

ارزیابی شاخص های هواشناسی و روش های درون یابی به منظور پایش و پهنه بندی خشکسالی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قم-کهک)

مهدی زارعی^{*}، مجتبی سلیمانی ساردو^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

چکیده

خشکسالی پدیده‌ای آرام و خزننده محسوب می‌شود که با تأثیر در بخش‌های کشاورزی، منابع آب و پوشش گیاهی در نواحی مختلف، به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌تواند گسترش مناطق بیابانی را تسریع کند. یکی از روش‌های بررسی وضعیت خشکسالی در هر منطقه، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. در تحقیق حاضر به منظور بررسی و پایش خشکسالی در منطقه مطالعاتی قم-کهک طی دوره آماری ۲۹ ساله (۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶)، شاخص‌های خشکسالی مانند شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، درصد نرمال (PNI)، شاخص دهک (DI)، شاخص Z چینی (CZI) و شاخص نمره Z (ZSI) بررسی شدند. سپس با هدف پهنه‌بندی خشکسالی، روش‌های مختلف درون‌یابی در تمامی سال‌های دوره آماری مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS ارزیابی گردیدند. نتایج شاخص‌های مختلف نشان داد که حالت نزدیک به نرمال در همه ایستگاه‌ها، طی دوره آماری مورد مطالعه، دارای بیشترین فراوانی است. بر اساس نتایج شاخص‌های SPI و CZI، بیشترین (۷ سال) و کمترین (۳ سال) تعداد خشکسالی به ترتیب در ایستگاه‌های کهک و جنت‌آباد اتفاق افتاده است؛ در حالی که بر اساس شاخص PN بیشترین و کمترین تعداد خشکسالی به ترتیب در ایستگاه‌های قم (۹ سال) و جنت‌آباد (۳ سال) مشاهده شد. همچنین نتایج شاخص PN حاکی از عدم وجود دوره ترسالی طی دوره آماری مورد مطالعه بوده است. بر اساس شاخص ZSI خشکسالی بسیار شدید در منطقه رخ نداده و نتایج ZSI در خصوص فراوانی طبقه ترسالی بسیار شدید، مشابه نتایج شاخص SPI است. در بین شاخص‌های مورد مطالعه، شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی در طول دوره آماری رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌ها نشان داده، لذا به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای پهنه‌بندی خشکسالی انتخاب شد. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در سال‌های آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ بیشتر منطقه در وضعیت خشکسالی بسیار شدید تا خفیف قرار داشته است. در سال‌های آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ نیز در بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه، خشکسالی خفیف تا شدید رخ داده و تنها در قسمت شرقی منطقه، ترسالی خفیف مشاهده شد؛ در حالی که طی سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱، ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ منطقه مورد مطالعه، ترسالی متوسط تا شدید را تجربه کرده است. در سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ نیمه شرقی منطقه، ترسالی متوسط و نیمه غربی منطقه، ترسالی خفیف را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، درون‌یابی، پهنه‌بندی، شاخص‌های هواشناسی، خشک و نیمه‌خشک، قم-کهک.

۱. استادیار، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری؛ m.zarei@hsu.ac.ir

۲. استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت

مقدمه

پذیرفته شده است (وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۵؛ پوتوپ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲).

مک کی^۷ و همکاران (۱۹۹۳) طی تحقیقی در کلرادو با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI^۸) نشان دادند که احتمال وقوع خشکسالی خفیف ۲۴٪، خشکسالی متوسط ۹/۲٪، خشکسالی شدید ۴/۴٪ و خشکسالی فوق العاده شدید ۲/۳٪ است. هایز^۹ و همکاران (۱۹۹۸) طی مطالعه‌ای دیگر در ایالت کلرادو نشان دادند که شاخص SPI قادر به تشخیص زمان شروع خشکسالی و پیشرفت آن بوده و این نمایه را به عنوان شاخصی مناسب برای هشدار خشکسالی معرفی کردند. نصرتی و آذرینوند (۲۰۰۲) در حوضه آبخیز اترک در استان گلستان، به آنالیز منطقه‌ای ریسک خشکسالی با استفاده از شاخص درصد نرمال پرداخته و مشخص کردند که خشکسالی از جنوب شرقی حوضه آغاز می‌شود و سپس کل حوضه را فرا می‌گیرد. جهانبخش و قویدل رحیمی (۲۰۰۳) ویژگی‌های ترسالی و خشکسالی ایستگاه‌های آذربایجان شرقی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و روش تحلیل واریانس بررسی کردند. همچنین همبستگی بین فراوانی وقوع و استمرار دوره‌های مرطوب و خشک را با استفاده از روش تحلیل رگرسیون بررسی نمودند. رضیئی و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و زنجیره مارکوف در استان سیستان و بلوچستان نشان دادند که در نواحی مرکزی استان، احتمال ماندگاری و طولانی شدن دوره‌های خشکسالی نسبت به سایر نواحی استان بیشتر است. مساعدی و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای دیگر در استان گلستان، خشکسالی در مناطق پرباران و کم‌باران استان را با استفاده از شاخص SPI با هم مقایسه کردند و به این نتیجه دست یافتند که فراوانی سالانه حالت بسیار مرطوب و بسیار خشک در ایستگاه‌های کم‌باران، بیشتر از ایستگاه‌های پرباران است. از طرفی فراوانی حالات مرطوب و خشک در ایستگاه‌های کم‌باران نسبت به ایستگاه‌های پرباران کمتر

خشکسالی نوعی خطر طبیعی ناشی از کاهش بارندگی نسبت به حالت میانگین یا نرمال بارش است که اگر یک فصل یا بیشتر به طول بینجامد، منجر به کاهش منابع آب و عدم کفایت آب لازم در برآورده کردن نیازهای آبی فعالیت‌های انسانی و زیست‌محیطی می‌شود (ویلهایت و پولوارتی^۱، ۲۰۱۷). این پدیده ماهیتی پنهان دارد و به‌طور گسترده به‌عنوان پدیده‌ای خزنده و آهسته شناخته می‌شود (تنهیل^۲، ۱۹۴۷؛ کوگان^۳، ۲۰۰۰) که در اثر تغییرپذیری طبیعی اقلیم به وقوع می‌پیوندد. بر اساس نظر بریانت^۴ (۱۹۹۱) در میان خطرهای طبیعی، خشکسالی رتبه نخست را دارد؛ به‌طوری که در صورت طولانی شدن مدت‌زمان وقوع خشکسالی، خسارات ناشی از آن در بخش‌های مختلف کشاورزی، اجتماعی اقتصادی، زیست‌محیطی و... به‌تدریج نمایان می‌شود؛ این خسارات در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل و زمین‌لرزه، بسیار بیشتر و فراگیرتر است (میرموسوی و کریمی، ۲۰۱۳). خشکسالی به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های اقلیمی، در تمامی اقلیم‌ها و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما آثار و فراوانی آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر به چشم می‌خورد (چناری، ۲۰۰۵). لذا بررسی و پایش خشکسالی در کشور ایران که جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود و با افزایش جمعیت و تغییرات اقلیمی دچار بحران آب شده است، اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌منظور تحلیل کمی خشکسالی، وجود یک شاخص معین برای تشخیص دقیق دوره‌های تر و خشک، اهمیت بسیاری دارد. در این زمینه، شاخص‌های متعددی معرفی شده است که می‌توان به شاخص‌هایی نظیر دهک، بارش استاندارد شده، درصد نرمال، نمره Z، شاخص شدت خشکی پالمر و شاخص خشکسالی مؤثر اشاره کرد؛ شاخص بارش استاندارد از طرف سازمان اقلیم جهانی به‌عنوان شاخص خشکسالی مرجع برای توصیف خشکسالی

5. Wang

6. Potop

7. McKee

8. Standardized Precipitation Index

9. Hayes

1. Wilhite and Pulwarty

2. Tannehill

3. Kogan

4. Bryant

خشکسالی شدید به‌ندرت در منطقه رخ داده است. ژو^۵ و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی از دو شاخص خشکسالی هواشناسی شامل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص تبخیر و تعرق و بارندگی استاندارد شده (SPEI) به‌منظور تشخیص خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی مختلف و مناطق فاقد اندازه‌گیری‌های هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج حاکی از دقت بیشتر پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت یک‌ماهه نسبت به پیش‌بینی‌های بلندمدت بود.

سلگی^۶ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به‌منظور بررسی وضعیت خشکسالی شهرستان نهاوند، از داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه ایستگاه‌های وارینه و وسج در دوره آماری مشترک ۴۱ساله استفاده کردند و وضعیت خشکسالی را با استفاده از شاخص‌های متعددی بررسی نمودند. بر اساس نتایج شاخص‌های SPI، PNI، CZI^۷، DI^۸ و ZSI^۹ بیشترین وقوع خشکسالی شدید در هر دو ایستگاه، طی سال آبی ۱۳۴۹-۱۳۵۰ رخ داده است. بر مبنای شاخص SLAP خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه وارینه، ۵ مورد و در ایستگاه وسج، ۷ مورد رؤیت شد. در مجموع بر اساس شاخص‌های مختلف به‌کاررفته، سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ فراگیرترین سال‌های خشکسالی شهرستان نهاوند را دارا بوده است. در مطالعه‌ای دیگر نیز ادیب و گرجی‌زاده (۲۰۱۶) از شاخص‌های متعددی برای ارزیابی خشکسالی حوضه آبریز سد دز طی دوره آماری مشترک ۱۷ساله استفاده کردند. نتایج نشان داد بیشترین وقوع خشکسالی شدید بر اساس شاخص‌های PNI، MCZI، ZSI و DI یک مورد و مربوط به ایستگاه تله‌زنگ (به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۷، ۱۳۷۴-۱۳۷۵، ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷) و بر اساس شاخص SPI یک مورد در ایستگاه تنگ پنج (۱۳۷۸-۱۳۷۹) است. بر اساس شاخص CZI نیز هر دو ایستگاه بدون مشکل خشکسالی مشاهده شدند. همچنین بر اساس شاخص‌های مورد استفاده، فراگیرترین خشکسالی مربوط به سال‌های

است. مرید و همکاران (۲۰۰۷) طی تحقیقی با عنوان «پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سری‌های زمانی شاخص‌های خشکسالی در استان تهران» از دو شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد بهتر شاخص خشکسالی مؤثر نسبت به شاخص بارش استاندارد شده بود. لوکاس^۱ و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت خشکسالی منطقه تسلاوی یونان، از داده‌های ۵۰ ایستگاه هواشناسی طی دوره آماری ۳۰ساله بهره گرفتند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد در تمامی بخش‌های منطقه که از تنوع اقلیمی نیز برخوردارند، در بازه‌های زمانی مختلف و بر اساس شاخص بارش استاندارد شده، افزایش شدت خشکسالی اتفاق افتاده است. برنا^۲ و همکاران (۲۰۱۰) طی مطالعه‌ای به‌منظور بررسی خشکسالی‌های استان خوزستان با تأکید بر ایستگاه‌های آبادان و دزفول، از شاخص‌های استاندارد بارندگی سالانه (SLAP)، درصد نرمال (PNI^۳) و شاخص ناهنجاری بارش (RAI) استفاده کردند. نتایج نشان داد بر اساس دو شاخص استاندارد بارندگی سالانه و درصد نرمال فراوانی، خشکسالی‌های بسیار شدید در ایستگاه دزفول بیشتر از ایستگاه آبادان بوده؛ درحالی‌که بر اساس شاخص درصد نرمال فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید ایستگاه آبادان بیشتر از دزفول بوده است. لی^۴ و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی، سیر تکاملی خشکسالی در حوضه رود Huaihe را با استفاده از داده‌های ۳۵ساله بارش و شاخص بارش استاندارد شده، آنالیز و بررسی کردند. نتایج نشان داد که در اوایل قرن ۲۱، فراوانی خشکسالی و شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب کاهش و افزایش یافته است، اما تعداد مناطقی که با خشکسالی روبه‌رو شده‌اند، کاهش یافته است. همچنین نشان دادند که خشکسالی بیشتر از نوع خفیف و متوسط بوده و

5. Zhu
6. Solgi
7. China Z Index
8. Deciles Index
9. Z-Sector Index

1. Loukas
2. Borna
3. Percent of Normal Index
4. Li

خشکسالی و پهنه‌بندی خشکسالی استفاده شد (جدول ۱).

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه				
Table (1): characteristics of studied stations				
نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)
قم	سینوپتیک	۵۰-۵۱-۱۷	۳۴-۴۶-۲۸	۸۷۷/۸
کهنک	سینوپتیک	۵۰-۵۲-۹	۳۴-۲۴-۱۳	۱۴۰۲
جنت‌آباد	باران‌سنجی	۵۱-۴-۶	۳۴-۳۰-۴۸	۸۸۴
کوه‌سفید	خودکار	۵۱-۱۰-۵۷	۳۴-۴۶-۵۶	۸۲۱

با توجه به اینکه دوره آماری مشترک در ایستگاه‌های مذکور ۲۹ سال بود، شاخص‌های خشکسالی و مقدار بارندگی منطقه طی دوره آماری ۲۹ ساله از سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶ محاسبه شد. به منظور تعیین و طبقه‌بندی وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، از نمایه‌های بارش استاندارد شده (SPI)، درصد نرمال (PN)، دهک (DI)، شاخص Z چینی (CZI) و شاخص نمره Z استفاده شد. پس از بررسی نرمال بودن داده‌های شاخص SPI به وسیله آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS این داده‌ها به منظور پهنه‌بندی خشکسالی استفاده شد. به منظور تهیه نقشه بارش و همچنین پایش و پهنه‌بندی خشکسالی محدوده مطالعاتی، از جعبه ابزار Geostatistical Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. روش‌های کریجینگ ساده (SK)، کریجینگ معمولی (OK)، معکوس فاصله وزنی با توان ۲ (IDW-Power2) و روش توابع پایه شعاعی (RBF) نیز ارزیابی شدند. در نهایت، مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خشکسالی بر اساس کمترین مقدار RMSE در میان روش‌های مذکور در هر سال انتخاب شد (رابطه ۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(X_o - X_s)^2}{N}} \quad (1)$$

در این رابطه، X_o و X_s به ترتیب داده‌های واقعی و داده‌های برازش شده و N تعداد داده‌ها هستند.

۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ است. ارزیابی و پایش پدیده‌های خشکسالی و ترسالی با هدف برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مقابله با مشکلات ناشی از کمبود آب در مناطق مختلف، به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک، حائز اهمیت فراوان است. با بررسی منابع در زمینه خشکسالی مشخص شد که مطالعه‌ای در خصوص ارزیابی و پایش خشکسالی محدوده مطالعاتی قم-کهنک صورت نگرفته است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی شاخص‌های مختلف مبتنی بر بارش به منظور شناخت و طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی محدوده مطالعاتی قم-کهنک و ارزیابی روش‌های درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی خشکسالی صورت گرفته است.

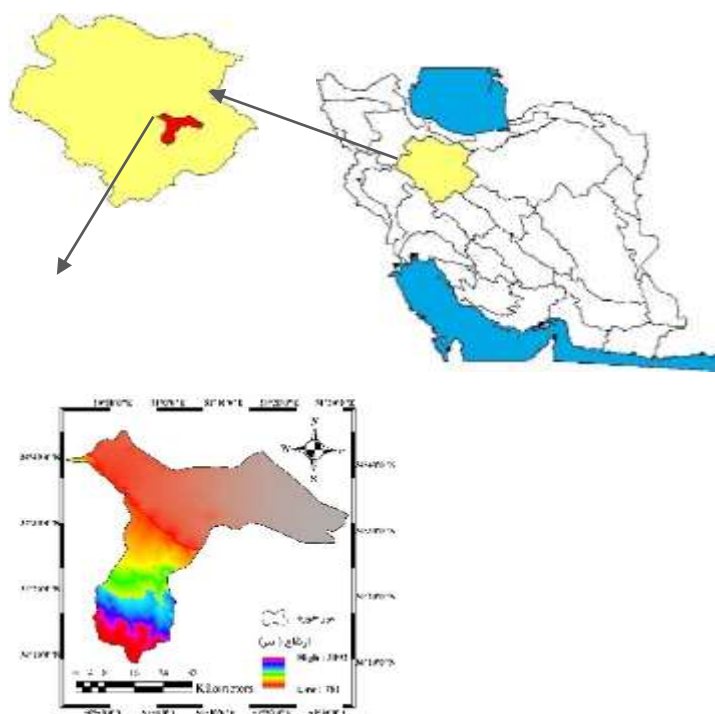
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی قم-کهنک یکی از ۴۱ محدوده مطالعاتی حوزه آبریز دریاچه نمک است که در محدوده عرض‌های جغرافیایی شمالی بین $34^{\circ} 09' 05''$ و $34^{\circ} 44' 01''$ و طول جغرافیایی شرقی بین $51^{\circ} 32' 37''$ و $50^{\circ} 42' 32''$ واقع شده است. وسعت محدوده مطالعاتی حدود ۱۸۱۴ کیلومتر مربع، و حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۷۸۱ و ۳۱۹۲ متر از سطح دریاست. محدوده مطالعاتی قم-کهنک در استان قم واقع شده و بر اساس ضریب اقلیمی دومارتن، جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود.

روش پژوهش

در پژوهش حاضر به منظور محاسبه شاخص‌های خشکسالی در محدوده مطالعاتی قم-کهنک، از ایستگاه‌های سینوپتیک زیر نظر سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های باران‌سنجی زیر نظر وزارت نیرو در استان قم استفاده شد. پس از بررسی ایستگاه‌های مختلف و حذف ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه‌مدت، در نهایت از ایستگاه‌های قم، کهنک، کوه‌سفید و جنت‌آباد واقع در داخل و اطراف محدوده مطالعاتی به منظور تهیه نقشه بارش منطقه و همچنین محاسبه شاخص‌های



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و حوزه دریاچه نمک به‌همراه لایه ارتفاع از سطح دریا

Figure (1): Location of study area in Iran and Salt Lake Basin with the DEM layer

جدول (۲): طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد

Table (2): drought Classification based on SPI Index

مقدار SPI	طبقات خشکسالی
$SPI \leq 2$	ترسالی بسیار شدید
$1/5 \leq SPI \leq 1/99$	ترسالی شدید
$1/49 \leq SPI \leq 1$	ترسالی متوسط
$0/99 \leq SPI \leq 0/00$	ترسالی خفیف (نرمال)
$0/00 \leq SPI \leq -0/99$	خشکسالی خفیف (نرمال)
$-1 \leq SPI \leq -1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/5 \leq SPI \leq -1/99$	خشکسالی شدید
$SPI \leq -2/00$	خشکسالی بسیار شدید

مقادیر مثبت و منفی در این روش به ترتیب نشان‌دهنده بارندگی بیشتر و کمتر نسبت به حالت میانگین بارش هستند. بر اساس روش شاخص استاندارد بارش زمانی که میزان SPI به‌طور مستمر منفی و مقدار آن به -1 یا کمتر برسد خشکسالی اتفاق می‌افتد، و زمانی که این مقدار مثبت شود خشکسالی به پایان می‌رسد. شروع و خاتمه ارقام منفی شاخص بارش استاندارد شده نشان‌دهنده مدت دوره خشکسالی بوده و مقادیر تجمعی این شاخص بزرگی و شدت خشکسالی را تعیین می‌کند (مقدسی و همکاران، ۲۰۰۵؛ بردی^۲ و همکاران، ۲۰۰۱).

شاخص بارش استاندارد (SPI)

مککی و همکاران به‌منظور کمی کردن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی چندگانه، شاخص بارش استاندارد شده را ابداع کردند (مککی و همکاران، ۱۹۹۳). برای محاسبه این شاخص ابتدا داده‌های بلندمدت بارندگی با توزیع گاما برازش داده شد، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از روابط احتمالاتی به متغیر تصادفی توزیع نرمال (با میانگین صفر و انحراف معیار ۱) تبدیل شد (مککی و همکاران، ۱۹۹۳؛ سونمز^۱ و همکاران، ۲۰۰۵؛ مؤذن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص مذکور بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad (2)$$

در رابطه فوق، SPI شاخص استاندارد بارش، X_i معادل بارش سال i به میلی‌متر، \bar{X} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار است. طبقه‌بندی خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص مذکور به‌صورت جدول (۲) ارائه می‌شود. در نهایت با توجه به شاخص SPI محاسبه‌شده برای هر سری جداگانه درباره وضعیت خشکسالی اظهار نظر می‌شود.

شاخص درصد نرمال (PNI)

توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند. شاخص Z چینی بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi_{ij} + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad (5)$$

در این رابطه، Z_{ij} شاخص CZI است. i مقیاس زمانی مورد نظر است که می‌تواند ۱، ۲، ... تا ۴۴ سال باشد و j سال مورد نظر است.

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=i}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^3}{n\sigma_i^3} \quad (6)$$

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

$$\varphi_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_i} \quad (7)$$

در این رابطه، φ_{ij} متغیر استاندارد شده، X_{ij} بارندگی سال j برای دوره i ، \bar{X}_i و σ_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی هستند. به منظور طبقه‌بندی این شاخص، از همان طبقه‌بندی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بهره گرفته می‌شود. برای محاسبه CZI گاهی به جای میانگین از میانه نیز استفاده شده است که آن را شاخص CZI اصلاح شده یا MCZI می‌نامند. طبقات مختلف شاخص‌های مذکور در جدول (۳) ارائه شده است.

شاخص نمره Z (ZSI)

اساس این نمایه انحراف معیار از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است و از طریق رابطه (۸) برآورد می‌شود:

$$ZSI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (8)$$

در این رابطه، P_i بارندگی سال i و SD انحراف معیار بارش در طول دوره آماری و \bar{P} میانگین بارندگی بلندمدت است. طبقات مختلف شاخص مذکور در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول (۳): طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد مطالعه

Table (3): Different categories of studied drought indices

شاخص	شاخص	شاخص	شاخص	طبقات شدت خشکسالی
ZSI	DI	CZI	PNI	
+۱ تا -۱	۹-۱۰	+۱ تا -۱	بیشتر از ۸۰٪	نرمال (بهنجار)
*	۷-۸	*	۷۰ تا ۸۰٪	ضعیف
-۱ تا -۱/۵	۵-۶	-۱ تا -۱/۵	۷۰ تا ۷۰٪	متوسط
-۱/۵ تا -۲	۳-۴	-۱/۵ تا -۲	۴۰ تا ۵۵٪	شدید
کمتر از -۲	۱-۲	کمتر از -۲	کمتر از ۴۰٪	بسیار شدید

نمایه درصد نرمال از تقسیم بارش واقعی به بارش نرمال محاسبه شده و معمولاً در مقیاس‌های زمانی ماهانه یا سالانه به کار گرفته می‌شود. این شاخص یکی از ساده‌ترین روش‌های پایش خشکسالی و تعیین وضعیت منطقه از نظر بارش است. این امر سبب شده تا محققان زیادی به خصوص پژوهشگران استرالیایی از این شاخص استفاده کنند. شاخص درصد نرمال با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$PN = \frac{P_i}{\bar{P}} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه، PN درصد نرمال بارندگی، P_i بارندگی در سال i به میلی‌متر و \bar{P} میانگین بارندگی بلندمدت ایستگاه است. این شاخص همواره مثبت است و از سمت پایین ختم به صفر و از سمت بالا از نظر تئوری محدودیتی ندارد (ظهیری و همکاران، ۲۰۱۵). کلاس‌های مختلف وضعیت رطوبتی در هریک از دوره‌های مطالعاتی با توجه به مقدار شاخص و بر اساس جدول (۳) تعیین می‌شود.

شاخص دهک‌ها (DI)

روش دیگر پایش خشکسالی مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه در دهک‌هاست. این شاخص برای اولین بار توسط گیس و ماهر^۱ (۱۹۶۷) به منظور اجتناب از بعضی نقاط ضعف موجود در روش درصد نرمال مورد استفاده قرار گرفت (ادیب و گرجی‌زاده، ۲۰۱۶). طبقات مختلف شاخص مذکور در جدول (۳) نشان داده شده است. اصول کلی مورد نظر در محاسبه دهک‌ها به صورت زیر است:

۱. مرتب کردن داده‌های بارش ماهانه به صورت صعودی.

۲. تعیین دامنه دهکی با استفاده از رابطه زیر:

$$m_i = i(n+1)/10 \quad (4)$$

۳. برآورد مقادیر بارش مربوط به هر دهک (حد انتهایی).

۴. تعیین سال‌های آماری قرارگرفته در دهک‌های مختلف.

شاخص Z چینی (CZI)

شاخص‌های CZI و MCZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون-هیلفرتی برآورد می‌شود. با فرض بر اینکه داده‌ها از

نتایج و بحث

بارندگی ایستگاه‌های کوه‌سفید و جنت‌آباد به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان ضریب تغییرات است. همچنین در ایستگاه‌های کهک و کوه‌سفید به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار میانگین طولانی‌مدت بارش سالانه مشاهده می‌شود.

بر اساس نتایج تحلیل آماری داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده مطالعاتی قم-کهک (جدول ۴) مقادیر حداکثر و حداقل بارش سالانه طی دوره آماری ۲۹ ساله به‌ترتیب به ایستگاه‌های کهک و کوه‌سفید تعلق داشته و

جدول (۴): تحلیل‌های آماری بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۹ ساله

Table (4): Statistical analysis of annual precipitation of studied stations during 29 years period

ایستگاه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	ضریب تغییرات
قم	۷۲	۲۰۶/۲	۱۳۸/۹	۴۱/۱	-۰/۲۱	۲۹/۶
کهک	۷۸	۲۶۵/۴	۱۵۹	۴۵/۸	۰/۶۱	۲۸/۸
جنت‌آباد	۶۱/۸	۲۰۲/۹	۱۲۴/۲	۳۰	۰/۱۸	۲۴/۲
کوه‌سفید	۶۱/۵	۱۷۸/۹	۱۲۱/۲	۳۵/۹	-۰/۱۱	۲۹/۶

ارزیابی نمایه‌های خشکسالی

(جدول ۵). از طرفی با توجه به نتایج حالت ترسالی بسیار شدید نیز تنها در ایستگاه‌های کهک و جنت‌آباد به‌ترتیب ۲ مورد (سال‌های آبی ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸) و ۱ مورد (سال آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱) قابل مشاهده است. ایستگاه کهک بیشترین تعداد خشکسالی (۷ سال) و ایستگاه جنت‌آباد کمترین تعداد خشکسالی (۳ سال) را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول دوره آماری دارند.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد حاکی از وجود یک مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه کهک مربوط به سال آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۲ مورد خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه جنت‌آباد مربوط به سال‌های آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ بوده و واقعه خشکسالی بسیار شدید طی دوره آماری مورد مطالعه در سایر ایستگاه‌ها مشاهده نشده است

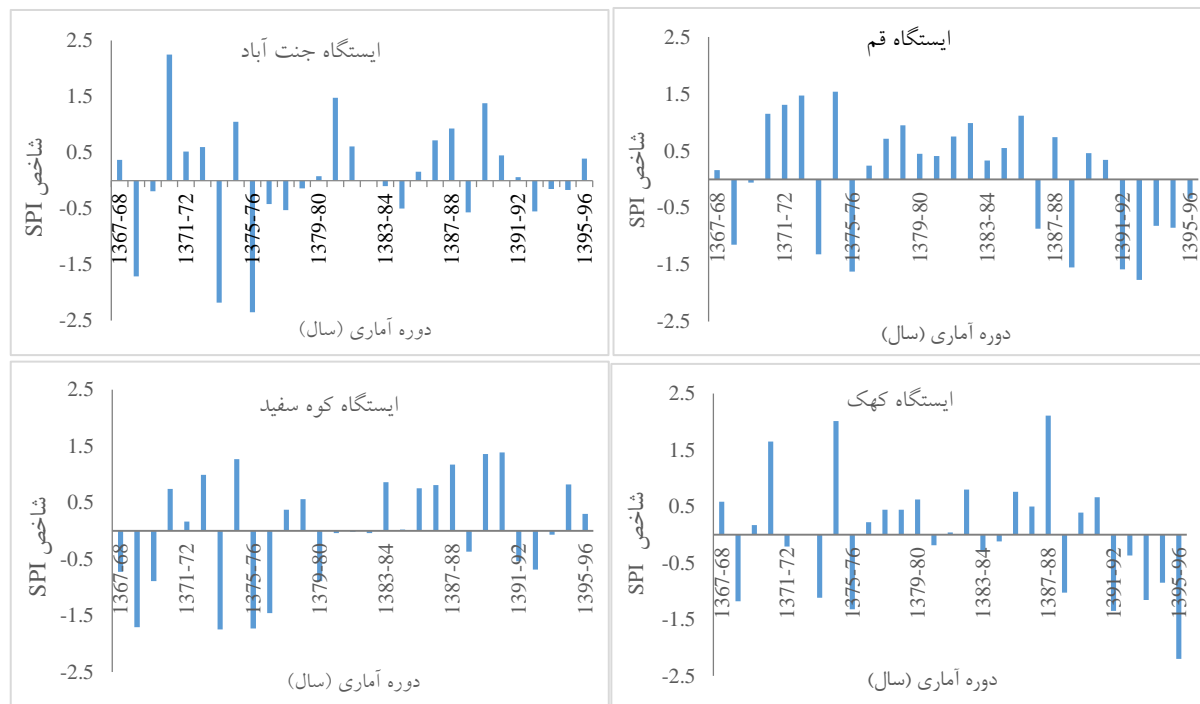
جدول (۵): فراوانی طبقات خشکسالی بر اساس شاخص‌های SPI, PNI, CZI و ZSI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table (5): drought classes' frequency based on SPI, PNI, CZI and ZSI in studied stations

ایستگاه	شاخص	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	نزدیک به نرمال	ترسالی متوسط	ترسالی شدید	ترسالی بسیار شدید
قم	SPI		۲	۴		۱۸	۴	۱	
	PNI	۳	۵	۱		۲۰			
	CZI		۵	۱		۱۷	۲		
	ZSI		۵	۱		۱۷	۲		
کهک	SPI		۶		۱	۱۹		۱	۲
	PNI	۳	۴	۱		۲۱			
	CZI		۶		۱	۱۹		۲	۱
	ZSI		۵	۱		۲۰		۱	۲
کوه‌سفید	SPI		۱	۳		۲۱	۴		
	PNI	۴	۱	۳		۲۱			
	CZI		۱	۳		۲۱	۴		
	ZSI		۲	۲		۲۱	۴		
جنت‌آباد	SPI			۱	۲	۲۲	۳		۱
	PNI		۱	۲		۲۶			
	CZI			۲	۱	۲۲	۲	۱	۱
	ZSI			۳		۲۲	۲	۱	۱

خشکسالی متوسط تا بسیار شدید رخ داده و همچنین در طی دوره آماری حالت نزدیک به نرمال دارای بیشترین فراوانی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است (شکل ۲).

بر اساس نتایج روند تغییرات شاخص SPI در همه ایستگاه‌های مطالعاتی در سال آبی ۱۳۷۴-۱۳۷۵، حالت ترسالی متوسط تا بسیار شدید و در سال آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۶ حالت



شکل (۲): روند تغییرات شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶
Figure (2): The trend of SPI index fluctuations in studied stations between the years of 1988-1989 to 2016-2017

خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های کhek و جنت‌آباد به ترتیب در سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ رخ داده است. حالت ترسالی بسیار شدید نیز تنها در یک مورد برای هر یک از ایستگاه‌های کhek و جنت‌آباد به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۸۸ و ۱۳۷۰-۱۳۷۱ به وقوع پیوسته است. بر اساس شاخص CZI ایستگاه‌های کhek و جنت‌آباد به ترتیب بیشترین (۷ سال) و کمترین (۳ سال) رخداد خشکسالی و ایستگاه‌های قم و کhek به ترتیب بیشترین (۶ سال) و کمترین (۳ سال) تعداد رخداد ترسالی را به خود اختصاص داده‌اند. شکل (۳) روند تغییرات شاخص CZI در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. بر این اساس در حالت خشکسالی بسیار شدید در سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ به ترتیب با مقادیر CZI $2/12$ - و $2/11$ -، شدت وقوع خشکسالی برای دو ایستگاه کhek و جنت‌آباد بسیار نزدیک به هم است.

نتایج حاصل از کاربرد شاخص ZSI نشان می‌دهد که در این دوره آماری سال‌های نزدیک به نرمال در همه ایستگاه‌های

با توجه به شکل، شدیدترین واقعه خشکسالی در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه مربوط به ایستگاه جنت‌آباد و در سال آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۶ با مقدار SPI $2/35$ - رخ داده است. با توجه به نتایج شاخص PNI بیشترین فراوانی در همه ایستگاه‌های مطالعاتی مربوط به حالت نرمال بوده و طی دوره آماری بیشترین تعداد خشکسالی شدید در ایستگاه کوه‌سفید و در سال‌های آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ رخ داده است. همچنین ایستگاه‌های قم و جنت‌آباد به ترتیب بیشترین (۹ سال) و کمترین (۳ سال) تعداد وقوع خشکسالی را در طول دوره آماری دارند (جدول ۵). همچنین نتایج شاخص PNI طی دوره آماری ۲۹ ساله حاکی از نبودن دوره‌های ترسالی و دوره‌های خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های مطالعاتی است.

فراوانی وقایع خشکسالی بر اساس شاخص CZI در جدول (۵)، نشان می‌دهد در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی حالت نزدیک به نرمال بیشترین فراوانی را در طول دوره آماری به خود اختصاص داده است. بر اساس شاخص CZI تنها یک مورد

ZSI در طول دوره آماری مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، ایستگاه جنت‌آباد با مقدار شاخص ZSI $-1/99$ در سال آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۶ شدیدترین واقعه خشکسالی در میان ایستگاه‌های مطالعاتی را دارد. بر اساس نتایج شاخص DI که در جدول (۶) ارائه شده، در ایستگاه‌های قم و کوهسفيد ۴ مورد و در ایستگاه‌های کهک و جنت‌آباد ۳ مورد خشکسالی خیلی زیاد زیر نرمال وجود داشته است. خشکسالی مذکور در ایستگاه قم در سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۶، ۱۳۸۸-۱۳۸۹، ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۲-۱۳۹۳، در ایستگاه کوهسفيد در سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۴، ۱۳۷۵-۱۳۷۶ و ۱۳۷۶-۱۳۷۷، در ایستگاه کهک در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و در ایستگاه جنت‌آباد در سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ اتفاق افتاده است.

مطالعاتی دارای بیشترین فراوانی بوده و حالت خشکسالی بسیار شدید در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها مشاهده نشده است. همچنین با توجه به نتایج جدول (۵) در ایستگاه جنت‌آباد ۳ مورد خشکسالی شدید در سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶، در ایستگاه کوهسفيد ۲ مورد خشکسالی شدید در سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶، در ایستگاه قم یک مورد خشکسالی شدید در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و همچنین یک مورد خشکسالی شدید در ایستگاه کهک در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶ رخ داده است. با توجه به شاخص ZSI فراوانی وقوع ترسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های کهک و جنت‌آباد به‌ترتیب ۲ مورد (سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸) و ۱ مورد (سال ۱۳۷۰-۱۳۷۱) است. این بخش از نتایج شاخص ZSI با نتیجه حاصل از شاخص SPI مطابقت دارد. روند تغییرات شاخص

جدول (۶): فراوانی طبقات خشکسالی بر اساس شاخص DI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

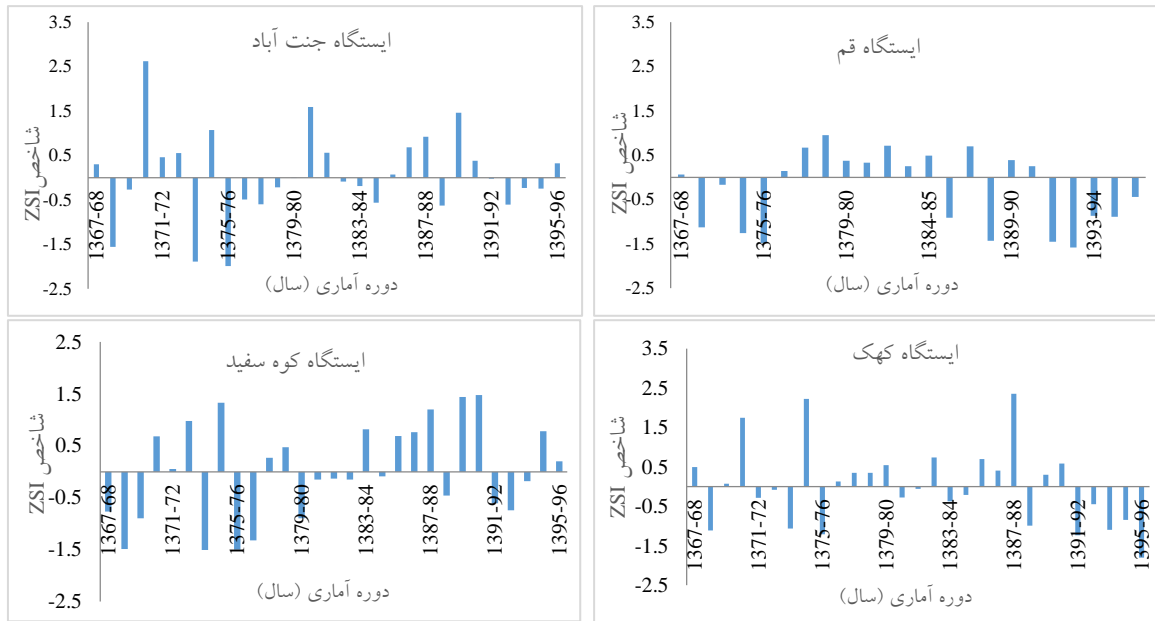
Table (6): drought classes' frequency based on DI in study stations

ایستگاه	کمی بالای نرمال	بالای نرمال	خیلی بالای نرمال	خیلی زیاد بالای نرمال	نرمال	کمی زیر نرمال	زیر نرمال	خیلی زیر نرمال	خیلی زیاد زیر نرمال
قم	۴	۳	۴	۳	۵	۱			۴
کهک	۴	۵		۳	۷	۲	۱		۳
جنت‌آباد	۴	۳	۲	۳	۹	۱			۳
کوهسفيد	۳	۵	۳	۲	۶	۱			۴



شکل (۳): روند تغییرات شاخص Z چینی (CZI) در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶

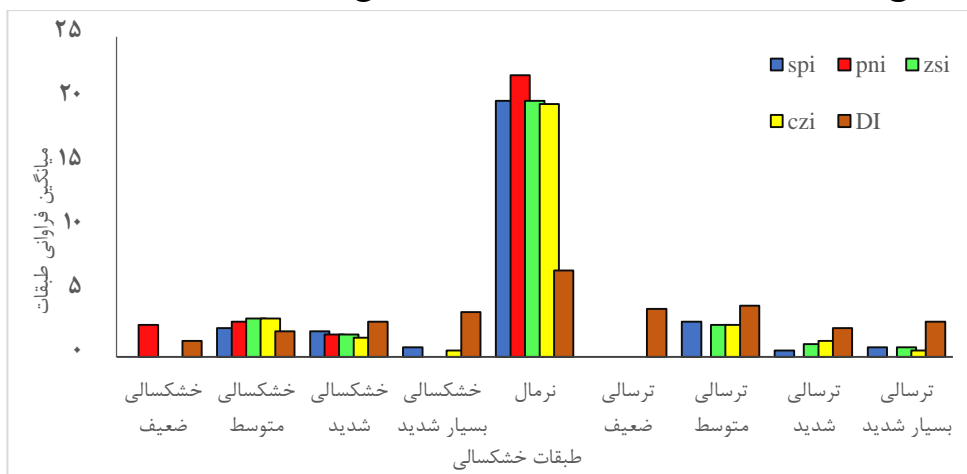
Figure (3): The trend of China Z index fluctuations in studied stations between the years of 1988-1989 to 2016-2017



شکل (۴): روند تغییرات شاخص نمره Z در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۵
 Figure (4): The trend of Z-sector index fluctuations in studied stations between the years of 1988-1989 to 2016-2017

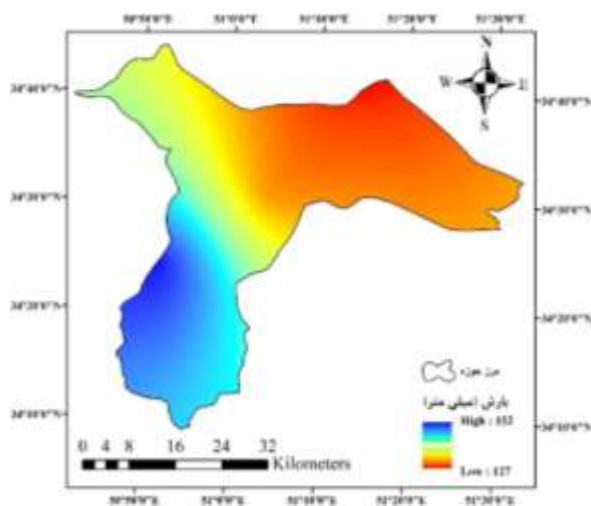
بر اساس شاخص‌های DI، SPI و CZI در منطقه به وقوع پیوسته که فراوانی آن در شاخص DI بیشترین و در شاخص CZI کمترین است. شاخص‌های DI و CZI به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی وقوع خشکسالی شدید در منطقه مطالعاتی را دارا هستند و فراوانی این طبقه در دو شاخص PNI و ZSI برابر است. میانگین فراوانی وقوع طبقه خشکسالی متوسط طی دوره آماری مورد مطالعه در شاخص‌های ZSI و CZI با هم برابر و در شاخص‌های SPI و PNI نیز با هم برابر است، کمترین فراوانی وقوع خشکسالی متوسط نیز به شاخص DI تعلق دارد.

شکل (۵) میانگین فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی رخ داده در منطقه مطالعاتی را طی دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس شکل شاخص‌های PNI و DI به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی طبقه نرمال را در منطقه دارا بوده و فراوانی طبقه مذکور در شاخص‌های SPI و ZSI برابر است. طبقه خشکسالی ضعیف نیز تنها بر اساس دو شاخص PNI و DI در منطقه قابل مشاهده است که فراوانی آن در شاخص PNI بیشتر است؛ در حالی که حالت ترسالی ضعیف در منطقه تنها بر اساس شاخص DI رخ داده است. طبقه خشکسالی بسیار شدید



شکل (۵): مقایسه میانگین طبقات خشکسالی و ترسالی در منطقه مطالعاتی برای هر شاخص
 Figure (5): Comparison of the average drought and wet classes for each index at the study area

متوسط مواجهه بوده و تنها ۳ درصد از منطقه واقع در بخش‌هایی از شرق و شمال شرق منطقه در سال ۱۳۶۸-۱۳۶۹ حالت خشکسالی خفیف (نزدیک به نرمال) را تجربه کرده است (شکل ۷). در سال‌های آبی ۱۳۷۰-۱۳۷۱، ۱۳۷۴-۱۳۷۵ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ نیز تمامی منطقه با شرایط ترسالی مواجه بوده؛ به‌طوری که در سال آبی ۱۳۷۴-۱۳۷۵ کل منطقه حالت ترسالی متوسط را نشان داده و در سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۷۱ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به‌ترتیب ۹/۰ درصد از سطح منطقه واقع در مرکز محدوده مطالعاتی و ۲/۲۷ درصد از سطح منطقه واقع در قسمت جنوب و جنوب غربی محدوده مطالعاتی دارای ترسالی شدید بوده و مابقی منطقه با ترسالی متوسط روبه‌رو بوده است. در سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ نیز ۷/۵۲ درصد مساحت منطقه در بخش شرقی با ترسالی متوسط و مابقی منطقه با ترسالی خفیف روبه‌رو بوده است. همچنین در سال‌های آبی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ و ۱۳۹۵-۱۳۹۶ مساحت بیشتری از محدوده مطالعاتی خشکسالی‌های خفیف تا شدید را تجربه کرده و طبقه ترسالی خفیف در سال‌های مذکور به‌ترتیب در حدود ۲۱ و ۲۵ درصد مساحت منطقه و در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. در سایر سال‌ها طی دوره آماری مورد مطالعه نیز ترسالی‌ها و خشکسالی‌های خفیف در تمام مساحت منطقه یا بخش‌های بیشتری از سطح محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است.



شکل (۶): نقشه میانگین بارش منطقه برحسب میلی‌متر در طول دوره آماری مورد مطالعه

Figure (6): The regional average rainfall map (mm) during the study period

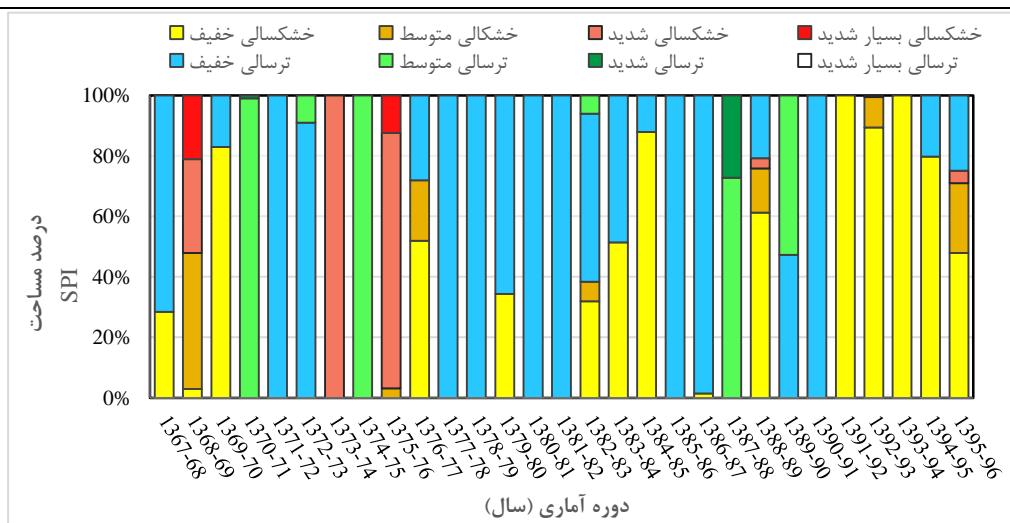
پهنه‌بندی بارندگی و شاخص خشکسالی

به‌منظور پهنه‌بندی میزان بارندگی، روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با مقدار خطای جذر میانگین مربعات ۲۸ میلی‌متر، نسبت به سایر روش‌ها برتری داشت. در صورتی که در سایر روش‌های درون‌یابی مورد استفاده مقدار RMSE بیشتر بود. بر اساس نتایج پهنه‌بندی، میانگین بارش در سطح محدوده مطالعاتی ۱۳۶ میلی‌متر است (شکل ۶). قابلیت کاربرد شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس‌های زمانی مختلف، امکان شناخت خشکسالی را برای اهداف مهمی از قبلی کشاورزی، هیدرولوژی و منابع آب فراهم می‌کند؛ از این‌رو شاخص مذکور روشی جامع نسبت به سایر روش‌های به‌کاررفته در مطالعه حاضر است. از دیگر مزایای این شاخص قابلیت کاربرد آن برای مقایسه در اقلیم‌های متنوع، به‌علاوه به‌دلیل داشتن قابلیت‌های بیشتر از جمله تفکیک دقیق‌تر طبقات ترسالی و خشکسالی، توانایی بیشتر در جداسازی دوره‌های مرطوب و خشک و در نهایت حساسیت بیشتر به تغییرات بارش، شاخص مهمی به‌شمار می‌آید. در میان شاخص‌های به‌کاررفته در تحقیق حاضر، نتایج حاصل از شاخص SPI حاکی از انطباق رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید با سال وقوع کمینه بارندگی در دوره آماری در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه است؛ لذا از میان شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، نمایه بارش استاندارد شده (SPI) به‌منظور پهنه‌بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه استفاده شد. مناسب‌ترین روش درون‌یابی در هر سال و مقدار خطای RMSE برای شاخص SPI در جدول (۷) نشان داده شده است.

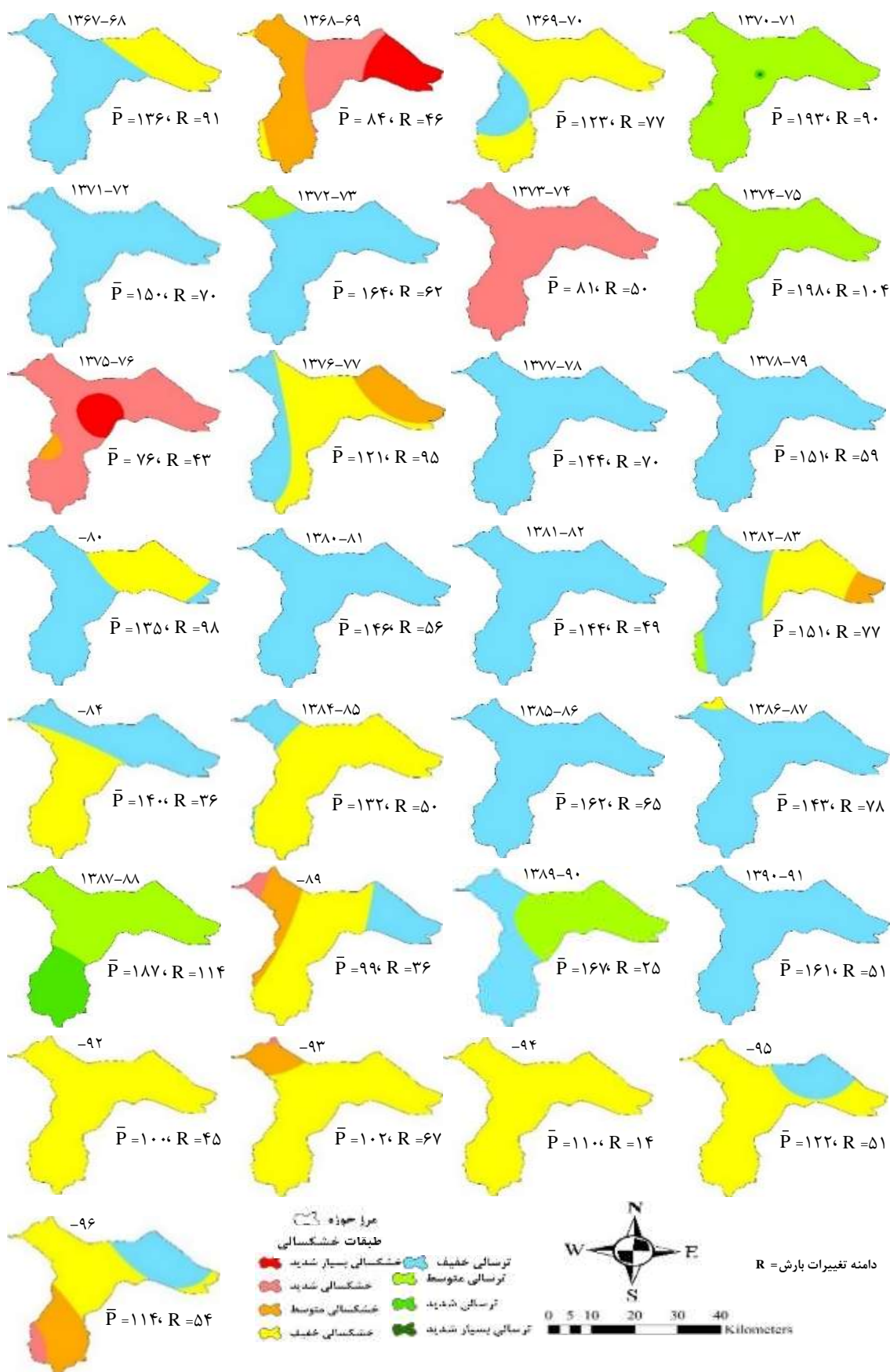
نتایج پهنه‌بندی شاخص خشکسالی SPI (شکل ۸) و درصد مساحت طبقات خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۷) که تمام منطقه در سال‌های آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۹، ۱۳۷۳-۱۳۷۴ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ با شرایط خشکسالی مواجه بوده، به‌طوری که در سال آبی ۱۳۷۳-۱۳۷۴، تمام سطح منطقه با خشکسالی شدید روبه‌رو بوده است. در سال‌های آبی ۱۳۶۸-۱۳۶۹ و ۱۳۷۵-۱۳۷۶ نیز به‌ترتیب ۵۲ و ۹۶/۸ درصد مساحت منطقه دارای طبقات خشکسالی شدید تا بسیار شدید بوده، همچنین به‌ترتیب ۴۵ و ۳/۲ درصد منطقه با خشکسالی

جدول (۷): مقادیر خطا در روش های مورد استفاده برای پهنه بندی شاخص SPI
Table (7): The error values in used methods for SPI index zoning

سال	روش درون یابی	RMSE	سال	روش درون یابی	RMSE	سال	روش درون یابی	RMSE
۱۳۶۷-۶۸	RBF	۰/۵۲	۱۳۷۷-۷۸	SK	۰/۴۶	۱۳۸۷-۸۸	OK	۰/۵۲
۱۳۶۸-۶۹	RBF	۰/۲	۱۳۷۸-۷۹	SK	۰/۳۹	۱۳۸۸-۸۹	RBF	۰/۲۷
۱۳۶۹-۷۰	OK	۰/۳۸	۱۳۷۹-۸۰	SK	۰/۵۸	۱۳۸۹-۹۰	IDW-Power2	۰/۴۴
۱۳۷۰-۷۱	SK	۰/۵۶	۱۳۸۰-۸۱	SK	۰/۶۵	۱۳۹۰-۹۱	SK	۰/۴
۱۳۷۱-۷۲	SK	۰/۵۶	۱۳۸۱-۸۲	SK	۰/۳۳	۱۳۹۱-۹۲	SK	۰/۶۵
۱۳۷۲-۷۳	IDW-Power2	۰/۵۱	۱۳۸۲-۸۳	RBF	۰/۲۳	۱۳۹۲-۹۳	OK	۰/۵۴
۱۳۷۳-۷۴	SK	۰/۴	۱۳۸۳-۸۴	RBF	۰/۳۴	۱۳۹۳-۹۴	OK	۰/۴۵
۱۳۷۴-۷۵	OK	۰/۳۷	۱۳۸۴-۸۵	RBF	۰/۳۴	۱۳۹۴-۹۵	SK	۰/۶۷
۱۳۷۵-۷۶	SK	۰/۳۷	۱۳۸۵-۸۶	SK	۰/۳۴	۱۳۹۵-۹۶	SK	۱/۰۴
۱۳۷۶-۷۷	OK	۰/۶۹	۱۳۸۶-۸۷	SK	۰/۶۷			



شکل (۷): درصد مساحت طبقات شاخص خشکسالی SPI در منطقه مورد مطالعه بین سال های ۱۳۶۷-۱۳۶۸ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۶
Figure (7): The percentage area of SPI drought index class in study region between the years of 1988-1989 to 2016-2017



شکل (۸): نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص SPI در حوزه آبریز قم-کهنک طی دوره آماری مورد مطالعه

Figure (8): The zoning maps of SPI index at the Qoum-Kahak Basin during the study period

- Adib, A., Gorgizadeh, A., 2016. Evaluation and Monitoring of drought using of drought Indexes; Case study the Dez Watershed. *Irrigation & Water* 26, 173-185.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., Sutera, A., 2001. The analysis of the standardized precipitation index in the Mediterranean area: regional patterns. *Annali Di Geofisica*, 44(5/6): 979-993.
- Borna, R., F. Azimi, N. Saeedi Dahaki. 2010. Comparison of SLAP, PN and RAI index for surveying of droughts in Khuzestan province emphasizing the Abadan and Dezful stations. *Quarterly Journal of Physical Geography*. 3(9): 77-88.
- Bryant, E.A., 1991. *Natural Hazards*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chenari, M., 2005. Investigation on variation of some drought indices using markov chain in south alborz climate's samples. Tehran University.M.Sc. Thesis, 159 p.
- Gibbs, W.J., Maher, J.V., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators, Bureau of Meteorology bulletin No. 48. Commonwealth of Australia: Melbourne; 29.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wihite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1998. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin paper* No 45.
- Jahanbakhsh, S., Ghavidel Rahimi, Y., 2003. Analisis of Spatial distribution of wet and dry periods in the stations of Eastern Azerbaijan. *Quarterly of Geography*. 5, 4-39.
- Kogan, F.N., 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning, pp. 75-87. In D.A. Wilhite et.al. (eds.). *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management*. WMO, Geneva, Switzerland.
- Li, Y.J., Zheng, X.D., Lu, F., Ma, J., 2012. Analysis of Drought Evolvement Characteristics Based on Standardized Precipitation Index in the Huaihe River Basin. *Procedia Engineering*. 28: 434-437.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Tzabiras, J., 2008. Climate Change Effects on Drought Severity, *Advances in Geosciences*. 1: 23-29.
- McKee, T.B., Doesken N.Y., Kleist J.Y., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 Janvier, Anaheim, 179-184.
- Mirmousavi, S.H., Karimi, H., 2013. Effect of drought on vegetation cover using MODIS sensing images MODIS (Case Study: Kurdistan). *Geography and Development*, 11, 57-76.
- Moazzenzadeh, R., Arshad, S., Ghahraman, B., Davari, K., 2012. Drought monitoring in unirrigated lands based on the remote sensing technique. *Water and Irrigation Management*, 2, 39-52.
- Moghaddasi, M., Morid, S., Ghaemi, H., Samani, J. M.V., 2005. Daily drought monitoring, Tehran Province. *Iranian Journal of Agricultural Science*. 36, 51-62.
- Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K., 2007. Drought forecastting using artificial neural networks and time series of drought indices, *Inte. J Climat* 27: 2103-2111.
- Mosaedi, A., Marashi, M., Kavakebi, G.H., 2009. Comparison of Drought Frequency in arid and humid regions (Case study: Golestan Prvince). *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 16, 277-291.
- Nosrati, K., Azarnivand, H., 2002. Regional Analysis of the Drought Severity-Duration-Return Period Using Precipitation Data a Case study: Atrak Watershed. *Biaban*, 7, 49-61.
- Potop, V., Mozny, M., Soukup, J., 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 121-133.
- Raziei, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., Saghafian, B., 2007. Investigation of Meteorological Droughts in the Sistan and Balochestan Province, Using the Standardized Precipitation Index and Markow Chain Model. *Iran-Water Resources Research*, 3, 25-35.
- Solgi, A., Radmanesh, F., Falamarzi, B., 2015. Drought Assessment and Monitoring of Nahavand City based on Drought Indices. *Water Resources*, 26, 35-50.
- Sonmez, F.K., Komuscu, A.U., Erkan, A., Turgu, E., 2005. An Analysis of Spatial and 18- Temporal Dimension of Drought Vulnerability in Turkey Using the Standardize Precipitation Index .*Natural Hazards* 35: 243 - 264.
- Tannehill, I. R., 1947. *Drought, its Causes and Effects*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., Granier,

- A., 2005. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, 94, 244-255.
25. Wilhite, D.A., Pulwarty, R.S., 2017. *Drought and Water Crises, Integration Science, Management, and Policy*. Second Edition. 583 pp.
26. Zahiri, A.R., Sharifan, H., Abareshi, F., Rahimian, M., 2015. Assessment the Phenomena of Wet and Drought in Khorasan Province by using (PNPI, SPI, NITZCHE). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 8, 845-856.
27. Zhu, Y., Wang, W., Singh, V.P., Liu, Y., 2016. Combined use of meteorological drought indices at multi-time scales for improving hydrological drought detection. *Science of the Total Environment*. 571: 1058-1068.

Evaluation of Meteorological Indices and Interpolation Methods to Drought Monitoring and Zoning in Arid and Semi-Arid Regions (A Case Study: Qoum-Kahak Basin)

Mahdi Zarei^{1*}, Mojtaba Soleimani Sardo²

Received: 29/9/2018

Accepted: 15/01/2019

Expanded abstracts

Introduction: Drought is recognized as a slow, creeping phenomenon that can accelerates the expansion of desertification in different regions especially in arid and semi-arid area with its effect on the agricultural sectors, water resources and vegetation cover. Positioning of Iran in the world arid and semi-arid belt is exposed to drought and water crisis and desertification. Drought monitoring and zoning with the goal of planning and water resources management are very important in different area especially in arid and semi-arid regions. One of the methods for drought study is monitoring and mapping of drought using meteorological indices and Geographic Information System techniques.

Materials and Methods: In order to investigate and drought monitoring in present research during the period of 29 years (1989 to 2017) in Qoum-Kahak study region we used annual rainfall data from four stations (i.e. Qoume, Kahak, Koohsefid and Janatabad) which are located inside and around the Qoume-Kahak catchment. Then we applied meteorological indices such as Standard of Precipitation Index (SPI), Percent of Normal Index (PNI), Deciles Index (DI), Chinese Z Index (CZI) and Z-Score Index (ZSI) for drought monitoring during the study period. Afterward for drought mapping, four interpolation methods included Simple Kriging (SK), Ordinary Kriging (OK), Inverse Distance Weighting (IDW) and Radial Basis Functions (RBF) were used and compared. After determination of best method in each year, yearly drought map were produced based on the best interpolation methods in ArcGIS software environment.

1. Assistant Professor, Research Centre of Social Studies & Geographical Sciences, Hakim Sabzevari University, m.zarei@hsu.ac.ir

2. Assistant Professor, Faculty of Natural resources, University of Jiroft, Iran
DOI: 10.22052/deej.2018.7.21.45

Results: According to the result of meteorological indices the near-normal class occurred more than other classes in study stations. SPI results indicated that Jannatabad and Kahak stations have the highest and lowest frequency of extremely dry class during the study period, respectively. The most extremely dry class with the SPI of -2.35 was occurred in Janatabad station in the year of 1997-98. Based on the results of PNI and ZSI indexes there was no occurred extremely dry class in all stations. The result of PNI index indicated that Koohsefid station has the highest frequency of very dry class between all stations. According to the result of CZI index the extremely dry class was occurred only for Kahak and Janatabad stations in the water years of 2016-2017 and 1997-98 respectively. Extremely wet class was occurred also for Kahak and Janatabad stations during the water years of 2009-2010 and 1992-1993 respectively. The results of DI index illustrated that the class of very much below normal was occurred in Qoume and Koohsefid stations 4 times and in Kahak and Janatabad stations 3 times during the study period. We applied geostatistical analyst tools in ArcGIS software to produce zoning maps for rainfall and drought. Its result showed that ordinary kriging with RMSE of 28 mm is the best method to create rainfall map. Accordingly mean annual rainfall was 136 mm/year during the study period. We selected SPI index for drought monitoring and zoning because of according to the results of all meteorological indices, only for this index the extremely and severely drought classes for all stations have occurred Simultaneous with the minimal rainfall during the study period. Afterward we compared different interpolation methods to produce drought zoning maps for each year during the study period. Based on the results of RMSE ordinary kriging and simple kriging were the best methods for most years.

Discussion and Conclusion: The results of all meteorological indices suggested that in all stations the near-normal class has the most frequency during the study period. According to the results of SPI and CZI indices, the highest (7 years) and lowest (3 years) number of drought were occurred in Kahak and Jannatabad stations, respectively. While according to PN index the highest (9 years) and lowest (3 years) number of drought were observed in Qoum and Jannatabad stations, respectively. Also the results of PN index illustrated that there was no wet period during the study period. According to the ZSI Index, the extremely dry class did not occurred in the region and the ZSI results about the frequency of extremely wet class was similar to the SPI results. The results of drought zoning indicated that in the years of 1990, 1995 and 1997, most of the region has been in a state of extremely to slightly drought. In the years 2010 and 2017, slight to sever drought classes were occurred in most parts of the study area and the slight wet class was observed in the eastern part of region. While during the years of 1992, 1996 and 2009 whole of the study area has experienced moderate and severe wet conditions. In the year of 2011, half of the study area which is located in the eastern part of the region has been in a state of moderate wet condition.

Keywords: Drought Monitoring, Interpolation Methods, Zoning, Meteorological Indices, Arid and Semi-Arid, Qoum-Kahak.