

مدل سازی تلفات تبخیر از مخزن سد علویان با استفاده از مدل درختی M5 و مقایسه آن با روش های تجربی

محمد تقی ستاری^۱، وحدت احمدی فر^۲ و رسول پاشاپور خلف انصار^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۵

چکیده

تلفات تبخیر از سطح آزاد آب یکی از پارامترهای مهم در مدیریت منابع آب است. در این تحقیق از مدل درختی M5 به عنوان یکی از شیوه های داده کاوی در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب سد علویان مراغه استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد بهترین حالت مدل درختی M5 با ضریب همبستگی ۰/۸۵۱ و جذر میانگین مربعات خطا کمتر از ۱/۵۸۷ میلی متر قادر به ارائه روابط خطی جهت مدل سازی مقدار تبخیر از سطح آزاد آب می باشد. روابط ارائه شده توسط روش درختی M5 از ترکیب پارامترهای مختلف اقلیمی که در اکثر روابط تجربی توسعه داده شده نیز موجود می باشند، به عنوان ورودی مدل در سناریوهای مختلف ایجاد شده اند. همچنین میزان تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از روابط مختلف تجربی نیز برآورد شد. نتایج به دست آمده نشان داد رابطه تجربی مایر با ضریب همبستگی ۰/۸۲۰ و جذر میانگین مربعات خطا کمتر از ۱/۹۶۲ میلی متر نسبت به سایر روش های تجربی از دقت بالاتری جهت برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه برخوردار است. مقایسه روابط تجربی و روش درختی M5 نشان می دهد گرچه ضریب همبستگی هر دو روش اختلاف کمی با هم دارند اما روش درختی M5 جذر میانگین مربعات خطا کمتری نسبت به روش تجربی دارد و روابط خطی به دست آمده از روش درختی M5 ساده تر، قابل فهم تر و کاربردی تر است.

واژه های کلیدی: برآورد تبخیر، داده کاوی، رابطه تجربی مایر، مدیریت مخزن.

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۴۰۱۵۸۰۲

آدرس پست الکترونیکی: mtsattar@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۴۰۱۴۷۴۲

آدرس پست الکترونیکی: vahdatahmadifar@yahoo.com (نویسنده مسئول)

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، مراغه، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۹۱۲۸۸۵۸

آدرس پست الکترونیکی: engpasha59@yahoo.com

مقدمه

(۲۰۰۴)، رابطه‌ی بین دبی- اشل (باتاچاریا و سلمتین، ۲۰۰۵)، پیش‌بینی ضریب تشت تبخیر (دیتاکیت و چینارسری، ۲۰۱۲)، پیش‌بینی جریان رودخانه (ستاری و همکاران، ۲۰۱۳a)، مدل‌سازی تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع در آنکارا (ستاری و همکاران، ۲۰۱۳b)، پیش‌بینی تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع در بناب (ستاری و همکاران، ۱۳۹۲)، پیش‌بینی مقادیر حداکثر بارش روزانه در ایستگاه‌های اهر و جلفا (ستاری و همکاران، ۱۳۹۲) و پیش‌بینی مقادیر بارش ماهانه در ایستگاه اهر (ستاری و همکاران ۱۳۹۳) از مدل درختی M5 استفاده شده است. هدف از این تحقیق برآورد میزان تبخیر از سطح آزاد آب مخزن سد علویان با استفاده از مدل درختی M5 و مقایسه آن با روابط تجربی می‌باشد. در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد هر یک از روش‌ها نتایج حاصل از برآورد تبخیر با مقادیر مشاهداتی تبخیر از تشت مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه و داده‌های مورد استفاده

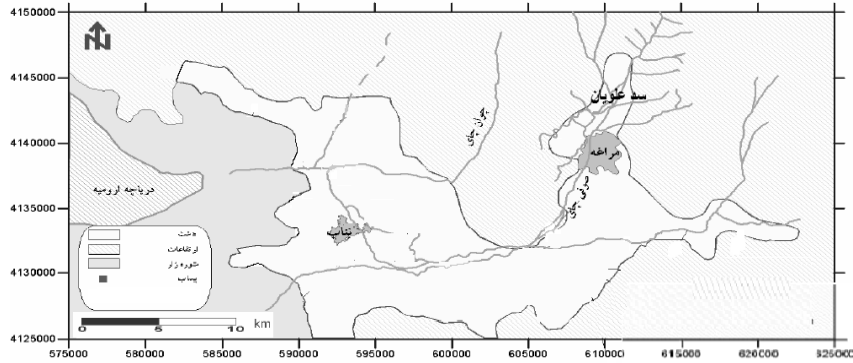
شهرستان مراغه واقع در استان آذربایجان شرقی با وسعتی معادل ۲۱۸۵/۶۵ کیلومتر مربع ۴/۸ درصد از کل مساحت استان را به خود اختصاص داده است. این شهرستان از نظر مختصات جغرافیایی در ۳۷/۰۲ الی ۳۷/۷۵ درجه شمالی و ۴۶/۱۵ الی ۴۶/۷۳ درجه شرقی قرار گرفته است. سد علویان در ۳/۵ کیلومتری شهرستان مراغه و در ۲ کیلومتری روستای علویان بر روی رودخانه صوفی‌چای واقع شده است.

در مطالعه حاضر، داده‌های اقلیمی شامل حداکثر دمای روزانه، حداقل دمای روزانه، دمای متوسط روزانه، رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ساعت آفتابی مربوط به ایستگاه تبخیر سنجی سد علویان مراغه مورد استفاده قرار گرفت. برای دخالت دادن نوسانات داده‌های اقلیمی در ماه‌های مختلف سال می‌توان از شماره ماه داده‌ها استفاده کرد (اوچی، ۲۰۰۷). جهت مدل‌سازی یک دوره ۳ ساله یعنی از سال ۱۳۸۸ تا سال ۱۳۹۰ که به‌صورت شش ماهه از فروردین تا شهریور است، مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه منطقه دارای اقلیم سرد کوهستانی می‌باشد اساساً در نیمه دوم سال تبخیر

تلفات تبخیر از سطح آزاد آب در دریاچه‌ها، مخازن آبی، سطح خاک و گیاهان یکی از فرایندهای بسیار مهم در هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. در مناطق با بارندگی کم، این تلفات سهم قابل توجهی در بیلان آب دریاچه‌ها و مخازن داشته و می‌تواند باعث افت ارتفاع سطح آب شود (پیری و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از روش‌های رایج برای محاسبه تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن آبی و همچنین اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاهان استفاده از تشت‌های تبخیر است. تشت تبخیر به‌عنوان وسیله‌ای کم هزینه به‌طور مستقیم تبخیر را اندازه می‌گیرد. نتایج حاصل از آن قابل تعمیم به تبخیر از سطوح دریاچه، مخازن و تبخیر و تعرق در کشاورزی است (ایرماک و همکاران، ۲۰۰۲). استفاده از روش تشت برای محاسبه تبخیر به خاطر عواملی همچون نبودن ایستگاه تبخیر سنجی، عدم داده برداری مرتب و صحیح مشکل است. علاوه بر روش تشت می‌توان با به‌کارگیری داده‌های هواشناسی در قالب معادلات تجربی یا معادلات با پایه نظری، میزان تبخیر را تخمین زد (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹). اکثر روابط تجربی با استفاده از قانون دالتون^۱ برای تخمین در منطقه- ای خاص توسعه داده شده‌اند و قابلیت کاربرد در مناطق مختلف را ندارند (سعادت خواه و همکاران، ۱۳۸۰). به همین دلیل وان زیل و همکاران (۱۹۸۹) گزارش کردند واسنجی روابط برآورد تبخیر در مناطق مختلف لازم است. مورتون (۱۹۸۳) گزارش کرد آمار باد عامل افزایش خطا در تخمین تبخیر است. ایکه‌بوچی و همکاران (۱۹۸۸) در برآورد تبخیر دریاچه بی‌وا در ژاپن، سن و همکاران (۱۹۹۱) برای دریاچه توبا در اندونزی روش تبادل جرم دالتون را پیشنهاد دادند. سعادت خواه و همکاران (۱۳۸۰) باد را عامل به وجود آمدن خطا در برآورد تبخیر گزارش کردند. برون و هسج (۲۰۰۷) روش تجربی مایر به دلیل سادگی و عدم نیاز به داده‌های تابش، مناسب‌ترین روش جهت بررسی روند تبخیر در کشور کانادا دانستند. مدل درختی M5 یکی از روش‌های داده‌کاوی است که برای پیش‌بینی و دسته‌بندی داده‌ها در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و در علوم مختلفی همچون علوم آب از آن استفاده شده است. در پیش‌بینی سیل (سلمتین و ژو،

موجود برآورد شد. خصوصیات آماری داده‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است.

اندازه‌گیری نمی‌گردد. با توجه به این که تبخیر از سطح آزاد آب تابعی از پارامترهای مختلف هواشناسی است، در این تحقیق ترکیب‌های مختلفی از پارامترهای هواشناسی اثرگذار در تبخیر از سطح آزاد آب به‌عنوان ورودی مدل درختی M5 تعریف شد. همچنین تبخیر از سطح آزاد آب برای منطقه مورد مطالعه با بهره‌گیری از روابط تجربی



شکل (۱): نقشه‌ی منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان

جدول (۱): مشخصات آماری پارامترهای اقلیمی ایستگاه سد علیان

پارامترهای هواشناسی	مشخصات آماری			
	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار
میانگین دما (سانتی‌گراد)	۳۴/۳	۳/۱	۲۱	۶/۷
حداقل دما (سانی‌گراد)	۲۸/۴	-۳	۱۴/۷	۶/۳
حداکثر دما (سانی‌گراد)	۴۰/۲	۵/۲	۲۷/۳	۷/۳
میانگین رطوبت نسبی (درصد)	۸۸/۱	۱۴/۱	۴۱/۲	۱۵/۴
ساعت آفتابی (ساعت)	۱۴/۱	۰	۱۰/۱	۳/۲
سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)	۱۳/۳	۱/۶	۴/۴	۱/۵
تبخیر از تشت (میلی متر)	۲۵/۲	۰	۹/۲	۴/۳

E : تبخیر از سطح آزاد آب در مخازن و یا دریاچه‌ها بر

حسب میلی‌متر بر روز

K : ضریب ثابت و بی بعدی است که برای تشت کلاس

A به‌طور متوسط ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود

ET_{pan} : تبخیر از تشت بر حسب میلی متر بر روز

(علیزاده، ۱۳۸۸).

روابط تجربی

تاکنون بیش از ۵۰ رابطه تجربی برای تعیین تبخیر و

تعرق توسط محققین مختلف ارائه شده است. از بین این

روابط فرمول‌ها و معادله‌های عملی و ساده‌ای برای تخمین

تبخیر از سطح آزاد آب ارائه شده‌اند. جدول (۲) روابط

روش تشت تبخیر

اندازه‌گیری مستقیم تبخیر توسط تشت‌های استاندارد

تبخیر صورت می‌گیرد که عبارتند از: الف) تشت کلاس A

(استاندارد آمریکایی)، ب) تشت استاندارد انگلیسی و ج)

تشت استاندارد روسی. معروف‌ترین نوع تشت که در

مطالعات هیدرولوژی در ایران کاربرد دارد از نوع تشت

تبخیر کلاس A می‌باشد. از روی آمار مربوط به کاهش

عمق آب تشت تبخیر در هر دوره زمانی می‌توان مقدار

تبخیر از سطح آب را با استفاده از رابطه زیر تخمین زد.

$$E = K \times ET_{pan} \quad (1)$$

که در آن:

$$e_s = \frac{RH_{mean}}{\left(\frac{50}{e_s(T_{max})} + \frac{50}{e_s(T_{min})} \right)} \quad (8)$$

که در آن‌ها:

$e_s(T_{max})$ و $e_s(T_{min})$: به ترتیب مقدار فشار بخار

اشباع در دمای ماکزیمم و مینیمم

e_a : معرف فشار بخار واقعی هوا

در برخی از منابع e_s فشار بخار اشباع و e_d فشار بخار

واقعی برحسب کیلو پاسکال بیان شده و با در دست داشتن

متوسط دمای روزانه و متوسط درصد رطوبت نسبی از رابطه ۹

می‌توان کمبود فشار بخار برحسب کیلو پاسکال را به‌دست آورد.

جدول (۳) روابط تجربی که تبخیر از سطح آزاد آب را

به‌صورت ماهانه محاسبه می‌کند را نشان می‌دهد.

$$e_s - e_a = \left[\exp\left(\frac{16.78T - 116.9}{T + 237.5} \right) \right] \quad (9)$$

$$(1 - RH/100)$$

جدول (۳): روابط تجربی برای محاسبه ماهانه تبخیر از سطح آزاد آب

شماره رابطه	نام رابطه	معادله رابطه
(۱۰)	ایوانف ^۵	$E = 0.0018(T + 25)^2 (100 - RH)$
(۱۱)	۶	$E = (e_s - e_a) (15 + 3U_{10})$
(۱۲)	سازمان عمران آمریکا ^۷	$E = 0.833(4.57T + 43.3)$

که در آن‌ها:

E : تبخیر از سطح آزاد آب بر حسب میلی متر در ماه

U_{10} : سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین بر

حسب متر بر ثانیه

T : میانگین دمای هوا بر حسب درجه سانتی گراد

e_a و e_s : به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار

آب در هوا بر حسب میلی متر جیوه

تجربی که تبخیر از سطح آزاد آب را به‌صورت روزانه محاسبه می‌کند را نشان می‌دهد.

جدول (۲): روابط تجربی برای محاسبه روزانه تبخیر از سطح آزاد آب

شماره رابطه	نام رابطه	معادله رابطه
(۲)	فرمول مایر ^۱	$E = (1 + \frac{U_2}{16}) . C . (e_s - e_a)$
(۳)	فرمول مارسیانو ^۲	$E = 0.03U_2(e_s - e_a)$
(۴)	فرمول شاهتین ^۳	$E = (0.116 + 0.017U_2)(e_s - e_a)$
(۵)	فرمول هفنر ^۴	$E = 0.028U_2(e_s - e_a)$

که در آن‌ها:

E : تبخیر از سطح آزاد آب بر حسب میلی‌متر بر روز

U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین بر

حسب کیلومتر بر ساعت

e_a و e_s : به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار

آب در هوا بر حسب میلی‌متر جیوه

C : ضریبی است که برای دریاچه‌های عمیق ۰/۳۶ و

برای دریاچه‌های کم عمق ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود که

در این تحقیق این ضریب ۰/۳۶ در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که در همه فرمول‌های تجربی قید شده

در بالا بر اساس کمبود فشار بخار (e_a و e_s) یا معادله

دالتون استوار می‌باشد. اگر کمبود فشار بخار در ایستگاه

هواشناسی تهیه نشده باشد می‌توان از روابط زیر جهت

محاسبه آن‌ها اقدام نمود.

$$e_s(T) = 0.601 \exp\left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right] \quad (6)$$

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2} \quad (7)$$

^۱ -Meyer

2- Marciano

3 - Shahtin

4- Hefner

^۵ - Ivanof

^۶ -Teachomiroyf

^۷ - USBR

RH: میانگین رطوبت نسبی هوا برحسب درصد. همان طور که در معادلات تجربی فوق نمایان است در تمامی روش‌های تجربی به غیر از روش سازمان عمران آمریکا از ۲ یا ۳ پارامتر برای محاسبه میزان تبخیر از سطح آزاد آب استفاده شده است. این در حالی است که در روش سازمان عمران اراضی آمریکا تنها از یک پارامتر که عبارت است از دمای متوسط هوا، استفاده شده است. وجود پارامترهای مختلف در هر روش می‌تواند معیاری برای ارزیابی اهمیت پارامترهای هواشناسی برای محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب باشد (علیزاده، ۱۳۸۸؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۸۹).

مدل درختی M5

مدل درختی M5 که توسط کوئینلن (۱۹۹۲) معرفی شد. این مدل زیر مجموعه‌ای از روش‌های یادگیری ماشینی و داده‌کاوی به فرآیند جست و جو و کشف مدل‌های گوناگون، مختصرسازی‌ها و اخذ مقادیر از مجموعه‌ای از مقادیر معلوم اطلاق می‌گردد (علیخانزاده، ۱۳۸۵). روش‌های داده‌کاوی برای مجموعه داده‌های بزرگ با متغیرهای زیاد ساخته شده‌اند، بنابراین متفاوت از روش‌های آماری قدیمی هستند که برای مجموعه داده‌های کوچک با متغیرهای اندک طراحی شده‌اند. روش‌های پر مبنای درخت یکی از تکنیک‌های داده‌کاوی است که در این روش‌ها خروجی به صورت یک مدل با سازه درختی با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی می‌باشد. الگوریتم M5 رایج‌ترین طبقه بندی استفاده شده در خانواده مدل تصمیم‌گیری درختی است. اساساً یک مدل درخت به شکل درخت تصمیم گیر با توابع رگرسیون خطی جایگزین مقادیر کلاس ترمینال در برگ‌های درخت ستانده می‌شود. مدل درختی M5 یک الگوریتم پیش‌بینی عددی است و گره‌های درخت با خواص بیشینه خطاهای مورد انتظاری که به‌عنوان تابعی از انحراف استاندارد پارامترهای خروجی می‌باشد انتخاب می‌شوند. مدل M5 یک مدل درختی برای پیش‌بینی صفات عددی پیوسته است که در آن توابع رگرسیونی خطی در برگ‌های این درخت متظاهر می‌شوند (پال، ۲۰۰۶) که در سال‌های اخیر تحول قابل توجهی در مسایل طبقه‌بندی و پیش‌بینی ایجاد نموده است. دقت پیش‌بینی مدل درختی با تکنیک‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی

شناخته شده که می‌تواند بزرگ‌تر از مدل پیش‌بینی رگرسیون خطی نظیر روش کارت باشد لیکن نتایج ساختاری درختی و مدل‌های رگرسیون برگ‌ها برای پیش‌برد آگاهی از ماهیت و میزان مشکل در عملکرد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج مدل درختی برای فهم و شبیه‌سازی آسان هستند و خروجی مدل از دقت بالایی برخوردار است که می‌توان آن را با سایر مدل‌ها مقایسه کرد، مدل درختی می‌تواند در مسایل گوناگون مورد استفاده محققین قرار گیرد (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۰). مدل‌های درختی همچنین برای اداره کار آمد مجموعه داده‌های بزرگ با تعداد زیادی از ویژگی‌ها و ابعاد بالا شناخته شده‌اند. یک درخت تصمیم معمولاً از چهار بخش ریشه، شاخه، گره‌ها و برگ‌ها تشکیل شده است که گره‌ها با دایره نشان داده می‌شوند و شاخه‌ها نشان دهنده اتصال بین گره‌ها می‌باشند (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۰). اولین مرحله برای ایجاد یک مدل درختی، استفاده از یک معیار انشعاب است. معیار انشعاب برای الگوریتم M5 بر اساس عملکرد انحراف استاندارد مقادیر هر کلاس و یا طبقه است که در هر گره به‌دست‌آمده است. این روش اساس روش‌های طبقه‌بندی است که آنتروپی نامیده می‌شود. آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیار میزان آشفتگی و بی‌نظمی یک سیستم تفسیر شود. معیار انشعاب بیانگر میزان خطا در آن گره می‌باشد و مدل حداقل خطای مورد انتظار را به‌عنوان نتیجه آزمایش هر صفت در آن گره محاسبه می‌کند. فرمول محاسبه کاهش انحراف استاندارد (SDR) به‌صورت روابط ۱۳ و ۱۴ می‌باشد.

$$SDR = Sd(T) - \sum_{i=1}^N \frac{|T_i|}{|T|} Sd(T_i) \quad (13)$$

$$Sd(T) = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2 \right)} \quad (14)$$

که در آن‌ها:

T: مجموعه‌ای از نمونه که به هر گره وارد می‌شود

T_i: نشان دهنده‌ی زیر مجموعه‌ای از نمونه‌هاست که i

امین نتیجه تست پتانسیلی را دارند

S_i: بیانگر انحراف معیار

Y_i: مقدار عددی ویژگی هدف نمونه i

N: شماره داده‌ها را نشان می‌دهد (آلبرگ و همکاران،

۲۰۱۲).

باد، ساعت آفتابی و شماره ماه به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل درختی گردید. با توجه به تأثیر پارامترهایی که در محاسبه مقدار تبخیر از سطح آزاد آب به کار می‌روند ۱۲ سناریو تعریف شد. به‌طور یقین سناریویی که در آن علاوه بر دقت بالا تعداد پارامترهای هواشناسی و روابط به‌کاررفته شده جهت برآورد تبخیر در آن حداقل باشد از نظر کاربردی مطلوب‌تر خواهد بود. شکل ۲ نمایش درختی مدل M5 را به‌عنوان نمونه برای سناریوی شماره ۸ نشان می‌دهد، در مجموع ۴ رابطه خطی ارائه شده است که در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روابط E_s تبخیر از سطح آزاد آب، RH میانگین رطوبت نسبی، U_{mean} سرعت باد در ارتفاع دو متری و Month شماره ماه را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه داده‌های ورودی مدل در بازه زمانی روزانه می‌باشد محاسبات انجام گرفته جهت ضریب تشت نیز در بازه زمانی روزانه ارائه گردیده است. به‌عنوان مثال با توجه به نمودار درختی شکل ۲ برای سناریوی شماره ۸ اگر شماره ماه از ۲/۵ کمتر و رطوبت نسبی بزرگ‌تر از ۳۸/۸۱۵ درصد باشد تبخیر روزانه از سطح آزاد آب با رابطه خطی LM num:1 محاسبه خواهد گردید». همچنین نمودار پراکنش ضرایب محاسباتی و مشاهداتی در شکل برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه گردیده است. با توجه به جدول شماره ۴ سناریو شماره ۳ با سه پارامتر ورودی و یک رابطه خطی ($RMSE=1/627$ - $R=0/832$ میلی‌متر) و سناریوی شماره ۱۱ با دو پارامتر ورودی و دو رابطه خطی ($RMSE=1/67$ - $R=0/833$ میلی‌متر)، جهت پیش‌بینی تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

در این تحقیق جهت برآورد تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از مدل درختی M5 از نرم افزار WEKA که در دانشگاه ویکاتو نیوزلند توسعه داده شده، استفاده گردیده است. در این تحقیق داده‌ها به دو قسمت آموزش و آزمون تقسیم شدند که در همه سناریوها ۶۶ درصد داده‌ها به آموزش اختصاص یافت. عملکرد مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق بر پایه محاسبه جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی R مورد ارزیابی قرار گرفته است. فرمول‌های محاسبه دو آماره فوق در روابط ۱۵ و ۱۶ آمده است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 * \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{N}} \quad (16)$$

که در آن‌ها:

X_i : مقدار مشاهده شده در گام زمانی i ام

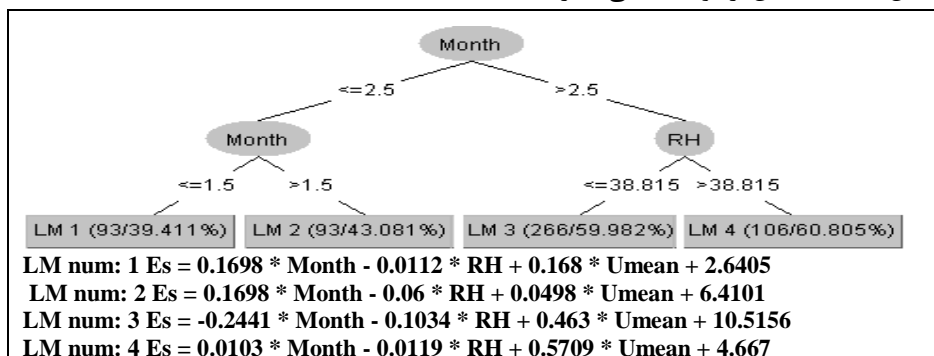
Y_i : مقدار محاسبه شده در گام زمانی i ام

N : تعداد گام‌های زمانی

X : مقادیر میانگین مشاهداتی می‌باشد.

نتایج و بحث

در این مطالعه برآورد تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از روابط تجربی و مدل درختی M5 انجام شد و نتایج هر یک از آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر از تشت مقایسه شد. در روش مدل درختی M5 تبخیر از تشت به‌صورت روزانه به‌عنوان متغیر هدف و مقادیر روزانه حداکثر دما، حداقل دما، میانگین رطوبت نسبی، سرعت



شکل (۲): نمایش درختی و روابط ارائه شده توسط مدل M5 برای سناریو شماره ۸

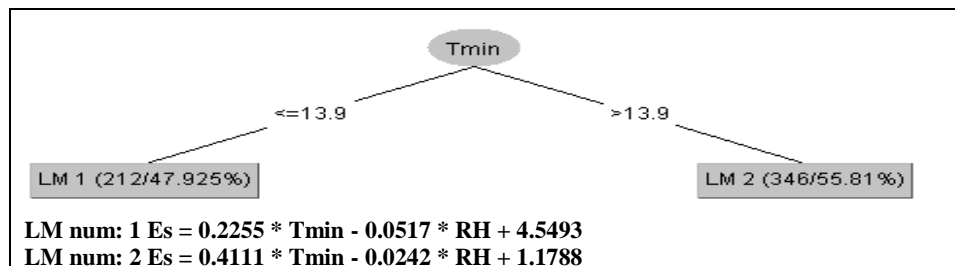
جدول (۴): نتایج به دست آمده از مدل درختی M5 برای همه ایستگاه و سناریوهای متعدد

سناریو	پارامترهای ورودی	تعداد مدل خطی	R	RMSE (میلی متر)
۱	ماه، حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد	۴	۰/۸۴۵	۱/۶۰۷
۲	ماه، حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت، ساعت آفتابی	۴	۰/۸۳۸	۱/۶۴۱
۳	حداقل دما، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی	۱	۰/۸۳۲	۱/۶۲۷
۴	ماه، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد	۴	۰/۸۲۴	۱/۷۰۷
۵	ماه، حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت نسبی	۳	۰/۸۳۵	۱/۶۵۴
۶	ماه، ساعت آفتابی، سرعت باد	۳	۰/۷۸۹	۱/۸۴۶
۷	رطوبت نسبی، ساعت آفتابی	۴	۰/۶۶۵	۲/۲۴۲
۸	ماه، رطوبت نسبی، سرعت باد	۴	۰/۸۵۱	۱/۵۸۷
۹	ماه، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی	۷	۰/۸۱۵	۱/۷۴۵
۱۰	ماه، حداکثر دما، حداقل دما	۳	۰/۸۲۲	۱/۷۰۹
۱۱	حداقل دما، رطوبت نسبی	۲	۰/۸۳۳	۱/۶۷
۱۲	ماه، ساعت آفتابی	۷	۰/۸۰۵	۱/۷۸۱

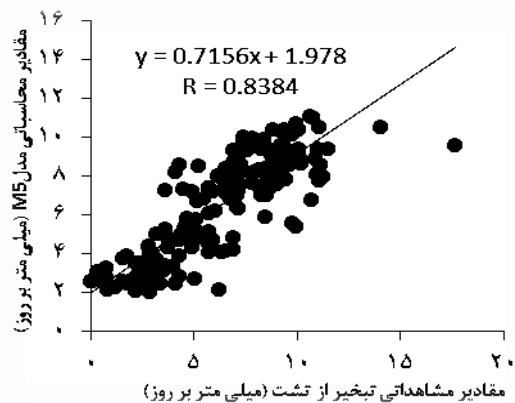
سناریو شماره ۸ به همراه رطوبت نسبی و شماره ماه بالاترین دقت را در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه به دست می دهند. در شکل شماره ۴ ضریب پراکنش برای ۵ سناریو که نسبت به بقیه دقت بالایی دارند رسم شده است. نمودارهای رسم شده نشانگر شباهت در نتایج حاصل از این ۵ سناریو است. سناریو شماره ۳ از یک رابطه (رابطه شماره ۱۷) برای برآورد میزان تبخیر استفاده کرده است.

$$Es = 0.3168 * Tmin - 0.0298 * RH + 0.1293 * sun + 1.6773 \quad (17)$$

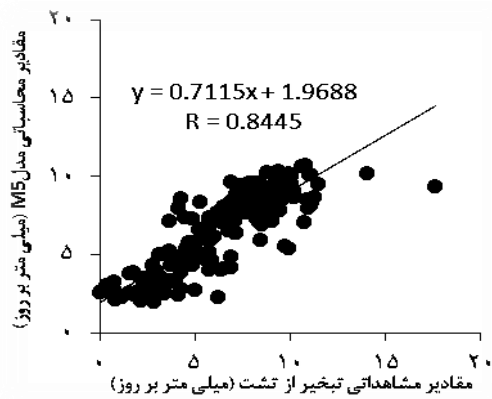
در رابطه شماره ۱۷ و شکل های شماره ۲ و ۳ روابط و نمودارهای مربوط به سناریو های شماره ۸، ۳ و ۱۱ جهت پیش بینی تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه آورده شده است. ارزیابی سناریو ها نشان می دهد ۵ مورد از آن ها دارای دقت بالایی نسبت به سایر سناریو ها هستند. با مشاهده پارامترهای مورد استفاده در این ۵ سناریو می توان نتیجه گرفت از میان پارامترهای تأثیرگذار در تبخیر حداقل دما، حداکثر دما و رطوبت نسبی در برآورد تبخیر نقش بالایی دارند از طرفی پارامتر سرعت باد که در اکثر سناریو ها عامل کم شدن دقت در برآورد تبخیر بود در



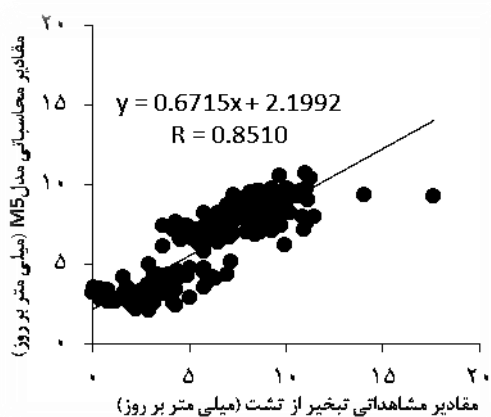
شکل (۳): نمایش درختی و روابط ارائه شده توسط مدل M5 برای سناریو شماره ۱۱



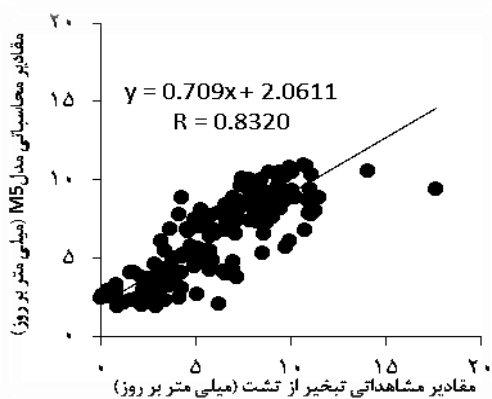
ب - سناریو شماره ۲



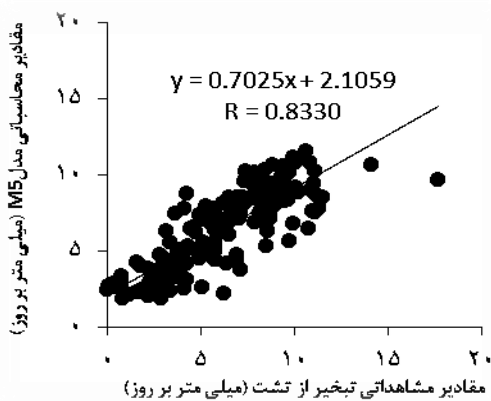
الف - سناریو شماره ۱



د - سناریو شماره ۸



ج - سناریو شماره ۳



د - سناریو شماره ۱۱

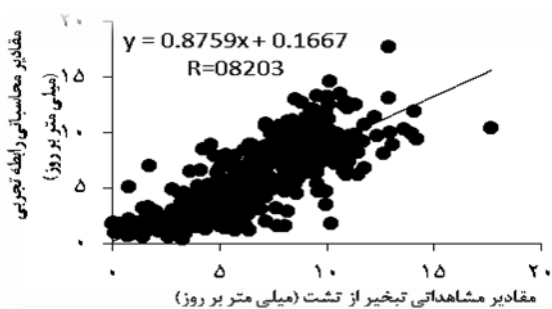
شکل (۴): نمودار پراکنش تبخیر از تشت و مدل M5

روش‌های تجربی در برآورد تبخیر نسبت به مدل درختی از دقت کمتری برخوردار هستند. مقایسه نتایج جدول‌های ۴ و ۵ نشانگر بالا بودن دقت در مدل درختی M5 نسبت به روابط تجربی است. گرچه رابطه سازمان عمران آمریکا در مقایسه با سایر رابطه‌ها دارای همبستگی نسبتاً بیشتری است ولی در مقایسه با سناریوهای تعریف شده در مدل درختی M5، جذر میانگین مربعات خطا بیشتری دارد که این نشانگر برتری مدل M5 در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در منطقه مورد مطالعه است.

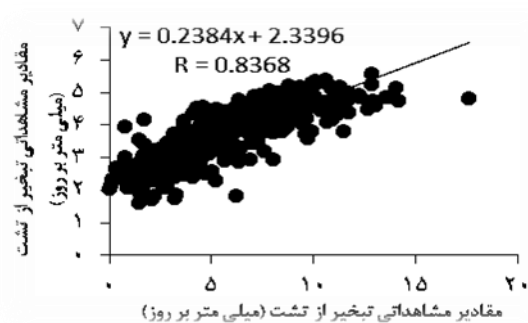
در ادامه مقدار تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از روابط تجربی محاسبه و با مقدار تبخیر از تشت مورد مقایسه قرار گرفت. عملکرد روابط تجربی بر اساس دو آماره R و RMSE مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد رابطه مایر ($R=0.8203$ - $RMSE=1/96$ میلی‌متر) نسبت به سایر روش‌های تجربی از دقت بالاتری در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه برخوردار است. در شکل شماره ۵ نمودار پراکنش بین تبخیر از تشت و روابط تجربی ارائه گردید. مقایسه نمودارهای شکل ۵ و نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد به‌جز رابطه مایر که با مدل درختی رقابت نزدیکی دارد، بقیه

جدول (۵): نتایج به‌دست‌آمده از روابط تجربی

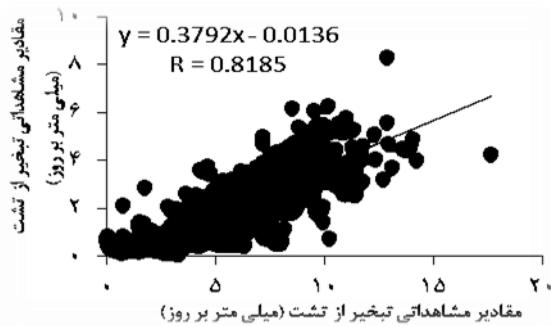
ردیف	نام رابطه تجربی	R	RMSE (میلی‌متر)
۱	سازمان عمران آمریکا	۰/۸۳۷	۳/۴۴۷
۲	مایر	۰/۸۲۰	۱/۹۶۲
۳	مارسیانو	۰/۷۶۴	۱/۶۲۷
۴	شاهتین	۰/۸۱۸	۴/۴۷۸
۵	هنفر	۰/۷۶۴	۵/۳۳۱
۶	ایوانف	۰/۸۰۴	۲/۶۷۹
۷	روش تیچومیرف	۰/۵۱۵	۷/۳۵۵



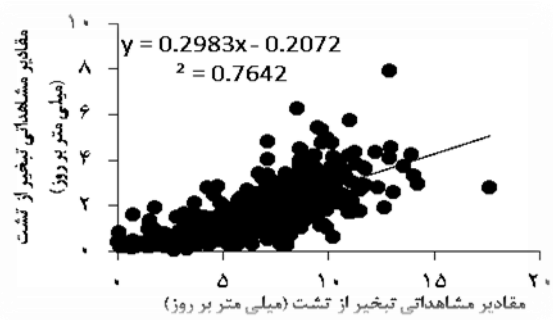
ب- روش مایر



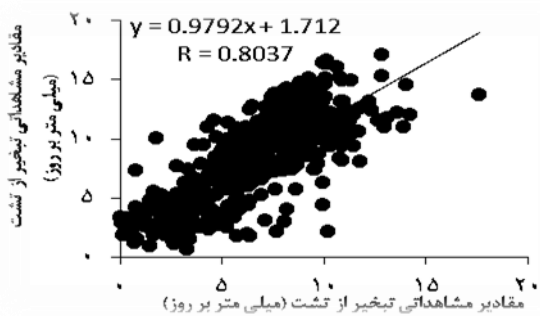
الف- روش دفتر عمران آمریکا



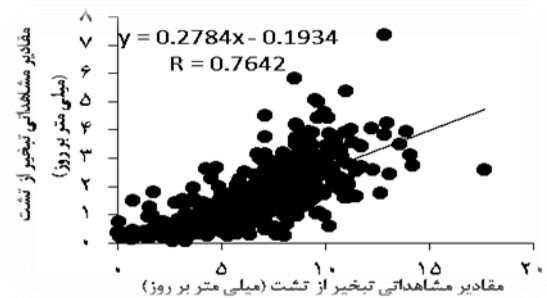
د- روش شاهتین



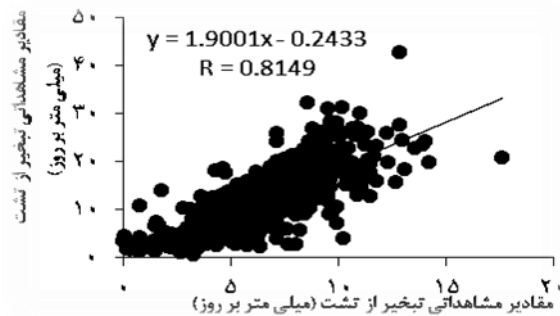
ج- روش مارسیانو



و- روش ایوانف



ر- روش هنفر



ی- روش تیچو میرف

شکل (۵): نمودار پراکنش تبخیر از تشت و روابط تجربی

یک روش کارآمد در مدل سازی تبخیر از سطح آزاد آب قابل توجه است. در این پژوهش ۱۲ سناریو با ترکیب پارامترهای مختلف اقلیمی به عنوان ورودی مدل ایجاد شدند. مدل های ارائه شده توسط روش درختی M5 در سناریوهای ۳، ۸ و ۱۱ به علت بالا بودن دقت، استفاده از تعداد کم پارامترهای اقلیمی و روابط خطی جهت برآورد تبخیر در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شدند. پارامترهای اقلیمی به عنوان پارامترهای مستقل در اکثر روابط تجربی توسعه داده شده وجود دارند بنابراین گرچه روابط خطی به دست آمده از مدل درختی M5 روابط رگرسیونی هستند

نتیجه گیری

تبخیر از سطح آزاد آب یکی از پارامترهای مهم در مدیریت منابع آب بشمار می رود. با توجه به قرار گرفتن کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک برآورد میزان تبخیر از سطح آزاد آب برای مناطق مختلف کشور از اهمیت دوچندانی برخوردار است. نتایج حاصل از این مطالعه نشانگر عملکرد مطلوب مدل درختی M5 جهت برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه است. نتایج به دست آمده نشان می دهد مدل درختی M5 به علت ارائه روابط ساده، قابل فهم و کاربردی بودن آن به عنوان

نیز رابطه مایر را برای کشور کانادا به عنوان روابط تجربی مناسب جهت برآورد تبخیر معرفی کردند. این نتایج نشان دهنده متفاوت بودن اثر پارامترهای مختلف در برآورد تبخیر از مناطقی با اقلیم‌های گوناگون است. با توجه به اهمیت تعیین تبخیر از سطح آزاد آب برای مناطق مختلف و عملکرد مناسب مدل M5 در پیش‌بینی آن پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل درختی M5 و ایجاد انواع سناریوها با ورودی‌های متفاوت روابطی با دقت بالا و کمترین پارامترهای ورودی برای مناطق مختلف شناخته و معرفی شود.

اما قابلیت توجیه فیزیکی نیز دارند. بررسی سناریوهای مختلف جهت برآورد تبخیر در این تحقیق نشان می‌دهد پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما و رطوبت نسبی نسبت به سایر پارامترها اهمیت نسبی بالایی در برآورد تبخیر از منطقه مورد مطالعه دارد. کسکین و ترزی (۲۰۰۵) سرعت باد و رطوبت نسبی را به عنوان پارامترهای کم اهمیت در برآورد تبخیر از دریاچه ایغردیر ترکیه معرفی کردند. پیری و همکاران (۲۰۰۹) اثر سرعت باد، کمبود فشار بخار اشباع و رطوبت نسبی را به عنوان پارامترهایی با اهمیت بالا در برآورد تبخیر معرفی نمودند. نتایج به دست آمده از روابط تجربی نشان می‌دهد رابطه مایر سازگاری زیادتری با منطقه مورد مطالعه دارد. یزدانی و همکاران (۱۳۸۹) رابطه ایوانف را برای منطقه آمل، برون و هسج (۲۰۰۷)

منابع

۱. زارع ابیانه، ح.، ع. مقدم‌نیا، م. بیات ورکشی، ع. قاسمی و م. شادمانی. ۱۳۸۹. تغییرات مکانی تبخیر از تشت و مقایسه آن با مدل‌های برآورد تبخیر در ایران، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۴، ص ۱۱۳-۱۳۰.
۲. ستاری، م.ت.، ع. رضازاده جودی و ف. نهرین. ۱۳۹۳. پیش‌بینی مقادیر بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل درختی M5 (مطالعه موردی: ایستگاه اهر)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۶۰.
۳. ستاری، م.ت. و ف. نهرین. ۱۳۹۲. پیش‌بینی مقادیر حداکثر بارش روزانه با استفاده از سیستم‌های هوشمند و مقایسه آن با مدل درختی M5، مطالعه موردی ایستگاه‌های اهر و جلفا، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم، شماره چهاردهم، ص ۸۳-۹۸.
۴. ستاری، م.ت.، ف. نهرین و و. عظیمی. ۱۳۹۲. پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل درختی (مطالعه موردی: ایستگاه بناب)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۷، ص ۱۱۳-۱۰۴.
۵. سعادتخواه، ن.، س.ا. سارنگ، م. تجریشی و ا. ابریشمچی. ۱۳۸۰. برآورد تبخیر از مخازن چاه نیمه، آب و فاضلاب، شماره ۴۰، ص ۳۲-۱۲.
۶. علیخان‌زاده، ا. ۱۳۸۵. داده کاوی. چاپ اول. نشر علوم رایانه، بابل، ۳۴۰ ص.
۷. علیزاده، ا. ۱۳۸۸. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و ششم. نشر دانشگاه امیرکبیر، مشهد، ۸۷۰ ص.
۸. فلاحی، م.ر.، ه. ورواتی و س. گلین. ۱۳۹۰. پیش‌بینی بارش با استفاده از مدل رگرسیون درختی به منظور کنترل سیل. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کرمان.
۹. یزدانی، و.، ب. قهرمان و ک. داوری. ۱۳۸۹. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در اراضی شالیزاری آمل بر پایه آنالیز حساسیت و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۷، ص ۴۷-۵۸.
10. Alberg, D., M. Last, and A. Kindle. 2012. Knowledge discovery in data streams with regression tree methods. *Wires Data Mining Knowl Discov* 2: 69-78.
11. Awchi, T.A. 2008. Application of Radial Basis Function Neural Networks for Reference Evapotranspiration Prediction. *Al-Rafidain Engineering*. Vol.16. 1: 117-129.
12. Bhattacharya, B. and D.P. Solomatine. 2005. Neural networks and M5 model trees in modeling water level-discharge relationship. *Neurocomputing* 63: 381-396.

13. Burn, D.H. and N.M. Hesch. 2007. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *J Hydrology* 336: 61–73.
14. Dittthakit, P. and C. Chinnarasri. 2012. Estimation of pan coefficient using M5 model tree. *Am.J. Environ. Sci.*, 8 (2): 95-103.
15. Ikebuchi, S., M. Seki and A. Ohtoh. 1988. Evaporation from Lake Biwa. *J Hydrol.*, 102: 427-449.
16. Irmak, S., D. Haman, J.W. Jones. 2002. Evaluations of class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in a humid location. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE.*, 128 (3): 153–159.
17. Keskin, M.E., O. Terzi, E.U. Kucuksille. (2009) "Data Mining Process for Integrated Evaporation Model" *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135: 39-43.
18. Morton, F.I. 1983. Operational estimates of aerial evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *J Hydrology*. 66.: 1-76.
19. Pal, M. 2006. M5 model tree for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing.*, 27(4), 20: 825-831.
20. Piri, J., S. Amin, A. Moghaddammia, A. Keshavarz, D. Han and R. Remesan. (2009). "Daily Pan Evaporation Modeling in a Hot and Dry Climate." *J. Hydrol. Eng.*, 14(8): 803–811.
21. Quinlan, J .R. 1992. Learning with continuous classes. In proceedings AI, 92 (Adams & Sterling, Eds): 343-348. Singapore: World Scientific.
22. Sattari, M. T., M. Pal, H. Apaydin, F. Ozturk. 2013 a. M5 Model Tree Application in Daily River Flow Forecasting in Sohu Stream, Turkey. *Water resources and the regime of water bodies.*, 40(3): 233–242.
23. Sattari, M.T., M. Pal, K. Yürekli, A. Ünlükara. 2013 b. M5 model trees and neural network based modelling of ET₀ in Ankara, Turkey. *Turkish. J. Eng. Env .Sci.*, doi: 10.3906/muh-1212-5: 1-9.
24. Sene, K.J., J.H.C. Gash and D.D. McNeil. 1991. Evaporation from tropical lake: comparison of theory with direct measurements. *J Hydrology*. 127: 193-217.
25. Solomatine, D .P and Y. Xue. 2004. M5 model trees compared to neural networks: application to flood forecasting in the upper reach of the Huai River in China. *Journal of Hydrologic Engineering*. 9(6): 491–501.
26. Vanzyl, W.H., J.M. Jager and C.G. Maree. 1989. The relationship between daylight evaporation from short vegetation and the USWB Class A pan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 46: 107-118.

M5 tree model based modeling of evaporation losses in Elaviyan reservoir and comparison with empirical equations

Mohammad Taghi Sattari¹, Vahdat Ahmadifar² and Rasoul Pashapour Kholf Ansar³

Abstract

Evaporation losses from water free surface is one of the important parameter in water resources management. In this study M5 tree model as a one of the data mining approaches has been used to estimate evaporation from Elaviyan reservoir water free surface in Maragheh. The results showed that M5 tree model has ability to present linear equations for modeling evaporation losses from free surface water with the highest correlation coefficient (0.851) along with lowest root mean square error (1.587 mm). Relations offered by M5 tree method The combination of climate parameters that are available in most empirical relationship has been developed, As model input have been created in scenarios. Also evaporation losses from free surface water estimated by using empirical equations. The results showed that the Meyer empirical equation with the high correlation coefficient (0.820) along with lowest root mean square error (1.962 mm) compared to other empirical methods could be estimate evaporation from free surface water with high accuracy. Comparison of empirical and M5 tree model results showed that both methods but have minimum difference between correlation coefficient also M5 tree model with lowest root mean square error could be present simple, understandable and applicable liner equations to estimate evaporation from Elaviyan reservoir free surface water in Maragheh.

Keywords: Data mining, evaporation estimation, Meyer empirical equation and reservoir management.

1 Assistant Professor ,Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

Email address: mtsattar@gmail.com

2 MSc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

Email address: vahdatahmadifar@yahoo.com

3 MSc. Student, Civil Eng, Azad University, Marageh Branch.

Email address: engpasha59@yahoo.com