

تحلیل زمانی و مکانی خشکسالی در پهنه خراسان با استفاده از شاخص SPI طی دوره 1966-2005

ام السلمه بابایی فینی¹، امیرحسین حلییان²، زکیه راه چمنی³

1- استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران.

2- دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران.

3- کارشناس ارشد اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی دانشگاه پیام نور

چکیده:

خشکسالی یکی از رخدادهای جوی است که سبب خسارات زیادی در بخش‌های مختلفی مانند کشاورزی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی می‌شود و وقوع آن در اغلب مناطق جهان امری اجتناب‌ناپذیر است. از آن جایی که خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها موثر است؛ در این پژوهش پدیده خشکسالی در سه استان خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در بازه‌های زمانی 3، 6، 12 و 24 ماهه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت تا بتوان تاثیر کمبود بارش را در دوره‌های زمانی مذکور کمی کرد. در این ارتباط، از داده‌های بارش ماهانه 12 ایستگاه طی دوره آماری 1966-2005 استفاده و از روش‌های زمین آمار نیز به جهت منظور نمودن ساختار مکانی داده‌ها بهره گرفته شد. نتایج پژوهش نشان داد که در بازه‌های 3 و 6 ماهه خراسان رضوی دچار خشکسالی‌های بسیار شدید و خراسان شمالی نیز متاثر از خشکسالی‌های شدید است. این در حالی است که در بازه‌های 12 و 24 ماهه در خراسان جنوبی خشکسالی‌های بسیار شدید و غرب خراسان رضوی خشکسالی‌های شدید رخ داده است. مقادیر SPI به دست آمده نیز نشان از این دارد که بیشترین مقدار خشکسالی‌ها مربوط به دهه اول (1966-1975) و چهارم (2005-1996) است که در این دو دهه سال 1973 و 2001 شدیدترین خشکسالی‌ها را تجربه کرده اند.

کلمات کلیدی: تحلیل زمانی و مکانی، خشکسالی، زمین آمار، شاخص بارش استاندارد، پهنه خراسان

مقدمه

خشکسالی را می‌توان معلول یک دوره خشک غیر عادی دانست که به اندازه کافی دوام داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد شود. در دهه‌های اخیر در بین حوادث طبیعی، پدیده خشکسالی از نظر درجه شدت، طول مدت، مجموع فضای تحت پوشش، تلفات جانی، خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی دراز مدت در جامعه بیشتر از سایر بلاهای طبیعی بوده است و بر خلاف سایر بلاها این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تاخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود. بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع و پایان آن کار مشکلی است آن را یک پدیده خزنده می‌نامند (سلیمانی ساردو، 1387) در خصوص خشکسالی مطالعات متعددی در سطح جهان انجام گرفته است. مک کی و همکاران (1995) در بررسی رابطه فراوانی خشکسالی‌ها و تداوم آنها با مقیاس‌های زمانی به کمک نمایه SPI دریافتند که با افزایش طول مقیاس زمان، دوره‌های با مقادیر منفی و مثبت SPI از نظر تعداد کم ولی از نظر تداوم طولانی‌تر می‌شوند. ناوا (2000) با استفاده از انحراف بارندگی از میانگین دراز مدت، شاخص پراکندگی بارش را در منطقه زیمباوه محاسبه کرد و سپس برای نشان دادن تحلیل مکانی خشکسالی از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده نمود. لوکاسا و همکاران (2003) به محاسبه سه نمایه عددی Z، ناهنجاری بارش و بارش استاندارد شده برای مطالعه خشکسالی هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در یونان پرداختند. نتایج آنان نشان داد که هر سه نمایه روند مشابهی در مقیاس 12 ماهه برای تعیین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها داشتند. گیدینگز و همکاران (2005) در مکزیک با استفاده از روش‌های آنالیز تصاویر استاندارد، یک سیستم زون‌بندی SPI را ارائه دادند. بوردی و سوترا (2007) در مقیاس وسیع در منطقه مداک ایتالیا به بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) در مقیاس 3 ماهه و 24 ماهه پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که در مقیاس بلند مدت، منطقه مرکزی و جنوبی ایتالیا در شرایط نرمال است و مابقی تحت تأثیر خشکسالی قرار دارد. مُرید و همکاران (2007) با

استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و بزرگ مقیاس‌های اقلیمی مانند انسو و شاخص نوسان جنوبی و شاخص‌های خشکسالی به پیشگویی خشکسالی در استان تهران پرداخته‌اند. در این تحقیق شاخص‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و بهترین شاخص ارائه شده است. کانلو و همکاران (2008) از دو شاخص RDI و VHI برای پایش خشکسالی در لاریسا در مرکز یونان بهره بردند. RDI برای پایش خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه در طول دوره 2001-1981 به کار برده شد؛ همچنین برای تعیین خشکسالی کشاورزی شاخص سلامت گیاهی VHI که شاخصی برای پایش و ارزیابی خشکسالی گیاهی و تعیین استرس گیاهی است؛ استفاده گردید. در ایران، شیرخانی (1381) خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان را تحلیل و پیش بینی نموده که در دوره مورد مطالعه، سال‌های 1970 و 1991 به عنوان خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال تعیین شده؛ به گونه‌ای که در سال 1970 حدود 81 درصد منطقه، بارشی پایین‌تر از حد نرمال داشته است؛ در مقابل در سال 1991 تمامی ایستگاه‌ها بارشی بالاتر از حد نرمال داشته‌اند؛ علاوه بر آن 76 درصد از آنها وضعیت ترسالی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده‌اند. انصاری و همکاران (1384) با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS به پهنه‌بندی دوره‌های خشک در استان خراسان پرداخته‌اند. نتایج آنان نشان داد که خشکسالی در خراسان یک پدیده اقلیمی است که در دوره‌های زمانی خاصی به وقوع می‌پیوندد و تکرار و تداوم این پدیده در کلیه نقاط استان افزایش یافته ولی از شدت آن کاسته شده است. آسیایی (1385) با استفاده از فراسنج‌های بارش، دما و مقدار آب قابل دسترس، شاخص شدت خشکسالی پالم را برای ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره آماری (2003-1971) محاسبه نمود. عباسی و همکاران (1387) نیز به پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از نمایه درصد نرمال (PN) در استان خراسان رضوی پرداختند و با استفاده از داده‌های چهل و پنج ساله بارش ماهانه (1340-1385)، نقشه پهنه‌بندی خشکسالی را با استفاده از شاخص درصد

تأخیر زمانی صفر، بارندگی و شاخص اقلیمی Nino3 به ترتیب با ضرائب همبستگی 0/97 و 0/75 و خطاهای 0/13 و 0/33 مناسب‌ترین متغیرهای ورودی را تشکیل داده‌اند. فریا کرمی و هانیه کاظمی (1391) پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمین در سال شاخص خشکسالی و ترسالی مورد: دشت تبریز، مطالعه نموده و نتیجه گرفته‌اند در سال شاخص خشکسالی میزان آب‌های زیرزمینی شور 28 درصد و در سال شاخص ترسالی میزان آب‌های زیرزمینی شور 18 درصد را تشکیل می‌دهند. از پدیده خشکسالی طی سالیان گذشته در پهنه خراسان نیز رخ داده و آثار و پیامدهای نامطلوب خود را نشان داده است. وضعیت بارندگی و محدودیت منابع آبی و شرایط اقلیمی این قلمرو خود گویای این واقعیت است از این رو شناخت وضعیت منطقه به لحاظ خشکسالی و به خصوص پی بردن به رفتار خاص دوره‌های خشک آن به لحاظ وقوع، شدت و گسترش مکانی هر یک از خشکسالی‌ها بدون شک ابزار بسیار سودمند و کارآمدی در اختیار بخش کشاورزی و برنامه‌ریزان امور زراعی و منابع آبی قرار خواهد داد که از این طریق به اهدافی که در خصوص زیان‌های ناشی از این حالت منظور است؛ نائل گردند. از سویی، از نظر کشاورزی در این گستره جغرافیایی به جهت تنوع توپوگرافی، وسعت زیاد، گوناگونی نواحی اقلیمی و به طور کلی تنوع شرایط جغرافیایی شاهد محصولات زراعی متعدد و متنوعی هستیم. علاوه بر تنوع به لحاظ کیفی نیز این پهنه در رأس تولیدکنندگان برخی محصولات مهم زراعی همچون گندم، پنبه، چغندر قند، زعفران و ... قرار دارد. درگیر بودن بخش اعظم جمعیت فعال این پهنه جغرافیایی با مسائل مربوط به کشاورزی، همچنین اهمیت ویژه‌ای که تولیدات زراعی این قلمرو برای اقتصاد کشور دارد؛ سبب گردید تا در این پژوهش نسبت به تحلیل فضایی و پهنه‌بندی خشکسالی در این گستره جغرافیایی به سبب برخورداری آن از اقلیم بسیار حساس و شکننده بیابانی و نیمه بیابانی اقدام گردد.

مواد و روش‌ها

نرمال (PN) تهیه کردند و در نهایت به ارزیابی شدت خشکسالی در منطقه پرداختند. اصغری‌پور (1387) به بررسی پایش خشکسالی در بخشی از استان خراسان رضوی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخت و سعی کرد با استفاده از دو تصویر ماهواره‌ی لندست که یکی در سال کم‌باران و دیگری در سال مرطوب از منطقه‌ای از استان خراسان اخذ شده بود؛ بر اساس نمایه پوشش گیاهی NDVI به بررسی تأثیر خشکسالی بر محصولات زراعی بپردازد.

رفیعی و اصغری‌پور (1388) پایش خشکسالی در بخشی از استان خراسان رضوی را با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج آنان نشان داد که محصولات کشاورزی در سال‌های خشک تحت تنش بوده و شادابی مطلوبی ندارند. یزدان‌پناه و حسن‌زاده (1388) نسبت به تعیین الگوهای گردش موثر در رخداد فراگیرترین و طولانی‌ترین دوره خشک در منطقه خراسان به کمک زنجیره مارکف اقدام نمودند. آنان ابتدا دوره‌های خشک فرین با بزرگی 15 روز به بالا را در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس شناسایی کردند؛ سپس از بین این دوره‌ها طولانی‌ترین و فراگیرترین دوره خشک را برای بررسی شرایط هم‌دید موثر در ایجاد آن برگزیدند. بابایی (1388) به مقایسه بین خشکسالی‌های آذربایجان غربی و خراسان رضوی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) پرداخته است. با توجه به تجزیه و تحلیل بدست آمده مشخص شد که در آذربایجان غربی خشکسالی‌های بازه‌های زمانی 12 و 24 ماهه از تداوم کمتری برخوردارند؛ در مقابل، در خراسان رضوی خشکسالی‌ها در درازمدت از تداوم بیشتری برخوردار است و واکنش کندی نسبت به تغییرات بارش دارد. خوشحال و همکاران (1391) تأثیر خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی آبی دهگلان- کردستان را با استفاده SPI و رگرسیون چند متغیره بررسی نموده است. ازدری مقدم و همکاران (1391) به پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل فازی - عصبی، شاخص‌های اقلیمی، بارندگی و شاخص خشکسالی مطالعه موردی: زاهدان پرداخته و نتیجه شد در

زیرزمینی، ذخائر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD}$$

در این معادله SPI، شاخص استاندارد بارش، P_i معادل بارش سال مفروض به میلیمتر، \bar{P} میانگین بارش دراز مدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است. این شاخص با توجه به خصوصیات ویژه در سراسر دنیا برای پایش دوره-های خشکی و خشکسالی استفاده می‌شود (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، 1389: 102).

از آن جایی که در خشکسالی‌ها باید مقدار نرمال بارندگی یا دبی رودخانه ملاک قرار گیرد و برای محاسبه آن نیاز به داشتن حداقل 30 سال آمار می‌باشد؛ لذا در این پژوهش از بین 22 ایستگاه سینوپتیک و 10 ایستگاه کلیماتولوژی سازمان هواشناسی کشور در قلمرو مطالعاتی، از مقادیر بارندگی ماهانه 12 ایستگاه با طول دوره آماری حداقل 30 سال (1966 تا 2005) استفاده شده است. پس از انتخاب ایستگاه‌های فوق، نواقص آماری آنها با استفاده از روش‌های همبستگی و درون‌یابی بازسازی گردید. شکل 1 پراکندگی ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

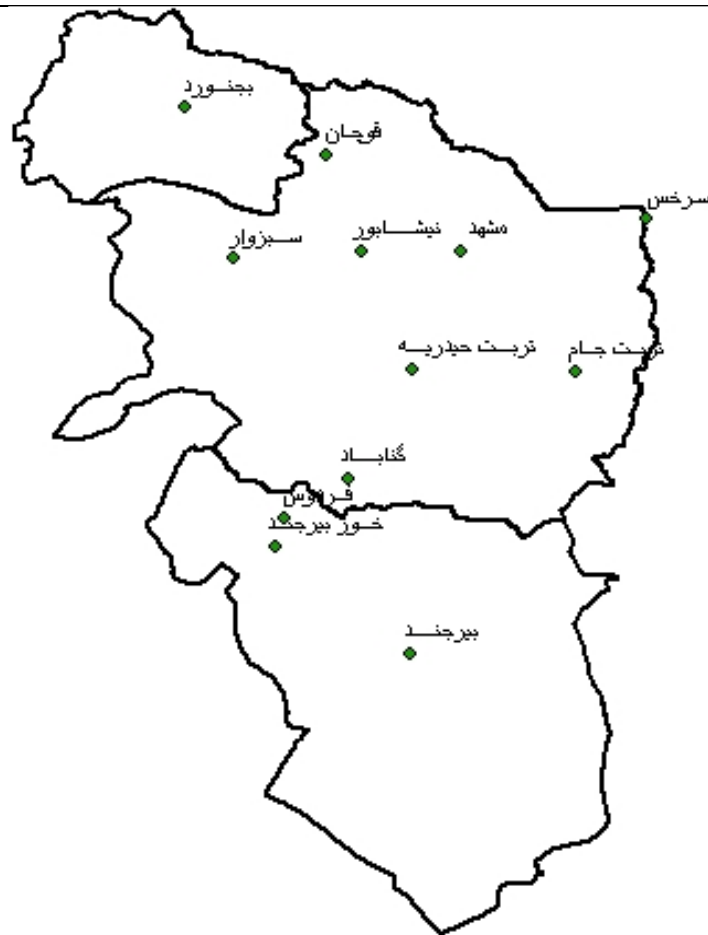
در ادامه، ابتدا مقادیر بارش تجمعی ماهانه ایستگاه‌های انتخابی برای هر یک از مقیاس‌های زمانی محاسبه و این مقادیر به توزیع گاما که مناسب‌ترین توزیع احتمال برای برازش داده‌های بارندگی، بویژه برای مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد برازش داده شده است. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌شود. تابع توزیع گاما با استفاده از تابع چگالی احتمالی زیر محاسبه می‌شود:

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

در این رابطه:

$g(x)$ - تابع چگالی احتمالی

به منظور تعیین میزان شدت و تداوم خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود، در حقیقت، شاخص‌های خشکسالی نمایانگر میزان بارندگی یک دوره مشخص نسبت به گذشته می‌باشند. هر شاخص خشکسالی دو کاربرد دارد: ارزیابی خطر خشکسالی در منطقه و ارزیابی گستره کنونی و شدت خشکسالی در منطقه. از بین شاخص‌های خشکسالی، شاخص بارش استاندارد (SPI)، یک شاخص بدون بُعد است که در آن مقادیر منفی، نشان‌دهنده خشکسالی و مقادیر مثبت، نشان‌دهنده شرایط مرطوب است و همچنین شدت خشکسالی، بزرگی و مدت زمان آن و نیز احتمال تاریخی مبتنی بر داده‌هایی که از خشکسالی خاصی بدست می‌آید را نشان می‌دهد. از آن جایی که خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها موثر است از SPI استفاده می‌شود تا بتوان تأثیر کمبود بارندگی را در دوره‌های زمانی 3، 6، 12، 24 و ... کمی کرد. شاخص SPI نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد. شاخص مزبور برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و می‌تواند هشدار اولیه جهت پایش خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. در واقع، شاخص SPI ابزار بسیار قوی در تحلیل داده‌های بارندگی و برای کمی کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی گوناگون طراحی شده است. مشخصه اصلی SPI انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری خشکسالی در مقیاس‌های زمانی گوناگون است؛ زیرا که خشکسالی‌ها از لحاظ مدت بسیار گسترده می‌باشند. بنابراین تشخیص و پایش آنها با انواع مقیاس‌های زمانی مهم می‌باشد. مقیاس زمانی اثرات خشکسالی را بر روی میزان توانایی منابع آب نشان می‌دهد. تغییرپذیری شاخص SPI در مقیاس زمانی کوتاه مدت بر روی رطوبت خاک و کمبود بارش در مقیاس زمانی طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر و منابع آب تأثیر می‌گذارد. این روش به وسیله مک کی، دوسکن، کلیست، اعضای مرکز اقلیمی کلرادو در سال 1993 به منظور تعیین و پایش خشکسالی در کلرادو و با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آبهای



شکل شماره 1- پراکنندگی جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی به منظور تحلیل فضایی خشکسالی در پهنه خراسان

x - بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و در هر ماه

x - مقادیر بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و هر ماه از سال و برای هر ایستگاه هواشناسی موردنظر

n - تعداد بارندگی‌های مخالف صفر ماههای مشابه در سری

$T(\alpha)$ - تابع گاما

زمانی بارشهای تجمعی در هر مقیاس زمانی

α و β نیز پارامتر شکل و پارامتر مقیاس هستند که به صورت

توزیع احتمال تجمعی داده‌ها با انتگرال گیری روی توزیع

زیر محاسبه می‌شوند:

گاما به دست می‌آید:

$$G(X) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

$G(X)$ - احتمال تجمعی توزیع گامای ناقص

از آن جایی که توزیع احتمالی گاما برای $X=0$ تعریف

که در آن:

نشده است و سری داده‌های بارش هر ایستگاه نیز ممکن است

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

دارای مقادیر بارندگی صفر باشد؛ احتمال تجمعی از رابطه

زیر حاصل می‌شود:

$$H(X) = q + (1 - q)G(X) \quad (6)$$

در روابط بالا:

\bar{x} میانگین بارندگی‌های تجمعی محاسبه شده در تمام ماه‌های

مشابه در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی

$$(10) \quad 0.5 < H(X) \leq 1 \quad \text{برای}$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)}$$

و ثابت‌های معادله عبارتند از:

$$c_1 = 0.802853 \quad c_0 = 2.515517$$

$$d_1 = 1.432788 \quad c_2 = 0.010328$$

$$d_2 = 0.189269 \quad d_3 = 0.001308$$

درجه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد بر اساس جدول 1 صورت می‌گیرد (Lloyd et al, 2002). بدین ترتیب با محاسبه نمایه SPI برای هر یک از ایستگاه‌های انتخابی خشکسالی‌های هر ایستگاه شناسایی و طبقات و مقادیر آن بر اساس جدول 1 برآورد گردید. در ادامه، با توجه به این که روش‌های زمین آمار به جهت منظور نمودن ساختار مکانی داده‌ها و ویژگی‌های جغرافیایی مانند عرض و طول جغرافیایی از دقت و اهمیت بالایی برخوردارند و با استفاده از واریوگرام وضعیت تغییرات منطقه-ای و محلی را با هم در نظر می‌گیرند (مدنی، 1373: 97)؛ پهنه-بندی قلمرو مطالعاتی بر اساس شاخص خشکسالی SPI در مقیاس‌های زمانی 3، 6، 12 و 24 ماهه با استفاده از روش میان-یابی کریجینگ معمولی، تحلیل فضایی داده‌های مکانی در نرم افزار Arc GIS صورت گرفت.

جدول شماره 1- مقیاس طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

طبقه خشکسالی	شاخص SPI	طبقه خشکسالی	شاخص SPI
خشکسالی ملایم	0 تا -0.99	خشکسالی شدید	-1/5 تا -1/99
خشکسالی متوسط	-1 تا -1/49	خشکسالی بسیار شدید	2- و کمتر

مأخذ: (مک کی و همکاران، 2000، ص33)

نتایج و بحث

q- احتمال وقوع بارندگی صفر در هر مقیاس زمانی، برای هر ماه و هر ایستگاه

$H(X)$ - توزیع احتمال تجمعی گاما

پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر یک از مقیاس‌های زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال با استفاده از تقریب آبراموویتز و استی‌گان به یک متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس 1 تبدیل می‌شود. این متغیر تصادفی همان مقدار SPI مورد نظر است.

روابط زیر مقادیر Z یا SPI را از روی مقادیر $H(X)$ ارائه می‌دهد:

(7)

$$Z = SPI = -(t \text{ برای } 0 < H(X) \leq 0.5) \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \quad (8)$$

$$Z = SPI = +(t \text{ برای } 0.5 < H(X) \leq 1) \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}$$

$$(9) \quad 0 < H(X) \leq 0.5 \quad \text{برای} \quad t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$$

جدول شماره 2 حداقل و حداکثر فراوانی مطلق و نسبی خشکسالی بسیار شدید و شدید چهار بازه را نشان می‌دهد.

جدول شماره 2 نشان می‌دهد که دامنه خشکسالی‌های بسیار شدید بین 0 تا 36 (0 تا 7/7 درصد) می‌باشد. بالاترین خشکسالی‌های شدید به ایستگاه بجنورد تعلق دارد و کمترین آن هم مربوط به ایستگاه تربت حیدریه است. دامنه خشکسالی‌های شدید بین 11 تا 39 (2/3 تا 8/3 درصد) می‌باشد. به جزء بازه بیست و چهار ماهه در همه بازه‌ها خشکسالی بسیار شدید وجود دارد در صورتی که در بازه

در این پژوهش شاخص استاندارد بارش به عنوان فاکتوری در تعیین خشکسالی‌های منطقه استفاده شد. پس از محاسبه SPI در سال‌های آماری مورد نظر نتایج آن در جداول و اشکال زیر بیان گردید. کل دوره مورد مطالعه 480 (1966 تا 2005) ماه می‌باشد. از این تعداد برای SPI سه ماهه 477 نمره استاندارد، SPI شش ماهه 474 نمره استاندارد، SPI دوازده ماهه 468 نمره استاندارد و SPI بیست و چهار ماهه 456 نمره استاندارد برای هر ایستگاه بدست آمده است.

بیست و چهار ماهه حداقل خشکسالی بسیار شدید صفر است و بیشترین دامنه بین حداقل و حداکثر فراوانی نسبی ماهه اتفاق افتاده است. خشکسالی بسیار شدید در بازه دوازده ماهه و بیست و چهار

جدول شماره 2- حداقل و حداکثر فراوانی مطلق و نسبی خشکسالی بسیار شدید و شدید چهار بازه

جمع	فراوانی نسبی		فراوانی مطلق		طبقات SPI	بازه
	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل		
477	3	1/5	15	7	خشکسالی بسیار شدید	سه ماهه
477	5	2/5	27	12	خشکسالی شدید	
474	3/4	1/7	16	8	خشکسالی بسیار شدید	شش ماهه
474	7	3/8	33	18	خشکسالی شدید	
468	7/7	1/5	36	7	خشکسالی بسیار شدید	دوازده ماهه
468	8/3	2/3	39	11	خشکسالی شدید	
456	6	0	28	0	خشکسالی بسیار شدید	بیست و چهار ماهه
456	7/5	2/6	34	12	خشکسالی شدید	

خشکسالی بالاترین خشکسالی بسیار شدید را داشته و بجنورد با 1/5 درصد کمترین خشکسالی بسیار شدید را داشته است. در این بازه شدیدترین خشکسالی با SPI 3/5- مربوط به ایستگاه تربت حیدریه است که در سال 2001 حادث شده است. دامنه خشکسالی‌های بسیار شدید بین 7 تا 18 (1/5 تا 3/8 درصد) می‌باشد. بیشترین خشکسالی‌های شدید به ایستگاه مشهد تعلق دارد و کمترین آن هم مربوط به ایستگاه سرخس است.

جداول شماره 3 و 4 تعداد و درصد شدیدترین خشکسالی و سال وقوع آن را در چهار بازه نشان می‌دهد. طبق جدول شماره 3 در بازه سه ماهه ایستگاه قوچان با رتبه 2/5 درصد بیشترین خشکسالی بسیار شدید را داشته و فردوس، خور بیرجند با 1 درصد کمترین خشکسالی بسیار شدید را داشته‌اند. در این بازه شدیدترین خشکسالی با SPI 4- مربوط به ایستگاه قوچان است که در سال 1967 حادث شده است. دامنه خشکسالی‌های بسیار شدید بین 4 تا 12 (1 تا 2/5 درصد) می‌باشد. در بازه شش ماهه نیشابور با 4 درصد

جدول شماره 3- تعداد، درصد، شدیدترین خشکسالی و سال وقوع آن در بازه سه و شش ماهه

ردیف	خشکسالی بسیار شدید بازه سه ماهه				خشکسالی بسیار شدید بازه شش ماهه				
	ایستگاه	تعداد	درصد	شدیدترین خشکسالی	سال وقوع	ایستگاه	تعداد	درصد	شدیدترین خشکسالی
1	بیرجند	10	2.1	-2.9	1985	بیرجند	13	2.7	-3.2
2	بجنورد	6	1.3	-2.8	2000	بجنورد	7	1.5	-2.33
3	فردوس	4	0.8	-2.7	2000	فردوس	13	2.7	-3.23
4	گناباد	8	1.7	-3.3	2000	گناباد	12	2.5	-3.3
5	قوچان	12	2.5	-4	1967	قوچان	13	2.7	-3
6	خور بیرجند	6	1.3	-2.7	1970	خور بیرجند	11	2.3	-2.8
7	مشهد	9	1.9	-3	1974	مشهد	10	2.1	-2.4
8	نیشابور	11	2.3	-3.11	2000	نیشابور	18	3.8	-3.2
9	سبزوار	8	1.7	-3.7	2000	سبزوار	12	2.5	-3.6
10	سرخس	7	1.5	-3	2000	سرخس	13	2.7	-3.4
11	تربت حیدریه	12	2.5	-3.7	1998	تربت حیدریه	16	3.4	-3.5
12	تربت جام	9	1.9	-3.3	1967	تربت جام	13	2.7	-3.1

جدول شماره 4- تعداد، درصد، شدیدترین خشکسالی و سال وقوع آن در بازه دوازده و بیست و چهار ماهه

ردیف	خشکسالی بسیار شدید بازه بیست و چهار ماهه				خشکسالی بسیار شدید بازه دوازده ماهه				ردیف	
	سال وقوع	شدیدترین خشکسالی	درصد	تعداد	ایستگاه	سال وقوع	شدیدترین خشکسالی	درصد		تعداد
1	2001	-3.6	3.5	16	بیرجند	1986	-3	6.8	32	بیرجند
2	1991	-1.8	0	0	بجنورد	1983	-2.3	1	4	بجنورد
3	1971	-3.5	5.3	24	فردوس	1970	-3.3	3.8	18	فردوس
4	2001	-2.7	4.2	19	گناباد	1971	-2.55	4.1	19	گناباد
5	1976	-2.4	3.1	14	قوچان	1976	-2.4	1.9	9	قوچان
6	1971	-3.9	5.9	27	خور بیرجند	1971	-3.6	5.8	27	خور بیرجند
7	1971	-2.8	5.3	24	مشهد	1971	-2.6	2.8	13	مشهد
8	1971	-2.6	5	23	نیشابور	1971	-3.2	3.6	17	نیشابور
9	1971	-2.5	3.3	15	سبزوار	1971	-2.7	2.8	13	سبزوار
10	2001	-2.6	2.2	10	سرخس	2000	-2.4	1.9	9	سرخس
11	2001	-2.7	3.7	17	تربت حیدریه	2001	-3	2.1	10	تربت حیدریه
12	1988	-2.3	4.6	21	تربت جام	1989	-3.3	2.6	12	تربت جام

در دهه دوم، 2 ایستگاه در دهه سوم و 2 ایستگاه در دهه چهارم بیشترین SPI منفی را داشته‌اند. در بازه بیست و چهار ماهه نیز 5 ایستگاه در دهه اول و 4 ایستگاه در دهه چهارم بیشترین SPI منفی را داشته‌اند. با توجه به میانگین بارش وزنی کشور در دوره مورد مطالعه (262 میلی متر) و این نتیجه که از نظر میانگین وزنی بارش سال 1973 و 2001 تنها 50 درصد بارش، دریافت شده و حدود 85 درصد از وسعت کشور خشک بوده و این خشکی به جز شمال و بخش کوچکی از غرب سراسر کشور را در برداشته است (بابایی، 1388)؛ دهه اول و چهارم خشکترین دهه برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

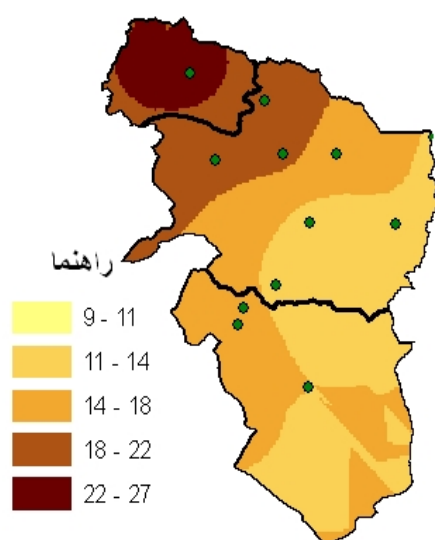
تحلیل فضایی بازه‌های خشکسالی

در بازه سه ماهه با توجه به شکل 2 ملاحظه می‌شود بالاترین مقدار خشکسالی‌ها در بخش مرکزی خراسان رضوی داده رخ داده و خشکسالی‌ها یک الگوی نصف النهاری را دنبال می‌کنند که از شرق به غرب کاهش می‌یابند. با ملاحظه شکل 3، نتیجه می‌شود که خشکسالی‌های شدید این الگو را از دست داده و از شمال به طرف جنوب کاهش می‌یابند. در بازه شش ماهه با توجه به شکل 4 و 5، الگوی مداری انسجام

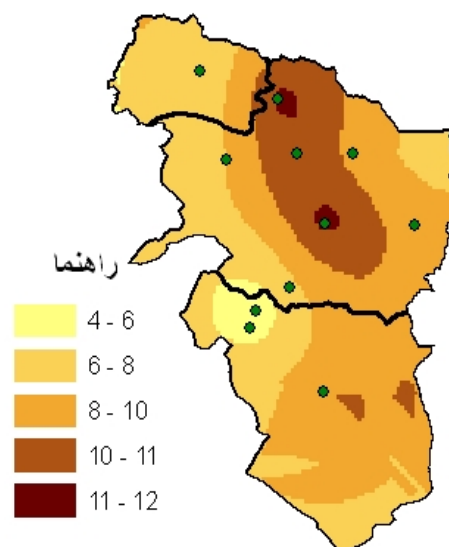
همانطور که جدول شماره 4 نشان می‌دهد در بازه دوازده ماهه بیرجند با 7 درصد خشکسالی بالاترین خشکسالی بسیار شدید را داشته و بجنورد با 1 درصد کمترین خشکسالی بسیار شدید را داشته است. شدیدترین خشکسالی با SPI -3/6 مربوط به ایستگاه خور بیرجند است که در سال 1971 حادث شده است. دامنه خشکسالی‌های بسیار شدید بین 4 تا 32 (1 تا 7 درصد) می‌باشد. در بازه بیست و چهار ماهه ایستگاه بجنورد خشکسالی بسیار شدید نداشته و خور بیرجند با 6 درصد بیشترین خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده است. در این بازه شدیدترین خشکسالی با SPI -4 مربوط به خور بیرجند است که در سال 1971 حادث شده است. دامنه خشکسالی‌های بسیار شدید 0 تا 27 (0 تا 6 درصد) می‌باشد. جداول شماره 3 و 4 مبین این است که در بازه سه ماهه، در چهار دهه مورد مطالعه (1966-2005) 7 ایستگاه در دهه چهارم بالاترین SPI منفی و 4 ایستگاه در دهه اول بیشترین SPI منفی را داشته‌اند. در بازه شش ماهه، 6 ایستگاه در دهه چهارم بالاترین SPI منفی و 4 ایستگاه در دهه اول بیشترین SPI منفی را داشته‌اند. این در حالی است که در بازه دوازده ماهه، 6 ایستگاه در دهه اول بالاترین SPI منفی، 2 ایستگاه

بنابراین خشکسالی‌های بسیار شدید از جنوب به طرف شمال کاهش می‌یابد. در این بازه الگوی خشکسالی‌ها شدید نصف النهاری بوده و از طرف شرق به طرف غرب کاهش یافته است. همانطور که شکل‌های 8 و 9 نشان می‌دهد بیشینه خشکسالی‌های بسیار شدید در غرب خراسان جنوبی قرار دارد و خشکسالی‌های شدید از شرق به غرب و از مرکز به اطراف در حال کاهش است.

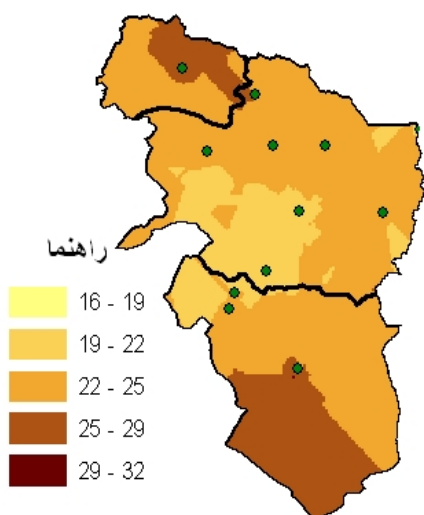
خود را از دست داده و دایره خشکسالی‌های بسیار شدید، وسیع‌تر می‌گردد. در این بازه خراسان شمالی از نظر تعداد در پایین‌ترین طبقه قرار گرفته ولی خراسان رضوی همچنان در رده بالا از نظر وقوع خشکسالی‌ها واقع شده است. در بازه دوازده ماهه با توجه به شکل 6 و 7 آرایش خشکسالی‌ها به هم خورده و بیشینه خشکسالی‌های بسیار شدید در خراسان جنوبی و جنوب خراسان رضوی قرار می‌گیرد



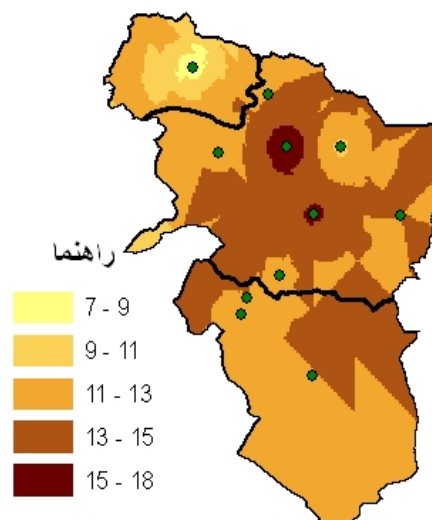
شکل شماره 3- درصد خشکسالی‌های شدید در بازه 3 ماهه



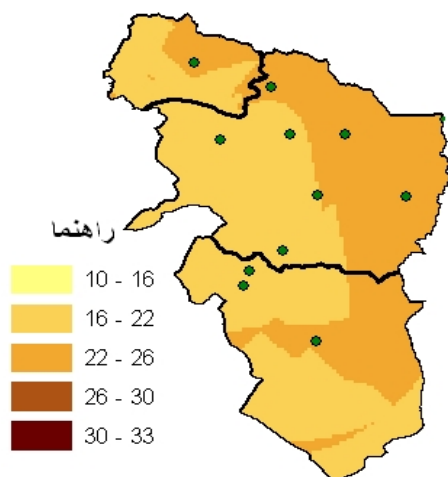
شکل شماره 2- درصد خشکسالی‌های بسیار شدید در بازه 3 ماهه



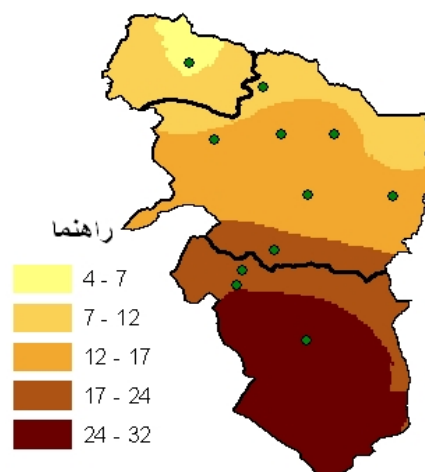
شکل شماره 5- درصد خشکسالی‌های شدید بازه 6 ماهه



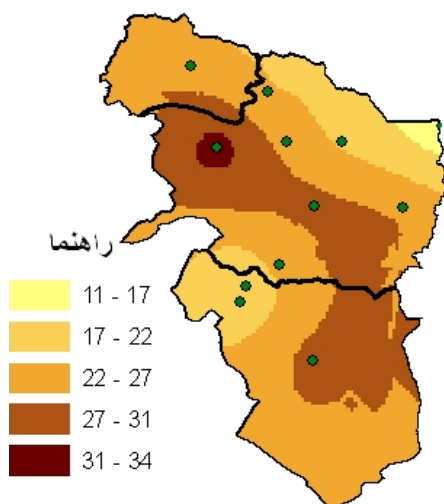
شکل شماره 4- درصد خشکسالی‌های بسیار شدید بازه 6 ماهه



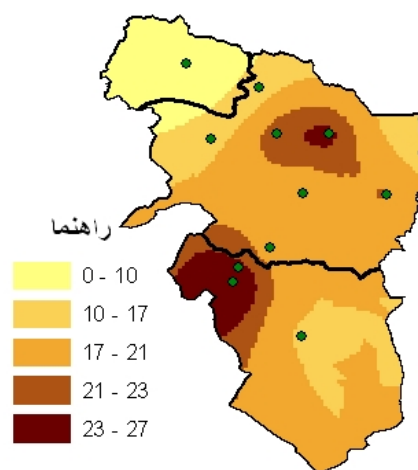
شکل شماره 7- درصد خشکسالی‌های شدید بازه 12 ماهه



شکل شماره 6- درصد خشکسالی‌های بسیار شدید بازه 12 ماهه



شکل شماره 9- درصد خشکسالی‌های شدید بازه 24 ماهه



شکل شماره 8- درصد خشکسالی‌های بسیار شدید بازه 24 ماهه

نتیجه‌گیری

خشکسالی قرار دارد. در بازه بیست و چهار ماهه خراسان جنوبی همچنان بیشترین خشکسالی‌های بسیار شدید را تجربه کرده و خراسان شمالی خشکسالی‌های بسیار شدید نداشته است. در این بازه غرب خراسان جنوبی و بخش مرکزی خراسان رضوی حداکثر خشکسالی‌های بسیار شدید را داشته است. از نظر توزیع فضایی همانطور که شکل‌های 2 و 4 نشان می‌دهند در هر دو بازه بیشترین فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید مربوط به خراسان رضوی و کمترین فراوانی مربوط به خراسان شمالی و جنوبی است. در واقع توزیع خشکسالی‌ها از یک الگوی نصف النهاری تبعیت می‌کنند و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. بنابراین ملاحظه می‌شود که مناطق پربارانتر بیشتر از نواحی کم باران در بازه سه و شش ماهه در معرض خشکسالی بسیار شدید قرار گرفته‌اند. نتایج

در طی دوره آماری 40 ساله در پهنه خراسان در بازه سه ماهه از نظر فضایی بخش مرکزی خراسان رضوی حدود 2 درصد و خراسان شمالی 6 درصد دچار خشکسالی شدید شده‌اند. در این بازه حداکثر خشکسالی‌های بسیار شدید 12 مورد و حداکثر خشکسالی‌های شدید 27 مورد است. در بازه شش ماه حداکثر خشکسالی‌های بسیار شدید همچنان به خراسان رضوی تعلق دارد. خراسان شمالی و جنوب خراسان جنوبی بیش از 30 مورد (بالای 6/8 درصد) دچار خشکسالی شدید شده‌اند. در این بازه حداکثر خشکسالی‌های بسیار شدید 16 مورد و حداکثر خشکسالی‌های شدید 33 مورد است. در بازه دوازده ماهه خراسان جنوبی دارای بیشترین خشکسالی بسیار شدید بوده و خراسان شمالی در رتبه آخر از نظر شدت

- جغرافیایی 15 و 16 مهرماه 1388، دانشگاه پیام نور استان آذربایجان غربی مرکز ارومیه.
- 6- بابایی، ا، 1388، الگوهای زمانی میانگین وزنی بارش‌های سالانه کشور، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.
- 7- جغرافیا و توسعه، شماره 26، 61-72.
- 8- حجازی زاده، ز و جوی زاده، س، 1389، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، انتشارات سمت، تهران.
- 9- خوشحال، ج، غیور، ح، مردای، م، 1391، تأثیر خشکسالی بر آب‌های زیرزمینی در حوضه‌ی آبی دهگلان- کردستان، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره 1، 19-36.
- 10- رفیعی، م و اصغری پور، م، 1388، پایش خشکسالی در بخشی از استان خراسان رضوی با استفاده از شنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.
- 11- سلیمانی ساردو، ف، سلطانی کوپایی، س و سلاجقه، ع، 1387، تحلیل گستره خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در استان کرمان، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- 12- شیرخانی، ع، 1381، تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم.
- 13- عباسی، ف و ملبوسی، ش، فلاح قالهری، ع، 1387، پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از نمایه درصد نرمال (PN) در استان خراسان رضوی، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- 14- کریمی، ف، کاظمی، ه، 1391، پایش مکانی شوری آب‌های زیرزمین در سال شاخص خشکسالی و ترسالی مورد: دشت تبریز، جغرافیا و توسعه، شماره 28، 94-79.

این پژوهش نشان می‌دهد که در بازه‌های کوتاه مدت مدیران و برنامه‌ریزان باید بیشتر نگران آینده مناطق فوق باشند. شاید تاکنون کسی به دلیل مقدار بیشتر میانگین بارش در این مناطق به این مساله چندان توجهی نکرده است. طبق شکل‌های 6 و 8 در هر دو بازه دوازده و بیست و چهار ماهه بیشترین فراوانی خشکسالی‌های بسیار شدید مربوط به خراسان جنوبی و کمترین فراوانی مربوط به خراسان شمالی و رضوی است. در واقع، توزیع خشکسالی‌ها از یک الگوی مداری تبعیت می‌کنند و از جنوب به شمال کاهش می‌یابد. بنابراین ملاحظه می‌شود که در بازه‌های بلندمدت مناطق کم باران بیشتر از نواحی پر باران در معرض خشکسالی قرار دارند. علت این موضوع هم نوسان شدید میانگین بارش از سالی به سال دیگر است؛ به طور مثال در ایستگاه خور بیرجند مقدار ضریب نوسان بین پر بارانترین سال با کم بارانترین سال حدود 60 برابر است.

منابع

- 1- آسیایی، م، 1385، پایش خشکسالی در مشهد با استفاده از شاخص خشکسالی پالمر، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ی هفتم، 167-186.
- 2- اژدری مقدم، م، خسروی، م، حسین پور نیکنام، ح، جعفری ندوشن، ا، 1391، پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از مدل فازی - عصبی، شاخص‌های اقلیمی، بارندگی و شاخص خشکسالی مطالعه موردی: زاهدان،
- 3- اصغری پور، م، 1387، پایش خشکسالی در بخشی از استان خراسان رضوی با استفاده از شنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل.
- 4- انصاری، ح و داوری، ک، 1386، پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS "مطالعه موردی استان خراسان"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 60، 97-108.
- 5- بابایی، ا، 1388، مقایسه بین خشکسالی‌های آذربایجان غربی و خراسان رضوی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، دومین همایش ملی علوم

- 20- LLOYD, B.H. and M. A. Saunders. 2002, A Drought Climatology For Europe, International Journal of Climatology, 22:1571-1592.
- 21- Loukasa, A. vasiliades, L. and DALEZIOS, N.R, 2003, Inter comparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece, 8 International conference on environmental Science and Technology Lemons Island, 8-10 September 484-491.
- 22- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1995 ,Drought monitoring with multiple time scales , 9th conference on applied climatology, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
- 23- Nawa,K. 2000 ,Drought Monitoring in Zambia using Meteosat and NOAA AVHRR Data, J. water Resour. Assoc. 38(4): 874-891
- 24- Morid S, Smakhtin V & Bagheradeh K. 2007 ,Drought forecasting using artificial neural networks and time series of Drought indices, International Journal of Climatology, no 27, pp 83-92.
- 15- مدنی، ح، 1373، مبانی زمین آمار. انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر- واحد تفرش.
- 16- یزدان پناه، ح و حسن زاده، ر، 1388، تعیین الگوهای گردشی موثر در فراگیرترین و طولانی‌ترین دوره خشک‌ترین در منطقه خراسان به کمک زنجیره مارکف، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر- کرمان.
- 17- Bordi, I., Sutera, A., 2007, Drought monitoring and forecasting at large scale, in: (Rossi G, Methods and tools for drought analysis and Management), Springer, Pp: 3-27.
- 18- Giddings, L., Soto, M., Rutherford, B.M. and Maarouf, M. 2005, Standardized precipitation index zones for mexico, Atmosfera, PP. 33-56.
- 19- Kanellou, E. Tsiros, E. Domenikiotis C. and Dalezios, N.R, 2008, Meteorological and Agrohydrological drought monitoring based on conventional and remotely sensed data, Geophysical Research Abstracts .A0244; EGU2008-A-09329; IS21 -HS1. 3/NH2. 8/NP3.11-1FR2P-0244.