

## کاربرد مدل‌های سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب

اسماعیل دودانگه<sup>۱</sup>، جهانگیر عابدی کوپائی<sup>۲\*</sup> و سید علیرضا گوهری<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵)

### چکیده

در نتیجه نقش مهم پارامترهای اقلیمی از جمله تابش، دما، بارش و در نهایت تبخیر در مدیریت منابع آب، در این مطالعه به منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مدل‌های سری زمانی ARIMA به کار گرفته شد. بدین منظور پس از بررسی داده‌های اقلیمی از نظر نرمال بودن آزمون ناپارامتریک من-کندال برای بررسی روند داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد به کار گرفته شد و پارامترهای درصد رطوبت نسبی و تبخیر با دارا بودن روند معنی‌دار (۰/۳۴۸- و ۰/۴۲- سانتی‌متر در سال) و نیز دمای هوا، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی به منظور انجام مدل‌سازی انتخاب گردید. ابتدا با توجه توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) و نیز وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها سعی گردید تا مدل‌های سری زمانی مناسب به داده‌های مورد نظر برازش داده شود. پس از انتخاب مدل‌ها معنی‌داری پارامترها با برآورد خطای معیار و مقادیر  $t$  بررسی گردید و نیز شرایط ایستایی و معکوس‌پذیری پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک مورد آزمون قرار گرفت. سپس آزمون‌های نکوئی برازش از جمله آزمون کلوموگروف-اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ و رایان-جوینر برای صحت‌سنجی مدل‌ها به کار گرفته شد و در نهایت مدل  $ARIMA(0,0,1) * (0,0,1)$ ،  $ARIMA(2,0,4) * (1,1,0)$ ،  $ARIMA(4,0,0) * (0,1,1)$ ،  $ARIMA(1,0,1) * (0,1,1)$  و  $ARIMA(1,0,0) * (0,1,1)$  به ترتیب برای داده‌های درصد رطوبت نسبی، تبخیر، دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی برازش داده شد و پیش‌بینی‌ها براساس مدل‌های مذکور صورت گرفت. سپس روند داده‌های پیش‌بینی شده به منظور بررسی تغییرات اقلیمی تعیین گردید. نتایج این مطالعه بیانگر سودمندی مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیمی، مدل‌های سری زمانی، آزمون من-کندال، تبخیر، مدیریت منابع آب

۱. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. به ترتیب دانشیار و دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [koupai@cc.iut.ac.ir](mailto:koupai@cc.iut.ac.ir)

## مقدمه

آب و بررسی نوسانات اقلیمی است و عموماً به منظور تولید داده، پیش‌بینی، برآورد داده‌های مفقوده و تطویل داده‌های هیدرولوژیک به کار گرفته می‌شود (۶). در سال‌های گذشته مطالعات زیادی در خصوص استفاده از مدل‌سازی سری زمانی صورت گرفته است و هر کدام از آنها بنا بر هدف خاصی از این تکنیک بهره گرفته‌اند. مدرس از این تکنیک به منظور پیش‌بینی خشک‌سالی هیدرولوژیک پرداخت و مدل‌های سری زمانی را برای پیش‌بینی ۴ شاخص آستانه خشک‌سالی از جمله متوسط جریان، متوسط جریان ماهانه، خشک‌سالی ماهانه با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ سال و نیز شاخص استاندارد جریان به کار گرفت (۸).

سلطانی و همکاران برای گروه‌بندی اقلیم بارش کشور از این تکنیک استفاده کردند و براساس مدل‌های سری زمانی بارش برای مناطق مختلف کشور، اقلیم ایران را به سه گروه تقسیم‌بندی کردند (۱۲). در این مطالعه به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده از مدل‌سازی سری زمانی بهره گرفته شد و با برازش مدل‌های مناسب به داده‌های مورد نظر مقدار پارامترها برای ماه‌های آینده پیش‌بینی گردید و سپس روند داده‌های پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفت. تا کنون مطالعاتی که در خصوص تعیین روند به منظور بررسی تغییر اقلیم انجام شده عموماً براساس پارامتر بارش بوده است و اغلب این مطالعات از داده‌های ثبت شده در گذشته برای این منظور استفاده کرده‌اند. از جمله می‌توان به مطالعه اکینرمی و همکاران اشاره کرد که به بررسی روند بارش در طول ۴۰ سال گذشته پرداختند و نشان دادند که افزایش معنی‌داری در مقدار بارش وجود داشته است (۱). میخائیل و همکاران به بررسی روند تبخیر در کانبرا پرداختند و روند معنی‌دار کاهشی را برای تبخیر تعیین کردند و در نهایت بورن و همکاران پارامترهای اقلیمی از جمله سرعت باد، دمای هوا، دمای نقطه شبنم و کمبود فشار بخار آب را برای بررسی علل احتمالی روند تبخیر در چمنزارهای کانادا به کار گرفتند (۵). در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از آزمون تحلیل

تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از مسائل چالش برانگیز مرتبط با مسائل زیست‌محیطی است. درک ما از تأثیرات بشری روی محیط، مخصوصاً آنهایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در تغییر هستند که تعیین این تغییرات می‌تواند مشکل باشد (۱۷). سطح زمین در ۱۰۰ سال گذشته تقریباً ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و این منجر به افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر شده است (۱۰) و افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر تمام جنبه‌های اقلیم را تحت تأثیر قرار داده است (۱۵) از جمله مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی که در جو زمین تحت تأثیر گازهای گلخانه‌ای هستند دمای هواست. از طرف دیگر دمای هوا متأثر از شدت تابش خورشیدی است چرا که هرگونه تغییر معنی‌دار در تابش خورشید به احتمال زیاد نقش عمده‌ای در تغییرات اقلیمی (از جمله افزایش دمای عمومی زمین) خواهد داشت (۱۳) و این افزایش دمای هوا مخصوصاً در نزدیک سطح زمین (Near Surface Air temperature) NSAT تبادل رطوبتی بین سطح زمین و اتمسفر را از طریق فرآیند تبخیر کنترل می‌کند (۱۴) از این رو نگرانی‌هایی در مورد تأثیر گرمایش جهانی روی تبخیر وجود دارد. تبخیر بخش مهمی از چرخه هیدرولوژیک را تشکیل می‌دهد و تعادل آب را در سطح زمین تحت تأثیر قرار می‌دهد (۹).

بنابراین ارتباط پیچیده‌ای بین پارامترهای اقلیمی وجود دارد و این ارتباط در نهایت منابع آب را از طریق فرآیند تبخیر تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و بررسی روند آنها در آینده در مدیریت بهینه منابع آب از جمله آبیاری که یکی از اهداف اولیه مدیریت منابع آب در کشاورزی است، تأثیر بسزایی خواهد داشت (۱۶) چرا که تعیین این روندهای احتمالی که در نتیجه گرمایش جهانی در آینده اتفاق خواهد افتاد تصویری از شرایط زیست‌محیطی در آینده را به تصویر می‌کشد (۹). مدل‌سازی سری زمانی ابزاری قدرتمند در خصوص طراحی، مدیریت و تصمیم‌گیری در خصوص منابع

### آزمون من- کندال

آزمون من- کندال اولین بار در سال ۱۹۳۰ توسط کندال براساس نوعی ضریب همبستگی ارائه شد.

ضرایب همبستگی میزان ارتباط را بین دو سری از متغیرها اندازه‌گیری می‌کنند تا مشخص شود که آیا متغیر اول با افزایش متغیر دوم افزایش می‌یابد، کاهش می‌یابد و یا این‌که الگوهای تغییر آنها در ارتباط با هم نیست.

آزمون من- کندال با تعریف آماره S به شکل زیر تعریف می‌شود (۱۸):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_k) \quad [1]$$

که در آن  $X_i$  و  $X_j$  مقادیر مرتب شده نمونه و n تعداد نمونه است. مقدار  $\text{Sign}(x_i - x_j)$  برای  $(x_i - x_j) < 0$ ، برابر با -۱، برای  $(x_i - x_j) = 0$ ، برابر با صفر و برای  $(x_i - x_j) > 0$ ، برابر با ۱ است.

مقدار نمره استاندارد شده Z و واریانس آماره S نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & , S > 0 \\ 0 & , S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & , S < 0 \end{cases} \quad [2]$$

مقادیر مثبت Z نشان‌دهنده روندهای افزایشی و مقادیر منفی Z نشان‌دهنده روندهای کاهش‌ی است. فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند در داده‌ها برای مقادیر Z بزرگ‌تر از  $Z_{1-p/2}$  رد می‌شود. در این مطالعه سطوح معنی‌داری  $p=0/01$  و  $p=0/05$  به کار گرفته شده است.

$$\text{Var}(s) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad [3]$$

که  $t_p$  شماره گره برای مقدار p ام و q تعداد گره‌هاست.

روند من- کندال روند عمومی پارامترهای ساعات آفتابی، دمای هوا، سرعت باد، درصد رطوبت نسبی و تبخیر برای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه تعیین گردد و سپس با برآزش مدل‌های سری زمانی مناسب به داده‌های ماهانه پارامترهای مذکور در ایستگاه اصفهان، سری زمانی داده‌های مذکور در ماه‌های آینده پیش‌بینی شود و سپس روند این پارامترها برای داده‌های پیش‌بینی شده بررسی شود و با روند داده‌ها در گذشته مقایسه گردد تا از این طریق تمهیدات لازم در زمینه مدیریت بهینه منابع آب صورت پذیرد.

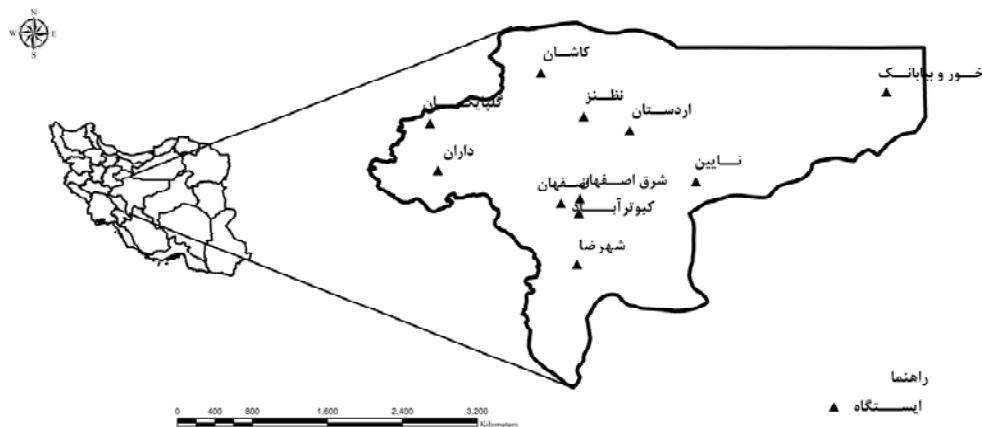
### مواد و روش‌ها

#### الف) داده‌های مورد استفاده

برای انجام این مطالعه داده‌های درصد رطوبت نسبی، دمای هوا، سرعت باد، تبخیر و ساعات آفتابی مربوط به اصفهان (۱۹۵۰-۲۰۰۵) مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱). پس از بررسی داده‌ها از نظر نرمال بودن و خودهمبستگی، معنی‌داری روند در سطح اطمینان ۹۰٪ مورد آزمون قرار گرفت و سپس با توجه به روند موجود در داده‌ها، مدل‌های سری زمانی مناسب برای پیش‌بینی این پارامترها به داده‌ها برآزش داده شد.

#### ب) تحلیل

۱. امروزه یکی از ابزارهای تعیین تغییرات اقلیمی تحلیل روند می‌باشد. روش‌های متفاوتی برای تعیین روند وجود دارند که به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش پارامتریک و ناپارامتریک که در این مطالعه از آزمون ناپارامتریک من-کندال برای بررسی روند پارامترهای اقلیمی استفاده شده است. لازم به ذکر است که متغیرهای اقلیمی به صورت استوکاستیک می‌باشند یعنی توزیع آنها به صورت تصادفی می‌باشد. لذا استفاده از روش‌های پارامتری مانند روش پیرسون برای مشخص کردن روند در این داده‌ها کار دشواری است و نتیجه حاصله چندان دقیق نخواهد بود بنابراین از آزمون ناپارامتریک من- کندال بدین منظور بهره گرفته شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

که  $Z_t$  سری‌های مشاهده شده،  $\Phi(B)$ ، رتبه چند جمله‌ای  $p$  و  $\theta(B)$  رتبه چند جمله‌ای  $q$  است. برای سری‌های زمانی فصلی که اغلب به صورت چرخه‌ای هستند، تفاضل‌گیری فصلی به کار برده می‌شود که در اینجا مدل فصلی - ضربی را خواهیم داشت:

$$\varphi_p(B)\Phi_p(B^s)\Delta^d\Delta_s^D(z_t - \bar{Z}) = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)a_t \quad [5]$$

که  $\Phi_p$  و  $\Theta_q$  به ترتیب چند جمله‌ای‌های فصلی  $P$  و  $Q$  هستند. رتبه مدل‌های ARIMA فصلی - ضربی به شکل  $(P, D, Q) * (p, d, q)$  می‌باشد.

#### برآورد پارامتر

بعد از مشخص شدن مدل، باید برآورد مؤثر از پارامترها صورت گیرد. پارامترها باید دو شرط ایستایی و معکوس‌پذیری را برای اتورگرسیون و میانگین متحرک داشته باشند (۲، ۳، ۱۱). پارامترها باید از نظر معنی‌داری مورد آزمون قرار گیرند که در ارتباط با مقادیر خطای برآوردها و برآورد مقادیر  $t$  می‌باشد. اگر  $\theta$  برآورد نقطه‌ای از پارامتر مورد نظر و  $S_{\theta}$  خطای برآورد باشد، مقدار  $t$  به صورت زیر خواهد بود:

$$t = \frac{\theta}{S_{\theta}} \quad [6]$$

اگر فرض صفر ( $H_0^{\theta} = 0$ ) با در نظر گرفتن احتمال خطای برابر یا بیشتر از  $\alpha = 0/05$ ، رد شود در این صورت پارامتر معنی‌دار خواهد بود و در مدل باقی می‌ماند.

#### ج) مدل‌سازی سری زمانی

##### تعریف مدل

در این مرحله با استفاده از توابع خودهمبستگی (Autocorrelation Function) ACF و خودهمبستگی جزئی (Partial Autocorrelation Function) PACF مدل‌های سری زمانی مناسب به داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از رفتار این دو تابع خواص ایستایی و فصلی بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مدلی که به فراوانی استفاده می‌شود مدل ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) است (۳). دو شکل کلی مدل‌های ARIMA، عبارتند از ARIMA غیرفصلی  $(p, d, q)$  و ARIMA فصلی - ضربی  $(P, D, Q) \times (p, d, q)$  است که  $p$  و  $q$ ، به ترتیب پارامترهای اتورگرسیون و میانگین متحرک غیرفصلی و  $P$  و  $Q$  پارامترهای اتورگرسیون و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر دیگر یعنی  $d$  و  $D$  پارامترهای تفاضلی برای ایستایی سری زمانی است. عملگر تفاضلی مورد استفاده برای سری‌های زمانی پویا عبارتند از  $\Delta = 1 - B$  (عملگر جهش به عقب است) و  $\Delta^d = (1 - B)^d$  برای تفاضل‌گیری فصلی است.

این شکل از مدل‌های ARIMA غیرفصلی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\Phi(B)Z_t = \Phi(B)(1 - B)^d Z_t = \theta(B)a_t \quad [4]$$

## آزمون نکوئی برازش

معنی دار می‌باشند که نتیجه آزمون من- کندال را در مورد معنی داری روند این دو پارامتر مورد تأیید قرار می‌دهد. بنابراین نتیجه این دو آزمون نشان‌دهنده لزوم تفاضل‌گیری داده‌های تبخیر و دمای هوا می‌باشد که در تعیین رتبه پارامتر در مدل‌سازی سری زمانی باید مورد توجه قرار گیرد. پارامترهای توصیفی مربوط به پارامترهای مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به مقادیر بالا مشخص می‌شود در حالت‌های حدی، میزان تبخیر حدوداً ۱۴ میلی‌متر و دمای هوا ۳۴ درجه سانتی‌گراد در منطقه مورد مطالعه خواهد بود. با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک و نیمه خشک کشور است لزوم توجه به پتانسیل منطقه به خصوص در زمینه فعالیت‌های کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد.

## مدل‌سازی سری زمانی

مدل‌های سری زمانی اولیه با توجه به توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) انتخاب شدند. در نگاه اول نوسانات ماهانه در همه پارامترها مشاهده شد که نشان‌دهنده رفتار فصلی آنها در نتیجه همبستگی بالا در  $K=12$  است. برای مثال توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی برای پارامترهای دمای هوا و تبخیر در اینجا آورده شده است (شکل ۳). از طرف دیگر با توجه به نتایج آزمون من- کندال وجود روند معنی دار در پارامترهای مذکور تأیید گردید. بنابراین برآورد پارامترها برای سری داده‌های مورد استفاده با توجه به نوسانات فصلی و روند موجود در داده‌ها تعیین شد و شرایط ایستایی و معکوس‌پذیری در مورد آنها مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جدول ۳ آورده شده است.

## دمای هوا

برای تعیین مدل آریمای مناسب برای داده‌های دمای هوا، ابتدا چندین مدل به صورت آزمون و خطا و با استفاده از آزمون تحلیل روند من- کندال و آزمون‌های خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، مشخص شد. ابتدا معنی داری روند مورد

آزمون‌های نکوئی برازش صحت مدل‌ها را با استفاده از ابزارهایی بررسی می‌کنند. برای بررسی صحت مدل‌های برازش داده شده به داده‌ها باقیمانده‌های مدل از نظر نرمال بودن و خودهمبستگی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه آزمون‌های کلموگروف- اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ، رایان- جویئر برای بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها و آزمون جانگ- باکس و خودهمبستگی برای بررسی تصادفی بودن باقیمانده‌های مدل مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین ضرایب همبستگی ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد میانگین خطای مطلق (MAPE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و BIC برای بررسی ارتباط داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### انتخاب متغیرها برای مدل‌سازی سری زمانی

پارامترهای اقلیمی با توجه به وجود یا عدم وجود روند در آنها برای مدل‌سازی سری زمانی انتخاب شدند. برای این منظور آزمون ناپارامتری من- کندال برای تعیین روند پارامترهای اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دمای هوا، تبخیر، ساعات آفتابی، درصد رطوبت نسبی و سرعت باد به کار گرفته شد. (شکل ۲) نتایج این آزمون نشان‌دهنده روند منفی برای تمامی پارامترهای اقلیمی به جز ساعات آفتابی است با این وجود روند معنی دار فقط در میزان تبخیر و درصد رطوبت نسبی مشخص شد ( $P\text{-value} < 0/01$ ). با توجه به جدول ۱ مقادیر روند پارامترهای تبخیر و درصد رطوبت نسبی کاملاً معنی دار و دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی تا حدودی معنی دار است. در ادامه توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) نیز برای بررسی روند داده‌های تبخیر و دمای هوا و نیز خودهمبستگی و تصادفی بودن آنها محاسبه شد (شکل ۳). همان‌طور که نمودار تابع خودهمبستگی جزئی نشان می‌دهد هر دو سری دارای یک روند کاهشی

جدول ۱. مقادیر روند پارامترهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

مقدار P	آماره من- کندال	پارامتر
۰	$-0/348^{**}$	درصد رطوبت نسبی
۰/۰۷۷	$-0/021$	دمای هوا
۰/۱۱۶	$-0/082$	سرعت باد
۰/۱۲۹	$0/018$	ساعات آفتابی
۰	$-0/42^{**}$	تبخیر

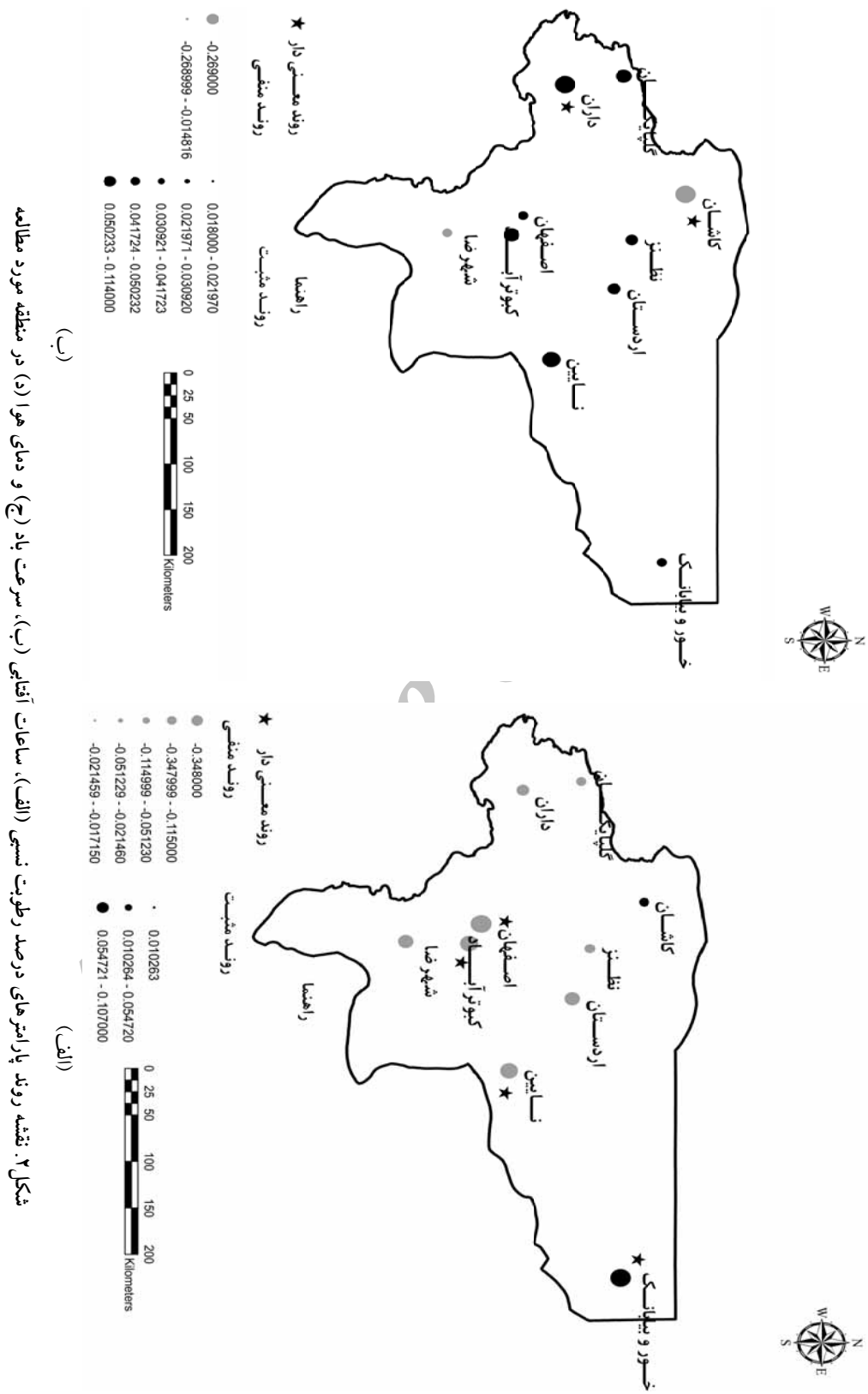
زمانی مناسب انتخاب شد (شکل ۴) و پیش‌بینی‌ها براساس مدل مذکور صورت گرفت. لازم به ذکر است که این شکل صحت مدل برازش داده شده را به صورت نموداری نشان می‌دهد. با توجه به تعدد پارامترهای اقلیمی در این مطالعه صحت‌سنجی نموداری فقط برای یکی از پارامترها (تبخیر) به صورت شماتیک نشان داده شده است و برای صحت‌سنجی بقیه پارامترها از جمله دمای هوا، به مقادیر آماره‌های واسنجی اکتفا شده است.

#### تبخیر

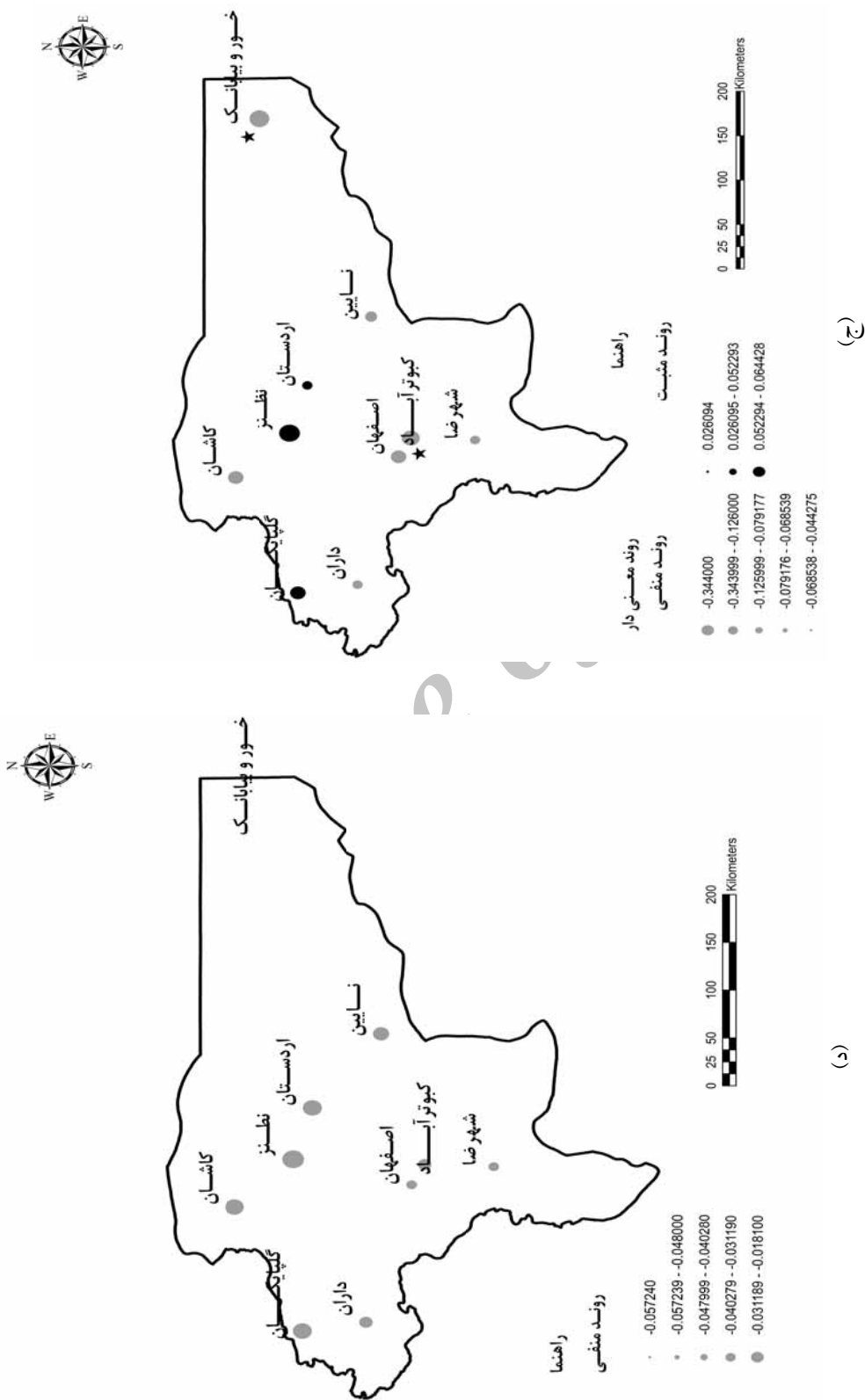
با توجه به جدول ۲ متوسط تبخیر منطقه مورد مطالعه ۸ میلی‌متر و مقادیر حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۹۴ و ۱۴/۱۵ میلی‌متر می‌باشد و مقادیر ضریب چولگی و ضریب کشیدگی به ترتیب  $-0/25$  و  $-0/89$  می‌باشد. با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه این میزان تبخیر قابل توجه است. بنابراین مشابه با دمای هوا مدل سری زمانی مناسب با استفاده از روند داده‌ها و توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی مدل سری زمانی مناسب برای داده‌های مورد نظر برازش داده شد. با توجه به مناسب بودن طول آماری داده‌های مورد استفاده برای انجام مدل‌سازی، کارایی مدل در پیش‌بینی بلند مدت داده‌ها برای تعیین روند پارامتر مورد نظر در آینده می‌تواند قابل توجه باشد. با توجه به روند موجود در داده‌ها تفاضل‌گیری غیرفصلی به داده‌ها اعمال گردید. تفاضل‌گیری فصلی نیز با توجه به ضریب همبستگی بالا در تأخیرهای ۱۲، ۲۴، ۳۶ و ... به داده‌ها اعمال گردید. برای تعیین مقادیر اتورگرسیو و میانگین متحرک نیز با

بررسی قرار گرفت و روند معنی‌داری مشخص نشد. بنابراین نیاز به تفاضل‌گیری غیرفصلی در داده‌ها رفع می‌شود. در مرحله بعد پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک مورد بررسی قرار گرفت. در بسیاری از موارد بیش از دو پارامتر اتورگرسیو و میانگین متحرک در مدل‌های آریمای مورد نیاز نیست. با توجه به توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، مقادیر ACF و PACF هر دو در تأخیرهای اولیه جهش‌های بزرگی نشان می‌دهند که این جهش‌ها به تدریج در تأخیرهای بعدی کاهش یافته و در بین خطوط قرار می‌گیرند.

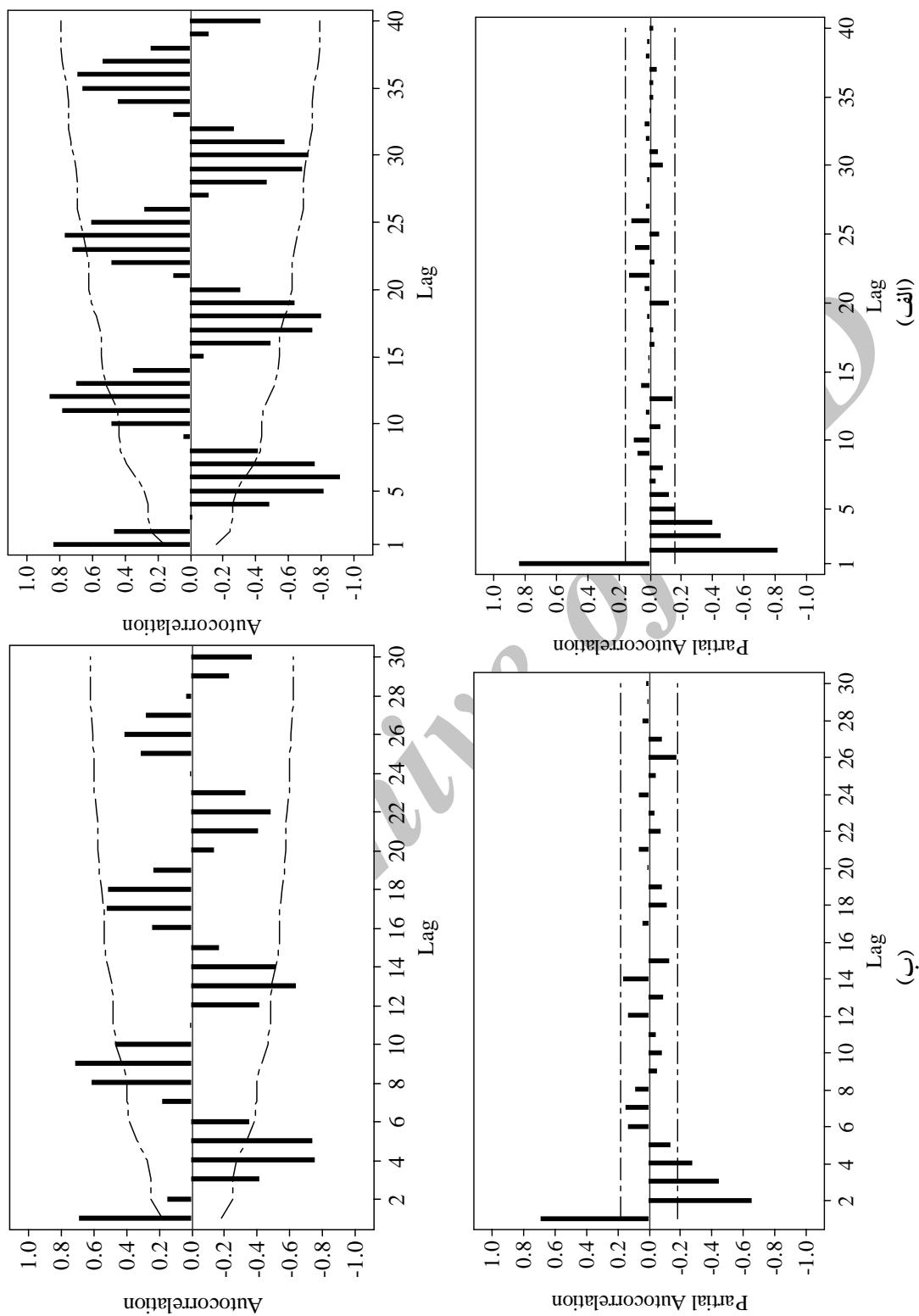
با توجه به ضریب همبستگی بالا در  $K = 12$  تفاضل‌گیری فصلی نیز در مورد داده‌ها انجام شد و در نهایت شرایط ایستایی و معکوس‌پذیری داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به موارد مذکور ابتدا مدل  $(1,1,1) * ARIMA(4,0,2)$  به عنوان مدل اولیه انتخاب گردید. بنابراین مدل مذکور به داده‌های دمای هوا برازش داده شد. با توجه به معنی‌دار نبودن پارامتر میانگین متحرک مدل مذکور رد شد. شرایط مشابهی در مورد اتورگرسیو فصلی وجود داشت بنابراین مدل دوم به صورت  $(0,1,1) * ARIMA(4,0,0)$  تأیید شد و پارامترهای مدل از نظر آماری مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آزمون در جدول ۳ ارائه گردیده است. با توجه به مقدار خطای استاندارد برآورد پارامترها و نیز مقدار احتمال  $t$ ،  $P - value < 0/001$  معنی‌داری پارامترها مورد تأیید قرار گرفت و بنابراین در مدل باقی ماندند و در نهایت پس از محاسبه توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های مدل و نیز آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها، مدل  $(0,1,1) * ARIMA(4,0,0)$  به عنوان مدل سری



شکل ۲. نقشه روند پارامترهای درصد رطوبت نسبی (الف)، ساعات آفتابی (ب)، سرعت باد (ج) و دمای هوا (د) در منطقه مورد مطالعه







شکل ۳. توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سری زمانی دمای هوا (الف) و تپخیر (ب)

جدول ۲. تحلیل آماری متغیرهای اقلیمی در ایستگاه اصفهان

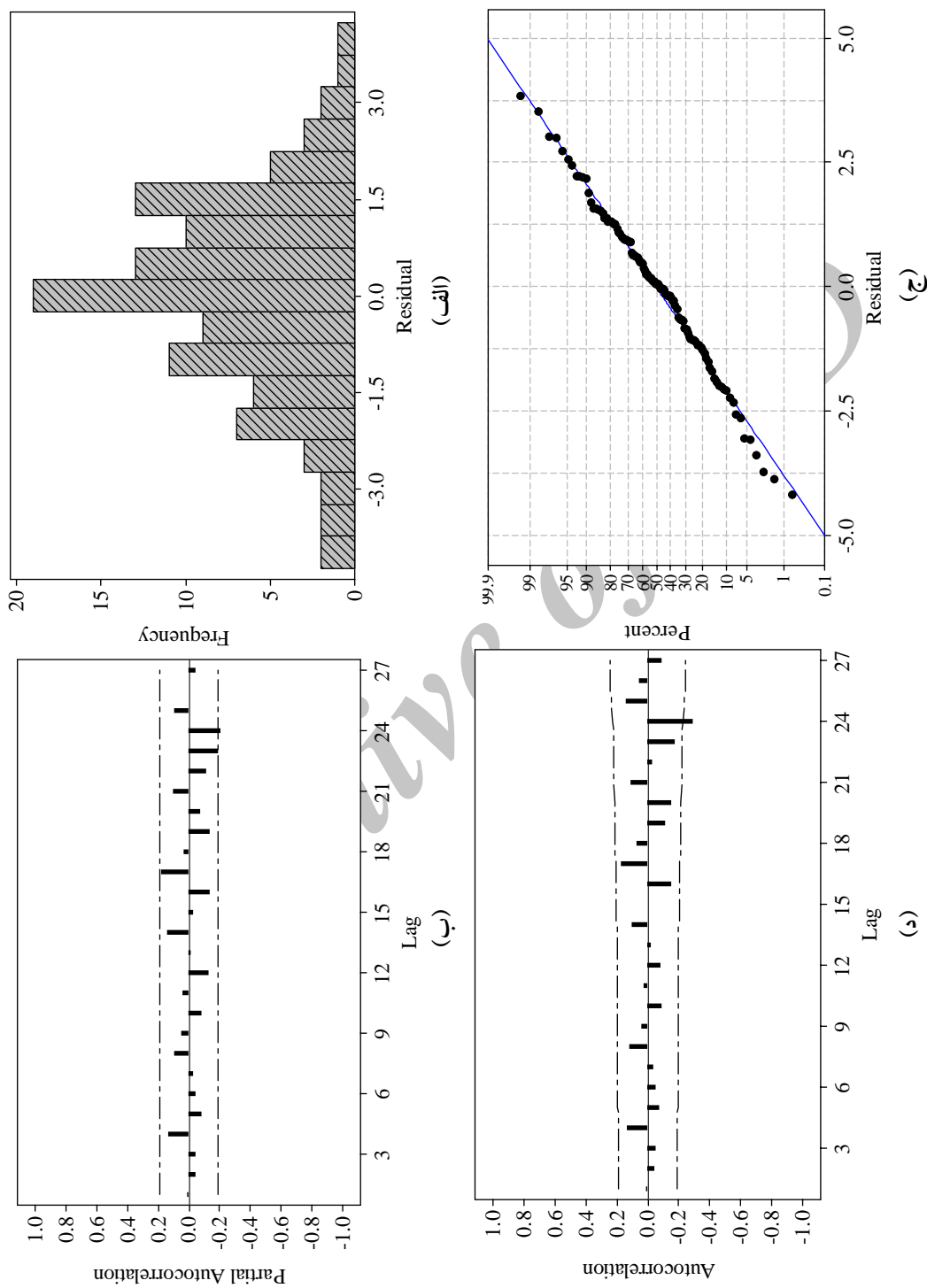
متغیر	مقادیر حداقل	مقادیر حداکثر	مقادیر میانگین	انحراف از معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
رطوبت نسبی (%)	۱۴	۷۷	۳۹/۹۱	۱۴/۹۴	۰/۳۱	۰/۱۹
دمای هوا (°C)	-۰/۷	۳۴/۸	۲۰/۹۵	۷/۳۹	-۰/۴۸	-۰/۷۳
سرعت باد (km/hr)	۰/۳	۱۱/۱۰	۴/۰۴	۱/۷	۰/۶۵	۰/۵۹
ساعات آفتابی (hr)	۱۰/۱/۵	۳۸۱/۵	۲۷۳/۷	۶۱/۶۷	-۰/۱۶	-۰/۹۷
تبخیر (mm)	۰/۹۴	۱۴/۱۵	۸	۳/۴	-۰/۲۵	-۰/۸۹

جدول ۳. نتایج آماری برآورد پارامتر مدل‌های سری زمانی

متغیر	مدل	مقدار پارامتر	خطای برآورد	مقدار t	مقدار p
درصد رطوبت نسبی	MA(1)	-۰/۵۵۲	۰/۰۳۹	-۱۴/۱۳۵	
	MA(2)	-۰/۲۲۸	۰/۴۴	-۵/۱۹۵	
	MA(3)	-۰/۱۱۸	۰/۰۳۹	-۳/۰۷۰	
	MA(11)	-۰/۱۹۴	۰/۰۳۶	-۵/۴۳۶	
تبخیر	AR(1)	۰/۹۶۲	۰/۱۰۱	۹/۵۳۹	
	AR(2)	-۰/۳۰۹	۰/۱۰۱	-۳/۰۶	
	MA(4)	۰/۳۸۱	۰/۱۷۹	۲/۱۲۷	
	S AR(1)	-۰/۵۴۳	۰/۰۸۹	-۶/۰۶	
دمای هوا	Constant	۰/۰۲۷	۰/۰۰۷	۳/۷۵	
	AR(1)	۰/۲۵۴	۰/۰۳۸	۶/۶۵۳	
	AR(4)	-۰/۳۸	۰/۰۴۹	-۷/۷۷	
	S MA(1)	۰/۷۵۶	۰/۰۸۳	۹/۰۸	P < ۰/۰۰۱
سرعت باد	Constant	-۰/۰۵۱	۰/۰۱۳	-۳/۸۹	
	AR(1)	۰/۸۲۱	۰/۰۵۰	۱۶/۳۸	
	MA(1)	۰/۵۸۳	۰/۰۷۱	۸/۲۳	
	S MA(1)	۰/۸۵۹	۰/۰۲۳	۳۷/۳۸	
ساعات آفتابی	AR(1)	۰/۲۱۲	۰/۰۴۹	۴/۳۳	
	MA(1)	۰/۸۸۷	۰/۰۵۲	۱۷/۱	

دو فرآیند اتورگرسیو و میانگین متحرک در داده‌ها اعمال گردید. در مرحله بعد معنی‌داری پارامترها مورد آزمون قرار گرفت و مدل آریمای فصلی به صورت  $ARIMA(2,0,4) * (1,1,0)$  مشخص گردید. با توجه به جدول ۳ خطای برآورد تمامی پارامترها کمتر از ۰/۲ و میزان  $P - value < 0/001$  می‌باشد.

توجه به نمودار توابع  $ACF$  و  $PACF$  رتبه مدل تعیین شد. با توجه به شکل ۳ ب، مشاهده می‌شود مقدار  $PACF$  بعد از تأخیر ۴ کاهش یافته و در محدوده اطمینان قرار گرفته است در مورد فرآیند اتورگرسیو نیز جهش‌های بلند در تأخیرهای ابتدایی دیده می‌شود که بعد از چندین تأخیر کاهش می‌یابد. بنابراین هر



جدول ۴. مدل‌های سری زمانی منتخب برای پارامترهای اقلیمی

متغیر	مدل	$R^2$	RMSE	MAPE	MAE	BIC
درصد رطوبت نسبی	ARIMA (0, 1, 1) * (0, 0, 11)	0/78	6/932	13/816	5/191	3/923
تبخیر	ARIMA (1, 1, 0) * (2, 0, 4)	0/75	1/71	26/65	1/27	1/25
دمای هوا	ARIMA (0, 1, 1) * (4, 0, 0)	0/97	1/46	36/33	1/12	0/79
سرعت باد	ARIMA (1, 0, 1) * (0, 1, 1)	0/73	0/92	21/6	0/7	-0/11
ساعات آفتابی	ARIMA (1, 0, 0) * (0, 1, 1)	0/80	27/31	8/64	20/13	6/64

نیز آزمون توالی به کار گرفته شد و همگنی داده‌ها مورد تأیید قرار گرفت ( $P - \text{value} > 0/05$ ). در مرحله بعد مدل‌های برازش داده شده برای پیش‌بینی پارامترها مورد استفاده قرار گرفت، برای مثال در مورد تبخیر پیش‌بینی برای دو بازه زمانی، دارای داده‌های مشاهداتی (۱۹۹۲-۲۰۰۴) و بدون داده مشاهداتی (۲۰۰۴-۲۰۰۶) صورت گرفت (شکل ۵). با توجه به شکل توانایی مدل در پیش‌بینی پارامتر مشخص می‌گردد به طوری که اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های پیش‌بینی شده حداقل است. همین طور در بازه زمانی فاقد آمار ثبت شده، پیش‌بینی خوبی توسط مدل صورت گرفته است به طوری که داده‌های پیش‌بینی شده در امتداد داده‌های مشاهده‌ای قرار گرفته است این موضوع در شکل ۵ به خوبی نشان داده شده است. نتایج تحلیل روند برای پارامترهای پیش‌بینی شده نشان داد که اختلاف روند برای پارامترهای پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای به جز تبخیر برای بقیه پارامترها معنی‌دار نبود. در مورد تبخیر میزان روند پارامتر از  $-0/42$  مربوط به گذشته به میزان  $0/03$  در آینده رسید که می‌تواند احتمالاً نشانه‌ای از وقوع تغییر اقلیم باشد.

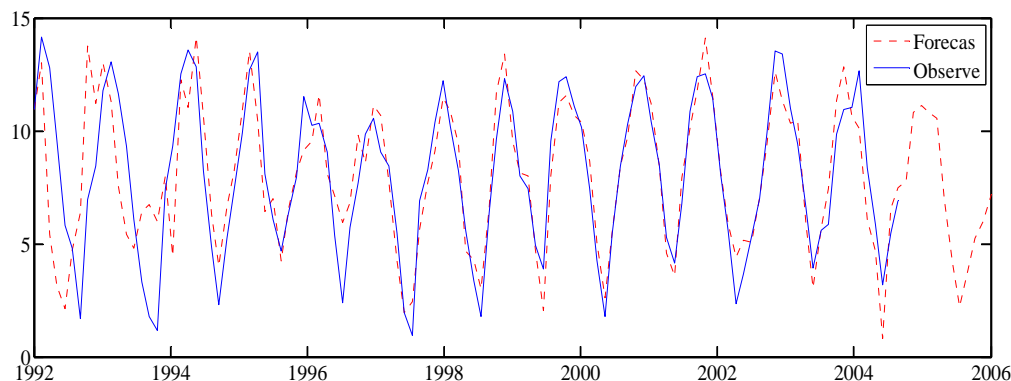
### بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل‌سازی سری زمانی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی به منظور مدیریت و سیاست‌گذاری در زمینه منابع آب در شرایط بحرانی به کار گرفته شد. به این منظور مدل رایج باکس-جنکینس ARIMA استفاده شد و نتایج خوبی در برازش به داده‌های ماهانه پارامترهای درصد رطوبت نسبی،

بنابراین معنی‌داری همه پارامترها مورد تأیید قرار گرفت. برای بررسی تصادفی بودن باقیمانده‌ها نیز آماره باکس-جانگ مورد استفاده قرار گرفت و فرض صفر مبنی بر عدم خودهمبستگی بین داده‌ها ( $P - \text{value} = 0/67$ ) پذیرفته شد. مقادیر ACF و PACF مربوط به باقیمانده مدل نیز این نتیجه را تأیید می‌کند (شکل ۴). مراحل فوق در مورد بقیه پارامترها نیز انجام شد و مدل‌های سری زمانی مناسب برای تمامی پارامترها مشخص گردید که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است، پیش‌بینی‌ها براساس مدل‌های مذکور صورت گرفت.

### اعتبارسنجی مدل‌های برازش داده شده

به منظور بررسی صحت داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها مقادیر  $R^2$ ، RMSE، MAPE، MAE و BIC نرمال شده، بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده محاسبه گردید. آماره‌های واسنجی مدل‌های سری زمانی در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین ضریب همبستگی مربوط به مدل سری زمانی مربوط به دمای هوا و کمترین میزان RMSE مربوط به سرعت باد است. در مورد آماره  $R^2$ ، مقادیر بالا نشان‌دهنده صحت بالای مدل‌های برازش داده شده و در مورد بقیه پارامترها مقادیر بالا نشان‌دهنده خطای بیشتر است. سه آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، اندرسون-دارلینگ و رایان-جوینر نیز برای بررسی نرمال بودن باقیمانده‌ها به کار گرفته شد که نتایج هر سه آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها را در سطح اطمینان  $\alpha = 5\%$  تأیید می‌کند. برای مثال در مورد تبخیر مقادیر این سه آزمون به ترتیب  $0/15$ ،  $0/62$  و  $0/1$  می‌باشد. برای بررسی همگنی باقیمانده‌ها



شکل ۵. مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در بازه زمانی (۱۹۹۲-۲۰۰۴) و پیش‌بینی پارامتر در بازه زمانی (۲۰۰۴-۲۰۰۶)

با توجه به روند داده‌ها مشخص گردید که دو پارامتر تبخیر و درصد رطوبت نسبی روند کاهشی معنی‌دار را در طول زمان نشان می‌دهند از طرف دیگر مقادیر روند برای بقیه داده‌ها به غیر از تعداد ساعات آفتابی، منفی است. سرعت باد و دمای هوا که از اصلی‌ترین عوامل مؤثر در میزان تبخیر هستند دارای روند منفی می‌باشند. دلیل این موضوع را می‌توان در ایجاد و گسترش طرح‌های بیابانزدایی و افزایش سطح زیر کشت تاغزارها دانست که باعث تعدیل دمای هوا، کاهش سرعت باد در منطقه و کاهش گنجایش رطوبتی اتمسفر گردیده است و از این طریق میزان تبخیر و در نهایت درصد رطوبت نسبی در طول زمان کاهش پیدا کرده است.

از طرفی با توسعه شهرسازی و ایجاد برج‌ها و ساختمان‌های با ارتفاع بلند، سرعت باد به میزان قابل توجهی در منطقه کاهش پیدا کرده است که این موضوع می‌تواند یکی از مسائل مهم در کاهش میزان تبخیر در منطقه باشد. کاهش سطح مزارع نیز از جمله مواردی است که به طور مستقیم در کاهش میزان تبخیر نقش داشته است. هم‌چنین می‌توان به افزایش گازهای گلخانه‌ای و ایجاد یک سیستم بسته اتمسفری مشابه با شرایط گلخانه اشاره کرد که این مسئله نیز به طور غیرمستقیم در کاهش میزان تبخیر نقش داشته است. نتایج مطالعات قبلی نیز مؤید این مطلب بوده است و گزارش‌های بسیاری از نقاط مختلف دنیا مبنی بر روند کاهشی تبخیر وجود داشته است (۷) از جمله مطالعه نیکول و همکاران (۹) که نشان‌دهنده روند

تبخیر، دمای هوا، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی داشت. نتایج مطالعه نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل‌های ARIMA در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی می‌باشد. بیشترین تفاوت (خطای پیش‌بینی) بین داده‌های مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده مربوط به تعداد ساعات آفتابی و کمترین خطا مربوط به سرعت باد بوده است. معیار انتخاب متغیرهای اقلیمی در مطالعات تغییر اقلیم بستگی به هدف محقق دارد. در این مطالعه روند متغیرهای اقلیمی در گذشته با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کنندال مورد بررسی قرار گرفت و متغیرهایی که احتمالاً در آینده روند افزایشی یا کاهشی خواهند داشت به منظور انجام مدل‌سازی انتخاب گردید تا با برازش مدل‌های سری زمانی مناسب، پیش‌بینی‌های درستی از آنها صورت گیرد و با مشخص شدن روند آنها در آینده سیاست‌ها و تصمیمات لازم در زمینه منابع آب اتخاذ گردد. متغیرهای ذکر شده در بالا با توجه به روند آنها در گذشته انتخاب گردیدند و با برازش مدل‌های مختلف، در نهایت مدل‌های  $ARIMA(0,0,1) * (0,0,1)$ ،  $ARIMA(1,1,0) * (1,1,0)$ ،  $ARIMA(2,0,4) * (0,1,1)$ ،  $ARIMA(4,0,0) * (0,1,1)$  به  $ARIMA(1,0,1) * (0,1,1)$ ،  $ARIMA(1,0,0) * (0,1,1)$  به عنوان مدل‌های سری زمانی مناسب برای داده‌های درصد رطوبت نسبی، تبخیر، دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی تشخیص داده شد و سپس داده‌های ماهانه پارامترهای مذکور پیش‌بینی گردید و سپس روند هر یک از پارامترها در آینده از روی داده‌های پیش‌بینی شده تعیین شد.

داشته است با این وجود در مورد تابش نتایج مختلفی در دنیا ارائه گردیده است که در تطابق با هم نیستند. نتایج مطالعه کوهن و همکاران روند کاهش را برای تابش مطرح می‌کند (۶) در حالی که مطالعه باچر و همکاران روند معنی‌دار را برای تابش نشان نداد (۴). با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه خشک و رویارویی با مشکلات ناشی از کمبود آب نتایج این مطالعه با پیش‌بینی نسبتاً دقیق از پارامترها، تصویری روشن از روند پارامترهای اقلیمی را در آینده نشان می‌دهد و می‌تواند مورد استفاده متخصصین و برنامه‌ریزان مرتبط با مسائل آب قرار گیرد.

کاهش تبخیر سالانه و تبخیر در ماه‌های ژوئن، جولای و اکتبر بوده است. نتایج اغلب مطالعات به جز در هند (۱/۲- سانتی‌متر در سال) و تایلند (۱- سانتی‌متر در سال) میزان روند کاهش را در حدود ۰/۱- تا ۰/۴- سانتی‌متر نشان داده‌اند که مشابه با نتیجه این مطالعه است. تبخیر حساسیت بالایی به شدت تابش، رطوبت و سرعت باد دارد (۷) بنابراین با توجه به نتیجه این مطالعه می‌توان به نقش سرعت باد و دمای هوا در کاهش میزان تبخیر اشاره کرد که در کنار هم باعث کاهش میزان تبخیر شده‌اند. نتیجه این مطالعه با یافته‌های برون و همکاران (۲۰۰۷) هماهنگی دارد به طوری که نتیجه مطالعه آنها نیز نشان داد سرعت باد بیشترین تأثیر را روی روند کاهش تبخیر داشته است. عامل رطوبت نیز در این مطالعه روند معنی‌دار کاهش

#### منابع مورد استفاده

1. Akinremi, O. O., S. M. McGinn and H. W. Cutforth. 2001. Seasonal and spatial patterns of rainfall trends on the Canadian prairies. *J. Climate* 14( 9) : 2177-2182.
2. Bowerman, B. L. and R. T. O'Connel. 1993. *Forecasting and time series, an applied approach*. Duxbury, Pasific Grove.
3. Box, G. E. P. and G. M. Jenkins. 1976. *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. revised ed., Holden-Day, San Francisco
4. Bucher, B., L. Rybach and G. Schwarz. 2008. Search for long-term radiation trends in the environs of Swiss nuclear power plants. *J. Environ. Radioact.* 99( 8): 1311-1318.
5. Burn, D. H. and N. M. Hesch. 2007. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *J. Hydrol.* 336( 1-2): 61-73.
6. Cohen, S., A. Ianetz and G. Stanhill. 2002. Evaporative climate changes at Bet Dagan, 1964-1998. *Agricultural and Forest Meteorol.* 111(2): 83-91.
7. Michael, L. R., T. H. Michael and D. F. Graham. 2009. Pan Evaporation Trends and the Terrestrial Water Balance. I. Principles and Observations. *Geography Compass* 3(2): 746-760
8. Modarres, R. 2007. Streamflow drought time series forecasting. *Stoch Environ Res Risk Assess.* ( 21) 3: 223-233.
9. Nicole, M. H. and H.B. Donald. 2005. *Analysis of Trends in Evaporation*. Agriculture and Agri- Food, Canada.
10. Pittock, B. 2003. *Climate Change: An Australian Guide to the Science and Potential Impacts*. Australian Greenhouse Office, Commonwealth of Australia.
11. Salas, J. D., J. W. Delleur, V. M. Yevjevich and W. L. Lane .1980. *Applied modeling of hydrologic time series*. Water Resour. Pub., Littleton.
12. Soltani, S., R. Modarres and S. S. Eslamian. 2007. The use of time series modeling for the determination of rainfall climates of Iran. *Intl. J. Climatol.* 27( 6): 819-829.
13. Stanhill, G. and S. Cohen. 2001. Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. and Forest Meteorol.* 107( 4): 255-278.
14. Sun, Y. J., J. F. Wang, R. H. Zhang, R. R. Gillies , Y. Xue and Y. C. Bo. 2005. Air temperature retrieval from remote sensing data based on thermodynamics. *Theoretical and Appl. Climatol.* 80(1) :37-48.
15. Ugalde, D., A. Brungs, M. Kaebernick, A. McGregor and B. Slattey. 2007. Implications of climate change for tillage practice in Australia. *Soil and Till. Res.* 97( 2): 318-330.
16. Wang, D., M. C. Shannon, C. M. Grieve, S. R. Yates. 2000. Soil water and temperature regimes in drip and sprinkler irrigation, implications to soybean emergence. *Agric. Water Manage.* 43: 15-28.

کاربرد مدل‌های سری زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی ...

---

17. Weatherhead, E. C., A. J. Stevermer and B. E. Schwartz. 2002. Detecting environmental changes and trends. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 27( 6-8) : 399-403.
18. Yue, S., P. Pilon and G. Cavadias. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *J. Hydrol.* 259( 1-4): 254-271.

## Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes

S. Dodangeh<sup>1</sup>, J. Abedi Koupai<sup>2\*</sup> and S. A. Gohari<sup>2</sup>

(Received : Oct. 4-2010 ; Accepted : Jan. 14-2012)

### Abstract

Due to the important role of climatic parameters such as radiation, temperature, precipitation and evaporation rate in water resources management, this study employed time series modeling to forecast climatic parameters. After normality test of the parameters, nonparametric Mann-Kendall test was used in order to do trend analysis of data at P-value<0.05. Relative humidity and evaporation (with significant trend, -0.348 and -0.42 cm, respectively), as well as air temperature, wind speed, and sunshine were selected for time series modeling. Considering the Autocorrelation function (ACF) and Partial Autocorrelation function (PACF) and trend of data, appropriate models were fitted. The significance of the parameters of the selected models was examined by SE and t statistics, and both stationarity and invertibility conditions of Autoregressive (AR) and Moving average (MA) were also tested. Then, model calibration was carried out using Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling and Rayan-Joiner. The selected ARIMA models are ARIMA(0,0,11)\*(0,0,1), ARIMA(2,0,4)\*(1,1,0), ARIMA(4,0,0)\*(0,1,1), ARIMA (1,0,1)\*(0,1,1), ARIMA (1,0,0)\*(0,1,1) for relative humidity, evaporation, air temperature, wind speed and sunshine, respectively. The fitted models were then used to forecast the parameters. Finally, trend analysis of forecasted data was done in order to investigate the climate change. This study emphasizes efficiency of time series modeling in water resources studies in order to forecast climatic parameters.

**Keywords:** Climate change, Time series modeling, Mann-Kendall test, Evaporation, Water resources management.

---

1. Former MSc. Student of Desert., College of Agric. and Natur. Resour., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

2. Assoc. Prof. and PhD. Student of Water Eng., Respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir