

کاربرد مدل‌های سری‌های زمانی برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق در ایستگاه باجگاه

امین شیروانی^{۱*} و تورج هنر^۲

چکیده

روش پنمن فائو در ایستگاه تحقیقاتی باجگاه، دانشگاه شیراز، یکی از معادلات مناسب در تخمین تبخیر-تعرق است. مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو برای این ایستگاه با استفاده از مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده فصلی (SARIMA) به‌عنوان مدل‌های تصادفی خطی مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های سری‌های زمانی میانگین هفتگی و ماهانه تبخیر-تعرق برای دوره زمانی فروردین ۱۳۶۶ تا اردیبهشت ۱۳۸۶ به‌طور جداگانه به‌عنوان فایل ورودی مدل‌های SARIMA در نظر گرفته شدند. بر پایه معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده و معنی‌دار بودن ضرایب، مدل‌های $ARIMA(1,0,2).(0,1,1)_{52}$ و $ARIMA(1,0,1).(0,1,1)_{12}$ به‌ترتیب برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه انتخاب شدند. نمودارهای خود همبستگی باقی‌مانده‌ها برای مدل‌های انتخاب شده نشان می‌دهند که باقی‌مانده‌ها ناهمبسته‌اند. مقادیر میانگین هفتگی و ماهانه تبخیر-تعرق از خرداد ۱۳۸۶ تا اردیبهشت ۱۳۸۷ به‌عنوان داده‌های آزمون با استفاده از مدل‌های سری زمانی برازش شده پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که توان دوم ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه به‌ترتیب برابر $0/92$ و $0/99$ است. جذر میانگین توان دوم خطا برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه به‌ترتیب برابر $0/48$ و $0/16$ میلی‌متر است.

واژه‌های کلیدی: سری‌های زمانی، پنمن فائو، پیش‌بینی، تبخیر-تعرق.

ارجاع: شیروانی ا. و هنر ت. ۱۳۹۰. کاربرد مدل‌های سری‌های زمانی برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق در ایستگاه باجگاه. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۱۳۵-۱۴۲.

۱- استادیار بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* نویسنده مسئول: am_shirvani@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۷

مقدمه

به دلیل آن که آبیاری به میزان کم و نیز دور طولانی موجب کاهش محصول می‌شود و از سوی دیگر آبیاری به مقدار زیاد و یا انجام عملیات آبیاری در دوره‌های کوتاه ضمن هدر رفتن آب، غرقاب شدن ریشه، از دسترس خارج شدن مواد غذایی موجب آلوده شدن منابع آب زیرزمینی و شیوع بیماری‌ها می‌شود، تعیین میزان و زمان آبیاری در بخش مدیریت مزرعه از نکات قابل توجه است. لذا برآورد صحیح نیاز آبی گیاه در طول بازه‌های زمانی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (روزنبرگ و همکاران، ۱۹۸۳). در کشاورزی آب مصرفی (CU) به مجموع آبی گفته می‌شود که از سطح خاک خارج و یا از طریق ریشه‌های گیاه از خاک جذب می‌شود. لذا تفاوت میان آب مصرفی و تبخیر-تعرق (ET) تنها در مقداری است که صرف فتوسنتز می‌شود و یا در ساختمان گیاه ذخیره می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۱) و از آنجایی که این مقدار در مقایسه با تبخیر-تعرق بسیار ناچیز است ($ET=0.97CU$) در برنامه‌ریزی‌های آبیاری از این مقدار صرف‌نظر شده و در عمل تبخیر-تعرق را با آب مصرفی گیاه برابر می‌گیرند. می‌توان بیان کرد که پیش‌بینی و برآورد دقیق میزان تبخیر-تعرق گیاهی در راستای تعیین میزان دقیق برنامه زمان‌بندی و میزان آبیاری ضروری است.

اهمیت میزان تبخیر-تعرق به اندازه‌ای است که تحقیقات بسیاری بر روی روش‌های مختلف تخمین تبخیر-تعرق صورت گرفته است. هر یک از این روش‌ها در شرایط اقلیمی خاصی مناسب بوده و نیازمند داشتن اطلاعات کافی است.

به‌طور کلی روش‌های موجود در تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد که شامل روش‌های مستقیم اندازه‌گیری (مانند استفاده از لایسیمترها)، استفاده از داده‌های تشت تبخیر و استفاده از معادلات و روش‌های تجربی و ترکیبی است. در این گروه ابتدا تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) محاسبه می‌شود، سپس با ضرب این مقدار در ضریب گیاهی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه موردنظر محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۶).

معادلات ارائه شده برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع را می‌توان در سه گروه مدل‌های دمایی مانند روش بلانی کریدل (آلن و پروت، ۱۹۸۶)، مدل‌های تابشی مانند روش

جنسن-هیز (جنسن و هیز، ۱۹۸۶) و مدل‌های ترکیبی از قبیل معادله پنمن (آلن و پروت، ۱۹۸۶) دسته‌بندی کرد. از آنجایی که در مدل‌های ترکیبی توازن انرژی و اثر جریان آیرودینامیک با در نظر گرفتن کمبود فشار بخار و سایر عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق دخالت داده می‌شوند انتظار می‌رود که این مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار باشند (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۶).

آلن و پروت (۱۹۹۱) نشان دادند که در میان بیش از ۳۰ روش برآورد تبخیر-تعرق که در سطح جهان مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند، پنج روش پنمن، پنمن اصلاح‌شده، بلانی کریدل اصلاح‌شده، تشت تبخیر و روش تابشی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از دقت بالاتری برخوردار است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳).

از نظر بعضی محققین روش پنمن اصلاح‌شده به‌وسیله فائو یکی از دقیق‌ترین روش‌های موجود در تخمین تبخیر-تعرق است (شایان‌نژاد، ۱۳۸۵). در این خصوص می‌توان به مطالعات سپاسخواه و فولادمنند (۲۰۰۴) نیز اشاره کرد که پس از انجام آزمایش‌هایی در منطقه باجگاه این روش را مناسب‌ترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق تشخیص دادند که با توجه به تشابه مکانی در این تحقیق این روش مورد نظر قرار گرفت. همچنین مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر-تعرق یونجه با مقادیر محاسبه شده در باجگاه فارس نشان داد که نتایج حاصل از روش پنمن اصلاح‌شده فائو نسبت به سایر روش‌ها به مقادیر لایسیمتر نزدیک است (سپاسخواه و محمدی، ۱۳۷۵). علاوه بر آن رزاقی و سپاسخواه (۲۰۱۰) نیز دقت مناسب این روش در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در منطقه باجگاه را نشان دادند.

معادله ترکیبی پنمن نشان داد که این روش در شرایطی که سرعت باد روزانه ۲ برابر سرعت باد شبانه باشد و همچنین میزان تابش و حداکثر رطوبت نسبی از حد متوسط تا زیاد تغییر نماید، مناسب‌ترین روش را ارائه می‌دهد (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۶) که برای حل این مشکل رابطه پنمن فائو (Penman FAO, PFAO) در سال ۱۹۷۷ توسط دورنباس و پروت با اضافه کردن یک عامل اصلاحی به آن ارائه شد.

به طول ۶ جایگذاری شدند و سپس میانگین هفتگی و ماهانه برای محاسبات بعدی محاسبه شد. در این تحقیق، هر سال معادل ۵۲ هفته و ۱۲ ماه در نظر گرفته شد. مدت اطلاعات کل دوره مورد مطالعه شامل ۱۰۴۹ هفته و ۲۴۲ ماه تعیین که از این تعداد ۱۰۲۷ هفته و ۲۳۰ ماه برای مدل‌بندی سری زمانی مربوطه در نظر گرفته شد و سایر مقادیر برای پیش‌بینی منظور شد.

الگوهای سری‌های زمانی که برای پیش‌بینی تبخیر- تعرق با روش پنمن فائو مناسب می‌باشند الگوهای فصلی تلفیق شده میانگین متحرک و اتورگرسیو است که در ادامه شرح داده می‌شوند.

یک فرایند اتورگرسیو- میانگین متحرک مرکب^۱ (ARMA) که شامل p جمله اتورگرسیو $AR(p)$ و q جمله میانگین متحرک $MA(q)$ است از مرتبه (p, q) نامیده می‌شود و به صورت معادله ۱ بیان می‌شود:

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \dots + \phi_p X_{t-p} + Z_t + \theta_1 Z_{t-1} + \dots + \theta_q Z_{t-q} \quad (1)$$

به طوری که Z_t یک فرایند گسسته تصادفی محض بوده و X_{t-p} سری زمانی در تأخیر p و Z_{t-q} فرایند تصادفی محض در تأخیر q می‌باشند. با به کار بردن عملگر پس بر B ($B^k X_t = X_{t-k}$)، معادله ۱ به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\phi(B)X_t = \theta(B)Z_t, \quad (2)$$

که در آن $\phi(B)$ و $\theta(B)$ به ترتیب چند جمله‌ای‌های مرتبه p و q به صورت زیر می‌باشند.

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$$

$$\theta(B) = 1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q$$

مقادیر ϕ_i که فرایند را ایستا می‌کنند، طوری تعیین می‌شوند که ریشه‌های $\phi(B) = 0$ خارج از دایره واحد قرار داشته باشند و مقادیر θ_i که فرایند را وارون پذیر می‌سازند، به صورتی هستند که ریشه‌های $\theta(B) = 0$ خارج از دایره واحد باشند (باکس و همکاران، ۲۰۰۲).

اگر سری مشاهده شده نسبت به میانگین نایستا باشد در این صورت می‌توان سری را تفاضلی کرده تا سری موردنظر به یک سری ایستا تبدیل شود. اگر در معادله ۲ مقدار X_t با $\nabla^d X_t$ جایگزین گردد ($\nabla^d X_t = X_t - X_{t-d}$) آن‌گاه الگویی داریم که قابلیت بیان بعضی انواع سری‌های نایستا را

با توجه به آنچه گفته شد، برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌توان با اعتماد از روش پنمن- فائو استفاده کرد در نتیجه با ضرب آن در ضرایب گیاهی میزان تبخیر- تعرق گیاه موردنظر را تعیین و در برنامه‌ریزی‌های آبیاری از آن استفاده کرد. لذا می‌توان نتیجه گرفت پیش‌بینی تبخیر- تعرق در برنامه‌ریزی‌های آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار بوده و مورد توجه بسیاری از محققین نیز قرار گرفته است.

امروزه با توجه به مسئله بحران آب و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق استفاده از مدل‌ها و روش‌های آماری رو به افزایش است. تحقیقات صورت گرفته در این زمینه نیز سودمندی استفاده از روش‌های آماری را نشان داده‌اند (زارع‌ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹). استفاده از روش‌های مختلف پیش‌بینی دارای مزایای متعددی از جمله کاهش هزینه‌ها بوده و علاوه بر آن در این روش‌ها می‌توان از اطلاعات موجود و قابل دسترس استفاده کرد. همچنین استفاده از این روش‌ها نیازمند تخصص و مهارت زیاد کاربر نداشته و استفاده از آن‌ها آسان می‌باشد (نوری و همکاران، ۱۳۸۷؛ زارع‌ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به مجهول بودن اطلاعات جوی در آینده برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت آبیاری در مزرعه نیاز است تا به گونه‌ای تبخیر و تعرق را در دوره‌های زمانی متفاوت پیش‌بینی کنیم. اطلاع از وضعیت آبی تبخیر- تعرق پتانسیل در مقیاس‌های هفتگی و ماهانه می‌تواند به تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی منابع آب در مزرعه کمک کند.

از این‌رو در تحقیق حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر تبخیر- تعرق برای آینده در ایستگاه باجگاه با استفاده از مدل‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده فصلی (SARIMA) به عنوان مدل‌های تصادفی خطی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ابتدا داده‌های روزانه برای استفاده از روش پنمن فائو در ایستگاه باجگاه برای دوره آماری بلند مدت تهیه شد. در این تحقیق، با توجه به درصد پایین داده‌های گم شده، دوره مورد مطالعه از اول فروردین ماه ۱۳۶۶ تا اول خرداد ۱۳۸۷ انتخاب شد. مقادیر گم شده با استفاده از میانگین متحرک

^۱ - Auto regressive moving average (ARMA)

محیط برنامه‌نویسی برای محاسبات آماری است (در سایت <http://www.r-project.org> اطلاعات بیشتر موجود است).

نتایج و بحث

با توجه به اهداف تحقیق، سری‌های زمانی هفتگی و ماهانه تبخیر-تعرق به‌طور جداگانه وارد تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی شد. مدل‌های سری‌های زمانی که در این مقاله جهت پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت مدل‌های SARIMA هستند.

نتایج هفتگی

فرض کنید X_t متوسط هفتگی تبخیر-تعرق به روش پنمن فائو در ایستگاه باجگاه باشد. نمودار سری زمانی این ایستگاه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل روند خطی نیز به‌صورت خط چین نشان داده شده است. روند خطی که از طریق یک رابطه رگرسیونی بین تبخیر-تعرق به‌عنوان متغیر پاسخ و زمان به‌عنوان متغیر توضیحی تعیین می‌شود به‌صورت معادله رگرسیونی زیر محاسبه شد:

$$X_t = 0.00008 \times t + 5.265; \quad R^2 = 0.018\%, \quad RSE = 1.97$$

با توجه به اینکه مقدار P مربوط به ضریب رگرسیونی برابر ۰/۶ می‌باشد، شیب این خط رگرسیونی در سطح ۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. از این‌رو برخلاف آن که روند افزایشی محسوس در تبخیر-تعرق مشاهده می‌شود ولی این روند از نظر آماری به‌طور خطی معنی‌دار نیست. شکل ۱ نشان می‌دهد که یک سیکل در تمامی سال‌ها تکرار می‌شود.

به‌دلیل عدم وجود روند خطی در تبخیر-تعرق هفتگی نیاز به تبدیل داده‌ها و یا تفاضلی کردن آن‌ها در این مرحله نیست. در شکل ۲ نمودار خود همبستگی نتایج داده‌های تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو در ایستگاه باجگاه ارائه شده است.

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مقادیر خود همبستگی در همان تأخیرهای اولیه دارای کاهش سریعی هستند که نشانگر این است که این سری فاقد روند محسوس است. ولی یک دوره فصلی در این نمودارها مشاهده می‌شود به‌طوری‌که مقادیر خود همبستگی در تأخیرهای زمانی مضارب ۵۲ بیشترین مقدار را دارد. از این‌رو برای حذف تغییرات فصلی از این سری‌ها، تفاضل مرتبه یک در تأخیر ۵۲ آن‌ها منظور می‌شود ($\nabla_{52}^1 X_t$).

دارد و الگوی اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده^۱ (ARIMA) نامیده می‌شود.

الگوهای 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 فرایندهای فصلی ناپایستا، تفاضلی کردن فصلی است. تفاضلی کردن فصلی با دوره s برای سری $\{X_t\}$ با $\nabla_s X_t (\nabla_s X_t = X_t - X_{t-s})$ نشان داده می‌شود.

الگوی کلی SARIMA به‌صورت معادله ۳ می‌باشد (باکس و همکاران، ۲۰۰۲؛ شاموی و استوفر، ۲۰۰۶).

$$\Phi(B^s)\phi(B)\nabla_s^D\nabla^d X_t = \Theta(B^s)\theta(B)Z_t \quad (3)$$

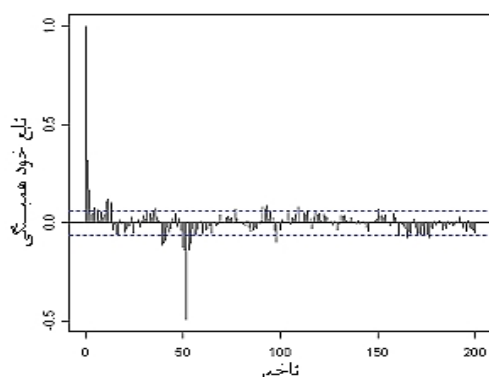
در معادله ۳، $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p$ و $\theta(B) = 1 + \theta_1 B + \dots + \theta_q B^q$ به ترتیب عملگرهای فصلی اتورگرسیو و میانگین متحرک از مرتبه P و Q با دوره فصلی s می‌باشند. همچنین $\nabla^d = (1 - B)^d$ و $\nabla_s^D = (1 - B^s)^D$ به ترتیب مؤلفه‌های تفاضلی معمولی و فصلی هستند.

الگوی $ARIMA(p,d,q),(P,D,Q)_s$ برای نمایش معادله ۳ استفاده می‌شود و p,d,q مرتبه‌های غیر فصلی و P,D,Q مرتبه‌های فصلی مدل هستند.

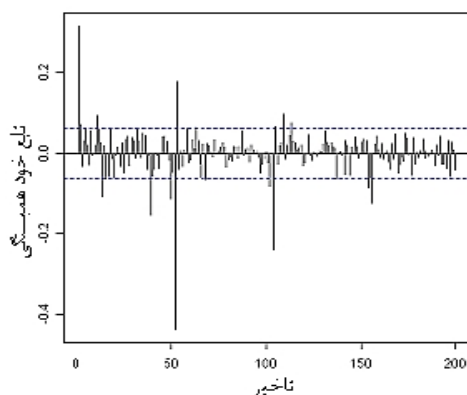
در تحقیق حاضر برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی تبخیر-تعرق از معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده (AIC_c) که فرم اصلاح‌شده معیار اطلاعات آکاییک معمولی از لحاظ اربیی است، استفاده می‌کنیم (شاموی و استوفر، ۲۰۰۶). معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده (AIC_c) به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$AIC = \ln\left(\frac{RSS_k}{n}\right) + \frac{n+k}{n-k-2}, \quad (4)$$

به‌طوری‌که n برابر تعداد مشاهدات، k برابر تعداد پارامترهای مدل و RSS_k مجموع توان دوم باقی مانده‌ها می‌باشد. در قسمت بعدی با استفاده از معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده، الگوی کلی SARIMA (معادله ۳) برای سری‌های زمانی پنمن فائو به‌دست می‌آید. کلیه محاسبات سری‌های زمانی با استفاده از نرم‌افزار آماری R انجام گرفت. R یک



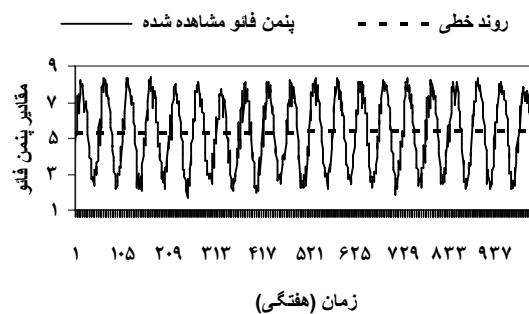
شکل ۳- نمودار خود همبستگی سری تفاضلی شده هفتگی



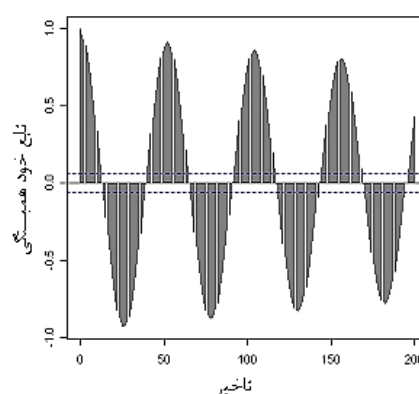
شکل ۴- نمودار خود همبستگی جزئی سری تفاضلی شده هفتگی

تابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی قسمت غیر فصلی نشان می‌دهند که حداکثر مرتبه میانگین متحرک دو می‌باشد و اتو رگرسیو مرتبه یک برای قسمت غیر فصلی نیز مناسب است. به بیان دیگر در الگوی فصلی $ARIMA(p,d,q).(P,D,Q)_s$ مقادیر $p=1, P=0, q=2$ و $Q=1$ به عنوان مقادیر اولیه پیشنهاد می‌شود. به دلیل آن که تابع خود همبستگی جزئی در تأخیر یک ضعیف می‌باشد لذا مرتبه صفر برای اتو رگرسیو غیرفصلی نیز کاندید می‌باشد. بنابراین مدل‌های کاندید برای مدل‌بندی سری زمانی میانگین هفتگی-تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو به صورت زیر است:

$SARIMA(1,0,2).(0,1,1)_{52}$ و $ARIMA(0,0,2).(0,1,1)_{52}$ که مرتبه تفاضل‌گیری برای قسمت غیرفصلی به خاطر نبود روند محسوس در داده‌ها برابر صفر و برای قسمت فصلی برای حذف تغییرات فصلی با دوره ۵۲، برابر یک در نظر گرفته شده است. پس از برآورد پارامترهای این مدل‌ها و بررسی ایستایی پارامترهای اتورگرسیو و معکوس پذیری



شکل ۱- نمودار سری‌های زمانی هفتگی تبخیر-تعرق در ایستگاه باجگاه برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۶۶

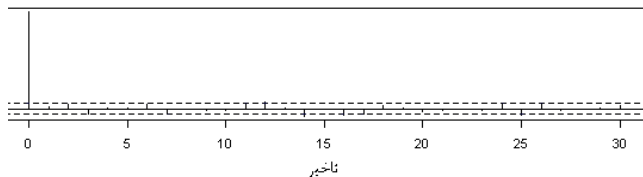


شکل ۲- نمودار خود همبستگی هفتگی تبخیر-تعرق در ایستگاه باجگاه

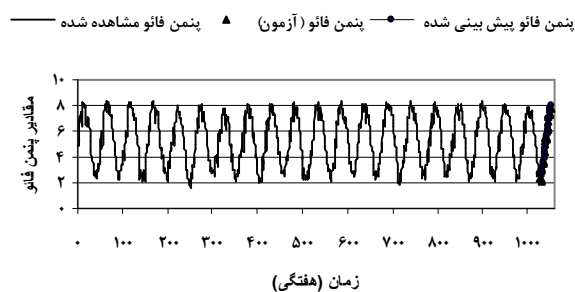
شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی سری تفاضلی شده هفتگی تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو ایستگاه باجگاه را نشان می‌دهد. برای تعیین مرتبه مدل‌های اولیه که می‌توانند رفتار تبخیر-تعرق هفتگی ایستگاه مورد مطالعه را توجیه کنند، نمودار خود همبستگی و خود همبستگی جزئی این سری تفاضلی شده نیز رسم شد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که مقادیر خود همبستگی در تأخیر ۱، ۲ و ۵۲ معنی‌دار می‌باشند. مقادیر خود همبستگی جزئی نیز در تأخیرهای ۱، ۵۲ و ۱۰۴ معنی‌دارند. با توجه به اینکه مقادیر تابع خود همبستگی در تأخیر ۵۲ معنی‌دار می‌باشد و نمودار تابع خود همبستگی جزئی در تأخیرهای ۵۲، ۱۰۴ و ۱۵۶ به صورت منظم به سمت صفر میل می‌کند لذا میانگین متحرک مرتبه اول و اتورگرسیو مرتبه صفر برای قسمت فصلی پیشنهاد می‌شود.

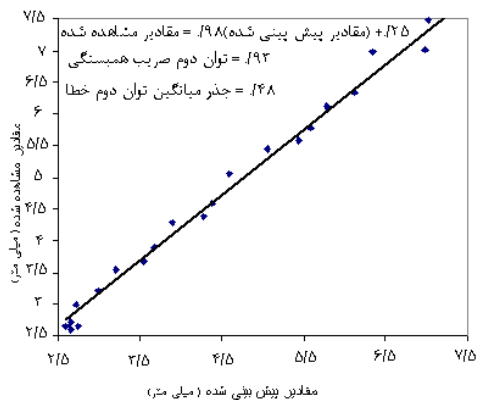
دوم خطا (RMSE) نیز به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۴۸ هستند که حاکی از آنست که سری زمانی هفتگی تبخیر-تعرق با دقت بالایی پیش‌بینی شده است.



شکل ۵ - نمودار خود همبستگی برای باقیمانده‌های مدل سری زمانی هفتگی



شکل ۶ - نمودار سری‌های زمانی مشاهده شده و پیش‌بینی شده تبخیر-تعرق هفتگی



شکل ۷ - معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تبخیر-تعرق هفتگی

نتایج ماهانه

استدلالی مشابه برای تعیین روند خطی و مرتبه الگوی SARIMA برای سری زمانی ماهانه تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو در ایستگاه باجگاه صورت گرفت.

مقادیر خود همبستگی در همان تأخیرهای اولیه کاهش سریعی دارند که نشانگر این است که این سری‌ها فاقد روند محسوس می‌باشند، اما یک دوره فصلی در این نمودارها

پارامترهای میانگین متحرک، مناسب بودن آن‌ها بررسی شدند.

برای بررسی دقت برازش دو مدل پیشنهادی از معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده (AIC) که در معادله ۴ بیان شد استفاده شد. پس از محاسبه معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده برای هر کدام از مدل‌های کاندید شده برای ایستگاه باجگاه، مدلی که دارای عملکرد بهتری در میان کل مدل‌های کاندید ایستگاه مربوطه است به عنوان بهترین مدل برای مدل‌بندی رفتار تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو ایستگاه موردنظر انتخاب می‌شود. البته مدل مناسب باید دارای کمترین مقدار معیار آکاییک تصحیح شده در میان مدل‌های کاندید باشد. مقدار معیار آکاییک برای مدل‌های زیر به ترتیب برابر ۱/۰۴ و ۱/۰۶ است.

بر اساس کارایی مدل $SARIMA(1,0,2) \times (0,1,1)_{52}$ و $ARIMA(0,0,2)$ بهتر از مدل $SARIMA(0,0,2) \times (0,1,1)_{52}$ است. بنابراین مدل پیش‌بینی هفتگی به صورت زیر است.

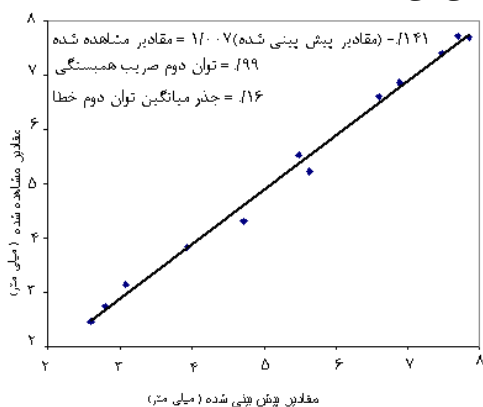
$$(1 - 0.96_{(0.03)} B) \nabla_{52}^1 \hat{X}_t = (1 - 0.99_{(0.10)} B^2) \times (1 - 0.66_{(0.05)} B - 0.22_{(0.04)} B^2) \hat{Z}_t \quad (5)$$

در معادله بالا اندیس هر ضریب خطای استاندارد آن ضریب می‌باشد. مقایسه t - مقدار محاسبه شده (ضریب محاسبه شده تقسیم بر خطای استاندارد آن) برای هر ضریب با t جدول با ۹۷۱ درجه آزادی نشان داد که تمامی ضرایب در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند.

نمودار تابع خود همبستگی برای باقیمانده‌های مدل ارائه شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که باقیمانده‌ها در مدل SARIMA، ناهمبسته هستند. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده هفتگی تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو نیز برای ۲۵ هفته محاسبه شد و در شکل ۶ رسم شد. همچنین یک فاصله اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر پیش‌بینی شده هفتگی محاسبه شد.

شکل ۷ معادله رگرسیون خطی برازش داده شده بین سری زمانی مشاهدات و پیش‌بینی تبخیر-تعرق با روش پنمن فائو هفتگی (برروی نمونه انتخاب شده برای آزمون) را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی (R) بین این دو سری زمانی برابر ۰/۹۶ بود که در سطح ۱٪ از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. همچنین توان دوم این ضریب (R^2) و جذر میانگین توان

تغرق ماهانه نسبت به تبخیر- تعرق هفتگی با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌شود.



شکل ۹ - معادله رگرسیونی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تبخیر- تعرق ماهانه

نتیجه‌گیری

مدل‌سازی و پیش‌بینی داده‌های سری‌های زمانی هفتگی و ماهانه تبخیر- تعرق با روش پنمن فائو در ایستگاه باجگاه با استفاده از الگوی‌های اتورگرسیو- میانگین متحرک تلفیق شده فصلی به‌عنوان مدل‌های تصادفی خطی مورد بررسی قرار گرفت. مرتبه‌های اولیه مدل‌های اتورگرسیو و میانگین متحرک قسمت غیرفصلی و فصلی براساس رفتار تابع خود همبستگی و خود همبستگی جزئی تعیین شد و سپس مدل‌های منتخب مشخص شد. براساس معیار اطلاعات آکاییک تصحیح شده و معنی‌دار بودن ضرایب، مدل‌های $SARIMA(1,0,1).(0,1,1)_{52}$ و $SARIMA(1,0,2).(0,1,1)_{52}$ به‌عنوان مدل‌های مناسب به‌ترتیب برای مقیاس زمانی هفتگی و ماهانه انتخاب شدند و سپس مقادیر میانگین هفتگی و ماهانه تبخیر- تعرق از خرداد ۱۳۸۶ تا اردیبهشت ۱۳۸۷ که مدل آموزش ندیده است به‌عنوان داده‌های آزمون پیش‌بینی شد. پارامترهای برآورد شده الگوی مدل هفتگی نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر و تعرق در هر هفته به مقادیر یک و دو هفته قبل وابسته است. بنابراین برای مدل‌سازی مقادیر هفتگی تبخیر و تعرق می‌توان به‌خوبی از مقادیر دو هفته قبل استفاده کرد. همچنین الگوی برازش شده مدل ماهانه نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر و تعرق در هر ماه به مقادیر ماه قبل وابسته می‌باشد و برای مدل‌سازی مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق می‌توان از مقادیر ماه قبل استفاده کرد. توان دوم ضریب همبستگی بین مقادیر

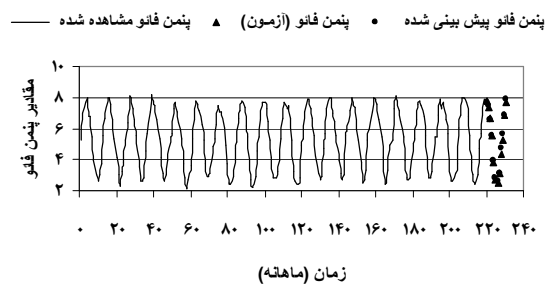
وجود دارد به‌طوری‌که مقادیر خود همبستگی در تأخیرهای زمانی مضارب ۱۲ بیشترین مقدار را دارند. از این‌رو برای حذف تغییرات فصلی از این سری‌ها، تفاضل مرتبه یک در تأخیر ۱۲ آن‌ها منظور می‌شود $(\nabla_{12}^1 X_t)$.

سه مدل $SARIMA(1,0,1).(0,1,1)_{12}$

و $SARIMA(0,1,1)_{12}$ برای مدل‌بندی رفتار ماهانه تبخیر- تعرق با روش پنمن فائو ایستگاه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. معیار آکاییک تصحیح شده برای سه مدل ذکر شده به‌ترتیب برابر ۰/۴۹، ۰/۵۱ و ۰/۵۳ است. بنابراین بهترین مدل پیش‌بینی برای تبخیر- تعرق ماهانه مدل $SARIMA(1,0,1).(0,1,1)_{12}$ می‌باشد. معادله این مدل به‌صورت زیر است:

$$(1-0.74_{(0.16)}B)\nabla_{12}^1\hat{X}_t=(1-0.77_{(0.05)}B^2)(1-0.55_{(0.20)}B)\hat{Z}_t \quad (۶)$$

تمامی ضرایب در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند. باقیمانده‌ها در مدل پیشنهادی ناهمبسته‌اند و این امر به‌وسیله تابع خود همبستگی باقی‌مانده‌ها تأیید شد. مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر- تعرق ماهانه برای ۱۲ ماه آینده در شکل ۸ رسم شد. همچنین یک فاصله اطمینان ۹۵٪ برای مقادیر پیش‌بینی شده ماهانه محاسبه شد.



شکل ۸ - نمودار سری‌های زمانی مشاهده شده و پیش‌بینی شده ماهانه تبخیر- تعرق

شکل ۹ معادله رگرسیونی خطی برازش داده شده بین سری زمانی مشاهدات و پیش‌بینی تبخیر- تعرق ماهانه (برروی نمونه انتخاب شده برای آزمون) را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی (R) بین این دو سری زمانی برابر ۰/۹۹ بود که در سطح ۱٪ از نظر آماری معنی‌دار است. توان دوم این ضریب (R^2) و جذر میانگین توان دوم خطا نیز برابر ۰/۹۹ و ۰/۱۶ است که حاکی از آن است که سری زمانی تبخیر-

۷- مجنونی‌هریس ا. زندپارسا ش. سپاسخواه ع.ر. و کامگارحقیقی ع.ا. ۱۳۸۶. ارزیابی مدل MSM جهت پیش‌بینی تبخیر-تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش‌های پیشنهادی فائو ۵۶. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۱ (الف): ۲۹-۴۱.

۸- نوری ر. اشرفی خ. و اژدرپور ا. ۱۳۸۷. مقایسه کاربرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره براساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای پیش‌بینی غلظت میانگین روزانه کربن مونواکسید: بررسی مورد شهر تهران. مجله فیزیک زمین و فضا ۳۴(۱): ۱۳۵-۱۵۲.

- 9- Allen R.G. and Pruitt W.O. 1986. Rational use of FAO Blaney Criddle formula. J. Irrig. Drain. Eng. 112(2): 139-155.
- 10- Allen R.G. and Pruitt W.O. 1991. FAO-24 reference Evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. ASCE. 117(5): 758-773.
- 11- Allen R.G. Pereira L.S. Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration Guideline for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, No. 56 Rome.
- 12- Box G.E.P. Jenkins G.M. and Reinsel G.C. 2002. Time series analysis: Forecasting and control. Fourth Edition, John Wiley Publication, 734pp.
- 13- Jenson M.E. and Haise H.R. 1963. Estimating evapotranspiration from radiation. J. Irrig. and Drain. Div., ASAE. 89(IR4): 15-41.
- 14- Razzaghi F. Sepaskhah A.R. 2010. Assessment of nine different equations for ETo estimation using lysimeter data in a semi-arid environment. Arch. Agron. Soil. 56: 1- 12.
- 15- Rosenberg N.J. Blad B.L. and Verma S.B. 1983. Microclimate the biological environment. 2nd ed. New York: Wiely.
- 16- Sepaskhah A.R. and Fooladmand H.R. 2004. A computer model for design of microcatchment water harvesting systems for rain-fed vineyard. Agricultural Water Management 64: 213-232.
- 17- Shumway R.H. and Stoffer D.S. 2006. Time series analysis and its applications with xamples. Springer Science and Business Media, LLC.

مشاهده شده و پیش‌بینی شده بر روی نمونه آزمون برای مقیاس هفتگی و ماهانه به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۹ بود. بنابراین از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی و مدل‌سازی مقادیر میانگین هفتگی و ماهانه تبخیر-تعرق ایستگاه مورد مطالعه استفاده کرد. همچنین از این مدل می‌توان برای جایگذاری داده‌های گم شده در دوره مورد مطالعه نیز استفاده کرد.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از خانم رزاقی فارغ‌التحصیل دوره کارشناسی ارشد که در تهیه داده‌های تبخیر و تعرق همکاری کردند سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- ۱- زارع‌ابیان ح. بیات‌ورکشی م. معروفی ص. و امیری چایجان و.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی سیستم‌های هوشمند عصبی در کاهش پارامترهای تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۴(۲): ۲۶۲-۲۷۳.
- ۲- سپاسخواه ع.ر. و محمدی ا. ۱۳۷۵. تعیین تبخیر-تعرق یونجه و کنجد به روش پنمن-مانتیس در منطقه باجگاه. ششمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر. ۱۰-۱۱ شهریور. دانشگاه کرمان.
- ۳- شایان نژاد م. ۱۳۸۵. مقایسه دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و پنمن-مانتیس در محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۲-۱۴ اردیبهشت. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۴- همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۲-۱۴ اردیبهشت. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- علیزاده ا. ۱۳۸۱. رابطه آب و خاک و گیاه. مشهد: دانشگاه امام رضا. چاپ سوم. ص ۳۵۶.
- ۶- علیزاده ا. کمالی غ.ع. خانجانی م.ج. و رهنورد م.ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۱۹(۲): ۹۷-۱۰۵.