دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل بر اساس مدل‌های تصادفی سری‌زمانی (مطالعه موردی ایستگاه تبریز)

امید بابامیری[۱]، حامد نوذری[۲] و صفر معروفی[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه بوعلی سینا همدان، (نویسنده مسوول: obabamiri@yahoo.com)
۲ و ۳- استادیار و استاد، دانشگاه بوعلی سینا همدان
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۳۱

چکیده

تبخیر- تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی برای برنامه‌ریزی سیستم‌های آبیاری و ارزیابی اثرات هیدرولوژی تغییر اقلیم است. مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر- تعرق با روش پنمن مانتیث برای ایستگاه سینوپتیک تبریز با استفاده از مدل‌های ARIMA و SARIMA به عنوان مدل‌های تصادفی خطی مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق، از آمار و اطلاعات ایستگاه تبریز در دوره آماری ۲۰۱۰- ۱۹۸٦ استفاده شد و پس از محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل، از ۲۰ سال اول داده‌ها برای پیش‌بینی و ۵ سال آخر آنها برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. محاسبات مربوطه در دو حالت متمایز انجام شد. در حالت اول همه داده‌ها به عنوان یک سری سالانه در نظر گرفته شدند و مدل مناسب آنها برازش داده شد. در حالت دوم سری‌های ماهانه به صورت مجزا در طول دوره آماری انتخاب شدند و برای هر یک از آنها، بهترین مدل برازش داده شده انتخاب گردید. نتایج نشان دادکه حالت اول با ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا، به ترتیب ۰/۹٦٤ و ۱٤/۸۵ در مقایسه با حالت دوم با ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹٦۳ و ۱۵/۵۲، تفاوت معنی‌داری نداشته و علی‌رغم آنکه روش اول در حدود ۰/٦۷ میلی‌متر در ماه خطای کمتری در بر داشته است، ولی در مجموع نتایج دو روش اختلاف معنی‌داری را ندارد و هر دو قابل توصیه می‌باشند. در حالت کلی روش اول به دلیل در بر گرفتن محاسبات کمتر قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، پنمن مانتیث، ARIMA و SARIMA

مقدمه

تبخیر- تعرق[1] یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که تخمین دقیق آن برای مدیریت بهینه منابع آب لازم می‌باشد. تخمین میزان دقیق تبخیر- تعرق گیاه مرجع، ETo نه تنها در برنامه ریزی آبیاری و تعیین دوره آبیاری، بلکه در مطالعات مربوط به مدل بیلان آب هر ناحیه از اهمیت فراوانی برخوردار است. افزون بر این، ETo در تامین نیاز آبی گیاهان، برنامه‌ریزی آبیاری و مطالعه بیلان آب مخازن، ضرورت دارد (۳). برنامه‌ریزی دقیق آبیاری مستلزم داشتن اطلاعات کافی از ETo است. تبخیر- تعرق یکی از مولفه‌های هیدرولوژیکی است که تابعی از عوامل مختلف هواشناسی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی است. این مولفه در مطالعات مختلف کشاورزی از جمله طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی، طراحی مخازن و برنامه‌ریزی آبیاری نقش مهمی ایفا می‌کند (۱۲). تخمین بیش از حد آب مورد نیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. از سوی دیگر، تخمین کمتر نیز باعث اعمال تنش خشکی به گیاه شده و به دنبال آن، کاهش محصول را به همراه خواهد داشت (۱۴). معمولا برای اندازه‌گیری مستقیم مقدار تبخیر- تعرق از لایسیمتر استفاده می‌شود. با این حال اندازه‌گیری ETo پرهزینه بوده و نیازمند صرف وقت زیاد است که همیشه امکان‌پذیر نیست. از این رو غالبا روش‌های غیرمستقیم برای برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها شامل طیف وسیعی از مدل‌های ساده تجربی تا روش‌های پیچیده ترکیبی (مانند پنمن-مانتیث) که بر قوانین فیزیکی استوار است، تغییر می‌کنند. مطالعات پیشین نشان می‌دهد، که مقدار تخمینی ETo با استفاده از روش فائو پنمن- مانتیث (PM 56) در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است (۱).

به علت پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرآیندهای فیزیکی در چرخه هیدرولوژیک از جمله تبخیر– تعرق، ساخت مدل‌های آماری و گسترش آنها برای بیان این فرآیندها همیشه مورد توجه مهندسین بوده است. با توجه به مجهول بودن اطلاعات جوی در آینده برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت آبیاری در مزرعه نیاز است تا به گونه‌ای تبخیر-تعرق را در دوره‌های زمانی متفاوت پیش‌بینی نمود. اطلاع از وضعیت آتی تبخیر– تعرق پتانسیل در مقیاس‌های سالانه و ماهانه می‌تواند به تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی منابع آب در مزرعه کمک کند. اساس بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها در فرآیندهای هیدرولوژیک و تصمیمات بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی می باشد. امروزه استفاده از سری‌های زمانی، به عنوان ابزاری مناسب برای پیش‌بینی‌های مختلف به کار می‌رود. سری‌زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات است که بر حسب زمان مرتب شده‌اند و چنانچه این مشاهدات به طور منظم و در فاصله‌های مساوی ثبت و یا اندازه‌گیری شده باشد، یک سری زمانی گسسته به دست می‌آید (۱۵). با استفاده از مدل‌های سری زمانی تولید داده‌های مصنوعی هیدرولوژیک، پیش‌بینی وقایع هیدرولوژیک،

1- Evapotranspiration

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]

تشخیص روند و پرش در داده‌ها، تکمیل خلا آماری و تطویل دوره آماری امکان‌پذیر خواهد بود. مدل‌های سری زمانی از دو بخش یا مولفه اصلی شامل مولفه تصادفی و مولفه مدل تشکیل شده‌اند که مولفه مدل با استفاده از ارقام مشاهداتی و مولفه تصادفی با استفاده از روش های مختلف استوکاستیک بدست می‌آید. لذا ساختار مدل‌های سری زمانی می‌تواند با ساختار سری‌های هیدرولوژیک در صورت انتخاب درست مدل و محاسبات صحیح آن سازگاری و مطابقت ویژه ای داشته باشد (۱۸). مدل‌های مختلف آماری مانند مدل‌های خودهمبسته[1] (AR)، میانگین متحرک[2] (MA)، خودهمبسته با میانگین متحرک[3] (ARMA) و آریما[4] (ARIMA) هر یک شامل مجموعه‌ای از مدل‌ها با پارامترهای گوناگون می‌باشند و می‌توانند به عنوان انتخاب‌های ممکن برای مدل‌سازی استفاده شوند. فرآیندهای خودهمبسته میانگین متحرک یک سری‌زمانی دارای فرآیند ایستا است و با نماد اختصاری ARMA(p,q) نشان داده می‌شود، که در آن p مرتبه خودهمبسته و q مرتبه میانگین متحرک است. از طرف دیگر به یک الگوی ناایستای همگن الگوی خودهمبسته تلفیق شده با میانگین متحرک گفته شده و با نماد اختصاری ARIMA(p,d,q) نشان داده می‌شود که در آن d مرتبه تفاضلی است که برای تبدیل سری ناایستا به سری ایستا به‌کار می‌رود (۱۰). از جمله زمینه‌های به‌کارگیری تولید داده مصنوعی با استفاده از سری‌های زمانی، پیش‌بینی تبخیر- تعرق پتانسیل می‌باشد.

باکس و جنکینز (۳)، در مطالعه‌ی خود، علت استفاده از مدل‌سازی آماری مدل‌های میانگین متحرک تجمعی خودهمبسته را وجود خودهمبستگی در داده‌های اقلیمی با دارا بودن اثر فصل و یا روند ذکر کرده و پیشنهاد کردند،که به منظور تعیین اثر خودهمبستگی‌ها (نظیر خودهمبستگی موجود در داده‌های اقلیمی) از روش‌های ضربی خودهمبسته و میانگین متحرک فصلی استفاده شود. در زمینه استفاده از مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی تبخیر- تعرق گیاه مرجع و سایر پدیده‌های هواشناسی و هیدرولوژی تاکنون تحقیقات زیادی صورت گرفته است. بورلاندو و همکاران (۶)، از مدل‌های آریما برای پیش‌بینی بارندگی‌های ساعتی استفاده کرده و مقادیر به دست آمده را با داده‌های باران سنجی مقایسه کردند. آنها در این مطالعه از مدل سری زمانی ARIMA(1,1,0) جهت پیش‌بینی استفاده کردند. لاندراس و همکاران (۱۵) به پیش‌بینی هفتگی تبخیر- تعرق با معادله هارگریوز- سامانی با استفاده از مدل ARIMA در شمال اسپانیا پرداختند و این مدل‌ها را با پیش‌بینی‌های حاصل از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) مقایسه کردند. در این تحقیق نتایج نشان داد عملکرد مدل‌های ARIMA در ماه‌های سپتامبر تا نوامبر بهتر از مدل ANN می‌باشد. پسیلوویکوس و الحق (۱۸) با استفاده از مدل‌های ARIMA فصلی تبخیر- تعرق روزانه را در دلتای رود نیل پیش‌بینی نمودند و مدل مناسب منطقه مورد بررسی را ارائه نمودند. زاهدی و همکاران (۲۲)، با استفاده از داده‌های ۵۰ ساله بارش ماهانه ایستگاه‌های ارومیه و تبریز مقادیر بارش را در سال‌های آتی با استفاده از الگوی آریمای فصلی پیش‌بینی کردند. ضریب همبستگی بالای بین بارش پیش‌بینی و مشاهده شده برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ حاکی از توانایی الگوی انتخاب شده در برآورد بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. دودانگه و همکاران (۹)، کاربرد مدل‌های سری‌زمانی را به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی از جمله درصد رطوبت، تبخیر، دمای هوا، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی در آینده برای اصفهان مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت مدل آریما را برای پیش‌بینی پارامترهای یادشده استفاده کردند. فولادمند (۱۰)، مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع را در مناطق مختلف استان فارس با استفاده از سری‌های زمانی پیش‌بینی کرد. در این مطالعه مرتبه‌های مختلف مدل اتورگرسیو میانگین متحرک تلفیق شده فصلی در هشت ایستگاه در استان فارس برازش داده شده و بهترین مدل در هر ایستگاه انتخاب شد. نتایج نشان داد که مدل سری‌زمانی مناسب برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. شیروانی و هنر (۱۹)، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر- تعرق برای آینده را در ایستگاه باجگاه با استفاده از مدل‌های خودهمبسته میانگین متحرک تلفیق شده فصلی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که ضریب تبیین بین مقادیر مشاهده شده، برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۹ بدست آمد. قهرمان و قره‌خانی (۱۱)، توانمندی مدل‌های آریما را در برآورد مقادیر روزانه تبخیر از تشت در ایستگاه شیراز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل سری‌زمانی ARIMA(1,1,1) عملکرد بسیار بهتری نسبت به سایر مدل‌های ARIMA دارد. در سایر مناطق دنیا نیز تحقیقاتی در مورد پیش‌بینی ETo انجام شده است که از آن جمله می توان به هولم و همکاران (۱۳)، چاتوپایی و هولم (۷)، توماس (۲۱)، سیزلاگی (۲۰)، پترسن (۱۷) و کوهن و همکاران (۸) اشاره کرد.

هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی و مقایسه توانمندی مدل‌های ARIMA در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل در دو حالت پیش‌بینی به کمک برازش مدل با ضرایب ثابت و پیش‌بینی به کمک برازش مدل با ضرایب متغیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور پیش‌بینی تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از سری زمانی، از داده‌های ایستگاه سینوپتیک تبریز با دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۶) استفاده شد. این ایستگاه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و شرق دریاچه ارومیه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و در ارتفاع ۱۳۶۱متر از سطح دریا واقع شده است. شکل (۱) موقعیت ایستگاه مذکور در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. آمار و اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا، میانگین رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد در مقیاس ماهانه می‌باشند. داده‌ها از اداره کل سازمان هواشناسی استان‌های آذربایجان‌شرقی اخذ شدند. همچنین با استفاده از

1- Auto Regressive:AR 2- Moving Average: MA 3- Auto Regressive Moving Average: ARMA
4- Auto Regressive Integrated Moving Average: ARIMA

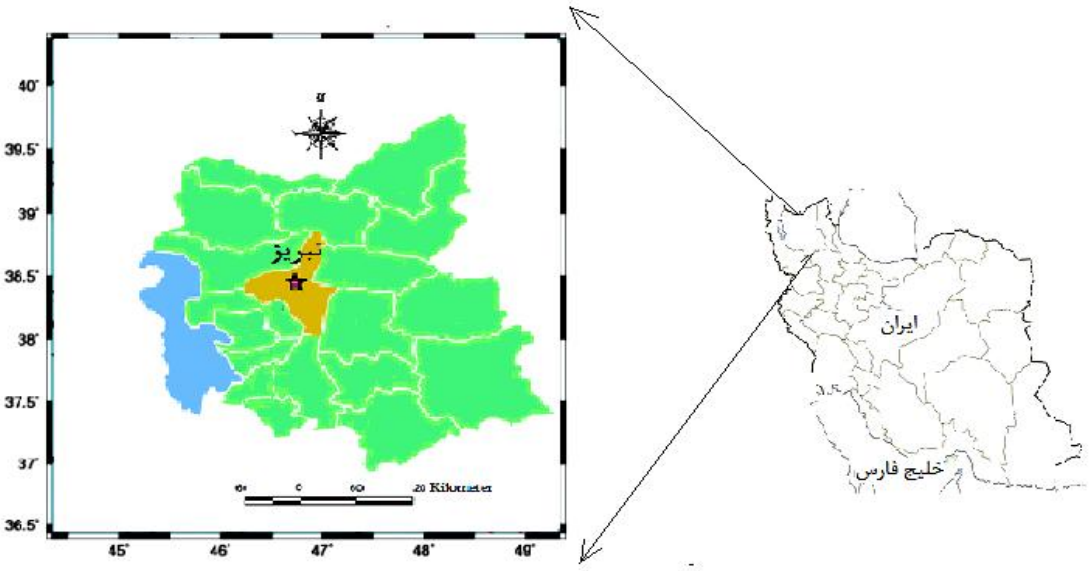
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]

آزمون ران- تست از همگنی داده‌ها اطمینان به عمل آمد. عملیات فوق بیانگر صحت فرض تصادفی و همگنی داده‌ها می‌باشد. در این مطالعه جهت محاسبه تبخیر- تعرق از روش فائو پنمن مانتیث (رابطه (۱)) استفاده شده است. این روش به عنوان یک روش استاندارد جهانی برای تخمین ETo در اقلیم‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (۲).

$$ETo=\frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad (۱)$$

در این رابطه:

ETo: تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm/day^{-1})، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی $(MJ.m^{-2}day^{-1})$، G: جریان حرارتی خاک $(MJ.m^{-2}day^{-1})$، T: میانگین دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین $(^{\circ}C)$، u_2: سرعت باد درارتفاع ۲ متری از سطح زمین (m/s)، e_s-e_a: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار $(Kpa^{o}C^{-1})$ و ¥: ثابت سایکرومتر $(Kpa^{o}C^{-1})$ می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و ایران
Figure 1. The geographical location of the study area in the East Azarbaijan, Iran

مدل‌های همبستگی سری زمانی

مهم‌ترین هدف از تجزیه و تحلیل یک سری زمانی، یافتن مدلی است که بتوان بر اساس مشاهدات موجود، اندازه کمیت را در چند واحد زمانی آینده پیش‌بینی کند. برای این منظور، مدل‌های متعددی ارائه شدند، که از جمله پرکاربردترین آن، مدل AR (خودهمبسته)، MA (میانگین متحرک) و ARIMA (خودهمبسته- میانگین متحرک) می‌باشند.

روش ارزیابی سری زمانی

باکس- کاکس (۵) گزارش کردند که یکی از شرایط اولیه استفاده از داده‌ها در مباحث سری‌زمانی، ایستا بودن آنها است. در غیر این‌صورت باید نایستایی رفع شود. برای ایستا نمودن داده‌ها در میانگین از روش تفاضل و برای تبدیل پایداری در واریانس از روش باکس- کاکس استفاده می‌شود.

مدل خودهمبسته AR(p)

اساس این مدل بر پایه زنجیره مارکوف در زنجیره زمانی بنا شده است. یک سری‌زمانی از زنجیره مارکوف تبعیت می‌کند، اگر هر داده ثبت شده سری‌زمانی t با زمان قبل و یا زمان بعد از خود مرتبط باشد. شکل کلی مدل فوق به صورت زیر می‌باشد.

$$Z_t=\sum_{i=1}^{P}(\varphi_i Z_{t-i})+\varepsilon_t \quad (۲)$$

در این رابطه p رسته یا مرتبه مدل و $_{i}$ ¨ها ضرایب مدل می‌باشند. $£_t$ نیز سری تصادفی نرمال و استاندارد می‌باشد.

مدل میانگین متحرک MA(q)

در این مدل متغیر در زمان t از روی مقدار تصادفی همان لحظه به علاوه q برابر مقدار تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود. شکل کلی مدل فوق به صورت زیر می‌باشد.

$$Z_t=\sum_{i=1}^{q}(\theta_j\varepsilon_{t-j})+\varepsilon_t \quad (۳)$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]

در این رابطه q مرتبه مدل و $\bar{}_j$ ها ضرایب مدل می‌باشند $£_t$ و $£_{t-j}$ نیز به ترتیب سری تصادفی نرمال و استاندارد در زمان t و t-j می‌باشد.

مدل خودهمبسته میانگین متحرک ARMA(p,q)

هرگاه دو مدل قبل در یکدیگر ادغام شوند، مدل ARMA با مرتبه p و q تصادفی مربوط به زمان‌های قبل از t برآورد می‌شود. شکل کلی مدل فوق نیز به صورت زیر می‌باشد.

$$Z_t = \sum_{i=1}^{P}(\varphi_i Z_{t-i}) - \sum_{i=1}^{q}(\theta_j \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (۴)$$

که در این رابطه p مرتبه مدل AR و q مرتبه مدل MA و $\ddot{}_i$ و $\bar{}_j$ ضرایب مدل می‌باشند.

مدل خود هبسته میانگین متحرک تلفیق شده ARIMA(p,d,q)

از آنجا که برای استفاده از مدل‌های فوق باید فرآیند ایستایی برقرار باشد، از این رو باکس و همکاران (۴) در شرایط ایستایی، مدل ARIMA را با در نظر گرفتن مرتبه تفاضلی d ارائه نمودند. اگر در رابطه (۴) Z_t با Z_t-Z_{t-d} جایگذاری شود. مدل ARIMA بدست خواهد آمد.

مدل خود همبسته میانگین متحرک فصلی SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)s

الگوی فصلی ARIMA کلاس دیگری از الگوهای احتمالی است که در صورت وجود اثر فصلی در سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک روش مهم در الگوسازی فرآیندهای فصلی ناایستا، تفاضلی کردن فصلی با دوره S برای سری Z_t می‌باشد. اگر در رابطه (۴) Z_t با Z_t-Z_{t-s} جایگذاری شود مدل SARIMA بدست می‌آید.

در این تحقیق از مدل‌های ARIMA و SARIMA[1] جهت پیش‌بینی ETo استفاده شد. مدت اطلاعات کل دوره مورد مطالعه ۳۰۰ ماه (۲۵ سال)، که ۲۰ سال اول آنها، برای پیش‌بینی مدل و ۵ آخر سال نیز برای صحت‌سنجی مدل استفاده شده است.

جهت انتخاب بهترین مدل در مطالعه حاضر از معیار آکائیک (AIC)[2] استفاده شد (رابطه ۵). مدلی که حداقل AIC را داشته باشد، به عنوان بهترین انتخاب می‌شود.

$$AIC = -2LN(L) + 2m \quad (۵)$$

که، $m = (p + q + P + Q)$ تعداد عبارت تخمین زده شده در مدل و L تابع درست‌نمایی مدل SARIMA می‌باشد. برای بیان میزان دقت مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی از معیارهای حداقل میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) استفاده شد. شکل کلی آنها به صورت زیر می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X_0 - X_p)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$R^2 = \frac{\sum (X_0 - \overline{X_0})(X_p - \overline{X_p})}{\sqrt{\sum (X_0 - \overline{X_0})^2 (X_p - \overline{X_p})^2}} \quad (۷)$$

در این روابط: X_0 مقدار مشاهده‌ای، X_p مقدار پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

در این تحقیق به منظور برآورد و پیش‌بینی تبخیر-تعرق از دو حالت استفاده شد:

۱- تمامی داده‌های سری‌زمانی (۳۰۰ ماه) به ترتیب زمان وقوع مرتب شده و بر ۲۴۰ ماه اول آن یک مدل برازش داده سال اول داده‌ها به منظور یافتن بهترین مدل و از ۵ سال آخر آنها نیز جهت اعتبارسنجی نتایج مدل انتخابی استفاده گردید.

نتایج و بحث

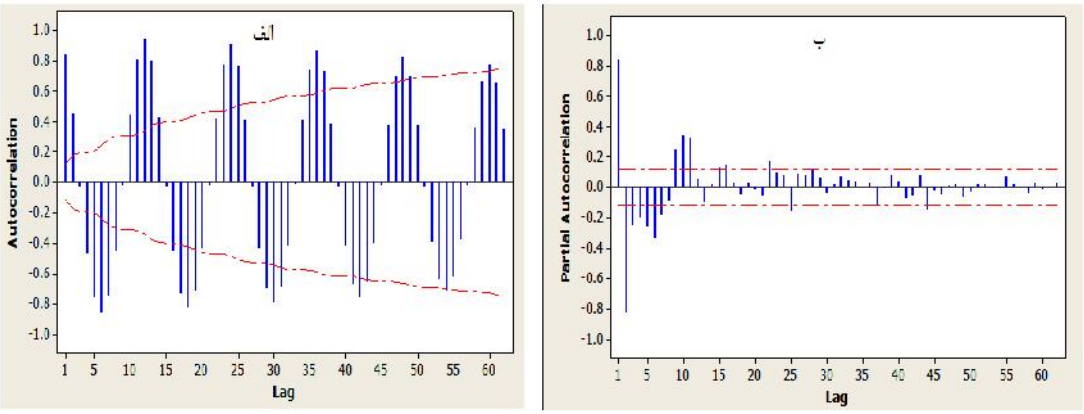
شکل (۲) نمودارهای ACF (الف) و PACF (ب) مربوط به سری زمانی تبخیر- تعرق پتانسیل را در ایستگاه تبریز برای کل دوره آماری نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که، سری مذکور در حالت اول به صورت فصلی می‌باشد و می‌توان از مدل SARIMA جهت برازش آن استفاده نمود.

1- Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average: SARIMA

2- Akaik Information Criterion: AIC

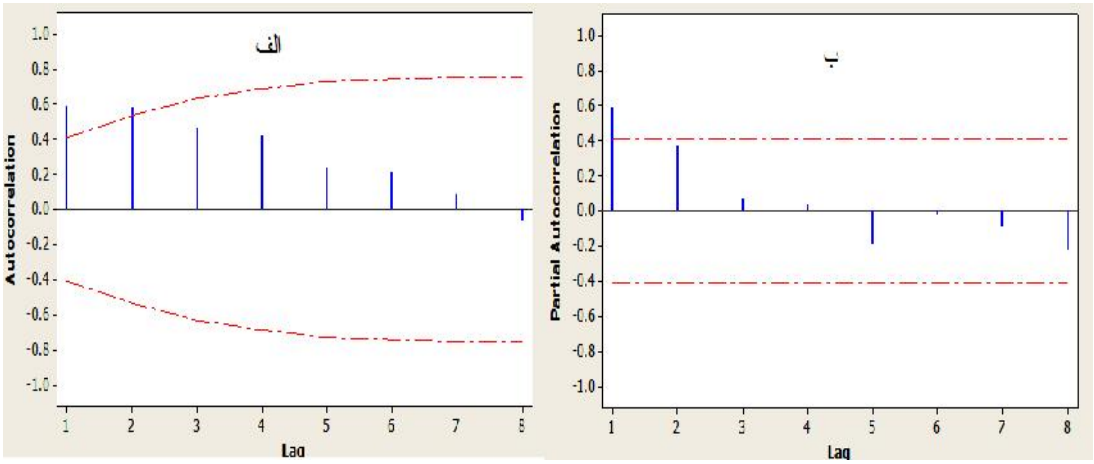
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]



شکل ۲- نمودارهای خودهمبستگی (الف) و خودهمبستگی جزئی (ب) سری‌زمانی تبخیر– تعرق در ایستگاه تبریز (کل دوره آماری)
Figure 2. Autocorrelation (a) and partial autocorrelation diagrams of evapotranspiration time series in Tabriz station. (The whole period statistical)

شکل ۳ به عنوان نمونه نمودارهای ACF (الف) و PACF (ب) مربوط به سری زمانی تبخیر- تعرق پتانسیل را در ایستگاه تبریز برای ماه مارس نشان می‌دهد. با توجه به آنکه ضریب همبستگی مرتبه اول و دوم در نمودار خودهمبستگی از باند اطمینان خارج شده است، پیش‌بینی می‌شود، که مرتبه دو برای مدل میانگین متحرک (MA) انتخاب شود و با توجه به آنکه ضریب خودهمبستگی جزئی برای مرتبه اول از باند اطمینان خارج شده است، مرتبه یک را برای مدل خودهمبسته (AR) انتخاب شود، و می‌توان از مدل ARIMA جهت برازش در ماه‌های مختلف استفاده کرد (حالت دوم). برای ماه‌های دیگر نیز همین شرایط برقرار می‌باشد.

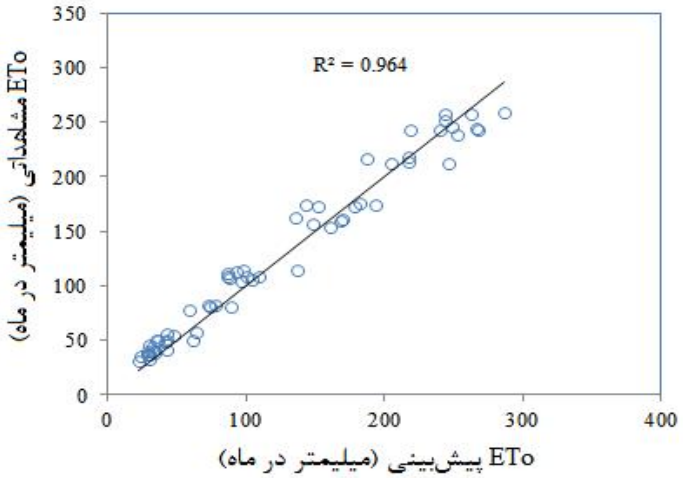


شکل ۳- نمودارهای خودهمبستگی (الف) و خودهمبستگی جزئی (ب) سری‌زمانی تبخیر– تعرق در ایستگاه تبریز (ماه مارس)
Figure 3. . Autocorrelation (a) and partial autocorrelation diagrams of evapotranspiration time series in Tabriz station. (In march)

حالت اول:

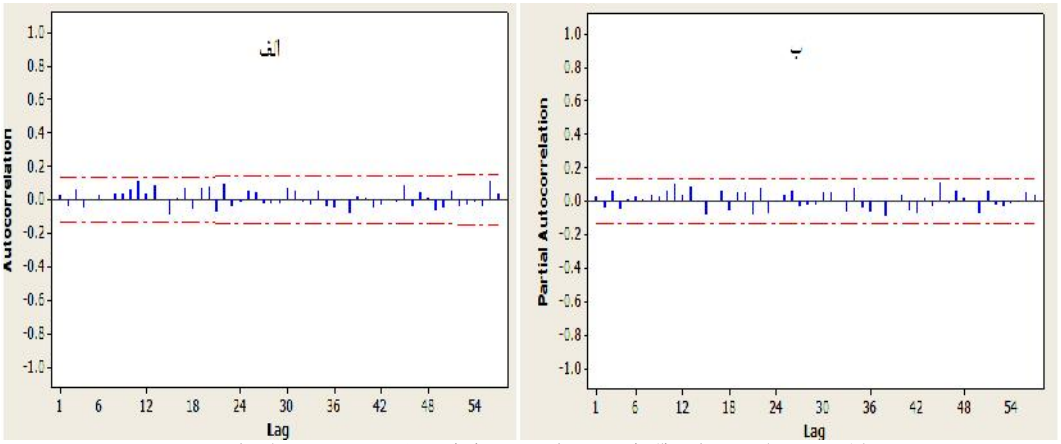
جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تبخیر- تعرق در ایستگاه تبریز از نرم‌افزار MINITAB استفاده گردید. در این حالت داده‌ها به دو قسمت تقسیم شدند، قسمت اول از سال ۱۹۸۶ (ژانویه) تا ۲۰۰۵ (دسامبر) جهت برازش مدل و انتخاب آن، لذا با توجه به کمترین مقدار AIC=۱۱۲۰/۵۱ بهترین مدل، SARIMA(3,0,2).(0,1,4) انتخاب گردید. از سال ۲۰۰۶ (ژانویه) تا ۲۰۱۰ (دسامبر) به منظور اعتبارسنجی مدل انتخاب شده استفاده شد. که در مقایسه با ۵ سال مشاهده‌ای داری کمترین RMSE=۱۴/۸۵ میلی‌متر بر ماه بدست آمد. شکل (۴) نقاط پراکنش مقادیر ETo مشاهداتی و پیش‌بینی شده را در ایستگاه تبریز نشان می‌دهد. به‌طوریکه از این شکل می‌توان استنباط کرد، مقدار مشاهداتی و محاسباتی ETo در این حالت دارای ضریب تعیین ۰/۹۶۴ (R^2) می‌باشند و همچنین شیب خط برازش شده معادل واحد می‌باشد. به عبارت دیگر، برازش خوبی بین مشاهدات و پیش‌بینی وجود دارد، یعنی مقادیر پیش‌بینی در این حالت تقریبا برابر با مقادیر مشاهده‌ای می‌باشند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]



شکل ۴- مقایسه مقادیر ETo پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه تبریز (حالت اول ۲۰۱۰-۲۰۰۶)
Figure 4. Comparison of the observed ETo and predicted ETo in Tabriz station. (The first approach, 2006-2010)

جهت بررسی درستی مدل، نمودار ACF و PACF باقیمانده‌ها رسم گردید (شکل ۵). با توجه به این شکل در هیچ کدام از گام‌های زمانی نمودارهای فوق معنی‌دار نمی‌باشند. در نتیجه مدل برازش داده شده برای مدل صحیح می‌باشد.



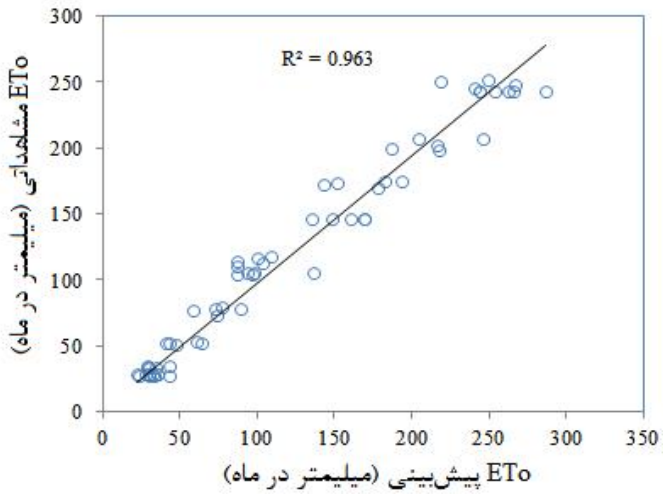
شکل ۵- نمودار همبستگی (الف) و همبستگی جزئی (ب) باقیمانده‌های ETo در ایستگاه تبریز
Figure 5. Autocorrelation (a) and partial autocorrelation (b) diagrams of ETo residues in Tabriz station

حالت دوم:

در این حالت پیش‌بینی برای هر کدام از ماه‌های سال انجام شده است، به عبارت دیگر هرکدام از ماه‌های سال به عنوان یک سری زمانی مجزا در نظر گرفته شد. به عنوان مثال ماه ژانویه دارای ۲۵ داده، به عنوان یک سری در نظر گرفته شده، که با استفاده از آمار ۲۰ سال اول بهترین مدل برازش داده شد، سپس به کمک آن ETo ژانویه برای ۵ سال بعدی پیش‌بینی شد و با ۵ سال مشاهداتی مقایسه گردید. این حالت دارای ۱۲ سری‌زمانی ماهانه می‌باشد که برای هر کدام از ماه‌های سال یک مدل به عنوان بهترین مدل انتخاب و برازش داده شد. در این حالت بهترین مدل، با استفاده از کمترین AIC و RMSE برای هریک از ماه‌های سال بدست آمد. جدول (۱) مشخصات بهترین مدل و همچنین مقادیر AIC و RMSE مربوط به هرکدام از مدل‌های انتخاب شده را نشان می‌دهد. برای مثال در ماه ژانویه مدل ARIMA(1,1,2) به عنوان بهترین مدل با توجه به کمترین مقدار AIC=۵۳/۴۹ انتخاب شد. ۵ سال آخر به منظور اعتبارسنجی مدل انتخاب شده استفاده شد.که در مقایسه با ۵ سال مشاهده‌ای داری کمترین RMSE (۳/۸۰ میلی‌متر) بر ماه بدست آمد.

شکل ۶ نقاط پراکنش مقادیر ETo مشاهداتی و پیش‌بینی شده (۶۰ ماه آخر (واسنجی شده)) را در ایستگاه تبریز نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود، ضریب تعیین بین داده‌ها برابر با ۰/۹۶۳ می‌باشد. در این حالت نیز برازش خوبی بین تبخیر- تعرق مشاهداتی و پیش‌بینی شده وجود دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]



شکل ۶- مقایسه مقادیر ETo پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه تبریز (حالت دوم۲۰۱۰-۲۰۰۶)
Figure 6. Comparison of the observed ETo and predicted ETo in Tabriz station. (The second approach, 2006-2010)

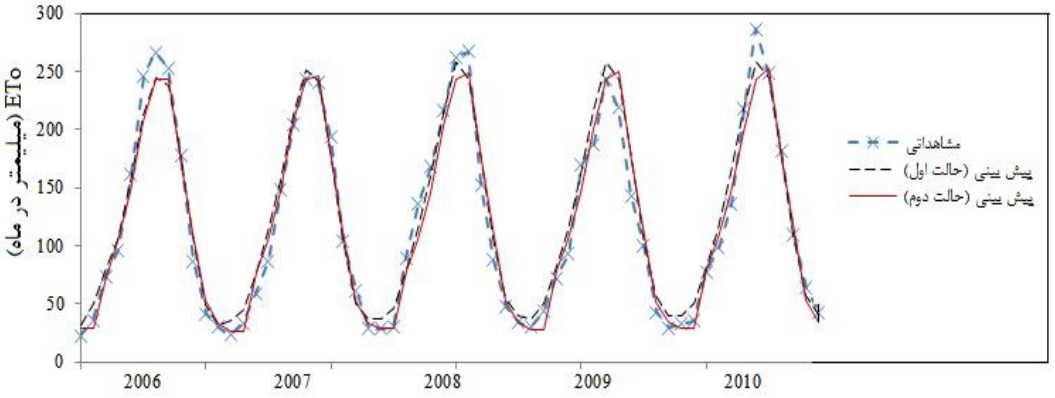
به منظور ارزیابی نتایج حاصل از دو روش مذکور، از معیارهای ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد. حالت اول با R^2=۰/۹۶۴ و RMSE=۱۴/۸۵ نسبت به حالت دوم با معیارهای R^2=۰/۹۶۳ و RMSE=۱۵/۵۲ به عنوان بهترین حالت شناخته شد. یعنی، به منظور مقایسه حالت دوم با حالت اول ابتدا به کمک هریک از دوازده مدل انتخابی (جدول ۱) پنج داده پیش‌بینی شد، سپس به ترتیب تاریخ وقوع مرتب گردید و با داده‌های اصلی (پنج سال مشاهده‌ای) مقایسه گردید، که ضرایب آن R^2=۰/۹۶۳ و RMSE=۱۵/۵۲ بدست آمد. به عبارت دیگر، اگر پیش‌بینی بر اساس یک مدل صورت گیرد نسبت به حالتی که برای هریک از ماه‌های سال جداگانه مدل برازش داده شود نتایج بهتری دارد.

جدول ۱- مقادیر AIC و RMSE در مدل‌های مختلف سری‌زمانی ARIMA
Table 1. AIC and RMSE mounts of ARIMA time series models

ماه	مدل	AIC	RMSE (mm/month)
ژانویه	ARIMA(1,1,2)	۵۳/۴۹	۳/۸۰
فوریه	ARIMA(1,1,2)	۶۵/۱۲	۸/۳۵
مارس	ARIMA(0,1,2)	۸۱/۶۲	۱۰/۱۲
آوریل	ARIMA(1,1,2)	۹۷/۵۵	۱۷/۶۸
می	ARIMA(1,0,0)	۱۰۹/۰۹	۱۶/۶۱
ژوئن	ARIMA(1,0,2)	۱۱۹/۹۵	۲۱/۴۳
ژوییه	ARIMA(1,0,0)	۱۲۳/۰۲	۲۳/۴۳
اوت	ARIMA(2,1,2)	۱۱۱/۴۱	۱۷/۳۶
سپتامبر	ARIMA(2,1,2)	۸۳/۵۱	۱۸/۹۷
اکتبر	ARIMA(1,1,2)	۶۴/۸۸	۱۸/۳۷
نوامبر	ARIMA(0,1,3)	۶۲/۸۸	۹/۱۴
دسامبر	ARIMA(0,1,3)	۵۰/۳۱	۵

شکل ۷ مقدار ETo مشاهداتی را با دو حالت مورد بررسی نشان می‌دهد. این شکل نیز صحت اعدای بالا را ثابت می‌کند. با توجه به شکل مورد نظر نمودار مقادیر پیش‌بینی در حالت اول هم‌پوشانی بهتری نسبت به مقادیر پیش‌بینی در حالت دوم دارند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]



شکل ۶ مقایسه ETo مشاهداتی و پیش‌بینی در حالت اول و دوم (۲۰۱۰-۲۰۰۶)

Figure 7. Comparison of the observed ETo and predicted ETo in the first and second approach

فرآیند تبخیر- تعرق یکی از مولفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژی است. ارایه روشی که بتواند پیش‌بینی مناسب و نسبتا دقیقی از میزان ETo را بدهد می‌تواند شناسایی نیاز آبی گیاهان و تحولات آینده از جمله حفاظت آب را در پی داشته باشد. سری‌های زمانی به عنوان یک ابزار مناسب به منظور پیش‌بینی تبخیر- تعرق و مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایستگاه مطالعاتی حاضر، از اولویت برخوردار هستند. توانمندی سری‌زمانی ARIMA در تخمین میزان ETo در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. از دو حالت مورد بررسی در این پژوهش حالت اول با مدل SARIMA(3,0,2).(0,1,4) به عنوان بهترین مدل و بهترین حالت روند تغییرات سری‌زمانی را بهتر شبیه‌سازی کرده و به خطای کمتری در ایستگاه مورد مطالعه منجر می‌گردد.

قهرمان و قره‌خانی (۱۱)، در ایستگاه شیراز جهت پیش‌بینی تبخیر از تشت، مدل ARIMA(1,1,1) را پیشنهاد کردند، که نسبت به سایر مدل‌های سری‌زمانی دقیق‌تر شناسایی شده است. شیروانی و هنر (۱۹) در ایستگاه باجگاه از سری‌زمانی SARIMA جهت پیش‌بینی تبخیر- تعرق استفاده کرده‌اند. ایشان سری‌های زمانی را هفتگی و ماهانه در نظر گرفته‌اند و به ترتیب مدل‌های SARIMA(1,0,2).(0,1,1) و SARIMA(1,0,1).(0,1,1) را پیشنهاد کردند. ایشان از روش پنمن مانتیث جهت برآورد تبخیر- تعرق استفاده کرده‌اند. نتایج این دو تحقیق نیز این را ثابت می‌کند، استفاده از مدل‌های ARIMA جهت پیش‌بینی تبخیر- تعرق مناسب می‌باشد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از سری‌های زمانی ابزار دقیق و مناسبی برای پیش بینی مقادیر تبخیر- تعرق می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]

منابع

1. Allen, R.G., J.L. Jensen, J.L. Wright and R.D. Burman. 1989. Operational estimate of evapotranspiration. Agronomy Journal, 81: 650-662.
2. Allen, R.G., L.S. Pereira., D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing rop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
3. Babamiri, O., Y. Dinpashoh and E. Asadi. 2014. Calibration and evaluation of seven radiation- based reference crop evapotranspiration method at Urmia lake basin. Water and Soil Science, 23: 143-158 (In Persian).
4. Box, G. and G. Jenkins. 1976. Time series analysis forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 220-235.
5. Box, G., G. Jenkinks and G. Reinsel. 1994. Time series analysis: Forecasting and control. Third Edition, Holden-ay, 148-211.
6. Box, G. and D.R. Cox. 1964. An analysis of transformations, Journal of the Royal Statistical 26: 211-252.
7. Burlando, P., A. Montana and R. Raze. 1996. Forecasting of storm rainfall by combined use of radar, rain gages and linear models. Atmospheric Research, 42: 199-216.
8. Chattopahyay, N. and M. Hulme. 1997. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. Agricultural and Forest Meteorology, 87: 55-73.
9. Cohen S., A. Iantez and G. Stanhill. 2002. Evaporative climate changes at Bet Dagan 1964-1998. Agricultural and Forest Meteorology, 111: 83-91.
10. Dodangeh, A., J. Abedikoupai and A. Gohari. 2012. Application of Time Series Modeling to Investigate Future Climatic Parameters Trend for Water Resources Management Purposes. Journal of Water and Soil Science, Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 59: 59-17 (In Persian).
11. Fooladmand, H. 2010.Monthly prediction of reference crop evapotranspiration in Fars province. Water and Soil Science, 1: 157-169 (In Persian).
12. Ghahreman, N. and A. Gharekhani. 2012. Evaluation stochastic time series models in pan evaporation estimating (case study Shiraz station). Journal of Water Research in Agriculture, 25. 1:75-81 (In Persian).
13. Gundekar, H.G., U.M. Khodke and S. Sarkar. 2008. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. Irrigation Science, 26: 169-175.
14. Hulme, M.Z., C. Zhao and T. Jiang. 1994. Recent and future climate change in East Asia. International Journal of Climatology, 14: 637-.658.
15. Kochekzade, M. and A. Bahmani. 2004. Evaluating the artificial neural network reducing the need parameters to archive reference evapotranspiration. Agricultural Sciences, 11:87-96.
16. Landeras, G., A. Ortiz-Barredo and J.J. López. 2009. Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135: 323-334.
17. Niroomand, H.A. 2009. Time series Analysis. Mashhad University, 145-220 (In Persian).
18. Peterson, T.C. 2002. Analysis of trends in US and the former USSR pan evaporation. National Climate Data Center. NOAA16:95-111.
19. Psilovikos, A. and M. Elhag. 2013. Forecasting of remotely sensed daily evapotranspiration data over Nile Delta Region, Egypt. Water Resources Management, 27: 4115-4130.
20. Salas, J.D. 1993. Analysis and modeling of hydrological time series. In: Handbook of Hydrology, Edited by Maidment, D.R, McGraw-Hill, New York, USA 410-455.
21. Shirwani, A. and T. Honar. 2012. Application of time series models for evapotranspiration forecasting in Bajgah station. Shahrekord University Electronic Journal Database, IWRJ. 8: 135-142 (In Persian).
22. Szilagy, J. 2001. Modeled area evaporation trend over the conterminous United States. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127: 196-200.
23. Thomas, A. 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. International Journal of Climatology, 20: 381-396.
24. Zahedi, M., B. Sarisaraf and J. Jamei. 2006. Modeling the rainfall stations Urmia and Tabriz. Journal of Geography and Regional Development Research Journal, 7: 1-16 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]

Potential Evapotranspiration Estimation using Stochastic Time Series Models (Case Study: Tabriz)

Omid Babamiri[1], Hamed Nowzari[2] and Safar Maroofi[3]

1- PhD Student, Buali Sina University, (Corresponding Author: obabamiri@yahoo.com)
2 and 3-Assistant Professor and Professor, Buali Sina University
Received: February 13, 2016 Accepted: June 20, 2016

Abstract

Evapotranspiration is important components of hydrological cycle, which is important in irrigation systems planning and evaluation of climate change impacts on water planning. In this study, evapotranspiration time series using Penman Monteith was studied in Tabriz synoptic station by the linear stochastic models such as ARIMA and SARIMA. The data had been used since 1986 to 2010. After calculating evapotranspiration, the first 20 years and last 5 years were used for model calibration and validation, respectively. This research was performed in two distinguish approaches. In the first approach all data were considered as unit series with an appropriate fitting model. In the second approach, the monthly series of using data were selected, separately. Then, for each month an appropriate model were fitted to data. The results showed that, the first approach was recognized as a better method regarded the second approach. The R^2 and RMSE values were 0.964 and 14.85 first approach comparing to them of 0.963 and 15.52 in the second approach. In conclusion, the R^2 and RMSE values of the approaches were relatively similar, with very small (0.67 mm/month) better error rate. In whole the two approaches don't have significant difference but the first approach is recommendable because it includes fewer computations.

Keywords: ARIMA, Forecast, Penman Monteith and SARIMA

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.137]