علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی۳، پاییز ۹۶، ص. ۱۴۹-۱۳۷

بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی آریما و هالت وینترز در پیش بینی دما و بارش ماهانه (مطالعه موردی: ایستگاه لتیان)

لیلا گودرزی[۱] و عباس روزبهانی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.
۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران. roozbahany@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۰

چکیده

پارامترهای اقلیمی از جمله دما و بارش نقش مهمی در مدیریت منابع آب حوضه‌آبریز و برنامه‌ریزی‌های کشاورزی دارند. از جمله مدل‌های پیش بینی کوتاه مدت این پارامترها، مدل‌های سری زمانی هستند. در تحقیق حاضر، توانایی مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی دما و بارش ماهانه ایستگاه لتیان مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا به کمک آزمون من‌کندال فصلی روند داده‌ها بررسی گردید و سپس مدل‌های مختلف خودهمبسته با میانگین متحرک و همچنین مدل سری زمانی هالت‌وینترز بر داده‌ها برازش داده شد و در نهایت بهترین مدل سری زمانی انتخاب شد. در نتیجه‌ی آزمون من‌کندال فصلی، روند مشخصی در سری ماهانه بارش مشاهده نگردید اما سری ماهانه دما دارای روند افزایشی معنی‌دار می‌باشد. نتایج پیش بینی توسط مدل‌های آریمای فصلی، نشان دهنده قابلیت بالای این مدل‌ها در پیش‌بینی دمای ماهانه می‌باشد و مدل $_{12}$(۲ ۰ ۱) (۱ ۰ ۰) به عنوان مدل سری زمانی مناسب برای داده‌های دما تشخیص داده شد. اگرچه مدل هالت‌وینترز نیز از دقت بالایی در پیش بینی دما برخوردار است اما نسبت به مدل آریما دارای خطای بیشتری است. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های آریمای فصلی و مدل هالت‌وینترز قابلیت بالایی در پیش‌بینی مقادیر بالای بارش ماهانه در ایستگاه لتیان ندارند. این مدل‌هاعمدتاً مقادیر بارش‌های پایین و متوسط را بهتر برآورد می‌کنند و تخمین‌گر مناسبی در بارش‌های بالا نیستند. نتایج این تحقیق کمک شایانی به پیش‌بینی موثر رواناب حوضه‌ها و به تبع آن افزایش اعتماد پذیری سیستم‌های منابع آب خواهد نمود.

کلید واژه‌ها: سری زمانی، آزمون من‌کندال فصلی، مدل آریمای فصلی، مدل هالت‌وینترز، لتیان.

مقدمه

امروزه جهان شاهد تغییرات اقلیمی زیادی است. تغییرات اقلیمی تأثیر زیادی در بخش‌های مختلف جهان و به‌ویژه در بخش کشاورزی دارد(عیوضی و مساعدی،۱۳۸۹، غریب دوست و همکاران، ۱۳۹۶). منابع آب حساسیت بسیار بالایی به تغییرات و نوسانات اقلیمی نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی که در مدیریت منابع آب باید مورد بررسی قرار گیرد بارش است. چرا که ورودی سیکل هیدرولوژی در یک ناحیه بوده و بیشترین نوسانات را در بین سایر عناصر اقلیمی دارد. این مسئله به خصوص در کشور ایران که متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است اهمیت دارد (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۰). پارامتر دیگر اقلیمی دما است که تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. به همین دلیل بررسی روند دما در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی را به خود اختصاص داده است (اسدی و حیدری، ۱۳۹۰). از این رو پیش‌بینی دما و بارش در آینده نقش بسزایی دارد. استفاده از سری‌های زمانی امروزه به عنوان ابزاری مناسب برای پیش‌بینی‌های مختلف به کار می‌رود. منظور از یک سری زمانی، مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند و روش‌های آماری که این‌گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهند، تحلیل سری زمانی نامیده می‌شوند(بشری و وفاخواه، ۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی دو هدف را دنبال می‌کنند. ابتدا مدل کردن مکانیسم تصادفی و دوم پیش‌بینی مقادیر آینده سری که بر مبنای گذشته آن صورت می‌گیرد(مهر و ژا[۱]، ۲۰۱۳).

تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه پیش بینی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی با استفاده از سری زمانی انجام شده است. کاوشیک و سینگ[۲] (۲۰۰۸) به پیش‌بینی دما و بارش ماهانه در هند با استفاده از مدل آریمای فصلی پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از توانایی این مدل در پیش‌بینی دما و بارش ماهانه است. مهسین[۳] و همکاران (۲۰۱۲) از مدل آریمای فصلی برای مدل‌سازی رواناب ماهانه استفاده و مقادیر رواناب را برای دوسال آینده پیش‌بینی کردند. سامپسون و همکاران[۴] (۲۰۱۳) با استفاده از مدل آریمای فصلی به پیش‌بینی بارش در غنا پرداختند. از دیگر تحقیقات انجام شده با استفاده از مدل آریما می توان به تحقیقات نیل و مومانی[۵]

1- Meher and Jha
2- Kaushik and Singh
3- Mahsin *et al.*
4- Sampson *et al.*
5- Naill and Momani

(۲۰۰۹)، تولارام و آیلاهی[1] (۲۰۱۰) و موندال و همکاران[2] (۲۰۱۴) اشاره کرد.دیگر مدل‌های سری زمانی از جمله مدل هالت‌وینترز نیز در تحقیقاتی مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله گاندالیا و هولاکیا[3] (۲۰۱۲) با استفاده از روش هالت‌وینترز، دمای کمینه و بیشینه منطقه جوناگاد در ایالت گجرات کشور هند را پیش‌بینی کردند.کاستا و همکاران[4] (۲۰۱۵) به پیش‌بینی پارامترهای کیفی آب با استفاده از مدل هالت‌وینترز پرداخته و کارایی این روش را در پیش‌بینی نشان دادند.

از جمله تحقیقات صورت گرفته در ایران می‌توان به پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه با استفاده از مدل خودهمبسته تجمعی میانگین متحرک و رگرسیون فازی توسط پرویز و همکاران (۱۳۸۸)، تحلیل الگوهای سری زمانی بارش در ایستگاه هواشناسی خوی توسط میرموسوی و همکاران (۱۳۹۳)، تحلیل توانایی مدل میانگینمتحرک جامع خودهمبسته برای پیش‌بینی دوسال آینده جریان روزانه ورودی به مخزن سد دز توسط بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۱) و بررسی خشکسالی‌ها- ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینیآن‌ها با استفاده از مدل سری زمانی هالت‌وینترز در استان هرمزگان توسط عزیزی و روشن (۱۳۸۴)اشاره نمود.

در ایران بیشتر از مدل‌های سری زمانی آریما جهت پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی استفاده شده است. اگرچه کارایی مدل‌های دیگر از جمله هالت‌وینترز نیز در برخی تحقیقات ارزیابی شده است اما غالبا این تحقیقات در زمینه پیش‌بینی اقلیمی و هیدورلوژیکی نیستند. در تحقیق حاضر، سعی بر انتخاب بهترین مدل سری زمانی برای پیش‌بینی مقادیر ماهانه دما و بارش در ایستگاه لتیان در ایران می‌باشد که بدین منظور از مدل‌های آریمای فصلی[5] و مدل هموارسازی نمایی هالت‌وینترز[6] استفاده شده است.

مدل‌سازی سری زمانی

الف) مدل سری زمانی آریما

آریما یکی از مدل‌های پیش بینی کوتاه مدت در تحلیل سری زمانی است (چانگ و همکاران[7]، ۲۰۱۲). این مدل توسط باکس و جنکینز در اوایل دهه ۱۹۷۰ ارائه شد. مدل‌های باکس جنکینز دو شکل کلی دارند که عبارتند از آریمای غیر فصلی (ARIMA(p,d,q)) و آریمای فصلی ضربی (SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$_S$). p و q به ترتیب مرتبه اتورگرسیو و میانگین متحرک غیر فصلی و P و Q مرتبه اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی d و D به ترتیب تعداد تفاضل‌های غیر فصلی و فصلی را نشان می‌دهد (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). شکل کلی مدل آریمای فصلی در رابطه (۱) و آریمای غیرفصلی در رابطه ۲ ارائه گردیده است (مهر و ژا، ۲۰۱۳).

$$[1-\varphi_1(B)-\varphi_2(B)^2-\cdots-\varphi_P(B)^P]*X_t = c + [1-\theta_1(B)-\theta_2(B)^2-\cdots-\theta_P(B)^P]*e_t \quad (۱)$$

که در این رابطه، φ_i : نشان دهنده مرتبه اتورگرسیو و θ_i : نشان دهنده مرتبه میانگین متحرک، c: مقدار ثابت، e_t : خطا در زمان t، $(B)^P$: p امین عامل عقب برنده و X_t: مقدار سری زمانی در زمان t است.

$$\varphi_{AR}(B)\varphi_{SAR}\left(B^S\right)^P(1-B)^d\left(1-B^S\right)^D X_t = C + \theta_{MA}(B)\theta_{SMA}\left(B^S\right) \quad (۲)$$

که S: نشان دهنده دوره تناوب فصلی، φ_{AR} : پارامتر اتورگرسیو غیرفصلی، φ_{SAR} پارامتر اتورگرسیو فصلی، θ_{MA}: پارامتر میانگین متحرک غیرفصلی و θ_{SMA} : پارامتر میانگین متحرک فصلی است.

ب- مدل سری زمانی هالت وینترز

سری‌های زمانی بسیاری وجود دارند که نمی‌توانند به وسیله یک چند جمله‌ای به طور مناسب مدل‌سازی شوند. مثلاً یک سری زمانی با تغییرات فصلی یا سیکلی را نمی‌توان به آسانی بوسیله یک مدل چند جمله‌ای معرفی کرد.

برای پیش بینی سری زمانی فصلی از نتیجه کار هالت و وینترز استفاده می‌شود (کهنسال و همکاران، ۱۳۹۱).

$$X_t = (a_1 + b_2 t)C_t + \varepsilon_t \quad (۳)$$

C_t : یک عامل فصلی ضرب‌پذیر و b: پارامتری نامعلوم است که با روش کم‌ترین مربعات تخمین زده می‌شود.

مدل فصلی ضرب‌پذیر برای سری زمانی مناسب است که در آن دامنه یا ارتفاع الگوی فصلی متناسب با سطح متوسط سری باشد. به عبارتی اندازه اثر فصلی با میانگین نسبت مستقیم دارد. در این روش به طور دوره‌ای تخمین پارامترهای مدل مورد تجدید نظر قرار می‌گیرد. در انتهای دوره جاری T پس از مشاهده رخداد برای آن دوره (X_t) محاسبات زیر انجام می‌شود:

۱-اصلاح تخمین مؤلفه ثابت:

$$\hat{a}_1(T) = \alpha\frac{X_T}{\hat{C}_T(T-L)} + (1-\alpha)[\hat{a}_1(T-1) + \hat{b}_2(T-1) \quad (۴)$$

که در آن، ۱>α>۰ ثابت هموارسازی است. تقسیم X_T بر $\hat{C}_T(T-L)$ که تخمین عامل فصلی برای پریودTبوده که یک فصل قبل (L پریود قبل)محاسبه شده است، داده را از فصلی بودن خارج می‌کند به نحویکه در فرآیند اصلاح $\hat{a}_1(T)$ تنها مؤلفه روند و مقدار قبلی مولفه ثابت وارد می‌شوند. اینکار مبدأ زمان را به انتهای پریود جاری منتقل می‌کند.

1- Tularam and Ilahee
2- Mondal *et al.*
3-Gundalia and Dholakia
4- Costa *et al.*
5- Seasonal ARIMA
6-Holt Winters
7 - Chang *et al.*

۲- اصلاح تخمین مؤلفه روند:

$$\hat{b}_2 = \beta[\hat{a}_1(T) - \hat{a}_1(T-1)] + (1-\beta) \qquad (۵)$$

که در آن، ۱>β>۰ ثابت هموارسازی دوم است.

۳- اصلاح تخمین عامل فصلی برای دوره T

$$\hat{C}_T(T) = \gamma \frac{X_T}{\hat{a}_1(T)} + (1-\gamma)\hat{C}_T(T-L) \qquad (۶)$$

که در آن، ۱>γ>۰ ثابت هموارسازی سوم است.

۴- پیش‌بینی مشاهده هر دوره آینده $T+\tau$

$$\hat{X}_{T+\tau}(T) = [\hat{a}_1(T) + \hat{b}_2(T)\tau]\hat{C}_{T+\tau}(T+\tau-L) \qquad (۷)$$

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد لتیان سدی است روی رودخانه جاجرود که در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی تهران و در لواسانات قرار دارد. این سد بتنی یکی از منابع اصلی تأمین آب تهران می‌باشد که ۳۰ درصد از آب شرب شهر تهران را تأمین می‌نماید. مدیریت بهینه و برنامه‌ریزی منابع آب سد لتیان، وابسته به دقت پیش‌بینی‌هایی است که با مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های مجاور آن انجام می‌شود. در این تحقیق به منظور بررسی کارایی مدل‌های سری زمانی در پیش بینی پارامترهای اقلیمی، از داده‌های دما و بارش ماهانه ایستگاه لتیان که نزدیک‌ترین ایستگاه به سیستم رودخانه و سد نامبرده است، در طول دوره آماری ۴۴ ساله استفاده شده است. این ایستگاه در طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ارتفاع ۱۶۶۰ متر از سطح آب دریای آزاد قرار گرفته است. لازم به ذکر است که از داده‌های دوره‌های ۴۷-۱۳۴۶ تا ۸۲-۱۳۸۱ برای واسنجی پارامترهای مدل و از داده‌های ۸۳-۱۳۸۲ تا ۹۰- ۱۳۸۹ برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شده است.

روش تحقیق

قبل از برازش مدل و تعیین پارامترهای آن، لازم است ایستایی سری زمانی، بررسی شود. ایستایی سری‌های زمانی ابتدا در واریانس و سپس در میانگین بررسی می‌شود. در این مطالعه برای بررسی ایستایی واریانس از تبدیل باکس کاکس و برای بررسی روند از آزمون من‌کندال فصلی استفاده شده است. تبدیل باکس کاکس به صورت زیر تعریف شده است:

$$T(x_t) = \frac{{x_t}^{\lambda}-1}{\lambda} \qquad (۸)$$

λ: پارامتر تبدیل، x_t: مقدار اولیه متغیر در زمان t و $T(x_t)$: مقدار تبدیل یافته نظیر است. این تبدیل قبل از تفاضلی‌کردن صورت می‌گیرد.

مرحله بعد در تحلیل سری زمانی تعیین مرتبه مدل و انتخاب بهترین مدل می‌باشد. برای تخمین پارامترهای مدل یا از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی استفاده می‌شود و یا تخمین پارامترها در یک فرآیند تکرار همراه با حداقل کردن خطای پیش بینی صورت می‌گیرد. بعد از مشخص شدن مدل، پارامترها باید از نظر معنی‌داری مورد آزمون قرار گیرند. اگر θ: برآورد نقطه‌ای از پارامتر مورد نظر و s_θ: خطای برآورد باشد، مقدار آماره t به صورت زیر خواهد بود (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۰):

$$t = \frac{\theta}{s_\theta} \qquad (۹)$$

اگر فرض صفر (H_0: θ=0) در آزمون رد شود، پارامتر در مدل باقی می‌ماند. بررسی صحت مدل‌های برازش داده شده به وسیله تحلیل خطاها صورت می‌گیرد. خطاها باید نرمال و مستقل باشند. نمودار خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی خطاها نباید دارای روند و فصلیت باشد (گرتسادیکان و شارما[1]، ۲۰۱۱).

اگر برای یک مجموعه داده چند مدل قابل قبول وجود داشته باشد، انتخاب مدل بهتر بر مبنای آماره‌های خلاصه شده‌ای است که از باقی‌مانده‌های مدل برازش شده محاسبه می‌شود. در این تحقیق برای انتخاب مدل مناسب از بین چند مدل، از معیار آکائیک استفاده شده است. مدل دارای حداقل مقدار در معیار ذکر شده، به عنوان مدل منتخب معرفی می‌گردد. رابطه ریاضی معیار آکائیک به صورت زیر است (بشری و وفاخواه، ۱۳۸۹، بهمنی و همکاران، ۱۳۹۲):

$$AIC = 2K + n\left[Ln\left(\frac{RSS}{n}\right)\right] \qquad (۱۰)$$

که در آن RSS: مجموع مربعات باقیمانده‌ها، n: تعداد داده‌ها و k: تعداد پارامترهای مدل است.

نتایج و بحث

مدل‌سازی دمای هوا

مدل آریما

شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب نمودار سری زمانی، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی دمای ماهانه ایستگاه لتیان را نشان می‌دهند. با توجه به وجود موج سینوسی در نمودار خودهمبستگی می‌توان نتیجه گرفت که سری زمانی فصلی است. روند کاهش تدریجی مقادیر همبستگی در تأخیرهای فصلی، ناایستایی سری زمانی را نشان می‌دهد (دوبره[2]، ۲۰۱۴). نمودار تبدیل باکس کاکس در شکل ۴ ارائه شده است. پارامتر تبدیل λ

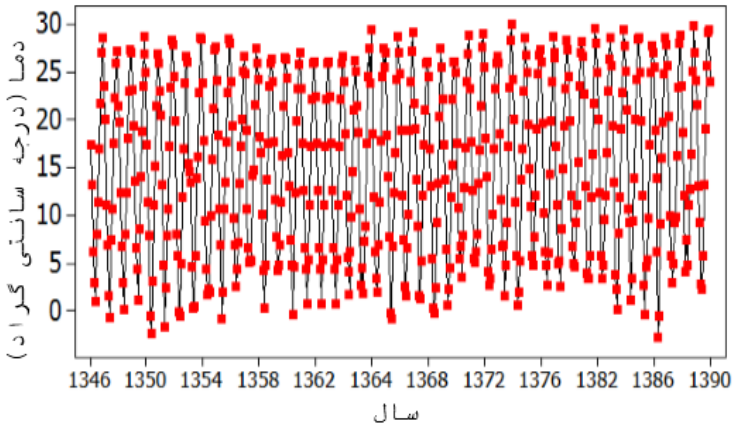
1 - Gerretsadikan and Sharma
2 - Dobre

براساس این نمودار انتخاب می‌شود. همچنین در جدول (۱) نتایج حاصل از تبدیل باکس کاکس و آزمون من‌کندال ارائه شده است.

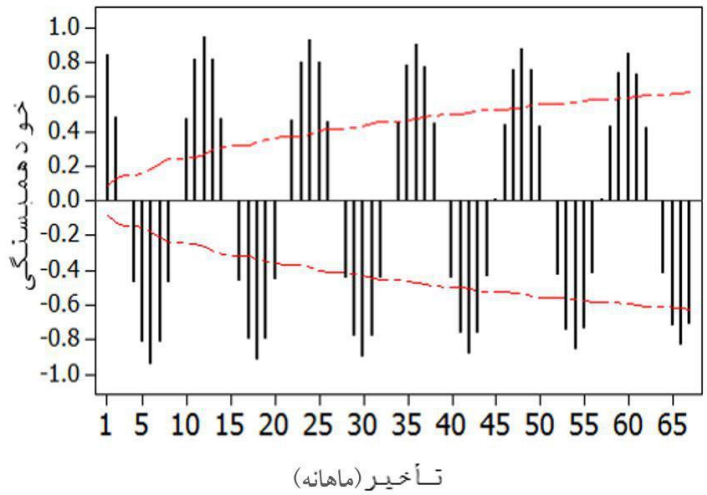
مطابق جدول (۱)، در آزمون من کندال، فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در داده‌ها رد می‌شود. بنابراین داده‌ها دارای روند هستند.مقدار پارامتر تبدیل λ در تبدیل باکس کاکس نشان دهنده ناایستایی در واریانس است که جهت ایستا کردن واریانس، تمام داده‌ها به توان λ رسانده می‌شوند.

برای تشخیص مدل مناسب، تفاضل‌گیری فصلی مرتبه یک (D=1) برای حذف حالت فصلی و ایستا کردن میانگین سری زمانی اعمال شد. سپس توابع خود همبستگی و خود همبستگی جزیی برای سری تبدیل یافته ترسیم گردید (شکل‌های ۵ و ۶).

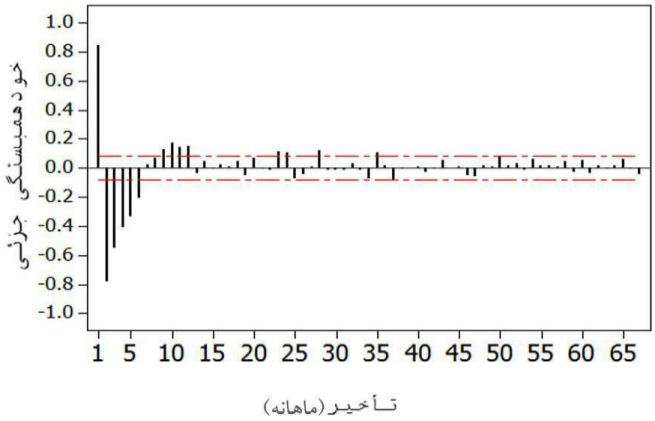
در مرحله بعد، مدل‌های مناسب از طریق سعی و خطا انتخاب شدند و بهترین مدل با توجه به معیار آکاییک و خطای جذر میانگین مربعات معرفی گردید. مدل منتخب برای پیش‌بینی دما، مدل آریمای فصلی $(۱\ ۰\ ۰)(۲\ ۰\ ۱)_{۱۲}$ می‌باشد که پارامترهای آن در جدول (۲) ارائه شده است.



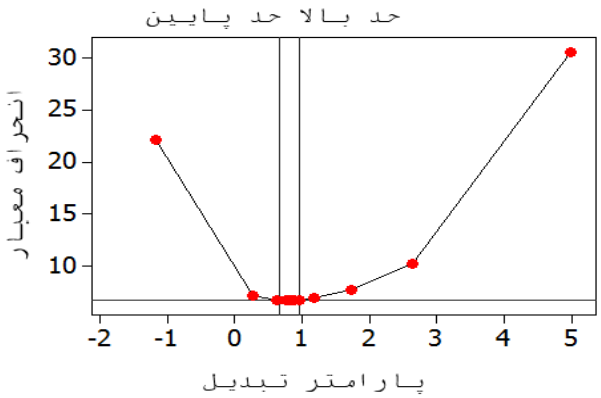
شکل ۱- نمودار سری زمانی دما



شکل ۲- نمودار خودهمبستگی دما



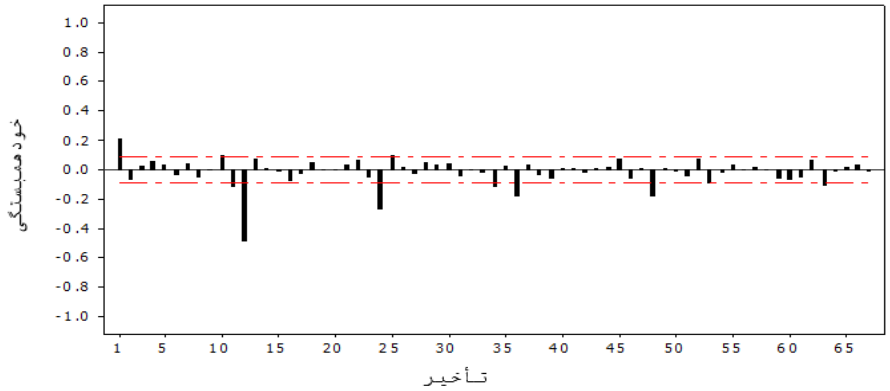
شکل ۳- نمودار خودهمبستگی جزیی دما



شکل ٤- نمودار باکس کاکس دما

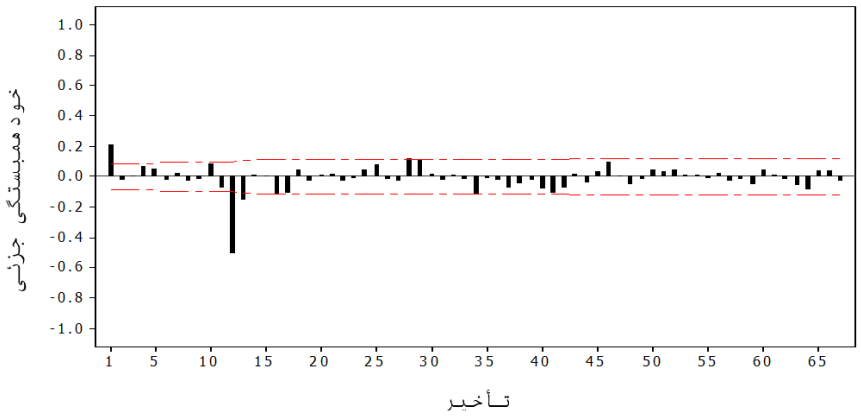
جدول ۱- تبدیل باکس کاکس و آزمون من کندال برای سری زمانی دما

ایستگاه	پارامتر تبدیل	آماره من کندال	مقدار p
لتیان	۰/۸۰۵	۰/۱۵۷	<۰/۰۰۰۱



شکل۵-نمودار خودهمبستگی دما بعد از تفاضل‌گیری

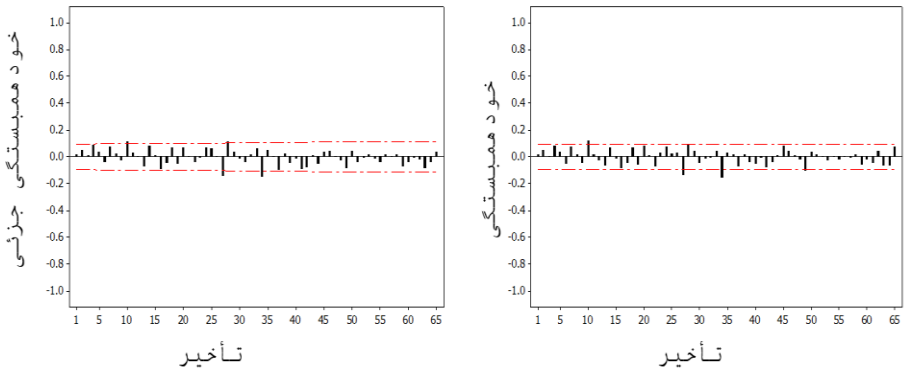
ارزیابی مدل انتخابی با تحلیل باقیمانده‌های آن انجام شده است. مطابق شکل (۷) فرض استقلال باقیمانده‌ها برقرار است و شکل (۸) نشان دهنده این است که باقیمانده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی توسط این مدل در بازه۸۳- ۱۳۸۲ تا ۹۰-۱۳۸۹، بیانگر قابلیت بالای مدل‌های آریمای فصلی در شبیه‌سازی مقادیر دما است (شکل ۹). لازم به ذکر است که در هنگام پیش‌بینی عکس تبدیل باکس کاکس بر روی خروجی مدل اعمال شده است.



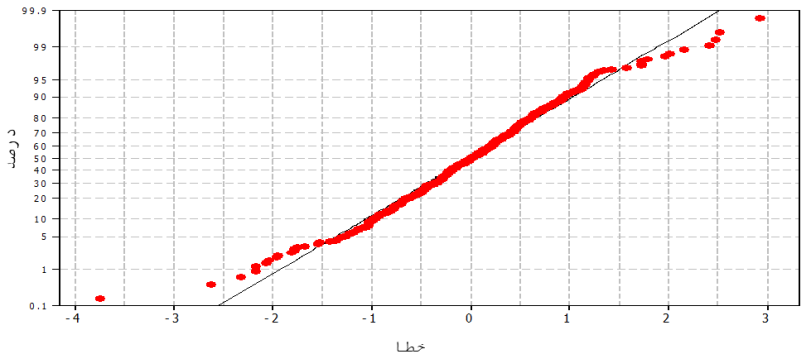
شکل ٦- نمودار خودهمبستگی جزیی دما بعد از تفاضل‌گیری

جدول۲- نتایج برآورد پارامترهای مدل$_{12}$(۰۱۲) (۰۰۱)

پارامترهای مدل	ضریب	آمارهt	مقدار P
MA 1	-۰/۲۴۷۵	-۵/۱۲	۰/۰۰۰
SMA 12	۰/۸۳۶۸	۱۶/۵۴	۰/۰۰۰
SMA 24	۰/۱۰۸۹	۲/۱۲	۰/۰۳۵
مقدار ثابت	۰/۰۱۶۳۲۱	۳/۵	۰/۰۰۱



شکل۷-خودهمبستگی و خود همبستگی جزیی باقیمانده سری زمانی منتخب دما

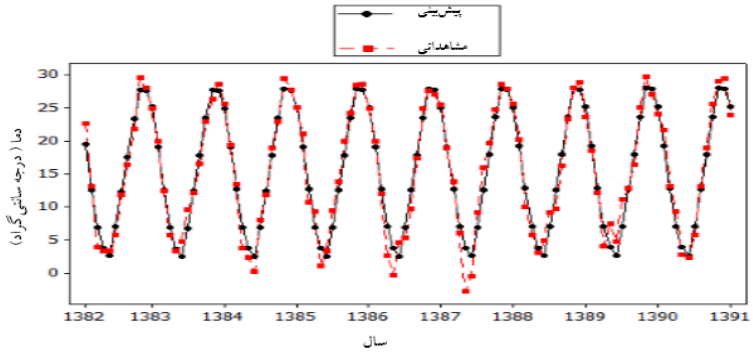


شکل ۸- احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل سری زمانی منتخب دما

۳-۱-۲- مدل هالت وینترز

در این روش، ابتدا مقادیر α،β وγ که ضرایب هموارسازی نمایی هالت وینترز هستند، با استفاده از نرم افزارXLSTAT برآورد شدند(جدول۳). ارزیابی مدل انتخابی با تحلیل باقیمانده‌های آن انجام و نتیجه آن در شکل (۱۰) ارائه شده است. این شکل نشان دهنده این است که باقیمانده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. در مرحله بعد به منظور صحت‌سنجی مدل انتخابی، مقدار دمای ماهانه طی دوره ۸۳-۱۳۸۲ تا ۹۰-۱۳۸۹ با استفاده از

ضرایب مذکور محاسبه گردید. شکل (۱۱) مقایسه مقادیر دمای واقعی و شبیه‌سازی شده طی دوره صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. اگرچه مطابق شکل ۱۱، مدل هالت‌وینترز از دقت بالایی در شبیه سازی دما برخودار است اما در مقایسه با مدل آریما دارای خطای بیشتری است. مقدار ریشه میانگین مجذور خطاها و ضریب تبیین مدل‌های سری زمانی دما در جدول (۴) ارائه شده است.



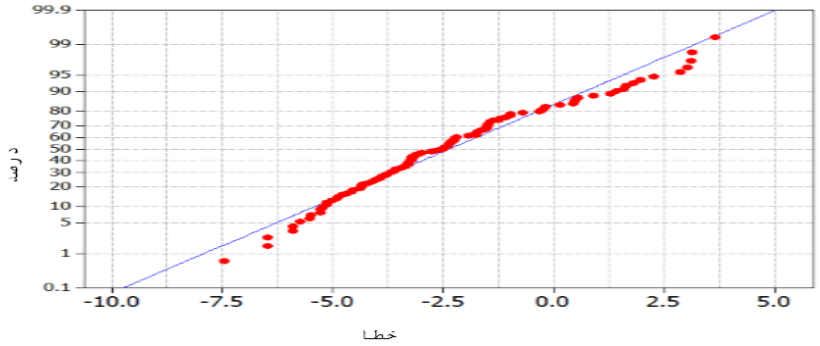
شکل ۹-نتایج صحت سنجی دمای ماهانه با مدل آریما

جدول ۳- ضرایب هموارسازی نمایی هالت وینترز برای پیش‌بینی بهینه دما

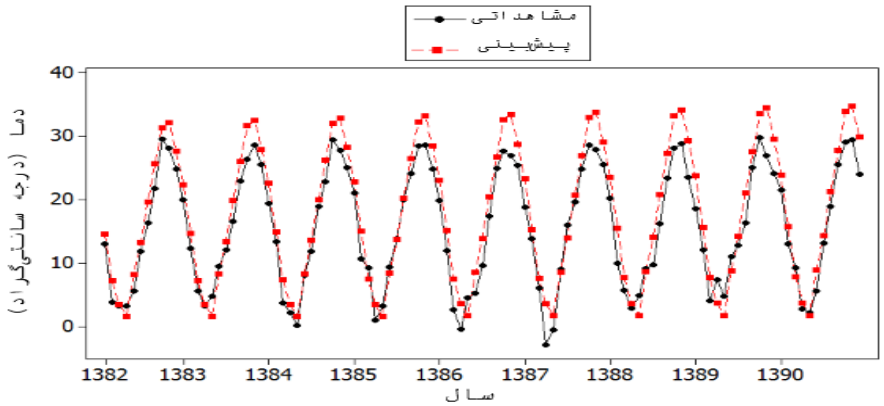
عامل	ثابت هموارسازی اول	ثابت هموارسازی دوم	ثابت هموارسازی سوم
بارش ماهانه	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۹

جدول٤- شاخص خطا و ضریب تبیین برای مدل‌های سری زمانی دما

مدل	آریمای ۱۲(۲۱۰) (۱ ۰ ۰)	هالت وینترز
میانگین مجذور مربعات خطا	۱/۸۰۹	۳/۳
ضریب تبیین	۰/۹۳	۰/۸۶



شکل ۱۰- احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل هالت وینترز برای دما

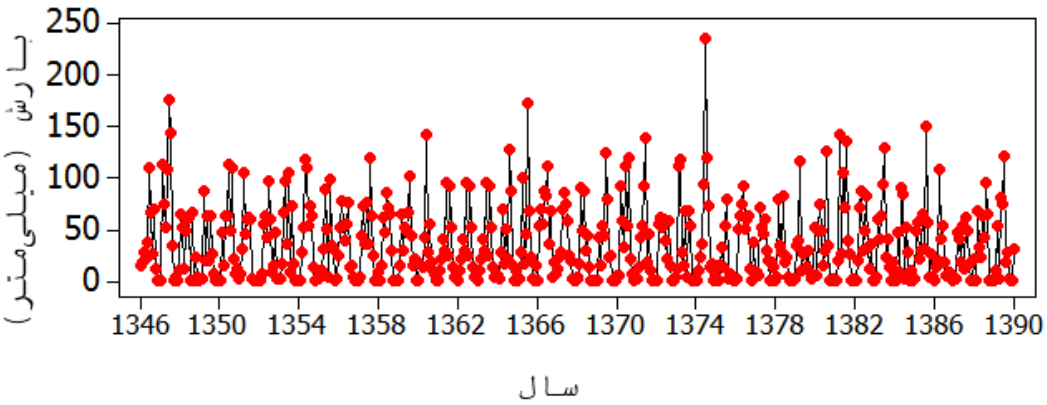


شکل ۱۱-نتایج صحت‌سنجی دمای ماهانه با مدل هالت وینترز

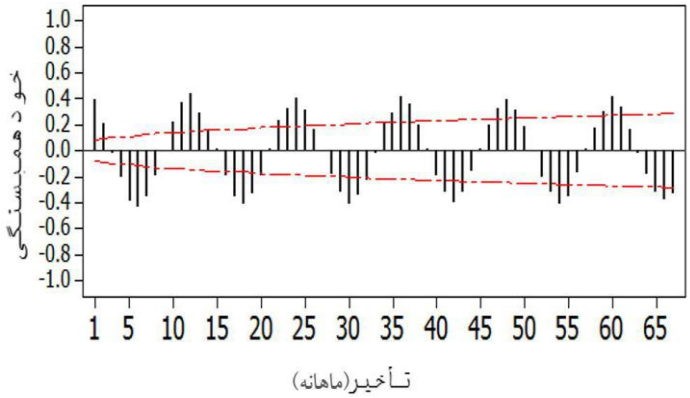
مدل‌سازی بارش

مدل آریما

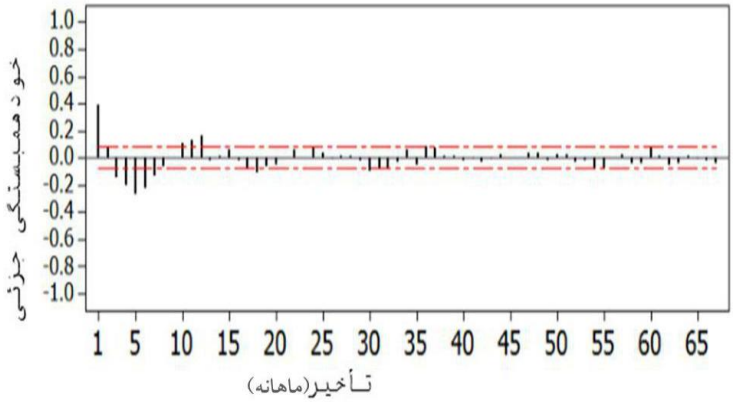
شکل‌های(۱۲)، (۱۳) و (۱۴) به ترتیب نمودار سری زمانی، خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی بارش ماهانه ایستگاه لتیان را نشان می‌دهد. وجود موج سینوسی در نمودار خودهمبستگی و روند کاهش تدریجی مقادیر همبستگی در تأخیرهای فصلی، به ترتیب فصلی بودن و ناایستایی سری زمانی را نشان می‌دهد. در جدول ۵ نتایج حاصل از تبدیل باکس کاکس و آزمون من‌کندال ارائه شده است. همچنین نمودار تبدیل باکس کاکس در شکل (۱۵) قابل مشاهده است.



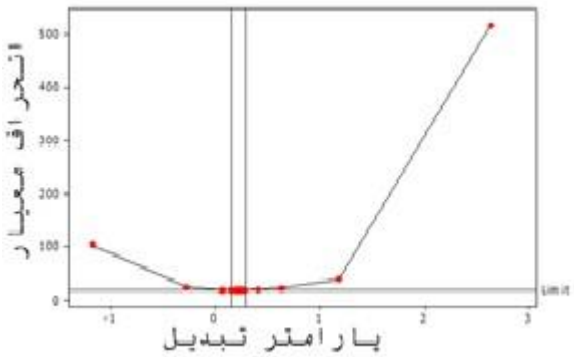
شکل ۱۲-نمودار سری زمانی بارش



شکل ۱۳-نمودار خودهمبستگی بارش



شکل۱٤- خودهمبستگی جزیی بارش



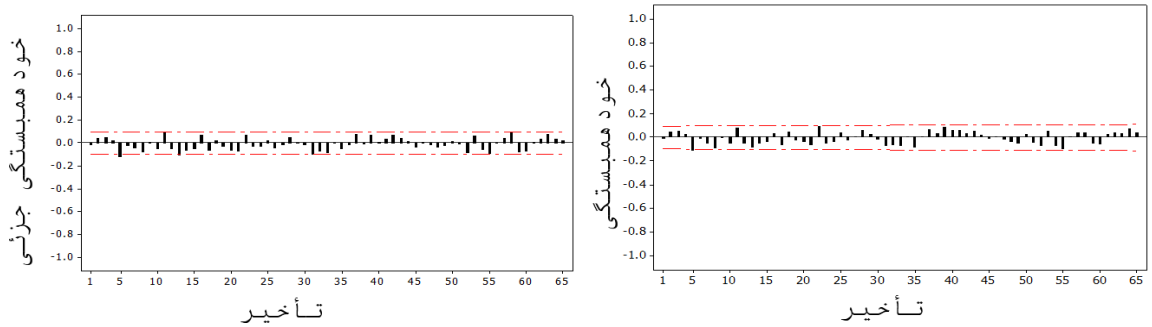
شکل ۱۵- نمودار باکس کاکس بارش ماهانه

جدول ۵- نتایج حاصل از تبدیل باکس‌کاکس و آزمون من‌کندال

ایستگاه	پارامتر تبدیل	آماره من کندال	مقدار P
لتیان	۰/۲۱۷	-۰/۰۱۹	۰/۵۰۲

جدول٦- پارامترهای مدل$_{12}$(۰۱۱)(۱۰۰) برای بارش

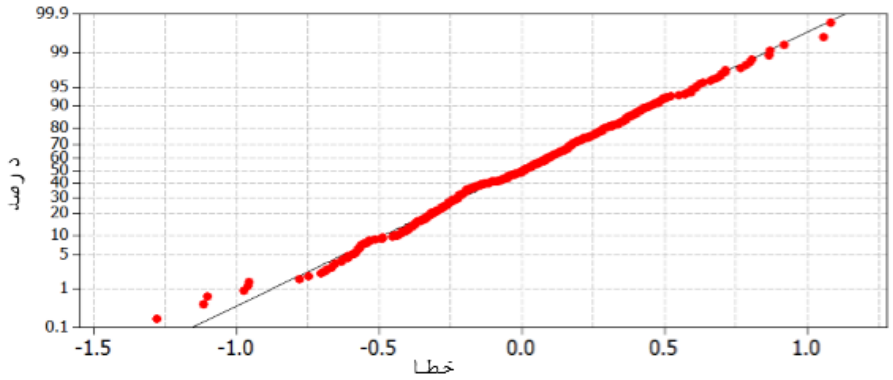
پارامترهای مدل	ضریب	آمارهt	مقدار P
AR 1	۰/۱۰۹۸	۲ /۲۳	۰/۰۲۶
SMA 12	۰/۹۴۲۷	۳۵/۵۲	۰/۰۰۰



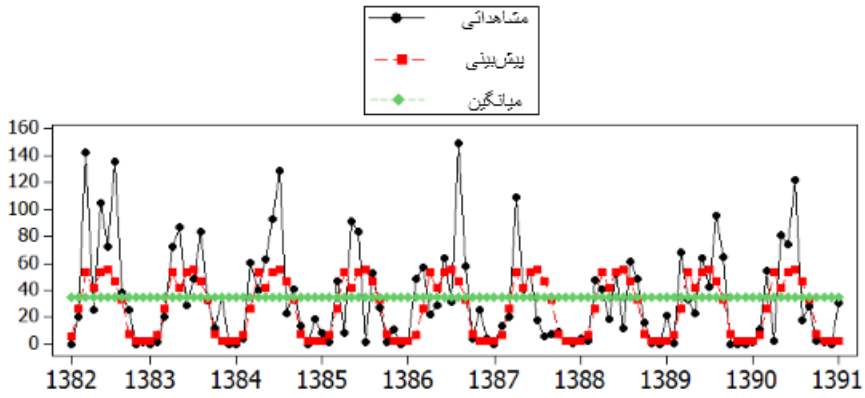
شکل١٦-خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی باقیمانده‌ی بارش با مدل آریما

مطابق جدول (۵) ، فرض صفر در آزمون من‌کندال مبنی بر عدم وجود روند در داده‌ها رد نمی‌شود. بنابراین داده‌ها فاقد روند هستند و نیازی به ایستا کردن میانگین سری زمانی نیست. مقدار پارامتر تبدیل در تبدیل باکس کاکس نشان دهنده ناایستایی در واریانس است که برای ایستا کردن واریانس، کلیه داده‌های موجود به توان این پارامتر رسانده می‌شوند. در مرحله بعد، مدل‌های مناسب سری زمانی، از طریق سعی و خطا در نرم افزار مینی‌تب انتخاب شدند. در این مرحله، چندین مدل با پارامترهای معنی‌دار، باقیمانده‌های نرمال و مستقل یافت شد. از جمله این مدل‌هامی‌توان به مدل آریمای فصلی$_{12}$(۰۱۱)(۱۰۰)، $_{12}$(۰۱۱) (۰۰۱)، $_{12}$(۰۱۱) (۰۰۰) و $_{12}$(۰۱۱) (۰۱۱) اشاره کرد. مقایسه مقادیر برآوردی از این مدل‌ها با مقادیر واقعی در مرحله صحت‌سنجی نشان داد که این مدل‌ها قابلیت بالایی در پیش‌بینی مقادیر آینده ندارند. عمدتاًمدل‌های مذکور بارش‌های پایین را بهتر برآورد می‌کنند و تخمین‌گر مناسبی در بارش‌های بالا و حدی نیستند. به عنوان نمونه نتایج حاصل از مدل آریمای فصلی $_{12}$(۱۱۰) (۱۰۰) در اینجا ارائه می‌شود. پارامترهای مدل مذکور در جدول (۶) و تحلیل باقیمانده‌های آن در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) نشان داده شده است. شکل (۱۸) نیز مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شده در بازه ۸۳-۱۳۸۲ تا ۹۰-۱۳۸۹ توسط این مدل را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۱۸)، مدل آریمای فصلی برای برآورد بارش‌های کم و متوسط مناسب است اما قابلیت بالایی در برآورد بارش‌های بیشینه ندارد. همان طور که در شکل مشهود است در نقاط مربوط به پیک های بارش، اختلاف زیادی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی وجود دارد. بنابراین در ادامه سعی شده است تا با مدل‌سازی بارش ماهانه به روش هالت‌وینترز قابلیت یک مدل سری زمانی دیگر نیز در این خصوص بررسی شود.



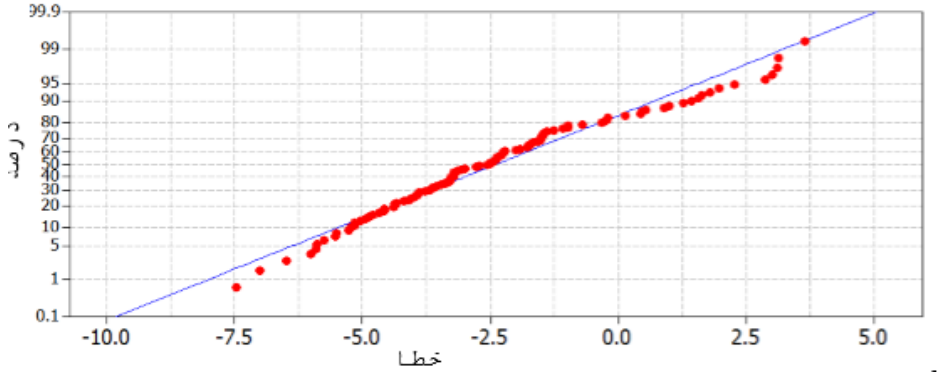
شکل۱۷- احتمال نرمال باقیمانده‌های سری زمانی منتخب بارش



شکل ۱۸- نتایج صحت‌سنجی بارش ماهانه با مدل منتخب آریما

جدول ۷- ضرایب هموارسازی نمایی هالت وینترز برای پیش‌بینی بهینه بارش

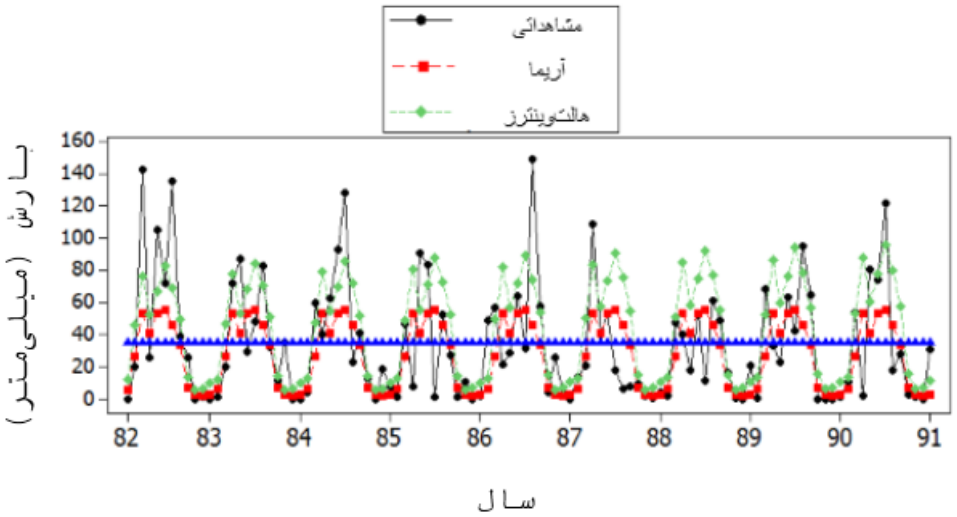
عامل	ثابت هموارسازی اول	ثابت هموارسازی دوم	ثابت هموارسازی سوم
بارش ماهانه	۰/۰۱۶	۰/۰۱۰	۰/۱۲۴



شکل۱۹- احتمال نرمال باقیمانده‌های مدل هالت‌وینترز برای بارش

مدل هالت وینترز

برای مدل‌سازی با مدل هالت‌وینترز ابتدا ضرایب هموارسازی نمایی برآورد شد. مقادیر مذکور به شرح جدول (۷) می‌باشند. ارزیابی مدل انتخابی با تحلیل باقیمانده‌ها انجام شد. شکل (۱۹) نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها دارای توزیع نرمال هستند. در مرحله بعد، با استفاده از ضرایب هموارسازی نمایی، مقدار بارش ماهانه برای دوره ۸۳-۱۳۸۲ تا ۹۰-۱۳۸۹ شبیه‌سازی شد. شکل (۲۰) مقایسه مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی برای بازه مذکور را نشان می‌دهد. این شکل نشان دهنده عدم توانایی مدل هالت‌وینترز در پیش‌بینی مقادیر بالای بارش است. برای سنجش دقت مدل‌های سری زمانی مورد استفاده و همچنین مقایسه کارایی این مدل‌ها، از شاخص مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین استفاده شد که نتایج آن در جدول (۸) ارائه شده است. مطابق این جدول، مدل آریمای$_{۱۲}$(۰ ۰ ۱) (۱ ۱ ۰) دارای میزان خطای کمتری است.



شکل ۲۰-صحت‌سنجی بارش با مدل هالت‌وینترز

جدول ۸- شاخص خطا و ضریب تبیین برای مدل‌های سری زمانی بارش

مدل	آریمای ۱۲(۰ ۰ ۱) (۱ ۱ ۰)	هالت وینترز
مجذور مربعات میانگین خطا	۲۸/۶۵	۳۱/۱۶
ضریب تبیین	۰/۴۱	۰/۳۸

نتیجه گیری

در این مطالعه توانایی مدل سری زمانی آریمای فصلی و هالت‌وینترز در پیش‌بینی دما و بارش ماهانه ایستگاه لتیان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه، نشان دهنده قابلیت بالای مدل‌های آریمای فصلی در پیش‌بینی دمای ماهانه می‌باشد و مدل آریما$_{۱۲}$(۰۱۲) (۰۰۱) به عنوان مدل سری زمانی مناسب برای داده‌های دما تشخیص داده شد. اگرچه مدل هالت‌وینترز نیز از دقت بالایی در پیش بینی دما برخوردار است اما نسبت به مدل آریما دارای خطای بیشتری است. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های سری زمانی آریما و هالت‌وینترز قابلیت بالایی در پیش‌بینی مقادیر بارش ماهانه در ایستگاه لتیان ندارند و پیش بینی مناسبی در نقاط پیک بارش ارائه نمی‌دهند. این مدل‌ها عمدتاً مقادیر بارش‌های پایین را بهتر برآورد می‌کنند.به عبارت دیگر خطای پیش‌بینی در ماه‌هایی که بارندگی زیادی دارند نسبت به سایر ماه‌ها بیشتر است. نتایج نشان داد که مدل آریمای$_{۱۲}$(۱۰۰) (۰۱۱) دارای دقت پیش‌بینی بالاتری از مدل هالت‌وینترز در شبیه‌سازی بارش بوده و با کم‌ترین مقدار خطا به عنوان مدل منتخب برای پیش‌بینی مقادیر بارش ماهانه معرفی گردید. لازم به ذکر است که در تحقیقات سابق نیز به عدم کارایی مدل‌های آریما و هالت‌وینترز در برآورد مقادیر بیشینه اشاره شده است. به عنوان مثال نتیجه تحقیق بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که در نقاط حداکثر آبدهی، پیش بینی مناسبی با مدل‌های آریما انجام نشده است. همچین نتایج تحقیقات سوپیپان[1] (۲۰۱۴) و دوبر (۲۰۱۴) حاکی از عدم توانایی مدل هالت‌وینترز در پیش‌بینی پیک‌های بارش است. با توجه به اهمیت دما و بارش حدی و با توجه به تغییرات اقلیمی محتمل و متصور در آینده پیشنهاد می‌گردد از مدل‌های هوشمند و کارآمد دیگر مانند سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی نیز جهت تعیین این پارامترها استفاده و نتایج آن با این تحقیق مقایسه گردد.

1 - Sopipan

منابع

۱- اسدی،ا. و ع. حیدری. ۱۳۹۰. تحلیل تغییرات سری های دما و بارش شیراز. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۱ :۱۵۲-۱۳۷.

۲- بشری،م. و م. وفا خواه. ۱۳۸۹. مقایسه روشهای مختلف تحلیل سری‌های زمانی در پیش بینی دبی ماهانه حوزه آبخیز کرخه. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲: ۸۶- ۷۵.

۳- بنی حبیب، م.ا.، بندری، ر. و س. موسوی ندوشنی. ۱۳۹۱. تحلیل توانایی مدل میانگین متحرک جامع خود همبسته برای پیش بینی دوسال آینده جریان روزانه ورودی به مخزن سد دز. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۷: ۵۷-۴۶.

۴- بهمنی، ر.، رادمنش، ف.، اسلامیان، س. و غ. پرهام. ۱۳۹۲. تحلیلروندتبخیرازمخزنسدوپیش‌بینیآنبهکمکسری‌هایزمانی. مجله علوممهندسیآبیاری ۳۶(۳): ۸۰-۶۷.

۵- پرویز، ل.، خلقی، م. و ا. فاخری فرد. ۱۳۸۸. پیش بینی جریان سالانه رودخانه با استفاده از مدل خود همبسته تجمعی میانگین متحرک و رگرسیون فازی. مجله دانش آب وخاک، ۱۹: ۸۲-۶۵.

۶- دودانگه، ا.، عابدی کوپایی، ج. و س. ع. گوهری. ۱۳۹۰. کاربرد مدلهای سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب وخاک، ۵۹: ۷۴-۵۹.

۷- شفیعی، م. ح.، انصاری، قهرمان، ب. و م.ب. شریفی. ۱۳۹۰. مدل سازی سری زمانی شدت خشکسالی بر اساس شاخص پالمر. مرکز تحقیقات کم آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی. اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، کرج.

۸- عزیزی، ق، و ع.ا. روشن. ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی ها- ترسالی‌ها و امکان پیش بینی آنها با استفاده از مدل سری زمانی هالت وینترز در استان هرمزگان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی،۷۹: ۶۳-۴۸.

۹- عیوضی،م. وا. مساعدی. ۱۳۸۹. مقایسه پیش بینی بارندگی ماهیانه بر اساس سری زمانیARMA و توابع غیر خطی در ایستگاه باران سنجی ناهار خوران گرگان. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان.

۱۰- غریب دوست، م.، قربانی، م.ع. و ع. حسینی زاده. ۱۳۹۶. تاثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی چای. مجله علوممهندسیآبیاری ۴۰ (۲): ۱۰۱-۸۹.

۱۱- کهنسال، م.ر.، پرمه، ز.، اسماعیلی پور، ا. و ع.ا. قاسمی .۱۳۹۱. پیش بینی قیمت تخم مرغ با استفاده از ARIMA، شبکه عصبی مصنوعی و هموار سازی هالت وینترز. فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ۶۲: ۷۲-۴۹.

۱۲- میرموسوی ، ح.، مسعود، ج.، آبختی گروسی، ه. و ن. خائفی. ۱۳۹۳. تحلیل الگوهای سری زمانی بارش در ایستگاه هواشناسی خوی. نشریه فضای جغرافیایی،۴: ۱۷- ۱.

13- Chang, X., Gao, M., Wang, Y. and X.Hou. 2012. Seasonal autoregressive integrated moving average model for precipitation time series. Journal of Mathematics and Statistics, 8 (4): 500-505.

14- Costa, M., Gonçalves, A.M. and J. Silva. 2015. Forecasting time series combining Holt-Winters and bootstrap approaches. In Proceedings of the International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics.

15- Dobre, G.R.2014. R language: statistical computing and graphics for modeling hydrologic time Series. MathematicalModelling in Civil Engineering, 10(4): 9-18.

16- Gundalia, M. and M.B.Dholakia. 2012. Prediction of maximum/minimum temperatures using Holt winters method with excel spread sheet for Junagadh region. International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), 1(6):1-8.

17- Gerretsadikan, A. and M.K.Sharma. 2011. Modeling and forecasting of rainfall data of mekele for Tigray region (Ethiopia). Statistics and Applications, 9: 31-53.

18- Kaushik, I. and S.M.Singh. 2008. Seasonal ARIMA model for forecasting oF monthly rainfall and temperature. Journal of Environmental Research and Development, 3(2): 506-514.

19- Mahsin, Md., Akhter, Y. and M. Begum. 2012. Modeling rainfall in Dhaka Division of Bangladesh using time series analysis. Journal of Mathematical Modeling and Application, 1(5): 67-73.

20- Meher,J. and R.Jha. 2013. Time-series analysis of monthly rainfall data for the Mahanadi river basin, India. Sciences in Cold and Arid Regions, 5(1): 73–84.

21- Mondal, P., Shit, L. and S.Goswami. 2014. Study of effectiveness of time series modeling (ARIMA) in forecasting stock prices. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications, 4(2):13.

22- Naill, P.E. and M.Momani. 2009. Time series analysis model for rainfall data in Jordan: Case study for using time series analysis. American Journal of Environmental Sciences, 5 (5): 599-604.

23- Sampson, w., Suleman, N. and A.Y .Gifty. 2013. Proposed seasonal autoregressive integrated moving average Model for Forecasting Rainfall Pattern in the Navrongo Municipality, Ghana. Journal of Environment and Earth Science. 3(12): 80-85.

24- Sopipan, N.2014. Forecasting rainfall in Thailand: A case study of Nakhon Ratchasima province. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering, 8 (11):777-781.

25- Tularam, G.A. and M. Ilahee. 2010. Time series analysis of rainfall and temperature interactions in coastal catchments. Journal of Mathematics and Statistics, 6 (3): 372-380, 2010.

Irrigation Sciences and Engineering Vol.40, No. 3, Fall 2017, p. 137-149

EXTENDED ABSTRACT

An Evaluation of ARIMA and Holt Winters Time Series Models for Forecasting Monthly Precipitation and Monthly Temperature (Case Study: Latian Station)

L. Goodarzi[1] and A. Roozbahani[2*]

1- Ph.D. Student of Water Resources Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran. Iran.
2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Irrigation and drainage, Aburaihan Campus, University of Tehran, Iran. *roozbahany@ut.ac.ir*

Received:31 May 2015 Accepted:10 September 2016

Keywords: Time series, Seasonal Mann- Kendall test, Seasonal ARIMA model, Holt Winters model, Latian.

Introduction

Climatic parameters including temperature and precipitation have an important role in water resources management of river basin as well as agricultural planning. Time series models are a kind of short-term prediction for these parameters. Precipitation is one of the most important climate parameters that should be addressed in water resources management. This is especially important in Iran, with an average annual rainfall of about 250 mm. Another climate parameter is temperature, which changes the climate structure of each location. For this reason, the study on temperature at various time and space scales has been addressed in a large part of the climatological researches. Time series analysis is widely used as a tool for temperature and rainfall predictions. So far, various studies have been done to predict climate and hydrologic parameters using time series analysis models. Kaushik and Singh (2008) predicted monthly temperature and precipitation in India using the seasonal Arima Model. There are also other researchers focused on application of ARMIA model such as Naill and Momani (2009), Tularam and Ilahee (2010) and Mondal et al. (2014). Holt Winters is also one of the time series models used for prediction. For example, Costa et al. (2015) predicted water quality parameters using the Holt Winters model and presented its effectiveness in the prediction.

In this research, the ability of time series models for forecasting monthly temperature and precipitation of Latian station in Iran has been examined. Trend analysis was conducted using the Seasonal Mann- Kendall test and then, various Autoregressive Integrated Moving Average Models (ARIMA) as well as Holt Winters model were fitted to the data and the best time series model was finally selected.

Methodology

In this research, the monthly temperature and monthly rainfall data of the Latian station, the nearest station to the Latian Dam, have been used during the 44-year statistical period in order to evaluate the efficiency of following time series models in forecasting climatic parameters:

1- ARIMA Model: ARIMA is one of the short-term forecasting models for time series analysis. These models have two general types that have been used in this study: Non seasonal ARIMA (ARIMA(p,d,q)) and seasonal ARIMA (SARIMA(p,d,q)$(P,D,Q)_S$). p and q are the autoregressive and moving average degrees respectively and also P and Q are seasonal autoregressive and moving average parameters. D and d are number of seasonal and non-seasonal differences in the model, respectively.

2- Holt Winters: There are many time series that cannot be properly modeled by a polynomial and they can be simulated by Holt Winters time series analysis. Different steps of this technique are: correcting the constant component estimation, modifying the trend Component Estimation,

modifying the seasonal factor estimation, and finally prediction of any future time step. This method is also used in this paper for monthly precipitation and temperature prediction.

Results and Discussion

Trend analyses showed that there is no trend in monthly precipitation but monthly temperature series exhibits a significant increasing trend. The results showed that seasonal ARIMA models are an efficient method for modeling and predicting the time series of monthly temperature and the SARIMA model (0 0 1) (0 1 2)12 was finally selected as the best model for monthly temperature. Although the Holt-Winters model exhibits an extremely high forecasting accuracy in monthly temperature forecasting and it has higher RMSE than ARIMA. The relative results can be seen in Table 1. Also the results showed that SARIMA and Holt Winters models do not have a high potential for prediction of extreme precipitation events. These models provide better forecasts for low and mean precipitation. The obtained results are displayed in Table 2. Base on this table, ARIMA (0,0,1) (1,0,0)12 is more accurate than Holt-Winters and it can be applied for monthly precipitation prediction in the studied area.

Table 1- Error index and R^2 value for temperature time series models

Model	*ARIMA (0,0,1)(0,1,2)12*	*Holt Winters*
RMSE	1.809	3.3
R^2	0.93	0.86

Table 2- Error index and R^2 value for precipitation time series models

Model	*ARIMA (0,0,1)(1,0,0)12*	*Holt Winters*
RMSE	28.65	31.16
R^2	0.41	0.38

Conclusions

In this study, the ability of seasonal ARIMA time series and Holt-Winters models to predict monthly temperature and monthly precipitation of the Latian station was investigated. The results of the study showed the high reliability of seasonal ARIMA model in monthly temperature prediction. Also, the results indicated that ARIMA and Holt-Winters time series models are not sufficiently capable of monthly precipitation prediction at Latian station and it does not provide proper prediction at peak events. These models mainly can provide better estimations for lower levels of rainfall. The results of this study will help to runoff prediction and increasing the reliability of water resources systems. It is recommended to use other intelligent and efficient models such as fuzzy systems and neural networks to determine these parameters and compare their results with the current study.

References

26- Costa, M., Gonçalves, A.M. and J. Silva. 2015. Forecasting time series combining Holt-Winters and bootstrap approaches. In Proceedings of the International Conference on Numerical Analysis and Applied Mathematics.

27- Kaushik, I. and S.M. Singh. 2008. Seasonal ARIMA model for forecasting of monthly rainfall and temperature. Journal of Environmental Research and Development, 3(2): 506-514.

28- Mondal, P., Shit, L. and S. Goswami. 2014. Study of effectiveness of time series modeling (ARIMA) in forecasting stock prices. International Journal of Computer Science, Engineering and Applications, 4(2):13

29- Naill, P.E. and M. Momani. 2009. Time series analysis model for rainfall data in Jordan: Case study for using time series analysis. American Journal of Environmental Sciences, 5 (5): 599-604.

30-Tularam, G.A. and M. Ilahee. 2010. Time series analysis of rainfall and temperature interactions in coastal catchments. Journal of Mathematics and Statistics, 6 (3): 372-380, 2010.