

## مدل‌سازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی

سیدامیر شمس‌نیا<sup>۱</sup>

نادر پیرمرادیان<sup>۲</sup>

سیدناصر امیری<sup>۳</sup>

### چکیده

خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلاهای طبیعی تأثیرگذار در بخش کشاورزی و منابع آب می‌باشد که فراوانی آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بسیار زیاد است. کمبود بارش اثرات متفاوتی را بر کشاورزی، منابع آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک و جریان رودخانه‌ها به جای می‌گذارد. با توجه به قرار گرفتن استان فارس در ناحیه‌ی آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک ایران و وقوع خشکسالی‌های مکرر به ویژه در سال‌های اخیر، اهمیت توجه به شبیه‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی بیش از پیش ضروری می‌نماید. شناخت و توصیف کمی هر فرآیند محیطی و سپس پیش‌بینی و تخمین رفتار آن در زمان یا مکان و موقعیت‌هایی که فاقد مشاهده و نمونه هستند، نیازمند در اختیار داشتن یک الگو و مدل از آن فرآیند است. یکی از روش‌های دستیابی به هدف مدل‌سازی در وقوع خشکسالی، استفاده از الگوی سری‌های زمانی می‌باشد. در پژوهش حاضر از آمار بارتدگی ۹۰ ایستگاه بارانسنجی و سینوپتیک در استان فارس با در نظر گرفتن دوره‌ی آماری ۳۰ ساله استفاده شد. در راستای تعیین درجه‌ی شدت‌های خشکسالی نیز از شاخص استاندارد شده بارش به دلیل مزایایی که در تحلیل مکانی و ایجاد ارتباط زمانی بین رخداد‌های خشکسالی دارد، استفاده شد. پس از پایش و ارزیابی شدت‌های خشکسالی، اقدام به تعیین الگوی مکانی مناسب منطبق با وضعیت خشکسالی در استان فارس شد. با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و براساس الگوی های مکانی تهیه شده در مناطق مختلف استان فارس، مدل مناسب هر منطقه تهیه شد. در شبیه‌سازی وقوع خشکسالی با استفاده از الگوهای سری زمانی، براساس روش خود همبستگی و خود همبستگی جزئی، ارزیابی تمامی الگوهای احتمالی به لحاظ ایستا بودن، بررسی پارامترها و انواع مدل‌ها، مدل ARIMA انتخاب شد و مناسب‌ترین مدل جهت شبیه‌سازی خشکسالی در هر منطقه تعیین و آرایه شد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شبیه‌سازی، تحلیل سری‌های زمانی، ARIMA، استان فارس.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ashamsnia\_82@yahoo.com.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان. npirmoradian@guilan.ac.ir.

۳- استادیار گروه ریاضی، دانشگاه پیام نور. amiri@susc.ac.ir.

## ۱- مقدمه

خشکسالی از جمله بلایای اقلیمی بی‌سر و صدای طبیعت است که می‌تواند اثرات مخرب و زیانباری در زمینه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به جای گذارد. آثار خشکسالی در صورت عدم اجرای راهکارهای مناسب، تا سال‌ها پس از آن در منطقه‌ی وقوع باقی می‌ماند. تمامی نقطه نظرها بر این نکته توافق دارند که پدیده‌ی خشکسالی به دلیل حالت ناکافی رطوبت هوا اتفاق می‌افتد که از طریق کمبود بارندگی در طول چند دوره‌ی زمانی به وجود می‌آید. به طور کلی مشکلات خشکسالی در ارتباط با دوره‌ی زمانی است که در طی آن این کمبودها روی هم انباشته شده و ارتباط آنها در بارندگی تا کمبودهای ایجاد شده در منابع آبی قابل مصرف، بروز می‌نماید (Mckee et al., 1993). در آغاز خشکسالی، بخش کشاورزی به دلیل وابستگی بیش از حد به ذخایر آبی، معمولاً بیشترین خسارت را می‌بیند. در صورت ادامه‌ی خشکسالی و کمبود بارش، رطوبت موجود در خاک به سرعت تخلیه شده و بخش کشاورزی به استفاده از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی متکی می‌شود و همین امر بحران آب را تشدید می‌نماید. زمانی که بارش‌ها مجدداً شروع می‌شود، وضعیت به حالت نرمال برمی‌گردد و شرایط خشکسالی هواشناسی پایان می‌پذیرد. تا زمان احیاء مجدد منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی، پیامدهای سوء این پدیده ادامه می‌یابد و اثرات آن روی ذخایر سطحی و زیرزمینی تا ماه‌ها و حتی سال‌ها طول می‌کشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طول دوره‌ی تجدید ذخیره‌ی منابع، تابعی از شدت و تداوم خشکسالی و میزان بارش دریافتی است. در دهه‌های اخیر در میان حوادث طبیعی که جمعیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار داده‌اند، تعداد و فراوانی پدیده

بیش از سایر حوادث بوده است. بدین منظور در راستای سازگاری و مقابله با این بلای اقلیمی دو نوع مدیریت اعمال می‌شود که عبارتند از: ۱- مدیریت بحران؛ ۲- مدیریت ریسک.

مدیریت بحران رویکرد مقابله با خشکسالی است که از طریق آن، اقدامات و واکنش‌های بدون برنامه‌ریزی قبلی انجام می‌پذیرد و گاه به ابتکار عمل‌های بی‌اثر، هماهنگ نشده و نابهنگام از سوی افراد و دولت‌ها منجر می‌شود. مدیریت ریسک نقطه‌ی مقابل مدیریت بحران است که به عنوان روش احتیاطی، قبل از وقوع خشکسالی به کار گرفته می‌شود تا تأثیرات خشکسالی کاهش یافته و تصمیمات لازم جهت کاهش خسارات در طول دوره‌ی خشکسالی به صورت هماهنگ و مؤثر اتخاذ شود.

ارزیابی‌های انجام شده در زمینه‌ی خشکسالی، نشان داده است که اعمال مدیریت بحران منجر به واکنش‌های عجولانه، ناکافی و بی‌نتیجه بودن هماهنگی‌ها و برنامه‌ریزی‌ها شده و میزان آسیب‌پذیری در مقابل خشکسالی را افزایش داده و باعث صرف هزینه‌های کلان جهت جبران این خسارات می‌شود (آشگرطوسی و علیزاده، ۱۳۸۲). لذا استفاده از روش‌های مختلف شبیه‌سازی، مدل‌سازی و تهیه‌ی مقدمات احتمال وقوع خشکسالی، به ارایه‌ی طرح‌هایی جهت آماده‌سازی در مقابل خشکسالی و کاهش خسارات ناشی از آن منجر می‌شود. در راستای شبیه‌سازی و مدل‌سازی وقوع خشکسالی الگوهای سری زمانی جهت شناسایی رفتار این پدیده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پیش از شبیه‌سازی خشکسالی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی به منظور شناسایی رفتار پدیده در گذشته و به دست آوردن مبنایی مناسب جهت ساخت مدل بایستی این پدیده را پایش و ارزیابی نمود. در این

راستا به منظور تعیین شدت خشکسالی می‌بایست این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به صورت کمی و عددی درآید و برای آن، شاخص‌هایی تعریف و ارایه شود. شاخص خشکسالی در اصل تابعی است از عوامل مختلف محیطی متأثر از خشکسالی که نهایتاً به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود و می‌توان از آن برای ارزیابی خشکسالی و تصمیم‌گیری درباره‌ی آنها استفاده نمود که به مراتب مفیدتر و ساده‌تر از ردیف‌های متعددی از داده‌های متنوع مرتبط با خشکسالی می‌باشد. سپس با استفاده از نتایج حاصل از پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌ها، می‌توان تغییرات خشکسالی در طول دوره‌ی آماری مورد نظر را بررسی و وقوع آن را شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود. با توجه به نقش شاخص‌های خشکسالی در تعیین شدت خشکسالی، تحلیل زمانی و مدل‌سازی این بلای طبیعی، بایستی از شاخصی جهت تعیین شدت‌های خشکسالی و کمیت بخشیدن به آنها استفاده شود که دقت بالایی در مدل‌سازی و پیش‌آگاهی خشکسالی داشته باشد.

## ۲- پیشینه‌ی تحقیق

اولین بار شاخص استاندارد شده‌ی بارش (SPI)<sup>۱</sup> در ایالت کلرادو مورد استفاده قرار گرفت و به کمک آن خصوصیات مختلف خشکسالی‌ها در مقیاس‌های ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه بررسی و از نتایج حاصله یک سیستم طبقه‌بندی برای تعریف شدت خشکسالی ارایه شد (Mckee et al., 1993). نتایج بررسی خشکسالی سال ۱۹۹۶ آمریکا توسط شاخص استاندارد شده‌ی بارش، حاکی از آن است که این شاخص، زمان آغاز خشکسالی را یک ماه زودتر از شاخص پالمر نشان می‌دهد

1- Standardized Precipitation Index

(Hayes et al., 1999). در تحقیقی دیگر شدت و مدت خشکسالی به عنوان دو مؤلفه‌ی اصلی معرفی شده‌اند که اهمیت بسیار زیادی در تصمیم‌گیری‌ها دارند و در بین شاخص‌های ارزیابی این دو مؤلفه، شاخص استاندارد شده‌ی بارش، عمومیت بیشتری دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که SPI می‌تواند به عنوان یک سیستم مراقبتی خشکسالی<sup>۱</sup>، مورد استفاده قرار گیرد (Tsakiris and Vangelis, 2004). در تحقیقی (قویدل رحیمی، ۱۳۸۳)، داده‌های مربوط به بارش سالانه در یک دوره‌ی آماری ۴۳ ساله، برای ایستگاه‌هایی از آذربایجان شرقی جهت تحلیل و مدل‌سازی بارش و محاسبه‌ی سال‌های مرطوب و خشک، مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش به منظور تعیین کمی و تفکیک سال‌های مرطوب، نرمال و خشک، از شاخص‌های مختلف مبتنی بر بارش استفاده شده است. در بین مدل‌های بارش قابل اعتماد، بارش استاندارد شده و روش نیچه، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل بارش استاندارد شده به علت داشتن قابلیت‌های بیشتر و محدودیت‌های کمتر بهتر از دیگر مدل‌ها تشخیص داده شده است.

پس از آنکه شاخص مورد نظر جهت پایش خشکسالی انتخاب شد، به منظور تهیه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی خشکسالی بایستی از روش‌های تحلیل سری زمانی کمک گرفت. تحلیل سری زمانی به طور نظری و عملی از سال‌های ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی و کنترل به سرعت توسعه پیدا کرده است. تحلیل معمولاً به داده‌هایی مربوط می‌شود که مستقل نبوده و به طور متوالی به هم وابسته‌اند. همین وابستگی بین مشاهدات متوالی است که مورد توجه قرار می‌گیرد و بیشتر کاربرد آن در پیش‌بینی خواهد بود. یکی از مهم‌ترین روش‌های استنباط نتایج

برای آینده براساس آنچه در گذشته اتفاق افتاده است، تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی است (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۸۵). در پژوهشی در رابطه با مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از روش سری‌های زمانی، بارش در زیرحوضه‌های منتخب حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل آماری بارش ایستگاه‌ها، بیانگر وجود نوسان‌های شدید بارش سالانه در طی دوره‌ی آماری ۳۹ ساله می‌باشند که از ویژگی‌های مهم اقلیمی حوضه و ایستگاه‌های آن محسوب می‌شود. به طور کلی از نظر شدت وقوع خشکسالی، ایستگاه‌های مورد مطالعه‌ی خشکسالی‌های ضعیف تا متوسطی را نشان می‌دهند و با بررسی روند بارش و محاسبات مربوط به پیش‌بینی بارش سال‌های آتی که با استفاده از سری‌های زمانی انجام گرفته است، در اکثر ایستگاه‌ها وقوع خشکسالی قابل پیش‌بینی است (قویدل رحیمی و جهانبخش اصل، ۱۳۸۲). در مطالعه‌ی دیگری (پروین، ۱۳۸۰) با استفاده از مدل آریما<sup>۱</sup> (ARIMA)، پیش‌بینی بارش چهار ایستگاه حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه انجام گرفت و بارش حوضه‌ی مذکور با استفاده از شاخص Z-score طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل، نشان‌دهنده‌ی وضعیت تقریباً نرمال همراه با روند صعودی بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ بود. در تحقیق دیگری در استان خراسان با استفاده از الگوهای مدل ساریما<sup>۲</sup> (SARIMA) و نرم‌افزار MINITAB، در دوره‌ی آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۲ بارندگی‌های فصلی مدل‌سازی شد و در نهایت با استفاده از مدل‌های به دست آمده در هر ایستگاه مقادیر بارندگی فصول بهار، پاییز، زمستان برای سال ۲۰۰۴ پیش‌بینی و در مقایسه با میانگین درازمدت هر فصل

1- Auto Regressive Integrated Moving Average

2- Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

نقشه‌های آنومالی ترسیم شد (آشگرطوسی و عزیزاده، ۱۳۸۲). استفاده از فن‌آوری تحلیل سری‌های زمانی در پیش‌بینی خشکسالی‌های هواشناسی مطالعه‌ای است که در آن با استفاده از روش‌های توضیحی و مدل‌های آرما<sup>۱</sup> (ARMA)، پیش‌بینی ماهانه با شاخص شدت خشکسالی پالمر انجام گرفت. داده‌های ماهانه برای سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۶۹ به صورت محاسبات کامپیوتری غیرخطی با حداقل سطح و در جهت ارزیابی و تخمین مقادیر پارامترها در مدل آرما استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل باکس و جنکینز<sup>۲</sup> نسبت به مدل‌های دیگر بهتر است. همچنین نتایج نشان‌دهنده‌ی رابطه بین مدل‌های آرما و تحلیل سری‌های زمانی بود (Davis and Rappoport, 1974).

لذا هدف از پژوهش حاضر، پایش و ارزیابی خشکسالی در استان فارس با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، تعیین قانونمندی و شناسایی رفتار پدیده و ارایه‌ی مدل بهینه جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی وقوع خشکسالی با استفاده از الگوهای سری زمانی می‌باشد.

### ۳- روش کار

سری‌های زمانی دارای انواع مختلف یک متغیره و چندمتغیره، همبسته و ناهمبسته، ایستا و نایستا هستند. مفهوم ایستایی این است که قوانین احتمالی حاکم بر فرآیند در طول زمان تغییر نکند و یا به عبارت دیگر، روند حاکم بر فرآیند در طول زمان ثابت باشد. از آنجا که ایستایی شرط اولیه در مدل‌سازی سری‌های زمانی

1- Auto Regressive Moving Average

2- Box-Jenkins

است، لذا ابتدا لازم است تا سری داده‌ها ایستا گردند. جهت ایستا کردن سری‌های زمانی از دو روش استفاده می‌شود.

الف) فرآیند تفاضلی کردن: گرچه بسیاری از سری‌های زمانی نایستا هستند، ولی به علت بعضی نیروهای تعادلی رفتار بخش‌های مختلف این سری‌ها، بسیار شبیه هم می‌باشد و اختلاف آنها در سطوح میانگین محلی است. این نوع رفتار نایستایی را نایستایی همگن می‌نامند. بنا به طبیعت همگن بودن، رفتار این نوع سری‌های نایستای همگن، مستقل از سطح آنهاست. یک چنین سری‌هایی با تفاضلی کردن مناسب، به یک سری ایستا تبدیل می‌شوند.

ب) تبدیل‌های پایداری واریانس: تمام مسایل نایستایی را با تفاضلی کردن نمی‌توان حل کرد. سری‌های زمانی زیادی هستند که ایستا در میانگین اما نایستا در واریانس هستند. برای حل این مشکل از یک تبدیل پایداری واریانس مناسب استفاده می‌شود، به عبارتی به جای استفاده از سری اصلی داده‌ها از سری تبدیل شده آن که ایستا می‌باشد، می‌توان استفاده نمود.

در پژوهش حاضر، از آمار بارندگی ۹۰ ایستگاه باران‌سنجی و سینوپتیک در استان فارس استفاده شد. این تعداد ایستگاه با در نظر گرفتن موارد مختلفی از جمله: داشتن آمار طولانی مدت، نواقص آماری کم و پراکنش مناسب در کل استان، از بین تعداد ۳۶۳ ایستگاه انتخاب شد. همچنین یک دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۵۲-۱۳۵۱ تا ۸۱-۱۳۸۰)، جهت تجزیه و تحلیل آماری مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بهره‌گیری از آمارهای اشاره شده، ابتدا داده‌های بارش ماهانه کلیه ایستگاه‌ها به لحاظ صحت و همگنی از طریق روش آماری ران تست



بررسی شد. با اطمینان از همگنی داده‌ها، داده‌های مفقود شده هر ایستگاه با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه مبنا و به کارگیری روش EM الگوریتم<sup>۱</sup> توسط نرم افزار SPSS برآورد شد. این روش در تخمین داده‌های مفقود شده از دقت بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است و می‌تواند بر اساس حداکثر برآورد مورد انتظار عمل نماید و با پردازش به صورت تکرارهای متوالی، بهترین تخمین را اعمال کند (Figueiredo, 2004). در راستای تعیین درجه‌ی شدت‌های خشکسالی نیز از شاخص استاندارد شده بارش به دلیل مزایایی که در تحلیل مکانی و ایجاد ارتباط زمانی بین رخدادهای خشکسالی دارد، استفاده شد. به دلیل آنکه داده‌های مورد استفاده جهت تحلیل سری‌های زمانی، شدت‌های خشکسالی شاخص استاندارد شده بارش (SPI) می‌باشد و از نظر میانگین و انحراف معیار استاندارد شده هستند، بیشتر داده‌ها ایستا می‌باشند و از دو روش ذکر شده جهت آزمون ایستایی و صحت ایستا بودن داده‌ها استفاده شد. پس از اطمینان از ایستا بودن داده‌های خشکسالی اقدام به ساخت مدل مناسب شد. در محاسبه‌ی مدل مناسب جهت شبیه‌سازی وقوع خشکسالی در استان فارس، براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی و تحلیل پراکندگی مکانی خشکسالی به کمک سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در استان فارس (شمس‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶) و وجود شباهت در روند وقوع خشکسالی در مناطق مختلف استان، اقدام به تهیه‌ی الگوی مکانی شد (شکل ۱). در این راستا بر پایه نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی، مناطقی که از نظر روند وقوع خشکسالی شبیه یکدیگر می‌باشند، به عنوان یک منطقه در مدل‌سازی لحاظ گردید و برای آنها یک مدل تهیه شد.

مدل‌سازی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی با چند روش انجام می‌شود که یکی از این روش‌ها روش آریما یا مدل باکس - جنکینز است که به آن مدل  $(p, d, q)$  نیز گفته می‌شود. در هر مدل  $(p, d, q)$ ،  $p$  مربوط به تعداد مقادیر اتورگرسیو<sup>۱</sup>،  $d$  مربوط به تعداد مقادیر تجمعی<sup>۲</sup> و  $q$  مربوط به تعداد مقادیر میانگین متحرک<sup>۳</sup> در مدل آریما می‌باشد، این تحلیل در چند مرحله انجام می‌شود. در مرحله‌ی اول مقادیر اولیه‌ی  $p$ ،  $d$  و  $q$  با روش خود همبستگی  $(ACF)$ <sup>۴</sup> و خود همبستگی جزئی  $(PACF)$ <sup>۵</sup> تعیین می‌شود. با بررسی دقیق نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی و اجزای آن، دید کلی در مورد وجود سری زمانی دارای روند و ویژگی‌های آن به دست می‌آید. این دید کلی معمولاً مبنای انتخاب مدل مناسب می‌باشد. همچنین جهت تأیید درجه ایستایی و صحت انتخاب مدل، از نمودارهای مذکور استفاده می‌شود. سپس در مرحله‌ی دوم بررسی می‌شود که آیا مقادیر  $p$  و  $q$  (به ترتیب نمایش‌دهنده‌ی اتورگرسیو و میانگین متحرک) می‌توانند در مدل باقی بمانند یا باید از آن خارج شوند. در مرحله‌ی سوم بررسی می‌شود که آیا مقادیر باقیمانده (خطای باقیمانده) تصادفی و دارای توزیع نرمال است یا خیر؟ در این صورت است که می‌توان گفت مدل دارای برازندگی خوبی بوده و مناسب است.

- 
- 1- Autoregressive
  - 2- Integrated
  - 3- Moving average
  - 4- Autocorrelation
  - 5- Partial-Autocorrelation

## ۳-۱- ملاک انتخاب الگو

در تحلیل سری‌های زمانی یا به طور کلی در تحلیل داده‌ها ممکن است چندین الگوی مناسب برای نشان دادن یک مجموعه داده‌های معلوم مورد استفاده قرار گیرد. گاهی اوقات انتخاب آسان است ولی در مواقع دیگر، انتخاب می‌تواند بسیار مشکل باشد. بدین ترتیب ملاک‌های بی‌شماری برای مقایسه‌ی الگوها معرفی شده‌اند که با روش‌های شناخت الگو متفاوت هستند. برخی از این ملاک ابر مبنای آماره‌های خلاصه شده از باقی‌مانده‌ها (که از یک الگوی برازش شده محاسبه می‌شوند)، قرار دارند و برخی دیگر بر پایه‌ی خطای پیش‌بینی (که از پیش‌بینی‌های خارج نمونه محاسبه می‌شوند)، تعیین می‌شوند. در مورد روش اول می‌توان به محک  $AIC^1$  و  $BIC^2$  و ملاک  $SBC^3$  و در مورد الگو بر مبنای خطای پیش‌بینی، می‌توان به روش میانگین درصد خطا (MPE)، میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین قدر مطلق درصد خطا (MAPE)، اشاره نمود. مدلی که آماره‌های فوق در آنها کمتر باشد، به عنوان مدل مناسب انتخاب می‌شود. آزمون و بررسی این ملاک‌ها توسط بسیاری از نرم‌افزارهای آماری قابل محاسبه است.

در تحلیل حاضر ابتدا با روش آریمای کار آغاز شد و مقادیر مختلفی از  $d$ ،  $p$  و  $q$  در مراحل ذکر شده مورد آزمون قرار گرفت. به دلیل آنکه در به کارگیری مدل آریمای معیار  $AIC$  دقت بالاتری دارد و در مقایسه‌ی بین دو مدل آریمای جهت انتخاب بهترین معادله برازش داده شده بهتر عمل می‌نماید (Garson, 2007)، لذا از

1- Akaike Information Criterion  
2- Bayesian Information Criterion  
3- Schwarz Bayesian Criterion

ملاک AIC که یکی از ملاک‌های انتخاب الگو بر مبنای آماره‌های خلاصه شده از باقی مانده‌ها می‌باشد، استفاده شد. براساس کمترین مقدار AIC و قرار گرفتن مقادیر شدت خشکسالی در محدوده‌ی ضریب اطمینان ۹۵٪، نوع مدل مناسب هر منطقه مشخص و سپس براساس الگوی مکانی تهیه شده در استان فارس، نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی تهیه شد. با استفاده از نمودارها که درجه ایستایی مدل را تأیید می‌نماید، ارزیابی الگوهای احتمالی انجام گرفت و با بررسی پارامترها، معادله‌ی مدل مناسب هر منطقه تهیه و ارایه شد. معادله‌ی [۱]

شکل کلی مدل سری زمانی را نشان می‌دهد.

[۱]

$$\hat{Y}_{(t)} = \mu + Y_{(t-1)} + \phi_1(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - \phi_2(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + \phi_3(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) + \theta_1 * e_{(t-1)} - \theta_2 * e_{(t-2)}$$

$Y_t$ : متغیر زمانی       $\mu$ : میانگین       $\phi$ : ضریب اتورگرسیو

$e$ : خطای باقیمانده       $\theta$ : ضریب میانگین متحرک

پرتال جامع علوم انسانی



شکل شماره ۱) الگوی مکانی شهرستان‌های استان فارس جهت تهیه مدل شبیه‌سازی وقوع خشکسالی

#### ۴- نتایج

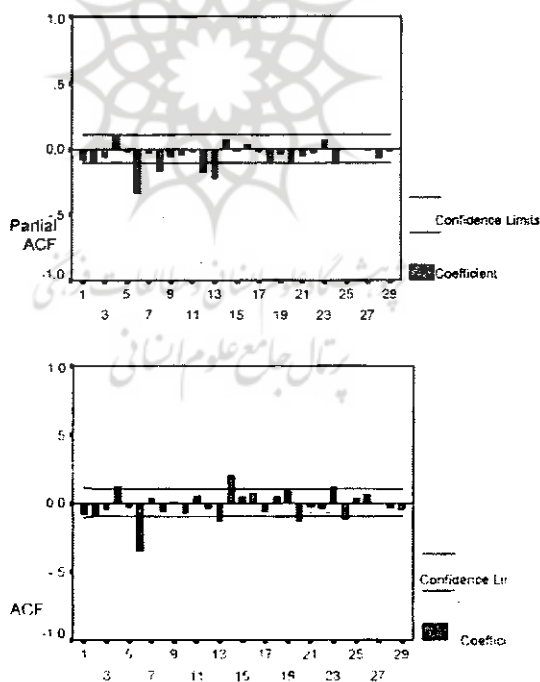
براساس الگوی مکانی که به تفکیک شماره مشخص شده است (شکل ۱)، نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی که به منظور تأیید ایستایی

داده‌ها و تعیین نوع مدل مناسب می‌باشد ارایه شده است (شکل‌های ۲ تا ۱۰). سپس براساس الگوی مکانی شهرستان‌های استان فارس و نمودارهای به دست آمده اقدام به تهیه مدل شد. نوع مدل ARIMA مناسب براساس تعداد مقادیر  $d, p$  و  $q$  جهت شبیه‌سازی وقوع خشکسالی مشخص شد. در تهیه‌ی نوع مدل مناسب هر منطقه نتایج نشان می‌دهد که پس از انجام آزمون‌های مختلف، در نهایت مدل به دست آمده به مقادیری از  $p$  و  $q$  ختم شد. همانگونه که ذکر شد در ابتدا، مدل‌سازی با روش آریما ( $d, p, q$ ) آغاز شد و مقادیر هریک از پارامترها محاسبه شد. اما با توجه به اینکه در تمامی حالات مقدار  $d$  صفر شد، لذا مدل به آرما تبدیل شد و فقط مقادیر  $p$  و  $q$  که مرتبط با اتورگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) می‌باشند، در مدل باقی ماند. بنابراین به دلیل آنکه شروع کار با روش آریما بوده، بهتر است نوع مدل‌های ارایه شده آریما ذکر شود.

براساس تعداد مقادیر عددی اتورگرسیو و میانگین متحرک در هر منطقه و برطبق معادله‌ی کلی سری‌های زمانی، معادله مناسب شبیه‌سازی وقوع خشکسالی در هریک از مناطق ۹ گانه تهیه و توسط معادلات (۲ تا ۱۰) نشان داده شده است. در هر یک از معادلات،  $Y_t$ ها متغیر زمانی است که مرتبط با تعداد مقادیر اتورگرسیو می‌باشد. در تمامی مدل‌ها مقدار  $\mu$  برابر با صفر می‌باشد. مقادیر  $\phi$  ضریب اتورگرسیو می‌باشد که در طی شبیه‌سازی و مدل‌سازی براساس متغیر زمانی مربوطه و براساس روش‌های خود همبستگی و خود همبستگی جزئی به دست آمده و پس از انجام آزمون‌های مختلف در مدل باقی مانده است. در معادلات مربوط به مدل‌ها،  $e$  خطای باقیمانده و  $\theta$  ضریب میانگین متحرک است که براساس خطای باقیمانده در هر زمان، در طی مراحل مدل‌سازی به دست آمده

است. در تمامی مدل‌های به دست آمده مقدار شاخص AIC در کمترین حد ممکن در نظر گرفته شده است تا در تهیهی معادله‌ی مدل مناسب، پراکندگی نقاط اطراف خط برازش داده شده در بهترین شرایط باشد. با توجه به اینکه مدل‌های حاضر، شبیه‌سازی شده براساس وجود شباهت‌های خشکسالی در مناطق مختلف و روند وقوع می‌باشند، لذا می‌توانند پس از ارزیابی و اعتبار سنجی در جهت پیش‌بینی وقوع خشکسالی در استان فارس مورد استفاده قرار گیرند.

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۱ (شهرستان آباده) در شکل (۲) نشان داده شده است

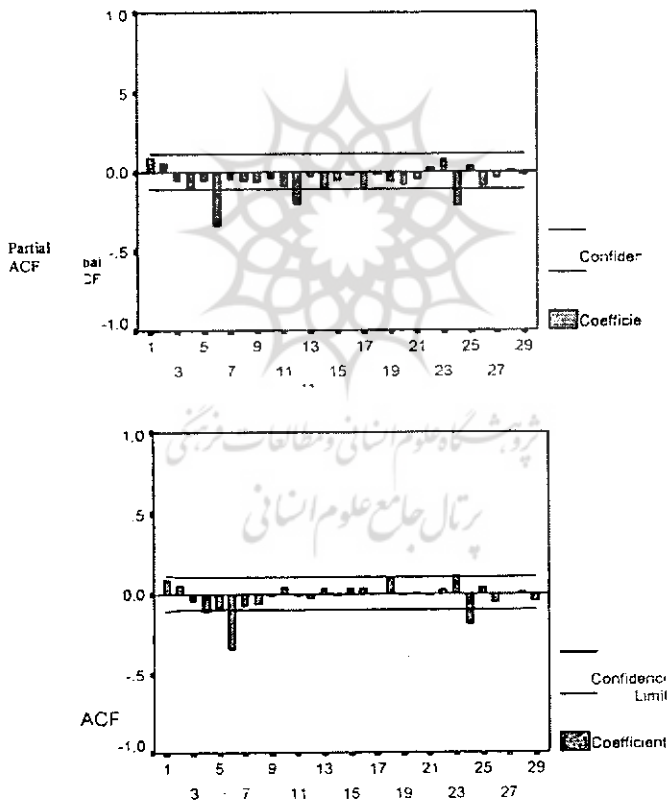


شکل (۲) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۱

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۱ (۱-۲) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۲] به دست آمد.

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 1.52(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 0.6(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.7 * e_{(t-1)} \quad [2]$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۲ (شهرستان‌های اقلید، خرم‌بید، مرودشت و پاسارگاد) در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۲

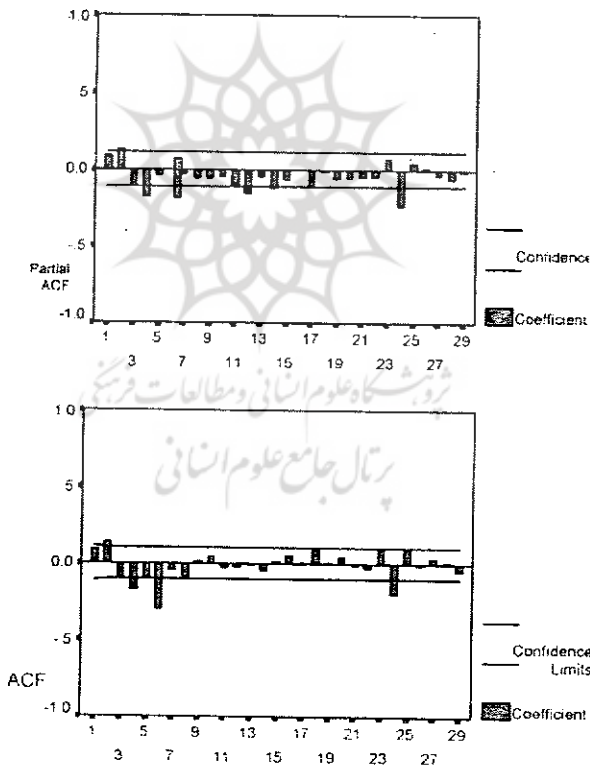


مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۲ (۲، ۰، ۳) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۳] به دست آمد.

[۳]

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 1.89(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 1.35(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.33(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) + 1.22 * e_{(t-1)} - 0.68 * e_{(t-2)}$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۳ (شهرستان‌های ممسنی و سپیدان) در شکل (۴) نشان داده شده است.



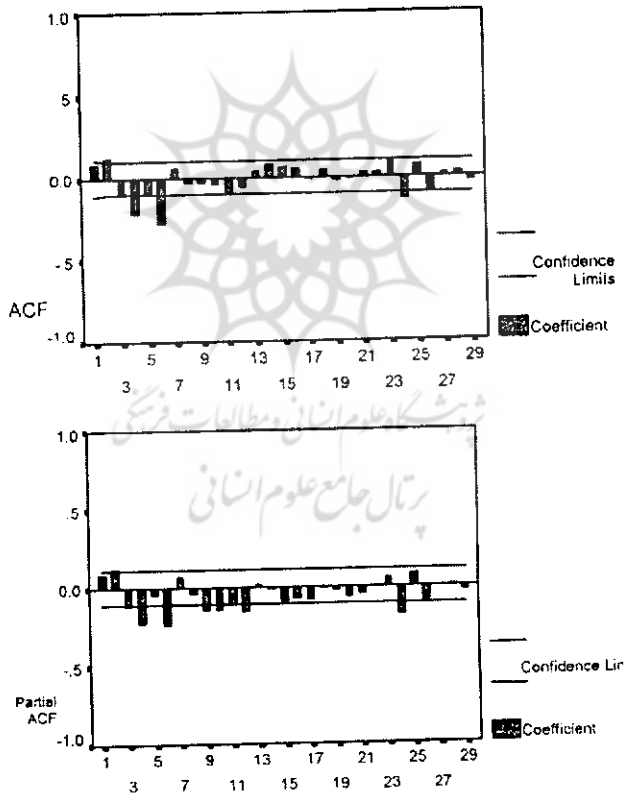
شکل (۴) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۳

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۳ (۲۰۳) ARIM می‌باشد و به شکل معادله‌ی [۴] به دست آمد.

[۴]

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 1.8(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 1.27(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.32(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) + 1.16 * e_{(t-1)} - 0.71 * e_{(t-2)}$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۴ شهرستان‌های بوانات و ارسنجان در شکل (۵) نشان داده شده است.



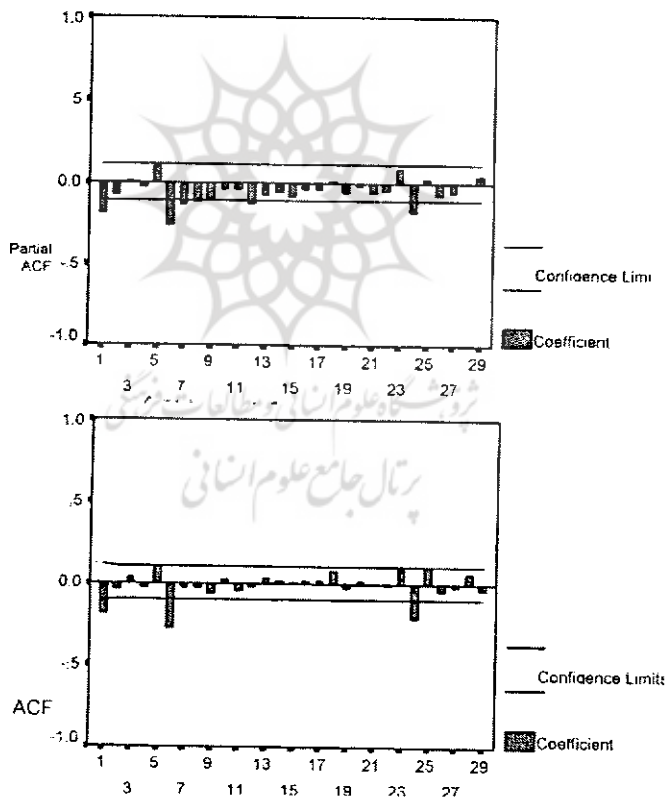
شکل (۵) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۴

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۴ (۲، ۳) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۵] به دست آمد.

[۵]

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 1.65(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 1.29(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.42(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) + 1.05 * e_{(t-1)} - 0.83 * e_{(t-2)}$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۵ (شهرستان‌های شیراز و فیروزآباد) در شکل (۶) نشان داده شده است.

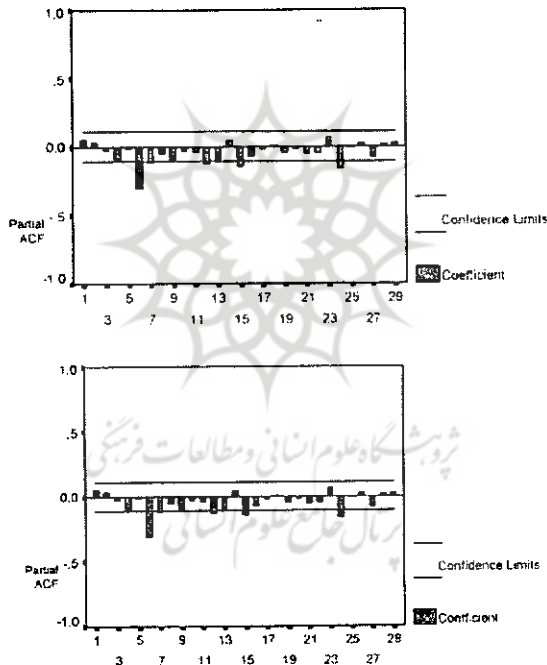


شکل (۶) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۵

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۵ (۲۰۳) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۶] به دست آمد.

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 0.54(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 0.85(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.74(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) - 0.19 * e_{(t-1)} - 1 * e_{(t-2)} \quad [۶]$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۶ (کازرون و فراه‌بند) در شکل (۷) نشان داده شده است



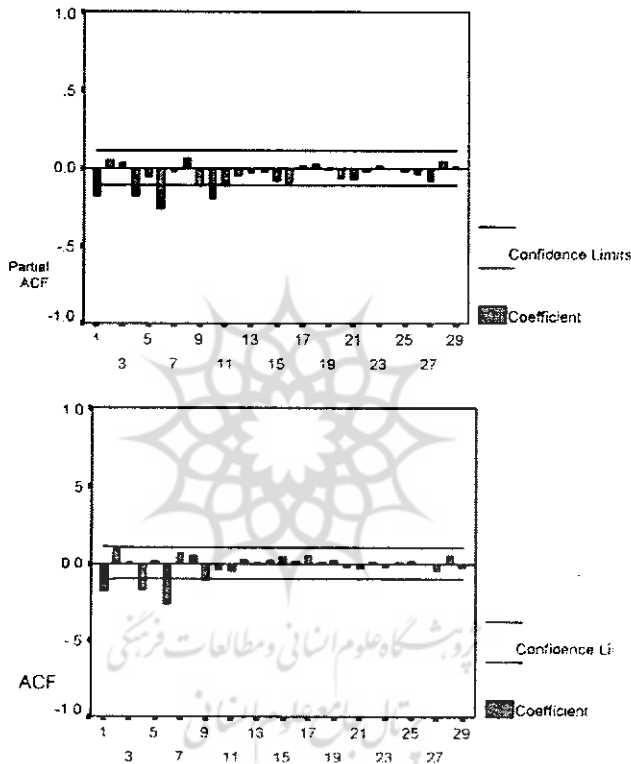
شکل (۷) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۶

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۶ (۲۰۳) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۷] به دست آمد.

[۷]

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 20(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 1.64(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.4(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) + 13.4 * e_{(t-1)} - 0.77 * e_{(t-2)}$$

نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۷ (شهرستان‌های استهبان، فسا و نیریز) در شکل (۸) نشان داده شده است.



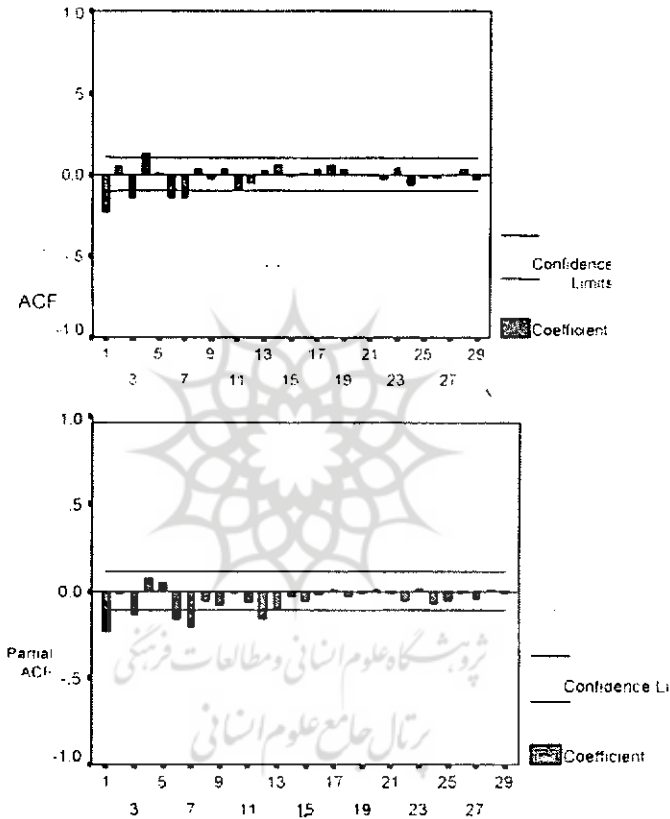
شکل (۸) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه ۷

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۷  $ARIMA(۴, ۰, ۲)$  و به شکل معادله‌ی [۸] به دست آمد.

[۸]

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 1.52(Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) - 1.36(Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) + 0.73(Y_{(t-3)} - Y_{(t-4)}) - 0.14(Y_{(t-4)} - Y_{(t-5)}) + 0.81 * e_{(t-1)} - 0.77 * e_{(t-2)}$$

نمودار توابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی منطقه‌ی ۸ (شهرستان‌های جهرم، قیرو کارزین، خنج و مهر) در شکل (۹) نشان داده شده است.

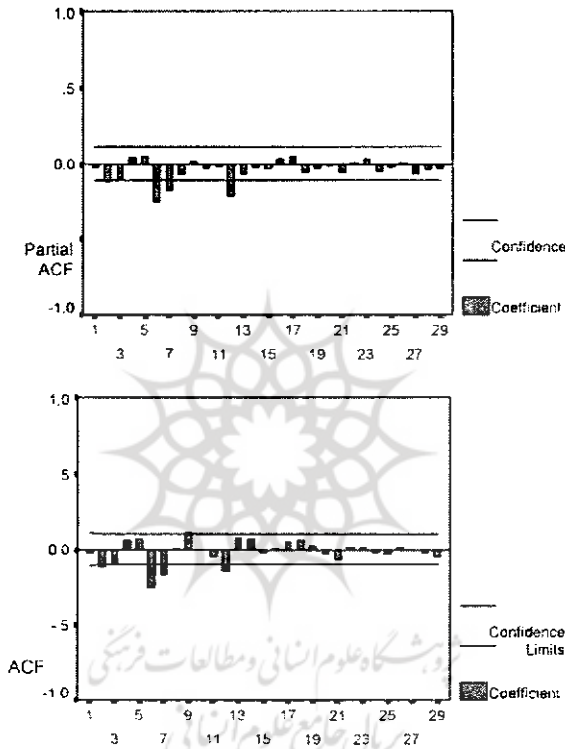


شکل (۹) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۸

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۸  $ARIMA(1, 0, 1)$  و به شکل معادله‌ی [۹] به دست آمد.

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 0.62 (Y_{(t-2)} - Y_{(t-3)}) - 0.73 * e_{(t-1)} \quad [9]$$

نمودار توابع خودهمبستگی و خود همبستگی جزئی منطقه‌ی ۹ (شهرستان‌های داراب، زرین دشت، لار و لامرد) در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۱۰) نمودار توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی در منطقه‌ی ۹

مدل مناسب جهت شبیه‌سازی خشکسالی در منطقه‌ی ۹ (۱۰۰) ARIMA و به شکل معادله‌ی [۱۰] به دست آمد.

$$\hat{Y}_{(t)} = Y_{(t-1)} + 0.83 (Y_{(t-1)} - Y_{(t-2)}) \quad [10]$$

## منابع

- ۱- آشگرطوسی، ش. و علیزاده، ا. (۱۳۸۲)، پیش‌بینی بارندگی‌های فصلی در استان خراسان با استفاده از مدل SARIMA. *فصلنامه‌ی کمیته‌ی ملی مدیریت خشکی و خشکسالی*، شماره‌ی ۹.
- ۲- پروین، ن. (۱۳۸۰)، *بررسی خشکسالی حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه*، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی علوم و ادبیات انسانی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۳- شمس‌نیا، س.ا.، ن. پیرمردیان، م.م. قاسمی، م.ع. شاهرخ‌نیا. و س.ن. امیری (۱۳۸۶)، تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ در استان فارس با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، *مجموعه مقالات دومین همایش ملی کشاورزی بوم‌شناختی ایران*، دانشگاه علوم کشاورزی گرگان. ۲۵ الی ۲۶ مهرماه.
- ۴- قویدل رحیمی، ی. و س. جهانبخش اصل (۱۳۸۲)، مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *نشریه‌ی دانشکده علوم انسانی و اجتماعی*، دانشگاه تبریز. شماره ۸.
- ۵- قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۳)، کاربرد نمایه‌های مبتنی بر بارش در مطالعه‌ی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (مطالعه‌ی موردی: استان آذربایجان شرقی)، *نشریه‌ی پژوهش و سازندگی*، شماره‌ی ۶۵، صص ۵۶-۴۷.



۶- نیرومند، ح. و ا. بزرگ‌نیا (۱۳۸۵)، سری‌های زمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۷۶ صفحه.

- 7- Davis, J.M. and P.N. Rappoport (1974), The Use of Time Series Analysis Techniques in Forecasting Meteorological Drought. *Bulletin of the American Meteorological Society, Monthly Weather Review*. 102(2), Pp.176-180.
- 8- Figueiredo, M.A.T. (2004), *Lecture Notes on the EM Algorithm Portugal*. Instituto de Telecomunicacoes, Instituto Superior Tecnico. 1049-001 Lisboa.
- 9- Garson, D. (2007), *Time Series Analysis*, [www2.Chass.Ncsu.edu/garson/pa765/time.htm](http://www2.Chass.Ncsu.edu/garson/pa765/time.htm).
- 10- Hayes, M., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite, and O.V. Vanyarkho (1999), Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3), 429-438.
- 11- McKee, T.B., N.J. Doesken, and Kleist (1993), *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*, Preprints 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology. 17-22 January, Anaheim, CA. Pp: 170-184
- 12- Tsakiris, G. and H. Vangelis (2004), Toward a Drought Watch System Based on Spatial SPI, *Journal of Water Resources Management*, 18(1), Pp. 1-12.



شپوهنځي ګاه علوم انساني و مطالعات فرېنجي  
پر تال جامع علوم انساني