

بررسی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی هواشناسی در جنوب غرب کشور؛ مطالعه موردی حوضه کرخه

جهانگیر پرهمت^۱، طیب رضیئی^۲، سیما رحیمی بندرآبادی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶

چکیده

در این پژوهش شدت، تداوم و بزرگی خشکسالی و تغییرات مکانی و زمانی آن در حوضه کرخه با استفاده از نمایه‌های بارش استاندارد (SPI) و Z مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج این پژوهش روند تغییرات مقادیر Z و SPI یک ماهه در همه ایستگاه‌ها به خوبی از یکدیگر پیروی می‌کنند، لذا از هر دو نمایه برای بررسی روند خشکسالی پایه زمانی یک ماهه حوضه می‌توان استفاده کرد. با وجود این، نتایج نشان داد در مقادیر مثبت و منفی نمایه Z عدم قرینگی وجود دارد لذا قابلیت مقایسه شدت خشکسالی و ترسالی در بین ایستگاه‌ها را از بین می‌برد. همچنین بر اساس روند تغییرات زمانی سری‌های SPI در ایستگاه‌های مختلف در برخی موارد دوره‌های خشک و تر در سرتاسر حوضه همزمان روی نداده و نیز شدت خشکسالی و یا ترسالی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر تغییر یافته است. بر اساس روند تغییرات زمانی SPI سه ماهه در ایستگاه‌ها، در سال‌های متعددی اغلب ایستگاه‌های حوضه، دوره‌های خشک کوتاه مدتی را تجربه کرده‌اند که بر کشاورزی تأثیر قابل توجه دارد. همچنین، با افزایش مقیاس زمانی SPI، زمان آغاز و پایان دوره‌های خشک و تر در ایستگاه‌ها کمتر با یکدیگر همخوانی داشته‌اند. نتایج تحقیق همچنین نشان داد این حوضه بین ۲۰ تا ۲۳ دوره خشکسالی کوتاه مدت را طی این مدت تجربه کرده که در برخی موارد بین ۹ تا ۱۱ ماه تداوم داشته‌اند. بررسی سری‌های زمانی SPI با پایه ۱۲ ماهه نشان داد این محدوده ۷ تا ۱۰ خشکسالی مهم و بلند مدت را پشت سر گذاشته است. همچنین، بیشترین فراوانی رویدادهای خشکسالی در ماه اکتبر و بین ۱۱ تا ۱۴ مورد در نیمه جنوب شرقی و بخش غربی حوضه روی داده است. در ماه نوامبر نیز حاشیه شمالی و شمال غربی و حاشیه جنوبی منطقه با ۲۰ تا ۲۴ مورد خشکسالی بیشترین فراوانی را داشته ولی در ماه‌های آوریل و می نیمه شمالی بیشترین فراوانی را تجربه نموده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی، حوضه کرخه، خشکسالی، نمایه SPI، نمایه Z.

^۱دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران، تلفن ۰۹۱۲۳۹۰۲۵۲۱ و porhemmat@scwmri.ac.ir یا jahanpor@yahoo.com (نویسنده مسئول)

^۲استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۰۹۱۲۶۷۱۴۵۵۱، tayebrazi@yahoo.com

^۳مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۰۹۱۲۳۹۳۴۹۱۴، rahimi_si@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی یک دوره پیوسته خشک از چند ماه تا چندین سال است که طی آن مقدار آب موجود منابع آبی به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد (بران و رودیر، ۱۹۸۵). تعیین زمان آغاز و پایان خشکسالی بسیار مشکل است. از آنجائی که وقوع، تداوم، زمان آغاز و پایان خشکسالی و شدت و بزرگی آن همگی فرآیندهایی احتمالاتی می‌باشند، روش‌هایی که امروزه برای بیان این ویژگی‌ها به کار برده می‌شوند، نیز اغلب روش‌های آماری-احتمالاتی می‌باشند (تامپسون، ۱۹۹۹).

خشکسالی را می‌توان در چهار دسته هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی گروه‌بندی نمود (ویلهایت و گلانتز، ۱۹۸۵). خشکسالی هواشناسی اولین نوع خشکسالی است که در اثر کمبود بارش نسبت به نرمال اقلیمی پدید می‌آید. ادامه خشکسالی هواشناسی برای یک مدت طولانی سبب ایجاد خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گردد که در این نوع خشکسالی دبی رودخانه‌ها و سطح آب‌های زیرزمینی به میزان زیادی افت می‌کنند. شناخت ویژگی‌های این قبیل خشکسالی‌ها به منظور ایجاد آمادگی و کاهش میزان خسارت‌های احتمالی ناشی از خشکسالی بسیار ضروری است. خشکسالی کشاورزی نتیجه کمبود رطوبت خاک در محیط ریشه گیاهان در دوره رشد و نمو آنها است که بر اثر به هم خوردن تعادل میان تأمین آب و هدر رفت آن از طریق تبخیر و تعرق به وجود می‌آید. گیاهان حتی ممکن است زمانی در معرض خشکسالی قرار گیرند که هم خاک و هم هوای مزرعه از نظر رطوبتی تأمین است. این وضعیت را خشکسالی فیزیولوژیکی می‌نامند که عمدتاً بر اثر افزایش شدید و ناگهانی درجه حرارت هوا بوجود می‌آید (لیود-هوگهس و ساندرز، ۲۰۰۲). خشکسالی اجتماعی-اقتصادی معمولاً پس از یک دوره بسیار طولانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حادث می‌گردد و موجب قحطی، مرگ و میر و مهاجرت‌های

دسته‌جمعی و گسترده می‌شود. این نوع خشکسالی موجب تأثیرات بزرگی بر روی ابعاد مختلف اقتصادی و بویژه انواع خاصی از محصولات و کالاهای اقتصادی می‌شود (ویلهایت، ۱۹۹۷). لازم به ذکر است که در خشکسالی هیدرولوژیکی، تجدید و یا جبران کمبود حجم آب‌های زیرزمینی نیز به زمان طولانی تری نیاز دارد که تنها در ترسالی‌های بلند مدت رخ می‌دهد (هیدال و تالاکسن، ۲۰۰۰).

شاخص‌های خشکسالی مقادیر عددی هستند که بر انبوهی از اطلاعات دراز مدت پارامترهای اقلیمی استوار بوده و رفتارهای عمومی خشکسالی و شدت آن را در یک ایستگاه، اندازه‌گیری و بیان می‌کنند. برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص جهت تعیین دقیق و مطمئن دوره‌های تر و خشک بسیار ضروری است. این شاخص‌ها زبان گویای اطلاعات اقلیمی بوده و چگونگی تغییرات آن‌ها را در گذشته و آینده بیان می‌دارند. تاکنون شاخص‌های بسیاری از سوی متخصصین برای ارزیابی و پیش‌بینی پدیده خشکسالی ارائه شده است. هر یک از این شاخص‌ها دارای نقاط ضعف و قوت خاصی می‌باشند و نمی‌توان به راحتی یکی را بر دیگری ترجیح داد. هونگوو و همکاران (۲۰۰۱) معتقدند که یک شاخص خشکسالی زمانی مفید است که بتواند ارزیابی کمی، ساده و روشنی از خصوصیات اصلی خشکسالی یعنی تداوم، شدت، فراوانی و سطح درگیر با خشکسالی را ارائه دهد.

هر یک از شاخص‌های موجود برای شرایط ویژه‌ای مناسب‌تر هستند که از این میان نمایه بارش استاندارد SPI (مکی و همکاران، ۱۹۹۳)، روش دهک‌ها (گیبس و ماهر، ۱۹۶۷) و نمایه پالمر (پالمر، ۱۹۶۸) از کاربرد بیشتری در سطح جهان برخوردار هستند. با این حال نمایه SPI به علت (۱) سادگی محاسبات (۲) استفاده از داده‌های قابل دسترس بارش (۳) قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه (۴) قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی بویژه تحلیل‌های مکانی به شمار

مختلف را در طول دوره مورد مطالعه تجربه کرده و فراوانی آن‌ها از غرب به شرق حوضه کاسته یافته است. در این تحقیق به سایر پایه‌های زمانی اشاره‌ای نشده است. خواجه گیلی (۱۳۸۶) نیز به کمک روش‌های مختلف زمین آمار و نمایه SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه توزیع مکانی خشکسالی در حوضه کرخه را مورد بررسی قرار داد. گل محمدی (۱۳۸۸) برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقدار بارش و شدت و فراوانی خشکسالی در حوضه قره سو از نمایه SPI در مقیاس‌های ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه استفاده نمود.

سابقه پژوهش‌های خشکسالی در حوضه کرخه نشان می‌دهد که توزیع زمانی و مکانی خشکسالی و نیز وضعیت پدیده خشکسالی در ماه‌های مهم و تأثیرگذار بر عملکرد کشاورزی کمتر مورد توجه بوده است. به عبارت دیگر تحقیقات خشکسالی در این حوضه یا با نگاه کلی به مسئله خشکسالی صورت گرفته است و یا این‌که تنها به بعضی از زوایای آن پرداخته شده است. از این‌رو در این پژوهش ویژگی‌های خشکسالی در حوضه کرخه به ویژه در دوره رشد محصولات کشاورزی حوضه با استفاده از نمایه‌های SPI و نمره Z مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات جغرافیایی حوضه رودخانه کرخه

حوضه کرخه در حد فاصل ۳۰ درجه، ۴۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شکل (۱) موقعیت این حوضه و همراه زیرحوضه‌های اصلی آن را در نقشه ایران نشان می‌دهد. ارتفاعات حوضه کرخه بخشی از سلسله جبال زاگرس مرتفع می‌باشد که سرتا سر نواحی شمال غرب، شمال و شرق حوضه را فرا گرفته است. بلندترین نقطه مرتفع حوضه ۳۶۴۵ متر از سطح دریا واقع شده است. همچنین، حوضه کرخه با مساحت ۵۱۸۰۶ کیلومتر مربع و ۳٫۲ درصد از مساحت ایران و محیط

می‌رود. محققین متعددی از جمله هاییس و همکاران (۱۹۹۹)، اسزلالئی و اسزینل (۲۰۰۰)، بوسای و همکاران (۲۰۰۰)، بردی و سوترا (۲۰۰۱)، بردی و همکاران (۲۰۰۳)، بوناکرسو و همکاران (۲۰۰۳)، بردی و همکاران (۲۰۰۴)، لیود-هوگهس و ساندرز (۲۰۰۲)، لانا و همکاران (۲۰۰۱)، ویسنته-سرانو و همکاران (۲۰۰۴)، ته‌ساکریس و ونجلیس (۲۰۰۴) و رضیئی و همکاران (۲۰۰۹) از نمایه SPI برای پایش خشکسالی استفاده نموده‌اند.

پائولا و پیرا (۲۰۰۶) با مقایسه SPI و PDSI نشان دادند که نمایه PDSI بالاترین همبستگی را با SPI دوازده ماهه دارد. گوتمن (۱۹۹۹) دو شاخص PDI و SPI را برای ایالات متحده مورد مقایسه قرار داد و مزیت شاخص SPI را به PDI به اثبات رسانید. مرید و همکاران (۱۳۸۴ و ۱۳۸۶) نیز کارایی ۷ شاخص خشکسالی را برای پایش خشکسالی در استان تهران مورد آزمایش قرار دادند و نتیجه گرفتند که دو شاخص SPI و EDI (Effective Drought Index) برای پایش عملیاتی خشکسالی در منطقه مناسب می‌باشد. برتری شاخص SPI در تحقیقات لشنی‌زند و تلوری (۱۳۸۴)، مقدسی و همکاران (۱۳۸۴) و اختری و همکاران (۱۳۸۵) نیز به اثبات رسیده است.

هوگهس و ساندرز (۲۰۰۲) رابطه فراوانی و تداوم خشکسالی‌های اروپا را در مقیاس‌های زمانی مختلف مطالعه و نتیجه گرفتند که فراوانی خشکسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت، و تداوم آن در مقیاس‌های زمانی درازمدت بیشتر است. دالزیوس و همکاران (۲۰۰۰) بر اساس تحلیل منحنی‌های شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی، نقشه‌های هم شدت خشکسالی را برای یونان ترسیم و نتیجه گرفتند که نواحی شمالی یونان نسبت به نواحی جنوبی آن از خشکسالی شدیدتری رنج می‌برد.

قاسمی و اسلامیان (۱۳۸۶) از شاخص بارش استاندارد در مقیاس سالیانه برای پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در حوضه کرخه استفاده و نتیجه‌گیری نمودند که این حوضه خشکسالی‌های با شدت‌های

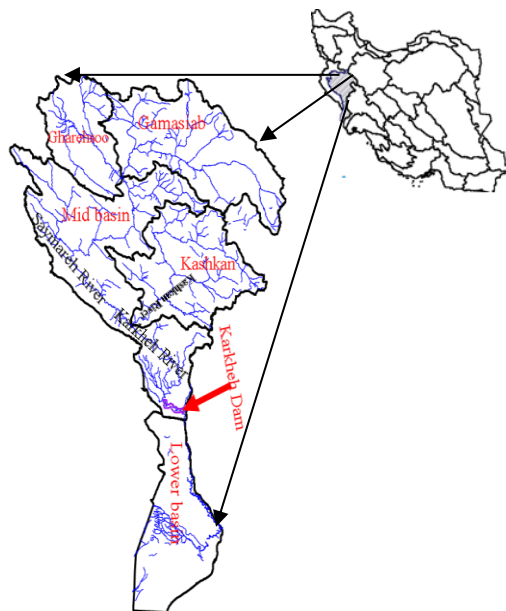
همکاران، ابتدا توزیع‌های مختلف آماری به سری داده‌های بارندگی در مقیاس‌های زمانی مورد نظر برازش داده شد تا مناسب‌ترین توزیع جهت محاسبه نمایه SPI شناسایی شود. در این مطالعه از مقیاس زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به منظور بررسی و ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. به این ترتیب مقادیر SPI برای کلیه ایستگاه‌ها محاسبه و استخراج گردید. سپس رویدادهای خشکسالی با استفاده از سطح آستانه ۰/۵- برای هر ایستگاه تعیین شد. همچنین، ویژگی‌های خشکسالی مانند میانگین، حداکثر و حداقل شدت خشکسالی و نیز بزرگی خشکسالی برای هر رویداد تعیین شد. توزیع مکانی ویژگی‌های خشکسالی نیز در سطح حوضه با استفاده از نرم افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور نقشه مقادیر شاخص SPI برای خشکسالی‌های مهم به کمک ArcGIS ترسیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

آن ۱۸۹۱ کیلومتر در محل خروجی به هورالعظیم و مساحت ۴۲۱۹۱ کیلومتر مربع تا ورودی سد کرخه (منطقه بالا دست حوضه) می‌باشد. زیرحوضه‌های اصلی کرخه شامل سیمره، کشکان و زیرحوضه میانی منتهی به سد می‌باشد. جدول (۱) ویژگی‌های عمومی این زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.

داده‌ها و روش کار

از میان ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، آمار ۲۸ ایستگاه که دارای طولانی‌ترین دوره مشترک آماری (۲۰۰۰-۱۹۶۵) بودند انتخاب و همگنی و کیفیت آن‌ها با استفاده از آزمون‌هایی آماری ران تست، جرم مضاعف و آزمون ناپارامتری من-ویتنی مورد بررسی قرار گرفت و در صورت لزوم اصلاحات لازم بر روی آن‌ها انجام پذیرفت. شکل (۲) موقعیت این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

به منظور مطالعه پدیده خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، با پیروی از روش پیشنهادی مک‌کی و



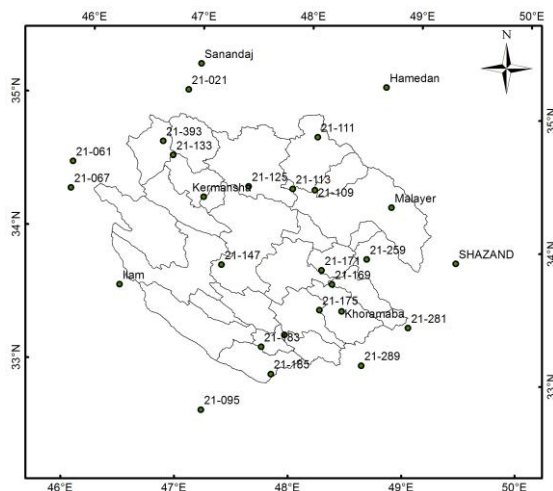
شکل (۱): موقعیت حوضه کرخه در نقشه ایران و زیر حوضه‌های اصلی آن

جدول (۱): ویژگی‌های زیرحوضه‌های اصلی کرخه

حوضه	سیمره در هلیلان	کشکان در پل دختر	کرخه در پای پل
مساحت (کیلومتر مربع)	۱۹۹۷۷	۹۲۶۷	۴۲۱۹۱
ارتفاع حداقل (متر از سطح دریا)	۹۱۱	۶۵۹	۹۷
ارتفاع متوسط (متر از سطح دریا)	۱۷۴۸	۱۶۳۲	۱۵۴۴
ارتفاع حداکثر (متر از سطح دریا)	۳۵۹۸	۳۶۱۵	۳۶۱۵
شیب متوسط (درصد)	۱۷,۶	۲۲,۴	۱۹,۳

خشکسالی با تداوم‌های مختلف مقدار بزرگی خشکسالی هر تداوم معین در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه و بر اساس آن منحنی‌های بزرگی-تداوم- فراوانی خشکسالی برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه تهیه شد.

توزیع‌های مختلف آماری به سری داده‌های بزرگی خشکسالی ایستگاه‌ها در تداوم‌های مختلف برازش داده شد. آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان داد که از بین توزیع‌های مختلف آماری توزیع آماری جنرال اکستریم ولیو (General Extreme Value یا به اختصار GEV) بهترین برازش را بر سری مقادیر بزرگی خشکسالی در تداوم‌های مختلف (یک تا دوازده ماهه) دارا است. از این‌رو با برازش این توزیع به داده‌های بزرگی



شکل (۲): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده

بحث و نتایج

بررسی و تحلیل توزیع زمانی خشکسالی

محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت. شکل (۳) تغییرات زمانی نمایه نمره Z را برای ایستگاه‌های مختلف حوضه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها می‌توان دریافت

برای بررسی وضعیت خشکسالی در حوضه کرخه نمایه‌های Z و SPI برای مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶ و ۱۲ برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۲)

ضریب همبستگی میان این دو نمایه در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۰,۸۶، ۰,۸۱ و ۰,۸۰ می‌باشد که نشان‌دهنده هماهنگی خوب این دو نمایه می‌باشد. با توجه به شکل (۴) می‌توان دریافت که در حالی که مقادیر نمایه SPI بین ۴ و ۴- به صورت قرینه توزیع شده، مقادیر مثبت نمره Z ممکن است تا ۵ نیز تغییر کند در حالی که مقادیر منفی آن هرگز به ۱- نمی‌رسد. این موضوع نشان می‌دهد که نمایه نمره Z استاندارد نیست و قابلیت مقایسه مکانی را ندارد و نمی‌توان بر اساس آن شدت یک خشکسالی را تعیین نمود و وضعیت خشکسالی را در ایستگاه‌های مختلف مورد مقایسه قرار داد. در حالیکه مقادیر SPI استاندارد بوده و به وسیله آن می‌توان ترسالی‌ها و خشکسالی‌های مختلف را در گروه‌های مختلف دسته‌بندی و علاوه بر آن از نظر مکانی نیز مورد مقایسه قرار داد. از این‌رو در این مطالعه تحلیل دوره‌های خشک و تر در حوضه کرخه بر اساس SPI صورت پذیرفته است.

شکل (۵) نیز روند تغییرات زمانی SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف را در ایستگاه‌های معرف حوضه کرخه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل‌ها دیده می‌شود روند تغییرات SPI با افزایش مقیاس زمانی هموارتر می‌شود. نوسان شاخص SPI در مقیاس ۱ و ۳ ماهه بسیار زیاد است زیرا بارش به هر میزان که باشد قادر است مقدار شاخص را در این مقیاس زمانی به سرعت تغییر دهد. از این‌رو با استفاده از سری‌های زمانی SPI شش و ۱۲ ماهه بهتر می‌توان تعداد رویدادهای خشکسالی را تعیین و تداوم و میزان شدت آن‌ها را ارزیابی نمود. با توجه به این شکل‌ها ملاحظه می‌شود که روند تغییرات SPI در همه ایستگاه‌های معرف حوضه با یکدیگر همخوانی خوبی دارند. هماهنگی میان ایستگاه‌ها از نظر تغییرات زمانی SPI نشان می‌دهد که وقوع دوره‌های خشک و تر در سرتاسر حوضه کرخه در اغلب موارد همزمان روی می‌دهد و تنها ممکن است، شدت خشکسالی (ترسالی) از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متفاوت باشد. بر اساس تغییرات زمانی SPI دوازده ماهه (شکل ۵)

که روند تغییرات مقادیر Z و SPI یک ماهه در همه ایستگاه‌ها بخوبی از یکدیگر پیروی می‌کنند که بیانگر آن است که از هر دو نمایه می‌توان برای بررسی روند خشکسالی در حوضه کرخه استفاده کرد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد که نمایه Z در همه ایستگاه‌ها پیرامون میانگین می‌باشد و هیچ روند کاهشی و یا افزایشی در ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌شود. این نشان می‌دهد که در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند معنی‌داری به سوی دوره‌های تر و یا خشک دیده نشده، و تغییرات سری پیرامون میانگین روی داده است. مقایسه تغییرات نمایه Z در ایستگاه‌های مختلف همچنین نشان می‌دهد که نوسانات بارش در همه ایستگاه‌ها تقریباً هماهنگ می‌باشد و دوره‌های خشک و تر در آن‌ها همزمان روی می‌دهد. با توجه به این شکل همچنین می‌توان دریافت که مقدار مثبت نمایه Z که شدت دوره‌های تر را نشان می‌دهد ممکن است به عدد ۵ نیز برسد در حالیکه مقادیر منفی نمایه Z در همه ایستگاه‌ها به ندرت به پائین‌تر از ۲- می‌رسد. این عدم قرینگی در مقادیر مثبت و منفی نمایه Z نشان می‌دهد که این نمایه استاندارد نیست و در ایستگاه‌های مختلف مقادیر متفاوتی را ارائه می‌دهد که قابلیت مقایسه شدت خشکسالی و یا ترسالی را در بین ایستگاه‌ها از بین می‌برد. از آنجائی که این نمایه از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند مقادیر آن نیز دارای دامنه ثابتی نیست و به همین خاطر نمی‌توان آن‌را گروه‌بندی نمود تا بر اساس آن خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف را دسته‌بندی و نامگذاری کرد. این وضعیت به ویژه برای ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر نمود پیدا خواهد کرد. از این‌رو این نمایه برای بررسی خشکسالی در مناطقی مانند حوضه کرخه که بارش ماهانه و حتی سالانه آن دارای چولگی شدید می‌باشند، چندان قابل اعتماد نیست و مقادیر نمایه Z ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر قابل مقایسه نمی‌باشند. شکل (۴) مقایسه مقادیر SPI و Z را برای ایستگاه‌های کرمانشاه، خرم‌آباد و ملایر به عنوان ایستگاه‌های معرف حوضه کرخه نمایش می‌دهد.

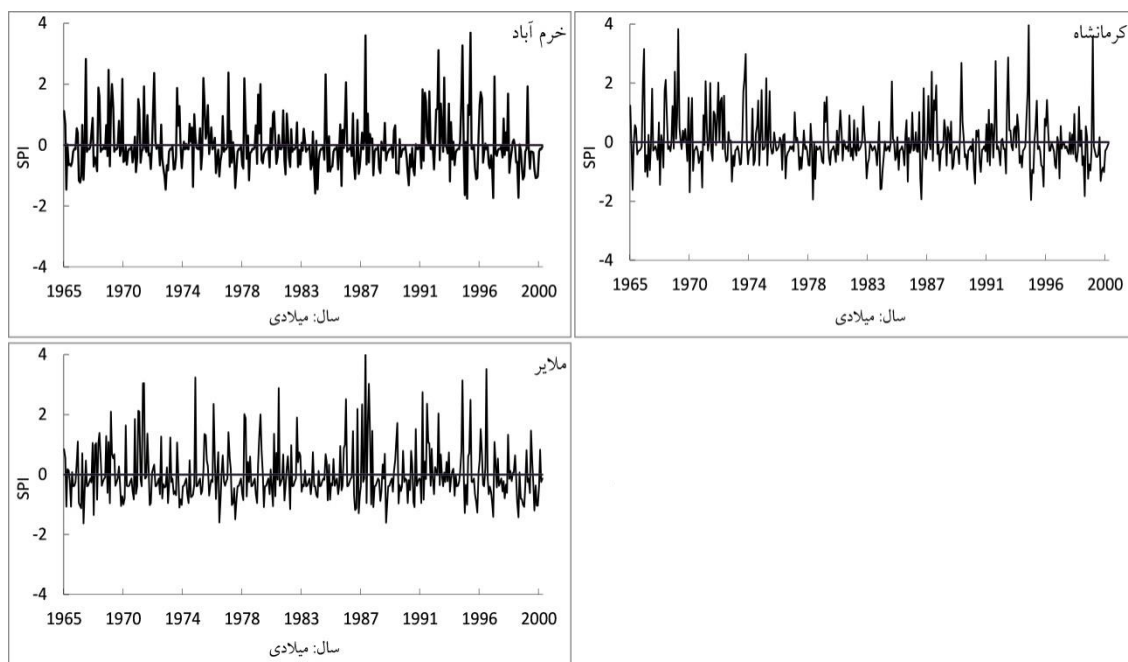
بلندمدت به ثبت رسیده است که مهم‌ترین آن‌ها از نظر تداوم، رویدادهای ۱۹۸۵-۱۹۸۲، ۱۹۹۲-۱۹۸۹ و ۲۰۰۰-۱۹۹۸ می‌باشد.

خشکسالی ۲۰۰۰-۱۹۹۸ در این ایستگاه نیز به مدت ۲۳ ماه ادامه داشته است که هم از نظر مدت و هم از نظر شدت از جمله رویدادهای مهم خشکسالی این ایستگاه به شمار می‌رود. با توجه به جدول (۷) می‌توان گفت که ایستگاه ملایر نیز از نظر تعداد رویدادهای خشکسالی بلند مدت وضعیتی همانند دو ایستگاه کرمانشاه و خرم آباد دارد. این ایستگاه تعداد ۹ رویداد خشکسالی بلند مدت را تجربه کرده است که مهم‌ترین آن به مدت ۴۴ ماه تداوم داشته است که در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ روی داده‌اند. دومین رویداد خشکسالی بلندمدت در این ایستگاه نیز از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ به مدت ۳۴ ماه ادامه داشته است. با توجه جداول (۲) تا (۷) می‌توان گفت که اغلب رویدادهای خشکسالی در هر سه ایستگاه کرمانشاه، خرم آباد و ملایر تقریباً به طور همزمان روی داده‌اند، هرچند زمان آغاز و پایان و نیز شدت این خشکسالی‌ها ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشند.

ملاحظه می‌شود که در سال‌های ۶۷-۱۹۶۶، ۷۱-۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۷۸-۱۹۷۷، ۱۹۸۴، ۱۹۹۱، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰-۱۹۹۸ در همه ایستگاه‌های معرف حوضه کرخه چند خشکسالی عمده اتفاق افتاده است. این دوره‌های خشکسالی در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر نیز دیده می‌شوند، با این تفاوت که شدت خشکسالی و زمان آغاز و پایان دوره‌های خشک و تر ممکن است متفاوت باشد.

جدول (۲) تا (۴) ویژگی‌های وقایع خشکسالی‌ها را در ایستگاه‌های معرف حوضه که بر اساس SPI سه ماهه به دست آمده، نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌شود در ایستگاه کرمانشاه تعداد ۲۳ خشکسالی در دوره مورد مطالعه روی داده است که در برخی موارد این خشکسالی‌ها ۹ تا ۱۱ ماه تداوم داشته‌اند. بزرگی این دوره‌ها، میزان تأثیرگذاری خشکسالی بر منابع آب و کشاورزی حوضه را نشان می‌دهد. هر چه بزرگی یک دوره خشکسالی بیشتر باشد، شدت و یا تداوم آن زیادتر خواهد بود. اگرچه خشکسالی‌های ۸۳-۱۹۸۲، ۹۹-۱۹۹۸ و ۲۰۰۰-۱۹۹۹ از نظر بزرگی از اهمیت بیشتری برخوردار هستند، اما دوره خشک ۹۵-۱۹۹۴ را می‌توان مهم‌ترین دوره خشکسالی از نظر شدت خشکسالی به شمار آورد.

جداول (۵) تا (۷) تعداد رویدادهای خشکسالی ایستگاه‌های معرف حوضه را بر اساس SPI تداوم ۱۲ ماهه نشان می‌دهد. جدول (۵) نشان می‌دهد که ایستگاه کرمانشاه هفت خشکسالی مهم و بلند مدت را در دوره مورد مطالعه پشت سر گذاشته‌اند. طولانی‌ترین خشکسالی در این ایستگاه از سال ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۰ به مدت ۴۰ ماه ادامه داشته است. در سال‌های ۸۵-۱۹۸۲ و ۲۰۰۰-۱۹۹۸ نیز دو خشکسالی مهم دیگر روی داده است که به مدت دو سال تداوم داشته‌اند. خشکسالی ۲۰۰۰-۱۹۹۸ هم از نظر مدت و هم از نظر شدت خشکسالی بسیار مهم می‌باشد. همان‌گونه که جدول (۶) نشان می‌دهد در ایستگاه خرم آباد نیز تعداد ۱۰ رویداد خشکسالی

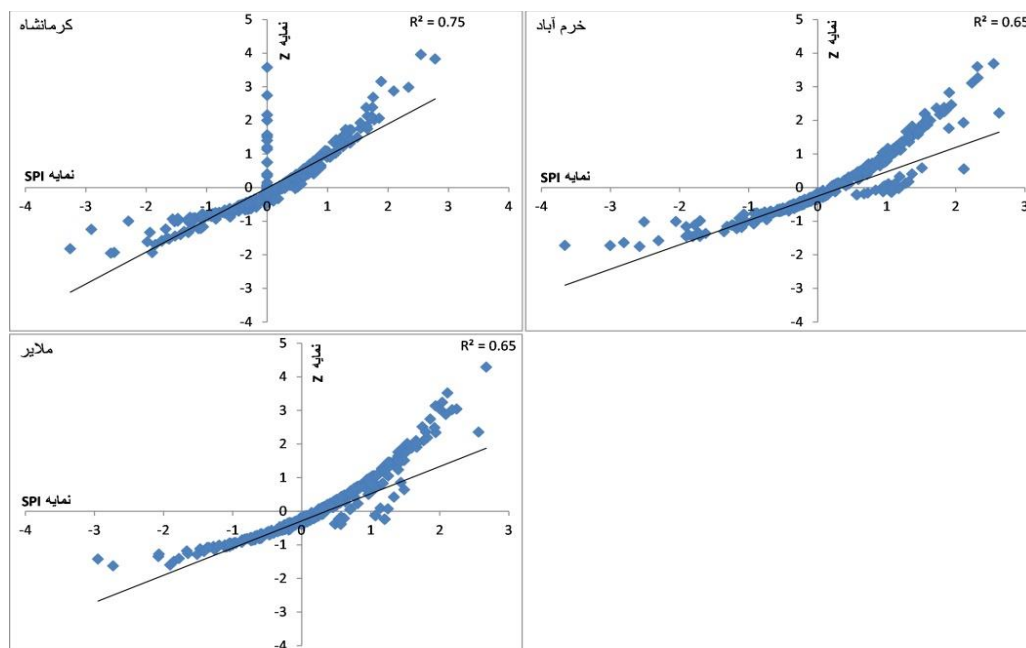


شکل (۳) نمودار تغییرات زمانی نمایه Z برای سه ایستگاه معرف حوضه

و جنوب حوضه قرار داشته است و از شدت خشکسالی به سوی شرق کاسته می‌شود. در سال ۱۹۷۷ شدت خشکسالی در شمال غرب و جنوب شرق حوضه قابل توجه بوده است. در سال ۱۹۸۴ به استثناء بخش میانی حوضه که از بارش نرمال برخوردار بوده است می‌توان گفت که سرتاسر حوضه در خشکسالی شدید تا بسیار شدید قرار داشته است. در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۱ تنها بخش‌هایی از شمال و جنوب حوضه از خشکسالی بسیار شدید متأثر شده‌اند و شدت خشکسالی در بیشتر بخش‌های حوضه ملایم بوده است. در سال ۱۹۹۷ سرتاسر حوضه در معرض خشکسالی قرار داشته است که شدت آن در نیمه شمالی و بخشی از جنوب حوضه بسیار شدید بوده است. گستره خشکسالی در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۹۷ افزایش نشان می‌دهد. شدت خشکسالی در بیشتر بخش‌های حوضه نیز افزایش نشان می‌دهد به طوری که می‌توان گفت که در سال ۱۹۹۹ سرتاسر حوضه و در سال ۲۰۰۰ نیمه غربی حوضه در تله یک خشکسالی شدید تا بسیار شدید قرار گرفته است.

بررسی و تحلیل توزیع مکانی خشکسالی

به منظور بررسی توزیع مکانی خشکسالی و شناخت خشکسالی‌های فراگیر در منطقه مورد مطالعه نقشه‌های SPI تداوم ۱۲ ماهه تجمعی سپتامبر سال‌های مختلف که نمایشگر مجموع بارش ماه سپتامبر (شهریور) و یازده ماه قبل از آن می‌باشد، ترسیم گردید. در شکل (۶) گستره خشکسالی در حوضه برای سال‌های با خشکسالی فراگیر ارائه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که پدیده خشکسالی با شدت زیاد تقریباً سرتاسر حوضه کرخه را در سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۱۹۷۷، ۱۹۸۴، ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ در بر گرفته است و یا به عبارت دیگر حوضه کرخه در این سال‌ها در تله خشکسالی‌های فراگیر قرار داشته است. در سال ۱۹۷۰ پدیده خشکسالی بخش میانی حوضه را از شمال تا جنوب در بر گرفته است که بیشترین شدت آن با رقم ۳- در جنوب حوضه قرار داشته است. در این سال شدت خشکسالی در شرق حوضه کمتر بوده است و غرب حوضه نیز در حالت نرمال تا مرطوب قرار داشته است. در سال ۱۹۷۳ مرکز پدیده خشکسالی در غرب



شکل (۴): مقایسه سری زمانی SPI و Z ماهانه در سه ایستگاه معرف حوضه

ماهه حوضه برای ماه‌های آوریل (فروردین)، می (اردیبهشت)، اکتبر و نوامبر در طول سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۰ تهیه و در شکل‌های (۸) ارائه شده است. از آنجائی‌که این ماه‌ها فصل کشت و برداشت محصولات کشاورزی به ویژه دیم در منطقه را در بر می‌گیرد مطالعه پدیده خشکسالی در این ماه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

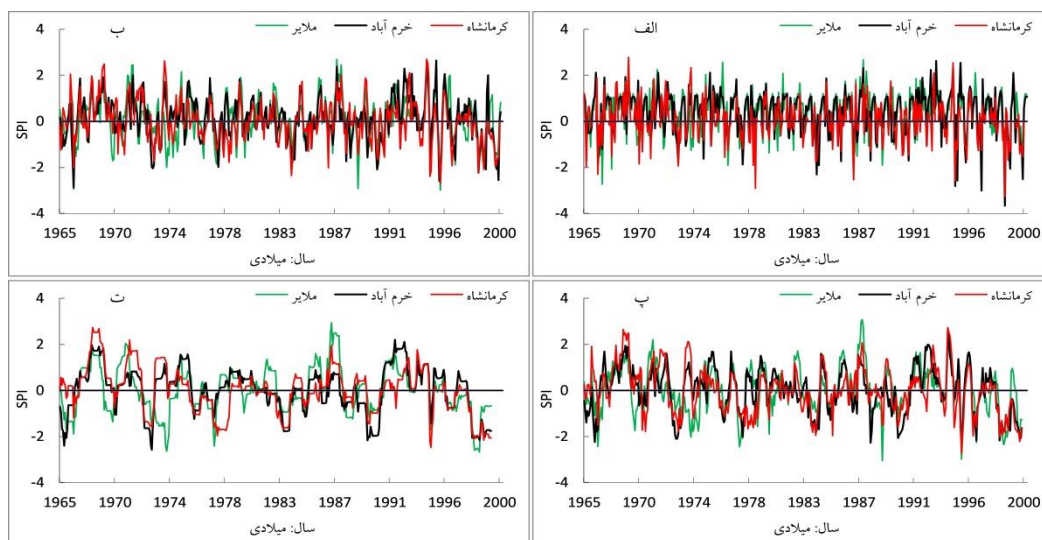
با توجه به شکل (۸-الف) ملاحظه می‌شود که بخش بزرگی از حوضه کرخه در ماه اکتبر ۱۹۷۲، ۱۹۷۳، ۱۹۷۵، ۱۹۷۸، ۱۹۸۳، ۱۹۸۵، ۱۹۹۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ متأثر از خشکسالی بوده است. روند تغییرات مکانی SPI در این نقشه‌ها نشان می‌دهد که در اغلب موارد پدیده خشکسالی بخش جنوبی و غربی حوضه را در بر گرفته است و شدت خشکسالی در بخش شرقی و شمالی حوضه همواره کمتر بوده است. این وضعیت برای ماه نوامبر کمی متفاوت می‌باشد (شکل ۸-ب)). گستره تحت تأثیر خشکسالی در نوامبر سال‌های ۱۹۶۶، ۱۹۷۳، ۱۹۷۴، ۱۹۷۶، ۱۹۷۸، ۱۹۷۹، ۱۹۸۸، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ در حوضه

شکل (۷) نیز توزیع مکانی SPI تداوم ۱۲ ماهه را برای سال‌های تر نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۶۸، ۱۹۶۹، ۱۹۷۲، ۱۹۸۸، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۸ سرتاسر حوضه کرخه، ترسالی را تجربه کرده است و مقدار SPI در گستره بسیار بزرگی از حوضه بیشتر از +۱ بوده است که نشان می‌دهد حوضه کرخه در این سال‌ها بارشی در حد نرمال و یا بیش از نرمال داشته است. به طور کلی می‌توان حوضه کرخه را یک حوضه تقریباً همگن در نظر گرفت که وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در این حوضه همزمان روی می‌دهد و تنها ممکن است شدت خشکسالی (ترسالی) در نقاط مختلف حوضه متفاوت باشد. از این‌رو می‌توان گفت که در حوضه کرخه روند مکانی خاصی برای گسترش دوره‌های خشک و تر دیده نمی‌شود و وقوع یک دوره خشک و یا تر اغلب کل حوضه را با شدت‌های متفاوت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

به‌منظور بررسی محدودیت‌های ناشی از خشکسالی برای کشاورزی منطقه، نقشه توزیع مکانی SPI یک

به طوری که خشکسالی نیمه غربی حوضه در گروه بسیار شدید قرار می‌گیرد. در اغلب این سال‌ها بیش از ۷۰ درصد حوضه متأثر از خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید بوده‌اند. شکل (۸-ت) نیز نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه در ماه می سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۷۳، ۱۹۷۴، ۱۹۸۵، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ به طور گسترده‌ای تحت تأثیر پدیده خشکسالی قرار داشته است. نگاهی به نقشه مربوط به سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۸، ۱۹۹۱، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که در این سال‌ها سرتاسر حوضه گرفتار خشکسالی شدید تا بسیار شدید بوده است.

کرخه نسبت به سایر ماه‌ها و بخصوص ماه اکتبر بسیار چشم‌گیر می‌باشد. در این ماه مناطق گسترده‌تری را پوشش داده شده است و در برخی مناطق نیز از شدت بیشتری برخوردار می‌باشد. به عنوان مثال شدت خشکسالی ماه نوامبر ۱۹۶۶ و ۱۹۷۶ در نیمه جنوبی حوضه بسیار شدید بوده است. گسترده‌ترین خشکسالی ماه آوریل در سال‌های ۱۹۷۸، ۱۹۷۹، ۱۹۸۷، ۱۹۸۹، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ روی داده است (شکل ۸-پ)). بخش بزرگی از حوضه در این سال‌ها از کمبود شدید بارش برخوردار بوده است. شدت خشکسالی در آوریل سال ۱۹۷۹ بسیار زیاد بوده است



شکل (۵): سری زمانی SPI در تداوم‌های الف) ۱ ماهه، ب) ۳ ماهه، پ) ۶ ماهه، ت) ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های معرف

خشکسالی بیشترین فراوانی خشکسالی را به خود اختصاص داده‌اند. در ماه‌های آوریل و می نیز نیمه شمالی منطقه بیشترین فراوانی خشکسالی را تجربه می‌کنند. به طور کلی می‌توان گفت که فراوانی رویدادهای خشکسالی در حاشیه شمالی و جنوبی منطقه بسیار بیشتر از دیگر مناطق حوضه می‌باشد. در همه نقشه‌ها دیده می‌شود که فراوانی وقوع خشکسالی در حاشیه شرقی حوضه به کمترین مقدار ممکن در سطح حوضه می‌رسد که نشان از ریسک پایین‌تر این بخش از حوضه در ارتباط با بروز پدیده خشکسالی است.

برای مطالعه فراوانی پدیده خشکسالی در دوره کاشت و برداشت نیز توزیع فراوانی ویبول بر سری رویدادهای ماه‌های اکتبر، نوامبر، آوریل و می برازش داده شد و احتمال وقوع مقادیر SPI کوچکتر از -۱ برای هریک از ماه‌های فوق استخراج و نقشه توزیع مکانی آن در سطح حوضه تهیه شد (شکل ۹). شکل (۹) نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی رویدادهای خشکسالی در ماه اکتبر با رقمی بین ۱۱ تا ۱۴ مورد در نیمه جنوب شرقی و بخش غربی حوضه روی می‌دهد. در ماه نوامبر نیز حاشیه شمالی و شمال غربی و نیز حاشیه جنوبی منطقه با ۲۰ تا ۲۴ مورد

جدول (۲): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه کرمانشاه

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۵۶-۶۶	دسامبر	۱۹۵۶-۶۶	مارس	۳	-۲	-۰,۷
۱۹۶۶-۶۷	ژانویه	۱۹۶۶-۶۷	می	۴	-۴	-۱
۱۹۶۹-۷۰	ژولیه	۱۹۷۰-۷۱	آوریل	۹	-۵,۷	-۰,۶
۱۹۷۲-۷۳	مارس	۱۹۷۳-۷۴	ژانویه	۱۰	-۸,۵	-۰,۹
۱۹۷۷-۷۸	فوریه	۱۹۷۷-۷۸	آگوست	۶	-۴,۳	-۰,۷
۱۹۷۷-۷۸	سپتامبر	۱۹۷۸-۷۹	ژولیه	۱۰	-۹,۱	-۰,۹
۱۹۷۸-۷۹	آگوست	۱۹۷۹-۸۰	ژانویه	۵	-۱,۷	-۰,۳
۱۹۸۲-۸۳	ژانویه	۱۹۸۲-۸۳	ژوئن	۵	-۳,۳	-۰,۷
۱۹۸۲-۸۳	آگوست	۱۹۸۳-۸۴	ژولیه	۱۱	-۸,۵	-۰,۸
۱۹۸۴-۸۵	فوریه	۱۹۸۵-۸۶	نوامبر	۹	-۴,۱	-۰,۵
۱۹۸۶-۸۷	ژانویه	۱۹۸۶-۸۷	مارس	۲	-۲,۵	-۱,۳
۱۹۸۷-۸۸	می	۱۹۸۷-۸۸	سپتامبر	۴	-۲,۴	-۰,۶
۱۹۸۸-۸۹	آوریل	۱۹۸۹-۹۰	نوامبر	۷	-۳,۶	-۰,۵
۱۹۸۹-۹۰	آوریل	۱۹۹۰-۹۱	اکتبر	۶	-۳,۴	-۰,۶
۱۹۹۰-۹۱	نوامبر	۱۹۹۰-۹۱	مارس	۴	-۴,۳	-۱,۱
۱۹۹۰-۹۱	می	۱۹۹۱-۹۲	اکتبر	۵	-۳,۲	-۰,۶
۱۹۹۱-۹۲	سپتامبر	۱۹۹۲-۹۳	ژانویه	۴	-۱,۵	-۰,۴
۱۹۹۳-۹۴	آوریل	۱۹۹۳-۹۴	سپتامبر	۵	-۳,۴	-۰,۷
۱۹۹۴-۹۵	فوریه	۱۹۹۴-۹۵	ژوئن	۴	-۶	-۱,۵
۱۹۹۴-۹۵	سپتامبر	۱۹۹۵-۹۶	مارس	۶	-۷,۲	-۱,۲
۱۹۹۶-۹۷	اکتبر	۱۹۹۶-۹۷	می	۷	-۵,۴	-۰,۸
۱۹۹۸-۹۹	اکتبر	۱۹۹۸-۹۹	آگوست	۱۰	-۱۰,۹	-۱,۱
۱۹۹۹-۰۰	اکتبر	۱۹۹۹-۰۰	سپتامبر	۱۱	-۱۱,۱	-۱

جدول (۳): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه خرم آباد

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۵۶-۶۶	ژانویه	۱۹۵۶-۶۶	آگوست	۷	-۴,۹	-۰,۷
۱۹۶۶-۶۷	نوامبر	۱۹۶۶-۶۷	می	۶	-۷	-۱,۲
۱۹۷۲-۷۳	ژانویه	۱۹۷۲-۷۳	آگوست	۷	-۸,۹	-۱,۳
۱۹۷۳-۷۴	اکتبر	۱۹۷۳-۷۴	ژانویه	۳	-۳,۶	-۱,۲
۱۹۷۵-۷۶	اکتبر	۱۹۷۵-۷۶	دسامبر	۲	-۱,۵	-۰,۸
۱۹۷۷-۷۸	مارس	۱۹۷۷-۷۸	آگوست	۵	-۵,۳	-۱,۱
۱۹۷۸-۷۹	اکتبر	۱۹۷۸-۷۹	دسامبر	۲	-۱,۷	-۰,۸
۱۹۸۳-۸۴	اکتبر	۱۹۸۳-۸۴	آگوست	۱۰	-۱۰	-۱
۱۹۸۴-۸۵	فوریه	۱۹۸۴-۸۵	آگوست	۶	-۳,۹	-۰,۶
۱۹۸۵-۸۶	اکتبر	۱۹۸۵-۸۶	دسامبر	۲	-۱,۵	-۰,۷
۱۹۸۶-۸۷	ژانویه	۱۹۸۶-۸۷	آگوست	۷	-۳,۶	-۰,۵

ادامه جدول (۳): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه خرم آباد

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۸۷-۸۸	می	۱۹۸۷-۸۸	آگوست	۳	-۱,۹	۰,۶
۱۹۸۸-۸۹	اکتبر	۱۹۸۸-۸۹	فوریه	۴	-۳,۸	-۱
۱۹۸۹-۹۰	فوریه	۱۹۸۹-۹۰	ژوئن	۴	-۳,۴	-۰,۸
۱۹۹۰-۹۱	اکتبر	۱۹۹۰-۹۱	آگوست	۱۰	-۱۱,۳	-۱,۱
۱۹۹۲-۹۳	اکتبر	۱۹۹۲-۹۳	دسامبر	۲	-۱,۲	-۰,۶
۱۹۹۴-۹۵	فوریه	۱۹۹۴-۹۵	می	۳	-۲,۹	-۱
۱۹۹۵-۹۶	اکتبر	۱۹۹۵-۹۶	فوریه	۴	-۷,۲	-۱,۸
۱۹۹۶-۹۷	اکتبر	۱۹۹۶-۹۷	آوریل	۶	-۵,۴	-۰,۹
۱۹۹۸-۹۹	اکتبر	۱۹۹۸-۹۹	آگوست	۱۰	-۱۲,۷	-۱,۳
۱۹۹۹-۰۰	اکتبر	۱۹۹۹-۰۰	آگوست	۱۰	-۱۱,۴	-۱,۱

جدول (۴): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه ملایر

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۶۶-۶۷	دسامبر	۱۹۶۶-۶۷	ژوئن	۶	-۷,۸	-۱,۳
۱۹۶۹-۷۰	دسامبر	۱۹۶۹-۷۰	می	۵	-۵,۲	-۱
۱۹۷۰-۷۱	اکتبر	۱۹۷۰-۷۱	دسامبر	۲	-۱,۴	-۰,۷
۱۹۷۳-۷۴	اکتبر	۱۹۷۳-۷۴	فوریه	۴	-۲,۵	-۰,۶
۱۹۷۳-۷۴	مارس	۱۹۷۳-۷۴	سپتامبر	۶	-۵,۹	-۱
۱۹۷۴-۷۵	اکتبر	۱۹۷۴-۷۵	می	۷	-۶,۴	-۰,۹
۱۹۷۶-۷۷	دسامبر	۱۹۷۶-۷۷	ژوئن	۶	-۳,۳	-۰,۶
۱۹۷۷-۷۸	فوریه	۱۹۷۷-۷۸	سپتامبر	۷	-۹,۱	۱,۳
۱۹۷۸-۷۹	اکتبر	۱۹۷۸-۷۹	دسامبر	۲	-۱,۹	-۰,۹
۱۹۷۹-۸۰	اکتبر	۱۹۷۹-۸۰	ژانویه	۳	-۲,۹	-۱
۱۹۷۹-۸۰	ژوئن	۱۹۷۹-۸۰	سپتامبر	۳	-۲,۱	-۰,۷
۱۹۸۳-۸۴	مارس	۱۹۸۳-۸۴	ژولیه	۴	-۲,۸	-۰,۷
۱۹۸۶-۸۷	فوریه	۱۹۸۶-۸۷	مارس	۱	-۲	-۲
۱۹۸۶-۸۷	ژوئن	۱۹۸۶-۸۷	آگوست	۲	-۱,۵	-۰,۷
۱۹۸۷-۸۸	ژولیه	۱۹۸۷-۸۸	سپتامبر	۲	-۱,۷	-۰,۸
۱۹۸۸-۸۹	نوامبر	۱۹۸۸-۸۹	مارس	۴	-۲,۴	-۰,۶
۱۹۸۸-۸۹	آوریل	۱۹۸۸-۸۹	سپتامبر	۵	-۵,۵	-۱,۱
۱۹۸۹-۹۰	می	۱۹۸۹-۹۰	آگوست	۳	-۱,۷	-۰,۶
۱۹۹۰-۹۱	نوامبر	۱۹۹۰-۹۱	فوریه	۳	-۲,۷	-۰,۹
۱۹۹۴-۹۵	فوریه	۱۹۹۴-۹۵	می	۳	-۳,۱	-۱
۱۹۹۵-۹۶	اکتبر	۱۹۹۵-۹۶	مارس	۵	-۶,۸	-۱,۴
۱۹۹۶-۹۷	نوامبر	۱۹۹۶-۹۷	آوریل	۵	-۵	-۱
۱۹۹۸-۹۹	نوامبر	۱۹۹۸-۹۹	آگوست	۹	۹	-۱,۴
۱۹۹۹-۰۰	فوریه	۱۹۹۹-۰۰	آگوست	۶	-۶/۹	-۱,۱

جدول (۵): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه کرمانشاه

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۶۷-۶۸	اکتبر	۱۹۶۷-۶۸	آوریل	۶	-۲,۸	-۰,۵
۱۹۷۲-۷۳	مارس	۱۹۷۳-۷۴	مارس	۱۲	-۱۴,۵	-۱,۲
۱۹۷۶-۷۷	نوامبر	۱۹۷۹-۸۰	مارس	۴۰	-۳۸,۷	-۱
۱۹۸۲-۸۳	فوریه	۱۹۸۴-۸۵	ژانویه	۲۳	-۱۹,۹	-۰,۹
۱۹۹۰-۹۱	دسامبر	۱۹۹۱-۹۲	دسامبر	۱۲	-۱۲,۴	-۱
۱۹۹۵-۹۶	نوامبر	۱۹۹۵-۹۶	مارس	۴	-۷,۶	-۱,۹
۱۹۹۸-۹۹	اکتبر	۱۹۹۹-۰۰	سپتامبر	۲۴	-۳۹,۷	-۱,۷

جدول (۶): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه خرم آباد

سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۶۵-۶۶	سپتامبر	۱۹۶۷-۶۸	نوامبر	۱۴	-۱۶,۹	-۱,۲
۱۹۷۰-۷۱	ژانویه	۱۹۷۰-۷۱	آوریل	۳	-۲,۳	-۰,۸
۱۹۷۲-۷۳	مارس	۱۹۷۳-۷۴	مارس	۱۲	-۱۷,۹	-۱,۵
۱۹۷۶-۷۷	فوریه	۱۹۷۷-۷۸	دسامبر	۱۰	-۷,۳	-۰,۷
۱۹۷۷-۷۸	آوریل	۱۹۷۸-۷۹	آوریل	۱۲	۵,۷	-۰,۵
۱۹۸۲-۸۳	ژانویه	۱۹۸۴-۸۵	فوریه	۲۵	۱۹,۵	-۰,۸
۱۹۸۵-۸۶	اکتبر	۱۹۸۵-۸۶	می	۷	-۵	-۰,۷
۱۹۸۹-۹۰	فوریه	۱۹۹۱-۹۲	فوریه	۲۴	-۳۰,۴	-۱,۳
۱۹۹۵-۹۶	نوامبر	۱۹۹۵-۹۶	مارس	۴	-۳,۲	-۰,۸
۱۹۹۸-۹۹	نوامبر	۱۹۹۹-۰۰	سپتامبر	۲۳	-۳۷,۸	-۱,۶

جدول (۷): ویژگی‌های خشکسالی در ایستگاه ملایر

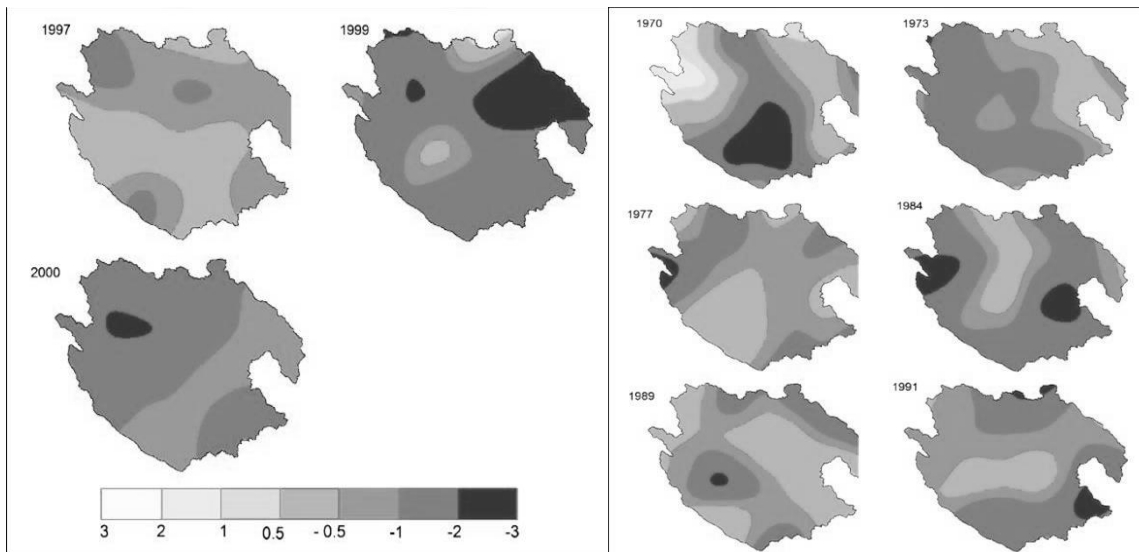
سال آغاز	ماه آغاز	سال پایان	ماه پایان	تداوم	بزرگی	شدت
۱۹۶۶-۶۷	نوامبر	۱۹۶۷-۶۸	مارس	۱۶	-۱۷,۷	-۱,۱
۱۹۶۹-۷۰	مارس	۱۹۷۰-۷۱	مارس	۱۲	-۹,۴	-۰,۸
۱۹۷۲-۷۳	مارس	۱۹۷۵-۷۶	ژانویه	۳۴	-۳۳,۷	-۱
۱۹۷۶-۷۷	فوریه	۱۹۷۷-۷۸	نوامبر	۹	-۵,۵	-۰,۶
۱۹۷۷-۷۸	آوریل	۱۹۷۸-۷۹	آوریل	۱۲	-۱۱,۶	-۱
۱۹۸۸-۸۹	ژانویه	۱۹۸۹-۹۰	فوریه	۱۳	-۱۱,۲	-۰,۹
۱۹۹۰-۹۱	نوامبر	۱۹۹۱-۹۲	دسامبر	۱۳	-۹,۵	۰,۷
۱۹۹۵-۹۶	نوامبر	۱۹۹۵-۹۶	مارس	۴	-۴,۵	-۱,۱
۱۹۹۶-۹۷	فوریه	۱۹۹۹-۰۰	سپتامبر	۴۴	-۳۸,۹	۰,۹

مختلف محاسبه و نتیجه آن به صورت نمودار ارائه شد. شکل (۱۰) منحنی‌های شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی را برای ایستگاه‌های مهم حوضه نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که بزرگی خشکسالی با تداوم یک ماهه در دوره

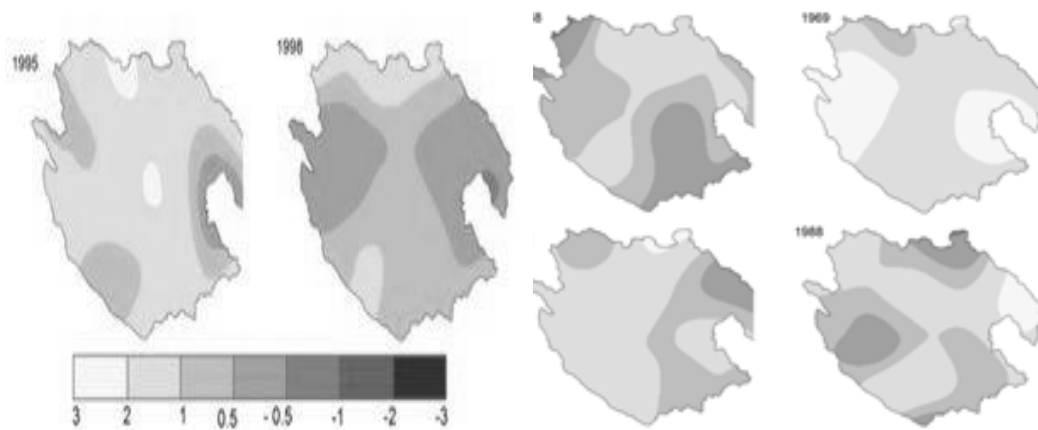
منحنی‌های شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی همان‌گونه که پیش از این گفته شد توزیع آماری GEV به داده‌های بزرگی خشکسالی هر ایستگاه و در تداوم‌های مختلف برآزش داده شد و به کمک آن بزرگی خشکسالی هر تداوم برای دوره بازگشت‌های

۳۵- نزدیک می‌شود. با توجه به همگنی نسبی ایستگاه‌ها از نظر تغییر پذیری دوره‌های خشک و تر منحنی‌های مشابهی نیز برای دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه بدست آمد که به منظور اختصار در اینجا ارائه نشده است.

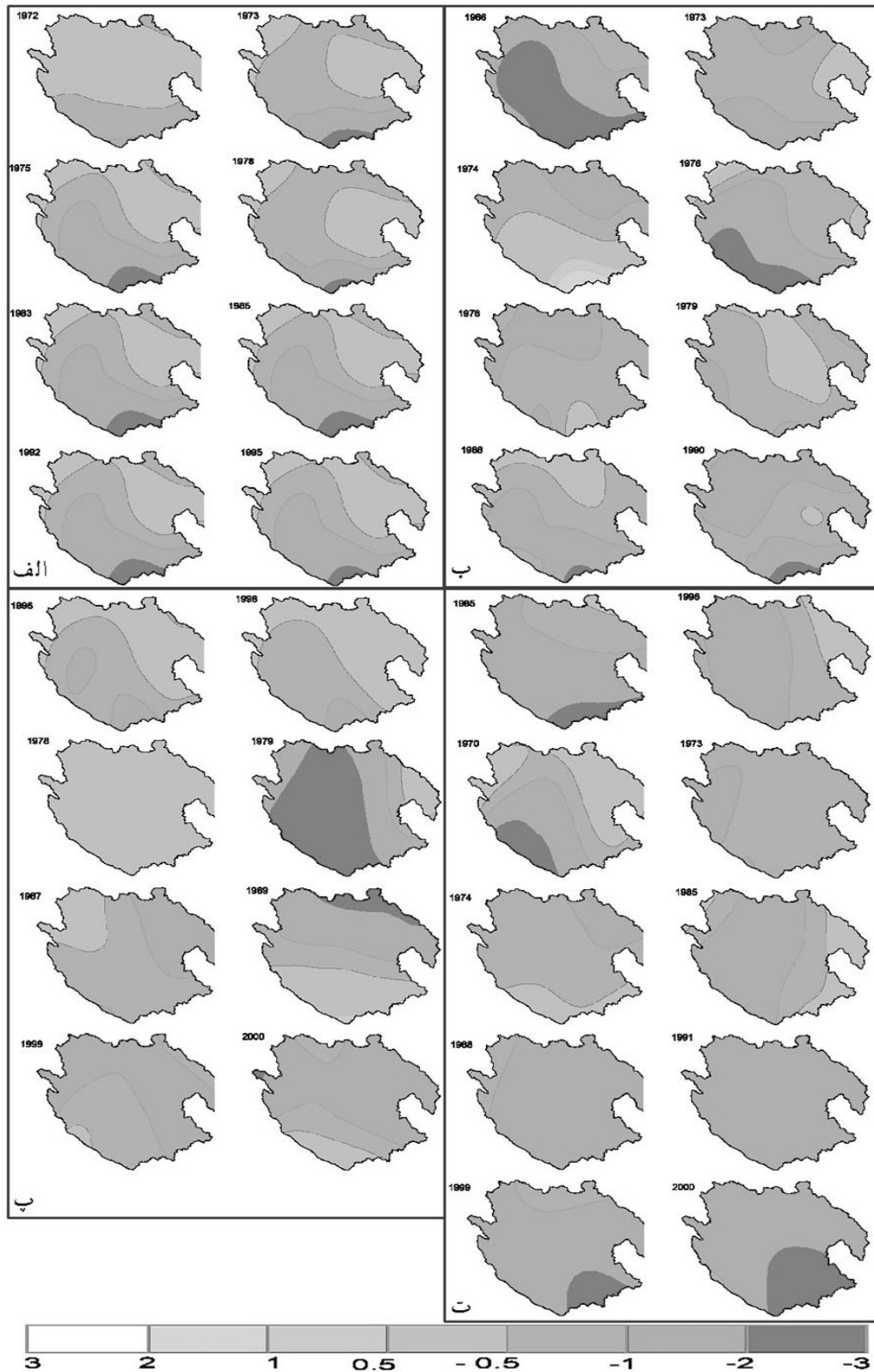
بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال در همه ایستگاه بین ۱- تا ۵- می‌باشد. با افزایش تداوم و دوره بازگشت خشکسالی مقدار بزرگی خشکسالی نیز به سرعت افزایش پیدا می‌کند، به طوری این مقدار برای تداوم ۱۲ ماهه و دوره بازگشت ۱۰۰ سال حداکثر به رقم



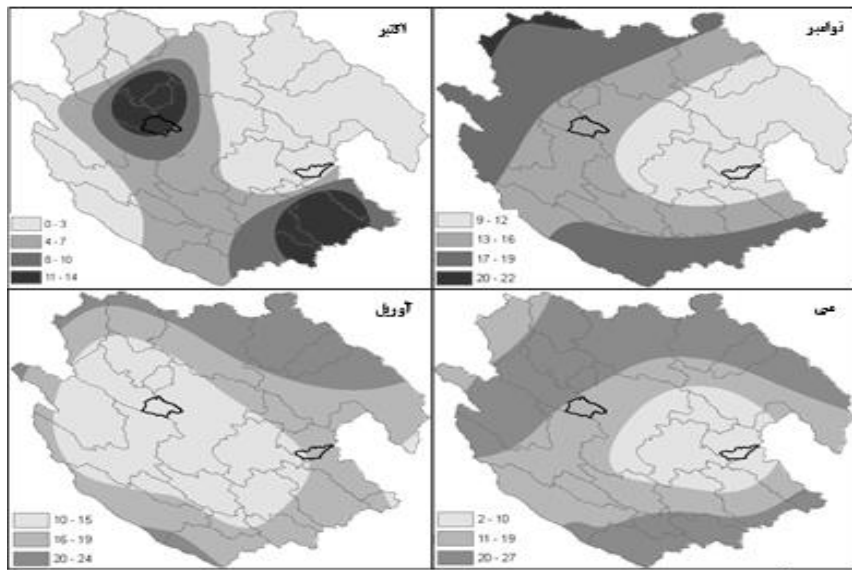
شکل (۶): گستره خشکسالی در حوضه کرخه در سال‌های خشک (رنگ تیره تر برابر است با خشکسالی شدیدتر و رنگ روشن تر نشان دهنده ترسالی شدیدتر است)



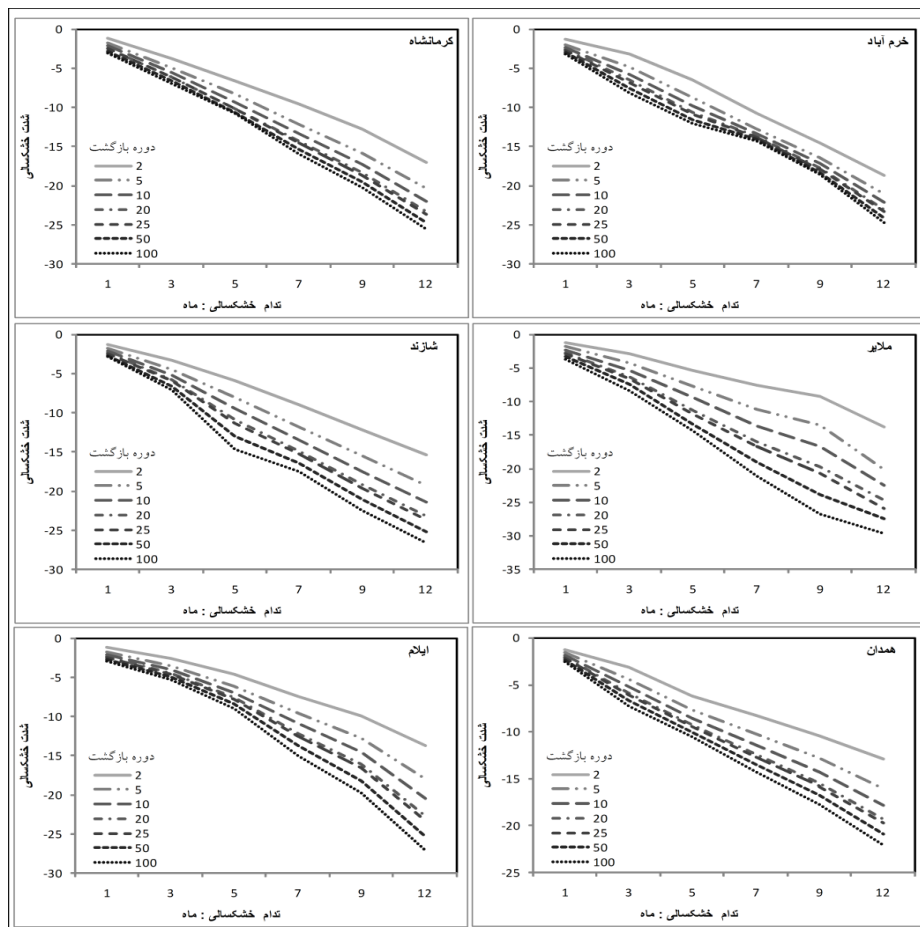
شکل (۷): گستره خشکسالی حوضه کرخه در سال‌های تر (رنگ تیره تر برابر است با خشکسالی شدیدتر و رنگ روشن تر نشان دهنده ترسالی شدیدتر است)



شکل (۸): گستره خشکسالی در حوضه کرخه در ماه‌های الف) اکتبر، ب) نوامبر، پ) آوریل، ت) می (رنگ تیره تر برابر است با خشکسالی شدیدتر و رنگ روشن تر نشان دهنده ترسالی شدیدتر است)



شکل (۹): نقشه های احتمال وقوع $SPI \leq -1$ در ماههای کاشت و برداشت حوضه



شکل (۱۰): منحنی های شدت-تداوم-فراوانی خشکسالی برخی از ایستگاه های حوضه کرخه

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد سری‌های زمانی نمره Z در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنی داری از خود نشان نمی‌دهد و تغییرات سری پیرامون میانگین روی داده است. مقایسه تغییرات زمانی نمایه‌های SPI و Z در ایستگاه‌های مختلف همچنین نشان می‌دهد که نوسانات بارش در همه ایستگاه‌ها تقریباً هماهنگ می‌باشد و دوره‌های خشک و تر در آن‌ها همزمان روی می‌دهد.

مقایسه نمایه نمره Z و SPI در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که مقدار مثبت نمایه Z ممکن است به عدد ۵ برسد در حالیکه مقادیر منفی آن در همه ایستگاه‌ها به ندرت به پائین‌تر از ۲- می‌رسد. این عدم قرینگی در مقادیر مثبت و منفی نمایه Z در مقایسه با نمایه SPI نشان می‌دهد که نمایه Z استاندارد نیست و در ایستگاه‌های مختلف مقدار متفاوتی را ارائه می‌دهد و لذا قابلیت مقایسه مکانی شدت خشکسالی و یا ترسالی را در بین ایستگاه‌ها از بین می‌برد. بنابر این نمایه Z برای بررسی خشکسالی در مناطقی مانند حوضه کرخه که بارش ماهانه و حتی سالانه آن دارای چولگی شدید می‌باشند چندان قابل اعتماد نیست و مقادیر نمایه Z ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر قابل مقایسه نمی‌باشند.

بررسی روند تغییرات زمانی SPI در ایستگاه‌های حوضه کرخه نشان داد که روند تغییرات SPI با افزایش پایه زمانی هموارتر می‌شود. مقایسه روند تغییرات سری‌های زمانی SPI در ایستگاه‌های مختلف حوضه نشان داد که هماهنگی نسبی میان ایستگاه‌ها از نظر تغییرات زمانی SPI وجود دارد و وقوع دوره‌های خشک و تر در سرتاسر حوضه کرخه در بیشتر موارد همزمان روی می‌دهند ولی شدت خشکسالی و یا ترسالی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر ممکن است متفاوت باشد. مقایسه روند تغییرات SPI سه ماهه ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که نوسان بارش در همه ایستگاه‌ها همزمان روی می‌دهد و تنها شدت این نوسان ممکن است متفاوت باشد. بررسی روند تغییرات

SPI سه ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که در سال‌های مختلف اغلب ایستگاه‌های حوضه کرخه دوره‌های خشک کوتاه مدتی را تجربه کرده‌اند که از نظر کشاورزی بسیار با اهمیت می‌باشد.

اگرچه خشکسالی‌های کوتاه مدت ممکن است در همه ایستگاه‌ها تقریباً همزمان روی دهد، اما با افزایش مقیاس زمانی علاوه بر اینکه تفاوت شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف، در برخی موارد نیز زمان آغاز و پایان دوره‌های خشک و تر در ایستگاه‌های مورد مطالعه با یکدیگر هم‌خوانی ندارند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که حوضه کرخه طی این مدت بین ۲۰ تا ۲۳ دوره خشکسالی کوتاه مدت را تجربه کرده است که در برخی موارد بین ۹ تا ۱۱ ماه تداوم و لذا بر منابع آب و کشاورزی حوضه تاثیرگذار هستند. بررسی سری‌های زمانی SPI با مقیاس ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که حوضه کرخه طی این مدت حدود ۷ تا ۱۰ خشکسالی مهم و بلند مدت را پشت سر گذاشته است که بیشترین آن‌ها طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۰ با تداوم ۴۰ ماه بوده است.

نتیجه این بررسی همچنین نشان داد که ماه‌های پائیز و بهار که از نظر کشاورزی برای حوضه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشند تحت تأثیر خشکسالی‌های شدید و فراگیر بوده‌اند و در اغلب سال‌ها بیش از ۷۰ درصد حوضه متأثر از خشکسالی‌های شدید تا بسیار شدید بوده است که اثرات زیان‌باری بر کشاورزی و دامپروری منطقه داشته است. از این رو لازم است که این موضوع در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای به‌خصوص در بخش کشاورزی مورد توجه ویژه قرار گیرد.

نتایج برازش توزیع فراوانی ویبول بر رویدادهای خشکسالی ماه‌های اکتبر، نوامبر، آوریل نشان داد که فراوانی این رویدادها در حاشیه شمالی و جنوبی بسیار بیشتر از دیگر مناطق حوضه می‌باشد. با وجود این، فراوانی وقوع خشکسالی در حاشیه شرقی حوضه به کمترین مقدار ممکن در سطح حوضه می‌رسد که نشان از ریسک پائین‌تر منطقه در ارتباط با بروز پدیده

تشکر و قدردانی

برای انجام فعالیتهای مرتبط با این تحقیق، از امکانات و همکاری کارکنان مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی کشاورزی و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری سابق و نیز پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده شده است، که صمیمانه از مدیریت، کارکنان، کارشناسان و اعضاء هیئت علمی این سه مجموعه تشکر و سپاسگزاری به عمل می‌آید.

خشکسالی است. بررسی کارایی نمایه Z نشان داد که این نمایه دارای قرینگی در مقادیر مثبت و منفی می‌باشد، لذا این نمایه استاندارد نبوده و در ایستگاه‌های مختلف مقادیر متفاوتی را دارا بوده که قابلیت مقایسه شدت خشکسالی و یا ترسالی را در بین ایستگاه‌ها از بین می‌برد.

منابع:

- اختری، ر. ا.، م. ح. مهدیان. ۱۳۸۵. تحلیل مکانی شاخص‌های خشکسالی EDI، SPI در استان تهران. مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، ص ۲۷-۳۹.
- گل محمدی، م. ۱۳۸۸. اثر تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی خشکسالی در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، مجتمع آموزشی ابوریحان، گروه امورفنی کشاورزی. رشته مهندسی کشاورزی-مهندسی منابع آب.
- لشنی زند، م. و ع. ر. تلوری. ۱۳۸۳. بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش بینی آن در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب ایران. تحقیقات جغرافیایی، بهار ۱۳۸۳، شماره ۷۲، ص ۸۶-۷۳.
- محمد خ. گ.، س. م. ر. بهبهانی و ع. رحیمی خوب. ۱۳۸۶. ارزیابی تخمینگرهای ژئواستاتستیکی به منظور تحلیل مکانی شاخص خشکسالی SPI (مطالعه موردی حوزه آبریز کرخه) (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه تهران، مجتمع آموزشی ابوریحان، گروه آبیاری و زهکشی، مهندسی کشاورزی آبیاری و زهکشی.
- محسن ق. و س. اسلامیان. ۱۳۸۶. پایش و پهنه بندی خشکسالی هواشناسی در حوضه آبخیز کرخه با استفاده از شاخص بارش استاندارد. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه های آبخیز.
- مرید س.، م. مقدسی، ش. پایمزد و ه. قائمی. ۱۳۸۴. طرح تحقیقاتی: طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران، وزارت نیرو.

Beran, M. A. and J. A. Rodier. 1985. Hydrological aspects of drought. UNBSCO-WMO, Studies and Reports in Hydrology no. 39, UNESCO, Paris, France.

Bonaccorso, B., I. Bordi, A. Cancelliere, G. Rossi and A. Sutera. (2003). Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. Water Resour Manag, 17:273-296

Bordi, I. and A. Sutera. (2002). An analysis of drought in Italy in the last fifty years. Nuovo Cimento C 25C:185-206.

Bordi, I., K. Fraedrich, J. Jianman, and A. Sutera. 2003. Dry and wet periods in Eastern China watersheds: patterns and predictability. Journal Lake Science, 15: 56-67.

Bordi, I., K. Fraedrich, J. M. Jiang, and A. Sutera. (2004). Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China. Theor Appl Climatol 79:81-91

Dalezios, N. R., A. Loukas, L. Vasiliades and E. Liakopoulos. 2000. Severity duration frequency analysis of droughts and wet periods in Greece. Hydrol. Sci., 45(5):751-768.

Gibbs, W. J., and J. V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bulletin No. 48, Bur. Met., Australia, 84 pp.

- Guttman, N. B. 1999. Accepting the standardised precipitation index, a calculation algorithm. *J Am Water Resour Assn*, 35:311–322
- Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite, and O. V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull Amer Meteor Soc* 80:429–438.
- Hisdal, H. and L. M. Tallaksen. 2000. Drought event definition. ARIDE Technical Report no. 6. University of Oslo, Oslo, Norway.
- Lana, X., C. Serra and A. Burgueño. 2001. Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain). *Int. J. Climatol* 21:1669–1691.
- Lloyd-Hughes, B., and M. A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol* 22: 1571–1592.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th conference on applied climatology*, 17–22 January, Anaheim, CA, Am Meteor Soc, Boston, MA, 179–184.
- Palmer, W. C. 1968, Keeping track of crop moisture conditions, Nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21: 156-161.
- Paulo, A. A. and L. S. Pereira. 2006. Drought concepts and characterization: comparing drought indices applied at local and regional scales. *Water Int.* 31(1):37–49
- Raziei, T., B. Saghafian, A. A. Paulo, L. S. Pereira and I. Bordi. 2009. Spatial Patterns and Temporal Variability of Drought in Western Iran. *Water Resources Management* , Volume 23, Number 3, 439-455
- Szalai, S. and C. Szinell. 2000. Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary- A case study, In *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Vogt JV, Somma F (eds), Kluwer: Dordrecht, 161-166.
- Thompson S.. 1999. *Hydrology for water management*. Prentice Hall Inc., pp. 287-308.
- Tsakiris. G. and H. Vangelis. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resour Manag*, 18:1–12.
- Vicente-Serrano, S. M., J. C. González-Hidalgo, M. De Luis and J. Raventós. 2004. Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). *Clim Res* 26:5–15.
- Wilhite, D. A.. 1997. Responding to drought: common threads from the past, visions for the future. *J. Amer Water Resour Assoc* 33:951–959.
- Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the drought: phenomenon: the role of definitions. *Water Internationa* 10:111-120.

Investigation on Spatio-temporal Variability of Meteorological Drought in Southwestern Iran (case study in Karkheh basin)

Jahangir Porhemat¹, Tayeb Raziei², Sima Rahimi Bandarabadi³

Abstract

Drought characteristics including severity, duration and magnitude and the associated spatio-temporal variability in Karkheh basin was investigated using Standardized precipitation index (SPI) for the period 1965-2000. The results showed that the time variability of SPI series strongly co-vary across the basin resulting in simultaneously occurring dry and wet spells in the considered stations though they may differ regarding to drought severity. Regarding to SPI on 3 month time scale it was found that most of the stations has experienced dry spells in 1966-67, 1970-71, 1973, 1977-78, 1984, 1991, 1995 and 1998-2000 which were very important for the basin regarding agricultural point of view. Though the short dry spells most often occur simultaneously in all stations when shorter SPI time scales are considered, but they are less concordance regarding the initiation and termination of drought when SPI time scale increased. The results also indicate that the basin has experienced between 20 and 23 dry spells among which some last between 9 and 11 months. A survey on SPI series at 12 month time scale also showed that the basin experienced between 7 to 10 long lasting drought events. The most frequent drought events in October (between 11 and 14 cases) were occurred in southeastern and western parts of the basin. In November, the northern, northwestern and southern parts of the basin are the regions that frequently hit by drought ranging between 20 and 24 events. In April and May the northern part of the basin has experienced the most frequent drought events. Overall, it can be concluded that the northern and southern parts of the basin are the more prone areas to frequent drought events.

Keywords: Drought, , drought spatio-temporal pattern , Karkhe basin, SPI, Z index.

¹ Associate Prof., Soil Conservation and Watershed Management Institute; porhemmat@scwmri.ac.ir

² Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Institute

³ Faculty Member, Soil Conservation and Watershed Management Institute