

بررسی اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های دوره‌های ترسالی و خشکسالی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های ارازکوسه و تمر در استان گلستان)

مرجان بهلکه^۱، ابوالحسن فتح آبادی^{۲*}، حامد روحانی^۲، سید مرتضی سیدیان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

چکیده

انتظار می‌رود تغییر اقلیم با تغییر مقدار و توزیع زمانی بارش سبب تغییر احتمال خشکسالی و ترسالی‌ها در بعضی مناطق شود. این اثرات در مناطقی مانند استان گلستان با اقلیم‌های متفاوت، بارزتر است. در این پژوهش به منظور بررسی پیامدهای تغییر اقلیم در دو ایستگاه باران‌سنجی با اقلیم متفاوت، اقدام به تجزیه و تحلیل شدت، تداوم و فراوانی ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و آینده شد. با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM با در نظر گرفتن مدل گردش عمومی جو بر اساس گزارش پنجم هیئت بین‌الدول (AR5) و سناریوهای انتشار RCP۲/۶، RCP۴/۵ و RCP۸/۵ سری‌های زمانی بارش در دوره آینده اول (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰) و دوره آینده دوم (۲۰۵۱ تا ۲۰۷۰) پیش‌گویی شد. بعد از اطمینان از کارایی مدل در بازتولید داده‌های بارش در دوره پایه، مقادیر شاخص‌های بارش استاندارد و بارش استاندارد نسبی در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه و با شمارش تعداد ماه‌های طبقات ترسالی و خشکسالی و همچنین استفاده از زنجیره مارکف مرتبه اول، ویژگی‌های خشکسالی آینده نسبت به دوره پایه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در دو ایستگاه ارازکوسه و تمر احتمال خشکسالی‌ها در آینده افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش پنجره زمانی بارش استاندارد، تداوم تمام طبقات تحت هر سه سناریو افزایش پیدا خواهد کرد. از طرف دیگر با افزایش پنجره زمانی شاخص استاندارد از شدت ترسالی‌ها و خشکسالی‌های کاهش می‌یابد، در صورتی که تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، SDSM، شاخص SPI، زنجیره مارکف، خشکسالی

مقدمه

تأثیرات مخرب آن، بیش از پیش در کانون توجه دولتمردان و مراجع علمی قرار گرفته است. بر اساس نتایج خروجی‌های مدل گردش عمومی جو (GCM)^۳ در شرایط اقلیم آینده در بسیاری از مناطق دنیا مقدار دما افزایش پیدا کرده در حالی که مقدار بارش کاهش پیدا کرده که این منجر به افزایش احتمال خشکسالی می‌شود. به عنوان مثال Jones et al. (1996) پیش‌گویی کردند که تا اواخر قرن ۲۱ اروپا شاهد افزایش شدت و دوام و گسترش مکانی خشکسالی‌ها در حوضه مدیترانه خواهد بود. همچنین بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC, 2007)^۴ تا اواخر قرن ۲۱ بر پایه تلفیق خروجی‌های مدل‌های مختلف افزایش در روند خشکسالی‌های شدید نسبت به دوره ۱۹۸۱-۲۰۰۰ به خصوص در عرض‌های میانی مشاهده خواهد شد. اگر چه، خسارات به انسان‌ها و تأسیسات ساخت بشر با تغییرات تدریجی در دما و بارش

خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که سالانه موجب خسارات فراوانی به جوامع انسانی و محیط‌های طبیعی می‌گردد؛ به طوری که عنوان پر هزینه‌ترین پدیده طبیعی را به خود اختصاص داده است (Wilhite, 2000). تعریف دقیقی برای خشکسالی وجود نداشته و محققین مختلف متناسب با تأثیری که بر روی آن‌ها می‌گذارد خشکسالی را طبقه‌بندی کرده‌اند. بر این اساس چهار نوع خشکسالی شامل هواشناسی، هیدرولوژیک، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی معرفی شده است (Heim, 2002). تغییرات آب و هوایی و روند تدریجی گرم شدن با توجه به

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

^۲ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس

*نویسنده مسئول: fathbabadi@ut.ac.ir

^۳General Circulation Model

^۴Intergovernmental Panel on Climate Change

شاخص SPI بررسی کردند. (Meresa et al., 2016) شرایط خشکسالی آینده را با استفاده از شاخص‌های SPI، SPEI و SRI و در نظر گرفتن پیش‌گویی‌های مدل اقلیمی در بخشی از لهستان EURO-CORDEX بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیان‌گر شرایط خشک‌تر با استفاده از شاخص SPEI در دوره آینده دور خواهد بود؛ ولی بر اساس دو شاخص دیگر نتایج بیانگر اقلیم مرطوب‌تر در آینده خواهد بود. (Lee et al., 2016) در بررسی توزیع مکانی شدت و فراوانی شرایط خشکسالی آینده با استفاده از شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو و شاخص SPI سه ماهه در کره جنوبی به این نتیجه رسیدند که در فصل زمستان بر عکس فصل بهار در سطح منطقه روند خشکسالی افزایش می‌یابد. همچنین شدت و فراوانی خشکسالی در آینده در فصول گرم سال تا ۶ درصد افزایش می‌یابد. از پژوهش‌های دیگر که به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی خشکسالی پرداخته‌اند می‌توان به پژوهش‌های (Burke et al., 2006; Kangas and Brown, 2007; Dubrovsky et al., 2009; Mishra and Singh, 2009; Zargar et al., 2010; Strzepek et al., 2014) اشاره کرد. استان گلستان با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی و اقلیمی و اهمیت کشاورزی، یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق به تغییر اقلیم می‌باشد (Jafarzadeh et al., 2016). لذا به منظور مدیریت خشکسالی و کاهش اثرات آن باید مناطق حساس که در آینده تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند شناسایی و متناسب با هر منطقه اقدامات لازم اتخاذ گردد. به این منظور هدف این پژوهش در ابتدا شناخت شدت و فراوانی خشکسالی و روند آن در دوره پایه است. در گام بعد برای شناخت کافی نسبت به شدت و فراوانی خشکسالی دوره آینده، اقدام به باز تولید سری‌های زمانی بارش در دوره آینده با مدل‌های سری پنجم گردش عمومی جو شده و مقادیر شاخص بارش استاندارد نسبی محاسبه می‌گردد. در نهایت با در نظر گرفتن مقادیر شاخص بارش استاندارد محاسبه شده در دوره پایه و مقادیر شاخص بارش استاندارد نسبی محاسبه شده در دوره آینده با استفاده از زنجیره مارکف ویژگی‌های خشکسالی مانند احتمال طبقات مختلف، دوام طبقات مختلف و مدت زمان رسیدن به شرایط نرمال از هر یک از طبقات ترسالی و خشکسالی نسبت به دوره پایه مقایسه می‌شود.

ملموس نیست، اما وقایع حدی مانند سیل و خشکسالی باعث خسارت‌های آشکاری شده است. تداوم، شدت و فراوانی وقایع حدی، با استفاده از سری داده‌های تاریخی طولانی مدت تحلیل می‌شوند، در صورتی که در بسیاری از مناطق دنیا این داده‌ها قابل دسترس نمی‌باشند. برای پیش‌گویی شرایط آینده، در بیشتر پژوهش‌ها از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو که معمولاً با سناریوهای انتشار تعریف شده و توسط هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم اجرا شده‌اند، استفاده می‌شود (Qian et al., 2004). با توجه به پیچیدگی پدیده خشکسالی و عوامل تأثیرگذار بر شروع و روند این پدیده، روش‌ها و شاخص‌های گوناگونی ارائه شده است که بالطبع هر یک دارای نقاط ضعف و قوتی می‌باشند. هر یک از این شاخص‌ها اطلاعات جامعی در مورد شرایط خشکسالی برای برنامه‌ریزان فراهم می‌کنند. اولین شاخص‌های ارائه شده، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بودند که می‌توان به شاخص‌های بارش استاندارد (SPI)^۱، ناهنجاری بارش (RAI)^۲، کمبود تبخیر تعرق (EDI)^۳ و شاخص شدت خشکسالی (DSI)^۴ اشاره کرد. در ادامه شاخص‌هایی برای کمی کردن شدت خشکسالی کشاورزی (شاخص رطوبت محصول (CMI)^۵، شاخص خشکسالی رطوبت خاک (SMDI)^۶، شاخص خشکسالی محصول ویژه (CSDI)^۷ و منابع آب (مانند شاخص کمبود جریان منطقه‌ای (RDI)^۸، شاخص خشکسالی هیدرولوژیک پالمر (PHDI)^۹) ارائه شدند (Won Jung and Chang, 2012; McKee et al., 1993). تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی اقلیمی و بیولوژیک را با استفاده از دو شاخص SPI نسبی و SRI نسبی در چهار پنجره زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در قسمت‌هایی از آمریکا بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند خشکسالی‌ها با پنجره زمانی پایین افزایش پیدا کرده‌اند در حالی‌که خشکسالی‌ها با پنجره زمانی بالا تغییر چندانی پیدا نکرده‌اند. (Vergni and Todisco (2011 اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی بر آب پایه کشاورزی در مرکز ایتالیا را با

¹Standard Precipitation Index²Rainfall Anomaly Index³Evapotranspiration Deficit Index⁴Drought Severity Index⁵Crop Moisture Index⁶Soil Moisture Drought Index⁷Crop Specific Drought Index⁸Regional Streamflow Deficiency Index⁹Palmer Hydrological Drought Index

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

استان گلستان بر اساس موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی دارای اقلیم‌های متفاوت بوده و تحت تأثیر عوامل مختلف آب و هوایی قرار گرفته است. به منظور پیش‌گویی فراوانی و شدت خشکسالی در دوره آینده نسبت به دوره پایه داده‌های بارش روزانه دو ایستگاه باران‌سنجی آرازکوسه و ایستگاه تمر در یک دوره ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) از وزارت نیرو تهیه گردید. ایستگاه باران‌سنجی آراز کوسه در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی قرار دارد و ارتفاع از سطح دریا آن ۳۵ متر می‌باشد. ایستگاه باران‌سنجی تمر در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی قرار دارد و در ارتفاع ۱۳۲ متر بالاتر از سطح دریا است. طبق دوره آماری مورد بررسی متوسط دما در ایستگاه آرازکوسه و ایستگاه تمر به ترتیب برابر با ۱۸/۴ و ۱۳/۲ درجه سلیسیوس و بارش متوسط سالیانه دو ایستگاه به ترتیب برابر با ۴۵۲ میلی‌متر و ۵۰۸ میلی‌متر است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی گوسن ایستگاه آرازکوسه دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و ایستگاه تمر اقلیم نیمه مدیترانه‌ای دارد (Mosaedi et al., 2007).

شبیه‌سازی بارش

در پنجمین گزارش ارزیابی (AR5)^۱ در سال ۲۰۱۴ چهار سناریو بر مبنای واداشت تابش در بالای اتمسفر به نام‌های RCP6، RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ارائه شد. شدند. داده‌های مورد استفاده جهت شبیه‌سازی بارش عبارتند از:

- ۱- داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب، که از مرکز اطلاعات و آمار وزارت نیرو اخذ شد.
- ۲- خروجی داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP)^۲. این داده‌ها با توجه به گزارش پنجم برای سناریوهای دوره پایه سال‌های (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵) و سال‌های پیش‌گویی برای آینده (۲۰۳۱ تا ۲۰۷۰) می‌باشد. با در نظر گرفتن داده‌ها از سال‌های اولیه تأسیس ایستگاه‌ها و در اختیار داشتن داده‌های مرکز ملی

پیش‌بینی محیطی تا ۲۰۰۵، دوره‌های مشترک ۲۰ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵) انتخاب شد.

۳- داده‌های شبیه‌سازی شده خروجی مدل CanESM2^۳ تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره اول آینده (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۱) و دوره آینده دوم (۲۰۵۱ تا ۲۰۷۰) با توجه به ایستگاه‌های مورد نظر. داده‌های NCEP و CanESM2 از سایت شبکه‌بندی تغییر اقلیم کانادا (www.cccsn.ec.gc.ca) دریافت و به عنوان ورودی نرم‌افزار SDSM^۴ مورد استفاده قرار گرفتند.

مدل ریز مقیاس‌سازی آماری (SDSM) تحت عنوان نسخه ۲/۱ ارائه گردید که یکی از مدل‌های ریز مقیاس‌نمایی تابع انتقالی آماری محسوب می‌شود. در واقع بهترین ترکیب از مدل‌های رگرسیونی و مدل‌های آماری به حساب می‌آید (Wilby et al., 2002). این مدل با استفاده از ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی چند متغیره و در نظر گرفتن سیگنال‌های بزرگ مقیاس اقلیمی (متغیرهای مرکز ملی پیش‌بینی محیطی)، متغیرهای اقلیمی چون بارش و دما را در بلند مدت شبیه‌سازی می‌کند (Wilby et al., 2002). برای ارزیابی مدل، ابتدا سری‌های زمانی بارش شبیه‌سازی شده در دوره پایه در ایستگاه‌ها محاسبه شد. جهت صحت‌سنجی عملکرد مدل معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا^۵، مقدار ضریب تبیین^۶ و ضریب ناش-ساتکلیف^۷ محاسبه شدند. پس از اطمینان از عملکرد مدل، با استفاده از مدل SDSM بر اساس داده‌های مدل گردش عمومی جو سری زمانی بارش برای دو دوره‌ی آتی اول (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰) و دوره آتی دوم (۲۰۵۱ تا ۲۰۷۰) میلادی و برای سناریوهای غلظت RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در ایستگاه‌های مورد پژوهش شبیه‌سازی گردید.

شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص بارش

استاندارد نسبی (rSPI)^۸

شاخص بارش استاندارد به منظور تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (McKee et al., 1995) و به تحلیل‌گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی را برای هر پنجره زمانی دلخواه (مثل

^۳The Canadian Earth System Model

^۴Statistical Downscaling model

^۵Root Mean Square Error

^۶Determination Coefficient

^۷Nash-Sutcliffe efficient

^۸Relative SPI

^۱The Fifth Assessment Report

^۲National Centers for Environmental Prediction

Table1- Classification of different classes of the SPI indices and corresponding probabilities to each class (McKee et al., 1995)

جدول ۱- طبقه‌بندی طبقات مختلف شاخص SPI و احتمالات مربوط به هر طبقه (McKee et al., 1995)

Indices values	Class	Probability
More than 2	Extremely wet	2.3
1.5 to 1.99	Very wet	4.4
1 to 1.49	Moderate wet	9.2
-0.99 to 0.99	Near Normal	68.2
-1 to -1.49	Moderate dry	9.2
-1.49 to -1.99	Severely dry	4.4
-2 and less	Extremely dry	2.3

احتمال و تداوم هر طبقه خشکسالی

در بررسی خشکسالی لازم است پارامترهایی مثل احتمال هر طبقه خشکسالی، تداوم هر طبقه خشکسالی و مدت زمانی که طول می‌کشد تا منطقه به شرایط نرمال برسد، در دوره‌های مختلف بررسی گردد (Paulo and Pereira, 2007)، به این منظور در این پژوهش از زنجیره مارکف همگن برای بررسی پارامترها فوق استفاده گردید. متداول‌ترین زنجیره مارکف، زنجیره مارکف مرتبه اول است. در این حالت احتمالات انتقال که وضعیت بعدی سیستم را کنترل می‌کنند فقط به وضعیت سیستم در زمان حال بستگی داشته و اطلاع از وضعیت‌های سیستم در گام‌های زمانی قبل هیچ تأثیری بر احتمال وضعیت سیستم در گام‌های زمانی آینده ندارد. که این مسئله به صورت معادله ۳ نشان داده می‌شود.

$$P\{X_{t+1}=j|X_0, X_1, X_2, \dots, X_t\} = P\{X_{t+1}=j|X_t=i\} \quad \forall i, j \in S, t \in T \quad (3)$$

$$P_{ij} = P\{X_{t+1}=j|X_t=i\}$$

در این معادله X_{t+1} ، وضعیت سیستم در یک گام زمانی آینده و X_t وضعیت سیستم در زمان حال می‌باشد. احتمال شرطی P_{ij} ، احتمال انتقال مرتبه اول از حالت i به حالت j نامیده می‌شود. با محاسبه تمام حالت‌های انتقال، ماتریس احتمال انتقال P تشکیل می‌گردد. احتمالات انتقال، احتمالات وقوع هر یک از حالات ممکن در مرحله بعد (گام بعد) می‌باشد که آن‌ها را می‌توان به صورت ماتریس احتمال انتقال نشان داد. برای حالتی که k وضعیت وجود داشته باشد ماتریس احتمال انتقال برای زنجیره مارکف مرتبه اول دارای $k \times k$ درایه است (Bhat and Miller, 2002). در عمل با شمارش تعداد گام‌های زمانی n_{ij} که مقادیر شاخص بارش استاندارد در وضعیت i

۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه) تعریف و شناسایی نماید. McKee et al., (1993) شاخص بارش استاندارد را بر مبنای تابع توزیع گاما (معادله ۱) بنا نهادند.

$$G(p) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} p^{\alpha-1} e^{-p/\beta} \quad \text{for } p > 0 \quad (1)$$

α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس، P مقدار بارش و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. در هر ایستگاه و در هر پنجره زمانی برای هر ماه پارامترهای تابع توزیع گاما (در اینجا α و β) تخمین زده و مقادیر تابع توزیع تجمعی گاما محاسبه می‌گردد و در گام بعد مقادیر احتمال تجمعی گاما به تابع احتمال تجمعی نرمال استاندارد تبدیل می‌گردند. مقادیر Z محاسبه شده از گام قبل مقادیر شاخص بارش استاندارد هستند. از آنجایی که تابع توزیع گاما برای مقادیر بارش صفر تعریف نشده است از معادله ۲ برای محاسبه تابع توزیع تجمعی برای مقادیر بارش صفر استفاده می‌شود.

$$H(p) = q + (1 - q)G(p) \quad (2)$$

در این معادله P احتمال وقوع صفر در سری داده‌های تجمعی بارش و $G(P)$ تابع توزیع تجمعی گاما است. با استفاده از مقادیر شاخص بارش استاندارد محاسباتی و جدول ۱ وضعیت خشکسالی در منطقه مورد بررسی تعیین می‌گردد. مقدار شاخص خشکسالی محاسبه شده با این روش، شرایط خشکسالی را نسبت به شرایط نرمال آن دوره نشان می‌دهد. در این حالت توزیع مقادیر شاخص‌های محاسباتی به صورت ستون سه جدول ۱ می‌باشد. به عبارتی در حدود ۹۵ درصد مقادیر شاخص محاسباتی در دامنه ۲- تا ۲+ است. بنابراین چنانچه مقادیر پارامترهای این شاخص توسط داده‌های هر دوره برآورد گردد از این شاخص نمی‌توان برای مقایسه شرایط خشکسالی در دوره‌های مختلف و در ایستگاه‌های مختلف استفاده کرد. برای رفع این مشکل در پژوهش‌های (Loukas et al., 2007; Dubrovsky et al., 2009; Won Jung, 2012; Vasiliades et al., 2009; Leng et al., 2015) استفاده از شاخص بارش استاندارد نسبی (rSPI) پیشنهاد شد. در این حالت مقادیر پارامترهای شاخص SPI برای داده‌های دوره پایه تخمین زده می‌شود. سپس از این پارامترهای تخمینی برای محاسبه مقادیر شاخص SPI در دوره آینده استفاده می‌شود.

بوده و به وضعیت Z انتقال پیدا کرده احتمال انتقال \hat{p}_{ij} با استفاده از معادله ۴ به دست می‌آید.

$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_j n_{ij}} \quad (4)$$

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی شبیه‌سازی بارش طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM، داده‌های مشاهداتی ایستگاه زمینی و داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 انجام شد. با توجه به معیارهای ارزیابی ضریب تبیین و ناش ساتکلایف نتایج شبیه‌سازی بارش در ایستگاه تمر برتری نسبی نسبت به نتایج شبیه‌سازی ایستگاه آرازکوسه نشان داد (جدول ۲). پس از اطمینان از عملکرد مدل اقدام به شبیه‌سازی مقادیر بارش در دو دوره زمانی آینده اول (۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰) و دوره آینده دوم (۲۰۵۱ تا ۲۰۷۰) برای سناریوهای RCP8.5، RCP4.5، RCP2.6 در ایستگاه‌های مورد پژوهش گردید. با توجه به شکل ۱ در ایستگاه آرازکوسه در تمامی سناریوها و در هر دو دوره آتی در اکثر ماه‌ها، به جز در ماه‌های تابستان، درصد تغییرات بارش آینده نسبت به دوره پایه کم می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی در این ایستگاه بیان‌گر کاهش بارش در تمامی سناریوها در ماه‌های ژانویه (به جز سناریوی RCP4.5)، ژوئیه، اوت، سپتامبر و ژوئن است. در ایستگاه تمر نتایج شبیه‌سازی دوره آتی بیان‌گر کاهش بارش در اکثر سناریوها در دو دوره آتی مورد بررسی به جز افزایش حدود ۲۵ درصد نسبت به دوره پایه در ماه آوریل و افزایش جزئی در بعضی سناریوهای در ماه مارس (به جز سناریوی RCP8.5) و سناریوی RCP4.5 در ماه ژانویه می‌باشد.

Table 2- Calibration criteria values for evaluation model simulation in the baseline period

جدول ۲- مقادیر معیارها و اسنجی برای ارزیابی شبیه‌سازی

Station	مدل در دوره پایه		
	R ²	NSE	RMSE (mm)
Arazkuse	0.93	0.77	6.52
Tamar	0.96	0.91	7.23

پایش خشکسالی در دوره پایه و آینده

با استفاده از سری‌های زمانی بارش دوره پایه و مقادیر شبیه‌سازی شده دو دوره آینده مقادیر شاخص بارش

استاندارد و بارش استاندارد نسبی در پنجره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شدند. برای بررسی روند در دوره پایه و دوره‌های آینده با توجه به فصلی بودن مقادیر SPI از آزمون کندال فصلی (Hirsch and Slack, 1984)، که در آن ضریب خود همبستگی داده‌ها در محاسبه آماره کندال در نظر گرفته می‌شود، استفاده گردید (شکل ۲). مطابق شکل ۲ در ایستگاه آرازکوسه در تمام سناریوها و پنجره‌های زمانی در دو دوره زمانی آینده مقادیر شاخص SPI فاقد روند معنی‌داری است. در ایستگاه تمر در پنجره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 اولین و دومین دوره آینده و در پنجره‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه سناریوی RCP2.6 اولین دوره آینده و همچنین در پنجره‌های زمانی سه و ۲۴ ماهه، RCP2.6 در دومین دوره آینده دارای روند کاهشی می‌باشند (شکل ۲). بررسی تداوم زمانی پدیده خشکسالی در ایستگاه‌های آرازکوسه و تمر در پنجره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ نشان‌گر این واقعیت است که در پنجره‌های زمانی کوتاه‌تر (برای مثال ۳ و ۶ ماهه) طول دوره‌های خشکسالی کوتاه، اما تعداد رویدادها زیاد است؛ بر عکس در پنجره‌های زمانی بلندتر یعنی ۲۴ ماهه از تعداد رویدادها کاسته می‌شود، لیکن تداوم افزایش می‌یابد. در این قسمت از تحقیق، با توجه به اینکه در پنجره‌های زمانی ۹ و ۲۴ روند و مقدار خشکسالی را بهتر می‌توان نمایش داد، نمودارهای rSPI مربوط به این دو پنجره زمانی در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳ در ایستگاه آرازکوسه در پنجره زمانی ۲۴ ماهه در دو دوره آینده و تمامی سناریوها، فراوانی و شدت خشکسالی‌ها نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده‌اند. در ایستگاه تمر برای پنجره زمانی ۹ ماهه در مقایسه با ایستگاه آرازکوسه فراوانی ماه‌های خشک بیشتر شده است. همچنین در ایستگاه تمر از نظر فراوانی ماه‌های خشک اختلاف دوره آینده با دوره پایه بیشتر شده است. نتایج نشان داد که در ایستگاه تمر مانند ایستگاه آرازکوسه در دوره آینده دوم نسبت به دوره آینده اول فراوانی و شدت خشکسالی‌ها بیشتر شده است، با این حال در ایستگاه تمر اختلاف کمی از نظر شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دو دوره آینده در سناریوهای مختلف وجود دارد.

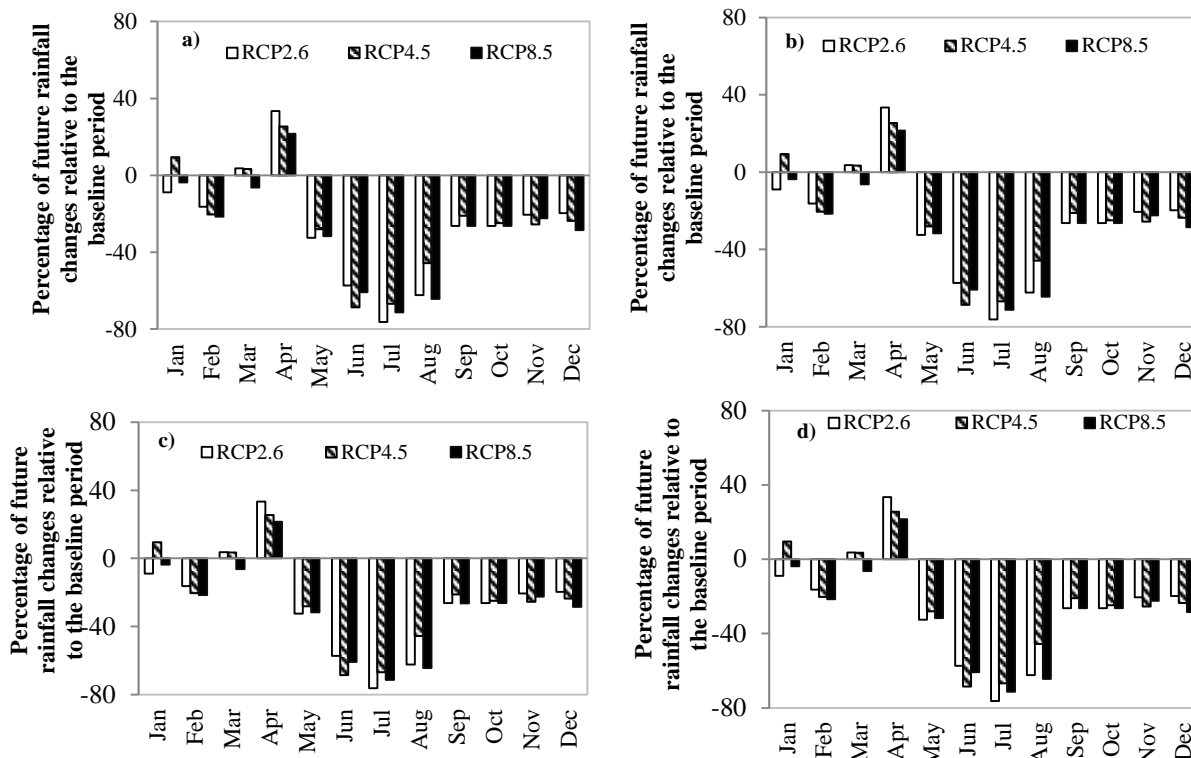


Figure 1- Future precipitation a) Arazkuse station in the first future epoch, b) Arazkuse station in the second future epoch, c) Tamar station in the first future epoch and d) Tamar station in the second future epoch

شکل ۱- بارش دوره آینده (a) ایستگاه ارازکوسه در دوره آینده اول، (b) ایستگاه ارازکوسه در دوره آینده دوم، (c) ایستگاه تمر در دوره آینده اول و (d) ایستگاه تمر در دوره آینده دوم

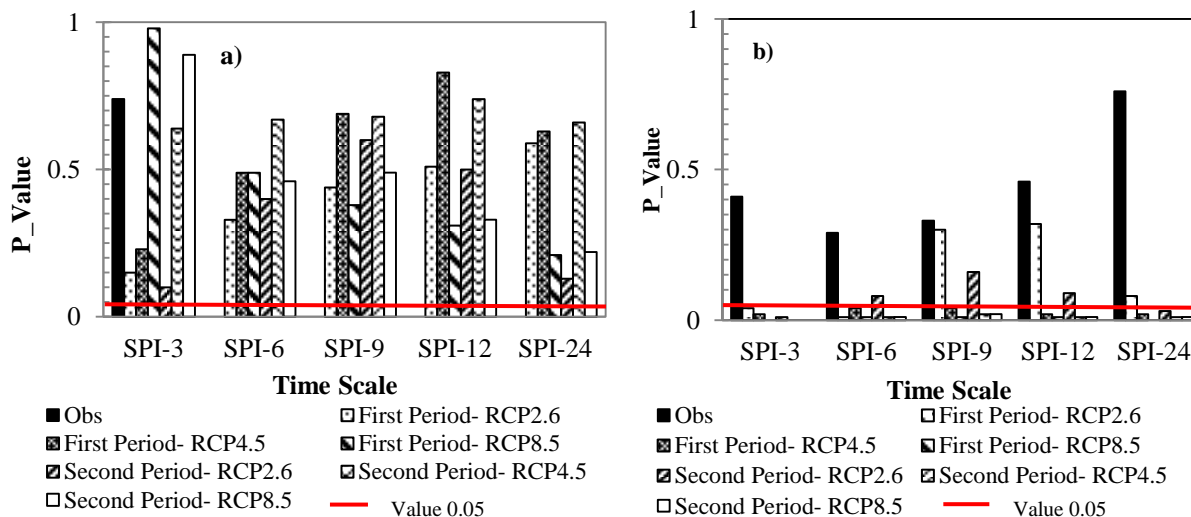


Figure 2- Results of the Seasonal Kendall test in a) Arazkuse station and b) Tamar station in the baseline period

شکل ۲- نتایج آزمون کندال فصلی در (a) ایستگاه ارازکوسه و (b) ایستگاه تمر در دوره پایه

گردیدند. با توجه به نمودارهای شکل ۴، ملاحظه می‌شود در هر دو ایستگاه ارازکوسه و تمر در دوره پایه و تمامی سناریوها بیشترین فراوانی مربوط به طبقه نرمال است و با افزایش شدت طبقات خشکسالی و ترسالی از فراوانی آن‌ها کاسته شده است. در ایستگاه ارازکوسه برای rSPI-3 در دوره‌های آینده و سناریوهای مختلف به فراوانی طبقات

فراوانی طبقات مختلف خشکسالی

به منظور بررسی بیشتر شرایط خشکسالی و ترسالی‌ها در دوره پایه و دوره‌های آینده مورد بررسی، پس از محاسبه شاخص بارش استاندارد تعداد ماه‌هایی که در هر یک از طبقات خشکسالی و ترسالی قرار داشتند شمارش شدند و در دو دوره آینده و داده‌های تاریخی مقایسه

فراوانی مربوط به طبقات خشکسالی و ترسالی متوسط است. در rSPI-24 ماهه در تمام سناریوها فراوانی طبقات نرمال در دوره آینده روند افزایشی خواهند داشت.

نرمال و به مقدار کمی به فراوانی طبقات خشکسالی (به غیر از طبقه خشکسالی متوسط) افزوده شده و کمی از فراوانی طبقات ترسالی کاسته شده است. بیشترین کاهش

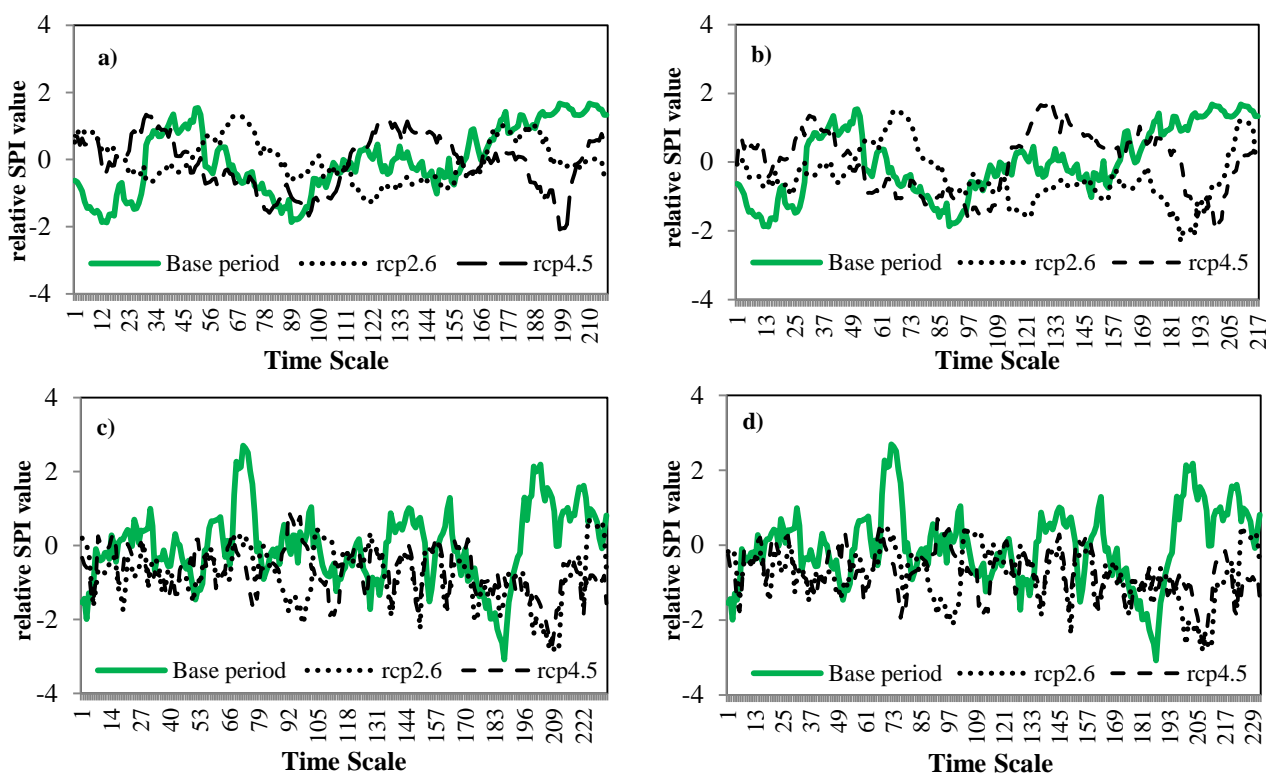


Figure 3- The values of the relative SPI index in the two future periods and in different time scales a) Arazkuse station, 24 months in the first period, b) Arazkuse station, 24 months in the second period, c) Tamar station, 9 months in the first period and d) Tamar station, 9 months in the second period

شکل ۳- مقادیر شاخص SPI نسبی در دو دوره آتی مورد بررسی و در پنجره‌های زمانی مختلف زمانی (a) ایستگاه ارازکوسه با پنجره زمانی ۲۴ ماهه در دوره آینده اول، (b) ایستگاه ارازکوسه با پنجره زمانی ۲۴ ماهه در دوره آینده دوم، (c) ایستگاه تمار با پنجره زمانی ۹ ماهه در دوره آینده اول و (d) ایستگاه تمار با پنجره زمانی ۹ ماهه در دوره آینده دوم

در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه روند افزایشی خواهند داشت. همچنین با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود در دوره شبیه‌سازی آینده دوم در هر دو ایستگاه نسبت به دوره پایه و دوره شبیه‌سازی اول به شدت خشکسالی و ترسالی‌ها بیشتر افزوده خواهد شد و با توجه به افزایش مقادیر پیش‌رانه تابشی در سناریوی RCP8.5 این تغییرات بیشتر مشهود است. در پژوهش (Khazanedari et al., 2009) در بررسی تأثیر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG و شاخص‌های DI و SPI مشاهده کردند که در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ شرایط ایران خشک‌تر خواهد شد. این در حالی است که در پژوهش‌های (Sayari et al., 2013) در حوضه کشف‌رود و (Koocheki et al., 2006) مشاهده کردند در دوره‌های آینده مقدار بارش در ایران افزایش خواهد یافت.

در این پنجره زمانی پس از طبقه نرمال طبقه خشکسالی متوسط دارای بیشترین فراوانی می‌باشد، در مجموع در این پنجره زمانی نسبت به دوره پایه فراوانی طبقات خشکسالی بیشتر شده است. در این ایستگاه در مقایسه با rSPI-3، کاهش فراوانی طبقات ترسالی و افزایش فراوانی طبقات خشکسالی در rSPI-24 بیشتر مشهود است. نتایج پژوهش در ایستگاه تمار نشان داد که در rSPI-24 ماهه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه، فراوانی طبقه نرمال کاهش خواهد یافت و در rSPI-3 ماهه در برخی از سناریوها به فراوانی طبقه نرمال افزوده خواهد شد (شکل ۴). در ایستگاه تمار در rSPI-3 و rSPI-24 ماهه فراوانی طبقات مرطوب کاهش خواهد یافت به گونه‌ای که ترسالی شدید و خیلی شدید وجود ندارد. این مسئله در rSPI-24 ماهه بیشتر نمایان است و فراوانی خشکسالی‌ها

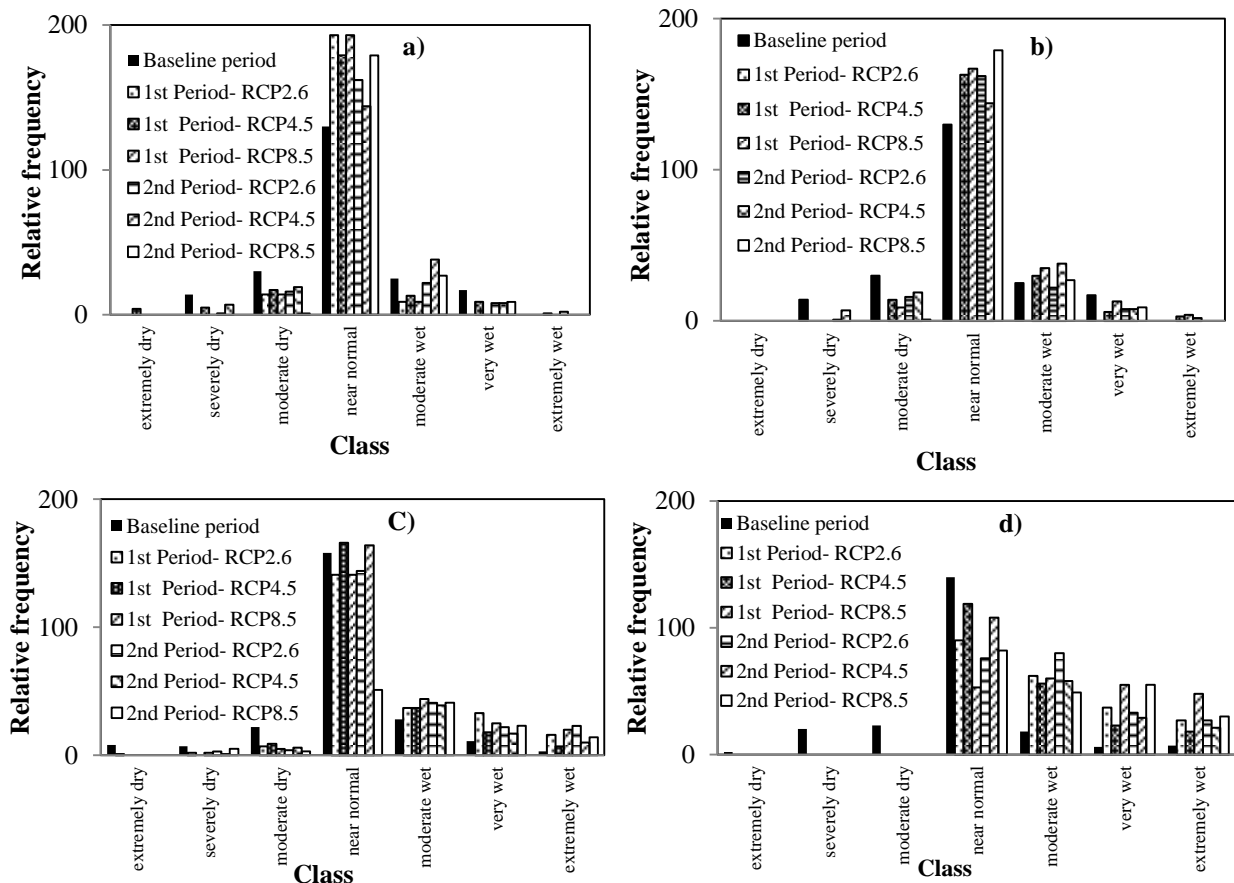


Figure 4- Relative frequency of different classes of drought in a) Arazkuse station, 3 months, b) Arazkuse station, 24 months, c) Tamar station, 3 months and d) Tamar station, 24 months

شکل ۴- فراوانی نسبی طبقات خشکسالی در (a) ایستگاه ارازکوسه - ۳ ماهه، (b) ایستگاه ارازکوسه - ۲۴ ماهه، (c) ایستگاه تمر - ۳ ماهه و (d) ایستگاه تمر - ۲۴ ماهه

و ترسالی رفت. در این حالت مقادیر احتمال ایستا با توان رساندن ماتریس احتمال انتقال به دست می‌آید (چنانچه طبقات مختلف در تبادل با هم نباشند نمی‌توان مقادیر احتمال ایستا را با ضرب کردن ماتریس احتمال انتقال در خودش به دست آورد) (Bhat and Miller, 2002). در جدول ۳ نتایج احتمالات ایستای به دست آمده برای برخی از مقادیر شاخص بارش استاندارد و بارش استاندارد نسبی در دو ایستگاه تمر و ارازکوسه ارائه شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود در هر دو ایستگاه بیشترین احتمال‌های ایستا مربوط به طبقه نرمال است. در هر دو ایستگاه با افزایش شدت ترسالی و خشکسالی از احتمال‌های ایستا کاسته شده است. در ایستگاه ارازکوسه در rSPI سه ماهه در تمام سناریوها در هر دو دوره زمانی آینده از احتمال طبقات ترسالی کاسته شده در صورتی که به احتمال طبقات نرمال و خشکسالی افزوده شده است. (Shahnoushi et al., (2010) نیز در پژوهش خود در

احتمالات طبقات خشکسالی در دوره پایه و آینده در بررسی احتمال و تداوم خشکسالی با زنجیره مارکف مشاهده گردید که در تمام ماتریس‌های انتقال بیشترین احتمالات در اطراف قطر اصلی بود که این مسئله نشان می‌دهد که هر طبقه تمایل دارد به طبقه نزدیک به خود انتقال پیدا کند. مشابه این مسئله در پژوهش‌های (Moreira et al., 2006; Paulo and Pereira, 2007; Yeh et al., 2014) در بررسی خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف گزارش شده است. در تمام ماتریس‌های احتمال انتقال وضعیت‌های جاذب^۱ و جود نداشت و از هر وضعیت (به غیر از طبقات خشکسالی که احتمال آن‌ها برابر صفر بود) سایر وضعیت‌ها در دسترس (تمام وضعیت‌ها در تبادل با هم) بودند. به عبارتی دیگر به غیر از طبقاتی که احتمال وقوع آن‌ها صفر بود در سایر طبقات می‌توان از یک طبقه خشکسالی و ترسالی به طبقه دیگر خشکسالی

¹Absorbing

به طبقات خشکسالی افزوده خواهد شد. همچنین در این ایستگاه در پنجره زمانی ۲۴ ماهه در تمام سناریوها در مقایسه با دوره پایه از احتمالات مربوط به طبقه نرمال کاسته خواهد شد و در تمام سناریوها احتمالات مربوط به طبقه ترسالی صفر خواهد شد. بیشترین مقدار کاهش احتمال طبقه نرمال در سناریوی RCP8.5 مشاهده شد. به طوری که در دوره آینده اول مقدار احتمال طبقه نرمال برابر با ۰/۲۱ و در دوره آینده دوم برابر ۰/۳۳ محاسبه شد. در صورتی که بیشترین مقادیر احتمال مربوط به طبقات خشکسالی شدید و خیلی شدید مربوط به این سناریو است.

ایستگاه گنبد نتیجه گرفتند که در دوره آتی از احتمال وقوع ترسالی‌ها کاسته خواهد شد و احتمال وقوع خشکسالی‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین در rSPI24 در بیشتر سناریوها نسبت به rSPI سه ماهه احتمال‌های طبقات نرمال بزرگ‌تر شده‌اند. در این پنجره زمانی فقط بر احتمال طبقات خشکسالی متوسط افزوده شده در حالی که از احتمال سایر طبقات خشکسالی و ترسالی کاسته خواهد شد. در ایستگاه تمر در مقایسه با دوره پایه در هر دو پنجره زمانی ۳ و ۲۴ ماهه از احتمال‌های مربوط به طبقات ترسالی کاسته خواهد شد و به احتمالات مربوط

Table 3- Estimated stationary probability of different classes of SPI indices in the base and two future periods

جدول ۳- مقادیر احتمال ایستای طبقات مختلف شاخص بارش استاندارد در دوره پایه و دو دوره آتی مورد بررسی

Station	Window	Period	Scenario	Extremely Dry	Severely Dry	Moderate Dry	Near Normal	Moderate Wet	Very Wet	Extremely Wet
Arazkuse station	Monthly-3	First future	RCP2.6	0.01	0.07	0.12	0.61	0.13	0.04	0.02
			RCP4.5	0.03	0.04	0.13	0.69	0.04	0.05	0.02
			RCP8.5	0.06	0.06	0.13	0.68	0.05	0.02	0.01
		Second future	RCP2.6	0.06	0.04	0.11	0.69	0.06	0.03	0
			RCP4.5	0.01	0.07	0.12	0.61	0.13	0.04	0.02
			RCP8.5	0.05	0.08	0.11	0.64	0.08	0.02	0.02
		Observation	0.01	0.07	0.012	0.61	0.13	0.04	0.02	
	Monthly-24	First future	RCP2.6	0	0	0.14	0.89	0.06	0	0
			RCP4.5	0.01	0.03	0.14	0.76	0.06	0	0
			RCP8.5	0	0.06	0.15	0.79	0	0	0
		Second future	RCP2.6	0.02	0.05	0.1	0.75	0.07	0	0
			RCP4.5	0	0.04	0.17	0.76	0.09	0.03	0
			RCP8.5	0	0.04	0.12	0.83	0	0	0
		Observation	0	0.07	0.11	0.58	0.16	0.07	0	
Tamar station	Monthly-3	First future	RCP2.6	0.07	0.14	0.16	0.59	0.03	0	0
			RCP4.5	0.03	0.08	0.16	0.7	0.04	0	0
			RCP8.5	0.09	0.11	0.19	0.6	0.01	0.01	0
		Second future	RCP2.6	0.1	0.09	0.17	0.61	0.02	0.01	0
			RCP4.5	0.04	0.07	0.16	0.69	0.03	0	0
			RCP8.5	0.06	0.1	0.17	0.64	0.01	0.01	0
		Observation	0.01	0.05	0.11	0.67	0.1	0.03	0.03	
	Monthly-24	First future	RCP2.6	0.12	0.17	0.29	0.42	0	0	0
			RCP4.5	0.08	0.11	0.27	0.54	0	0	0
			RCP8.5	0.26	0.27	0.27	0.21	0	0	0
		Second future	RCP2.6	0.12	0.15	0.37	0.35	0	0	0
			RCP4.5	0.1	0.14	0.28	0.49	0	0	0
			RCP8.5	0.18	0.27	0.22	0.33	0	0	0
		Observation	0	0	0.04	0.5	0.22	0.2	0.02	

با مقادیر مورد انتظار توسط توزیع نرمال جدول ۱ دارند. در حالی که در دوره‌های آینده که از rSPI جهت محاسبه مقادیر شاخص خشکسالی استفاده شده است، تفاوت بین احتمالات طبقات مختلف خشکسالی مورد انتظار (جدول ۱) با مقادیر محاسباتی با زنجیره مارکف جدول ۳ بیشتر شده است. در پژوهش (Vidal and Wade 2009) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها در

در ایستگاه تمر در پنجره زمانی ۲۴ ماهه به غیر از سناریوی RCP4.5 در دوره آینده اول در سایر سناریوها احتمال تجمعی طبقات خشکسالی به بیش از ۵۰ درصد که بیشتر از احتمال طبقه نرمال است، تجاوز خواهد کرد. با مقایسه جدول‌های ۱ و ۳ ملاحظه می‌شود برای دوره پایه که پارامترهای SPI توسط داده‌های آن تخمین زده شده، توزیع مقادیر احتمالات طبقات مختلف SPI اختلاف کمی

مقایسه متوسط تداوم طبقات خشکسالی در دوره پایه و آینده

متوسط تداوم هر یک از طبقات خشکسالی در دوره پایه و دو دوره آینده در جدول ۴ ارائه شده است. در ماتریس احتمال انتقال با در نظر گرفتن مقادیر قطر اصلی متوسط تداوم هر یک از طبقات خشکسالی محاسبه گردید.

انگلستان مشاهده کردند منحنی احتمال تجمعی طبقات خشکسالی در دوره پایه مشابه منحنی احتمال تجمعی توزیع نرمال استاندارد بود اما در دوره‌های آینده منحنی احتمال تجمعی به دست آمده برای طبقات مختلف SPI نسبتی متفاوت از منحنی احتمال نرمال استاندارد بودند. در ایستگاه تمر بیشترین و کمترین مقدار کاهش بارندگی به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 بودند.

Table 4- Average duration of different classes in the baseline and two future periods
جدول ۴- متوسط تداوم طبقات مختلف خشکسالی در دوره مشاهداتی و دو دوره آتی مورد بررسی

Station	Time scale	Period	Scenario	Extremely Dry	Severely Dry	Moderate Dry	Near Normal	Moderate Wet	Very Wet	Extremely Wet		
Arazkuse station	Monthly-3	First future	RCP2.6	1	1.14	1.38	3.56	1.88	1.29	4		
			RCP4.5	1	1	1.29	4.63	1.25	1	1.2		
			RCP8.5	1	1	1.2	4.54	1.3	1	1.5		
		Second future	RCP2.6	1.15	1	1.08	4.21	1.4	1.4	1		
			RCP4.5	1	1.14	1.38	3.56	1.88	1.29	4		
			RCP8.5	0.09	1.06	1.23	3.78	1.54	1	2		
		Observation			1	1.14	1.38	3.56	1.88	1.29	4	
			Monthly-24	First future	RCP2.6	1	1	4.29	38.6	3.5	1	1
					RCP4.5	3	1.5	4.29	18.11	2.8	1	1
	RCP8.5				1	2.17	2.36	21.25	1	1	1	
	Second future			RCP2.6	2.5	2	2.75	23.14	4	1	1	
		RCP4.5		1	2	4.22	14.4	1.17	1	1		
	RCP8.5	1	3	4.5	44.75	1	1	1				
	Observation			1	5.67	3.13	10.83	3.33	4.67	1		
Tamar station	Monthly-3	First future	RCP2.6	1.14	1.43	1.28	4.41	1	1	1		
			RCP4.5	1.4	1.29	1.23	4.88	1.29	0	0		
			RCP8.5	1.33	1.39	1.52	4.55	1.68	2	0		
		Second future	RCP2.6	1.35	1.38	1.41	5.14	1	1	0		
			RCP4.5	1.43	1.31	1.44	4.69	1	1	0		
			RCP8.5	1.27	1.28	1.21	4.44	1	1.67	0		
		Observation			1.5	1.1	1.47	4.39	1.57	1.75	2.67	
			Monthly-24	First future	RCP2.6	13.5	4.11	3.65	9	0	0	0
					RCP4.5	9	3.83	3.5	8.5	0	0	0
	RCP8.5				6.86	3.24	3	5.89	0	0	0	
	Second future			RCP2.6	9	3	4.44	6.91	0	0	0	
		RCP4.5		2.63	2.64	2.64	5.4	0	0	0		
		RCP8.5		7.5	4.58	3.5	10.25	0	0	0		
	Observation				3.5	3	3	17.5	3.83	3.33	1	

که مربوط به طبقه نرمال و کمترین متوسط تداوم مربوط به طبقه خشکسالی و ترسالی با تداوم یک ماه است. بعد از طبقه نرمال بیشترین تداوم مربوط به طبقه ترسالی و خشکسالی متوسط است. در پنجره زمانی ۲۴ ماهه بزرگ‌ترین تداوم‌ها برابر با ۴۵ و ۳۹ ماه به دست آمد که هر دو مربوط به طبقه نرمال هستند در هر دو پنجره زمانی تداوم طبقات خشکسالی نسبت به طبقات ترسالی بیشتر هستند. در ایستگاه ارازکوسه در مقایسه با ایستگاه تمر در پنجره زمانی ۳ ماهه تداوم طبقات نرمال کمتر می‌باشند. در ایستگاه تمر در هر دو پنجره زمانی در تمام سناریوها متوسط تداوم طبقات خشکسالی از طبقات ترسالی

طبق جدول ۴ در هر دو ایستگاه با افزایش پنجره زمانی SPI متوسط تداوم تمام طبقات نرمال، ترسالی و خشکسالی به غیر از حالت‌هایی که در آن‌ها هیچ طبقه خشکسالی و ترسالی مشاهده نشده، افزایش پیدا کرده است. در پژوهش‌های (Sayari et al., 2013; Vasiliades et al., 2009) نیز به نتایج مشابه رسیدند و بیان نمودند که با افزایش پنجره زمانی شاخص SPI از شدت ترسالی‌ها و خشکسالی‌های کاسته شده در صورتی که تداوم آن‌ها افزایش می‌یابد. نتایج بررسی تداوم طبقات خشکسالی جدول ۴ در ایستگاه ارازکوسه نشان داد که در پنجره زمانی سه ماهه در تمام سناریوها بیشترین متوسط تداوم برابر با ۵ ماه است

در جدول ۵ تعداد ماه‌های لازم برای رسیدن به حالت نرمال از هر یک از طبقات مختلف ترسالی و خشکسالی ارائه شده است. برای به دست آوردن این تعداد ماه، طبقه نرمال به عنوان وضعیت جاذب در نظر گرفته و تعداد گام‌های لازم برای رسیدن به وضعیت جاذب محاسبه گردید (Bhat and Miller, 2002).

بیشتر خواهد شد. در مقایسه با پنجره زمانی سه ماهه در پنجره زمانی ۲۴ ماه متوسط تداوم طبقات ترسالی کمتر شده و به تداوم طبقات خشکسالی افزوده خواهد شد. **تعداد ماه‌های لازم جهت رسیدن به شرایط نرمال در دوره پایه و آینده**

Table 5- Number of steps required for each drought class to reach normal conditions

جدول ۵- تعداد گام لازم برای هر طبقه خشکسالی جهت رسیدن به شرایط نرمال

station	Time scale	period	Scenario	Extremely Dry	Severely Dry	Moderate Dry	Near Normal	Moderate Wet	Very Wet	
Arazkuse station	Monthly-3	First future	RCP2.6	3.18	2.16	2.22	2.34	1.29	3.98	
			RCP4.5	2.74	2.13	1.58	2.25	2.42	3.14	
			RCP8.5	2.26	2.15	1.82	2.39	3.28	4.33	
		Second future	RCP2.6	2.33	1.74	1.69	1.91	1.78	2.78	
			RCP4.5	3.18	2.16	2.22	2.34	1.29	3.98	
			RCP8.5	2.51	1.93	1.95	1.91	2.4	3.2	
	Monthly-24	First future	Observation	3.18	2.16	2.22	2.34	1.29	3.98	
			RCP2.6	0	0	8.84	3.5	0	0	
			RCP4.5	15.19	12.35	9.48	2.82	0	0	
			RCP8.5	0	7.92	5.75	0	0	0	
			Second future	RCP2.6	13.12	12.53	8.94	5.74	6.75	0
				RCP4.5	0	11.16	9.17	5.2	12.2	0
		Observation	RCP8.5	0	13.78	11.08	1.01	0	0	
			Observation	0	13.69	8.21	7.41	12.14	0	
Tamar station	Monthly-3	First future	RCP2.6	4.39	3.86	2.68	2	2	3	
			RCP4.5	2.92	2.77	2.07	1.29	0	0	
			RCP8.5	3.98	3.14	2.61	2.33	2	0	
		Second future	RCP2.6	4.42	3.61	2.81	2.25	2.5	0	
			RCP4.5	3.22	2.61	2.09	1	2	0	
			RCP8.5	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0	
	Monthly-24	First future	Observation	2.42	2.26	1.84	2.14	2.83	4.32	
			RCP2.6	22.26	17.2	10.87	0	0	0	
			RCP4.5	18.74	13.59	6.18	0	0	0	
			RCP8.5	37.05	30.49	21.98	0	0	0	
			Second future	RCP2.6	25.36	18.24	11.65	0	0	0
				RCP4.5	18.13	15.77	4.94	0	0	0
		Observation	RCP8.5	32.45	26.55	17.29	0	0	0	
			Observation	9.5	9.86	5.84	7.45	8.93	9.1	

خشکسالی شدید اتفاق افتاده باشد در پنجره ۲۴ ماهه ۱۴ ماه و در پنجره سه ماهه ۲ ماه زمان لازم است تا منطقه به شرایط نرمال باز گردد. با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود در ایستگاه تمر چنانچه منطقه در شرایط خشکسالی قرار داشته باشد، مدت زمان بیشتری نسبت به حالتی که منطقه در شرایط مرطوب باشد لازم است تا به شرایط نرمال باز گردد. با افزایش پنجره زمانی، زمان رسیدن از شرایط خشکسالی به شرایط نرمال بیشتر می‌گردد. در مجموع در ایستگاه تمر با افزایش پنجره زمانی در دوره‌های آینده اثرات خشکسالی تشدید می‌گردد، به طوری که دوام، احتمال وقوع و تعداد ماه‌های لازم برای رسیدن به شرایط نرمال افزایش می‌یابد. با توجه به شکل

با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که در ایستگاه ارازکوسه در پنجره زمانی ۲۴ ماهه در مقایسه با طبقات ترسالی زمان بیشتری لازم است تا منطقه از حالت خشکسالی به حالت نرمال برسد و با افزایش شدت ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها زمان رسیدن به حالت نرمال بیشتر شده است. (Paulo and Pereira (2007) در بررسی خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکف در چند ایستگاه پرتقال مشاهده کردند با افزایش شدت خشکسالی زمان رسیدن به طبقاتی که خشکسالی نیستند بیشتر می‌گردد. در ایستگاه ارازکوسه با افزایش پنجره زمانی مدت زمان رسیدن به شرایط نرمال بیشتر شده است. به طوری که به عنوان مثال در دوره پایه چنانچه در ماهی

Burke, E. J., Brown, S. J., Christidis, N. 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre Climate Model. *Journal of Hydrometeorology*, 7: 1113–1125.

Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. Hlavinka, P. 2009. Application of relative drought indices in assessing climate change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96: 155 – 171.

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

Hirsch, R. M., Slack, J. R. 1984. Non-parametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6): 727–732.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC): Climate Change. 2001. *The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2007. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jafarzadeh, M. S., Rouhani, H., Heshmatpoure, A., Kashani, M. 2016. Detecting Trend of Meteorological Series Across the Gorganrood Basin in the Last Three Decades. *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 230-240. (In Farsi)

Jones, P. D., Hulme, M., Briffa, K. R., Jones C. G. 1996. Summer moisture availability over Europe in the Hadley center general circulation model based on the Palmer Drought severity index. *International Journal of Climatology*, 16: 155-172.

Kangas, R. S., Brown, T. J. 2007. Characteristics of US drought and pluvials from a high-resolution spatial dataset. *International Journal of Climatology*, 27: 1303–1325.

Khazanedari, L., Zabol Abbasi, F., Ghandhari, S. H., Kouhi, M., Mal-bousi, S. H. 2009. Drought prediction in Iran during next 30 years. 9th EMS Annual Meeting, 9th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, held 28 September – 2 October 2009, Toulouse.

Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., Ghorbani, R. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Reserach*, 30: 247- 253. (In Farsi).

Lee, J. H., Kwon, H. H., Jang, H. W., Kim, T. W. 2016. Future Changes in Drought Characteristics under Extreme Climate Change over South

۳ و همچنین جدول‌های ۲ تا ۵ می‌توان مشاهده کرد اختلاف نتایج سناریوهای مختلف نسبت به یکدیگر در مقایسه با اختلاف آن‌ها با مقادیر دوره پایه کمتر است. این بدان معنی است که تفاوت زیادی در نتایج سناریوهای مختلف مشاهده نشده است که (Vasiliades et al., 2009) نیز در مطالعه خود به نتیجه مشابه رسیدند.

نتیجه‌گیری

پیش‌گویی صحیح تغییر اقلیم، مهم‌ترین گام در مقابله یا کاهش اثرات منفی ناشی از تغییرات اقلیمی است. بر این اساس در این تحقیق برای دو ایستگاه درحوضه آبخیز گرگانرود، سری زمانی بارش آینده با مدل گردش عمومی جو CanESM2 با سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 پیش‌گویی شد. با بررسی نتایج حاصل از شاخص‌های ارزیابی مشاهده شد که مدل قادر است با دقت قابل قبولی مقادیر بارش را شبیه‌سازی کند. پس از شبیه‌سازی مقادیر بارش در دوره آینده اقدام به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر فراوانی، تداوم، احتمال ایستای طبقات خشکسالی و مدت زمان بازگشت به وضعیت نرمال در ایستگاه‌های آرازکوسه و تمر با استفاده از شاخص بارش استاندارد نسبی و زنجیره مارکف گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در ماتریس احتمال انتقال مقادیر عناصر قطری هر یک از ماتریس‌ها بیشتر بوده است، که این امر نشان می‌دهد احتمال وقوع حالت مشابه به حالت فعلی بیشتر از حالت‌های دیگر می‌باشد. از سوی دیگر با افزایش شدت خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها احتمال وقوع آن‌ها کاهش می‌یابد. در دو ایستگاه مورد مطالعه احتمال وقوع طبقه نرمال نسبت به سایر طبقات بیشتر بوده است. در ایستگاه‌های آرازکوسه و تمر احتمال وقوع خشک‌سالی بیشتر از ترسالی بوده است. با توجه به اهمیت موضوع تغییر اقلیم ضروری است که توجه بیشتری به این امر مهم شود زیرا که عدم توجه به آن موجب خواهد شد که کشور هزینه‌هایی به مراتب بیشتر را در آینده نه چندان دور به دلیل نداشتن سیاست‌ها و برنامه‌ریزی مشخص در مقابله با اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم می‌پردازد.

منابع

Bhat, U. N., Miller, G. K. 2002. *Element of applied stochastic processes*. Wiley Interscience, 488 pages.

- change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrud basin). *Meteorological Application*, 20(1): 115-127. (In Farsi).
- Shahnoushi, N., Shahhossei Dastjerdi, S., Darijani, A., Davari, K. 2010. Drought Risk Management for Sustainable Use of Agricultural Water Resources in Golestan Province (A Case of Gonbad-e-Kavous County). National Conference on Sustainable Development Patterns in Water Management. The Academy of Sciences Islamic Republic of Iran. (In Farsi)
- Strzepek, K., Yohe, G., Neumann, J., Boehlert, B. 2010. Characterizing changes in drought risk for United States from climate change. *Environmental Research Letter*, 5: 1-9.
- Vasiliades, L., Loukas, A., Patsonas, G. 2009. Evaluation of a statistical downscaling procedure for the estimation of climate change impacts on droughts. *Natural Hazards and earth System Sciences*, 9: 879-894.
- Vergni, L., Todisco, F. 2011. Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151: 301-313.
- Vidal, J. P., Wade, S. 2009. A multimodel assessment of future climatological droughts in the United Kingdom. *International Journal of Climatology*, 14 (29): 2056-2071.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M. 2002. SDSM- a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modeling Software*, 17(2): 145-157.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In: Wilhite DA (ed) *Drought: a global assessment*, Rout ledge: 3-18.
- Won Jung, I., Chang, H. 2012. Climate change impacts in spatial patterns in drought risk in the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Theoretical and Applied Climatology*, 108: 355-371.
- Yeh, C. F., Wang, J., Yeh, H. F., Lee, C. H. 2014. SDI and Markov Chains for Regional Drought Characteristics. *Sustainability*, 7: 10789-10808.
- Zargar, A., Rehan, Sadiq, R., Khan, F. I. 2014. Uncertainty-Driven Characterization of Climate Change Effects on Drought Frequency Using Enhanced SPI. *Water Resources Management*, 28: 15-40.
- Korea. *Advances in Meteorology*, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9164265>.
- Leng, G., Tang, Q., Rayburg, S. 2015. Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Global and Planetary Change*, 126: 23-34.
- Loukas, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L. 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies, in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*, 21(10): 1673-1702.
- McKee, T. B., Doesken N. J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Eighth conference on applied climatology*, January 17-22. Anaheim, CA: 179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales, *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Boston, 233-236.
- Meresa, H. K., Osuch, M., Romanowicz, R. 2016. Hydro-Meteorological Drought Projections into the 21-st Century for Selected Polish Catchments Water, 8 (206): 1-22.
- Mishra, A. K., Singh, V. P. 2009. Analysis of drought severity-area frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty. *Journal of Geophysical Research- Atmospheres*, 114, DOI: 10.1029/2008JD010986.
- Moreira, E. E., Paulo, A. A., Pereira, L. S., Mexia, J. T. 2006. Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models. *Journal of Hydrology*, 331(1-2): 349-359.
- Mosaedi, A., Sharifiyan, H., Shahabi, M. 2007. Drought risk management with respect to Golestan Province microclimate. Final report of research project in Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. (In Farsi)
- Paulo, A., Pereira, L. 2007. Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains. *Water Resources Management*, 21(10): 1813-1827.
- Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., DeJong, R., Bootsma, A. 2004. Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*, 26(3): 175-191.
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., Farid, A. 2013. Using drought indices to assess climate

The effect of climate change on wet and dry spells' characteristics (Case study: Arazkuse and Tamar stations in Golestan Province)

M. Bahlake¹, A .Fathabadi^{2*}, H. Rouhani³, S. M. Seyedian⁴

Received: 26/06/2016

Accepted: 03/10/2017

Abstract

As a result of global warming a significant change in wet and dry spells pattern is expected. These variations would be more significant in regions with diverse climates like Golestan province, Iran. In this research, the impact of climate change on the frequency and intensity of droughts are assessed using Standardized Precipitation Indices (SPI) in two raingauges stations namely Arazkuse and Tamar. The rainfall data for baseline period (1986-2005) for both stations were collected and examined. The projections of rainfall amount for two future periods, 2031–2050 and 2051–2070, obtained from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) outputs were downscaled under three representative concentration pathway (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5), using the statistical downscaling model (SDSM). After evaluation of skill of WG model in simulation of historical rainfall data, SPI and relative SPI values in different time steps were calculated. Then by using first-order Markov chains drought characteristics during baseline and future period were compared. The results showed that probability of droughts in the future in both Tamar and Arazkuse stations, would increase. With increasing SPI time scale, duration of all drought classes is projected to decrease in the future under all three RCP scenarios.

Keywords: Climate change, Downscaling, SDSM, Markov chain, SPI Indices, Drought



¹ M. Sc. Student of Watershed Management, Gonbad e Kavus University, Gonbad e Kavus, Iran

² Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Gonbad e Kavus University, Gonbad e Kavus, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: fathbabadi@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2018.59710