

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation and Comparison of Drought in West Azerbaijan Using the SPI, CZI, PNI Indices and Geographic Information System (GIS)

T. Aligolinia^{1*}, N. Rasouli Majd² and A. Hezar Jaribi³

1* - Corresponding Author, Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Gorgan university of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (*tohid323@yahoo.com*).

2- Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 16 January 2017

Revised: 6 September 2017

Accepted: 11 September 2017

Keywords: Drought Analysis, Wet Year ng, Performance of Indices, Meteorology.
DOI: 10.22055/jise.2017.20678.1496.

Introduction

Recognizing and studying the drought phenomenon with regard to the affecting factors led to better understanding of this phenomenon and paved the way for short-term and long-term planning in relation to encountering, controlling and predicting of this phenomenon. Since to determine the severity, duration, and frequency of drought, is need to determine the drought by using indicators, drought monitoring is essential and researchers have always followed the use of indicators for drought monitoring as a management and planning tool. Drought monitoring is one of the prime factors in drought management. Monitoring systems have important roles in creating the drought plans and its management. Therefore, due to this importance and taking into account the ecological and geographical conditions of Lake Urmia during recent years, the study and monitoring of drought for the above area is necessary. Therefore, the purpose of this study was to investigate the drought characteristics and calculate the three (SPI, PNI, CZI) drought indexes and comparing their efficiency and accuracy in the Western Azerbaijan province, as well as evaluating the time trends of their changes over the entire province.

Methodology

To evaluate and study droughts, the synoptic meteorological data from 6 stations in West Azerbaijan province during the period of (1990-2009) was used. Also, based on the available data, the component of rainfall, including mean, skewness, standard deviation and variance, were analyzed from the amount of annual precipitation of synoptic stations in West Azerbaijan province. In order to investigate the drought, three drought indices including the SPI, PNI and CZI indices were used. The GIS was also used to study the drought trend and spatial zonation. In order to evaluate the efficiency of drought indices in West Azerbaijan province the R² coefficient between pairs of drought indices SPI-CZI, SPI-PNI and CZI-PNI was used.

Results and Discussion

The results of the survey on the efficiency of the indicators showed a relatively high correlation between SPI and CZI indices. Also the results showed that for the most stations, in ($p < 0.01$) confidence level, pairs of profiles were correlated to each other. However in the frequency analysis

of drought indices, PNI index in normal years and SPI index in the wet years have more efficiency. Also between low and moderate droughts every 3 indices showed almost identical results and efficiency. Finally, an experimental equation was developed based on the relative spur height and length and riprap size, which can be applied for the riprap size designing. The results of drought analysis showed that there were relatively normal years in the province between 1990 and 2009, that the PNI indicator showing well, and a few weak points were observed that its SPI index shows. Also, the results showed that there were weak to moderate drought in the studied area during the years of (1990-2009) that in this case, all three indicators of the CZI, PNI and SPI showed almost identical results.

Conclusion

Drought indicators represent the natural limits of droughts, making it possible to evaluate it at different time and space scales. For this purpose, rainfall data of different stations in West Azerbaijan province were analyzed. The results showed that precipitation in this province is very irregular and highly variable, that indicates the probability of occurrence of drought in the region. Therefore, in order to study this phenomenon, PNI, CZI and SPI indexes were analyzed and compared. The results showed relatively high correlation between the CZI and SPI indices. However, the PNI index shows different results in spatial zoning. Therefore, in the study area where the most severe drought has occurred, the PNI index shows the highest amount of drought with the 1286.95 sq. Km. Also, in the drought frequency analyze and mildew occurrence in the province, the PNI was the most frequent index of normal drought, and the SPI index showed the highest frequency.

Acknowledgment

Here we express our gratitude for all the respected professors who contributed to the calculation and preparation of this article. Also we would like to express our appreciation for the Meteorological Organization for providing data and information.



© 2019 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/>).



ارزیابی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص SPI, CZI, PNI و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

توحید علیقلی نیا^۱، نگار رسولی مجد^۲ و ابوطالب هزار جریبی^۳

^۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
tohid323@yahoo.com

^۲- دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

^۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۰

بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۱۵

دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

چکیده

پایش خشکسالی یکی از فاکتورهای مهم در مدیریت خشکسالی است. سیستم‌های پایش نقش مهمی در تدوین طرح‌های خشکسالی و مدیریت آن دارند. در این تحقیق از شاخص‌های SPI، PNI و CZI برای بیان کمی خشکسالی استفاده گردید. داده‌های بارندگی شش ایستگاه منتخب در استان آذربایجان غربی در طول دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین جهت بررسی روند خشکسالی و پهنه بندی مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان دهنده تطابق نسبتاً بالای شاخص‌های SPI و CZI می باشد. به منظور بررسی کارایی نمایه‌های خشکسالی در استان آذربایجان غربی، ضریب تبیین بین زوج شاخص‌های خشکسالی (SPI-PNI، CZI-PNI و SPI-CZI) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان $p < 0.01$ زوج نمایه‌ها از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند. این در حالی است که، در تحلیل فراوانی شاخص‌های خشکسالی، شاخص PNI در سال‌های نرمال اتفاق افتاده و شاخص SPI در ترسالی‌های ضعیف اتفاق افتاده در استان کارایی بیشتری داشته و در مورد خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط هر سه شاخص نتایج و کارایی تقریباً یکسانی را نشان دادند.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خشکسالی، ترسالی، کارایی شاخص‌ها، هواشناسی

al. (2010) و Simani (2011) اشاره کرد. از آنجایی که برای

تشخیص شدت، تداوم و فرکانس خشکسالی نیاز به تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها می‌باشد، لذا پژوهشگران همواره به دنبال استفاده از شاخص‌های مختلف جهت تعیین و پایش خشکسالی به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی هستند.

McKee et al. (1993) برای اولین بار شاخص بارش استاندارد (Standardized Precipitation Index) SPI را در ایالات کلرادو آمریکا به کار بردند. در این مطالعه مک کی، از مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت سه و شش ماهه به منظور اهداف کشاورزی و از مقیاس‌های زمانی بلند مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به منظور اهداف هیدرولوژی استفاده کرد. Hong et al. (2001) سه شاخص خشکسالی (CZI)، بارندگی استاندارد شده (Z) و (ZSI) را در چهار ناحیه در کشور چین که شرایط خشک تا مرطوب را داشتند با استفاده از ۴۸ سال آمار بارندگی (۱۹۵۱-۱۹۹۸) و دوره‌های ۱، ۳، ۶ و ۹ و ۱۲ ماهه ارزیابی کردند. در این تحقیق شاخص SPI مبنای قرار

مقدمه

خشکسالی به‌عنوان بی سر و صداترین بلایای طبیعی در مقابل سیلاب به‌عنوان یکی از پر صداترین بلایا قرار گرفته است. این در حالی است که خطر و خسارت ناشی از خشکسالی به مراتب بیشتر از سایر بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، آتشفشان و حتی زلزله است. ولی به‌دلیلی که مشاهده تأثیر تخریبی خشکسالی نیاز به زمان به نسبت طولانی دارد، مطالعه و تحقیق و نحوه برخورد با آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. شناخت و مطالعه پدیده خشکسالی با توجه به عوامل تأثیرگذار و دخیل در آن باعث درک و فهم بهتر این پدیده شده و راه را برای برنامه‌ریزی کوتاه مدت و بلند مدت در رابطه با برخورد، مهار و پیش‌بینی این پدیده هموار می‌سازد. بسیاری از محققین با بررسی و پیش‌بینی خشکسالی در سال‌های آتی نسبت به اثرات زیانبار آن هشدار داده‌اند. که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Dalezios et al. (1995)، McKee et al. (1999)، Guttman Ghorbani et al. (2000)، Cancelliere et al. (2007) را نام برد.

تداوم خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه آبخیز استان تهران همبستگی بالایی بین تداوم و شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان دادند که با افزایش سطح آستانه شدت خشکسالی، تداوم بیشتر می‌شود. Piry et al. (2013)، مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی را در استان سیستان و بلوچستان انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که شاخص‌های PNI و RAI نسبت به شاخص‌های دیگر درصد بیشتری از خشکسالی را بیان می‌دارند. این در حالی است که شاخص DPI سال‌های نرمال و شاخص SPI سال‌هایی با آستانه خشکسالی ضعیف را به خوبی نشان می‌دهند.

با توجه به مطالب ذکر شده، به نظر می‌رسد تاکنون مطالعه جامعی در زمینه خشکسالی و مقایسه کارایی شاخص‌های مختلف در منطقه مورد مطالعاتی صورت نگرفته است و این مهم با توجه به شرایط اکولوژیکی و جغرافیایی دریاچه ارومیه در طی سال‌های اخیر، امری لازم و ضروری است. لذا هدف این تحقیق، بررسی مشخصات خشکسالی و محاسبه سه شاخص خشکسالی SPI، PNI، CZI و بررسی و مقایسه کارایی و دقت آن‌ها در هر ایستگاه و همچنین ارزیابی روند تغییرات زمانی آن‌ها در کل گستره استان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

برای بررسی خشکسالی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان آذربایجان غربی در طی دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۹) استفاده شده است. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها را در استان نشان می‌دهد. همگنی داده‌ها به روش ران تست و از روش حداقل مربعات برای استخراج مقادیر روند بارش بهره برده شد که از این روند می‌توان به منظور نمایش تغییرات دراز مدت سری بارش استفاده نمود. همچنین بر اساس آمار موجود جمع آوری شده از مقدار بارش سالیانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان آذربایجان غربی اجزای بارش شامل میانگین، چولگی، انحراف معیار و واریانس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای بررسی خشکسالی از شاخص‌های SPI، PNI و CZI استفاده شده است. علت استفاده از این سه شاخص این است که در محاسبات مربوط به هر کدام از این شاخص‌ها می‌توان از داده‌های بارندگی سالیانه استفاده کرد. همچنین سه شاخص انتخاب شده دارای آستانه نسبتاً یکسانی برای تعریف خشکسالی می‌باشند. روابط محاسبه هر کدام از این شاخص‌ها و نحوه طبقه‌بندی خشکسالی توسط آن‌ها در ادامه به‌طور مفصل تشریح گردیده است.

داده شد و سایر شاخص‌ها و عکس‌العمل آن‌ها در سال‌های خشک و تر نسبت به این شاخص ارزیابی گردید. آن‌ها علت مبنا قرار دادن شاخص SPI را، سادگی، قابلیت تحلیل در دوره‌های زمانی مختلف و امکان استفاده در مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی (به‌علت دارا بودن قابلیت تحلیل احتمالاتی) بیان کردند. آن‌ها برای این بررسی از همبستگی خطی بین مقادیر این شاخص‌ها با SPI استفاده کردند. این همبستگی بین مقادیر SPI و ZCI بیانگر این است که SPI و ZCI معمولاً رابطه خوبی در مقیاس زمانی مختلف به جز در مقیاس زمانی ۳ ماهه و در شرایط بسیار خشک از خود نشان می‌دهد. همچنین Tsakiris and Vangelis (2005)، با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه توزیع مکانی شاخص SPI را تهیه کردند. به نظر Mishra and Singh (2010)، شاخص SPI در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارای مزیت‌های بسیار زیادی است. Choi et al. (2013)، برای بررسی خشکسالی در گرجستان در طی سال‌های ۲۰۰۸ - ۲۰۰۰ از شاخص‌های ESI، PDSI و VHI استفاده کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان دهنده کارایی بالای شاخص ESI نسبت به شاخص‌های دیگر می‌باشد. Mirabbasi et al. (2013)، در شمال غرب ایران با استفاده از شاخص JDI، به بررسی خشکسالی و کارایی شاخص JDI در منطقه مورد مطالعه پرداختند. برای این منظور، از داده‌های بارندگی ماهانه ۵۰ ایستگاه در طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۰ استفاده نمودند. نتایج حاکی از توانایی بهتر شاخص JDI در تشخیص زمان وقوع خشکسالی‌های طولانی مدت نسبت به شاخص SPI می‌باشد. Xangsayasane et al. (2014)، به منظور بررسی خشکسالی در مناطق جنوب شرق آسیا از شاخص DRI در شرایط کشت‌های دیم و آبی استفاده نمودند. نتایج حاکی از سازگاری و کارایی بیشتر شاخص DRI در شرایط دیم می‌باشد.

Telluri and Leshni Zand (2004)، با بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در شش حوزه غرب و شمال غرب کشور با استفاده از SPI مشخص نمودند که وقوع خشکسالی‌های یک تا سه ماهه در ایستگاه‌های واقع در مناطق نیمه مرطوب پدیده‌ای معمول می‌باشد. Azizi و Roshani (2005)، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه سه ایستگاه هواشناسی در استان هرمزگان، به این نتیجه رسیدند که در طول دوره مطالعاتی، سه دوره خشکسالی و دو دوره ترسالی در منطقه رخ داده است به طوری که خشکسالی‌ها ضعیف و متوسط اما با تداوم زیاد بوده، در حالی که ترسالی‌ها شدید و بسیار شدید اما با تداوم کم ظاهر شده‌اند. Moradi et al. (2007)، خشکسالی هواشناسی و روند آن را با کمک شاخص SPI و روش‌های آماری پارامتری در استان فارس مطالعه کردند. Samiey و Telluri (2008)، با بررسی شدت و

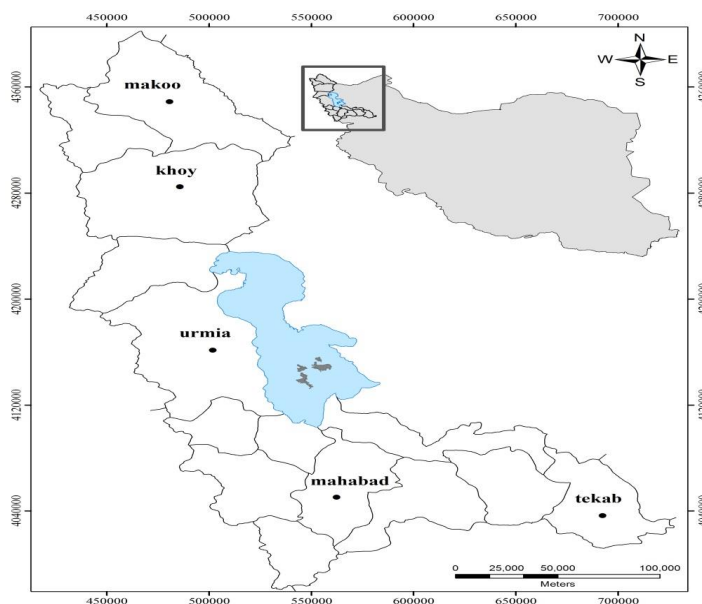


Fig. 1- Location of study stations

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

کوچکتر باشد خشکسالی شدید و هرچه بزرگتر باشد نشان‌دهنده ترسالی شدید در منطقه می‌باشد. طبقه بندی مقادیر SPI در جدول (۱) آمده است.

شاخص (CZI: China Z Index)

این شاخص توسط Ju et al. (1997) ابداع گردید. این شاخص بر اساس تبدیل ریشه سوم شکل گرفته است. محاسبات این شاخص بر این فرض استوار است که داده‌های بارندگی از توزیع پیرسون نوع ۳ تبعیت می‌کند.

شاخص CZI مطابق فرمول (۲) برآورد می‌گردد:

$$z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left[\frac{C_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (2)$$

که در آن z_{ij} شاخص C_{si} می‌باشد. i مقیاس زمانی مورد نظر که می‌تواند ۱، ۲، ... تا ۴۴ سال و j سال مورد نظر می‌باشد.

همچنین:

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \sigma_i^3} \quad (3)$$

که در آن C_{si} ضریب چولگی و n تعداد کل سال‌های دوره آماری می‌باشد.

شاخص بارش استاندارد

(SPI: Standard Precipitation Index)

شاخص SPI، نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد، برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و می‌تواند هشدار اولیه برای پایش خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. این روش توسط Doesken، McKee و Kleist اعضای مرکز اقلیمی Colorado در سال (1993)، با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. در این روش ابتدا توزیع آماری داده‌های بارندگی ثبت شده که معمولاً غیر از توزیع نرمال به خصوص دارای توزیع پیرسون تیپ سه می‌باشند را به توزیع نرمال تبدیل می‌کنند و سپس داده‌های نرمال شده را با رابطه (۱) استفاده می‌نمایند.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\delta} \quad (1)$$

که در آن، P : مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} : میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و δ : انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه نمایه SPI می‌توان بارندگی ماهیانه و یا مجموع بارندگی در بازه زمانی دلخواه را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما یا توزیع پیرسون تیپ سه برازش داد. شاخص SPI بدون بعد می‌باشد و مقدار آن به‌طور تجربی بین -۲ تا +۲ تغییر می‌کند و بدیهی است که مقدار عددی این شاخص هرچه

گیرد. برای این منظور روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق از آزمون میانگین انحراف نسبی برای انتخاب توزیع آماری داده‌های سالیانه بارندگی استفاده شده است. مطابق این آزمون هر کدام از توزیع‌های آماری که دارای خطای استاندارد کمتری باشند به‌عنوان توزیع برتر انتخاب خواهد شد. در این آزمون برای انتخاب مناسب‌ترین تابع برازش یافته، به کمترین مقدار برازش عدد شش و به بیشترین و بهترین برازش عدد یک تعلق گرفت. همچنین برای انتخاب مناسب‌ترین توزیع از نرم افزار Easyfit استفاده گردید، به طوری که هر سری داده آماری را با شش تابع توزیع شامل تابع‌های توزیع Normal, Pareto, Gamma3P, Pearson3, Gamma Beta, Gamma برای تأیید به کارگیری روش SPI و CZI به ازای توزیع گاما می‌باشد.

پهنه‌بندی مکانی خشکسالی

برای تهیه نقشه‌های خشکسالی استان آذربایجان غربی از محیط مورد استفاده در GIS بنام Arcmap استفاده شد. از این محیط برای ترسیم نقشه‌های خشکسالی و خطوط هم شدت خشکسالی استفاده گردید. در مطالعه حاضر از روش میان‌یابی Kriging به تعیین گستره خشکسالی در استان آذربایجان غربی استفاده شد. علت استفاده از روش Kriging، مطالعه علی‌قوی و همکاران در زمینه مقایسه روش‌های پهنه‌بندی در استان آذربایجان غربی بود. آن‌ها در مطالعه خود روش Kriging را به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی در این استان معرفی کردند (Aligholinia et al., 2016). به‌منظور راستی آزمایشی نیز قبل از اقدام به پهنه‌بندی، ابتدا مدل‌های Variogram بهینه هر یک از شاخص‌ها محاسبه و ترسیم گردید و سپس نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج گردیدند.

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (4)$$

همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده، x_{ij} بارندگی سال j برای دوره i ، σ_i و \bar{x}_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می‌باشد. برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقه‌بندی SPI استفاده می‌شود.

شاخص درصد بارش نرمال

(PNI: Present of Normal Index)

شاخص درصد بارش نرمال، توسط Willeke et al. (1994) ارائه شده است. استفاده از این شاخص، یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی شدت خشکسالی است که برای بیان اولیه این پدیده مفید می‌باشد. شاخص PNI از تقسیم مقدار واقعی بارش بر بارش نرمال و ضرب آن در عدد ۱۰۰ بدست می‌آید که به‌صورت رابطه (۵) می‌باشد.

$$PNI = \frac{P_i}{P} * 100 \quad (5)$$

که در آن، P_i مجموع بارندگی ماهانه و \bar{P} میانگین بارندگی ماهانه بلند مدت، بر حسب میلی‌متر است. این شاخص می‌تواند برای بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شود. شاخص درصد نرمال بر یک توزیع نرمال دلالت دارد که در آن میانه و میانگین یکسان است. جدول (۱) طبقه‌بندی خشکسالی را بر اساس شاخص PNI را نشان می‌دهد.

انتخاب تابع توزیع

انتخاب تابع توزیع برای داده‌های آماری از جمله اقداماتی می‌باشد که باید در مراحل اولیه هر مطالعه هیدرولوژیکی صورت

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPI (Mishra et al., 2005) PNI (Willeke et al., 1994) و CZI (Ju et al., 1997)

Table 1- Classification of SPI, PNI and CZI drought indices

Drought class	SPI	PNI	CZI
Extreme wet	>2	>160	>2
Severe wet	1.5 to 1.99	145 to 160	1.5 to 1.99
Moderate wet	1 to 1.49	130 to 145	1 to 1.49
Normal	-0.99 to 0.99	70 to 130	-0.99 to 0.99
Moderate drought	-1 to -1.49	55 to 70	-1 to -1.49
Sever drought	-1.5 to -1.99	40 to 55	-1.5 to -1.99
Extreme drought	<-2	<40	<-2

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل اطلاعات بارش ایستگاه‌های مختلف نشان دهنده بی‌نظمی بالا در پراکنش بارندگی در سطح استان می‌باشد، به‌طوری‌که بارش‌ها در استان آذربایجان غربی بسیار نامنظم و با تغییرپذیری بالا همراه بوده و این امر نشان دهنده احتمال وقوع خشکسالی در منطقه می‌باشد. در این مطالعه نیز با توجه به اهمیت این موضوع اقدام به تحلیل خشکسالی در سطح استان آذربایجان غربی با استفاده از سه شاخص SPI، PNI و CZI گردید. شکل (۲) روند تغییرات هر سه شاخص فوق را در ایستگاه‌های مینا (ارومیه، تکاب، سردشت، مهاباد، خوی و ماکو) نشان می‌دهد. مطابق شکل (۲)، تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی شاهد دوره‌های متناوب خشکسالی و ترسالی با شدت‌ها و مدت‌های زمانی متفاوتی بوده‌اند. نکته مشترک در تمامی ایستگاه‌ها وجود دوره ترسالی در طی شش سال اول مورد بررسی (سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۰) و بروز پدیده خشکسالی بلافاصله بعد از آن می‌باشد، که این دوره‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین دوره‌های خشکسالی و ترسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. مطابق شکل (۲)، هر سه شاخص SPI، PNI و CZI روند تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند. با این حال تطابق دو شاخص SPI و CZI بیشتر دیده می‌شود و بررسی روند تغییرات خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که شاخص PNI خشکسالی را کمتر و ترسالی را بیشتر از دو شاخص SPI و CZI نشان می‌دهد. به‌منظور بررسی این موضوع، اقدام به تعیین فراوانی به دست آمده از هر کدام از شاخص‌ها در دوره آماری ۲۰ ساله مورد مطالعه (۲۰۰۹-۱۹۹۰) شد و نمودار فراوانی شاخص‌ها رسم گردید. (شکل ۳)

همانطور که از شکل (۳) نمایان است، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ سال‌های نسبتاً نرمالی در استان وجود داشته که شاخص PNI به‌خوبی آن را نشان داده است. چند مورد ترسالی ضعیف نیز به چشم می‌خورد که شاخص SPI آن را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل می‌توان دریافت که منطقه مورد مطالعه در طی سال‌های (۲۰۰۹-۱۹۹۰) دست‌خوش خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط بوده است که در این مورد هر سه شاخص CZI، PNI و SPI نتایج تقریباً یکسانی را نشان داده‌اند. این امر با توجه به یافته Piry et al.

(2013) در مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی که در استان سیستان و بلوچستان انجام دادند منطقی به نظر می‌رسد. از آنجایی که شاخص‌های خشکسالی بر مبنای توزیعات احتمالاتی استوار است، لازم است تا داده‌ها از نظر این توزیع‌ها بررسی شوند. جدول (۲) نتایج حاصل از برازش تابع توزیع را نشان می‌دهد.

نتایج برازش تابع توزیع نشان می‌دهد که توزیع برازش یافته مناسب برای اکثر ایستگاه‌های استان، توزیع گاما می‌باشد و از این جهت هیچگونه محدودیت در جهت استفاده از شاخص‌های SPI و CZI برای پایش و بررسی خشکسالی وجود ندارد.

همچنین برای انتخاب مناسب‌ترین نمایه‌ها و یا به عبارتی برای کارایی نمایه‌ها، ضرایب همبستگی برای زوج شاخص‌های آماری در دوره مطالعاتی ۲۰ ساله و برای ایستگاه‌های مورد نظر مطابق جدول (۳) با استفاده از آزمون همبستگی Spearman به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از همبستگی آماری زوج شاخص‌ها نشان داد در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه زوج شاخص‌های SPI-CZI، SPI-PNI و CZI-PNI از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار شدند.

Sadr Afshari و Faizollahpour (2011) مقادیر خشکسالی ارومیه را برای دستیابی به بهترین شاخص با استفاده از شاخص‌های SPI، PNI، ZSI و DI در دوره آماری ۳۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۱) انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که شاخص DI و ZSI با یکدیگر دارای هماهنگی زیادی می‌باشند به‌طوری‌که در حدود ۱۴ دوره دارای همخوانی تقریباً کاملی هستند و شاخص‌های SPI و PNI نیز با یکدیگر دارای همخوانی مطلوبی می‌باشند.

در این تحقیق علاوه بر بررسی همبستگی شاخص‌ها با استفاده از آزمون Spearman، نمودارهای همبستگی شاخص‌ها با استفاده از داده‌های استاندارد شده بین ۰ تا ۱ برای هر سه شاخص ترسیم گردید و ضریب تبیین (R^2) استخراج شد (شکل ۴). در نهایت با استفاده از آزمون همبستگی جفت شده، همبستگی متقابل هر یک از شاخص‌ها نسبت به یکدیگر، برای داده‌های حاصل از تحلیل خشکسالی شاخص‌ها در سطح کل استان محاسبه شده و در جدول (۴) درج گردید.

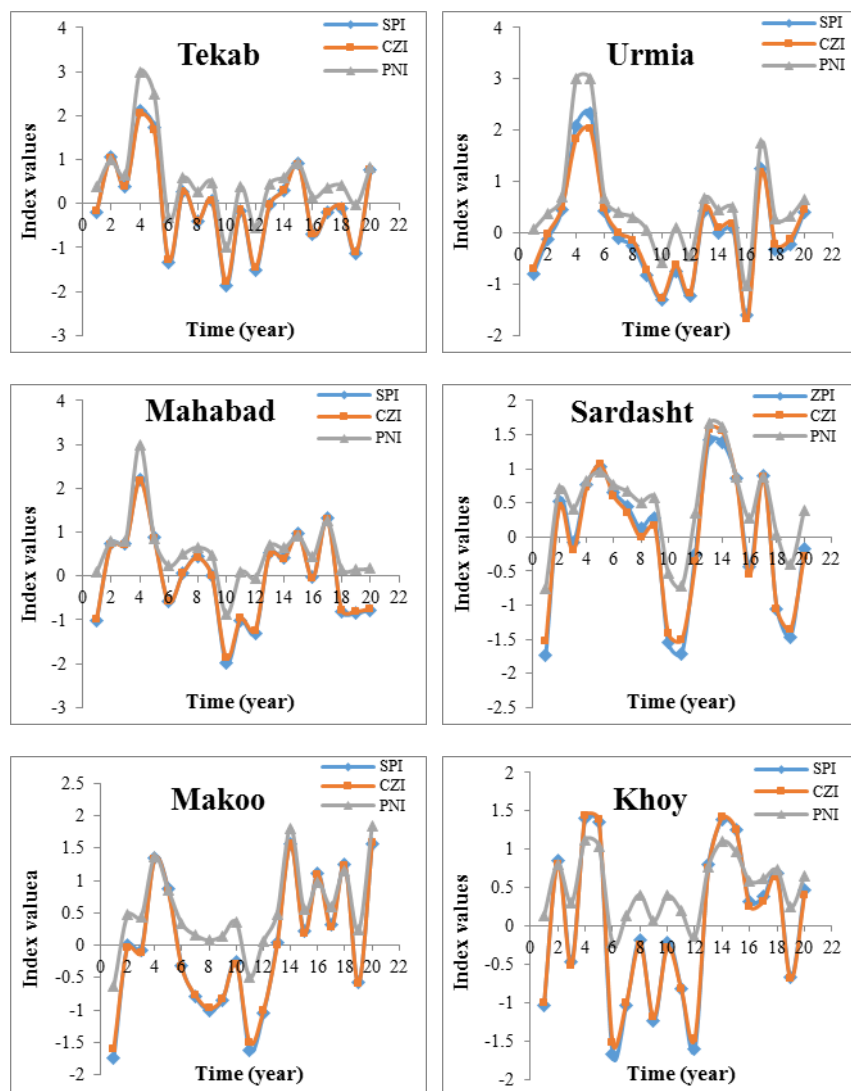


Fig. 2- Drought changes with CZI, PNI and SPI indices during 1990-2009

شکل ۲- روند تغییرات خشکسالی با شاخص‌های CZI، PNI و SPI در طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۹

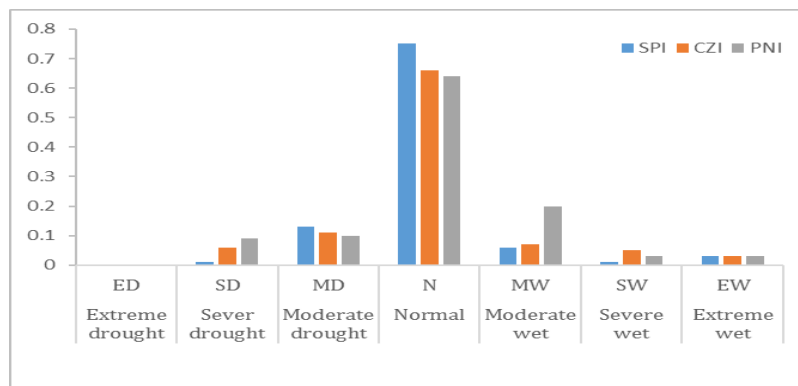


Fig. 3- Drought indices frequency in normal, drought and wet periods

شکل ۳- فراوانی شاخص‌های خشکسالی در دوره‌های نرمال، خشکسالی و ترسالی

جدول ۲- نتایج حاصل از برازش مناسب‌ترین تابع توزیع

Table 2- The results of goodness of fit

The best fitted distribution	Rank of distribution						Stations
	Pareto	Normal	pearson3	Gamma(3P)	Gamma	Beta	
Gamma	6	4	3	2	1	5	Urmia
Gamma	6	4	2	3	1	5	Tekab
Normal	6	1	2	3	4	5	Sardasht
pearson3	6	2	1	4	3	5	Khoy
pearson3	6	4	1	2	3	5	Makoo
Gamma	6	4	2	3	1	5	Mahabad

جدول ۳- ضریب همبستگی زوج شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- Correlation coefficient of drought indices in study stations

Station	Tekab			Urmia			Khoy		
	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI
Index	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI
SPI	1			1			1		
CZI	0.986	1		0.991	1		0.996	1	
PNI	0.987	0.987	1	0.982	0.949	1	0.996	1	1
Station	Sardasht			Mahabad			Makoo		
	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI
Index	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI	SPI	CZI	PNI
SPI	1			1			1		
CZI	0.987	1		0.999	1		0.998	1	
PNI	0.993	0.998	1	0.989	0.992	1	0.993	0.998	1

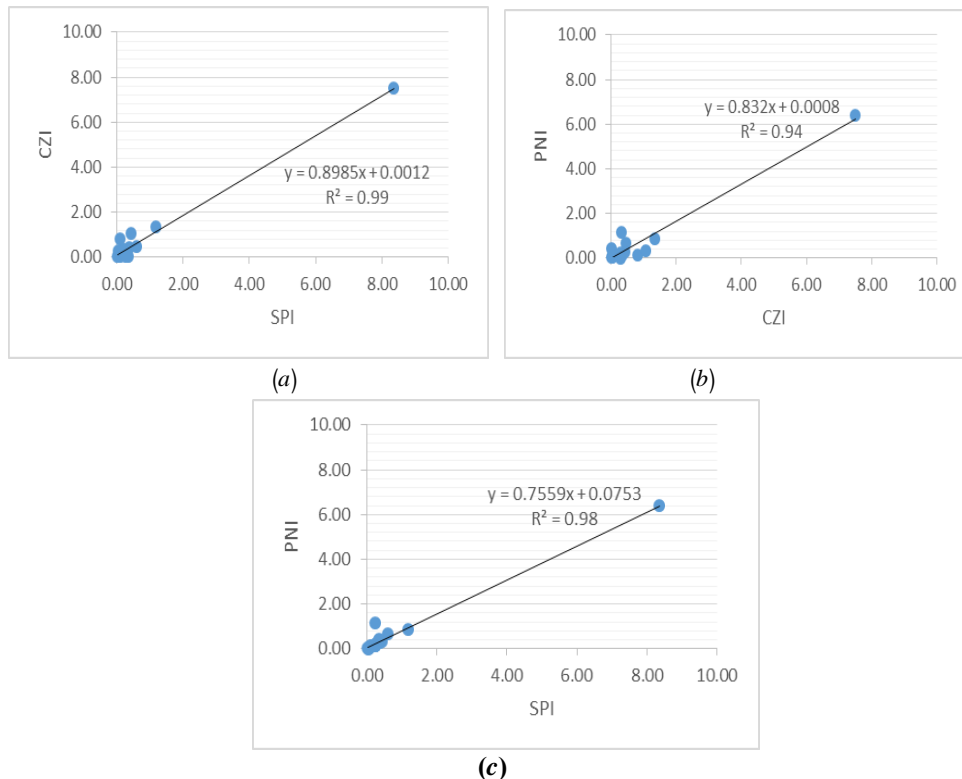


Fig. 4- Correlation between (a) SPI-CZI indices, (b) CZI-PNI indices and (c) SPI-PNI indices

شکل ۴- (a) رابطه همبستگی زوج شاخص‌های SPI-CZI و (b) CZI-PNI و (c) SPI-PNI

جدول ۴- آزمون همبستگی جفت شده بین شاخص‌های SPI، PNI و CZI

Table 4- Coupled correlation between SPI, PNI and CZI indices

Indexes	Mean	Standard Deviation	Mean square error	95 %confidence level of data discrepancy		T- student	Degree of freedom	Correlation level
				Bottom limit	Upper limit			
SPI- PNI	-0.00675	0.04301	0.00962	-0.02688	0.01338	0.702	19	0.971
CZI- SPI	0.0005	0.06212	0.01389	-0.02857	0.02957	0.536	19	0.982
CZI- PNI	0.00625	0.06262	0.014	-0.02306	0.03556	0.446	19	0.960

مدل variogram بهینه هر یک از شاخص‌ها و شکل‌های (۶) تا (۸) پهنه‌بندی مکانی تغییرات آنها را در سطح استان نشان می‌دهند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ خشکسالی‌های شدید در نیمه شمالی استان و به‌ویژه در ایستگاه ماکو اتفاق افتاده و هرچه به سمت جنوب استان پیش می‌رویم از شدت خشکسالی کاسته شده است. این امر به دلیل کاهش نزولات جوی در طی این سال‌ها می‌باشد. این در حالی است که وضعیت مکانی از نظر شاخص‌های خشکسالی در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ تغییر کرده به طوری که شدیدترین خشکسالی در این سال‌ها در جنوب استان به‌ویژه در ایستگاه تکاب رخ داده است. بر اساس شاخص PNI در سال ۱۹۹۸ مساحتی از استان که دارای خشکسالی بسیار شدید می‌باشد ۱۲۲۶۸/۴۵ کیلومتر مربع، بر اساس شاخص CZI ۳۹۶۳/۷۸ کیلومتر مربع و بر اساس شاخص SPI ۵۱۵۴/۹۸ کیلومتر مربع است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌های CZI و SPI بهتر از شاخص PNI شدت خشکسالی را بیان داشتند و شاخص PNI در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد. که این امر به دلیل پیروی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه از توزیع گاما و عدم پیروی از توزیع نرمال و همچنین وابستگی شدید این شاخص به مشخصات مکانی می‌باشد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نیز نشان می‌دهد که شاخص‌های SPI و CZI نتایج تقریباً یکسانی را در سطح استان نشان می‌دهند. تنها اختلاف بین این دو شاخص در پهنه‌بندی در شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌های شدید می‌باشد. به طوری که شاخص CZI مقدار خشکسالی و ترسالی‌ها را کمتر از SPI نشان می‌دهد که این موضوع با توجه به نمودارهای روند تغییرات خشکسالی (شکل ۲) تصدیق می‌شود.

مطابق شکل (۴)، بیشترین مقدار ضریب تبیین به ترتیب با مقدار ۰/۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۹۴ بین شاخص‌های SPI-PNI، SPI-CZI و CZI-PNI به دست آمد. که این نشان دهنده همبستگی بالای دو شاخص SPI-CZI می‌باشد. نتایج جدول (۴) نیز کاملاً تأیید کننده این موضوع بوده به طوری که مطابق جدول (۴) بیشترین همبستگی بین دو شاخص SPI-CZI با سطح همبستگی ۰/۹۸۲ به دست آمده است. تفاوت جدول (۴) با جدول (۳) و شکل (۴)، در مقایسه متقابل شاخص‌ها با یک دیگر با در نظر گرفتن سطح رتبه شاخص‌ها بدون توجه به مقدار عددی آن‌ها می‌باشد. در واقع هدف از انجام آزمون جفت شده، مقایسه دو به دوی شاخص‌ها بدون در نظر گرفتن ماهیت هر کدام از آن‌ها و برابر سازی آن‌ها با در نظر گرفتن رتبه برای هر سطح خشکسالی در بین شاخص‌ها می‌باشد. بنابراین در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که در هر سه حالت بررسی (همبستگی معمولی، بررسی ضریب تبیین با داده‌های استاندارد شده بین ۰ تا ۱ و همبستگی با رتبه‌بندی در آزمون جفت شده)، بیشترین مقدار همبستگی بین دو شاخص SPI-CZI به دست آمد که این امر حاکی از ماهیت ذاتی دو شاخص فوق بوده به طوری که هر دوی این شاخص‌ها با در نظر گرفتن اختلاف بارندگی‌ها نسبت به انحراف معیار و میانگین داده‌ها اقدام به تحلیل خشکسالی و ترسالی می‌کنند در حالی که شاخص PNI با مینا قرار دادن نسبت تغییرات ماهانه یا سالانه بارندگی نسبت به میانگین بلند مدت به ارزیابی خشکسالی می‌پردازد.

به منظور بررسی دقت هر یک از شاخص‌ها و تحلیل مکانی خشکسالی با استفاده از نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه، اقدام به پهنه‌بندی مکانی گردید. برای این منظور ابتدا نمودارهای مدل بهینه variogram هر یک از شاخص‌های SPI، PNI و CZI ترسیم گردید و سپس پهنه‌بندی مکانی انجام گرفت. شکل (۵)

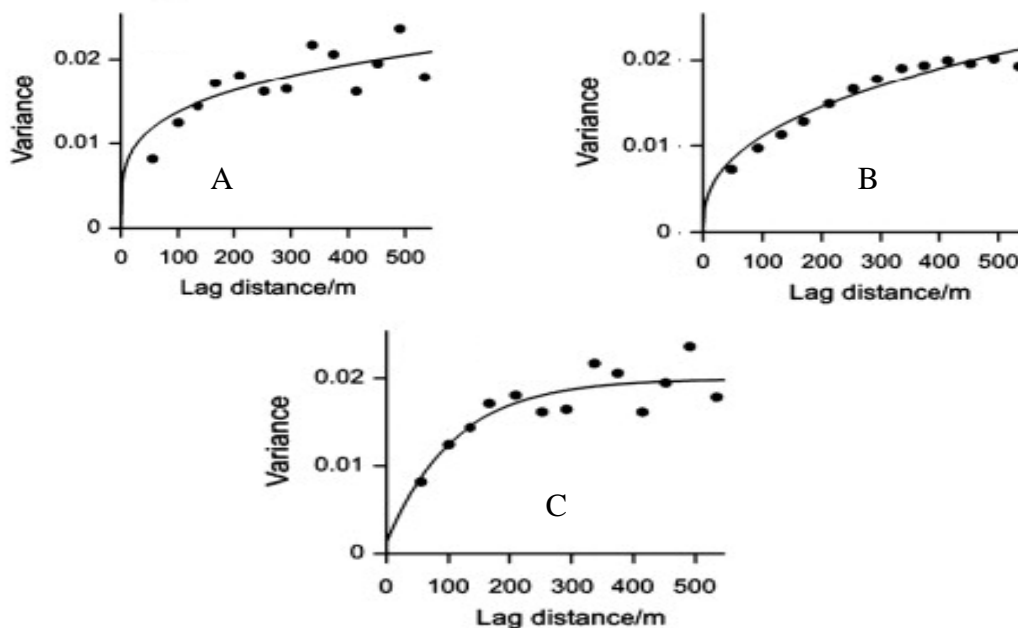


Fig. 5- The optimum variogram model (Gaussian) of (a) PNI, (b) CZI and (c) SPI indices
 شکل ۵- مدل واریوگرام بهینه (Gaussian) شاخص‌های (a) PNI، (b) CZI و (c) SPI

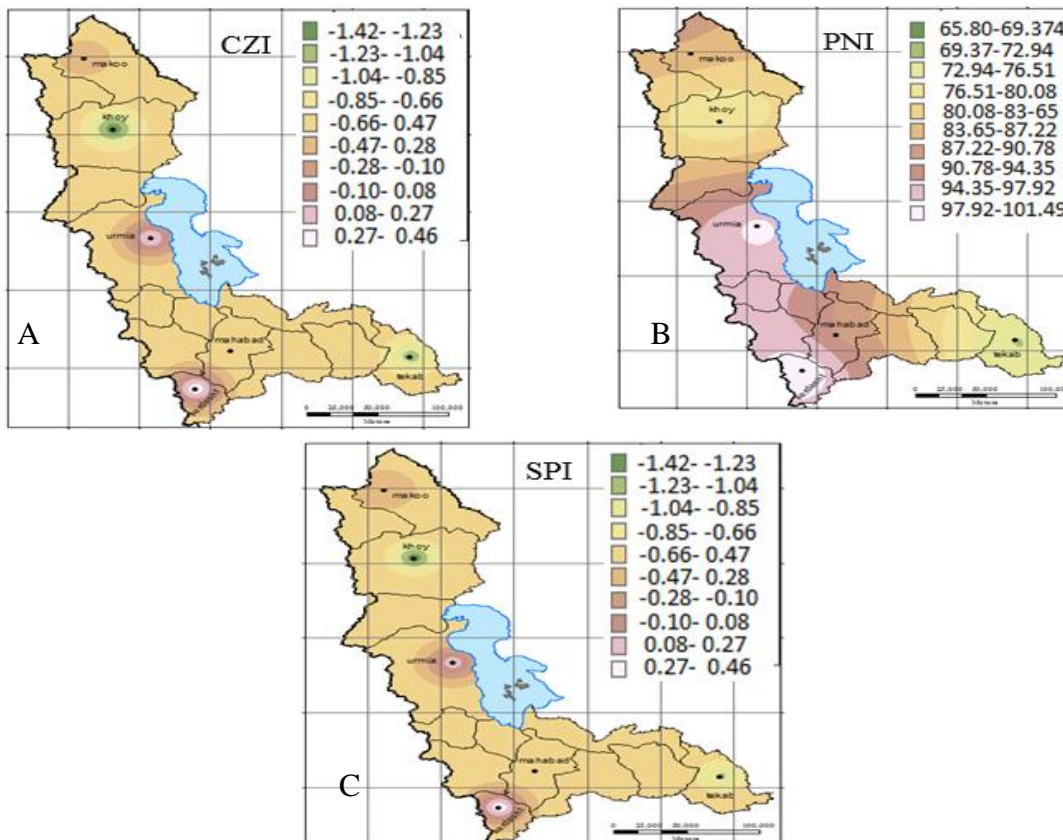


Fig. 6- Drought Indices monitoring (a) CZI, (b) PNI and (c) SPI in 1995
 شکل ۶- پهنه‌بندی خشکسالی شاخص‌های (a) CZI، (b) PNI و (c) SPI در سال ۱۹۹۵

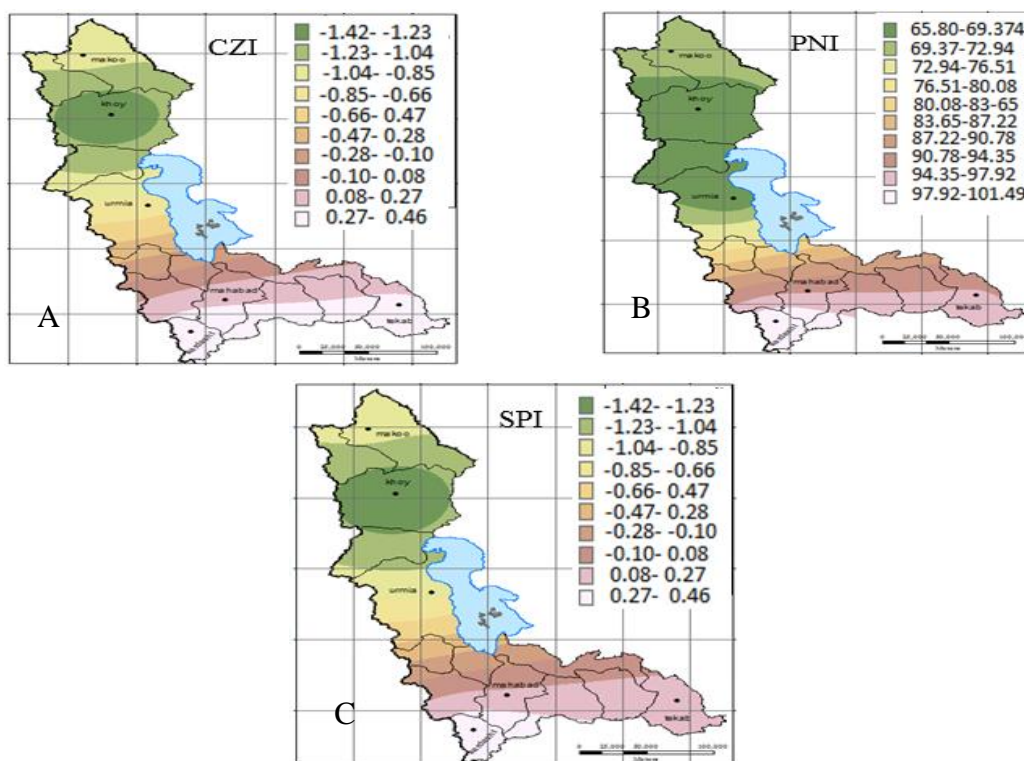


Fig. 7- Drought Indices monitoring (a) CZI, (b) PNI and (c) SPI in 1998

شکل ۷- پهنه‌بندی خشکسالی شاخص‌های CZI : (a) ، PNI : (b) و SPI در سال ۱۹۹۸

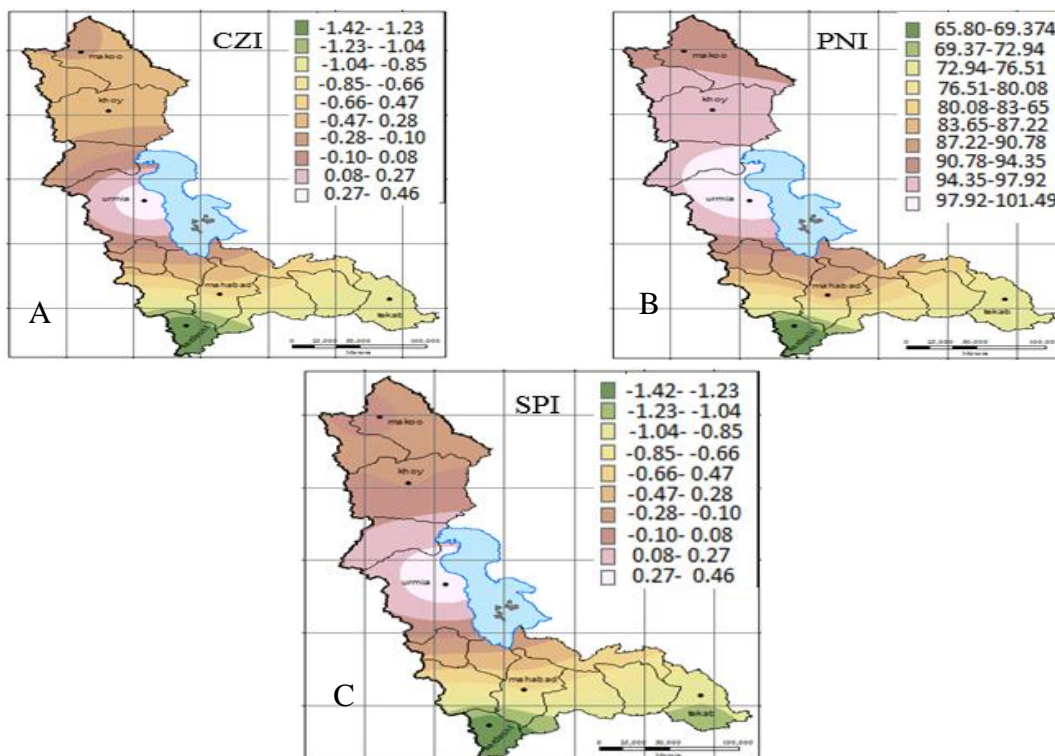


Fig. 8- Drought Indices monitoring (a) CZI, (b) PNI and (c) SPI in 2008

شکل ۸- پهنه‌بندی خشکسالی شاخص‌های CZI : (a) ، PNI : (b) و SPI در سال ۲۰۰۸

گرفتند. نتایج نشان‌دهنده تطابق نسبتا بالای شاخص‌های CZI و SPI می‌باشد. این در حالی است که شاخص PNI نتایج متفاوتی را در پهنه‌بندی مکانی از خود نشان می‌دهد. این امر به دلیل پیروی داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه از تابع گاما و عدم پیروی از تابع نرمال و همچنین وابستگی شدید این شاخص به مشخصات مکانی می‌باشد. به طوری که در بررسی مساحتی از استان که شدیدترین خشکسالی را به خود گرفته، شاخص PNI با ۱۲۲۶۸/۴۵ کیلومتر مربع از سطح استان بیشترین مقدار خشکسالی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

شاخص‌های خشکسالی در واقع بیان‌کننده حدود طبیعی خشکسالی‌های رخ داده هستند تا امکان ارزیابی آن را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ممکن سازند. بدین منظور در این تحقیق، اطلاعات بارش ایستگاه‌های مختلف در استان آذربایجان غربی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که بارش‌ها در این استان بسیار نامنظم و با تغییرپذیری بالا همراه است و این امر نشان‌دهنده احتمال وقوع خشکسالی در منطقه می‌باشد. لذا به منظور بررسی این پدیده شاخص‌های PNI، CZI و SPI مورد بررسی و مقایسه قرار

References

- 1- Aligolinia, T., Rasouli Majd, N. and Rezaei, H. 2016. Evaluation of different GIS-based statistical methods in forecasting and zoning of salt invasion in West Azarbaijan Province aquifers, *Environment and Water Engineering*, 2 (2): 176-162. (In Persian).
- 2- Azizi, G. and Roshani, A. 2005. Evaluation of drought and wet years and there prediction using Halt Winters in the province, *Geographic Researches Quarterly Journal*, 20 (4): 63-48. (In Persian).
- 3- Cancelliere, A., Mauro, G., Bonaccorso, B. and Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the Standarized Precipitation Index. *Journal of Water Resources Management*, 21:801- 819.
- 4- Choi, M., Jacobs, J. M., Anderson, A. C., and Bosch, D. D. 2013. Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476: 265–273.
- 5- Dalezios, N. R., Loukas, A., Vasilades, L., and Liakopoulos, E. 2000. Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. *Hydrological Sciences Journal*, 45(5): 751-769.
- 6- Gorbani, Kh., Khalili, A., Alavi Panah, K., and Nakheeizadeh. 2010. Adaptive Study of Drought Meteorological Indexes of SIAP and SPI by Data Mining Method in Kermanshah Province. *Journal of Water and Soil*, 24 (3) : 426 - 417. (In Persian).
- 7- Guttmann, B. N. 1999. comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 133-121.
- 8- Hong, W., Hayes, M. J., Welss, A., and Hu, Q. 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745-758.
- 9- Ju, X., Yang, X. W., Chen, L. J., Wang, Y. M. 1997. Research on determination of indices and division of regional flood/drought grades in China (in Chinese). *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 8(1): 26-33.
- 10- Leshni Zand, M and Telluri, AS. 2004. Study of climate drought and its prediction in six areas in the west and northwest of Iran, *Geographic Researches Quarterly Journal*, 72: 86-75. (In Persian).
- 11- McKee, T.B., Doesken, N.J and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 176-184.

- 12- McKee, B. Nolan, T., Doeskin, J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. *9th. Conference on Applied Climatology*, 15-20 January, Boston Massachusetts, Pp: 233-236.
- 13- Mirabbasi, R., Anagnostou, E. N., Fakheri-Fard, A., Dinpashoh, Y., Eslamian, S. 2013. Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology*, 492: 35-48.
- 14- Mishra A. K., Desai V. R., and Singh V. P. 2005. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrology Engineering, ASCE* 12(6): 626-638.
- 15- Mishra A.K., V. P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.
- 16- Moradi, h. R Rajabi, M. and Farajzadeh, M. 2007. Trend analysis and spatial characteristics of drought severity in Fars province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 14: 109-97. (In Persian).
- 17- Piry, H., Rahdari, M. and Maleki, S. 2013. Study and comparison of four meteorological drought indexes efficiency in drought management in Sistan and Baluchestan province, *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 3 (11): 114-96. (In Persian).
- 18- Sadr Afshari, S. And Faizollahpour, M. 2011. Estimation of Urmia drought by using SPI, DI, ZSI and comparing these methods to achieve the best drought index. *Second National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iran's Desert Lagoons, Islamic Azad University of Arak*, p. 117. (In Persian).
- 19- Samiey, M. and Telluri, A. 2008. Investigation of the severity of hydrological droughts in Tehran watersheds. *Journal of Research and Development*, 79: 29-21. (In Persian).
- 20- Simani, N. 2011. Analysis the occurrence of drought and trapping phenomena using several rainfall-based profiles (case study; Kerman province); *Second National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iran's Desert lagoons, Islamic Azad University Arak* P. 130. (In Persian).
- 21- Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10):3-11.
- 22- Willeke, G., Hosking, R. M., Wallis, J. R, and Guttman, N. B. 1994. The national drought atlas. *Institute for Water Resources Report 94-NDs-4, U.S Army Corps of Engineers*. 1-18.
- 23- Xangsayasane, P., Jongdee, B., Pantuwan, G., Fukai, S., Mitchell, J. H., Inthapanya, P., and Jothiyangkoon, D. 2014. Genotypic performance under intermittent and terminal drought screening in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*, 156: 281-292.