



The impact of climate change on severity, duration, and magnitude of drought using SPI and RDI in the Semnan region

Mahdi Delghandi^{1*}, Sanaz Joorablou², Zahra Ganji Nowroozi³

1. Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
2. Ph.D. Student, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Thecnology, Shahrood, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

*Corresponding Author: delghandi@shahroodut.ac.ir

Keywords:

Climate Change, Emission
Scenarios, Drought, RDI, SPI.

Extended abstract

Introduction

In recent years human activities have induced increases in atmospheric carbon dioxide (CO₂). Increases in [CO₂] caused global warming and climate change (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Climate change is anticipated to cause negative consequences, some of which will have directly obvious impacts, such as intense precipitation, surface water resources and flooding while some will have long-term impacts such as sea level rise, diseases and droughts. Globally, droughts have a devastating impact on agriculture, the economy, and society. Drought monitoring is an essential component of drought risk management. Drought indices are indispensable tools to detect, monitor, and evaluate drought events. These indices were classified as meteorological drought indices. The Reconnaissance Drought Index (RDI) and standardized precipitation index (SPI) are the most popular drought assessment Indices.

As global warming cascades into the next generation, a change in drought intensity and duration as considered by many studies is becoming a threat to humanity. Therefore, any measures for mitigation and adaptation require careful assessment of historical events and accurate representation of future drought based on new methodological approaches. Since Semnan is located in the arid and semi-arid region, drought assessment is very important. To be prepared for the negative impacts of drought, it is essential to predict their properties. Therefore, the aim of this paper is to examine climate change impacts on drought frequency, severity and duration using two drought indices (SPI and RDI) for Semnan region located in Iran.

Received:

Dec/18/2022

Revised:

Feb/25/2022

Accepted:

Mar/28/2023

How to cite this article:

Delghandi, M., Joorablou, S., & Ganji Nowroozi, Z. (2023). The impact of climate change on severity, duration and magnitude of drought using SPI and RDI in Semnan region. *Journal of Drought and Climate change Research*, 1(1), 1 - 18. [10.22077/JDCR.2023.5909.1004](https://doi.org/10.22077/JDCR.2023.5909.1004).



Material and method

Study Area

The synoptic station of Semnan, with an elevation of 1127 meters has longitude of 53°23 ' East, latitude of 35°35 ' North. The annual precipitation at this station is 140 mm, the average Tmin and Tmax is, respectively, 12.5 and 23.8 °C, respectively.

Generating climate precipitation scenarios

The outputs from 13 AOGCMs following two emission scenarios RCP8.5 and RCP4.5 were utilized to produce monthly rainfall and temperature climate scenarios. The periods 1971-2000, 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099 were selected as baseline and future periods, respectively. The LARS-WG model was used for spatial and temporal downscaling of temperature and precipitation time series and daily precipitation and temperature scenarios were generated at probability levels of 0.50, 0.75 and 0.90 for the three future periods.

Drought indices

Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI)

For the calculation of SPI and RDI, the long-term data (precipitation for SPI, precipitation and evapotranspiration for RDI) are fitted to a gamma distribution. Drought occurs when SPI and RDI reach a value of -1.0 or less.

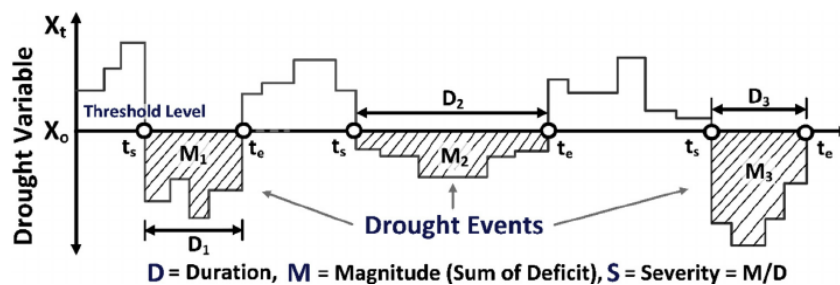
Evapotranspiration and precipitation deficit (PD)

There are several models for the estimation of reference evapotranspiration (ET_o). In this study, FAO Penman-Monteith (FAO PM) and Hargreves-Samani methods were used to estimate ETo.

Drought characteristics

Yevjevich (1967) proposed the Run theory to identify drought parameters (duration, magnitude and severity) which are described in Fig 1. The most key element for extracting these parameters is the threshold level, which may be a constant or a function of time.

Fig. 1. Drought characteristics

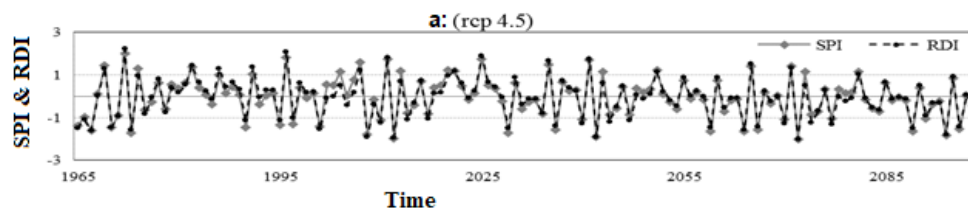


Results and Discussion

As a result, the FAO Penman-Monteith method (FAO PM) was found to be more precise than the Hargreves-Samani method for estimating ETo. Therefore, in this study FAO PM used for estimation of RDI in climate change scenarios.

Temporal changes of SPI and RDI at 1-year timescale, under the risk level of 0.5 are illustrated in Fig 2.

Fig 2. Temporal changes of SPI and RDI at 1-year timescale, under the risk level of 0.5 (a): RCP4.5 (b): RCP8.5



The results revealed that as compared to the RCP4.5 scenario, in the RCP8.5 scenario, there will be more dry and wet periods. Drought duration predicted by RDI index compared to SPI index (at 1-year and 3-month time scales), under both emission scenarios in the future period (2010-2099) has decreased compared to the past period (1965-2009), but the number of droughts has increased. Additionally, increases and decreases in drought magnitude and severity were found at time scales 3-month and annually, respectively. These results provide observational evidence for the increasing risk of droughts as anthropogenic global warming progresses.



بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت، مدت و مقدار خشک‌سالی منطقه سمنان با استفاده از

دو شاخص SPI و RDI

مهدی دلقندی^{۱*}، ساناز جورابلو^۲، زهرا گنجی نوروزی^۳

۱. استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

۳. استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

*نویسنده مسئول: delghandi@shahroodut.ac.ir

چکیده

واژه‌های کلیدی:

تغییر اقلیم، سناریوهای انتشار، خشک‌سالی، RDI، SPI.

پایش خشک‌سالی یکی از اجزاء اساسی مدیریت ریسک خشک‌سالی می‌باشد. در این پژوهش، وضعیت خشک‌سالی در منطقه سمنان با استفاده از ۱۳ مدل جهانی گردش عمومی جو، تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP4.5 و RCP8.5) و سه سطح ریسک (۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI) برای سه دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) و دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) در چهار مقیاس زمانی مختلف (ماهانه، ۳ ماهه، ۶ ماهه و سالانه) محاسبه شد. شاخص SPI و RDI محاسبه شده برای سناریوهای مختلف تغییر اقلیم با نتایج دوره‌ی گذشته مقایسه شد. نتایج نشان داد که در سناریوی RCP8.5 در مقایسه با سناریوی RCP4.5، دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی بیش‌تری وجود خواهد داشت. مدت خشک‌سالی پیش‌بینی شده توسط شاخص RDI نسبت به شاخص SPI (در مقیاس‌های سالانه و سه ماهه) تحت هر دو سناریوی انتشار در دوره آتی (۲۰۹۹-۲۰۱۰) نسبت به دوره گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) کاهش داشته است؛ اما تعداد خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است. علاوه بر این، شاخص‌های خشک‌سالی RDI و SPI (تحت هر دو سناریوی انتشار) برای مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه و سالانه به ترتیب، افزایش و کاهش مقدار و شدت خشک‌سالی را نشان دادند. این نتایج بیانگر این است که افزایش ریسک خشک‌سالی در اثر گرمایش جهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی، در حال افزایش است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۹/۲۷

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۱/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۱/۰۸

مقدمه

اقلیمی بر رخداد خشکسالی‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد. بهرامی و همکاران (Bahrami et al., 2015)، زارعی و همکاران (Zarei et al., 2019) و بهرامی و همکاران (Bahrami et al., 2019) در مطالعاتی به بررسی شاخص‌های خشکسالی در ایران پرداختند.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی و تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی می‌تواند اطلاعات و داده‌های با ارزشی را در اختیار برنامه‌ریزان و مسئولان قرار دهد و آن‌ها را در اتخاذ تصمیمات راهبردی کمک نماید. در همین راستا؛ وانگ و همکاران (Wang et al., 2018)، گائو و همکاران (Gao et al., 2017)، لی و همکاران (Li et al., 2017)، اگان‌تنده و همکاران (Oguntunde et al., 2017)، ونکاترامن و همکاران (Venkatara-Dascălu et al., 2016)، داسکالو و همکاران (Dascălu et al., 2016) و اسدی‌زارچ و همکاران (Asadi Zarch et al., 2015) در مطالعاتی جداگانه به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی پرداختند.

به‌طور کلی، شرایط ویژه اقلیمی کشور ایران (خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی) و خصوصیات پدیده خشکسالی موجب شده تا شناخت دقیقی از زمان شروع و خاتمه، تداوم و شدت رخداد آن در کشور وجود نداشته باشد. محققانی نیز در ایران به بررسی خشکسالی در مناطق مختلف پرداختند. از جمله حسینی‌زاده و همکاران (Hoseinizade et al., 2016) در دشت دزفول-اندیمشک، زارع ایبانه و همکاران (Zareabyaneh et al., 2015) در منطقه همدان و صالح پور جم و همکاران (salehpour jam et al., 2015) در حوضه نیشابور به بررسی رخداد خشکسالی پرداختند؛ اما در منطقه شهرستان سمنان ایران مطالعه‌ای در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر شدت، مدت و مقدار خشکسالی صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق؛ اثرات تغییر اقلیم با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های GCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر خشکسالی شهرستان سمنان با استفاده از دو شاخص خشکسالی RDI و SPI مورد بررسی قرار گرفت.

خشکسالی‌ها هر چند سال یک‌بار، بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله کشور ایران را با شدت و دامنه گسترده‌تر نسبت به قبل در بر می‌گیرند و باعث خسارت فراوان اقتصادی، اجتماعی، انسانی و زیست‌محیطی می‌گردند. از طرفی دیگر بروز پدیده‌ی تغییر اقلیم در چند دهه‌ی اخیر، چالش‌های مربوط به خشکسالی و سیلاب را افزایش داده است. طبق تعریف هیئت بین دول تغییر اقلیم¹ (IPCC)، تغییر اقلیم به معنای تغییر در وضعیت اقلیم می‌باشد. این تغییر هر گونه تغییر در طول زمان، چه در اثر عوامل طبیعی و چه در اثر فعالیت‌های انسانی را شامل می‌گردد. در بین عوامل ایجاد تغییر اقلیم تنها عاملی که به صورت غیرطبیعی بر سیستم اقلیم کره زمین تأثیر می‌گذارد، افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل فعالیت‌های انسانی می‌باشد (IPCC, 2007). تغییر اقلیم بر همه اکوسیستم‌های مرتبط با اقلیم از جمله خشکسالی تأثیرگذار است.

در حال حاضر بهترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشد. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی نیازمند سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) می‌باشند (Onyutha, 2016). در مطالعات تغییر اقلیم به دلیل تنوع مدل‌های AOGCM، روش‌های ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌های اثر و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، مبحث عدم قطعیت نیز مطرح می‌گردد (Ruiz-Ramos and Minguez, 2010). بنابراین در بررسی اثرات تغییر اقلیم لازم است که عدم قطعیت‌های موجود نیز در نظر گرفته شود. بررسی احتمال رخداد خشکسالی با توجه به وقوع تغییر اقلیم، اولین گام در شناخت و کاهش میزان خسارت این پدیده خواهد بود. هر چه این پایش و شناخت دقیق‌تر صورت پذیرد، مدیریت ابعاد بحران‌های ناشی از آن امکان‌پذیرتر شده و جبران خسارت آن‌ها ساده‌تر می‌گردد. با توجه به خسارات فراوان خشکسالی، بررسی و تحلیل وضعیت عناصر

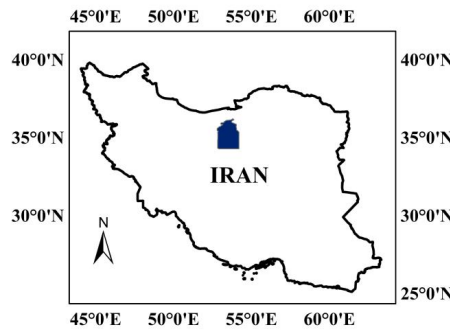
¹ Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای این مطالعه شهرستان سمنان انتخاب گردید (شکل ۱). داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، مقادیر ماهانه بارش، درجه حرارت کمینه، درجه حرارت بیشینه، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی و متوسط

سرعت باد می‌باشد. این داده‌ها مربوط به ایستگاه سینوپتیک سمنان در دوره آماری ۴۵ ساله (۲۰۰۹-۱۹۶۵) می‌باشد که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید. میانگین ماهانه ۴۵ سال آمار دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک سمنان در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه
Fig 1. Case study area

جدول ۱. دما (درجه سانتی‌گراد) و بارندگی (میلی‌متر) در ایستگاه سینوپتیک سمنان
Table 1. Temperature (°C) and rainfall (mm) at Semnan synoptic station

| متغیر Variable | Month ماه | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | June | July | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
| میانگین حداقل دما Mean minimum temperature | -0.6 | 1.2 | 6.0 | 12.0 | 17.3 | 22.7 | 25.5 | 24.2 | 19.9 | 13.6 | 6.7 | 1.4 |
| میانگین حداکثر دما Mean maximum temperature | 8.4 | 11.3 | 17.0 | 24.0 | 29.6 | 35.3 | 37.8 | 36.8 | 32.6 | 25.4 | 17.3 | 10.6 |
| میانگین دما Mean temperature | 3.9 | 6.2 | 11.5 | 18.0 | 23.4 | 29.0 | 31.7 | 30.5 | 26.3 | 19.5 | 12.0 | 6.0 |
| میانگین بارندگی mean rainfall | 19.9 | 20.9 | 25.0 | 16.5 | 13.0 | 4.1 | 3.0 | 2.6 | 1.5 | 6.2 | 9.5 | 18.5 |

تولید سناریوهای اقلیمی دوره‌های آتی

به منظور تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه در شرایط تغییر اقلیم، از خروجی ۱۳ مدل گردش عمومی GCM: CCSM4, BNU-ESM, bcc-csm1-1, GF- FIO-ESM, FGOALS-g2, CMCC-CM MI- JPSL-CM5A-LR, inmcm4, DL-CM3 و MRI-CGCM3, MPI-ESM-LR, ROC5 و NorESM1-M تحت دو سناریوی انتشار RCP8.5 و RCP4.5 (بحرانی‌ترین و حد متوسط سناریوها از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) استفاده گردید. به منظور حذف اغتشاشات غیر معتبر این مدل‌ها،

معمولاً بجای استفاده مستقیم از داده‌های AOG- CM، از میانگین دوره‌ای این داده‌ها استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که بهترین طول دوره آماری برای محاسبه‌ی سناریوهای تغییر اقلیم ۳۰ سال می‌باشد (IPCC-TGCI, 1999). در همین راستا با توجه به دسترسی به اطلاعات متغیرهای اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه، دوره ۲۰۰۰-۱۹۷۱ به عنوان دوره پایه انتخاب شد. همچنین سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل

دارای اهمیت بیشتری می‌باشند (Ruiz-Ramos and Minguez, 2010). لذا در این تحقیق نیز عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

برای تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش برای هر دوره آتی (با در نظر گرفتن دو منبع عدم قطعیت مورد بررسی) به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT و ΔP (رابطه ۱ و ۲) برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از دو سناریوی انتشار و برای هر ماه جداگانه محاسبه گردید. به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه ۱۳ تا ΔT و ΔP محاسبه گردید و با استفاده از نرم افزار Easy Fit، بهترین تابع توزیع بر مقادیر ΔT و ΔP هر ماه برآزش داده شد. سپس از تابع توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) ΔT و ΔP هر ماه، مقادیر ΔT و ΔP در سه سطح احتمال ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ استخراج گردید. این مراحل برای هر ۱۲ ماه تکرار گردید. با معرفی داده‌های بارش و دمای مشاهداتی دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و مقادیر ΔT و ΔP در سه سطح احتمال به مدل LARS-WG، سناریوهای تغییر اقلیم (بارش و دما) در سه سطح احتمال، برای دوره‌های آتی تولید شد.

شاخص‌های خشک‌سالی

در این تحقیق، شاخص‌های SPI و RDI با استفاده از نرم‌افزار ZimaSPI با بهره‌گیری از تابع توزیع گاما محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص SPI تنها از داده‌های بارش استفاده می‌گردد. در صورتی که برای محاسبه شاخص RDI از داده‌های بارش و تبخیر-تعرق به عنوان داده‌های ورودی استفاده می‌شود. مقادیر طبقات مختلف شدت خشک‌سالی شاخص RDI، مشابه با کلاس‌بندی ارائه شده مک‌کی و همکاران (Mckee et al., 1993) برای شاخص SPI می‌باشد (جدول ۲). با توجه به وجود ۳ دوره آتی، ۲ سناریوی انتشار و ۳ سطح احتمالاتی، در مجموع ۱۸ سناریوی تغییر اقلیم تولید گردید. خصوصیات خشک‌سالی حاصل از هر کدام از این سناریوها با دوره گذشته (۱۹۶۵-۲۰۰۹) مورد مقایسه قرار گرفت.

AOGCM، مقادیر اختلاف دما (رابطه ۱) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۲) بین میانگین دمای ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹، ۲۰۷۰-۲۰۹۹) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) توسط همان مدل، محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_i = (T_{AOGCM, fut_i} - \bar{T}_{AOGCM, base_i}) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}_{AOGCM, fut_i} / \bar{P}_{AOGCM, base_i}) \quad (2)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم به ترتیب مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($i \geq 1$)، میانگین \bar{T}_{AOGCM, fut_i} و \bar{P}_{AOGCM, fut_i} به ترتیب میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی هر ماه، $\bar{T}_{AOGCM, base_i}$ و $\bar{P}_{AOGCM, base_i}$ به ترتیب میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

ریز‌مقیاس کردن و عدم قطعیت

از آنجایی که خروجی مدل‌های AOGCM در مقیاس مکانی، بزرگ هستند؛ استفاده مستقیم از خروجی این مدل‌ها امکان‌پذیر نیست. برای غلبه بر این محدودیت، با روش‌های ریزمقیاس‌نمایی می‌توان تفکیک مکانی خروجی مدل‌های AOGCM را افزایش داد (Mahmood et al., 2015) در تحقیق حاضر، برای ریزمقیاس نمودن داده‌های بارش، از مدل LARS-WG استفاده گردید که توانایی و کارایی آن در تحقیقات انجام شده به اثبات رسیده است (Mishra and Lilhare, 2016).

عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم هنگامی مطرح می‌شود که از چندین مدل اقلیم یا مدل اثر استفاده گردد و یا در استفاده از این مدل‌ها، فرضیه‌ها و روش‌های مختلفی به کار گرفته شود. بنابراین منابع عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم، بسیار متنوع می‌باشند که در نظر گرفتن همه این منابع، به‌سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد (Nam et al., 2015) از بین همه منابع عدم قطعیت، عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای

جدول ۲. طبقات شدت دوره خشک براساس شاخص های SPI و RDI

Table 2. Drought classifications based on SPI and RDI indices

| مقدار شاخص Index value | طبقات خشکسالی Drought classes |
|---------------------------|--|
| $2 \leq$ | ترسالی بسیار شدید Extremely Wet (EW) |
| 1.5-1.99 | ترسالی شدید Severe Wet (SW) |
| 1.0-1.49 | ترسالی متوسط Moderately Wet (MD) |
| -0.99-0.99 | نرمال Normal (N) |
| -1.49-(-1) | خشکسالی متوسط Moderately Drought (MD) |
| -1.99-(-1.5) | خشکسالی شدید Severe Drought (SD) |
| $-2 \geq$ | خشکسالی بسیار شدید Extremely Drought (ED) |

در این مطالعه، مقدار (M) و شدت (S) خشکسالی وابسته به مقادیر شاخص های خشکسالی از روابط (۳) و (۴) محاسبه گردید:

$$M = \sum_{t=1}^D [DI_0 - DI_t] \quad (3)$$

$$S = \frac{M}{D} \quad (4)$$

در این روابط، مقادیر شاخص SPI و RDI در زیر سطح آستانه و، سطح آستانه است.

تبخیر - تعرق گیاه مرجع

انتخاب روش مناسب محاسبه ی تبخیر-تعرق، به داده های موجود در ایستگاه های هواشناسی و همچنین دقت مورد نیاز بستگی دارد (Goyal, 2004). با توجه به اینکه در این تحقیق، از بین پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق در دوره های آبی، تنها دما موجود می باشد، برای محاسبه ی تبخیر و تعرق از روش هایی که تنها وابسته به دما هستند، استفاده گردید. در همین راستا دو روش دمائی هارگریوز-سامانی و فائو پنمن-مونتیت (برآورد براساس داده های ناقص هواشناسی) برای دوره ی پایه با مبنا قراردادن روش پنمن-مونتیت فائو (برآورد بر اساس داده های کامل هواشناسی) محاسبه گردید.

صحت سنجی بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق

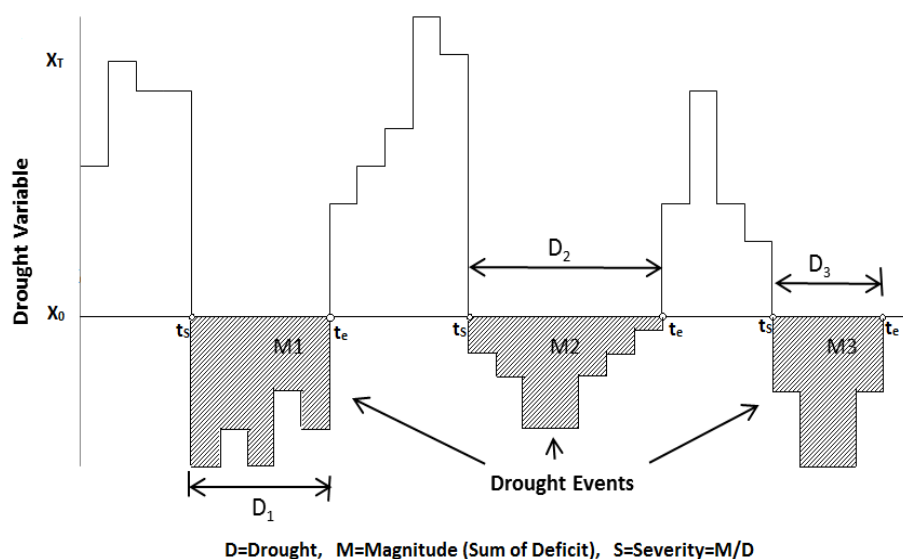
به منظور ارزیابی روش های محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع از شاخص های آماری مختلفی استفاده می شود. از آماره های لازم برای این منظور،

تحلیل شدت، مدت و مقدار خشکسالی

اغلب، خشکسالی به طور کمی، به صورت یک سطح آستانه تعریف می شود. سطح آستانه خشکسالی را می توان بر اساس مقادیر مختلف آستانه به طور دلخواه دسته بندی کرد. از آنجایی که در اکثر مطالعات ۱- به عنوان آستانه در نظر گرفته شده است، در این مطالعه نیز همین آستانه در نظر گرفته شد. یوجویچ در سال ۱۹۶۷ (Yevjevich, 1967) نظریه ای به نام تئوری ران^۱، را برای شناسایی سه مشخصه مدت (فاصله بین شروع و پایان خشکسالی)، مقدار (رابطه ۳) و شدت خشکسالی (نسبت مقدار به مدت خشکسالی) ارائه کرده است. طبق این نظریه خشکسالی به عنوان دوره ای که در زیر سطح آستانه قرار دارد، تعریف می شود. شکل (۲) قسمتی از یک متغیر خشکسالی برای یک سری زمانی را نشان می دهد.

در شکل (۲)، X_t بخشی از سری های زمانی متغیر خشکسالی و X_0 به عنوان سطح آستانه در نظر گرفته شده است. با توجه به تئوری ران، مدت زمان خشکسالی، دوره ی زمانی بین شروع و خاتمه یک خشکسالی در نظر گرفته می شود. مقدار خشکسالی، به صورت کمبود تجمعی مقادیر خشکسالی در زیر سطح آستانه تعریف می شود. همچنین شدت خشکسالی از تقسیم مقدار بر مدت خشکسالی به دست می آید (Sheffield and Wood, 2008).

¹ Run Theory



شکل ۲. ویژگی‌های خشکسالی با استفاده از تئوری دنباله‌ها (Yevjevich, 1967)

Fig 2. Drought characteristics using the 'run theory' (Yevjevich 1967).

سناریوی انتشار در سه سطح احتمال محاسبه گردید و خلاصه‌ی نتایج در جدول (۳) ارائه شد. مطابق جدول (۳)، می‌توان گفت مقدار بارش در دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹) نسبت به دوره پایه، برای سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب از ۰/۹۳ و ۰/۹۴ برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۱۷ و ۱/۱۷ برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ متغیر است. در دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹) نسبت به دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)، برای سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 مقادیر میانگین بارندگی سالانه به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. در دوره آتی سوم نتایج ΔP تقریباً مشابه دوره آتی دوم است.

مقادیر ΔT (جدول ۴) با استفاده از رابطه (۱) برای دوره‌های آتی محاسبه گردید. براساس نتایج جدول (۴) مشخص می‌شود که در دوره آتی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت سناریوی RCP4.5، متوسط دمای سالانه (ΔT) از ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۷۲ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ افزایش خواهد یافت. این مقادیر برای سناریوی RCP8.5 اندکی بیش‌تر می‌باشد به طوری که تحت این سناریو، افزایش متوسط دمای سالانه (ΔT) از ۱/۰۶ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۱/۷۹ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ متغیر است. در

میانگین ریشه دوم خطا^۱ (RMSE)، ضریب تعیین^۲ (R^2) و میانگین اربیبی خطا^۳ (MBE) را می‌توان نام برد. آماره‌های فوق با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \mu_p)(O_i - \mu_o)}{\sigma_{xp} \times \sigma_{xo}} \right]^2 \quad (7)$$

که در روابط بالا مقادیر پیش‌بینی شده، مقادیر مشاهده شده، n تعداد داده‌ها، μ مقدار متوسط داده‌ها و σ برابر با انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. آماره R^2 ، RMSE به ترتیب نشان‌دهنده‌ی نسبت پراکندگی، مقدار خطا می‌باشند که دقت روش را مورد بررسی قرار می‌دهند. حداقل مقدار RMSE صفر می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی کارایی عالی روش در محاسبه متغیر مورد بررسی است (Zareabyaneh et al., 2015). آماره MBE نیز بیانگر جهت انحراف داده‌های پیش‌بینی از داده‌های مشاهداتی می‌باشد.

نتایج و بحث

تغییرات دما و بارش منطقه

مقدار ΔP (رابطه ۲) برای سه دوره آتی تحت دو

¹ Root Mean Square Error

² Coefficient of determination

³ Mean Bias Error

این افزایش دما را بهمنش و همکاران (Behmanesh et al., 2015) در ارومیه، زارع ایبانه و همکاران (Za-reabyaneh et al., 2015) در منطقه همدان، دلقندی (Delghandi, 2016) در منطقه شاهرود، میشر و لیلهار (Mishra and Lilhare, 2016) در شبه‌قاره هند و محمود و همکاران (Mahmood et al., 2015) در حوضه Jhelum نیز گزارش کرده‌اند.

دوره آتی دوم و سوم افزایش دما در سناریوی RCP8.5 محسوس‌تر خواهد بود. به طوری که متوسط دمای سالانه (ΔT) در این دو دوره به ترتیب ۲/۵۲ و ۴/۴۴ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۲۵ تا ۳/۴۱ و ۵/۶۹ درجه سانتی‌گراد برای سطح احتمالاتی ۰/۷۵ افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی در سناریوی RCP8.5 در دو دوره آتی دوم و سوم افزایش دمای بیش‌تری نسبت به سناریوی RCP4.5 پیش‌بینی شده است.

جدول ۳. مقادیر ΔP تحت دو سناریوی انتشار در دوره‌های آتی (mm)

Table 3. The ΔP values under two emission scenarios in future periods (mm)

| دوره Period | ΔP | |
|----------------|------------|-----------|
| | RCP4.5 | RCP8.5 |
| 2010-2039 | 0.93-1.17 | 0.94-1.17 |
| 2040-2069 | 0.97-1.35 | 0.88-1.15 |
| 2070-2099 | 0.94-1.42 | 0.83-1.19 |

*اعداد کوچک‌تر مربوط به سطح ریسک ۰/۲۵ و اعداد بزرگ‌تر مربوط به سطح ریسک ۰/۷۵ می‌باشد.

*Smaller numbers correspond to the risk level of 0.25 and larger numbers correspond to the risk level of 0.75.

جدول ۴. مقادیر ΔT تحت دو سناریوی انتشار تبخیر-تعرق گیاه مرجع در دوره‌های آتی ($^{\circ}C$)
Table 4. The ΔT values under two emission scenarios in future periods ($^{\circ}C$)

| دوره Period | ΔT | |
|----------------|------------|-----------|
| | RCP4.5 | RCP8.5 |
| 2010-2039 | 1.03-1.72 | 1.06-1.79 |
| 2040-2069 | 1.73-2.85 | 2.52-3.41 |
| 2070-2099 | 2.48-4.09 | 4.44-5.69 |

*اعداد کوچک‌تر مربوط به سطح ریسک ۰/۲۵ و اعداد بزرگ‌تر مربوط به سطح ریسک ۰/۷۵ می‌باشد.

*Smaller numbers correspond to the risk level of 0.75 and larger numbers correspond to the risk level of 0.25.

جدول ۵. ارزیابی معادلات برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل
Table 5. Evaluation of potential evapotranspiration equations

| رابطه Equation | R ² | RMSE (mm/d) | MBE (mm/d) |
|----------------------|----------------|-------------|------------|
| HS | 0.86 | 0.90 | -0.22 |
| FAO 56 _{md} | 0.97 | 0.71 | -0.44 |

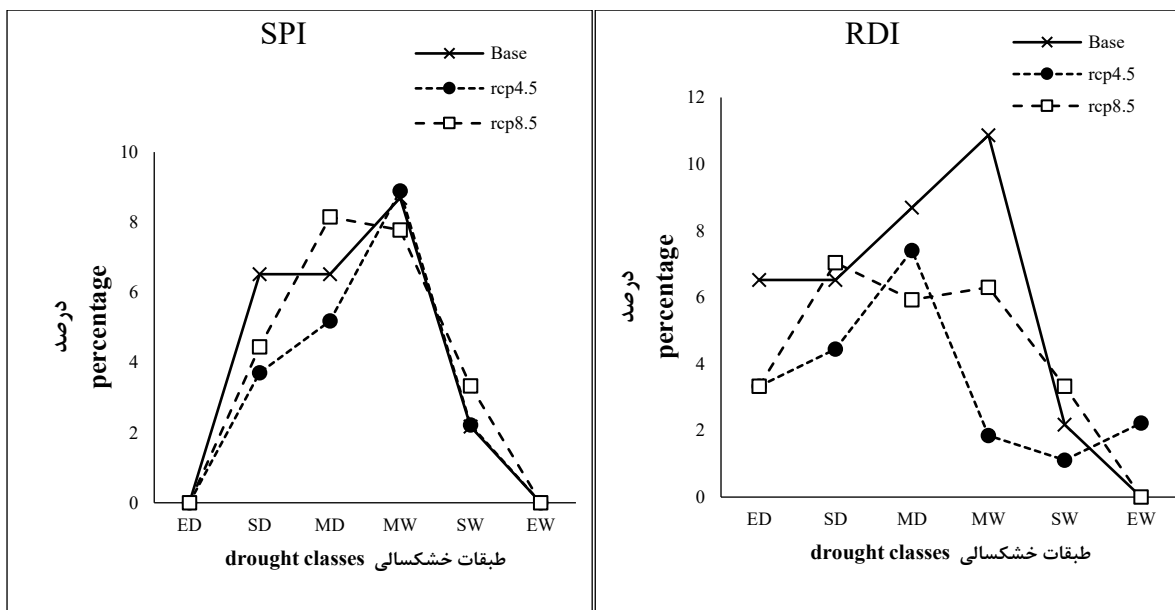
تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص خشک‌سالی سالانه

شاخص‌های خشک‌سالی RDI و SPI برای ۱۸ سناریوی دوره آتی و دوره گذشته محاسبه گردید. به منظور مقایسه سناریوهای انتشار (شکل ۳)، برای دوره‌ی آتی ۲۰۹۹-۲۰۱۰ از نتایج ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای هر یک از سناریوهای انتشار (RCP4.5 و RCP8.5) میانگین‌گیری شد. همچنین در این راستا

دو رابطه‌ی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با مرجع قرار دادن روش FAO 56 برای دوره (۲۰۰۹-۱۹۶۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۴). براساس نتایج جدول (۵)، روش فائو پنمن-مانتیت با داده‌های ناقص (FAO 56_{md}) در مقایسه با روش هارگریوز-سامانی (HS) به دلیل همبستگی و دقت بالاتر به عنوان روش برتر جهت محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع انتخاب گردید. از آنجایی که توصیه شده است جهت تعیین نیاز آبی گیاهان، تبخیر و تعرق با احتمال وقوع ۰/۸۰ محاسبه شود (Geerts et. al., 2010)؛ در این مطالعه نیز تبخیر و تعرق متوسط ماهانه با احتمال وقوع ۰/۸۰ (ریسک ۰/۲۰) برای دوره‌های آتی و گذشته محاسبه گردید.

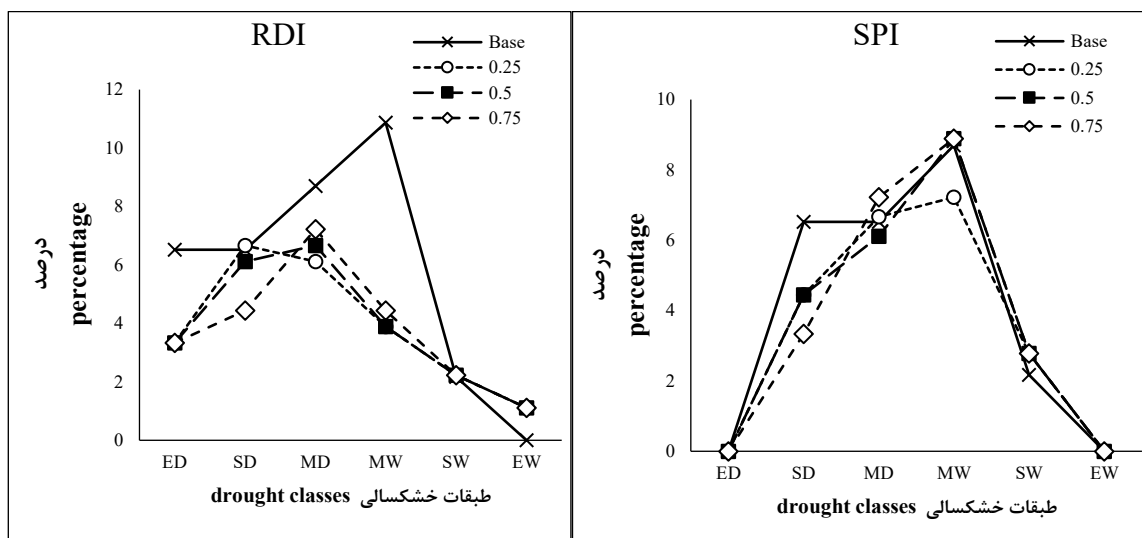
دوره‌های ترسالی و خشک‌سالی بیشتری وجود خواهد داشت. با توجه به شکل (۴)، با افزایش سطح ریسک برآورد کمتری از سال‌های خشک به ویژه در شاخص RDI پیش‌بینی می‌شود و بالعکس برای سال‌های تر، برآورد کمتری صورت گرفته است. در ادامه برای تحلیل نتایج مقیاس‌های زمانی یک‌ماهه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه خشک‌سالی از سطح ریسک ۰/۵ (برای دوره‌های آتی) استفاده می‌گردد.

برای مقایسه‌ی سطوح ریسک ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ (شکل ۴)، از همه اعداد مربوط به سطوح ریسک مختلف با دو سناریوی انتشار در دوره آتی ۲۰۹۹-۲۰۱۰ میانگین‌گیری کرده، سپس نتایج حاصل از سه سطح ریسک با یکدیگر مقایسه شد. همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوی RCP4.5 از حساسیت نسبتاً بالاتری در دوره‌های آتی برخوردار می‌باشد. به عبارت دیگر در سناریوی RCP8.5 در مقایسه با سناریوی RCP4.5.



شکل ۳. میانگین درصد کلاس‌های خشک‌سالی ۱۲ ماهه در دو سناریوی انتشار و دوره‌ی پایه

Fig 3. Average percentage of drought classes at 12-mon timescale in two emission scenarios and baseline period



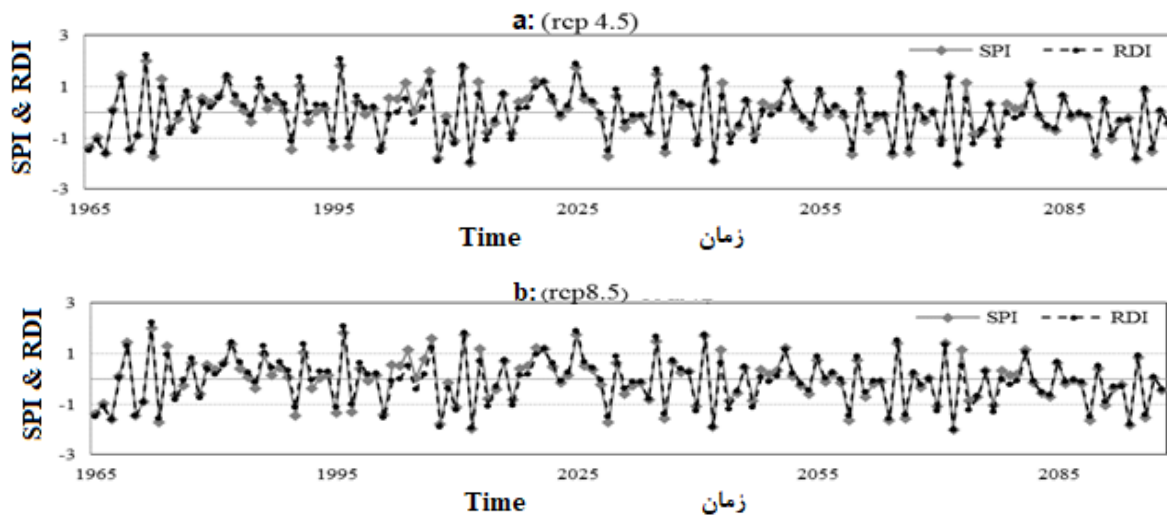
شکل ۴. میانگین درصد طبقات خشک‌سالی ۱۲ ماهه در سه سطح ریسک و دوره‌ی پایه

Fig 4. Average percentage of drought classes at 12-mon timescale at three levels of risk and baseline period

۲۰۹۹-۱۹۶۵ مشخص می‌شود که در مقیاس زمانی سالانه تحت سناریوی RCP4.5، شاخص‌های SPI و RDI، به ترتیب صفر و ۵ (سال ۱۹۶۵، ۱۹۶۷، ۲۰۳۶، ۲۰۶۶ و ۲۰۹۶) رخداد خشک‌سالی بسیار شدید را پیش‌بینی کرده‌اند. اما در سناریوی RCP8.5 هر دو شاخص، ۷ رخداد خشک‌سالی شدید را تشخیص داده‌اند.

نمودار زمانی (سالانه) شاخص‌های SPI و RDI در دوره ۱۹۶۵-۲۰۹۹

نتایج حاصل از نمودار زمانی شاخص‌های SPI و RDI تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به‌عنوان نمونه در مقیاس سالانه در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به شکل (۵) و مقایسه دو شاخص SPI و RDI در بازه‌ی زمانی



شکل ۵. تغییرات زمانی شاخص SPI و RDI در مقیاس سالانه، تحت سطح ریسک ۰/۵: (a) سناریوی RCP4.5 (b) سناریوی RCP8.5
Fig 5. Temporal changes of SPI and RDI at 1-year timescale, under the risk level of 0.5 (a): RCP4.5 (b): RCP8.5

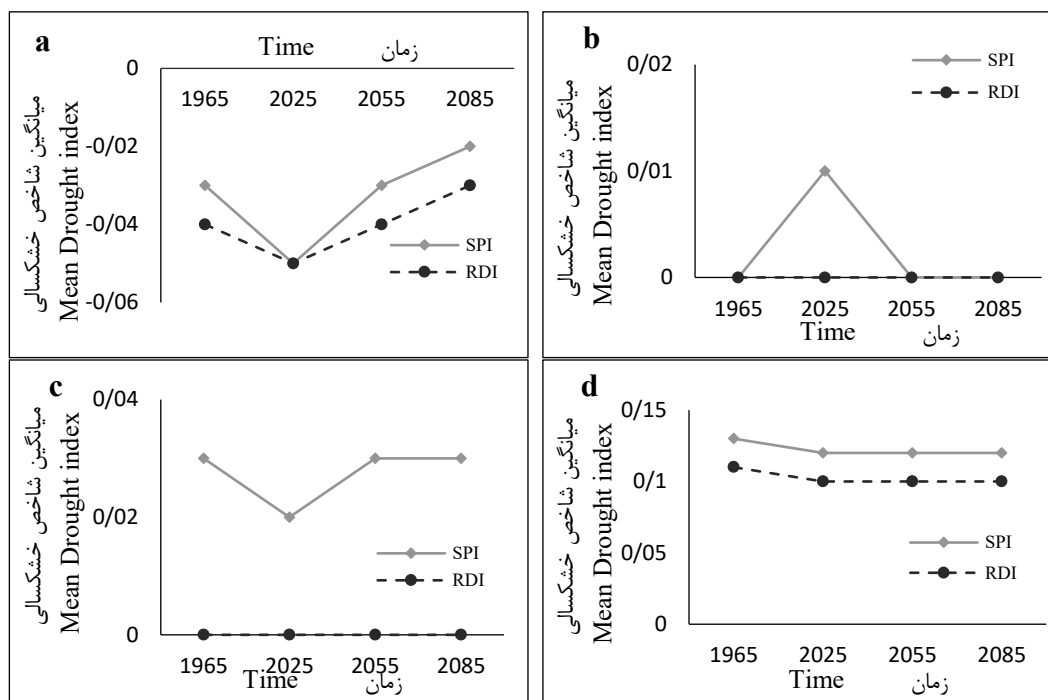
آتی دیگر پیش‌بینی می‌شود بارندگی کاهش یابد. همچنین افزایش دما در دوره‌ی آتی اول نسبت به دوره‌ی آتی دوم و سوم کم‌تر می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود دوره‌ی آتی اول نسبت به دوره‌ی پایه، ترسال‌تر و دو دوره‌ی دیگر خشک‌تر از دوره‌ی پایه باشند.

تحلیل شدت، مدت و مقدار خشک‌سالی

نتایج تحلیل شدت، مدت و مقدار خشک‌سالی در اشکال (۸) تا (۱۳) ارائه شده است. در اشکال (۸) و (۹) مقادیر در هر دوره زمانی، منعکس‌کننده‌ی همان دوره‌ی زمانی است. به‌عنوان مثال با توجه به شکل (۸) عدد ۱/۵ در مقیاس سالانه برای شاخص RDI نشان دهنده‌ی آن است که یک دوره‌ی ۳ ساله و ۲ ساله خشک‌سالی در دوره‌ی پایه وجود داشته که متوسط مدت زمان خشک‌سالی در آن دوره ۱/۵ سال می‌باشد. اما در دوره‌ی آتی سوم (۲۰۸۵)، همان دوره‌ی سه‌ساله به دوره‌ی یک‌ساله تبدیل گشته است و باعث کاهش میانگین مدت خشک‌سالی گردیده است.

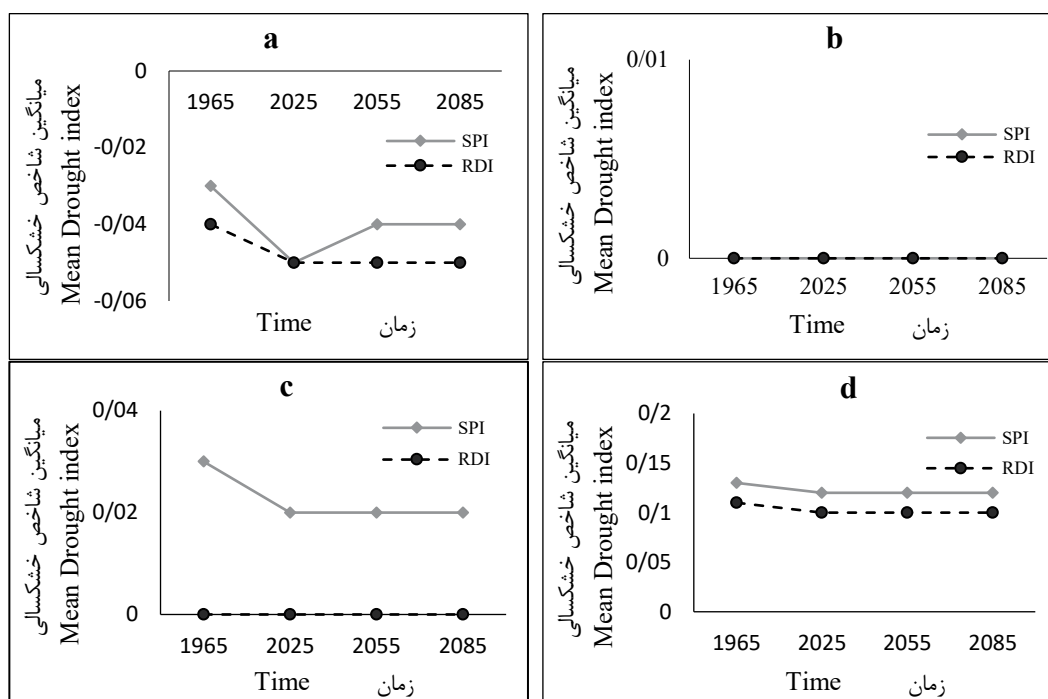
تغییرات مقدار شاخص SPI و RDI در شرایط تغییر اقلیم

مقادیر دو شاخص SPI و RDI در بازه‌های زمانی مختلف برای دوره‌های آتی و گذشته میانگین‌گیری شد و نتایج در دو شکل (۶) و (۷) ارائه شد. با توجه به اشکال (۶) و (۷) مشخص می‌گردد که متوسط هر دو شاخص SPI و RDI تحت هر دو سناریو در مقیاس‌های سالانه، ۶ ماهه و ۳ ماهه نتایج نسبتاً مشابهی برای سه دوره‌ی آتی و دوره‌ی گذشته از خود نشان داده‌اند. به‌عبارت‌دیگر شاخص‌های خشک‌سالی SPI و RDI برای دوره‌ی آتی اول کاهش (به جز مقیاس ۶ ماهه) و برای دو دوره‌ی آتی دوم و سوم افزایش (برای مقیاس سالانه) را نشان می‌دهند. نتایج مذکور را می‌توان با توجه به جداول (۳) و (۴) تحلیل نمود. به‌طور مثال برای سناریوی RCP8.5 دلیل این امر را می‌توان به این صورت بیان نمود که بارندگی تنها در دوره‌ی آتی اول نسبت به دوره‌ی پایه افزایش یافته و در دو دوره‌ی



شکل ۶. تغییرات زمانی متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس های زمانی (a): سالانه (b): شش ماهه (c): سه ماهه (d): ماهانه (سطح ریسک ۰/۵ و سناریوی RCP4.5).

Fig 6. Mean Temporal changes of SPI and RDI for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon (d): 1-Mon time scale) (risk level of 0.5 and RCP4.5 scenario).



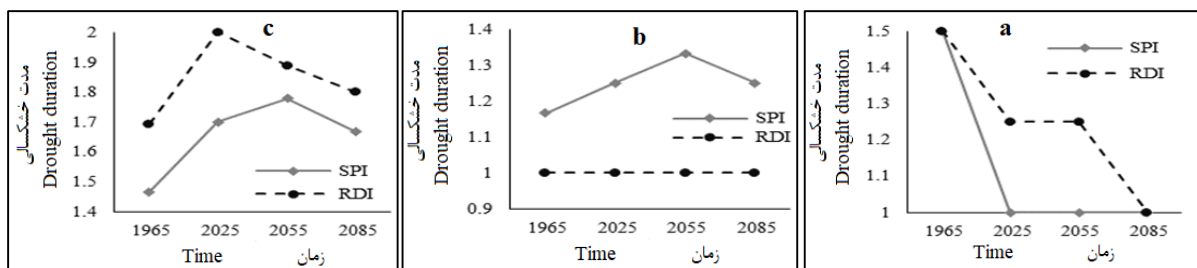
شکل ۷. تغییرات زمانی متوسط شاخص SPI و RDI برای مقیاس زمانی (a): سالانه (b): شش ماهه (c): سه ماهه (d): ماهانه (سطح ریسک ۰/۵ و سناریوی RCP8.5).

Fig 7. Mean Temporal changes of SPI and RDI for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon (d): 1-Mon time scale) (risk level of 0.5 and RCP8.5 scenario).

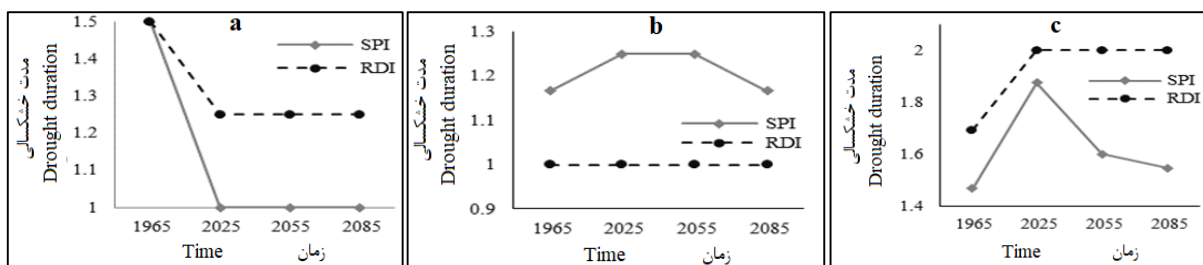
است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در اکثر بازه‌های زمانی، با نزدیک شدن به پایان قرن جاری، مقدار خشک‌سالی براساس هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین براساس بررسی روند شدت خشک‌سالی (شکل‌های ۱۲ و ۱۳) تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 می‌توان بیان کرد که شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی ۳ ماهه (کوتاه‌مدت) و ۶ ماهه (بلندمدت) کاهش شدت خشک‌سالی و شاخص RDI در مقیاس‌های زمانی شش‌ماهه و سالانه (بلندمدت) افزایش شدت خشک‌سالی را در دوره‌های آتی (نسبت به دوره گذشته) پیش‌بینی نموده‌اند. به‌طورکلی با توجه به مطالب فوق‌الذکر می‌توان گفت که تحت سناریوی RCP8.5 (بحرانی‌ترین سناریوی انتشار)، شاخص SPI برای مقدار و شدت خشک‌سالی، در مقیاس زمانی ۳ ماهه و سالانه کاهش داشته است. اما شاخص RDI برای مقدار و شدت خشک‌سالی، تنها در مقیاس‌های زمانی سالانه و ۳ ماهه، روند افزایشی را در دوره‌های آتی سوم (۲۰۷۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره‌های گذشته (۱۹۶۵-۲۰۰۹) نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۸) به‌طورکلی می‌توان بیان کرد که مدت خشک‌سالی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص RDI نسبت به شاخص SPI در مقیاس‌های سالانه و سه ماهه، تحت هر دو سناریوی انتشار در دوره‌های آتی (۲۰۹۹-۲۰۱۰) نسبت به دوره‌های مشاهداتی (۲۰۰۹-۱۹۶۵) کاهش داشته اما تعداد خشک‌سالی‌ها افزایش یافته است. به‌عبارت‌دیگر، افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی، افزایش نیاز آبی گیاهان در دوره‌های آتی را به همراه خواهد داشت. در همین راستا می‌توان بیان داشت که شاخص RDI با در نظر گرفتن تعداد خشک‌سالی بیش‌تر و به دلیل در نظر گرفتن دو پارامتر اقلیمی (بارندگی و تبخیر و تعرق) در پیش‌بینی تعداد و تداوم خشک‌سالی از حساسیت و اهمیت بیشتری در برنامه‌ریزی مدیریت کشاورزی و منابع آب در دوره‌های آتی برخوردار خواهد بود.

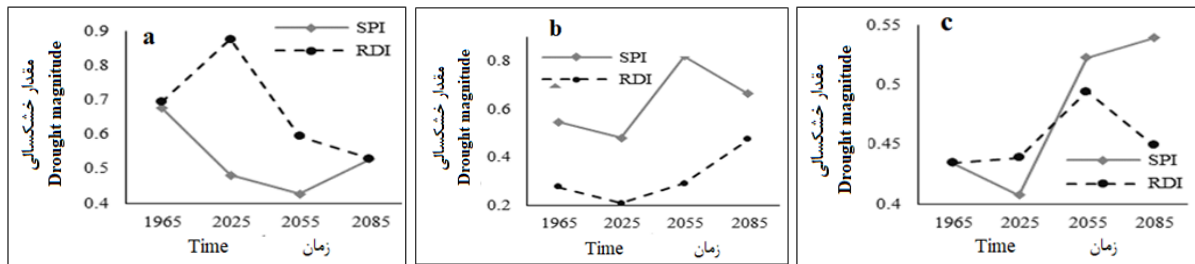
با استفاده از رابطه (۳) مقدار خشک‌سالی در بازه‌های زمانی مختلف برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 محاسبه و نتایج آن در اشکال (۱۰) و (۱۱) ارائه شده



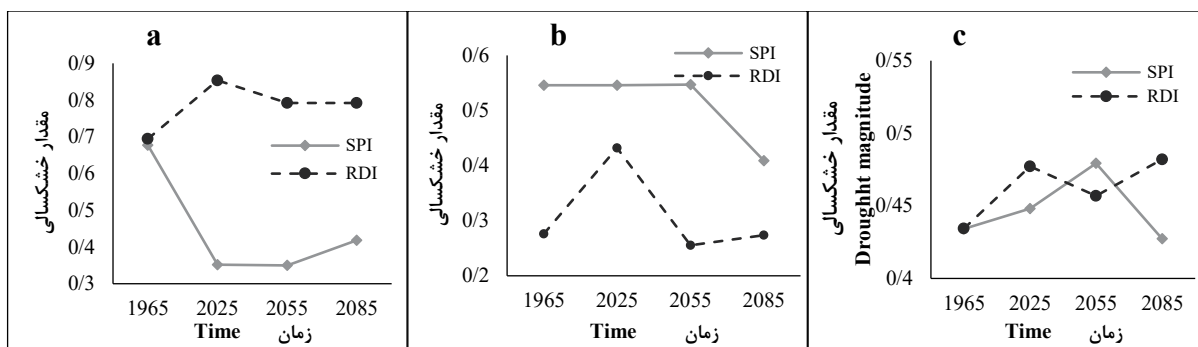
شکل ۸. مدت خشک‌سالی (D) تحت سناریوی RCP4.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 8. Drought duration (D) under the RCP4.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale



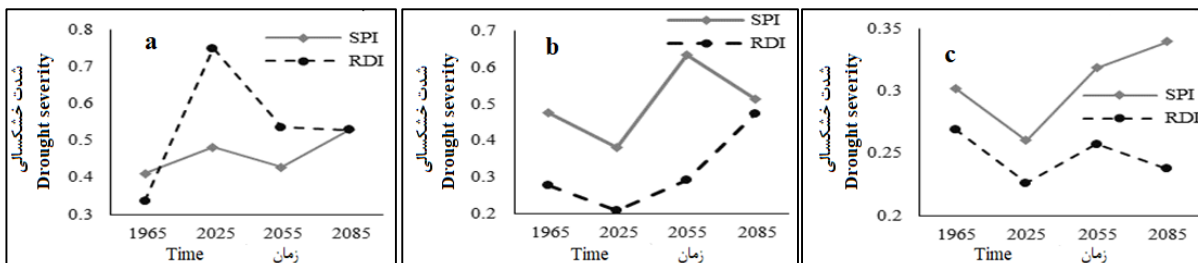
شکل ۹. مدت خشک‌سالی (D) تحت سناریوی RCP8.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 9. Drought duration (D) under the RCP8.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale



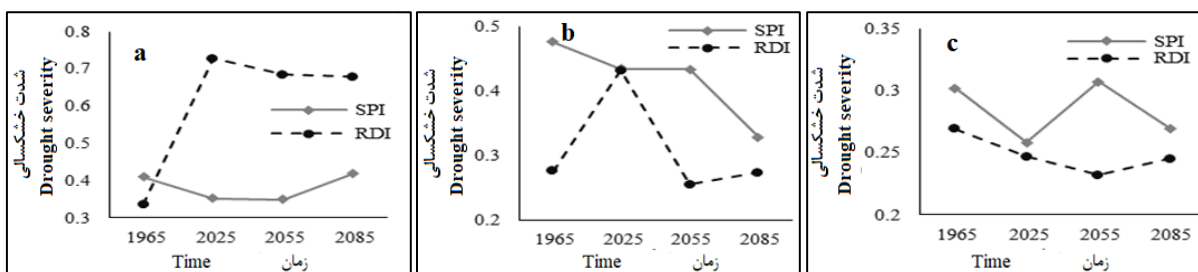
شکل ۱۰. مقدار خشکسالی (M) تحت سناریوی RCP4.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 10. Drought Magnitude (M) under the RCP4.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale



شکل ۱۱. مقدار خشکسالی (M) تحت سناریوی RCP8.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 11. Drought Magnitude (M) under the RCP8.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale



شکل ۱۲. شدت خشکسالی (S) تحت سناریوی RCP4.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 12. Drought Severity (S) under the RCP4.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale



شکل ۱۳. روند شدت خشکسالی (S) تحت سناریوی RCP8.5 برای مقیاس‌های زمانی (a): سالانه (b): شش‌ماهه (c): سه‌ماهه
 Fig 13. Drought Severity (S) under the RCP8.5 scenario for (a): 1-Year (b): 6-Mon (c): 3-Mon time scale

- Changes in the Shiraz Synoptic Station (Iran). *Irrigation and Water Engineering*, 6(1), 59-74. [In Persian].
- Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H., & Khalili, K. (2015). Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia. *Water and Soil Science*, 25(2), 79-91. [In Persian].
- Dascălu, S. I., Gothard, M., Bojariu, R., Birsan, M. V., Cică, R., Vintilă, R., ... & Mic, R. P. (2016). Drought-related variables over the Bârlad basin (Eastern Romania) under climate change scenarios. *Catena*, 141, 92-99.
- Delghandi, M. (2016). Assessment of Climate Change Risk Impacts on Potential Evapotranspiration; Case Study Shahrood Region. *Irrigation and Water Engineering*, 6(3), 137-156. [In Persian].
- Gao, X., Zhao, Q., Zhao, X., Wu, P., Pan, W., Gao, X., & Sun, M. (2017). Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050. *Science of the Total Environment*, 595, 191-200.
- Geerts, S., Raes, D., & Garcia, M. (2010). Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agricultural water management*, 98(1), 213-216.
- Goyal, R. K. (2004). Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural water management*, 69(1), 1-11.
- Hoseinizade, A., Seyed Kaboli, H., Zarei, H., & Akhond ALi, A. M. (2016). The Intensity and Return Period of Drought under Future Climate Change Scenarios in Dezful, Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(1), 33-43. [In Persian].
- IPCC- TGCIA. (1999) Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version 1, 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
- نتیجه‌گیری**
- در این تحقیق شاخص‌های خشک‌سالی RDI و SPI برای سه دوره‌ی آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰) تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و در سه سطح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ محاسبه گردید. نتایج نشان دادند که هر دو شاخص، در مقیاس زمانی سه‌ماهه (خشک‌سالی کشاورزی) و سالانه، طبقات خشک‌سالی بیشتری نسبت به سایر مقیاس‌ها پیش‌بینی نموده‌اند. هر دو شاخص SPI و RDI در سه مقیاس زمانی سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه، افزایش برای دوره‌های خشک و روند کاهشی را برای دوره‌های تر در دوره‌های آتی دوم و سوم پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین تحت سناریوی RCP4.5 برای دوره‌ی آتی سوم متوسط این دو شاخص، روند کاهشی نسبت به دوره‌ی گذشته داشته است. دلیل این امر افزایش مقادیر خشکی و کاهش دوران ترسالی می‌باشد. در نهایت نتایج تجزیه و تحلیل شدت، مدت و مقدار رخداد خشک‌سالی نشان داد که مقیاس‌های زمانی در پیش‌بینی مدت خشک‌سالی بی‌تأثیر نبوده و همچنین مقدار و شدت خشک‌سالی تحت سناریوی RCP8.5 (بحرانی‌ترین سناریوی انتشار)، برای دو شاخص SPI و RDI، در مقیاس زمانی ۳ ماهه و سالانه به ترتیب روند کاهشی و افزایش را در دوره‌ی آتی سوم (۲۰۹۹-۲۰۷۰) نسبت به دوره‌ی گذشته (۲۰۰۹-۱۹۶۵) نشان می‌دهد.
- منابع**
- Asadi Zarch, M. A., Sivakumar, B., & Sharma, A. (2015). Droughts in a warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *Journal of hydrology*, 526, 183-195.
- Bahrami, M., Bazrkar, S., & Zarei, A. R. (2019). Modeling, prediction and trend assessment of drought in Iran using standardized precipitation index. *Journal of Water and Climate Change*, 10(1), 181-196.
- Bahrami, M., Tavakolsadrabadi, M., & Zarei, A. R. (2015). Analysis of Intensity- Duration and Frequency of Drought and Trend of Precipitation

- salehpour jam, A., Mohseni Saravi, M., Bazrafshan, J., & Khalighi, S. (2015). Investigation of Climate Change Effect on Drought Characteristics in the Future Period using the HadCM3 model (Case Study: Northwest of Iran). *Journal of Range and Watershed Management*, 67(4), 537-548. [In Persian].
- Sheffield, J., & Wood, E. F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31(1), 79-105.
- Venkataraman, K., Tummuri, S., Medina, A., & Perry, J. (2016). 21st century drought outlook for major climate divisions of Texas based on CMIP5 multimodel ensemble: Implications for water resource management. *Journal of hydrology*, 534, 300-316.
- Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., Zeng, Z., Lian, Y., & Bai, X. (2018). Climate change enhances the severity and variability of drought in the Pearl River Basin in South China in the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 249, 149-162.
- Yevjevich, V. M. (1967). Objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts, An (Doctoral dissertation, Colorado State University. Libraries).
- Zareabyaneh, H., GHobaeisogh, M., & Mosaedi, A. (2015). Drought Monitoring Based on Standardized Precipitation Evaoptranspiration Index (SPEI) Under the Effect of Climate Change. *Water and Soil*, 29(2), 374-392. [In Persian].
- Zarei, A. R., Moghimi, M. M., & Bahrami, M. (2019). Comparison of reconnaissance drought index (RDI) and effective reconnaissance drought index (eRDI) to evaluate drought severity. *Sustainable Water Resources Management*, 5(3), 1345-1356.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Li, X. X., Hui, J. U., Sarah, G., Yan, C. R., Batchelor, W. D., & Qin, L. I. U. (2017). Spatiotemporal variation of drought characteristics in the Huang-Huai-Hai Plain, China under the climate change scenario. *Journal of integrative agriculture*, 16(10), 2308-2322.
- Mahmood, R., Babel, M., & JIA, SH. (2015). Assessment of temporal and spatial changes of future climate in the Jhelum River basin, Pakistan and India. *Weather and Climate Extremes*, 10, 40-55.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179-183.
- Mishra, V., & Lihare, R. (2016). Hydrologic sensitivity of Indian sub-continental river basins to climate change. *Global and Planetary Change*, 139, 78-96.
- Nam, W.H., Hong, E., & Choi, J. (2015). Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea?. *Agricultural Water Management*, 150, 129-138.
- Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., & Lischeid, G. (2017). Impacts of climate change on hydro-meteorological drought over the Volta Basin, West Africa. *Global and Planetary Change*, 155, 121-132.
- Ruiz-Ramos, M., & Mínguez, M. I. (2010). Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. *Climate Research*, 44(1), 69-82.

