

مدل‌سازی سری‌های زمانی دما و بارش ماهانه در تبریز با استفاده از

مدل حافظه بلندمدت ARFIMA

مسعود فضلعلی‌پور میان‌دوآب^{۱*}، پرویز نصیری^۲، علی محمدیان مصمم^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه آمار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه آمار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه آمار، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

تغییرات سری‌های زمانی میزان دما و بارش یکی از پارامترهای مهم اقلیمی در بررسی فرایندهای هیدرولوژیکی، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد است. ارزیابی و پیش‌بینی میزان دما و بارش کمک شایانی برای مدیران و برنامه‌ریزان کشاورزی و منابع آب است. یکی از روش‌های بررسی داده‌های سری زمانی استفاده از مدل‌های آماری است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله میزان دما و بارش ماهانه در نیم قرن اخیر (۲۰۱۸-۱۹۶۹) ایستگاه هواشناسی همدید تبریز با استفاده از مدل ARFIMA مورد بررسی قرار می‌گیرد، و برای برازش مدل از آزمون‌های R/S و GPH استفاده شده است. در ادامه برای بررسی ایستایی مدل از توابع خودهمبستگی (ACF)، خودهمبستگی جزئی (PACF) و روش تفاضل‌گیری استفاده شده است. اما از آنجایی که برای اولین بار داده‌های ایستگاه هواشناسی همدید با استفاده از مدل ARFIMA مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، برای بررسی دقت از معیارهای اطلاع بیزی (BIC)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و آکائیک (AIC) استفاده شده است. نتایج بررسی مدل با حافظه بلندمدت سری‌های زمانی میزان دما و بارش در سطح ۹۵ درصد مورد تأیید قرار گرفت. با این تفاوت که برای پارامتر بارش به نظر می‌رسد این عمل شکننده است. همچنین تحلیل ساختارهای مختلف نشان‌دهنده آن است که داده‌های میزان دما و میزان بارش به ترتیب با استفاده از مدل $ARFIMA(3,0.2,1)$ مدل $ARFIMA(1,0.0004,4)$ بهترین برازش یا عملکرد را دارند. و قابل ذکر است مقدار RMSE مدل‌های برازش بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی میزان دما و بارش به ترتیب برابر با ۲/۲ و ۳۸/۴ است، که حاکی از دقت مناسب مدل‌های ارائه شده است و می‌توان از آن برای پیش‌بینی استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: بارش، دما، سری‌های زمانی، مدل ARFIMA، معیارهای آماری، دمای تبریز.

مقدمه

پیش‌بینی کمیت و کیفیت تحولات اقلیمی یکی از مسائل پیچیده‌ای است که اذهان اقلیم‌شناسان را به خود مشغول کرده است. اکنون به مدد دستیابی به فناوری‌های نوین و در اختیار داشتن سری‌های متعدد داده‌های لازم از متغیرهای اقلیمی و به یاری دانش درک روابط بین این متغیرها، گام‌های اساسی در درک و پیش‌بینی روندهای اقلیمی پدیدار شده است. به‌نحوی که اکنون مدل‌های کامپیوتری همگی در حیطه توانائی خود به مسائل پیش‌بینی اقلیم و عوامل مؤثر بر تغییر اقلیم پاسخ می‌دهند. پیش‌بینی‌های کاملاً دقیق و با خطای صفر، صرف نظر از حوزه و موضوع مورد نظر، بسیار دشوار و تقریباً غیرممکن است، به ویژه آنکه فرایند پیش‌بینی، در محیط کاملاً پیچیده و در ابر غلیظی از عدم قطعیت‌ها و بازیگران و پیشران‌های متعدد و مؤثر بر محیط انجام می‌شود. و داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در پیش‌بینی نیز دارای خصوصیات مبهم و خاکستری می‌باشند (یاورزاده و همکاران، ۱۳۹۶). قابل است در بین عناصر اقلیمی، دما و بارش به دلیل تأثیر گسترده بر سایر عوامل و به خصوص تأثیراتی که بر فعالیت‌های انسان‌ها دارند از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲). چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند (ذهبیون و همکاران، ۱۳۸۹).

مدل‌های سری زمانی، مدل‌های تجربی و ابزاری قدرتمند برای نیکویی برازش و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی از قبیل میزان دما و بارش هستند (Naill and Momani, 2009). همانطور می‌دانیم نگرش کلاسیک بر حسب مدل‌سازی سری‌های زمانی بنابر کاربرد نگرش باکس جنکیز به ایستایی و غیرایستایی سری‌های زمانی بستگی دارد. اگر چنین سری‌هایی خصوصیت حافظه بلندمدت را نشان دهند ارزش پیش‌بینی بر اساس مدل‌های خود رگرسیون میانگین متحرک ARMA و خود رگرسیون میانگین متحرک انباشته ARIMA معتبر نخواهد بود. در صورت وجود حافظه بلند مدت در سری‌های زمانی، بین مشاهدات سری در فواصل بسیار زیاد، جدا و دور از هم وابستگی معنی‌داری وجود خواهد داشت که نمایانگر این موضوع است که مشاهدات

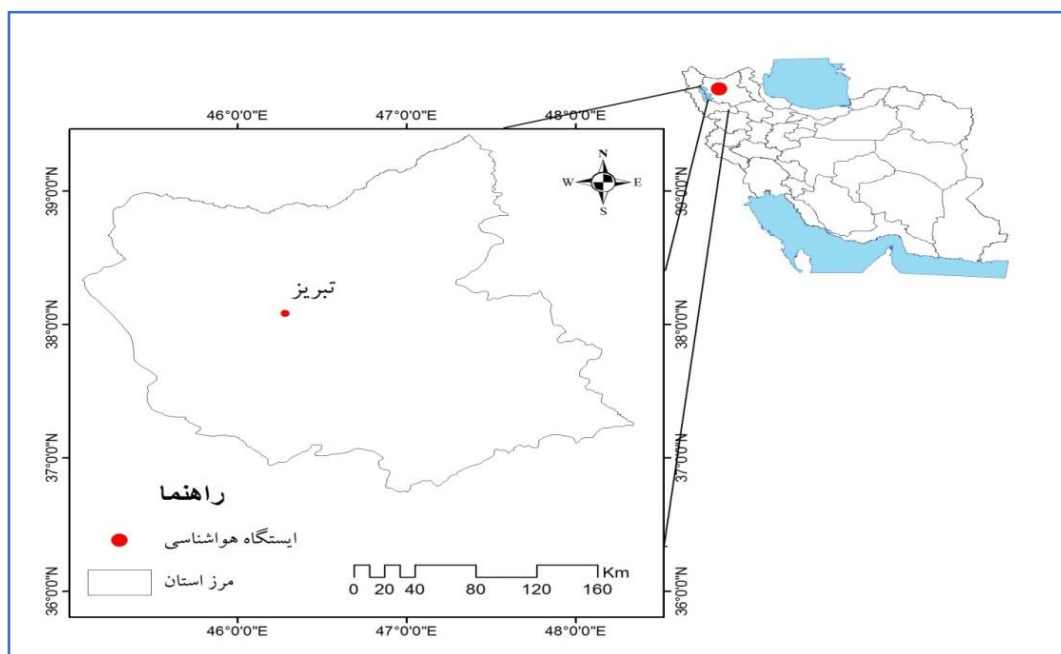
مستقل از هم نبوده، و همبستگی بین آنها وجود دارد. و مشاهدات گذشته به پیش‌بینی داده‌ها کمک خواهند کرد. با این توصیفات وجود حافظه بلندمدت در پارامترهای جوی شکل ضعیف کارایی را نقض کرده و آنگاه تغییرات تصادفی نبوده و قابل پیش‌بینی خواهد بود. در اوایل دهه ۱۹۸۰ گرنجر و جویکس نگرشی جایگزین را برای مدل‌سازی حافظه بلند مدت با ایجاد مدل خود رگرسیون میانگین متحرک انباشته جزئی ARFIMA ارائه دادند و از آن جایی که مدل ARFIMA بین فرایند حافظه کوتاه‌مدت و فرایند حافظه‌ی بلند در سری زمانی تمایز قائل می‌شود مزیت ممتازی را نسبت به تجزیه و تحلیل کلاسیک S/R ایجاد می‌کند (سالار زهی و همکاران، ۱۳۹۱). در این راستا ال‌هاشمی (۲۰۱۴) به ارزیابی و پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از روش‌های شبکه عصبی، سری زمانی و رگرسیون چندمتغیره در کشور یمن پرداختند. با توجه به نتایج ارزیابی به ترتیب روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، مدل آریمو و رگرسیون بهترین مدل‌های جهت برآورد بارش هستند. محمود و همکاران (Mahmud et al., 2017) به پیش‌بینی بارش ماهانه در سی ایستگاه واقع در بنگلادش با استفاده از مدل SARIMA پرداختند. نتایج حاکی از دقت مناسب مدل در زمینه شبیه‌سازی بارش در مناطق مختلف است. نیاتوآمه آگودزو (Nyatuame and Agodzo, 2018) به تحلیل سری‌های زمانی دما و بارش سالانه در حوضه تودری پرداختند. با توجه به نتایج ارزیابی، مدل آریمو توانایی خوبی در برآورد دما و بارش دارند. دایال و همکاران (Dayal et al., 2019) به پیش‌بینی بارش ماهانه در حوضه رودخانه بتوای در هند پرداختند و نتایج نشان می‌دهد که برآورد مدل ARIMA (0, 0, 2) (1, 1, 1) مطابقت خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. جاجی بیگلو و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی و پیش‌بینی بارندگی ماهانه با استفاده از مدل SARIMA در بجنورد پرداختند. نتایج نشان داد ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده در ایستگاه مورد مطالعه برابر با ۰/۶۸ است. شعبانی (۱۳۹۲) به مدل‌سازی و پیش‌بینی دمای حداکثر و حداقل ماهانه دشت مشهد با استفاده از مدل SARIMA پرداختند. نتایج نشان داد ضریب همبستگی بالا در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها گویای انطباق قابل قبول مقادیر مدل‌سازی شده و واقعی است. در نهایت بر اساس مدل‌های برازش یافته، پیش‌بینی برای ۱۰ سال آتی (۲۰۱۸-۲۰۰۹) انجام شد.

بیش برآورد می‌باشد. تیموری یگانه و تیموری (۱۳۹۹) به تخمین میزان بارش ماهانه در استان کرمانشاه با استفاده از مدل‌های ARIMA پرداختند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدل سری زمانی آریمای بهترین کارایی را داشته و روند کاهشی بارش به اندازه ۰/۲ را خواهد داشت. لذا در این مقاله با توجه به اهمیت موضوع مدل حافظه بلندمدت ARFIMA جهت برازش و پیش‌بینی میزان دما و بارش در ایستگاه همدید تبریز مورد استفاده قرار گرفته است.

داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع، داده‌های میزان دما و بارش، اطلاعات جمع‌آوری شده، از ایستگاه هواشناسی همدید تبریز در استان آذربایجان شرقی استفاده شده است، که از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۸ درجه و ۵ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد و در ارتفاع ۱۳۶۱ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱).

محمدپور و تقی‌زاده (۱۳۹۵) به تحلیل سری‌های زمانی و بررسی امکان پیش‌بینی ماهانه دما و بارش با استفاده از مدل‌های ARIMA در شهرستان بندرعباس پرداختند. نتایج نشان داد که می‌توان از مدل باکس جنکینز برای پیش‌بینی دما استفاده کرد ولی برای پیش‌بینی بارش باید با احتیاط بیشتری برخورد کرد. عاقل‌پور و نادری (۱۳۹۷) به ارزیابی دقت مدل SARIMA در مدل‌سازی و پیش‌بینی بلندمدت میانگین دمای ماهانه در اقلیم‌های متفاوت ایران پرداختند. نتایج نشان داد در بین ایستگاه‌های مورد بررسی بهترین برآورد مربوط به ایستگاه آبادان در اقلیم فراخشک گرم است و مدل توانایی بالایی در پیش‌بینی گام‌های بلندمدت دارد. خسروی و همکاران (۱۳۹۷) واکاوی زمانی بارش سالانه شهر شیراز با استفاده از مدل ARIMA پرداختند. براساس نتایج یک الگوی نهایی به نام CON $M4(0, 1, 1)$ به عنوان الگوی برتر از نظر معیارهای آماری انتخاب شد. پرویز (۱۳۹۸) به شبیه‌سازی بارندگی با استفاده از مدل توسعه‌یافته SARIMA در ایستگاه اردبیل پرداختند. نتایج بیانگر عملکرد قابل قبول مدل توسعه‌یافته بود و در مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی، مدل توسعه‌یافته دارای تخمین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هواشناسی مورد بررسی

هواشناسی کشور اخذ گردیده است. در تحلیل داده‌های و بررسی مدل‌های سری زمانی از مدل ARFIMA برای

داده‌های مورد نیاز در این مقاله که شامل متوسط دما و بارش ماهانه در نیم قرن اخیر (۲۰۱۸-۱۹۶۹) است که از سازمان

دامنه بر روی انحراف معیار و یا به شکل ساده آزمون R/S می‌باشد که این آزمون برای اولین بار توسط هارست (۱۹۵۱) تعریف و مندرلبروت و همکارانش (۱۹۶۸) آن را بیشتر گسترش دادند. برای این منظور اگر X_t سری زمانی به ازای $t = 1, 2, \dots, n$ باشد در این صورت آماره R/S به صورت

$$Q_t = \frac{1}{S_T} \left[\max_{1 \leq k \leq T} \sum_{j=1}^k (y_i - \bar{y}) - \min_{1 \leq k \leq T} \sum_{j=1}^k (y_i - \bar{y}) \right] \quad (۴)$$

تعریف می‌شود (Reisen, 1994) که در آن

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{و} \quad S_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T (y_i - \bar{y})^2}{T}}$$

یکی دیگر از روش‌های تشخیص برازش مدل حافظه بلندمدت در یک سری زمانی استفاده از آزمون GPH می‌باشد که بر مبنای یک روش نیمه پارامتریک است که در سال ۱۹۸۳ توسط جویوک و پوتر ارائه شده است که در این آزمون فرض می‌شود تابع چگالی طیفی سری زمانی به صورت

$$f(w) = \left[\varphi \sin^2 \left(\frac{w}{2} \right) \right]^{-d} f_u(w) \quad (۵)$$

است (Reisen et al, 2001). که در آن w قرکانس فوریه می‌باشد به طوری که اگر $0 < \alpha < 1$ و $\ln f(T) = T^\alpha$

و چنانکه $U_j = \left[\varphi \sin^2 \left(\frac{w}{2} \right) \right]$ میانگین نمونه‌ای U_j ها باشد، آنگاه آماره آزمون:

$$\hat{d} \sim N \left(d, \frac{\pi^2}{\epsilon \sum_{j=1}^{nf} (U_j - \bar{U})} \right) \quad (۶)$$

که در صورت عدم وجود حافظه بلند مدت ($d = 0$) برابر است با:

$$t_{d=0} = \hat{d} \cdot \left(\frac{\pi^2}{\epsilon \sum_{j=1}^{nf} (U_j - \bar{U})} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (۷)$$

مدلسازی و شبیه‌سازی استفاده شده است، که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود.

مدل‌های سری زمانی

در تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، یکی از روش‌های مانا کردن، روش تفاضل‌گیری از مرتبه‌های اول، دوم، سوم و... می‌باشد. اما در برخی موارد سری با تفاضل‌گیری اعداد صحیح سری، مانا نمی‌شود و محقق مجبور است از تفاضل‌گیری کسری که اصطلاحاً ARFIMA گفته می‌شود استفاده نمایند. در حالت کلی این سری زمانی، سری زمانی حافظه بلند مدت است و با ARFIMA (p,d,q) نشان داده می‌شود که کاربرد فراوانی در تحلیل داده‌های سری زمانی از جمله داده‌های اقتصادی، جغرافیایی و مالی دارد. صورت کلی مدل ARFIMA (p,d,q) برابر است با:

$$\Phi(L)(1-L)^d(x_t - \mu) = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (۱)$$

به طوری که

(۲)

$$(1-L)^d = \sum_{j=0}^{\infty} \binom{d}{j} (-1)^j L^j = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{\Gamma(j-d)}{\Gamma(1-d)\Gamma(j+1)} L^j$$

$$\Phi(L) = 1 - \sum_{j=1}^p \phi_j L^j, \quad \Theta(L) = 1 - \sum_{j=1}^q \theta_j L^j \quad (۳)$$

که در آن ε_t دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ^2 است و از آن به عنوان نویز سفید یاد می‌کنند. این مدل بسط مدل ARIMA(p,d,q) است که توسط گرنجیو و جویوکس (۱۹۸۰) و هوسکینگ (۱۹۸۱) جهت مرتفع شدن مشکلات انتخاب مقادیر صحیح d ارائه شده است. در حالت کلی مقدار d در بازه $0/5$ تا $-0/5$ است. که در صورت اتفاق افتادن آن دارای مانایی و معکوس‌پذیری نمی‌باشد که برای تحقق مانایی و معکوس‌پذیری آنها بایستی اقداماتی از جمله تفاضل‌گیری یا لگاریتم‌گیری صورت پذیرد. این مدل به شدت به مقدار d وابسته بوده به طوری که انتخاب هر مقدار d باعث نشان دادن واکنش متفاوتی از سوی مدل می‌شود. به عنوان نمونه اگر $d = 0/5$ انتخاب کنیم فرایند دارای نویز سفید است (Reisen, 1994).

در این مقاله، برای بررسی داده‌های سری زمانی از حیث اینکه مدل از حافظه بلندمدت پیروی می‌کند از آزمون‌های R/S و GPH استفاده می‌شود. یکی از مشهورترین آزمون‌های تشخیص حافظه بلندمدت آزمون دامنه مقیاس‌بندی شده یا

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

در آمار روش‌ها مختلفی برای محاسبه خطای برآورد و همچنین ارزیابی بهترین مدل وجود دارد که به عنوان نمونه جهت ارزیابی مدل‌ها در برازش داده‌های شبیه‌سازی شده از معیار میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیارهای AIC و BIC

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (۸)$$

$$AIC = 2k - 2 \ln(\hat{l}) \quad (۹)$$

(۱۰)

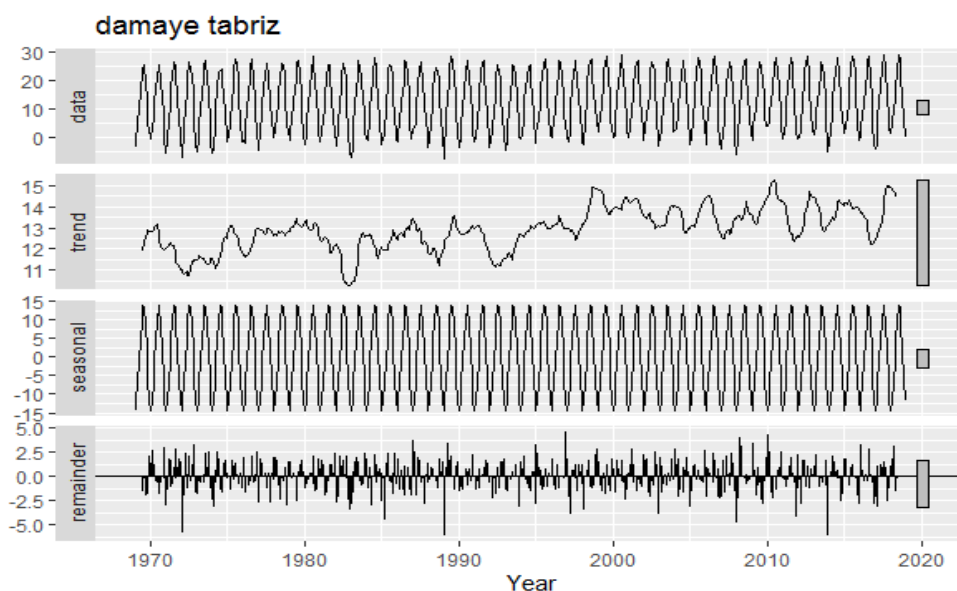
$$BIC = k \ln(n) - 2 \ln(\hat{l})$$

استفاده می‌شود. که در این روابط k تعداد پارامتر، N تعداد مشاهدات و \hat{l} مقدار برآورد تابع ماکسیمم درستنمایی است. لازم به ذکر است مقادیر کوچک هر کدام از معیارها BIC، AIC و RMSE مربوطه نشان‌دهنده آن است که مدل مورد نظر نسبت به بقیه مدل‌ها، بهتر و مناسب‌تر است.

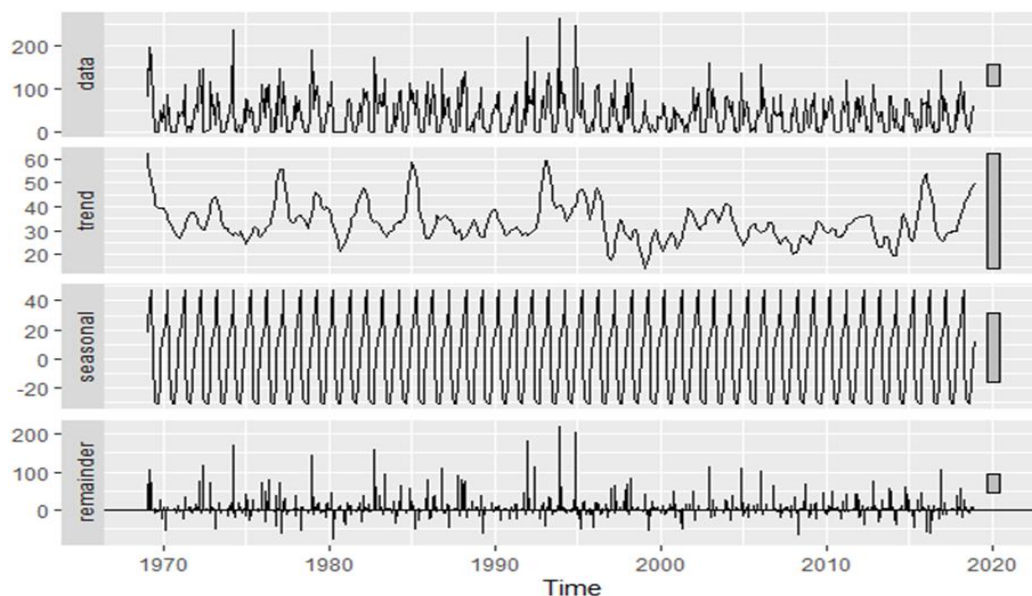
نتایج و بحث

اولین گام در مدل‌سازی یک سری زمانی رسم نمودار آن سری می‌باشد. نمودارهای سری زمانی در شناسایی روند، ناپایداری در واریانس، فصلی بودن و شناسایی داده‌های پرت کمک می‌کند. برای این منظور جهت تحلیل، ابتدا سری‌های زمانی بارش و دمای تبریز طی دوره (۲۰۱۸-۱۹۶۹) مورد بررسی قرار گرفت است. شکل ۲ و ۳ سری‌های زمانی دما و بارش به همراه تجزیه نمودار اصلی به نمودارهای روند، تغییرات فصلی و میزان خطا را نشان می‌دهد که وجود روند در هر دو شکل نشان از نامانایی در داده‌های دما و بارش ایستگاه مورد مطالعه است.

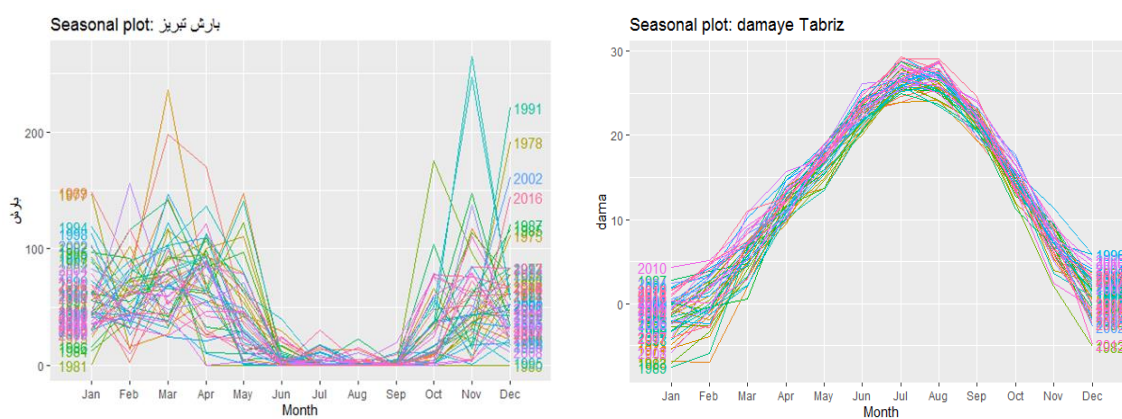
بررسی تغییرات ماهانه و فصلی دما و بارش طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۶۹ نشان می‌دهد که در طول دوره مورد مطالعه، میزان دما با نوساناتی کوتاه مدت طی ماه‌های ژانویه و فوریه کاهش داشته سپس میزان دما افزایش و در ماه‌های می، ژوئن و آگوست به اوج خود رسیده و دوباره سیر نزولی به خود می‌گیرد. همچنین بررسی بارش نشان‌دهنده آن است که در ماه‌های ژانویه تا می میزان بارش‌ها افزایش و در ماه‌های میانی سال ثابت و خیلی کم است، سپس دوباره در ماه‌های سپتامبر تا دسامبر میزان بارش‌ها مجدد افزایش داشته است (شکل ۴).



شکل ۲- داده‌های سری زمانی دما به همراه نمودارهای روند، تغییرات فصلی و خطا



شکل ۳- داده‌های سری زمانی بارش به همراه نمودارهای روند، تغییرات فصلی و خطا

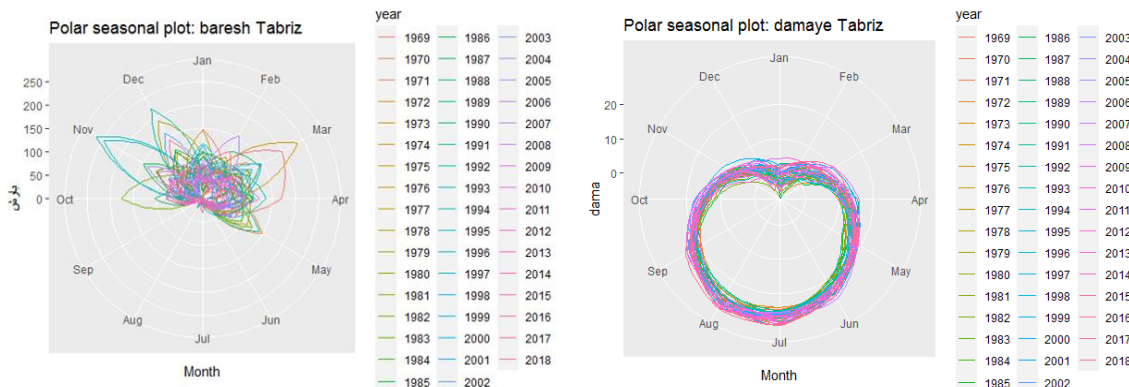


شکل ۴- نمودار تغییرات ماهانه و فصلی دما و بارش طی دوره مورد مطالعه

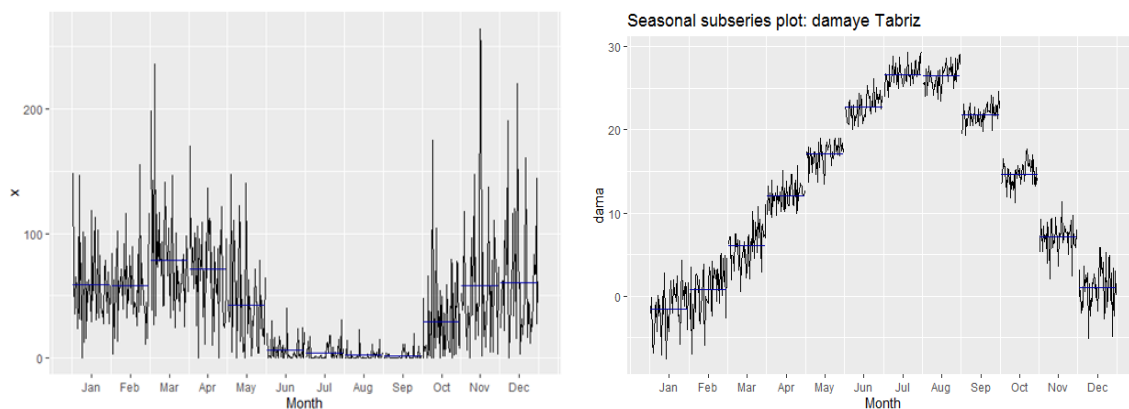
قطاع بزرگتری را به خود اختصاص می‌دهند به گونه ای که در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، می و آگوست در دایره بزرگتر قرار می‌گیرند (شکل ۵).

همچنین نحوه تغییرات دما و بارش به صورت مجموعه فصلی طی دوره ۵۰ سال جهت بررسی نوسانات و تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه در شکل (۶) آورده شد.

برای مشاهده بهتر تغییرات دما و بارش از نمودار قطبی استفاده شد. در این نمودارها به وضوح نحوه تغییرات دما و بارش طی ماه‌های مختلف سال قابل مشاهده است. برای مثال در نمودار دمای تبریز در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر میزان آنها در یک قطاع دایره قرار دارند که در ماه‌های بعد با توجه به افزایش بارش‌ها، در نمودار قطبی



شکل ۵- تغییرات ماهانه و فصلی دما و بارش طی دوره مورد مطالعه بر اساس نمودار قطبی



شکل ۶- تغییرات دما و بارش طی دوره مورد مطالعه بر حسب ماهها سال

معنی‌داری آزمون‌ها وجود حافظه بلند مدت در این داده‌ها با سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌گردد. استفاده از مدل ARFIMA زمانی درست و منطقی است که داده‌ها بلندمدت باشد چون در داده‌های مورد مطالعه وجود حافظه بلند مدت اثبات شد می‌توان از مدل ARFIMA استفاده کرد. مقادیر و ضرایب مدل برای هر یک از پارامترهای مدل برای برآورد دما و بارش در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شد. در این جداول AR اتورگرسیون، MA میانگین متحرک می‌باشد که با توجه به سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ دارای بهترین عملکرد می‌باشند.

بررسی سری‌های زمانی دما و بارش در شکل‌های ۲ تا ۶ حاکی از وجود روند در داده‌های مورد مطالعه است. که وجود روند در داده‌ها نیز نشان از نا مانایی است که برای رفع آن از روش تفاضل‌گیری استفاده شده است. اما قبل از مانا کردن داده‌ها لازم است وجود حافظه بلند مدت در داده‌ها مورد آزمون قرارگیرد. بدین منظور از آزمونهای R/S و GPH استفاده گردید. در روش R/S فرض صفر عدم وجود حافظه بلندمدت و در روش GPH فرض صفر بررسی $d=0$ است. (همان عدم وجود حافظه بلندمدت است). براساس نتایج جدول ۱ و با توجه به سطح

جدول ۱- نتایج حاصل از دو آزمون R/S و GPH جهت بررسی وجود حافظه بلندمدت

پارامتر	آزمون	d	s.d	sig
دما	R/S	۰/۲۴۸۵	۰/۰۳۵۳	۰/۰۰۰
	GPH	۰/۲۳۹۸	۰/۱۶۱۱	۰/۰۱
بارش	R/S	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۴۵
	GPH	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۰۳

جدول ۲. مقادیر پارامترها و ضرایب عملگر اتورگرسیو و میانگین متحرک جهت تحلیل دما

ضرایب	مقدار	سطح معنی داری
μ	۰/۰۴۱	۰/۰۰
σ^2	۲/۲۴	۰/۰۰
d	۰/۱۹۸۳	۰/۰۰
AR(1)	۱/۴	۰/۰۰
AR(2)	-۰/۴۵	۰/۰۰
AR(3)	-۰/۲۹	۰/۰۰
MA(1)	۰/۷۵	۰/۰۰

جدول ۳. مقادیر پارامترها و ضرایب عملگر اتورگرسیو و میانگین متحرک جهت تحلیل بارش

ضرایب	مقدار	سطح معنی داری
μ	۱/۴۲	۰/۰۰۱
σ^2	۳۸/۰۷	۰/۰۰
d	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰
AR(1)	۰/۶۸	۰/۰۰
MA(1)	۰/۴۱	۰/۰۰۲
MA(2)	۰/۲۵	۰/۰۰
MA(3)	۰/۱۰۵	۰/۰۰
MA(4)	۰/۱۷	۰/۰۰۱

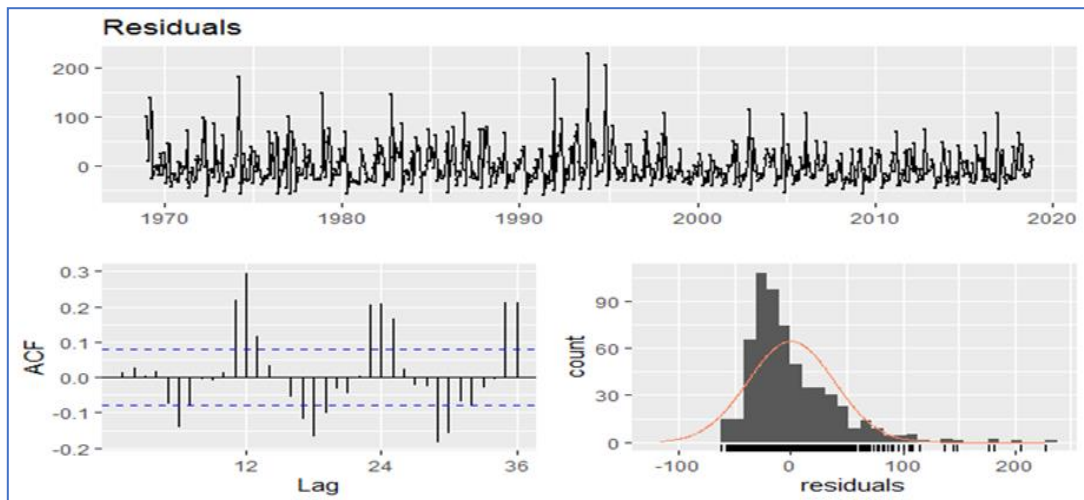
باقیمانده‌های مدل برازش شده در مقابل زمان مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۷).

به منظور تشخیص بهترین مدل از ضرایب جدول (۲ و ۳) و شکل (۷) استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل برای داده‌های دما مدل $ARFIMA(3,0,2,1)$ و برای بارش مدل $ARFIMA(1,0,0004,4)$ دارای بهترین نتیجه است. معمولاً ملاک انتخاب مدل بهتر بر مبنای آماره‌های خلاصه شده‌ای است که از باقیمانده‌های مدل‌های برازش شده محاسبه می‌شوند. پس از تشخیص مدل اولیه با کمک نرم‌افزار R، مدل تشخیص داده شده بر داده‌های اصلی برازش داده شد و نتایج حاصل در شکل‌های ۸ و ۹ آورده شد.

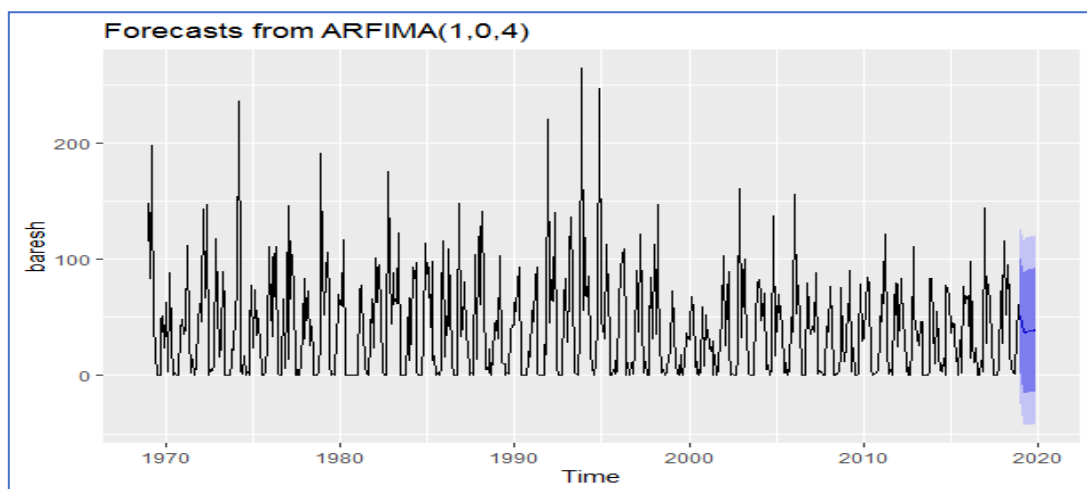
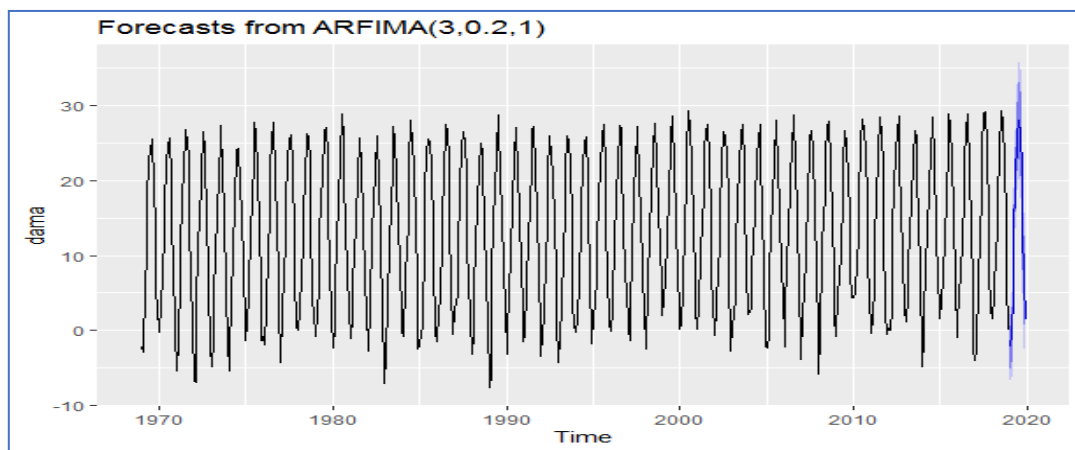
به منظور واسنجی و ارزیابی دقت مدل‌ها از معیارهای RMSE، BIC و AIC بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی مدل‌ها بهره گرفته شد که نتایج حاکی از دقت مناسب مدل‌های ارائه شده جهت شبیه‌سازی دما و بارش در تبریز است اما

بعد از برآورد پارامترها باید درستی مدل با بررسی این که آیا فرض‌های الگو برقرار هستند مورد ارزیابی قرار گیرد. با استفاده از دو روش مکمل یکدیگر یعنی تجزیه و تحلیل باقی‌مانده‌های مدل برازش داده شده و برازش جامع‌تر که شامل مدل‌هایی با درجات بیشتر که مدل اولیه را به عنوان مورد خاص در بر می‌گیرند به بررسی مناسبیت مدل پرداخته شد. به همین منظور مقادیر باقیمانده‌ها، نمودار خود همبستگی (ACF) و منحنی نرمال باقیمانده‌ها برای سری‌های تفاضلی شده دما و بارش در شکل (۷) آورده شد. براساس نمودارها فرض نرمال بودن باقیمانده‌های مدل دما و بارش براساس آزمون نیکویی برازش و منحنی نرمال در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد تأیید قرار گرفته است. فرض استقلال باقیمانده‌ها با توجه به نمودار ACF به دلیل قرار گرفتن در محدوده استاندارد نیز تأیید می‌شود. همچنین ثابت بودن واریانس باقیمانده‌ها براساس نمودار

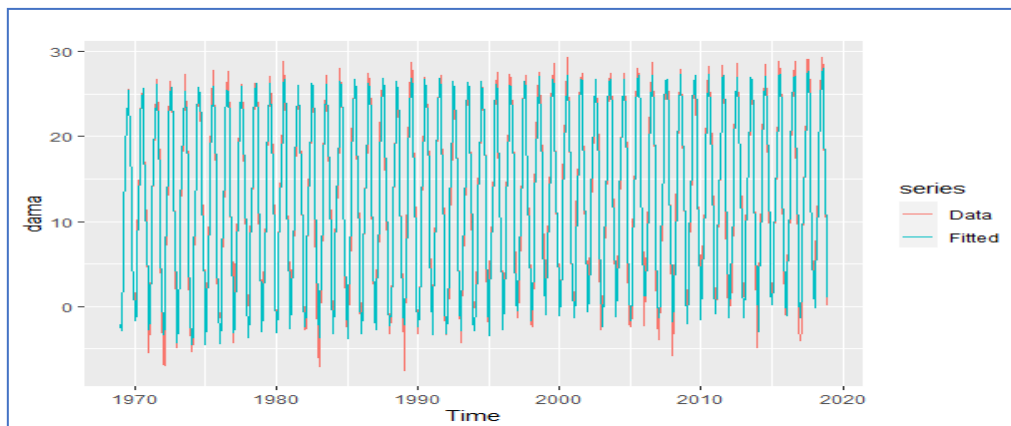
آنچه مشخص است مقادیر پیش‌بینی در دما بهتر از بارش می‌باشد.



شکل ۷- مقادیر باقیمانده‌ها پس از تفاضل‌گیری و ایستا کردن سری‌های دما و بارش



شکل ۸- مقادیر شبیه‌سازی مدل برای سری‌های دما و بارش



شکل ۹- مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده داده‌های دما و بارش

جدول ۴- ارزیابی عملکرد مدل‌های ارائه شده برای دما و بارش ایستگاه همدید تبریز

پارامتر	مدل	RMSE	BIC	AIC
دما	ARFIMA (3,0.2,1)	۲/۲۲۸	۲۷۱۰/۴۳۶	۲۸۵۴/۰۵۴
بارش	ARFIMA (1,0.0004,4)	۳۸/۴۴	۶۱۱۴/۹۳۱	۶۰۸۴/۱۵۲

هواشناسی تبریز در طول نیم قرن اخیر (۱۹۶۹-۲۰۱۸) با استفاده از مدل آرفیما مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بهترین مدل برازش داده شده برای دما مدل $ARFIMA(3,0.2,1)$ و برای بارش مدل $ARFIMA(1,0.0004,4)$ است که کمترین خطا و بیشترین دقت را در شبیه‌سازی سری‌های زمانی مورد بررسی داشتند. نتایج شاخص‌های ارزیابی بین مقادیر واقعی و نتایج حاصل از مدل‌های انتخابی، نشان داد داده‌های ماهانه مدل‌سازی شده دارای دقت بالایی هستند. ولی برای پیش‌بینی بارش باید با احتیاط بیشتری برخورد کرد. نتایج حاصل از مطالعات حاجی بیگلو و همکاران (۱۳۹۲) در مشهد، محمدپور و

نتیجه‌گیری

تحلیل پدیده‌های تصادفی در قلمرو علم آمار و احتمال از زیر مجموعه‌های علم هوا و اقلیم‌شناسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه پارامترها و پدیده‌های جوی به صورت تصادفی می‌باشند، بنابراین اساس تجزیه و تحلیل آن‌ها بر اساس مدل‌های آماری است برای یک سری زمانی از پارامترهای جوی می‌تواند بر اساس مدل‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و با کشف روابط حاکم بر آن‌ها به منظور اهداف پیش‌بینی از آن‌ها استفاده کرد. لذا با توجه به اهمیت وجود حافظه بلندمدت در سری‌های زمانی در این پژوهش سری‌های زمانی دما و بارش ایستگاه

- moving average method. Environmental Engineering Research, No. 2, pp. 162-168.
9. Mohammadpour Panchah, M.R and A. Taghizadeh, 2016. Analysis of time series and the possibility of monthly temperature and precipitation forecasting using ARIMA models for Bandar Abbas city, 17th Iranian Geophysical Conference.
 10. Naill P.E. and Momani M. 2009. Time Series Analysis Model for Rainfall Data in Jordan: Case Study for Using Time Series Analysis. American Journal of Environmental Sciences, No. 5, pp. 599-604.
 11. Nyatuame, M. and Agodzo, S.K. 2018. Stochastic ARIMA model for annual rainfall and maximum temperature forecasting over Tordzie watershed in Ghana. Journal of Water and Land Development, No. 1, pp. 127-140.
 12. Parviz, L, 2019. Development of seasonal ARIMA time series model and review of model performance in monthly rainfall simulation. Irrigation and Water Engineering of Iran, No, 37, pp. 122-135.
 13. Reisen, V. A. 1994. Estimation of the fractional difference parameter in the ARFIMA (p,d,q) model using the smoothed periodogram. Journal Time Series Analysis, No1, pp. 335-350
 14. Reisen, V. A., B. Abraham, and E. M. M. Toscano. 2001. Parametric and semiparametric estimations of stationary univariate ARFIMA model. Brazilian Journal of Probability and Statistics, No. 14, pp.185-206.
 15. Salarzahi, H, M. Kashi, S.A. Hosseini and M. Dunyaeh, 2012. Comparison of efficiency of ARIMA and ARFIMA models for modeling and forecasting Tehran price index (TEPIX). Investment Knowledge, No. 2, pp. 80-63.
 16. Shabani, B, M. Mousavi Baigi, M. Jabbari Noghabi and B. Ghahraman, 2012. Modeling and forecasting the maximum and minimum monthly temperatures of Mashhad plain using time series models. Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries), No. 27, pp. 896-906.
 17. Tabatabai, S.A and M. Hosseini, 2003. Study of Climate Change in Semnan City Based on Precipitation Parameters, Average Monthly Temperature, Third Regional Conference and First National Conference on Climate Change, Isfahan, 8 p.
 18. Teymouri Yeganeh, L and M, Teymouri Yeganeh, 2020. Application of time series model for estimating monthly rainfall in
- تقی‌زاده (۱۳۹۵) در بندرعباس، پرویز (۱۳۹۸) در اردبیل و تیموری یگانه (۱۳۹۹) در کرمانشاه را مورد تأیید قرار می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، می‌توان مدل‌های حافظه بلندمدت همچون ARFIMA را روش مناسبی در مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی پیشنهاد نمود.
- تقدیر و تشکر**
- نویسندگان از داوران مقاله، ویراستار و سردبیر محترم مجله که با نظرات ارزشمند خود در بهبود کیفیت مقاله نقش مهمی داشته‌اند سپاسگزارند.
- منابع**
1. Aghelpour, P and M. Nadi, 2018. Assessing the accuracy of SARIMA model in modeling and long-term forecast of average monthly temperature in different climates of Iran. Climatological Research, No. 35, pp. 113-126.
 2. Ahhashimi, Sh. 2014. Prediction of monthly rainfall in Kirkuk using artificial neural network and time series models. Journal of engineering and development, No. 18, pp.129-142.
 3. Asakereh, H. 2007. Climate Change, University of Zanjan Pub. 1th edition, Zanjan, 246p.
 4. Dayal. D., Swain. S., Gautam. A.K., Palmate. S.S., Pandey. A and Mishra. S.K. 2019. Development of ARIMA Model for Monthly Rainfall Forecasting over an Indian River Basin. World Environmental and Water Resources Congress.
 5. Geweke, J. and Porter-Hudak, S. 1983. The estimation and application of long memory time series models. Journal of Time Series Analysis, No. 4, pp. 221-238.
 6. Haji Bigloo, M, A. Ghezel Sofloo and H. Ali Mirzaei, 2013. Investigation and forecast of average monthly rainfall using SARIMA technique (Case study: Baba Aman Bojnourd rainfall station). Engineering and Irrigation Sciences (Scientific Journal of Agriculture), No. 3, pp. 41-54.
 7. Khosravi, Y, S. Biliyani and A. Bayat, 2017. Temporal analysis of annual rainfall in Shiraz using time series analysis. Water Resources Engineering, No, 38, pp. 1-14.
 8. Mahmud, I., Bari, S. H. and Rahman, T. M. 2017. Monthly rainfall forecast of Bangladesh using autoregressive integrated

20. Yavarzadeh, M. R, E. Hajiani and A. Nazemi, Amir, 2017. Presenting a model for predicting inflation and economic growth in Iran with a futures research approach and Markov methodology. Management Futurology, No. 108, pp. 1-13.
21. Zahabioun, B, M.R, Goodarzi and A. Masahbavani, 2010. Application of SWAT model in estimating basin runoff in future periods affected by climate change, Journal of Climatological Research, No. 1-2, pp. 58-43.
- Kermanshah province, Climatological Research, No. 44, pp. 121-132.
19. Wei W.S. 1990. Time series analysis: Univariate and Multivariate Methods. Addison-wesley publishing company. New York. 614p.