

## بررسی خشکسالی اقلیمی و امکان پیش‌بینی آن در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب ایران

### چکیده

از جمله مهمترین مراحل ارزیابی وضعیت خشکسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌هایی به منظور تحلیل میزان شدت و تداوم خشکسالی در آن منطقه است. در این تحقیق شاخص بارش استاندارد با در نظر گرفتن مزایایی که در تحلیل منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخداد‌های خشکسالی در نواحی مختلف یک پهنه دارد انتخاب و با بکارگیری نرم‌افزارهای GIS همچون Arc view و Ilwis نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه خشکسالی برای یک دوره سی ساله تهیه شد. سپس با استفاده از داده‌های حاصل از مساحی نقشه‌های ماهانه خشکسالی، سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی برای هر حوضه به دست آمد. در این مرحله با توجه به قابلیت‌های بسیار بالای الگوهای ریاضی سری زمانی در پیش‌بینی پدیده‌های مختلف، پس از تحلیل سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی و انتخاب مناسب‌ترین الگو برای هر یک از آنها، اقدام به پیش‌بینی ماهانه شاخص شدت متوسط خشکسالی برای شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور گردید.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، شاخص استاندارد بارش، سطح بحرانی، سری‌های زمانی.

### مقدمه

خشکسالی وابسته به عوامل و پارامترهای متفاوتی است که در این میان تحلیل داده‌های بارش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که بارندگی مهمترین متغیری است که تغییرات آن به طور مستقیم در رطوبت خاک، جریانهای سطحی، تغییرات مخازن زیرزمینی آب و ... منعکس می‌شود. از طرف دیگر، در میان متغیرهای اقلیمی، بارش خصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک جزء بی‌ثبات‌ترین آنها محسوب می‌گردد. به همین دلیل بارش اولین عاملی است که می‌تواند در بررسی

هر حالتی از خشکسالی مورد توجه قرار گیرد (لشنی زند، ۱۳۸۰). تعریف خشکسالی بر پایه یک متغیر تصادفی واحد، نیازمند در اختیار داشتن یک سطح بحرانی برای تعیین وقوع خشکسالی است. یک خشکسالی، بر پایه یک متغیر تصادفی وقتی حادث می‌شود که مقدار متغیر تصادفی از سطح بحرانی<sup>۱</sup> مورد نظر برای آن متغیر کمتر باشد (Sharma, 2000, 1279-1288).

سطح بحرانی، از فعالیتی به فعالیت دیگر، متفاوت است. پس لازم است این سطح در ابتدای تحقیق، توسط طراح یا برنامه‌ریز از طریق مقایسه بین سری‌های نیاز آبی و تأمین آب تعیین گردد. روش ساده‌ای که اغلب برای تعیین سطح بحرانی به کار می‌رود، تعیین سطح بحرانی در شرایط نرمال است که می‌تواند میانه یا میانگین سری‌های تاریخی مقادیر متغیر اصلی را دربرگیرد (Hayes, 1999). بنابراین در تحقیق حاضر، تعریف پذیرفته شده از خشکسالی اقلیمی، دوره‌هایی با بارش پایین‌تر از حد معمول می‌باشد به عبارت دیگر، میزان کمبود بارش، نسبت به شرایط میانگین درازمدت آن، تعیین‌کننده وضعیت خشکسالی در منطقه است که می‌تواند خشکسالی‌های هیدرولوژیک و کشاورزی را نیز به دنبال داشته باشد.

یکی از کارهای مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد (لشنی زند، ۱۳۸۰). شاخص خشکسالی در واقع تابعی از عوامل مختلف محیطی است که بر پدیده خشکسالی اثر می‌گذارند. در نهایت، حاصل فرآیند تابع یک عدد است که در ارزیابی خشکسالی‌ها و تصمیم‌گیری‌های آینده، به مراتب مفیدتر از ردیف‌های متعددی از داده‌های خام مرتبط با خشکسالی، عمل می‌کند (Hayes & Svoboda, 1999, 429-438). از جمله مهمترین شاخص‌های به کار گرفته شده در بررسی خشکسالی اقلیمی، شاخص شدت خشکسالی پالمر<sup>۲</sup>، استاندارد بارش<sup>۳</sup>، درصد تفاضل بارش<sup>۴</sup>، درصد از نرمال<sup>۵</sup> و روش دهک‌ها<sup>۶</sup> می‌باشد (Arved, 1979, 275-276). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که خشکسالی و به‌خصوص خشکسالی اقلیمی و کشاورزی نتیجه یک عامل منفرد و مشخص که بتوان آن را از قبل به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد نمی‌باشد. با وجود این امکان دارد در مقیاس زمانی ماهانه یا فصلی نشانه‌هایی از رخداد خشکسالی و همچنین خاتمه آن ارائه شود. به‌طور کلی روش‌هایی را که توسط آنها می‌توان پیش‌بینی‌هایی برای رخدادهای آتی خشکسالی ارائه نمود شامل روش‌های آماری، سنجش از دور و سینوپتیکی می‌باشند. اساس این‌گونه روشها را مطالعه یک متغیر آب و هوایی در گذشته و پیش‌بینی آن در آینده با توجه به رخدادهای گذشته شکل می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۱، ص ۶-۱).

1. Truncation level.

2. Palmer Drought Severity Index.

3. Standardized Precipitation Index.

4. Bhalme and Mooly Drought Index.

5. Percent of normal.

6. Deciles.

## پیشینه تحقیق

به منظور فراهم نمودن شرایط درک صحیح مسائل خشکسالی، بسیاری از تلاش‌ها جهت ارائه تحلیل‌های متناسب و جامع خصوصیات این پدیده، و همچنین برای ارتقاء و بهبود عملکرد مؤثرتر در مقابل آن به کار رفته است. لو<sup>۷</sup> (۱۹۴۸) نقشه شاخص تغییرپذیری بارش را برای قاره استرالیا تهیه کرده است. این شاخص تغییرپذیری بارش را در مناطقی که معدل بارش خیلی متفاوت است مستقیماً با یکدیگر مقایسه می‌کند. وی با استفاده از این شاخص توانست نواحی که بیشترین استعداد را برای خشکسالی در استرالیا دارند مشخص نماید. فولی<sup>۸</sup> (۱۹۷۵) با بسط بعضی از دوره‌های خشکسالی استرالیا توانسته است معیاری برای تغییرات شاخص خشکی پیشنهاد نماید. نامیاس<sup>۹</sup> (۱۹۶۶) در تحلیل طبیعت و دلایل احتمالی خشکسالی شمال شرقی ایالات متحده طی دوره (۶۵-۱۹۶۲) روشی را که می‌تواند در تشخیص آزمایشی خشکسالی استفاده شود به کار گرفته و مناطقی را که دچار خشکسالی بوده‌اند با به کار بردن تناوب فصلی بارش در نواحی همگن این کشور تشریح کرده است (Tucker, 1975, 703-710).

روسی<sup>۱۰</sup> (۱۹۸۹، ۱۹۸۳، ۱۹۷۹) خصوصیات خشکسالی منطقه‌ای سیسیل را بر پایه سری‌های زمانی آمار بارندگی برای دو فاصله زمانی (۶ ماه فصل مرطوب و تمام سال آبی) مورد بررسی قرار داده و شاخص‌های خشکسالی مشابه با تیز<sup>۱۱</sup> ولی با فرضیات متفاوت را به کار برده است. در موارد معدودی از این قبیل مطالعات، تحلیل‌های انجام شده بر پایه متغیرهای نمونه گذشته صورت گرفته است. برای مثال اهمیت کاری که توسط روسی (۱۹۸۳-۱۹۸۹) انجام گرفته در این است که وی با تعیین انحراف شاخص‌های خشکسالی در سه منطقه مورد مطالعه خود از طریق انجام آزمایش‌های محدود، توانسته است شدت خشکسالی‌هایی را که در گذشته به وقوع پیوسته‌اند شبیه‌سازی کند (Rossi, 1992, 249-277). تامپسون<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۹) خشکسالی را پدیده‌ای هیدرولوژیک استکاستیک دانسته و سه رهیافت تنوری Runs، شاخص‌های خشکسالی و تحلیل فراوانی را جهت ارزیابی و تحلیل وضعیت خشکسالی به کار گرفته است (Tompson, 1999).

از جمله تحقیقاتی که در داخل کشور در رابطه با این موضوع انجام گرفته می‌توان به پایان نامه دکترتوی خوش اخلاق (۱۳۷۶)، تحت عنوان خشکسالی‌های فراگیر ایران اشاره کرد که در این تحقیق برای شناسایی دوره‌های خشک و مرطوب سالانه از ضرایب آماری به ویژه شاخص استاندارد بارش ۳۷ ایستگاه سینوپتیک استفاده شده و در نهایت با بررسی نقشه‌های سینوپتیکی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران تحلیل گردیده است (خوش اخلاق، ۱۳۷۶، ص ۱۵۴-۱۳۶).



به منظور بهره‌گیری از آمارهای اشاره شده ابتدا داده‌های بارش ماهانه کلیه ایستگاهها به لحاظ صحت و همگنی از طریق روش آماری (RUN TEST) مورد بررسی قرار گرفتند و با اطمینان از همگنی آنها، داده‌های مفقود شده هر ایستگاه با استفاده از داده‌های نزدیکترین ایستگاه مبنا و بکارگیری روش نسبت‌ها بازسازی شدند.

### روش تحقیق

همان‌گونه که ذکر شد از جمله کارهای مهم در مطالعات خشکسالی هر منطقه تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها میزان و شدت خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد. در میان شاخص‌هایی که از تحلیل داده‌های بارش، برای مطالعه خشکسالی استفاده می‌شود، شاخص SPI در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای میان مناطق مختلف، متداول‌تر است (Byun & Wilhite, 1998). این شاخص استاندارد بوده و می‌توان از آن در مطالعات منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخداد‌های خشکسالی، در نواحی مختلف یک پهنه، استفاده کرد.

از جمله مزایای شاخص SPI می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

نخستین مزیت سادگی این شاخص است، چرا که SPI فقط بر پایه بارش قرار دارد، در حالی که شاخص‌های دیگر از جمله شاخص PDSI پیچیده‌تر بوده و محاسبات مربوط به آن مستلزم انجام فرآیندهای طولانی است. دومین مزیت SPI، قابلیت بالای شاخص یا به عبارتی چند بعدی بودن آن است. چرا که در هر مقیاس زمانی قابل محاسبه است. این ویژگی باعث شده است تا SPI قابلیت پایش شرایط توأم اقلیمی، هیدرولوژیکی و کشاورزی را داشته باشد. این تنوع عملکرد شاخص SPI در پایش شرایط پویایی خشکسالی که در برگرنده افت و خیز این پدیده می‌باشد، بسیار حیاتی است. سومین مزیت SPI، این است که به علت تبعیت این شاخص از توزیع نرمال، می‌توان وقایع خشکسالی شدید و فراگیر را برای هر محل و هر مقیاس زمانی طبقه‌بندی نمود (Hayes & Svoboda, 1999).

با توجه به توضیحات ارائه شده و اهداف اصلی این پژوهش که پهنه‌بندی خشکسالی، تحلیل مکانی و پیش‌بینی این پدیده در حوضه‌های شش‌گانه غرب کشور است، شاخص SPI برای انجام تحقیق حاضر، انتخاب گردید. چون مقادیر SPI تابع توزیع نرمال است، بنابراین مقادیر آن با یک انحراف استاندارد، تقریباً ۶۸ درصد موارد، با دو انحراف استاندارد، ۹۵ درصد موارد و با سه انحراف استاندارد ۹۹ درصد موارد را شامل می‌شوند. مک کی و همکاران<sup>۱۳</sup> (۱۹۹۳) جدول ۱ را برای طبقه‌بندی SPI پیشنهاد نمودند.

جدول ۱ مقیاس طبقه‌بندی برای مقادیر SPI (Mckee et. Al, 1933)

طبقه	شدیدا مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب متوسط	تقریبا نرمال	خشک متوسط	خیلی خشک	شدیدا خشک
مقادیر SPI	> ۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۹۹ تا ۰/۹۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۹۹ تا -۱/۴۹	< -۲

یک خشکسالی بسیار شدید بر پایه طبقه‌بندی فوق ( $SPI < -۲$ ) دو یا سه مرتبه در هر یکصد سال رخ می‌دهد و این تناوب از دید برنامه‌ریزی مدیریت آب، قابل قبول است. مک کی و همکارانش طبقه‌بندی ارائه شده را برای تعیین و پایش خشکسالی در منطقه کلرادو به کار بردند که به لحاظ اقلیمی، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با محدوده مورد نظر در تحقیق حاضر دارد.

بنابراین جهت دستیابی به طبقه‌بندی منطبق بر شرایط اقلیمی منطقه، اقدام به بررسی آماری داده‌های بارش گردید. بدین ترتیب که مقادیر کاهش بارندگی به ازای SPI های مختلف برای هر ایستگاه محاسبه شده و مشخص گردید که به ازای ( $-۰/۵$ ) SPI، به‌طور متوسط ۱۵ درصد کاهش، به ازای ( $-۰/۷۵$ ) SPI، ۲۲ درصد کاهش و به ازای ( $-۱$ ) SPI ۲۹ درصد کاهش در میزان بارش ایستگاههای منطقه، رخ می‌دهد. همچنین با این بررسی آشکار گردید که مقادیر با یک انحراف استاندارد نسبت به میانگین تقریبا ۷۱ درصد موارد، با  $۰/۷۵$  انحراف استاندارد، تقریبا ۶۰ درصد موارد با  $۰/۵$  انحراف استاندارد، تقریبا  $۴۲/۵$  درصد موارد از رخدادهای بارندگی را شامل می‌شوند.

اگر طبقه‌بندی مک کی و همکارانش را برای مقادیر SPI در منطقه مورد مطالعه هم، ملاک قرار دهیم، بیش از ۷۰ درصد داده‌ها در محدوده نرمال قرار می‌گیرند و در پاره‌ای از ایستگاهها کاهش در حد ۳۰ درصد نیز نرمال فرض می‌شوند، در صورتی که وقوع آنومالی‌های منفی بارش به مقدار بسیار کمتر از این حد نیز، با توجه به حاکمیت شرایط خشک و نیمه خشک در منطقه و ویژگیهای هیدرولوژیکی آن، بسیار مخرب خواهد بود. لذا اصلاحاتی در طبقه‌بندی مک کی، جهت استفاده در منطقه مورد مطالعه انجام شده و نتایج آن به‌صورت جدول زیر جهت کاربرد در منطقه مورد بحث ارائه گردید.

جدول ۲ مقیاس طبقه‌بندی برای مقادیر SPI در غرب کشور

طبقه	شدیدا مرطوب	خیلی مرطوب	مرطوب متوسط	مرطوب ملایم	تقریبا نرمال	خشک ملایم	خشک متوسط	خیلی خشک	شدیدا خشک
مقادیر SPI	> ۲	۱/۵ تا ۱/۹۹	۱ تا ۱/۴۹	۰/۹۹ تا ۰/۹۹	۰/۴۹ تا ۰/۴۹	-۰/۴۹ تا -۰/۴۹	-۱ تا -۱/۴۹	-۱/۵ تا -۱/۹۹	< -۲

در نتیجه اصلاحات انجام شده محدوده نرمال طبقه‌بندی مک کی از ( $۰/۹۹$  تا  $-۰/۹۹$ ) به ( $۰/۴۹$  تا  $-۰/۴۹$ ) تغییر داده شد و بدین ترتیب دامنه ( $-۰/۹۹$  تا  $-۰/۵$ ) نیز به محدوده خشکسالی

افزوده شد. زیرا با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده در بسیاری از موارد به ازای  $(-1)$  SPI کاهش می‌دهد. در حد ۳۵ تا ۴۰ درصد در میزان بارش رخ می‌دهد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه نمی‌توان این مقدار تنزل را در محدوده نرمال فرض کرد. براساس طبقه‌بندی فوق  $(-0.5)$  SPI به‌عنوان آستانه وقوع خشکسالی در این تحقیق، تعیین گردید تا بتوان به نحو دقیق تمامی رخداد‌های ماهانه خشکسالی را طی دوره آماری مورد نظر تحلیل و ارزیابی نمود.

شاخص SPI در تعیین کمبود بارش برای مقیاس‌های زمانی مختلف طراحی شده است. کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک اثر می‌گذارد، در صورتی که کمبود بارش در مقیاس زمانی طولانی مدت اغلب بر آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخیره آب تأثیر می‌گذارد. با توجه به این موضوع مکی و همکارانش شاخص استاندارد شده بارش را برای مقیاس‌های زمانی ۱-۳-۶-۱۲-۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند (نساجی، ۱۳۸۰، ص ۲۴۵-۲۳۵).

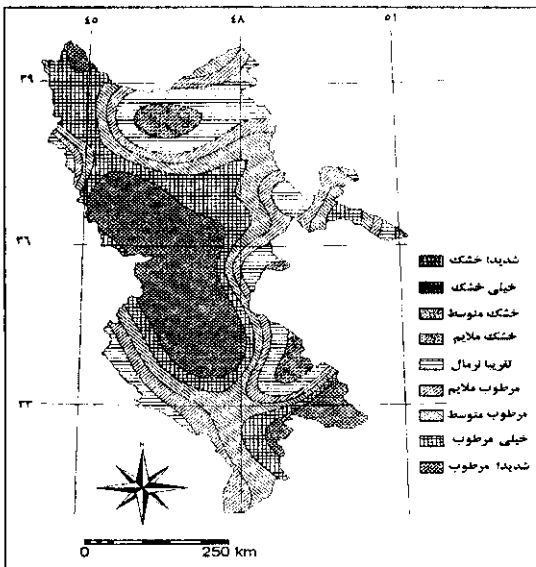
با در نظر گرفتن این مهم که هیچ یک از شاخص‌های تحلیل خشکسالی به طور ذاتی برتر از بقیه شاخص‌ها نبوده، بلکه هر کدام از آنها برای کاربرد خاص خود مناسب‌تر از دیگر شاخص‌ها است و نیز با توجه به توضیحات مطرح شده در این تحقیق به منظور بررسی و تحلیل وضعیت خشکسالی از شاخص SPI (یک ماهه) استفاده شده است. در این روش فقط از آمار بارندگی در دوره‌های زمانی هفتگی، ماهانه، فصلی و سالانه استفاده می‌شود. آمار مشاهده‌ای، می‌بایست طولانی‌مدت باشد تا دقت مورد نظر به دست آید. علاوه بر اینها، مشاهدات باید از توزیع نرمال پیروی کنند، در غیر این صورت باید تبدیل مناسب ارقام به جهت نرمال شدن، صورت گیرد.

یکی از روش‌های مفید، جهت تبدیل داده‌های غیر نرمال به تقریباً نرمال، روش باکس-کاکس است<sup>۱۴</sup> (رضائی پژند، ۱۳۸۰). این روش در سال ۱۹۶۱ معرفی شده است. در این تحقیق نیز، از همین روش در نرم‌افزار MINITAB و برای نرمال نمودن داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌ها استفاده گردید. بعد از نرمال نمودن داده‌های ماهانه، در محیط برنامه ILWIS، برای هر ماه از طول دوره آماری، یک نقشه نقطه‌ای<sup>۱۵</sup> تهیه گردید و با بهره‌گیری از این نقشه‌ها در محیط ARC VIEW و با استفاده از روش میانبایی TPSS با توان ۲ (که بر پایه تحقیقات انجام یافته توسط مهدیان و همکاران در سال ۱۳۸۱، به‌عنوان بهترین روش به منظور برآورد این متغیر معرفی شده است) اقدام به تهیه نقشه‌های کنتوری گردید (رضی، ۱۳۸۰، ص ۱۴۱-۱۲۵). مجدداً با استفاده از نرم‌افزار ILWIS، نقشه‌های کنتوری تهیه شده به نقشه‌های رستری<sup>۱۶</sup> تبدیل شده و با تعریف طبقات شاخص SPI،

نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی به دست آمد. نقشه‌های ۲ و ۳ نمونه‌هایی از نقشه‌های ماهانه پهنه‌بندی شدت خشکسالی (به ترتیب آذر ماه ۱۳۷۴ به‌عنوان پنجمین ماه خشک و فروردین ۱۳۴۸ دومین ماه مرطوب در کل دوره ۳۶۰ ماهه) را نمایش می‌دهند. به منظور مساحت‌یابی گسترده‌های خشکسالی در هر ماه، از نقشه‌های رستری با پیکسل‌هایی به مساحت یک کیلومتر مربع استفاده شده است. با مساحتی ۳۶۰ نقشه تهیه شده، جهت بهره‌برداری از جداول خروجی حاصله، اقدام به تهیه یک برنامه کامپیوتری در محیط FOXPRO گردید. با استفاده از این برنامه، امکان تعیین شدت متوسط خشکسالی در هر حوضه، فراهم آمد و برای هر حوضه یک سری زمانی جدید از میانگین ماهانه شدت خشکسالی و یک سری زمانی از مساحت‌های دچار خشکسالی حاصل گردید.

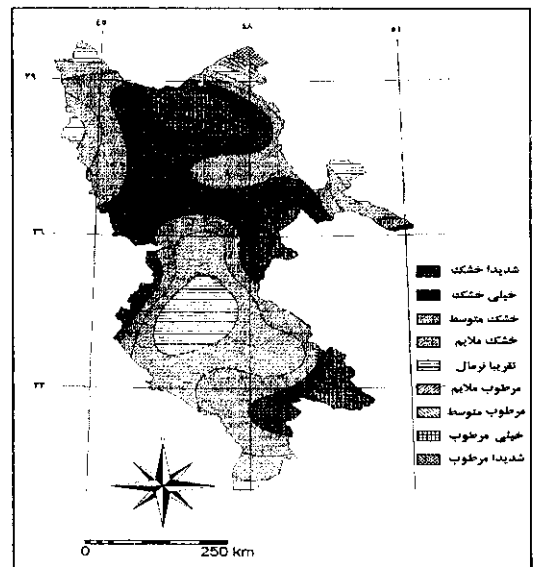
شایان توجه است که جهت محاسبه میانگین ماهانه شدت خشکسالی، مساحت برآورده شده برای هر طبقه شاخص SPI در میانه شدت همان طبقه ضرب گردیده است.

از این مرحله به بعد جهت پیش‌بینی وضعیت خشکسالی‌های اقلیمی در سطح منطقه مورد نظر به‌جای استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی از سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی شش حوضه و همچنین کل منطقه (که حاصل مساحتی نقشه‌های ماهانه خشکسالی هستند) استفاده شده است.



نقشه ۳ پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از

شاخص SPI ماهانه فروردین ۱۳۴۸



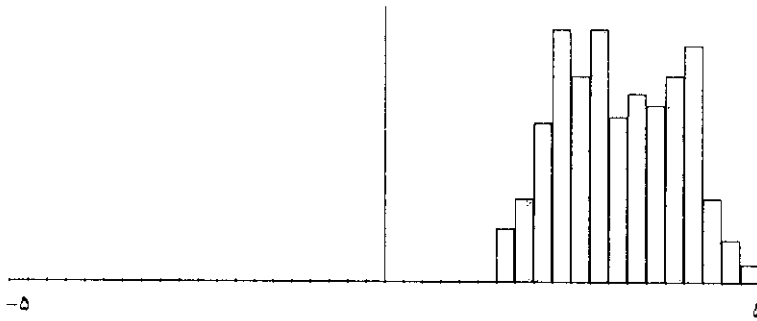
نقشه ۲ پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از

شاخص SPI ماهانه آذر ۱۳۷۴



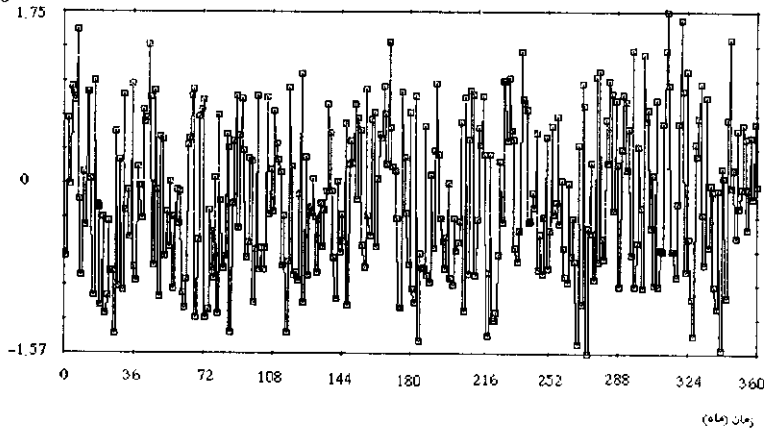
در این تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی اشاره شده و پیش‌بینی خشکسالی نرم‌افزار ITSM به کار گرفته شد. این نرم‌افزار در مبحث سری‌های زمانی قابلیت‌های بسیاری دارد که یکی از آنها انجام پیش‌بینی است. اولین قدم در تجزیه و تحلیل یک سری زمانی، رسم نمودار آن است. شکل‌های ۱ و ۲ هیستوگرام و نمودار سری زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی را برای کل منطقه نشان می‌دهند.

فراوانی



شکل ۱ هیستوگرام سری زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی در کل منطقه

شدت خشکسالی



شکل ۲ نمودار سری زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی کل منطقه

با توجه به هیستوگرام و نمودارهای سری زمانی ترسیم شده برای تمامی حوضه‌ها مشخص گردید که داده‌ها غیر نرمال و ناپایدار در واریانس بوده، دارای نمود فصلی و روند درجه یک می‌باشند. با استفاده از روش باکس-کاکس در تبدیل  $Ln1 = 0$  (چون  $Ln$ ، داده‌های بزرگ را خیلی کوچک می‌کند و داده‌های کوچک را خیلی تغییر نمی‌دهد) داده‌ها تقریباً نرمال می‌شوند. سپس برای یافتن تغییرات فصلی تا دوره ۹۶ داده‌ها را کاهش می‌دهیم تا نمود فصلی حذف گردد و پس از آن با

حذف روند درجه یک، داده‌ها به یک سری هموار تبدیل می‌شوند. برای منطبق نمودن یک مدل مناسب بر روی داده‌ها، بهتر است داده‌ها ایستا باشند. دو الگوی مناسب برای داده‌های ایستا مدل‌های  $MA(q)$  و  $AR(P)$ <sup>۱۷</sup>، و یا ترکیب این دو  $ARMA(p,q)$ <sup>۱۸</sup> است. یک فرآیند وارون پذیر و ایستا در الگوی مشترک می‌تواند با کمترین پارامترها بهترین برآورد را داشته باشد (Brockwell, 1996). بررسی وابستگی بین داده‌ها با تابع خود همبستگی (ACF)<sup>۱۹</sup> و خود همبستگی جزئی (PACF)<sup>۲۰</sup> به عنوان یک معیار اندازه گیری سبب می‌شود تا مدل مناسبی که دارای یک ساختار وابستگی است روی داده‌ها منطبق شود. این مدل روی سری باقیمانده‌ها که نرمال و تصادفی هستند در فاصله اطمینان ۹۵ درصدی با  $-2Ln(LIKE LIHOOD)$  منطبق می‌شود (بزرگ‌نیا، ۱۳۷۴). بر پایه بررسی‌های انجام شده الگوی مناسب تمامی سری‌ها از نوع  $ARMA(p,q)$  و معیار انتخاب الگو آکائیک (AIC) و بیزی (Bic) است (۱۱). مناسب‌ترین مدل و اجزای آن برای سری زمانی هر حوضه در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ مناسب‌ترین مدل و اجزای آن برای سری زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی هر حوضه

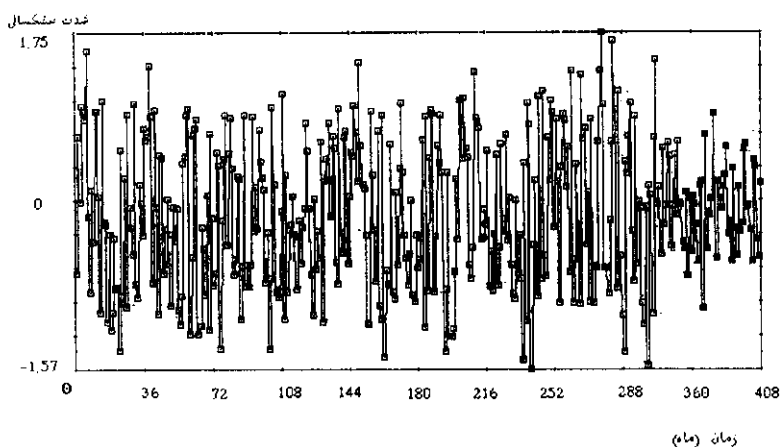
نام حوضه	مناسب‌ترین مدل	اجزای مدل
ارس	$ARMA(7,0)$ $WN = .00596478$	$X_t = z_t + (.091) X_{(t-1)} + (.018) X_{(t-2)}$ $+ (.044) X_{(t-3)} + (-.113) X_{(t-4)}$ $+ (-.026) X_{(t-5)} + (.187) X_{(t-6)}$ $+ (-.167) X_{(t-7)}$
دز	$ARMA(1,0)$ $WN = .00812791$	$x_t = z_t + (.184) X_{(t-1)}$
کرخه	$ARMA(5,0)$ $Wn = .00639962$	$x_t = z_t + (.135) X_{(t-1)} + (.113) X_{(t-2)}$ $+ (.27) X_{(t-3)} + (-.108) X_{(t-4)}$ $+ (-.139) X_{(t-5)}$
مرزی	$ARMA(2,0)$ $Wn = .0785363$	$x_t = z_t + (.666) X_{(t-1)} + (.109) X_{(t-2)}$
ارومیه	$ARMA(0,0)$ $Wn = (RESID SS) / N$	$x_t = z_t$
سفید رود	$ARMA(1,0)$ $Wn = .00600345$	$x_t = z_t + (.131) X_{(t-1)}$
کل منطقه	$ARMA(0,0)$ $Wn = .464028$	$x_t = z_t$

بدین ترتیب ابتدا پیش‌بینی روی سری باقیمانده‌ها و سپس عکس تبدیلات انجام یافته پیش‌بینی روی داده‌های اولیه تا ۴۸ داده صورت گرفته است. شکل ۳ پیش‌بینی ۴۸ ماهه سری زمانی متوسط شدت خشکسالی را برای کل منطقه نشان می‌دهد. سرانجام با بکارگیری مناسب‌ترین مدل‌های منطبق شده بر روی سری‌های زمانی شش حوضه و کل منطقه، میانگین ماهانه شدت خشکسالی برای چهار سال آینده (۴۸ ماه) پیش‌بینی شده است که نتیجه این برآوردها در جدول ۴ آمده است.

17. Moving Average.  
20. Auto correlation Function.

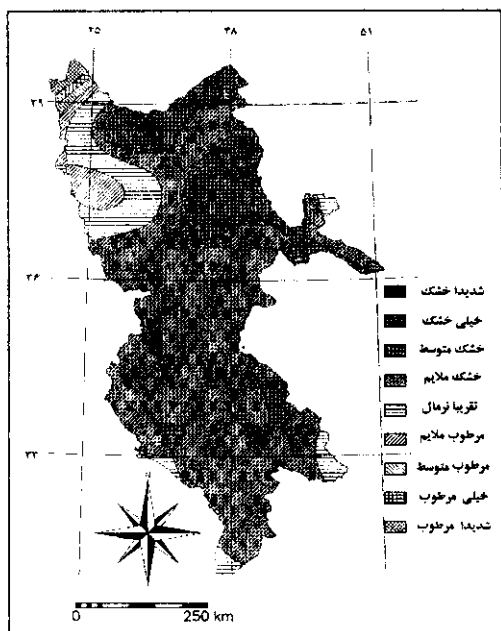
18. Auto Regressive.  
21. Partial Auto correlation Function.

19. Auto - Regressive Moving Average.

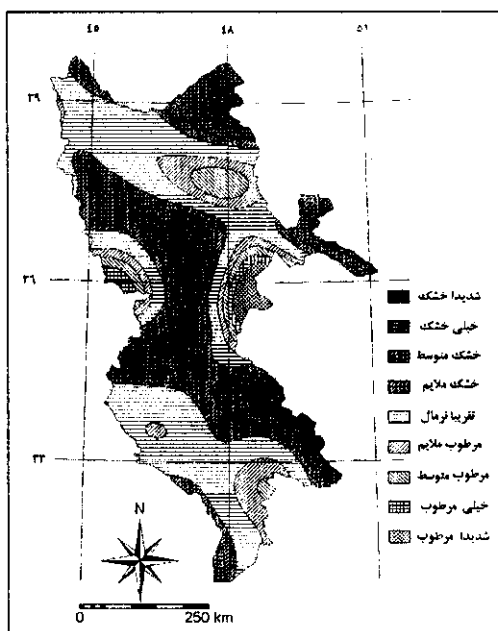


شکل ۳ پیش‌بینی ۴۸ ماهه سری زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی برای کل منطقه

نقشه‌های ۴ و ۵ نمونه‌هایی از نقشه‌های ماهانه پهنه‌بندی شدت خشکسالی را برای ماههایی که خشکسالی در آنها پیش‌بینی شده است (مهر ۱۳۷۷ تا شهریور ۱۳۸۱) نشان می‌دهند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود نقشه‌های ترسیم شده که حاصل داده‌های مشاهداتی (SPI ماهانه) می‌باشند، با داده‌های پیش‌بینی شده (جدول ۴) تطابق بسیار مناسبی دارند.



نقشه ۵ پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI ماهانه مهر ۱۳۷۸



نقشه ۴ پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI ماهانه بهمن ۱۳۷۷

جدول ۴ پیش‌بینی میانگین ماهانه شدت خشکسالی برای شش حوضه مورد بررسی و کل منطقه

ماه	ارس	دز	کرخه	مرزی	ارومیه	سپیدرود	کل منطقه
۷۷-۷	-۰,۷۳۴۴	۰,۵۹۲۲	۰,۰۵۲۲	-۰,۰۹۸۱	۰,۳۵۲۹	۰,۰۸۶۴	۰,۰۵۶۸
۷۷-۸	-۰,۵۰۸۲	۰,۲۲۹۹	۰,۴۷۸۲	-۰,۸۱۴۴	-۰,۰۸۳۸	-۰,۰۵۵۶۲	۰,۰۲۳۶
۷۷-۹	-۰,۲۰۶۶	۰,۷۶۱۲	۰,۵۲۰۸	۰,۲۰۳۵	-۰,۰۵۶۰۲	-۰,۰۳۷۷۷	-۰,۰۳۰۸۴
۷۷-۱۰	-۰,۱۶۸۹	-۰,۷۳۶۱	-۰,۷۹۹۸	۰,۱۶۵۸	-۰,۰۲۴۲۶	۰,۰۱۲۲۱	۰,۰۱۷۳
۷۷-۱۱	-۰,۷۳۴۴	-۰,۰۳۰۱۴	۰,۰۵۲۲	-۰,۰۱۳۵۸	-۰,۱۱۶۰	-۰,۰۲۰۳	-۰,۰۴۰۸۰
۷۷-۱۲	-۰,۹۶۰۶	-۰,۰۳۰۱۴	۰,۰۹۶۷	۰,۷۶۹۰	-۰,۰۵۲۰۵	۰,۰۲۲۹۲	-۰,۰۶۰۴
۷۸-۱	-۰,۲۰۶۶	-۰,۰۲۵۳۱	-۰,۰۴۱۶۴	۰,۲۴۸۹	۰,۱۹۴۱	۰,۰۳۰۰۶	-۰,۰۴۰۸۰
۷۸-۲	-۰,۰۸۶۷۵	۰,۰۳۶۷	۰,۲۲۲۶	۰,۰۳۹۲۰	-۰,۰۳۵۳	۰,۰۳۳۶۳	۰,۰۱۳۳۲
۷۸-۳	-۰,۲۴۵۸	-۰,۰۲۰۴۸	۰,۲۶۵۲	۰,۰۹۰۹	-۰,۰۵۲۰۵	-۰,۰۵۲۰۵	۰,۰۱۵۶۴
۷۸-۴	-۰,۱۶۸۹	-۰,۰۴۹۴۶	۰,۳۵۰۴	-۰,۷۳۹۵	-۰,۰۳۲۲۰	-۰,۱۳۴۴۰	۰,۰۲۳۶
۷۸-۵	-۰,۲۶۳۲	-۰,۰۶۳۶۱	۰,۲۲۲۶	۰,۲۴۱۲	-۰,۰۷۵۸۷	-۰,۰۵۹۱۹	-۰,۰۴۴۱۲
۷۸-۶	-۰,۰۴۳۲۸	۰,۰۱۱۶	۰,۱۸۰۰	۰,۳۵۴۳	۰,۰۳۳۳۲	۰,۰۲۴۲۲	-۰,۰۱۵۵۸
۷۸-۷	۰,۱۸۹۳	۰,۰۸۵۰	-۰,۰۳۳۰	-۰,۰۵۸۸۲	۰,۰۳۵۲۹	۰,۰۸۶۴	-۰,۰۴۲۴۴
۷۸-۸	-۰,۱۶۸۹	-۰,۴۹۶۶	-۰,۰۶۷۲۰	-۰,۰۴۰۴۰	-۰,۰۱۱۶۰	-۰,۰۰۵۶۰	-۰,۰۲۲۲۸
۷۸-۹	۰,۰۵۶۷۸	۰,۰۳۳۰	۰,۰۳۶۲۰	-۰,۰۳۶۲۰	۰,۰۷۸۹۶	۰,۰۵۱۴۸	۰,۰۲۵۶۰
۷۸-۱۰	-۰,۰۶۹۰	-۰,۰۵۹۱۹	۰,۰۹۶۶۸	-۰,۰۱۳۵۸	-۰,۰۳۹۹۶	-۰,۰۷۰۰۶	-۰,۰۶۷۲۴
۷۸-۱۱	-۰,۰۱۴۸۸	-۰,۰۳۰۱۴	-۰,۰۷۵۶	۰,۰۴۸۸۸	۰,۰۱۱۴۷	۰,۰۲۲۹۲	۰,۰۷۵۴۰
۷۸-۱۲	-۰,۰۶۲۱۳	-۰,۰۰۵۹۹	۰,۰۵۶۳۴	-۰,۰۰۲۲۷	-۰,۰۲۴۲۶	-۰,۰۲۷۰۶	-۰,۰۴۰۸۰
۷۹-۱	-۰,۰۲۰۶۶	۰,۲۷۸۲	۰,۳۴۳۰	-۰,۱۷۳۵	-۰,۰۴۴۱	۰,۰۲۲۹۲	-۰,۰۰۴۲۸
۷۹-۲	-۰,۰۱۶۸۹	۰,۰۶۶۶۶	۰,۰۹۶۶۸	۰,۰۵۸۰۵	۱,۰۱۰۷۲	۱,۰۲۶۴۵	-۰,۰۰۷۶۰
۷۹-۳	۰,۰۷۷۳۴	-۰,۰۶۸۷۸	۰,۰۶۰۶۰	۰,۰۶۱۸۲	۰,۰۵۵۱۴	۰,۰۲۶۶۹	۰,۰۱۳۳۲
۷۹-۴	-۰,۰۴۷۰۵	-۰,۰۴۹۶۸	-۰,۰۳۳۱۲	-۰,۰۲۸۶۶	-۰,۰۶۷۹۳	-۰,۰۴۴۹۱	۰,۰۴۳۰
۷۹-۵	-۰,۰۳۵۴۷	-۰,۰۲۰۶۸	-۰,۰۰۷۵۶	-۰,۰۱۷۳۵	۰,۰۷۵۰	۰,۰۱۲۲۱	۰,۰۲۵۶۰
۷۹-۶	-۰,۰۱۳۲۷	-۰,۰۲۵۳۱	-۰,۰۳۳۰	۰,۰۲۰۳۵	-۰,۰۴۲۶	-۰,۰۳۰۰۶	-۰,۰۰۵۰۷۶
۷۹-۷	۰,۰۰۹۵۰	۰,۰۳۸۰	۰,۰۲۶۵۲	۰,۰۲۶۱۲	۰,۰۱۱۴۷	-۰,۰۲۷۰۶	-۰,۰۰۹۰۶
۷۹-۸	۰,۰۰۷۶۲	۰,۰۱۳۶۸	۰,۰۵۲۰۸	۰,۰۴۲۹۷	۰,۰۴۷۲۰	-۰,۰۰۹۲۱	۰,۰۱۳۳۲
۷۹-۹	۰,۰۵۵۵۱	-۰,۰۱۵۶۵	۰,۰۹۸۹۲	۰,۰۶۹۳۶	۰,۰۷۴۹۹	۰,۰۴۷۹۱	۰,۰۲۵۶۰
۷۹-۱۰	۰,۰۰۱۹۶	۰,۰۶۱۶۳	۰,۰۳۹۳۰	۰,۰۳۵۴۳	۰,۰۳۹۲۰	۰,۰۹۴۳۲	۰,۰۳۵۵۶
۷۹-۱۱	-۰,۰۲۰۶۶	-۰,۰۱۸۱۶	۰,۰۰۹۶	-۰,۰۲۴۸۹	-۰,۰۴۲۶	-۰,۰۶۶۳۳	۰,۰۶۱۲۲
۷۹-۱۲	۰,۰۰۱۹۶	-۰,۰۱۵۶۵	-۰,۰۰۵۴۲	-۰,۰۱۷۳۵	-۰,۰۱۲۳۵	-۰,۰۴۲۴۰	-۰,۰۲۴۲۰
۸۰-۱	-۰,۰۶۵۹۰	-۰,۰۷۳۶۱	-۰,۰۰۷۵۶	-۰,۰۰۲۲۷	۰,۰۳۱۳۲	-۰,۰۰۹۱۳۲	-۰,۰۰۵۰۷۶
۸۰-۲	-۰,۰۴۷۵۰	۰,۰۷۶۱۲	۰,۰۴۳۵	۰,۰۶۱۸۲	۰,۰۷۵۹۶	۰,۰۵۵۰۵	-۰,۰۱۴۲۴
۸۰-۳	۰,۰۰۱۹۶	۰,۰۶۱۶۳	-۰,۰۳۳۰	-۰,۰۴۷۵۱	-۰,۰۲۰۲۹	-۰,۰۰۲۰۷	۰,۰۴۲۰
۸۰-۴	-۰,۰۳۵۷۴	-۰,۰۰۷۳۶۱	-۰,۰۰۵۴۲	-۰,۰۰۵۵۰۵	-۰,۰۶۷۹۳	-۰,۰۸۶۴	-۰,۰۰۴۷۴۴
۸۰-۵	-۰,۰۰۵۸۲	-۰,۰۰۱۱۶	۰,۰۴۳۵۶	-۰,۰۰۶۰۴	۰,۰۱۹۴۱	-۰,۰۲۴۴۹	-۰,۰۱۷۵۶
۸۰-۶	-۰,۰۰۵۴۵۹	۰,۰۶۶۶۶	۰,۰۹۹۶۸	۰,۰۲۰۳۵	-۰,۰۰۵۶۰۲	۰,۰۲۷۰۶	-۰,۰۰۲۰۸۸
۸۰-۷	-۰,۰۰۵۸۲	۰,۰۱۸۱۶	-۰,۰۰۹۶۶۸	-۰,۰۱۷۳۵	-۰,۰۱۲۳۵	-۰,۰۰۹۲۱	۰,۰۲۲۲۸
۸۰-۸	-۰,۰۰۱۹۶	۰,۰۴۷۱۴	۰,۰۰۹۶	۰,۰۰۹۵۷۵	۰,۰۰۳۵۳	۱,۰۰۱۶۶	-۰,۰۰۱۴۴۴
۸۰-۹	۰,۰۷۷۳۶	۰,۰۶۶۶۶	۰,۰۳۴۳۶	۰,۰۰۹۹۵۲	۰,۰۷۸۹۶	۰,۰۵۸۶۲	۰,۰۵۸۸۰
۸۰-۱۰	۱,۰۷۰۶۰	-۰,۰۶۸۷۲	-۰,۰۰۷۵۷۲	۰,۰۰۱۵۰	۰,۰۰۱۷۲۰	-۰,۰۰۵۶۲	۰,۰۶۵۴۴
۸۰-۱۱	-۰,۰۴۷۰۵	-۰,۰۰۵۹۱۲	-۰,۰۰۹۶	-۰,۰۰۹۶۳۶	۰,۰۰۳۵۳	۰,۰۸۶۴	۰,۰۰۲۳۶
۸۰-۱۲	-۰,۰۰۷۷۱	-۰,۰۰۱۱۶	-۰,۰۰۱۶۰۸	-۰,۰۰۲۱۱۲	-۰,۰۰۶۹۶	-۰,۰۰۶۶۹	-۰,۰۱۷۵۶
۸۱-۱	۰,۰۰۱۹۶	-۰,۰۰۲۵۹	-۰,۰۰۵۰۱۶	-۰,۰۰۵۸۸۲	-۰,۰۰۲۴۲۶	-۰,۰۰۵۵۶۲	-۰,۰۰۵۰۷۶
۸۱-۲	۱,۰۷۰۶۰	۰,۰۳۰۱۴	۰,۰۴۳۵۶	۰,۰۰۹۵۷۵	۰,۰۳۱۳۲	۰,۰۳۳۶۳	۰,۰۴۸۸۴
۸۱-۳	-۰,۰۰۲۰۸۱	-۰,۰۰۱۵۶۵	-۰,۰۱۸۰۰	۰,۰۰۳۱۶۶	۰,۰۰۶۷۰۵	۰,۰۰۶۵۷۶	۰,۰۴۲۲۰
۸۱-۴	-۰,۰۰۷۳۴۴	-۰,۰۰۲۰۴۵	-۰,۰۰۲۴۶۰	-۰,۰۰۳۶۲۰	-۰,۰۰۱۶۳۲	-۰,۰۰۴۳۴	-۰,۰۰۳۰۴۸
۸۱-۵	-۰,۰۰۵۸۳۶	-۰,۰۰۴۴۶۳	-۰,۰۰۱۱۸۲	-۰,۰۰۰۶۰۴	-۰,۰۰۵۹۹۹	-۰,۰۰۴۱۹۱	-۰,۰۰۵۰۷۶
۸۱-۶	-۰,۰۰۵۸۲	-۰,۰۰۲۲۹۰	۰,۰۰۵۶۳۴	۰,۰۰۲۷۸۹	۰,۰۰۷۶۹۶	۰,۰۰۱۲۲۱	۰,۰۰۲۵۶۰

## نتیجه‌گیری

طی بررسی‌های انجام شده در این تحقیق مشخص گردید که شاخص بارش استاندارد به دلیل چند بعدی بودن و تبعیت از توزیع نرمال، تناوب و پراکندگی وقوع خشکسالی‌های فراگیر را برای بخش‌های مختلف منطقه به خوبی نمایش داد و براساس آن اقدام به پهنه‌بندی شدت خشکسالی در سطح مناطق وسیع نمود.

از طرفی علیرغم توانایی‌های بسیار بالای الگوهای ریاضی سری زمانی در تحلیل و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف، به دلیل تعداد زیاد ایستگاه‌های هواشناسی و پیچیدگی و وقت‌گیر بودن محاسبات، انجام این عملیات برای این تعداد ایستگاه به صورت انفرادی بسیار مشکل بوده و با استفاده از نتایج حاصله نیز تحلیل منطقه‌ای خشکسالی میسر نیست. به همین دلیل با استفاده از سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی که خود حاصل مساحی نقشه‌های ماهانه خشکسالی برای شش حوضه مورد نظر می‌باشند، اقدام به تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی گردید.

نکته قابل توجه در این رابطه ویژگی‌ها و خصائص سری‌های زمانی به کار رفته می‌باشد، چراکه در غالب تحقیقات مشابه، سری‌های زمانی که حاصل داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی هستند به کار رفته که طبیعتاً تحلیل حوضه‌ای خشکسالی با استفاده از چنین سری‌هایی بسیار مشکل بوده از جامعیت لازم برخوردار نیست. در حالی که هر یک از داده‌های سری‌های زمانی مورد استفاده در این تحقیق، بیانگر شرایط متوسط خشکسالی یک ماه در حوضه‌های مورد نظر بوده و این مسأله موجب شده تا سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی هر یک از حوضه‌ها قابلیت بسیار بالایی در تحلیل و پیش‌بینی وضعیت خشکسالی هر یک از حوضه‌ها را داشته باشند. لذا با توجه به اینکه پیش‌بینی‌های انجام شده حاصل تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هستند، در مقایسه با سری‌های زمانی که حاصل داده‌های نقطه‌ای می‌باشند، از قابلیت تحلیل و تفسیر منطقه‌ای به مراتب بهتری برخوردارند.

همچنین در نتیجه بررسی‌های انجام شده مشخص شد که مدل (  $ARMA(p, q)$  ) مناسبترین مدل جهت پیش‌بینی خشکسالی‌های اقلیمی برای منطقه مورد نظر می‌باشد و براساس مدل‌های به دست آمده برای هر حوضه و کل منطقه خشکسالی‌های اقلیمی ۴۸ ماه آینده پیش‌بینی گردید.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی با بکارگیری شاخص

SPI و پیش‌بینی آن با استفاده از سری‌های زمانی میانگین ماهانه شدت خشکسالی می‌تواند در تحلیل و تفسیر منطقه‌ای خشکسالی و مدیریت منابع آب حوضه‌های آبخیز، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مفید و کارآمد باشد.

### منابع و مآخذ

۱. بزرگ نیا، ابوالقاسم و نیرومند، حسنعلی (۱۳۷۴): سری‌های زمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور.
۲. خوش‌اخلاق، فرامرز (۱۳۷۶): بررسی الگوهای ماهانه خشکسالی و ترسالی در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۵.
۳. رضایی پزند، حجت (۱۳۸۰): کاربرد آمار و احتمال در منابع آب، دانشگاه آزاد مشهد.
۴. رضی، طیب (۱۳۸۰): استخراج منحنی‌های شدت-تداوم-فراوانی و نقشه‌های هم‌شدت خشکسالی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ص ۱۴۱-۱۲۵.
۵. علیزاده، امین (۱۳۸۱): آیا می‌توان خشکسالی را پیش‌بینی و یا با آن مقابله کرد، فصلنامه علمی-ترویجی خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره ۶.
۶. فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۷۴): تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران، رساله دوره دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
۷. لشنی زند، مهران (۱۳۸۰): پهنه‌بندی خشکسالی‌های اقلیمی در استان لرستان با بکارگیری شاخص‌های آماری، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
۸. لشنی زند، مهران (۱۳۸۰): واژگان خشکسالی، خلاصه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
۹. نساجی، مجتبی (۱۳۸۰): تعیین دوره‌های خشکسالی با استفاده از شاخص خشکسالی SPI، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ص ۲۴۵-۲۳۵.

10. Arved, J.R (1979); **An Advanced introduction to hydrological processes and modeling**, Pergamon press.
11. Brock well, P.G, And Davis, R. A (1996); **Introduction to time series and forecasting**, Springer.
12. Byun, H.R., and Wilhite, D. A (1998); **Daily Quantification of Drought severity and Duration**, Articles Reports, National Drought Mitigation Center at University of Nebraska.
13. Hayes, M.J (1999); **Drought Indices**, Climate impacts specialist, National Drought Mitigation Center, U. S.A,
14. Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O.V (1999); **Monitoring the 1996 Drought using the standardized precipitation index**, Bulletin of the American Meteorological Society, vol.80, No. 3.
15. Rossi, G., Bendini, M., Tsakiris, G, And Giakoumakis, S (1992); **On Regional drought estimation and analysis**, Waetr Resources Management, No. 6.
16. Sharma, T. C (2000); **Drought parameters in relation truncation levels**, Hydrological Processes, No. 14.
17. Thompson, S. A (1999); **Hydrology for water management**, A - Balkema, Rotterdam.
18. Tucker, G. B (1975); **Some general circulation aspects drought**, Bureau of Meteorology Australia.