



Technical Note

Simulation and Comparison of Potential Evapotranspiration by Artificial Neural Network (ANN), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Decision Making Tree M5 (Case Study: Synoptic Station of Shiraz)

E. Zoratipour¹, L. Neissi^{2*}, M. Golabi^{3*}, A. Bazaz⁴
and A. Zoratipour⁵

Abstract

Proper estimation of evapotranspiration is a key data in designing and managing irrigation and drainage systems. Among widely used methods to estimate and predict evapotranspiration for such applications, are Neuro-Fuzzy Methods (ANFIS), Artificial Neural Networks (ANNs) and decision making tree Ms. The purpose of this study was to evaluate the efficiency of the mentioned methods in estimating the reference evapotranspiration in the Shiraz meteorological station. For this purpose, the 5 year climatic data of the station were selected as inputs to the models. Qnet2000, MATLAB and WEKA software were respectively used to implement artificial neural network model, Nero fuzzy model and decision tree Ms. In order to evaluate the results of these models, the mean squared error (RMSE), coefficient of determination (R^2) and the criterion of the mean power of relative error (MAE) were used. The accuracy of Artificial Neural Network model and ANFIS model with the help of statistical indices R^2 , RMSE and MAE were obtained as 0.0999, 0.099, 0.0500 and 0.0999, 0.051, and 0.01119, respectively which showed high accuracy of both models in simulation. Also, the correlation coefficient (R^2), RMSE and MAE for the decision tree model were calculated to be 0.7064, 0.0935 and 0.0414 respectively, which indicated the proper performance of the Ms tree model in predicting the reference evapotranspiration rate.

Keywords: Fuzzy Neural Network, Reference Evapotranspiration, Artificial Neural Network, Decision Making Tree.

Received: April 7, 2018

Accepted: November 16, 2018

یادداشت فنی

شبیه‌سازی و مقایسه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی و درخت تصمیم‌گیری M5 (مطالعه موردی؛ ایستگاه سینوپتیک شیراز)

الهه ذرتی‌پور^۱، لمبا نیسی^۲، منا گلابی^{۳*}، اعظم بزاز^۴
و امین ذرتی‌پور^۵

چکیده

تخمین صحیح تبخیر و تعرق در طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و زهکشی از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های تخمین تبخیر و تعرق، که در حل این مسائل و پیش‌بینی آن کاربرد زیادی دارد، روش‌های نروفازی (ANFIS)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) و درخت تصمیم‌گیری M5 می‌باشند. هدف از این تحقیق، بررسی کارایی روش‌های مذکور در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی شیراز می‌باشد. بدین منظور داده‌های هواشناسی روزانه ۵ ساله ایستگاه مذکور به‌عنوان ورودی مدل‌ها انتخاب شدند. برای اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل نروفازی و درخت تصمیم‌گیری M5 به‌ترتیب از نرم‌افزارهای Qnet2000، MATLAB و WEKA استفاده گردید. جهت ارزیابی نتایج مدل‌های ذکر شده ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و معیار میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MAE) استفاده شد. نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل انفیس به کمک شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE و MAE به ترتیب برابر با ۰/۹۹۹، ۰/۰۰۰۹ و ۰/۰۰۰۰۱۳۹- و ۰/۹۹۹، ۰/۰۰۱۸۵۵ و ۰/۰۰۱۱۹- به‌دست آمد، که نشان از دقت بالای هر دو مدل در شبیه‌سازی دارد. هم‌چنین مقدار ضریب همبستگی R^2 ، RMSE و MAE مدل درخت تصمیم‌گیری به‌ترتیب برابر ۰/۷۰۶۴، ۰/۰۹۳۵ و ۰/۰۴۱۴ محاسبه شدند که نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب مدل درختی M5 در پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع است.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، درخت تصمیم‌گیری، شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی مصنوعی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۸/۲۵

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Ph. D. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Assistance Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. Email: m.golabi@scu.ac.ir

4- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

5- Assistant Professor of Nature Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۵- استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

با توجه به کمبود شدید آب در ایران و دیگر نقاط جهان لزوم تخمین دقیق تبخیر و تعرق به عنوان یک پارامتر هیدرولوژیکی جهت تعیین نیاز آبی گیاه و مقدار آب آبیاری بیشتر می‌شود. شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و درخت تصمیم‌گیری M5 به عنوان ابزار برای مدل‌سازی و پیش‌بینی هیدرولوژیکی تحول عظیمی در تحلیل رفتار سیستم‌های دینامیک ایجاد کرده است. منطق فازی، گونه‌ای بسیار مهم از منطق است که به طور جدی در مقابل منطق دودویی ارسطویی قرار گرفت و این منطق نه تنها در حوزه تئوری بلکه در سال‌های اخیر روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی به کار رفته‌اند. منطق فازی جایگزین مناسبی برای درک کامل فرآیندهای پیچیده فیزیکی غیر قابل دسترس می‌باشد و شبکه عصبی نیز این توانایی را دارد که از محیط آموزش ببیند، ساختارش را خود مرتب کند و با شیوه‌ای، تعامل خود را تطبیق دهد. در نهایت شبکه نروفازی ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی است که منطق فازی برای بهبود کارایی شبکه عصبی و اضافه نمودن مفهوم عدم قطعیت به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Mohammadpur et al., 2017). با توجه به مطالعات صورت گرفته در این زمینه، Shabani et al. (2017)، در مطالعه خود از تبخیر و تعرق محاسبه شده به وسیله روش‌های محاسباتی هارگریوزسامانی، جنسن هیز، تورک و روش تست تبخیر در کنار داده‌های هواشناسی (دمای میانگین، سرعت باد و ساعات آفتابی) به عنوان داده‌های ورودی شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند و نشان دادند از بین روش‌های مذکور تنها روش جنسن هیز منجر به تخمین تبخیر و تعرق مرجع روش استاندارد پنمن مانیتیت فائو با دقت بالا گردید و در بقیه روش‌ها استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به همراه روش‌های محاسباتی اگرچه اندکی دقت تخمین را بهبود داده اما هم‌چنان دقت این روش‌ها برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع پایین می‌باشد.

Ghatfan et al. (2017)، در تحقیق خود، به بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع ماهانه در ایستگاه مرزی هومز^۱ واقع در سوریه، با استفاده از داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده و به کمک شبکه عصبی مصنوعی (ANNs^۲) پرداختند. سپس تبخیر و تعرق مرجع ماهانه به وسیله فرمول فائو پنمن مانیتیت، به عنوان خروجی مدل فراخوانی شدند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی از قابلیت بالایی در تخمین تبخیر و تعرق مرجع ماهانه برخوردار است. Behnia et al. (2017) به منظور تعیین پتانسیل شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی (ANFIS^۳) به شبیه‌سازی دمای خاک در عمق ۵-۱۰۰ سانتیمتر پرداختند، نتایج نشان داد که مدل انفیس عملکرد بهتری در

شبیه‌سازی دمای افق‌های خاک نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی داشته است. (Khoshnevisan et al. (2014)، چندین سیستم استنتاج فازی تطبیقی را به منظور پیش‌بینی عملکرد دانه گندم براساس میزان مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج نشان داد مدل انفیس با توجه به ضریب تبیین بالاتر و ضریب میانگین مربعات خطا کمتر عملکرد دقیق‌تری داشته است. (Abedi Kuopai et al. (2009) در مطالعه خود به بررسی کاربرد شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع چمن و مقایسه عملکرد آن با روش‌های معمول تخمین تبخیر و تعرق در گلخانه پرداختند، نتایج نشان داد دقت شبکه عصبی مصنوعی از بین تمامی روش‌ها بهتر است و دقت روش پنمن در بین روش‌ها پایین‌ترین میزان دقت را در تخمین تبخیر و تعرق روزانه در برداشته است. (Piri and Ansari (2012) در مطالعه خود روش‌های برآورد تبخیر و تعرق را براساس مدل شبکه عصبی غیرخطی و تکنیک‌های استنتاج فازی سازگار با سیستم عصبی مورد بررسی قرار دادند و در نهایت نتیجه گرفتند هر دو مدل عملکرد بسیار بهتری نسبت به فرمول‌های تجربی دارند. (Mosaedi and Ghobayi Sogh (2011) به منظور تخمین تبخیر از تست از آمار روزانه ۵ پارامتر هواشناسی دمای میانگین، رطوبت نسبی، سرعت باد، کمبود فشار بخار و تابش برون زمینی در ایستگاه سینوپتیک شیراز طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۷ با استفاده از مدل انفیس برای شبیه‌سازی استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تکنیک نشان داد که از میان ۳۱ ترکیب مختلف حاصل از ۵ پارامتر ورودی، بهترین ترکیب شامل رطوبت نسبی، کمبود فشار بخار و تابش برون زمینی می‌باشد و از میان پارامترهای ورودی تابش برون زمینی و سرعت باد کم اهمیت‌ترین است. (Hoseini et al. (2016) به ارزیابی مدل درختی M5 و شبکه عصبی تحت شرایط مختلف حداقل داده‌ی اقلیمی در یک منطقه سرد و خشک پرداختند. نتایج تحقیقاتشان نشان داد مدل شبکه عصبی دقت بهتری نسبت به مدل درختی M5 دارد ولی مدل درختی روابط خطی، ساده و قابل فهم‌تری ارائه می‌کند. (Sharifiyan and Ghorbani (2014) به بهبود برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب اصلاحی به کمک مدل درخت تصمیم و شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرداختند. در نهایت مشخص گردید که عملکرد مدل درختی از مدل شبکه عصبی مصنوعی دقیق‌تر است. (Terzi (2007) با به‌کارگیری داده‌های هواشناسی دریاچه‌ی اگیردیر واقع در ترکیه متغیرهای دمای هوا، دمای آب، تابش خورشید و رطوبت نسبی را به عنوان عوامل مؤثر بر تبخیر از تست تعیین نمود. مقایسه نتایج آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده تست تبخیر روزانه نشان داد که الگوریتم M5 بهترین عملکرد را در تخمین تبخیر از تست نشان داد. با توجه به اهمیت استان فارس و شهرستان شیراز به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی و جایگاه خاص تبخیر و تعرق در برنامه‌ریزی‌های تخصیص

آب در تحقیق حاضر قابلیت شبکه عصبی مصنوعی، شبکه نروفازی و درخت تصمیم‌گیری M_5 در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز بررسی خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

شیراز در بخش مرکزی استان فارس، در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد. استان فارس دارای دو اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد. شهر شیراز در جنوب غرب کشور قرار گرفته و آب و هوای آن مدیترانه‌ای است.

در این تحقیق به منظور ارزیابی کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، نروفازی، درخت تصمیم‌گیری M_5 و مقایسه نتایج آن‌ها، در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از داده‌های ایستگاه هواشناسی شیراز، استفاده گردید. برای اجرای روش‌های مذکور در این پژوهش داده‌های هواشناسی ایستگاه مذکور، در مقیاس روزانه و به مدت ۵ سال، به‌عنوان ورودی، فراخوانی شدند. پارامترهای ورودی مدل شبکه عصبی، که متغیرهایی مستقل می‌باشند، عبارتند از: حداقل دما (T_{min})، حداکثر دما (T_{max})، میانگین دمای روزانه (T_{mean})، دمای نقطه شبنم (T_d) و متوسط دمای خاک در اعماق اندازه‌گیری شده (T_{soil}) بر حسب درجه سانتی‌گراد، ساعات آفتابی (n)، میانگین رطوبت نسبی (RH_{mean})، حداقل رطوبت نسبی (RH_{min}) و حداکثر رطوبت نسبی (RH_{max}) بر حسب درصد، میانگین سرعت باد (U) (متر بر ثانیه)، میانگین بارش روزانه (p) (میلی‌متر)، مقدار ابرناکی (a) و پارامتر وابسته به این ورودی‌ها، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) می‌باشد که با استفاده از میزان تبخیر از تشت تبخیر محاسبه شده‌اند. قبل از وارد کردن داده‌های ورودی در مدل‌های مورد استفاده، داده‌ها استانداردسازی شدند. پس از استانداردسازی، به‌منظور اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی، از ۷۰٪ داده‌ها جهت آموزش مدل و از ۳۰٪ داده‌ها جهت صحت‌سنجی استفاده گردید. در ابتدا مدل با ۵ پارامتر به‌عنوان متغیرهای ورودی و سپس به‌ترتیب با ۶، ۷، ۸ تا ۱۲ پارامتر ورودی آزمایش شده و با تکرارهای مختلف، مدل شبکه عصبی اجرا گردید. با آموزش مدل بهترین تابع انتقال برای لایه‌های پنهان و خروجی، با تعداد گره لایه پنهان معین و تعداد تکرار مشخص، سپس بر مبنای بهترین حالت مرحله آموزش، مدل با استفاده از ۳۰٪ باقی‌مانده داده‌ها صحت‌سنجی شدند. سرانجام به‌منظور اجرای مدل نروفازی، بهترین حالت به‌دست آمده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، به‌عنوان ورودی مدل و توسط نرم‌افزار MATLAB فراخوانی شدند، بدین صورت که هفتاد درصد داده‌ها جهت آموزش مدل نروفازی و سی درصد باقی‌مانده جهت صحت‌سنجی مدل مورد استفاده قرار

گرفت و جهت ارزیابی و بررسی توانایی مدل نروفازی در شبیه‌سازی، از معیارهای متداول آماری استفاده گردید. در نهایت به‌منظور مقایسه قابلیت شبیه‌سازی هردو مدل مذکور، نتایج حاصل از مشخصه‌های آماری مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی و مدل نروفازی، از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$)، ضریب تعیین (R^2) و معیار میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MAE^5) استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

برای ارزیابی مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نرم‌افزار Qnet2000 مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای مدل‌ها ۷۰ درصد از داده‌های ورودی جهت آموزش و ۳۰ درصد باقی‌مانده جهت صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. پس از آموزش شبکه عصبی مصنوعی و تعیین بهترین حالت معماری مدل صحت‌سنجی شد. اجرای مدل شبکه عصبی مصنوعی در مرحله آموزش، با تعداد ۵ تا ۱۲ گره ورودی و یکی بیشتر از آن به‌عنوان تعداد گره‌های لایه پنهان و یک گره خروجی و با در نظر گرفتن توابع مختلف انتقال برای لایه پنهان و خروجی و تکرارهای ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ صورت گرفت. نتایج برای حالت تانژانت هیپربولیک برای توابع انتقال لایه پنهان و خروجی مدل دارای بیشترین ضریب تعیین و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشد. لذا پنج گره ورودی (دمای حداقل، حداکثر و متوسط، دمای نقطه شبنم و ساعات آفتابی) با یک لایه پنهان با شش گره به‌عنوان بهترین حالت مرحله آموزش انتخاب شد و از آن برای مرحله صحت‌سنجی استفاده گردید. با استفاده از بهترین حالت در مرحله آموزش و ۳۰٪ باقی‌مانده داده‌ها مدل صحت‌سنجی شده و شاخص‌های آماری R^2 ، $RMSE$ و MAE به ترتیب برابر با ۰/۹۹۹، ۰/۰۰۰۹ و ۰/۰۰۰۰۱۳۹- به‌دست آمد که نشان از توانایی مناسب مدل در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از حداقل داده‌ها را نشان می‌دهد. پس از بررسی کلی قابلیت شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، درصد تأثیرگذاری پارامترهای ورودی بر خروجی در بهترین حالت مرحله آموزش و در مرحله صحت‌سنجی به‌عبارت دیگر آنالیز حساسیت مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که بیشترین تأثیرگذاری در دو مرحله، بر تبخیر و تعرق پتانسیل، مربوط به میزان ساعات آفتابی با درصدی معادل ۸۹/۰۱٪ و ۹۵/۷٪ و کمترین تأثیرگذاری مربوط به دمای نقطه شبنم می‌باشد، که در دو حالت آموزش و صحت‌سنجی نتیجه آنالیز حساسیت تقریباً یکسان می‌باشد. هم‌چنین به لحاظ کمی درصد تأثیرگذاری در مرحله صحت‌سنجی بیشتر از آموزش به‌دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از

مدل شبکه عصبی مصنوعی و مطابقت آن با داده‌های مشاهده‌ای، می‌توان پی برد که مدل از توانایی قابل قبولی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع برخوردار می‌باشد. که طبق بررسی‌های صورت گرفته نتایج پژوهش انجام شده با نتایج حاصل از مطالعه‌ی Ghatfan et al. (2017) و (2017) و Shabani et al. (2017) مطابقت دارد.

روش نروفازی با ساختار انفیس (ANFIS) با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB به گونه‌ای اجرا شد که ۷۰ درصد داده‌ها به‌منظور مرحله آموزش داده‌ها و ۳۰ درصد باقی مانده به‌عنوان مرحله صحت‌سنجی در نظر گرفته شد.

داده‌های ورودی مدل با داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل انفیس مقایسه و اعتبارسنجی شد، به گونه‌ای که ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۹۹۹۹، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۰/۰۰۱۸۵۵ و معیار میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MAE) معادل ۰/۰۰۱۱۹- به‌دست آمد، که بالا بودن ضریب تعیین، پایین بودن ریشه دوم مربعات خطا و منفی بودن میانگین قدرمطلق خطای نسبی نشان از قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. نتایج صحت‌سنجی مدل در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱ میزان پراکندگی داده‌های ورودی مدل با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل به همراه بهترین خط برازش داده شده را نشان می‌دهد، که گویای توانایی بالای مدل انفیس در شبیه‌سازی می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تبخیر و تعرق با استفاده از مدل انفیس و مطابقت آن با داده‌های مشاهده‌ای، می‌توان پی برد که مدل از قابلیت بالایی در شبیه‌سازی را برخوردار است. که طبق بررسی‌های صورت گرفته نتایج پژوهش انجام شده با نتایج حاصل از مطالعه‌ی

(Mosaedi and Ghabaei Sogh (2011) مطابقت دارد. با استفاده از سری داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل به‌وسیله مدل درختی M_5 شبیه‌سازی شد و مقادیر برآورد شده با یکدیگر مقایسه شدند. ضریب تعیین (R^2)، ریشه متوسط مربع خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) برای مقایسه عملکرد مدل درختی M_5 استفاده شدند. جهت اجرای مدل از نرم افزار WEKA استفاده شد. از مزایای مدل درختی M_5 ترکیب چندین رابطه خطی ساده است که بتواند برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع استفاده کرد. به عبارت دیگر می‌توان پی برد در شرایط مختلف دما، دمای نقطه‌ی شبنم، ساعات آفتابی و غیره چه معادله‌ای حاکم است و مهمترین متغیرهایی که باعث انشعابات اولیه مدل می‌شوند کدام‌ها هستند. شکل ۲ الگوریتم مدل درختی M_5 برآورد تبخیر و تعرق مرجع را نشان می‌دهد. متغیرهای استفاده شده در اجرای این مدل شامل متغیر تبخیر و تعرق مرجع (ET^6) به‌عنوان متغیر مستقل و متغیرهای دمای کمینه (T_{min})، دمای بیشینه (T_{max})، دمای میانگین (T_{mean})، دمای نقطه‌ی شبنم (Dew) و ساعات آفتابی (Sun) به‌عنوان متغیرهای وابسته می‌باشند.

با توجه به شکل می‌توان نتیجه گرفت اولین پارامتر مهم در ساخت مدل درختی M_5 میزان دمای نقطه‌ی شبنم است که درخت را به دو شاخه‌ی $Dew > -0.139$ و $Dew \leq -0.139$ تقسیم نموده است براساس معیار انشعاب در $Dew \leq -0.139$ متغیر ساعات آفتابی و در انشعاب قسمت $Dew > -0.139$ متغیر دمای بیشینه قرار دارند و پس از دمای نقطه‌ی شبنم به‌عنوان مهمترین متغیرها شناخته می‌شوند. مطابق شکل انشعابات به همین صورت ادامه یافته و در نهایت ۱۲ رابطه بدست آمد. در جدول ۱ معادلات ارائه شده‌اند.

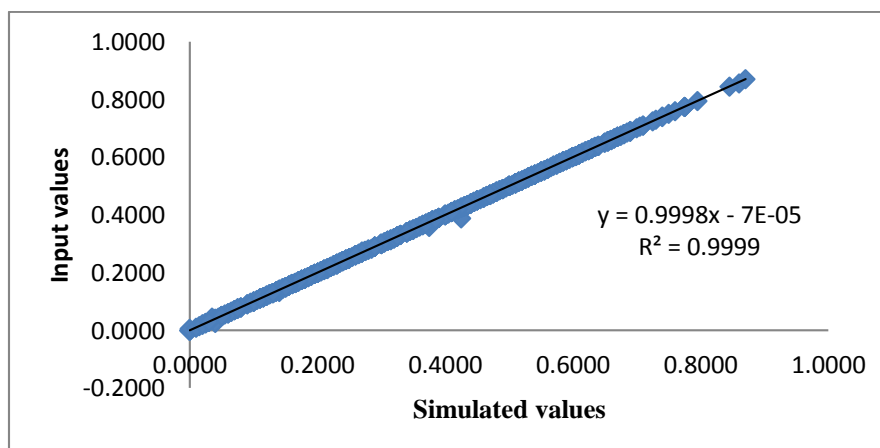


Fig. 1 - Comparison the amount of simulation and measurement data with (ANFIS) method
شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به روش نروفازی (ANFIS)

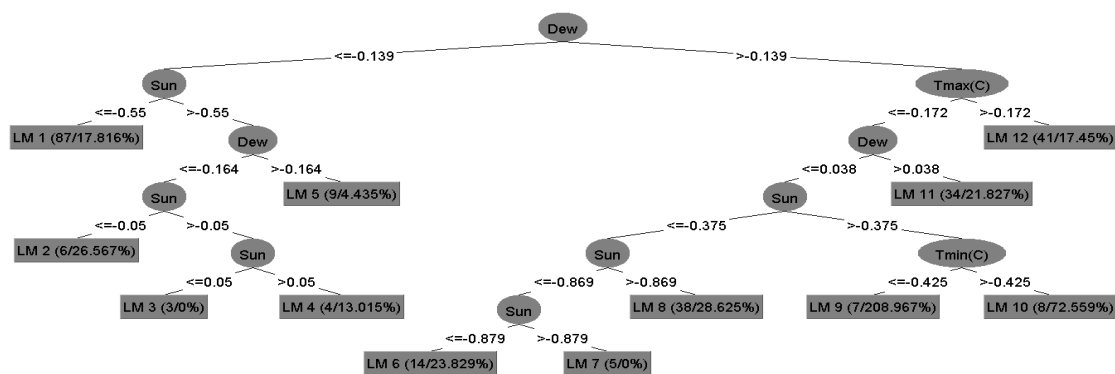


Fig. 2 - Algorithm of M₅ decision making tree model
 شکل ۲- الگوریتم مدل درختی M₅

Table 1- Equations obtained by using the WEKA model
 جدول ۱- معادلات بدست آمده با استفاده از مدل WEKA

Function No. Classification	Parameter	Function
LM num: 1	T _{max} , T _{mean} , Sun	$T = -0.0029 * T_{max} + 0.0067 * T_{mean} + 0.0184 * Sun - 0.9668$
LM num: 2	T _{max} , Sun	$T = -0.0029 * T_{max} + 0.0543 * Sun - 0.9334$
LM num: 3	T _{min} , T _{max} , Sun	$T = -0.0056 * T_{min} - 0.0029 * T_{max} + 0.0207 * Sun - 0.9227$
M num: 4	T _{min} , T _{max} , Sun	$T = -0.0081 * T_{min} - 0.0029 * T_{max} + 0.0224 * Sun - 0.9245$
LM num: 5	T _{max} , Sun	$T = -0.0029 * T_{max} + 0.0305 * Sun - 0.9469$
LM num: 6	T _{min} , T _{max} , Sun, Dew	$T = 0.0522 * T_{min} - 0.0062 * T_{max} + 0.5561 * Sun - 0.0378 * Dew - 0.422$
LM num: 7	T _{min} , T _{max} , Sun, Dew	$T = 0.0693 * T_{min} - 0.0062 * T_{max} + 0.7768 * Sun - 0.0378 * Dew - 0.1682$
LM num: 8	T _{min} , T _{max} , Sun, Dew	$T = 0.0091 * T_{min} - 0.0062 * T_{max} + 0.0655 * Sun - 0.0378 * Dew - 0.9051$
LM num: 9	T _{mean} , T _{max} , Sun, Dew	$T = -0.0062 * T_{max} + 0.3599 * T_{mean} + 0.0976 * Sun - 0.0378 * Dew - 0.5588$
LM num: 10	T _{mean} , T _{max} , Sun, Dew	$T = -0.0062 * T_{max} + 0.1875 * T_{mean} + 0.0976 * Sun - 0.0378 * Dew - 0.7003$
LM num: 11	T _{max} , Sun, Dew	$T = -0.0062 * T_{max} + 0.1081 * Sun - 0.0947 * Dew - 0.8798$
LM num: 12	T _{max} , Sun, Dew	$T = -0.0108 * T_{max} + 0.0369 * Sun - 0.0295 * Dew - 0.9476$

هارگریوز-سامانی دارد. در مقایسه با تحقیق (Sameti et al. (2013) در این تحقیق مقدار ضریب همبستگی (0.717) با استفاده از داده‌های تشت تبخیر برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع نسبت به تحقیق انجام شده توسط (Sameti et al. (2013) با استفاده از مدل M₅ کمتر بود اما ریشه متوسط مربع خطا و میانگین مطلق خطا به ترتیب برابر 0.1088 و 0.0387 در این تحقیق در مقایسه با تحقیق (Sameti et al. (2013) نیز کمتر بود که حاکی از بیشتر بودن دقت مدل در برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های تشت تبخیر نسبت به معادلات تجربی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت مدل درخت تصمیم M₅ در برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های تشت تبخیر با خطای کمتری مواجه می‌شود و در برآورد مقدار تبخیر و تعرق را با استفاده از معادلات با خطای بیشتری مقدار تبخیر و تعرق را

مطابق جدول ۱ متغیرهای Sun، T_{max}، T_{min} را اکثر معادلات وجود دارند و دارای بیشترین تاثیر در تعیین و تقسیم‌بندی تبخیر و تعرق مرجع دارند و متغیر T_{mean} دارای کمترین تاثیر است. به لحاظ تاثیرگذاری ساعات آفتابی بر میزان تبخیر و تعرق مرجع در روش درخت تصمیم‌گیری نتیجه مشابه روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. (Sameti et al. (2013) میزان تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های شیراز و کرمانشاه را با استفاده از مدل درختی M₅ و معادلات پنمن-مانتیت و هارگریوز-سامانی با استفاده از داده‌های متغیرهای متوسط دمای هوا، ساعت آفتابی، بارش، دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی، سرعت باد و فشار بخار واقعی روزانه پیش بینی کردند. نتایج تحقیقات‌شان در ایستگاه شیراز نشان داد مدل درختی M₅ در رابطه با معادله پنمن-مانتیت عملکرد مطلوب‌تری نسبت به معادله

۵- مراجع

- Abedi Koupai J, Amiri MJ, Eslamian SS (2009) Comparison of artificial neural network and physically based models for estimating of reference evapotranspiration in greenhouse. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3(3):2528-2535 (In Persian)
- Behnia M, Akbari Valani H, Bameri M, Jabalbarez B, Eskandari Damaneh H (2017) Potential assessment of ANNs and Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems (ANFIS) for simulating soil temperature at different soil profile depths. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 6(1):416-423
- Ghatfan A, Ammar Badia Y H and Alaa A S (2017) Estimation of reference evapotranspiration based on only temperature data using artificial neural network. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences 157-162
- Hosseini SMR, Ganji Khoram Del N, Farahani AH (2016) Estimating daily evapotranspiration by M5 decision tree and artificial neural network. Journal of Applied Research of Water Sciences 3(2):35-44 (In Persian)
- Khoshnevisan B, Rafiee S, Omid M, Mousazadeh H (2014) Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. Information Processing in Agriculture 14-22
- Mohammadpur S, Rouhani H, Ghorbani Vaghei H, Seyediyan M, Fath Abadi A (2016) Modeling of sediment concentration due to elasticity of sharps using neuro-fuzzy system in semi-arid region. Iranian Natural Resources Journal Posture and Watershed Management 70(1) (In Persian)
- Mosaedi A, Ghobayi Sogh M (2011) Estimation of daily evaporation from evaporation pan using a nerve-fuzzy comparative inference system. Iran Water Investigation Journal 5(8):170-161
- Piri J, Ansari H (2012) Daily pan evaporation modelling with ANFIS and NNARX. Iran Agricultural Research Printed in the Islamic Republic of Iran Shiraz University 311(2):51-64 (In Persian)
- Sameti M, Ghahraman N, Ghorbani KH (2013) Application of M5 model for estimation of reference evapotranspiration at stations in Shiraz and Kermanshah. Journal of Water Research in Agriculture 27(3):289-298 (In Persian)
- Shabani A, Sepaskhah AR, Bahrami M, Razaghi F (2017) Neural network method and computational methods for more accurate estimation of reference

پیش‌بینی می‌کند. دلیل بالا بودن ضریب همبستگی برآورد تبخیر و تعرق در روش‌های پنمن-مانیت و هارگریوز-سامانی استخراج مقدار تبخیر و تعرق از متغیرهای مورد استفاده در معادله و تأثیر آن‌ها بر داده‌کاوی می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت برآورد تبخیر و تعرق در برنامه‌ریزی‌ها و تخصیص آب تحقیق حاضر انجام و می‌توان نتیجه گرفت در مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی نتیجه بهترین حالت از مرحله آموزش مدل نشان داد که ترکیب توابع انتقال پنهان و خروجی تانژانت هیپربولیک با ۵ گره ورودی شامل بیشینه دما، کمینه دما، میانگین دمای روزانه، میانگین دمای نقطه شبنم و ساعات آفتابی بهترین معماری می‌باشد. درخصوص تأثیرگذاری پارامترها نیز می‌توان گفت که پارامتر ساعات آفتابی بیشترین میزان اثرگذاری و پارامتر میانگین دمای نقطه شبنم کمترین میزان اثرگذاری، در هر دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی دارا بوده است. روش نروفازی با ادغام روش شبکه عصبی مصنوعی با قوانین فازی، انعطاف‌پذیری بیشتری برای تعیین وزن‌های سیناپسی انجام می‌دهد، بنابراین نتایج قابل اعتمادتری نسبت به بقیه روش‌ها تولید می‌کند. مطالعه حاضر نشان‌دهنده کارایی و توان بالای مدل تطبیقی عصبی فازی و مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع روزانه در ایستگاه مطالعاتی مذکور می‌باشد. با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی از جمله مدل‌های درختی می‌توان تبخیر و تعرق مرجع را برآورد نمود. هم‌چنین می‌توان به‌جای استفاده از متغیرهای هواشناسی متعدد از مؤثرترین آنها استفاده کرد و به همان دقت دست یافت. مدل درختی M5 نشان داد میزان ساعات آفتابی ایستگاه هواشناسی شیراز بیشترین تأثیر در برآورد میزان تبخیر و تعرق را دارد. بدلیل بروز خطای کمتر مدل درخت تصمیم در استفاده از داده‌های تشت تبخیر در مقایسه با معادلات توصیه می‌شود از داده‌های واقعی تبخیر از تشت در پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق استفاده نمود. تأثیرگذارترین پارامتر بر میزان تبخیر و تعرق مرجع در روش‌های مورد مطالعه یکسان و میزان ساعات آفتابی بود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Homes
- 2- Artificial Neural Network
- 3- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
- 4- Root Mean Square Error
- 5- Mean Average Error
- 6- Evapotranspiration

Terzi Ö (2007) Data mining approach for estimation evaporation from free water surface. *Applied Sciences* 7(4):593-596

Zorati Pur A (2016) Comparison of the efficiency of neuro-fuzz method, artificial neural network and statistical models in estimating the suspended sediment of the river (Upstream of Taleghan plain). *Journal of Rang and Watershed Management (Natural Resources of Iran)* 69(1):65-78 (In Persian)

evapotranspiration. *Iran-Water Resources Research* 13(1):152-162 (In Persian)

Sharifiyan H, Ghorbani KH (2014) Improve the estimation of potential evapotranspiration using the correction coefficient using the model M5 decision tree. *Journal of Irrigation and Drainage* 8(1):53-61 (In Persian)