

## پیش‌بینی تغییرات تبخیرتعرق مرجع ( $ET_0$ ) در استان یزد با استفاده از داده‌های سامانه نیازاب بیتا مروج الاحکامی<sup>۱\*</sup>، نیاز علی ابراهیمی پاک<sup>۲</sup> و سید نرگس حسینی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۰)

### چکیده

باتوجه به تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر مدیریت منابع آب، در این مطالعه بررسی تغییرات تبخیرتعرق مرجع ( $ET_0$ ) در سطح استان یزد با استفاده از نرم‌افزار Minitab16 در بازه زمانی سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۹ با استفاده از داده‌های سامانه نیازاب صورت گرفته و سپس پیش‌بینی تا سال ۱۴۰۷ انجام شد. بر اساس نتایج این مطالعه در طول سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۹، افزایش  $ET_0$  در شهرستان‌های استان یزد تحت تأثیر افزایش سرعت باد، کاهش رطوبت نسبی و افزایش دما بوده است. به‌منظور تعیین مدل مناسب، شهرستان‌های اردکان، ابرکوه و تفت به‌عنوان نماینده در هر گروه اقلیمی انتخاب و داده‌های  $ET_0$  در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار به‌منظور برآزش مدل موردنظر، لحاظ و داده‌های  $ET_0$  در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ برای صحت‌سنجی مدل برآزش داده شده مورد استفاده قرار گرفتند. پیش‌بینی مدل‌های برآزش داده شده در شهرستان‌های اردکان و ابرکوه، تا سال ۱۴۰۷، حاکی از روند افزایشی  $ET_0$  در فصول سرد بود. در شهرستان تفت، تغییرات  $ET_0$  پیش‌بینی شده تا سال ۱۴۰۷، نشان داد این پارامتر در فصول گرم کاهش و در فصول سرد تغییر معنی‌داری نخواهد داشت. در شهرستان ابرکوه و اردکان محصولات پاییزه - بهاره مانند گندم و در شهرستان تفت محصولات بهاره - تابستانه مانند آفتابگردان بیشترین تأثیرپذیری از تغییرات  $ET_0$  را خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی، عملکرد، تغییر اقلیم، الگوی کشت

۱. بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.

۲. بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: b.moravej@areeo.ac.ir & bita.moravej@gmail.com

## مقدمه

یکی از مسائل چالش برانگیز و تأثیرگذار بر محیط زیست، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر دمای هوا است که نگرانی‌ها در خصوص تأثیر گرمایش جهانی بر تبخیر به‌عنوان بخش مهم چرخه هیدرولوژیک را افزایش داده است. افزایش تبخیر و به تبع آن افزایش  $ET_0$ ، نیاز آبی گیاهان باغی و زارعی، بیلان آب و در نتیجه مدیریت منابع آب را در درازمدت تحت تأثیر قرار خواهد داد (۱۷ و ۲۳). بنابراین یکی از متغیرهای بسیار مهم در تعیین نیاز آبی و هیدرومدول آبیاری و به‌طور کلی مطالعات کشاورزی، تبخیر تعرق مرجع ( $ET_0$ ) است که تحت تأثیر خصوصیات اقلیمی است (۱۴ و ۲۶). به‌عنوان مثال نتایج مطالعات انجام شده در چاه‌نیمه‌های سیستان نشان داده است که میزان تبخیر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از ۴۴۸۴ میلی‌متر در سال ۱۳۷۶ به ۴۸۸۹ میلی‌متر در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است (۱۵). به عبارتی ۴۰ درصد از حجم آب در مخازن چاه‌نیمه‌ها به‌صورت تبخیر از دسترس خارج می‌شود. چالش پیش رو در این مسیر، نبودن اطلاعات کافی و گاهی پیچیدگی فرایندهای هیدرولوژیکی است. بنابراین در این شرایط یکی از ابزارهای مؤثر بر تحلیل و پیش‌بینی  $ET_0$ ، کاربرد سری‌های زمانی است. داده‌های سری زمانی از هم مستقل نبوده و به‌طور متوالی به هم وابسته هستند (۱). مدل‌های سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی و تعیین روند متغیرهای اقلیمی در آینده سودمند خواهند بود. به عبارتی سری‌های زمانی، قابلیت تولید داده‌های مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی  $ET_0$  را دارا هستند (۹). از جمله مدل‌های مورد استفاده در مبحث سری‌های زمانی مدل Holt-winters است که بر اساس مطالعه انجام شده در استان هرمزگان در بررسی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و پیش‌بینی آن‌ها عملکرد مناسبی داشته است (۷). پیش‌بینی هفتگی تبخیر تعرق با معادله هارگریوز-سامانی با استفاده از مدل ARIMA در شمال اسپانیا و مقایسه این مدل‌ها با پیش‌بینی‌های حاصل از شبکه عصبی نشان داده است که عملکرد مدل‌های ARIMA در ماه‌های سپتامبر تا

نوامبر بهتر از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی است (۲۰). مطالعه مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر  $ET_0$  در ایستگاه باجگاه شیراز با استفاده از مدل‌های اتورگرسیو-میانگین متحرک تلفیق شده فصلی (SARIMA) نشان داد که توان دوم ضریب همبستگی ( $R^2$ ) مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر برآورد شده قابل قبول است (۲۷). از جمله مدل‌های ارائه شده در مبحث سری‌های زمانی، مدل‌های خود همبسته (AR)، میانگین متحرک (MA)، خود همبسته با میانگین متحرک (ARMA)، آریما (ARIMA)، Holt-winters، Decomposition و غیره هستند که هر یک شامل مجموعه‌ای از مدل‌ها با متغیرهای گوناگون بوده که می‌توانند در فرایند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گیرند (۱۳). پیش‌بینی  $ET_0$  با استفاده از سری زمانی در ارومیه نشان داد مدل AR ضمن ارائه نتایج بهتر نسبت به سایر مدل‌ها، خطای کمتری داشت (۶). همچنین پیش‌بینی  $ET_0$  روزانه در دلتای رود نیل با استفاده از مدل‌های ARIMA فصلی دقت مناسبی داشته است (۲۵). مقایسه سری زمانی Decomposition و Winters فصلی در پیش‌بینی درجه حرارت در نیجریه حاکی از مشابه بودن تقریبی دقت دو روش در پیش‌بینی درجه حرارت بود (۲). ارزیابی سری‌های زمانی خطی و غیرخطی بی‌لینیر در پیش‌بینی  $ET_0$  در ایستگاه سینوپتیک ارومیه حاکی از کارایی مدل ARIMA غیر فصلی در برآورد تبخیر تعرق از تشت در دوره آماری مورد مطالعه بود (۱۲). ارزیابی قابلیت مدل ARIMA و مقایسه آن با تئوری آشوب در برآورد  $ET_0$  در ایستگاه‌های سینوپتیک تربت حیدریه و خراسان رضوی حاکی از دقت نزدیک به هم دو روش بود (۲۸). امکان‌سنجی مدل‌سازی و پیش‌بینی دماهای کمینه و بیشینه ایران با روش Holt-winters نشان داد این مدل برای پیش‌بینی کمینه و بیشینه دمای ماهانه کشور کارایی مناسبی دارد (۱۶). پیش‌بینی تبخیر از تشت در نمونه‌های اقلیمی استان هرمزگان با استفاده از مدل اتورگرسیو-میانگین متحرک (ARIMA) حاکی از عملکرد مناسب روش اتورگرسیو (AR) در برآورد ماهانه تبخیر از تشت در اقلیم‌های متفاوت در منطقه بیابانی- ساحلی گرم و

از ابزار Box-Cox transformation در نرم‌افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه‌به اینکه یکی از پرکاربردترین مدل‌های مورد استفاده در راستای تجزیه و تحلیل سری زمانی مدل ARIMA است، در این مطالعه از این مدل در پیش‌بینی تغییرات ET<sub>0</sub> استفاده شد. این مدل به دو شکل فصلی و غیرفصلی قابل کاربرد است. در شکل غیرفصلی ضرایب  $p$ ،  $q$  و  $d$  مطرح است و در شکل فصلی حاصلضرب  $(p,d,q) \times (P,D,Q)$  مطرح می‌شود که  $p$  و  $q$  متغیرهای اتورگرسیو و میانگین متحرک غیرفصلی و  $P$  و  $Q$  متغیرهای اتورگرسیو و میانگین متحرک فصلی است. دو پارامتر  $d$  و  $D$  متغیرهای تفاضلی برای ایستا کردن سری زمانی است (۱۳). در این مطالعه ابتدا با استفاده از توابع خودهمبستگی ACF (Auto Coloration Function) و خودهمبستگی جزئی PACF (Partial Auto Coloration Function) مدل‌های ARIMA مناسب به داده‌ها برازش داده شد و با استفاده از رفتار این دو تابع، ایستایی و فصلی بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مدلی با P-VALUE کمتر از ۰/۰۵ به‌عنوان مدل مناسب انتخاب شد. چنانچه چند مدل شرایط مناسب داشتند، مدلی که NRMSE کمتر بین داده‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده داشت انتخاب شد (۲۶). به دلیل اینکه در شهرستان تفت مدل ARIMA کارایی مناسب و قابل‌قبولی نداشت در این شهرستان، از روش Holt-winters استفاده شد. سری زمانی مدل Holt-winters شامل سه بخش است. بخش اول میانگین (مقدار ثابت) که نشان‌دهنده رفتار کل مدل است. بخش دوم روند (شیب خط است) که بر حسب زمان ثابت بوده ولی به‌عنوان مضرب برای متغیر در نظر گرفته می‌شود و بخش سوم نیز به‌صورت تناوبی تغییر می‌کند و برای نمایش تغییرات فصلی به‌کار گرفته می‌شود. پیش‌بینی در روش Holt-winters به کمک هموارسازی نمایی صورت می‌گیرد. در این مدل پیش‌بینی مقدار آینده توسط ترکیب سه مؤلفه  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  انجام می‌شود که مقادیر این پارامترها بین صفر و یک بوده و به ترتیب بیانگر وزن سطح، وزن روند و وزن فصلی هستند. در این روش دو مدل Multiplicative در شرایطی که الگوی فصلی به اندازه

خشک بود (۱۱). بررسی دقت مدل Holt-winters برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در ایستگاه رباط قره‌بیل نشان داد روش Multiplicative در سری زمانی Holt-winters با خطای درصد مطلق میانگین کمتر از ۰/۰۴ نسبت به روش Additive دقت مناسب‌تری داشته و در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی فصلی کارا تر است (۱۹). همچنین تحلیل روند و سری زمانی ET<sub>0</sub> با استفاده از مدل SARIMA برای دشت خرم‌آباد، حاکی از دقت مناسب این مدل در منطقه مورد نظر بود (۲۶).

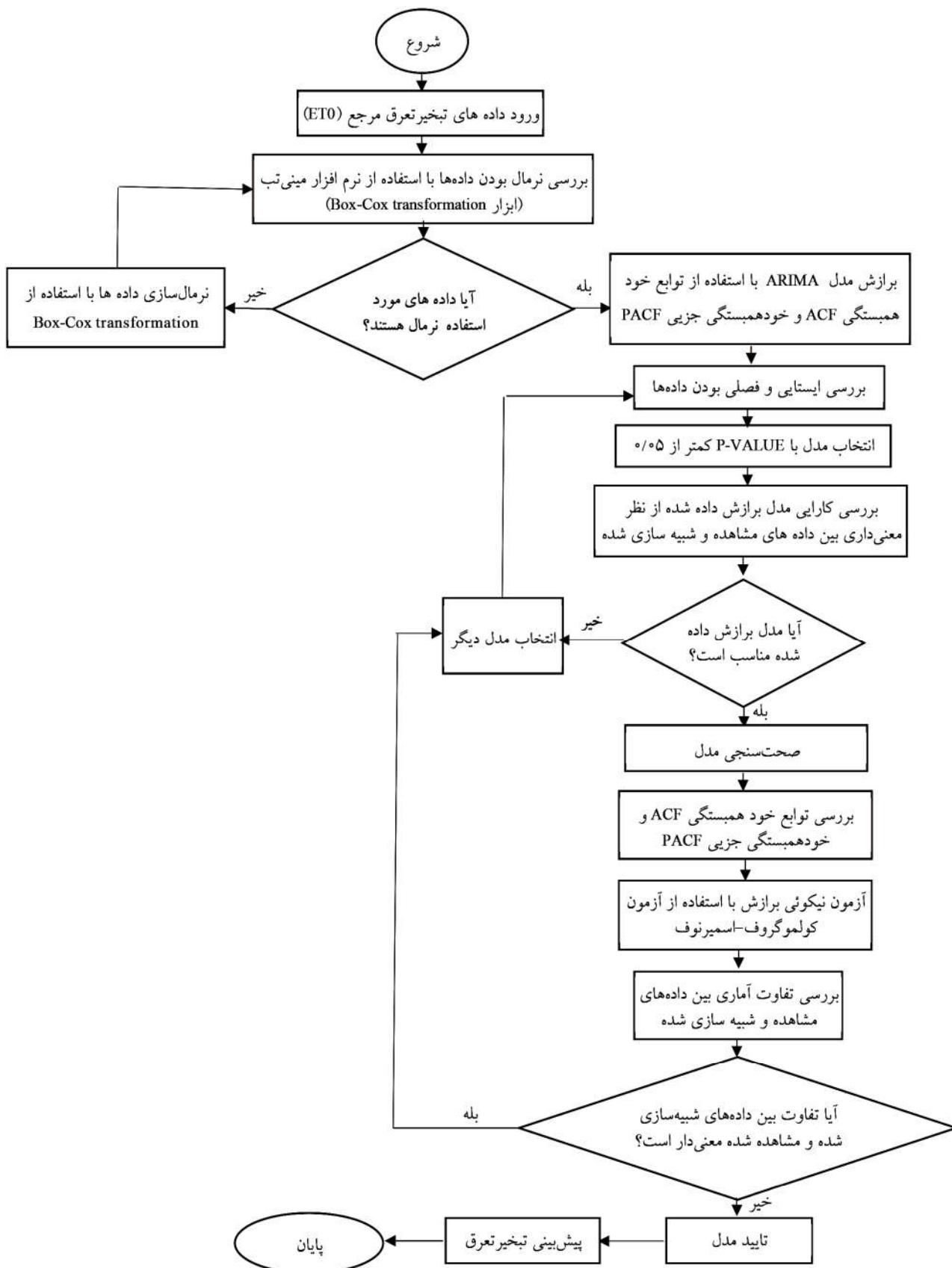
استان یزد با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، به دلیل تغییرات اقلیمی عموماً ناشی از افزایش درجه حرارت و تبخیر سطحی زیاد در خطر بیابان‌زایی شدید است. باتوجه‌به ضرورت آینده‌پژوهی نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی در کشور به‌منظور استفاده پایدار از منابع آب موجود از سویی و در نظر داشتن قابلیت‌های روش‌های سری زمانی در مدیریت مؤثر منابع آب از سوی دیگر، در این مطالعه با استفاده از داده‌های تبخیر تعرق مرجع سامانه نیازاب (niwr.ir) (به‌عنوان سامانه مرجع نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی کشور)، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹، مدل مناسب برای پیش‌بینی تغییرات ET<sub>0</sub> تا سال ۱۴۰۷ در شهرستان‌های استان یزد تعیین شد.

## مواد و روش‌ها

بررسی و پیش‌بینی تغییرات ET<sub>0</sub> تا سال ۱۴۰۷ در شهرستان‌های استان یزد مطابق با روندنمای ارائه شده در شکل ۱ به‌صورت زیر انجام شد:

### انتخاب مدل سری زمانی

بسیاری از تحلیل‌های آمار کلاسیک، بر اساس توزیع نرمال صورت می‌گیرند. تبدیل باکس کاکس (Box-Cox transformation)، نوع خاصی از تبدیل‌های توانی (Power Transformation) است که با استفاده از آن، در صورت نرمال نبودن داده‌ها، توزیع احتمالی داده‌ها تقریباً به توزیع نرمال نزدیک می‌شود. بنابراین، در این مطالعه نرمال بودن داده‌های ET<sub>0</sub> با استفاده



شکل ۱. روندنمای بررسی و پیش بینی تغییرات ET<sub>0</sub> در استان یزد

۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار مبدأ قرار گرفته است. باتوجه به اهداف این مطالعه شهرستان‌های یزد، اردکان، میبد، بافق، ابرکوه، مروست، مهریز، بهاباد و تفت انتخاب و روند تغییرات ET<sub>0</sub> در این شهرستان‌ها مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۲). اطلاعات پایه مورد استفاده شامل ET<sub>0</sub> در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ در سامانه نیازآب، بر اساس اطلاعات هواشناسی ۲۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک استان یزد (شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، رطوبت بیشینه، رطوبت کمینه، سرعت باد و ساعات آفتابی) بود. بر اساس داده‌های هواشناسی پایه سامانه نیازآب، ارقام پایه ET<sub>0</sub> در مقیاس روزانه تعیین شده است. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در تخمین ET<sub>0</sub> در این سامانه باتوجه به محدوده ارائه شده در فائو، نرمال‌سازی شده و داده‌های خیلی پرت مطابق با دستورالعمل ارائه شده حذف شدند.

در مقدار ET<sub>0</sub> برآورد شده در سامانه نیازآب از روش فائو ۵۶ به‌عنوان روش استاندارد به شرح زیر استفاده شده است (۳):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(P_v - \Gamma) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (\epsilon_\sigma - \epsilon_\alpha)}{\Delta + \gamma [1 + 0.34u_2]} \quad (1)$$

که در اینجا (شیب فشار بخار اشباع، Rn: تشعشع خالص خورشیدی، G: جریان گرمایی خاک، u<sub>2</sub>: سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، es-ε<sub>a</sub>: کمبود فشار بخار و γ: ثابت سایکرومتریک است.

بر اساس مطالعات قبلی در خصوص تقسیم‌بندی اقلیمی در استان یزد، سه گروه اقلیمی شامل شهرستان‌های ابرکوه، بهاباد، مروست و مهریز در گروه اقلیمی اول، شهرستان‌های یزد، میبد، اردکان و بافق در گروه اقلیمی دوم، و تفت در گروه اقلیمی سوم ارائه شده است که در این مطالعه ملاک بررسی قرار گرفت (۲۲). به‌منظور پیش‌بینی تغییرات زمانی ET<sub>0</sub> از نرم‌افزار Minitab16 استفاده شد. در هر گروه اقلیمی، یک شهرستان به‌عنوان نماینده انتخاب و داده‌های ET<sub>0</sub> در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار به‌منظور تعیین مدل مناسب لحاظ و داده‌های ET<sub>0</sub> در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ برای صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند.

داده‌ها بستگی دارد و Additive در شرایطی که الگوی فصلی به اندازه داده‌ها بستگی ندارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعد از انتخاب و برازش مدل به داده‌های ET<sub>0</sub> در هر یک از شهرستان‌های مورد بررسی، آزمون‌های صحت‌سنجی روی باقی‌مانده‌ها به‌صورت زیر انجام شد:

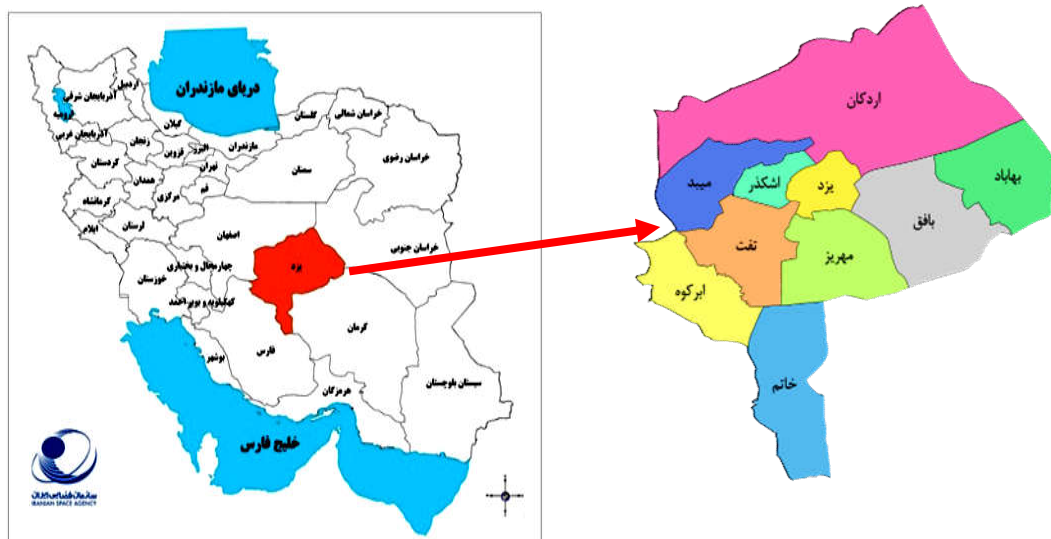
**الف - نمودار ACF و PACF باقی‌مانده‌ها:** چنانچه مقادیر ACF و PACF باقی‌مانده‌ها داخل محدوده اطمینان قرار گیرد همبستگی معنی‌داری بین باقی‌مانده‌ها وجود ندارد (P-VALUE کمتر از ۰/۰۵) (۲۱).

**ب- آزمون کولموگروف - اسمیرنوف (Kolmogorov-mirnov):** یک آزمون آماری ناپارامتریک است که برای بررسی توزیع داده‌ها استفاده می‌شود. به بیان آماری، آزمون کولموگروف - اسمیرنوف نوعی آزمون نیکوئی برازش برای مقایسه یک توزیع نظری با توزیع مشاهده شده است. هنگام بررسی یکنواخت بودن داده‌ها، فرض صفر مبتنی بر اینکه توزیع داده‌ها یکنواخت است در سطح خطای ۰/۰۵ تست می‌شود. اگر مقدار معناداری بزرگ‌تر یا مساوی سطح خطا (۰/۵) به‌دست آید، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر وجود نخواهد داشت. به‌عبارت‌دیگر توزیع داده‌ها یکنواخت خواهد بود. هنگام بررسی نرمال بودن داده‌ها فرض صفر مبتنی بر اینکه توزیع داده‌ها نرمال است در سطح خطای ۰/۵ مورد بررسی قرار گرفت.

**ج- بررسی تفاوت آماری بین داده‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده:** با استفاده از پارامتر NRMSE تفاوت بین ET<sub>0</sub> مشاهده و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های برازش داده شده، بررسی و با استفاده از آزمون t جفت شده در نرم‌افزار SPSS معنی‌داری تفاوت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

#### داده‌های مورد استفاده

استان یزد با وسعتی معادل ۷۴۶۵۰ کیلومتر مربع در قسمت مرکزی فلات ایران قرار دارد. این استان در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و



شکل ۲. نقشه شهرستان‌های استان یزد

افزایشی داشته است. در گروه اقلیمی سوم نیز  $ET_0$  سالانه برای شهرستان تفت تا سال ۱۳۹۵ روند افزایشی، از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ روند کاهشی و سپس مجدداً روند افزایشی داشته است. به‌طور مشابه با نتایج این مطالعه بررسی تغییرات  $ET_0$  در شش ایستگاه سینوپتیک غرب کشور نشان داد که روند  $ET_0$  در اکثر ایستگاه‌ها به‌طور غیرمعنی‌داری صعودی بوده که ناشی از روند نزولی رطوبت نسبی در منطقه و روند صعودی شدت تابش خورشیدی بوده است (۲۴). در استان فارس نیز روند افزایشی  $ET_0$  در دوره اقلیمی ۱۹۷۸-۲۰۰۹ وجود داشته است (۱۸). همچنین روند  $ET_0$  در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی در مقیاس سالانه مثبت بوده است (۵). بررسی و تحلیل روند  $ET_0$  در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان نیز با استفاده از آزمون اسپیرمن نشان داد که روند سالانه  $ET_0$  برای ایستگاه سنندج افزایشی و معنی‌دار بوده است (۴).

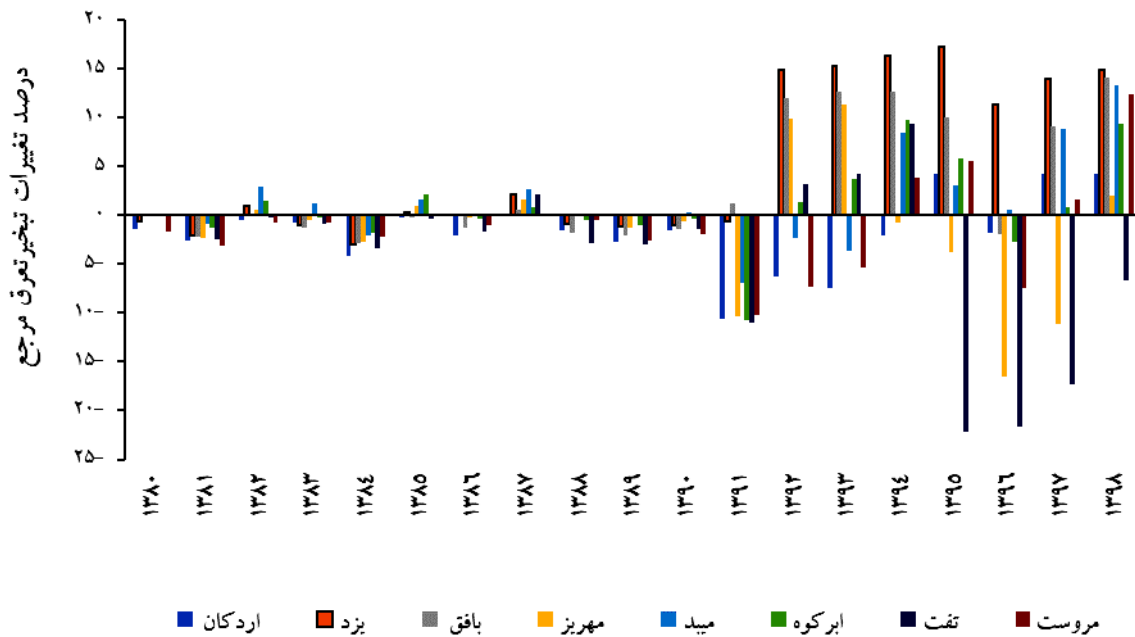
در مطالعه حاضر، با بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی در طول سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۸۰، افزایش  $ET_0$  در شهرستان‌های استان یزد تحت تأثیر افزایش سرعت باد، کاهش رطوبت نسبی و افزایش دما بوده است. در این سال‌ها ساعات آفتابی روند کاهشی داشته است. در شکل ۳ درصد تغییرات  $ET_0$  در طول سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۹ با ملاک قرار دادن سال ۱۳۸۰ به‌عنوان سال پایه

در این مطالعه شهرستان ابرکوه به‌عنوان نماینده گروه اقلیمی اول، شهرستان اردکان به‌عنوان نماینده گروه اقلیمی دوم و شهرستان تفت در گروه اقلیمی سوم مورد بررسی قرار گرفتند.

## نتایج و بحث

### بررسی روند تغییرات سالانه $ET_0$ مشاهداتی در استان یزد برای دوره مطالعاتی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹

بررسی روند تغییرات سالانه  $ET_0$  مشاهده شده در استان یزد در شهرستان‌های متفاوت طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ نشان داد تغییرات  $ET_0$  سالانه در گروه اقلیمی اول شامل شهرستان‌های اردکان، میبد، بافق و یزد روند افزایشی داشته است. برای گروه اقلیمی دوم شامل شهرستان‌های مهریز، ابرکوه، بهاباد و مروست،  $ET_0$  سالانه در دوره زمانی مورد نظر به جز در شهرستان مهریز روند افزایشی داشته است. بر اساس مطالعه انجام شده در استان یزد، یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تغییرات تبخیرتعرق مرجع سرعت باد است (۲۲). با بررسی‌های انجام شده، این پارامتر در فاصله سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۸ بیشترین تغییرات را داشته است که این تغییرات برای شهرستان مهریز روند کاهشی و برای سایر شهرستان‌های استان یزد روند



شکل ۳. درصد تغییرات ET<sub>0</sub> در دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۹ نسبت به سال پایه (۱۳۸۰)

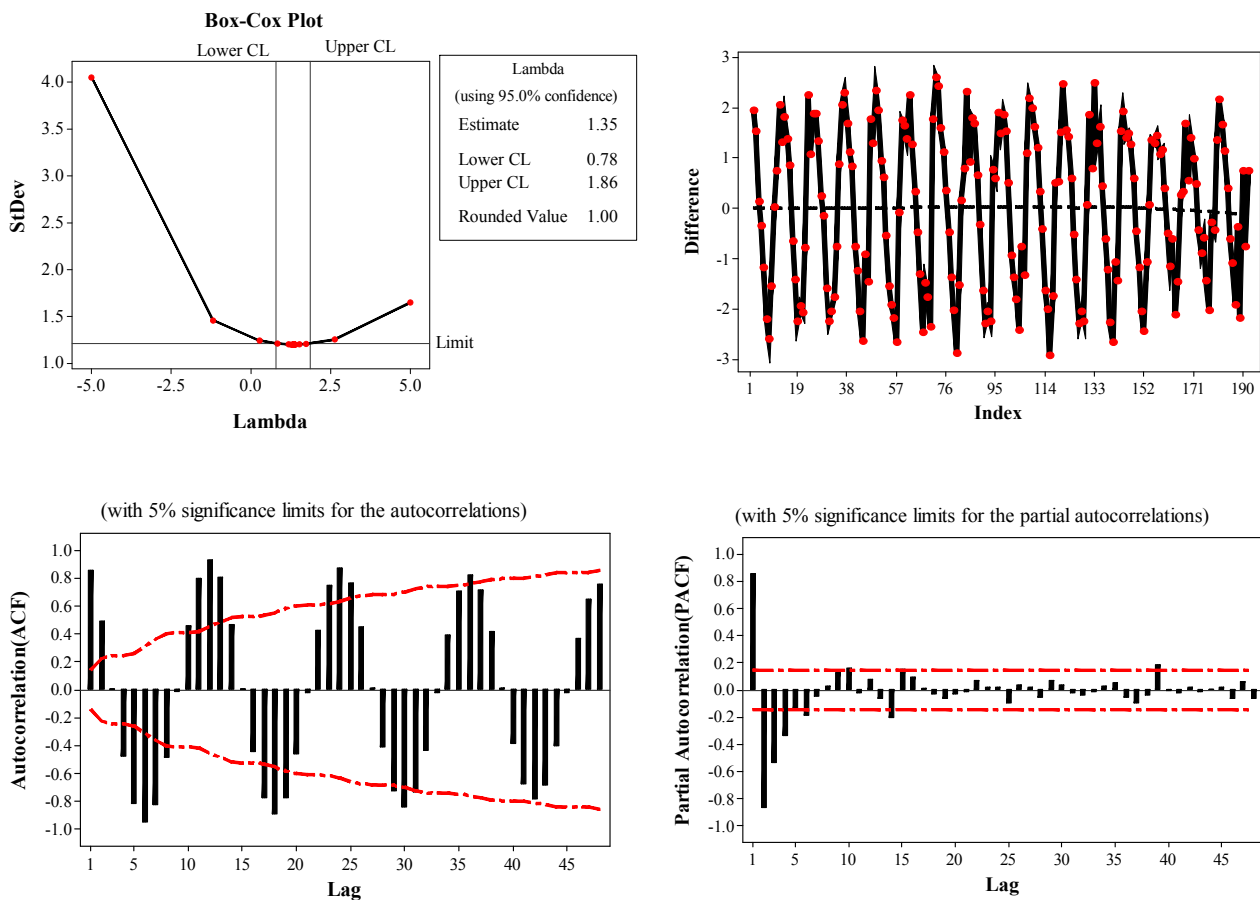
مقیاس ماهانه در نرم‌افزار Minitab در هر یک از شهرستان‌های اردکان، ابرکوه و تفت در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ وارد و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در گام اول به بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از ابزار Box-Cox Transformation پرداخته شد. داده‌های مورد استفاده در شهرستان ابرکوه توزیع نرمال داشتند. در خصوص شهرستان تفت و اردکان بر اساس پیشنهاد نرم‌افزار Minitab با تبدیل توانی ۰/۵ به نرمال‌سازی داده‌ها پرداخته شد. همچنین به منظور ایجاد ایستایی زمان از عملگر تفاضل‌گیری (Difference) برای هر یک از شهرستان‌ها استفاده شد که نتایج آن به‌عنوان مثال برای شهرستان اردکان در شکل ۴ ارائه شده است. همچنین در این شکل نمودارهای Auto Coloration Function (ACF) و Partial Auto Coloration Function (PACF) مربوط به سری زمانی ET<sub>0</sub> ماهانه در شهرستان اردکان در دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ ارائه شده است.

باتوجه به شکل ۴ و نمودارهای ACF و PACF در شهرستان اردکان، سری مذکور به‌صورت فصلی است. نتایج مشابه با شهرستان اردکان در شهرستان ابرکوه و تفت مشاهده شد.

برای هر یک از شهرستان‌های استان یزد ارائه شده است. بر اساس شکل مذکور تا سال ۱۳۹۰ درصد تغییرات ET<sub>0</sub> نسبت به سال پایه، در شهرستان‌های متفاوت در استان یزد تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نداشته است (با استفاده از نرم‌افزار SPSS آزمون t جفت شده). بعد از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۹ درصد تغییرات تبخیرتعرق افزایش معنی‌داری یافته است. در سال ۱۳۹۹ در همه شهرستان‌ها به غیر از شهرستان تفت درصد تغییرات ET<sub>0</sub> نسبت به سال پایه مثبت بوده است. منفی بودن درصد تغییرات ET<sub>0</sub> نسبت به سال پایه در شهرستان تفت در سال ۱۳۹۹ حاکی از کاهش تبخیرتعرق مرجع در این سال نسبت به سال پایه بوده است.

### پیش‌بینی ET<sub>0</sub> ماهانه تا سال ۱۴۰۷ با استفاده از سری‌های زمانی

به‌منظور بررسی و پیش‌بینی ET<sub>0</sub> با استفاده از نرم‌افزار Minitab16، شهرستان اردکان متعلق به گروه اقلیمی اول، شهرستان ابرکوه متعلق به گروه اقلیمی دوم و شهرستان تفت در گروه اقلیمی سوم مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ET<sub>0</sub> در



شکل ۴. نمودارهای Box-Cox Transformation, Difference, Auto coloration Function (ACF) و

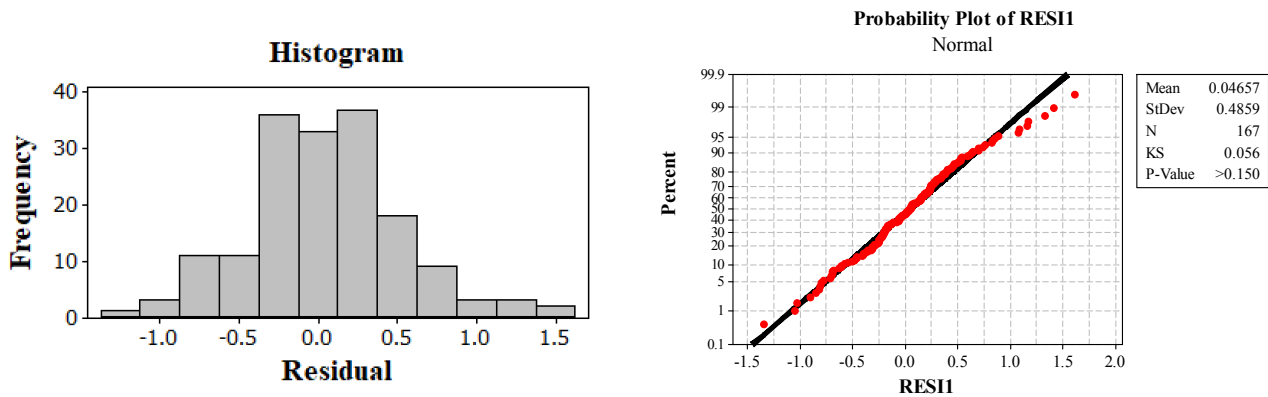
و Partial Auto coloration Function (PACF) برای ET<sub>0</sub> در شهرستان اردکان

عدم معنی داری تفاوت بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده ET<sub>0</sub> ماهانه در شهرستان ابرکوه و اردکان در سطح ۵ درصد بود. اما تفاوت آماری بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده ET<sub>0</sub> ماهانه در شهرستان تفت در سطح ۵ درصد معنی دار بود (شکل ۷).

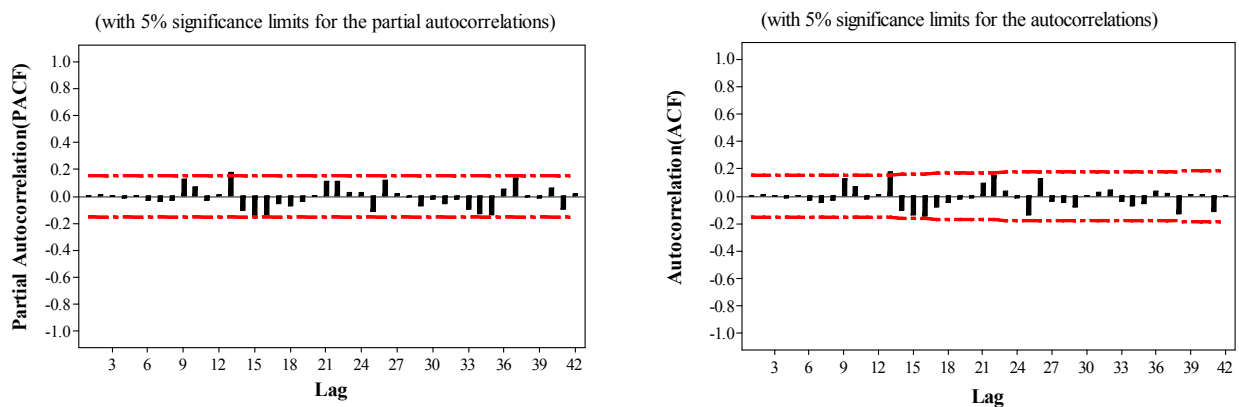
پارامتر NRMSE بین داده های مشاهده و شبیه سازی شده ET<sub>0</sub> برای شهرستان اردکان، ابرکوه و تفت به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۱۴ و ۰/۳۳ بود. باتوجه به نتایج مقایسه آماری، مدل ARIMA برای شبیه سازی ET<sub>0</sub> در شهرستان تفت کارایی مناسبی نداشته و به این منظور از روش Holt-winters استفاده شد. این روش در شرایط وجود روند در داده ها و

بنابراین اثر فصلی در مدل لحاظ شد. مدل های برازش داده شده به ET<sub>0</sub> برای شهرستان های اردکان، ابرکوه و تفت به ترتیب ARIMA (2,1,5) (0,1,2)<sub>12</sub>، ARIMA (0,1,5) (2,2,1)<sub>12</sub> و ARIMA (0,0,5) (1,1,3)<sub>12</sub> بودند. مدل های ارائه شده در هر شهرستان، شرط نرمال بودن باقیمانده ها با استفاده از آزمون کولموگوروف - اسمیرنوف را دارا بودند (شکل ۵). نمودارهای ACF و PACF باقیمانده ها نیز حاکی از معنی دار نبودن هیچ یک از گام های زمانی و صحیح بودن برازش مدل است (شکل ۶). به منظور صحت سنجی مدل های برازش داده شده در هر شهرستان، تبخیر تعرق شبیه سازی شده و مشاهده شده در سال های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ مقایسه آماری شدند که نتایج بیانگر

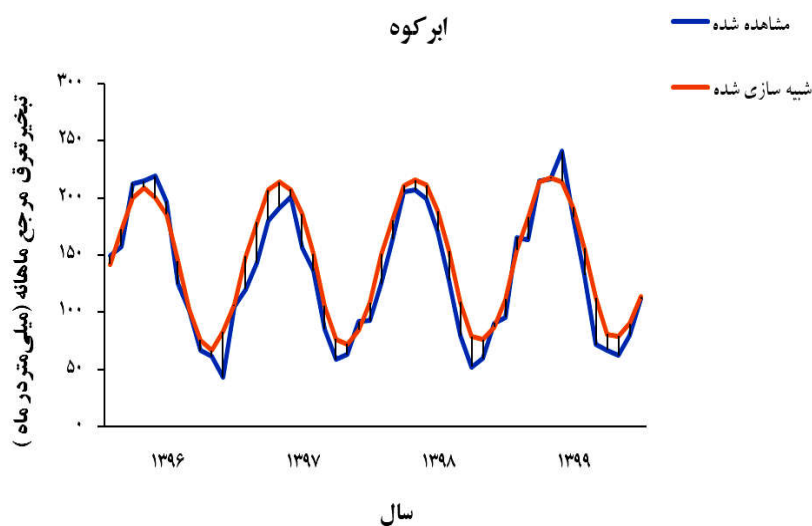




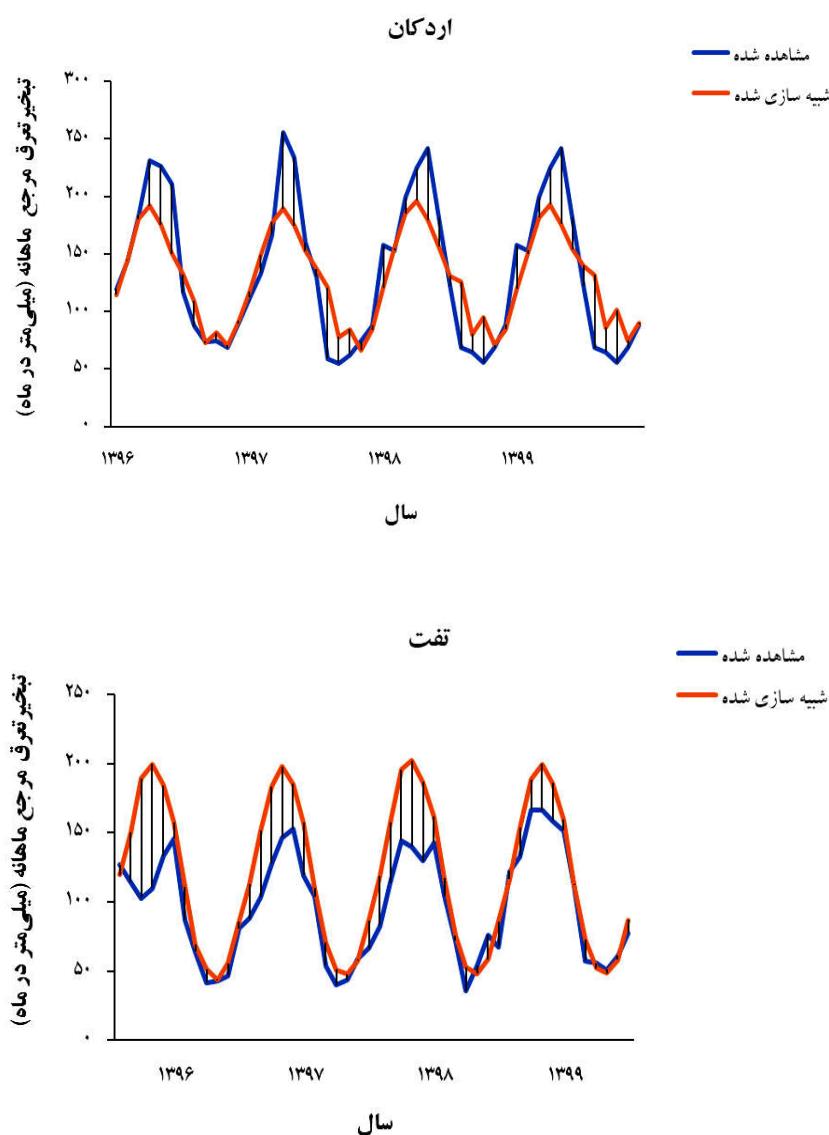
شکل ۵. بررسی نرمال بودن باقی‌انده‌ها در مدل برازش داده شده برای شهرستان اردکان



شکل ۶. نمودارهای ACF و PACF باقیمانده‌ها در مدل‌های برازش داده شده برای شهرستان ابرکوه



شکل ۷. نمایی از ET<sub>0</sub> مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با توجه به مدل‌های برازش داده شده در هر شهرستان



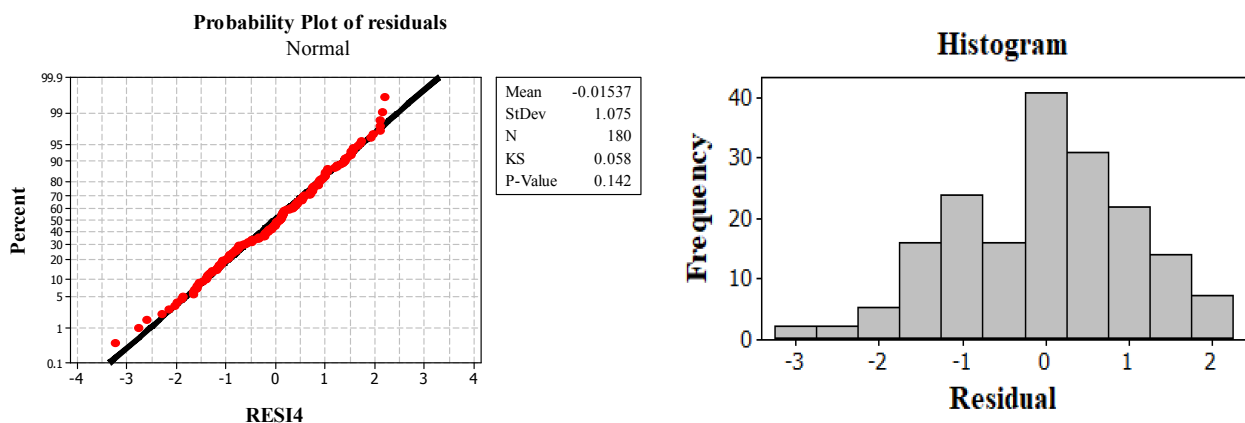
شکل ۷. نمایی از  $ET_0$  مشاهده شده و شبیه سازی شده با توجه به مدل های برازش داده شده در هر شهرستان (ادامه)

تفاوت داده های مشاهده و شبیه سازی شده در سطح ۵ درصد بود. همچنین NRMSE بین داده های  $ET_0$  مشاهده و شبیه سازی شده ۰/۲۶ به دست آمد که بیانگر قابل قبول بودن مدل Holt-winters در پیش بینی  $ET_0$  برای شهرستان تفت است (شکل ۹).

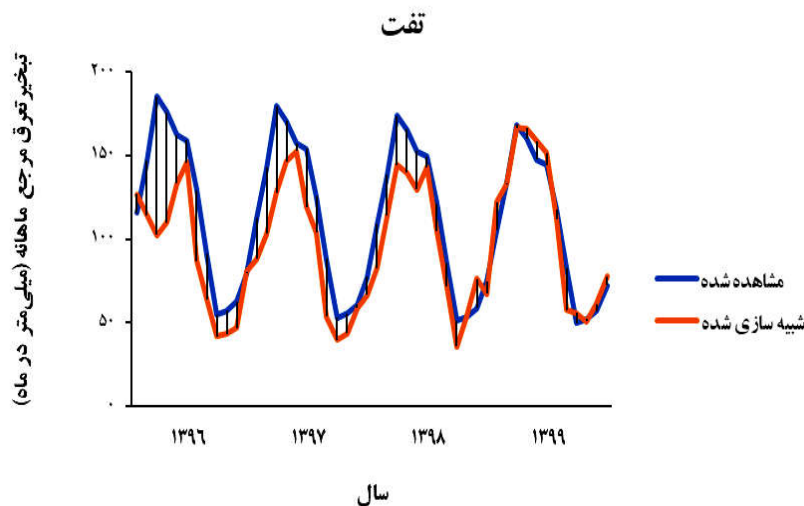
باتوجه به مدل های تعیین شده برای هر شهرستان، پیش بینی  $ET_0$  ماهانه تا سال ۱۴۰۷ انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. بر اساس این شکل روند تغییرات  $ET_0$  در شهرستان های اردکان در فصول گرم کاهشی و در فصول سرد

فصلی بودن آن ها برای شبیه سازی میان مدت کاربرد وسیعی دارد. با استفاده از مدل مذکور برای شهرستان تفت (مدل Holt-winters و روش Multiplicative) شرط نرمال بودن باقیمانده ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف وجود داشت (شکل ۸).

به منظور صحت سنجی مدل برازش داده شده برای شهرستان تفت، داده های  $ET_0$  شبیه سازی شده با مدل Holt-winters و داده های  $ET_0$  مشاهده شده در سال های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ مقایسه آماری شدند که نتایج حاکی از معنی دار نبودن



شکل ۸. نرمال بودن داده‌ها در روش Holt-winters (روش Multiplicative) برای شهرستان تفت

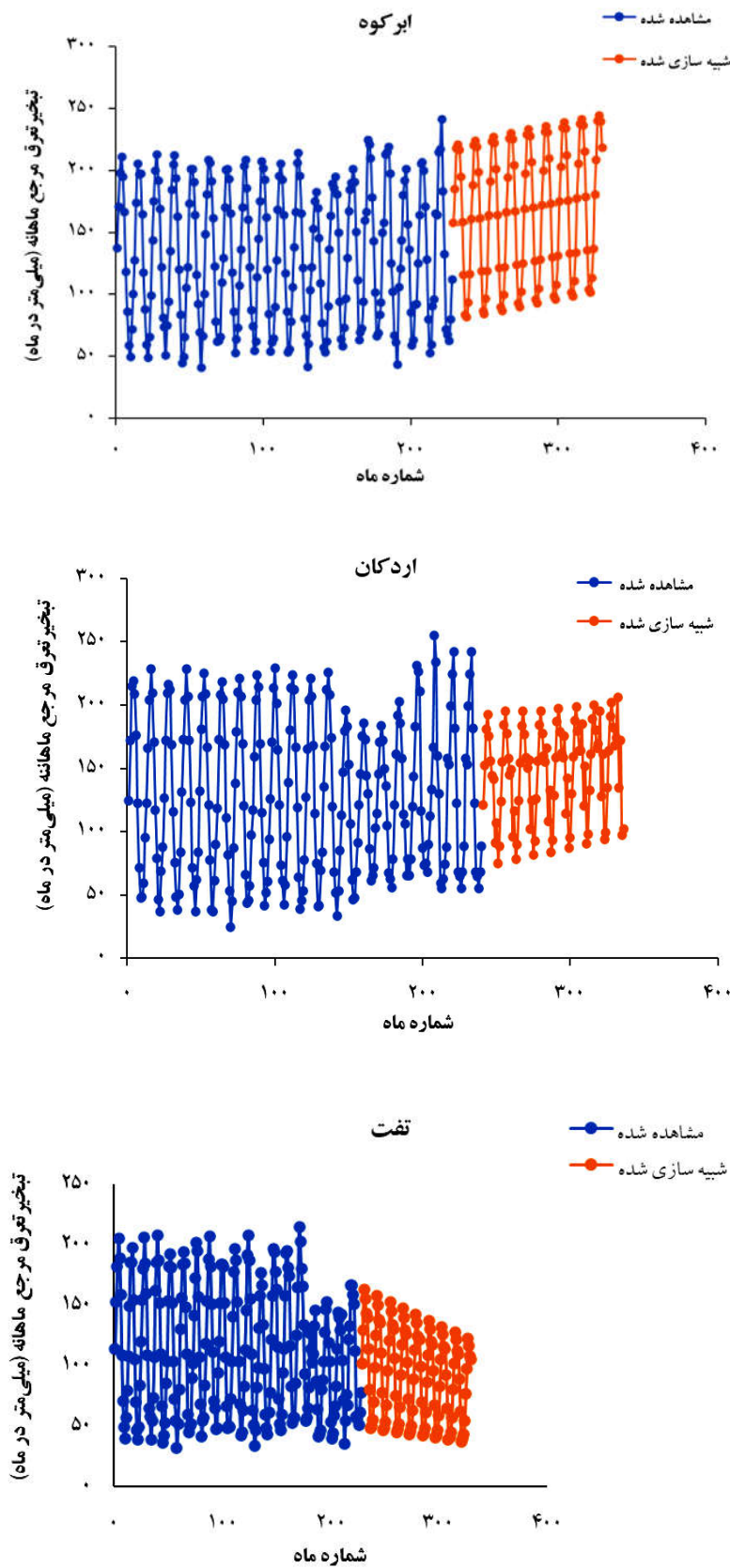


شکل ۹. مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده ET<sub>0</sub> ماهانه با مدل Holt-winters برای شهرستان تفت

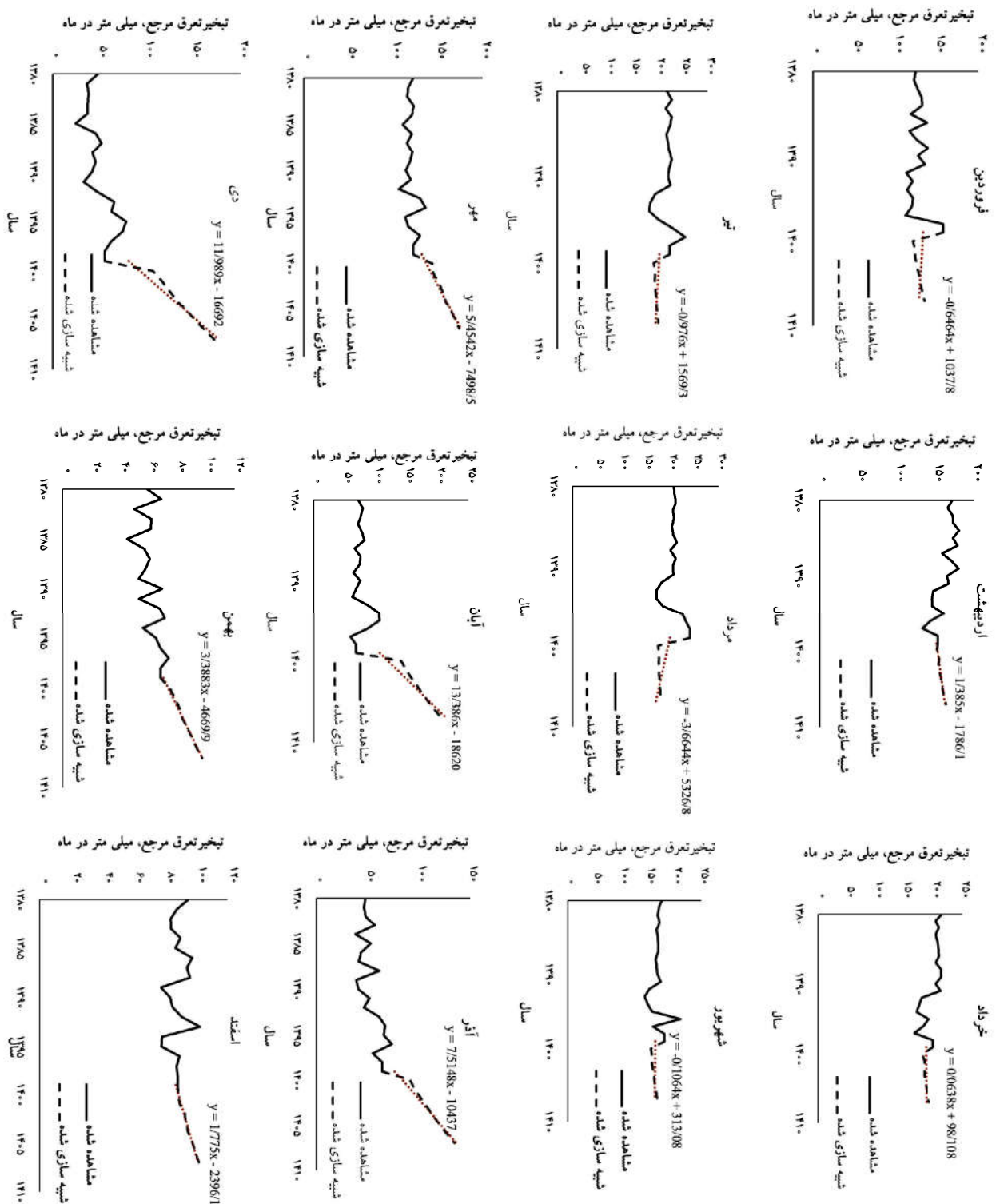
دشت مشهد طی دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۷۰ تحت سناریوهای RCP و با به‌کارگیری یک مدل دینامیکی جهت ریزمقیاس‌نمایی نشان داد که میزان ET<sub>0</sub> در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در ماه‌های گرم سال کاهش و در ماه‌های سرد سال افزایش خواهد یافت (۱۶).

در مطالعه حاضر تغییرات ET<sub>0</sub> شبیه‌سازی شده در ماه‌های متفاوت در مقایسه با ET<sub>0</sub> ماهانه مشاهده شده حاکی از این است که برای شهرستان‌های اردکان و ابرکوه، شیب تبخیر تعرق پیش‌بینی شده در ماه‌های سرد سال (مهر، آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند) بیشتر از ماه‌های گرم سال (فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور)

افزایشی بوده است. در شهرستان ابرکوه روند تغییرات ET<sub>0</sub> در فصول سرد افزایشی و در فصول گرم نیز به شکل غیرمعنی‌داری افزایشی بوده است. در شهرستان تفت نیز روند تغییرات ET<sub>0</sub> در فصول گرم کاهشی و در فصول سرد تغییر معنی‌داری نداشته است. در مطالعات مشابه بررسی روند ET<sub>0</sub> در کشور هند در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۲، با استفاده از آزمون من - کندال نشان داد که به‌طور معنی‌داری ET<sub>0</sub> در ۱۳۳ ایستگاه مورد بررسی کاهش یافته است که دلیل این کاهش، افزایش معنی‌دار رطوبت نسبی و کاهش سرعت باد بیان شده است (۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر ET<sub>0</sub> در



شکل ۱۰. روند شبیه‌سازی ET0 ماهانه تا سال ۱۴۰۷ برای شهرستان‌های اردکان، ابرکوه و تفت



شکل ۱۱. تغییرات ET<sub>0</sub> شبیه‌سازی شده در ماه‌های متناوب در مقایسه با ET<sub>0</sub> مشاهده شده برای شهرستان اردکان

خواهد بود (شکل ۱۱). بنابراین پیش‌بینی روند تغییرات ET<sub>0</sub> در گروه اقلیمی اول و دوم حاکی از این است که بیشترین تغییرات تبخیرتعرق مرجع در فصول سرد (زمستان بیشتر از پاییز) خواهد

بود که نتیجه آن تأثیر بیشتر تغییرات اقلیمی بر محصولاتی است که دوره کاشت آن‌ها در این فصول است. به‌عنوان مثال در شهرستان اردکان، بر اساس پیش‌بینی مدل، گیاهان

بود. بررسی روند تغییرات  $ET_0$  در چین نشان داد اگرچه روند کاهشی  $ET_0$  برای کل کشور چین وجود داشت ولی روند افزایشی  $ET_0$  برای شمال غرب و جنوب شرق چین مشاهده شد که بیانگر متفاوت بودن روند تغییرات  $ET_0$  در نواحی با اقلیم متفاوت است (۲۹).

### جمع بندی

بررسی روند تغییرات تبخیرتعرق مرجع از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۹ در استان یزد نشان داد که این پارامتر برای کلیه شهرستان‌های استان یزد به جز مهریز و تفت روند افزایشی داشته است که به دلیل تغییرات کاهشی سرعت باد در شهرستان‌های مذکور است در حالی که در سایر شهرستان‌ها این روند افزایشی بوده است. این افزایش ناشی از افزایش سرعت باد، کاهش رطوبت نسبی و افزایش دما بوده است. همچنین بررسی تغییرات تبخیرتعرق مرجع پیش‌بینی شده با مدل در سال ۱۴۰۷ نسبت به سال پایه (۱۳۹۹) حاکی از این است که در هر سه گروه اقلیمی، گیاه یونجه به دلیل کاشت در کل فصول تأثیرپذیری قابل توجهی از تغییرات اقلیمی را خواهد داشت. در شهرستان ابرکوه و اردکان محصولات پاییزه - بهاره مانند گندم تأثیرپذیری بیشتری از افزایش  $ET_0$  را خواهند داشت در حالی که در شهرستان تفت محصولات بهاره - تابستانه مانند آفتابگردان بیشترین تأثیرپذیری از کاهش  $ET_0$  را خواهند داشت. این نتایج می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آینده از جمله تدوین الگوی کشت بهینه برای استان یزد در کنار سایر عوامل مؤثر مورد توجه قرار گیرد.

بهاره - تابستانه مانند آفتابگردان، زمستانه - بهاره مانند هندوانه و زمستانه - پاییزه مانند انار با کاهش نیاز آبی روبه رو خواهند شد و گیاهان کاشت شده در کل فصل رشد مانند یونجه، گیاهان پاییزه - بهاره مانند گندم، گیاهان تابستانه - پاییزه مانند کنجد و گیاهان تابستانه - زمستانه مانند ذرت علوفه‌ای با افزایش نیاز آبی روبه رو خواهند شد. به‌طور کلی در گروه اقلیمی اول و دوم در محصولات کشت‌شده در کل فصل رشد، محصولات پاییزه - بهاره، محصولات تابستانه - زمستانه و محصولات تابستانه - پاییزه تغییرات  $ET_0$  و در نتیجه تغییرات نیاز آبی بیشتر خواهد بود. در شهرستان تفت شیب تغییرات  $ET_0$  منفی پیش‌بینی شده است. بیشترین تغییرات  $ET_0$  در فصول گرم خواهد بود (تابستان بیشتر از بهار) تا فصول سرد. در شهرستان تفت محصولاتی که دوره کاشت آن‌ها در فصول گرم است بیشترین تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی و تغییرات  $ET_0$  را دارند. مطالعات انجام شده در بلژیک با تأکید بر روند افزایشی غلظت دی اکسید کربن و افزایش دما و تأثیر آن بر افزایش تبخیرتعرق گیاهان نشان داد که در گیاهان بهاره - پاییزه مانند گندم افزایش نیاز آبی قابل توجه نبوده اما در گیاهان بهاره - تابستانه مانند گوجه‌فرنگی افزایش معنی‌داری در نیاز آبی وجود داشت (۸).

به‌طور کلی بر اساس نتایج این مطالعه تغییرات اقلیمی در استان یزد در گروه‌های اقلیمی متفاوت، متغیر خواهد بود. در اقلیم خشک مانند شهرستان اردکان و ابرکوه تغییرات  $ET_0$  در ماه‌های سرد بیشتر و در اقلیم نیمه‌خشک مدیترانه‌ای مانند شهرستان تفت تغییرات  $ET_0$  در ماه‌های گرم بیشتر خواهد

### منابع مورداستفاده

1. Abdullahnejad, K. 2015. Time series models for prediction of monthly rainfall (Case study: Hashem Abad Station of Gorgan). *Journal of Geography Space* 5(17): 15-25 (in Farsi).
2. Adenomon, M. O., B. A. Oyejola, V. E. T. Ojehomon. 2014. Comparison of Decomposition Time Series Method and Winters' Seasonal Exponential Smoothing in Forecasting Seasonal Temperature in Niger State, Nigeria. *Journal of Nigerian Statistical Association* 26: 20-34.
3. Allen, R. G., L. S. Pereira., D. Raes., M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISB 92-5-104219-5.
4. Asadzadeh, F., M. Kaki., S. Shakiba. 2017. Trends Analysis of Reference Evapotranspiration in the Synoptic Sites of Kurdistan Province Using Spearman's Test. *Iran-Water Resources Research* 13(1): 216-222 (in Farsi).

5. Ataei, H., S. A. Tashakori Hashemi., M. Raveian. 2020. Analysis of the trend of evapotranspiration of reference crop at synoptic stations of Khorasan Razavi province. *Journal of Climate Research* 10(38): 113-129 (in Farsi).
6. Azadlatapeh, N., G. Behmanesh., M. Montaseri. 2013. Estimation of Potential Evapotranspiration Using Time Series Models (Case Study: Urmia). *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 27(1): 223-213 (in Farsi).
7. Azizi, G., A. A. Roshan. 2003. Study of dry-wet periods and possibility of forecasting them by using Holt-Winters time series model in Hormozgan province. *Journal of Geographical Research*, 4(99): 48-63.
8. Baguis, P., E. Roulin., P. Willems., V. Ntegeka. 2010. Climate change scenarios for precipitation and crop evapotranspiration over central Belgium. *Theoretical Applied Climatology* 99: 273-286.
9. Babamiri, A., H. Nozari., S. Maroufi. 2017. Estimation of potential evapotranspiration based on random time series models (case study of Tabriz station). *Journal of Watershed Management Research* 8(15):137-146 (in Farsi).
10. Bandyopadhyay, A., A. Bhadra., N. S. Raghuvanshi., R. Singh. 2009. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. *Journal of Hydrologic Engineering* 14(5):508-515.
11. Bazrafshan, O., A. Chashmberah., A. Holisaz. 2017. Evaluation of time series models in forecasting pan evaporation in different climates of Hormozgan province, *Watershed Engineering and Management* 9(3): 250-261(in Farsi).
12. Behmanesh, J., N. Azad Tillyatepe, M. Montaseri and S. Besharat. 2014. Assessment of linear and nonlinear time series models bi-linear forecast reference evapotranspiration in Urmie synoptic stations. *Water in Agricultural Research Journal* 28(1): 85-96 (in Farsi).
13. Dodangeh, S., J. Abedi Koupai and S. A.2012. Gohari. Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes. *Journal of Science and Technology, Water and Soil Science* 16(59): 59-74 (in Farsi).
14. Gautam, R., and A. K. Sinha. 2016. Time series analysis of reference crop evapotranspiration for Bokaro District, Jharkhand, India. *Journal of Water and Land Development* 30(1): 51-56.
15. Ghaderi, A., H. A. Yosefian Nazer. 2020. Prediction of Evaporation Changes in Half Well Reservoirs of Sistanv by Using Randomized Simulator Models. *Geography and Development* 18(58): 225-238 (in Farsi).
16. Ghasemi, A. R. 2016. Modeling feasibility and prediction of minimum and maximum temperature in Iran by bettitt and Holt-Winters methods, 16(43). *Journal of Applied Researches In Geographical Science* 16(43): 7-24 (in Farsi).
17. Goyal, R. K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India), *Agriculture Water Management* 69(12):1 -11.
18. Helali, J., J. Bazrafshan, M. Panahi. Investigating the Potential Evapotranspiration in Fars Province and the Effect of Moderate Temperature and Sunshine on the Rate of its Process. In Proceeding of 2014 National Conference on Climate Change and Engineering for Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources, Hamadan, Iran.
19. Heydari, M., H. Benisi Ghadim., M. Rashidi., M. Noori. 2020. Application of Holt-Winters Time Series Models for Predicting Climatic Parameters (Case Study: Robat Garah-Bil Station, Iran). *Polish Journal of Environmental Studies* 29(1): 617-627.
20. Landeras, G., A. Ortiz-Barredo., J. J. López. 2009. Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 135: 323-334.
21. Mishra, A.K., V. R. Desai. 2005. Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic Environment Research Risk Assessment* 19: 326-339.
22. Moravejalakhkami, B., N. A. Ebrahimipak., A. Tafteh., S. N. Hosseini. 2022. Sensitivity Analysis of Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters (Case Study: Synoptic Stations of Yazd Province). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 53(2): 287-303. (in Farsi).
23. Nicole, M. H., H. B. Donald. 2005. Analysis of Trends in Evaporation. *Agriculture and Agri- Food*, Canada.
24. Nouri, M., M. Homae., M. Bannayan. 2017. Assessing reference evapotranspiration changes during the 21st century in some semi-arid regions of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 48(2): 241- 252(in Farsi).
25. Psilovikos, A., M. Elhag. 2013. Forecasting of remotely sensed daily evapotranspiration data over Nile Delta Region Egypt. *Water Resources Management* 27: 4115-4130.
26. Sabzevari, Y., J. Abedi Koupaei. 2022. Trend and Time Series Analysis of Reference Evapotranspiration (Case Study: Khorram Abad Plain). *Extension and Development of Watershed Management* 10(37):35-46(in Farsi).
27. Shirvani, A., T. Honar. 2011. Use time series models to predict evapotranspiration Bajgah station. *Water's Research Magazine* 8: 135-142 (in Farsi).
28. Tavakoli, A., H. Babazadeh. 2015. Capability evaluation of time series model and chaos theory in estimating reference crop evapotranspiration (Torbat-e-Heydariyh Synoptic station, Khorasan Razavi). *Iranian Water Research Journal* 9(2): 111-120(in Farsi).
29. Thomas, A. 1999. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal of Climatology* 20: 381-396.

## Prediction of Reference Evapotranspiration ( $ET_0$ ) Variations in Yazd Province Using Niazab System's Data

B. Moravejalahkami<sup>1\*</sup>, N. A. Ebrahimipak<sup>2</sup> and S. N. Hosseini<sup>2</sup>

(Received: February 20-2024 ; Accepted: April 29-2024)

### Abstract

Evapotranspiration variations ( $ET_0$ ) were investigated and analyzed using Minitab16 software for the 2010-2019 period using the Niazab system's data in Yazd province, and then  $ET_0$  was predicted until 2027. Based on the results, the increase of  $ET_0$  in cities of Yazd province was affected by the enhancement in wind speed and weather temperature, and the decrease in relative humidity from 2010 to 2019. To determine the appropriate model, Ardakan, Abarkooh, and Taft cities were selected as a representative in each climatic group, and  $ET_0$  data for the years 2010 to 2015 were considered as the input data of the software and  $ET_0$  data for the years from 2016 to 2019 were used to validate the determined model. The prediction of the determined models showed an increasing trend of  $ET_0$  for cold seasons in Ardakan and Abarkoh by 2027. Also, the model prediction showed a decreasing trend of  $ET_0$  for hot seasons in Taft by 2027. Also, the  $ET_0$  will not change significantly in cold seasons. In Abarkoh and Ardakan cities, autumn-spring crops such as wheat and in Taft city, spring-summer crops such as sunflower will be more affected by  $ET_0$  variations.

**Keywords:** Water requirement, Yield, Climate change, Cropping pattern

1. Department of Soil and Water Research, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

2. Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

\*: Corresponding author, Email: bita.moravej@gmail.com, b.moravej@areeo.ac.ir