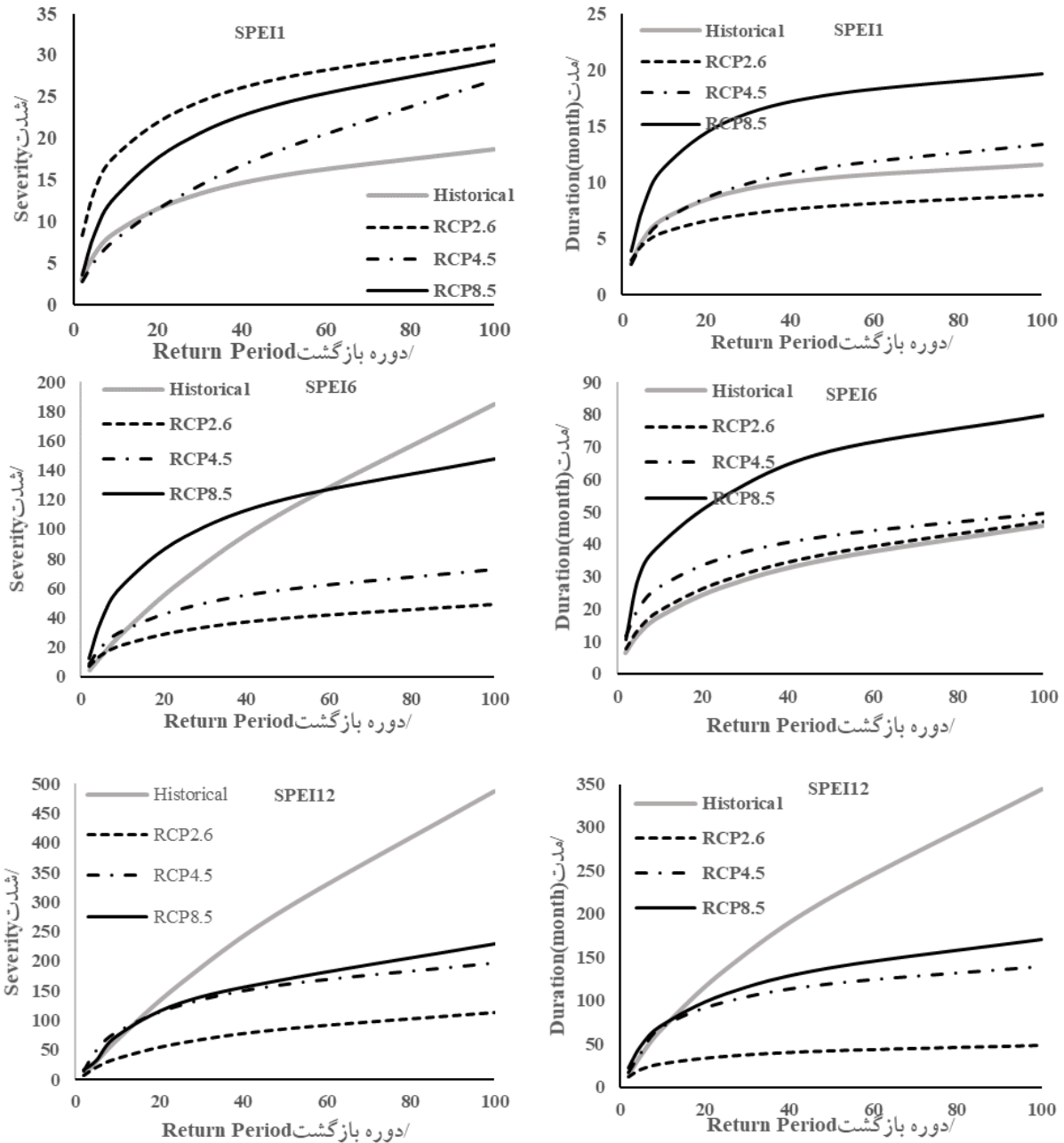
شکل ۱- فراوانی طبقات خشکسالی براساس سری‌های زمانی SPI و SPEI تحت سناریوهای RCP و دوره تاریخی
 Fig1. Frequency of drought classes based on SPI and SPEI time series under RCP scenarios and historical period





شکل ۲- نمودار شدت- فراوانی و مدت- فراوانی دوره تاریخی و آینده براساس SPI1، SPI6، و SPI12

Fig 2. Severity- Frequency and Duration- Frequency curve in historical and future period based on SPI1, SPI6, and SPI12



شکل ۳- نمودار شدت- فراوانی و مدت- فراوانی دوره تاریخی و آینده براساس SPEI1، SPEI6، و SPEI12

Fig 3. Severity- Frequency and Duration- Frequency curve in historical and future period based on SPEI1, SPEI6, and SPEI12

1. Alexander, L., V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Kumar, K. R., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. and Vazquez-Aguirre, J. L.: 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Geophysical Research Atmosphere* 111: 1-22.

2. Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N. and Hrisanthou, V. 2012. Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resource Management* 26: 2453-2473.

3. Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A. and Puotinen ML. 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing Environment* 115(10): 2626-2639

4. Dai, A. 2011. Drought under global warming: a review, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2: 45-65.

5. Dastorani, M. T., Massah Bavani, A. R., Poormohammadi, S. and Rahimian, M. H. 2011. Assessment of potential climate change impacts on drought indicators (Case study: Yazd station, Central Iran). *Desert* 1. 159- 167.

6. Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. and Hlavinka, P. 2008. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology* 96: 155-171

7. Edwards, D.C. and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report*. 97.

8. Farjad, B, Gupta A. and Marceau, D. J. 2015. Hydrological Regime Responses to Climate Change for the 2020s and 2050s Periods in the Elbow River Watershed in Southern Alberta, Canada. In: *Environmental Management of River Basin Ecosystems*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland. 65-89

9. Hay, L.E., Wilby, R. L. and Leavesley, G.H. 2000.

بحث و نتیجه گیری

کشور ایران از لحاظ موقعیت جغرافیایی در وضعیتی قرار دارد که نه تنها ذاتا بخش اعظم آن را مناطق خشک و فراخشک فراگرفته، بلکه جزو کشورهایی است که ضریب تأثیرپذیری آن از تغییرات اقلیمی، بالا می‌باشد. کاهش یا افزایش پارامترهای اقلیمی همانند بارندگی و دما بر روی وقایع حدی از جمله خشکسالی تأثیر گذار خواهد بود. در این مطالعه اثر تغییرات پارامترهای دما و بارندگی بر روی خشکسالی آینده با شبیه سازی این پارامترها توسط مدل CanESM2 حاصل از سری مدل‌های CMIP بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد براساس سناریو RCP4.5 و RCP2.6 میانگین بارندگی در ماه‌های آذر تا اسفند نسبت به دوره تاریخی کاهش یافته و در دیگر ماه‌ها افزایش می‌یابد. در حالی که سناریو RCP8.5 کاهش بارندگی را در دوره تاریخی نسبت به آینده در ماه‌های دی تا اسفند نشان می‌دهد. براساس تمام سناریوها، دمای متوسط در آینده نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد که این افزایش در ماه‌های گرم سال از اردیبهشت تا مرداد نسبت به دیگر ماه‌ها بیشتر می‌باشد. همچنین در ماه‌های مهر تا آذر میزان افزایش دما نسبت به دیگر ماه‌ها کمتر می‌باشد. داده‌های تاریخی و شبیه سازی شده تحت سه سناریو، برای تخمین سری‌های زمانی خشکسالی توسط SPI و SPEI در سه مقیاس زمانی یک و شش و ۱۲ استفاده شدند و مشخصه‌های خشکسالی برطبق تئوری ران در دوره تاریخی و آینده استخراج شدند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد دو شاخص SPI و SPEI در منطقه مطالعاتی متفاوت عمل می‌کنند. به طوری که خشکسالی‌های حاصل از SPEI در مقایسه با SPI از مقادیر شدت و مدت بالاتری برخوردار هستند. همچنین SPEI طبقات خشکسالی را بهتر توصیف می‌کند. به طوری که فراوانی طبقات شدید توسط شاخص SPEI بهتر نشان داده می‌شود. SPEI به دلیل در نظر گرفتن پارامتر دما علاوه بر بارندگی، تأثیر تبخیر را در کاهش رطوبت حاصل از بارش لحاظ کرده و خشکسالی را بهتر برآورد می‌کند. نتایج حاصل از شاخص SPI نشان داد منطقه مطالعاتی در آینده خشکسالی‌های شدیدتر و طولانی‌تری را نسبت به دوره تاریخی تحت هر سه سناریو تجربه می‌کند. در حالی که براساس SPEI شدت و مدت خشکسالی آینده در منطقه مطالعاتی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 کاهش می‌یابد و براساس سناریو RCP8.5 شدت و مدت خشکسالی در تمام مقیاس‌های زمانی نسبت به دوره تاریخی افزایش می‌یابد. نمودارهای شدت- فراوانی و مدت- فراوانی در دوره تاریخی و آینده نشان داد با افزایش دوره بازگشت، شدت و مدت خشکسالی افزایش می‌یابد. این افزایش براساس شاخص SPI در آینده نسبت به دوره تاریخی بیشتر است در حالی که براساس شاخص SPEI روند ثابتی ندارد.

منابع

Chen, W. 2015. The joint return period analysis of natural disasters based on monitoring and statistical modeling of multidimensional hazard factors. *Science of Total Environment* 538: 724–732.

18. Mishra, A.K. and Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Hydrology* 391: 202–216.

19. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F., Nalichenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. and Wilbanks, T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Journal of Nature* 463: 747-756

20. Pulwarty, R.S. and Sivakumar, M. V. 2014. Information systems in a changing climate: Early warnings and drought risk management. *Weather and Climate Extremes* 3:14–21

21. Quevauviller, P. 2011. Adapting to climate change: reducing water-related risks in Europe – EU policy and research considerations. *Environmental Science and Policy*. 14:722-729.

22. Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L. Van Loon, A. F. and Stahl, K. 2015a. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI). *International Journal Climatology* 35: 4027-4040

23. Seiler, R. A., Hayes, M. and Bressan, L. 2002. Using the Standardized Precipitation Index for flood risk monitoring. *International Journal Climatology* 22, 1365–1376.

24. Svoboda, M.; Hayes, M. and Wood, D. 2012. *Standardized Precipitation Index User Guide*; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland.

25. Thilakarathne, M. and Sridhar, V. 2017. Characterization of future drought conditions in the Lower Mekong River Basin. *Weather and Climate Extremes* 17: 47- 58.

26. Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, J. I. and López-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Climate* 23: 1696- 1718.

A comparison of delta changes and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States American. *Water Resources Association* 36(2): 387–397

10. Heim, R. R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83: 1149–1165.

11. 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: 2-23.

12. Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu C, Wang B, Yao, J. 2011. Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research Risk Assessment* 25(6): 781–792.

13. IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., and White, L.L. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA p. 1-32.

14. Kiktev, D. M., Caesar, J., and Alexander, L. 2009. Temperature and precipitation extremes in the second half of the twentieth century from numerical modelling results and observational data, *Izvest. Atmos. Ocean. Phys.* 45: 284–29.

15. Lee, S. H., Yoo, S. H., Choi, J. Y., Bae, S. 2017. Assessment of the Impact of Climate Change on Drought Characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea Using Time Series SPI and SPEI: 1981–2100. *MDPI* 9(579): 1-19.

16. Loukas, A., Vasiliades, L. and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences* 1: 23- 29.

17. Liu, X., Li, N., Yuan, S., Xu, N., Shi, W., and

Parsinejad M., 2015. Climate change and irrigation demand: Uncertainty and adaptation. *Hydrology: Regional Studies* 3: 247–264

31. Yacoub, E., Tayfur, G. 2017. Evaluation and assessment of meteorological drought by different methods in Trarza region, Mauritania. *Water Resources Management* 31: 825-845

32. Yevjevich, V. 1967. An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Drought; Hydrology Paper No. 23; Colorado State University: Fort Collins, CO, USA.

27. Wetterhall, F. A, Bárdossy, D., Chen, SH., Xu, C. Y. 2006. Daily precipitation-downscaling techniques in three Chinese regions. *Water Resources Research* 42(11): 1- 23.

28. Wilhite, D. A., Sivakumar, M.V. and Pulwarty, R. 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy *Weather and Climate Extremes*. 3:4–13

29. Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. 2002. SDSM - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software* 17 (2):147–159.

30. Woznicki, S.A., Nejadhashemi, A.P. and

Study of Current and Future Meteorological Drought Conditions Using the CMIP5 Model under RCP Scenarios

T. Mesbah Zadeh¹, M. Mirakbari², M. Mohseni Saravi³, H. Khosravi⁴ and Gh. Mortezaie Farizhendi⁵

Received: 17-03-2018

Accepted: 07-02-2019

Abstract

Reducing or increasing the climatic parameters such as temperature and rainfall as a result of the climate change process, causes a variety of droughts. In this study, the effect of climate change on meteorological drought is investigated in Yazd province. For this purpose, the drought time series were determined in two periods: historical (1961-2005) and future (2017-2100) by SPI and SPEI. Historical data obtained from Yazd's synoptic station and the future data were generated by the CanESM2 model under RCP scenarios. Drought characteristics such as severity, duration and frequency were extracted based on run theory in order to compare and evaluate the trend of drought changes. The results showed case study experiences more severe droughts in the future than historical period based on SPI under 3 RCP scenarios while based on SPEI under RCP2.6 and RCP4.5, the drought characteristics decrease in the future compared with historical period and under RCP8.5, the severity and duration of the drought increase. The severity-frequency and duration-frequency curve showed that increasing the return period increases the severity and duration of drought.

Keywords: *CanESM2, Meteorological drought, SPI, SPE*

1. Corresponding Author and Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Email: tmesbah@ut.ac.ir

2. Ph.D. Graduated in combating desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

3. Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

4. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

5. Associate Professor, Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Officer in Soil Conservation and Watershed Management