

فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال چهارم، شماره ۱۳، بهار ۱۳۹۳
دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۷ - پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۳۰
صص ۱۰۳-۱۲۰

ارزیابی مشخصه‌های خشکسالی اقلیمی در منطقه لارستان^۱

احمدعلی خرم‌بخت: دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

سیدرحیم مشیری^۲: استاد جغرافیای انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

مسعود مهدوی: استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

چکیده

خشکسالی از جمله واقعیت‌های انکارناپذیر اقلیمی ایران محسوب می‌شود و بدون توجه به آن، هرگونه برنامه‌ریزی و آینده‌نگری به شکست منجر خواهد شد. تحلیل خشکسالی و شناخت ویژگی‌های آن می‌تواند برنامه‌ریزان را در مواجهه با بحران‌های ناشی از آن یاری دهد. در تحقیق حاضر، شهرستان لارستان واقع در استان فارس به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب، و برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی از داده‌های بارندگی ۱۹ ایستگاه در دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ استفاده شد. هدف آن بوده است که با استفاده از شاخص‌های CZI، SPI، RDI و ZSI به شناخت ویژگی‌های مختلف خشکسالی منطقه پرداخته شود. پس از تحلیل آماری داده‌ها مشخص گردید که دوام خشکسالی بر حسب ZSI بیش از سایر شاخص‌هاست. همچنین، شاخص SPI سختی بیشتری را نمایان می‌سازد. در مقیاس ماهانه، SPI مشخصه شدت را بیش از شاخص‌های دیگر نمایان می‌سازد، اما در مقیاس سالانه، حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از شاخص‌های دیگر است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص خشکسالی، خشکسالی اقلیمی، لارستان.

^۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی آقای احمدعلی خرم‌بخت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران به راهنمایی آقای دکتر سیدرحیم مشیری می‌باشد.

^۲. نویسنده مسئول: geography.doc@srbiau.ac.ir، ۰۹۱۲۱۳۰۱۰۵۱

بیان مسأله:

امروزه اصطلاح بلایای طبیعی در مورد رویدادهایی چون خشکسالی، سیل و زلزله آنچنان مرسوم شده است که برخی انسان‌ها از نقش خود در بروز بعضی از این حوادث و یا تشدید خسارات آن غفلت می‌کنند. بنا بر اعتقاد زمین‌شناسان، حوادثی چون زلزله و آتشفشان‌های شدید و بارش‌های سیل‌آسا همگی جزئی از فرایند تکامل کره زمین محسوب می‌شوند که تدریجاً این سیاره را مهیای پذیرش حیات و پیدایش انسان نموده است. بنابراین با ملاحظه عمر بیش از چهار میلیارد ساله کره زمین، نه تنها نمی‌توان بطور قطع چنین رویدادهایی را بلا و ضد حیات دانست، بلکه زمینه‌ساز حیات بوده و جزئی از رفتارهای عادی و «طبیعی» طبیعت به حساب می‌آیند. اما ظاهراً از زمانی که تأثیر این حوادث را بر زندگی انسان در نظر گرفته‌اند، یعنی از هنگام ظهور انسان، چنین رویدادهایی را بلایای طبیعی نامیده‌اند؛ به عبارت دیگر «انسان» این پدیده‌ها را بلا نام نهاده است. لیکن حداقل در روزگار کنونی، تأثیر عملکرد انسان در بروز یا تشدید خسارات ناشی از این رویدادها انکارناپذیر است. مثلاً بی‌توجهی به استانداردهای ساخت مسکن باعث خسارات جانی زلزله شده؛ و یا علت اکثر ویرانی‌های حاصل از سیل، مکان‌گزینی شهرها و مساکن در اراضی سیل‌گیر حاشیه مسیل‌هاست. همچنین، آنچه باعث افزایش خسارات خشکسالی می‌گردد بی‌دقتی و عدم صرفه‌جویی در مصرف آب، مانند بهره‌برداری بی‌رویه از ذخایر ارزشمند آبهای زیرزمینی است. همچنان‌که ویلهایت متذکر می‌شود؛ خشکسالی به خودی خود یک بلا محسوب نمی‌شود، بلکه تأثیر آن بر مردم و محیط زیست است که فاجعه‌آمیز بودن یا نبودن آن را مشخص می‌کند (Wilhite, 2000: 697).

بنابراین، بدیهی به نظر می‌رسد که شناخت رفتار طبیعت، آمادگی انسان را در مواجهه، چاره‌جویی و کاهش پیامدهای منفی آن افزایش می‌دهد. خشکسالی اقلیمی نیز یکی از رفتارهای عادی طبیعت در مناطق خشک محسوب می‌شود. بررسی آمار هواشناسی و رویدادها حاکی از آن است که خشکسالی مشخصه لاینفک آب و هوای مناطق خشک است و شناخت آن از نظر شدت، مدت و فراوانی وقوع، زمینه‌ساز آمادگی بیشتر انسان‌ها و تجدید نظر آنان در نحوه تأمین و مصرف آب و اتخاذ رویکردهای نوین ذخیره و صرفه‌جویی آب خواهد شد و نهایتاً خسارات ناشی از آن را کاهش خواهد داد. به نظر می‌رسد که عدم تحلیل علمی به منظور درک دقیق پدیده طبیعی خشکسالی و تلقی عمومی از آن به عنوان یک بلای ناگهانی و غیرمترقبه، مسئله اصلی و علت بروز و تشدید خسارت‌های ناشی از آن است. «ریچارد» اظهار می‌کند که عدم تشخیص و تعریف دقیق خشکسالی سبب ایجاد تردید و رکود در بخش‌های مختلف مدیریتی و سیاست‌گذاری در سایر بخش‌ها می‌شود (Richard, 2002: 1157). با تأکید بر لزوم شناخت خشکسالی، «کارولویز» نیز عقیده دارد با اینکه نمی‌توان از وقوع خشکسالی اقلیمی جلوگیری کرد، اما کشاورزان، برنامه‌ریزان و رهبران سیاسی می‌توانند از اطلاعات مطمئن درباره خشکسالی و تأثیرات آن، در جهت به حداقل رساندن وسعت و شدت تبعات آن استفاده کنند (Carolwis, 1996: 34). و بالأخره اینکه، مسئله اصلی اقلیمی مناطق خشک خود خشکسالی نیست؛ بلکه عدم شناخت کافی از آن به عنوان یکی از پدیده‌های عادی طبیعی و عدم تنظیم برنامه‌ها و مصارف مختلف آب بر اساس آن شناخت است. طبق تعریف، خشکسالی یکی از مخاطرات طبیعی است که در نتیجه بارش کمتر از حد نرمال رخ می‌دهد. به تعبیر «اشنیدر» خشکسالی در یک منطقه عبارت است از میانگین بارندگی یک سال یا یک فصل که کمتر از میانگین بارندگی چند ساله آن منطقه باشد (حجازی زاده، ۱۳۸۹: ۱۷). «دراکوپ» می‌نویسد: خشکسالی، کاهش رطوبت در سطحی وسیع است که به پوشش گیاهی، حیوانات و مردم آسیب می‌زند (Dracup, 1980: 299). این پدیده از جمله واقعیت‌های انکارناپذیر اقلیمی ایران محسوب می‌شود و بدون توجه به آن هرگونه برنامه‌ریزی و آینده‌نگری به شکست منجر خواهد شد. تحلیل خشکسالی‌ها و شناخت روند آنها می‌تواند برنامه‌ریزان را در مواجهه با بحران‌های ناشی از آن یاری دهد. خشکسالی پدیده‌ای طبیعی است و در همه دوره‌ها اتفاق افتاده است ولی اثرات آن در سال‌های اخیر که رشد جمعیت و میزان مصرف آب افزایش داشته مشهودتر بوده است. این پدیده در هر منطقه‌ای، چه دارای آب و هوای خشک باشد چه مرطوب، اتفاق می‌افتد، اما خشکسالی، شرایط خشکی اقلیمی و مسئله کم‌آبی را حادث می‌سازد.

هر قدر میانگین بارش سالانه منطقه‌ای کمتر باشد، احتمال اینکه مقدار بارش هر سال با مقدار میانگین بارش سالانه آن منطقه تفاوت داشته باشد، زیادتر است، و برعکس. در مناطق مرطوب که معمولاً متوسط بارش سالانه آن بالاست، نوسان در شرایط آب و هوایی کمتر است. اما در مناطق خشک نوسان آب و هوا یا سال‌های خشک خیلی زیاد است. روی همین اصل، نواحی خشک جهان، از جمله قسمت اعظم کشور ما، همیشه دارای اقلیمی با نوسان زیاد و غیرعادی است، به طوری که سالهای خشک یا خشکسالی‌ها بر سال‌های معمولی و ترسالی غلبه دارند (کردوانی، ۱۳۸۶: ۲۶). به تعبیر «گلانتز»، خشکسالی بیشتر از اینکه یک وضعیت اقلیمی غیرنرمال تلقی شود، بخش نرمال اقلیم منطقه به حساب می‌آید (Glants, 2003: 299). چون گیاهان، جانوران و انسان‌ها در هر محل با میانگین بارش دریافتی محل سازگاری یافته‌اند، هرگاه مقدار بارش از حد متوسط کمتر شود، اختلالی در حیات آنها پدید خواهد آمد و هرچه مقدار کاهش نسبت به میانگین بیشتر باشد، اختلال بیشتری ایجاد خواهد شد. به عبارت دیگر، خشکسالی یا کمبود بارش در دوره‌های بلندمدت می‌تواند باعث کمبود رطوبت خاک و سبب کاهش آبهای جاری شود و بدین طریق فعالیت‌های انسانی و حیات طبیعی گیاهی و جانوری را به هم بزند (گیور و همکاران، ۱۳۷۶: ۲۶). به عبارتی کمبود بارش و تداوم آن، در مراحل بعدی به اختلال در رشد گیاه (خشکسالی کشاورزی) و کاهش دبی رودها و ذخایر آب زیرزمینی و منابع پشت سدها (خشکسالی هیدرولوژیک) منجر شود، و چنانچه ادامه یابد، مشکلات اقتصادی و تنش‌های اجتماعی (خشکسالی‌های اقتصادی- اجتماعی) را در پی دارد. همچنان که «هایز» اظهار می‌کند که خشکسالی عواقبی مانند مهاجرت‌های بی‌رویه، تخریب زیست محیطی و تنشهای داخلی در پی داشته است. اگرچه خشکسالی تنها علت عمده جابجایی اجتماعی محسوب نمی‌شود، اما می‌تواند با مشکلات اساسی اجتماع ترکیب شود و تغییرات جدیدی را ایجاد کند و یا باعث تسریع تغییراتی شود که از قبل شروع شده است (Hayes, 1999: 429). در تحقیق حاضر، شهرستان لارستان واقع در استان فارس به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب، و برای بررسی ویژگی‌های خشکسالی از داده‌های بارندگی ۱۹ ایستگاه در دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ استفاده شد. هدف آن از انجام تحقیق این است که با استفاده از شاخص‌های ZSI, CZI, SPI و RDI به شناخت ویژگی‌های مختلف خشکسالی منطقه پرداخته شود.

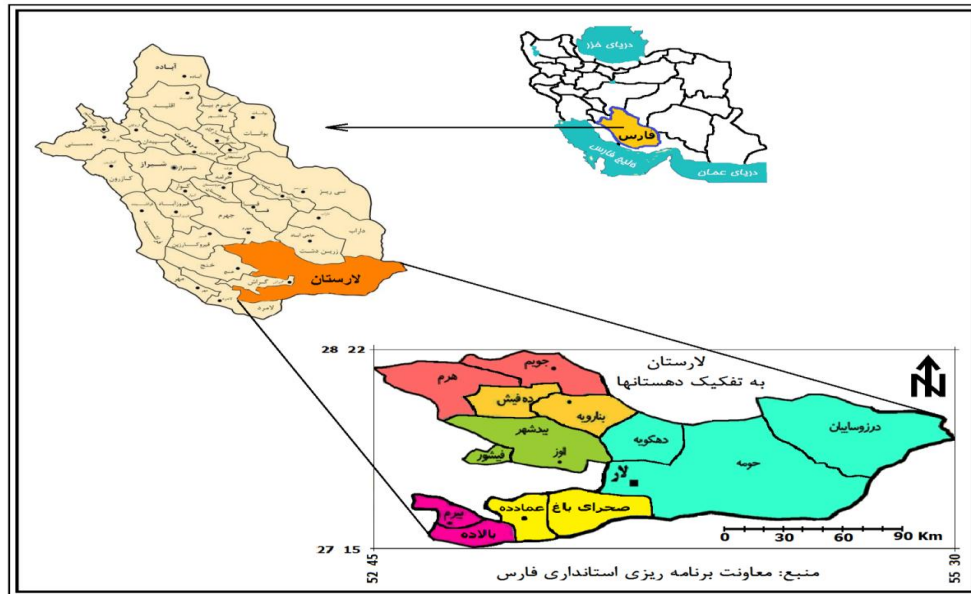
پیشینه تحقیق:

یکی از عوامل مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی در هر منطقه شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها، سختی، داوم، و فراوانی این پدیده را ارزیابی کرد. شاخص خشکسالی وسیله‌ای است که با خلاصه کردن اطلاعات خشکسالی به صورت دوره-ای، اطلاعات و شرایط رطوبتی در منطقه را نشان می‌دهد. شاخص‌های خشکسالی با اعداد ریاضی نشان داده می‌شوند تا برای تصمیم‌سازی مورد استفاده قرار گیرند (حجازی زاده، ۱۳۸۹: ۱۰۲). پژوهش‌های پالمر در خصوص خشکسالی از جمله نخستین پژوهش‌هایی است که خشکسالی را کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی (منظور انحراف از شرایط طبیعی یا میانگین بلندمدت پارامترهای هواشناسی) دانسته است (Palmer, 1965). اقدامات اولیه در خصوص پایش خشکسالی با تحلیل فراوانی منطقه-ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد (Whipple, 1966). سپس توسط سایر محققین دنبال گردید (Eder & et al, 1987-1986, Klugman, 1978-Oladipo, 1986). در دهه‌های گذشته قسمت غالب تحلیل‌های خشکسالی معمولاً به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (Karl & et al, 1984). ویلهایت و گلانتز در سال ۱۹۸۵ عنوان نمودند که خشکسالی اصولاً زمانی رخ می‌دهد که بارندگی سالانه و یا هر بازه زمانی معین به طور محسوس کمتر از میانگین بلندمدت آن بازه زمانی باشد (Wilhite & et al, 1985). هایز و همکاران در سال ۱۹۹۶ به کمک شاخص بارش استاندارد به ارزیابی خشکسالی در ایالت‌های مختلف آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص بارش استاندارد، مناطق با پتانسیل خشکسالی را یک ماه زودتر از وقوع خشکسالی نشان می‌دهد (Hayes, 1996). استرلا در سال ۲۰۰۰ خشکسالی‌های رخ داده در منطقه والنسیا را با توجه به مدت و شدت و توزیع مکانی آنها مورد بررسی قرار داد و با بهره‌گیری از روش تجزیه و تحلیل تناوبی و تعیین چهار دوره خشک به بررسی اثرات مهم اقتصادی و اجتماعی این دوره‌ها پرداخت (Estrela, 2000). اسماختین و هیوجز در سال ۲۰۰۶ جهت تعیین خصوصیات خشکسالی در جنوب آسیا از شاخص بارش استاندارد استفاده کردند (Smakhtin & et al, 2006).

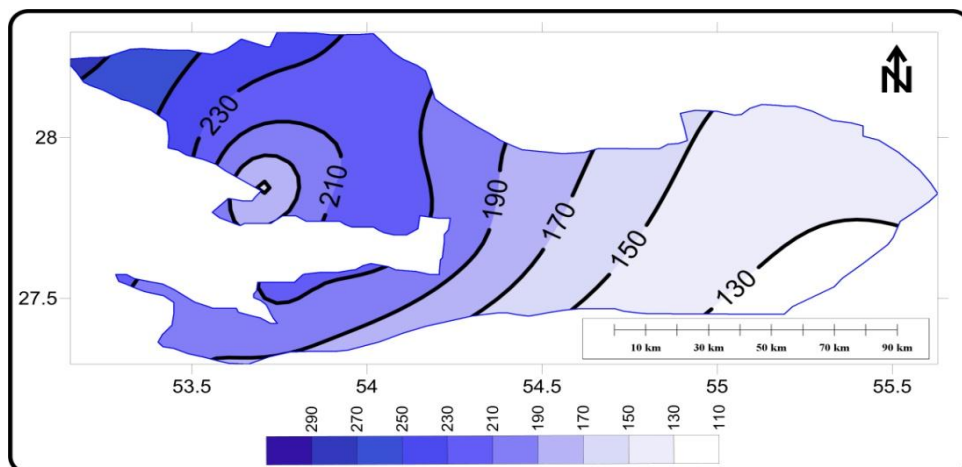
فرج زاده و همکاران (۱۳۷۵) با استفاده از روش های متعدد متکی بر استفاده از عنصر بارش، پدیده خشکسالی را با تعیین ویژگی های آماری آن از جمله وسعت، شدت، فراوانی و تداوم زمانی آن در ایران مطالعه نموده اند. قطره سامانی (۱۳۷۹) به بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری پرداخت. پس از بررسی های آماری مشخص شد که در سال آماری ۵۹-۶۰ خشکسالی شدید در این استان رخ داده و با ترسیم نقشه توزیع خشکسالی استان، مشخص گردید که شدت خشکسالی از شرق به غرب کاهش می یابد. دین پژوه (۱۳۸۰) مشخصات خشکسالی شامل دوره تداوم، مجموع مقدار کمبود، شدت و وسعت خشکسالی را به صورت منطقه ای در سطح کشور مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که به جز مشخصه دوره تداوم، سایر مشخصه های خشکسالی با میانگین بلند مدت بارش رابطه مستقیم دارد. حیدری و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی ویژگی های شدت، مدت، تعداد وقوع و گستره خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک یزد برای سال های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۵ رخ داده است. محمدیان و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی خشکسالی های استان خراسان شمالی بر اساس شاخص های بارش استاندارد، شاخص دهک ها و درصد بارش نرمال نتیجه گرفتند که در سراسر استان خراسان شمالی وسیع ترین و شدیدترین خشکسالی ها در سال های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده است. فدائی کرمانی و همکاران (۱۳۹۰) به معرفی شاخص بارش استاندارد و چگونگی تعیین دوره خشکسالی به کمک این شاخص برای شهرستان بزم برای دوره زمانی ۳۰ ساله پرداختند و دوره های خشکسالی را با مقیاس های زمانی مختلف در این منطقه پیش بینی و ارزیابی کردند. نوحه گر و محمودآبادی (۱۳۹۱) به ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوزه کهورستان واقع در استان هرمزگان پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص درصد بارش نرمال و دهک ها مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی رخداد خشکسالی بسیار شدید را در اکثر ایستگاه های تحت مطالعه نشان داده و کارایی بهتری نسبت به شاخص بارش استاندارد از جنبه نمایش خشکسالی های بسیار شدید دارد.

داده ها و روش شناسی تحقیق:

شهرستان لارستان در قسمت جنوبی استان فارس بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی واقع شده است. (شکل شماره ۱). لارستان دارای زمستان های معتدل و تابستان های گرم و خشک است؛ و بر اساس روش های مرسوم طبقه بندی اقلیمی در محدوده اقلیم خشک قرار می گیرد. بارندگی غالباً زمستانه و تحت تأثیر سیستم های آب و هوایی است که از سمت غرب و جنوب غرب کشور وارد می گردد. بر مبنای داده های دوره آماری ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲، میانگین بارش سالانه لارستان ۲۰۱ میلی متر محاسبه شده است. بارش در ۵۸ درصد سال ها کمتر از میانگین و در ۴۲ درصد سالها بیشتر از میانگین بوده است. میزان بارش از ۴۶/۷ تا ۵۸۸/۶ میلی متر نوسان دارد. به این ترتیب دامنه تغییرات بارش ۵۴۲ میلی متر، و انحراف استاندارد آن ۱۲۸ میلی متر است. ضریب تغییرپذیری بارندگی لارستان که از نسبت انحراف استاندارد به میانگین حاصل می شود، بیش از ۶۳ درصد است. این ویژگی از مهم ترین شاخصه های اقلیمی مناطق خشک محسوب می گردد که هر نوع برنامه ریزی مبتنی بر بارش را با عدم اطمینان مواجه می سازد. با توجه به شکل شماره ۲ روند کلی توزیع فضایی بارندگی لارستان، غربی- شرقی است؛ و از غرب به شرق از میزان بارش کاسته شده و فواصل منحنی ها افزایش می یابد. این پدیده، تا حدودی تبعیت از قاعده کلی توزیع بارندگی در ایران را نمایان می سازد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان لارستان



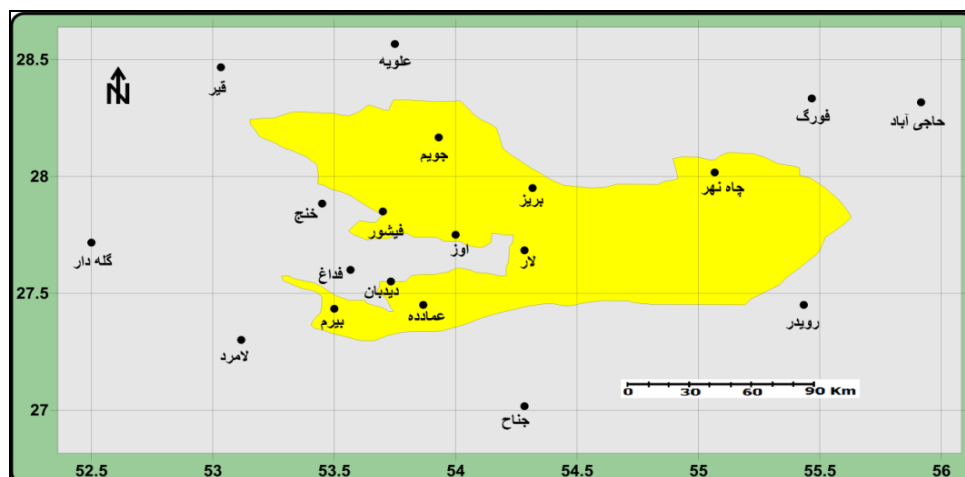
شکل ۲- گستره فضایی متوسط بارش سالانه لارستان

روش تحقیق، تلفیقی از مطالعات کتابخانه‌ای و تحلیل‌های آماری است. به منظور بررسی خشکسالی داده‌های ۱۹ ایستگاه بارانسنجی و سینوپتیک واقع در محدوده لارستان و حوالی آن انتخاب شده است. (جدول شماره ۱ و شکل شماره ۳). دوره آماری، یک محدوده زمانی ۲۵ ساله از ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲ ه.ش را شامل می‌گردد. پیش از انجام محاسبات و پردازش داده‌ها، آزمون همگنی داده‌های بارش تمامی ایستگاه‌های منتخب با استفاده از روش ران تست (run test) انجام گرفت. سپس به منظور تبیین دقیق خشکسالی لارستان به محاسبه شاخص‌های مورد نظر پرداخته شد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه های منتخب

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بارش	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	بارش
اوز	بارانسنجی	۲۷° ۴۵'	۵۴° -	۲۳۱	حاجی آباد	سینوپتیک	۲۸° ۱۹'	۵۵° ۵۵'	۱۷۰
بریز	بارانسنجی	۲۷° ۵۷'	۵۴° ۱۹'	۱۹۵	فورگ	بارانسنجی	۲۸° ۲۰'	۵۵° ۲۸'	۱۴۴
بیرم	بارانسنجی	۲۷° ۲۶'	۵۳° ۳۰'	۱۹۲	علویه	بارانسنجی	۲۸° ۳۴'	۵۳° ۴۵'	۲۵۱
جویم	بارانسنجی	۲۸° ۱۰'	۵۳° ۵۲'	۲۲۵	قیر	بارانسنجی	۲۸° ۲۸'	۵۳° ۲'	۲۹۶
فیشور	بارانسنجی	۲۷° ۵۱'	۵۳° ۴۲'	۱۶۴	خنج	بارانسنجی	۲۷° ۵۳'	۵۳° ۲۷'	۲۴۳
دیدبان	بارانسنجی	۲۷° ۳۳'	۵۳° ۴۴'	۲۲۰	گله دار	بارانسنجی	۲۷° ۴۳'	۵۲° ۳۰'	۲۳۸
عمادده	بارانسنجی	۲۷° ۲۷'	۵۳° ۵۲'	۲۰۰	لامرد	سینوپتیک	۲۷° ۱۸'	۵۳° ۷'	۲۱۷
فداغ	بارانسنجی	۲۷° ۳۶'	۵۳° ۳۴'	۱۸۸	جناح	بارانسنجی	۲۷° ۱'	۵۴° ۱۷'	۱۱۴
لار	سینوپتیک	۲۷° ۴۱'	۵۴° ۱۷'	۱۹۷	رویدر	بارانسنجی	۲۷° ۲۷'	۵۵° ۲۶'	۱۲۰
چاه نهر	بارانسنجی	۲۸° ۱'	۵۵° ۴'	۱۴۲					

منبع: سالنامه های هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور



شکل ۳- موقعیت ایستگاه های منتخب

به منظور بررسی خشکسالی شاخص های متنوعی توسط محققان ابداع شده که اساس این شاخص ها اغلب بر مبنای سنجش انحراف مقادیر بارش از میانگین بلندمدت طی یک دوره زمانی معین استوار است. در این پژوهش محاسبه شاخص های SPI، CZI، ZSI و RDI انجام گرفته است. SPI یا شاخص بارش استاندارد بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد، برای مقیاس های زمانی مختلف قابل محاسبه است و می تواند هشدار اولیه جهت پایش خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. اولین مرحله محاسبه این شاخص تقسیم انحراف از میانگین داده های بارش دوره مورد نظر بر انحراف استاندارد است، بر طبق فرمول ۱:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{فرمول ۱}$$

عناصر فرمول فوق عبارتند از: P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، \bar{P} میانگین بلند مدت بارش، و SD انحراف استاندارد بارش. مقادیر SPI که بر طبق فرمول فوق به دست می آید از یک توزیع نرمال تبعیت می کند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است. مرحله بعدی شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی است. احتمالات تجمعی گاما یا $G(X)$ از طریق فرمول ۲ محاسبه می شود:

$$G(X) = \frac{1}{\beta^x \Gamma(\alpha)} \int_1^x X^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{فرمول ۲}$$

تابع گاما می‌باشد. پارامترهای توزیع چگالی احتمال $\Gamma(\alpha)$ مقدار بارش و X پارامتر مقیاس، β پارامتر شکل، α که در آن، گاما از داده‌های نمونه با روش درست نمایی حداکثر برای هر ایستگاه و برای مقیاس زمانی انتخابی و برای هر ماه از سال از طریق فرمول‌های ۳ تا ۵ برآورد می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \text{فرمول ۳}$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad \text{فرمول ۴}$$

$$A = \ln(x) = \frac{\sum \ln(x)}{N} \quad \text{فرمول ۵}$$

N تعداد مشاهدات بارندگی، و X میانگین بارندگی تجمعی برای یک ماه در طول دوره آماری است. چون تابع گاما برای بارندگی صفر میلیمتر تعریف نشده و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، احتمال تجمعی کل که دربرگیرنده مقادیر صفر نیز می‌باشد، از فرمول ۶ به دست می‌آید:

$$H(x) = q + (1 - q)G(X) \quad \text{فرمول ۶}$$

که در آن، q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی است. اگر m تعداد داده‌های بارندگی صفر در سری زمانی n تایی باشد، آنگاه q از فرمول ۷ به دست می‌آید:

$$q = \frac{m}{n} \quad \text{فرمول ۷}$$

پس از محاسبه احتمال تجمعی کل یا $H(x)$ ، مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد، هم احتمال با احتمال مذکور که دارای میانگین صفر و انحراف استاندارد یک است محاسبه می‌شود. این مقدار، همان شاخص SPI است. فرمول‌های ۸ و ۹، Z یا SPI را از روی مقادیر $H(x)$ ارائه می‌دهد:

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

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

از فرمول ۱۰ محاسبه می‌شود: t باشد، مقدار $(0 < H(X) \leq 0.5)$ که در آن، اگر

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{H(X)^2} \right]} \quad \text{فرمول ۱۰}$$

و اگر $(0.5 < H(X) \leq 1)$ باشد، مقدار t از فرمول ۱۱ محاسبه می‌شود:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(X))^2} \right]} \quad \text{فرمول ۱۱}$$

در فرمول‌های ۸ تا ۱۱، $H(X)$ احتمال تجمعی و $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ مقادیر ثابت است:

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \\ c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.10328 \end{aligned}$$

مقادیر آستانه این شاخص و وضعیت‌های اقلیمی متناظر با آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است. SPI در محدوده $+2$ یا بیشتر برای ترسالی حاد، و -2 یا کمتر برای خشکسالی حاد درجه بندی می‌شود.

جدول ۲- طبقات مختلف خشکسالی و ترسالی بر اساس مقادیر شاخص SPI

وضعیت	مقادیر SPI	وضعیت	مقادیر SPI
ترسالی بسیار شدید (حاد)	۲ و بیشتر	خشکسالی ضعیف	۰ تا ۰/۹۹-
ترسالی شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹	خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
ترسالی متوسط	۱ تا ۱/۴۹	خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
نرمال	۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی بسیار شدید (حاد)	۲- و کمتر

منبع: (مک کی، ۱۹۹۳: ۲) و (سلطانی، ۱۳۸۶: ۶۵).

مبنای محاسبه شاخص ZSI^1 انحراف از میانگین نسبت به انحراف استاندارد داده‌های آماری است. اصولاً نمره Z یا $Z-$ score وضعیت نمره‌ها نسبت به میانگین را تعیین می‌کند. به بیان دیگر، نمره استاندارد Z بیانگر آن است که مقادیر یک متغیر با چند درصد انحراف بیشتر یا کمتر از میانگین آن متغیر قرار دارد. اگر نمره‌های انحراف از میانگین را بر انحراف استاندارد تقسیم کنیم، نمره‌های استاندارد به دست می‌آید. برای تبدیل نمرات خام به نمرات Z از فرمول ۱۲ استفاده می‌شود:

$$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{SD} \quad \text{فرمول ۱۲}$$

در فرمول ۱۲، X_i نمرات خام، \bar{X} میانگین نمرات، و SD انحراف استاندارد نمرات است. نمره Z نمره مجردی است که واحد آن با واحد اصلی اندازه‌گیری متغیرها متفاوت است. هنگامی که انحراف یک نمره از میانگین بر انحراف استاندارد تقسیم می‌شود، واحد اصلی اندازه‌گیری به واحد انحراف استاندارد تبدیل می‌شود. بر اثر تبدیل نمره‌های خام به نمره‌های استاندارد، توزیعی به دست می‌آید که دارای میانگین صفر و انحراف استاندارد یک است.

برای کاربرد Z در مطالعات خشکسالی، ابتدا میانگین داده‌های بارش در مقیاس زمانی مورد نظر، مثلاً ماهانه، و همچنین انحراف استاندارد آنها محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از فرمول ۱۲ شاخص Z محاسبه می‌گردد. میانگین Z برابر با صفر، و انحراف استاندارد آن برابر با یک است، و بنابراین از نظر مقایسه بین ایستگاه‌های مختلف می‌تواند کاربرد مطمئنی داشته باشد. نمرات Z بارش ابزار مناسب جهت تعیین ماههای خشک، شدت و تداوم آنها به شمار می‌آید (حجازی زاده، ۱۳۸۹: ۱۵۵).

CZI یا شاخص Z چینی^۲ بر اساس تبدیل ریشه سوم ویلسون هیلفرتی محاسبه می‌گردد، با این فرض که داده‌ها از توزیع پیرسون نوع ۳ تبعیت می‌کنند. CZI با استفاده از فرمول‌های ۱۳ تا ۱۵ به دست می‌آید:

$$Z_{ij} = \frac{6}{C_{si}} \left(\frac{C_{si}}{2} \varphi + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_{si}} + \frac{C_{si}}{6} \quad \text{فرمول ۱۳}$$

$$C_{si} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^3}{n \times \sigma_i^2} \quad \text{فرمول ۱۴}$$

$$\varphi_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}}{\sigma_i} \quad \text{فرمول ۱۵}$$

عناصر فرمول‌های ۱۳ تا ۱۵ عبارتند از: Z ماه مورد نظر، C_{si} ضریب چولگی، φ_{ij} متغیر استاندارد، X_{ij} بارندگی ماه j ، \bar{X} ، σ_i^2 و σ_i به ترتیب میانگین، انحراف استاندارد و واریانس بارندگی در مقیاس زمانی مورد نظر، و n تعداد کل ماهها در طول دوره آماری. طبقه بندی شاخص‌های فوق بر مبنای جدول ۲ انجام می‌گیرد (ناصرزاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵۲). برای تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی احیایی (RDI)^۳، آمار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و یا مجموع سالانه این دو پارامتر مورد نیاز است. روش محاسبه بدین شرح است که ابتدا با استفاده از فرمول ۱۶ برای هر سال از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان α_0 محاسبه می‌شود:

$$\alpha_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad \text{فرمول ۱۶}$$

¹ Z-Score Index² China Z Index³ Reclamation Drought Index

که در آن، P بارندگی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل در i امین ماه سال i می باشد. مقدار i از یک تا N (تعداد سالهای آماری) تغییر می کند. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند، نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI نرمال یا RDI_n هر سال است که از فرمول ۱۷ محاسبه خواهد شد:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\bar{\alpha}_0} - 1 \quad \text{فرمول ۱۷}$$

که در آن، $\bar{\alpha}_0$ میانگین حسابی اعداد α_0 هر سال می باشد. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده RDI (یا RDI_s) از مقادیر سالانه α_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_i به دست خواهد آمد:

$$y_i = \ln(\alpha_0^{(i)}) \quad \text{فرمول ۱۸}$$

سپس میانگین حسابی و انحراف استاندارد این اعداد را محاسبه و به ترتیب \bar{y}_k و σ_{y_k} می نامیم. نهایتاً شاخص استاندارد شده RDI در هر سال از طریق فرمول ۱۹ محاسبه می شود:

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}} \quad \text{فرمول ۱۹}$$

آستانه‌های طبقه‌بندی خشکسالی برای RDI و SPI یکسان است (اسدی زارچ و همکاران، ۱۳۸۸: ۴). مشخصات خشکسالی‌ها که در این تحقیق ارزیابی شده‌اند عبارتند از طول دوره خشکسالی یا تداوم آن، شدت خشکسالی، مجموع کمبودها یا سختی خشکسالی، فراوانی خشکسالی و گستره فضایی آن. طول دوره خشکسالی یعنی فاصله زمانی که در طول آن خشکسالی اتفاق افتاده است، به عبارت دیگر، طول دوره‌ای که در آن مقدار متغیر اصلی از سطح بحرانی مورد نظر کمتر شود. این پارامتر را طول دوره با ذخیره منفی نیز می‌نامند. به عبارت ساده تر، زمان آغاز (T_0) تا پایان خشکسالی (T_e) طول دوره یا دوره تداوم خشکسالی (L) خوانده می‌شود. (فرمول ۲۰):

$$L = T_e - T_0 \quad \text{فرمول ۲۰}$$

پارامتر مجموع کمبودها برابر است با مجموع کمبودهای متغیر اصلی از حد بحرانی مورد نظر در طول دوره خشکسالی. این ویژگی با عنوان کمبود کلی یا وخامت خشکسالی نیز نامیده شده است. در این تحقیق، اصطلاح سختی خشکسالی به کار رفته است. این مشخصه از طریق فرمول ۲۱ محاسبه می‌گردد:

$$S = \sum_{t=T_0}^{T_e} (T_t - X_t) \quad \text{فرمول ۲۱}$$

که T_t سطح بحرانی، و X_t متغیر اصلی است (حجازی زاده، ۱۳۸۹: ۱۵۵).

یافته‌های تحقیق:

داده‌های بارش ماهانه ۱۹ ایستگاه بارانسنجی و سینوپتیک واقع در محدوده‌ی لارستان و نواحی مجاور آن به منظور محاسبه شاخص‌های CZI ، SPI ، و ZSI ، و ترسیم نقشه‌های گستره فضایی خشکسالی مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به علاوه داده‌های سالانه بارش نیز به طور جداگانه، مبنای محاسبه شاخص‌های CZI ، SPI ، ZSI ، و RDI ، و مقایسه شاخص‌ها و تحلیل رویداد خشکسالی فراگیر سال ۷۹-۱۳۷۸ قرار گرفت. مشخصات خشکسالی اقلیمی که در این تحقیق بررسی شده‌اند عبارتند از تداوم، شدت، سختی، فراوانی و گستره فضایی. هدف آن بوده که به کمک روشهای آماری و تکنیک‌های نرم-افزاری اولاً شناخت جامعی از ویژگی‌های خشکسالی‌های اقلیمی لارستان حاصل گردد و ثانیاً تلاش شود که شاخص‌های مختلف از نظر نحوه انعکاس پدیده خشکسالی با یکدیگر مقایسه شوند. بدین منظور، پس از پردازش داده‌ها و انجام محاسبات لازم، به ترسیم نمودارها و نقشه‌هایی که نمایش مناسبی از اطلاعات و تحلیل‌ها ارائه کند، مبادرت شد؛ که در ادامه به هر یک از آنها در جای خود اشاره خواهد شد. در لارستان نیز، همانند سایر نواحی خشک، خشکسالی بیش از آنکه یک وضعیت غیر نرمال شناخته شود، خصوصیت عادی اقلیمی محسوب می‌گردد. این واقعیت را می‌توان با ملاحظه اجمالی یافته‌ها تشخیص داد. با این وصف به بررسی این پدیده از جنبه‌های مختلف می‌پردازیم.

دوام: طول دوره‌های خشکسالی لارستان که از طریق فرمول ۲۰، با استفاده از آمار قابل دسترس، در مقیاس ماهانه محاسبه شده‌اند، حاکی از وقوع خشکسالی‌های مکرر در دوره‌های نسبتاً طولانی است. نظر به اینکه خشکسالی خصوصیت غالب اقلیم منطقه را شکل می‌دهد، صرفاً نمونه‌هایی از دوره‌های خشکسالی که حداقل ۹ ماه به طول انجامیده در جدول شماره ۳ ارائه شده است. با عنایت به روندهای ماهانه شروع و خاتمه خشکسالی‌ها می‌توان گفت که وقوع این پدیده، چه در ماه‌های گرم و خشک سال، و چه در ماه‌های معتدل و نسبتاً مرطوب، امری عادی به شمار می‌آید. تداوم‌های ۹ ماهه تا حدود دو ساله خشکسالی که زمینه بروز مشکلات زراعی و هیدرولوژیک را فراهم می‌سازد، به کرات اتفاق افتاده‌اند. طولانی‌ترین تداوم که با مقادیر بالای سختی خشکسالی همراه بوده به ماه‌های میانی سال ۱۳۷۸ تا ماه‌های پایانی سال ۱۳۷۹ مربوط می‌شود، یعنی دوره‌ای که بارش در همه ایستگاه‌های ناحیه لارستان مقادیر حداقل را نشان می‌دهد، هر چند که در دوره مزبور نیز برخی تفاوت‌های مکانی قابل ذکرند؛ نظیر ایستگاه جویم در شمال لارستان که حداکثر بارش (۷۴ میلی‌متر) را ثبت کرده است و ایستگاه فیثور در غرب لارستان که حداقل بارش (۲۳ میلی‌متر) را تجربه کرده است.

جدول ۳- درصد فراوانی ماه‌های خشک، به تفکیک شدت خشکسالی و مشخصات برخی از وقایع خشکسالی لارستان بر حسب

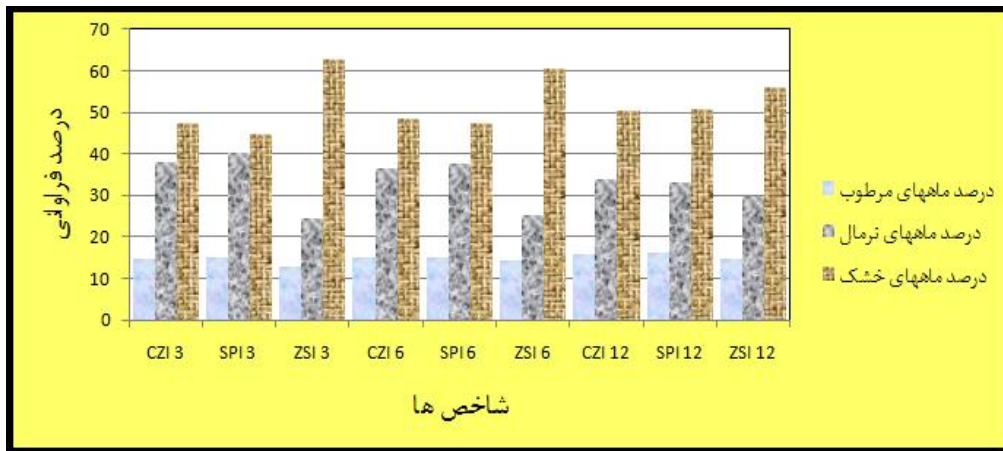
شاخصهای مختلف

مشخصات برخی از وقایع خشکسالی				درصد فراوانی ماه‌های خشک (به تفکیک شدت خشکسالی)					شاخص
سختی	دوام(ماه)	پایان دوره	شروع دوره	بسیار شدید	شدید	متوسط	کمی	بسیار کم	
-۱۲/۳۷	۱۲	بهمن ۱۳۶۹	اسفند ۱۳۶۸	۴۷/۵	۳۶/۷	۶/۳	۱/۴	۳/۱	CZI ۳ ماهه
-۷/۷۹	۹	خرداد ۱۳۷۹	مهر ۱۳۷۸						
-۱۰	۱۲	بهمن ۱۳۶۹	اسفند ۱۳۶۸	۴۴/۷	۳۱/۱	۷/۳	۵/۶	۰/۷	SPI ۳ ماهه
-۱۰/۱۹	۱۰	خرداد ۱۳۷۹	شهریور ۱۳۷۸						
-۸/۶۳	۱۲	بهمن ۱۳۶۹	اسفند ۱۳۶۸	۶۲/۶	۵۷	۵/۶	۰	۰	ZSI ۳ ماهه
-۱۰/۱۸	۱۹	مهر ۱۳۷۹	فروردین ۱۳۷۸						
-۱۲/۴۴	۹	بهمن ۱۳۶۹	خرداد ۱۳۶۹	۴۸/۴	۳۷/۸	۷/۸	۱/۴	۱/۴	CZI ۶ ماهه
-۱۲/۳	۱۴	شهریور ۱۳۷۹	مرداد ۱۳۷۸						
-۱۱/۱۵	۹	بهمن ۱۳۶۹	خرداد ۱۳۶۹	۴۷/۴	۳۴/۳	۶/۴	۵/۳	۱/۴	SPI ۶ ماهه
-۱۴/۲۶	۱۴	شهریور ۱۳۷۹	مرداد ۱۳۷۸						
-۷/۸۱	۱۲	تیر ۱۳۷۳	مرداد ۱۳۷۲	۶۰/۵	۵۳/۴	۷/۱	۰	۰	ZSI ۶ ماهه
-۱۱/۶۵	۱۶	مهر ۱۳۷۹	تیر ۱۳۷۸						
-۳/۱۴	۱۰	مرداد ۱۳۷۰	آبان ۱۳۶۹	۵۰/۲	۴۰/۸	۵/۴	۴	۰	CZI ۱۲ ماهه
-۱۹/۰۴	۲۳	مرداد ۱۳۸۰	مهر ۱۳۷۸						
-۳/۸۶	۱۱	مرداد ۱۳۷۰	مهر ۱۳۶۹	۵۰/۶	۳۶/۱	۷/۶	۵/۸	۱/۱	SPI ۱۲ ماهه
-۲۱/۱۵	۲۳	مرداد ۱۳۸۰	مهر ۱۳۷۸						
-۴/۷۱	۱۱	مرداد ۱۳۷۰	مهر ۱۳۶۹	۵۶	۴۷/۷	۸/۳	۰	۰	ZSI ۱۲ ماهه
-۱۷/۷۵	۲۳	مرداد ۱۳۸۰	مهر ۱۳۷۸						

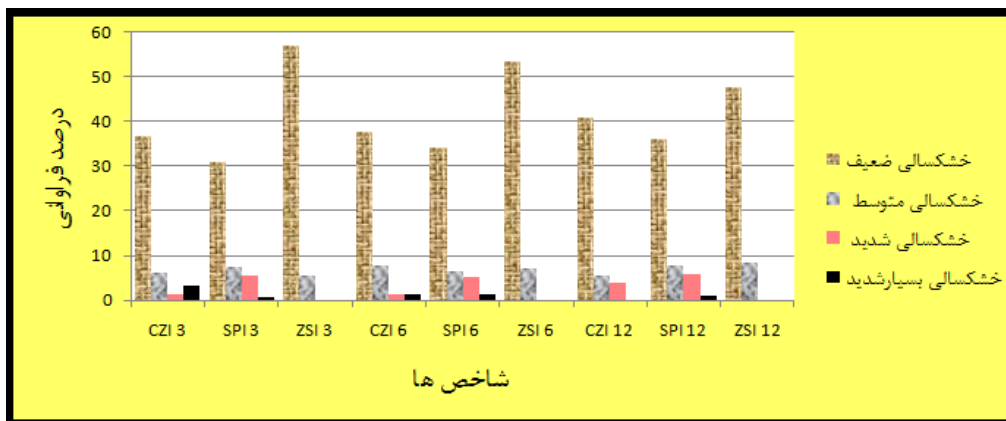
منبع: محاسبه نویسندگان، ۱۳۹۲.

فراوانی خشکسالی با شدت‌های مختلف: ماه‌های خشک، از نظر درصد فراوانی، بر حسب شاخص‌های مختلف، بین ۴۴ تا ۶۲ درصد از مجموع ماه‌ها را به خود اختصاص داده است. ماه‌های نرمال بین ۲۰ تا ۴۰ درصد، و ماه‌های مرطوب بین ۱۳ تا ۲۰ درصد را شامل می‌گردد. این واقعیت که در شکل شماره ۴ منعکس شده مؤید آن است که خشکسالی صفت بارزی از ماهیت اقلیم لارستان به شمار می‌آید. هر چند که از نظر شدت بر طبق شکل شماره ۵ خشکسالی‌های ضعیف سهم بیشتری داشته و

خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید سهم کمتری دارند. به عبارت دیگر با افزایش شدت خشکسالی، درصد وقوع آن کاسته می‌شود و بین مشخصه درصد فراوانی وقوع و شدت خشکسالی رابطه معکوس وجود دارد.



شکل ۴- درصد فراوانی ماههای خشک، نرمال و مرطوب لارستان بر حسب شاخصهای مختلف با مقیاسهای زمانی متفاوت

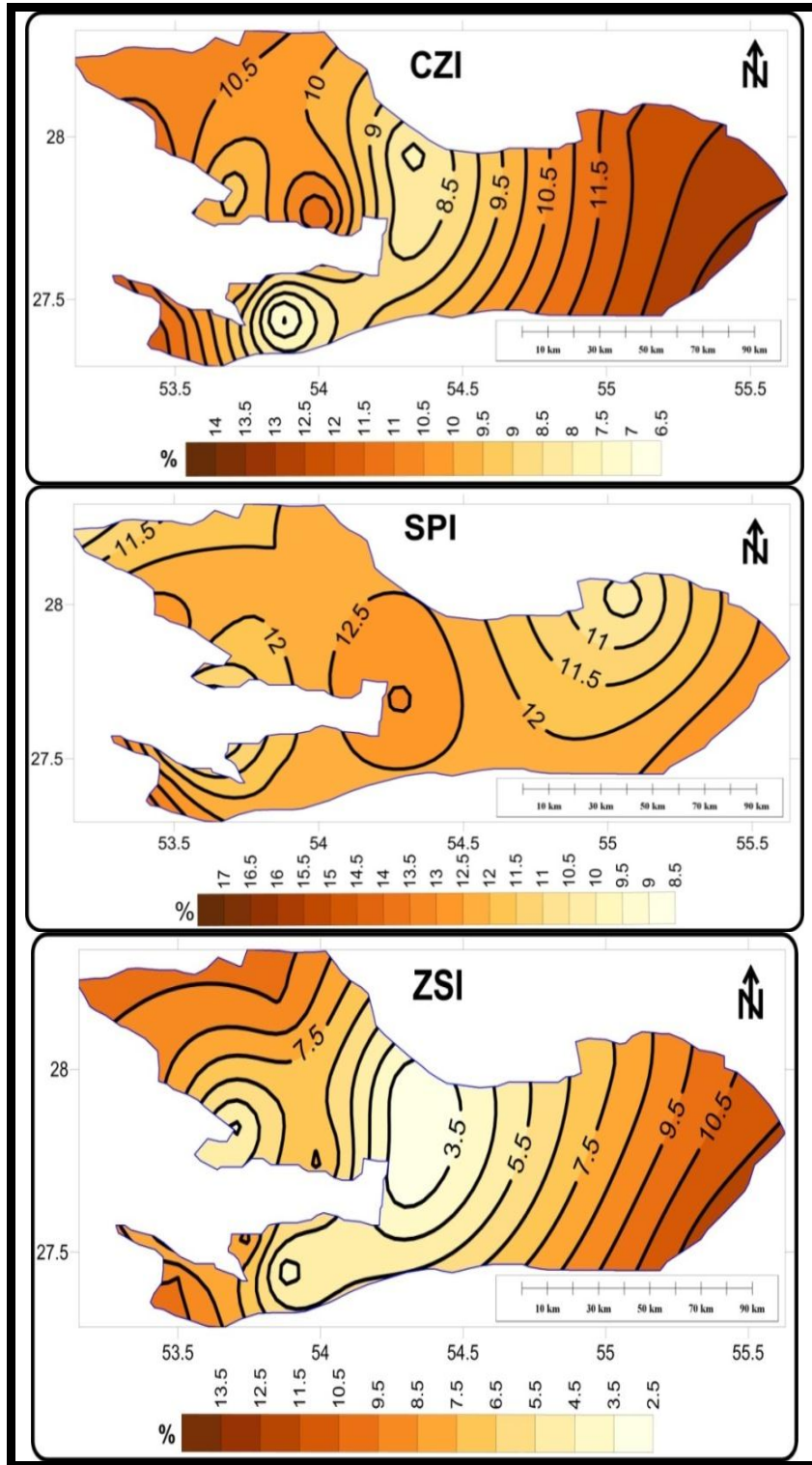


شکل ۵- درصد فراوانی ماههای خشک لارستان به تفکیک شدت خشکسالی بر طبق شاخصهای مختلف با مقیاسهای زمانی متفاوت

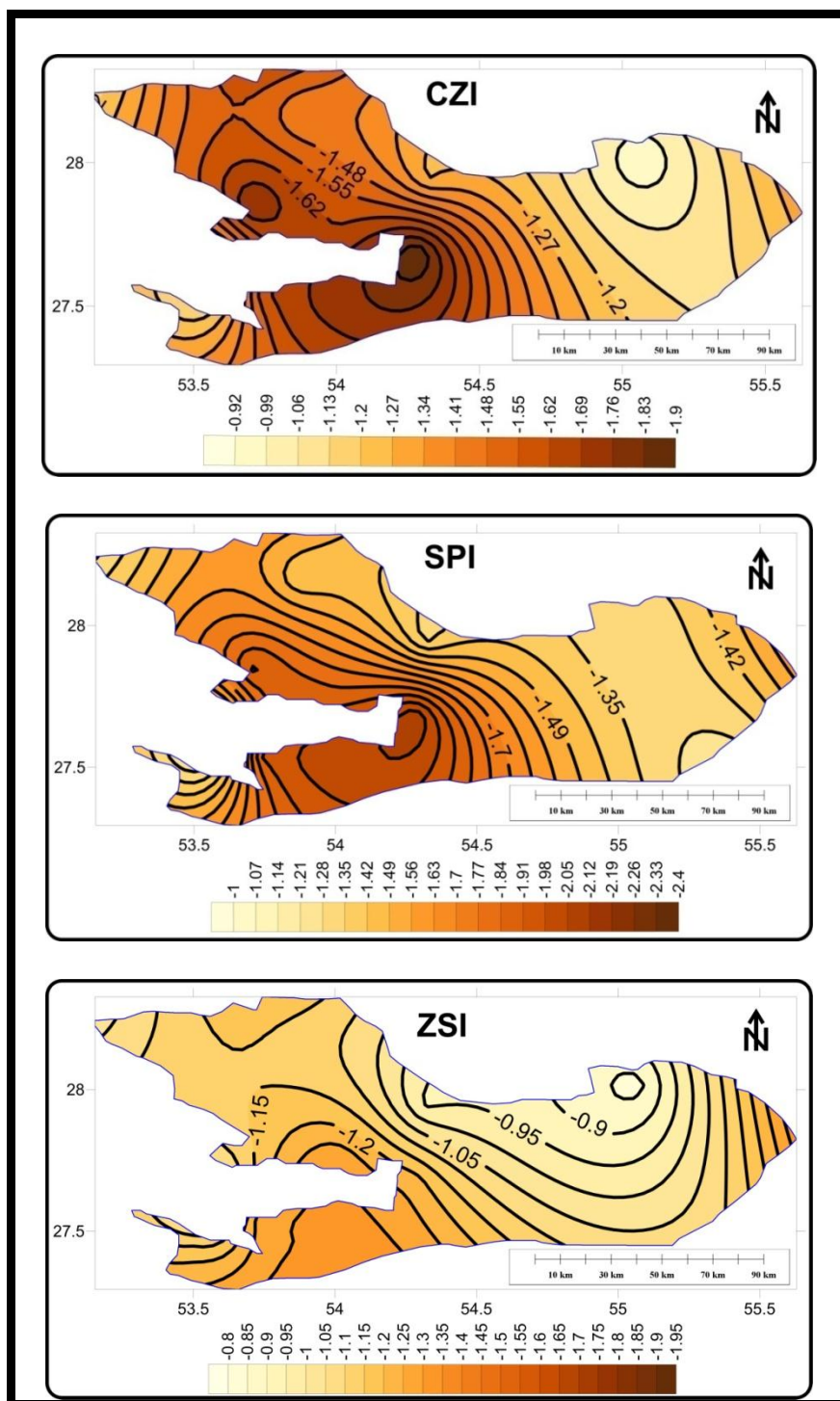
مشخصه سختی یا وخامت خشکسالی، که حاصل مجموع کمبودهای ماهانه در طی هر دوره خشکسالی است، در جدول شماره ۳ آمده است. نکته قابل ذکر آن است که رابطه ضعیفی بین افزایش تداوم خشکسالی و افزایش سختی وجود دارد. به نظر می‌رسد که علت این وضعیت آن است که خشکسالی‌های ضعیف سهم بیشتری از ماههای خشک را شامل می‌گردد. شکل ۶ گستره فضایی خشکسالی‌های لارستان را بر طبق شاخص‌های مختلف در مقیاس ماهانه (میانگین متحرک ۶ ماهه) منعکس می‌کند؛ با این توضیح که مبنای ترسیم نقشه‌ها، مجموع درصد فراوانی خشکسالی‌های متوسط، شدید و بسیار شدید است. بر طبق این نقشه‌ها بیشترین مقدار درصد فراوانی خشکسالی در شرق لارستان، منطبق بر دهستان درز و سایبان و قسمت‌های شرقی دهستان حومه مشاهده می‌گردد، به طوری که منحنی ۱۳ درصد، از دهستان درز و سایبان در شرق لارستان می‌گذرد. به طور کلی دهستان‌های بیرم، هرم، حومه، و درز و سایبان، از لحاظ وقوع خشکسالی، حساسیت و قابلیت بیشتری نسبت به دیگر نقاط شهرستان نشان می‌دهند. گستره فضایی رویداد خشکسالی فراگیر سال ۷۹-۱۳۷۸ بر حسب شاخص‌های مختلف، در شکل شماره ۷ منعکس شده است. خشکسالی مزبور مقارن با سال وقوع حداقل بارش رخ داده است، اما در بخش‌های مختلف لارستان از شدت و ضعف متفاوت برخوردار بوده است؛ به نحوی که در قسمت‌های شرقی، جنوبی و مرکزی لارستان منطبق با قلمرو ایستگاه‌های چاه نهر، عمادده و لار شدت بیشتری داشته است.

بخش دوم بحث این است که شاخص های مختلف از لحاظ نحوه نمایش مشخصه های خشکسالی نظیر شروع، پایان، دوام، شدت، سختی، فراوانی و گستره مکانی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند. به این منظور، بحث را بر حسب مشخصه های خشکسالی به قسمت های جزئی تر تقسیم می کنیم.

با بررسی ارقام جدول شماره ۳ که رفتار شاخص ها در قبال مشخصه های شروع، پایان و دوام خشکسالی منعکس می سازد، می توان دریافت که شاخص ZSI شروع خشکسالی را زودتر و پایان آن را دیرتر از سایر شاخص ها اعلام می کند؛ و به این ترتیب، دوام خشکسالی بر حسب شاخص ZSI بیش از سایر شاخص هاست. کمترین تداوم های خشکسالی بر حسب شاخص CZI محاسبه شده و شاخص SPI از نظر معیار تداوم در بین دو شاخص دیگر قرار می گیرد. این واقعیت را با بررسی شکل شماره ۸ نیز می توان دریافت. نمودار مزبور، عکس العمل شاخص ها نسبت به فراگیرترین رویداد خشکسالی لارستان منعکس می کند. ملاحظه می گردد که تمایز فوق در بین شاخص ها کماکان قابل تشخیص است و ZSI تداوم بیشتری را نمایان می سازد. از نظر نحوه انعکاس شدت خشکسالی به وسیله شاخص های مختلف با عنایت به ارقام جدول شماره ۳ می توان دریافت که در مقیاس ماهانه، SPI مشخصه شدت را بیشتر از شاخص های دیگر نشان می دهد. اما در مقیاس سالانه، حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از شاخص های دیگر است. این واقعیت را از شکل شماره ۹ می توان دریافت. در نمودار مزبور، که عکس العمل شاخص های مورد بحث را نسبت به رویداد خشکسالی فراگیر لارستان در سال ۷۹-۱۳۷۸ منعکس می سازد، حساسیت بیشتر RDI نسبت به SPI کاملاً آشکار است. در خشکسالی مزبور، مقدار عددی SPI $-1/79$ ، و RDI $-2/24$ به دست آمده است. نمودار مزبور همچنین نشان می دهد که ZSI از نظر انعکاس مشخصه شدت کمترین حساسیت داشته است. ملاحظه شکل شماره ۱۰ که به مقایسه SPI و RDI پرداخته، نیز آشکار می سازد که حساسیت RDI برای نمایش مشخصه شدت خشکسالی بیش از SPI است. به عنوان مثال مقارن با سال وقوع حداقل بارش، مقدار عددی RDI کمتر از SPI شده است، به عبارت دیگر، مقدار منفی و شدت خشکسالی بیشتری را نشان می دهد. نتیجه مشاهده شکل شماره ۱۰ آن است که با اینکه شاخص RDI بر اساس داده های دو عنصر اقلیمی بارش و تبخیر و تعرق بالقوه محاسبه می شود و محاسبه SPI تنها بر مبنای داده های بارش صورت می گیرد، اما روند تغییرات SPI و RDI تشابه بسیار زیادی داشته و ضریب همبستگی این دو شاخص بیش از $0/97$ است. به نظر می رسد که این انطباق، قابلیت و درجه اعتماد به روش محاسبه و نتایج SPI را اثبات می کند.



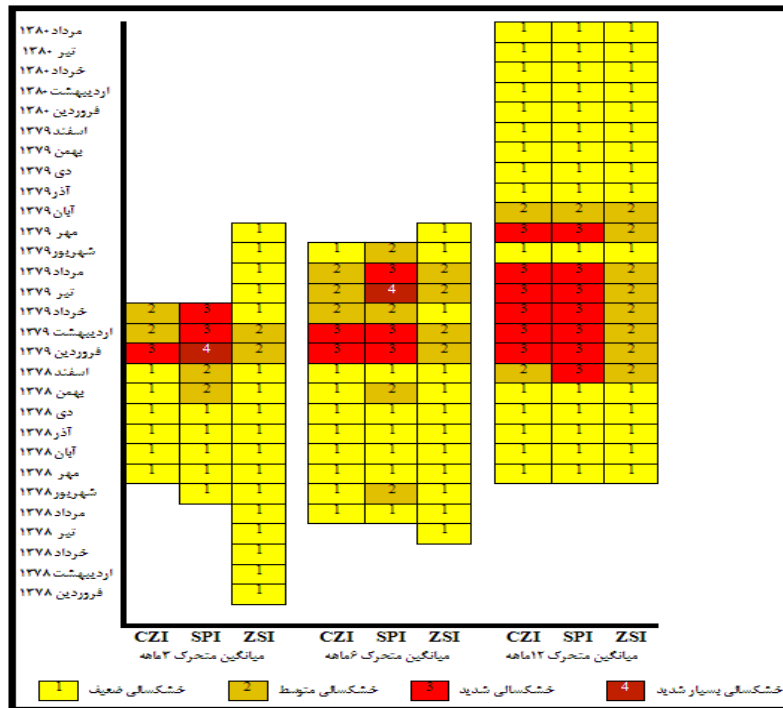
شکل ۶ - گستره فضایی وقوع خشکسالی در لارستان بر حسب درصد فراوانی، در مقیاس ماهانه بر طبق شاخص های CZI ، SPI ، و ZSI



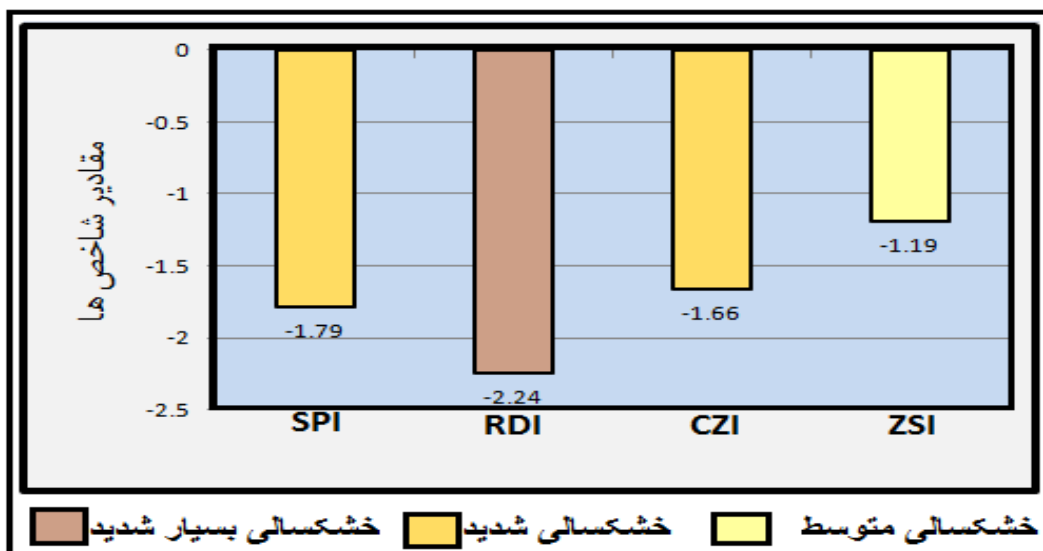
شکل ۷- گستره فضایی رویداد خشکسالی فراگیر ۷۹-۱۳۷۸ بر حسب شاخص های CZI ، SPI ، و ZSI

از لحاظ مشخصه سختی، با عنایت به اینکه سختی خشکسالی برآیند دو مشخصه طول دوره یا دوام، و شدت وقایع خشکسالی است، می توان انتظار داشت که شاخصی که به مشخصه شدت حساس تر باشد و یا شروع خشکسالی را زودتر و پایان آن را دیرتر اعلام کند، نهایتاً سختی بیشتری را نشان خواهد داد. با ملاحظه ارقام جدول شماره ۳ و شکل شماره ۸ مشخص می گردد که شاخص SPI سختی بیشتری را نمایان می سازد و شاخص ZSI سختی خشکسالی را کمتر از دو شاخص دیگر برآورد کرده است. از لحاظ درصد فراوانی وقوع خشکسالی و نحوه نمایش آن به وسیله شاخص های مختلف، رجوع به داده های

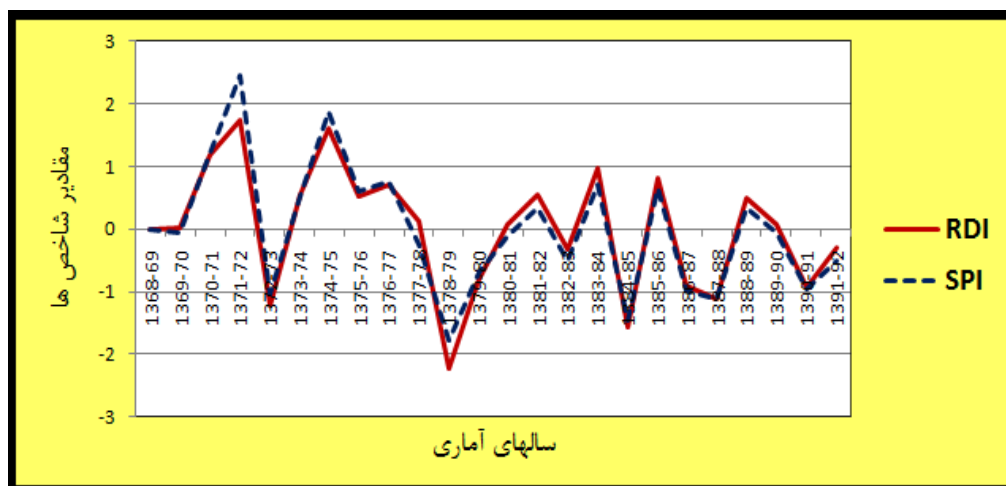
جدول شماره ۳ و اشکال شماره ۴ و ۵ آشکار می‌کند که در مقیاس‌های زمانی یکسان و بر حسب مجموع شدت‌های مختلف، شاخص ZSI درصد فراوانی بیشتری را به وقوع خشکسالی اختصاص می‌دهد و CZI کمترین درصد فراوانی خشکسالی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- نمودار شروع و پایان خشکسالی فراگیر لارستان (۱۳۷۸-۷۹) بر طبق شاخصهای CZI، SPI، و ZSI با مقیاسهای میانگین متحرک ۳، ۶، ۱۲ ماهه، به تفکیک شدت خشکسالی



شکل ۹- مقایسه عکس العمل شاخص‌ها نسبت به خشکسالی فراگیر لارستان در سال ۱۳۷۸-۷۹



شکل ۱۰ - مقایسه روند تغییرات RDI و SPI در منطقه لارستان

نتیجه گیری:

در منطقه لارستان همانند سایر نواحی خشک، خشکسالی بیش از آنکه یک وضعیت غیر نرمال تلقی شود، خصوصیت عادی اقلیمی به شمار می آید. تداومهای ۹ ماهه تا حدود دو ساله خشکسالی مکررا اتفاق افتاده است. ماههای خشک بر حسب شاخصهای مختلف، بین ۴۴ تا ۶۲ درصد دوره آماری را شامل شده است. این واقعیت مؤید آن است که خشکسالی صفت بارزی از ماهیت اقلیم لارستان به شمار می آید، هر چند که از نظر شدت، خشکسالیهای ضعیف سهم بیشتری داشته و خشکسالیهای متوسط، شدید و بسیار شدید سهم کمتری دارند. به عبارت دیگر با افزایش شدت خشکسالی، درصد وقوع آن کاسته می شود و بین مشخصه درصد فراوانی وقوع و شدت خشکسالی رابطه معکوس وجود دارد. بر طبق نقشه های گستره فضایی، دهستانهای بیرم، هرم، حومه و درز و سایبان از لحاظ وقوع خشکسالی، حساسیت و قابلیت بیشتری نسبت به دیگر نقاط شهرستان نشان می دهند.

مقایسه طرز رفتار شاخصها نسبت به پدیده خشکسالی، مشخص نمود که شاخص ZSI شروع خشکسالی را زودتر و پایان آن را دیرتر از سایر شاخصها اعلام می کند؛ و به این ترتیب، دوام خشکسالی بر حسب ZSI بیش از سایر شاخصهاست. کمترین تداومهای خشکسالی بر حسب شاخص CZI محاسبه شده و شاخص SPI از نظر معیار تداوم در بین دو شاخص دیگر قرار می گیرد. از نظر نحوه انعکاس شدت خشکسالی در مقیاس ماهانه، SPI مشخصه شدت را بیش از شاخصهای دیگر نشان می دهد. اما در مقیاس سالانه، حساسیت RDI نسبت به مشخصه شدت بیش از شاخصهای دیگر است و ZSI حداقل شدت را نشان داده است. همچنین، شاخص SPI سختی بیشتری را نمایان می سازد و شاخص ZSI کمترین برآورد از سختی خشکسالی را نشان داده است. با اینکه RDI بر اساس داده های بارش و تبخیر و تعرق بالقوه محاسبه می شود و محاسبه SPI تنها بر مبنای داده های بارش صورت می گیرد، اما روند تغییرات این دو شاخص تشابه زیادی دارد؛ به نظر می رسد که این انطباق قابلیت و درجه اعتماد به روش محاسبه و نتایج SPI را مورد تأکید قرار دهد. مرور یافته ها و نتایج این تحقیق، واقعیت خشکسالی در لارستان را مبرز و آشکار کرده و توجه مسئولان و مردم را در اتخاذ شیوه ها و سیاست های مناسب جهت تأمین و ذخیره آب و صرفه جویی در مصرف آن ضروری می سازد.

منابع و مأخذ:

- ۱- اسدی زارچ، محمدامین، مبین، محمدحسین، ملکی نژاد، حسین، دستورانی، محمدتقی و سعید رضایی زارچی (۱۳۸۸): «معرفی شاخص جدیدی برای تشخیص و تعیین خشکسالی و شدت، تداوم و وسعت آن در مناطق خشک ایران»، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (مدیریت پایدار بلایای طبیعی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

- ۲- انصافی مقدم، طاهره (۱۳۸۶): «ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک»، فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، تهران، صص ۲۸۸-۲۷۱.
- ۳- حجازی زاده، زهرا و سعید جوی زاده (۱۳۸۹): «مقدمه ای بر خشکسالی و شاخصهای آن»، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران.
- ۴- حیدری، مهدی، صابری، محمد و فاطمه ترنیا (۱۳۸۴): «پایش و ارزیابی خشکسالی های شهر یزد»، همایش منطقه ای بحران آب و خشکسالی، یزد.
- ۵- دین پڑوه، یحیی (۱۳۸۰): «بررسی روند بارش ایران با تکیه بر مشخصه های خشکسالی متئورولوژیکی»، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد ۲، تهران، صص ۴۸۳-۴۶۹.
- ۶- رضایی بنفشه، مجید، بلیانی و بتول زینالی (۱۳۹۰): «برآورد خشکسالی ها و ترسالی های (۱۳۸۵-۱۳۶۱) بر اساس نمایه های مبتنی بر بارش برای ایستگاههای حوضه آبریز دریاچه پریشان»، فصلنامه تالاب، سال دوم، شماره ۷، اهواز، صص ۲۹-۱۹.
- ۷- سلطانی، سعید و سارا سعادت (۱۳۸۶): «پهنه بندی خشکسالی در استان اصفهان با استفاده از نمایه استاندارد بارش (SPI)»، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال اول، شماره ۲، تهران، صص ۷۶-۶۴.
- ۸- علیزاده، امین (۱۳۸۵): اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ اول، مشهد.
- ۹- غیور، حسنعلی و ابوالفضل مسعودیان (۱۳۷۶): «بزرگی، گستره و فراوانی خشکسالیها در ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵، مشهد.
- ۱۰- فدائی کرمانی، احمد و غیور بارانی (۱۳۹۰): «بررسی چگونگی پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد SPI»، پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، تهران.
- ۱۱- فرج زاده، منوچهر، موحد دانش، علی اصغر و هوشنگ قائمی (۱۳۷۵): «خشکسالی در ایران»، مجله دانش کشاورزی دانشگاه تبریز، جلد ۵، شماره ۱ و ۲، تبریز، صص ۵۳-۳۱.
- ۱۲- قطره سامانی، سیروس (۱۳۷۹): «بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری»، چکیده مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم آبی و خشکسالی، کرمان.
- ۱۳- کردوانی، پرویز (۱۳۸۶): خشکسالی و راههای مقابله با آن در ایران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، تهران.
- ۱۴- محمدیان، آزاده، کوهی، منصوره، آدینه بیگی، آرمان، رسولی، سیدجواد و بهاره بذرافشان (۱۳۸۹): «مقایسه پایش خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI, DI, PNI و پهنه بندی آنها (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)»، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره اول، صص ۱۸۴-۱۷۷.
- ۱۵- ناصرزاده و احمدی (۱۳۹۱): «بررسی عملکرد شاخص های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه بندی آن در استان قزوین»، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۲۷، تهران، صص ۱۶۲-۱۴۱.
- ۱۶- نگارش. حسین، و محمد کریمی (۱۳۸۷): «تحلیل خشکسالی های اخیر منطقه ایران شهر به روش SPI»، نشریه علوم جغرافیایی، شماره ۱۲، تهران، صص ۵۸-۳۱.
- ۱۷- نوحه گر، احمد و سعیده محمودآبادی (۱۳۹۱): «ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوزه کهورستان، فصلنامه برنامه ریزی منطقه ای، سال دوم، شماره ۲، بهار ۱۳۹۱، صص ۹۸-۸۹.
- 18- Carolwis, M. (1996): Natural hazards need not lead to natural disaster, *Eos* 77, No. 16, pp.149-153.
- 19- Dracup, J.A. (1980): On the definition of droughts, *Water Resources Research*, No. 16, pp. 297-302.
- 20- Eder, B.K., and Davis, J.M. (1987): Spatial and temporal analysis of the Palmer drought severity index over the south-eastern United States. *Journal of Climatology*, No.7, pp.31-56.

- 21- Estrela, M.J., Pennarrocha, D. and Milan, M. (2000): Multi-annual drought episodes in the Mediterranean (Valencia Region) from (1950-1996): *International Journal of Climatology*, Vol.20, pp. 1599-1618.
- 22- Glantz, M.H. (2003): *Climate Affairs: A Primer*, Washington.D.C., Island Press.
- 23- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O. (1999): Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, No. 80, pp.429-438.
- 24- Karl, T.R., and Rebsame, W.E. (1984): The identification of 10 to 20 year temperature and precipitation fluctuations in the Contiguous, U.S. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, No.23, pp.950-966.
- 25- Klugman, M.R. (1978): Drought in the Upper Midwest, *Journal of Applied Meteorology*, No.17, pp.1425-1431.
- 26- Mckee. T.B., Doesken. N.J., Kleist. J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California
- 27- Oladipo, E.O. (1986): Spatial pattern of drought in the interior plains of North America, *Journal of Climatology*, No.6, pp.495-513.
- 28- Palmer, W.C. (1965): *Meteorological drought*, USWB Researchs, paper No. 45.
- 29- Richard, R. Heim (2002), A review of twentieth century drought indices used in the United States, *American Meteorological Society*, Aug. 2002, pp.1149-1165.
- 30- Smakhtin, V.U. and Huges, D.A. (2006): Automated estimation and analysis of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data, *Journal of Environmental Modeling & Software*, No. 22, pp.880-890.
- 31- Whipple, W. (1966): Regional drought analysis, *Journal of Irrigation and Drainage Division*, No.92, pp. 11-31.
- 32- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. (1985): Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, *Water International*, No.10, pp.111-120.
- 33- Wilhite, D.A. (2000): *Drought: A Global Assessment*, Routledge Press, London and New York. Volume I.