

# مقایسه تطبیقی سه شاخص خشکسالی در اقلیم‌های مختلف ایران

اکرم هدایتی دزفولی<sup>۱</sup>، عبدا... صداقت کردار<sup>۲</sup>

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۶/۹/۲۱)

خشکسالی از جمله پدیده‌هایی است که در اقلیم‌های مختلف تکرار شده و اثرات آن صرفاً به نواحی خشک و نیمه خشک محدود نمی‌شود، بلکه می‌تواند در نواحی مرطوب نیز رخ دهد. در ارزیابی خشکسالی، پایش خصوصیات از قبیل شدت، مدت و فراوانی آن ضروری به نظر می‌رسد. در این بررسی به منظور تحلیل خصوصیات خشکسالی از داده‌های مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های تهران، یزد، انزلی، شهرکرد، بندرعباس، زاهدان، مشهد و تبریز طی دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۷ استفاده شد، سپس با استفاده از سری‌های زمانی حاصل از محاسبه سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۳</sup>، شاخص CZI<sup>۴</sup> و شاخص Z-Score، شدت، فراوانی و تداوم خشکسالی‌ها برای سه مقیاس زمانی یک، سه و دوازده ماهه استخراج گردید. روابط همبستگی دو شاخص CZI و Z-Score با SPI محاسبه و

## چکیده

\*

\*

\*

۱- مربی پژوهشکده هواشناسی

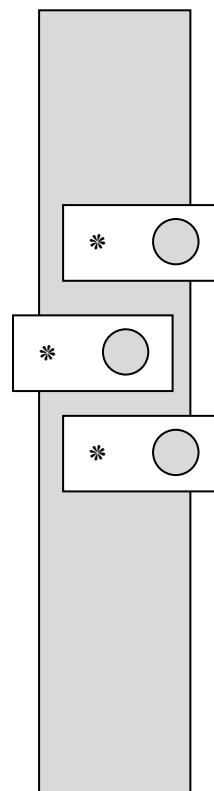
۲- استادیار پژوهشکده هواشناسی

3. Standardized Precipitation Index

4. China Z-Index

در نهایت نمودار نوسانات هر سه شاخص برای دوره مورد مطالعه در هشت ایستگاه فوق بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های SPI، CZI و  $Z^1$  ابزارهای مناسبی برای آشکارسازی خشکسالی است. همچنین فراوانی طبقات SPI، CZI و Z علیرغم استفاده از توزیع‌های آماری مختلف رفتار مشابهی نشان می‌دهند. با استخراج دوره‌های خشکسالی در هر سه شاخص، مشاهده شد که مقادیر فراوانی دوره‌های خشکسالی از اقلیم مرطوب تا اقلیم‌های نیمه خشک و خشک در بازه یک ماهه کاهشی است. نتایج این تحلیل نشان داد که ضرایب همبستگی شاخص‌های CZI و Z با SPI از سطح معنی داری قابل قبولی برخوردارند. با این حال شاخص CZI در مقایسه با دو شاخص دیگر به هنگام کمبود بارش در شرایط حدی، خشکسالی را شدیدتر نشان می‌دهند. همچنین رابطه همبستگی خطی قوی‌تری بین شاخص‌های SPI و Z در بازه‌های طولانی‌تر وجود دارد.

**کلمات کلیدی:** خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص CZI، شاخص Z-Score



## مقدمه

خشکسالی از پدیده‌های آب و هوایی و از جمله رخدادهایی است که می‌تواند هر ساله در مناطقی که لزوماً خشک نیست خسارت‌های زیادی را باعث شود. این پدیده عبارتست از کاهش غیرمنتظره بارش در مدتی معین که در اثر نوسانات اقلیمی حادث می‌شود و بنابراین در این حالت آب قابل دسترس کمتر از مقدار متوسط می‌باشد. خشکسالی به کندی صورت می‌گیرد و بدین شکل در طول تاریخ همواره دارای آثار زیانبار و مخربی بوده است [۱۱]. استقرار کشور ایران در کمربند بیابانی کره زمین موجب گردیده که شاید به جرات بتوان گفت که اکثر مناطق و استان‌های این کشور در اقلیم‌های مختلف با تهدید

خشکسالی مواجه هستند و از اینرو مطالعه پدیده خشکسالی نه تنها در محدوده‌های ناحیه‌ای، بلکه در گستره و وسعت ملی امری اجتناب ناپذیر است. این پدیده می‌تواند هم به نواحی خشک و نیمه خشک و هم به نواحی مرطوب آسیب‌های فراوانی وارد نماید [۳]. با این حال اگر نتوان وقوع خشکسالی را در مناطق گوناگون متوقف کرد و یا نتوان به کارگیری تمهیدات موقتی علمی یا سیاسی منطقه‌ای را از خشکسالی مصون نگاه داشت، لاقلاً می‌توان مناطق آسیب پذیر را جهت مقابله با رخداد خشکسالی از طریق پایش و ارزیابی آن، آماده کرد [۷]. ویژگی‌های خشکسالی از قبیل شدت، تداوم، فراوانی و حتی وسعت خشکسالی از مکانی به مکان دیگر متفاوت بوده، با این حال پایش خشکسالی به لحاظ پیچیدگی این پدیده در مناطق گوناگون متفاوت و در پاره‌ای از موارد مشکل است. دانشمندان آب و هواشناسی به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی را ارائه نموده‌اند، هر یک از این شاخص‌ها براساس روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند.

یوجویچ<sup>۱</sup> (۱۹۶۷) بیان کرد به دلیل متغیرهای مختلفی که بصورت مستقیم و یا غیرمستقیم در رخداد خشکسالی دخالت دارند، تعریف این واژه مشکل است و به همین دلیل تاکنون تعریف کاملی از خشکسالی ارائه نشده است [۴]. مارکویچ<sup>۲</sup> (۱۹۳۰) به منظور مطالعه نیازهای اقلیمی در بخش شرقی ایالات متحده از متغیرهای دما و بارش برای محاسبه شاخص خشکسالی استفاده کرد [۲]. گیبس و ماهر<sup>۳</sup> (۱۹۶۷) با مرتب کردن داده‌های بارندگی ماهانه و برآورد مقادیر مربوط به هر دهک، شاخص دهک‌های بارندگی را ارائه دادند [۱۴]. پالمر<sup>۴</sup> براساس متغیرهای بارندگی، دما و میزان آب در دسترس خاک و معادله موازنه آب از قبیل تبخیر و تعرق، تخلیه خاک، رواناب و از دست رفتن آب در لایه‌های سطحی خاک، شاخص شدت خشکسالی پالمر را پیشنهاد داد [۱۸]. مک کی و همکاران<sup>۵</sup> شاخص بارش استاندارد شده را به منظور تعریف و پایش خشکسالی برای مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه توسعه دادند [۱۷]. هنریکوس و سانتوز<sup>۶</sup> به منظور

- 
1. Yevjevich
  2. Marcovich
  3. Gibbs & Maher
  4. Palmer
  5. Mckee & et al
  6. Henriques & Santos

تحلیل منطقه‌ای خشکسالی‌های هواشناسی در پرتغال یک مدل توزیع منطقه‌ای خشکسالی را توسعه دادند. نتایج حاصل از این مدل نقشه‌های پهنه بندی خشکسالی و منحنی‌های شدت، مدت، مساحت و فراوانی خشکسالی را ارائه داد [۱۶]. داله زیوس و همکاران<sup>۱</sup> براساس تحلیل منحنی‌های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی، نقشه‌های هم شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم کردند و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری برخوردار است [۱۲]. هانگ و همکاران<sup>۲</sup> سه شاخص SPI، CZI و Z-Score را در چهار نقطه از کشور چین که شرایط خشک تا مرطوب را داشتند با استفاده از ۴۸ سال آمار بارش طی دوره آماری ۱۹۹۸-۱۹۵۱ و برای بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند [۱۵]. آنها در مطالعه خود شاخص SPI را مبنای قرار داده و دو شاخص دیگر را طی سال‌های خشک و مرطوب نسبت به شاخص SPI مقایسه کردند. آنها در بررسی خود از روش همبستگی خطی بین مقادیر شاخص‌های CZI، Z-Score و SPI استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ضریب همبستگی بین مقادیر SPI، CZI و Z-Score از سطح معنی داری قابل قبولی برخوردار است و رابطه مناسبی در مقیاس‌های زمانی مختلف دارند. در بررسی فوق مقایسه شاخص‌ها نشان داد که Z-Score شرایط موجود را مرطوبتر و CZI شرایط بسیار خشک را بهتر از شاخص SPI نشان می‌دهد. در سطح کشور به منظور پایش و ارزیابی خشکسالی معمولاً از شاخص‌های توزیع استاندارد، شاخص دهک‌ها و شاخص درصد از نرمال در سطح وسیعی استفاده شده است. خوش اخلاق در سال ۱۳۷۷، ابتدا با استفاده از روش‌های آماری دوره‌های خشکسالی و ترسالی را در سطح کشور مشخص و نهایتاً طبقه بندی الگوهای جوی منجر به خشکسالی و ترسالی را مورد مطالعه قرار داد. وی در مطالعات خود به منظور ارزیابی خشکسالی‌های کشور از شاخص نمره Z استفاده نمود [۶]. نساجی زواره و همکارش نمایه استاندارد شده بارش (SPI) خشکسالی‌های اصفهان و زابل را با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه پایش کردند [۱۰].

در تحقیق حاضر به منظور پایش، ارزیابی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی در ۸ ایستگاه کشور، سه شاخص SPI، CZI و Z-Score مورد بررسی قرار گرفته است.

---

1. Dalezios & et al

2. Hong & et al

## معرفی شاخص‌های بررسی شده

### شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

SPI شاخصی است که براساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی قابل محاسبه است و به منظور آرایه هشدار اولیه و ارزیابی شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص برای اولین بار توسط مک کی و همکاران جهت تعیین احتمال دوره خشکسالی توسعه یافته و برای کمی کردن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است [۱۶].

این شاخص امکان پایش خشکسالی را برای مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت نظیر رطوبت خاک و نیز برای مقیاس‌های درازمدت نظیر آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی فراهم می‌سازد [۹]. این شاخص از اختلاف بین مقادیر بارش و میانگین آن برای یک بازه زمانی مشخص و سپس تقسیم این مقدار بر انحراف معیار بارش بدست می‌آید. مقادیر مثبت آن، مقادیر بیشتر از میانه بارندگی و مقادیر منفی آن، مقادیر کمتر از میانه بارش را نشان می‌دهد. در جدول ۱ مقادیر SPI نشان داده شده است. ویژگی دیگر شاخص SPI این است که می‌توان به کمک آن آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. بنابراین براساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن نیز تعیین می‌شود. این شاخص برای کمی نمودن کمبود بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. برای محاسبه شاخص SPI از تابع چگالی توزیع گاما و گاهی از تابع پیرسون برای برازش داده‌های بلندمدت بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبات لازم و تعیین پارامترهای مربوط به شاخص SPI بصورت مقادیر مثبت و منفی بیان می‌شود. مفهوم SPI مقادیر نمره Z و یا تعدادی از اعداد استاندارد بالا و پایین را نسبت به وقوع ۵۰ درصد (نرمال) آرایه می‌دهد و چون بارش دارای چولگی است بهترین روش برازش داده‌های بارندگی استفاده از توزیع‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین توزیع است [۵].

جدول ۱- مقادیر SPI

طبقه بندی SPI	توصیف وضعیت
۲- و کمتر	خشکسالی بسیار شدید
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
+۰/۹۹ تا -۰/۹۹	تقریباً نرمال
۱ تا ۱/۴۹	تر سالی متوسط
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۲ و بیشتر	تر سالی بسیار شدید

## شاخص CZI

شاخص CZI براساس تبدیل ریشه سوم ویلسون-هیلفرتی می باشد. با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع سوم تبعیت کند، شاخص CZI مطابق معادله زیر برآورد می شود.

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

که در آن  $Z_{ij}$  شاخص CZI و  $i$  مقیاس زمانی موردنظر که می تواند ۱، ۲، ... تا ۷۲ ماه و  $j$  ماه جاری است. همچنین:

$$C_{si} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n\delta_i^3} \quad (2)$$

که در آن  $C_{si}$  ضریب چولگی و  $n$  تعداد کل ماه‌های دوره آماری می باشد.

$$\phi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\delta_i} \quad (3)$$

همچنین متغیر استاندارد شده،  $x_{ij}$  بارندگی ماه  $j$  برای دوره  $i$ ،  $\delta_i$  و  $\bar{x}_i$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می باشد. برای طبقه بندی این

شاخص از همان طبقه بندی SPI استفاده می شود [۱۵]. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه نیز استفاده کرده است که آن را CZI اصلاح شده اطلاق می کنند.

### شاخص استاندارد بارش Z

معادله (۳) در محاسبه شاخص CZI برای محاسبه شاخص Z-Score نیز بکار می رود این معادله را نیز بدین شکل می توان نوشت:

$$Z = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (۴)$$

در این رابطه Z شاخص استاندارد بارش،  $P_i$  بارش یک دوره معین،  $\bar{P}$  متوسط درازمدت بارش و SD انحراف معیار داده ها است.

در شاخص Z، مطابقت داده های بکار رفته با توابع گاما و پیرامون نوع سوم ملزم نمی باشد به همین علت شاخص Z بخوبی شاخص SPI قادر به ارایه خشکسالی در بازه های کوتاه مدت نیست [۱۳]. مقادیر منفی این شاخص نشان دهنده وقوع خشکسالی و مقادیر مثبت آن حاکی از عدم رویداد خشکسالی است.

## مواد و روش کار

### داده ها

در تحقیق حاضر از آمار مجموع بارندگی ماهانه ۸ ایستگاه تهران مهرآباد، تبریز، مشهد، انزلی، یزد، بندرعباس، زاهدان و شهرکرد طی دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۷ به منظور مقایسه شاخص های خشکسالی در اقلیم های گوناگون ایران استفاده شد [۱]. جدول ۲ خصوصیات ایستگاه های فوق را نشان می دهد. کلیه محاسبات مربوط به شاخص CZI، SPI و Z-Score در سه بازه یک، سه و دوازده ماهه در این هشت ایستگاه محاسبه شد. به منظور تصحیح آماری داده های بارندگی ماهانه، آزمون تصادفی بودن یا همگنی داده ها انجام گردید و ۸ ایستگاه فوق در سطح معنی داری ۱۰٪ همگن تشخیص داده شد [۸]. به علت کثرت کلیه محاسبات مربوط به این ۸ ایستگاه، ایستگاه های انزلی، تهران و یزد به عنوان نماینده سه اقلیم مرطوب نیمه خشک و خشک از میان ۸ ایستگاه مذکور انتخاب و صرفاً به اعلام نتایج این سه ایستگاه بسنده گردید.

جدول ۲- ویژگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ارتفاع	عرض	طول	ویژگی نام ایستگاه
۱۱۹۰	۳۵° ۴۱'	۵۱° ۱۹'	تهران مهرآباد
-۲۶	۳۷° ۲۸'	۴۹° ۲۸'	انزلی
۱۳۶۱	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	تبریز
۱۲۳۷	۳۱° ۵۴'	۵۴° ۱۷'	یزد
۱۳۷۰	۲۹° ۲۸'	۶۰° ۵۳'	زاهدان
۲۰۴۵	۳۲° ۱۷'	۵۰° ۵۱'	شهرکرد
۱۰	۲۷° ۱۳'	۵۶° ۲۲'	بندرعباس
۱۰۰۰	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	مشهد

## نتایج و بحث

در تحقیق حاضر سه شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص CZI و شاخص Z-Score به منظور پایش خشکسالی‌های ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۰۳ مورد مطالعه قرار گرفتند و نتایج حاصل از این سه شاخص برای بازه‌های زمانی یک، سه و دوازده ماهه با یکدیگر مقایسه شدند. از میان نتایج مربوط به این ایستگاه، سه ایستگاه انزلی، تهران و یزد مورد تحلیل قرار گرفتند. در شاخص SPI به منظور بررسی خصوصیات خشکسالی زمان شروع، خاتمه، تداوم، فراوانی و شدت خشکسالی‌ها نیز مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین در محاسبه دو شاخص CZI و Z نیز شدت و فراوانی خشکسالی بررسی شد.

جدول ۳ فراوانی رخداد خشکسالی را در سه ایستگاه فوق نشان می‌دهد. با توجه به هر سه شاخص، خشکسالی هنگامی رخ می‌دهد که مقادیر شدت شاخص‌ها منفی شود و با مثبت شدن آن دوره خشکسالی خاتمه می‌یابد، نتایج جدول فوق نشان می‌دهد که این شاخص‌ها توانایی خوبی برای پایش خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی دارند. تحلیل نتایج جدول فوق با مشاهده مقادیر فراوانی شاخص‌های نامبرده در ایستگاه‌های منتخب بدین شرح است:

مقادیر فراوانی شاخص‌های SPI، CZI و Z-Score از بازه یک ماهه تا بازه دوازده



ماهه، در هر سه ایستگاه رو به کاهش است و این از نتایج مورد انتظار پایش خشکسالی است. در جدول ۳ دیده می‌شود که مقادیر فراوانی دوره‌های خشکسالی از اقلیم مرطوب تا اقلیم‌های نیمه خشک و خشک در بازه یک ماهه در هر سه شاخص کاهش یافته است. از طرفی با مشاهده فراوانی دوره‌های خشکسالی در بازه‌های یک ماهه تا ۱۲ ماهه در شاخص CZI و مقایسه آن با مقادیر فراوانی در بازه‌های متناظر در سایر شاخص‌ها، به نظر می‌رسد این شاخص نسبت به شرایط خشکسالی، حساسیت بیشتری نشان می‌دهد.

جدول ۳- فراوانی رخدادهای خشکسالی براساس شدت شاخص‌های خشکسالی ایستگاه‌های بندرانزلی، تهران

مهرآباد و یزد دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۰۳

Z-Score			CZI			SPI			بازه زمانی ایستگاه
۱۲ ماهه	سه ماهه	یک ماهه	۱۲ ماهه	سه ماهه	یک ماهه	۱۲ ماهه	سه ماهه	یک ماهه	
۳۰	۶۸	۱۳۴	۴۱	۷۷	۱۳۶	۳۰	۷۲	۱۳۲	بندرانزلی
۱۸	۶۵	۱۱۰	۳۸	۷۹	۱۳۱	۲۰	۷۵	۱۱۲	تهران
۲۵	۶۱	۷۵	۳۸	۸۴	۱۰۳	۲۰	۶۷	۹۱	یزد

به منظور مطابقت شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، شاخص SPI را به عنوان مبنا شاخص‌ها در کل دوره قرار داده و دو شاخص دیگر نسبت به آن سنجیده شده است. روابط همبستگی شاخص‌های CZI و Z نسبت به SPI برای سه بازه یک، سه و دوازده ماهه در ایستگاه‌های انزلی، تهران و یزد محاسبه شد (جدول ۴). جدول ۴ نشان می‌دهد که اولاً ضریب همبستگی SPI با Z-Score در کلیه اقلیم‌ها از بازه یک، سه تا دوازده ماهه افزایشی است و نیز به نظر می‌رسد که در اقلیم‌های خشک مقادیر ضریب R2 بین دو شاخص CZI و SPI نسبت به SPI و Z-Score بخصوص در بازه‌های کوتاه مدت بیشتر است. از اینرو شاخص CZI همخوانی بیشتری با SPI بخصوص در بازه‌های کوتاه مدت دارد.

در ادامه تحلیل به منظور مقایسه تطبیقی سه شاخص نامبرده در طول دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۰۳ نمودار نوسانات این سه شاخص در هر سه بازه یک، سه و دوازده ماهه برای ایستگاه‌های نامبرده رسم شد. از آنجایی که محاسبه خشکسالی بصورت ماهانه بوده و

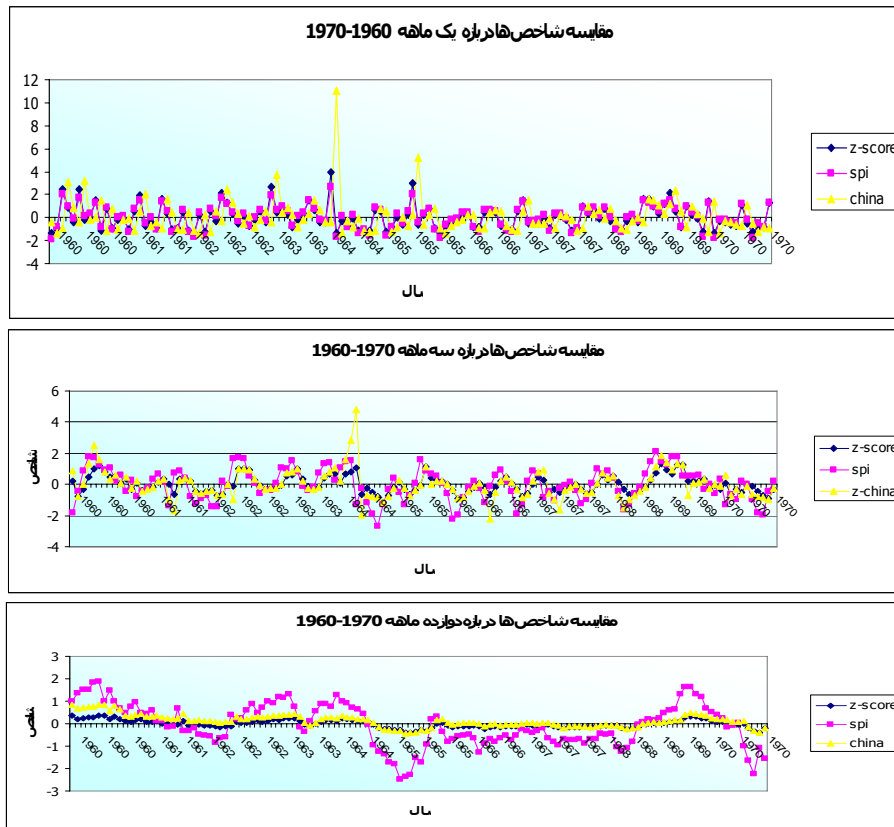
ترسیم نمودار خشکسالی در طول ۴۶ سال دوره آماری شکل واضح و مشخصی را نشان نمی‌دهد، از اینرو برای ترسیم هر سه شاخص خشکسالی، کل دوره آماری به چهار دهه از ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ تقسیم شد و دهه‌ای که شامل بیشترین فراوانی خشکسالی بود، انتخاب گردید. در این تحقیق دهه ۱۹۶۰-۱۹۷۰ شامل بیشترین فراوانی انتخاب شد و برای هر سه ایستگاه، در سه بازه زمانی یک، سه و دوازده ماهه نمودار نوسانات سه شاخص خشکسالی ترسیم شد (شکل‌های ۱ تا ۳). در این شکل‌ها دیده می‌شود که هرچه بازه کوتاه‌تر باشد انطباق شاخص‌ها بیشتر است. در ایستگاه‌های تهران و یزد شاخص CZI به هنگام کمبود بارش در شرایط حدی، خشکسالی را شدیدتر نشان می‌دهد. به عبارت دیگر شاخص Z-Score در مقایسه با دو شاخص دیگر، شرایط مرطوب‌تر و یا نرمالی را نشان می‌دهد و قادر به آشکارسازی شرایط خشکسالی بسیار شدید نیست.

جدول ۴- مقادیر ضرایب تبیین (R<sup>2</sup>) شاخص‌های CZI و Z با SPI برای سه ایستگاه بندرانزلی،

تهران و یزد در بازه‌های مختلف دوره آماری ۱۹۵۷-۲۰۰۳

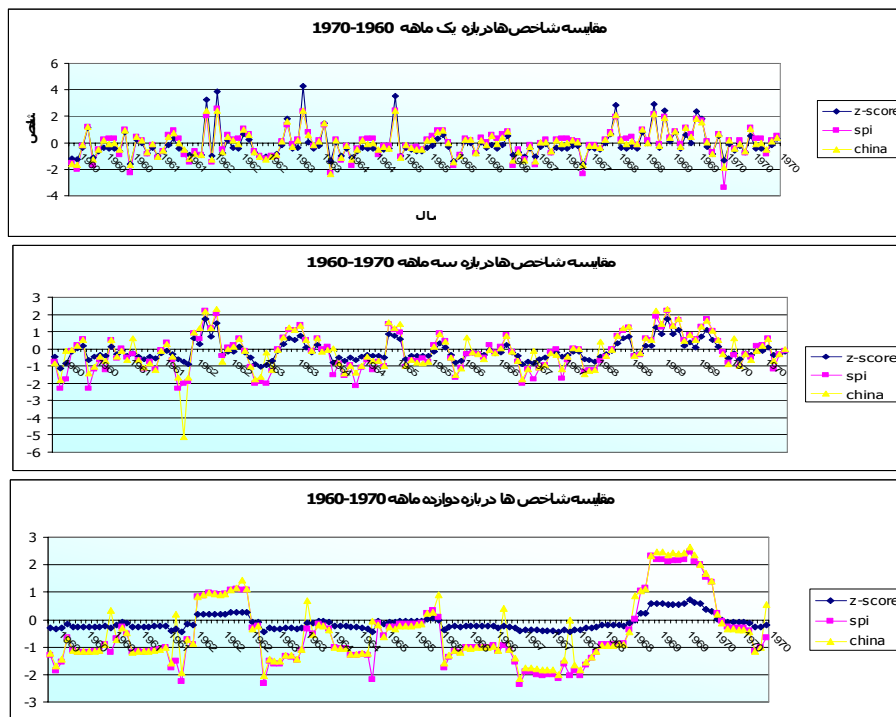
شاخص Z			شاخص CZI			بازه زمانی ایستگاه
یک ماهه	سه ماهه	۱۲ ماهه	یک ماهه	سه ماهه	۱۲ ماهه	
۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۶	بندرانزلی
۰/۰۹	۰/۸۴	۰/۷۵	۰/۰۹	۰/۸۴	۰/۷۵	تهران
۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۳۱	۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۳۱	یزد

از مقایسه کلی شاخص‌ها و با توجه به سری‌های مربوطه ملاحظه می‌شود که بین شاخص‌های فوق رفتار بسیار مشابهی در ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود دارد. این هماهنگی بویژه در سال‌های خشک و نرمال بیشتر است.



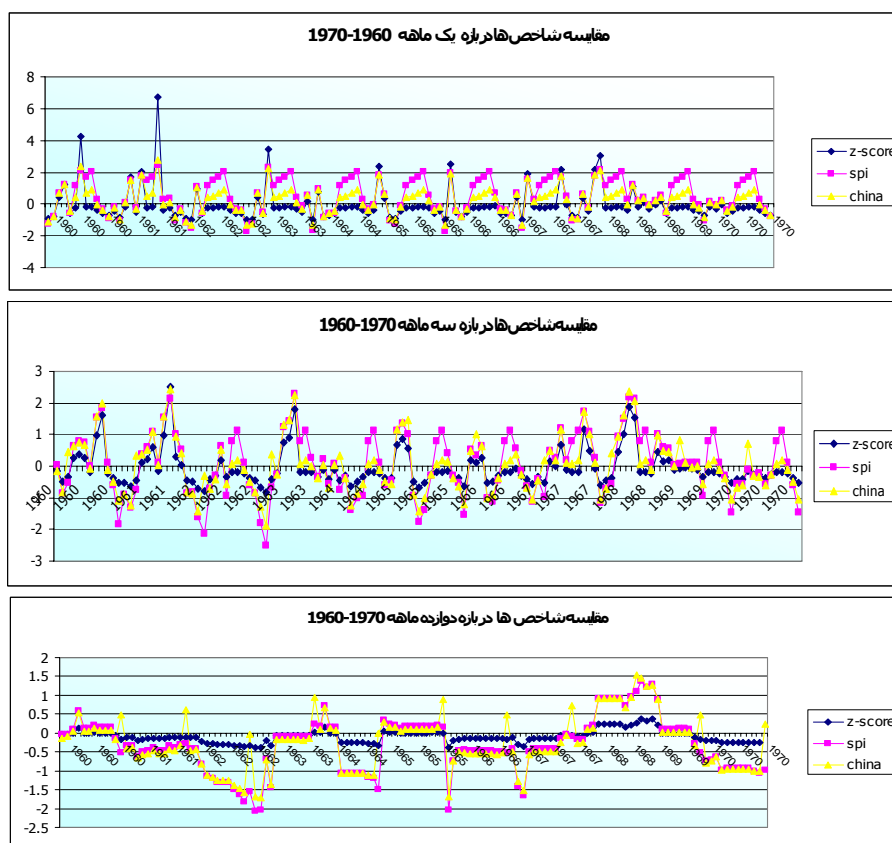
شکل ۱- مقایسه تطبیقی سه شاخص SPI، Z-Score و CZI در سه بازه زمانی یک، سه و دوازده ماهه در ایستگاه

انزلی ۱۹۶۰-۱۹۷۰



شکل ۲- مقایسه تطبیقی سه شاخص SPI، Z-Score و CZI در سه بازه زمانی یک، سه و دوازده ماهه در

ایستگاه تهران ۱۹۶۰-۱۹۷۰



شکل ۳- مقایسه تطبیقی سه شاخص SPI، Z-Score و CZI در سه بازه زمانی یک، سه و دوازده ماهه در ایستگاه

یزد ۱۹۶۰-۱۹۷۰

## منابع

- ۱- آمار و اطلاعات، خدمات ماشینی، سازمان هواشناسی کشور.
- ۲- پژوهشکده اقلیم شناسی، ۱۳۸۱، پروژه «بررسی شاخص‌های خشکسالی و استاندارد نمودن آن برای مناطق مختلف کشور»، ایران، مشهد.
- ۳- پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۷۸، پروژه «مطالعه اقلیم و خشکسالی در استان قم»، ایران، تهران.
- ۴- پژوهشکده هواشناسی، ۱۳۸۳، پروژه «بررسی درصد فراوانی‌های خشکسالی و روند افزایش آن در استان کهگیلویه و بویر احمد»، ایران، تهران.

- ۵- حجازی زاده، ز. ا.، فتاحی، ۱۳۸۲، پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، نشریه علوم جغرافیایی دانشگاه تربیت معلم، جلد ۱، شماره ۱.
- ۶- خوش اخلاق، ف.، ۱۳۷۷، تحقیق در خشکسالی‌های فراگیر ایران با استفاده از تحلیل‌های سینوپتیکی، پایان نامه دکترای جغرافیایی طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تبریز.
- ۷- رستمی فر، ف.، ۱۳۷۶، مسئله خشکسالی در دهه ۱۹۹۰، مجله نیوار، شماره ۳۳.
- ۸- علیزاده، ا.، ۱۳۶۷، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات بنیاد فرهنگی رضوی، چاپ دهم، ۱۳۷۷، مشهد.
- ۹- فتاحی، ا. و همکاران، ۱۳۸۵، تحلیل منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی، چکیده مقالات اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوزه‌های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد.
- ۱۰- نساجی زواره، م.، م.، صانعی، ۱۳۸۰، تعیین دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد اول، دانشگاه زابل.
- ۱۱- هدایتی دزفولی، ا.، ۱۳۸۴، بررسی خشکسالی و روند آن در استان کهگیلویه و بویر احمد، مجله علمی و فنی نیوار، شماره‌های ۵۸ و ۵۹، پاییز و زمستان ۱۳۸۴.
- 12- Dalezios, N. R., et al, 2000, "Severity duration Frequency Analysis of Droughts and Wet Periods in Greece", *Hydrology Seie*, 45 (5).
- 13- Edwards, D.C. and T.B. Mckee, 1997, Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales *Climatology Report Number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 14- Gibbs, W.J. and J.V. Maher, 1967, "Rain Fall Deciles as Drought Indicators", *Bureau of Meteorology, Bulletin*, Vol. 48.
- 15- Hong, Wu., and J., Hayes, 2001, "An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z-Index and the Statistical Z-score" *Int. J. Climatol.* 21.
- 16- Henriques, A. G., and M. J. Santos, 1998, Regional Drought Distribution Model. *Phys. Chen. Earth*, 24 (1-2).
- 17- Mckee, T. B., N. J. Doesken, and J., Kleist, 1993, "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales" 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 17-22 January. Anaheim, CA.
- 18- Palmer, W.C., 1965, Meteorological Drought, U. S. Dept. of Commerce Weather Bureau Research Paper.