

جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)  
دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴۴، بهار ۱۳۹۴

## پیش‌بینی و ارزیابی روند بلندمدت الگوهای زمانی دمای زاهدان و تأثیر آن بر تبخیر و تعرق پتانسیل

بتول باهک<sup>۱</sup>

تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۳/۳، تاریخ تایید: ۱۳۹۳/۴/۱۷

### چکیده

تغییرات دما اثرات انکار ناپذیری بر میزان تبخیر و تعرق، سیکل هیدرولوژی، کشاورزی پایدار و مصارف آب بر جای می‌گذارد. بخش اعظم کشور ما از جمله منطقه مورد مطالعه در محدوده اکوسیستم‌های شکننده مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است. زندگی، فعالیت، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع محدود این مناطق به واسطه ویژگی‌های خاص و حساسیت زیاد مستلزم آگاهی و توانایی بکارگیری امکانات و دقت در شیوه بهره‌برداری است. تغییر شرایط اقلیمی بویژه افزایش درجه حرارت، اثرات مخربی را بر ساختار اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی و دامداری این مناطق اعمال می‌کند. بدین جهت پیش‌بینی دما و تغییرات آن اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌منظور پیش‌بینی دمای ایستگاه سینوپتیک زاهدان و تأثیر آن بر میزان تبخیر و تعرق، از داده‌های میانگین، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه از بدو تاسیس تا سال ۲۰۱۰ میلادی دریافت و مورد استفاده گرفت. ایستایی و نرمال بودن داده‌ها توسط نمودارهای Q-Q و توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی آزمون شد. با استفاده از تبدیلات تفاضل‌گیری مناسب داده‌ها نرمال و ایستا گردیدند. سپس سری زمانی میانگین، حداقل و حداکثر دمای هر ایستگاه پیش‌بینی شده و توسط توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده مدل، از صحت و دقت مدل اطمینان حاصل شده است. علاوه بر این مدل توسط داده‌های واقعی سالها ۲۰۱۱ و ۲۰۱۰ اعتبارسنجی شد و مورد تایید قرار گرفت. مدل  $(1,1,1)(0,1,1)$  جهت پیش‌بینی دما در ایستگاه زاهدان شناسایی شد. تأثیر تغییرات دما بر میزان تبخیر و تعرق از طریق محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل ایستگاه، با استفاده از نرم‌افزار cropwat و روش هارگریوز انجام شده است. نتایج تحقیق نشان داد که تمام پارامترهای دما بویژه در ماه‌های گرم مارس، ژوئن، اگوست بیش از ۱/۳ و دسامبر و ژانویه به‌طور متوسط حدود ۰/۹ درجه سانتیگراد افزایش داشته است، به تبع افزایش دما میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در این ماه‌ها به طور متوسط به ترتیب حدود ۰،۲۲ و ۰،۰۸ میلیمتر در روز افزایش می‌یابد. این مسئله مصرف آب در بخش‌های مختلف را بشدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد.

کلیدواژگان: زاهدان، سری زمانی، خودهمبستگی، cropwat.

۱. استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، [Bahak.bahak@yahoo.com](mailto:Bahak.bahak@yahoo.com)

## مقدمه

بررسی‌ها در خصوص تغییرات اقلیمی در عصر حاضر عمدتاً بر مبنای تغییرات دما متمرکز شده است. دما یکی از متغیرهای مهم جوی محسوب می‌شود که تغییرات آن منشأ بسیاری از تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی می‌باشد. هر چند اثرات دمای محیط و تغییرات آن بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان به اثبات رسیده اما مطالعه جنبه‌های جغرافیایی آن کاربرد متداول‌تری دارد. تغییرات جهانی دما در سطح قاره‌ها و اقیانوس‌ها طی سده اخیر توسط جونس و همکاران (۱۹۸۶)<sup>۱</sup> بررسی شده است. آنها با استفاده از مدل‌های ARIMA(9,1,2) میزان افزایش دمای کره زمین طی سده اخیر را حدود ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند. روند دماهای فرین توسط (دیگایتانو و آلن، ۲۰۰۲)<sup>۲</sup>، (یان، ۲۰۰۲)<sup>۳</sup>، یو و هاشینو (۲۰۰۳)<sup>۴</sup> (کلاین تانک و کونین، ۲۰۰۳)<sup>۵</sup>، لاوسون (۲۰۰۳)<sup>۶</sup> روستیکیوسی و بروکندا (۲۰۰۴)<sup>۷</sup> وریو و همکاران (۲۰۰۴)<sup>۸</sup> ژانگ (۲۰۰۸)<sup>۹</sup> روستیسیوسی و رینوم (۲۰۰۸)<sup>۱۰</sup> یونکیسویس و توسیک (۲۰۰۹)<sup>۱۱</sup> بررسی گردیده است. حسینیان (۲۰۰۴)<sup>۱۲</sup> روند بلندمدت الگوهای مکانی-زمانی دما در مصر را بررسی نموده است. نتایج بررسی نشان داده که ایستگاههایی که در بخش‌های مرتفع قرار دارند، نسبت به ایستگاههای بخش‌های پست تغییرات دمایی بیشتری داشته‌اند. در مجموع دمای زمستانی در بیشتر ایستگاههای مصر روند صعودی را نشان داده است. (سو و همکاران، ۲۰۰۶)<sup>۱۳</sup>. بهیوتیانی و همکاران (۲۰۰۷)<sup>۱۴</sup> روند بلند مدت میانگین، کمینه و بیشینه دمای هوا در شمال غرب هیمالیا را طی قرن بیستم بررسی نموده‌اند. نتایج بررسی آنها نشان داده است که دمای هوا در شمال غرب هیمالیا حدود ۱/۶ درجه سلسیوس طی قرن اخیر افزایش داشته است. از طرفی

1. Jones et al.(1986)
2. Degaetano et al.(2002)
3. yan(2002)
4. Yue and Hashino(2003)
5. Klein Tank and Konnen( 2003)
6. Lawson(2003)
7. Rusticucci et al(2004)
8. Ryoo et al(2004)
9. Zhange(2008)
10. Rusticucci et al(2008)
11. Unkasevice et al (2009)
12. Hasanean(2004)
13. Su et al(2006)
14. Bhutiyani et al(2007)

افزایش دما در فصل زمستان نسبت به سایر فصل‌ها بیشتر است. دمای فصل تابستان در مناطق غربی هیمالیا و شمال غرب هند اندکی کاهش یافته است.

در ایران نیز روند تغییرات اقلیمی توسط کاویانی و عساکره (۱۳۸۰)، (باهک ۱۳۸۰)، (قائم‌ی و عساکره، ۱۳۸۲) مطالعه شده است. تغییرات دما و بارش ایران توسط جهانبخش و ترابی (۱۳۸۳) با استفاده از داده‌های ۴۱ ایستگاه سینوپتیک پیش‌بینی شده است. نتایج بررسی نشان داد که تغییرات اقلیمی در مناطق مورد مطالعه در طول دوره آماری یکسان نبوده، به طوری که مقادیر حداقل دما در مناطق شمال و نواحی کوهستانی ایران دارای تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بوده ولی در مناطق دیگر کشور تغییرات زیادی ندارد. همچنین مقادیر حداکثر دما در کلیه مناطق به جز نواحی جنوبی کشور دارای تغییرات زیادی بوده است. مجموع بارندگی ماهانه نیز به جز در مناطق حاشیه‌ای بیابان‌های مرکزی تغییرات آماری معنی‌داری نداشته‌اند. مطالعه تغییرات دمای کمینه و بیشینه و دامنه تغییرات شبانه روزی دما در ایران نشان داد، دمای کمینه در اکثر ایستگاه‌ها رو به افزایش بوده است اما الگوی تغییرات دمای حداقل، حداکثر و میانگین در سطح کشور یکسان نبوده است (رحیم‌زاده و عسکری، ۱۳۸۳). متوسط افزایش دمای سالانه هوای شهر تبریز با استفاده از مدل ARIMA توسط عساکره (۱۳۸۸)، حدود ۰/۰۳۳ درجه سلسیوس در سال برآورد شده است. باهوشی (۱۳۸۹) تغییرات عناصر اقلیمی درجه حرارت و بارش را در ایستگاه سینوپتیک تبریز طی یک دوره ۵۰ ساله مورد بررسی قرار داده و مقادیر آتی این فاکتورهای اقلیمی را پیش‌بینی نموده است. ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات زمانی دما و بارش در منطقه کرمانشاه را در سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۵۰ مورد مطالعه قرار داده و به کمک مدل سری زمانی ARIMA و نرم‌افزارهای NCSS و MINITAB این عناصر را جهت مدیریت منابع آبی پیش‌بینی نمودند. جلالی و کارگر (۱۳۹۰) با استفاده از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک و مدل آریمای به بررسی و پیش‌بینی دمای بوشهر پرداختند و با مدل محاسباتی (۱،۱،۰) ARIMA و دما را برای بیست سال آتی پیش‌بینی نمودند. دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان اصفهان توسط ارغوانی (۱۳۹۰) با استفاده از سری‌های زمانی و مدل ARIMA مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و مقادیر آینده سری زمانی دمای ماهانه ایستگاه‌های منتخب پیش‌بینی شده است. تغییرات سری زمانی دمای ایستگاه سینوپتیک یزد طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۳، توسط باهک (۱۳۹۱)، مورد بررسی قرار گرفته و میانگین حداقل و حداکثر درجه حرارت ماهانه و سالانه یزد به کمک نرم‌افزارهای SPSS و excel و با مدل‌های

ARIMA پیش‌بینی محاسبه شده سپس تاثیر تغییرات دما بر میزان تبخیر تعرق و مصرف آب در بخش کشاورزی با نرم‌افزار CROPWAT برآورد شده است. بلیانی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تکنیک تحلیل طیفی، چرخه‌های نهان و آشکار دمای سالانه ۵۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۱) ایستگاه سینوپتیک شیراز را تحلیل و مدلسازی کردند. براساس نتایج این مطالعه حدود ۰/۲ درجه سلسیوس افزایش در میانگین دمای سالانه این شهر پیش‌بینی شد. در این پژوهش با توجه به اهمیت تغییرات دما و ارتباط آن با رطوبت نسبی، بارش، تبخیر و تعرق و سایر عناصر اقلیمی میانگین، حداکثر و حداقل دمای زاهدان تا سال ۲۰۱۴ با استفاده از مدل‌های ARIMA پیش‌بینی شده است سپس جهت تبیین اثرات تغییرات درجه حرارت بر میزان تبخیر و تعرق از روش‌های پنمن مانیتیت و هارگریوز و نرم‌افزار CROPWAT استفاده شده است. روش و مراحل تحقیق به شرح زیر است:

#### داده‌ها و روش کار

دما در مطالعات اقلیمی کاربرد زیادی دارد. بدین‌منظور از نمایه‌های خاص دما مثل متوسط دمای روزانه، متوسط دمای ماهانه، حداقل دما، حداکثر دما، حداقل مطلق و حداکثر مطلق دما استفاده می‌شود. جهت پیش‌بینی دما، داده‌های میانگین، حداکثر و حداقل دمای ایستگاه سینوپتیک زاهدان، از بدو تاسیس ۲۰۱۰-۱۹۵۱ میلادی از سازمان هواشناسی کشور دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. روش مورد استفاده در این تحقیق جهت تحلیل و پیش‌بینی مدل‌های باکس-جنکینز می‌باشد. اساس رویکرد باکس-جنکینز، بررسی حوزه وسیعی از مدل‌های پیش‌بینی برای یک سری زمانی است. به گروه عمومی مدل‌ها برای یک سری زمانی در روش شناسی باکس-جنکینز، مدل‌های اتورگرسیو-میانگین متحرک تلفیقی گفته می‌شود که در آمار به مدل‌های ARIMA معروف‌اند. در مدل باکس-جنکینز علاوه بر روند به تغییرات فصلی و تصادفی نیز توجه می‌شود (ارغوانی، ۱۳۹۰). سریهای زمانی به دو دسته گسسته و پیوسته قابل تقسیم می‌باشند. همچنین یک سری زمانی ممکن است غیرتصادفی یا تصادفی باشد. تجزیه و تحلیل سریهای زمانی در دو قلمرو زمان و فرکانس صورت می‌گیرد (نیرومند و بزرگ‌نیا،

(۱۳۸۵). تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی غیرتصادفی گسسته در قلمرو زمان که در عمل دارای کاربرد وسیعی می‌باشند، مبنای این پژوهش می‌باشند.

### آزمون نرمال و ایستایی داده‌ها

در مدل باکس جنکینز برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی و در نهایت مدل‌سازی، شرط اصلی نرمال و ایستا بودن داده‌هاست، بدین جهت ابتدا متغیرهای دما به صورت سری زمانی متوالی تنظیم و همگنی و تصادفی بودن آنها بررسی شد. یک سری زمانی، هنگامی ایستا و مانا می‌باشد که قوانین احتمالی حاکم بر فرایند با زمان تغییر نکند و فرایند در تعادل آماری باقی بماند. تفاضلی کردن سری زمانی به معنی حذف روند با استفاده از عملگر پسر و انجام شده با یک یا دو بار تفاضلی کردن سری نایستا به سری ایستا تبدیل گردید. تفاضلی کردن بر اساس عملگر پسر و به با رابطه زیر می‌باشد:

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

### آزمون توابع خودهمبستگی<sup>۱</sup> (ACF) و خودهمبستگی جزئی<sup>۲</sup> (PACF):

به منظور تشخیص ایستایی سریهای زمانی نمودار پراکنش داده‌ها و مشاهدات نسبت به زمان رسم گردید. این نمودار در اغلب موارد مهمترین خواص یک سری مانند روند، تغییرات فصلی، ناپیوستگی‌ها و مشاهدات اتفاقی را آشکار می‌کند. برای ارزیابی قطعی از ایستایی و عدم ایستایی داده‌ها نمودارها و توابع ضرایب خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) و مقادیر آنها ترسیم شده است.

تابع خود همبستگی در تاخیر K عبارتست از همبستگی بین مشاهداتی که k واحد زمانی با یکدیگر فاصله دارند. تابع خود همبستگی (ACF) که آنرا با  $\rho_k$  نشان می‌دهند به شکل زیر است.

- 
1. Autocorrelation Function
  2. Partial Autocorrelation Function

$$\rho_k = \frac{\text{cov}(x_t, x_{t+k})}{\text{var}(x_t)} = \frac{\gamma(k)}{\gamma(0)} \quad (۳)$$

برآورد  $\rho_k$  را که از یک نمونه  $n$  تایی بدست می‌آید را با  $\Gamma_k$  نشان می‌دهند  $\Gamma_k$  همیشه بین  $+1$  و  $-1$  می‌باشد. آن دسته از مقادیر  $\Gamma_k$  که به عدد  $1$  نزدیکتر باشند، نشان‌دهنده این است که مشاهداتی که با  $k$  وقفه زمانی جدا شده‌اند تمایل شدید به حرکت با یکدیگر در مسیر خطی و با شیبی مثبت دارند و آن دسته از مقادیر  $\Gamma_k$  که به عدد  $-1$  نزدیکتر باشند، نشان‌دهنده این است که مشاهداتی که با  $k$  وقفه زمانی جدا شده‌اند تمایل شدید به حرکت با یکدیگر در مسیر خطی و با شیبی منفی دارند. از تابع خودهمبستگی (ACF) و نمودار آن برای تشخیص و تعیین مرتبه فرآیند میانگین متحرک استفاده می‌شود.

ضریب خود همبستگی جزئی (PACF) همبستگی بین  $x_t$  و  $x_{t+k}$  بعد از حذف اثر متغیرهای  $x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_{t+k-1}$  می‌باشد. این تابع خود همبستگی را با  $\phi_{kk}$  نشان می‌دهند. از این تابع در تشخیص الگوی احتمالی مولد داده‌ها استفاده می‌گردد. تابع خود همبستگی جزئی بین متغیرهای  $X_t, X_{t+k}$  به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\phi_{kk} = \frac{\text{cov}[(x_t - \hat{x}_t), (x_{t+k} - \hat{x}_{t+k})]}{\sqrt{\text{var}(x_t - \hat{x}_t)} \sqrt{\text{var}(x_{t+k} - \hat{x}_{t+k})}} \quad (۴)$$

در واقع تابع خودهمبستگی جزئی تابعی است که توسط خودهمبستگی ساخته می‌شود و می‌توان با برازاندن پایایی فرآیندهای اتورگرسیو مرتبه  $K$  به وسیله کمترین مربعات، آخرین ضرایب برازنده شده در هر مرحله را برآورد کرد.

### آزمون باقیمانده‌های مدل

اگر الگوی پیشنهادی درست و برآورد پارامترها به مقادیر واقعی نزدیک باشند، در این صورت، باقیمانده‌ها باید تقریباً دارای خواص متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  باشند. چنانچه مدل برازش داده شده مناسب باشد باید باقیمانده‌ها فاقد ساختار باشند. یکی از روشها برای اطمینان از صحیح بودن الگوی برازش شده، بررسی تصادفی بودن باقیمانده‌ها با استفاده از توابع و نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده هاست. سه رده مهم مدل‌های تجزیه و تحلیل عبارتند از:

- مدل‌های اتورگرسیو (AR):

فرض می‌کنیم  $\{Z_t\}$  یک فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  باشد. در این صورت  $\{X_t\}$  را یک فرآیند اتورگرسیو مرتبه  $P$  گویند هرگاه:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + Z_t \quad (5)$$

الگوی بالا در واقع یک الگوی اتورگرسیو چندگانه است با این تفاوت که در اینجا  $X_t$  روی متغیرهای مستقل رگرسیون نشده بلکه روی مقادیر گذشته  $X_t$  رگرسیون شده و به این دلیل است که فرآیند  $\{X_t\}$  را اتورگرسیو نامیده‌اند. یک فرآیند اتورگرسیو مرتبه  $P$  را با نماد اختصاری  $AR(P)$  نمایش می‌دهند.

- مدل‌های میانگین متحرک (MA):

اگر  $\{Z_t\}$  یک فرآیند تصادفی محض با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  باشد. در این صورت  $\{X_t\}$  را یک فرآیند میانگین متحرک مرتبه  $q$  گویند هرگاه:

$$X_t = \beta_0 Z_t - \beta_1 Z_{t-1} - \dots - \beta_q Z_{t-q} \quad (7)$$

که در آن  $\beta_i$  ها ثابت‌اند و معمولاً  $\beta_0 = 1$  در نظر گرفته می‌شود. یک فرآیند میانگین از متحرک مرتبه  $q$  را با نماد اختصاری  $MA(q)$  نمایش می‌دهند. مدل‌های میانگین متحرک در توصیف حالت‌های اقلیمی مفید هستند که در آن، پیشامدها یک اثر آنی را پدید می‌آورند که برای دوره‌های کوتاه زمان باقی می‌ماند.

- مدل‌های اتورگرسیو میانگین متحرک (ARMA)

از ترکیب فرآیندهای اتورگرسیو و میانگین متحرک، الگوی ترکیبی حاصل می‌شود تا دقت برآورد الگوها به واسطه زیاد بودن تعداد پارامترها بالاتر رود. الگوی ترکیبی اتورگرسیو و میانگین متحرک به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 X_{t-2} + \dots + \alpha_p X_{t-p} + Z_t - \beta_1 Z_{t-1} - \dots - \beta_q Z_{t-q} \quad (9)$$

فرآیند مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک را که  $P$  جمله اتورگرسیو و  $q$  جمله میانگین متحرک دارد با نماد اختصاری  $ARMA(p,q)$  نشان می‌دهند (نیرومند و بزرگ نیا، ۱۳۸۵).

مدل‌های آریمای سری‌های زمانی دو شکل کلی دارند که عبارتند از: آریما (ARIMA(p,d,q)) (و آریمای ضرب‌پذیر (SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)S). مرتبه AR و مرتبه MA و d مرتبه تفاضل‌گیری می‌باشد. p و q پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی و P و Q پارامترهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی هستند. دو پارامتر d و D به ترتیب مرتبه تفاضل‌گیری غیرفصلی و فصلی می‌باشند که در ایستا نمودن سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آریمای فصلی ضرب‌پذیر به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_S: \phi(B)\Phi_p(B^S)\nabla^d\nabla_S^D Z_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)\varepsilon_t \quad (14)$$

### بررسی تغییرات دما بر تبخیر و تعرق

در بررسی تاثیر تغییرات دما بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق از مدل‌های فائو-پنمن-مانیت با استفاده از نرم‌افزار cropwat و روش هارگریوز محاسبه شد. در نرم‌افزار cropwat) دو گروه متغیرها داده‌های جغرافیایی مانند طول و عرض و ارتفاع و داده‌های آب و هوایی مربوط به ایستگاه شامل متوسط حداقل و متوسط حداکثر دما (بر حسب درجه سانتیگراد)، متوسط رطوبت نسبی (بر حسب درصد)، متوسط سرعت باد (در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و بر حسب کیلومتر بر روز)، متوسط ساعت آفتابی (بر حسب روز) تبخیر-تعرق ماهانه و میانگین آن مورد نیاز است. سرعت باد (U) مطابق فرمول زیر سرعت به ارتفاع ۲ متری تبدیل شده است.

$$U_{2m} = U_z [2.0/Z]^{0.15} \quad (15)$$

در این رابطه:

$U_z$  = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)  $U_z$  = سرعت باد در ارتفاع Z از سطح زمین (متر بر ثانیه)  
 $Z$  = ارتفاعی که باد اندازه‌گیری شده است (متر).

روش هارگریوز که محاسبه تبخیر-تعرق بر دمای محیط متکی است به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_0 = 0.0023 R_a (T + 17.8) \sqrt{TR} \quad (16)$$

در این معادله TR تفاوت حداکثر و حداقل دما ( $TR = T_{max} - T_{min}$ ) بر حسب درجه سانتیگراد

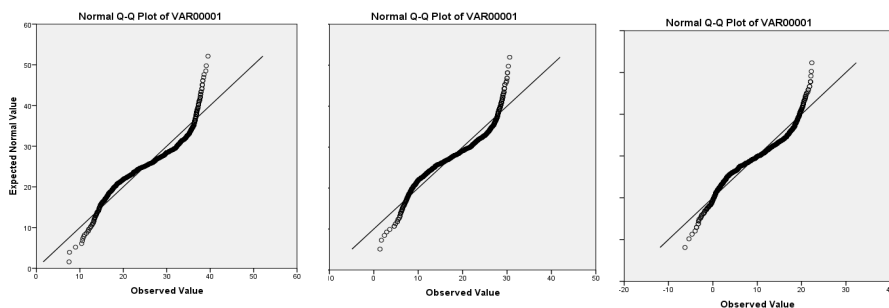
$(R_a)$  = تابش خورشیدی

$(ET_0)$  = مقدار تبخیر - تعرق



## یافته‌ها

نتایج تحلیل و بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها، نمودارهای گرافیکی Q-Q دمای ایستگاه نشان داد که داده‌ها نرمال و ایستا نیستند (نمودارهای ۱-۳). بنابراین با استفاده از روش‌های متناسب تفاضل‌گیری، داده‌ها نرمال و ایستا شدند (نمودارهای ۶-۴)، جهت اطمینان بیشتر از وضعیت سری زمانی دمای ایستگاه توابع و نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) سری زمانی دماهای میانگین، حداقل و حداکثر ایستگاه محاسبه و ترسیم شده است (نمودارهای ۱۲-۷). سپس بر اساس مقادیر توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و شکل گرافیکی آنها، تبدیلات تفاضل‌گیری فصلی روی داده‌ها اعمال و از ایستایی سری اطمینان حاصل شده است. جهت حصول اطمینان از صحت و دقت مدل برازش یافته، توابع و نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های مدل محاسبه و ترسیم شده‌اند. چنانچه این توابع و نمودارها در داخل محدوده اطمینان قرار گیرند رسایی مدل تایید می‌شود. در نهایت، بر اساس مدل پیشنهادی، سری زمانی میانگین، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه تا سال ۲۰۱۴ همراه با حد پایین و بالای آنها با حدود اطمینان ۹۵ درصد پیش‌بینی شده است، بعلاوه جهت حصول اطمینان از صحت پیش‌بینی‌ها مقادیر پیش‌بینی شده با داده‌های سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۰ اعتبارسنجی شد. در نهایت، با استفاده از مدل آریما مقادیر مربوط به پارامترهای دمای ایستگاه تا سال ۲۰۱۴ میلادی پیش‌بینی شده است.



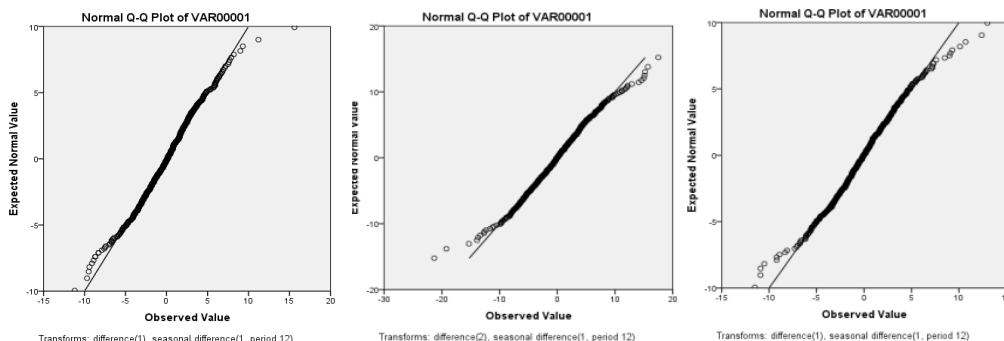
شکل ۳: نرمال حداکثر دمای ماهانه زاهدان

شکل ۲: نرمال حداقل دمای ماهانه زاهدان

شکل ۱: نرمال میانگین دمای ماهانه زاهدان

نمودارهای ۱-۳: نرمال میانگین، حداقل و حداکثر دمای زاهدان

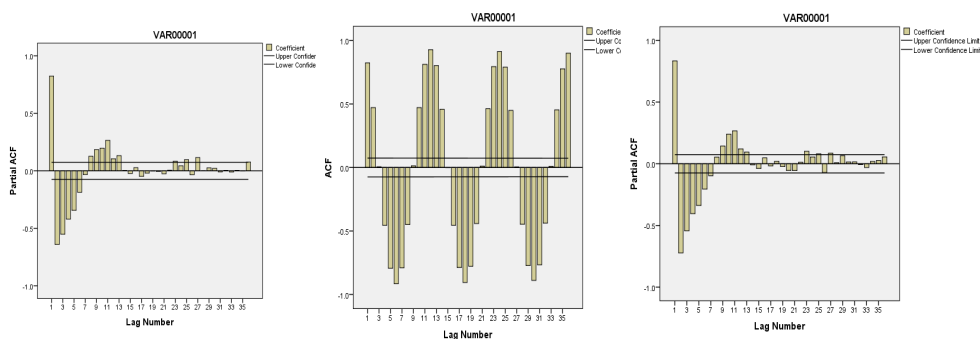
مطابق با نمودارهای فوق داده‌ها نرمال نمی‌باشند، و با استفاده از روش‌های تفاضل‌گیری فصلی و غیرفصلی داده‌ها نرمال و ایستا شدند. نمودارهای (۶-۴). مراحل تفاضل‌گیری و تبدیلاتی که بر روی هر کدام از سریهای دما انجام شده را نشان می‌دهد میانگین دمای ماهانه ایستگاه زاهدان با استفاده از تفاضل‌گیری مرتبه دوم نرمال و ایستا شده است.

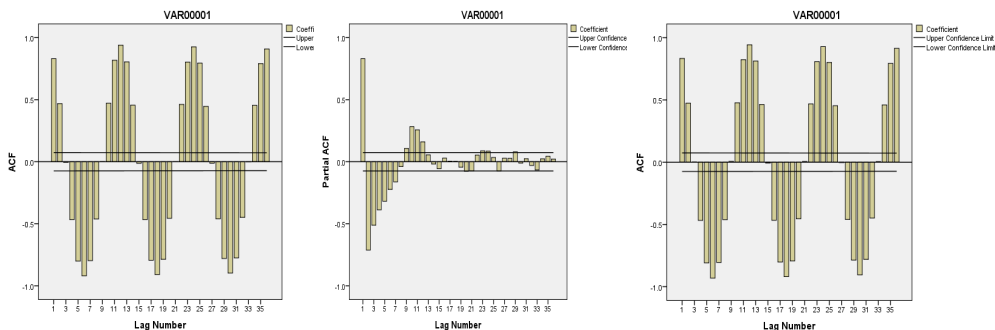


نمودارهای ۶-۴: میانگین، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه زاهدان تبدیل فصلی

### تحلیل توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی

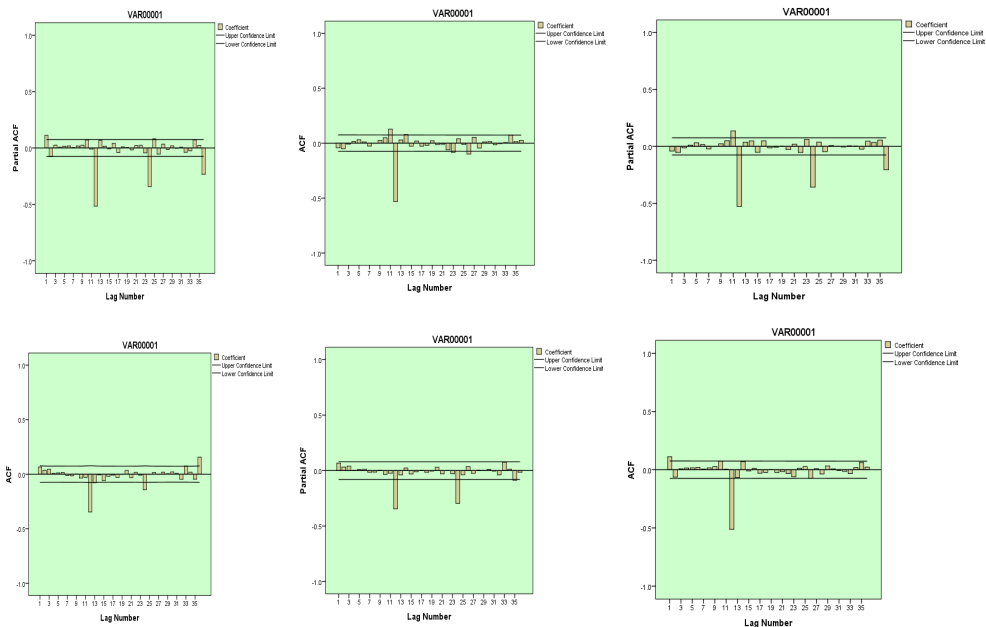
وابستگی بین مشاهدات متوالی سری زمانی و تشخیص مدل احتمالی با آزمونهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی بررسی شده است. بدین منظور توابع و نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) سریهای زمانی میانگین، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ محاسبه و ترسیم شده‌اند (نمودارهای ۷-۱۲). مقادیر بزرگ توابع خودهمبستگی مانند نمودارهای ذیل که اولین، ششمین، دوازدهمین توابع خیلی بزرگ هستند و از محدوده اطمینان خارج شده‌اند که نا ایستایی و عدم تعادل در سری را نشان می‌دهند.





نمودارهای ۱۲-۷- ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی میانگین، حداقل و حداکثر دمای ماهانه ایستگاه زاهدان

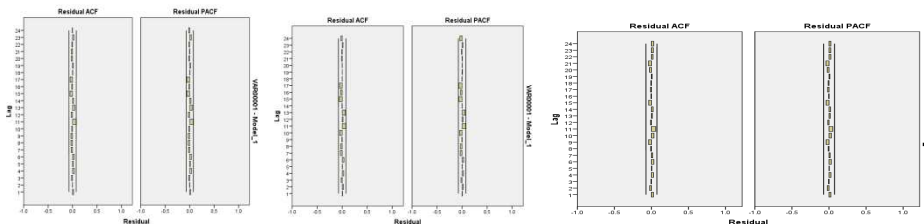
بر اساس مقادیر توابع و شکل نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، با استفاده از تبدیلات فصلی و غیرفصلی و مراتب خودهمبستگی متناسب با هر سری، داده‌ها ایستا شدند و قسمت عمده توابع در محدوده اطمینان قرار گرفتند (نمودارهای ۱۸-۱۳).



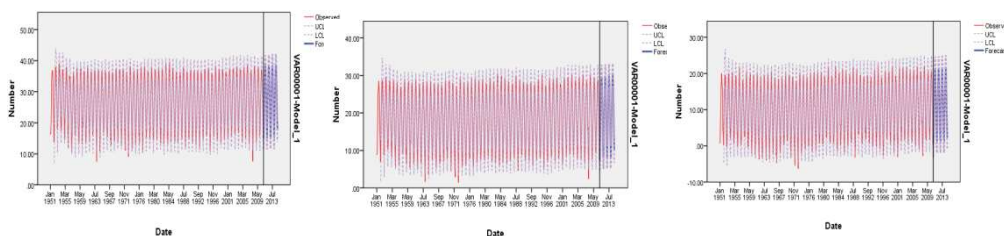
نمودارهای ۱۸-۱۳: ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی میانگین حداقل، حداکثر و میانگین دمای ماهانه ایستگاه زاهدان (تبدیل فصلی)

آزمون باقیمانده‌های مدل

جهت حصول اطمینان از صحت مدل انتخابی لازم است، باقیمانده‌های مدل مورد آزمون قرار گیرند. با توجه به توابع و نمودارهای خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) باقیمانده‌های مدل (نمودارهای ۲۱-۱۹) میانگین، حداقل و حداکثر دمای زاهدان، مشاهده می‌شود توابع و ضرایب خودهمبستگی و خود همبستگی جزئی در هیچیک از تاخیرها از حدود اطمینان تجاوز نکرده اند. مدل نهایی پیش‌بینی دمای میانگین ماهانه  $ARIMA(1,1,1)(0,1,1)$  حداقل دما  $(1,1,1)(1,1,1)$  و حداکثر دما  $(1,1,1)(0,1,1)$  می‌باشد. براساس این مدلها مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر دمای این ایستگاه طی سالهای ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ میلادی به همراه حدود اطمینان پایین و بالا پیش‌بینی شده است (جدول ۳-۱ و نمودارهای ۲۴-۲۲)، تفاوت مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده معنی‌دار نیست، بنابراین مدل‌های مورد استفاده مناسب و رسا هستند. مقایسه میانگین دماهای پیش‌بینی شده با میانگین بلندمدت دماهای واقعی ایستگاه زاهدان جدول ۴ نشان داد میانگین دما در ماه ژانویه معادل (۹،۰ درجه سانتیگراد افزایش) کمترین مقدار و ماههای ژوئن و اگست به ترتیب با (۳،۱ درجه سانتیگراد) و (۲،۱ درجه سانتیگراد افزایش) بیشترین افزایش را نسبت سایر ماهها نشان دادند.



نمودارهای ۲۱-۱۹: ضرایب خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی باقیمانده‌های مدل میانگین دمای حداقل و حداکثر دمای ماهانه زاهدان



نمودارهای ۲۲-۲۴-مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر دمای مشاهده و پیش‌بینی شده زاهدان

جدول ۱: مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میانگین دمای حداکثر ماهانه ایستگاه زاهدان

2011	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	7.64	11.09	16.05	21.2	25.63	28.71	29.72	27.78	23.82	19.22	13.76	9.63
حدپایین	4.64	8.03	12.99	18.14	22.57	25.64	26.65	24.71	20.75	16.14	10.68	6.55
حدبالا	10.63	14.14	19.11	24.26	28.7	31.78	32.79	30.85	26.9	22.3	16.84	12.71
2012	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	8.14	11.25	16.15	21.3	25.73	28.81	29.82	27.88	23.92	19.32	13.85	9.72
حدپایین	5.05	8.16	13.06	18.2	22.64	25.71	26.72	24.77	20.81	16.2	10.74	6.6
حدبالا	11.23	14.34	19.25	24.4	28.83	31.91	32.93	30.99	27.03	22.43	16.96	12.84
2013	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	8.24	11.35	16.25	21.4	25.84	28.91	29.93	27.98	24.02	19.41	13.95	9.81
حدپایین	5.11	8.22	13.13	18.27	22.7	25.78	26.79	24.84	20.88	16.27	10.8	6.66
حدبالا	11.36	14.47	19.38	24.53	28.97	32.05	33.07	31.12	27.16	22.56	17.09	12.96
2014	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	8.33	11.45	16.36	21.51	25.94	29.02	30.03	28.09	24.13	19.52	14.04	9.91
حدپایین	5.18	8.29	13.19	18.34	22.78	25.85	26.86	24.91	20.95	16.33	10.86	6.72
حدبالا	11.49	14.61	19.52	24.67	29.11	32.19	33.21	31.26	27.3	22.7	17.23	13.09

جدول ۲: مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میانگین دمای ماهانه ایستگاه زاهدان

2011	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	0.34	4.03	8.87	13.51	17.41	20.12	21.3	18.71	14.2	9.52	5.15	2.4
حدپایین	-2.92	0.72	5.55	10.18	14.08	16.79	17.96	15.37	10.85	6.18	1.8	-0.95
حدبالا	3.6	7.35	12.2	16.84	20.75	23.46	24.64	22.05	17.54	12.87	8.5	5.75
2012	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	1.34	4.35	9.12	13.66	17.63	20.24	21.34	18.77	14.15	9.73	4.95	2.09
حدپایین	-2.01	1	5.77	10.31	14.27	16.88	17.97	15.4	10.78	6.35	1.58	-1.29
حدبالا	4.69	7.7	12.48	17.02	20.99	23.6	24.7	22.13	17.52	13.1	8.33	5.47
2013	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	1.37	4.43	9.21	13.75	17.72	20.33	21.44	18.87	14.26	9.81	5.06	2.21
حدپایین	-2.02	1.04	5.82	10.36	14.32	16.94	18.04	15.46	10.85	6.41	1.66	-1.2
حدبالا	4.75	7.81	12.59	17.15	21.11	23.73	24.84	22.27	17.66	13.22	8.47	5.62
۲۰۱۴	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش بینی	1.46	4.53	9.3	13.85	17.82	20.43	21.54	18.96	14.36	9.91	5.16	2.3
حدپایین	-1.95	1.11	5.88	10.43	14.39	17	18.1	15.53	10.92	6.47	1.72	-1.14
حدبالا	4.88	7.94	12.73	17.28	21.24	23.86	24.97	22.4	17.79	13.35	8.6	5.75

جدول ۳: مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده حداقل دمای ماهانه ایستگاه زاهدان

2011	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش‌بینی	14.99	18.09	23.12	28.84	33.77	37.29	38.19	36.89	33.6	28.82	22.67	17.28
حدپایین	11.55	14.57	19.59	25.31	30.23	33.75	34.64	33.34	30.04	25.27	19.11	13.72
حدبالا	18.42	21.61	26.66	32.38	37.31	40.83	41.74	40.44	37.15	32.38	26.23	20.84
2012	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش‌بینی	15.06	18.18	23.22	28.95	33.87	37.4	38.3	37	33.7	28.92	22.77	17.37
حدپایین	11.49	14.61	19.65	25.37	30.29	33.81	34.71	33.41	30.11	25.33	19.17	13.76
حدبالا	18.63	21.75	26.8	32.53	37.46	40.98	41.89	40.59	37.3	32.52	26.37	20.98
2013	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش‌بینی	15.16	18.28	23.33	29.06	33.98	37.51	38.41	37.11	33.81	29.03	22.87	17.46
حدپایین	11.55	14.67	19.71	25.44	30.36	33.88	34.78	33.47	30.17	25.39	19.22	13.81
حدبالا	18.77	21.9	26.95	32.68	37.61	41.14	42.04	40.75	37.45	32.67	26.51	21.11
۲۰۱۴	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
پیش‌بینی	15.26	18.39	23.44	29.17	34.1	37.62	38.52	37.22	33.92	29.14	22.97	17.56
حدپایین	11.6	14.73	19.78	25.5	30.43	33.95	34.85	33.54	30.23	25.45	19.28	13.87
حدبالا	18.91	22.05	27.1	32.84	37.77	41.29	42.2	40.9	37.6	32.82	26.66	21.26

جدول ۴: مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده میانگین دمای ماهانه ایستگاه زاهدان

ماها	JUN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	OGU	SEP	OCT	NOV	DEC	میانگین
2010-1951	7.2	10.2	15	20.1	24.5	27.5	28.6	26.6	22.7	18.2	12.8	8.8	18.5
2014-2011	8.1	11.3	16.2	21.3	25.8	28.6	29.8	27.9	23.9	19.3	13.9	9.7	19.7

### تحلیل تاثیر تغییرات دما بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه زاهدان

جهت بررسی تاثیر تغییرات دما بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل (ETO)، ایستگاه زاهدان طی دوره آماری مورد مطالعه، از دو روش فائو-پنمن-مانتیت با استفاده از نرم‌افزار cropwat و روش هارگریوز محاسبه شده است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نرم‌افزار cropwat مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ محاسبه شده سپس با استفاده از میانگین، حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ میلادی مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده است (جدول ۵). مقایسه تبخیر-تعرق ماهانه داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده نشان داده است که در ایستگاه زاهدان ماه دسامبر با ۰,۰۸ میلیمتر در روز کمترین میزان

افزایش تبخیر- تعرق و ماه ژوئن با ۰,۲۲ میلیمتر در روز بیشترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل را نسبت به سایر ماهها داراست. همچنین مقایسه میانگین تبخیر- تعرق داده‌های مشاهده شده (واقعی) و پیش‌بینی شده نشان می‌دهد این ایستگاه در سال آتی حدود ۰,۱۵ میلیمتر در روز با افزایش تبخیر و تعرق مواجه می‌شود. مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از روش هارگریوز ETO نیز برحسب میلیمتر در روز برای داده‌های دمای مشاهده شده (۲۰۱۰-۱۹۵۱) و پیش‌بینی شده (۲۰۱۴-۲۰۱۱) نیز محاسبه شده (جدول ۵) محاسبه شده است. مقایسه مقادیر ماهانه تبخیر-تعرق داده‌های موجود و پیش‌بینی شده ایستگاه زاهدان با روش فوق نشان داد که ماه دسامبر با ۰,۰۴ میلیمتر در روز کمترین و ماههای ژوئن و آگست با ۰,۲ میلیمتر در روز از بیشترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به سایر ماهها در سالهای آینده برخوردار خواهند بود. همچنین مقایسه میانگین تبخیر- تعرق داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده این ایستگاه نشان می‌دهد طی سالهای آتی حدود ۰,۱۴ میلیمتر در روز بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود.

جدول ۵: مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مشاهده شده و پیش‌بینی شده ایستگاه زاهدان

با روش Cropwat و هارگریوز

ET	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	اگست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین
۲۰۱۱-۲۰۱۴	۲,۶۴	۳,۷۶	۵,۳۱	۶,۶۸	۷,۷۳	۸,۸۲	۹,۱۳	۸,۰۵	۶,۳۸	۴,۶۲	۳,۲۹	۲,۷۴	۵,۷۶
۱۹۵۱-۲۰۱۰	۲,۵۶	۳,۶۳	۵,۱۳	۶,۴۸	۷,۵۲	۸,۶۰	۸,۹۲	۷,۸۶	۶,۲۴	۴,۵۱	۳,۲۱	۲,۲۶	۵,۶۱
۱۹۵۱-۲۰۱۰	۱,۸۳	۲,۵۳	۳,۶۰	۵,۰۵	۶,۲۸	۷,۱۱	۷,۱۴	۶,۶۷	۵,۵۷	۴,۱۲	۲,۷۲	۱,۹	۴,۵۴
۲۰۱۱-۲۰۱۴	۱,۸۲	۲,۶۱	۳,۷۳	۵,۲۱	۶,۴۷	۷,۳۳	۷,۳۱	۶,۸۷	۵,۷۲	۴,۲۳	۲,۷۹	۱,۹۵	۴,۶۸

### بحث

در سری زمانی با بررسی رفتار گذشته سری، مدل احتمالی که می‌تواند مولد داده‌ها باشد را شناسایی کرده و سپس با فرض اینکه داده‌ها در آینده نیز رفتاری مشابه خواهند داشت و از مدل برازش داده شده تبعیت خواهند نمود سعی می‌شود مقادیر آینده سری را پیش‌بینی نمود (مشکاتی، ۱۳۷۱). در این پژوهش جهت بررسی اثرات تغییرات دما بر میزان مصرف آب، سریهای میانگین، حداقل و حداکثر دمای ایستگاه سینوپتیک زاهدان که دارای آمار طولانی بود انتخاب و ابتدا تغییرات دمای آنها با استفاده از روش سری زمانی و مدل‌های آریمای پیش‌بینی گردید، از آنجا

که پارامترهای اقلیمی مجموعه‌ای از متغیرهای به هم پیوسته می‌باشند و تغییر در یکی از متغیرها، تغییرات مشابهی را در دیگر متغیرها به وجود می‌آورد، لذا افزایش دما سایر عناصر اقلیمی را هم به شدت تحت‌تاثیر قرار می‌دهد. به‌طوریکه در نزدیکی سطح زمین تبادل رطوبتی بین سطح زمین و اتمسفر را از طریق فرآیند تبخیر کنترل می‌کند، از اینرو، گرمایش جهانی می‌تواند تاثیر سوئی بر میزان تبخیر بگذارد. تبخیر بخش مهمی از چرخه هیدرولوژیک را تشکیل می‌دهد و تعادل آب را در سطح زمین ایجاد می‌کند (دودانگه، ۱۳۹۰). وابستگی عناصر اقلیمی به یکدیگر باعث می‌شود منابع آب از طریق فرآیند تبخیر تحت‌تاثیر قرار گیرد و با افزایش دما و به دنبال آن افزایش میزان تبخیر، مصارف آب در بخش‌های مختلف بیشتر گردد و اثرات مهمی بر انسان و محیط زیست او بگذارد. بنابراین مطالعه تغییرات دما، درک چگونگی اثر آن بر عوامل محیطی و پیش‌بینی دما از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های کلان و نیز راهکارهای مقابله با بلایای طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. روشهای متعددی جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل وجود دارد. پنمن از ترکیب معادلات انرژی و آیرودینامیک فرمولی را برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل پیشنهاد نمود که بعداً فرمول او توسط عدده زیادی از متخصصان هیدرولوژی و آب و خاک مورد استفاده و اصلاح قرار گرفت (علیزاده، ۱۳۸۸).

سازمان خواربار جهانی FAO<sup>۱</sup> آخرین بار در سال ۱۹۷۷ در نشریه ۲۴ آن سازمان استفاده از پنج روش تشتک، پن من و پن من اصلاح شده، تشعشع و بلانی - کریدل<sup>۲</sup> را توصیه نمود که هر کدام با اتکا به برخی پارامترهای اقلیمی نیاز آبی پتانسیل (ETO) را محاسبه می‌نمایند. فرمول پن من دیگر بار توسط مانتیت اصلاح گردید تا پاره‌ای از مشکلات روش پن من اصلاح شده را حل نماید. سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO) نرم‌افزار cropwat را بر اساس معاله فائو، پنمن، مانتیت ارائه کرده است که یکی از کاربردهای آن محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت ماهانه می‌باشد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از نرم‌افزار cropwat تبخیر - تعرق پتانسیل ایستگاه زاهدان طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۱ با استفاده از داده‌های واقعی محاسبه شده سپس با استفاده از میانگین، حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی شده این ایستگاه از

---

1. Food and Agriculture Organization

2. Blaney-Criddle



سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ میلادی و نیز تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده است (جدول ۵). مقایسه تبخیر-تعرق ماهانه داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده نشان داده است که در ایستگاه زاهدان ماه دسامبر با ۰,۰۸ میلیمتر در روز کمترین میزان افزایش تبخیر-تعرق و ماه ژوئن با ۰,۲۲ میلیمتر در روز بیشترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل را نسبت به سایر ماهها داراست. همچنین مقایسه میانگین تبخیر-تعرق داده‌های مشاهده شده (واقعی) و پیش‌بینی شده نشان می‌دهد این ایستگاه طی چهار سال آینده به میزان ۰,۱۵ میلیمتر در روز با افزایش تبخیر و تعرق مواجه است. مقایسه مقادیر ماهانه تبخیر-تعرق داده‌های موجود و پیش‌بینی شده ایستگاه زاهدان با روش هارگریوز نشان داد که ماه دسامبر با ۰,۰۴ میلیمتر در روز کمترین و ماههای ژوئن و آگست با ۰,۲ میلیمتر در روز از بیشترین میزان تبخیر-تعرق پتانسیل نسبت به سایر ماهها در سالهای آینده برخوردار خواهند بود. همچنین مقایسه میانگین تبخیر-تعرق داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده این ایستگاه نشان می‌دهد طی چهار سال آینده به میزان ۰,۱۴ میلیمتر در روز بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود. مقایسه روشهای فوق حاکی از این است که تفاوت معنی‌داری در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق وجود ندارد.

## کتابشناسی

۱. باهوشی، علی (۱۳۸۹)، تحلیل و بررسی روند و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایستگاه سینوپتیک تبریز، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران؛
۲. بزرگ نیا، ابوالقاسم (۱۳۸۱)، سریهای زمانی، انتشارات دانشگاه پیام نور؛
۳. جلالی، مسعود و کارگر، حلیمه (۱۳۹۰)، تحلیل و مدلسازی آماری دمای ایستگاه بوشهر (۲۰۰۵-۱۹۵۱)، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۳۳، صص ۱۷۳-۱۴۹؛
۴. دودانگه، اسماعیل؛ عابدی کوپائی، جهانگیر؛ گوهری سیدعلیرضا (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 و خاک، سال شانزدهم، شماره ۵۹؛
۵. رحیم‌زاده، فاطمه و عسگری، احمد (۱۳۸۳)، نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه شبانه‌روزی دما در کشور، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳، صص ۱۷۱-۱۵۵؛
۶. عساکره، حسین (۱۳۸۸)، الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز، مجله تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳؛
۷. علیزاده، امین (۱۳۸۸)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد؛
۸. مشکانی، محمدرضا (۱۳۷۱)، تحلیل سریهای زمانی، پیش‌بینی و کنترل (ترجمه)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی؛
۹. نیرومند، حسینعلی و بزرگ‌نیا، ابوالقاسم (۱۳۸۵)، سریهای زمانی (رشته آمار)، دانشگاه پیام نور؛
۱۰. ارغوانی، عباس (۱۳۹۰)، بررسی و پیش‌بینی دمای ایستگاههای سینوپتیک استان اصفهان با استفاده از سریهای زمانی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر بتول باهک، دانشگاه آزاد واحد شهرری؛
۱۱. باهک، بتول (۱۳۹۱)، بررسی سری زمانی میانگین دمای ایستگاه سینوپتیک یزد و اثرات آن بر مصرف آب در بخش کشاورزی، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست؛
۱۲. جهانپخش، سعید؛ ترابی، سیما (۱۳۸۳)، بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۴، صص ۱۲۵-۱۰۴؛
13. Bhutiyani M R. Kale V S and Pawar N J. (2007), Long-term trends in maximum, minimum and mean annual air temperatures across the Northwestern Himalaya during the twentieth century, *Climate Change*, Vol.85: 159-177;
14. Box, G.E P. and Jenkins G.M. (1976), *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Holden Day;
15. Degaetano A T and Allen R J. (2002), Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States, *Journal of Climate*, Vol. 15:3188-3205;
16. Hasanean, H M. (2004), Winter surface temperature in Egypt in relation to the associated atmospheric circulation, *International journal of climatology*, vol. 24: 985-999;

17. Jones, P.D., Wigley, T.M.L. and Wright, P.B. (1986), Global Temperature Variation Between 1861 and 1984. *Nature* 322: 430-432;
18. Klein Tank A M G and Konnen G P. (2003), Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99, *Journal of Climate*, Vol. 16: 3665-3680;
19. Lawson B D. (2003), Trends in winter extreme minimum temperature on the Canadian prairies, *Atmosphere-Ocean*, 41 (3): 233–239;
20. Rusticucci M and Barrucanda M. (2004), Observed Trends and Changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of Climate*. Vol. 17: 4099-4107;
21. Rusticucci M and Renom M. (2008), Variability and trends in indices of quality-controlled daily temperature extreme in Uruguay, *international journal of climatology*, Vol: 28: 1083-1095;
22. Ryoo S B, Kwon W T and Jhun J G. (2004), Characteristics of wintertime daily and extreme minimum temperature over South Korea, *International journal of climatology*, vol. 24: 145-160;
23. Soltani, S., Modarees, R and Eslamian, S S. (2007), The use of time series modeling for the determination of rainfall climate of Iran. *Int.J.Climatol.* 27: 819-829;
24. Su B D, Jiang T and Jin W B. (2006), Recent trends in observed temperature and precipitation extremes;
25. Trenberth, K. E., Nat. (1999), Implications Environ. Change, 2–15. UK Working Group on;
26. Unkasevice M, Tomic I. (2009), Changes in extreme daily winter and summer temperatures in Belgrade, *Theoretical and applied climatology*, 95: 27-38;
27. Yan Z. (2002), Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations, *Climatic Change*, Vol. 53: 355–392;
28. Yue S and Hashino M. (2003), Temperature trends in Japan: 1900-1996. *Theoretical and applied climatology*, Vol. 75: 15-27;
29. Zhange Q. (2008), Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and minimum air temperature during 1960–2004, *Theoretical and applied climatology*, 93: 35–43.