

EXTENDED ABSTRACT

Analysis of the Duration and Severity of Agricultural Drought in Recent Half Century Using the Modified ETDI Method and Comparing it with the SPI in Shahrekord Plain

M. Radfar

Corresponding Author, Assistant Prof, Water Engineering Department, Shahrekord University, Iran (*mahdi1010@yahoo.com*).

Received: 9 July 2015

Revised: 8 June 2018

Accepted: 10 June 2018

Keywords: Agricultural drought, Duration, Severity, Shahrekord Plain.

DOI: 10.22055/jise.2018.14072.1102.

Introduction

Severity and duration of agricultural droughts have distressed farmers worldwide by triggering hazards for agricultural products. Droughts are a widespread natural threat with tremendous social impact (Alston and Kent, 2004; Glantz, 1987). They are most often caused by a significant drop in precipitation from the normal amount. Agriculture is often the first sector to be affected by the onset of drought due to its dependence on water resources and soil moisture reserves during various stages of crop growth (Narasimhan and Srinivasan, 2005). Recent studies show that the frequency and severity of droughts seems to be increasing in some areas as a result of climate variability and climate change (IPCC, 2007; Patz et al., 2005; Sheffield and Wood, 2008; Lehner et al., 2006). Among various drought indices, Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), Crop Moisture Index (CMI) (Palmer, 1968), Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993), Surface Water Supply Index (SWSI) (Shafer and Dezman, 1982), and The ETDI (Narasimhan and Srinivasan, 2005) are used extensively for water resources management as well as for agricultural drought monitoring and forecasting. In this study, the agricultural droughts during the recent half-century were evaluated by the modified ETDI method and compared with the SPI as well as meteorological drought index in Shahrekord plain. The results show that the estimation of modified ETDI by SPI₃ is applicable.

Methodology

In this research, to evaluate agricultural droughts during the recent half-century in Shahrekord plain the modified ETDI method was used and compared with the SPI and meteorological drought index.

Evapotranspiration Deficit Index (ETDI)

The ETDI (Narasimhan and Srinivasan, 2005) is computed from the anomaly of water stress to its long-term average. The monthly water stress ratio (WS [0–1]) is computed as:

$$WS = (PET - AET) / PET \quad (1)$$

where PET and AET are the monthly reference potential evaporation and monthly actual evaporation, respectively, calculated using the developed method of Thornthwaite and Mather (1957) by MacCab and Markstrom (2007) and the results of Radfar (2009) in Shahrekord Plain. Then monthly water stress anomaly (WSA) is calculated as:

$$WSA_{y,m} = (MWS_m - WS_{y,m}) * 100 / (MWS_m - \min WS_m) \quad (2)$$

where $MWS_{y,m}$ is the long-term median of water stress of month m , $maxMWS_m$ is the long-term maximum water stress of month m , $minWS_m$ is the long-term minimum water stress of month m , and $WS_{y,m}$ is the monthly water stress ratio. Thrambuer et al, 2014 used EDTI as equation (3), which is comparable with SPI indices.

$$ETDI_{y,m} = 0.5ETDI_{y,m-1} + WSA_{y,m} / 100 \quad (3)$$

Standardized Precipitation Index (SPI)

Developed by McKee et al. (1993), SPI interprets rainfall as a standardized departure with respect to a rainfall probability distribution. It requires fitting the precipitation time series to a gamma distribution function, which is then transformed to a normal distribution allowing the comparison between different locations. Duration and severity of agricultural droughts in recent half century was estimated by Loukas and Vasiliades (2004) method using equation (4).

$$S = \left| \sum_{i=1}^D ETDI_i \right| \quad (4)$$

Where S is severity of drought and D is the duration of drought when ETDI is negative. To identify the recent half-century drought characteristics including spatial variation, duration and severity, the monthly drought indicators described were calculated for the period of 1960–2014 in Shahrekord plain.

Results and Discussion

The long-term (1960-2014) monthly ETDI as agricultural drought indices were calculated. Moreover, the SPI index in different scales including (1,3,6,12,18 and 24) months as meteorological drought indices were calculated for Shahrekord plain. Intensity of the recent half-century agricultural drought is indicated in Figure (1). A permanent long-term agricultural drought occurred during 1960-1987, which troubled agriculture and natural resources considerably in Shahrekord Plain. Drought severity decreased in the period 1988-1999, but increased from 2000 to 2004 and then again decreased up to 2014.

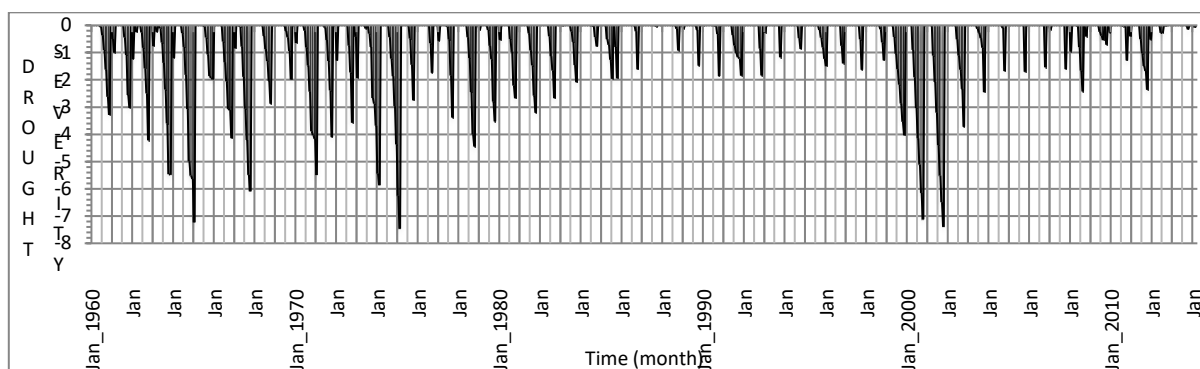


Fig. 1- Intensity of the recent half-century agricultural drought in Shaharekord plain

Conclusions

The results show the estimation of modified ETDI by SPI_3 is applicable and almost accurate. Historic agricultural drought analyses support the existence of permanent agricultural drought with different severity in the study area. The severity of agricultural droughts in 50% of the recent half century troubled the agricultural activities harshly while it was less in the other 50%. The permanent policy of disaster management of agricultural droughts is essential for whole related governmental organizations and offices by supporting the NGOs' in Shahrekord Plain.

Acknowledgement

The authors would like to thank Chahrmahal and Bakhtiari weather office for providing the required data.

References

- 1- Alston, M. And Kent, J., 2004. Social impacts of drought, Centre for Rural Social Research, Charles Sturt University, Wagga, NSW.
- 2- Glantz, M. H. E., 1987. Drought and Hunger in Africa: Denying Famine a Future. Cambridge University Press, Cambridge.
- 3- IPCC., 2007., The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, in: report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 p.
- 4- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., And Kaspar, F., 2006., Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis, Climatic Change, 75: 273–299.
- 5- Loukas, A., And Vasiliades, L., 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 719–731.
- 6- McCabe, G. J., And Markstrom, S. L., 2007. A monthly water-balance model driven by a graphical user interface: U.S. Geological Survey report 1088.
- 7- McKee, T.B., Doeskin, N.J. And Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 179-184, January 17-22, Anaheim, California.
- 8- Narasimhan, B. And Srinivasan, R. 2005., Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring, Agr. Forest Meteorol, 133: 69–88.
- 9- Palmer, W. C., 1965. Meteorological drought, Research paper no. 45, US Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C., USA, 1–58.
- 10- Palmer, W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. Weatherwise, 21 (4): 156–161.
- 11- Patz, J. A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., And Foley, J. A., 2005. Impact of regional climate change on human health, Nature, 438: 310–317.
- 12- Radfar, M., 2009. Hydrogeological and Hydrochemical Characterisation and Modelling of the Tertiary-Quaternary Aquifer System in Shahrekord Plain–Iran. Ph.D. Dissertation. Ghent University, 495p.
- 13- Shafer, B.A., And Dezman, L.E., 1982. Development of surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. In: Proceedings of the 50th Western Snow Conference, Colorado State University Press, Reno, NV/Fort Collins, CO, 164–175.
- 14- Sheffield, J., And Wodd, E.F., 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multiscenario, IPCC AR4 simulations, Clim. Dynam, 31: 79–105.
- 15- Thornthwaite, C.W., And Mather, J. R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology 10 (3), 183 – 311 Laboratory of Climatology. Drexel Institute of Technology. Centerton. New Jersey. USA.

- 16- Trambauer, P., Maskey, S., Werner, M., Pappenberger, F., van Beek, L. P. H, And Uhlenbrook, S., 2014. Identification and simulation of space–time variability of past hydrological drought events in the Limpopo River basin, southern Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18: 2925–2942.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



بررسی و پایش شدت و تداوم خشکسالی کشاورزی دشت شهرکرد در نیم قرن اخیر و مقایسه آن با خشکسالی‌های هواشناسی

مهدی رادفر

عضو هیات علمی دانشگاه شهرکرد-دانشکده کشاورزی- گروه مهندسی آب mahdi1010@yahoo.com

پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۰

بازنگری: ۱۳۹۷/۳/۱۸

دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۸

چکیده

در این مطالعه خشکسالی کشاورزی در دشت شهرکرد در نیم قرن اخیر با روش (ETDI) اصلاح شده ارزیابی شد و با شاخص بارش استاندارد در مقیاس‌های زمانی مختلف مقایسه گردید. همچنین شدت و تداوم خشکسالی‌های کشاورزی نیم قرن اخیر با روش لوکاس مشخص گردید. نتایج بیانگر آن است که شاخص SPI₃ برآورد نسبتاً خوبی از ETDI ارائه می‌نماید. بررسی تاریخی خشکسالی‌های کشاورزی مؤید وجود خشکسالی‌های مداوم با شدت‌های مختلف در منطقه است. حدوداً در ۵۰٪ از دوران سپری شده نیم قرن اخیر منطقه دارای شدت خشکسالی‌های کشاورزی نسبتاً آزاردهنده بوده و مابقی دوران ملایم‌تر شده است. دشت یک خشکسالی کشاورزی مداوم بیست‌وهشت ساله (۱۹۸۷-۱۹۶۰) را پشت سر گذارده که احتمالاً اثرات مخربی بر وضعیت کشاورزی و مراتع منطقه داشته است. از آن به بعد حدود دوازده سال (۱۹۹۹-۱۹۸۸) شدت خشکسالی‌های کشاورزی ملایم‌تر شده ولی مجدداً از سال ۲۰۰۰ به مدت چهارسال روبه افزایش نهاده و سپس روند کاهشی به خود گرفته است. ضروری است سازمان‌ها و ادارات ذیربط با همکاری ثمنهای (NGO) فعال نسبت به برنامه‌ریزی مداوم برای اجرای سیاست‌های مقابله با خشکسالی‌ها اقدامات لازم را به عمل آورند.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی کشاورزی، شدت، تداوم، دشت شهرکرد.

مقدمه

خشکسالی‌ها از مخاطرات شایع در گستره دنیا هستند که تأثیرات اجتماعی آنها بسیار شگرف و عظیم است (Altson 2004; Glantz, 1987; and Kent, 2004). با مطالعه‌های امروزی به نظر می‌رسد که فرکانس و شدت خشکسالی‌ها در اثر تغییر اقلیم در بعضی از مناطق دنیا در حال افزایش است (Guttman, 1998; Lehner et al., 2006; Patz et al., 2005; Sheffield and Wodd, 2008; IPCC, 2007). خشکسالی مشخصه نرمال و طبیعی از اقلیم است که به طور مجازی در تمام رژیم‌های اقلیمی اتفاق می‌افتد (Wilhite, 2000). این پدیده هم در نواحی با بارندگی زیاد و هم نواحی با بارندگی کم اتفاق می‌افتد و در اثر دو مجموعه عوامل بشری و طبیعی، محیط اطراف ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همه مناطق دنیا ممکن است هر از گاهی اسیر پدیده خشکسالی شوند، اما این وضعیت در مناطقی که از نظر اقلیمی به طور نامنظم و تصادفی توسط سامانه‌های مختلف آب وهوایی تحت تأثیر قرار می‌گیرند، بیشتر مشاهده می‌شود (Razi et al., 1994). خشکسالی‌ها عمدتاً با کاهش بارش‌ها نسبت به وضعیت نرمال در یک منطقه حادث شده و اولین تأثیر منفی خود را در کشاورزی با کاهش در

منابع آب در دسترس و افزایش در میزان تبخیر و تعرق از ناحیه ریشه و اندام هوایی گیاه در طی دوران مختلف رشد بروز می‌دهند (Narasimhan and Srinivasan, 2005).

بررسی مطالعات خشکسالی‌ها بیانگر آن است که خشکسالی‌ها در حال افزایش است. بنابراین ضرورت پرداختن به خشکسالی‌ها برای مدیریت بحران ناشی از آن از دیدگاه‌های مختلف بسیار احساس می‌گردد. برای تعیین ویژگی خشکسالی‌ها تا کنون نمایه‌های متعددی ارائه شده و خشکسالی‌ها از حیث هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی همانند روش‌های بارش استاندارد McKee et al (1993)، روش خشکسالی هواشناسی پالمر Palmer (1965)، شاخص رطوبت گیاه پالمر Palmer (1968)، شاخص تأمین آب سطحی Shafer و Dezman (1982)، نمایه بارش استاندارد McKee et al (1993) و ... مورد بررسی و پایش قرار گرفته‌اند. نمایه بارش استاندارد (SPI) به عنوان شاخص هواشناسی به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج به عنوان یکی از مناسب‌ترین نمایه‌ها برای تحلیل خشکسالی هواشناسی به ویژه تحلیل مکانی شناخته شده است. هر

خشکسالی‌های کشاورزی با کمک مدل فیزیکی پیوسته SWAT پرداخته و نمایه کمبود پتانسیل تبخیر و تعرق (ETDI) را به عنوان شاخصی که در اثر کمبود آن گیاهان منطقه دچار تنش خشکی خواهند شد، به عنوان نمایه خشکسالی کشاورزی معرفی نمودند. مدل فیزیکی پیوسته SWAT مدلی است که در سیستم آب، خاک، پوشش، توپوگرافی در طی زمان و در مقیاس حوزه و واحدهای هیدرولوژیکی، فاکتورهای هواشناسی، هیدرولوژیکی، دمای خاک، مراحل رشد گیاهان، آفات، مواد مغذی و مدیریت را لحاظ نموده و عملیات شبیه سازی انجام می‌دهد (Narasimhan and Srinivasan, 2005). آن‌ها با لحاظ خصوصیات زیر به عنوان فاکتورهای لازم برای یک نمایه خوب، نمایه خشکسالی کشاورزی (ETDI) را توسعه دادند.

الف- نمایه باید نسبت به تغییرات کوتاه مدت خشکی حساس بوده تا بتواند خشکسالی‌های کشاورزی در بازه های زمانی کوتاه را به خوبی نمایان سازد.

ب- نمایه نباید مختص فصل یا فصول خاص باشد، بلکه باید نسبت به تغییرات فصلی همانند تابستان و زمستان حساس بوده و آن‌ها را به خوبی تفکیک نماید.

ج- نمایه باید نسبت به تغییرات اقلیمی حساس بوده و آن را به خوبی نمایش دهد.

نمایه (ETDI) با استفاده از مؤلفه‌های پتانسیل تبخیر و تعرق (PET) و تبخیر و تعرق واقعی (AET) به دست می‌آید. Trambauer et al (2014) با اعمال تغییراتی در روش Narasimhan و Srinivasan (2005) آن را برای شرایطی همانند روش SPI تکمیل و ارائه نمودند. در این مطالعه از روش Trambauer et al (2014) برای تعیین وضعیت خشکسالی کشاورزی در طولانی مدت در دشت شهرکرد بهره گرفته شد و با مقادیر SPI محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی مختلف مقایسه گردید.

از طرفی پدیده گرمایش جهانی در سال‌های اخیر منجر به تغییراتی در شدت و تداوم برخی مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژی مؤثر بر خشکسالی‌ها همانند بارش و جریان آبراهه‌ای در نقاط مختلف جهان شده است. به همین دلیل در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با بررسی شدت و تداوم تغییرات متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی مؤثر بر خشکسالی‌ها انجام شده است. برای مثال می‌توان در این زمینه به مطالعه‌های Lettenmaier et al (1994)؛ Kahya و Partal (2006)؛ Kumar et al (2009)؛ Khaliq et al (2009)؛ Kahya و Kalayci (2004) و Dinpashoh et al (2014) اشاره نمود. علاوه بر این تعیین شدت و مدت خشکسالی‌های کشاورزی سبب تکمیل روند بررسی وضعیت خشکسالی‌های یک منطقه خواهد شد.

هدف از این مطالعه ارزیابی خشکسالی‌های کشاورزی دشت شهرکرد در نیم قرن اخیر با روش اصلاح شده Narasimhan و Srinivasan (2005) توسط Trambauer et al (2014) و مقایسه با مقادیر SPI محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی

چند محدودیت‌های خاص خود در توصیف زمانی، ارائه شدت و طول مدت خشکسالی‌ها را دارد. درخشکسالی هواشناسی پالمر Palmer (1965) شدت خشکسالی‌ها با توجه به کمبود بارندگی‌ها نسبت به شرایط نرمال مشخص می‌شود، حال آنکه در روش شاخص کمبود رطوبت پالمر Palmer (1968) با محاسبه مقدار پتانسیل تبخیر و تعرق نسبت به خشکسالی کشاورزی که رشد گیاه را تحت تأثیر تنش محیطی قرار می‌دهد، قضاوت انجام می‌گیرد. مطالعه‌های متعددی ایراداتی بر فرضیات روش‌های پالمر که شامل یکنواخت فرض کردن اراضی از نظر خاک و پوشش گیاهی، دو لایه فرض کردن عمق خاک و اینکه زمانی رواناب شروع می‌شود که کل این دو لایه کاملاً اشباع شوند را برشمرده و این فرضیات را همیشگی نمی‌دانند (Akinremi and McGinn, 1996; Alley, 1984; Guttman, 1998; Narasimhan, 2004). نمایه تأمین آب سطحی Shafer و Dezman (1982) یک روش هیدرولوژیکی است که بر اساس مؤلفه‌هایی همانند آب برف، جریان رواناب رودخانه‌ها، ذخیره مخازن و بارندگی‌ها صرفاً به بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی می‌پردازد. ویژگی‌های خشکسالی‌های ایران نشان می‌دهد که به طور کلی هیچ منطقه‌ای از کشور از این پدیده در امان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید (Ensafimoghadam, 1997). تاکنون عمدتاً در ایران به بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و یا هیدرولوژیکی پرداخته شده است. به‌عنوان مثال Rostamy و Radfar (2013) به پایش و پیش بینی شدت و تداوم خشکسالی‌های آبی با استفاده از زنجیره مارکوف و شاخص بارش استاندارد تصحیح شده در استان چهارمحال و بختیاری پرداخته و پیش بینی تداوم خشکسالی‌ها را برای مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی فعالیت‌های کشاورزی ضروری دانستند. Sadeghinia et al. (2012) به برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه SPI در مقیاس ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه و مدل زنجیره مارکوف در تهران پرداختند. Salehi و Radmanesh (2012) به پایش و پیش بینی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد و زنجیره مارکوف در ایستگاه سد دز پرداختند. Huth و Vicek (2009) پیروی مقدار بارندگی روزانه در طی سال و فصل‌های مختلف از توزیع گاما در ۹۰ ایستگاه اروپا را بر اساس آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف (K-S) و k-S اصلاح شده مورد بررسی قرار دادند. Chen و Yang (2012) به پیش‌بینی منطقه‌ای خشکسالی با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکوف پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل زنجیره مارکوف ابزار مناسبی برای پیش‌بینی خشکسالی است. Meddi et al (2014) به بررسی خشکسالی در مناطقی از الجزایر پرداختند. ایشان با استفاده از شاخص بارش استاندارد و زنجیره مارکوف به پیش‌بینی خشکسالی پرداختند. Narasimhan و Srinivasan (2005) در دو حوزه رودخانه مرکزی و کلرادو آمریکا به بررسی

$$WSA_{i,j} = 100(MWS_j - WS_{i,j}) / (\max WS_j - MWS_j)$$

$$if WS_{i,j} > MWS_j$$

(۳)

که در روابط: AET, PET به ترتیب پتانسیل و تبخیر و تعرق واقعی؛ WS شاخص نسبت تنش آبی؛ MWS میانه طولانی مدت اطلاعات و Max, min WSj به ترتیب حداکثر و حداقل Ws است. مقدار AET با توجه به داشتن اطلاعات بیلان آب در ناحیه ریشه گیاه در هر منطقه و با روش‌های مناسب قابل تخمین است. در این مطالعه محاسبه‌ها با PET و AET با روش توسعه یافته Thornthwaite و Mather (1957) توسط McCabe و Markstrom (2007) انجام گرفت. آمار بارش، دما، موقعیت جغرافیایی ایستگاه و خصوصیات خاک منطقه در این روش مورد نیاز است. در این تحقیق داده‌های بارندگی و دمای ماهانه نیم قرن اخیر (۱۹۶۰-۲۰۱۴) موجود ایستگاه سینوپتیک شهرکرد مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی حدآستانه ذخیره رطوبتی خاک، درصد جریان سطحی و سهم نفوذ از ریزش‌ها در منطقه ضروری می‌باشد. بر اساس مطالعه‌های Radfar (2009) مناسب‌ترین مقادیر فوق به ترتیب برابر با ۱۶۰mm و ۵۰ درصد دراول فصل زمستان در دشت شهرکرد می‌باشد، لذا مقادیر فوق در محاسبات تبخیر و تعرق واقعی برای بازه زمانی (۲۰۱۴-۱۹۶۰) مورد استفاده قرار گرفت. در معادله (۱) تغییرات WS بین صفر و یک می‌باشد. در صورتی که نسبت برابر یک باشد به مفهوم آن است که تبخیر و تعرقی انجام نگرفته است. در صورتی که این نسبت برابر صفر باشد آنگاه میزان تبخیر و تعرق برابر با تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. تغییرات WSAi,j بین ۱۰۰ و -۱۰۰ است که به مفهوم تغییرات خیلی مرطوب تا خیلی خشک است و برای بازه‌های زمانی طولانی محدود وسیعی را شامل می‌شود. Narasimhan و Palmer Srinivasan (2005) به تبعیت از روش شاخص Palmer (1968) شدت خشکسالی ناشی از کمبود پتانسیل تبخیر و تعرق (ETDI) را به شکل زیر ارائه نمودند که دامنه تغییرات آن همانند روش پالمر است.

$$ETDI_j = 0.5ETDI_{j-1} + WSA_j / 50 \quad (۴)$$

Trambauer et al. (2014) با اعمال تغییراتی در روش Narasimhan و Srinivasan (2005) آن را برای تعیین خشکسالی‌های کشاورزی همانند روش مک کی و همکاران اصلاح و به شرح زیر معرفی نمودند.

$$ETDI_j = 0.5ETDI_{j-1} + WSA_j / 100 \quad (۵)$$

مختلف است. شدت و تداوم خشکسالی‌های کشاورزی منطقه طبق روش Loukas و Vasiliades (2004) تعیین شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در حوزه آبریز کارون بزرگ و از نظر تقسیمات سیاسی در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. در بخشی از این حوزه آبریز، آبخوان شهرکرد با وسعت ۱۲۳۵ کیلومتر مربع قرار گرفته که ۵۵۱ کیلومتر مربع از آن را آبرفت و دشت و ۶۸۴ کیلومتر از آن را کوهستان‌ها پوشانده‌اند. این دشت در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی محدود شده است. طبق تقسیم‌بندی اقلیمی کوپن دشت شهرکرد نیمه مرطوب معتدل با زمستان بسیار سرد و تابستان گرم و خشک (Dcas) می‌باشد. میانگین سالانه درجه حرارت در محدوده دشت ۱۳/۵ درجه سانتیگراد و در کوهستان‌ها ۷/۲ درجه است. عمق متوسط بارش سالانه ۳۲۰ میلی متر بوده که اسفند ماه با ۶۸/۵ میلی متر پربارش‌ترین ماه سال است (Ghareman and Radfar, 2013).

روش‌های مورد استفاده

در این مطالعه نمایه کمبود تبخیر و تعرق پتانسیل (ETDI) به عنوان نمایه خشکسالی کشاورزی در منطقه شهرکرد طی نیم قرن اخیر تعیین و با شاخص بارش استاندارد (SPI) به عنوان نمایه خشکسالی هواشناسی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. همچنین شدت و تداوم خشکسالی‌های کشاورزی با روش‌های تشریح شده در ذیل تعیین شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نمایه کمبود تبخیر و تعرق پتانسیل (ETDI)

نمایه کمبود تبخیر و تعرق پتانسیل (ETDI) به عنوان یک شاخص خشکسالی کشاورزی طبق نتایج بررسی‌های مدل SWAT و با استفاده از اطلاعات صدساله (۱۹۰۱-۲۰۰۲) درشش حوزه در منطقه تگزاس آمریکا در سال ۲۰۰۴ توسط Narasimhan (2004) و بررسی‌های نهایی در دو حوزه رودخانه مرکزی و کلرادو آمریکا توسط Narasimhan و Srinivasan (2005) ارائه گردید. در این روش نمایه کمبود تبخیر و تعرق پتانسیل (ETDI) به عنوان شاخص خشکسالی کشاورزی به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$WS = (PET - AET) / PET \quad (۱)$$

$$WSA_{i,j} = 100(MWS_j - WS_{i,j}) / (MWS_j - \min WS_j)$$

$$if WS_{i,j} \leq MWS_j$$

(۲)

$$H(x) = q + (1-q)F(x) \quad (9)$$

که در آن q احتمال بارش ماهانه صفر است. در مرحله بعد احتمال تجمعی $H(x)$ به متغیر نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌گردد که برابر با شاخص SPI می‌باشد. در این مطالعه، برای تبدیل احتمال تجمعی گاما به متغیر نرمال استاندارد از روش پیشنهادی (Abramowitz and Stegun, 1965) استفاده شد. در این روش مقادیر متغیر نرمال استاندارد (Z) با کمک روابط (۱۰) تا (۱۳) محاسبه می‌شوند:

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad (10)$$

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (11)$$

که در آن:

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad (13)$$

در روابط فوق $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ به ترتیب برابر $۰/۰۰۱, ۰/۱۲/۰, ۴۳/۰, ۰۱/۸, ۲/۵۲, ۰/۱۸$ می‌باشند. طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیر SPI در جدول (۱) ارائه شده است. این شاخص برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به کار می‌رود. در این مطالعه با روش فوق‌الذکر مقادیر SPI در مقیاس‌های ۱۸، ۱۲، ۶، ۳، ۱، ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ ماهه برای دشت شهرکرد در طی نیم قرن اخیر محاسبه گردید و برای مقایسه با نمایه خشکسالی کشاورزی (ETDI) مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی شدت تداوم خشکسالی‌های کشاورزی

برطبق تعریف McKee et al (1993) یک دوره خشکی زمانی آغاز می‌شود که مقدار شاخص بارش استاندارد بطور مداوم منفی و مساوی یا کمتر از منفی یک باشد. این دوره زمانی وقتی خاتمه می‌یابد که نمایه مورد نظر به مقادیر مثبت برگردد. بنابراین، هر حادثه خشکسالی دارای یک دوره زمانی می‌باشد که به‌وسیله شروع و خاتمه آن تعریف می‌شود. بر طبق توصیه

که در آن ETDIj شدت خشکسالی کشاورزی برای ماه j می‌باشد. با استفاده از این روش شدت خشکسالی‌های طولانی مدت ناشی از تنش آبی مؤثر بر تبخیر و تعرق به عنوان معیاری از خشکسالی کشاورزی همانند معیار بارش استاندارد قابل محاسبه و ارزیابی خواهد بود.

نمایه بارش استاندارد (SPI)

نمایه بارش استاندارد در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و همکاران ارائه گردید که بر اساس احتمال بارندگی در مقیاس‌های زمانی هفتگی، ماهانه و سالانه بنا نهاده شد. شاخص SPI به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی شناخته می‌شود. نتایج تحقیقات بسیاری از دانشمندان نشان می‌دهد که مناسب‌ترین تابع توزیع احتمالی برای برازش بر داده‌های بارندگی، تابع توزیع گاما می‌باشد (Thom, 1966). از این رو، اولین مرحله محاسبه شاخص SPI، برازش تابع توزیع احتمالی گاما بر مقادیر بارندگی ایستگاه مورد نظر می‌باشد. پس از آن پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد می‌گردند. در نهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI به شرح ذیل تبدیل می‌شود. تابع توزیع گامای دو پارامتری بصورت زیر می‌باشد:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (6)$$

که در آن α پارامتر شکل، β پارامتر مقیاس، x مقدار بارش در مقیاس زمانی مشخص و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (7)$$

تابع توزیع گاما دارای چولگی به راست بوده و حد پایینی آن صفر می‌باشد. این توزیع بسیار شبیه توزیع فراوانی بارش می‌باشد. پس از برازش تابع گاما بر داده‌های ایستگاه مورد مطالعه، احتمال تجمعی برای هر رویداد بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (8)$$

از آنجائی که تابع توزیع گاما در نقطه صفر تعریف نشده و مقادیر بارش ممکن است شامل داده صفر نیز باشند، لذا در این حالت احتمال تجمعی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

بهترین رابطه رگرسیونی بدست آمده مربوط به مقیاس زمانی سه ماهه با ضریب تعیین ۰/۴۶ می باشد و مقیاس زمانی یک ماهه با ضریب تعیین ۰/۴۱ در مرحله دوم از درجه دقت قرار دارد که با نتایج مطالعات Narasimhan و Srinivasan (2005) در حوزه‌های رودخانه کلرادو و قرمز آمریکا همخوانی دارد. کمترین ضریب تعیین برابر با ۰/۰۳ مربوط به SPI₁₂ است. شاخص خشکسالی کشاورزی انطباق بهتری با SPI₃ در دشت شهرکرد دارد که مؤید نتایج مطالعه‌های Trambauer et al (2014) در جنوب آفریقا و آمریکا Narasimhan (2004) است. مقایسه نتایج بیانگر آن است که خشکسالی‌های کشاورزی منطقه تحت تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی کمتر از یک‌سال (کوتاه مدت) است و هرچه مقیاس زمانی افزایش یابد این ارتباط کاهش می‌یابد. شکل (۱) مقایسه مقادیر ETDI و SPI سه ماهه را در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ در دشت شهرکرد نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است شاخص بارش استاندارد با حساسیت بیشتری مقادیر منفی روی منحنی را در مقایسه با (ETDI) به نمایش می‌گذارد، حال آنکه در بحث مقادیر مثبت نمایه ETDI نسبت به SPI₃ دارای حساسیت بیشتری است. شکل (۲) بیانگر شدت و تداوم خشکسالی‌های کشاورزی به وقوع پیوسته دشت در نیم قرن اخیر می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۷ خشکسالی‌های شدیدی کشاورزی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. سپس روند شدت خشکسالی‌ها روبه کاهش گذارده و تا سال ۱۹۹۹ نسبتاً ملایم بوده ولی از سال ۲۰۰۰ تا حدود چهارسال بعد مجدداً روبه افزایش گذارده و سپس خشکسالی‌های ملایمی حاکم شده است. با توجه به اقلیم منطقه تقریباً تداوم همیشگی خشکسالی‌های کشاورزی برقرار ولی شدت و حدت آن به صورت تصادفی متغیر است.

Loukas و Vasiliades (2004) رویداد خشکسالی به صورت دوره‌ای که در آن مقادیر شاخص خشکسالی کمتر از صفر هستند، تعریف شد. برخی محققین دیگر از جمله Shiau (2006)؛ Dinpashoh et al و Modarres (2009) و Shiau (2014) خشکسالی هواشناسی را به همین صورت تعریف نموده‌اند. در این مطالعه شدت خشکسالی طبق معادله (۱۴) برابر قدرمطلق مجموع مقادیر ETDI در طول مدت یک رویداد خشکسالی کشاورزی در نظر گرفته شد. در این مطالعه برای دشت شهرکرد و در طی نیم قرن اخیر مدت خشکسالی به صورت دوره زمانی پیوسته‌ای که در آن مقادیر ETDI منفی هستند، تعریف و شدت خشکسالی‌ها تعیین گردید که در آن D مدت و S شدت خشکسالی کشاورزی می‌باشد.

$$S = \left| \sum_{i=1}^D ETDI_i \right| \quad (14)$$

نتایج و بحث

مقادیر نمایه خشکسالی کشاورزی (ETDI) با روش اصلاح شده Trambauer et al (2014) برای بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۶۰ در دشت شهرکرد محاسبه گردید. بارش استاندارد (SPI) نیز برای مقیاس‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۶ ماهه و برای بازه زمانی (۱۹۶۰-۲۰۱۴) طبق روش فوق‌الذکر - همانند اطلاعات در SPI₃ در شکل (۱) در منطقه مطالعاتی تعیین شد. سپس روابط رگرسیونی بین ETDI و SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و بهترین روابط برای هر حالت مشخص شد. جدول (۲) رابطه بین مقادیر ETDI با SPI را در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ماهه در نیم قرن اخیر در دشت شهرکرد نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود

جدول ۱- طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد
Table 1- Drought index characteristics by the SPI method

| SPI Value | Drought Classification |
|---------------|------------------------|
| -0.99 to 0 | Mild drought |
| -1.49 to -1 | Moderat drought |
| -1.5 to -1.99 | Severe drought |
| -2 or less | Exterme drught |

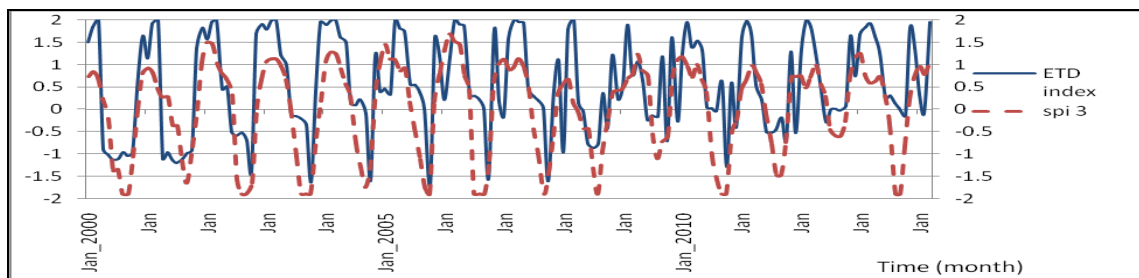


Fig. 1- Comparison of EDTI and SPI₃ during 2000-2014 in Shahrekord Plain

شکل ۱- نمودار مقایسه مقادیر EDTI و SPI₃ در بازه زمانی 2000-2014 در دشت شهرکرد

جدول ۲- رابطه بین مقادیر EDTI و SPI در مقیاس های زمانی مختلف در دشت شهرکرد

Table 2- Relations of EDTI and SPI with different scales in Shahrekord Plain

| R ² Value | The best regression equation | Time scale (month) |
|----------------------|------------------------------------|--------------------|
| 0.41 | ETDI= 0.439+0.631SPI ₁ | 1 |
| 0.46 | ETDI= 0.401+0.68SPI ₃ | 3 |
| 0.29 | ETDI= 0.401+0.562SPI ₆ | 6 |
| 0.30 | ETDI= 0.419+0.177SPI ₁₂ | 12 |
| 0.2 | ETDI= 0.417+0.472SPI ₁₈ | 18 |
| 0.4 | ETDI= 0.425+0.197SPI ₂₄ | 24 |

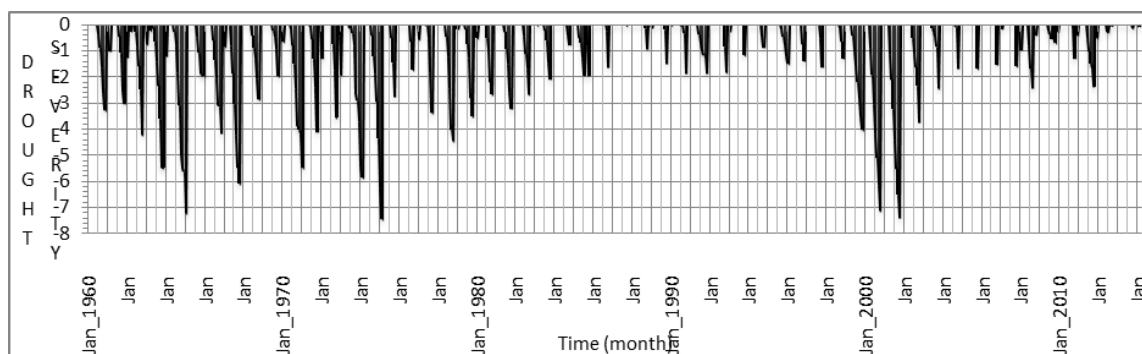


Fig. 2- Intensity of the agricultural drought in the Shaharekord plain during 1960-2014

شکل ۲- شدت تداوم خشکسالیهای کشاورزی در طی ۱۹۶۰-۲۰۱۴ در دشت شهرکرد

شرایط دائمی خشکسالی در منطقه بوده که لازم است سازمان جهاد کشاورزی نسبت به برنامه ریزی مداوم برای اجرای سیاستهای مقابله با بحران خشکسالیهای کشاورزی اقدام به عمل آورد. همچنین اداره محیط زیست نسبت به برنامه ریزی برای حفاظت از موجودات در مناطق حفاظت شده منطقه برنامه ریزی دائمی داشته باشد. با توجه به این که آبخوان دشت شهرکرد تنها منبع اصلی تأمین کننده نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت دشت می باشند، ضرورت دارد که شرکت های آب منطقه ای شهری و روستایی ضمن هماهنگی با سازمان ها و نهادهای ذیربط نسبت به برنامه ریزی فعال و پویا برای تأمین آب پایدار در منطقه پیش بینی ها و اقدامات لازم را به عمل آورند.

تقدیر و تشکر

از اداره کل هواشناسی چهارمحال و بختیاری برای ارایه اطلاعات تشکر می شود.

نتیجه گیری

شاخص SPI₃ نسبتاً برآورد خوبی از ETDI ارائه می نماید. لذا با توجه به سادگی و در دسترس بودن اطلاعات برای محاسبه SPI₃ نسبت به ETDI از این معادله برای مناطق مجاور می توان بهره برد و خشکسالی کشاورزی را برآورد نمود. دشت شهرکرد یک خشکسالی کشاورزی مداوم بیست و هشت ساله (۱۹۸۷-۱۹۶۰) را پشت سرگزارده که احتمالاً اثرات مخربی بر وضعیت کشاورزی و مراتع در منطقه داشته است. از آن به بعد به مدت حدود دوازده سال (۱۹۸۸-۱۹۹۹) شدت خشکسالیهای کشاورزی ملایم تر شده ولی مجدداً از سال ۲۰۰۰ به مدت چهار سال رو به افزایش نهاده و سپس روند کاهشی به خود گرفته است. در نیم قرن اخیر حدوداً ۵۰ درصد از دوران سپری شده دارای شدت خشکسالیهای کشاورزی نسبتاً آزاردهنده بوده و مابقی دوران ملایم تر شده است. منطقه تقریباً به طور دائم شاهد خشکسالیهای تصادفی با شدت و تداومهای مختلف بوده است. بررسی سیر تاریخی خشکسالیهای کشاورزی منطقه مؤید وجود

References

- 1- Abramowitz, M. and Stegun, I.A., 1965. *Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables*. (eds.), Dover publications. 1046 p. Inc. New York.
- 2- Akinremi, O.O., McGinn, S.M. and Barr, A.G., 1996. Evaluation of the Palmer drought index on the Canadian prairies. *Journal of Climate*, 9(5), pp.897-905.
- 3- Alley, W.M., 1984. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of climate and applied meteorology*, 23(7), pp.1100-1109..
- 4- Alston, M. and Kent, J., 2004. *Social impacts of drought*. centre for rural social research. Charles Sturt University. Wagga. NSW.
- 5- Chen, J. and Yang, Y., 2012. SPI-based regional drought prediction using weighted markov chain model. *Research Journal of Applied Sciences. Engineering and Technology*, 4(21).pp. 4293-4298.
- 6- Dinpashoh, Y. Mirabbasi, R., Jhahharia, D., Zare Abianeh, H. and Mostafaeipour. A., 2014. Effect of short term and long-term persistence on identification of temporal trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3).pp. 617-625.
- 7- Ensafimoghadam, T., 1997. Evaluation of some climatological indices and define the best one in salt lake watershed (Iran). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, Vol 14.(In Persian).
- 8- Ghareman, M. and Radfar, M., 2013. Assessment of different irrigation systems for optimal water resources management in the Shahrekord Plain using GIS. *Second National Conference on Water Crisis*. Shahrekord University. Iran.(In Persian).
- 9- Glantz, M. H. E., 1987. *Drought and hunger in africa: denying famine a future*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 10-Guttman, N.B., 1998. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *J. Am.Water Res. Assoc*, 34 (1).pp. 113-121.
- 11-IPCC., 2007. *The Physical science basis*. contribution of working group I to the fourth assessment. in: report of the intergovernmental panel on climate change. edited by: Solomon. S. Qin. D. Manning. M. Chen. Z. Marquis. M. Averyt. K. B. Tignor. M. and Miller. H. L. Cambridge University Press. Cambridge. UK and New York. NY. USA. 996 p.
- 12-Kahya, E. and Kalayci, S., 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289. pp.128-144.
- 13-Khaliq, M.N. Ouarda, T.B.M.J. and Gachon, P., 2009. Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers. The effect of short- and long-term persistence. *Journal of Hydrology*, 369. pp. 183-197.
- 14-Kumar, S. Merwade, V. Kam, J. and Thurner, K., 2009. Streamflow trends in Indiana. effects of long term persistence. precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374(1-2).pp. 171-183.
- 15-Lehner, B. Döll, P. Alcamo, J. Henrichs, T. and Kaspar, F., 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe. a continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75.pp. 273-299.
- 16-Lettenmaier, D.P. Wood, E.F. and Wallis, J.R., 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States. 1948-88. *Journal of Climate*, 7.pp. 586-607.
- 17-Loukas, A. and Vasiliades, L., 2004. Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region. Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4.pp. 719-731.

- 18-McCabe, G. J. and Markstrom, S. L., 2007. *A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. U.S. Geological Survey report 1088.*
- 19-McKee, T.B. Doeskin, N.J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 179-184. January 17-22. Anaheim. California.
- 20-Meddi, H. Meddi, M. and Assani, A., 2014. Study of drought in seven algerian plains. *Arab J Sci Eng*, 39.pp. 339–359.
- 21-Narasimhan, B., 2004. *Development of indices for agricultural drought monitoring using a spatially distributed hydrologic model. Ph.D. Dissertation.* Texas A&M University. College Station. TX.
- 22-Narasimhan, B. and Srinivasan, R., 2005. Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agr. Forest Meteorol*, 133.pp. 69–88.
- 23-Palmer, W. C., 1965. *Meteorological drought. research paper no. 45.* US Department of Commerce. Weather Bureau. Washington. D.C. USA.pp. 1–58.
- 24-Palmer, W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions. nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise*, 21 (4).pp. 156–161.
- 25-Partal, T. and Kahya, E., 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20.pp. 2011-2026.
- 26-Patz, J. A. Campbell-Lendrum, D. Holloway, T. and Foley, J. A., 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438.pp. 310–317.
- 27-Radfar, M., 2009. *Hydrogeological and hydrochemical characterisation and modelling of the tertiary-quaternary aquifer system in Shahrekord Plain-Iran. Ph.D. Dissertation.* Ghent University. 495p.
- 28-Razi, T. Saghafian, B. and Shokhohi, A., 1994. Prediction of drought intensity-duration and frequency in sisthan and balochestan(Iran) using probabilistics methods and time series. *J. Desert*, 8(2).pp. 292-310.(In Persian).
- 29-Rostamy, F. and Radfar, M., 2013. Drought assessment and mapping in Chahrmahal and Bakhtiary Province using the DI and modified SPI. *Second National Conference on Water Crisis.* Shahrekord University. Iran.(In Persian).
- 30-Sadeghinia, A. Hejazizadeh, Z. Hamidianpour, M. and Poursarbandan, R., 2012. Estimation of drought and wet probabilities in tehran using SPI index and Markov Chain. *J. Geographic Space*, 43.pp. 65-81.(In Persian).
- 31-Salehi, M. and Radmanesh, F., 2012. Evalouation and prediction of drought in Dez Station using SPI index and Markov Chain. *The 5th Conferences of Water Resources Management of Iran.* ShahidBeheshti University.(In Persian).
- 32-Shafer, B.A. and Dezman, L.E., 1982. Development of surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. *In: Proceedings of the 50th Western Snow Conference.* Colorado State University Press. Reno. NV/Fort Collins. CO. pp.164–175.
- 33-Sheffield, J. and Wodd, E.F., 2008. Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model. Multiscenario. IPCC AR4 simulations. *Clim. Dynam*, 31.pp. 79–105.

- 34-Shiau, J.T., 2006. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water Resources Management*, 20.pp. 795–815.
- 35-Shiau, J.T. and Modarres, R, 2009. Copula based drought severity-duration frequency analysis in Iran. *Meteorological Applications*, 16.pp. 481–489.
- 36-Thom, H. C. S., 1966. *Some methods of climatological analysis*. WMO technical note number 81. secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva. Switzerland. 53 p.
- 37-Thornthwaite, C.W. and Mather, J. R., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. publications in laboratory of climatology. drexel institute of technology. centerton. New Jersey. USA, 10 (3).pp. 183 – 311.
- 38-Trambauer, P. Maskey, S. Werner, M. Pappenberger, F. van Beek, L. P. H. and Uhlenbrook, S., 2014. Identification and simulation of space–time variability of past hydrological drought events in the Limpopo River basin. southern Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 18.pp. 2925–2942.
- 39-Vicek, O. and Huth, R., 2009. Is daily precipitation Gamma-distributed Adverse effects of an incorrect use of the Kolmogorov–Smirnov test. *Atmospheric Research*, 93.pp. 759–766.
- 40-Wilhite, D.A., 2000. *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. A Global Assessment. New York.pp. 3–18.