



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

ارزیابی هیجده مدل تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی دشت اردبیل

مجید رئوف^۱ و جوانشیر عزیزی مبصر^۲*

^۱دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهمی است که دانستن مقدار دقیق آن، برای تعیین نیاز آبی و طراحی سامانه‌های آبیاری ضروری می‌باشد. یکی از راه‌های تعیین تبخیر و تعرق استفاده از مدل‌های تجربی است، اما برای استفاده در هر منطقه باید ابتدا آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. برای این منظور در این پژوهش ۱۸ مدل برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با نتایج لایسی‌مترهای زهکش‌دار و مدل پنمن - مونتیت فائو (FAO56) مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقاتی هانگار دانشگاه محقق اردبیلی و در شهر اردبیل انجام شد. جهت این کار گیاه چمن در سه لایسی‌متر و در اطراف لایسی‌مترها کشت گردید. مقدار تبخیر و تعرق چمن توسط لایسی‌مترهای حجمی بر اساس اندازه‌گیری اجزای بیلان آب (حجم آب ورودی، حجم آب خروجی، ذخیره رطوبت و تبخیر و تعرق)، برآورد گردید. برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل تعداد ۱۸ مدل شامل انواع مدل‌ها اعم از دمایی، تشعشعی و ترکیبی انتخاب شد. از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردبیل برای تهیه اطلاعات مورد نیاز برای مدل‌ها استفاده شد. علاوه بر نتایج مربوط به لایسی‌مترها، تبخیر و تعرق به‌دست آمده از مدل پنمن - مانتیت فائو نیز به‌عنوان مرجع مقایسه کارایی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کارایی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از شاخص‌های آماری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، درصد خطای تخمین (PE)، نسبت میانگین (MR) و ضریب همبستگی اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برای همه مدل‌ها، پراکندگی نقاط اطراف خط یک به یک زیاد است، یا هم‌خوانی جواب آن‌ها با نتایج جواب لایسی‌متری خیلی مناسب نیست. از طرفی برخی از این مدل‌ها بیش‌برآورد و برخی از آن‌ها با کم‌برآوردی تبخیر و تعرق را محاسبه می‌کنند. با استفاده از شاخص‌های آماری می‌توان گفت که در مقایسه با نتایج لایسی‌متری، در محل پژوهش مناسب‌ترین مدل‌ها، به‌ترتیب بلانی کریدل، راوازانی و همکاران و مدل Rn و ضعیف‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب ایرماک و مدل‌های والیانتراس می‌باشد. به‌صورت کلی تناسب نتایج مدل‌ها نسبت به نتایج مدل پنمن مانتیت فائو در مقایسه با نتایج آن‌ها نسبت به نتایج لایسی‌متری، قابل‌قبول‌تر بود. همچنین با توجه به محک‌های آماری در محل پژوهش نسبت به مدل پنمن - مانتیت فائو، مناسب‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب تورک، برتی و همکاران و تراجوکوچ و ضعیف‌ترین مدل‌ها، هارگریوز - سامانی اصلاح شده، ایرماک و اسکاندل تعیین گردید.

* مسئول مکاتبه: majidraoof2000@yahoo.co.uk

نتیجه‌گیری: با عنایت به این‌که مرجع مقایسه در دو ارزیابی (لایسی‌متر و مدل پنمن - مانیتث فائو) یکسان نبود در مشخص شدن ضعیف‌ترین مدل‌ها در محل پژوهش، هم‌خوانی وجود داشت. به‌عبارت دیگر در هر دو روش به اتفاق، مدل‌های ایرماک و مدل‌های والیانتراس ضعیف‌ترین نتایج را داشتند. به‌طورکلی در جمع‌بندی هر دو روش مقایسه، مناسب‌ترین مدل‌ها را با قاطعیت نمی‌توان معرفی نمود، اما ضعیف‌ترین مدل‌ها مشخص گردید.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، لایسی‌متر زهکش‌دار، ارزیابی، مدل پنمن - مانیتث فائو

مقدمه

تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهمی است که دانستن مقدار دقیق آن، برای تعیین نیاز آبی و طراحی سامانه‌های آبیاری ضروری می‌باشد. تعیین احجام و اجزای مختلف یک سامانه آبیاری و همچنین برآورد هزینه اجرایی آن به مشخص شدن نیاز آبی بستگی دارد (۱، ۳، ۵ و ۱۲). آب مورد نیاز گیاه تابعی از تبخیر (E) و تعرق (T) است که نوسانات روزانه دارد. آلن و همکاران (۱۹۹۸) اصطلاح جدیدی برای تبخیر و تعرق (ET) به نام تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) معرفی کردند (۲، ۴ و ۷). شاخص ET به‌صورت مجموع تبخیر از سطوح آب- خاک و آب مورد نیاز تعرق گیاه تعریف می‌شود، اما شاخص ET_0 به‌صورت تبخیر و تعرق از یک سطح وسیع پوشش سبز گیاهی هم‌سان با مشخصات؛ ارتفاع ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر، ضریب بازتابش^۱ حدود ۰/۲۳، مقاومت ثابت سایه‌انداز^۲ برابر ۷۰ ثانیه بر متر، سایه اطراف آن کامل و بدون کمبود آب تعریف شده است (۶ و ۱۳). مقدار ET_0 به عوامل جوی مختلفی مانند تشعشع خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد؛ شرایط گیاهی مانند نوع و گونه گیاهی، سن، دوره رشد و تراکم گیاه؛ وضعیت خاک مانند نوع خاک، شوری، کود و سایر عوامل بستگی دارد (۸). برآورد مقدار ET_0 در مقایسه با پارامترهایی مانند بارندگی و آبیاری، یکی از

مشکل‌ترین بخش‌های بیلان آبی می‌باشد (۱۰، ۱۱ و ۱۳). با در نظر گرفتن شرایط اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم روش‌های زیادی برای برآورد مقدار نیاز آبی گیاه وجود دارد. روش‌های مستقیم شامل انواع لایسی‌مترها (وزنی و زهکش‌دار) و بیلان رطوبت خاک بوده، در حالی‌که روش‌های غیرمستقیم بیش‌تر شامل مدل‌های تجربی می‌باشد (۲۲). روش‌های مستقیم اگرچه دقیق‌ترین روش هستند، اما به‌علت نیاز به هزینه و فناوری بالا در هر مکانی شرایط اجرای آن‌ها مهیا نمی‌شود. در مقابل مدل‌های تجربی بر اساس اطلاعات و شرایط جوی بوده و بر اساس اطلاعات مورد نیاز به سه گروه، مدل‌های حرارتی، تشعشعی و ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند (۴، ۸ و ۱۷). این مدل‌ها در عین سادگی استفاده دارای دو مشکل عمده هستند: اول این‌که این مدل‌ها عمومیت نداشته و باید برای هر منطقه واسنجی و صحت‌سنجی شوند، به‌عبارت دیگر در شرایط خاص توسعه یافته‌اند. دوم برخی از این مدل‌ها نیاز به اطلاعات زیادی هستند که در همه نقاط مورد نیاز، اندازه‌گیری نمی‌شوند. معمولاً واسنجی مدل‌های تبخیر و تعرق با استفاده از لایسی‌متر و یا با یک مدل مرجع انجام می‌شود، که معمولاً مدل پنمن - مونیتث فائو (FAO 56) به‌عنوان مدل مرجع انتخاب می‌شود (۱۱، ۱۵، ۲۰ و ۲۱). پژوهش‌های زیادی در سراسر دنیا صحت نتایج مربوط به مدل پنمن - مونیتث فائو در شرایط مختلف آب و هوایی را نشان

1- Albedo
2- Fixed Canopy Resistance

تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) و مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی را در مقایسه با داده‌های لایسی‌متری در ایستگاه کهرئیز ارومیه مورد ارزیابی قرار دادند و دریافته‌اند که نتایج مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی قابل اطمینان‌تر از نتایج مدل‌های مورد استفاده بود (۷). علاوه بر آن در بین مدل‌ها، مدل تورک مناسب‌ترین مدل شناخته شد. کارایی بالای یک مدل با داده‌های کمینه هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) یک امتیاز محسوب می‌شود، که در این راستا پژوهشی توسط موسوی‌بایگی و همکاران (۲۰۰۹) در خراسان رضوی انجام شد و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل پنمن- مونتیت فائو (FAO 56) در مقایسه با نتایج لایسی‌متری مدل بهتری تشخیص داده شد (۱۴). علاوه بر مبنای قرار گرفتن لایسی‌متر، در برخی موارد مدل پنمن- مونتیت فائو (FAO 56) نیز به‌عنوان مبنای مقایسه قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال دجامان و همکاران (۲۰۱۶) تعداد ۱۶ مدل برآورد تبخیر و تعرق را با نتایج مدل پنمن- مونتیت فائو (FAO 56) در دره رودخانه سنگال مورد قرار ارزیابی دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل‌های والیانتراس^۳، ترابرت^۴، رماننکو^۵، اسکندل^۶ و ماهرینگر^۷ معادله‌های مناسبی در محل پژوهش برای تخمین تبخیر و تعرق تشخیص داده شد (۴). خوشحال و همکاران (۲۰۱۵) چند مدل تبخیر و تعرق را با نتایج تشت تبخیر در حوزه آبخیز کشور ارزیابی نمودند و دریافته‌اند که مدل هارگریوز سامانی، بلانی کرایدل و تورک مناسب‌ترین مدل‌ها در محل پژوهش تشخیص داده شدند (۹). با توجه به نتایج پژوهش اشاره شده هر مدل برآوردکننده تبخیر و تعرق گیاه

داده است (۲ تا ۶، ۱۸ و ۱۹). به هر حال، برای حل مدل پنمن- مونتیت فائو نیاز به اطلاعات زیادی هست که معمولاً کامل نبوده و یا در هر ایستگاه هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شوند، یا در خیلی از دشت‌های در حال توسعه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد. بنابراین استفاده از مدل‌هایی که نیاز به اطلاعات هواشناسی کم‌تری دارند برای مناطقی که کمبود یا نقص اطلاعات دارند یک ضرورت به‌نظر می‌رسد. برای این منظور پژوهش‌های زیاد وجود دارد که در آن‌ها سعی شده در مقایسه با نتایج مدل پنمن- مونتیت فائو، یک مدل ساده با دقت قابل قبول معرفی نمایند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش تراجکویچ (۲۰۰۷) اشاره نمود که کارایی مدل هارگریوز و سامانی^۱ را در مقایسه با مدل پنمن- مونتیت فائو در شرایط مرطوب در صربستان مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش نمود که کارایی مدل هارگریوز و سامانی را قابل قبول است (۲۱). تبری و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کرد که روش تورک^۲ مناسب‌ترین مدل در شرایط آب و هوایی سرد و مرطوب و در شرایط خشک می‌باشد؛ همچنین در شرایط مرطوب و نیمه‌خشک روش هارگریوز و سامانی دارای بیش‌ترین دقت بود (۲۰). لیو و همکاران (۲۰۱۷) تعداد ۱۶ مدل برآورد تبخیر و تعرق را با لایسی‌متر وزنی در پکن چین مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که همه مدل‌ها در مقایسه با نتایج لایسی‌متری در برآورد تبخیر و تعرق بیش‌برآوردی مشاهده شده بود. همچنین این پژوهشگران اعلام نمودند که مدل پنمن- مونتیت فائو برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) به‌عنوان یک روش محاسباتی استاندارد قابل پذیرش است (۱۱). هژبر و همکاران (۲۰۱۵) تعداد ۱۲ مدل برآورد

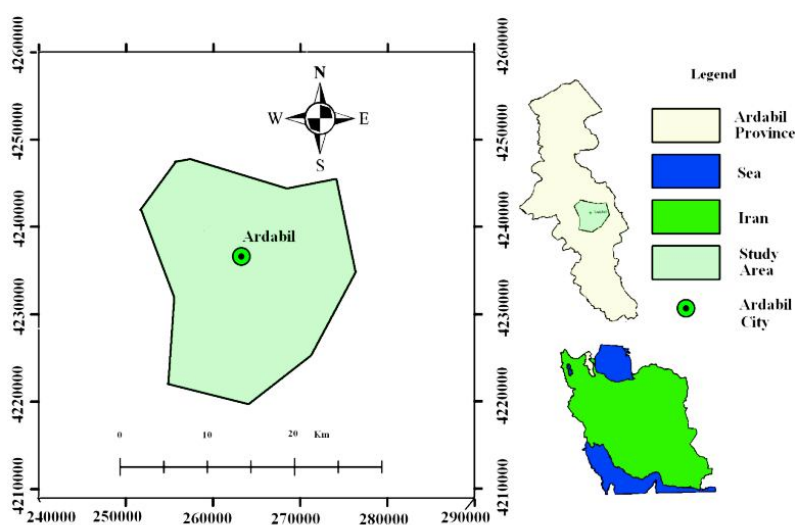
3- Valiantzas
4- Terabert
5- Romanenko
6- Schendel
7- Mahringer

1- Hargreaves-Samani
2- Turk

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر در شهر اردبیل با مختصات ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی با ارتفاع متوسط ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، انجام شد (شکل ۱). اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه سینوپتیک اردبیل با مختصات ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۳۸ متر، تهیه شد. بارندگی متوسط سالیانه، متوسط کمینه دمای ماهیانه و متوسط بیشینه دمای ماهیانه بر اساس آمار سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۲۸۰/۹ میلی‌متر، ۲/۴ و ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد.

مرجع در منطقه‌ای خاص و در شرایط آب و هوایی مربوط به آن محل استخراج شده‌اند، لازم است که کارایی هر مدل جهت استفاده در مناطق دیگر ارزیابی شوند. برای این منظور ۱۸ مدل برآورد تبخیر و تعرق (اعم از ساده و پیچیده) در مقایسه با نتایج لایسی‌مترهای زهکش‌داری که برای این منظور طراحی شده بودند مورد ارزیابی قرار گرفت. از طرفی با توجه به این که مدل پنمن-مونثیت فائو (FAO 56) یک مدل جهانی بوده و در حال حاضر استفاده وسیعی (اجرایی و تحقیقاتی) در کشور دارد، بنابراین در مرحله دوم پژوهش این مدل به عنوان مدل مبنا در نظر گرفته شد و سایر مدل‌ها نسبت به آن با استفاده از شاخص‌های آماری ارزیابی شدند.



شکل ۱- محل انجام تحقیق.

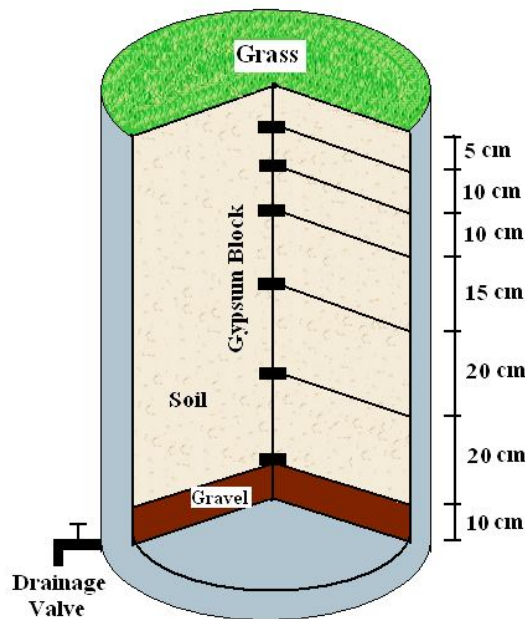
Figure 1. Location of study area.

آن‌ها ۹۰ سانتی‌متر و برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک آن‌ها از ۶ سنسور (بلوک گچی) در اعماق ۵، ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر از خاک سطحی، که مقاومت آن‌ها توسط دستگاه مدل ELE-MC-302 اندازه‌گیری گردید، استفاده شد.

لایسی‌مترهای زهکش‌دار: لایسی‌مترهای مورد نیاز برای اندازه‌گیری اجزاء بیلان آب، به خصوص تبخیر و تعرق پتانسیل در مزرعه هانگار دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی با مشخصات زیر ساخته شدند (شکل ۲). قطر لایسی‌مترها ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع

به صورت ۰-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۲/۵، ۳۲/۵-۵۰، ۵۰-۷۰ و ۷۰-۹۰ سانتی متر تقسیم بندی شده و در وسط هر لایه یک بلوک گچی نصب گردید. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خاک با استفاده از تعداد سه نمونه دست خورده و سه نمونه دست نخورده از هر لایه مشخص گردید.

مطابق شکل ۲ آب زهکشی شده توسط خروجی که در قسمت پایینی لایسی مترها تعبیه شده بود جمع آوری و اندازه گیری شد. در داخل لایسی مترها چمن به عنوان گیاه مرجع کشت شد و با دور آبیاری سه روزه و بر اساس رطوبت لایه های مختلف خاک داخل آن، حجم آب مورد نیاز اضافه شد. برای محاسبه دقیق آب ذخیره شده، خاک لایسی مترها به ۶ لایه مجزا



شکل ۲- برش مقطعی لایسی مترهای مورد استفاده برای اندازه گیری ET_0 .
Figure 2. Sectional drawing of a Lysimeter used to ET_0 measurement.

$$\Delta S = S_f - S_i \quad (2)$$

که در آن، ΔS تغییرات ذخیره آب خاک (mm)، S_i و S_f به ترتیب مقدار ذخیره اولیه و نهایی آب خاک (mm) هستند. از معادله بیلان آب حاکم بر لایسی مترها برای اندازه گیری تبخیر و تعرق گیاه چمن (ET) استفاده شد. با استفاده از رابطه ۳ و همچنین اختلاف بین آب ورودی، خروجی و تغییرات رطوبت خاک مقدار تبخیر و تعرق گیاه چمن (ET) محاسبه شد:

کل آب ذخیره شده در هر لایه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$S = \int_0^L \theta dz \approx \sum_{i=1}^n \theta \Delta z = \theta L \quad (1)$$

که در آن، S آب ذخیره شده در خاک (mm)، θ محتوی آب خاک (cm^3/cm^3)، L ضخامت هر لایه (mm) و n تعداد لایه ها. تغییرات ذخیره آب خاک با استفاده از اختلاف بین حجم نهایی و اولیه خاک در هر زمان و با استفاده از رابطه ۲ به دست می آید:

پارامترهای ارزیابی مدل‌ها: کارایی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با نتایج لایسی‌متری و معادله پنمن-مانتیت فائو (FAO56) در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های آماری، ریشه میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE)، میانگین خطای مطلق^۲ (MAE)، درصد خطای تخمین^۳ (PE)، نسبت میانگین^۴ (MR) که به صورت زیر محاسبه می‌شوند، مورد ارزیابی قرار گرفت (۴):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (5)$$

$$PE = \left(\frac{|P_{av} - O_{av}|}{O_{av}} \right) \times 100 \quad (6)$$

$$MR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{O_i} \quad (7)$$

که در آن‌ها، P_i و O_i به ترتیب تبخیر و تعرق لایسی‌متری و نتایج حاصل از مدل‌ها، همچنین P_{av} و O_{av} به ترتیب میانگین تبخیر و تعرق لایسی‌متری و میانگین نتایج حاصل از مدل‌ها است. علاوه بر محک‌های آماری مورد اشاره برای بررسی میزان همبستگی نتایج مدل‌ها، از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد.

$$ET = P - D \pm \Delta S \quad (3)$$

که در آن، ET تبخیر و تعرق (mm)، P مقدار بارندگی (mm)، D مقدار زهکشی (mm) و ΔS تغییرات ذخیره آب خاک (mm) است. مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل: برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۸ مدل انتخاب شد. در انتخاب این مدل‌ها چند نکته مدنظر قرار گرفت: ابتدا سعی گردید که مدل‌هایی که نسبتاً کاربرد وسیعی دارند انتخاب شود. دوم این که سعی گردید از انواع مدل‌ها اعم از دمایی، تشعشعی و ترکیبی را شامل شود. در نهایت از پیچیده‌ترین مدل (پنمن-مانتیت فائو) تا ساده‌ترین مدل که تنها به یک پارامتر هواشناسی نیازمند است (بلانی کریدل) استفاده شد. معادله این مدل‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

در روابط ارائه شده در جدول ۱، ET_0 تبخیر و تعرق روزانه ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$)، D شیب فشار بخار اشباع ($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$)، R_n تشعشع خالص در سطح محصول ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، R_a تشعشع واقعی ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، G شار تبادل گرمایی خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، T_{mean} دمای میانگین روزانه در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری از سطح زمین ($^{\circ}\text{C}$)، u_2 میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (m s^{-1})، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، $e_a - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع (kPa)، T_{max} دمای بیشینه روزانه ($^{\circ}\text{C}$)، T_{min} دمای کمینه روزانه ($^{\circ}\text{C}$)، RH درصد متوسط رطوبت نسبی روزانه (%)، R_s تشعشع خورشیدی با طول موج کوتاه ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)، g ثابت رطوبتی ($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$)، Z ارتفاع محل از سطح دریا (m) و λ ضریب در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برابر ۲/۴۵ ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) می‌باشند.

1- RMSE: Root Mean Square Error

2- MAE: Mean Absolute Error

3- PE: Percentage Error of Estimation

4- MR: Mean Ratio

جدول ۱- معادله مدل‌های ET₀ و موارد استفاده.

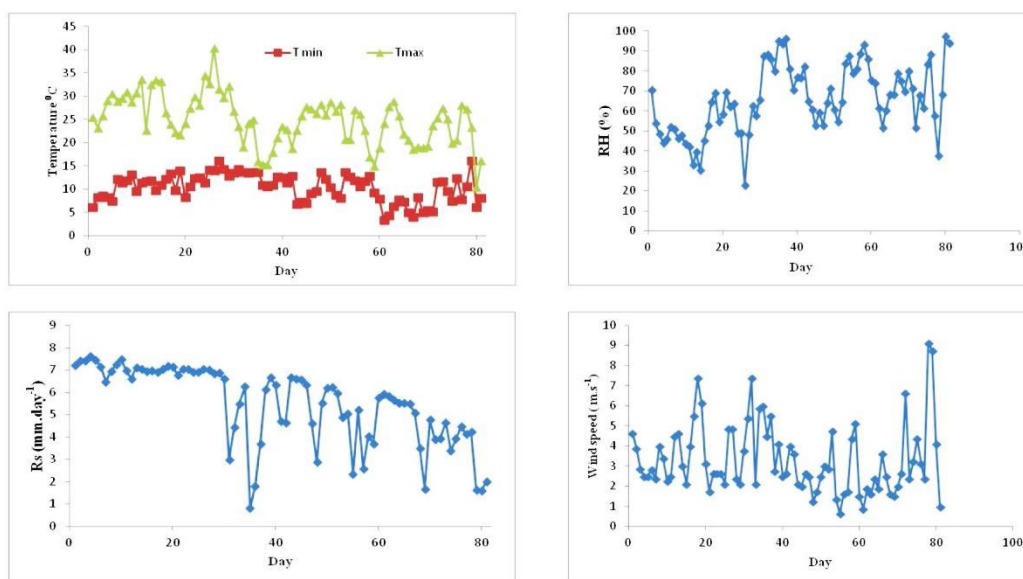
ردیف	مدل	معادله	استفاده توسط
No	Model	Equation	Applications
1	FAO56 (1998)	$ET_0 = \frac{900}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{R_n}{T} + 273}{T} u_2 (e_s - e_a)$	Rahimikhoob et al. (2012)
2	Hargreaves Samani (1985)	$ET_0 = 0.0023R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$	Heydari et al. (2013)
3	Hargreaves-Samani modified (2000)	$ET_0 = 0.0135K_r R_a (T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$ $K_r = 0.00185(T_{max} - T_{min})^2 - 0.0433(T_{max} - T_{min}) + 0.4023$	Hozhabr et al. (2014)
4	Irmak (2003)	$ET_0 = 0.149R_s + 0.079T_{mean} - 0.611$	Hozhabr et al. (2014)
5	Trajkovic (2007)	$ET_0 = 0.0023R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.424}$	Djiman et al. (2015)
6	Ravazzani et al. (2012)	$ET_0 = (0.817 + 0.00022Z)0.0023 R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$	Djiman et al. (2015)
7	Berti et al. (2014)	$ET_0 = 0.00193R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.517}$	Djiman et al. (2015)
8	Schendel (1967)	$ET_0 = 16 \frac{T_{mean}}{RH}$	Djiman et al. (2015)
9	Blaney Criddle (1977)	$ET_0 = P(0.46T_{mean} + 8.17)$	Niaghi et al. (2013)
10	Romanenko (1961)	$ET_0 = 0.0018(T_{mean} + 25)^2(100 - RH)$	Djiman et al. (2015)
11	Romanenko modified	$ET_0 = 4.5 \left(\frac{T_{mean}}{25} + 1 \right)^2 \left(1 - \frac{e_a}{e_s} \right)$	Oudin et al. (2005)
12	Mahringer (1970)	$ET_0 = 0.15072\sqrt{3.6u_2}(e_s - e_a)$	Djiman et al. (2015)
13	WMO (1960)	$ET_0 = (0.1298 + 0.0934u_2)(e_s - e_a)$	Tabari et al. (2013)
14	Rn Based (2003)	$ET_0 = 0.289R_s + 0.023T_{mean} + 0.489$	Muniandy et al. (2016)
15	Makkink modified	$ET_0 = 0.7 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda}$	Muniandy et al. (2016)
16	Turk	$ET_0 = 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} \frac{23.88R_s + 50}{\lambda}$	Djiman et al. (2015)
18	Valiantzas 1 method (2013)	$ET_0 = 0.00668R_s \left((T_{mean} + 9.5)(T_{max} - T_{min}) \right)^{0.5} - 0.0696(T_{max} - T_{min})$ $- 0.024(T_{mean} + 20) \left(1 - \frac{RH}{100} \right) - 0.00455R_s(T_{max} - T_{dew})^2$ $+ 0.0984(T_{mean} + 17) \left(1.03 + 0.00055(T_{max} - T_{min})^2 - \frac{RH}{100} \right)$ $T_{dew} = \frac{116.91 + 237.3Ln(e_a)}{16.78 - Ln(e_a)}$	Djiman et al. (2015)
19	Valiantzas 2 method (2013)	$ET_0 = 0.05(1 - \alpha)R_s(T_{mean} + 9.5)^{0.5} - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_d} \right)^2 +$ $0.048(T_{mean} + 20) \left(1 - \frac{RH}{100} \right) (0.5 + 0.536u_2) + 0.00012Z, \alpha = 0.25$	Djiman et al. (2015)

نتایج و بحث

با توجه به این که در لایسی‌مترها یکی از اجزاء بیلان آبی تغییرات رطوبتی می‌باشد و در این پژوهش تغییرات رطوبت با استفاده از بلوک گچی اندازه‌گیری شد، از طرفی دقت بلوک‌ها به صورت مداوم تحت پایش قرار می‌گرفت، بنابراین دوره‌ای که بلوک‌های گچی بیش‌ترین دقت (کم‌ترین خطا) را نشان دادند به‌عنوان دوره پژوهش انتخاب گردید (حدود سه ماه نیاز آبی بیشینه در دوره رشد). در دوره پژوهش تغییرات دمای کمینه در دامنه $3/4$ تا $16/2$ درجه سانتی‌گراد و تغییرات دمای بیشینه در دامنه $10/4$ تا $40/4$ درجه سانتی‌گراد متغیر است. تغییرات سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین در دوره آماری از $0/6$ تا $9/1$ متر بر ثانیه و تغییرات رطوبت نسبی متوسط در دامنه $22/6$ تا $97/1$ درصد متغیر بود. همچنین تغییرات تشعشع با طول موج کوتاه در محل پژوهش در دامنه $0/8$ تا $7/6$ میلی‌متر در روز قرار داشت (شکل ۳).

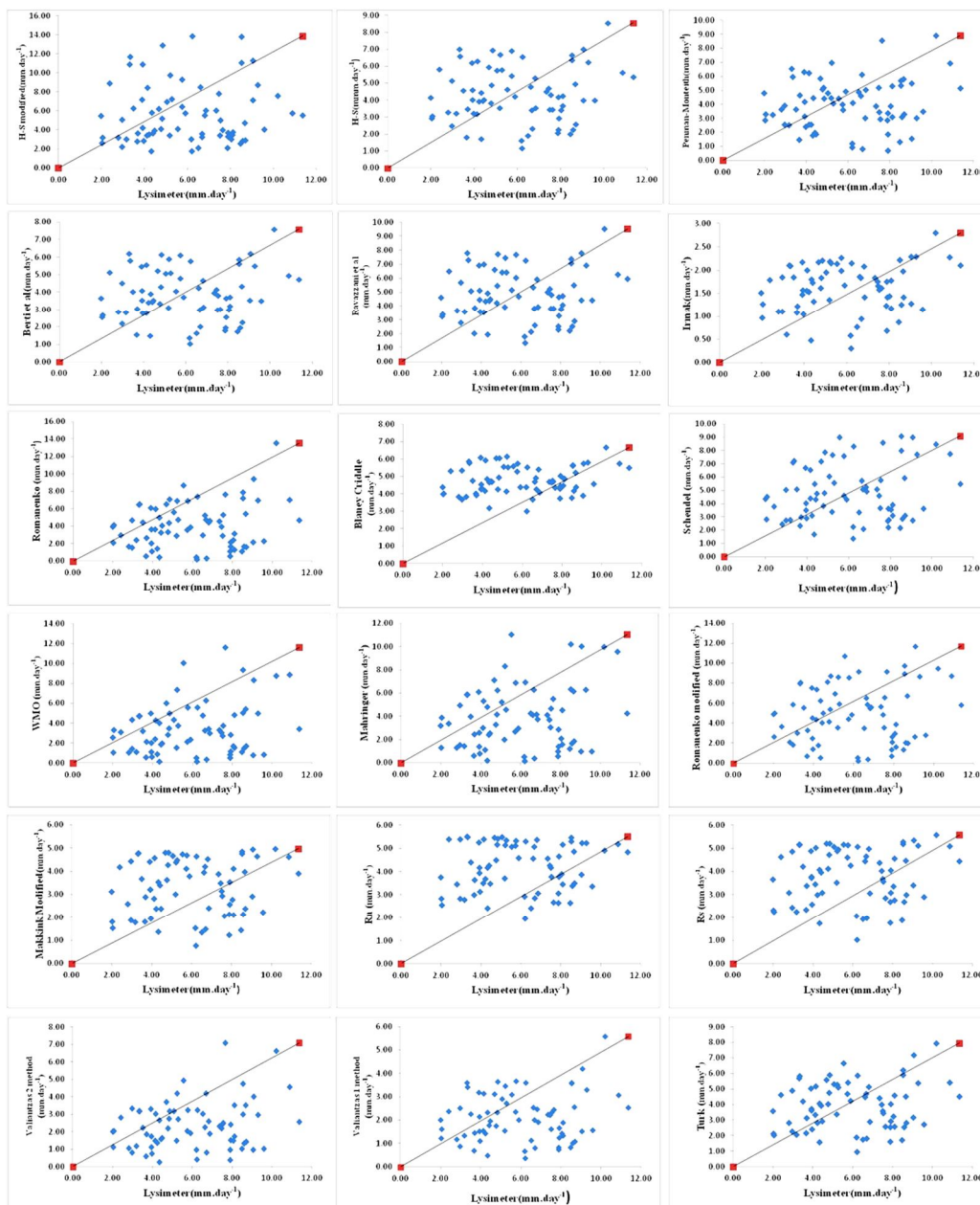
مقایسه نتایج مدل‌ها با نتایج لایسی‌متری: با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که برای همه مدل‌ها

پراکندگی نقاط اطراف خط یک به یک زیاد بوده و مفهوم آن این است که انطباق جواب آن‌ها با نتایج جواب لایسی‌متری خیلی مناسب نیست. از طرفی برخی از این مدل‌ها بیش‌برآورد و برخی از آن‌ها با کم‌برآوردی تبخیر و تعرق را محاسبه می‌کنند. با توجه به شاخص‌های RMSE و MAE، که مقادیر آن‌ها به ترتیب برابر $2/6$ و $2/12$ (mm.day^{-1}) به دست آمد مناسب‌ترین مدل، مدل بلانی‌کریدل تشخیص داده شد. با توجه به جدول ۲ و شکل ۴، در رتبه بعدی مدل راوازان و همکاران (۲۰۱۲) با مقدار شاخص‌های RMSE و MAE برابر $3/02$ و $2/47$ (mm.day^{-1}) قرار دارد. در مقابل مدل ایرماک (۲۰۰۳) با مقادیر مربوط به شاخص‌های RMSE و MAE برابر $4/92$ و $4/38$ (mm.day^{-1}) در مقایسه با نتایج لایسی‌متری، ضعیف‌ترین نتایج را در بین مدل‌ها داشت. مدل‌های والیاتزاس ۱ و ۲ (۲۰۱۳) بعد از مدل ایرماک با مقادیر مربوط به شاخص‌های RMSE و MAE برابر $4/53$ و $3/87$ برای روش اول و $4/32$ و $3/64$ (mm.day^{-1}) برای روش دوم ضعیف‌ترین نتایج را داشتند.



شکل ۳- تغییرات اطلاعات اقلیمی در دوره پژوهش در اردبیل.

Figure 3. Climate data variable during the study at Ardabil.



شکل ۴- ارتباط بین تبخیر و تعرق (ET₀) روزانه تخمینی هر روش در مقابل تبخیر و تعرق روزانه لایسی متر.

Figure 4. Relationship between the daily reference evapotranspiration (ET₀) estimates of each method versus the Lysimeter daily evapotranspiration.

رماننکو اصلاح شده، با ۴٪ و مدل راوازانی و همکاران (۲۰۱۲) با ۵٪ و مدل بلانی کریدل با ۶٪ کم برآوردی مقدار تبخیر و تعرق مناسب ترین مدل، با توجه به شاخص MR هستند. مدل والیانتراس ۲ (۲۰۱۳) با ۵۵٪، مدل والیانتراس ۱ (۲۰۱۳) با ۵۹٪ و مدل ایرماک (۲۰۰۳) با ۶۹٪ کم برآوردی بدترین نتایج را برای

با استفاد از این شاخص تنها مدل هارگریوز-سامانی اصلاح شده، ۹٪ تبخیر و تعرق را بیش تر برآورد نموده است، اما سایر مدل ها تبخیر و تعرق را کم تر برآورد نموده اند، مشابه این نتایج توسط تبری و همکاران (۲۰۱۱) و دجامان و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است. مدل های اسکاندل (۲۰۱۴) و

نتایج مدل‌های مورد بررسی در مقایسه با لایسی متر مورد استفاده در این پژوهش هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری نداشتند.

مقایسه نتایج مدل‌ها با نتایج لایسی متری: با توجه به شکل ۵ و نتایج جدول ۳ و مقایسه آن‌ها با شکل ۴ و جدول ۲ می‌توان به صورت کلی گفت که تناسب نتایج مدل‌ها نسبت به نتایج مدل پنمن ماتیت فائو در مقایسه با نتایج آن‌ها نسبت به نتایج لایسی متری، قابل قبول‌تر بوده است. از جمله دلایل این موضوع می‌توان گفت که؛ اطلاعات مورد نیاز محاسبه همه مدل‌ها، پارامترهای هواشناسی می‌باشد و اصول محاسباتی برخی از این مدل‌ها اشتراکات زیادی دارند (۱۱). از طرفی دقت بلوک‌های گچی در مقایسه با دستگاه TDR و در کل دقت لایسی مترهای زهکش‌دار نسبت به لایسی مترهای وزنی کم‌تر است.

محاسبه تبخیر و تعرق، در مقایسه با نتایج لایسمتری داشتند. با توجه به شاخص PE، همانند شاخص MR بدترین مدل‌ها، مدل والیانتراس ۲ (۲۰۱۳) با 60.37% ، مدل والیانتراس ۱ (۲۰۱۳) با 64.5% و مدل ایرماک (۲۰۰۳) با 73.12% خطای میانگین در محاسبه تبخیر و تعرق بودند، اما از این نظر بهترین نتایج را مدل هارگریوز-سامانی اصلاح شده با 7% ، مدل رماننکو اصلاح شده با 16% و مدل بلانی کریدل با 20% خطای میانگین نشان دادند. به صورت کلی و جمع‌بندی همه شاخص‌های آماری می‌توان گفت که در مقایسه با نتایج لایسی متری، در محل پژوهش مناسب‌ترین مدل‌ها، به ترتیب مدل بلانی کریدل، مدل راوازانی و همکاران (۲۰۱۲) و مدل Rn و ضعیف‌ترین مدل‌ها به ترتیب مدل ایرماک (۲۰۰۳) و مدل‌های والیانتراس (۲۰۱۳) می‌باشد. با توجه به این که ضریب همبستگی اسپیرمن در صورتی معنی‌دار است که مقدار P کوچک‌تر از 0.05 باشد (۹) و با توجه به جدول ۲

جدول ۲- ارزیابی عملکرد ۱۸ مدل تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) در مقایسه با نتایج لایسی متری.

Table 2. Performance evaluation of the 18 references evapotranspiration (ET_0) models versus result of Lysimeter.

ردیف No	مدل Model	PE (%)	MR (-)	MAE (mm.day ⁻¹)	RMSE (mm.day ⁻¹)	ضریب اسپیرمن Spearman Coefficient	
						R	P-value
1	Penman-Monteith	33.52	0.78	2.69	3.35	0.04	0.70
2	Hargreaves-Samani	27.50	0.86	2.55	3.16	-0.022	0.80
3	Hargreaves-Samani modified	07.00	1.09	3.03	3.76	-0.023	0.84
4	Irmak	73.12	0.31	4.38	4.92	0.12	0.28
5	Trajkovic	41.10	0.70	2.83	3.51	-0.025	0.82
6	Ravazzani et al	19.40	0.95	2.47	3.02	-0.029	0.80
7	Berti et al	36.30	0.75	2.72	3.40	-0.029	0.79
8	Schendel	15.22	0.96	2.62	3.34	0.065	0.56
9	Blaney Criddle	20.00	0.94	2.12	2.60	0.085	0.45
10	Romanenko	32.00	0.78	2.90	3.64	0.023	0.84
11	Romanenko modified	16.00	0.96	2.97	3.66	0.025	0.82
12	Mahringer	31.00	0.75	3.25	4.02	0.074	0.51
13	WMO	43.50	0.62	3.20	3.95	0.087	0.44
14	Rn	30.30	0.82	2.37	3.04	-0.017	0.88
15	Makkink modified	45.00	0.64	2.93	3.66	0.02	0.86
16	Turk	34.70	0.76	2.57	3.28	0.041	0.71
17	Valiantzas 1 method	64.50	0.41	3.87	4.53	-0.004	0.97
18	Valiantzas 2 method	60.37	0.45	3.64	4.32	0.075	0.51

جدول ۳- ارزیابی عملکرد ۱۷ مدل تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0) در مقایسه با نتایج مدل پنمن-مانتیت.

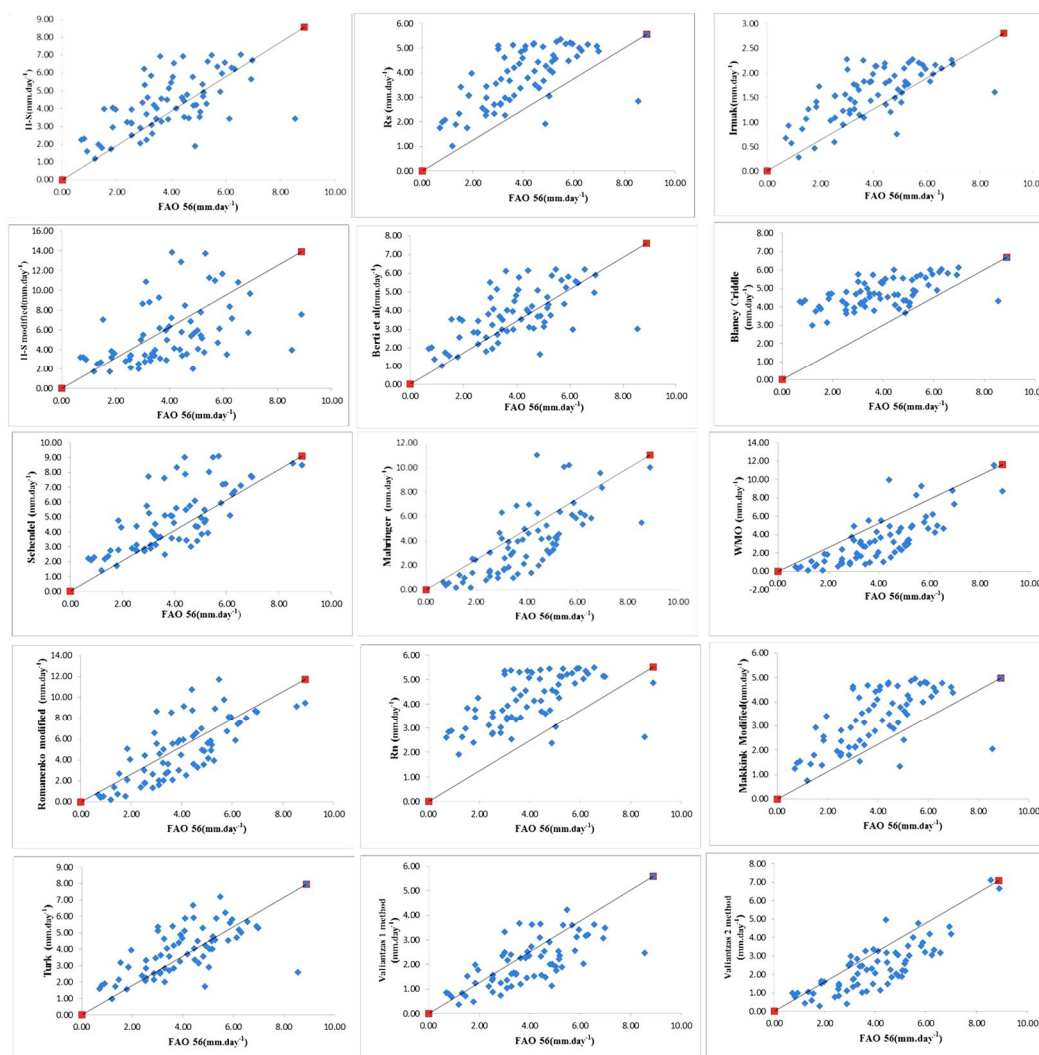
Table 3. Performance evaluation of the 18 references evapotranspiration (ET_0) models versus result of Penman-Monteith model.

ردیف No	مدل Model	PE (%)	MR (-)	MAE (mm.day ⁻¹)	RMSE (mm.day ⁻¹)	ضریب اسپیرمن Spearman Coefficient	
						R	P-value
1	Hargreaves-Samani	09.06	1.23	1.07	1.45	0.66	0.00
2	Hargreaves-Samani modified	39.90	1.58	2.21	3.17	0.56	0.00
3	Irmak	59.57	0.36	2.37	2.77	0.69	0.00
4	Trajkovic	11.38	1.01	1.07	1.40	0.65	0.00
5	Ravazzani et al	21.21	1.36	1.31	1.69	0.66	0.00
6	Berti et al	04.12	1.07	1.03	1.36	0.66	0.00
7	Schendel	27.53	1.36	1.45	2.39	0.74	0.00
8	Blaney Criddle	20.34	1.52	1.32	1.63	0.59	0.00
9	Romanenko	02.24	0.99	1.27	1.64	0.74	0.00
10	Romanenko modified	26.39	1.23	1.71	2.37	0.74	0.00
11	Mahringer	03.76	0.95	1.53	2.33	0.79	0.00
12	WMO	14.92	0.79	1.32	1.69	0.79	0.00
13	Rn	04.80	1.26	1.07	1.45	0.61	0.00
14	Makkink modified	17.12	0.92	1.10	1.49	0.68	0.00
15	Turk	01.80	1.09	1.02	1.33	0.69	0.00
16	Valiantzas 1 method	46.66	0.57	1.88	2.22	0.72	0.00
17	Valiantzas 2 method	40.38	0.61	1.63	1.88	0.80	0.00

اسپیرمن، که همه مقادیر از مقدار حدی ۰/۰۵ کوچکتر هستند (جدول ۳)، بنابراین نتایج مدل‌های مورد استفاده در مقایسه با نتایج مدل پنمن-مانتیت فائو از همبستگی قابل قبولی برخوردار هستند. همان‌گونه که اشاره شد شاخص MR مقدار کم‌برآوردی و بیش‌برآوردی مدل‌ها را تبیین می‌نماید. با توجه به این شاخص، به ترتیب مدل ایرماک (۲۰۰۳) با ۰/۵۴، مدل والیانتراس ۱ (۲۰۱۳) با ۰/۴۳، مدل والیانتراس ۲ (۲۰۱۳) با ۰/۳۹، مدل WMO (۱۹۶۰) با ۰/۲۵، مدل ماکینگ اصلاح‌شده (۲۰۱۶) با ۰/۸ و مدل ماهرینگر (۱۹۷۰) با ۰/۵ نسبت به مدل پنمن-مانتیت فائو مقدار تبخیر و تعرق روزانه را کم‌تر برآورد نمودند. همچنین مدل هارگریوز-سامانی اصلاح‌شده (۲۰۰۰) با ۰/۵۸، مدل بلانی کریدل (۱۹۷۷) با ۰/۵۲، مدل‌های راوازانی و همکاران (۲۰۱۲) و اسکاندل

با توجه نتایج جدول ۳ در مقایسه با نتایج مدل پنمن-مانتیت فائو و با در نظر گرفتن شاخص‌های MAE و RMSE مناسب‌ترین مدل، به ترتیب مدل تورک با مقادیر ۱/۳ و ۱/۰۲ (mm.day⁻¹)، مدل برتی و همکاران (۲۰۱۴) با مقادیر ۱/۳۶ و ۱/۰۳ (mm.day⁻¹) و مدل تراجوکوچ (۲۰۰۷) و Rn پایه با مقادیر ۱/۴۵ و ۱/۰۷ (mm.day⁻¹) بودند. بر همین اساس و با در نظر گرفتن شاخص‌های MAE و RMSE، در محل پژوهش به ترتیب مدل هارگریوز-سامانی اصلاح‌شده با مقادیر ۳/۱۷ و ۲/۲۱ (mm.day⁻¹)، مدل ایرماک (۲۰۰۳) با مقادیر ۲/۷۷ و ۲/۳۷ (mm.day⁻¹) و مدل اسکاندل (۱۹۶۷) با مقادیر ۲/۳۹ و ۱/۴۵ (mm.day⁻¹) در مقایسه با مدل پنمن-مانتیت فائو ضعیف‌ترین نتایج را داشتند. همچنین با در نظر گرفتن مقدار شاخص P در ضریب همبستگی

مدل‌های هارگریوز-سامانی (۱۹۸۵) و مدل رماننکو اصلاح‌شده (۲۰۰۵) هر دو با ۲۳٪، مدل تورک با ۹٪ و مدل برتی و همکاران (۲۰۱۴) با ۷٪ نسبت به مدل پنمن-مانتیت فائو مقدار تبخیر و تعرق روزانه را بیش‌تر برآورد نمودند.



شکل ۵- ارتباط بین تبخیر و تعرق (ET₀) روزانه تخمینی هر روش در مقابل تبخیر و تعرق روزانه لایسی متر.

Figure 5. Relationship between the daily reference evapotranspiration (ET₀) estimates of each method versus the Penman-Monteith daily Evapotranspiration.

میانگین محاسبه شده توسط مدل پنمن-مانتیت فائو نشان می‌دهد، به ترتیب مدل تورک با ۱/۸٪، مدل ماهرینگر (۱۹۷۰) با ۳/۷۶٪، مدل برتی و همکاران (۲۰۱۴) با ۴/۱۲٪ و مدل Rn (۲۰۰۳) با ۴/۸٪ مناسب‌ترین مدل و مدل‌های ایرماک (۲۰۰۳) با ۵۹/۵۷٪، مدل والیانتراس ۱ (۲۰۱۳) با ۴۶/۶۶٪، مدل

لازم به ذکر است که با توجه به شاخص MR مدل رماننکو (۱۹۶۱) با ۱٪ بیش‌برآوردی و مدل تراجوکوپیچ (۲۰۰۷) با ۱٪ کم‌برآوردی، از این نظر مناسب‌ترین برآوردها را از تبخیر و تعرق نسبت به مدل پنمن-مانتیت فائو ارائه نمودند. با در نظر گرفتن شاخص PE که درصد خطای میانگین‌ها را نسبت به

همکاران (۲۰۱۲) و مدل Rn و ضعیف‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب مدل ایرماک (۲۰۰۳) و مدل‌های والیانتراس (۲۰۱۳) می‌باشد. ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق در مقایسه با نتایج مدل جهانی پنمن-مانتیت فائو (FAO56) نشان داد که مناسب‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب مدل تورک، برتی و همکاران (۲۰۱۴) و مدل تراجوکوچ (۲۰۰۷) و ضعیف‌ترین مدل‌ها، مدل هارگریوز-سامانی اصلاح‌شده (۲۰۰۰)، مدل ایرماک (۲۰۰۳) و اسکاندل (۱۹۶۷) می‌باشند. با در نظر گرفتن نتایج جدول‌های ۲ و ۳ و با عنایت به این‌که مرجع مقایسه در هر دو ارزیابی (لایسی‌متر و مدل پنمن-مانتیت فائو) یکسان نبود در مشخص شدن ضعیف‌ترین مدل‌ها در محل پژوهش همخوانی وجود داشت. یعنی در هر دو روش به اتفاق، مدل‌های ایرماک (۲۰۰۳) و مدل‌های والیانتراس (۲۰۱۳) ضعیف‌ترین نتایج را داشتند. به‌عبارت دیگر اگرچه در جمع‌بندی هر دو روش مقایسه مناسب‌ترین مدل‌ها را با قاطعیت نمی‌توان معرفی نمود، اما ضعیف‌ترین مدل‌ها مشخص گردید.

والیانتراس ۲ (۲۰۱۳) با ۴۰/۳۸٪ و مدل هارگریوز-سامانی اصلاح‌شده (۲۰۰۰) با ۳۹/۹٪ ضعیف‌ترین نتایج را داشتند. در یک جمع‌بندی کلی و با در نظر گرفتن همه محک‌های آماری در محل پژوهش نسبت به مدل پنمن-مانتیت فائو، مناسب‌ترین مدل‌ها به‌ترتیب مدل تورک، برتی و همکاران (۲۰۱۴) و مدل تراجوکوچ (۲۰۰۷) و ضعیف‌ترین مدل‌ها، مدل هارگریوز-سامانی اصلاح‌شده (۲۰۰۰)، مدل ایرماک (۲۰۰۳) و اسکاندل (۱۹۶۷) تعیین گردید.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تعداد ۱۸ مدل برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، در شرایط آب و هوایی شهر اردبیل با نتایج تبخیر و تعرق به‌دست آمده از لایسی‌مترهای زهکش‌دار مقایسه گردید. علاوه بر مقایسه نتایج مدل‌ها با نتایج لایسی‌متری، مدل‌های مورد استفاده با نتایج مدل جهانی پنمن-مانتیت فائو (FAO56) نیز توسط محک‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج لایسی‌متری نشان داد که در محل پژوهش مناسب‌ترین مدل‌ها، به‌ترتیب مدل بلانی‌کریدل، مدل راوازانی و

منابع

1. Abedi-Koupai, J., Musavi, S.F., Rahmani, M., and Khazaei, M. 2013. Effect of wood, sand and chips mulches on Evapotranspiration using ZFP model. *J. Irrig. Sci. Engin.* 37: 1. 119-131. (In Persian)
2. Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A.M., and Hoogenboom, G. 2011. Evaluation of Reference Evapotranspiration Models for a Semiarid Environment Using Lysimeter Measurements. *J. Agric. Sci. Technol.* 13: 223-237.
3. Berti, A., Tardivo, G., Chiodani, A., Rech, F., and Borin, M. 2014. Assessing reference Evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agric. Water Manage.* 140: 20-25.
4. Djaman, K.B., Balde, A., Sow, A., Muller, B., Irmak, S.K., N'Diaye, M., Manneh, B.D., Moukoubi, Y., Futakuchi, K., and Saito, K. 2015. Evaluation of sixteen reference Evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *J. Hydrol. Region. Stud.* 3: 139-159.
5. Ghamarnia, H., Rezvani, S.V., and Fathi, P. 2013. Evaluation and calibration of Evapotranspiration models according to calculating periods for a cold semi-arid climate. *Water and irrigation management.* 25: 2. 25-37. (In Persian)
6. Heydari, M.M., Noushabadi, R.N., Vahedi, M., Abbasi, A., and Heydari, M. 2013. Comparison of Evapotranspiration models for estimating reference Evapotranspiration in arid environment. *Middle-East J. Sci. Res.* 15: 1331-1337.

7. Hozhabr, H., Moazed, H., and Shokri Khoochak, S. 2015. Estimation of reference Evapotranspiration (ET_0) using empirical models, Artificial Neural Network modelling and their comparison with Lysimeter data in Urmia Kahrizi Station. *Scientific-research quarterly of irrigation engineering and water*. 4: 15. 13-25. (In Persian)
8. Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G., and Jones, J.W. 2003. Solar and net radiation-based equations to estimate reference Evapotranspiration in humid climates. *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*. 129: 5. 336-347.
9. Khoshhal, J., Zare Abyane, H., Joshani, A.R., and Khazaei, M. 2015. Evaluation of potential Evapotranspiration methods using FAO pan method in east and southeast the Keshvar watershed. *Quarterly of Natural Geographical*. 8: 28. 1-16. (In Persian)
10. Li, S., Kang, S., Zhang, L., Zhang, J., Du, T., and Ding, R. 2016. Evaluation of six potential Evapotranspiration models for estimating crop potential and actual Evapotranspiration in arid regions, *J. Hydrol*. 543: 450-461.
11. Liu, X., Xu, C., Zhong, X., Li, Y., Yuan, X., and Cao, J. 2017. Comparison of 16 models for reference crop Evapotranspiration against weighing Lysimeter measurement. *J. Agric. Water Manage*. 184: 145-155.
12. Mohammadi, H., Azizi, Gh., Khoshakhlagh, F., and Khazaei, M. 2016. Estimation of the summer Cane Evapotranspiration using climate data. *Scientific-research quarterly of Geographical data*. 25: 99. 141-153. (In Persian)
13. Muniandy, J., Yusop, Z., and Askari, M. 2016. Evaluation of reference Evapotranspiration models and determination of crop coefficient for *Momordica charantia* and *Capsicum annum*. *J. Agric. Water Manage*. 169: 77-89.
14. Musavi-Baygi, M., Erfanian, M., Sarmad, M., and Khazaei, M. 2009. Estimation of reference crop Evapotranspiration using the least meteorological data (Case study: Khorasan Razavi province). *J. Water Soil*. 23: 1. 91-99. (In Persian)
15. Niaghi, A.R., Majnooni-Heris, A., Haghi, and D.Z., Mahtabi, G. 2013. Evaluate several potential Evapotranspiration methods for regional Use in Tabriz, Iran. *J. Appl. Environ. Biol*. 3: 31-41.
16. Omidvar, J., Davari, K., Arshad, S., Musavi-Baygi, M., Akbari, M., and Faridhosseini, A. 2013. Estimation of Evapotranspiration actual using sensor Aster and model metric. *Scientific-research quarterly of irrigation engineering and water*. 3: 9. 38-49. (In Persian)
17. Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., and Loumagne, C. 2005. Which potential Evapotranspiration input lumped rainfall simple efficient Evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *J. Hydrol*. 303: 290-306.
18. Rahimkhoob, A., Behbahani, M.R., and Fakheri, J. 2012. An evaluation of four reference Evapotranspiration models in a subtropical climate. *Water Resource Management*. 26: 2867-2881.
19. Razinei, T., and S. Pereira, L. 2013. Estimation of ET_0 with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. *Agricultural Water Management*. 121: 1-18.
20. Tabari, H., Grismer, M.E., and Trajkovic, S. 2013. Comparative analysis of 31 reference Evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Sciences*. 31: 107-117.
21. Trajkovic, S. 2007. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *J. Irrig. Drain. Eng*. 133: 38-42.
22. Valiantzas, D.J. 2013. Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman-Monteith reference Evapotranspiration using limited data. *J. Hydrol*. 505: 13-23.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Evaluation of eighteen reference evapotranspiration models under the Ardabil climate condition

*M. Raof¹ and J. Azizi Mobaser²

¹Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Mohaghegh Ardabili,

²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 04/24/2017; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: Evapotranspiration is one of the important factors that knowing the exact amount, for determining water requirements and irrigation system design is essential. One way to determine evapotranspiration using experimental models, but to use them in every place must first be evaluated. For this purpose, the study compared the results of 18 models evapotranspiration with drainage Lysimeter and the Penman-Monteith (FAO56) was evaluated.

Materials and Methods: This study was conducted in Hangar research station of the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil. For this purpose grass were planted in 3 Lysimeter and around the Lysimeter. Grass evapotranspiration measured by volumetric Lysimeter based on water balance equation components (input and output water volume, save moisture and evapotranspiration), was estimated. To estimate reference evapotranspiration 18 models, including models such as temperature, radiation and the combination was chosen. The meteorological synoptic station of Ardabil was used to prepare the information needed to model. Besides the results of Lysimeter, evapotranspiration obtained by the FAO Penman-Monteith model also was used as a reference for comparing the performance model. Evapotranspiration estimation models using statistical indices, root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), the estimated margin of error (PE), the ratio (MR) and spearman's rho coefficient is calculated as follows to cross they were evaluated.

Results: The results showed that for all models, high dispersion of points around the line one to one, or answer them consistent with the results of Lysimeter answer is not good. Moreover, some of these models overestimated and underestimated some of them to calculate evapotranspiration. Using statistical indicators may be compared with the results of Lysimeter, at the most proper research models, respectively Blaney Cradle, Ravazzani and the Rn and the weakest models respectively Irmak and Valiantzas. Overall fit the model results against the results of the FAO Penman-Monteith model compared to its results compared to the results of Lysimeter, was more suitable. Also according to the statistical criteria in this study, the FAO Penman-Monteith model, the most appropriate models were Turk, Berti and the Trajkovic and the weakest models, modified Hargreaves-Samani, Irmak and Scandal were determined.

Conclusion: In both assessments methods (Lysimeter and FAO Penman-Monteith model) were not the same in determining our study was the weakest model in place. That is, both methods together, Irmak models (2003) and models Valiantzas (2013) had the weakest results. In other words, although the sum of the two methods compares the most appropriate models cannot be identified with certainty, but the weakest model was determined.

Keywords: Evapotranspiration, Drainage Lysimeter, Evaluation, FAO Penman-Monteith model

* Corresponding Author; Email: majidraof2000@yahoo.co.uk

