

مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در استان مازندران

ولی الله کریمی*^۱، داود اکبری نودهی^۲

۱- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش

و ترویج کشاورزی، ساری

۲- استادیار گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی قائمشهر

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۴، تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۴)

چکیده

به منظور پایش و مدیریت خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص‌های مربوطه، ۳۳ ایستگاه باران سنجی متعلق به وزارت نیرو در سطح استان مازندران انتخاب گردید. سپس داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل آماری آنها انجام شد. به منظور بازسازی و تطویل آماری ایستگاه‌های ناقص از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها استفاده و آزمون همگنی داده‌ها با آزمون توالی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های در دسترس و بازسازی و تطویل آمار، طول دوره آماری ۳۵ ساله ی ۱۳۸۹-۱۳۵۵ به عنوان دوره آماری تحقیق حاضر انتخاب گردید. سپس شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد، درصد نرمال، شاخص Z چینی، Z چینی اصلاح‌شده، شاخص نمره Z و دهک‌ها در مقیاس زمانی یکساله در ایستگاه‌های مذکور محاسبه شد. براساس آزمون همبستگی، معنی دار بودن این شاخص‌ها به جز MCZI به صورت دو به دو در تمام ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۵ درصد تأیید شد. شاخص‌های SPI، ZSI، PN با داشتن بیشترین میانگین همبستگی و کمترین انحراف معیار نسبت به دیگر شاخص‌ها نتایج برتری را ارائه نمودند و در مقابل MCZI با دارا بودن کمترین همبستگی نتایج ضعیفی را نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان داد. بیشترین میانگین همبستگی بین مقادیر بارندگی سالانه و هر یک از شاخص‌ها به ترتیب متعلق به ZSI، PN، DI، CZI، SPI و MCZI با ضریب تبیین ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۹، ۰/۹۸۶، ۰/۹۴۲، ۰/۹۰۸ و ۰/۵۷ می باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی استان مازندران شاخص‌های SPI، ZSI، PN شرایط تقریباً یکسانی داشته و بر سایر شاخص‌ها ارجحیت دارند.

واژه‌های کلیدی: بارندگی ماهانه، شاخص دهک‌ها، شاخص بارش استاندارد، شاخص درصد نرمال و شاخص خشکسالی موثر

مقدمه

در برخورد با هر حادثه طبیعی دو نوع مدیریت وجود دارد، یکی مدیریت بحران و دیگری مدیریت ریسک. در مدیریت بحران اقدامات درمانی بعد از وقوع حادثه صورت می‌گیرد، اما در مدیریت ریسک جنبه‌های مختلف حوادث طبیعی مطالعه و بررسی شده و برنامه‌ریزی جهت پیشگیری و کاهش میزان خسارت قبل از وقوع پدیده انجام می‌گیرد. یکی از مؤلفه‌های اساسی مدیریت ریسک خشکسالی، پایش دقیق شرایط خشکسالی می‌باشد. در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی و مدیریت فعال (مدیریت ریسک) آن، از ضروری‌ترین ابزار، طراحی سیستم‌های پایش خشکسالی می‌باشد که اطلاعات

از دیرباز پدیده خشکسالی مورد توجه بوده و در سال‌های اخیر روش‌های گوناگونی جهت بررسی و مطالعه آن به‌ویژه کمی کردن شدت و وسعت آن ارائه و گسترش یافته است. جدا از انواع خشکسالی و دسته‌بندی‌های ارائه شده، شاخص‌های کمی مبتنی بر داده‌های بارش از اقبال بیشتری برخوردار بوده و روند بسط و نوآوری آن نیز بیش از دیگر موارد است. پژوهشگران متعددی به سنجش و ارزیابی انواع شاخص‌ها در مناطق مختلف اقدام و با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی و بعضی ملاحظات، شاخص مناسب‌تر را معرفی کردند.

شبکه‌های عددی از مقادیر SPI در ۳ سری زمانی با بهره‌گیری از نمایش آنالیزهای کریجینگ تهیه کرده و به این نتیجه رسیدند که SPI به عنوان یک شاخص خشکسالی، تصویر بهتری از ترسالی و خشکسالی‌ها نشان می‌دهد و نیز می‌تواند در تهیه نقشه احتمال وقوع سیل و خشکسالی استفاده شود. آنجلیدیس^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی خود نشان دادند که SPI می‌تواند با تابع توزیع احتمال متفاوت نسبت به توزیع گاما مورد استفاده قرار گیرد. آن‌ها نتیجه گرفتند که برای گام‌های زمانی ۱۲ یا ۲۴ ماهه توابع نرمال و یا لوگ‌نرمال با وجود سادگی می‌تواند همان نتایج تابع گاما مورد استفاده را به دنبال داشته باشد. بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) شاخص‌های استاندارد بارش، ناهنجاری بارش، درصدی از نرمال، بارش استاندارد شده (SPI) را در بررسی تأثیر خشکسالی بر عملکرد نسبی محصول گندم مورد استفاده قرار داده و روند همسویی بین این دو مشاهده کردند. زراعی و همکاران (۱۳۹۱)، در تحقیق خود به منظور بررسی اثر خشکسالی بر جریان‌های آبی منطقه، در طی دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۶۰-۱۳۸۵) شاخص‌های SPI و DPI را محاسبه و شدت خشکسالی‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که روند تغییرات رواناب حوضه در سال‌های مختلف مشابه نتایج به دست آمده از دو شاخص خشکسالی SPI و DPI می‌باشد. بنی‌مهد و خلیلی (۱۳۹۱)، در پژوهش خود شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI و SPEI را در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک منتخب کشور ایران با شرایط آب و هوایی متفاوت محاسبه و نتیجه گرفتند که رفتار این شاخص‌ها در شرایط آب و هوایی خیلی مرطوب (ایستگاه بندر انزلی) تا حد بسیار زیادی مشابه یکدیگر بوده و در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک (مانند ایستگاه‌های تهران و شیراز)، رفتار شاخص‌های SPI و RDI بسیار مشابه بوده ولی شاخص SPEI اندکی متفاوت رفتار نموده است. در تحقیق اسلامی و شکوهی (۱۳۹۱) مشخص شد که شاخص‌های ZSI، CZI و MCZI کارایی مشابه یکدیگر و نتایجی نزدیک به روش SPI دارند. مهم‌ترین

استخراج شده از آن‌ها تعیین‌کننده‌ی نوع عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن می‌باشد. چنین سیستم‌هایی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی طراحی می‌گردند و هم‌اکنون شاخص‌های متفاوتی برای آن تعریف شده است. هایس^۱ و همکاران (۲۰۰۰)، شاخص PN را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند و مهم‌ترین حسن این روش را محاسبات بسیار ساده و مناسب برای آگاهی عموم از وضعیت خشکسالی در مقیاس محلی و فصلی برشمرد. وو^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده^۳، شاخص Z چینی^۴ و شاخص نمره Z^۵ در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، برای اقلیم‌های خشک و مرطوب کشور چین پرداختند و نتیجه گرفتند که هر سه شاخص، نتایج یکسانی را

برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته، ولی محاسبات مربوط به شاخص‌های CZI و شاخص نمره Z، آسان‌تر از شاخص SPI بوده است. کیانتاش^۶ و دراکوپ^۷ (۲۰۰۲)، با مقایسه کارآیی و ویژگی‌های چندین شاخص خشکسالی هواشناسی با در نظر گرفتن معیارهایی چون پایداری، قابلیت تعمیم و بدون بعد بودن روش دهک‌ها را در رتبه بالاتر از روش SPI قرار دادند. ترنکا^۸ و همکاران (۲۰۰۴)، با مطالعه بر روی منطقه‌ای در جنوب چک و شمال اتریش و استفاده از دو شاخص SPI و PDSI نتیجه گرفتند که به منظور پایش سریع خشکسالی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیمی بر شدت و مدت خشکسالی باید بیش از یک شاخص را استفاده نمود. گیدینگز^۹ و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از روش‌های آنالیز تصاویر استاندارد، یک سیستم منطقه بندی SPI را ارائه دادند و یک سری

⁶-Keyantash

⁷-Dracup

⁸-Trenka

⁹-Giddings

¹⁰-Angelidis

¹-Hayes

²-Wu

³- Standard Precipitation Index

⁴- China Z Index

⁵-Z Score Index

شاخص های پایش خشکسالی

شاخص بارش استاندارد

شاخص بارندگی استاندارد شده در سال ۱۹۹۳ برای اولین بار توسط مک کی^۲ و همکاران به منظور پایش خشکسالی ها در ایالت کلرادو آمریکا مورد استفاده قرار گرفت (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳).

مقادیر مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی به پایان می رسد که SPI مثبت گردد. بنابراین دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می شود (گیدینگز و همکاران، ۲۰۰۵).

اصولاً SPI برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس های زمانی منعکس کننده ی اثرات ویژه ی خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف می باشد. شرایط رطوبتی خاک نسبت به ناهنجاری های نسبتاً کوتاه مدت بارندگی واکنش نشان می دهد در حالی که آب های زیرزمینی، جریان آب رودخانه و ذخیره ی مخزن تحت تأثیر ناهنجاری های درازمدت بارندگی قرار می گیرند (صفدری، ۱۳۸۲).

تقسیم بندی شاخص SPI به صورت جدول (۱) می باشد.

جدول ۱- تقسیم بندی خشکسالی براساس شاخص SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
>۲	کاملاً مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
۰ تا ۰/۹۹-	خشکسالی ملایم
تا ۱/۴۹-	خشکسالی متوسط
۱/۹۹- تا ۱/۵-	خشکسالی شدید
>-۲	خشکسالی بسیار شدید

نتیجه این تحقیق این بود که پهنای باند نرمال در روش SPI بسیار بزرگ است و روش دهک ها نسبت به سایر روش ها به ویژه روش SPI کبرتری دارد. بنابراین پایش خشکسالی در سطح استان مازندران با استفاده از شاخص های خشکسالی از جمله شاخص بارش استاندارد (SPI)، درصد نرمال (PN)، شاخص Z چینی (CZI)، Z چینی اصلاح شده (MCZI)، عدد Z (ZSI) و دهک ها^۱ (DI) در مقیاس زمانی یکساله در ایستگاه های منتخب اهداف این تحقیق را رقم می زند.

مواد و روش ها

شاخص های خشکسالی معمولاً با استفاده از اطلاعات بارندگی، ارتفاع برف، رطوبت خاک و جریان آب رودخانه به منظور تبدیل شدن به یک نمونه بزرگ قابل فهم ساخته شده اند. به طور کلی شاخص های متعددی برای ارزیابی خشکسالی به کار برده می شوند که از آن جمله می توان شاخص درصد نرمال (PN)^۲، شاخص استاندارد بارش (SPI)، شاخص شدت خشکسالی پالمیر (PDSI)، شاخص رطوبت محصول (CMI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص خشکسالی احیایی (RDI) و روش دهک ها را برشمرد. شاخص های ارایه شده برای یک منطقه، قابل استفاده برای سایر نواحی نیستند و علت آن متغیر بودن شرایط هواشناسی مؤثر بر ایجاد پدیده خشکسالی از نقطه ای به نقطه دیگر است، غالباً برای مناطقی که دارای شرایط اقلیمی یکسانی هستند می توان از شاخص های خشکسالی یکسانی استفاده نمود.

در بیشتر موارد نه تنها یک شاخص، بلکه لازم است چندین شاخص به صورت هم زمان برای تعیین بهتر ویژگی های یک رویداد خشکی در یک منطقه خاص مورد استفاده قرار گیرد (قمرنیا و قاسمی صاحبی، ۱۳۸۶).

²- Percent of Normal

³-Mckee

¹-Decile Index

شاخص استاندارد شده بارش از تقسیم اختلاف بارندگی از متوسط آن بر انحراف معیار به دست می آید (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳).

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{\delta} \quad (1)$$

SPI: شاخص استاندارد شده بارش برای یک دوره معین

X_i : بارندگی هر ایستگاه

\bar{X} : متوسط بارندگی در همان ایستگاه

δ : انحراف معیار بارش ایستگاه

شاخص دهکها (DI)

این شاخص با مرتب کردن داده های بارندگی ماهانه در دهکها (ده درصد رویدادها) است. در این روش توزیع رویدادهای ثبت شده دراز مدت را در دسته های یک دهم از توزیع، تقسیم بندی می کند که هر یک از این قسمت ها یک دهک (Decile) نامیده می شود. دهک اول اندازه ای از بارش است که از ۱۰ درصد کوچکترین رویدادهای بارش تجاوز نمی کند. دومین دهک، اندازه بارشی است که از ۲۰ درصد کوچکترین رویدادهای پایین تجاوز نمی کند 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 دوره های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه می گردد. طبقه بندی شاخص دهکها به صورت جدول (۲) می باشد (گیس و ماهر، ۱۹۶۷).

جدول ۲- طبقه بندی دهکها

وضعیت	مقدار شاخص	مقدار درصد وقوع	شماره دهک
خشکسالی خیلی شدید	-۴	کمتر از ۱۰٪	۱
خشکسالی شدید	-۳	۱۰ تا ۲۰ درصد	۲
خشکسالی	-۲	۲۰ تا ۳۰ درصد	۳
تقریباً نرمال	-۱	۳۰ تا ۴۰ درصد	۴
نرمال	۰	۴۰ تا ۵۰ درصد	۵
نرمال	۰	۵۰ تا ۶۰ درصد	۶
کمی مرطوب	۱	۶۰ تا ۷۰ درصد	۷
مرطوب	۲	۷۰ تا ۸۰ درصد	۸
بسیار مرطوب	۳	۸۰ تا ۹۰ درصد	۹
فوق العاده مرطوب	۴	۹۰ تا ۱۰۰ درصد	۱۰

شاخص Z چینی

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون- هیلفرتی می باشد. با این فرض که داده ها از توزیع پیرسون نوع III تبعیت کند، CZI مطابق زیر برآورد می گردد (وو و همکاران، ۲۰۰۱):

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

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

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^3}{n \times \sigma_i^3} \quad (4)$$

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

$$\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (5)$$

همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده، x_{ij} بارندگی ماه j برای دوره i ، σ_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 (وو و همکاران، ۲۰۰۱).

برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه نیز استفاده شده است که آن را CZI اصلاح شده یا MCZI اطلاق می کنند.

شاخص نمره Z (ZSI)

رابطه $\varphi_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i}$ در معادلات مربوط به محاسبه CZI برای محاسبه ZSI قابل استفاده است. ZSI نیاز به تبدیل داده ها و برازش

توزیع هایی مانند گاما و یا پیرسون نوع سوم مطابق آنچه که در SPI و CZI انجام می گردد، ندارد و لذا، به نظر می رسد که این شاخص برای مقیاس های زمانی کوتاه مدت کارا نباشد.

طبقه بندی مقادیر شاخص های CZI، MCZI و ZSI همانند SPI می باشد.

شاخص درصد نرمال (PN)

درصد نرمال یکی از ساده ترین شاخص های بارندگی محسوب می شود که برای بیان اولیه این پدیده مفید می باشد. استفاده از این شاخص هنگامی که یک منطقه یا یک فصل به تنهایی مدنظر است، بسیار کارآمد می باشد. معمولاً میانگین سی ساله را برای محاسبه نرمال در نظر می گیرند. این شاخص برای مقیاس های زمانی مختلف قابل استفاده بوده که معمولاً یک تا چند ماه و یا کل سال، محدوده آن می باشد. در جدول (۳) طبقه بندی مقادیر درصد نرمال نشان داده شده است. برای محاسبه این شاخص از رابطه (۲) استفاده می شود (هایس، ۲۰۰۰).

$$PN = \left(\frac{P_i}{P} \right) \times 100 \quad (2)$$

که P_i بارندگی ماه یا دوره مورد نظر و P میانگین بارش طولانی مدت، طی این دوره می باشد.

جدول ۳- طبقه بندی درصد از نرمال

طبقات شاخص	وضعیت
بزرگتر از ۸۰ درصد	نرمال
۷۰ تا ۸۰ درصد	خشکسالی ضعیف
۵۵ تا ۷۰ درصد	خشکسالی متوسط
۴۰ تا ۵۵ درصد	خشکسالی شدید
کمتر از ۴۰ درصد	خشکسالی بسیار شدید

معرفی منطقه مورد مطالعه

متعلق به وزارت نیرو مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ۳۳ ایستگاه که دارای آمار مناسب و کامل بودند، انتخاب شدند. در جدول (۴) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده نشان داده شده است.

جهت دستیابی به اهداف تحقیق نیاز به آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی در کل استان بوده است. لذا تعداد ۱۵۰ ایستگاه باران‌سنجی

جدول ۴- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۱	خرم‌آباد تنکابن	۴۶	۵۴	۵۰
۲	دارابکلا	۳۳	۱۵	۱۰۷
۳	سفیدچاه	۳۶	۵۳	۱۰۴۰
۴	شیرگاه	۱۹	۵۳	۱۴۵
۵	کیاکلا	۳۵	۴۸	-۱۰
۶	لاریم	۴۱	۵۴	-۱۹
۷	خشکه‌داران تنکابن	۴۸	۵۲	-۲
۸	تالارسر	۵۱	۴۴	۷۹
۹	بابلسر	۲۷	۴۶	-۲۰
۱۰	قراخیل	۲۷	۴۶	۱۴,۷
۱۱	نوشهر	۳۹	۳۰	-۲۰,۹
۱۲	رامسر	۵۴	۴۰	-۲۰
۱۳	محوطه اداره بابل	۳۱	۴۰	۰
۱۴	درزیکلا	۴	۱۲	۱۳۰۰
۱۵	سنگده	۳	۱۳	۱۳۳۷
۱۶	محوطه اداره ساری	۳۲	۰	۱۷
۱۷	سلیمان تنگه	۱۵	۱۳	۴۰۰
۱۸	کردخیل	۴۲,۶	۶,۳	-۵
۱۹	ریگ چشمه	۲۱,۹	۱۰,۱	۴۲۰
۲۰	تلارم	۱۲	۱۵,۳	۹۳۰
۲۱	سودکلا	۵	۱۱	۱۲۵۰

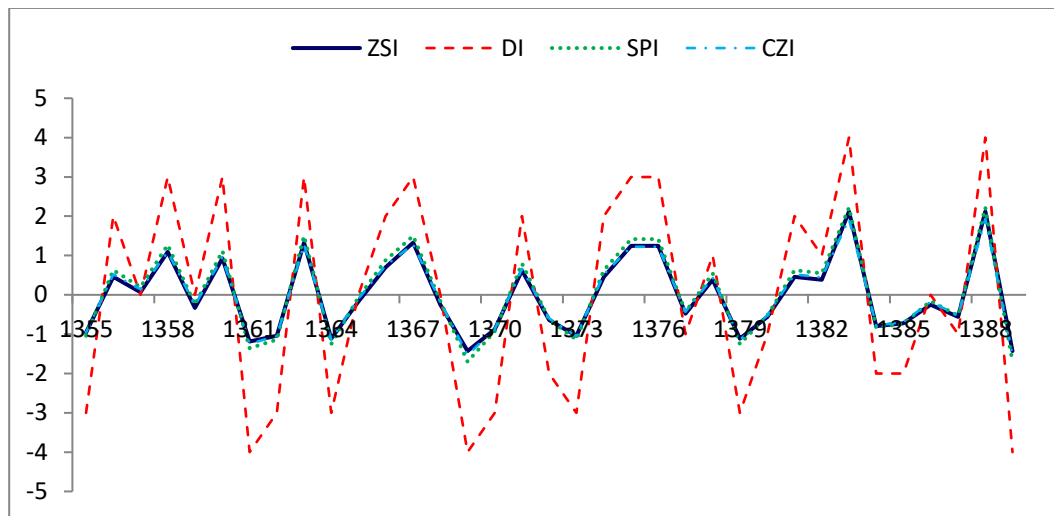
۱۵۰۰	۵۳	۱۳	۳۶	۵	ولیک چال	۲۲
۱۵۵۷	۵۳	۹	۳۶	۴	کله	۲۳
۱۰۲	۵۲	۴۶	۳۶	۱۸	قران تالار	۲۴
-۲۰	۵۲	۴۴	۳۶	۴۱	عرب خیل	۲۵
۲۰۰	۵۲	۳۷	۳۶	۱۸	گلوگاه - بندپی	۲۶
۳۰	۵۳	۵۶	۳۶	۴۴	جفاکنده - استون آباد	۲۷
۱۴۳۰	۵۴	۲,۷	۳۶	۳۸,۳	بارکلا	۲۸
۱۲۵۰	۵۳	۴۳,۴	۳۶	۳۷,۱	پجیم	۲۹
۶۶۰	۵۳	۳۵,۳	۳۵	۳۵,۱	گلورد	۳۰
۵۰	۵۳	۱۷,۷	۳۶	۳۸,۹	آبلو	۳۱
۲۰	۵۳	۳۲,۱	۳۶	۴۱,۴	بهشهر (محل اداره)	۳۲
-۱۹	۵۳	۱۴	۳۶	۴۸	نوذر آباد	۳۳

بازسازی شد و به منظور بررسی خشکسالی از شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PN)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص عدد Z (ZSI)، شاخص عدد Z چینی اصلاح شده و شاخص دهک ها (DI) در مقیاس زمانی یکساله استفاده گردید.

نتایج و بحث

با توجه به یکسان بودن طبقه بندی برای شاخص های SPI، ZSI و CZI، منحنی های رسم شده این سه شاخص برای تمام ایستگاه ها مطابقت خوبی با یکدیگر دارند. طبقه بندی شاخص DI اندکی با شاخص های ذکر شده متفاوت است به این دلیل، منحنی آن در بعضی نقاط با ۳ منحنی دیگر فاصله گرفته است، اما روندی مشابه آنها دارد. در شکل (۱)، ۴ منحنی رسم شده در یک دستگاه مختصات برای ایستگاه کردخیل به عنوان نمونه آورده شده است.

بعد از انتخاب ایستگاه، داده های مورد نیاز جمع آوری و سپس تجزیه و تحلیل آماری داده ها جهت نیل به هدف انجام گردید. به منظور بازسازی و تطویل آماری ایستگاه های ناقص از روش تفاضل ها و نسبت ها استفاده شد. آزمون همگنی داده ها با آزمون توالی مورد مطالعه انجام گردید. به عنوان مثال برای ایستگاه لاریم تعداد a برابر ۱۸، تعداد b برابر ۱۷ و تعداد دنباله u برابر ۱۸ بوده که در محدوده مجاز u (۱۰ تا ۲۳) قرار دارد، بنابراین سری داده های بارندگی ماهانه این ایستگاه، همگن می باشد. در نهایت، با توجه به بررسی و تجزیه و تحلیل داده های در دسترس و بازسازی و تطویل آمار، طول دوره آماری ۳۵ ساله ۱۳۸۹-۱۳۵۵ به عنوان دوره آماری تحقیق حاضر انتخاب گردید. به عنوان مثال ایستگاه تالارسر در دوره آماری منتخب، فاقد آمار در سال های ۸۶-۸۵ و ۸۷-۸۶ بوده که از روش تفاضل ها و نسبت ها آمار آن



شکل ۱- مقایسه شاخص‌های ZSI, DI, CZI, SPI با مقیاس یک‌ساله در ایستگاه کردخیل

برابر ۰/۹۱۷، DI - PN برابر ۰/۹۰۹ و برای MCZI با ۵ شاخص دیگر، ضریب تبیین کمتر از ۰/۰۵۷ به دست آمد. برای ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی، همبستگی خطی بین آنها و بارندگی سالانه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. که نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. بر اساس این جدول، بیشترین میانگین همبستگی به ترتیب متعلق به PN، ZSI، SPI، CZI، DI و MCZI با ضریب تبیین ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۹، ۰/۹۸۶، ۰/۹۴۲، ۰/۹۰۸، ۰/۰۵۷ می باشد.

برای مقایسه شاخص‌های خشکسالی با یکدیگر رگرسیون خطی به صورت دو به دو بین شاخص‌های محاسبه شده اعمال گردید که در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس آزمون همبستگی، معنی دار بودن این ضرایب به جزء MCZI در تمام ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۵ درصد تأیید شده است. بیشترین ضریب تبیین به ترتیب برای PN-ZSI برابر ۰/۹۹۱، SPI-PN برابر ۰/۹۸۷، SPI-ZSI برابر ۰/۹۷۸، SPI-CZI برابر ۰/۹۴۴، ZSI-CZI برابر ۰/۹۴۳، CZI-DI برابر ۰/۹۳۳، PN-CZI برابر ۰/۹۳۲، SPI-DI برابر ۰/۹۱۹، ZSI-DI برابر ۰/۹۱۷، DI-PN برابر ۰/۹۰۹ و برای MCZI با ۵ شاخص دیگر، ضریب تبیین کمتر از ۰/۰۵۷ به دست آمد.

جدول ۵- ضریب تبیین (R2) رگرسیون خطی بین شاخص های خشکسالی و بارش در ایستگاه ها

MCZ I	DI	ZSI	CZI	PN	SPI	ایستگاه
۰/۶۳۵	/۶۲۹ ۰	/۹۹۹ ۰	/۵۴۶ ۰	۰/۹۹۹	/۹۷۱ ۰	خرم آباد تنک ابن
۰/۰۱۴	/۹۶۵ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۶ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۰ ۰	دارابکلا
۰/۰۰۳	/۸۹۱ ۰	/۹۹۸ ۰	/۹۶۵ ۰	۰/۹۹۸	/۹۹۳ ۰	سفیدچاه
۰/۰۲۸	/۹۶۷ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۸ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۳ ۰	شیرگاه
۰/۱۳۲	/۹۳۹ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۵ ۰	۰/۹۹۹	/۹۷۵ ۰	کیاکلا
۰/۰۱۸	/۹۵۵ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۳ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۵ ۰	لاریم
۰/۴۶۱	/۷۸۲ ۰	/۹۹۹ ۰	/۶۲۶ ۰	۰/۹۹۹	/۹۸۰ ۰	خشکه داران
۰/۰۰۱	/۹۴۰ ۰	/۹۹۶ ۰	/۹۹۲ ۰	۰/۹۹۶	/۹۵۹ ۰	تالارسر
۰	/۹۴۲ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۸۹ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۳ ۰	بابلسر
۰/۰۰۱	/۹۵۷ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۱ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۵ ۰	قراخیل
۰/۰۰۱	/۹۷۰ ۰	/۹۹۹ ۰	/۹۹۹ ۰	۰/۹۹۹	/۹۹۶ ۰	نوشهر

•	/۹۳۳	/۹۹۹	/۹۸۹	۰/۹۹۹	/۹۹۴	رامسر
•	•	•	•	•	•	
•	/۹۵۸	/۹۹۹	/۹۹۸	۰/۹۹۹	/۹۹۲	اداره بابل
•	•	•	•	•	•	
•	/۹۴۰	/۹۹۸	/۹۸۶	۰/۹۹۸	/۹۹۴	درزیکلا
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۸	/۹۳۳	/۹۹۸	/۹۸۶	۰/۹۹۸	/۹۹۶	سنگده
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۲	/۹۴۲	/۹۹۹	/۹۸۵	۰/۹۹۹	/۹۹۲	اداره ساری
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۱۱	/۷۱۳	/۹۹۹	/۵۹۲	۰/۹۹۹	/۹۶۸	سلیمان تنگه
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۷	/۹۵۱	/۹۹۹	/۹۹۵	۰/۹۹۹	/۹۹۵	کردخیل
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۱	/۹۴۱	/۹۹۹	/۹۸۶	۰/۹۹۹	/۹۹۵	ریگ چشمه
•	•	•	•	•	•	
•	/۹۴۹	/۹۹۸	/۹۹۵	۰/۹۹۸	/۹۹۰	تلازم
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۳۵	/۹۷۱	/۹۹۹	/۹۹۸	۰/۹۹۹	/۹۹۱	سودکلا
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۸	/۹۲۳	/۹۹۹	/۹۶۰	۰/۹۹۹	/۹۸۵	ولیک چال
•	•	•	•	•	•	
۰/۰۰۷	/۹۶۵	/۹۹۸	/۹۹۸	۰/۹۹۸	/۹۹۲	کله
•	•	•	•	•	•	
۰/۱۱۴	/۹۳۹	/۹۹۹	/۹۹۴	۰/۹۹۹	/۹۹۷	قران تالار
•	•	•	•	•	•	

۰/۰۰۳	/۸۴۱	/۹۹۹	/۹۲۶	۰/۹۹۹	/۸۸۶	عرب خیل
	•	•	•		•	
۰/۰۶۲	/۹۴۴	/۹۹۹	/۹۹۹	۰/۹۹۹	/۹۹۵	گلوگاه
	•	•	•		•	
۰/۰۰۳	/۸۰۱	/۹۹۹	/۷۰۶	۰/۹۹۹	/۹۸۴	جفاکنده
	•	•	•		•	
۰/۰۰۹	/۹۷۷	/۹۹۸	/۹۹۸	۰/۹۹۸	/۹۹۶	بارکلا
	•	•	•		•	
۰/۲۶۲	/۸۷۷	/۹۹۹	/۹۴۳	۰/۹۹۹	/۹۹۱	پجیم
	•	•	•		•	
۰/۰۴۴	/۹۳۶	/۹۹۹	/۹۹۲	۰/۹۹۹	/۹۹۱	گلورد
	•	•	•		•	
•	/۹۴۱	/۹۹۹	/۹۸۷	۰/۹۹۹	/۹۹۰	آبلو
	•	•	•		•	
۰/۰۰۴	/۹۵۳	/۹۹۹	/۹۹۲	۰/۹۹۹	/۹۹۱	بهشهر
	•	•	•		•	
۰/۰۰۷	/۶۹۹	/۷۱۱	/۷۱۵	۰/۹۹۹	/۹۹۲	نوذرآباد
	•	•	•		•	
۰/۰۵۷	/۹۰۸	۰/۹۹	/۹۴۲	۰/۹۹۸	/۹۸۶	میانگین
	•		•		•	
۰/۱۴	/۰۸۶	۰/۰۵	۰/۱۲	/۰۰۰۶	۰/۰۲	انحراف معیار
	•			•		

نتیجه گیری

منحنی‌های به دست آمده برای شاخص های SPI، ZSI و CZI در مقیاس زمانی یک ساله تمام ایستگاه‌ها نشان داد که

هر سه شاخص، نتایج یکسانی را به همراه داشته است که با نتیجه تحقیقات وو و همکاران (۲۰۰۱) و کریمی و همکاران (۱۳۸۹) همخوانی دارد. این بدان معنی است که موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای ایستگاه‌ها تاثیری بر این شاخص‌ها نداشته و به عبارتی نشان دهنده مستقل بودن شاخص‌ها از طول و عرض جغرافیایی و کوهستانی یا جلگه‌ای بودن ایستگاه‌ها در استان مازندران دارد.

همبستگی خطی بالایی بین شاخص‌های SPI، ZSI، PN، CZI و DI به صورت دو به دو در تمامی ایستگاه‌ها مشاهده شد لیکن همبستگی بین شاخص MCZI با شاخص‌های دیگر بسیار پایین و در حد صفر بوده است که دلیل آن را می‌توان استفاده از میانه سری داده‌ها در روش شاخص MCZI دانست در حالی که در بقیه روش‌ها، میانگین داده‌ها در محاسبات به کار برده می‌شود.

منابع

شاخص‌های SPI، ZSI، PN و با داشتن بیشترین میانگین همبستگی و کمترین انحراف معیار نسبت به دیگر شاخص‌ها نتایج برتری را ارائه نمودند و در مقابل MCZI با دارا بودن کمترین همبستگی نتایج ضعیفی را نسبت به دیگر شاخص‌ها نشان داده است.

برای ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی، همبستگی خطی بین آنها و بارندگی سالانه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین میانگین همبستگی به ترتیب متعلق به PN، ZSI، SPI، CZI، DI و MCZI با ضریب تبیین ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۹، ۰/۹۸۶، ۰/۹۴۲، ۰/۹۰۸، ۰/۰۵۷ می‌باشد. که حاکی از این می‌باشد که به غیر از شاخص MCZI میزان بارندگی سالانه اصلی‌ترین عامل در تعیین شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی استان مازندران شاخص‌های PN، ZSI، SPI در اولویت هستند.

۱- اسلامی، ع.، و شکوهی، ع. ۱۳۹۱. مقایسه کارایی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق شبه مدیترانه‌ای (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز مازندران). سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، شهریور ماه. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۰ ص.

۲- بانژاد، ح.، زارع ابیانه، ح. نظری‌فر، م. سبزی‌پرور، ع.ا. ۱۳۸۵. بکارگیری شاخص استاندارد بارش با روش زمین-آماری در تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی استان همدان. پژوهش‌های آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۶، شماره ۲، صفحه ۶۱-۷۲.

۳- بنی‌مهد، ا.، و خلیلی، د. ۱۳۹۱. بررسی رفتار و تعیین مرتبه وابستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی RDI، SPI و

SPEI در ایستگاه‌های منتخب کشور ایران با بکارگیری زنجیره مارکوف. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، شهریور ماه. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۲ ص.

۴- زراعی، آ.، سلیمانی، ک. گهرنژاد، ع. و آریان، ج. ۱۳۹۱. بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه رودخانه نازلوچای (مطالعه موردی: آذربایجان غربی). سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، شهریور ماه. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۶ ص.

11-Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B.M. Maarouf, A. 2005. Standardized precipitation index zones for Mexico. *Atmosfera*. 33-56.

12-Hayes, M. J. 2000. What is Drought? National Drought Mitigation Center. URL: <http://www.Drought.unl.edu>.

13-Keyantash J., Dracup, J.A. 2002. The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, P. 1167-1180, <http://journals.Ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-447-83.8.1149>.

14-Mcke, B., Nolan, T. Doesken, J. and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Timescales. 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. pp 179-184.

15-Trenka, M., Semerádova, D. Eitzinger, J. Dubrovsky, M. Wilhite, D. Svoboda, M. Hayes, M. and Zalud, Z. 2004. Selected Methods of Drought Evaluation in 15-15-South Moravia and Northern Austria. National Drought Mitigation Center.

16-Wu, H., Hayes, M. Weiss, A. and Hu, Q. 2001. An Evaluation of the standardized precipitation index, the china-index and the statistical score. *International Journal of Climatology*. 21:745-758.

۵-صفدری، ع. ا. ۱۳۸۲. تحلیل شدت، تداوم، فروانی و گستره خشکسالی به کمک داده‌های بارندگی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کارون). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۶-قمرنیا، ه. و قاسمی صاحبی، ف. ۱۳۸۶. بررسی و روند آن در استان کرمانشاه. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر کرمان، بهمن ماه.

۷-کریمی، و. و حبیب‌نژاد، م. و آبکار، ع. ج. ۱۳۸۹. بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران. ۱۵ ص.

۸-مرید، س.، مقدسی، م. پایمزد، ش. و قائمی، ه. ۱۳۸۳. طرح تحقیقاتی طراحی سیستم پایش خشکسالی در استان تهران. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۵۳ ص.

9-Angelidis, P., Fotios, M. Nikos, K. Vlassios, H. 2012. Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions, *Water Resources Management*, DOI 10.1007/s11269-012-0026-0.

10-Byun, H.R., Wilhite, D.A. 1999. Objective Quantification of Drought Severity and Duration, *J. Climate*, Vol. (12): 2747-2756.