نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 623-614

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 614-623

تعیین پارامترهای مؤثر در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان لرستان)

مریم صارمی[1*]، بهمن فرهادی بانسوله[2]

تاریخ دریافت: 1394/4/10 تاریخ پذیرش: 1394/8/13

چکیده

اگر چه روش‌های متعددی جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) وجود دارد ولی روش فائو- پنمن- مانتیث از طرف سازمان خوار و بار جهانی به عنوان روش استاندارد توصیه شده است. استفاده از این روش به دلیل نیاز به پارامترهای متعدد هواشناسی و محاسبات پیچیده مشکل می‌باشد. از طرفی شبکه‌های عصبی مصنوعی در چند دهه‌ی اخیر برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده و غیر خطی قابلیت بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند. مطالعه حاضر به‌منظور بررسی میزان حساسیت ETo نسبت به پارامترهای اقلیمی با استفاده از شبکه عصبی در استان لرستان صورت گرفته است. بدین منظور تبخیر و تعرق روزانه برای یک دوره ده ساله (2010-2001) به روش فائو- پنمن- مانتیث بر اساس داده‌های هواشناسی روزانه از 8 ایستگاه هواشناسی در استان لرستان محاسبه گردید. سپس یک شبکه عصبی مصنوعی با 18 سناریو طراحی گردید. ترکیبات شش پارامتر هواشناسی (دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ساعت آفتابی روزانه) مورد نیاز برای محاسبه ETo با استفاده از فرمول پنمن مانتیث به عنوان ورودی شبکه و ETo محاسبه شده به عنوان خروجی شبکه در سناریوهای مختلف در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزایش تعداد اطلاعات در لایه ورودی لزوماً منجر به بهبود نتایج مدل‌های هوشمند نمی‌شود. در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی سناریوی شماره 13 که شامل دو پارامتر دمای حداکثر و سرعت باد به عنوان ورودی شبکه بود برآوردهای معقولی در بر داشت.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، داده هواشناسی، شبکه عصبی مصنوعی، فائو- پنمن- مانتیث، لرستان

مقدمه

تبخیر و تعرق[1] (ET) یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه‌ی هیدرولوژیک می‌باشد و تخمین دقیق آن برای بسیاری از مطالعات نظیر بیلان هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی تولید گیاهی و برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب ضروری است. ET می‌تواند به طور مستقیم توسط لایسیمتر[2] یا روش بیلان آب اندازه‌گیری و یا با داده‌های هواشناسی تخمین زده شود. یکی از متداول‌ترین روش‌های تخمین ET برای گیاهان زراعی، محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع[3] (ET_o) و سپس استفاده از ضرایب گیاهی می‌باشد. تاکنون روش‌های زیادی مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای محاسبه ET_o در شرایط اقلیمی و جغرافیایی متفاوت عرضه شده است. از میان این روش‌ها، روش فائو- پنمن- مانتیث[4] به منزله روش استاندارد برآورد ET_o معرفی شده است (Allen et al., 1998). با وجود دقت مناسب روش فائو- پنمن- مانتیث این روش به داده‌های هواشناسی زیادی نیاز دارد و تجهیز ایستگاه‌های هواشناسی برای اندازه‌گیری این داده‌ها، به ویژه در کشورهای در حال توسعه هزینه‌بر است. لذا استفاده از مدل‌های ساده‌تر که به داده‌های هواشناسی کم‌تری نیاز دارند، برای برآورد ET_o بیش‌تر مورد توجه هستند. تبخیر و تعرق فرایندی پیچیده و غیر خطی است که به عوامل متعدد اقلیمی نظیر دما، رطوبت، سرعت باد، تابش، نوع و مرحله‌ی رشد گیاه و غیره وابسته است. پیچیدگی فرآیند ET و کثرت اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه‌ی آن از یک سو و مشکلات موجود بر سر راه اندازه گیری این داده‌ها که غالباً موجب فقدان آن‌ها می‌گردد از طرف دیگر، ضرورت استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[5] (ANN) را برای تعیین حداقل پارامترها در برآورد ET آشکار می‌سازد (کوچک‌زاده و بهمنی، 1384). شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ریاضی ساده شده‌ی شبکه‌های عصبی بیولوژیک را ارائه می‌کنند (Basheer and Hajmeer., 2000). یک سیستم ممکن است غیرخطی و چند متغیره باشد و متغیرهای دخیل ممکن است دارای روابط داخلی پیچیده‌ای باشند. شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی مطابقت این پیچیدگی را

1- کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه
2- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.saremi2008@gmail.com

دارند. هم‌چنین شبکه‌های عصبی مصنوعی توانایی استخراج رابطه‌ی بین داده‌های ورودی و خروجی یک فرایند را بدون هیچ گونه اطلاع از اصول آن دارند. به‌دلیل توانایی‌های تعمیم‌یافته‌ی تابع استخراجی، نیازی به هیچ‌گونه فرضی در مورد رابطه (خطی یا غیرخطی) بین داده‌های ورودی خروجی نیست (Jain et al., 2004). نوری و همکاران (1392) امکان کاربرد ANN در برآورد ET_o با حداقل پارامترهای اقلیمی در مشهد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که تنها با اندازه‌گیری دمای حداقل و حداکثر و محاسبه تابش فرازمینی می‌توان برآورد مناسبی از ET_o به دست آورد. نورانی و سیاح‌فرد (1392)، در دو شهر تبریز و ارومیه با استفاده از ANN، رگرسیون خطی و سه روش تجربی، تبخیر روزانه از تشت را تخمین زدند. نتایج نشان داد که میزان تبخیر برآورد شده با روش ANN دارای خطای کم‌تر می‌باشد و متغیرهای دمای هوا، تشعشع خورشیدی و تبخیر روز گذشته بیش‌ترین تأثیر را در برآورد تبخیر از تشت داشتند. ملکی‌نژاد و پورمحمدی (1392) برای شناسایی حساس‌ترین پارامترهای مؤثر در برآورد ET_o در مرکز ایران (ایستگاه‌های سینوپتیک یزد، کرمان، اصفهان و شیراز) از سه روش ANN، رگرسیون خطی و تحلیل عاملی استفاده کردند. در این پژوهش به عنوان یک نتیجه کلی درجه حرارت میانگین مهم‌ترین عامل مؤثر آب و هوایی بر ET_o شناخته شد. زانتی و همکاران قابلیت ANN را برای تخمین ET_o در ایالت ریودوژانیروی آرژانتین با استفاده از دمای حداکثر و حداقل و دو پارامتر تشعشع خورشیدی خارج از اتمسفر و ساعات آفتابی روزانه که خود تابعی از عرض جغرافیایی منطقه هستند مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج به دست آمده از ANN نتیجه گرفته شد که فقط با به‌کارگیری حداکثر و حداقل دما، می‌توان مقادیر ET_o را با دقت قابل قبول تخمین زد (Zanetti et al., 2007). مهدوی و همکاران (1390)، در حاشیه دریای خزر برای برآورد تبخیر ماهانه از تشت، هشت نوع ترکیب پارامترهای هواشناسی را به عنوان ورودی شبکه در نظر گرفتند. نتایج نشان داد پارامترهای دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی حداقل پارامترهای لازم برای برآورد تبخیر از تشت هستند. کوچک‌زاده و بهمنی (1384) در تحقیقی به ارزیابی عملکرد ANN در کاهش پارامترهای مورد نیاز برای برآورد ET_o در ایستگاه مهرآباد تهران و مقایسه‌ی آن با روش‌های فائو- پنمن- مانتیث، بلانی کریدل، جنسن هیز اصلاح شده و هارگریوز سامانی پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده دو پارامتر دما و سرعت باد به عنوان مؤثرترین فاکتورها بر دقت برآورد مدل‌های ANN شناسایی شد. زارع‌ابیانه و همکاران (1389) برای پیش‌بینی ET_o در منطقه همدان از ANN و سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود با ایجاد 4 مدل مختلف از ترکیب 6 پارامتر دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد و ساعات آفتابی بیان داشتند که مدل با ترکیب پارامترهای دمای حداقل و حداکثر و ساعات آفتابی روزانه از دقت بالاتری جهت تخمین ET_o برخوردار است. هم‌چنین در تحقیقی دیگر زارع‌ابیانه و همکاران (1388) با استفاده از داده‌های لایسیمتری دقت ANN با پرسپترون چند لایه (MLP) را جهت تخمین مقدار ET گیاه سیر مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که شبکه‌ی MLP از دقت خوبی برخوردار است و نسبت به پارامتر دمای حداکثر و حداقل رطوبت نسبی بیش‌ترین و کم‌ترین حساسیت را دارا است. کومار و همکاران با اجرای 3 سناریوی متفاوت از پارامترهای هواشناسی به عنوان ورودی ANN شامل دما و تشعشع (مدل 1)، باد و رطوبت (مدل 2) و ساعت آفتابی و دما (مدل 3) ET_o را برآورد نمودند. مطالعه آنان مؤید مناسب بودن هر یک از سناریوهای 1 تا 3 به ترتیب برای مناطق با اقلیم خشک، مرطوب و خشک مرطوب بود (Kumar et al., 2008) . آیتک با چهار پارامتر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی، در محیط CANFIS[6] و ادهیامبو و همکاران از سه پارامتر رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد در محیط فازی، ET_o را تخمین و کفایت تعداد متغیرهای ورودی را نشان دادند، نتایج این تحقیق بیانگر این بود که میزان ET_o برآورد شده با این روش کم‌تر از روش فائو- پنمن- مانتیث است (Aytec, 2008; Odheiambo et al., 2001a; Odheiambo et al., 2001b). تراجکویک و کولاکویک در شش ایستگاه هواشناسی در کشور یوگسلاوی برآورد ET_o ماهانه با داده‌های محدود آب و هوایی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث و داده‌های حداکثر و حداقل دما، ET_o ماهانه را برآورد نمودند. نتایج به‌دست آمده را با روش‌های هارگریوز اصلاح شده و ترک و روش ANN مقایسه کردند. نتایج نشان داد در بیش‌تر موارد، معادله فائو- پنمن- مانتیث با داده‌های محدود برآورد نزدیک‌تری به روش فائو- پنمن- مانتیث با داده‌های کامل دارد. حداقل داده‌های لازم برای اقلیم مرطوب حداقل و حداکثر دما و سرعت باد منطقه ذکر گردید (Trajkovic and Kolakovic, 2009). در بیش‌تر مطالعات انجام گرفته در زمینه برآورد ET_o با مدل‌های هوشمند، از 6 پارامتر هواشناسی (دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد و ساعت آفتابی) استفاده شده است (Aytec, 2008; Kumar et al., 2002; Lin et al., 2008; Odhiambo et al., 2001a; Odhiambo et al., 2001b). هرچند انتخاب پارامترهای بیش‌تر، در راستای افزایش دقت برآوردها بوده، اما هم‌چنان که گفته شد دسترسی به کلیه پارامترها در همه مناطق امکان پذیر نیست (Kumar et al., 2008). هدف از مطالعه کنونی تعیین حداقل پارامترهای هواشناسی برای برآورد ET_o با استفاده از ANN در استان لرستان به عنوان یکی از استان‌های حاصل‌خیز کشور از نظر کشاورزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

استان لرستان در بین سلسله کوه‌های زاگرس با مختصات 46 درجه و 51 دقیقه تا 50 درجه و 1 دقیقه طول شرقی و 32 درجه و 37 دقیقه تا 34 درجه و 22 دقیقه عرض شمالی واقع شده است. در این تحقیق آمار هواشناسی روزانه 8 ایستگاه در این استان شامل الشتر، الیگودرز، بروجرد، پلدختر، خرم آباد، دورود، کوهدشت و نورآباد به مدت 10 سال از آغاز سال 2001 تا پایان سال 2010 جمع آوری شد. دمای حداکثر (T_{max})، دمای حداقل (T_{min})، رطوبت نسبی حداکثر (RH_{max})، رطوبت نسبی حداقل (RH_{min})، سرعت باد (u) و ساعات واقعی آفتاب (n) پارامترهایی بودند که از ایستگاه‌های فوق جمع‌آوری و به عنوان پارامترهای ورودی به شبکه‌ی عصبی استفاده شدند.

در این پژوهش به دلیل عدم دسترسی به داده‌های لایسیمتری ET_o با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث (رابطه 1) به صورت روزانه در دوره آماری 10ساله (2010 – 2001) برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید. روش موسوم به فائو- پنمن- مانتیث توسط آلن و همکاران برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق در نشریه‌ی شماره 56 سازمان فائو ارائه شده است (Allen et al., 1998). این روش با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از ET_o ارائه می‌کند و از سوی سازمان خوار و بار جهانی (FAO) به عنوان روشی استاندارد برای محاسبه ET_o از روی داده‌های اقلیمی پیشنهاد شده است (Kumar et al., 2008).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

در این رابطه، ET_o: تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ($mm.day^{-1}$)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)، G: شار گرما به داخل خاک ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)، T: متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (^0C)، U_2: سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین ($m.s^{-1}$)، e_s: فشار بخار اشباع (Kpa)، e_a: فشار بخار واقعی (Kpa)، es-ea: کمبود فشار بخار اشباع (Kpa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($Kpa.\ ^0c^{-1}$) و γ: ضریب رطوبتی ($Kpa.\ ^0c^{-1}$) می‌باشد.

در این پژوهش نوع شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه[7] (MLP) با الگوریتم پس انتشار خطا انتخاب شد. اساس روش پس انتشار خطا بر پایه قانون یادگیری اصلاح خطا می‌باشد که از دو مسیر اصلی رفت و برگشت تشکیل می‌شود. در مسیر رفت، بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تأثیراتش از طریق لایه‌های میانی به لایه خروجی انتشار می‌یابد و بردار خروجی پاسخ واقعی شبکه را تولید می‌نماید. ساختار شبکه‌ی عصبی MLP از سه لایه‌ی ورودی، پنهان و خروجی تشکیل شده که برای معماری شبکه در هر لایه تعدادی نرون در نظر گرفته می‌شود. تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های ورودی و خروجی با توجه به ماهیت مسأله‌ی مورد بررسی مشخص می‌شود، حال آن که تعداد نرون‌های موجود در لایه‌های پنهانی و هم‌چنین تعداد این لایه‌ها با سعی و خطا در جهت کاهش مقدار خطا توسط طراح مشخص می‌گردد (Moghaddamnia et al., 2009).

عملیات مدل‌سازی در نرم افزار NeuroSolution Ver 5 تحت ویندوز که در آن امکان تعیین همه پارامترهای مربوط به طراحی ساختار بهینه شبکه وجود دارد، انجام شد. مهم‌ترین این پارامترها، شمار نرون لایه پنهان و شمار لایه‌های پنهان، تعداد تکرارهای آموزش و توانمندی تشخیص آموزش شبکه از طریق آزمون اعتبارسنجی متقابل[8] (CV)، جهت توقف آموزش شبکه است. روش آموزش شبکه همانند گزارشات کیسی، لندراس و جاویر بر پایه قوانین لونبرگ مارکوات[9]، مومنتوم[10]، دلتا- بار- دلتا[11]، استپ[12]، گرادیان مزدوج[13] و تند انتشار[14] بود (Kisi, 2006; Landeras and Javier, 2007). از تابع محرک سیگموئید به واسطه عملکرد مناسب آن در مدل‌سازی پدیده تبخیر و تعرق استفاده شد (Zanetti et al., 2007). هم‌چنین تعداد گام‌های پیش فرض در آموزش ANN چند لایه 1000 گام در نظر گرفته شد. برای افزایش بازده آموزش شبکه ابتدا تمامی داده‌ها با استفاده از رابطه 2 بین صفر و یک نرمال شدند، سپس مجموعه داده‌ها (3652 داده) به‌صورت تصادفی به سه دسته شامل داده‌های آموزش (70 درصد)، داده‌های اعتبارسنجی (20درصد) و داده‌های آزمون (10 درصد) تقسیم شدند.

$$X_n = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}} \quad (2)$$

که در این رابطه، X: داده معمولی، X_n: داده استاندارد، X_{max}: ماکزیمم داده‌ها در هر ستون (یا سطر) و X_{min}: مینیمم داده‌ها در هر ستون (یا سطر) می‌باشد. تعداد نرون در لایه ورودی برابر متغیرهای ورودی شامل فاکتورهای اقلیمی مؤثر در ET_o می‌باشد که عبارتند از: دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی و سرعت باد. در این تحقیق در تمامی ایستگاه‌ها با تعریف 18 سناریو (جدول 1) به عنوان پارامترهای ورودی، شبکه‌های متعددی با ساختارهای متفاوت تعریف شد.

لایه خروجی دارای یک نرون است که همان ET_o محاسبه شده از روش فائو می‌باشد و به عنوان خروجی هدف در نظر گرفته شده است. تعداد لایه‌های پنهان و هم‌چنین تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز با سعی و خطا در جهت انتخاب ساختار بهینه برای هر سناریو تعیین گردید.

معیار انتخاب تعداد نرون حداقل گشتن خطا می‌باشد. در این راستا جهانگیر و همکاران (1387)، با بکار گیری ANN در شبیه‌سازی بارش- رواناب، نشان دادند افزایش تعداد نرون‌ها در لایه میانی بهبود چشم‌گیری را در پی ندارد لذا به عنوان یک نتیجه کلی سرعت

یادگیری و قدرت تعمیم‌پذیری شبکه به ازای افزایش تعداد نرون لایه میانی کاهش می‌یابد.

جدول 1- سناریوهای در نظر گرفته شده جهت ساختار شبکه

شماره سناریو	پارامترهای ورودی شبکه
1	دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی حداکثر، رطوبت نسبی حداقل، سرعت باد، ساعات آفتابی
2	دمای میانگین، رطوبت نسبی حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی
3	دمای میانگین، رطوبت نسبی حداقل، سرعت باد، ساعات آفتابی
4	دمای حداکثر، دمای حداقل، سرعت باد، ساعات آفتابی
5	دمای میانگین، سرعت باد، ساعات آفتابی
6	دمای حداکثر، دمای حداقل، سرعت باد
7	دمای حداکثر، دمای حداقل، ساعات آفتابی
8	دمای حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی
9	دمای حداقل، سرعت باد، ساعات آفتابی
10	دمای میانگین، سرعت باد
11	دمای میانگین، ساعات آفتابی
12	دمای حداکثر، دمای حداقل
13	دمای حداکثر، سرعت باد
14	دمای حداکثر، ساعات آفتابی
15	دمای حداقل، سرعت باد
16	دمای حداقل، ساعات آفتابی
17	سرعت باد، ساعات آفتابی
18	دمای میانگین

از این رو در این پژوهش جهت گزینش ساختار بهینه، از شبکه‌های با 1 تا 3 لایه و 1 تا 15 نرون استفاده شد، پس از انتخاب ساختار بهینه برای هر سناریو و اجرای شبکه 18سناریو با در نظر گرفتن میزان خطا (MSE) رتبه‌بندی شدند. در این پژوهش معیارهای ارزیابی نتایج ANN، کمینه میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و بیشینه مقدار ضریب همبستگی (R) در نظر گرفته شد که به ترتیب با استفاده از روابط 3 تا 5 محاسبه می‌گردند (Kisi, 2004).

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i| \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(Y_i-\bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2}} \quad (5)$$

که در آن، X_i: مقدار ET_O محاسبه شده از روش فائو- پنمن- مانتیث، Y_i: مقدار ET_o تخمینی از ANN، $\bar{X}$: میانگین ET_o محاسبه شده از روش فائو- پنمن- مانتیث، $\bar{Y}$: میانگین ET_o تخمینی از ANN و n: تعداد داده‌ها می‌باشد. هرچه مقادیر MSE و MAE به صفر و مقدار R به یک نزدیک‌تر باشد نتایج به دست آمده از دقت بالاتری برخوردار است.

نتایج و بحث

به‌منظور انتخاب ساختار بهینه در سناریوهای مختلف آرایش‌های متعددی به صورت X-n-1 و X-m-n-1 در ایستگاه خرم آباد اعمال و مورد ارزیابی قرار گرفت (X: تعداد نرون در لایه ورودی، n و m تعداد نرون‌ها در لایه‌های میانی). به‌منظور ایجاد ساختار متقارن، تعداد نرون‌ها در دو لایه پنهان یکسان در نظر گرفته شد. پس از بررسی ساختارهای متفاوت (تغییر در تعداد نرون‌های لایه پنهان و تعداد لایه‌های پنهان) ساختار با کم‌ترین خطا (MSE) و بیش‌ترین ضریب همبستگی (R) به عنوان ساختار بهینه برای هر سناریو مشخص شد. نتایج بیانگر این بود که ساختار 1-3-3-6 با 6 متغیر ورودی (دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی) و دو لایه پنهان هرکدام با سه نرون، ساختار 1-3-3-4 با 4 متغیر ورودی (دمای حداکثر و حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی) و دو لایه پنهان هرکدام با سه نرون، ساختار 1-4-4-3 با سه متغیر ورودی (دمای حداکثر، دمای حداقل و ساعات آفتابی) و دو لایه پنهان هرکدام با 4 نرون، ساختار 1-2-2-2 با دو متغیر ورودی (دمای حداکثر و دمای حداقل) و دو لایه پنهان هرکدام با دو نرون، ساختار 1-2-2-1 با یک متغیر ورودی (دمای میانگین) و دو لایه پنهان

هرکدام با دو نرون دارای کم‌ترین خطا می‌باشند و به عنوان آرایش بهینه برای اجرای ANN انتخاب شدند. سپس برای هر سناریو و در تمامی ایستگاه‌ها شبکه‌ی با ساختار بهینه تعیین شده در مرحله قبل، اجرا گردید. جهت مقایسه نتایج شبکه با مقادیر ET_o محاسبه شده با فرمول پنمن مانتیث از شاخص‌های آماری MSE، MAE و R استفاده گردید. نتایج مربوط به شاخص MSE برای 18 سناریوی متفاوت برای 8 ایستگاه استان در جدول 2 ارائه شده است. با توجه به مشابهت زیاد نتایج دو شاخص دیگر فقط نتایج مربوط به این شاخص در مقاله ارائه گردیده است.

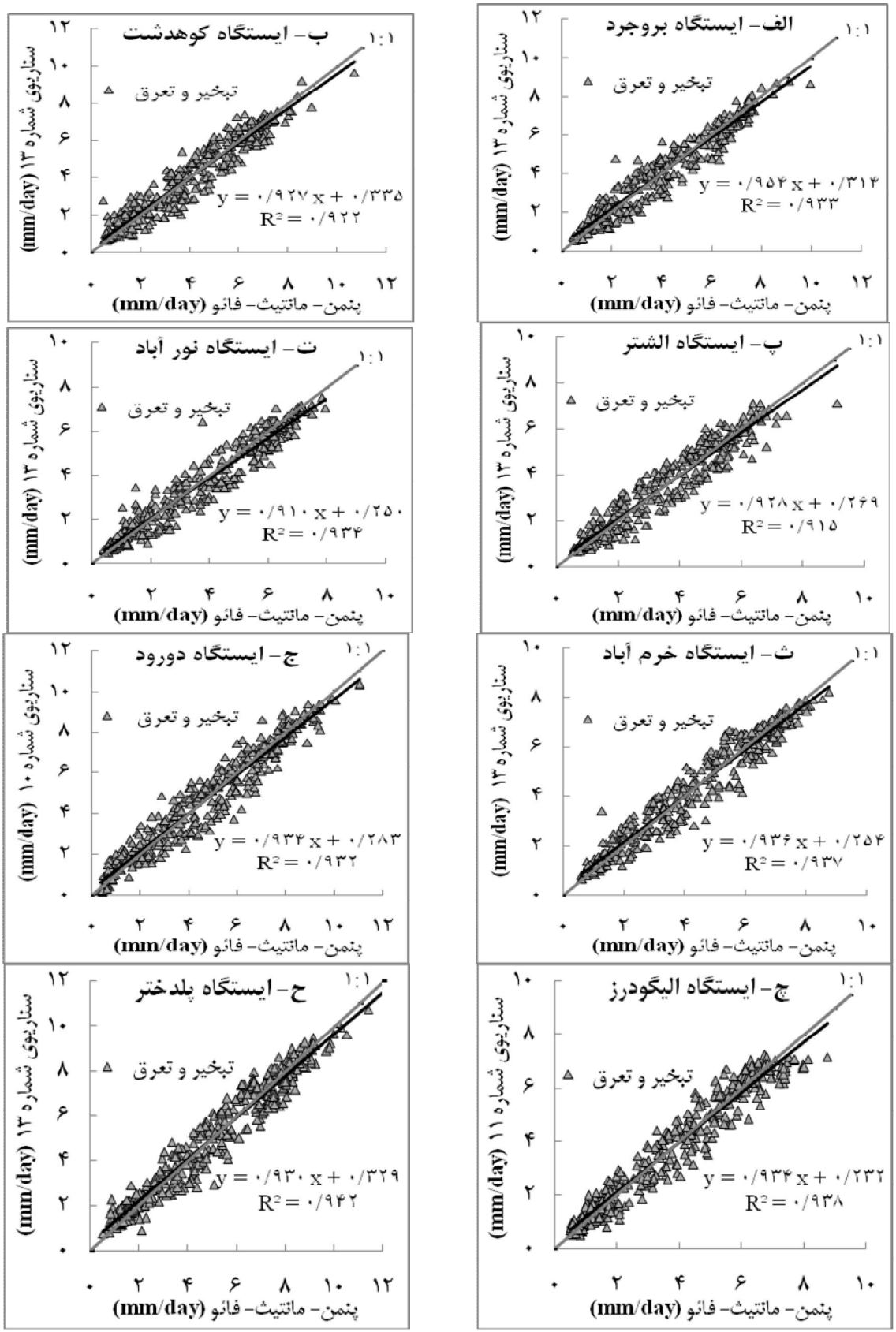
تبخیر و تعرق فرآیندی است که به عوامل متعدد اقلیمی نظیر دما، رطوبت، سرعت باد، تابش آفتاب و غیره وابسته است به‌طوریکه این فرآیند در هر منطقه به یک سری پارامترهای هواشناسی وابستگی بیش‌تری دارد و لزوماً استفاده از تمام پارامترهای هواشناسی باعث افزایش دقت در برآورد مقادیر تبخیر و تعرق نمی‌شود که این خود دلیلی بر متفاوت بودن مقادیر خطای به دست آمده در هر ایستگاه موجود در جدول 2 است. ایستگاه‌های بروجرد و کوهدشت نتایج تقریباً مشابهی داشتند. در ایستگاه بروجرد سناریوی شماره‌ی 1 (با میانگین مربعات خطای 0/00117 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/01248 میلی‌متر بر روز) و در ایستگاه کوهدشت سناریوی شماره‌ی 1 (با میانگین مربعات خطای 0/00136 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 18 (با میانگین مربعات خطای 0/0208 میلی‌متر بر روز) به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین خطا را به خود اختصاص دادند. در هر دو ایستگاه سناریوهای با 4 پارامتر ورودی نسبت به سناریوهای با 3 پارامتر ورودی نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهند. از بین سناریوهای با 4 پارامتر ورودی سناریوی شماره 3، از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 5، از بین سناریوهای با 2 پارامتر ورودی سناریوی شماره 13 و سناریوی شماره 18 با یک پارامتر ورودی کم‌ترین مقدار خطا را به خود اختصاص دادند. بنابراین می‌توان گفت در هر دو ایستگاه سناریوی شماره 1 که از تمام پارامترهای دخیل (شامل دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی) برای برآورد ET_o استفاده می‌کند بهترین سناریو و سناریوی شماره 13 با 2 پارامتر ورودی شامل (دمای حداکثر و سرعت باد) مناسب‌ترین سناریو می‌باشد، زیرا با وجود تعداد پارامترهای ورودی کم‌تر دقت آن قابل مقایسه با سناریوهای دارای تعداد پارامتر ورودی بیش‌تر می‌باشد. مشابه بودن نتایج با توجه به اینکه هر دو ایستگاه دارای آب و هوای نیمه مرطوب با تابستان گرم و زمستان سرد می‌باشند منطقی به نظر می‌رسد.

جدول 2- مقدار شاخص میانگین مربعات خطا (MSE) برای سناریوهای مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه و سطح استان

شماره سناریو	تعداد ورودی	بروجرد	کوهدشت	الشتر	نورآباد	خرم آباد	دورود	الیگودرز	پلدختر	استان
1	6	0/00117	0/00136	0/00167	0/00130	0/00157	0/00122	0/00053	0/00116	0/00970
2		0/00151	0/00149	0/00164	0/00117	0/00108	0/00122	0/00052	0/00103	0/01230
3	4	0/00142	0/00145	0/00174	0/00140	0/00160	0/00114	0/00050	0/00073	0/01720
4		0/00158	0/00153	0/00199	0/00140	0/00145	0/00180	0/00058	0/00130	0/01920
5		0/00166	0/00206	0/00201	0/00159	0/00144	0/00185	0/00057	0/00136	0/01753
6		0/00277	0/00331	0/00395	0/00231	0/00213	0/00372	0/00092	0/00944	0/02460
7	3	0/00458	0/00461	0/00405	0/00259	0/00207	0/00832	0/00095	0/00350	0/02140
8		0/00187	0/00224	0/00287	0/00160	0/00162	0/00231	0/00741	0/00129	0/01750
9		0/00198	0/00367	0/00322	0/00240	0/00189	0/00241	0/00090	0/00148	0/01830
10		0/00371	0/00461	0/00456	0/00303	0/00252	0/00377	0/00114	0/00195	0/01970
11		0/00438	0/00498	0/00450	0/00259	0/00224	0/00966	0/00093	0/00372	0/02192
12		0/00586	0/0067	0/00591	0/00328	0/00300	0/00997	0/00126	0/00902	0/02250
13	2	0/00288	0/00358	0/00416	0/00230	0/00217	0/00381	0/00094	0/00175	0/01860
14		0/00530	0/00606	0/00602	0/00302	0/00256	0/01137	0/00110	0/00420	0/02200
15		0/00636	0/01175	0/01205	0/00633	0/00465	0/00644	0/00226	0/00305	0/03370
16		0/00414	0/00604	0/00487	0/00316	0/00246	0/00829	0/00117	0/00368	0/02130
17		0/01248	0/01240	0/01415	0/01009	0/00882	0/01284	0/00613	0/01981	0/02430
18	1	0/00603	0/0208	0/00583	0/00356	0/00322	0/01033	0/00136	0/00420	0/02370

نتایج اخیر با تحقیقات کوچک‌زاده و بهمنی (1384) مبنی بر استفاده از دو پارامتر دما و سرعت باد به عنوان مؤثرترین فاکتورها در برآورد ET_o همخوانی دارد. ایستگاه‌های الشتر، نور آباد و خرم آباد نیز نتایج تقریباً مشابهی دارند. در ایستگاه الشتر سناریوی شماره‌ی 2 (با میانگین مربعات خطای 0/00164 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/01415 میلی‌متر بر روز)، در ایستگاه نور آباد سناریوی شماره‌ی 2 (با میانگین مربعات خطای 0/00117 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/01009 میلی‌متر بر روز) و در ایستگاه خرم آباد سناریوی شماره‌ی 2 (با میانگین مربعات خطای 0/00108 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/00882 میلی‌متر بر روز) به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین خطا را به خود اختصاص دادند. در هر سه ایستگاه از بین سناریوهای با 4 پارامتر ورودی سناریوی شماره 2، از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 5، از بین سناریوهای با 2 پارامتر ورودی سناریوی شماره 13 و سناریوی شماره 18 با یک پارامتر ورودی کم‌ترین مقدار خطا را به خود اختصاص دادند. با اضافه کردن پارامتر رطوبت نسبی حداقل و استفاده از هر 6 پارامتر میزان خطا افزایش می‌یابد، بنابرین سناریوی شماره 2 با 4 پارامتر ورودی شامل (دمای میانگین، رطوبت نسبی حداکثر، سرعت باد و ساعات آفتابی) بهترین سناریو می‌باشد. هم‌چنین سناریوی شماره 13 با 2 پارامتر ورودی شامل (دمای حداکثر و سرعت باد) به عنوان مناسب‌ترین سناریو برگزیده شد که با تحقیقات کوچک‌زاده و بهمنی (1384) همسو است. مشابه بودن نتایج با توجه به اینکه هر سه ایستگاه دارای آب و هوای نیمه مرطوب با تابستان معتدل تا گرم و زمستان بسیار سرد می‌باشند منطقی به نظر می‌رسد. ایستگاه‌های دورود، الیگودرز و پلدختر نیز نتایج تقریباً مشابهی دارند. در ایستگاه دورود سناریوی شماره‌ی 3 (با میانگین مربعات خطای 0/00114 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/01284 میلی‌متر بر روز)، در ایستگاه الیگودرز سناریوی شماره‌ی 3 (با میانگین مربعات خطای 0/0005 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 8 (با میانگین مربعات خطای 0/00741 میلی‌متر بر روز) و در ایستگاه پلدختر سناریوی شماره‌ی 3 (با میانگین مربعات خطای 0/00073 میلی‌متر بر روز) و سناریوی شماره 17 (با میانگین مربعات خطای 0/01981 میلی‌متر بر روز) به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین خطا را به خود اختصاص دادند. در هر سه ایستگاه از بین سناریوهای با 4 پارامتر ورودی سناریوی شماره 3، در ایستگاه دورود از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 5، از بین سناریوهای با 2 پارامتر ورودی سناریوی شماره 10 و سناریوی شماره 18 با 1 پارامتر ورودی کم‌ترین مقدار خطا را به خود اختصاص دادند. در ایستگاه الیگودرز از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 5، از بین سناریوهای با 2 پارامتر ورودی سناریوی شماره 11 و سناریوی شماره 18 با 1 پارامتر ورودی کم‌ترین مقدار خطا را به خود اختصاص دادند. در ایستگاه پلدختر از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 8، از بین سناریوهای با 2 پارامتر ورودی سناریوی شماره 13 و سناریوی شماره 18 با 1 پارامتر ورودی کم‌ترین خطا را به خود اختصاص دادند. با اضافه کردن پارامتر رطوبت نسبی حداکثر در ایستگاه دورود و اضافه کردن رطوبت نسبی حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های الیگودرز و پلدختر و به عبارتی استفاده از هر 6 پارامتر میزان خطا افزایش می‌یابد، بنابرین در هر سه ایستگاه سناریوی شماره 3 با 4 پارامتر ورودی شامل (دمای میانگین، رطوبت نسبی حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی) بهترین سناریو می‌باشد. در ایستگاه الیگودرز سناریوی شماره 11 با 2 پارامتر ورودی شامل (دمای میانگین و ساعات آفتابی)، در ایستگاه دورود سناریوی شماره 10 با 2 پارامتر ورودی شامل (دمای میانگین و سرعت باد) و در ایستگاه پلدختر سناریوی شماره 13 با 2 پارامتر ورودی شامل (دمای حداکثر و سرعت باد) مناسب‌ترین سناریو می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از ایستگاه دورود با تحقیقات صیادی و همکاران (1388) در تبریز همخوانی دارد.

در این پژوهش هم‌چنین میزان حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع نسبت به پارامترهای اقلیمی در کل استان با در نظر گرفتن مجموع داده‌های تمام ایستگاه‌ها برای دوره آماری (2010-2001) بررسی شد. همانطور که ملاحضه می‌شود برای کل استان نیز سناریوی شماره 13 می‌تواند به عنوان بهینه‌ترین سناریو انتخاب گردد. نتایج حاصل از این پژوهش با تحقیقات نوری و همکاران (1392)، کوچک‌زاده و بهمنی (1384)، زارع‌ابیانه و همکاران (1389) و (Zanetti et al., 2007)، مبنی بر کفایت استفاده از پارامترهای ورودی کم‌تر در برآورد تبخیر و تعرق مرجع همخوانی دارد. بطور کلی با مقایسه‌ی نتایج مشخص شد که در اکثر ایستگاه‌ها سناریوهای با 4 پارامتر ورودی (سناریوهای شماره 2، 3، 4) نسبت به سناریوهای با 3 پارامتر ورودی (سناریوهای شماره 5، 6، 7، 8 و 9) نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهند. در بین سناریوهای با 4 پارامتر ورودی سناریوی شماره 4 در تمامی ایستگاه‌ها بجز خرم آباد بیش‌ترین خطا را به خود اختصاص می‌دهد. در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه پلدختر از بین سناریوهای با 3 پارامتر ورودی سناریوی شماره 5 بالاترین دقت را دارد که دلیل آن می‌تواند آب و هوای متفاوت این ایستگاه (آب و هوای نیمه خشک با تابستان بسیار گرم) با سایر ایستگاه‌ها باشد. پس از آن در ایستگاه‌های بروجرد، کوهدشت، الشتر، نورآباد، خرم آباد و دورود سناریوی شماره 8، در ایستگاه الیگودرز سناریوی شماره 9 و در ایستگاه پلدختر سناریوی شماره 5 بالاترین دقت را دارند.



شکل 1- مقایسه مقادیر ET_o محاسبه شده توسط شبکه و روش پنمن- مانتیث- فائو

هم‌چنین در تمامی ایستگاه‌ها بـه‌جـز ایسـتگاه دورود و الیگـودرز سناریوی شماره‌ی 13 که تنها از دو پارامتر دمای حداکثر و سرعت باد استفاده میکند می‌تواند به عنوان بهینه‌ترین سناریو انتخاب گردد، زیـرا با وجود اینکه این سناریو از تعداد پارامترهای کم‌تری به عنوان ورودی شبکه استفاده می‌نماید ولی دقت آن قابل مقایسه با سناریوهای دارای تعداد پارامتر ورودی بیش‌تـر مـی‌باشـد. پـس از آن در ایسـتگاه‌هـای بروجرد، کوهدشت و پلدختر سـناریوی شـماره 10، در ایسـتگاه‌هـای الشتر، نور آباد و خرم آباد سناریوی شماره 11 و در ایستگاه‌های دورود و الیگودرز سناریوی شماره 13 کم‌ترین مقدار خطا را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین در تمامی ایستگاه‌ها سناریوی شماره 17 کم‌ترین دقت را دارا می‌باشد. به‌منظور مقایسه بهتر نتایج، برای تمـامی ایسـتگاه‌هـا چگونگی پراکنش نقاط مقادیر ET_o پیشنهادی توسط شبکه مربوط به سناریوی برتر و روش پنمن- مانتیث- فـائو بـرای مجمـوع داده‌هـای آزمون (10 درصد از کل داده‌ها) حول خط 1:1 ترسیم شد (شکل 1- نمودار الف تا ح). در این شکل‌ها محور افقی مقدار ET_o محاسبه شده توسـط روش پـنمن- مانتیـث- فـائو و محـور عمـودی مقـدار ET_o پیشنهادی توسط شبکه عصبی می‌باشد. بدیهی اسـت هرچـه مقـادیر ET_o بر خط 1:1 بیش‌تر منطبق باشند مقدار ET_o پیشـنهادی توسـط ANN با مقدار ET_o محاسبه شده توسط روش پنمن- مانتیث- فـائو برابر است و این خود دلیلی محکم بر دقت ANN در پیش‌بینی مقدار ET_o با وجود تعداد پارامتر ورودی کم‌تر می‌باشد. وجـود نقـاط مقـادیر ET_o در بالای خط 1:1 بدین معنی است که مقـدار ET_o پـیش‌بینـی شده توسط ANN بیش‌تر از مقدار ET_o محاسـبه شـده توسـط روش پنمن- مانتیث- فائو می‌باشد (بیش‌برآورد شبکه عصبی) و وجود نقـاط مقادیر ET_o در زیر خط 1:1 نشـان‌دهنـده آن اسـت کـه مقـدار ET_o پیش‌بینی شده توسط ANN کم‌تر از مقدار ET_o محاسبه شده توسـط روش پنمن- مانتیث- فائو بوده است (کم‌برآورد شبکه عصبی).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق هجده ترکیـب مختلـف داده‌هـای هواشناسـی بـه عنوان داده‌های ورودی برای ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی به کمـک شـبکه عصـبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمـده نشـان داد کـه می‌توان مقدار ET_o روزانه در منطقه‌ی مورد مطالعـه را بـا اسـتفاده از پارامترهای کم‌تر نسبت به پارامترهـای مـورد نیـاز جهـت اسـتفاده از فرمول پنمن مانتیث با دقت قابل قبـولی تخمـین زد. از بـین تمـامی پارامترها دو پارامتر دمای حداکثر و سرعت باد تأثیر و اهمیـت بـیش- تری در میزان تبخیر و تعرق روزانه دارند، دلیل فیزیکی آن مـی‌توانـد این باشد که دمای حداکثر نشان دهنده میزان انرژی تـابش خورشـید رسیده به زمین بوده و از طرفی جزء تبخیر ناشی از آیرودینامیک هـوا، بیش‌تر تحت تأثیر سرعت باد است از این رو استفاده از این دو پارامتر برای تعیین تبخیر و تعرق روزانه توصیه می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Evapotranspiration
2- Lysimeter
3- Reference Crop Evapotranspiration
4- Fao Penman monteith
5- Artificial neural networks
6- Coactive Neuro-Fuzzy Inference System
7- Multi layer perceptron
8- Cross Validation
9- Levenberg Marquart
10- Momentum
11- Delta bar Delta
12- Step
13- Conjugate Gradient
14- Quick prop

منابع

جهانگیر، ع.ر.، رائینی، م و ضیا احمدی، م.خ. 1387. شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصـنوعی (ANN) با مدل HEC-HMS در حوضه معـرف کـارده. مجلـه آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی). 22,2: 72-84.

زارع‌ابیانه، ح.، بیـات‌ورکشـی، م.، معروفـی، ص و امیـری چایجـان، ر. 1389. ارزیـابی سیسـتم‌هـای هوشـمند عصـبی در کـاهش پارامترهای تخمین تبخیر و تعرق گیـاه مرجـع. مجلـه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24,2: 297-305.

زارع‌ابیانـه، ح.، قاسـمی، ا.، بیـات‌ورکشـی، م و معروفـی، ص. 1388. ارزیابی دقت شبکه عصبی مصنوعی در پـیش‌بینـی تبخیـر و تعرق گیاه سـیر براسـاس داده‌هـای لایسـیمتری در منطقـه همدان. نشریه آب و خاک، 23,3: 176-185.

صـیادی، ح.، اولاد غفـاری، ا.، فعالیـان، ا و صـدرالدینی، ع.ا. 1388. مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی RBF و MLP در بـرآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع. مجله دانش آب و خاک، 19,1: 1-12.

کوچک‌زاده، م.، و بهمنی، ع. 1384. ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در کاهش پارامترهای مورد نیاز، جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع. مجله علوم کشاورزی، 11,4: 87-96.

ملکی‌نژاد،ح و پورمحمدی،س. 1392. تحلیل حساسیت تبخیر و تعـرق گیاه مرجع با استفاده از تکنیک‌های آماری و شـبکه عصـبی مصـنوعی. فصـلنامه پـژوهش‌هـای آبخیـزداری (پـژوهش و

سازندگی). 101: 13- 24.

مهدوی،س.، رحیمی‌خوب،ع و منتظر،ع.ا. 1390. مدل شبکه عصبی مصنوعی تبخیر ماهانه از تشت با استفاده از داده‌های هواشناسی- مطالعه موردی منطقه حاشیه دریای خزر. مجله تحقیقات منابع آب ایران. 7,2: 71-79.

نورانی،و و سیاح‌فرد،م. 1392. آنالیز حساسیت داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد مقدار تبخیر روزانه. مجله آب و فاضلاب، 88:3,24-100.

نوری،س.، فلاح قالهری،غ.ع و ثنایی‌نژاد،س.ح. 1392. مدل‌سازی تبخیر- تعرق گیاه پتانسیل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی با حداقل متغیرهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک مشهد. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 20 .5: 163-178.

Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guide line for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 pp.

Aytek, A. 2008. Co-active neuro-fuzzy inference system for evapotranspiration modeling. Soft computing-a fusion of foundations, Methodologies and Applications. 13.7:691-700.

Basheer, I.A and Hajmeer, M. 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. Journal of Microbiological Methods. 43.1:3-31.

Jain, S.K., Singh, V.P and van Genuchten, M.T.h. 2004. Analysis of soil water retention data using artificial neural networks. Journal Hydrological Engineering ASCE. 9.5:415-420.

Kisi, O. 2004. Multi-layer perceptions with Levenberg–Marquardt training algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation. Journal Hydrological Science. 49.6:1025-1040.

Kisi, O. 2006. Evapotranspiration estimation using feed-forward neural network. Nordic Hydrology. 37.3:247-260.

Kumar, M., Bandyopadhyay, A., Raghuwanshi, N.S and Singh, R. 2008. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETo estimation models. Journal Irrigation Science. 26.6:531-545.

Kumar, M., Raghuwanshi, N.S., Singh, R., Wallender, W.W and Pruitt, W.O. 2002. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. Journal Irrigation and Drainage Engineering ASCE. 128.4:224–233.

Landeras Ortiz, A and Javier Lopez, j. 2007. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi empirical equation for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque country (northern Spain). Agricultural Water Management. 95.5:553-565.

Lin, C.H., Chao, C and Chen, W.F. 2008. Estimation regional evapotranspiration by adaptive network-based fuzzy inference system for Dan-Shui basin in Taiwan. Journal of the Chinese Institute of Engineers. 30.6:1091-1096.

Moghaddamnia, A., Ghafari Gousheh, M., Piri, J., Amin, S., and Han, D. 2009. Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. Advances in Water Resources, 32.1:88–97.

Odhiambo, L.O., Yoder, R.E and Yoder, D.C. 2001a. Estimating of reference crop evapotranspiration using fuzzy state models. Transactions of the ASABE. 44.3:543-550.

Odhiambo, L.O., Yoder, R.E., Yoder, D.C and Hines, J.W. 2001b. Optimization of fuzzy evaporation model through neural training with input-output examples. Transactions of the ASABE. 44.6:1625-1633.

Trajkovic, S and Kolakovic, S. 2009. Estimating reference evapotranspiration using limited weather data. Journal of Irrigation and Drainage. 135.4:433-449.

Zanetti, S.S., Sousa, E.F., Olivera, V.P.S., Almeida, F.T and Bernardo, S. 2007. Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 133.2:83-89.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 614-623

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 623-614

Determination of Effective Parameters in Estimating Reference Crop Evapotranspiration Using Artificial Neural Networks (Case study: Lorestan province)

M. Saremi [1*], **B. Farhadi Bansouleh** [2]

Recived: Jul.01, 2015 Accepted: Nov.04, 2015

Abstract

However, several methods exist for calculation of reference crop evapotranspiration (ETo) but the FAO- 56 Penman- Monteith (FAO- 56 PM) method has been recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) as the standard equation. This method is difficult to use because it requires several weather parameters and complex calculations. On the other, over the last decades Artificial Neural Network (ANN_s) have shown a good ability for modeling complex and nonlinear systems. The present study was carried out to investigate the sensitivity of the reference crop evapotranspiration to climate parameters using ANNs in Lorestan province. For this purpose in period 10 years (2001 – 2010) daily ETo were calculated using FAO-56 PM method based on weather data daily in the eight weather stations in Lorestan province. Then an Artificial Neural Network was designed with 18 scenarios. Combinations of six weather parameters (maximum and minimum air temperature, maximum and minimum relative humidity, wind speed and daily sunshine hours) which are required to calculate ETo with using FAO-56 PM method were considered as inputs and calculated ETo as output of the ANN in various scenarios. The results of this study showed that increasing the number of data in the input layers will not necessarily lead to improved outcomes of intelligence models. In case of weather data limitation, scenario 13 which was used maximum temperature and wind speed as input layer showed reliable results.

Keywords: Reference evapotranspiration, Weather data, Artificial Neural Network, FAO-Penman-Monteith, Lorestan.

1- MSc Graduate Student, Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah
2- Assistant professor, Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah
(*- Corresponding Author Email: m.saremi2008@gmail.com)