



ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص

مسعود گودرزی*، سپیده چوبه^۲

۱- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، پست الکترونیک (m.goodarzi@areeo.ac.ir / mgoodarzi@scwmri.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد

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. خشکسالی نشانه روشنی از نوسانات اقلیمی است. بررسی علمی پدیده خشکسالی به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مقابله با مشکلات ناشی از کمبود آب ضروری می‌باشد. در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشکسالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت، ولی امروزه برای بیان کمی پدیده خشکسالی، ارزیابی و پایش آن، از شاخص‌های مختلف استفاده می‌شود. به منظور پایش و مدیریت خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص‌های مربوطه، ۱۹ ایستگاه هواشناسی متعلق به وزارت نیرو در سطح استان اردبیل انتخاب گردید. در ادامه وقایع خشکسالی با استفاده از: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PN)، شاخص دهک (DI)، شاخص Z چینی (CZI)، شاخص Z چینی اصلاح شده (MCZI) و شاخص عدد Z (ZSI) تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های درصد نرمال و دهکها در تمام ایستگاه‌ها روند مشابهی دارند و همچنین منحنی‌های مربوط به شاخص‌های ZSI، SPI 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. شاخص‌های SPI، ZSI و 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 داده است. بیشترین میانگین همبستگی بین مقادیر بارندگی سالانه و هر یک از شاخص‌ها به ترتیب متعلق به ZSI، PN، SPI، CZI، DI و MCZI با ضریب تبیین ۰/۹۹، ۰/۹۷، ۰/۹۵، ۰/۹۱ و ۰/۱۱ می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی استان اردبیل شاخص‌های SPI، ZSI، PN شرایط تقریباً یکسانی داشته و بر سایر شاخص‌ها ارجحیت دارند. استفاده از این روش، برای تهیه نقشه‌های هم مدت و هم شدت خشکسالی (پهنه‌بندی خشکسالی)، به منظور تعیین مناطق مستعد خشکسالی و همچنین پیش بینی وضعیت آینده توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی، خشکسالی هواشناسی، شاخص‌های خشکسالی، بارندگی ماهانه.

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای است که به صورت مکرر و تقریباً در هر نوع آب و هوایی به وقوع می‌پیوندد. قرارگرفتن بر روی کمربند خشک جهان و ایجاد شرایط خاص سینوپتیکی، همواره سبب وقوع پدیده خشکسالی در کشور ایران گردیده است [۵]. خشکسالی‌های بازگشت کننده باروری سرزمین‌ها را تهدید کرده و آنها را متمایل می‌سازد تا برای تخریب سریع و پس از آن، بیابان‌زایی آسیب‌پذیر و مستعد شوند [۱۸]. نوسانات آب و هوایی که باعث بیابان‌زایی می‌شود، بیشتر به کاهش میزان بارندگی، رطوبت، افزایش دما به ویژه در تابستان، افزایش میزان خشکی، تبخیر و تعرق، وزش بادهای گرم و سوزان و کاهش پوشش گیاهی ارتباط می‌یابند [۵]. 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.

پژوهش‌های انجام شده توسط پالمر از جمله نخستین پژوهش‌ها در زمینه خشکسالی می‌باشد. طبق تعریف پالمر، 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 [۱۵]. هایس (۲۰۰۰)، شاخص PN را مورد بررسی و ارزیابی قرار داد و مهمترین حسن این روش را محاسبات بسیار ساده و مناسب برای آگاهی عموم از وضعیت خشکسالی در مقیاس محلی و فصلی برشمرد. از جمله این‌که به سادگی می‌تواند تفسیر غلطی به‌همراه داشته باشد [۱۲]. وو و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، به ارزیابی شاخص‌های بارش استاندارد شده Z شاخص چینی Z و شاخص نمره Z 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 [۱۹].

گیدینگز و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از روش‌های آنالیز تصاویر استاندارد، یک سیستم منطقه بندی SPI را ارائه دادند و یک سری 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 [۱۱].

آنجلیدیس 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 [۹].

جعفری‌زاده و همکاران (۲۰۱۲)، با استفاده از داده‌های بارش ۳۳ ایستگاه سینوپتیک و بارانسنجی کرمانشاه و با استفاده از شاخص SPI وضعیت منطقه را از نظر وقوع پدیده خشکسالی بررسی و با کمک روش زمین‌آماری کریجینگ و در محیط GIS نقشه‌های پهنه‌بندی را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ ترسیم نمودند. نتایج نشان داد که آثار خشکسالی با طولانی شدن دوره و تداوم آن مشهودتر بوده و شدت و گسترش مکانی خشکسالی در اثر تأثیر خشکسالی‌های ماه‌ها و سال‌های قبل با افزایش مقیاس زمانی افزایش می‌یابد [۸].

زراعی و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیق خود به منظور بررسی اثر خشکسالی بر جریان‌های آبی منطقه، در طی دوره آماری ۲۵ ساله (۱۳۸۵-۱۳۶۰) 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 [۶].

2- Standard Precipitation Index

3 - Chinese Z Index

4- Z Score Index

بنی‌مهد و خلیلی (۲۰۱۲)، 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 [۳].

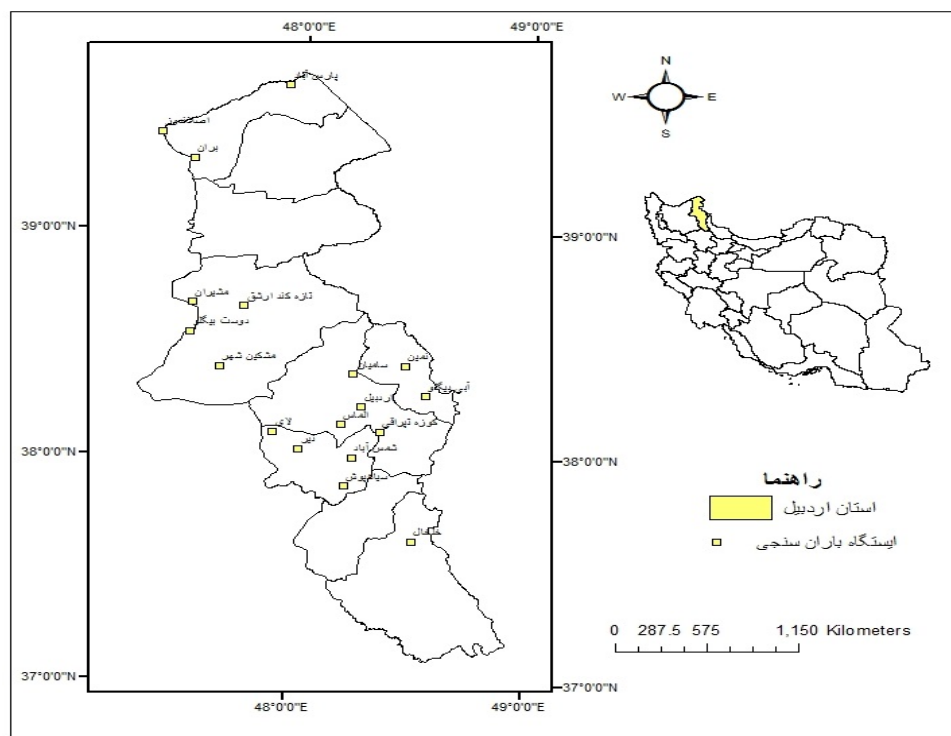
سلطانی و موسوی‌راد (۲۰۱۲)، در تحقیق خود به پایش خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و RDI توسط نرم‌افزار DrinC و مقایسه این دو شاخص پرداختند و سپس با استفاده از نتایج به دست آمده از دو شاخص مذکور، احتمالات انتقال از یک وضعیت آب و هوایی به وضعیت دیگر، مبتنی بر فرضیه زنجیره مارکف به صورت ماتریسی برای هر کدام از ایستگاه‌ها را بررسی نمودند [۵].

در تحقیق اسلامی و شکوهی (۲۰۱۲)، مشخص شد که شاخص‌های ZSI، CZI و MCZI کارایی مشابه یکدیگر و نتایجی نزدیک به روش SPI دارند. مهم‌ترین نتیجه این تحقیق این بود که پهنای باند نرمال در روش SPI بسیار بزرگ است و روش دهک‌ها نسبت به سایر روش‌ها به‌ویژه روش SPI برتری دارد [۱]. 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 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. بنابراین پایش خشکسالی در سطح استان مازندران با استفاده از شاخص‌های خشکسالی از جمله شاخص بارش استاندارد (SPI)، درصد نرمال (PN)، شاخص Z چینی (CZI)، Z چینی اصلاح‌شده (MCZI)، عدد Z (ZSI) و دهک‌ها (DI₅) در مقیاس زمانی یکساله در ایستگاه‌های منتخب اهداف این تحقیق را رقم می‌زند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غربی کشور در منطقه آذربایجان واقع شده است. مساحت این استان ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد. طبق آخرین تقسیمات کشوری، شامل ۱۰ شهرستان، ۲۵ بخش، ۲۱ شهر و ۶۶ دهستان می‌شود. این استان استان از شمال به جمهوری آذربایجان، از سمت غرب به استان آذربایجان شرقی، از سمت شرق به استان گیلان کوه‌های تالش و از سمت جنوب به استان زنجان محدود شده است. سه جریان آب و هوایی با ویژگی‌های متفاوت، اقلیم و آب و هوای استان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. «جریان مدیترانه‌ای» با ماهیت معتدل و بحری که بیشتر بخارهای خود را در کوهستان‌های ترکیه و زاگرس و آذربایجان غربی از دست می‌دهد، از غرب، استان اردبیل را متأثر می‌کند. این جریان، منشاء مهم و اصلی بارش‌های جوی ایران است و ورود آن به منطقه، با تعدیل درجه حرارت و رطوبت هوا همراه است. «جریان هوایی سیبری آسیای مرکزی» که ماهیتی برّی و سرد دارد، و پس از عبور از دریای خزر و جذب بخار آن، استان اردبیل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جریان هوایی سیبری در تابستان باعث کاهش شدید گرما و خنک شدن هوا می‌شود. سومین جریان هوایی، «جریان اطلس شمالی یا اسکاندیناوی» است که دارای ماهیتی سرد است. چهارمین عامل مؤثر در اقلیم (آب و هوا) استان، وجود دریای خزر در شرق آن است که غیر از برخورد کردن منطقه از بخارهای خود، در مناطق نزدیک و ساحلی نیز عامل تعدیل درجه حرارت است. با وجود تنوع اقلیمی در استان، «سرد» بودن (بر اثر ارتفاع، جریان‌های هوایی سرد و عرض جغرافیایی) ویژگی مشترک اقلیم گوناگون آن‌جا است. حتی در قسمت شمالی استان که به دلیل پست بودن منطقه دارای اقلیم معتدل است، به طور متوسط در ۵۰ روز سال یخبندان است.



شکل ۱- موقعیت استان اردبیل

در این تحقیق داده های بارندگی ۱۹ ایستگاه باران سنجی واقع در سطح استان که دارای داده های کافی بودند مورد استفاده قرار گرفت. دوره آماری مشترک ایستگاهها از سال ۶۶-۶۵ تا سال ۹۱-۹۲ بوده است. پس از مرتب کردن دادهها تطویل داده های آماری درستی و صحت این دادهها با آزمون توالی مورد ارزیابی قرار گرفتند. وقایع خشکسالی با استفاده از نمایه‌های: شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد نرمال (PN)، شاخص دهکها (DI)، شاخص Zچینی، شاخص Zچینی اصلاح شده، شاخص عدد Z (ZSI) تعیین شد. برای محاسبه تمام شاخصها از نرم افزار DIP در مقیاس یک ساله استفاده شد.

شاخص‌های پایش خشکسالی

شاخص بارش استاندارد

شاخص SPI در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و همکارانش ارائه شد. این شاخص بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می آید و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می باشد. این شاخص را می توان در مقیاس های زمانی ۳-۶-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد [۱۰]. این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است و به تحلیل گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی نماید [۱۴]. از آنجا که این شاخص بی بعد می‌باشد، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را با هم مقایسه و نقشه‌های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید نمود. محاسبه SPI شامل برازش تابع توزیع احتمال گاما به توزیع فراوانی مقادیر بارندگی یک ایستگاه می‌باشد، سپس پارامترهای مربوط به این تابع برای هر مقیاس زمانی دلخواه برآورد میگردد. درنهایت تابع توزیع تجمعی مربوطه محاسبه و به یک تابع توزیع تجمعی نرمال جهت محاسبه SPI تبدیل میگردد. در جدول ۱ مقادیر SPI نشان داده شده است [۱۶].

جدول ۱- تقسیم‌بندی 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
-۱/۴۹ تا ۰	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی شدید
> -۲	خشکسالی بسیار شدید

شاخص استاندارد شده بارش از تقسیم اختلاف بارندگی از متوسط آن بر انحراف معیار به دست می آید.

$$SPI = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta} \quad (1)$$

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 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 نمیکنند 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.

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 [۱۸]. ZSI نیاز به تبدیل داده‌ها و برازش توزیع‌هایی مانند گاما و یا پیرسون نوع سوم مطابق آنچه که در SPI و CZI انجام می‌گردد، ندارد و لذا، به نظر می‌رسد که این شاخص برای مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت کارا نباشد.

طبقه‌بندی مقادیر شاخص‌های CZI، MCZI و ZSI همانند SPI می‌باشد. به این ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا برای هر شرایط آب و هوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف براساس طبقه‌بندی خاصی که برای آن تعریف شده (جدول ۴) محاسبه و با هم مقایسه نماید [۸].

جدول ۲- طبقه بندی دهک‌ها

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

شاخص درصد نرمال (PN)

درصد نرمال یکی از ساده‌ترین شاخص‌های بارندگی محسوب می‌شود که برای بیان اولیه این پدیده مفید می‌باشد. استفاده از این شاخص هنگامی که یک منطقه یا یک فصل به تنهایی مدنظر است، بسیار کارآمد می‌باشد. معمولاً میانگین سی ساله را برای محاسبه نرمال در نظر می‌گیرند. این شاخص برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل استفاده بوده که معمولاً یک تا چند ماه و یا کل سال، محدود آن می‌باشد. در جدول ۳ طبقه‌بندی مقادیر درصد نرمال نشان داده شده است. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۲ استفاده می‌شود [۱۲].

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

که P_i بارندگی ماه یا دوره موردنظر و P میانگین بارش طولانی‌مدت، طی این دوره می‌باشد.

جدول ۳- طبقه‌بندی درصد از نرمال

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

شاخص Z چینی

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون- هیلفرتی می‌باشد [۱۳]. با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع III تبعیت کند، CZI مطابق زیر برآورد می‌گردد:

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

که در آن Z_{ij} شاخص CZI است، i مقیاس زمانی موردنظر که می‌تواند ۱، ۲، ... تا ۷۲ ماه و ۷ ماه جاری می‌باشد. همچنین:

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

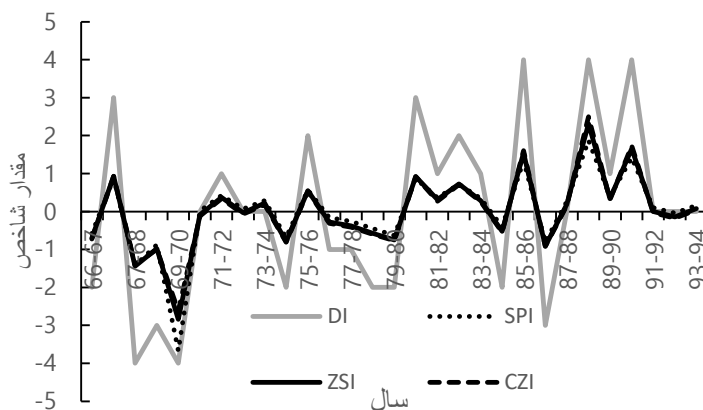
که در آن C_{si} ضریب چولگی و n تعداد کل ماه‌های دوره آماری می‌باشد.

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

همچنین φ_{ij} متغیر استاندارد شده، x_{ij} بارندگی ماه i برای دوره i ، \bar{x}_i و σ_i به ترتیب میانگین و انحراف معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی می‌باشد. برای طبقه‌بندی این شاخص از همان طبقه‌بندی SPI استفاده می‌شود [۱۹]. برای محاسبه CZI به جای میانگین از میانه نیز استفاده شده است که آنرا CZI اصلاح شده یا MCZI اطلاق می‌کنند.

یافته‌ها

با بررسی بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه شاخص‌های خشکسالی محاسبه شدند. با توجه به یکسان بودن طبقه‌بندی برای شاخص‌های ZSI ، SPI و CZI ، منحنی‌های رسم شده این سه شاخص برای تمام ایستگاه‌ها مطابقت خوبی با یکدیگر دارند. طبقه‌بندی شاخص DI اندکی با شاخص‌های 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 ۲، ۴ منحنی رسم شده در یک دستگاه مختصات برای ایستگاه پل الماس به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۲- مقایسه شاخص‌های ZSI ، DI ، CZI ، SPI با مقیاس یک‌ساله در ایستگاه پل الماس

برای مقایسه شاخص‌های خشکسالی با یکدیگر رگرسیون خطی به صورت دو به دو بین شاخص‌های محاسبه شده اعمال گردید که در جدول ۴ ارائه شده است. براساس آزمون همبستگی، معنی‌دار بودن این ضرایب به جزء $MCZI$ در تمام ایستگاه‌ها در سطح اعتماد ۵ درصد تأیید شده است. همبستگی خطی بالایی بین شاخص‌های SPI ، DI ، PN ، ZSI و CZI بصورت دو به دو در همه ایستگاه‌ها مشاهده شده ولی همبستگی شاخص $MCZI$ با پنج شاخص دیگر در مقیاس زمانی یک ساله پایین است. همبستگی R^2 نزدیک به یک داشته در حالی که شاخص $MCZI$ ، مقداری



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آب‌خیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



نزدیک به صفر را نشان می‌دهد. بیشترین ضریب تبیین به ترتیب برای PN-ZSI برابر ۱، SPI-PN و SPI-ZSI برابر ۰/۹۸، SPI-CZI برابر ۰/۹۶، CZI-ZSI برابر ۰/۹۵، CZI-DI برابر ۰/۹۴، PN-CZI برابر ۰/۹۵، SPI-DI برابر ۰/۹۱، ZSI-DI برابر ۰/۹۱، PN-DI برابر ۰/۹۱ و برای MCZI با ۵ شاخص دیگر، ضریب تبیین کمتر از ۰/۰۵ 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، ۰/۹۹، ۰/۹۸۶، ۰/۹۴۲، ۰/۹۰۸، ۰/۰۵۷ می باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

منحنی‌های به دست آمده برای شاخص‌های 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)، 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 را برای همه مقیاس‌های زمانی به همراه داشته است. بنابراین، با یافته‌های تحقیق حاضر مطابقت دارد. مقایسه نتایج مطالعه کریمی و همکاران (۲۰۱۱) و تحقیق حاضر نشان از همخوانی نتایج بدست آمده دارد.

همبستگی خطی بالایی بین شاخص‌های PN، ZSI، SPI، 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. شاخص‌های SPI و 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 داده است.

برای ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی، همبستگی خطی بین آنها و بارندگی سالانه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین میانگین به ترتیب متعلق به ZSI، PN، SPI، CZI، DI و MCZI با ضریب تبیین ۱، ۰/۹۹، ۰/۹۷، ۰/۹۵، ۰/۹۱ و ۰/۱۱ می باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که برای مطالعه و بررسی وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی استان مازندران شاخص‌های SPI، ZSI، PN در اولویت هستند.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری

با محوریت گرد و غبار

تهران - پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



جدول ۴- ضریب تبیین (R2) رگرسیون خطی بین شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

MCZI-CZI	ZSI-CZI	ZSI-MCZI	SPI-CZI	SPI-MCZI	SPI-ZSI	PN-CZI	PN-MCZI	PN-ZSI	PN-SPI	DI-CZI	DI-MCZI	DI-ZSI	DI-PN	DI-SPI	ایستگاه
۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۳	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۴	اردبیل
۰/۰۰۸	۰/۹۹	۰/۰۰۸	۰/۹۸	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۰۸	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۰۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۴	لای چای
۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۹۳	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۰۳	۱	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۰	پل الماس
۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۲	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۰۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۰۷	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	نیرچای
۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۰۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۴	آبیاری مشکین
۰/۰۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۰۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۱	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۳	اصلاندوز
۰/۱۰	۰/۵۴	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۹۷	۰/۵۴	۰/۷۰	۱	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۱۳	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۷۸	سامیان
۰/۱۷	۰/۸۶	۰/۴۱	۰/۹۶	۰/۲۷	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۴۱	۱	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۱۳	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۱	ملاحمد
۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۹۵	۰/۰۲	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۰۲	۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۱	نئور
۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۹۷	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۲	۱	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۰۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۱	نمین چای
۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۶	۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	دوست بیگلو
۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۷	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۰۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	گیلانده
۰/۰۰۸	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۰۰۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۰۰۷	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵	کوزه توپراقی
۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۰۲	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۶	مشیران
۰/۱۵	۰/۹۹	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱۷	۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۹	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۷	بوران
۰/۲۲	۰/۹۷	۰/۳۴	۰/۹۹	۰/۲۴	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۳۴	۱	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۱۱	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۹	شمس آباد
۰/۰۰۰۴	۰/۹۹	۰/۰۰۰۳	۰/۹۷	۰/۰۰۰۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۰۰۰۳	۱	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۰۰۰۸	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۷	سیاهپوش
۰/۰۰۸	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰/۰۰۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۷	۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۰۰۷	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵	آبی بیگلو
۰/۰۳	۰/۹۴	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۰۲	۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۹۲	تازه کند
۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۱۵	۰/۹۶	۰/۰۸	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۱۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۰۵	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	میانگین
۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۸	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	انحراف معیار

جدول ۵- ضریب تبیین (R2) بین شاخص‌های خشکسالی و بارش در ایستگاه‌ها

ایستگاه	DI	PN	SPI	ZSI	MCZI	CZI
اردبیل	۰/۹۲	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۳	۰/۹۸
لای چای	۰/۹۶	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۰۸	۰/۹۹
پل الماس	۰/۹۰	۱	۰/۹۵	۱	۰/۰۳	۰/۹۹
نیرچای	۰/۹۶	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۰۱	۰/۹۹
آبیاری مشکین	۰/۹۳	۱	۰/۹۸	۱	۰/۰۱	۰/۹۹
اصلاندوز	۰/۸۹	۱	۰/۹۹	۱	۰/۱	۰/۹۶
سامیان	۰/۶۴	۱	۰/۹۷	۱	۰/۷۰	۰/۵۴
ملاحمد	۰/۸۷	۱	۰/۹۶	۱	۰/۴۱	۰/۸۶
نئور	۰/۹۷	۱	۰/۹۷	۱	۰/۰۲	۱
نمین چای	۰/۹۴	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۲	۰/۹۹
دوست بیگلو	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۰۶	۰/۹۸
گیلانده	۰/۹۷	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۷	۰/۹۹
کوزه توپراقی	۰/۹۴	۱	۰/۹۸	۱	۰/۰۰۷	۰/۹۹
مشیران	۰/۹۵	۱	۰/۹۹	۱	۰/۰۳	۱
بوران	۰/۹۶	۰/۹۹	۱	۱	۰/۱۷	۰/۹۹
شمس آباد	۰/۸۸	۱	۰/۹۷	۱	۰/۳۴	۰/۹۶
سیاهپوش	۰/۹۴	۱	۰/۹۷	۱	۰/۰۰۰۳	۰/۹۹
آبی بیگلو	۰/۹۴	۱	۰/۹۸	۱	۰/۰۲	۰/۹۹
تازه کند	۰/۸۳	۱	۰/۹۸	۱	۰/۰۲	۰/۹۴
میانگین	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۱	۰/۱۱	۰/۹۵
انحراف معیار	۰/۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۴	۰/۱۸	۰/۱۰

منابع

- اسلامی، علیرضا، شکوهی، علیرضا، ۱۳۹۱، مقایسه کارایی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در مناطق شبه مدیترانه ای (مطالعه موردی: حوزه های آبخیز مازندران)، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- انصافی مقدم، طاهره، ۱۳۸۶، ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوزه دریاچه نمک، نشریه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲۷، ص. ۲۷۱-۲۸۸.
- بنی مهد، سید ادیب، خلیلی، داور، ۱۳۹۱، بررسی رفتار و تعیین مرتبه وابستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی RDI، SPI و SPEI در ایستگاههای منتخب کشور ایران با بکارگیری زنجیره مارکف، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۱۸ و ۱۹ آذر ماه ۱۳۹۹



۴. جعفری زاده، مریم، میری، الهام، فولادی، زهرا، قمرنیا، هوشنگ، ۱۳۹۱، استفاده از شاخص SPI و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پایش و پهنه بندی خشکسالی و تاثیر مقیاس زمانی در شدت آن، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
۵. سلطانی، جابر، موسوی راد، سیده آسیه، ۱۳۹۱، پایش و پیش بینی خشکسالی با استفاده از شاخص های خشکسالی و تلفیق آن با زنجیره مارکف، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
۶. زارعی، آذین، سلیمانی، کریم، گهرنژاد، علی، آریان، جمال، ۱۳۹۱، بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه رودخانه نازلو چای (مطالعه موردی: آذربایجان غربی)، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
۷. کریمی، ولی الله، حبیب نژاد روشن، محمود، آبکار، علی جان، ۱۳۹۰، بررسی شاخص های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۵، ص. ۲۵-۱۵.
۸. مقدسی، مهنوش، مرید، سعید، قائمی، هوشنگ و سامانی جمال، محمد ولی، ۱۳۸۴، پایش روزانه خشکسالی در استان تهران، مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۱، ص. ۶۲-۵۱.

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. Bonaccorso. B., I. Bordi., A. Cancelliere., G. Rossi. and A. Sutera. 2003, Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. Water Resources Management, 17:273-296.
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. Kendall, M.G. and Sturat, A. 1997. The advanced theory of statistics. Charles Griffin & Company: London, High Wycombe. 400-401.
14. Mckee, B., Nolan, Doesken, T. 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. Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. USWB, Res. Paper No.45.
16. Thomas B. McKee, Nolan J. Doesken and John Kleist. 1993. THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES. Eighth Conference on Applied Climatology. California. 1-4
17. Trnka, M., Semerádova, D. Eitzinger, J. Dubrovsky, M. Wilhite, D. Svoboda, M. Hayes, M. and Zalud, Z. 2004. Selected Methods of Drought Evaluation in South Moravia and Northern Austria. National Drought Mitigation Center.
18. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1997, "Climate Drought and Desertification", Geneva, Switzerland, No: 869, Page:5.