

The Effects of Climate Change on Temperature, Precipitation and Drought in Upcoming Period in Shadegan Basin

M. A. Node Farahani^{1*}, A. Rasekhi², B. Parmas³
and A. Keshvari⁴

Abstract

In this study, to evaluate the effects of climate change on temperature, precipitation and future droughts in Shadegan Basin, output of the MPI-ESM-LR, BCC-CSM1-1 and NORESM1-M general circulation models under diffusion scenarios RCP4.5 and RCP8.5 is used. The outputs of general circulation models are downscaled using LARS-WG software. To evaluate the drought, the standardized precipitation index (SPI) was used for the base period (1986-2005) and future period (2020-2039) in time scales of 6, 12 and 24 months. The results showed that the maximum and minimum temperature in Shadegan Basin were increased in all months of the future period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. Precipitation changes do not show a general increasing or decreasing trend. The results showed that under RCP4.5 scenario and in 6, 12, and 24-month time scales, respectively 17.16, 14.70 and 18.74 percent of all months in the future period would be dry. In addition, under RCP8.5 scenario and in 6, 12, and 24-month time scales, respectively 16.45, 17.03 and 15.21 percent of all months in the future period will be dry. Under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, the number of dry months in the future period compared to the base period will respectively increase by 2.27 and 1.56 percent in 6-month time scale, decrease by 2.77 and 0.44 percent in 12-month time scale, and decrease by 2.00 and 5.53 percent in 24-month time scale. So under the climate change condition in future period, it is expected that the number of drought months is less than the number of months with normal and wet conditions.

Keywords: Climate Change, Drought, Model of the General Circulation, Precipitation, Shadeghan.

Received: July 25, 2017

Accepted: March 23, 2018

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آبی حوضه شادگان

محمدعلی نوده فراهانی^{۱*}، آنا راسخی^۲، بهنام پرماس^۳
و عبدالرحمن کشوری^۴

چکیده

در این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های آینده در حوضه شادگان، از خروجی سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. خروجی این مدل‌ها توسط نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شد. جهت ارزیابی خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد (SPI) طی دوره‌ی گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره‌ی آینده (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده گردید. نتایج بیانگر افزایش دمای حداکثر و حداقل در تمام ماه‌های سال در دوره آینده نسبت به دوره پایه در حوضه شادگان می‌باشد. بارش در دوره آبی روند مشخصی ندارد. نتایج نشان داد تحت سناریوی RCP4.5 و در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۱۷/۱۶، ۱۴/۷۰ و ۱۸/۷۴ درصد از کل ماه‌ها در دوره آبی دارای وضعیت خشک و تحت سناریوی RCP8.5 در دوره آبی در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۱۶/۴۵، ۱۷/۰۳ و ۱۵/۲۱ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت خشک می‌باشند. ماه‌های با وضعیت خشک در دوره آبی نسبت به دوره پایه تحت RCP4.5 و RCP8.5، در مقیاس ۶ ماهه به ترتیب ۲/۲۷ و ۱/۵۶ درصد افزایش، در مقیاس ۱۲ ماهه به ترتیب ۲/۷۷ و ۰/۴۴ درصد کاهش و در مقیاس ۲۴ ماهه به ترتیب ۲/۰۰ و ۵/۵۳ درصد کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی می‌شود در دوره آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه شادگان، تعداد ماه‌های خشکسالی نسبت به تعداد ماه‌های با وضعیت نرمال و مرطوب کمتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، خشکسالی، شادگان، مدل گردش کلی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۵/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱/۳

1- Ph.D. Student in Water Resource Engineering, Department of Civil Engineering, Azad University South Tehran Branch, Tehran, Iran. Email: node.farahani.civil@gmail.com

2- Graduated in hydraulic structure, Azad University South Tehran Branch, Tehran, Iran.

3- Ph.D. Student in Water Resource Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Tehran Science and Research Branch.

4- Associate Professor, Department of Management, Imam Hossain University, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۲- کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۳- دانشجوی دکتری عمران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تحقیقات تهران.

۴- دکتری مدیریت، استادیار دانشگاه جامع امام حسین (ع).

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

جهانی و تحت سناریوی A2، شدت - مدت و تکرار خشکسالی‌ها در انگلستان در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۹۰) و دوره آتی (۲۰۷۱-۲۱۰۰) بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که میانگین بارش در فصل زمستان افزایش و در فصل تابستان کاهش و به طور کلی شدت و تداوم خشکسالی‌ها کاهش خواهد یافت (Blenkinsop and Fowler, 2007). اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی در دوره پایه (۱۹۶۰-۱۹۹۰) و دو دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) و (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در منطقه تسالی^۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق خروجی مدل گردش کلی CGCM2 تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از یک روش آماری ریزمقیاس شد و شاخص SPI برای محاسبه شدت خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت. سری‌های زمانی بارش نیز برای دو دوره ۳۰ ساله آینده برآورد شدند و نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی به میزان زیادی بر شدت خشکسالی و در طراحی پروژه‌های آب در آینده اثر دارد (Loukas et al., 2008). تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی (۲۰۴۰-۲۰۶۹) تحت تأثیر تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از مدل گردش کلی HadCM3، سناریوی A2 و شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. مقایسه نتایج حاکی از این است که حوضه در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۶۹) شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) خواهد بود. این کاهش شدت برای مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه با افزایش دوره بازگشت افزایش می‌یابد. این در حالی است که برای خشکسالی‌های ۲۴ ماهه با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد شد (Golmohammadi and Massah Bavani, 2011). تأثیر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی دشت دزفول-اندیمشک با استفاده از شاخص بارش استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا خروجی چهار مدل گردش کلی (HadCM3، HadGEM1، ECHAM5 و CSIRO-MK3.5) تحت سناریوی انتشار A2 برای دوره‌ی ۲۰۸۴-۲۰۶۰، به کمک داده‌های روزانه بارش در دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۸۵) برای دو ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه ریزمقیاس شدند. سپس شاخص استاندارد بارش شش ماهه در دوره پایه و همچنین دوره‌ی آتی محاسبه شد. نتایج نشان داد که به طور کلی در دوره آتی، تداوم خشکسالی‌های شدید و خشکسالی‌های ضعیف افزایش و تداوم خشکسالی‌های با شدت متوسط کاهش می‌یابد (Hoseinizade et al., 2014). تغییرات اقلیمی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و اثر آن بر خشکسالی حوضه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از خروجی‌های مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 و شاخص خشکسالی SPI استفاده شد. براساس سناریوهای A2 و B1 دمای

امروزه پدیده تغییر اقلیم از جمله معضلاتی است که همواره در جهان مورد توجه قرار گرفته است. خشکسالی نیز از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد (Moafimadani et al., 2015). اولین گام در بررسی اثرات تغییر اقلیم، بررسی تأثیر این پدیده بر پارامترهای اقلیمی است. بنابراین جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، باید در ابتدا مقدار متغیرهای اقلیمی در آینده مورد شبیه‌سازی قرار گیرد. استفاده از مدل‌های گردش کلی یکی از معتبرترین روش‌های شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی می‌باشد (Ghosh and Mujumdar, 2008).

پدیده‌های حدی مانند خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (Quevauviller, 2011). کاهش میزان بارندگی و افزایش دما هر یک به تنهایی و یا به کمک هم می‌توانند موجب خشکسالی شوند (Miller, 1989). کشور ایران به لحاظ موقعیت جغرافیایی خاص خود نسبت به گردش عمومی جو و خصوصیات پستی و بلندی خود در کمربند خشک جهان قرار گرفته و در مجاورت با پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد. در نتیجه در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی شدید شده است. پدیده خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. از این رو برای کاهش آثار این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری است که به همین منظور خشکسالی‌های آینده را در نقاط مختلف کشور بررسی نمودند (Moafimadani et al., 2015).

تاکنون شاخص‌های زیادی از سوی پژوهشگران مختلف برای پیش‌بینی خشکسالی پیشنهاد گشته و تلاش شده است که حالت‌های مختلفی را دربرگیرد. SPI^۱ (شاخص استاندارد بارش) یکی از شاخص‌های مهم است که در تحلیل خشکسالی‌ها قابلیت بالایی از خود نشان داده است. این شاخص به دلیل سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های در دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در محاسبه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی شناخته می‌شود (Angelidis, 2012). در ادامه به تعدادی از تحقیقات انجام شده در این راستا اشاره شده است.

با استفاده از ۶ مدل گردش کلی شامل HadAM3H، ECHAM4/OPYC، HadAM3H و ECHAM4/OPYC

روی حوضه شادگان از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه‌های جراحی و زهره انجام گرفته است.

در این مطالعه جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های دوره آینده در حوضه شادگان از سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است. همچنین، در این مطالعه جهت ارزیابی خشکسالی در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، شاخص بارش استاندارد (SPI) به کار گرفته شده است.

۲- روش تحقیق

استان خوزستان به دلیل وجود پنج رودخانه پر آب کارون، دز، کرخه، هندیجان و جراحی و جاری شدن بیش از یک سوم آب‌های جاری کشور در آن، از نظر منابع آب و انرژی برق آبی، حائز اهمیت می‌باشد. از این رو در این تحقیق، محدوده مطالعاتی شادگان (حوضه آبریز درجه ۳) واقع در استان خوزستان مورد مطالعه قرار گرفت که مشخصات آن در ادامه آورده شده است. در این منطقه، ابتدا داده‌های دما و بارش خروجی مدل‌های MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به کمک نرم‌افزار LARS-WG ریزمقیاس شده و سری‌های زمانی دما و بارش روزانه منطقه مورد مطالعه برای دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تولید شد. سپس تغییرات دما و بارش در دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با معرفی سری‌های زمانی بارش تولید شده در دوره آتی و سری‌های زمانی بارش در دوره مشاهداتی به شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI)، وضعیت خشکسالی محدوده مورد مطالعه در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه شادگان واقع در استان خوزستان یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوضه آبریز رودخانه‌های جراحی و زهره در کشور ایران می‌باشد. همچنین حوضه آبریز رودخانه‌های جراحی و زهره نیز از جمله تقسیمات درجه ۲ موجود در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. بنابراین منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با کد ۲۴۱۱۱ و مساحتی برابر با ۱۳۲۶۸/۵۴ کیلومتر مربع واقع شده است (Habibi, 2015). حوضه شادگان از جنوب به خلیج فارس و محدوده‌های خرمشهر و هندیجان، از غرب به محدوده اهواز جنوبی،

کمیته و دمای بیشینه در دوره آتی افزایش خواهد یافت. نتایج نشان از افزایش ۷/۲ تا ۱۰/۹ درصدی متوسط بارش سالانه دارد. شدیدترین خشکسالی با توجه به SPI شش ماهه مربوط به آگوست و شدیدترین خشکسالی براساس SPI دوازده ماهه متعلق به دسامبر است. تحلیل سالانه این شاخص نشان داد که ۷۵ درصد سال‌ها وضعیتی نرمال دارد، بنابراین حوزه آبخیز اسکندری در دهه ۲۰۲۰ با افزایش فراوانی وقوع خشکسالی روبه‌رو نخواهد بود، اما انتظار می‌رود بارش به سمت فصل گرم جابه‌جا شود (Bahri et al., 2015). در تحقیقی دیگر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قره‌سو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی طی دوره آماری (۱۳۹۱-۱۳۷۰) بررسی شد. برای این منظور از چهار شاخص خشکسالی شامل، شاخص ناهنجاری بارش^۳ (RAI)، شاخص معیار بارش سالانه^۴ (SIAP)، شاخص جریان رودخانه‌ای^۵ (SDI) و شاخص سطح آب استاندارد^۶ (SWI) برای ارزیابی خشکسالی استفاده شد. نتایج نشان داد شدت خشکسالی از سال ۱۳۷۸ به تدریج افزایش یافته است که طبق مقادیر به دست آمده از هر یک از شاخص‌های خشکسالی، شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۸۶ و طولانی‌ترین خشکسالی طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۱ رخ داده است. براساس نتایج پهنه‌بندی خشکسالی مشخص شد در بیشتر مناطق حوضه، خشکسالی هواشناسی در طبقه‌ی خیلی شدید و خشکسالی هیدرولوژیکی جریان‌های سطحی در طبقه‌ی متوسط و خشکسالی هیدرولوژیکی منابع آب زیرزمینی در شمال شرقی و جنوب غربی حوضه و تا حدی بخش‌های مرکزی در طبقه‌ی خیلی شدید قرار گرفته است (Karimi et al., 2016).

به منظور بررسی تغییرات دمای کمیته و بیشینه، بارش و شدت خشکسالی (شاخص SPI) استان گلستان طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۴۵ نسبت به دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۵، خروجی مدل‌های HadCM3 و ECHHO-G تحت سناریو A2 توسط مدل LARS-WG در ۱۵ ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شد، هر دو مدل کاهش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و افزایش وقوع دوره نرمال را در مقیاس ماهانه و افزایش درصد وقوع دوره‌های خشک و مرطوب و کاهش دوره نرمال را در دوره آتی پیش‌بینی کردند (Kaboosi and Kordjazi, 2017).

بنابراین، خشکسالی از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی می‌باشد. از این رو بررسی اثرات تغییر اقلیم بر پدیده خشکسالی ضروری می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه کشور ما همواره در معرض خطر احتمالی خشکسالی می‌باشد و همچنین با توجه به تأثیر محسوس تغییرات اقلیمی بر منابع آب، این تحقیق بر

از شرق به محدوده جایزان و از شمال به محدوده‌های اهواز شمالی، میان آب-شوشتر و رامهرمز محدود شده است.

این حوضه در مختصات ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۳۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته و با شهرهای شادگان، ماهشهر، امیدیه و رامشیر در استان خوزستان هم مرز است. میزان بارش سالانه حوضه شادگان طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ برابر با ۲۳۸ میلی‌متر بوده و دمای متوسط هوا بین ۱۸ تا ۳۳ درجه در نوسان است. شکل ۱ نمایش شماتیکی از زیرحوضه شادگان در ایران می‌باشد.

۲-۲- مدل گردش کلی و سناریوهای مورد استفاده
در این مطالعه از سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. مدل MPI-ESM-LR توسط Max Planck Institute for Meteorology Germany، مدل BCC-CSM1-1 توسط Beijing Climate Center China و مدل NORESM1-M توسط Bjerkes Centre for Climate Research، Norwegian Meteorological Institute طراحی شده‌اند. سناریوهای انتشار RCP، بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند (IPCC, 2014).

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM و مؤسسه‌ی JGCRI⁷ در شمال غرب اقیانوس آرام طراحی شده است. سناریوی RCP8.5 توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی اتریش⁸ (IIASA) طراحی شده است (IPCC, 2001). سناریوی تغییر اقلیم از مقادیر اختلاف برای متغیر دما و نسبت برای بارندگی بین میانگین بلندمدت در دوره‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و میانگین بلندمدت شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) توسط مدل‌ها محاسبه شد.

جهت بررسی تغییرات دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم از داده‌های هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش) سه ایستگاه سینوپتیک اهواز، آبادان و امیدیه طی دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۶) استفاده شد. مشخصات جغرافیایی و متوسط پارامترهای هواشناسی در طول این دوره‌ی آماری در جدول ۱ آورده شده است.

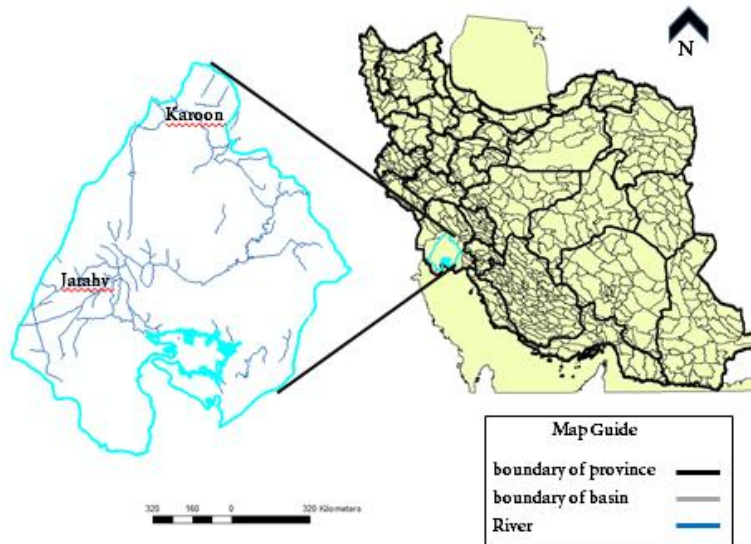


Fig. 1- A schematic display of the Shadegan subbasin in Iran
شکل ۱- نمایش شماتیکی از زیرحوضه شادگان در کشور ایران

Table 1- Geographical and meteorological parameters of the studied stations during the statistical period (1986-2005)

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و متوسط پارامترهای هواشناسی ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

Station Name	Station Code	Station Type	Longitude	Latitude	Elevation(m)
Ahvaz	40811	Synoptic	48.74	31.34	22.5
Abadan	40831	Synoptic	48.21	30.37	6.6
Omidyeh	40833	Synoptic	49.68	30.74	27

به منظور ارزیابی کارایی و دقت عملکرد سه مدل گردش کلی در NORESM1-M و BCC-CSM1-1، MPI-ESM-LR شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی، میانگین ماهانه سری زمانی ۲۰ ساله متغیرهای اقلیمی در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۶ حاصل از خروجی مدل با مقادیر مشاهداتی متناظر مقایسه شد. بدین منظور از معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطای نسبی^۹ (RMSEr)، ضریب تبیین^{۱۰} (R²) و ضریب نش-ساتکلیف^{۱۱} (NS) استفاده شد که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSEr = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} \right)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{[\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \right) \quad (3)$$

در روابط فوق P_i داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{P} متوسط داده‌های شبیه‌سازی شده، O_i داده‌های مشاهداتی، \bar{O} متوسط داده‌های مشاهداتی و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. ضریب تبیین R^2 معیار پراکنش بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی می‌باشد. مقدار ضریب تبیین از صفر تا یک تغییر می‌کند. هرچه مقدار R^2 به یک نزدیکتر باشد نشان‌دهنده‌ی همبستگی بالا بین دو مقدار است. کمتر شدن معیار RMSEr به منزله اختلاف حداقل بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است، که نشان از عملکرد بهتر مدل می‌باشد. مقدار NSE بین $-\infty$ تا ۱ متغیر است که هر چه قدر مقدار آن به یک نزدیک باشد، مدل کارا تر است (Rezaie, 2018).

دوره‌های خشک، تر، بارش روزانه و سری‌های تابش دارای توزیع نیمه تجربی است. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. دمای حداکثر و حداقل به صورت فرایندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیار روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم، برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار دمای فصلی به کار می‌رود و مقادیر باقی‌مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های حداکثر و حداقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل در سه مرحله شامل کالیبره کردن یا واسنجی، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی، داده را تولید می‌کند (Abassi et al., 2010). این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار آب و هوای گذشته ایستگاه و سناریوی تغییر اقلیم، مقادیر روزانه دمای حداقل، حداکثر و بارش را در آینده پیش‌بینی می‌کند (Jahanbakhshasl et al., 2016).

به منظور بررسی کارایی این مدل در اقلیم‌های مختلف کشور، مطالعاتی به شرح زیر صورت گرفته است. ۱۵ ایستگاه هواشناسی را در نقاط مختلف کشور به ویژه اقلیم خشک و نیمه خشک انتخاب نموده و کارایی مدل LARS-WG مورد ارزیابی قرار گرفت (Bazrafshan et al., 2009). نتایج مطالعات در ۱۲ ایستگاه ساحل شمال و جنوب ایران، نشان دهنده توانایی مدل مذکور برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در شرایط آب و هوایی ایران می‌باشد (Abbaya et al., 2011).

۲-۳- مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG

خروجی‌های مدل AOGCM را نمی‌توان به طور مستقیم در مطالعات مختلف به منظور پیش‌بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای استفاده کرد، به همین علت از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای رفع این مشکل استفاده می‌شود (Massah and Morid, 2005). بنابراین برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M و تولید سری زمانی بارش و دما برای دوره آتی از مدل آماری LARS-WG^{۱۲} استفاده شد. این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی (بارش روزانه، دمای حداکثر و حداقل) در یک ایستگاه استفاده شود (Semenov and Barrow, 2002).

LARS WG برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی، از توزیع‌های آماری پیچیده بهره می‌برد. بنابراین، مدل مذکور برای مدل‌سازی طول

۲-۴- بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI

از گذشته تاکنون روش‌های متفاوتی برای محاسبه خشکسالی ارائه گردیده که از آن جمله می‌توان به شاخص‌های پالمر (Bhalme and Mooley, 1980)، شاخص کمیت رطوبت (Sastri, 1993) و غیره اشاره کرد. اما شاخص SPI، به دلیل آن که مؤلفه اصلی آن بارش می‌باشد و به راحتی در دسترس محققان قرار دارد و نتایج آن با واقعیت، بیشتر مطابقت می‌نماید، اقبال محققان در استفاده از آن بیشتر بوده است (Bonaccorso et al., 2003). بنابراین در این مطالعه، جهت محاسبه خشکسالی ماهانه از شاخص SPI استفاده شد.

اساس شاخص بارش استاندارد (SPI) بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است که به منظور پایش و تعیین خشکسالی‌ها ارائه شد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه و یک ساله محاسبه می‌شود. محاسبه مقدار

بارش مشاهداتی محاسبه شد و فراوانی این مقادیر توسط شاخص‌های آماری R^2 و RMSEr با یکدیگر مقایسه گردید.

۳- نتایج و تحلیل نتایج

همانطور که پیش‌تر گفته شد در این مطالعه به منظور ارزیابی کارایی و دقت عملکرد مدل‌های MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی، مقادیر حاصل از خروجی مدل‌ها در دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ با مقادیر مشاهداتی متناظر با استفاده از سه شاخص آماری جذر میانگین مربعات خطای نسبی (RMSEr)، ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) مقایسه شدند. نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های آماری در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از شاخص آماری RMSEr نشان‌دهنده‌ی دقت بالای مدل‌های MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M در شبیه‌سازی دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش می‌باشد. شاخص RMSEr نشان داد که مدل داده‌های دمای حداکثر و دمای حداقل را با دقت بالاتری شبیه‌سازی می‌کند. مقادیر حاصل از ضریب تبیین R^2 بیانگر همبستگی بالا بین مقادیر اقلیمی (دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هر سه مدل می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص NSE نشان داد که هر سه مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی کارایی مناسبی دارد.

پس از ارزیابی مدل‌های MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M، خروجی‌های حاصل از این مدل‌ها در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) توسط مدل LARS WG ریزمقیاس شد. برای ارزیابی دقت مدل در تولید داده در دوره آینده باید داده‌های محاسباتی توسط مدل و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه با هم مقایسه شوند.

این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است. مقادیر شاخص SPI به دست آمده از داده‌های بلندمدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است.

برای دسته‌بندی خشکسالی و ترسالی براساس این شاخص، از معیارهای تعریف شده در جدول ۲ استفاده می‌شود. مطابق این جدول، هرگاه مقادیر SPI منفی باشد و مقدار آن به ۱- یا کمتر برسد معرف وقوع خشکسالی است. همچنین، مقادیر مثبت آن نشان دهنده خاتمه دوره خشکسالی است.

Table 2- Drought classification based on SPI Index

جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPI	
SPI Values	Drought Category
≤ -2.0	Extremely Dry
-2.0 to -1.5	Moderately Dry
-1.5 to -1.0	Dry
-1.0 to 1.0	Neutral
1.0 to 1.5	Wet
1.5 to 2.0	Moderately Wet
$2.0 \leq$	Extremely Wet

در این مطالعه، با استفاده از سری زمانی بارندگی حوضه، شاخص بارندگی استاندارد شده در مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه (معرف دوره‌های کوتاه مدت)، ۱۲ و ۲۴ ماهه (معرف دوره‌های بلندمدت) برای دوره‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۵ و ۲۰۲۰-۲۰۳۹ محاسبه گردید. همچنین به منظور حصول اطمینان از توانایی مدل‌های گردش کلی در برآورد خشکسالی‌ها، شاخص خشکسالی SPI در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) توسط داده‌های بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش کلی و شاخص خشکسالی SPI در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) توسط داده‌های

Table 3- Results of statistical indices for comparing observational and simulated climatic variables in the base period (1986-2005)

جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری برای مقایسه متغیرهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

Climate parameter	Model	RMSEr	R^2	NSE
Max Temperature	MPI-ESM-LR	0.057	0.995	0.970
	BCC-CSM1-1	0.205	0.981	0.532
	NorESM1-M	0.138	0.982	0.820
Min Temperature	MPI-ESM-LR	0.336	0.994	0.520
	BCC-CSM1-1	0.103	0.954	0.945
	NorESM1-M	0.135	0.996	0.960
Rainfall	MPI-ESM-LR	0.782	0.702	0.184
	BCC-CSM1-1	0.690	0.645	0.150
	NorESM1-M	0.809	0.653	0.095

با توجه به شکل‌های ۲(b, c) و ۳(b, c) مشاهده می‌شود که دمای حداکثر و دمای حداقل در تمام ماه‌های سال در دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

دمای حداکثر تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در دوره آینده نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۷۸ تا ۱/۵۴ درجه سلسیوس و دمای حداقل نیز تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در دوره آینده نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۷۵ تا ۱/۵۱ درجه سلسیوس خواهد یافت. همچنین دمای حداکثر تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در دوره آینده نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۵۹ تا ۱/۸۰ درجه سلسیوس و دمای حداقل نیز تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در دوره آینده نسبت به دوره پایه به میزان ۰/۸۶ تا ۱/۹۴ درجه سلسیوس خواهد یافت. بیشترین افزایش بارش تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در ماه جولای پیش‌بینی شده است که این به علت مقدار ناچیز بارش در دوره پایه می‌باشد. تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در ماه‌های مارس، آوریل، می، جولای، آگوست، سپتامبر و دسامبر و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در ماه‌های آوریل، می، جولای، آگوست، سپتامبر و دسامبر افزایش بارش و در مابقی ماه‌ها کاهش بارش پیش‌بینی شده است.

بدین منظور از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف^{۱۳} (Ks) استفاده شد که مقادیر P مربوط به آن برای سه پارامتر دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش مشاهداتی در ماه‌های مختلف، همگی در سطح معنی‌داری بالا (سطح ۱۰ درصد) قابل قبول بوده و بیانگر این است که مدل LARS-WG، برای شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دما در دوره آتی توانایی لازم را دارد.

سپس تغییرات دمای حداکثر، حداقل و بارش حاصل از مدل‌های BCC-CSM1-1، MPI-ESM-LR و NORESM1-M تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آتی و دوره پایه بررسی شد. در شکل‌های ۲ و ۳ تغییرات ماهانه بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره آینده (۲۰۲۳-۲۰۲۰) تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های ۲(a) و ۳(a) مشاهده می‌شود که بارش در دوره آتی روند مشخص افزایشی یا کاهش‌ی ندارد و در برخی ماه‌ها افزایش بارش و در برخی ماه‌ها کاهش بارش را در دوره آتی خواهیم داشت.

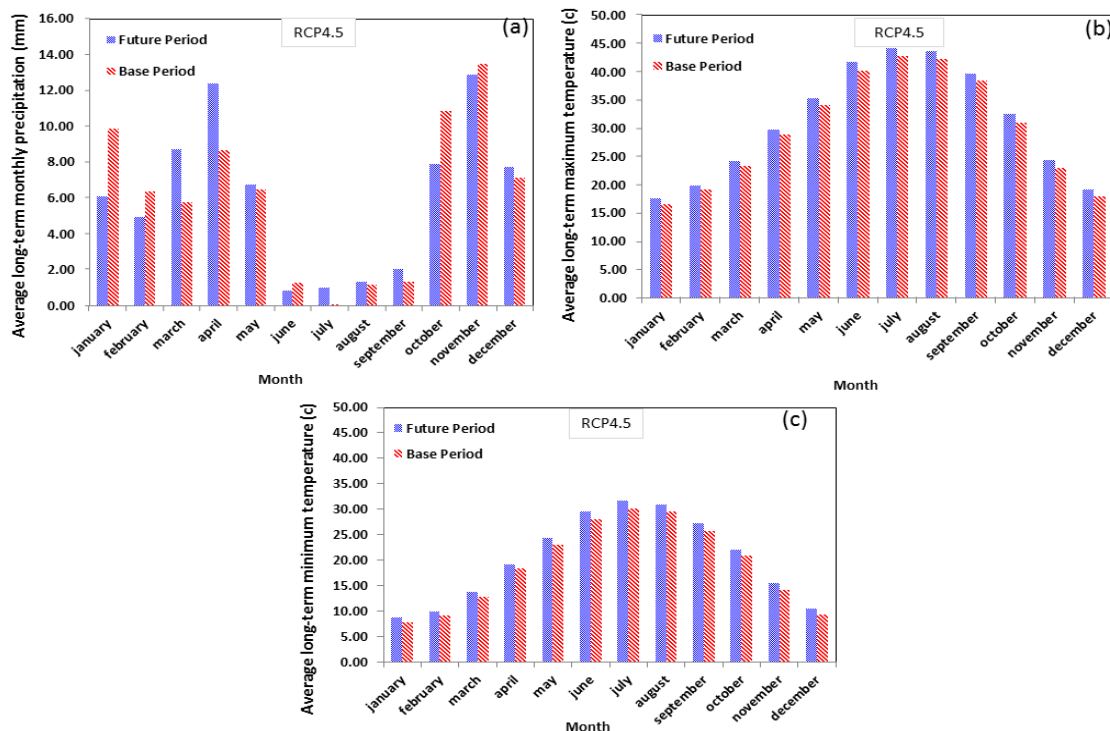


Fig. 2- Comparison of the long-term average monthly (a) rainfall, (b) maximum temperature, and (c) minimum temperature for the base period (2005-1986) and the upcoming period (2039-2020) under RCP4.5 scenario

شکل ۲- مقایسه میانگین دراز مدت ماهانه (a) بارش، (b) دمای حداکثر و (c) دمای حداقل در دوره‌ی پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و دوره‌ی آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت سناریوی RCP4.5

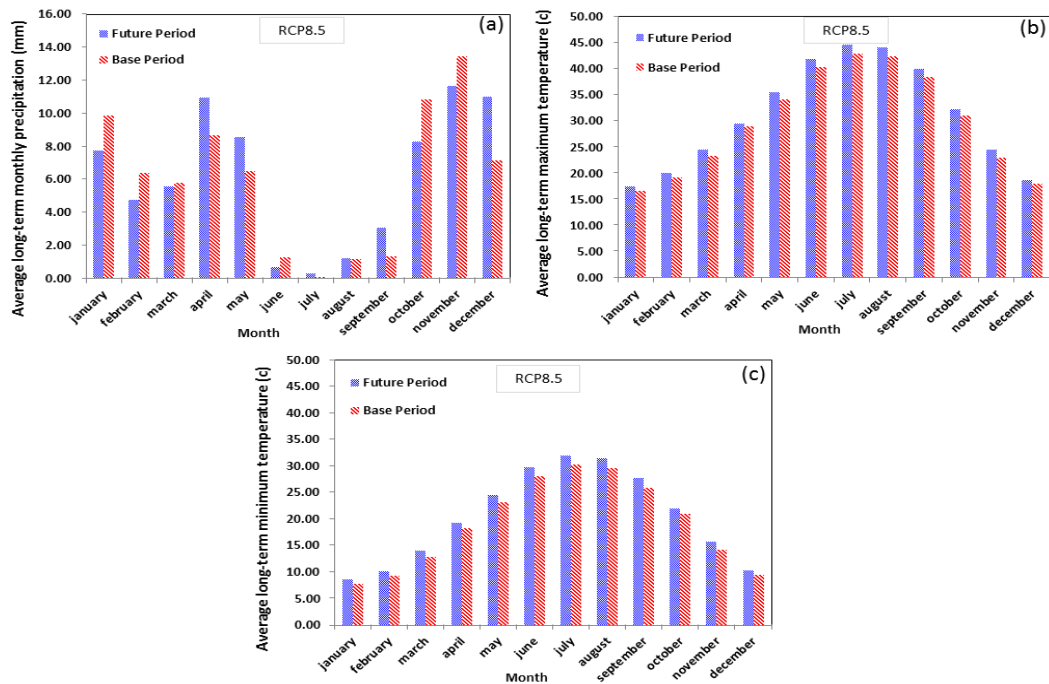


Fig. 3- Comparison of the long-term average monthly (a) rainfall, (b) maximum temperature, and (c) minimum temperature for the base period (2005-1986) and the upcoming period (2039-2020) under RCP8.5 scenario

شکل ۳- مقایسه میانگین دراز مدت ماهانه (a) بارش، (b) دمای حداکثر و (c) دمای حداقل در دوره‌ی پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره‌ی آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت سناریوی RCP8.5

آن حاصل از خروجی مدل‌های گردش کلی در دوره پایه، در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقادیر حاصل از شاخص‌های آماری بیانگر دقت مناسب مدل‌های گردش کلی در محاسبه خشکسالی‌های دوره پایه توسط شاخص بارش استاندارد SPI می‌باشد. بنابراین می‌توان از خروجی مدل‌های گردش کلی جهت بررسی خشکسالی‌ها در دوره آینده، بهره گرفت.

به منظور حصول اطمینان از توانایی مدل‌های گردش کلی در برآورد خشکسالی‌ها، شاخص خشکسالی SPI در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) توسط داده‌های بارش شبیه‌سازی شده با مدل‌های گردش کلی و شاخص خشکسالی SPI در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) توسط داده‌های بارش مشاهداتی محاسبه شد و فراوانی این مقادیر توسط شاخص‌های آماری R^2 و RMSEr با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج حاصل از مقایسه فراوانی مقیاس‌های مختلف خشکسالی‌های دوره مشاهداتی با فراوانی

Table 4- Comparing of drought frequency in different time scales by observational and simulated data in the base period (1986-2005)

جدول ۴- مقایسه فراوانی مقیاس‌های مختلف خشکسالی محاسبه شده توسط داده‌های مشاهداتی با فراوانی آن حاصل از خروجی مدل‌های گردش کلی در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵)

Time scale (SPI)	Model	RMSEr	R^2
6-month	MPI-ESM-LR	0.469	0.990
	BCC-CSM1-1	0.552	0.981
	NorESM1-M	0.414	0.988
12-month	MPI-ESM-LR	0.703	0.986
	BCC-CSM1-1	0.615	0.987
	NorESM1-M	0.514	0.989
24-month	MPI-ESM-LR	0.630	0.909
	BCC-CSM1-1	0.726	0.935
	NorESM1-M	0.214	0.987

همانطور که بیان گردید، در بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI، خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار -۱ و یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد.

شکل ۴ وضعیت شاخص خشکسالی SPI را برای مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت تأثیر سه مدل گردش کلی انتشار RCP4.5 نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز وضعیت شاخص خشکسالی SPI را برای مقیاس‌های زمانی ۶ ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه در دوره مشاهداتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت تأثیر هر سه مدل گردش کلی و سناریوی انتشار RCP8.5 نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل‌های ۴ و ۵ پیداست در هر سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در سری زمانی شاخص خشکسالی در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نوسانات زیادی وجود دارد. با این وجود می‌توان به شاخص‌های بارش استاندارد بیشتر از +۲ و کمتر از -۲ در دوره آینده اشاره کرد که نشان‌دهنده احتمال وقوع حالت‌های حدی خشکسالی و ترسالی در آینده می‌باشد. در مقیاس زمانی ۶ ماهه در دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم و سناریوی RCP4.5، در سال‌های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۰ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۴ ترسالی بسیار شدید پیش‌بینی شده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در دوره آتی تحت سناریوی RCP4.5 نیز در سال‌های ۲۰۲۸ و ۲۰۳۹ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال ۲۰۲۴ ترسالی بسیار شدید پیش‌بینی شده است. در نهایت پیش‌بینی شد در دوره آتی در مقیاس ۲۴ ماهه تحت سناریوی RCP4.5 در سال ۲۰۳۲ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۶ ترسالی بسیار شدید رخ خواهد داد.

پیش‌بینی احتمال وقوع حالت حدی خشکسالی در دوره آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان داد در مقیاس زمانی ۶ ماهه در دوره آینده تحت سناریوی RCP4.5، در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳، ۲۰۳۱ و ۲۰۳۵ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۵، ۲۰۲۷، ۲۰۲۸، ۲۰۳۰، ۲۰۳۱، ۲۰۳۴ و ۲۰۳۷ خشکسالی بسیار شدید پیش‌بینی شده است. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه در دوره آتی تحت سناریوی RCP4.5 در سال‌های ۲۰۳۱ تا ۲۰۳۴ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۲، ۲۰۲۴، ۲۰۲۷، ۲۰۳۶ و ۲۰۳۷ خشکسالی بسیار شدید پیش‌بینی شده است. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ در نهایت نتایج حاصل از پیش‌بینی‌ها نشان داد در

دوره آتی در مقیاس ۲۴ ماهه تحت سناریوی RCP4.5 در سال ۲۰۲۵، ۲۰۳۲ و ۲۰۳۹ و تحت سناریوی RCP8.5 در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ خشکسالی بسیار شدید رخ خواهد داد.

همچنین، شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که اغلب ماه‌ها در دوره پایه و دوره آینده در هر سه مقیاس زمانی و تحت هر دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5، دارای بارش نرمال می‌باشند.

در جدول ۵ و با توجه به محدوده‌های تعیین شده، فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در حوضه شادگان در طول دو دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و (۲۰۲۰-۲۰۳۹) براساس شاخص SPI و در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 ارائه شده است. طبق نتایج موجود در جدول ۵، در مقیاس‌های زمانی ۶ و ۱۲ ماهه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت تأثیر تغییر اقلیم و هر دو سناریوی انتشار، تعداد ماه‌های با وضعیت خشکسالی بسیار شدید کاهش و در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه در دوره آینده نسبت به دوره پایه، تعداد ماه‌های با وضعیت خشکسالی بسیار شدید افزایش خواهد یافت. در دوره آتی تعداد ماه‌های با وضعیت خشکسالی شدید در مقیاس‌های ۶ و ۲۴ ماهه تحت سناریوی RCP4.5، افزایش و تحت RCP8.5 کاهش و در مقیاس ۱۲ ماهه تحت هر دو سناریوی انتشار افزایش خواهد یافت. در دوره آینده تحت تأثیر تغییر اقلیم، تعداد ماه‌های با وضعیت خشک در مقیاس ۶ ماهه تحت هر دو سناریوی انتشار افزایش و در مقیاس‌های ۱۲ و ۲۴ ماهه تحت هر دو سناریوی انتشار کاهش خواهد یافت. همچنین تعداد ماه‌های با وضعیت مرطوب حاد، در دوره آتی تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به جز مقیاس ۲۴ ماهه تحت RCP8.5، کاهش خواهد یافت، در واقع تنها در مقیاس ۲۴ ماهه و تحت سناریوی RCP8.5، با افزایش ماه‌های با وضعیت مرطوب حاد در دوره آتی مواجه خواهیم شد. تعداد ماه‌های با وضعیت خیلی مرطوب در مقیاس ۱۲ ماهه و تحت سناریوی RCP4.5 در دوره آتی افزایش و در سایر مقیاس‌ها و تحت هر دو سناریو کاهش خواهد یافت. تعداد ماه‌های با وضعیت مرطوب حاد در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در دو مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه افزایش و در مقیاس ۲۴ ماهه کاهش خواهد یافت.

در جدول ۶، فراوانی و درصد فراوانی وقوع ماه‌های ترسالی، خشکسالی و نرمال در دوره آینده ارائه شده است. بررسی وضعیت بارش ماهانه در دوره آماری (۲۰۲۰-۲۰۳۹) توسط شاخص SPI با مقیاس زمانی ۶ ماهه نشان داد تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، ۱۹/۷۲ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده وضعیت مرطوب، ۶۳/۱۲ درصد ماه‌ها در

بنابراین پیش‌بینی شد که در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه شادگان در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه میزان خشکسالی‌ها موجود در دوره آتی نسبت به ماه‌های با وضعیت مرطوب کمتر می‌باشد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

پیش‌بینی خشکسالی یکی از راه‌کارهای مدیریتی است که به برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده از منابع محدود آب کمک شایانی می‌نماید. این مطالعه به منظور ارزیابی خشکسالی‌های دوره آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) در حوضه شادگان انجام شد. همچنین در این مطالعه، خشکسالی‌های دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۶) و اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی در دوره آتی مورد بررسی قرار گرفت.

دوره آینده تحت سناریوی RCP4.5 و ۶۳/۸۳ درصد ماه‌ها در دوره آینده تحت سناریوی RCP8.5 وضعیت نرمال و تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۷/۱۶ و ۱۶/۴۵ درصد ماه‌ها وضعیت خشک خواهند داشت. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۹/۸۰ و ۱۸/۲۰ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده دارای وضعیت مرطوب، ۶۵/۵۰ و ۶۴/۷۷ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت نرمال و ۱۴/۷۰ و ۱۷/۰۳ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت خشک می‌باشند. در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه نیز تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۱۸/۱۳ و ۱۵/۳۶ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده دارای وضعیت مرطوب، ۶۳/۱۳ و ۶۹/۴۳ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت نرمال و ۱۸/۷۴ و ۱۵/۲۱ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت خشک می‌باشند.

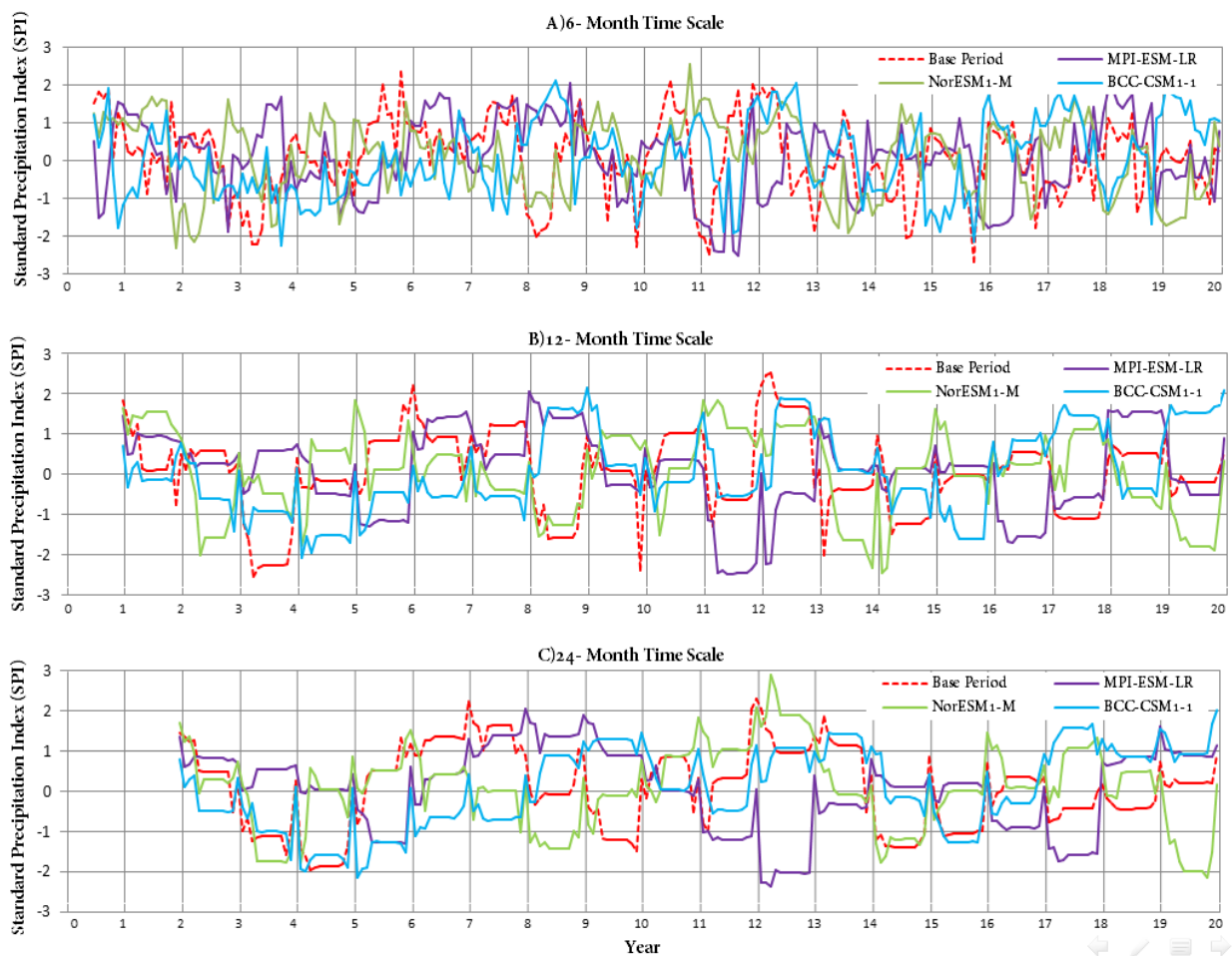


Fig. 4- Standard Drought Index (SPI) for the base period and future period under RCP4.5 scenario at (A) 6-month, (B) 12-month, and (C) 24-month time scales

شکل ۴- شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) برای دوره پایه و آتی تحت سناریوی RCP4.5 در مقیاس‌های زمانی (الف) ۶ ماهه، (ب) ۱۲ ماهه و (ج) ۲۴ ماهه

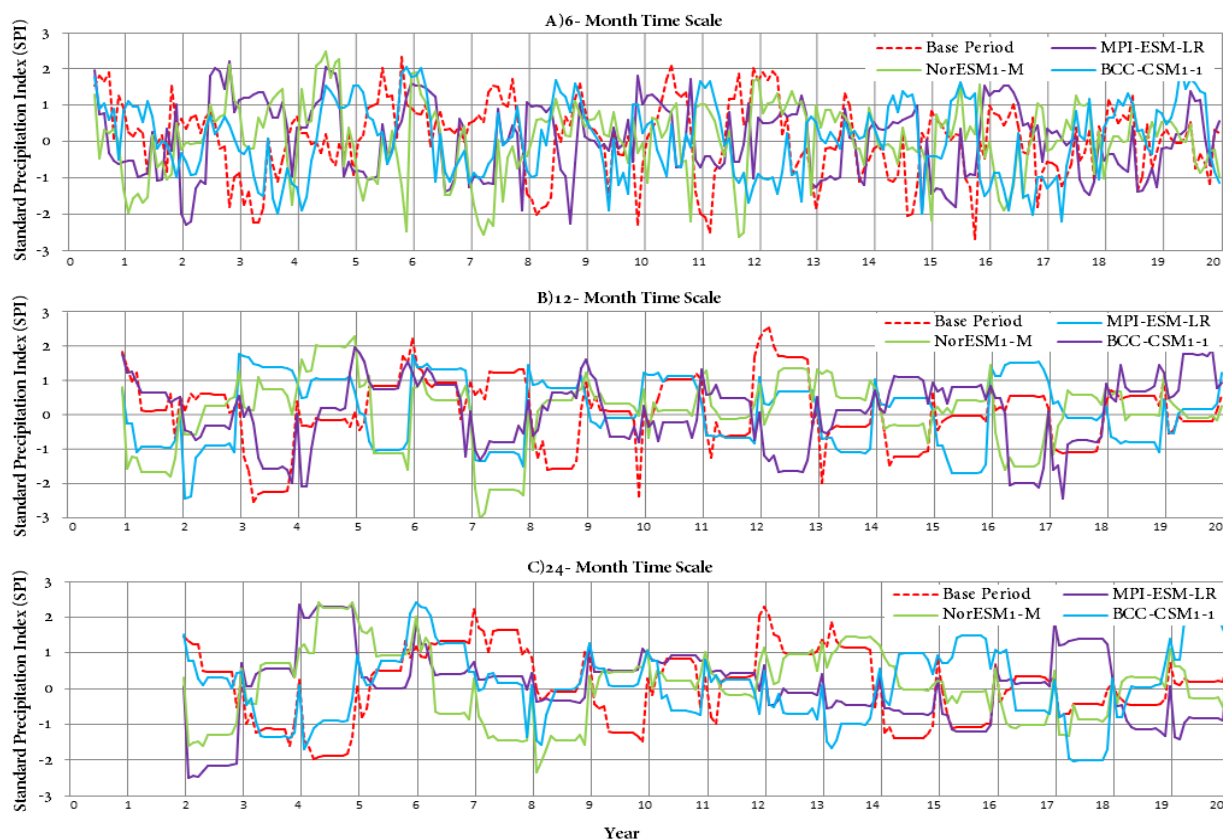


Fig. 5- Standard Drought Index (SPI) for the base period and future period under RCP8.5 scenario at (A) 6-month, (B) 12-month, and (C) 24-month time scales

شکل ۵- شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) برای دوره پایه و آتی تحت سناریوی RCP8.5 در مقیاس‌های زمانی (الف) ۶ ماهه، (ب) ۱۲ ماهه و (ج) ۲۴ ماهه

Table 5- Drought frequency based on SPI rainfall index in 6, 12, and 24-month time scales during basic and future periods

جدول ۵- فراوانی خشکسالی براساس شاخص بارش SPI در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه و طی دو دوره پایه و آینده

Time scale (SPI)	RCP	Period	Extremely Wet	Moderately Wet	Wet	Neutral	Dry	Moderately Dry	Extremely Dry
6 Month	Base	Base Period	4	16	19	161	15	12	8
	RCP4.5	Future Period	1	16	29	148	25	13	3
	RCP 8.5	Future Period	4	12	31	150	24	9	5
12 Month	Base	Base Period	5	11	21	152	23	7	10
	RCP4.5	Future Period	1	19	25	150	13	15	6
	RCP 8.5	Future Period	1	10	30	148	19	12	8
24 Month	Base	Base Period	4	10	31	127	35	10	0
	RCP4.5	Future Period	2	9	29	137	22	12	6
	RCP 8.5	Future Period	8	6	19	151	23	4	6

Table 6- The frequency and the frequency percentage of occurrence of wet, dry and normal month in the coming period

جدول ۶- فراوانی و درصد فراوانی وقوع ماه‌های ترسالی، خشکسالی و نرمال در دوره آینده

Time scale (SPI)	RCP	Wet		Neutral		Dry	
		Frequency	Frequency percentage	Frequency	Frequency percentage	Frequency	Frequency percentage
6-month	RCP4.5	46	19.72	148	63.12	40	17.16
	RCP 8.5	46	19.72	150	63.83	39	16.45
12-month	RCP4.5	45	19.80	150	65.50	34	14.70
	RCP 8.5	42	18.20	148	64.77	39	17.03
24-month	RCP4.5	39	18.13	137	63.13	41	18.74
	RCP 8.5	33	15.36	151	69.43	33	15.21

مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه به ترتیب ۱۹/۷۲، ۱۸/۲۰ و ۱۵/۳۶ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده وضعیت مرطوب، ۶۳/۸۳، ۶۴/۷۷ و ۶۹/۴۳ درصد ماه‌ها در دوره آینده وضعیت نرمال و ۱۶/۴۵، ۱۷/۰۳ و ۱۵/۲۱ درصد ماه‌ها وضعیت خشک خواهند داشت. بنابراین پیش‌بینی شد که تحت تأثیر تغییر اقلیم در حوضه شادگان در مقیاس‌های زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه میزان خشکسالی‌های موجود در دوره آتی نسبت به ماه‌های با وضعیت مرطوب و نرمال کمتر می‌باشد.

(Nikbakht 2017) خشکسالی حوضه آبریز کارون ۳ در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم را با استفاده از ۱۰ مدل گردش کلی و تحت سه سناریوی انتشار B1، A2 و A1B بررسی کرد. نتایج بیانگر آن است که فراوانی سال‌های نرمال و مرطوب در سناریوی انتشار B1 و A2 بیشتر از A1B است. همچنین برآیند کلی از فراوانی‌های خشکسالی در دوره‌های آتی نشان داد که دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) با افزایش سال‌های مرطوب همراه خواهد بود و دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) به تدریج وارد خشکسالی‌ها با تداوم بیشتر خواهد شد و در دوره (۲۰۹۹-۲۰۸۰) وضعیت خشکسالی‌ها بحرانی‌تر و با فراوانی بیشتری نسبت به دوره‌های قبلی رخ خواهد داد. ملاحظه می‌شود که نتایج این مطالعه با نتایج (Nikbakht 2017) در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) همخوانی دارد.

با توجه به تعداد کم مطالعات در رابطه با بررسی خشکسالی‌ها در دوره آینده، لازم است برای مدیریت بهتر منابع آب در مقابله با خشکسالی، تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود. همچنین پیشنهاد می‌شود به منظور تعدیل عدم قطعیت‌های موجود در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم از سایر مدل‌های گردش کلی نیز استفاده شود.

پی‌نوشت‌ها

1. Standardized Precipitation Index (SPI)
2. Thessaly

به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره آتی از سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و جهت بررسی خشکسالی از شاخص استاندارد بارش (SPI) استفاده شد.

نتایج حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و مقادیر P مربوط به آن برای سه پارامتر دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش مشاهداتی در ماه‌های مختلف بیانگر توانایی بالای مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای بارندگی و دما در دوره آتی می‌باشد. نتایج حاصل از تغییر اقلیم با استفاده از خروجی‌های سه مدل گردش کلی MPI-ESM-LR، BCC-CSM1-1 و NORESM1-M نشان داد که دمای حداکثر و دمای حداقل تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در دوره آینده نسبت به دوره پایه در تمام ماه‌های سال افزایش خواهد یافت. بارش در دوره آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم روند مشخص افزایشی یا کاهش‌ی ندارد. تحت سناریوی انتشار RCP4.5 در ماه‌های مارس، آوریل، می، جولای، آگوست، سپتامبر و دسامبر و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در ماه‌های آوریل، می، جولای، آگوست، سپتامبر و دسامبر افزایش بارش و در مابقی ماه‌ها کاهش بارش پیش‌بینی شده است.

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های دوره آتی در مقیاس زمانی ۶ ماهه تحت سناریوی RCP4.5 نشان داد که ۱۹/۷۲ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده وضعیت مرطوب، ۶۳/۱۲ درصد ماه‌ها در دوره آینده وضعیت نرمال و ۱۷/۱۶ درصد ماه‌ها وضعیت خشک خواهند داشت. در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ ماهه تحت سناریوی RCP4.5 به ترتیب ۱۹/۸۰ و ۱۸/۱۳ درصد از کل ماه‌ها در دوره آینده دارای وضعیت مرطوب، ۶۵/۵۰ و ۶۳/۱۳ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت نرمال و ۱۴/۷۰ و ۱۸/۷۴ درصد از ماه‌ها دارای وضعیت خشک می‌باشند. همچنین ارزیابی‌ها در دوره آتی نشان داد تحت سناریوی RCP8.5 در

- Habibi A (2015) Estimation of sediment production capacity in Shadegan basin using arifer and paygani model. *Geographical Researches Quarterly Journal* 30(3):171–184 (In Persian)
- Hoseinizade A, Kaboli HS, Zarei H, Akhonalı AM, Chamran S and Chamran S (2014) The intensity and return period of drought under future climate change scenarios in Dezful, Iran. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 39(1):34–45 (In Persian)
- Jahanbakhshasl S, Khorshiddoost A, Alinejad M and Porasghar F (2016) Impact of climate change on precipitation and temperature by taking the uncertainty of models and climate scenarios. *Journal of Hydrogeomorphology* 33(11):2128–2129 (In Persian)
- Kaboosi K and Kordjazi M (2017) The effect of climate change on meteorological and drought variables in Golestan province. *Iran-Water Resources Research* 13(3):205–213 (In Persian)
- Karimi M, Shahedi K and Khosravi K (2016) Investigation of meteorological and hydrological drought using drought indices in Qarehsou river basin. *Journal of Earth and Space Physics* 42(1):159–170
- Loukas A, Vasiliades L and Tzabiras J (2008) Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences* 17:23–29
- Massah B and Morid S (2005) The impacts of climate change on water resources and agricultural production. *Journal of Water Resources* 1(1):40–47 (In Persian)
- Tyler Miller G (1989) *Environmental Science* (2nd edition). Wadsworth Publishing Co., Belmont, CA. 448 pages. ISBN: 0-534-09066-4. \$NA
- Moafimadani F, Mosavibaygani M and Ansari H (2015) Prediction of Khorasan Razavi Province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. *Geography and Environmental Hazard* 7(2):157–171 (In Persian)
- Nikbakht Shahbazi A (2017) Assessment of climate change impact on precipitation and temperature variation in watershed of Karoon 3 Dam. *Journal of Environment and Water Engineering* 3(2):133-143
- Quevauviller P (2011) Adapting to climate change: Reducing water-related risks in Europe-EU policy and research considerations. *Environmental Science and Policy* 14(7):722–729
- Rezaie H, Khanmohammadi N, Montazeri M, Behmanesh G (2018) Evaluating the selection of the most suitable probability distribution function for using the RDI and SPI drought indices. *Water and Soil Science* 28(1):29-40
3. Rain Fall Anomaly Index
 4. Standard Index of Annual Precipitation
 5. Stream flow Drought Index
 6. Standard Water Surface Index
 7. Joint Global Change Research Institute
 8. International Institute for Applied Systems Analysis
 9. Relative Root Mean Square Error (RMSEr)
 10. Coefficient of Determination (R2)
 11. Nash-Sutcliffe
 12. Long Ashton Research Station-Weather Generator Chi-Square

۵- مراجع

Abassi F, Malbosi S, Mabaecian I, Asmari M and Morhani R (2010) Climate change prediction of south Khorasan Province during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data. *Journal of Water and Soil* 24(2):218–233 (In Persian)

Abbasi B, Mirzayi F and Sohrabi T (2011) Evaluation of performance of LARS-WG in 12 coastal weather station of Iran. *Journal of Iranian Water Research* 5(9):217–222 (In Persian)

Bahri M, Dastorani M and Godarzi M (2015) Assessment of future drought under climate change status, case study: Eskandari Basin, Isfahan Province. *Journal of Watershed Engineering and Management* 7(2):157–171 (In Persian)

Bazrafshan J, Khalili A, Horfar A, Torabi S and Hejam S (2009) Comparison of the performance of climate Gen and LARS-WG models in simulating the weather factors for diverse climate of Iran. *Iranian Water Resource Research Journal* 5(1):44–57 (In Persian)

Bhalme H N and Mooley D A (1980) Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review* 1197–1211

Blenkinsop S and Fowler HJ (2007) Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models. *Journal of Hydrology* 342(1–2):50–71

Bonaccorso B, Bordini I, Cancelliere A, Rossi G and Sutera A (2003) Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management* 17(4):273–296

Ghosh S and Mujumdar PP (2008) Statistical downscaling of GCM simulations to streamflow using relevance vector machine. *Advances in Water Resources* 31(1):132–146

Golmohammadi M and Massah Bavani A (2011) The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. *Journal of Water and Soil* 25(2):315–326 (In Persian)

Semenov M A and Barrow E M (2002) A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User Manual, Hertfordshire, UK (August):0-27

Sastri ASRAS (1993) Agricultural Drought management strategies to alleviate impacts: examples from the arid and subhumid regions of the Indian subcontinent. Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies 65-86, Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8-5>