

## بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران

ولی‌الله کریمی<sup>۱</sup>، محمود حبیب نژاد روشن<sup>۲</sup>، علی‌جان آبکار<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۲

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۳۰

## چکیده

خشکسالی ناشی از کاهش بارش رواناب و رطوبت خاک و افزایش درجه حرارت هوا و عمق سطح ایستابی، نسبت به شرایط میانگین دراز مدت است. خشکسالی‌ها را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی - اجتماعی تقسیم نمود، که در خشکسالی هواشناسی مقادیر بارندگی‌ها نسبت به مقدار میانگین سنجیده می‌شود. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، رامسر و نوشهر وابسته به سازمان هواشناسی استان مازندران، وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)<sup>۴</sup>، شاخص درصد نرمال (PNI)<sup>۵</sup>، شاخص دهک‌ها (DI)<sup>۶</sup>، شاخص Z چینی (CZI)<sup>۷</sup>، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)<sup>۸</sup>، شاخص عدد (ZSI)Z<sup>۹</sup> و روش موهان و رانگاچاریا تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های درصد نرمال و دهک‌ها در تمام ایستگاه‌ها روند مشابهی دارند و همچنین منحنی‌های مربوط به شاخص‌های SPI، ZSI و CZI، در تمام ایستگاه‌ها تقریباً برهم منطبق بوده و همبستگی بسیار خوبی به صورت دو به دو بین آن‌ها مشاهده شد که برای شاخص MCZI این‌گونه نبوده است. در روش موهان و رانگاچاریا، خصوصیات وقایع خشکسالی اعم از شروع، خاتمه، مدت و شدت برای تمام ایستگاه‌ها تعیین شد. استفاده از این روش، برای تهیه نقشه‌های هم‌مدت و هم‌شدت خشکسالی (پهنه‌بندی خشکسالی)، به منظور تعیین مناطق مستعد خشکسالی و همچنین پیش‌بینی وضعیت آینده توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بارندگی ماهانه، پهنه‌بندی خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی، شدت خشکسالی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان و دانشجوی دکترای آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

4- Standardized Precipitation Index  
5- Percent of Normal Index  
6- Deciles Index  
7- China Z Index  
8- Modified China Z Index  
9- Z- Score Index

## مقدمه

در تحقیقات اقلیمی، خشکسالی یکی از موضوعاتی است که به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا خشکسالی به طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تاثیر قرار می‌دهد، همچنین اثرات مستقیم بر محیط زیست دارد (Karimi, 1998).

خشکسالی‌ها را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم نمود. در خشکسالی هواشناسی، کمبود میزان بارندگی نسبت به میانگین برای یک منطقه برآورد می‌شود که کمبودهای بارندگی از یک مقدار مشخص، مانند درصدهای کاهش از میانگین دراز مدت، نیز قابل بررسی خواهد بود. در خشکسالی هیدرولوژیکی، وضعیت درازمدت جریان‌های رودخانه‌ای، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر منابع آب بررسی

می‌شود. درحالی‌که در خشکسالی‌های کشاورزی، ذخیره رطوبتی خاک در طول فصل رشد بررسی می‌شود. طبیعتاً، یافته‌های علمی هریک از خشکسالی‌های فوق در بررسی خشکسالی اقتصادی-اجتماعی به کار گرفته می‌شود (Karimi et al., 2001).

پژوهش‌های انجام شده توسط پالم (Palmer, 1965)، از جمله نخستین پژوهش‌ها در زمینه خشکسالی می‌باشد. طبق تعریف پالم، خشکسالی عبارت از کمبود مستمر و غیر طبیعی رطوبت، که واژه غیر طبیعی به انحراف شاخص مورد نظر از شرایط طبیعی (میانگین) و واژه مستمر به حالت کمبود گفته می‌شود.

از جمله کارهایی که در زمینه خشکسالی هواشناسی انجام شده، تحقیقات هرست و همکاران (Herbst et al., 1966) که روش آنها بعداً توسط موهان و رانگا چاریا (Mohan & Rangacharia, 1991) اصلاح شد. کریمی و همکاران (Karimi et al., 2001) با استفاده از روش موهان و رانگاچاریا به بررسی وقایع خشکسالی هواشناسی در استان فارس پرداختند.

مک کی و همکاران (Mackee et al., 1995)، با مقایسه ضرایب همبستگی بین دو نمایه بارش استاندارد و پالم در مقیاس‌های زمانی متعدد به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماهه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی

نزدیک به ۰/۹۰ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماهه است.

وو و همکاران (Wu et al, 2001)، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI)، z چینی (CZI) و نمره z (z-Score) در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند. این محققین نتیجه گرفتند که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته، ولی محاسبات مربوط به شاخص‌های CZI و عدد z، آسان‌تر از شاخص SPI بوده است.

لوکاس و همکاران (Loukas et al, 2003)، برای مطالعه خشکسالی‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در کشور یونان از سه شاخص عدد Z، ناهنجاری بارش و بارش استاندارد استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که هر سه شاخص برای مقیاس زمانی ۱۲ ماهه روند یکسانی داشته و همچنین مطابقت خوبی با شاخص پالم (PDSI) دارد.

فرج زاده و همکاران (Farajzadeh et al, 1995) با بررسی نمایه‌های مختلف خشکسالی، نمایه درصد نرمال بارندگی را به علت سادگی، جامعیت و انعطاف‌پذیری به عنوان نمایه مناسب انتخاب نمود و به بررسی خشکسالی‌ها در داخل کشور پرداخت.

دوپنگی-گیروکس (Doupigny-Giroux, 2001) معتقد است که نمایه خشکسالی SPI بهتر از نمایه‌های رطوبت محصول و پالم اصلاح شده، در مقیاس‌های زمانی کوچک تا متوسط عمل می‌کنند.

خلیلی و بذرافشان (Khalili & Bazrafshan, 2003) نمایه‌های خشکسالی هواشناسی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه معیار بارندگی سالانه (SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی در ایران دارند.

وفاخواه و رجبی (Vafakhah & Rajabi, 2005)، نمایه‌های عدد Z (ZSI)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI)، ناهنجاری بارش (RAI) حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال کارآیی بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها دارند. تحقیق مشابهی نیز توسط انصافی مقدم

شده، شاخص عدد Z و روش موهان و رانگاچاریا تعیین شد. برای محاسبه تمام شاخص‌ها به غیر از روش موهان و رانگاچاریا، از نرم افزار DIP<sup>2</sup> استفاده شده، که مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه و یک ساله برای شاخص‌های بارش استاندارد، Z چینی، Z چینی اصلاح شده و عدد Z و مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برای شاخص‌های درصد نرمال و دهک‌ها محاسبه شدند. روش محاسبه نمایه‌های مختلف خشکسالی و همچنین مشخصات خشکسالی، به شرح زیر می‌باشد:

### شاخص بارش استاندارد (SPI)

اساس این نمایه بر محاسبه احتمال وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است که توسط مک کی و همکاران (۱۹۹۵) به منظور پایش و تعیین خشکسالی‌ها ارائه شد. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه و یک ساله محاسبه می‌شود (جدول ۱). محاسبه مقدار این شاخص شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین است.

مقادیر شاخص SPI بدست آمده از داده‌های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی، از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است.

(Ensaifi Moghaddam, 2007) روی ۳۴ ایستگاه هواشناسی حوضه دریاچه نمک انجام پذیرفت. در این پژوهش،

شاخص‌های درصد نرمال، دهک، بارش استاندارد و نمره Z مورد بررسی قرار گرفتند و مناسب‌ترین شاخص جهت تحلیل وضعیت خشکسالی در طی سال‌های یک دوره طولانی مدت، شاخص بارش استاندارد و شاخص دهک‌ها در جایگاه نخست، شاخص نمره Z در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم تعیین شدند.

پایش خشکسالی‌های استان تهران با استفاده از شاخص‌های EDI، MCZI، CZI، SPI، PN، DI توسط مرید و همکاران (Morid et al, 2004) انجام گرفت و به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های SPI و EDI نسبت به شاخص‌های دیگر بهتر می‌باشد.

هدف از انجام این تحقیق، تعیین وقایع خشکسالی هواشناسی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PNI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح شده، شاخص عدد Z و روش موهان و رانگاچاریا با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، رامسر و نوشهر وابسته به سازمان هواشناسی استان مازندران است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، نوشهر و رامسر که مربوط به سازمان هواشناسی استان مازندران هستند، مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مربوطه از سایت سازمان هواشناسی کشور استخراج شد. طول دوره آماری ایستگاه بابلسر از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ (۵۱ ساله)، ایستگاه رامسر از سال ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ (۵۰ ساله) و ایستگاه نوشهر از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵ (۲۹ ساله) بوده است.

پس از مرتب کردن داده‌ها در نرم افزار اکسل درستی و صحت داده‌ها با آزمون توالی<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار گرفتند. وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PNI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح

<sup>2</sup> - Drought Indices Package

<sup>1</sup> - Run Test

جدول (۱): درجه‌بندی شدت خشکسالی و احتمال وقوع شاخص خشکسالی بارش استاندارد (Mackee et al, 1995)

توصیف واقعه	فرا مرطوب	خیلی مرطوب	کمی مرطوب	تقریباً نرمال (مرطوب)	تقریباً نرمال (خشک)	کمی خشک	خیلی خشک	فروخشک
حدود SPI	بزرگتر از ۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰ تا ۰/۹۹	۰ تا ۰/۹۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	کوچکتر از -۲
احتمال وقوع	۰/۰۲۲۸	۰/۰۴	۰/۰۹۱۹	۰/۳۴۱۳	۰/۳۴۱۳	۰/۰۹۱۹	۰/۰۴	۰/۰۲۲۸

### شاخص درصد نرمال (PNI)

$$P_N = \frac{P_i}{\bar{P}} \quad (1)$$

که در آن:  $P_i$  بارندگی ماه  $i$  و  $\bar{P}$  میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. طبقات مختلف این نمایه در جدول (۲) ارائه شده است.

این شاخص از جمله ساده‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی خشکسالی است. از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال (میانگین درازمدت) به دست می‌آید و برحسب درصد بیان می‌شود. این شاخص برای دوره‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه می‌شود و از رابطه زیر بدست می‌آید:

جدول (۲): طبقه‌بندی شاخص درصد نرمال

رتبه PNI	مقادیر PNI	کلاس
۱	۸۰ - ۷۰ درصد	خشکسالی جزئی
۲	۷۰ - ۵۵ درصد	خشکسالی متوسط
۳	۵۵ - ۴۰ درصد	خشکسالی شدید
۴	کمتر از ۴۰٪	خشکسالی بسیار شدید

### شاخص دهک‌ها (DI)

رویدادهای بارش تجاوز نمی‌کند. دومین دهک، اندازه بارشی است که از ۲۰ درصد کوچکترین رویدادهای پایین تجاوز نمی‌کند و به همین ترتیب مقدار مربوط به دهک دهم که مقدار آن برابر بزرگترین مقدار بارش رخ داده در طول دوره آماری ثبت شده است. این شاخص نیز همانند شاخص درصد نرمال، برای دوره‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه می‌شود. طبقه‌بندی دهک‌ها به صورت جدول (۳) است.

این شاخص با مرتب‌کردن داده‌های بارندگی ماهانه در دهک‌ها (ده درصد رویدادها) است. این شاخص به وسیله گیبس و ماهر (Gibbs & Maher, 1967) ارائه شد. در این روش توزیع رویدادهای ثبت شده درازمدت را در دسته‌های یک دهم از توزیع، تقسیم‌بندی می‌کند که هر یک از این قسمت‌ها یک دهک (Decile) نامیده می‌شود. دهک اول اندازه‌ای از بارش است که از ۱۰ درصد کوچکترین

جدول (۳): طبقه‌بندی دهک‌ها

رتبه DI	دهک‌ها	کلاس
۱	کمتر از ۱۰٪	خیلی زیاد کمتر از نرمال
۲	۱۰ تا ۲۰ درصد	خیلی کمتر از نرمال
۳	۲۰ تا ۳۰ درصد	کمتر از نرمال
۴	۳۰ تا ۴۰ درصد	اندکی کمتر از نرمال
۵	۴۰ تا ۵۰ درصد	نرمال
۶	۵۰ تا ۶۰ درصد	نرمال
۷	۶۰ تا ۷۰ درصد	اندکی بالاتر از نرمال
۸	۷۰ تا ۸۰ درصد	بالاتر از نرمال
۹	۸۰ تا ۹۰ درصد	خیلی بالاتر از نرمال
۱۰	۹۰ تا ۱۰۰ درصد	خیلی زیاد بالاتر از نرمال

### محاسبه باران موثر و کمبود بارندگی

آغاز یک دوره خشکسالی در واقع به صورت تابعی از تاثیر بارندگی ماه  $t$ ، مجموع تاثیرهای فصلی و بارندگی در ماه  $t+1$  بیان می شود. تاثیر بارندگی ماه  $t$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D(t) = R(t) - T(t) \quad (5)$$

که در آن:  $R(t)$  و  $T(t)$  به ترتیب ارتفاع بارندگی واقعی و میانگین تعدیل یافته برای ماه  $t$  و  $D(t)$  تاثیر بارندگی ماه  $t$  را نشان می دهد. میانگین بارندگی تعدیل شده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T(t) = R(t) - \frac{\sigma^2(t)}{R(t)} \quad (6)$$

که در آن:  $\sigma^2(t)$  واریانس وقایع بارندگی در ماه  $t$  می باشد. مجموع تاثیرهای فصلی در چارچوب ضریب وزنی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$W(t+1) = 0.1 \left[ 1 + \frac{T(t+1)}{\frac{1}{12} \sum_{t=1}^{12} T(t+1)} \right] \quad (7)$$

که در آن:  $W(t+1)$  ضریب وزنی و  $T(t+1)$  میانگین تعدیل یافته بارندگی برای ماه  $t+1$  است. باتوجه به روابط فوق، وضعیت تاثیرپذیری ماه  $t+1$  به عنوان باران موثر ماه  $t+1$ ، به صورت زیر بیان می شود:

$$E(t+1) = R(t+1) + D(t)[W(t+1)] \quad (8)$$

که در آن:  $E(t+1)$  باران موثر ماه  $t+1$  می باشد. در مرحله بعد، کمبود بارندگی ماهانه یا MMD<sup>1</sup> به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

### شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI)، شاخص عدد Z (ZSI)

شاخص CZI براساس تبدیل ریشه سوم ویلسون - هیلفرتی (Kendall & Stuart, 1977) شکل گرفته است. با این فرض که داده های بارندگی از توزیع پیرسون تیپ سه پیروی می کنند، شاخص به صورت زیر محاسبه می شود:

$$CZI = \frac{\epsilon}{C_s} \left( \frac{C_s}{\epsilon} \cdot \varphi_j + 1 \right)^{\frac{1}{r}} - \frac{\epsilon}{C_s} + \frac{C_s}{\epsilon} \quad (2)$$

$$C_s = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^r}{n \times \sigma^r} \quad (3)$$

$$\varphi_j = \frac{x_j - \bar{x}}{\sigma} \quad (4)$$

که در آن ها:

J: ماه مورد نظر

C<sub>s</sub>: ضریب چولگی

φ<sub>j</sub>: متغیر استاندارد

X<sub>J</sub>: بارندگی ماه J

$\bar{X}$ : میانگین بارندگی ماهانه

n: تعداد کل ماه ها در طول دوره آماری

σ<sup>2</sup>: واریانس داده های بارندگی ماهانه

σ: انحراف معیار داده های بارندگی ماهانه

برای محاسبه MCZI، میانه داده های بارندگی، به جای میانگین، در محاسبات CZI به کار می رود. طبقه بندی مقادیر این سه شاخص همانند SPI است.

### روش موهان و رانگاچاریا

در این روش بارندگی ماهانه به وسیله چهار متغیر آغاز خشکسالی، پایان خشکسالی، مدت خشکسالی و شدت خشکسالی بررسی می شود. اگر تشخیص داده شود که خشکسالی در یک ماه به خصوص رخ داده، وضعیت آن برای ماه بعد بررسی شده و تعیین می شود که آیا خشکسالی پایان یافته یا ادامه دارد. این کار ادامه پیدا می کند تا آن که با در نظر گرفتن معیارهای ارائه شده به وسیله چهار متغیر فوق، پایان خشکسالی اعلام شود.

<sup>1</sup>-Mean Monthly Deficit

### شاخص‌های خشکسالی

برای مقایسه خشکسالی‌ها در مناطق مختلف لازم است تا با یکدیگر مقایسه شوند که به صورت زیر به انجام می‌رسد:

$$Y = \frac{X}{\bar{X}} \quad (12)$$

که در آن:

$Y$ : میانگین ماهانه شدت خشکسالی (بدون بعد).

$X$ : کل کمبودهای بیشتر از میانگین کمبودهای ماهانه (میلیمتر).

$\bar{X}$ : مجموع میانگین کمبودهای ماهانه خشکسالی.

$$YD = Y \times D \quad (13)$$

$YD$ : شاخص خشکسالی (بدون بعد).

$D$ : دوره زمانی خشکسالی (ماه).

### نتایج و بحث

با بررسی آمار هواشناسی ماهانه برای هر سه ایستگاه، شاخص‌های دهک‌ها و درصد نرمال محاسبه شدند که به عنوان نمونه، همان گونه که در شکل (۱) نشان داده شده دو منحنی روند یکسانی داشته و اختلاف کمی با یکدیگر دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این دو شاخص برای تعیین دوره‌های خشک و تر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

همبستگی خطی بالایی بین سه شاخص  $ZSI$ ،  $SPI$  و  $CZI$  به صورت دو به دو در هر سه ایستگاه مشاهده شده، ولی همبستگی بین شاخص  $MCZI$  با سه شاخص ذکر شده در مقیاس‌های زمانی یک و سه ماهه و یک‌ساله پائین است. خصوصا در مقیاس یک ساله که شاخص‌های دیگر،  $R^2$  نزدیک به یک داشته در حالی که شاخص  $MCZI$ ، مقداری نزدیک به صفر را نشان می‌دهد (جداول (۱) تا (۳)). منحنی‌های رسم شده در شکل (۲) نیز این روندها را نشان می‌دهد. همبستگی بالا و انطباق منحنی‌های مربوط به سه شاخص  $ZSI$ ،  $SPI$  و  $CZI$  حاکی از آن است که این سه شاخص نتیجه مشابهی دارند، ولی  $MCZI$  این گونه نیست، لذا در مطالعات حتما باید شاخص  $MCZI$  را به طور مجزا در نظر گرفت.

$$MMD = \bar{E}(t+1) - E(t+1) \quad (9)$$

که در آن:  $\bar{E}(t+1)$  میانگین تعدیل یافته بارندگی موثر است. به مجموع  $MMD$ ‌های برای دوازده ماه میانگین کمبود سالانه یا  $MAD$  گفته می‌شود:

$$MAD = \sum_{t=1}^{12} MMD \quad (10)$$

### آزمون‌های تعیین آغاز و خاتمه خشکسالی

ماهی که کمبود بارندگی دارد، آغاز احتمالی یک خشکسالی است که باید با مقیاس متغیر مناسب مقایسه شود. در صورت بیشتر بودن کمبود بارندگی از این مقیاس، آغاز یک خشکسالی از ماه مورد نظر حتمی است. متغیر  $X$  که بیانگر افزایش ماهانه است، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

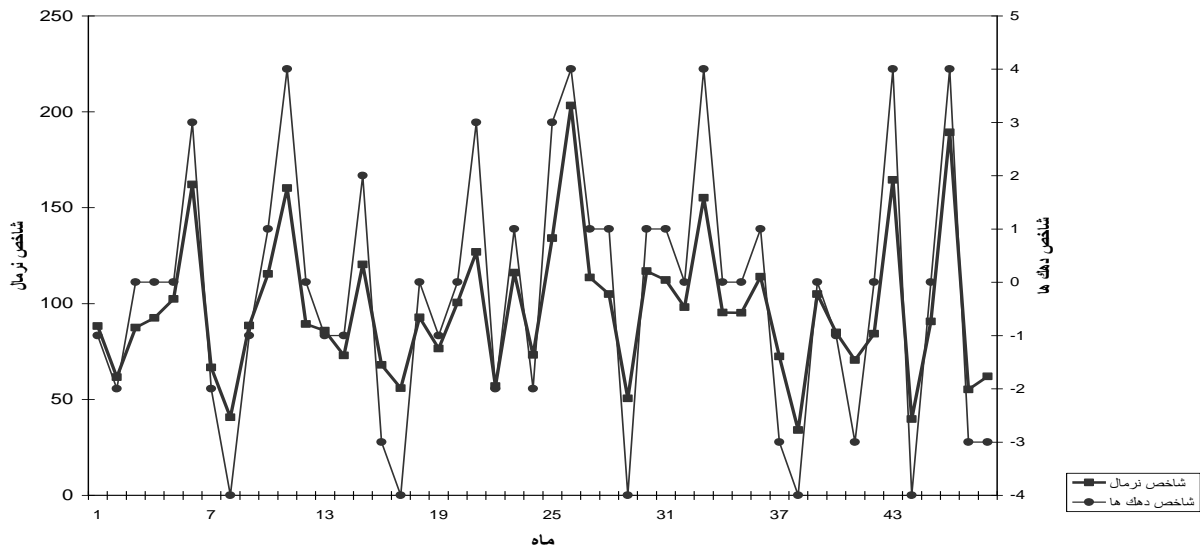
$$x = \frac{MAD - MMR}{11} \quad (11)$$

که در آن:  $MMMR$  مقدار حداکثر میانگین بارندگی ماهانه تعدیل شده است. اولین مقیاس متغیر  $MMMR$ ، دومین آن  $MMMR + 11x$  و به همین ترتیب آخرین آن  $MMMR + 11x$  یا همان  $MAD$  خواهد بود.

برای تعیین خاتمه خشکسالی لازم است تا پس از آغاز هر خشکسالی، ماهی با اختلاف مثبت مشاهده شود و حداقل یکی از دو ماه پس از آن نیز دارای اختلاف مثبت باشد. همچنین مجموع بارندگی از ماه اول تا سوم با مجموع سه مقدار بیشترین میانگین بارندگی تعدیل شده مقایسه شود، اگر بارندگی واقعی بزرگتر باشد خشکسالی خاتمه یافته است، در غیر این صورت، مجموع چهار ماهه اول با مجموع چهار مقدار بیشترین میانگین بارندگی تعدیل شده ماهانه مقایسه می‌شود و به همین ترتیب تا مجموع ۱۰ ماهه مقایسه می‌شود. اگر شرط ذکر شده محقق نشود، خشکسالی پایان نیافته است.

<sup>1</sup> - Mean Annual Deficit

<sup>2</sup> - Maximum Mean Monthly Rainfall



شکل (۱): مقایسه شاخص‌های دهک‌ها و درصد نرمال در مقیاس زمانی فصلی ایستگاه بابلسر

جدول (۴): ضریب همبستگی ( $R^2$ ) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه رامسر

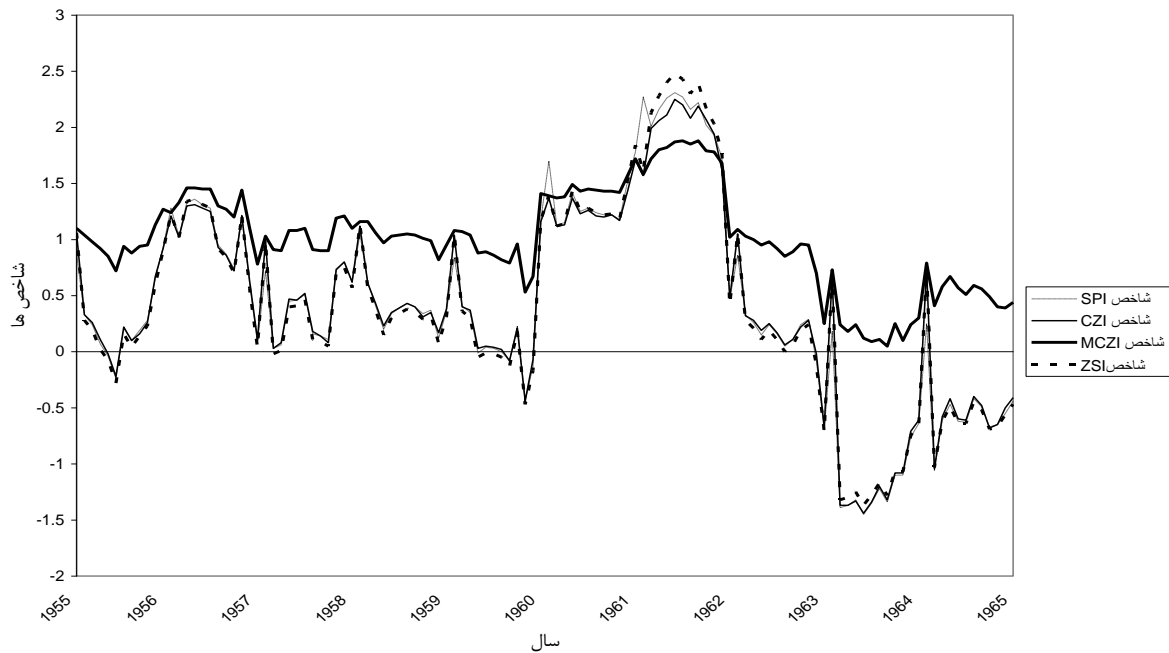
شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI - ZSI	CZI - ZSI	CZI - MCZI	SPI - ZSI	SPI - MCZI	SPI - CZI	
۰/۶۴۱	۰/۸۴۳	۰/۵۷۱	۰/۸۸۱	۰/۶۴۲	۰/۹۱۵	۱ ماهه
۰/۵۷۴	۰/۹۸۲	۰/۵۹۴	۰/۹۶۲	۰/۵۹۳	۰/۹۸۲	۳ ماهه
۰/۶۵۸	۰/۹۸۸	۰/۶۹۱	۰/۹۷۵	۰/۶۷۷	۰/۹۸۳	۶ ماهه
۰/۷۸۹	۰/۹۸۵	۰/۸۳۸	۰/۹۸۱	۰/۸۱۹	۰/۹۸۳	۹ ماهه
۰/۹۵۸	۰/۹۹۴	۰/۹۷۳	۰/۹۸۸	۰/۹۷۹	۰/۹۹۲	۱۲ ماهه
۰/۸۱۱	۰/۹۹۵	۰/۸۲۱	۰/۹۸۷	۰/۸۵۶	۰/۹۸۹	۱۸ ماهه
۰/۹۲۲	۰/۹۹۴	۰/۹۳۶	۰/۹۸۶	۰/۹۴۹	۰/۹۸۷	۲۴ ماهه
۰/۹۶۲	۰/۹۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۵۱	۰/۹۸۱	۴۸ ماهه
۰/۰۳۲	۰/۹۹۷	۰/۰۳	۰/۹۹۴	۰/۰۲۹	۰/۹۹۹	یک‌ساله

جدول (۵): ضریب همبستگی ( $R^2$ ) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه نوشهر

شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI - ZSI	CZI - ZSI	CZI - MCZI	SPI - ZSI	SPI - MCZI	SPI - CZI	
۰/۷۱	۰/۹۴۶	۰/۷۱۲	۰/۹۳۲	۰/۷۰۲	۰/۹۷	۱ ماهه
۰/۵۲۳	۰/۹۸۳	۰/۵۳۷	۰/۹۷۳	۰/۵۳۶	۰/۹۹	۳ ماهه
۰/۵۶۷	۰/۹۹۴	۰/۵۷۷	۰/۹۸۸	۰/۵۷۱	۰/۹۹۳	۶ ماهه
۰/۶۸۴	۰/۹۸۸	۰/۶۸۳	۰/۹۸۷	۰/۶۷۳	۰/۹۸۳	۹ ماهه
۰/۸۹۷	۰/۹۹۸	۰/۸۹۹	۰/۹۸۴	۰/۸۷۹	۰/۹۸۵	۱۲ ماهه
۰/۹۲۵	۰/۹۹۸	۰/۹۲۸	۰/۹۸۳	۰/۹۲۷	۰/۹۸۲	۱۸ ماهه
۰/۹۱۸	۰/۹۹۸	۰/۹۱۷	۰/۹۷۸	۰/۹۰۹	۰/۹۷۳	۲۴ ماهه
۰/۷۹۱	۰/۹۸۲	۰/۷۵۶	۰/۹۸۱	۰/۷۷۹	۰/۹۵۶	۴۸ ماهه
۰/۰۰۰۳	۱	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۶	۰/۹۹۷	یک‌ساله

جدول (۶): ضریب همبستگی ( $R^2$ ) رگرسیون خطی بین چهار شاخص خشکسالی ایستگاه بابلسر

شاخص‌های خشکسالی						مقیاس زمانی
MCZI - ZSI	CZI - ZSI	CZI- MCZI	SPI - ZSI	SPI - MCZI	SPI - CZI	
۰/۴۷۸	۰/۹۵۸	۰/۴۷۲	۰/۸۹۵	۰/۴۵	۰/۹۷۴	۱ ماهه
۰/۵۸	۰/۹۶۲	۰/۵۳۷	۰/۹۵۷	۰/۵۵۷	۰/۹۸۵	۳ ماهه
۰/۷۵۲	۰/۹۷۹	۰/۷۱۴	۰/۹۸۱	۰/۷۲	۰/۹۹۳	۶ ماهه
۰/۷۸۲	۰/۹۸	۰/۷۲۹	۰/۹۸۴	۰/۷۳۲	۰/۹۹	۹ ماهه
۰/۹۲۳	۰/۹۸۱	۰/۸۷	۰/۹۸۴	۰/۸۷	۰/۹۸۵	۱۲ ماهه
۰/۹۴۲	۰/۹۸۶	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۹۸۲	۱۸ ماهه
۰/۹۴۱	۰/۹۸۴	۰/۹	۰/۹۸۳	۰/۹۰۲	۰/۹۷۹	۲۴ ماهه
۰/۷۸۱	۰/۹۹۹	۰/۷۶۶	۰/۹۸۱	۰/۷۱۹	۰/۹۸۱	۴۸ ماهه
۰/۰۵۴	۰/۹۹۱	۰/۰۷۲	۰/۹۹۶	۰/۰۶۵	۰/۹۹۹	یکساله



شکل (۲): مقایسه شاخص‌های SPI، CZI، MCZI و ZSI با مقیاس ۲۴ ماهه در ایستگاه رامسر

را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته است. بنابراین، با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه برای سه ایستگاه، با روش موهان و رانگا چاریا، وقایع خشکسالی رخ داده، مشخص شده و خصوصیات هر واقعه در جداول (۷) تا (۹) ارائه شده است.

نتیجه تحقیقات وو و همکاران (Wu et al, 2001)، که با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص‌های SPI، CZI و ZSI در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند، نشان می‌دهد که هر سه شاخص، نتایج یکسانی



جدول (۷): مشخصات وقایع خشکسالی ایستگاه هواشناسی نوشهر (دوره آماری ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵)

شروع خشکسالی	خاتمه خشکسالی	مدت خشکسالی	شدت خشکسالی
۱۹۸۲ اول سپتامبر	آخر فوریه ۱۹۸۳	۶	۲۲/۲
۱۹۹۵ اول ژانویه	آخر می ۱۹۹۵	۵	۲۵/۷

جدول (۸): مشخصات وقایع خشکسالی ایستگاه هواشناسی رامسر (دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵)

شروع خشکسالی	خاتمه خشکسالی	مدت خشکسالی	شدت خشکسالی
۱۹۵۶ اول اکتبر	آخر فوریه ۱۹۵۷	۵	۱۹/۲
۱۹۷۱ اول می	آخر دسامبر ۱۹۷۱	۸	۳۸/۴
۱۹۷۴ اول اکتبر	آخر ژانویه ۱۹۷۵	۴	۲۷/۹
۱۹۹۴ اول دسامبر	آخر می ۱۹۹۵	۶	۳۲/۹
۲۰۰۳ اول ژوئن	آخر اکتبر ۲۰۰۳	۵	۲۶/۲
۲۰۰۵ اول سپتامبر	آخر دسامبر ۲۰۰۵	۴	۱۳/۶

جدول (۹): مشخصات وقایع خشکسالی ایستگاه هواشناسی بابلسر (دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵)

شروع خشکسالی	خاتمه خشکسالی	مدت خشکسالی	شدت خشکسالی
۱۹۵۲ اول سپتامبر	آخر فوریه ۱۹۵۳	۶	۲۲/۲
۱۹۵۴ اول اکتبر	آخر فوریه ۱۹۵۵	۵	۲۰/۲
۱۹۶۱ اول اکتبر	آخر مارس ۱۹۶۲	۶	۱۶/۱
۱۹۶۲ اول نوامبر	آخر ژانویه ۱۹۶۳	۳	۱۸/۳
۱۹۶۶ اول نوامبر	آخر دسامبر ۱۹۶۶	۲	۱۲/۹
۱۹۷۰ اول اکتبر	آخر ژانویه ۱۹۷۱	۴	۱۰/۷
۱۹۹۸ اول اکتبر	آخر مارس ۱۹۹۹	۶	۲۵/۰
۲۰۰۱ اول ژانویه	آخر مارس ۲۰۰۱	۳	۲۰/۶

## نتیجه گیری

در شاخص‌های CZI, ZSI, SPI, DI و MCZI، تعداد وقایع مثلا خشکسالی بسیار شدید و سایر وقایع، مشخص است و فقط توزیع زمانی آن‌ها بررسی می‌شود. ولی، در روش موهان و رانگا چاریا، تعداد وقایع خشکسالی به صورت قرار دادی از قبل مشخص نیست.

در روش موهان و رانگا چاریا، هر کمبود بارندگی خشکسالی نیست و ممکن است بارندگی مازاد در داخل یک دوره خشکسالی قرار بگیرد. در این روش، دوره‌های خشکسالی مشخص می‌گردند که چندماهه هستند. لذا، در

پهنه بندی خشکسالی یک منطقه، با ترسیم نقشه‌های هم‌شدت و هم‌مدت خشکسالی می‌توان منطقه را از نظر خطرپذیری خشکسالی طبقه بندی کرده و در زمینه‌های مختلف از آن استفاده نمود. با دوره‌های خشکسالی تعیین شده در روش موهان و رانگا چاریا، می‌توان وضعیت خشکسالی آینده را نیز پیش بینی نمود. لذا، پیشنهاد می‌شود که از روش موهان و رانگا چاریا نیز برای تعیین وقایع خشکسالی و ترسیم نقشه‌های خشکسالی و همچنین پیش‌بینی وقایع خشکسالی در آینده استفاده نمود.

## منابع

۱. فرج‌زاده، م.، ع. ا.، موحد دانش و ه. قائمی. ۱۳۷۴. خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های آماری. مجله دانش کشاورزی، جلد ۵، شماره‌های ۱ و ۲، ص.ص ۱ تا ۵۰.
۲. وفاخواه، م. و م. رجبی. ۱۳۸۴. کارآیی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پیش و ارزیابی خشکسالی‌های حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو. مجله بیابان، جلد ۱۰، شماره ۲، ص.ص ۳۶۹ تا ۳۸۳.

۳. انصافی مقدم، ط. ۱۳۸۶. ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱۴، جلد ۲، ص.ص. ۲۷۱ تا ۲۸۸.
۴. کریمی، و. ۱۳۷۷. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ص ۱۲۷.
۵. کریمی، و.، ع. ا. کامکار حقیقی، ع. ر. سپاسخواه و د. خلیلی. ۱۳۸۰. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۵، شماره ۴، ص.ص. ۱ تا ۱۰.
۶. خلیلی، ع. و ج. بذرافشان. ۱۳۸۲. ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. مجله نیوار، جلد‌های ۴۸ و ۴۹، ص.ص. ۷۹ تا ۹۳.
۷. مرید، س.، ه. قائمی، م. مقدسی و ش. پایمزد. ۱۳۸۳. طراحی سیستم پایش خشکسالی برای استان تهران. طرح تحقیقاتی. وزارت نیرو.
8. Doupingy-Girux, L.A. 2001. Towards characterizing and planning for drought in Vermont- Part1: A climatological perspective. Journal of the American Water Resource Association. 37(3):505-524.
9. Gibbs, W.J. and J.V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bulletin No.48, Bureau of Meteorology, Melbourne. 34-41.
10. Herbst, P.H., D.B. Bredencamp and H.M.G. Baker. 1966. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. J. Hydrol., 4(4):264-272.
11. Kendall, M.G. and A. Stuart. 1997. The advanced theory of statistics. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe, 400-401.
12. Loukas, A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios. 2003. Inter comparison of meteorological.
13. Mackee, B., T. Nolan, J. Doesken and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple timescales. 9<sup>th</sup>. Conference on Applied Climatology. 15-20. 15-20 January, Boston, Massachusetts: 223-236 drought indices for drought assessment and monitoring in Greece, 8<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology Lemons Island, 8-10 September: 484- 491.
14. Mohan, S. and N.C. Rangacharia. 1991. A modified method for drought identification. Hydrol. Sci. J., 36(1):11-21.
15. Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. USWB, Res. Paper No.45.
16. Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss and Q. Hu. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-z index and the statistical z-score. International Journal of Climatology, 21:745-758.

## Investigation of meteorological drought Indexes in Mazandaran synoptic Stations

### Abstract

Drought is caused decrease by of rainfall, runoff and soil moisture and also increase of air temperature and water table compared to long time average condition. Drought can be divided into four major groups of Meteorological, Hydrological, Agricultural and Social- economical which meteorological drought will be evaluated by rainfall values comparing with its average. In this study, by use of monthly rainfall data of Babolsar, Noushahr and Ramsar synoptic Stations which are related to Mazandaran Meteorological Organization, Drought events was quantified by Standardized Precipitation Index(SPI), Percentage of Normal Index ( PNI), Deciles Index (DI), Chinese Z Index (CZI), Modified Chinese Z Index (MCZI) and Z- Score Index and Mohan & Rangacharia method. Results shows that PNI and DI in all stations have similar trends and the Curves of SPI, ZSI and CZI in all stations are well coincide with each other and have a very good fitness but MCZI. In Mohan & Rangacharia method, drought events characteristics consists of commencement, termination, duration and intensity were determined for all stations. Applying this method for preparing iso-duration and iso- intensity maps of drought (Drought zoning ) for determination of the drought susceptible area and also forecasting the future condition are recommended.

**Key Words: Drought Indices, Drought Mapping, Drought Severity, Meteorological Drought, Monthly Rainfall.**