بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین

دریافت مقاله:۹۱/۶/۱۱ پذیرش نهایی: ۹۱/۹/۲۶
صفحات:۱۶۲-۱۴۱

محمدحسین ناصرزاده: استادیار گروه آب و هواشناسی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی تهران[۱]
Email:nasserzadeh2004@yahoo.com
اسماعیل احمدی: کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی
Email:ahmadi.st88@gmail.com

چکیده

خشکسالی یکی از پدیده های محیطی است که سالانه موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می گردد. در این مطالعه به بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی برای ارزیابی شدت خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین پرداخته شد. شاخص های مورد استفاده شامل؛ شاخص Z چینی، شاخص Z چینی اصلاح شده، شاخص بارندگی استاندارد شده، شاخص عدد Z و شاخص دهک ها می باشد. پس از جمع آوری داده های بارش ایستگاه های موجود در منطقه مورد مطالعه، مقادیر شدت خشکسالی با استفاده از شاخص های مورد نظر در مقیاس زمانی سالانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص های بارندگی استاندارد شده و شاخص دهک ها را می توان در جایگاه نخست و شاخص عدد Z در رتبه دوم و شاخص های Z چینی و شاخص Z چینی اصلاح شده به ترتیب در رتبه های سوم و چهارم به لحاظ شناسایی خشکسالی های شدید قرار می گیرند. مشابهت عملکرد شاخص عدد Z به شاخص بارندگی استاندارد شده در نشان دادن خشکسالی های شدید از دیگر نتایج به دست آمده می باشد. همچنین شاخص شاخص دهک ها با توجه به عملکرد مناسب درمشخص کردن خشکسالی های شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی های شدید می باشد.

کلید واژگان: خشکسالی هواشناسی، شدت خشکسالی، مقیاس سالانه، پهنه بندی خشکسالی، استان قزوین

---

[۱].نویسنده مسئول: تهران، خیابان شهید مفتح، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه آب و هواشناسی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده های محیطی است که سالانه موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می گردد. خشکسالی را می توان معلول یک دوره خشک غیر عادی دانست که به اندازه کافی تدوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد گردد(Morid et al., 2007). تمایز این پدیده با سایر مخاطرات طبیعی در این است که بر خلاف سایر مخاطرات طبیعی این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتا طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تاخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر گردد، بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی می باشد تا حدودی آن را یک پدیده و بلیه خزنده می دانند و از سویی چون خشکسالی بر خلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می گردد، کمک رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده ها مثل سیل پیچیده تر و مشکل تر می باشد(طالبی و موسوی، ۱۳۸۹).

یکی از قدم های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی و ترسالی در هر منطقه تعیین شاخص هایی است که بتوان براساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی را ارزیابی کرد. بیشتر مطالعات صورت گرفته پیرامون خشکسالی ها را می توان به دو دسته تفکیک کرد. دسته اول تحقیقاتی است که به کمک آزمون های مختلف (من- کندال، فیشر و ...) روند دوره های تر و خشک نوسانات زمانی و مکانی عناصر اقلیمی را بررسی کرده و به نتایجی در رابطه با وجود و یا فقدان تغییرات اقلیمی و نوسانات دما و بارش در نقاط مختلف جهان دست یافته اند. و استفاده از شاخص های مختلف از جمله شاخص SPI[1]، شاخص درصد ریسک خشکسالی شاخص نمرهZ و غیره در این تحقیقات مورد توجه قرار گرفته است. دسته دوم تحقیقاتی را در بر می گیرد که با استفاده از مدل سازی و روش های پیچیده تر ریاضی و آماری از قبیل مدل های SARIMA[2]، Canonical Correlation Models، زنجیره مارکوف و مدل رگرسیونی، علاوه بر تحلیل ترسالی ها و خشکسالی ها گامی فراتر نهاده و به پیش بینی فاکتورهای اقلیمی مرتبط با ابعاد مختلف خشکسالی نیز پرداخته اند (حجازی زاده و پروین،۱۳۸۶).

تحلیل خشکسالی ها همچنین با استفاده از آزمون دنباله ها (Runs approach) که مشابه آزمون تئوری متغیرهای گسسته می باشد، انجام می گیرد که این روش خصوصیات تصادفی سری های زمانی را مورد بررسی قرار می دهد(علیزاده، ۱۳۸۷).

1. Standardized Precipitation Index
2. multiplicative seasonal autoregressive integrated moving average

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

برای تعیین و تشخیص خشکسالی شاخص های مختلفی ارائه شده است که فاکتور های مورد استفاده در هر کدام و مقیاس زمانی که شاخص محاسبه می نماید نیز متفاوت می باشد. از جمله این شاخص ها می توان شاخص PDSI[1] را نام برد که به شاخص شدت خشکسالی پالمر نیز معروف است و در سال ۱۹۶۵ توسط پالمر توسعه داده شد و از فاکتور های موثر در شاخص می توان به دما، بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و رطوبت خاک اشاره نمود. این شاخص در مقیاس زمانی ماهانه به بررسی خشکسالی می پردازد. برخی از شاخص ها تنها از متغیر بارندگی استفاده می کنند و خشکسالی را در مقیاس های زمانی ماهیانه و سالیانه مورد بررسی قرار می دهند که می توان به شاخص هایی همچون PN[2]، SPI، DI[3]، RI[۴] و RAI[۵] اشاره نمود. شاخص هایی دیگری نیز همچون SWSI[۶] (بارش و پوشش برف و در مقیاس ماهانه)، CMI[۷] (بارش و دما و در مقیاس هفتگی)، SMDI[۸] (رطوبت خاک و در مقیاس سالانه)، CSDI[9] (تبخیر و در مقیاس فصلی)، RDI[۱۰] (سطح آب رودخانه، بارش برف، جریانات سطحی و ذخائر آب و دما و در مقیاس ماهیانه)، ERI[۱۱] (بارش روزانه و درمقیاس سالانه و روزانه) برای بررسی خشکسالی در مقیاس های زمانی مختلف و با فاکتور های موثر متفاوت به کار می روند(طالبی و موسوی، ۱۳۸۹).

شاخص ذخیره آب سطحی(SWSI)، این شاخص توسط شفر و دزمن در سال ۱۹۸۲ به منظور تکمیل شاخص پالمر، در منطقه کلرادو آمریکا طراحی شده است زیرا در این منطقه برف متراکمی که بر روی کوهها قرار دارد یک عنصر اساسی در ذخیره آب سطحی به حساب می آید. بنابراین این شاخص برای حوضه آبریز مدنظر براساس شدت برف، آب جاری، بارش و ذخیره مخازن محاسبه می شود.

مک کی و همکارانش(۱۹۹۳) به منظور کمی سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشکسالی برای مقیاس های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه شاخص بارش استاندارد شده را ارائه

1. Palmer Drought Severity Index
2. Percent of Normal
3. Deciles Index
4. Rainfall Index
5. Rainfall Anomaly Index
6 . Surface Water Supply Index
7 . Crop Moisture Index
8 . Soil Moisture Deficit Index
9 .Crop Specific Drought Index
10. Reclamation Drought Index
11.Effective Rainfall Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

دادند. این شاخص به علت ساده بودن محاسبات، استفاده از داده های بارندگی قابل دسترس، قابلیت محاسبه برای مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج به عنوان مناسب ترین شاخص برای بررسی خشکسالی شناخته می شود (Hayes et al., 1999). بنابراین برای بررسی خشکسالی مطالعات زیادی در اکثر نقاط جهان با این شاخص انجام شده است.

پیش بینی خشکسالی ها و ترسالی های استان مازندران با استفاده از مدل باکس- جنکینز انجام شد و این نتایج به دست آمد که در سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۳ ایستگاه های قائم شهر و بابلسر دوره ترسالی و رامسر و نوشهر دوره خشکسالی را تجربه می کنند (علیجانی، ۱۳۸۱).

در تحقیقی با استفاده از روش شاخص Z استاندارد، خشکسالی ها و شدت آنها مشخص شد و دو سال آبی ۷۹-۷۷ به عنوان سالهای شاخص خشکسالی تعیین گردید در بررسی توزیع مکانی شدت خشکسالی و افت سطح سفره های آب زیرزمین دشتها شمال همدان از قابلیت GIS و نرم افزار ArcView و Arcinfo و از رابطه یتزولد در تعیین شدت کمبود بارش و خشکی و از هیدروگراف های معرف سطح آبهای زیرزمینی جهت تعیین میزان و شدت افت ماهیانه و سالانه سطح ایستابی استفاده گردید. و مشخص شد که منابع ابهای زیرزمینی با توجه به عمق سفره نوع آن ویژگیهای زمین شناسی خصوصیات ژئوهیدرولوژیکی و شبکه آبهای سطحی روی آن نسبت به خشکسالی واکنش نشان می دهد در نتیجه خشکسالی بر منابع آبهای سطحی منطقه اثرات تخریبی مستقم داشته، ولی در آبهای زیرزمینی بین کاهش بارش و افت سطح ایستابی ضریب همبستگی معناداری وجود ندارد و خشکسالی به صورت غیر مستقیم از طریق کاهش تغذیه سفره های آب زیرزمینی از منابع آب سطحی افزایش برداشت از طریق چاههای عمیق جهت مصارف کشاورزی افزایش دما و تبخیر و تعرق و تغییر نوع بارش درنتیجه کاهش میزان تغذیه از بارشهای جوی و .... بر منابع آبهای زیرزمینی موثر می باشد بنابراین اثرات خشکسالی باتاخیر زمانی بیشتری در آبهای زیرزمینی (با تاخیر۹ ماهه) رخ می دهد(شمسی پور و محمدی ، ۱۳۸۲).

با بکارگیری تئوری RUN ، منحنی های شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی را برای حوضه های غرب و شمال غرب کشور ترسیم شد و نشان داد که حوضه های سپیدرود، دز و ارس به ترتیب بیش از حوضه های دیگر در معرض وقوع خشکسالی های حدی و فراگیر قرار دارند. در تحقیق حاضر نیز به منظور محاسبه فراوانی، شدت و تداوم خشکسالی از شاخص بارش استاندارد شده، استفاده شده است (لشنی زند،۱۳۸۲).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

در سال ۱۳۸۵ تحلیل مکانی شاخص های خشکسالی SPI و EDI[1] در استان تهران انجام شد. نتایج تحقیق ضمن تایید متغیر مکانی بودن شاخص ها، نشان داد که هر چند روش کریجینگ از دقت بالایی برخوردار است ولی با لحاظ نمودن سرعت عمل و استفاده از این نتایج در سیستم پایش فعال روش میانگین متحرک وزن دار نیز دقت کافی را دارا است(آبکار و همکاران، ۱۳۸۹).

در مطالعه دیگر جداگانه نشان داده شد، دوره های خشک و تر و خشکسالی بر اثر تغییر در فراوانی و تاثیر گذاری الگوهای گردش جوی در یک منطقه ایجاد می شوند. پژوهش های انجام شده در زمینه شناسایی ارتباط میان الگوه ها موجب ایجاد سیلاب های شدید و برخی دیگر با ایجاد دوره های خشک و کم آب در ارتباط می باشند. با استفاده از مقدار احتمال بارش زایی و یا خشکی زایی الگوهای گردش جوی در مدلهای ریاضی- آماری می توان احتمال وقوع خشکسالی و یا ترسالی در هر منطقه را شناسایی و مدیریت ها را بهبود بخشید(فتاحی و حجازی زاده،۱۳۸۶) و (رضیی، ۱۳۸۶).

طی پژوهشی به بررسی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و مشخص نمودن مناسب ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص SPI و دهک ها در جایگاه اول و شاخص ZSI[2] در جایگاه دوم ، شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار دارد (انصافی مقدم، ۱۳۸۶).

پهنه بندی شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با شاخص SPI و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شد. نتایج تحقیق، خشکسالی متوسط را در نواحی جنوبی و ایستگاه زاهدان، خشکسالی شدید در نواحی مرکزی و خشکسالی بسیار شدید را در نواحی شمالی استان نشان داد و در این تحقیق مناطق دارای خطر بالا را به منظور برنامه ریزی های آتی و اتخاذ سیاست های مدیریتی مشخص شد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

پایش خشکسالی با استفاده از شاخص های هواشناسی و تراز مخزن سد در سیستم آب زاینده رود اصفهان انجام گرفت. در این تحقیق از دو شاخص شناخته شده هواشناسی خشکسالی موثر (EDI) و بارندگی استاندارد (SPI) را با روش هیدرولوژیکی بر اساس تراز مخزن، برای پایش خشکسالی سیستم منابع آب زاینده رود مقایسه شد که بدین منظور دوره خشکسالی ۱۳۸۰-۱۳۷۷مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر کدام از روش ها

1. Effective Drought Index
2. Z-Score Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

قابلیت هایی دارند که طی دوره خشکسالی می توانند به مدیریت خشکسالی کمک کنند. همچنین نتایج نشان داد که برای اعلام شروع وضعیت خشکسالی بهتر است از روش SPI با دوره ۶ ماهه استفاده گردد. و طول دوره بهره برداری و اعمال اقدامات مدیریتی برای پایش روش تراز مخزن و برای اعلام خاتمه آن EDI قابل توصیه است (زارع زاده مهریزی و مرید، ۱۳۹۰).

در مطالعه ای به ارزیابی روش های زمین آمار برای تحلیل مکانی شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی موثر پرداخته شد. در این مطالعه از روش های زمین آمار کریجینگ عادی، روش IDW[1] و Spline برای تهیه نقشه شاخص های خشکسالی در ۲۷ ایستگاه در استان بوشهر استفاده شد. نتایج نشان داد که روش IDW با توان ۲ برای تحلیل مکانی شاخص بارش استاندارد شده بسیار مناسب می باشد و همچنین روش کریجینگ عادی روشی مناسب برای تحلیل مکانی شاخص موثر خشکسالی می باشد(Gholam Ali et al., 2011)

در پژوهشی دیگر، امکان محاسبه شاخص بارش استاندارد شده به وسیله برازش توزیع نرمال و لوگ نرمال به داده های بارش بررسی شد. برای این کار ۱۹ سری زمانی از بارش ماهانه ۷۶ سال مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه این فرض که توزیع گاما نمایش بهتری از داده های بارش نسبت به توزیع نرمال و لوگ نرمال در مقیاس های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه خواهد داشت آزمایش گردید . محاسبات نشان داد که برای شاخص بارش استاندارد شده برای مقیاس زمانی ۱۲ یا ۲۴ ماهه توزیع احتمال نرمال یا لوگ نرمال به راحتی می تواند به جای توزیع گاما مورد استفاده قرار گیرد که تقریبا نتایج مشابهی تولید می کند(Angelidis et al., 2012).

دراین پژوهش نیز با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و مطالعه آن، عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی جهت ارزیابی شدت خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین مورد بررسی و مقایسه قرار می گیرد و مناسب ترین شاخص که نسبت به تغییرات بارش بیشترین مطابقت را دارد بررسی می گردد.

مواد و روش ها

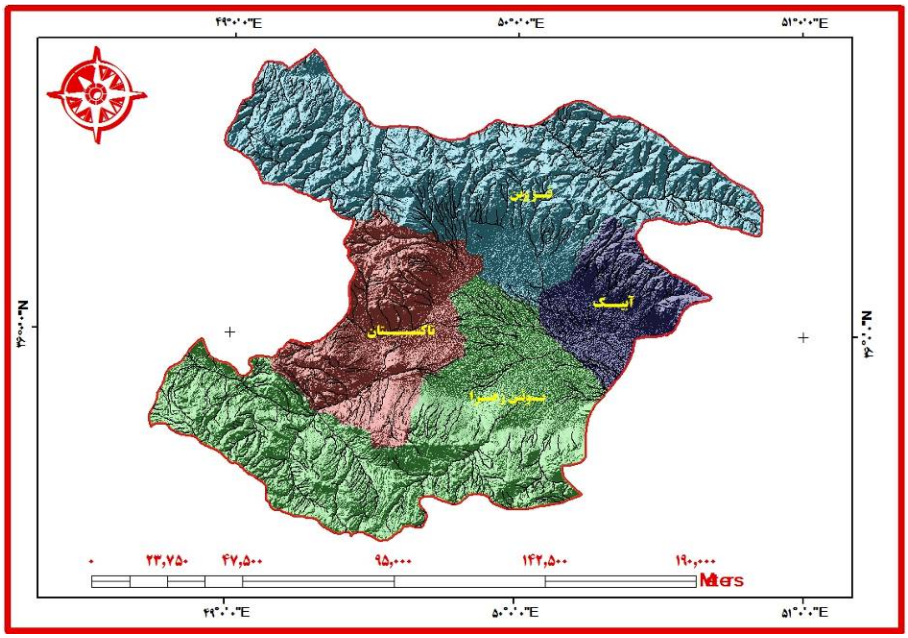
موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان قزوین که در حوزه مرکزی ایران با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و

1. Inverse Distance Weighted

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از شمال به استان های مازندران و گیلان ، از غرب به استان های همدان و زنجان، از جنوب به استان مرکزی و از شرق به استان تهران محدود می شود. بر اساس گزارش اداره کل هواشناسی استان قزوین میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی متر در بخش های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است و خطوط همبارش کم و بیش موازی خطوط تراز می باشند. پرباران ترین نقاط استان دامنه های شمال شرقی در منطقه الموت با بارشی بیش از ۵۵۰ میلی متر بوده که این شرایط بارشی، کم و بیش در مناطق مرتفع شمالی شهرستان قزوین قابل مشاهده می باشد. بعلاوه در ارتفاعات جنوب غربی استان(منطقه آوج) نیز با مناطقی مواجه می شویم که بارش سالانه بیش از ۴۵۰ میلی متر را دارا هستند. همچنین خشک ترین مناطق استان از سمت جنوب شرق استان و مناطق بیابانی بویین زهرا شروع و تا بخش های جنوبی شهرستان تاکستان امتداد می یابد، که این مناطق با بارندگی سالانه بین ۲۱۰ تا ۲۳۰ میلی متر مواجه هستند. در مناطق شمال غربی استان نیز روند کاهش بارش به واسطه کاهش ارتفاع مشهود بوده به طوریکه با رسیدن به مناطق لوشان و منجیل در خارج استان میزان بارندگی به ۲۱۰ میلیمتر می رسد (http://www.qazvinmet.ir).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه، استان قزوین

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

این شاخص توسط مک کی و همکاران از دانشگاه ایالت کلرادو در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است. برای محاسبه شاخص SPI می توان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه ماهه، شش ماهه و...) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پیرسون تیپ سه برازش داد (آبکار و همکاران، ۱۳۸۹). شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی های طولانی آن محاسبه می شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلند مدت بارندگی ها برازش داده می شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می شود. به طوری که استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود(میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰). مقادیر مثبت SPI نشان دهنده ی بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش، دوره ی خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می یابد که SPI مثبت گردد(میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

در این روش مقادیر شاخص SPI با استفاده از رابطه (۱) استخراج و با توجه به جدول (۱) شدت های مختلف خشکسالی و ترسالی طبقه بندی می شود.

$$SPI = \frac{P_i - \overline{P}}{SD} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱) SPI شاخص خشکسالی ، P_i میانگین بارندگی هر سال، $\overline{P}$ میانگین بارندگی کل سال ها، SD، انحراف معیار کل سال ها.

برای محاسبه شاخص SPI می توان بارندگی ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر محدوده زمانی دلخواه را با استفاده از یک توزیع مناسب توزیع گاما و یا پیرسون تیپ سه برازش داد. توزیع آماری گاما برازش خوبی با سری زمانی اقلیمی بارندگی دارد. تابع چگالی احتمال توزیع گاما برای X>0 به شکل رابطه (۲)محاسبه می گردد (Bordi et al., 2004).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) α ($\alpha > 0$)پارامتر شکل، β ($\beta > 0$)پارامتر مقیاس، X ($X > 0$)مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما می باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

برای برازش داده های بارندگی به توزیع گاما لازم است که α و β برآورد گردند. برای برآورد این دو پارامتر استفاده از بیشینه درست نمایی را پیشنهاد کرده اند که به شکل رابطه های (۳) و (۴) تعریف می شوند(Edwards and Mckee ,1997).

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A}\left[1+\sqrt{1+\frac{4A}{3}}\right] \quad (۳)$$

و نیز :

$$\hat{\beta} = \frac{\overline{x}}{\hat{\alpha}} \quad (۴)$$

در رابطه (۳)، مقدار A برای n مشاهده به شکل رابطه (۵) برآورد می گردد.

$$A = \ln(\overline{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۵)$$

در این رابطه، n، تعداد مشاهداتی است که در آن بارندگی روی داده است و $\overline{x}$ نیز میانگین بارندگی بازه زمانی مورد نظر (ماهانه، سه ماهه و ..) می باشد. با استفاده از پارامتر های برآورد شده در رابطه های بالا می توان احتمال تجمعی بارندگی در مقیاس مورد نظر را برای هر ایستگاه محاسبه نمود. با فرض $t = \chi / \tilde{\beta}$ ، احتمال تجمعی به شکل تابع گامای ناقص در خواهد آمد و به شکل رابطه (۶) تعریف می شود.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})}\int_0^x t^{\hat{\alpha}-1}e^{-t}dt \quad (۶)$$

از انجایی که تابع گاما برای x=0 قابل تعریف نمی باشد و داده های بارندگی همواره در برگیرنده تعداد زیادی مشاهده با بارندگی صفر می باشد، احتمال تجمعی بارندگی به شکل رابطه (۷) تبدیل می گردد.

$$H(x)=q+(1-q)G(x) \quad (۷)$$

در این رابطه q برابر با احتمال مقادیر بارندگی صفر است. سرانجام H(x) با استفاده از رابطه (۸) و (۹) به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک انتقال داده می شود که نتیجه بدست آمده مقدار SPI شناخته می شود.

$$Z = SPI = -\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad 0 < H(x) \le 0.5 \quad (۸)$$

$$Z = SPI = +\left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right] \qquad 0.5 < H(x) < 1 \quad (۹)$$

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

در اینجا

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(1-H(x))^2}\right]} \qquad 0.5 < H(x) < 1.0 \qquad (۱۰)$$

$$t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{(H(x))^2}\right]} \qquad 0 < H(x) \le 0.5 \qquad (۱۱)$$

و ضرایب مربوط برابر با

c_0 =2.515517 c_1 =0.8028530 c_2 =0.010328 (۱۲)

d_1=1.432788 d_2 =0.189269 d_3 =0.001308 (۱۳)

بدین ترتیب SPI نمره Z را نشان می دهد و آن نرمالیزه شده است و مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین تر از میانگین را نشان می دهد.

طبقه بندی مقادیر SPI در جدول شماره (۱) ارائه گردیده است(Hyes Michael, 2000 به نقل از آبکار و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول شماره (۱) طبقه بندی مقادیر SPI

وضعیت	مقدار SPI
فرا مرطوب	بزرگتر یا مساوی با ۲
بسیار مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتا مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	۰/۹۹- تا ۰/۹۹
نسبتاً خشک	۱- تا ۱/۴۹-
بسیار خشک	۱/۵- تا ۱/۹۹-
فرا خشک	کوچک یا مساوی ۲-

شاخص دهک(DI)

مرتب کردن داده های بارندگی ماهانه بر حسب دهک ها و بر اساس توزیع نرمال، یکی دیگر از روش های پایش خشکسالی می باشد که شاخص گیبس و موهر نیز اطلاق می شود. محاسبه آن به این صورت است که وقوع بارندگی های طولانی مدت را در دهم هایی از توزیع نرمال تقسیم نموده و هر یک از این گروه ها را یک دهک می نامند. اولین دهک یعنی مقدار بارندگی که از ده درصد و دومین دهک از بیست درصد وقوع بارندگی تجاوز نمی کند. و این دهک ها تا دهک دهم ادامه می یابد(میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

روش دهک برای سیستم پایش خشکسالی استرالیا انتخاب و استفاده شده، زیرا دارای محاسبه نسبتاً ساده ای می باشد و نسبت به شاخص پالمر، داده ها و فرضیات کمتری لازم دارد. برای استفاده از این روش لازم است که داده ها دارای توزیع نرمال باشند و از آنجایی که داده های بارندگی معمولاً از توزیع نرمال پیروی نمی کنند، لذا ابتدا لازم است با یکی از روش های مناسب داده ها را نرمال کرد. برای نرمال کردن داده ها از دو معادله زیر که از تبدیل های Box-Cox نشات گرفته اند، استفاده شده است(میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

$$\begin{cases} \frac{R^{\lambda}-1}{\lambda} \rightarrow \lambda \neq 0 \\ R_n = \log(R) \rightarrow \lambda = 0 \end{cases} \Rightarrow R_n = \frac{(R+\lambda_2)^{\lambda_1-1}}{\lambda_1 \times g^{(\lambda_1-1)}} \quad (۱۴)$$

که در رابطه (۱۴)

R_n، داده های بارندگی نرمال شده، R، داده های بارندگی مشاهده شده، g، میانگین هندسی و $\lambda, \lambda_1, \lambda_2$، پارامتر های معادلات می باشند. جدول (۲) رابطه مقدار دهک با وضعیت خشکسالی ارائه گردیده است(میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

جدول (۲) رابطه مقدار دهک با وضعیت خشکسالی

مقدار درصد وقوع	وضعیت	شماره دهک
کمتر از ۱۰ درصد	خشکسالی خیلی شدید	اول
۱۰ تا ۲۰ درصد	خشکسالی شدید	دوم
۲۰ تا ۳۰ درصد	خشکسالی	سوم
۳۰ تا ۴۰ درصد	تقریباً نرمال	چهارم
۴۰ تا ۵۰ درصد	نرمال	پنجم
۵۰ تا ۶۰ درصد	نرمال	ششم
۶۰ تا ۷۰ درصد	کمی مرطوب	هفتم
۷۰ تا ۸۰ درصد	مرطوب	هشتم
۸۰ تا ۹۰ درصد	بسیار مرطوب	نهم
بیشتر از ۹۰ درصد	فوق العاده مرطوب	دهم

شاخص Z چینی(CZI[1]، MCZI[2])

شاخص CZI بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون هیلفرتی می باشد، با این فرض که داده ها از توزیع پیرسون نوعIII تبعیت می کنند. CZI مطابق رابطه (۱۵) برآورد می شود (میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

1. China Z Index
2. Modified CZI Index

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}}\left(\frac{C_{si}}{2}\varphi + 1\right)^{1/3} - \frac{6}{Z_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \qquad (۱۵)$$

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

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^{n}(X_{ij} - \overline{X_i})^3}{Z \times \sigma_i^3} \qquad (۱۶)$$

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

$$\varphi_{ij} = \frac{X_{ij} - \overline{X_{ij}}}{\delta_i} \qquad (۱۷)$$

در این رابطه φ_{ij}، متغیر استاندارد شده، X_{ij}، بارندگی ماه j برای دوره i و δ و $\overline{X}$ 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. برای محاسبه میانگین، از میانه نیز استفاده شده است که آن را CZI اصلاح شده[1] اطلاق می کنند.

شاخص Z-Score(ZSI)

رابطه (۱۷) در معادلات مربوط به محاسبه CZI برای محاسبه ZSI قابل استفاده می باشد. ZSI نیاز به تبدیل داده ها و برازش توزیع مانند گاما و یا پیرسون نوع III مطابق آنچه که در SPI و CZI انجام می گردد، ندارد (میرزایی و سبعه، ۱۳۹۰).

جدول (۳) طبقه بندی مقادیرشدت خشکسالی شاخص ZSI(انصافی مقدم، ۱۳۸۶)

وضعیت	شاخص Z-Score(ZSI)
خشکسالی ضعیف	۰,۲۵- تا ۰,۲۵+
خشکسالی متوسط	۰,۵۲- تا ۰,۲۵-
خشکسالی شدید	۰,۸۴- تا ۰,۵۲-
خشکسالی بسیار شدید	۱,۲۸- تا ۰,۸۴-

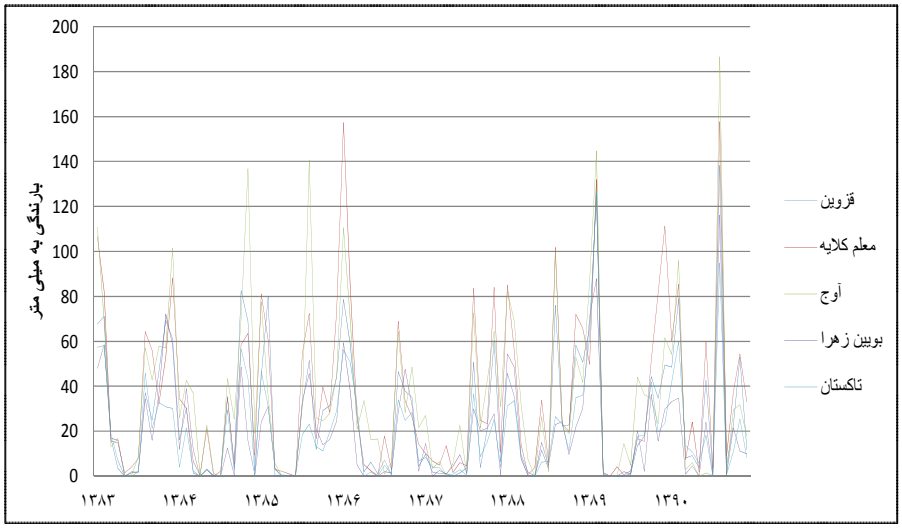
1. MCZI

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

در این مطالعه پس از جمع آوری داده های بارش ایستگاه های موجود در استان، داده های بارش ماهیانه مرتب گردید و سپس این داده ها به ترتیب سال و میزان بارش ماهیانه برای تک تک ماه ها، وارد محیط زیر نرم افزار Excel گردید و سپس با فرمت text خروجی از آنها گرفته شد و در ادامه برای محاسبه وارد محیط نرم افزار DIP[1] گردید و مقادیر شاخص های SPI، DI، CZI، MCZI و ZSI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه برای ۵ ایستگاه موجود درمنطقه مورد مطالعه، محاسبه گردید. دوره آماری مورد استفاده با توجه به آمار موجود در اداره کل هواشناسی قزوین به ترتیب ۲۳ سال برای ایستگاه قزوین، ۹ سال ایستگاه تاکستان، ۱۰ سال ایستگاه بویین زهرا، ۸ سال ایستگاه آوج، ۱۱ سال ایستگاه معلم کلایه می باشد. وضعیت خشکسالی با توجه به مقدار به دست آمده برای هر سال طبقه بندی گردید.

بحث و نتایج

مقادیر خروجی نرم افزار برای شاخص های مورد استفاده در تحقیق در جدول (۴) آورده شده است. همچنین جهت بررسی اینکه هر کدام از شاخص ها چه میزان به تغییرات بارش واکنش نشان می دهند، نمودار بارش در ماه های مختلف آورده شده است(شکل ۲).



شکل(۲) نمودار بارش ماهانه ایستگاه های مورد مطالعه در طول دوره مشترک آماری

1. Drought indices package

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

جدول (۴) مقادیر بدست آمده برای هر کدام از شاخص ها در دوره مشترک آماری و در ایستگاه های مورد مطالعه

سال/ ایستگاه		۸۳-۸۴	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱
CZI	آوج	۰/۴۲	۰/۰۴	۱/۴۹	-۱/۴۸	۰/۳۸	۰/۷۲	-۰/۳۹	-۱/۲۳
	بویین زهرا	۱/۳	-۱/۳۶	۰/۷۶	-۱/۲	۰/۲۳	۱/۱۲	-۰/۲۲	-۰/۹۶
	تاکستان	-۰/۳۷	-۰/۱	۰/۴۶	-۱/۴۱	-۰/۷۲	۱/۴۴	۰/۷	-۱/۱۳
	قزوین	-۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۶۳	-۱/۸	-۰/۷	۱/۲	۰/۴۱	-۰/۸۹
	معلم کلایه	-۰/۱۵	-۰/۸۴	۱/۶۶	-۱/۸۳	۰/۱۴	۰/۶۸	۱/۱۵	-۱/۰۸
DI	آوج	۱	۰	۴	-۴	۱	۲	-۱	-۳
	بویین زهرا	۴	-۴	۲	-۳	۰	۳	-۱	-۳
	تاکستان	-۱	۰	۱	-۴	-۲	۴	۲	-۳
	قزوین	۰	۰	۲	-۴	-۲	۳	۱	-۳
	معلم کلایه	۰	-۳	۴	-۴	۰	۲	۳	-۳
MCZI	آوج	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۱/۹۳	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۳۹
	بویین زهرا	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۱/۹۹	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲
	تاکستان	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۱/۹۹	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲	-۰/۴۲
	قزوین	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵	-۰/۷۵
	معلم کلایه	-۲/۰۹	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۸	-۰/۴۸
SPI	آوج	۰/۵۳	۰/۱۷	۱/۳۹	-۱/۷۴	۰/۴۹	۰/۷۹	-۰/۲۸	-۱/۳۵
	بویین زهرا	۱/۲۷	-۱/۵۴	۰/۸۳	-۱/۳۲	۰/۳۴	۱/۱۳	-۰/۱۱	-۱
	تاکستان	-۰/۳	-۰/۰۱	۰/۵۵	-۱/۶۴	-۰/۷	۱/۴	۰/۷۷	-۱/۲۳
	قزوین	-۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۶۸	-۲/۱۲	-۰/۶۳	۱/۱۵	۰/۴۸	-۰/۸۵
	معلم کلایه	-۰/۰۱	-۰/۷۷	۱/۴۴	-۲/۲۸	۰/۲۸	۰/۷۴	۱/۰۹	-۱/۰۹
ZSI	آوج	۰/۴۵	۰/۰۸	۱/۴۴	-۱/۵۲	۰/۴۱	۰/۷۴	-۰/۳۵	-۱/۲۵
	بویین زهرا	۱/۲۸	-۱/۳۸	۰/۷۷	-۱/۲۱	۰/۲۵	۱/۱۲	-۰/۱۹	-۰/۹۶
	تاکستان	-۰/۳۸	-۰/۱۱	۰/۴۵	-۱/۴	-۰/۷۲	۱/۴۴	۰/۷	-۱/۱۳
	قزوین	-۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۶۳	-۱/۸	-۰/۷	۱/۲	۰/۴۱	-۰/۸۹
	معلم کلایه	-۰/۱	-۰/۸۲	۱/۵۵	-۱/۹۶	۰/۲	۰/۷۱	۱/۱۲	-۱/۰۹

ارزیابی شاخص های منتخب خشکسالی

به منظور بررسی انتخاب بهترین شاخص توصیف گر ابتدا محاسبات کلیه شاخص ها در مقیاس سالانه انجام گردید. برای تشخیص اینکه برای ارزیابی شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه کدام شاخص بهتر عمل می کند، از یک فرضیه به عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد(خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲). در این فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلند مدت اقلیمی منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی اتفاق افتاده است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

طبق این فرضیه در ابتدا کمینه مقادیر بارندگی در طول دوره مشترک آماری استخراج و توسط شاخص های خشکسالی ارزیابی شده است. جدول (۵) کمینه مقادیر بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه شاخص های خشکسالی هواشناسی نشان می دهد (در این جدول به جای استفاده از عدد برای بیان وضعیت خشکسالی از توصیف کیفی استفاده شده است).

جدول (۵) جدول مقادیر کمینه بارندگی و سال وقوع آن و پایش وضعیت جوی با استفاده از شاخص های منتخب

ایستگاه	کمینه بارش	سال وقوع	SPI	MCZI	ZSI	DI	CZI
قزوین	۱۴۷/۳۰	۱۳۸۶-۱۳۸۷	فوق العاده خشک	نزدیک نرمال	خیلی زیاد خشک	خیلی زیاد زیر نرمال	خیلی زیاد خشک
معلم کلایه	۲۰۶/۹۰	۱۳۸۶-۱۳۸۷	فوق العاده خشک	نزدیک نرمال	خیلی زیاد خشک	خیلی زیاد زیر نرمال	خیلی زیاد خشک
آوج	۲۳۶	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خیلی زیاد خشک	خیلی زیاد خشک	خیلی زیاد خشک	خیلی زیاد زیر نرمال	کمی خشک
بویین زهرا	۱۰۶/۳۰	۱۳۸۴-۱۳۸۵	خیلی زیاد خشک	نزدیک نرمال	کمی خشک	خیلی زیاد زیر نرمال	کمی خشک
تاکستان	۱۲۰	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خیلی زیاد خشک	نزدیک نرمال	کمی خشک	خیلی زیاد زیر نرمال	کمی خشک

مطابق نتایج به دست آمده و جدول (۵) شاخص دهک ها(DI) و شاخص SPI مقارن با سال وقوع حداقل بارندگی، وقوع خشکسالی شدید و بسیار شدید را در ایستگاه های مورد مطالعه نشان می دهند و می توان گفت که عملکرد بهتری در نمایش خشکسالی های شدید نسبت به دیگر شاخص ها از خود نشان می دهند. اما به نظر می رسد که شاخص دهک ها مقداری مبالغه در بزرگ نمایی خشکسالی ها از خود نشان می دهد. دلایل مطلوبیت دو شاخص SPI و DI و قرار گرفتن آنها در رتبه نخست در حالت کلی می توان به پیش بینی زود هنگام، داشتن پیچیدگی کمتر، استفاده از پارامتر بارش به تنهایی، قابل استفاده بودن برای هر مکان و استفاده از آن برای مقیاس های زمانی مختلف برای شاخص SPI نام برد. اما محدودتی که این شاخص دارد این است که برای مقیاس زمانی بیشتر از ۲۴ ماه نتایج بدست آمده قابل اعتماد نیست و برای بدست آوردن دقت بالا نیاز به آمار طولانی مدت(۳۰ سال پیشنهاد شده است) می باشد. برای شاخص DI می توان به محاسبات نسبتاً آسان ، تقسیم وقوع بارندگی ها بر دهم هایی از

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

توزیع نرمال ، حساسیت بالا به بارش یک سال خاص و در دسترس قرار دادن داده های بارش دقیق برای واکنش به خشکسالی اشاره نمود. اما این شاخص (DI) برای بدست آوردن نتایج با دقت بالا نیاز به آمار طولانی مدتی دارد و در نتایج بدست آمده اندکی مبالغه در نشان دادن خشکسالی های شدید وجود داشته و تغییرات زمانی و مکانی شدت خشکسالی ناهماهنگ می باشد.

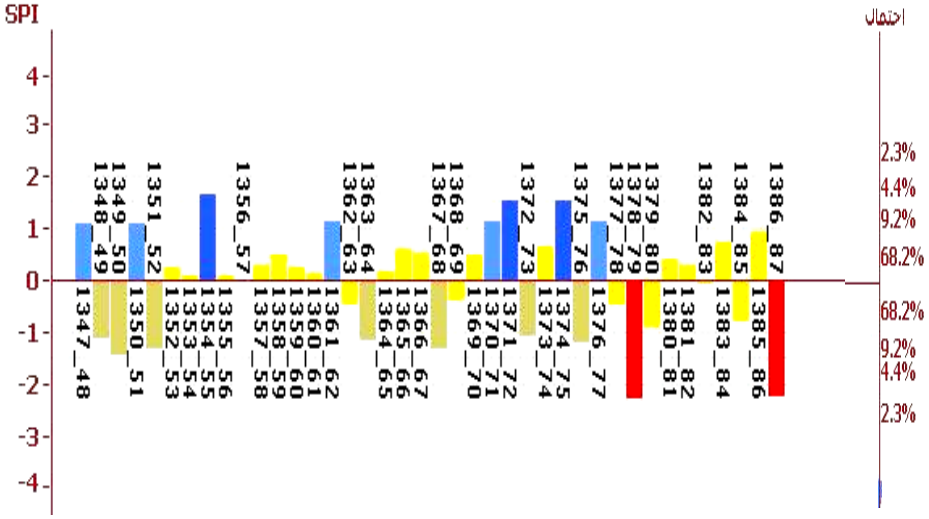
SPI و ZSI نیز به جز در دو ایستگاه بویین زهرا و تاکستان تقریبا با یکدیگر انطباق داشته و در محدوده مقادیر سالانه عملکرد مشابهی از خود نشان داده اند. شاخص CZI به جز در ایستگاه های قزوین و معلم کلایه در دیگر ایستگاه ها وضعیت کمی خشک را نشان می دهد و همچنین شاخص MCZI فقط در ایستگاه آوج وضعیت خیلی زیاد خشک را گزارش می کند و در دیگر ایستگاه ها وضعیت نزدیک به نرمال نشان داده می شود. شاخص MCZI بدترین عملکرد را در بین شاخص ها درنشان دادن خشکسالی های شدید از خود نشان داده است. در مطالعه ای که هانگ و هایز (۲۰۰۱) در ارزیابی چند شاخص خشکسالی داشتند به این نتیجه رسیدند که شاخص های CZI و ZSI می توانند نتایجی مشابه شاخص SPI در همه مقیاس های زمانی داشته باشند و دارای محاسبات راحت تری هستند و شاید شاخص های بهتری برای اقالیم مرطوب باشند. از دیگر مزایای شاخص های ZSI و CZI نسبت به شاخص SPI اینست که این دو شاخص، بر خلاف SPI نواقص آماری را در بین سری داده ها قبول می کند و محاسبات ساده تری دارد. در این تحقیق نیز مشابهت عملکرد شاخص ZSI به شاخص SPI قابل مشاهده می باشد.

با بررسی نتایج وضعیت خشکسالی بدست آمده با استفاده از شاخص های مورد استفاده در این تحقیق، نکته ای که اکثر شاخص ها آن را نشان دادند وضعیت خشکسالی شدید تر در سال ۸۷-۸۶ نسبت به دیگر سال ها بود. این امر در سری زمانی تولید شده شاخص بارش استاندارد شده مربوط به دوره زمانی بین سال۱۳۴۷ تا ۱۳۸۷ در حوضه مرکزی (استان قزوین واقع شده در حوضه مرکزی) بدست آمده از سامانه خشکسالی هواشناسی ایران(شرکت مدیریت منابع آب ایران) نیز قابل مشاهده است(شکل ۳).

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می گردد در طول این دوره آماری(۱۳۴۷ تا ۱۳۸۷) در دو دوره میزان خشکسالی شدید تر از دیگر سال ها بوده است. این دو دوره عبارتند از سال های ۷۹-۷۸ و ۸۷-۸۶ می باشد. در این مطالعه از روش IDW که روشی تأیید شده برای تبدیل اطلاعات نقطه ای به منطقه ای در مقیاس سالانه و درون یابی شدت دوره های خشک می باشد((Ansari and Davari., 2007) و (Bodagh Jamali et al., 2003). برای دورنیابی شدت

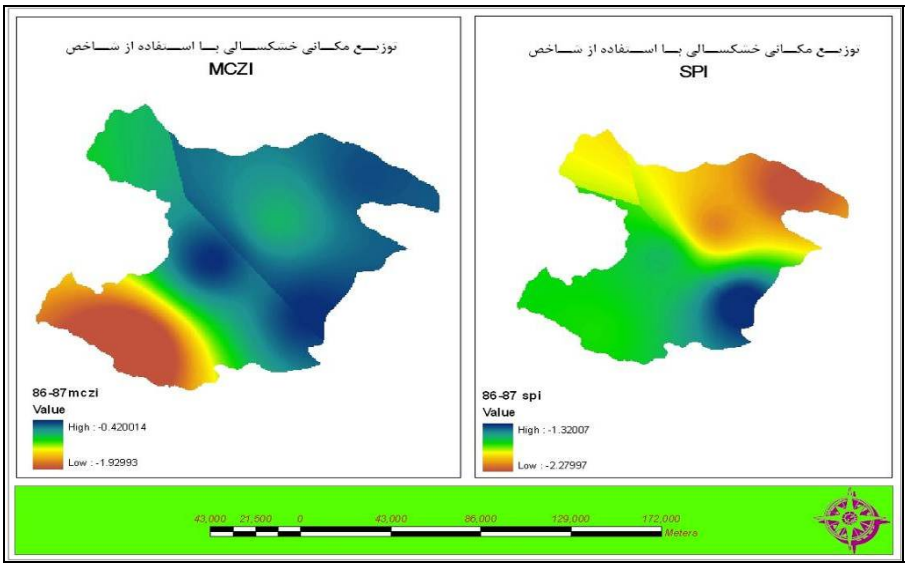
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

خشکسالی در پهنه استان قزوین در سال ۸۷-۸۶ استفاده شد. همانطور که مشاهده می شود در نقشه توزیع مکانی شاخص ها توزیع مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI و ZSI، این دو شاخص تقریبا از عملکرد مشابهی برخوردار بوده و این مشابهت در توزیع مکانی وضعیت خشکسالی در نقشه های مربوط به این دو شاخص نیز قابل مشاهده است. شاخص دهک ها (DI) نیز با توجه به اینکه عملکرد مناسبی در نشان دادن خشکسالی های شدید از خود نشان داده اما دارای اندکی مبالغه و بزرگنمایی در نشان دادن خشکسالی های شدید می باشد که این مبالغه در نقشه مربوط به شاخص DI نیز مشهود می باشد. اما نقشه مربوط به توزیع مکانی با استفاده از شاخص MCZI کاملا متفاوت با نقشه های بدست آمده از دیگر شاخص ها می باشد، زیرا این شاخص بدترین عملکرد را در نشان دادن خشکسالی های شدید از خود نشان داده است و با وجود خشکسالی شدید وضعیت نزدیک به نرمال را در اکثر ایستگاه ها نشان می دهد. این شاخص که توسط دانشمندان مختلف برای پایش شرایط رطوبتی استفاده شده اما با جایگزینی میانه بارش با میانگین بارش اختلافات حائز اهمیتی در نتایج حاصله در مقایسه با شاخص CZI ایجاد گردیده است و نتایج ضعیفی نیز در بیشتر مطالعات صورت گرفته در داخل ارائه نموده است شاخص CZI نیز به لحاظ نمایش وضعیت خشکسالی مشابه شاخص SPI می باشد اما در برخی ایستگاه ها وضعیت کمی خشک را نشان می دهد.

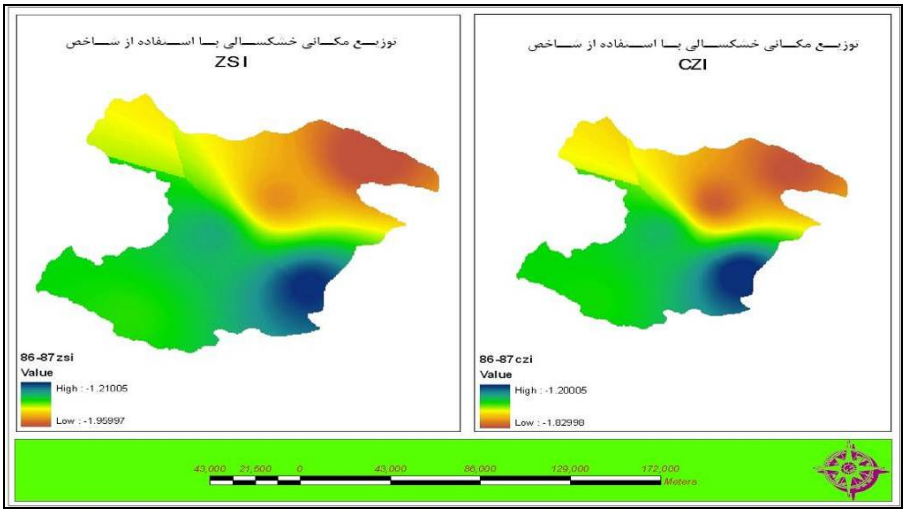


شکل (۳) سری زمانی شاخص بارش استاندارد شده مربوط به دوره زمانی بین سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۷ در حوضه مرکزی(منبع http://drought.iranhydrology.net/irandrought.aspx)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

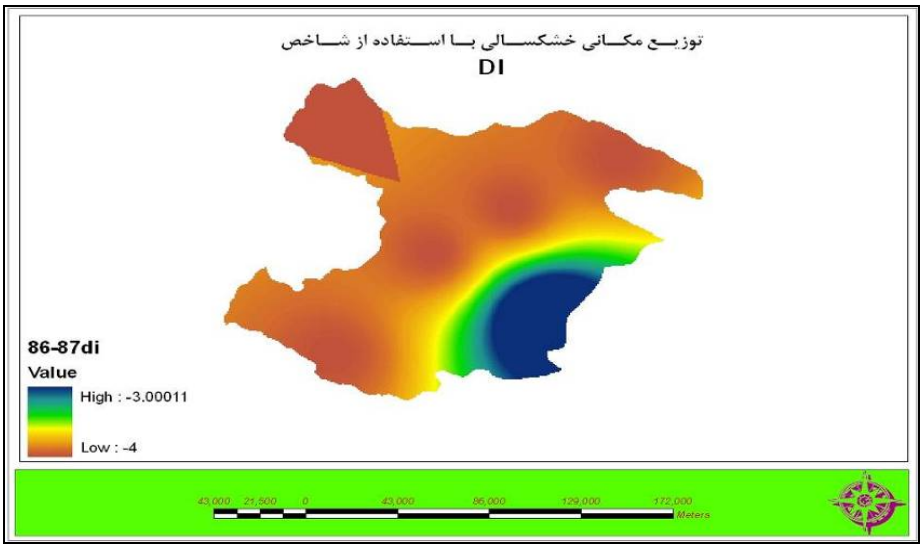


شکل (۴) توزیع مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI و MCZI در سال ۸۷-۸۶



شکل (۵) توزیع مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص های CZI و ZSI در سال ۸۷-۸۶

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]



شکل (۶) توزیع مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص DI در سال ۸۷-۸۶

نتیجه گیری

بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین انجام شد. به منظور انتخاب بهترین شاخص توصیف گر ابتدا محاسبات کلیه شاخص ها در مقیاس سالانه انجام گردید. برای تشخیص اینکه برای ارزیابی شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه کدام شاخص بهتر عمل می کند، از یک فرضیه به عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد(خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲). در این فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلند مدت اقلیمی منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج حاصل و بررسی های صورت گرفته و مقایسه نتایج حاصل با مطالعات صورت گرفته در زمینه تحقیق نتیجه گیری می شود که شاخص های SPI و DI را می توان در جایگاه نخست، شاخص ZSI در رتبه دوم و شاخص های CZI و MCZI به ترتیب در رتبه های سوم و چهارم به لحاظ نشان دادن خشکسالی های شدید قرار می گیرند. شباهت عملکرد شاخص ZSI به شاخص SPI در نشان دادن خشکسالی های شدید از دیگر نتایج به دست آمده می باشد که این نتایج، با نتایجی که در بررسی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک (انصافی مقدم، ۱۳۸۶) و بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک مازندران(کریمی و همکاران، ۱۳۹۰) به دست آمد، همخوانی دارد. همچنین شاخص

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

DI با توجه به عملکرد مناسب در نشان دادن خشکسالی های شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی های شدید می باشد.

منابع و ماخذ

۱. آبکار، علی اکبر، بروغنی، مهدی و طایی سمیرمی، مجید (۱۳۸۹) **تحلیل مکانی خشکسالی استان خراسان رضوی با استفاده از GIS**، مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک، تهران.

۲. انصافی مقدم، طاهره (۱۳۸۶) **ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک**، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران،۱۴(۲) : ۲۷۱ -۲۸۸.

۳. حجازی زاده، زهرا و پروین، نادر (۱۳۸۶) **مدل سازی بارش و پیش بینی آن با استفاده از مدلهای SARIMA و پایش خشکسالی به کمک شاخصBMI و نمایهPDRI در حوضه آبریز دریاچه ارومیه**، تحقیقات جغرافیایی، شماره۸۷، ۱۲۴- ۹۷.

۴. خلیلی، علی و بذرافشان، جواد (۱۳۸۲) **ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران**، نشریه نیوار، شماره ۴۸ و ۴۹، بهار و تابستان، تهران، ص ۷۹ تا ۹۳.

۵. رضئیی، طیب (۱۳۸۶) **بررسی ارتباط الگوههای گردش جوی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و دوره های خشک و تر در غرب ایران**، پایان نامه دکتری، دانشگاه تهران.

۶. زارع زاده مهریزی، محبوبه و مرید، سعید **(۱۳۹۰) پایش خشکسالی با استفاده از تراز مخزن سد و شاخص های هواشناسی؛ مطالعه موردی سیستم آب زاینده رود اصفهان**، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، سال چهل و دوم، شماره ۱.

۷. شمسی پور، علی اکبر و محمدی، حسین مراد (۱۳۸۲) **خشکسالی های اخیر در افت منابع آبهای زیرزمینی دشت های شمال همدان**، پژوهش های جغرافیایی، تابستان، شماره ۴۵

۸. طالبی، محمد صادق و موسوی بفرویی، مهناز (۱۳۸۹) **ارزیابی، پهنه بندی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص های معتبرمطالعه موردی: استان کرمان**، مجموعه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

مقالات اولین کنفرانس بین المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا،مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی دانشگاه شهید باهنر کرمان، آبان.

۹. علیجانی، بهلول (۱۳۸۱) **بررسی سینوپتیک الگوههای سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در خاورمیانه در دوره ۱۹۹۰- ۱۹۶۱**، نیوار، شماره ۴۵و ۴۴، ۲۹- ۷ .

۱۰.علیزاده، امین (۱۳۷۸) **هیدرولوژی کاربردی**، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ یازدهم، ص۲۳۷.

۱۱.فتاحی، ابراهیم و حجازی زاده، زهرا (۱۳۸۶) **تحلیل الگوهای سینوپتیکی بارش های زمستانه ایران**، مجله جغرافیا، شماره۳.

۱۲.کریمی، ولی الله؛ حبیب نژاد روشن، محمود و آبکار، علی جان (۱۳۹۰) **بررسی شاخص خشکسالی هواشناسی در ایستگاه های سینوپتیک مازندران**، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره ۵، پاییز ۱۳۹۰.

۱۳.لشنی زند، مهران (۱۳۸۲) **بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی های اقلیمی**، سومین کنفراس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان.

۱۴.محمدی، مجتبی؛ بردی شیخ، واحد و احمدی، حسن (۱۳۸۹) **پهنه بندی شدت خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با شاخص(SPI) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی**. مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک، تهران، اردیبهشت.

۱۵.میرزایی، علی اصغر و سبعه، غلامعلی(۱۳۹۰) **نرم افزار های تخصصی مهندسی آب**، انتشارات کیان رایانه سبز، چاپ اول.

Angelidis,P. Maris,F. Kotsovinos, N. Hrissanthou, V. (2012) ***Computation of Drought Index SPI with Alternative Distribution Functions***. Journal of Water Resources Management , Volume 26, Issue 9, pp 2453-2473.

Ansari, H., and Davari, K. (2007) ***Zonig drought using standardized precipitation index (SPI) in GIS Environment, Case study of Khorasan province. Tehran***. J. Geographi. Res. 60: 97-108. (In Persian).

Bodagh Jamali, J., Javanmard, S., and Shirmohammady, R. (2003) ***Monitoring and zoning drought condition in Khorasan province***

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]

using standardized precipitation index. Mashhad, J. Geographi. Res. 17: 4. 11389-11406. (In Persian).

Bordi, I., and Sutera, A.(2004) ***Drought variability and its climatic implications, Global and Planetary Change***. 40(1, 2), pp. 115-127.

Edwards D.C. and McKee TB. (1997) ***Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales***. Colorado State University: Fort Collins. Climatology Report No. pp. 97-2.

Gholam Ali, M. Younes, KH. Esmaeil, A.Fatemeh, T. (2011) ***Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices***. World Applied Sciences Journal 15 (4): 474-482.

Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and Vanyarkho. O.V. (1999) ***Monitoring the 1996 drought using the Standardized precipitation Index***. Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3): pp. 429- 437.

McKee T.B Doesken N.J (1993) ***The relationship of drought frequency and duration to time scales.*** Eight Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society. 179-18u PP.

Morid, S., Smakhtinb, V. and Bagherzadehc, K. (2007) ***Drought forecastingusing artificial neural networks and time series of drought indices***. Int. J. Climatol. 27: 2103–2111.

Shafer BA, Dezman LE. (1982) ***Development of a SurfaceWater Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas.*** Proceedings of the Western Snow Conference. Colorado State University: Fort Collins, CO; 164–175.

http://www.qazvinmet.ir

http://drought.iranhydrology.net/irandrought.aspx

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2024-10-12]