

بهبود دقت روش هارگریوز در برآورد تبخیر- تعرق مرجع به کمک ضریب اصلاحی با مدل شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم M5

امید محترمی^۱، سیدمحمد رضا حسینی^۲، روح الله فتاحی^۳، تیمور سهرابی^۴

۱- گروه آبیاری و آبادانی، تهران. دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی آب، اراک. دانشگاه اراک، اراک، ایران

۳- گروه مهندسی آب، شهرکرد. دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۴- گروه آبیاری و آبادانی، تهران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

چکیده

تبخیر- تعرق یکی از مهم‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی است که مدلسازی آن در مدیریت منابع آب نقش مهمی دارد. در تحقیق حاضر امکان بهبود دقت برآورد تبخیر- تعرق روش هارگریوز به کمک ضریب اصلاحی K با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درخت تصمیم M5 مورد بررسی قرار گرفت. این ضریب برابر با نسبت تبخیر- تعرق مدل پنمن مونتیث فائو به روش هارگریوز می باشد. داده‌های مورد استفاده این تحقیق عبارت از دمای حداکثر و حداقل و رطوبت نسبی در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۴ از ایستگاه فرخشهر و فرودگاه در منطقه‌ی خشک سرد شهرکرد می باشد. شبکه طراحی شده یک شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم آموزشی لوبنبرگ- مارکوات و تابع تانژانت سیگموئید در لایه پنهان می باشد. مدل درخت تصمیم به کمک نرم افزار WEKA طراحی گردید. نتایج نشان می دهد که شبکه عصبی و مدل درخت تصمیم عملکرد خوبی در مدلسازی ضریب اصلاحی دارند، ولی عملکرد مدل شبکه عصبی دقیق تر است. نتایج نشان داد که قبل از استفاده از ضریب اصلاحی دقت مدل هارگریوز $RMSE=0.90$ (ریشه میانگین مربعات خطا) نسبت به روش پنمن مونتیث فائو بود که این مقدار بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی به $RMSE=0.69$ و با از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک درخت تصمیم به $RMSE=0.72$ رسید. به طور کلی نتایج نشان داد که بعد از استفاده از ضریب اصلاحی عملکرد مدل هارگریوز بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، شبکه عصبی مصنوعی، داده کاوی، مدل درختی M5.

مقدمه

تعرق به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می شوند. در روش مستقیم، بخش کوچکی از مزرعه را جدا کرده و مقدار تبخیر- تعرق در یک دوره زمانی، مستقیماً اندازه گیری می شود. معمول ترین روش مستقیم، تعیین تبخیر- تعرق با استفاده از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک، لایسیمتر، می باشد. در روش های غیرمستقیم از عوامل اقلیمی و گیاهی استفاده شده

برآورد دقیق تبخیر- تعرق به دلیل اهمیت بالا در مدلسازی هیدرولوژیکی، برنامه ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب توجه دانشمندان و محققان را به خود جلب کرده است. تبخیر- تعرق ترکیبی شامل سه بخش تبخیر از سطح آزاد آب، تعرق از برگ گیاهان و تصعید بخ و برف است (پنمن ۱۹۴۸). روش های برآورد تبخیر-

به برآورد تبخیر و تعرق مرجع و به ارائه ضریب اصلاحی پرداختند. آن‌ها با استفاده از داده‌های لایسیمتری برداشت شده در دوره شش ماهه اردیبهشت تا شهریور سال ۱۳۸۴ در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی مشهد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده با روش های فائو پنمن - مانیتث و تشت تبخیر و هم چنین اعمال ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه مورد ارزیابی قرار دادند و روابط اصلاحی هر روش را ارائه دادند شریفیان و همکاران (۱۳۹۱) به ارائه ضریب اصلاحی برای روش هارگریوز سامانی به منظور برآورد تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه سینوپتیک گرگان پرداختند. ضریب اصلاحی به صورت معادله ای که تابعی از پارامترهای اقلیمی موجود در ایستگاه تبخیرسنجی تعریف گردید. نتایج نشان داد در بین معادلات، معادله‌ای که در برگیرنده‌ی دمای حداکثر، دمای متوسط، رطوبت نسبی حداکثر، حداقل و متوسط روزانه است از جهت بررسی های آماری در اولویت قرار دارد. این معادله توانست تبخیر و تعرق سالانه را که توسط روش هارگریوز ۱۱۶۵ بوده به ۹۲۵ میلی متر کاهش دهد که در مقایسه با روش پنمن مونتیث فائو که ۸۵۳ میلی متر بوده خطای کمتری نشان می‌دهد. شریفیان و قربانی (۱۳۹۳) به بهبود برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب اصلاحی به کمک مدل درخت تصمیم و شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرداختند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای هوا، رطوبت نسبی و دمای نقطه‌ی شبنم بودند. ضریب اصلاحی نسبت بین مقادیر بدست‌آمده از روش پنمن مونتیث فائو و هارگریوز به عنوان خروجی مدل‌ها استفاده گردید. با ضرب مقادیر روش هارگریوز در ضریب برآورد شده توسط مدل‌ها مشخص گردید که عملکرد مدل درختی از شبکه عصبی مصنوعی دقیق‌تر است. از آنجا که بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی فاقد پارامترهای مورد نیاز برای برآورد تبخیر و تعرق با مدل

است و از روی آنها و ارتباط آنها با تبخیر- تعرق و یا از معادلاتی که قبلا از روش های مستقیم واسنجی شده اند، تبخیر- تعرق پوشش گیاهی موردنظر تخمین زده می شود (علیزاده و همکاران ۱۳۸۳) اندازه گیری تبخیر- تعرق به روش مستقیم هزینه بر است و محدود به زمان و مکان می باشد. لذا برآورد تبخیر- تعرق به کمک متغیرهای آب و هوایی فراگیرتر از اندازه گیری مستقیم آن می باشد (لدلانی و همکاران ۲۰۱۲). در طی سالهای گذشته روابط بسیار زیادی برای محاسبه تبخیر - تعرق از طریق روش‌های غیرمستقیم توسط دانشمندان ارائه شده است. این روابط وابسته به عوامل مختلف اقلیمی بوده و به صورت تجربی بدست آمده اند. بنابراین، به دلیل وجود اقلیم های مختلف در سراسر جهان انتخاب یک روش مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق که در همه مناطق قابل کاربرد باشد، کار دشواری است. معادله پنمن مونتیث فائو نسبت به معادله های تجربی این برتری را دارد که هر دو مکانیسم انرژی آیرودینامیک در پدیده تبخیر در نظر گرفته شده است، لذا ارائه یک روش برای حل این معادله بدون حذف مکانیسم های فوق که داده‌های کمتری برای اندازه گیری لازم داشته باشد، راهکار مناسب برای توسعه ایستگاه های هواشناسی با هزینه کم برای مناطق کشاورزی کشور است (رحیمی خوب ۱۳۸۵). امروزه مدل های هوشمند در علوم مختلف کاربرد فراوانی دارند. در زمینه مطالعات هیدرولوژی و تبخیر و تعرق از این روش ها بهره گیری شده است. شایان نژاد (۱۳۸۵) به تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل به کمک شبکه های عصبی مصنوعی و روش استاندارد پنمن مونتیث فائو پرداختند. برای مقایسه دقت این روش ها از داده های لایسیمتری استفاده شد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی دقت بیشتری نسبت به روش استاندارد فائو نسبت به داده های لایسیمتری دارند. موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۸) به کمک حداقل داده‌های هواشناسی

و ۲۲ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۲۳ درجه و ۲۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهر با ارتفاع ۲۰۵۰ تا ۲۳۱۰ متر از سطح دریا مرتفع ترین شهر ایران است. میانگین سالانه دما در این شهر ۱۱/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد. سردترین و گرمترین ماه‌های آن به ترتیب دی و مرداد می‌باشد. در طول ۳۰ سال گذشته حداقل مطلق دما و حداکثر مطلق آن به ترتیب در شهرکرد به ۳۲ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و ۴۲ درجه سانتی‌گراد بالای صفر رسیده است. مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در (جدول ۱) آمده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از ایستگاه هواشناسی فرخ‌شهر و فرودگاه شامل دمای حداقل و حداکثر و رطوبت نسبی میانگین در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۴ می‌باشند.

پنمن مونتیث باشند و مدل هارگریوز برای برآورد تبخیر و تعرق فقط به داده‌های دمای هوا نیاز دارد و استفاده‌ی آن در ایستگاه‌های فاقد آمار متداول می‌باشد. بنابراین، هدف از انجام این تحقیق پیشنهاد و بررسی یک ضرب اصلاحی بر اساس نسبت پنمن مونتیث به هارگریوز - سامانی می‌باشد که این مهم براساس پارامترهای هواشناسی به کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درخت تصمیم M5 مدل می‌شود و تاثیر این ضرب اصلاحی بر روش هارگریوز بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

شهرکرد یکی از شهرهای مرکزی ایران و مرکز شهرستان شهرکرد و استان چهارمحال و بختیاری است. شهرکرد طبق نمایه‌ی آمبرژه دارای آب و هوای خشک سرد است. این شهر بین ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه

جدول ۱- ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
فرخ‌شهر	۲۰۷۳	۵۰/۹۳	۳۲/۳۰
فرودگاه شهرکرد	۲۰۵۰	۵۰/۸۴	۳۲/۲۹

مدل‌های مورد استفاده

مدل پنمن مونتیث فائو

این مدل یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین ET_0 است که مورد استفاده متخصصان قرار می‌گیرد. در روش مذکور، گیاه مرجع، چمن با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر است و ضریب بازتاب تابش آن ۲۳ درصد است. این معادله به عنوان معادله مرجع تبخیر و تعرق شناخته شده و سایر روش‌ها نسبت به این روش کالیبره می‌شوند. مدل این روش به صورت رابطه (۱) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۳).

[۱]

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[\frac{900}{(T+273)} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

در این رابطه، ET_0 تبخیر و تعرق روزانه در واحد (mm/day) ، R_n تابش خورشیدی روزانه رسیده به سطح گیاه $(Mjm^{-2}d^{-1})$ ، G شار گرما به داخل خاک $(Mjm^{-2}d^{-1})$ ، γ ثابت سایکرومتری $(kpac^{-1})$ ، T میانگین دمای روزانه (C^0) ، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s) ، e_a فشار بخار اشباع (kpa) ، e_d فشار بخار واقعی (kpa) و Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع $(kpac^{-1})$ می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

مدل هارگریوز^۱

این روش بر پایه دمای حداکثر و حداقل می‌باشد و می‌تواند تبخیر و تعرق را ماهانه، هفتگی، ده روزه و یا ۲۴ ساعته محاسبه کند و به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (هارگریوز و همکاران ۱۹۸۵).

[۲]

$$ET_0 = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot R_a$$

در این رابطه، R_a تابش برون زمینی بر حسب $(Mj m^{-2} d^{-1})$ می‌باشد.

ضریب اصلاحی

ضریب اصلاحی نسبت تبخیر- تعرق محاسبه شده به کمک مدل پنمن مونتیث فائو به مدل هارگریوز می‌باشد.

$$k = \frac{ET_{PMF}}{ET_{HG}} \quad [۳]$$

با در نظر گرفتن مقادیر K به عنوان متغیر وابسته و پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی میانگین و تفاضل دمای حداقل و حداکثر اقدام به مدل سازی ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی مصنوعی گردید.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی با الهام از شبکه عصبی بیولوژیکی از تعداد زیادی سیستم‌های موازی با عناصر پردازنده فراوان تشکیل شده‌اند. شبکه شامل شده است از لایه‌هایی که هر یک از لایه‌ها را عناصر پردازنده ای به نام نورون در بر گرفته‌اند. هر لایه به صورت کامل با لایه‌های دیگر با استفاده ارتباطات داخلی ارتباط دارد. در بین خواص شبکه‌های عصبی تقریب زنی توابع،

ساختار موازی، قدرت یادگیری و تعمیم از اهمیت خاصی برخوردار است. معماری شبکه‌های عصبی به دو دسته کلی تقسیم می‌شود. شبکه‌های پیشخور و شبکه‌های پسخور. در شبکه‌های پیشخور حلقه بازخورد وجود ندارد که معروفترین آنها شبکه‌های پرسپترون چند لایه است. در شبکه‌های پسخور حلقه بازخورد وجود دارد که معروفترین آنها شبکه‌های هاپفیلد می‌باشد (منهاج ۱۳۸۱). در این تحقیق از یک شبکه پرسپترون چند لایه استفاده شده‌است. این شبکه‌ها رایج ترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها جزء شبکه‌های پیشخور می‌باشد که قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه‌ها و نرون‌ها، یک نگاشت غیرخطی را با دقت دلخواه انجام دهند. پارامترهای قابل تنظیم در این شبکه‌ها وزن اتصال ما بین لایه‌هاست و فرآیند آموزش در این شبکه‌ها به معنای یافتن مقادیر مناسب برای وزن‌های اتصالات ما بین نرون‌ها می‌باشد (دهقانی و همکاران ۱۳۸۹).

مدل درختی M5

مدل درختی M5 توسط کوین لان^۲ (۱۹۹۲) ارائه شد. از مزایای مدل درختی M5 این است قابل فهم تر بوده و روند آموزش به مدل بسیار ساده است و نیازی به آزمون و خطا ندارد. همچنین در مواجهه با داده‌های گمشده بسیار قدرتمند و قوی عمل کرده، و بر روی داده‌ها و نمونه‌های بزرگ و دارای ابعاد زیاد نیز قابلیت عملکرد مناسبی دارد. مدل درختی M5 یک درخت تصمیم دودویی^۳ است که در هر گره پایانی روابط رگرسیونی خطی دارد که می‌تواند مقادیر عددی را پیش‌بینی کند. تولید مدل درختی در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول شامل تعیین مناسب‌ترین پارامتر ورودی برای انشعاب و نیز معیار تقسیم برای تولید یک درخت تصمیم است. انتخاب پارامتر تقسیم مناسب و

1- Hargreaves
2- Quinlan
3- Binary

معیارهای ارزیابی عملکرد

به منظور ارزیابی مدل‌ها، شاخص‌های آماری زیر مطابق روابط (۵) و (۶) محاسبه گردیدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{n}} \quad [۵]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)}{N} \quad [۶]$$

در این رابطه‌ها

O_i : تبخیر و تعرق به روش پنمن مونتیث فائو

P_i : تبخیر و تعرق محاسبه شده به هر روش

MAE: میانگین مطلق خطا^۲ که هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی انحراف کمتر و دقت بالاتر مدل می‌باشد.

RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا^۳ که هر چه این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی خطای کمتر و دقت بالای مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

برای طراحی شبکه عصبی از آنجایی که هر کدام از پارامترها تقسیم‌بندی‌های مربوط به خودشان را دارند، بنابراین برای یکسان کردن دامنه تغییرات آن‌ها عمل نرمال سازی داده‌ها صورت می‌گیرد تا از کوچک شدن بیش از حد وزن‌های شبکه جلوگیری شود (کیسی و همکاران ۲۰۰۸). برای همین منظور با استفاده از رابطه-ی (۷) اقدام به نرمالیز سازی داده‌ها گردید (رحیمی خوب و همکاران ۲۰۰۸)

$$\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} = x_n \quad [۷]$$

x_n : مقدار نرمالیز شده

x : مقدار هر متغیر ورودی

x_{min} : منییم داده‌ی ورودی

x_{max} : ماکزیمم داده‌ی ورودی

ایجاد نقطه انشعاب در درخت از اهمیت خاصی برخوردار است. روش‌های زیادی برای انتخاب نقطه شکست وجود دارد. هر گره بر اساس شباهت بین اعضای آن، به دو زیرگره تفکیک می‌شود. معیار تقسیم برای الگوریتم مدل درختی M5 بر مبنای در نظر گرفتن انحراف معیار مقادیر دسته‌ی منتهی به هر گره به عنوان میزان خطا در آن گره، و محاسبه کاهش مورد انتظار^۱ در این خطا به عنوان نتیجه آزمون هر صفت در آن گره می‌باشد. کاهش انحراف معیار از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

[۴]

$$SDR = sd(t) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i)$$

که در آن، T دسته‌ای از نمونه‌ها که به گره می‌رسند؛ T_i زیرمجموعه نمونه‌هایی که آمین خروجی از دسته پتانسیل را دارد و Sd انحراف از معیار است. فرآیند انشعاب در هر گره بارها و بارها تکرار می‌شود تا به گره پایانی برسد که مجذور انحراف از میانگین داده‌ها تقریباً به صفر می‌رسد. با این کار درخت بزرگی توسعه می‌یابد. کار با این درخت بزرگ که شاخه‌ها و گره‌های زیادی دارد ساده نخواهد بود. بنابراین برای رسیدن به یک درخت بهینه و کارآمد باید شاخه‌های اضافی درخت هرس شوند. این کار از طریق جایگزینی یک برگ به جای یک شاخه صورت می‌گیرد. بنابراین دومین مرحله در طراحی مدل، هرس کردن درخت بیش از حد رشد کرده، و جایگزینی روابط رگرسیونی خطی به‌جای شاخه‌ها خواهد بود. این تکنیک تولید مدل درختی، فضای پارامترهای ورودی را به زیرحوزه‌هایی تقسیم نموده و برای هر کدام از آن‌ها یک رابطه خطی ارائه می‌کند. جزئیات بیشتر از مدل درختی M5 را می‌توان از کوین لان (۱۹۹۲) بدست آورد.

1- Expected reduction
2- Mean Absolute Error
3- Root Mean Square of Error

داده‌های ورودی به مدل عبارت از دمای حداکثر و دمای حداقل و رطوبت نسبی میانگین بودند. ضریب اصلاحی که عبارت بود از نسبت تبخیر و تعرق روش پنمن مونتیث فائو به روش هارگریوز به عنوان خروجی مدل‌ها در نظر گرفته شد. داده‌ها به دو گروه ۷۵ درصد آموزش^۱ و اعتبار^۲ و ۲۵ درصد تست^۳ تقسیم شدند. در این تحقیق از شبکه‌های پرسپترون چند لایه استفاده گردیده است. بهینه سازی لایه پنهان به روش سعی و خطا انجام گردید (جاین و همکاران ۲۰۰۸). نرون‌های مختلفی در این لایه مورد آزمون قرار گرفتند. افزایش نرون‌ها اثر چشمگیری بر کاهش خطای شبکه نداشت. از قاعده‌ی آموزش لونبرگ-مارکوات^۴ به دلیل سرعت همگرایی بالا در این تحقیق استفاده شد (صیادی و همکاران ۱۳۸۸). متداول‌ترین توابع فعال^۵ توابع سیگنوییدی و خطی می‌باشند (منهاج ۱۳۸۱). در این تحقیق تابع تانژانت سیگموئید^۶ در لایه پنهان و تابع خطی در لایه خروجی استفاده شده است. تمام این مراحل به کمک کد نویسی در نرم‌افزار

داده‌های ورودی به مدل عبارت از دمای حداکثر و دمای حداقل و رطوبت نسبی میانگین بودند. ضریب اصلاحی که عبارت بود از نسبت تبخیر و تعرق روش پنمن مونتیث فائو به روش هارگریوز به عنوان خروجی مدل‌ها در نظر گرفته شد. داده‌ها به دو گروه ۷۵ درصد آموزش^۱ و اعتبار^۲ و ۲۵ درصد تست^۳ تقسیم شدند. در این تحقیق از شبکه‌های پرسپترون چند لایه استفاده گردیده است. بهینه سازی لایه پنهان به روش سعی و خطا انجام گردید (جاین و همکاران ۲۰۰۸). نرون‌های مختلفی در این لایه مورد آزمون قرار گرفتند. افزایش نرون‌ها اثر چشمگیری بر کاهش خطای شبکه نداشت. از قاعده‌ی آموزش لونبرگ-مارکوات^۴ به دلیل سرعت همگرایی بالا در این تحقیق استفاده شد (صیادی و همکاران ۱۳۸۸). متداول‌ترین توابع فعال^۵ توابع سیگنوییدی و خطی می‌باشند (منهاج ۱۳۸۱). در این تحقیق تابع تانژانت سیگموئید^۶ در لایه پنهان و تابع خطی در لایه خروجی استفاده شده است. تمام این مراحل به کمک کد نویسی در نرم‌افزار

طراحی مدل درخت تصمیم M5

برای اجرای الگوریتم‌های داده‌کاوی داده‌های ورودی و خروجی وارد نرم افزار وکا^۷ گردید. ابزار وکا نرم‌افزاری است که قابلیت دسترسی به متن آن وجود دارد و توسط دانشگاه Waikato در کشور نیوزلند ارائه شده است. از ویژگی‌های بارز این نرم افزار می‌توان به پوشش تقریباً کامل الگوریتم‌های داده‌کاوی در آن اشاره کرد. ضریب اصلاحی که عبارت بود از نسبت تبخیر و تعرق روش پنمن مونتیث فائو به روش هارگریوز به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد و متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی میانگین به عنوان ورودی مدل استفاده گردید. داده‌ها به دو قسمت ۷۵ درصد آموزش و اعتبارسنجی و ۲۵ درصد تست تقسیم شدند. در همه سناریوها ۶۶ درصد داده‌ها به آموزش اختصاص یافت. آنالیز آماری مدل درخت تصمیم در (جدول ۳) ارائه شده است.

جدول ۲- آنالیز آماری برآورد ضریب اصلاحی به کمک مدل شبکه عصبی

MAE		RMSE		ایستگاه
تست	آموزش	تست	آموزش	
۰,۱۵	۰,۱۵۸۲	۰,۱۹	۰,۲۸۲۸	فرخشهر
۰,۱۴۸۹	۰,۱۵۹۰	۰,۲۱۹۱	۰,۳۶۸۴	فرودگاه شهرکرد

نتایج حاصل از مدل درختی M5 برای ایستگاه فرخشهر به قرار زیر است.

- 1- Training
- 2- Validation
- 3- Testing
- 4- Levenberg-Marquardt
- 5- Active function
- 6- Tansig
- 7- Waikato Environment for knowledge Analysis (Weka)

$T_{max} \leq 10.5 :$

| $T_{min} \leq -10.7 :$

| | $T_{max} \leq -4.2 :$

| | | $T_{max} \leq -6.9 : LM1 (6/233.815\%)$

| | | $T_{max} > -6.9 :$

| | | | $T_{min} \leq -23.6 : LM2 (7/46.929\%)$

| | | | $T_{min} > -23.6 : LM3 (11/27.445\%)$

| | $T_{max} > -4.2 : LM4 (93/36.202\%)$

| $T_{min} > -10.7 :$

| | $RH \leq 57.833 :$

| | | $Td \leq 11.3 : LM5 (76/67.378\%)$

| | | $Td > 11.3 : LM6 (94/47.906\%)$

| | $RH > 57.833 : LM7 (288/41.129\%)$

$T_{max} > 10.5 :$

| $Td \leq 14.905 :$

| | $RH \leq 57.5 : LM8 (318/57.435\%)$

| | $RH > 57.5 : LM9 (163/41.31\%)$

| $Td > 14.905 :$

| | $Td \leq 19.1 : LM10 (771/43.886\%)$

| | $Td > 19.1 : LM11 (913/39.924\%)$

LM num: 1

$$k = 0.8726 * T_{max} - 0.1692 * T_{min} - 0.003 * Td - 0.0024 * RH + 6.4659$$

LM num: 2

$$k = -0.0099 * T_{max} - 0.1961 * T_{min} - 0.003 * Td - 0.0024 * RH - 1.8159$$

LM num: 3

$$k = -0.0345 * Tmax - 0.169 * Tmin - 0.003 * Td - 0.0024 * RH - 1.3557$$

LM num: 4

$$k = -0.0416 * Tmax - 0.0361 * Tmin - 0.003 * Td - 0.0086 * RH + 1.2853$$

LM num: 5

$$k = -0.0043 * Tmax - 0.1375 * Td - 0.0276 * RH + 4.2098$$

LM num: 6

$$k = -0.0043 * Tmax - 0.0534 * Td - 0.017 * RH + 2.7635$$

LM num: 7

$$k = -0.0161 * Tmax - 0.0432 * Td - 0.0172 * RH + 2.8059$$

LM num: 8

$$k = -0.0191 * Tmax - 0.0898 * Td - 0.0191 * RH + 3.5677$$

LM num: 9

$$k = -0.0208 * Tmax - 0.0398 * Td - 0.0192 * RH + 2.9988$$

LM num: 10

$$k = -0.0123 * Tmax - 0.0302 * Td - 0.013 * RH + 2.3225$$

LM num: 11

$$k = -0.0037 * Tmax - 0.0381 * Td - 0.0058 * RH + 1.991$$

و بر اساس مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، معیارهای ارزیابی خطا شامل ریشه میانگین مربعات خطا میانگین خطای مطلق که بزرگی خطا را نشان می دهند محاسبه شدند آنالیز آماری برآورد ضریب اصلاحی به کمک مدل درختی M5 در جدول (۳) بیان گردیده است.

الگوی درختی مربوط به ایستگاه فرخ شهر یک الگوی درختی دوانشعابی است که ابتدا بر اساس دمای ماکزیمم داده ها به دو دسته تقسیم می شوند، سپس برای هر دسته دیگر انشعابات دودوئی انجام می شود. بعد از ساخت مدل درختی برای هر ایستگاه، بر اساس معادلات مربوطه و با استفاده از داده های آموزش و آزمون، مقادیر پیش بینی شده توسط مدل محاسبه شد

جدول ۳- آنالیز آماری برآورد ضریب اصلاحی به کمک مدل درخت تصمیم M5

MAE	RMSE	ایستگاه
۰,۱۵۳۶	۰,۲	فرخ شهر
۰,۱۴۴۹	۰,۲۱۲۳	فرودگاه شهرکرد

حال به بررسی تأثیر ضریب اصلاحی در تخمین تبخیر و تعرق با روش هارگریوز می‌پردازیم. عملکرد مدل هارگریوز قبل و بعد از استفاده از ضریب اصلاحی در جدول (۳) بیان گردیده است.

همانطور که از جداول (۲ و ۳) مشخص می‌باشد شبکه عصبی و مدل درختی عملکرد مطلوبی در مدسازی ضریب اصلاحی در هر دو ایستگاه مورد بررسی داشتند. عملکرد شبکه‌ی عصبی دقیق‌تر از مدل درختی M5 می‌باشد.

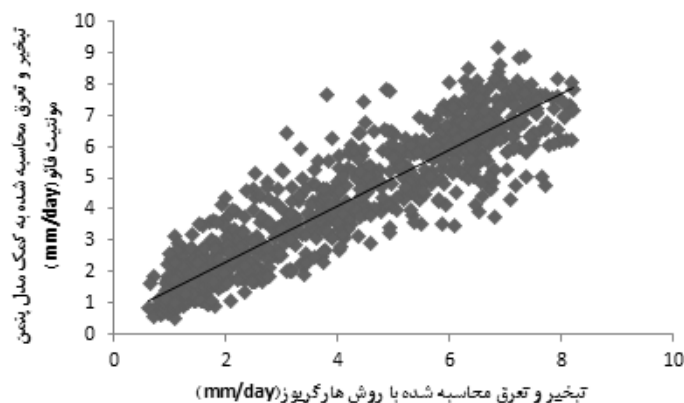
جدول ۴- عملکرد مدل هارگریوز قبل و بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی مصنوعی

ایستگاه	مدل هارگریوز	RMSE	R^2
فرخ شهر	قبل از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۹۰۹	۰٫۸۳۶
	بعد از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۹۶	۰٫۹۰۱۸
فرودگاه	قبل از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۸۸۵۲	۰٫۸۵۵۸
	بعد از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۶۵۴	۰٫۹۱۵۳

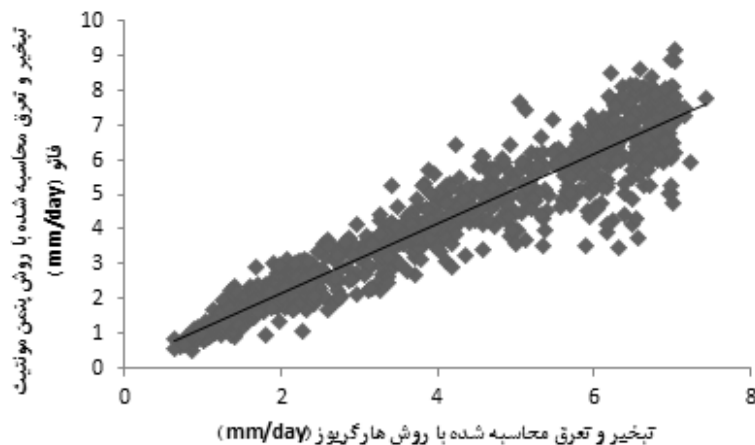
جدول ۵- عملکرد مدل هارگریوز قبل و بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک درخت تصمیم M5

ایستگاه	مدل هارگریوز	RMSE	R^2
فرخ شهر	قبل از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۹۰۹	۰٫۸۳۶
	بعد از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۷۱	۰٫۹۰
فرودگاه	قبل از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۸۸۵۲	۰٫۸۵۵۸
	بعد از استفاده از ضریب اصلاحی	۰٫۷۶	۰٫۸۹

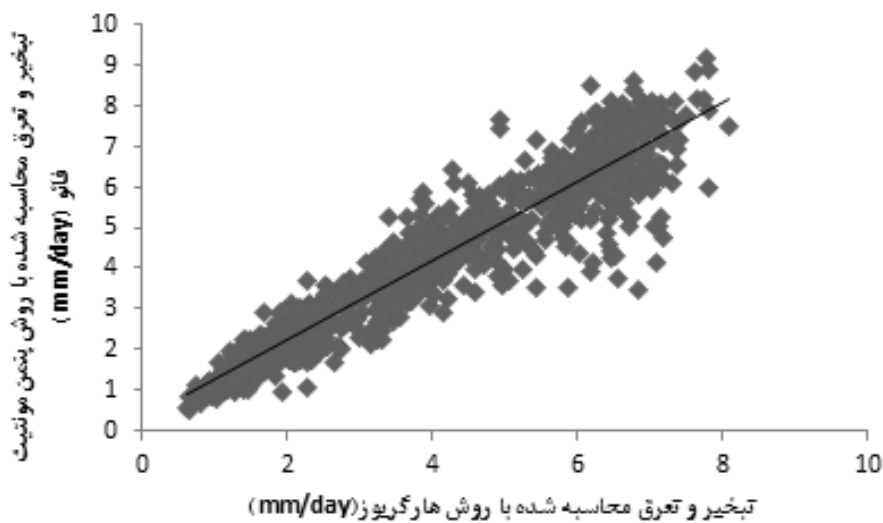
تأثیر ضریب اصلاحی در برآورد تبخیر و تعرق با روش هارگریوز در شکل‌های (۲، ۳ و ۴) نشان داده شده است.



شکل ۱- پراکنش تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش هارگریوز و روش پنمن مونتیت فائو قبل از استفاده از ضریب اصلاحی (ایستگاه فرخ شهر)



شکل ۲- پراکنش تبخیر و تعرق محاسبه شده روش هارگریوز و روش پنمن مونتیث فائو بعد از استفاده از ضریب اصلاحی با شبکه عصبی (ایستگاه فرخ شهر)



شکل ۳- پراکنش تبخیر و تعرق محاسبه شده روش هارگریوز و روش پنمن مونتیث فائو بعد از استفاده از ضریب اصلاحی با درخت تصمیم M5 (ایستگاه فرخ شهر)

مربعات خطا) نسبت به روش پنمن مونتیث فائو بود که این مقدار بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی به $RMSE=0.69$ و با استفاده از ضریب اصلاحی به کمک درخت تصمیم به $RMSE=0.72$ رسید. همچنین قبل از استفاده از

همانطور که از جدول (۴ و ۵) و شکل‌های (۱ و ۲) و (۳) مشخص گردید ضریب اصلاحی عملکرد مدل هارگریوز را فوق العاده بهبود بخشید. نتایج نشان داد که قبل از استفاده از ضریب اصلاحی دقت مدل هارگریوز در ایستگاه فرخ شهر $RMSE=0.90$ (ریشه میانگین

استفاده از ضریب اصلاحی به کمک درخت تصمیم به $RMSE=0.76$ رسید. به طور کلی نتایج نشان داد که بعد از استفاده از ضریب اصلاحی عملکرد مدل هارگریوز به طور قابل توجهی بهبود یافت.

ضریب اصلاحی دقت مدل هارگریوز در ایستگاه فرودگاه $RMSE=0.88$ نسبت به روش پنمن مونتیث فائو بود که این مقدار بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی به $RMSE=0.65$ و با از

نتیجه گیری

باعث افزایش دقت مدل هارگریوز می گردد نتایج نشان داد که قبل از استفاده از ضریب اصلاحی دقت مدل هارگریوز $RMSE=0.90$ (ریشه میانگین مربعات خطا) نسبت به روش پنمن مونتیث فائو بود که این مقدار بعد از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک شبکه عصبی به $RMSE=0.69$ و با از استفاده از ضریب اصلاحی به کمک درخت تصمیم به $RMSE=0.72$ رسید. به طور کلی نتایج نشان می دهد که شبکه عصبی و مدل درخت تصمیم عملکرد خوبی در مدلسازی ضریب اصلاحی دارند، ولی عملکرد مدل شبکه عصبی دقیق تر است.

مدل هارگریوز در محاسبه تبخیر-تعرق فقط به داده های دمای حداکثر و حداقل نیاز دارد که عموماً در اکثر ایستگاه های هواشناسی موجود می باشند. در این تحقیق به کمک ضریب اصلاحی K که نسبت تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش پنمن مونتیث فائو به روش هارگریوز سامانی می باشد سعی در افزایش دقت روش هارگریوز گردید. برای این منظور از داده های روزانه دو ایستگاه فرخ شهر و فرودگاه شهرکرد در بازه ی زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۴ شامل دمای حداقل، دمای حداکثر و رطوبت نسبی متوسط استفاده گردید. شبکه عصبی و مدل درختی عملکرد مطلوبی در مدلسازی ضریب اصلاحی در هر دو ایستگاه مورد بررسی داشتند. نتایج نشان داد که هر دو مدل شبکه عصبی و مدل درختی M5 عملکرد مطلوبی در برآورد ضریب اصلاحی دارند با این تفاوت که دقت مدل شبکه عصبی بیشتر است ولی مدل درختی روابط ساده، خطی و قابل فهم تری را ارائه می کند. همچنین مشخص گردید ضریب اصلاحی

تشکر و قدردانی

در پایان این تحقیق از مدیریت محترم اداره ی کل هواشناسی استان چهار محال و بختیاری به خاطر در اختیار گذاشتن داده های این تحقیق صمیمانه تشکر می گردد.

منابع

- ۱- دهقانی ا، پیری م، حسام م و دهقانی ن، ۱۳۸۹. تخمین تبخیر روزانه از تشت تبخیر با استفاده از سه شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، تابع پایه شعاعی و المانی. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۲، ص ۴۹-۶۷.
- ۲- رحیمی خوب ح، ۱۳۸۵. بررسی استفاده از کمینه داده های هواشناسی در معادله پنمن مانتیث (مطالعه موردی استان خوزستان). اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- ۳- شایان نژاد م، ۱۳۸۵. مقایسه دقت روش های شبکه های عصبی مصنوعی و پنمن-مانتیس در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

- ۴- شریفیان ح ، دهقانی ا و کریمی راد ا ، ۱۳۹۱. ارائه ضریب اصلاحی برای روش هارگریوز- سامانی به منظور برآورد تبخیر - تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی : ایستگاه سینوپتیک گرگان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد نوزدهم، شماره سوم، ص ۲۳۶-۲۲۹.
- ۵- شریفیان ح و قربانی خ ، ۱۳۹۳. بهبود برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ضریب اصلاحی به کمک مدل درخت تصمیم M5. نشریه‌ی آبیاری و زهکشی، شماره ۱، جلد ۸، (۱۳۹۳) ۵۳-۶۱.
- ۶- صیادی ح ، اولاد غفاری ا ، فعالیان ا و صدرالدینی ع ، ۱۳۸۸. مقایسه‌ی برآورد شبکه‌های MLP و RBF در برآورد تبخیر و تعرق مرجع. مجله‌ی دانش آب و خاک، جلد ۱۹، شماره‌ی ۱، ص ۱۲-۱.
- ۷- علیزاده ا ، ۱۳۸۳. رابطه‌ی آب و خاک و گیاه. مشهد، دانشگاه امام رضا ، ویرایش ۳.
- ۸- موسوی بایگی م ، عرفانیان م و سرمد م ، ۱۳۸۱. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی : استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 23 ، شماره یک ، ص ۹۹-۹۱.
- ۹- منهای م ، ۱۳۸۱. مبانی شبکه‌های عصبی و هوش محاسباتی. جلد اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
- 10- Allen R , L.S.Pereira D, Rae s and Smith M ,1998. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- 11- Jain SK , Nayak PC and Sudhir KP ,2008 . Models for estimating evapotranspiration using artificial neural networks, and their physical interpretation. Hydrol Process 22(13):2225-2234.
- 12- Hargreaves G.H and Samani Z.A , 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.
- 13- Kisi O , 2008 . River flow forecasting and estimation using different artificial neural network techniques, Hydrol. Res , 39: 1, 27-40.
- 14- Ladlani I , Houichi L, Djemili L , Heddami S and Belouze K , 2012 . Modeling daily reference evapotranspiration (ET0) in the north of Algeria using generalized regression neural networks (GRNN) and radial basis function neural networks(RBFNN): a comparative study. Meteorol, Atmos , Phys , 118, 163-178.
- 15- Penman H.L , 1948 . Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc.R. Soc. London, Ser. A Math. Phys. Sci. 193, 120-145.
- 16- Quinlan JR ,1992. Learning with continuous classes. Proceedings of the 5th Australian Joint Conference Scientific, 343-348.
- 17- Rahimi Khoob A , 2008 . Artificial neural network estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation in a semi-arid environment, Irrig. Sci. 27,35-3