

بررسی خشکسالی، ترسالی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش و درجه حرارت منطقه شیراز با استفاده از روش‌های استوکستیک

حسین بابازاده^۱
سیدامیر شمس‌نیا^۲
فردین بوستانی^۳
الناز نوروزی اقدم^۴
داوود خدادادی دهکردی^۵

چکیده

مدل‌های استوکستیک به عنوان یک روش جهت بررسی تغییرات آب‌وهوایی آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. در میان پارامترهای هواشناسی بارش و دما به عنوان شاخص‌های اصلی مطرح می‌باشند. هدف از پژوهش حاضر تحلیل وضعیت پارامترهای اقلیمی بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه، بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ناشی از کمبود بارش، شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش‌های استوکستیک می‌باشد. در این تحقیق از آمار ۲۱ ساله بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه سینوپتیک شیراز استفاده شده است و براساس مدل آریمای و روش خود همبستگی و خود همبستگی جزئی و با ارزیابی تمامی الگوهای احتمالی به لحاظ ایستا بودن و بررسی پارامترها و انواع مدل‌ها، مدل مناسب جهت پیش‌بینی بارش ماهانه، $ARIMA(0\ 0\ 0)(2\ 1\ 0)_{12}$

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران.

Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات فارس.

۴- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه.

۵- عضو هیأت علمی گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

و جهت پیش‌بینی متوسط درجه حرارت ماهانه، $ARIMA(2\ 1\ 0)(2\ 1\ 0)12$ به دست آمد و پس از اعتبارسنجی و ارزیابی مدل، پیش‌بینی سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام گرفت. با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته با وجود تداوم خشکسالی، احتمال افزایش بارش وجود دارد. در مورد متوسط درجه حرارت ماهانه نیز روند صعودی دما بویژه در سال‌های اخیر ادامه داشته و نتایج پیش‌بینی، نشان‌دهنده افزایش دما همراه با کاهش دامنه تغییرات می‌باشد.

واژگان کلیدی: بارش، درجه حرارت، روش‌های استوکستیک، آر.ی.ما.

مقدمه

از دیرباز مطالعات اقلیمی در زمینه بلایای طبیعی زمانی که اثرات شدیدی را نیز به دنبال دارد مورد توجه بوده است. مطالعه پارامترهای هواشناسی در مسائل هیدرولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد، چون به طور کلی همین پارامترها هستند که اقلیم یک منطقه را تشکیل می‌دهند و در اثر تغییرات ناشی از جریان‌ات آب، باد، باران و... مسائلی نظیر خشکسالی ایجاد می‌شود. ایران به دلیل قرارگیری در کمربند خشکسالی و مجاورت با میدان‌های پرفشار جنب حاره‌ای دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک است و همین امر سبب شده تا در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی باشد. دو پارامتر اصلی و تأثیرگذار اقلیمی در ایجاد و تداوم خشکسالی یک منطقه بارش و متوسط درجه حرارت هستند. کاربرد و اهمیت این دو پارامتر سبب شده است در دهه‌های اخیر، مطالعه نوسان‌ها و تغییرات دما در طولانی مدت و کوتاه‌مدت مورد توجه متخصصان آب و هواشناسی قرار گیرد. اطلاعات مربوط به بارش می‌تواند راهنمای مناسبی جهت پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی یک منطقه از جمله سیلاب و برآورد ضریب رواناب باشد. درجه حرارت نیز پارامتر یا شاخص اصلی مطالعات اقلیمی است و می‌تواند اثرات زیادی بر فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی از جمله تأمین منابع آب هر منطقه داشته باشد و تغییرات این پارامتر در برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی عامل تعیین‌کننده‌ای به شمار می‌آید. کمترین نوسان در میزان بارش و درجه حرارت می‌تواند ضربه‌های شدیدی به بخش‌های کشاورزی و اقتصادی وارد نماید. پیش‌بینی

پارامترهای اقلیمی همچنین می‌تواند جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان و طولانی مدت بویژه راهکارهای مقابله با بلایای طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی وضعیت و نوسانات پارامترهای اقلیمی در یک دوره آماری طولانی مدت و تحلیل نتایج حاصل از آن و مطالعه رفتار یک پدیده در گذشته می‌تواند روند احتمالی آن پدیده را در آینده نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. بدین ترتیب با پیش‌بینی و تخمین پارامترهایی مانند بارش و درجه حرارت و بررسی رفتار آنها در گذشته می‌توان تغییرات اقلیمی را نیز مورد مطالعه قرار داد.

با توجه به اینکه دما و بارندگی پدیده‌های احتمالاتی با تغییرات زمانی هستند، لذا به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی بایستی از روش‌های استوکستیک^۱ و تحلیل سری زمانی^۲ کمک گرفت. تحلیل سری زمانی به طور نظری و عملی از سال‌های ۱۹۷۰ به بعد برای پیش‌بینی به سرعت توسعه پیدا کرده است. این تحلیل معمولاً به داده‌هایی مربوط می‌شود که مستقل نبوده و به طور متوالی به هم وابسته‌اند. 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: ۱۰).

در پژوهشی متوسط دمای ماهانه ایستگاه تبریز براساس مدل آریمای باکس-جنکینز^۳ مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از مدل فوق، دمای ماهانه تبریز برای یک دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۵۹-۹۸) براساس روش خود همبستگی^۴ و خود همبستگی جزئی^۵ و کنترل نرمال بودن باقی‌مانده‌ها با بکارگیری آزمون کولموگروف اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفته است. براساس مدل‌های به دست آمده تغییرات متوسط دمای ایستگاه تبریز تا سال ۲۰۱۰ پیش‌بینی گردیده است (جهانبخش و باباپور باصر، ۱۳۸۲: ۳۴). در پژوهشی که به منظور

-
- 1- Stochastic Methods
 - 2- Time Series Analysis
 - 3- Box & Jenkins
 - 4- Autocorrelation
 - 5- Partial Autocorrelation

بررسی اقلیم ایستگاه سینوپتیک بیرجند و شناخت نوسانات اقلیمی بویژه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و ارائه مدلی مناسب جهت پیش‌بینی نوسانات اقلیمی صورت گرفته است، با استفاده از روش‌های آماری و مدل‌های باکس و جنکینز سری زمانی بارش و دما بررسی و بهترین مدل برازش داده شده است (بنی‌واهب و علیجانی، ۱۳۸۴: ۳۳). ترابی (۱۳۸۰: ۷) با استفاده از روش سری‌های زمانی و مدل آریمای^۱ (ARIMA)، پنج ایستگاه معرف در پنج ناحیه اقلیمی ایران را در فاصله سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۹۵ مورد مطالعه قرار داده و نتایج نشان داد که مقادیر حداقل و حداکثر دما، به جز مناطق نیمه‌خشک گرم ایران در سایر مناطق تغییرات دمایی داشته‌اند. در مطالعه دیگری با استفاده از مدل آریمای پیش‌بینی بارش چهار ایستگاه حوضه آبریز دریاچه ارومیه انجام گرفت و بارش حوضه مذکور با استفاده از شاخص Z-score طبقه‌بندی گردید. نتایج حاصل، نشان‌دهنده وضعیت تقریباً نرمال همراه با روند صعودی بارندگی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ بود (پروین، ۱۳۸۰: ۶). باری (۲۰۰۱) ناحیه‌بندی اقلیمی و بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و پیش‌بینی اقلیمی را با استفاده از روش‌های مختلفی مانند: شاخص خشکسالی پالمر، زنجیره مارکوف، میانگین متحرک^۲، اتورگرسیو^۳ و آریمای انجام داده است. در بررسی و تغییرپذیری روند دمایی میانگین سالانه در ترکیه پژوهشی توسط تورکش (۱۹۹۶: ۴۶۳) انجام گرفته است. نتایج بررسی‌ها در مقیاس ناحیه‌ای، روند افزایش دمایی آنومالی شرقی و روند کاهش آن را در نواحی ساحلی ترکیه در دو دهه اخیر نشان داده است. سن زکایی (۱۹۹۸: ۱۷۲۵) با تأکید بر اهمیت تعداد نمونه در تعیین تغییرات اقلیمی، اشاره کرده است که به علت وجود خود همبستگی در داده‌های اقلیمی نظیر دما، روش مدل‌سازی آریمای معتبرترین روش‌های بررسی تغییرات اقلیمی است. لیت و همکاران (۱۹۹۶) دما و بارش سالانه کشور پرتغال را به کمک مدل‌های اتورگرسیو پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که دما و بارش سالانه، علاوه بر اینکه از سالی نسبت به سال دیگر متفاوت است، از یک دهه به دهه دیگر نیز تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، دارای نوسان‌های سالانه و دهه‌ای می‌باشد. شهیدی و همکاران (۲۰۱۰: ۱۰) به

1- Auto Regressive Integrated Moving Average

2- Moving Average

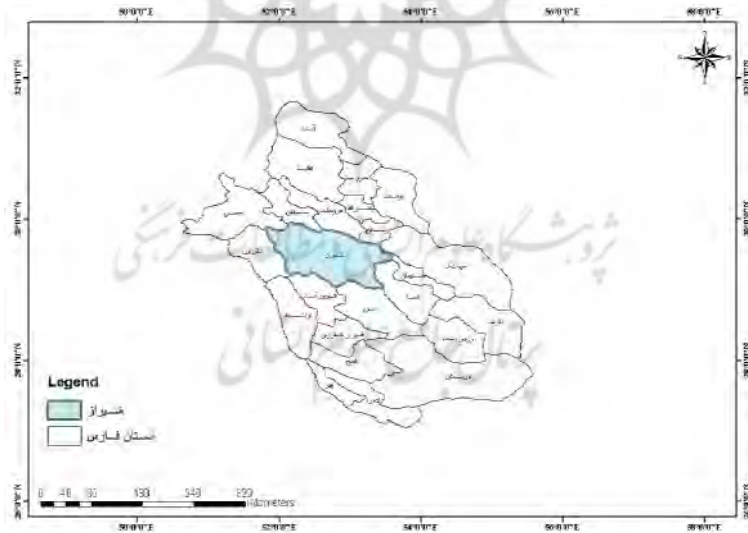
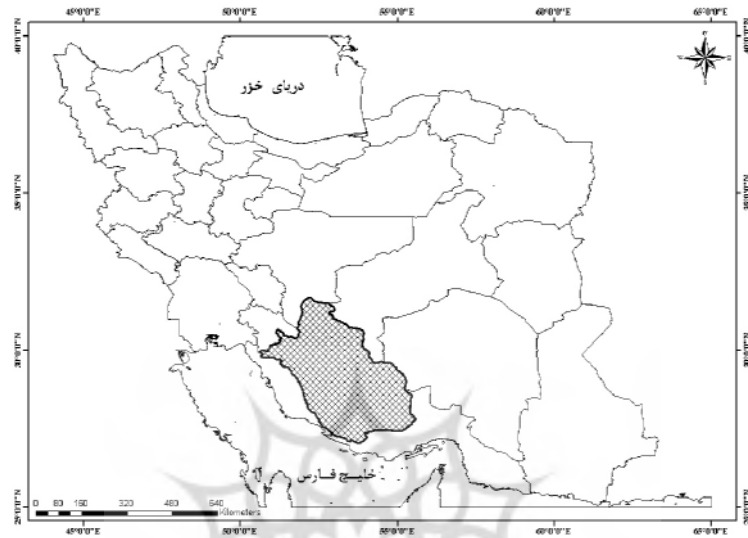
3- Auto Regressive

استفاده از نرم‌افزار ITSM مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی را دشت شیراز انجام دادند. در این راستا از مدل آریمما و معیار AIC^1 استفاده نمودند. لذا با توجه به اهمیت پارامترهای اقلیمی بارش و درجه حرارت و اهمیتی که در تعیین نقش سایر عناصر اقلیمی دارند، مدل‌سازی و پیش‌بینی آنها با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته از ضروریات بوده و می‌تواند از ارکان اساسی مدیریت کشاورزی و منابع آب به شمار آید.

منطقه مورد مطالعه

استان فارس با مرکزیت شیراز دارای متوسط بارندگی حدود ۳۲۵ میلیمتر و وسعت ۱۲۲۶۰۹ کیلومترمربع در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا و در جنوب ایران قرار دارد. شهرستان شیراز به مرکزیت شهر شیراز با وسعت ۱۰۴۳۴ کیلومترمربع ۸/۵ درصد کل مساحت خاکی استان فارس را به خود اختصاص داده است. این شهرستان در محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (اداره فناوری اطلاعات، ۱۳۸۵)، (شکل ۱). متوسط بارش این شهرستان حدود ۳۳۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه آن نیز حدود ۱۸ درجه سانتی‌گراد است.

با توجه به اهمیت جغرافیایی، اقلیمی و کشاورزی شهرستان شیراز، هدف از پژوهش حاضر تحلیل وضعیت پارامترهای اقلیمی بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه، بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ناشی از کمبود بارش، شبیه‌سازی و ارائه مدلی جهت پیش‌بینی پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش‌های آماری تحلیل سری‌های زمانی و مدل‌های استوکستیک در ایستگاه سینوپتیک شهرستان شیراز می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از آمار بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه سینوپتیک شیراز استفاده گردیده و اطلاعات مورد نیاز از طریق جداول و بانک‌های اطلاعاتی موجود گردآوری شده است. دوره آماری مورد مطالعه سال زراعی ۶۳-۱۳۶۲ تا ۸۳-۱۳۸۲ می‌باشد. ابتدا به کمک روش آماری ران تست^۱، همگنی داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت. سپس با اطمینان از همگنی داده‌ها به منظور ارائه شناخت بیشتر از شرایط اقلیمی و بویژه خشکسالی‌های منطقه، مقادیر بارش ماهانه، سالانه و فصلی ایستگاه به صورت نمودارهای نمرات استاندارد بارش و نمودار متوسط درجه حرارت ماهانه ارائه گردید. نمرات استاندارد بارش سالانه ایستگاه براساس جدول کوتیل (۱۹۹۶: ۷۳) به شش طبقه تقسیم شد (جدول ۱). از جدول مذکور جهت تحلیل خشکسالی و ترسالی استفاده گردید.

جدول (۱) طبقه‌بندی کوتیل براساس بارش سالانه

دوره خشک	نمره استاندارد (Z)	دوره مرطوب	نمره استاندارد (Z)
خشکی شدید	$Z \leq -1.5$	مرطوب شدید	$1.5 < Z$
خشک متوسط	$-0.5 \leq Z \leq -1.5$	مرطوب متوسط	$0.5 \leq Z \leq 1.5$
خشکی ضعیف	$-0.5 < Z < 0$	مرطوب ضعیف	$0 < Z < 0.5$

سپس براساس نتایج حاصله و بررسی سری مشاهدات و رفتار پدیده در گذشته با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی اقدام به ایجاد مدل مناسب جهت پیش‌بینی گردید. در راستای مدل نمودن داده‌ها پس از آنکه سری زمانی مشاهدات بارش و متوسط درجه حرارت به صورت جداگانه تهیه شد، اقدام به ایستادن کردن داده‌ها گردید.

در راستای مدل‌سازی یک سری زمانی یا به عبارت دیگر توصیف رفتار یک‌سری زمانی به زبان ریاضی سه مرحله کلی در نظر گرفته می‌شود (باکس و جنکینز، ۱۹۷۶).

۱- تشخیص مدل اولیه، ۲- برآورد پارامترهای مدل شناسایی شده، ۳- بررسی مناسبیت مدل.

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 است، لذا ابتدا لازم است تا سری داده‌ها ایستا گردند. یک سری زمانی ممکن است در میانگین و یا واریانس یا در هر دو نایستا باشد. روش مناسب برای ایستا کردن یک سری زمانی که در میانگین نایستا می‌باشد روش تفاضلی کردن و در مورد سری زمانی نایستا در واریانس راه حل مناسب تبدیلات باکس - کاکس می‌باشد.

نایستایی در میانگین

چنانچه یک سری زمانی در میانگین نایستا باشد، مهم‌ترین ابزار برای تبدیل آن به یک سری زمانی ایستا، استفاده از روش تفاضلی کردن می‌باشد که در زیر معرفی شده است ولی ابتدا باید عملگر پسرود را معرفی نمود (نیرومند، ۱۳۸۴).

عملگر پسرود

عملگر پسرود که با B نشان داده می‌شود، روی شاخص زمانی عمل کرده و آن را به اندازه یک واحد زمانی به عقب می‌برد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Bx_t = x_{t-1}$$

تفاضلی کردن

تفاضلی کردن مرتبه اول و دوم یک سری زمانی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\nabla x_t = x_t - x_{t-1}$$

$$\nabla^2 x_t = \nabla x_t - \nabla x_{t-1} = x_t - x_{t-1} - (x_{t-1} - x_{t-2}) = x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2}$$

∇ را عملگر تفاضلی می‌نامند. تفاضلی کردن مرتبه d را با $\nabla^d x_t$ نشان می‌دهند. در عمل با یک یا دو بار تفاضلی کردن می‌توان یک سری نایستای غیرفصلی را به یک سری ایستا تبدیل کرد. در صورت وجود عامل فصلی در سری نایستا تبدیلات پیچیده‌تری لازم است. با استفاده از عملگر پسر و تفاضلی کردن را می‌توان به صورت ساده‌تر زیر نوشت:

$$\nabla x_t = x_t - x_{t-1} = x_t - B(x_t) = (1-B)x_t$$

بنابراین می‌توان عملگر تفاضلی ∇ را به صورت زیر نوشت:

$$\nabla = 1 - B$$

$$\nabla^d = (1 - B)^d$$

نایستایی در واریانس

اگر به مرور زمان تغییرپذیری یک سری زمانی افزایش یابد بدین معنی است که سری مزبور نسبت به واریانس آن نایستا می‌باشد. چنانچه یک سری زمانی در میانگین ایستا و در واریانس نایستا باشد با استفاده از تبدیل مناسب باید اقدام به ایستاسازی واریانس نمود. ممکن است که سری هم در میانگین و هم در واریانس نایستا باشد، در این صورت ابتدا باید واریانس را ایستا نمود (نیرومند، ۱۳۸۴: ۲۲۶). یکی از روش‌های ایستاسازی واریانس روش تبدیلات باکس - کاکس است که در زیر توضیح داده شده است.

تبدیل باکس - کاکس

به طور کلی برای تبدیل واریانس، از تبدیل توانی زیر استفاده می‌شود که در آن λ را پارامتر تبدیل می‌نامند (نیرومند، ۱۳۸۴).

$$T(x_t) = x_t^{(\lambda)} = \frac{x_t^\lambda - 1}{\lambda}$$

روش کار ساخت مدل

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 (باکس و جنکینز، ۱۹۷۶). در هر مدل (p,d,q) ، p مربوط به تعداد مقادیر اتورگرسیون، q مربوط به تعداد مقادیر میانگین متحرک و d مرتبه تفاضل‌گیری نامیده می‌شود و تعداد دفعاتی را که برای رساندن سری به نوعی تعادل آماری لازم است، نشان می‌دهد. در یک مدل آریما، (p,d,q) را بخش غیرفصلی مدل گویند. p مرتبه ارتباط سری زمانی با گذشته خود و q ارتباط سری با عوامل مؤثر ساخت آن را نشان می‌دهد. تحلیل یک مدل سری زمانی در چند مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول مقادیر اولیه p ، d و q با روش خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) تعیین می‌گردد. 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 می‌گردد. سپس در مرحله دوم بررسی می‌گردد که آیا مقادیر p و q (به ترتیب نمایش‌دهنده اتورگرسیون و میانگین متحرک) می‌توانند در مدل باقی بمانند یا باید از آن خارج شوند. در مرحله سوم بررسی می‌گردد 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. در صورتی که سری زمانی از نوع فصلی باشد، در این حالت مدل حالتی دو بعدی پیدا می‌کند و در اصل بخشی از تغییرات سری زمانی به تغییرات درون هر فصل و بخش دیگر به تغییرات بین فصل‌های مختلف بر می‌گردد. نوع خاصی از مدل‌های فصلی که در عمل نتایج مناسبی را نشان داده و بر ساختار کلی مدل‌های آریما نیز منطبق است از سوی باکس و جنکینز (۱۹۷۶) به مدل فصلی ضرب‌پذیر نامیده می‌شود. این مدل به صورت $ARIMA(pdq)(PDQ)$ می‌باشد. سپس جهت ایده‌آل بودن مدل بایستی از الگوهایی جهت آزمایش مدل و مقایسه استفاده نمود تا بهترین مدل جهت پیش‌بینی انتخاب شود.

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 مقایسه الگوها معرفی شده‌اند که با روش‌های شناخت الگو متفاوت هستند. در بکارگیری مدل آریمای معیار AIC دقت بالاتری دارد و در مقایسه بین دو مدل آریمای جهت انتخاب بهترین معادله برازش داده شده، بهتر عمل می‌نماید (گارسون، ۲۰۰۷). آزمون و بررسی این ملاک‌ها توسط بسیاری از نرم‌افزارهای آماری قابل محاسبه است. در پژوهش حاضر نیز جهت مدل نمودن بارش و درجه حرارت و بررسی اثرات آنها روی یکدیگر از مدل آریمای با استفاده از نرم‌افزار ITSM و از تست AIC استفاده گردید. طبق این تست هر مرتبه‌ای که کمترین مقدار AIC را داشته باشد از نظر پیش‌بینی و تطبیق ایده‌آل می‌باشد. پس از تعیین نوع مدل و پارامترهای آن و تعیین مقدار AIC مناسب، جهت واسنجی و اعتبار سنجی مدل، سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۷-۱۳۸۶ به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و مقادیر مشاهده شده با مقادیر پیش‌بینی شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. در راستای تأیید مدل نیز از شاخص کارایی مدل (EF)¹ و نمودار همبستگی مقادیر مشاهده‌ای و تخمین زده شده استفاده گردید. شاخص مذکور کارایی مدل را نشان می‌دهد و دامنه تغییرات آن $-\infty$ تا ۱ است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد مدل بهتر است (رایس و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۴۰). معادله (۷) محاسبه شاخص EF را نشان می‌دهد. سپس با استفاده از مدل مناسب، پیش‌بینی مقادیر بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام و نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

O_i : مقدار مشاهده شده؛ P_i : مقدار تخمین زده شده؛ \bar{O} : متوسط مقادیر مشاهده شده؛ n : تعداد مشاهدات

نتایج و بحث

همانگونه که ذکر گردید به منظور ارائه شناخت بیشتر از شرایط اقلیمی و بویژه خشکسالی‌های منطقه، از جدول (۱) جهت تحلیل مقادیر بارش سالانه و فصلی ایستگاه استفاده گردید.

مقادیر بیشترین و کمترین مقدار بارش سالانه در طول دوره آماری مورد نظر و نمره Z استاندارد بارندگی در جدول (۲) نشان داده شده است. براساس طبقه‌بندی مذکور تعداد فصل‌های خشک و مرطوب در طول دوره آماری مورد نظر در جدول (۳) نشان داده شده است.

میزان تداوم خشکسالی‌های ۲ تا ۵ سال در فصل پاییز پنج مورد، در فصل زمستان دو مورد و در فصل بهار نیز دو مورد بوده است.

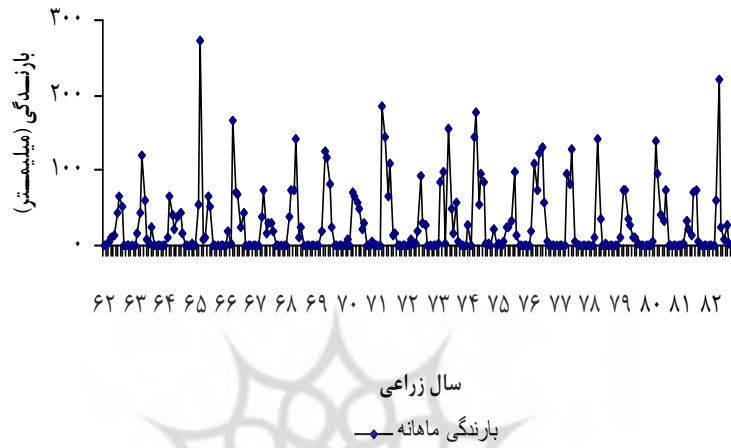
جدول (۲) مقادیر بیشترین و کمترین مقدار بارش سالانه در طول دوره آماری مورد نظر و نمره Z استاندارد بارندگی

سال زراعی	بارندگی (mm)	نمره Z استاندارد بارندگی
۱۳۷۴-۷۵	۶۱۱/۸	+۲/۱۵
۱۳۷۲-۷۳	۱۸۱/۲	-۱/۲۰

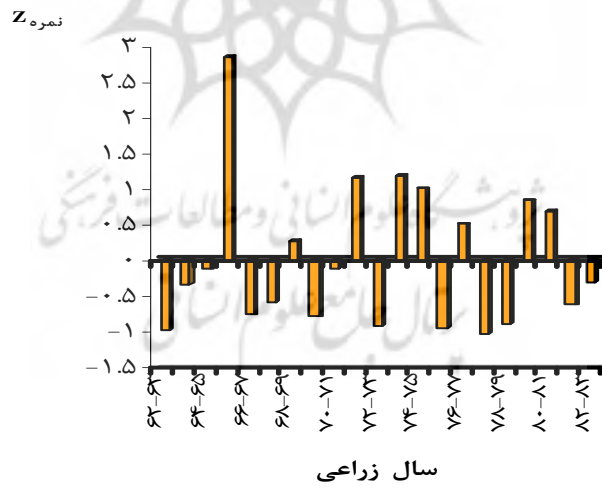
جدول (۳) تعداد فصل‌های خشک و مرطوب در طول دوره آماری مورد نظر

فصل	خشک (تعداد)	مرطوب (تعداد)
پاییز	۱۳	۸
زمستان	۱۲	۹
بهار	۱۱	۱۰

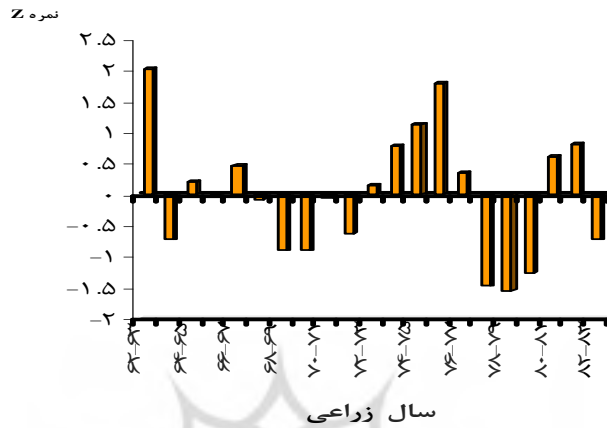
نمودار سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه و نمره استاندارد بارندگی به تفکیک سالانه و فصلی در شکل‌های (۲ تا ۶) نشان داده شده است.



شکل (۲) سری زمانی بارندگی ماهانه ایستگاه شیراز

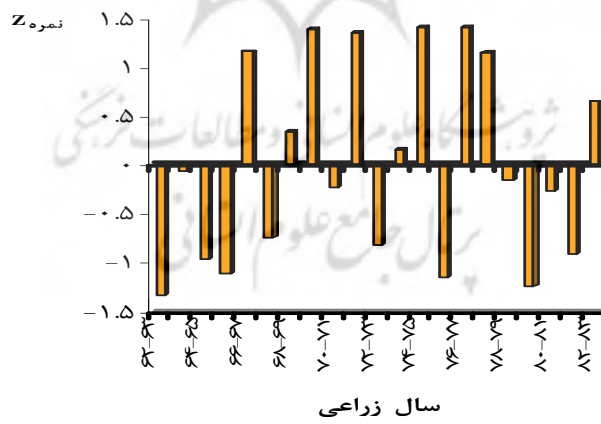


شکل (۴) Z شماره استاندارد بارندگی فصل پاییز ایستگاه شیراز

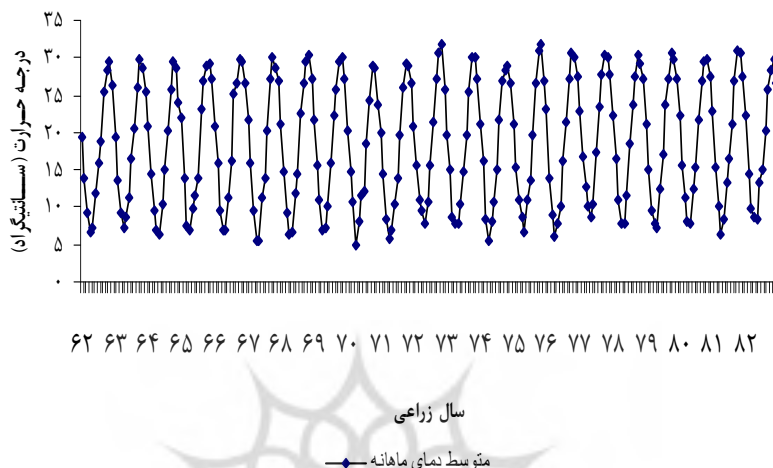


شکل (۵) نمره Z استاندارد بارندگی فصل زمستان ایستگاه شیراز

نمودار سری زمانی متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه شیراز در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۶) نمره Z استاندارد بارندگی فصل بهار ایستگاه شیراز



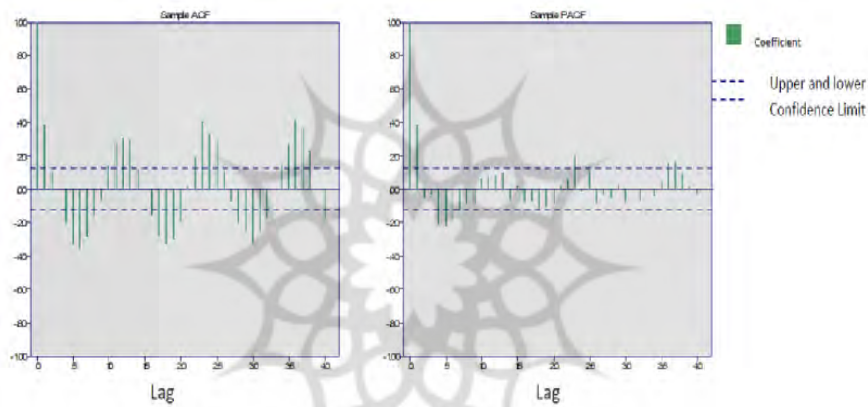
شکل (۷) سری زمانی متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه شیراز

مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه

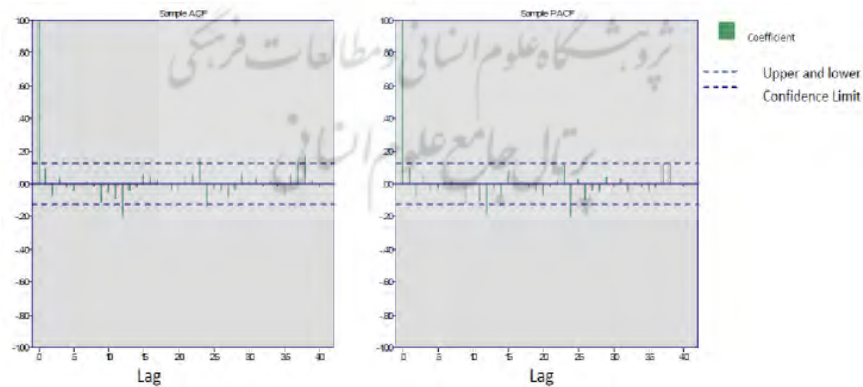
۱- بارندگی ماهانه

براساس شکل (۱) که سری زمانی بارش ماهانه ایستگاه شیراز را از سال زراعی ۶۳-۱۳۶۲ تا ۸۳-۱۳۸۲ نشان می‌دهد، با استفاده از نرم‌افزار ITSM نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی رسم گردید تا الگوی اولیه مدل مشخص گردد (شکل ۸). طبق این نمودارها تغییرات منظم فصلی در سری زمانی مشاهده می‌شود. با هر دوازده بار مشاهده، الگوی تغییرات سری زمانی تکرار می‌شود و میرایی سریع در همبستگی‌ها دیده نمی‌شود. در نتیجه سری ایستا نیست و دارای تغییرات فصلی ۱۲ است. با توجه به اینکه تغییرپذیری سری زمانی به مرور زمان افزایش می‌یابد، لذا سری داده‌ها در واریانس ایستا نیست و براساس روش باکس-کاکس و تغییرات فصلی ۱۲، ایستا گردید. نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی داده‌های ایستا شده در شکل‌های (۹) نشان داده شده است. جهت مدل‌سازی با روش خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF) بررسی مقادیر

مربوط به اتورگرسیو و میانگین متحرک انجام گرفت و در نهایت مدل مناسبی که جهت تخمین مقادیر بارش ایستگاه شیراز به دست آمد مدل $ARIMA(0\ 0\ 0)(2\ 1\ 0)_{12}$ می‌باشد. سپس برای تعیین پارامترها، مدل بر سری زمانی برازش داده شد و برای تأیید مدل حاصله از نمودار ACF و PACF باقیمانده‌ها استفاده شد (شکل ۱۰). طبق آن خود همبستگی‌ها در محدوده صفر قرار گرفتند و فرض استقلال و تصادفی بودن داده‌ها پذیرفته شد.

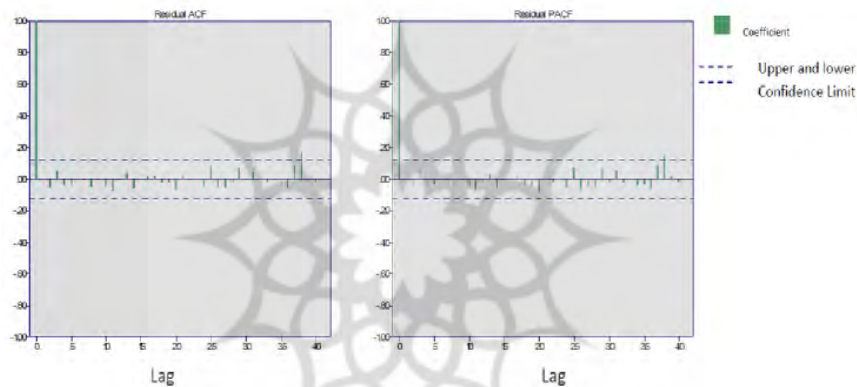


شکل (۸) نمودار تابع خود همبستگی (الف) خود همبستگی جزئی (ب) سری زمانی بارش شیراز

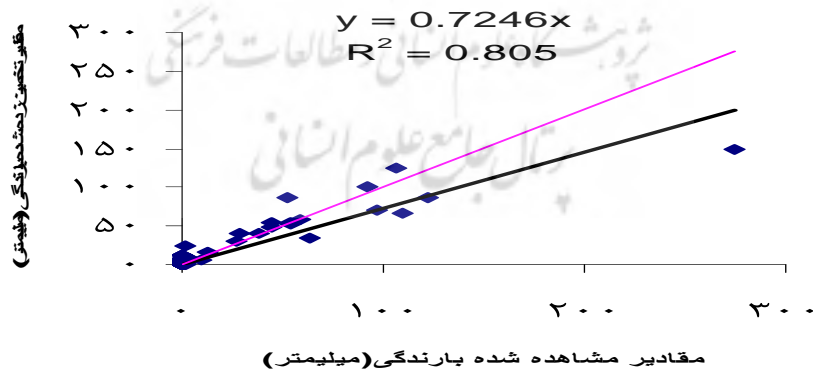


شکل (۹) نمودار خود همبستگی (الف) و خود همبستگی جزئی (ب) داده‌های ایستگاه بارش شیراز

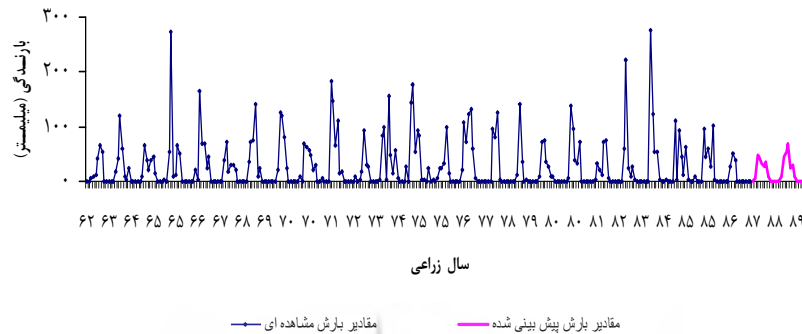
جهت بررسی دقیق‌تر مدل، آمار بارش سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۸۷-۱۳۸۶ ارزیابی و اعتبارسنجی گردید و نتایج نشان داد بیشتر داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده و روند آنها شبیه یکدیگر بوده و فقط در برخی از ماه‌ها که یک روند جهشی خشکسالی یا ترسالی وجود داشته، مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده با هم تفاوت دارند. همبستگی میان مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده مقادیر بارندگی و نمودار مقادیر بارش مشاهده شده (واقعی) و مقادیر پیش‌بینی شده سال‌های ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ با استفاده از مدل سری زمانی به دست آمده در شکل‌های (۱۱ و ۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۰) نمودار خود همبستگی (الف) و خود همبستگی جزئی (ب) باقیمانده‌های بارش ماهانه شیراز



شکل (۱۱) همبستگی مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده مقادیر بارندگی

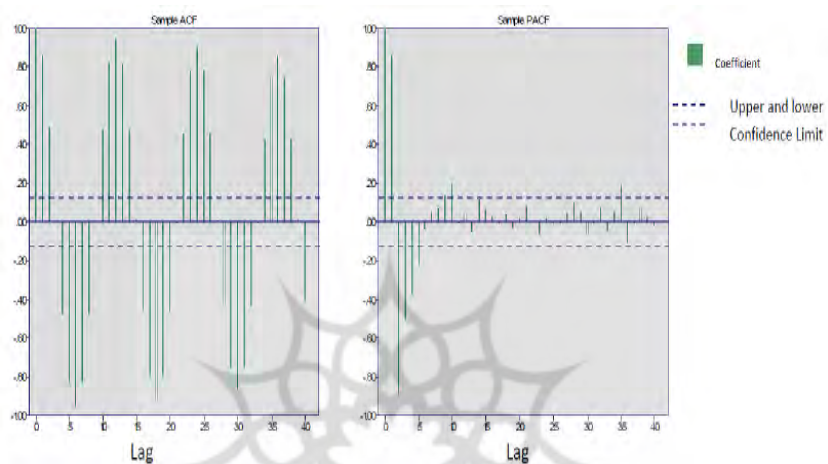


شکل (۱۲) نمودار مقادیر بارش مشاهده شده (واقعی) و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل سری زمانی

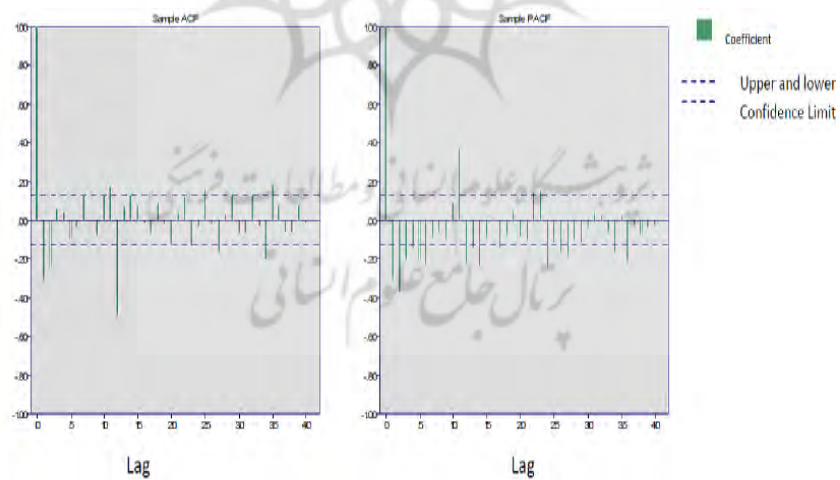
۲- متوسط درجه حرارت ماهانه

همانند مدل‌سازی بارش، براساس شکل (۷) که سری زمانی متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه شیراز را از سال زراعی ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۲ نشان می‌دهد، نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی رسم گردید تا الگو اولیه مدل مشخص گردد (شکل ۱۳). طبق این نمودارها نوسانات فصلی شدیدی در سری زمانی مشاهده می‌شود و با هر دوازده بار مشاهده، الگوی تغییرات سری زمانی تکرار می‌شود. این امر علاوه بر نوسانات فصلی نشان‌دهنده ایستا نبودن داده‌هاست و داده‌ها هم در میانگین و هم در واریانس نایستا هستند، لذا ابتدا از طریق روش باکس-کاکس و سپس از طریق روش تفاضلی، داده‌ها ایستا گردید. نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی داده‌های ایستا شده در شکل (۱۴) نشان داده شده است. پس از انجام مراحل مدل‌سازی، مدل مناسبی که جهت تخمین مقادیر متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه شیراز به دست آمد، مدل $ARIMA(2\ 1\ 0)(2\ 1\ 0)_{12}$ می‌باشد. در نهایت برای تعیین پارامترها، مدل بر سری زمانی برازش داده شد و برای تأیید مدل حاصله نمودار ACF و PACF باقیمانده‌ها نشان داده شده است (شکل ۱۵). همبستگی مقادیر مشاهده شده و تخمین زده مقادیر متوسط درجه حرارت ماهانه و نمودار مقادیر مشاهده شده (واقعی)

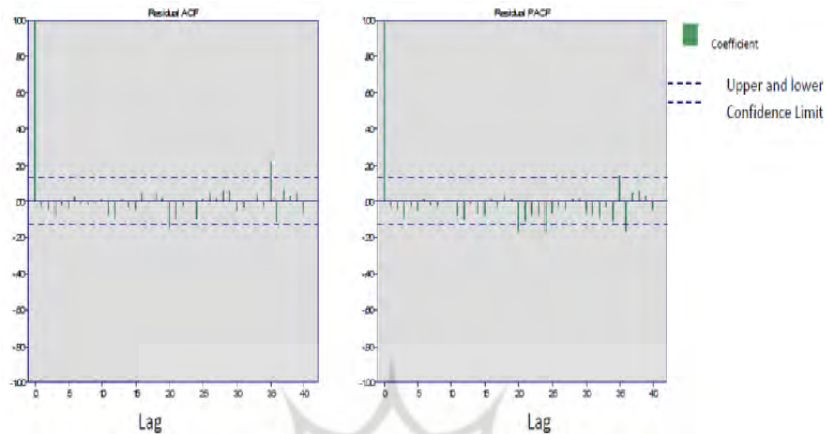
و مقادیر پیش‌بینی شده سال‌های ۱۳۸۷-۸۸ و ۱۳۸۸-۸۹ با استفاده از مدل سری زمانی به دست آمده در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) نشان داده شده است.



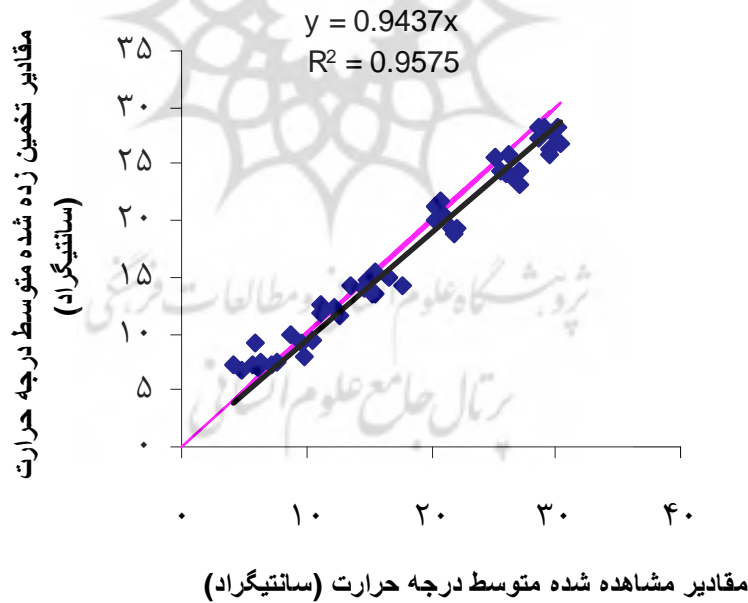
شکل (۱۳) نمودار تابع خود همبستگی (الف) و خود همبستگی جزئی (ب) سری زمانی متوسط درجه حرارت ایستگاه شیراز



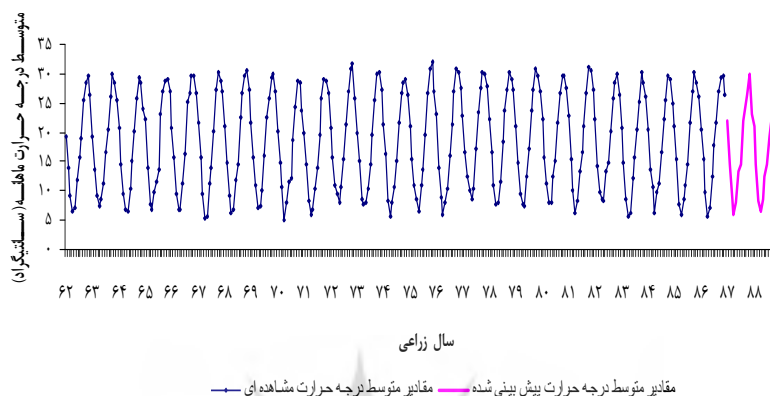
شکل (۱۴) نمودار خود همبستگی (الف) و خود همبستگی جزئی (ب) داده‌های ایستگاه متوسط درجه حرارت ماهانه شیراز



شکل (۱۵) نمودار خود همبستگی (الف) و خود همبستگی جزئی (ب) باقیمانده‌های متوسط درجه حرارت ماهانه شیراز



شکل (۱۶) همبستگی مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده مقادیر متوسط درجه حرارت ماهانه



شکل (۱۷) نمودار مقادیر متوسط درجه حرارت ماهانه مشاهده شده (واقعی) و مقادیر پیش‌بینی شده با استفاده از مدل سری زمانی

در تحقیقات پیشین نیز جهت پیش‌بینی بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهانه ایستگاه بیرجند از مدل ضربی باکس-جنکینز و معیار AIC استفاده شده است و نتایج حاکی از بالا بودن دقت مدل جهت پیش‌بینی است و به کمک آن می‌توان درجات مختلف خشکی را نیز تخمین زد (بنی‌واهب و علیجانی، ۱۳۸۴: ۳۸). همچنین جهت شبیه‌سازی و مدل‌سازی خشکسالی استان فارس با استفاده از روش باکس-جنکینز، براساس روش خود همبستگی و خود همبستگی جزئی، ارزیابی الگوها به لحاظ ایستا بودن و بررسی انواع مدل‌ها، مدل ARIMA انتخاب گردید و مناسب‌ترین مدل براساس معیار AIC جهت شبیه‌سازی خشکسالی در هر منطقه تعیین و ارائه گردید (شمس‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۶۸). با توجه به مطالعات پیشین و مطالعه حاضر تحلیل سری‌های زمانی و مدل باکس-جنکینز با در نظر گرفتن معیار AIC در مقایسه مدل‌های موجود، روش قابل اطمینان جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی و اقلیمی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

خشکسالی‌های اخیر استان فارس با مرکزیت شهر شیراز موجب خسارات زیادی شده است.

به منظور جلوگیری از تکرار این نوع خسارات سنگین شناخت این نوسانات در طول دوره آماری و پیش‌بینی آنها در برنامه‌ریزی‌ها ضروری است. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای اقلیمی بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه و بررسی نمودارها نشان داد:

۱- تغییرات بارش منطقه شیراز، وجود خشکسالی‌های شدید و گاه طولانی مدت را نشان می‌دهد.

۲- به طور کلی در فصل زمستان ۱۲ مورد خشکسالی دیده شده که از این تعداد ۸ مورد خشکسالی متوسط تا شدید بوده است.

۳- به منظور پیش‌بینی پارامترهای مورد مطالعه از مدل باکس-جنکینز استفاده شد که در نهایت با ارائه مدل نهایی، ارزیابی گردید. جهت ارزیابی مدل مقایر شاخص کارایی مدل (EF) جهت بارندگی، $0/7$ و جهت متوسط درجه حرارت $0/94$ به دست آمد که نشان از کارایی بالای مدل دارد. همچنین ضریب همبستگی مربوط به بارندگی $0/8$ و جهت مقادیر متوسط درجه حرارت $0/95$ به دست آمد. لذا با توجه به مناسب بودن دقت، می‌توان از آن جهت پیش‌بینی تغییرات بارش و متوسط درجه حرارت ماهانه شیراز استفاده نمود و پس از پیش‌بینی با مقایسه مقادیر به دست آمده و با توجه به آستانه‌ها، درجه‌های مختلف خشکسالی و شدت آنها را تعیین نمود.

۴- در شکل (۹) که نمودار ACF و PACF بارش را نشان می‌دهد، به دلیل آنکه در Lag12، نمودار ACF از محدوده اطمینان تجاوز نموده است، لذا وجود نوسانات سالانه در بارش ایستگاه شیراز به اثبات می‌رسد. در نمودار PACF نیز چنین روندی مشاهده می‌شود. در مورد متوسط درجه حرارت ماهانه نیز علاوه بر نوسانات فصلی و سالانه (Lag12)، تغییرات خارج از این روند دوره‌ای هم دیده می‌شود (شکل ۱۴).

۶- براساس سری زمانی بارندگی ماهانه در طول دوره آماری مورد نظر هر ۷ تا ۱۰ سال یکبار خشکسالی ملایم تا شدیدی که ناشی از کمبود بارش باشد، قابل مشاهده است. در پژوهشی در رابطه با ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی در استان فارس نتایج نشان داد دوره تناوب خشکسالی ملایم در شیراز ۷ سال، خشکسالی متوسط ۸ سال و خشکسالی شدید ۱۵

سال می‌باشد (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۰). با توجه به این امر وقوع خشکسالی‌های اخیر نیز بر همین اساس بوده است، با این تفاوت که شدت آن بیشتر شده است. به همین دلیل خشکسالی ناشی از کمبود بارش در سال‌های آتی نیز وجود خواهد داشت و با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته با وجود تداوم خشکسالی، احتمال افزایش بارش وجود دارد. در مورد متوسط درجه حرارت ماهانه نیز روند صعودی دما بویژه در سال‌های اخیر وجود دارد. پیش‌بینی متوسط درجه حرارت نیز نشان‌دهنده افزایش دما همراه با کاهش دامنه تغییرات می‌باشد.

همچنین با توجه به نتایج به طور کلی و صرف‌نظر از اقلیم، روش سری زمانی در مدل‌سازی درجه حرارت هوا نسبت به مدل‌سازی بارش توانا تر بوده است. ضعف این روش در مدل‌سازی بارش را می‌توان ناشی از آنومالی‌های زیاد و نوسان بارندگی به دلیل وجود متغیرهای تأثیرگذار در آن دانست. این نوسانات سبب می‌گردد که مدل‌های سری زمانی با وجود تمام قابلیت‌ها قادر به پیش‌بینی قاطع این پارامتر نباشند. در این راستا جهت دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر در خصوص پیش‌بینی بارش پیشنهاد می‌شود از مدل‌های غیرخطی که عوامل تأثیرگذار دیگر را نیز لحاظ می‌کنند، استفاده گردد.

منابع

- ۱- بنی‌واهب، ع. و علیجانی، ب. (۱۳۸۴)، «بررسی خشکسالی و ترسالی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم منطقه بیرجند با استفاده از مدل‌های آماری»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۷(۵۲): ۳۳-۴۶.
- ۲- پروین، ن. (۱۳۸۰)، «بررسی خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و ادبیات انسانی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۳- پیرمردیان، ن.، شمس‌نیا، س.ا.، بوستانی، ف. و شاهرخ‌نیا، م.ع. (۱۳۸۷)، «ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس»، *مجله دانش نوین کشاورزی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه، سال چهارم، شماره سیزدهم، صفحه ۲۱-۷.
- ۴- ترابی، س. (۱۳۸۰)، «بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران»، (پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی)، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
- ۵- جهانبخش، س. و باباپور باصر، ع.ا. (۱۳۸۲)، «بررسی و پیش‌بینی متوسط دمای ماهانه تبریز با استفاده از مدل آریما (ARIMA)»، *مجله تحقیقات جغرافیایی*، ۱۸(۳): ۳۴-۴۶.
- ۶- شمس‌نیا، س.ا.، پیرمردیان، ن. و امیری، س.ن. (۱۳۸۸)، «مدلسازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دانشگاه تبریز، سال چهاردهم، شماره ۲۸، صفحه ۱۶۵-۱۸۹.
- ۷- نیرومند، ح. و بزرگ‌نیا، ا. (۱۳۸۵) «سری‌های زمانی»، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۲۷۶ صفحه.
- ۸- نیرومند، ح. (۱۳۸۴)، «تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی»، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۰۰ صفحه.
- 9- Barry, R.G. (2001), "Synoptic and Dynamic Climatology", Routledge, P 620.
- 10- Box, G.E.P and Jenkins, G.M. (1976), "Time Series Analysis", Forecasting and Control, Holden-Day Pulication.

- 11- Garson, D. (2007), "**Time Series Analysis**", www2.chass.Ncsu.edu/garson/pa765/time.htm.
- 12- Kuticl, H. (1996), "Circulation and Extreme Rainfall Conditions in the Eastern Mediternean during the Last Century", *International Journal of Climatology*, 16: 73-92
- 13- Leite, S. Mand, J.P. and Peixoto (1996), "The Autoregressive Model of Climatological Time Series an Application to the Longest Time Series in Portugal", *International Journal of Climatology*, 16: 1165-1173.
- 14- Raes, D., Greet, S., Kipkorir, E., Wellens, J. and Sahli, A. (2006), "Simulation of Yield Decline as a Result of Water Stress with a Robust Soil Water Balance Model", *Agricultural Water Management*, 81: 335-357.
- 15- Sen Zekai (1998), "Small Sample Estimation of the Variance of Time Average in Climate Time Series", *International Journal of Climatology*, 18:1725-1732.
- 16- Shahidi, N. Rahnamaei, M. Sharifan, R.A. and Nematollahi, A.R. (2010), "Modeling and Forecasting Groundwater Level Fluctuations of Shiraz Plain Using Advanced Statistical Models", *International Conference on Environmental Engineering and Applications* (ICEEA 2010), 10-12 Sep. Singapore.
- 17- Turkes. M.M. (1996), "Observed Change in Temperature in Turkey", *International Journal of Climatology*, 16: 463-477.