

Evaluation of Different Models for Estimating Reference Evapotranspiration (ET_0) in Aleshtar PlainARYAN HEIDARI MOTLAGH¹, ALI HAIDAR NASROLAHI^{*1}, MAJID SHARIFIPOUR¹, SHADMAN VEYSI²

1. Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2. Soil and Water Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Kurdistan, Iran.

(Received: Feb. 13, 2021- Revised: March. 17, 2021- Accepted: Apr. 10, 2021)

ABSTRACT

Accurate estimation of reference evapotranspiration (ET_0) in each region is necessary due to its significant contribution to water resources management and proper irrigation planning. Since direct (ET_0) measurement methods are time consuming and costly, therefore, in many cases, experimental and mathematical models are used for this purpose. These models, however, can't be used unless they are validated and verified using lysimetric data. A various methods can be used to estimate evapotranspiration; but the performance of these equations are varied from one climatic condition to another. Therefore, in the present study, lysimetric data have been used to evaluate 15 ET_0 estimation models in Aleshtar region. The data required in different (ET_0) estimation models were collected from Aleshtar synoptic station. According to the statistical evaluation results, the Jensen- Haise (RMSE = 1.14) and Turk (RMSE = 1.42) models from the radiation group and the Hargreaves-Samani (HS) model (RMSE = 1.72) from the temperature group were found to be the most accurate ET_0 estimation models in the study area. On the other hand, Meyer (RMSE = 4.78) and WMO (RMSE = 4.73) models from mass transfer group were found to be the least accurate ET_0 estimation models, respectively. Finally, taking into account the significance of the FAO Penman-Monteith model in evapotranspiration calculations, comparing lysimetric data with the values estimated by this model showed that the FAO-Penman-Monteith model (RMSE = 5.83 and $R^2= 0.10$) has the least accurate to estimate ET_0 in the region.

Keywords: Evapotranspiration, Lysimeter, Validation, Reference Plant.

*Corresponding Author's Email: nasrolahi.a@lu.ac.ir

ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در دشت الشتر

آرین حیدری مطلق^۱، علی حیدر نصرالهی^{۱*}، مجید شریفی پور^۱، شادمان ویسی^۲

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲. بخش آب و خاک، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، کردستان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱/۲۱)

چکیده

برآورد دقیق مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) در هر منطقه با توجه به اهمیت آن در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری امری ضروری است. با توجه به وقت‌گیر و هزینه‌بر بودن روش‌های مستقیم اندازه‌گیری (ET_0)، لذا در بسیاری از موارد از مدل‌های تجربی و ریاضی برای این منظور استفاده می‌گردد که لازمه اطمینان از این مدل‌ها صحت‌سنجی و ارزیابی آنها با استفاده از داده‌های لایسیمتری است. روش‌های مختلفی برای تخمین تبخیر و تعرق وجود دارد؛ اما عملکرد این معادلات در شرایط اقلیمی گوناگون متفاوت است. از این رو در این تحقیق ۱۵ مدل مختلف جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع با توجه به نتایج لایسیمتری در منطقه الشتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات مورد نیاز مدل‌های مختلف جهت برآورد (ET_0) از ایستگاه سینوپتیک الشتر تهیه شد. نتایج ارزیابی آماری نشان داد مدل‌های جنسن هیز و تورک از گروه تشعشی به ترتیب با ($RMSE=1/14$) و ($RMSE=1/42$) میلی‌متر و مدل هارگریوز - سامانی از گروه دمایی با ($1/72$) $RMSE=$ میلی‌متر بیشترین دقت را جهت برآورد (ET_0) در منطقه مورد مطالعه داشتند. از طرف دیگر مدل‌های میبیر و WMO از گروه انتقال جرم به ترتیب با ($RMSE=4/78$) و ($RMSE=4/73$) میلی‌متر از دقت بسیار پایینی برخوردار بودند. در نهایت با توجه به اهمیت مدل فائو-پنمن-مانتیث در محاسبات مربوط به تبخیر و تعرق، مقایسه بین مقادیر لایسیمتری و مقادیر برآوردی توسط این مدل نشان داد که مدل فائو-پنمن-مانتیث با مقادیر ($RMSE=5/83$) میلی‌متر و ($0/10$) R^2 دقت پایینی در برآورد مقدار ET_0 در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، لایسیمتر، صحت‌سنجی، گیاه مرجع.

مقدمه

یکی از راهکارهای مقابله با بحران آب، استفاده مناسب و مدیریت بهینه منابع آب است. لازمه مدیریت بهینه منابع آب تعیین دقیق مؤلفه‌های بیلان آب در هر منطقه می‌باشد (Feng et al., 2017). تبخیر و تعرق که شامل تبخیر از سطح آب یا خاک مرطوب و تعرق از سطح پوشش گیاهی است یکی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین اجزای بیلان آب در هر منطقه است. علاوه بر این تعیین نیاز آبی گیاهان به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری وابسته به میزان تبخیر و تعرق از سطح پوشش گیاهی است که در صورت برآورد دقیق آن تأثیر بسزایی در کاهش تلفات آبیاری و افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی دارد (Tabari et al., 2012; Wen et al., 2015; Laaboudi et al., 2012). تبخیر و تعرق از سطح هر پوشش گیاهی (ET_c) تابع عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی منطقه، نوع گیاه و سایر عوامل مدیریتی زراعی است که اولین گام در برآورد مقدار آن، تعیین تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) بوده که بیانگر شرایط اقلیمی منطقه می‌باشد

(Allen et al., 1998). طبق تعریف تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه خاصی (نظیر چمن یا یونجه) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به طوری که این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشود (Allen et al., 1998).

بطور کلی در روش‌های مستقیم محاسبه ET_0 شامل انواع لایسی‌مترها و روش بیلان رطوبتی خاک، باوجود دقت بالا ولی به دلیل نیاز به صرف هزینه و زمان زیاد، در هر شرایطی امکان اجرای آنها مهیا نمی‌باشد. از این رو امروزه استفاده از روش‌های غیر مستقیم از جمله مدل‌های تجربی و ریاضی مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرد. مدل‌های متعددی برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد که هرکدام با توجه به فرضیات و داده‌های هواشناسی مختلفی که در نظر می‌گیرند، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند (Grismer et al., 2002). مدل‌های تجربی بر اساس اطلاعات و شرایط جوی مورد نیاز به سه گروه مدل‌های حرارتی، تشعشی و ترکیبی تقسیم‌بندی می‌شوند (Djaman et

قزوین پرداختند. نتایج ارزیابی‌های آماری نشان داد روش تجربی هارگریوز سامانی از گروه دمایی بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت قزوین است. (Raouf and azizimobser, 2018) در تحقیقی هیجده مدل تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی دشت اردبیل با داده‌های لایسیمتری مقایسه و ارزیابی شدند و بر اساس شاخص‌های مختلف آماری مدل‌های بلانی کریدل، راوزانی و همکاران و مدل Rn مناسب‌ترین و مدل‌های ایرماک و والیانتراس ضعیف‌ترین مدل‌ها بودند. (Keykhamoghaddam, 2018) به ارزیابی مدل‌های تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای اقلیم گرم و خشک پرداختند و نتایج آنها نشان داد که ET_0 محاسبه شده از مدل‌های اشنایدر، هارگریوز، تورک و دالتون با کمترین درصد خطا بهترین برآورد را نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت نشان دادند. (Bahmani and kaviani, 2020) در مقایسه مدل‌های مختلف تجربی و داده‌های مشاهداتی لایسیمتری در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک ایران، نشان دادند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک روش هارگریوز-سامانی و در مناطق معتدل و مرطوب روش آلبریچت با RMSE کمتر از یک میلی‌متر در روز بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع می‌باشند. (Djaman et al., 2016) با بررسی ۱۶ مدل برآورد تبخیر و تعرق مرجع را با نتایج مدل فائو-پنمن-مانتیت در دره رودخانه سنگال ارزیابی نمودند. مدل‌های والیانتراس، تراپرت، ماننکو، اسکندل و ماهرینگر را معادله‌های مناسبی برای منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. (Liu et al., 2017) به ارزیابی ۱۶ مدل برآورد تبخیر و تعرق با لایسی‌متر وزنی در پکن پرداخته که نتایج آنها حاکی از بیش‌برآوردی همه‌ی ۱۶ مدل نسبت به نتایج لایسی‌متر بود. (Jiang et al., 2019) گزارش کردند که ET_0 بیشترین حساسیت را به ترتیب به رطوبت نسبی، حداکثر دما، حداقل دما و سرعت باد داشته و علاوه بر این حساسیت ET_0 به متغیرهای اقلیمی در طول فصل رشد نوسان دارند لذا در استفاده از مدل‌های مختلف باید به این مسئله توجه کرد. بررسی روند تبخیر و تعرق مرجع و عوامل موثر بر آن در مناطقی از مالزی نشان داد که افزایش حداقل دما دلیل اصلی افزایش ET_0 در این مناطق بوده و برای تعیین مدل مناسب برای هر منطقه ۱۵ مدل تجربی محاسبه تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد (Hadipour et al., 2020).

همان‌طور که نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد بدلیل عدم قطعیت و اختلافات زیادی که مدل‌های مختلف در برآورد میزان تبخیر و تعرق دارند لازمه استفاده از مدل‌های مختلف تجربی برای برآورد ET_0 در هر منطقه ارزیابی آنها با استفاده از داده‌های واقعی یا روش‌های استاندارد مانند فائو-پنمن-مانتیت

(al., 2015). این مدل‌ها در عین سادگی استفاده دارای دو مشکل عمده هستند بطوری‌که اولاً عمومیت نداشته و باید برای هر منطقه واسنجی و صحت‌سنجی شوند، به‌عبارت دیگر در شرایط خاص توسعه یافته‌اند و دوم اینکه برخی از این مدل‌ها نیاز به اطلاعات زیادی دارند که در همه جا امکان اندازه‌گیری آنها وجود ندارد. برای واسنجی مدل‌های مختلف جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع و تعیین مدل مناسب در هر منطقه معمولاً از اطلاعات لایسی‌متری و یا مدل فائو-پنمن-مانتیت به عنوان مدل مرجع و استاندارد استفاده می‌شود (Liu et al., 2017).

مقایسه و ارزیابی مدل‌های مختلف جهت برآورد میزان ET_0 در مناطق مختلف و با روش‌های متفاوت همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است. (Sabziparvar et al., 2008) در تحقیق خود چهار مدل تبخیر و تعرق گیاه مرجع، یعنی جنسن - هیز اصلاح شده، جنسن - هیز، فائو-پنمن - مانیت و ایرماک را برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع روزانه چمن (ET_0) در اقلیم سرد و نیمه خشک مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مدل جنسن-هیز در مقایسه با سایر مدل‌ها، مقدار ET_0 را با دقتی بهتر از مدل فائو-پنمن - مانیت در اقلیم سرد و نیمه خشک همدان برآورد می‌نماید. (Fooladmand and spaskhah, 2005) نشان داد در سه منطقه باجگاه، جهرم و کوشک در شرایط کشت واحه‌ای در ایران به علت وجود جریان افقی گرما، محاسبه تبخیر و تعرق به روش فائو-پنمن - مانیت کارایی لازم را ندارد و تخمین کمتری را از واقعیت ارائه می‌کند و در عوض روش جنسن-هیز کارایی بهتری داشته است. (Ghamarnia et al., 2013) با واسنجی مدل‌های تبخیر و تعرق گیاه مرجع باتوجه به تأثیر دوره محاسباتی نشان دادند مدل پنمن اصلاح شده در تمامی دوره‌های محاسباتی، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با دقت بالاتری برای اقلیم‌های نیمه خشک پیش بینی می‌کند و نیز طول دوره محاسباتی، تأثیر معنی‌داری بر دقت پیش‌بینی مدل‌های تبخیر و تعرق ایجاد نمی‌کند. (Babamiri and Scholar, 2014) با مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با روش فائو-پنمن-مانتیت، دو روش هارگریوز و لیناکر را به عنوان بهترین روش در منطقه مورد مطالعه معرفی کردند. (morshedi, 2015) به ارزیابی تبخیر و تعرق با چند مدل ریاضی و سند ملی آب نسبت به داده‌های لایسیمتر در دشت مرتفع شهرکرد پرداخت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بهترین مدل‌ها در بازه زمانی روزانه به ترتیب هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز و تورک نسبت به لایسیمتر می‌باشند. (Nazari and kaviani, 2015) به ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل و تشت تبخیر با مقادیر لایسیمتر در یک اقلیم نیمه خشک در دشت

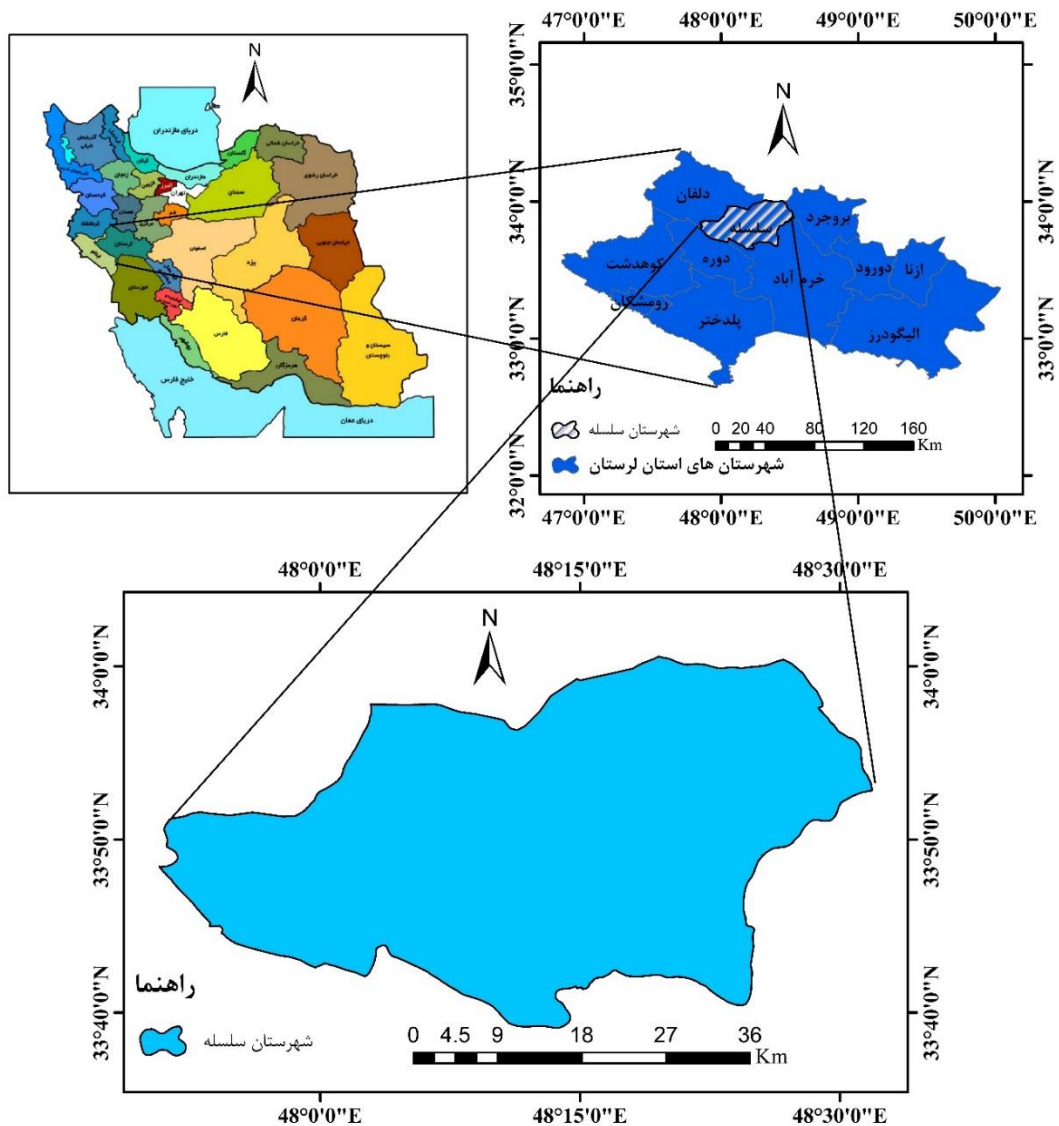
وسعت حدود ۱۹۰۰ کیلومتر مربع با ارتفاع ۱۶۰۰ متر از سطح که در ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی در شمال استان لرستان واقع شده است. این منطقه از نظر اقلیمی نیمه مرطوب با تابستانی معتدل و زمستانی سرد می‌باشد. مجموعه بارش سالیانه این منطقه حدود ۵۱۵ میلی‌متر می‌باشد. در باز زمانی پنج ماهه (خرداد تا مهر) دمای کمینه در دامنه ۲/۵ تا ۲۵/۹ درجه سلسیوس و دمای بیشینه در دامنه ۲۷ تا ۳۸/۸ درجه سلسیوس متغیر است. تغییرات سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین از ۲/۸ تا ۹/۱ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی متوسط در دامنه ۱۶ تا ۵۵/۵ درصد متغیر بود. (شکل ۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

است. از آنجایی که خود روش فائو- پنمن- مانیتث نیز در بسیاری از مناطق نتایج دقیقی نداشته لذا لازم هست خود این روش نیز برای هر منطقه با استفاده از داده‌های لایسیمیتری (روش مستقیم) ارزیابی گردد. از این رو هدف از این تحقیق ارزیابی برخی از پرکاربردترین مدل‌های تبخیر و تعرق از جمله روش فائو- پنمن- مانیتث با استفاده از اطلاعات واقعی میدانی و انتخاب بهترین روش‌ها برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در دشت الشتر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در شهر الشتر انجام گرفته است. دشت الشتر با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی الشتر، لرستان و ایران

برآورد تبخیر و تعرق به روش مستقیم

S_2 رطوبت ذخیره شده در خاک در انتهای دوره‌ی زمانی، θ رطوبت آب خاک، L ضخامت هر لایه و n تعداد لایه‌ها می‌باشند.



شکل ۲- نمایی از لایسیمتر کشت شده چمن

این تحقیق در سال زاعی ۹۹-۱۳۹۸ در باز زمانی پنج ماهه (خرداد تا مهر) جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار استوانه‌ای با قطر ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر از جنس پلی اتیلن در دشت الشتر انجام شد. چمن گیاهی متراکم و در زمان کوتاه سطح عمده‌ای از زمین را پوشش می‌دهد و امکان نگهداری و کوتاه نگهداشتن ارتفاع آن ساده‌تر از یونجه است، بنابراین، در این تحقیق به عنوان گیاه مرجع انتخاب شد. ارتفاع چمن در زمان تحقیق در بازه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر نگهداری می‌شد. جهت نصب لایسیمترها گودال‌های بزرگتر از ابعاد لایسیمترها حفر گردید و لایسیمترها در داخل آن قرار داده شدند. کف لایسیمترها به صورت شیب‌دار و در انتها به وسیله لوله‌ای مشبک به خارج متصل گردید تا زه‌آب‌ها به محل اندازه‌گیری هدایت شوند. به منظور سهولت در زهکشی، لایه‌ای از شن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف لایسیمتر ریخته شد. لایسیمترها با خاک محل حفر گودال با در نظر گرفتن ترتیب لایه‌های پروفیل خاک پر و در چندین نوبت فشرده گردیده است. جهت تحکیم خاک قبل از انجام عملیات کشت بر روی لایسیمتر در چند نوبت به خاک داخل لایسیمتر آب داده شد و پس از نشست کامل مجدداً لایسیمتر تا سطح مورد نظر با خاک پر گردید. برای اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک از چهار سنسور (بلوک گچی) در اعماق مختلف استفاده شد. کابل سنسورها از داخل لایسیمتر بیرون قرار داده شده و با وصل کردن سنسور به دستگاه اقدام به تعیین رطوبت شد. قرائت دستگاه قبل از آبیاری انجام می‌گرفت و براساس رطوبت لایه‌های مختلف خاک داخل آن، حجم آب مورد نیاز اضافه شد. برای محاسبه دقیق آب ذخیره شده، خاک لایسی‌مترها به چهار لایه تقسیم بندی شده و در وسط هر لایه یک بلوک گچی نصب گردید. برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاهی توسط لایسیمتر زهکش‌دار در دوره زمانی معین، از رابطه بیلان آبی خاک (۱) استفاده شد. در طی مدت پژوهش به صورت روزانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به طور مستقیم و از طریق معادله بیلان آبی رابطه (۱) برآورد گردید.

$$ET = I + P - D \pm \Delta S \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن ET تبخیر و تعرق I ، عمق آب آبیاری، P مقدار بارندگی (mm) ، D مقدار زهکشی (mm) و ΔS تغییرات ذخیره آب خاک (mm) است. کل تغییرات آب ذخیره شده در هر لایه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

(رابطه ۲)

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_0^L \theta dz \approx \sum_{i=1}^n \theta \Delta z = \theta L$$

S_1 ، رطوبت ذخیره شده در خاک در ابتدای دوره‌ی زمانی،

مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع به روش غیر مستقیم:

جدول (۱) در بردارنده مدل‌های تجربی مورد ارزیابی در این پژوهش می‌باشد. همان‌طور که از این جدول پیداست از انواع مدل‌های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق که شامل دمایی (هارگریوز- سامانی، بلانی کرایدل، اسکندل و برتی)، تشعشعی (جنسن هیز، تورک، مککینگ، پریستلی-تیلور و تشعشعی فائو)، ترکیبی (فائو- پنمن- مانتیث و ایرماک) و انتقال جرم (رومانکو، ماهرینگر، مییر و WMO) استفاده شده است. معادله این مدل‌ها در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش غیر مستقیم از متغیرهای هواشناسی روزانه شامل درجه حرارت حداکثر و درجه حرارت حداقل $(T_{max}$ و T_{min}) $[^\circ C]$ ، رطوبت نسبی حداکثر و رطوبت نسبی حداقل $(Rh_{max}$ و $Rh_{min})$ ، تابش

میانگین روزانه در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری از سطح زمین (°C)،
 u_2 میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متر (ms^{-1})،
 فشار بخار اشباع e_a (kPa)، فشار بخار واقعی $e_a - e_a$ (kPa)،
 بخار اشباع T_{max} (kPa)، دمای بیشینه روزانه T_{min} (°C)،
 کمینه روزانه RH (°C)، درصد متوسط رطوبت نسبی روزانه
 (درصد)، R_s تشعشع خورشیدی با طول موج کوتاه ($MJm^{-2}d^{-1}$)،
 ثابت رطوبتی g ($kPa C^{-1}$)، ارتفاع محل از سطح دریا (m) و λ
 ضریب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس برابر ۲/۴۵ ($MJm^{-2}d^{-1}$)
 می‌باشند.

خورشیدی $[MJ m^{-2}d^{-1}](N)$ ، سرعت باد در ارتفاع دو متری (WS)
 و نقطه شبنم در بازه زمانی پنج ماهه استفاده شد که
 اطلاعات مورد نیاز از ایستگاه سینوپتیک الشتر اخذ گردید. پس
 از تشکیل بانک اطلاعاتی داده‌ها در محیط نرم افزاری اکسل،
 مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از هر یک از مدل‌های موردنظر
 محاسبه شد.

در روابط ارائه شده در جدول (۱) ET_0 تبخیر و تعرق روزانه
 ($mm.day^{-1}$)، D شیب فشار بخار اشباع ($kPa C^{-1}$)،
 تشعشع R_n ، تشعشع واقعی R_a ($MJm^{-2}d^{-1}$)،
 شار تبادل گرمایی خاک G ($MJm^{-2}d^{-1}$)،
 دمای T_{mean} ($^{\circ}C$)،

جدول ۱- مدل‌های تجربی برآورد تبخیر و تعرق مرجع مورد استناد در تحقیق

| معادله | مدل | ردیف |
|---|----------------------------|------|
| $ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$ | FAO- Penman-Mantith (1998) | 1 |
| $ET_0 = 0.0023R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$ | Samani (1985) & Hargreaves | 2 |
| $ET_0 = (0.375 + 0.0502u_2) \cdot (e_s - e_a)$ | Meyer(1962) | 3 |
| $ET_0 = 0.149R_s + 0.079T_{mean} - 0.611$ | <i>et al.</i> (2003) Irmak | 4 |
| $ET_0 = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$ | Priestly-teylor(1972) | 5 |
| $ET_0 = a + b \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot R_s \right]$ | Radiation(1977) | 6 |
| $ET_0 = 0.408 * 0.00193R_a(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.517}$ | Berti <i>et al.</i> (2014) | 7 |
| $ET_0 = 16 \frac{T_{mean}}{RH}$ | Schendel (1967) | 8 |
| $ET_0 = P(0.46T_{mean} + 8.17)$ | Blaney and Criddle (1950) | 9 |
| $ET_0 = 4.5 \left(\frac{T_{mean}}{25} + 1 \right)^2 \left(1 - \frac{e_a}{e_s} \right)$ | Oudin <i>et al.</i> (2005) | 10 |
| $ET_0 = 0.15072 \sqrt{3.6u_2(e_s - e_a)}$ | Mahringer (1970) | 11 |
| $ET_0 = (0.1298 + 0.0934u_2)(e_s - e_a)$ | WMO (1960) | 12 |
| $ET_0 = C_r(T - T_x)R_s$ | Jensen-Hayes (1963) | 13 |
| $ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_s}{2.45} - 0.12$ | Makkink (1957) | 14 |
| $ET_0 = 0.013 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15} \frac{23.88R_s + 50}{\lambda}$ | Turc(1961) | 15 |

$$MR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i} \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 + \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{و} \quad -\infty \leq NS \leq 1 \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$(\text{رابطه ۸})$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \right]^2 \quad \text{و} \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

در روابط بالا، X_i و Y_i به ترتیب مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در گام زمانی i ام، N تعداد گام‌های زمانی، \bar{X} و \bar{Y} نیز به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. میانگین خطای مطلق همواره درصد خطای واقعی و اختلاف بین

آماره‌های ارزیابی مدل‌ها

به منظور ارزیابی دقت و کارایی مدل‌ها، از معیارهای میانگین خطای مطلق^۱ (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE)، متوسط قدرمطلق خطای نسبی^۳ (AARE)، نسبت میانگین (MR^4) ، ضریب نش (NS) و ضریب تبیین (R^2) به صورت زیر استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$AARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{y_i} \quad (\text{رابطه ۵})$$

به مقادیر شاخص MR مشخص شد که مدل جنسن هیز با شش درصد و مدل هارگریوز سامانی با نه درصد کم‌برآوردی مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع را نسبت به روش لایسیمتری برآورد کرده‌اند. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان از همبستگی معنی دار همه‌ی مدل‌های مورد ارزیابی نسبت به روش لایسیمتری دارد که از میان مدل‌های مختلف مدل‌های جنسن هیز، مکینک، تورک و هارگریوز سامانی به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۹، ۰/۷۰، ۰/۶۷ و ۰/۶۵ بیشترین همبستگی را با روش اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق مرجع را داشته‌اند.

مقایسه روش فائو- پنمن- مانیتث با روش لایسیمتری

در بررسی عملکرد مدل فائو- پنمن- مانیتث به عنوان مدل مرجع در سراسر دنیا که به عنوان یک مدل مبنا در ارزیابی مدل‌های تجربی مختلف تبخیر و تعرق مرجع شناخته شده است نتایج نشان داد در این منطقه مطالعاتی از دقت پایینی نسبت به مقادیر داده‌های واقعی تبخیر و تعرق مرجع برخوردار بوده است به طوری که دارای بیشترین مقادیر (RMSE=5/83 mm.day⁻¹)، نسبت (MAE=5/54 mm.day⁻¹) و (AARE=0/89 mm.day⁻¹) نسبت به مقدار واقعی بوده است. بر اساس شاخص MR مدل فائو- پنمن- مانیتث با ۴۷ درصد کم برآوردی بدترین نتایج را برای محاسبه تبخیر و تعرق، در مقایسه با نتایج لایسیمتری داشته است و همچنین بر اساس شاخص NS مدل پنمن مانیتث با مقدار ۰/۰۹۷- بدترین نتایج را برای محاسبه تبخیر و تعرق، در مقایسه با نتایج لایسیمتری داشته است. با توجه به ضریب همبستگی اسپیرمن مدل فائو- پنمن- مانیتث از همبستگی پایینی نسبت به مقادیر داده‌های واقعی تبخیر و تعرق مرجع برخوردار بوده است. در این رابطه بررسی‌های (Sabziparvar et al., 2008) و (Fooladmand and spaskhah, 2005) نشان داد که نتایج مدل فائو پنمن نسبت به داده‌های لایسیمتری از دقت پایینی برخوردار بوده است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

ارزیابی گرافیکی عملکرد روش‌های مختلف برآورد (ET₀) بر اساس نوع مدل‌ها

ارزیابی گرافیکی عملکرد مدل‌های تشعشی

نمودارهای شکل (۳) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی بر اساس مدل‌های تشعشی در برابر مقادیر مشاهداتی می‌باشد. بر اساس این نمودارها مدل جنسن هیز نسبت به سایر مدل‌های تشعشی بهترین عملکرد را داشته زیرا پراکنش مقادیر مشاهداتی نسبت به مقادیر محاسباتی حول خط ربع نیمساز (X=Y) متمرکز است. علاوه بر آن مشاهده می‌گردد که مدل جنسن هیز در برآورد مقادیر حداقل و حداکثر عملکرد مناسبی از

مدل مبنا و مدل مورد نظر را نشان می‌دهد و مقدار بالای آن معرف خطای بیشتر مدل مورد نظر است. آماره ریشه میانگین مربعات همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار به صفر نزدیک شود. مقدار مثبت آماره متوسط قدرمطلق خطای نسبی بیان‌گر آن است که مدل مورد بررسی تبخیر-تعرق مرجع را بیشتر برآورد کرده و مقدار منفی آن بیانگر آن است که مدل مقدار تبخیر و تعرق را کمتر برآورد می‌کند و هرچه مقدار آن به صفر نزدیک باشد حاکی از دقت بالاتر است. شاخص نسبت میانگین به منظور بیش‌برآوردی یا کم‌برآوردی مدل‌ها نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده، مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ضریب نش از منفی بینهایت تا یک می‌باشد بهترین حالت بر اساس این شاخص زمانی است که مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد. شاخص ضریب تبیین نشانگر دقت تخمین است که مقداری همواره بین منفی یک و مثبت یک دارد که علامت + و - بیانگر همبستگی مثبت یا منفی است و هرچه به یک نزدیک باشد نشان از همبستگی بیشتر بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی دارد. علاوه بر محک‌های آماری مورد اشاره، به منظور بررسی میزان همبستگی نتایج مدل‌ها از ضریب همبستگی اسپیرمن (R) استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های تجربی برآورد (ET₀) با روش لایسیمتری مقادیر شاخص‌های RMSE، MAE، R²، AARE، MR، NS و ضریب اسپیرمن مدل‌های مورد بررسی نسبت به لایسیمتر در جدول (۲) آورده شده‌اند. بر اساس شاخص‌های آماری RMSE، MAE و AARE به دست آمده از مدل‌های جنسن هیز با (۱/۱۴) (RMSE=۱/۰۷، MAE=۱/۱۲ و AARE=۰/۱۲) (mm.day⁻¹)، تورک با (۱/۴۲) (RMSE=۱/۳۵، MAE=۰/۱۸ و AARE=۰/۱۸) (mm.day⁻¹)¹ و هارگریوز سامانی با (۱/۷۲) (RMSE=۱/۶۱، MAE=۰/۲۱ و AARE=۰/۲۱) (mm.day⁻¹) دارای بیشترین عملکرد نسبت به سایر مدل‌ها بوده‌اند. در مقابل مدل‌های مییر با (۴/۷۸) (RMSE=۴/۷۱، MAE=۴/۷۲ و AARE=۳/۷۲) (mm.day⁻¹) و WMO با (۴/۷۳) (RMSE=۴/۷، MAE=۳/۷ و AARE=۳/۷) (mm.day⁻¹) دارای ضعیف‌ترین عملکرد نسبت به سایر مدل‌ها مورد ارزیابی بوده است. بر اساس ضریب NS نیز مدل‌های جنسن هیز (NS=۰/۴۶)، هارگریوز سامانی (NS=۰/۴۰) و تورک (NS=۰/۳۶) مناسب‌ترین مدل در برآورد تبخیر و تعرق نسبت به نتایج لایسیمتری می‌باشند. در حالی که مدل‌های برتی، مییر و WMO به ترتیب با مقادیر ضریب NS، ۰/۰۳، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۵ در مقایسه با نتایج لایسیمتری، ضعیف‌ترین نتایج را در بین مدل‌ها داشتند. با توجه

نمودارهای شکل (۵) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی بر اساس مدل‌های انتقال جرم در برابر مقادیر مشاهداتی می‌باشد. بر اساس این نمودارها مدل رومانکو از همبستگی قابل قبولی نسبت به سایر مدل‌ها در برابر مقادیر واقعی برخوردار بوده است به طوری که نسبت به سایر مدل‌های انتقال جرم بهترین عملکرد داشته در مقابل مدل میسر با کمترین همبستگی نسبت به داده‌ای واقعی ضعیف‌ترین عملکرد را در بین مدل‌های دارا بوده است.

ارزیابی گرافیکی عملکرد مدل‌های ترکیبی

نمودارهای شکل (۶) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی بر اساس مدل‌های ترکیبی فائو- پنمن- مانتیث و ایرماک در برابر مقادیر مشاهداتی می‌باشد. همان طور که از نمودارها قابل مشاهده است عملکرد مدل‌های ترکیبی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع نسبت به داده‌های لایسمتری از عملکرد پایینی برخوردار بوده است اما از این بین این دو مدل ایرماک عملکرد بهتری نسبت به فائو- پنمن- مانتیث در برابر داده‌های لایسمتری داشته است به طوری که مقادیر محاسباتی حول خط نیمساز ربع اول پراکنش بیشتری نسبت به فائو- پنمن- مانتیث داشته است.

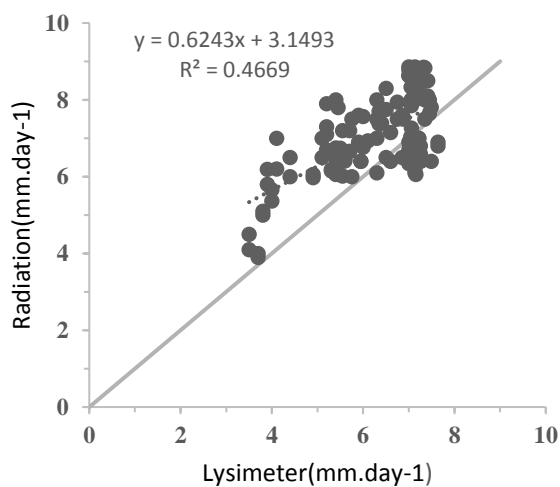
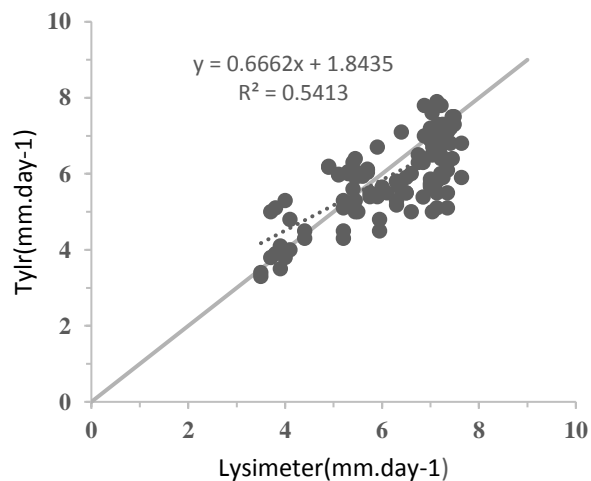
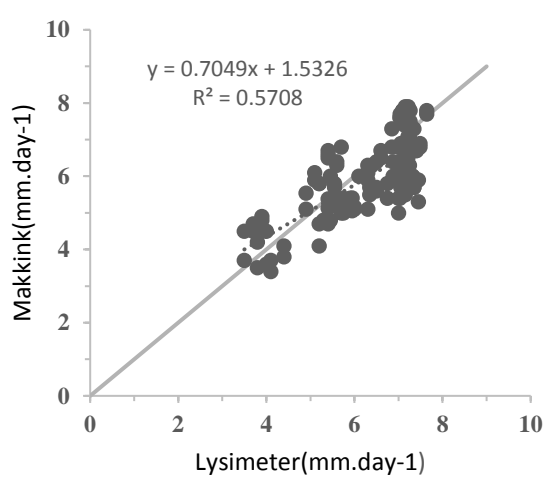
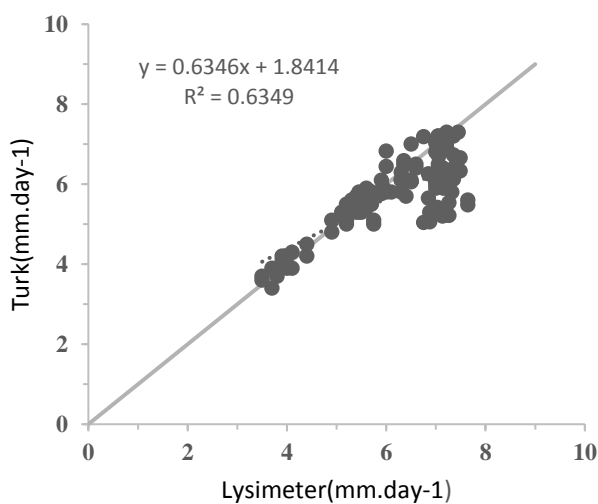
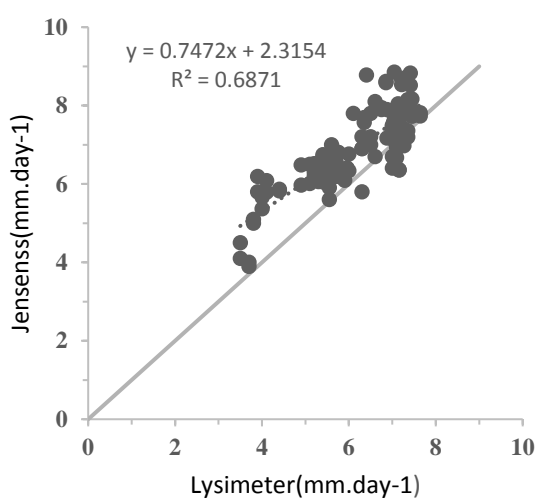
خود نشان داده به طوری که مقادیر تخمینی نزدیک به مقادیر واقعی هستند. همچنین در منطقه مطالعاتی مدل‌های بر پایه تشعشعی از عملکرد قابل قبولی نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. ارزیابی گرافیکی عملکرد مدل‌های دمایی

نمودارهای شکل (۴) نشان دهنده نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی بر اساس مدل‌های دمایی در برابر مقادیر مشاهداتی می‌باشد. بر اساس این نمودارها هر چه پراکنش داده‌ها حول خط نیمساز ربع اول قرار گرفته باشد حاکی از عملکرد بهتر مدل نسبت به داده‌های واقعی است. مدل هارگریوز- سامانی نسبت به سایر مدل‌های دمایی بهترین عملکرد را داشته زیرا پراکنش مقادیر مشاهداتی نسبت به مقادیر محاسباتی حول خط ربع نیمساز اول متمرکز است. علاوه بر آن مشاهده می‌گردد که مدل هارگریوز- سامانی در برآورد مقادیر حداقل و حداکثر عملکرد مناسبی از خود نشان داده به طوری که مقادیر تخمینی نزدیک به مقادیر واقعی هستند. (Bahmani and Kaviani, 2020) و (Nazari and Kaviani, 2015) هم در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که مدل هارگریوز- سامانی بهترین عملکرد را نسبت به دیگر مدل‌های دمایی با داده‌های لایسمتری داشته است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

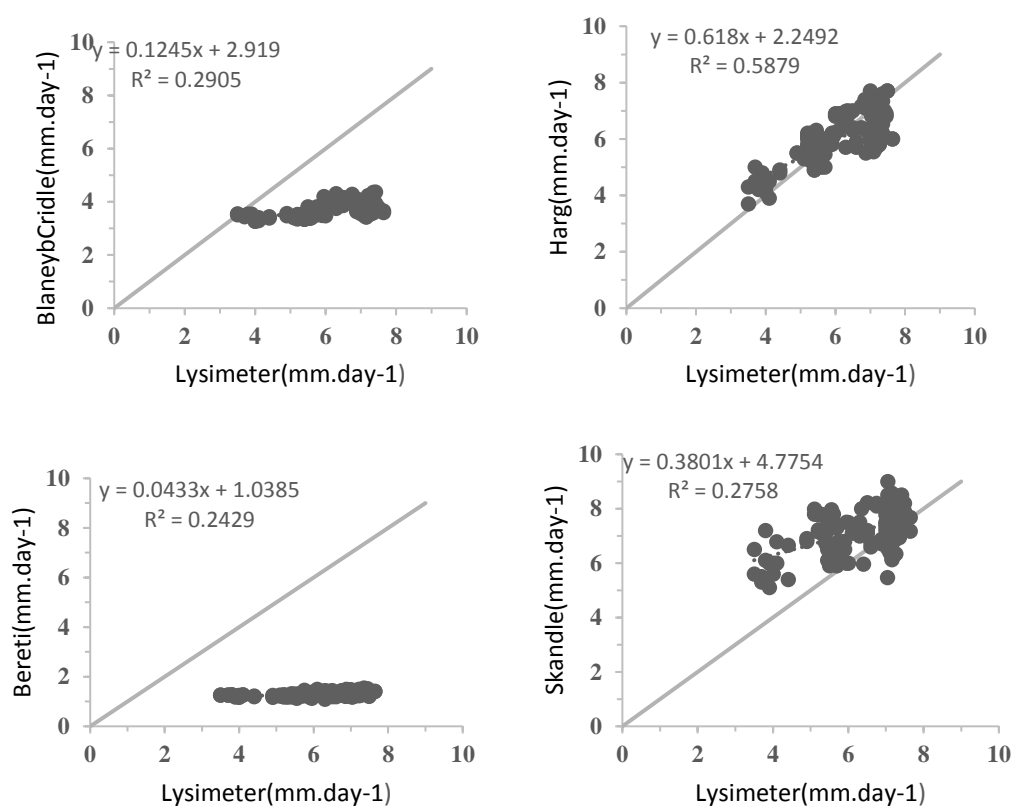
ارزیابی گرافیکی عملکرد مدل‌های انتقال جرم

جدول ۱- ارزیابی عملکرد مدل‌های تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_p) در مقایسه با لایسمتر

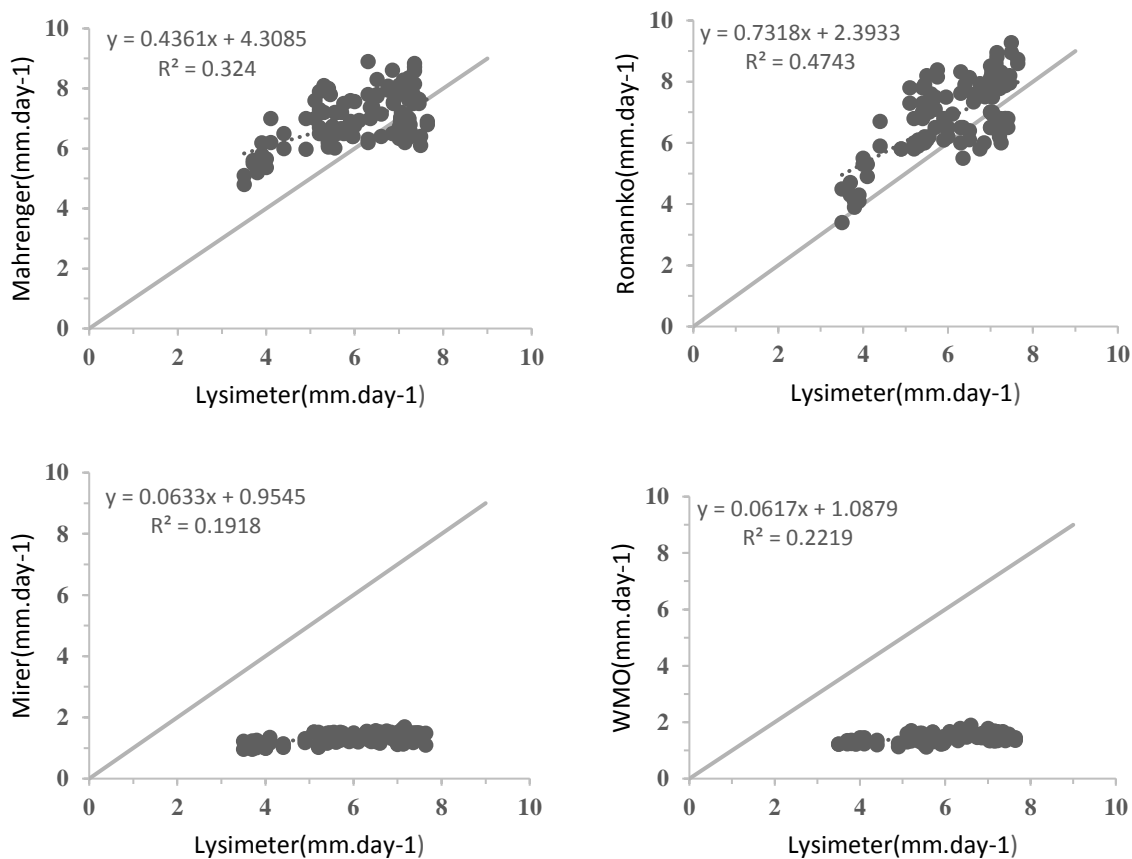
| ردیف | مدل | RMSE (mm.day ⁻¹) | MAE (mm.day ⁻¹) | AARE | | MR | ضریب اسپیرمن | |
|------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------|---------|------|--------------|---------|
| | | | | Ns | P-value | | R | P-value |
| ۱ | پریستلی-تیلور | ۲/۰۹ | ۱/۹۳ | ۰/۳۲ | ۰/۳۱ | ۱/۳۳ | ۰/۶۴ | ۰ |
| ۲ | هارگریوز- سامانی | ۱/۷۲ | ۱/۶۱ | ۰/۲۱ | ۰/۴۰ | ۰/۹۱ | ۰/۶۵ | ۰ |
| ۳ | بلانی کریدل | ۴/۰۱ | ۳/۷۴ | ۰/۴۰ | ۰/۰۳۲ | ۰/۶۵ | ۰/۵۸ | ۰ |
| ۴ | تشعشعی فائو | ۲/۵۱ | ۲/۵۱ | ۰/۳۷ | ۰/۲۱ | ۰/۶۸ | ۰/۴۷ | ۰ |
| ۵ | مککینگ | ۲/۰۲ | ۱/۸۲ | ۰/۳۶ | ۰/۲۸ | ۱/۳۶ | ۰/۷۰ | ۰ |
| ۶ | تورک | ۱/۴۲ | ۱/۳۵ | ۰/۱۸ | ۰/۳۶ | ۱/۰۳ | ۰/۶۷ | ۰ |
| ۷ | جنسن هیز | ۱/۱۴ | ۱/۰۷ | ۰/۱۲ | ۰/۴۶ | ۰/۹۴ | ۰/۷۹ | ۰ |
| ۸ | WMO | ۴/۷۳ | ۴/۷ | ۳/۷۰ | ۰/۰۰۵ | ۱/۷۰ | ۰/۳۶۸ | ۰ |
| ۹ | میسر | ۴/۷۸ | ۴/۷۱ | ۳/۷۲ | ۰/۰۰۵۳ | ۱/۷۲ | ۰/۳۱ | ۰/۰۱ |
| ۱۰ | ایرماک | ۳/۴۱ | ۳/۱۸ | ۰/۶۱ | ۰/۱۵ | ۱/۶۸ | ۰/۴۴ | ۰ |
| ۱۱ | اسکندل | ۴/۱۹ | ۲/۶۵ | ۰/۵۶ | ۰/۱۳ | ۰/۷۶ | ۰/۴۵ | ۰ |
| ۱۲ | رومانکو | ۲/۱۵ | ۱/۹۹ | ۰/۴۷ | ۰/۲۶ | ۰/۷۹ | ۰/۵۹ | ۰ |
| ۱۳ | برتی | ۴/۵۲ | ۴/۶۹ | ۳/۱۹ | ۰/۰۰۳ | ۰/۶۷ | ۰/۴۲ | ۰ |
| ۱۴ | ماهرینگر | ۲/۷۳ | ۳/۳۸ | ۰/۴۳ | ۰/۱۸ | ۰/۶۷ | ۰/۴۵ | ۰ |
| ۱۵ | فائو- پنمن- مانتیث | ۵/۸۳ | ۵/۵۴ | ۰/۸۹ | ۰/۰۹۷ | ۰/۵۳ | ۰/۱۷۸ | ۰/۰۵ |



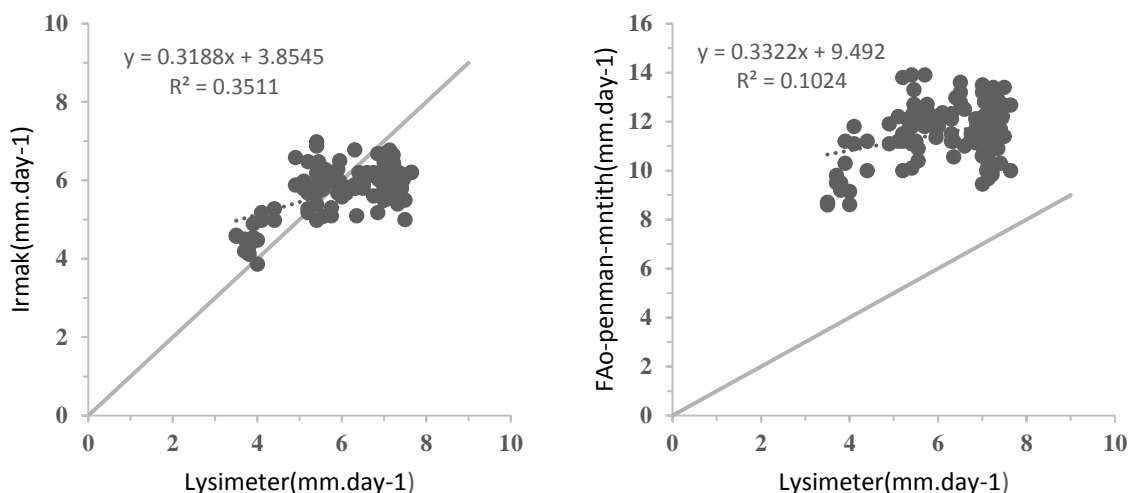
شکل ۳- نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی حاصل از مدل‌های تشعشعی در برابر مقادیر مشاهداتی



شکل ۴- نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی حاصل از مدل های دمایی در برابر مقادیر مشاهداتی



شکل ۵- نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی حاصل از مدل های انتقال جرم در برابر مقادیر مشاهداتی



شکل ۶- نمودار پراکنش مقادیر محاسباتی حاصل از مدل‌های ترکیبی در برابر مقادیر مشاهداتی

جرم انتخاب شدند. بر اساس نتایج شاخص‌های آماری مدل‌های جنسن هیز، تورک و هارگریوز - سامانی به ترتیب با خطای ۱/۱۴، ۱/۴۲ و ۱/۷۲ میلی‌متر از دقت بسیار بالایی برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع در منطقه برخوردار بودند و در مقایسه با نتایج لایسیمتری کمترین اختلاف را داشتند. بررسی نتایج مدل فائو-پنمن-مانتیت به عنوان مدلی در که در سراسر جهان به عنوان مدل مرجع شناخته شده است حاکی از عملکرد ضعیف این مدل در منطقه مورد مطالعه نسبت به داده‌های لایسیمتری می‌باشد بطوری که مقدار شاخص‌های $RMSE$ ، MAE ، $AARE$ ، R^2 ، MR ، NS و ضریب اسپیرمن به ترتیب ۵/۸۳، ۵/۵۴، ۰/۹۸ (میلی‌متر)، ۰/۱۰ (درصد)، ۴۷ درصد کم‌برآوردی، ۰/۰۹۷- و ۰/۱۷ بدست آمد. بطور کلی نتایج نشان داد روش‌های بر پایه انتقال جرم و ترکیبی مانند میبیر و فائو-پنمن-مانتیت از نظر آماری ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها نشان دادند بطوری که متوسط خطای آنها حدود ۵/۸۸ و ۴/۷۸ میلی‌متر برآورد شد. در نهایت بر اساس نتایج پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردد از روش‌های جنسن هیز، تورک و هارگریوز سامانی که علاوه بر دقت بالا اطلاعات کمتری نسبت به مدل استاندارد فائو-پنمن-مانتیت نیاز دارند جهت برآورد مقادیر تبخیر و تعرق مرجع در منطقه مورد مطالعه استفاده شود. در این رابطه بررسی‌های (Sabziparvar et al., 2008) و (Fooladmand and spaskhah, 2005) نشان داد که نتایج مدل فائو پنمن نسبت به داده‌های لایسیمتری از دقت پایینی برخوردار بوده است که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

در یک جمع‌بندی کلی و با در نظر گرفتن همه‌ی شاخص‌های ارزیابی در محل پژوهش نسبت به لایسیمتر، ترتیب مناسب بودن مدل‌ها این‌گونه می‌باشد: مدل جنسن هیز، تورک، هارگریوز سامانی، مکینگ، تیلور، رومانکو اصلاح شده، تشعشی فائو، ایرماک، ماهرینگر، بلانی کریدل، اسکندل، برتی، wmo ، میبیر و پنمن-مانتیت. نتایج تحقیق (Morshedi, 2015) نشان داده شده که مدل هارگریوز سامانی از گروه دمایی با مقدار، $MAE=0/477$ ، $NRMSE=0/126 \text{ mm. day}^{-1}$ و مدل جنسن هیز و تورک از گروه تشعشی به ترتیب با مقادیر، $MAE=0/824$ ، $NRMSE=0/184 \text{ mm. day}^{-1}$ با داده‌های لایسیمتری ($MAE=0/858$ ، $NRMSE=0/188$) تطابق بیشتری دارد. (Sabziparvar et al., 2008) و (Fooladmand and spaskhah, 2005) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابه‌ای دست یافتند که با تحقیق حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

تخمین دقیق تبخیر و تعرق مرجع جهت محاسبه نیاز آبی گیاهان و نیز مدیریت منابع آب بخصوص در مناطقی که با محدودیت منابع آب مواجه هستند اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل‌های مختلف جهت برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع در منطقه الشتر، نتایج ۱۵ مدلی که کاربرد بیشتری دارند با استفاده از اطلاعات لایسیمتری بصورت روزانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای دستیابی به نتایج بهتر، مدل‌های مورد بررسی از انواع مختلف شامل مدل‌های تشعشی، دمایی، ترکیبی و انتقال

REFERENCES

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. 56. FAO, Rome.
- Babamiri, A., Religious scholar, Y. (2014). Comparison of four methods for estimating the evapotranspiration of the reference plant based on air temperature in the catchment area of Lake Urmia. *Irrigation Science and Engineering* 2014; 37 (1): 43-54. [In Farsi]
- Bahmani, B., Kaviani, A., (2020). Estimation of potential evapotranspiration in different climates of Iran. *Iranian Soil and Water Research*, Volume 51, Number 6. (In Farsi)
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F., and Borin, M. (2014). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, 140: 20-25.
- Blaney, H.F. and W.D. Criddle. (1950). Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data; Soil Conservation Service Technical Paper 96; Soil Conservation Service, US Department of Agriculture: Washington, DC, USA.
- Djaman, K., Tabari, H., Blade, A.B., Diop, L., Futakuchi, K., Irmak, S., (2016). Analyses, calibration and validation of evapotranspiration models to predict grass-reference evapotranspiration in the Senegal river delta. *Journal of hydrology: Regional studies*, Vol.8, pp 82-94.
- Djaman, K.B., Balde, A., Sow, A., Muller, B., Irmak, S.K., N'Diaye, M., Manneh, B.D., Moukoumbi, 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.
- Feng, Y., Peng, Y., Cui, N., Gong, D. and Zhang, K. (2017). Modeling reference evapotranspiration using extreme learning machine and generalized regression neural network only with temperature data. *Computers and Electronics in Agriculture*. 136: 71-78.
- Fooladmand, H. R. and A. R. Sepaskhah. (2005). Evaluation and calibration of three evapotranspiration equations in a semi-arid region. *Iran-Water Resources Research*. 1(2): 123-128. (In Farsi)
- Laaboudi, A., Mouhouche, B., & Draoui, B. (2012). Neural network approach to reference evapotranspiration modeling from limited climatic data in arid regions. *International journal of biometeorology*, 56(5), 831-841.
- Wen, X., Si, J., He, Z., Wu, J., Shao, H., & Yu, H. (2015). Support-vector-machine-based models for modeling daily reference evapotranspiration with limited climatic data in extreme arid regions. *Water resources management*, 29(9), 3195-3209.
- Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A., & Talaei, P. H. (2012). SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climatic data in a semi-arid highland environment. *Journal of Hydrology*, 444, 78-89.
- Grismer, M. E., Orang, M., Snyder, R., & Matyac, R. (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 128(3), 180-184.
- 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 Farsi)
- Hargreaves, G.L. and Z.A. Samani. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 1, 96-99.
- 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. Engin.* 129: 5. 336-347.
- Jensen, M.E., Haise, H.R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Proc. Journal of. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng.* 89(4), pp 203-205
- Jiang, S., Liang, C., Cui, N., Zhao, L., Du, T., Hu, X., & Feng, Y. (2019). Impacts of climatic variables on reference evapotranspiration during growing season in Southwest China. *Agricultural Water Management*, 216, 365-378.
- KeykhaMoghaddam, p. (2018). Evaluation of reference plant evapotranspiration models for hot and dry climates (Case study: Zahedan Synoptic Station), *Journal of Soil and Water Conservation Research* 25 (1) . [In Farsi]
- 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.
- Mahringer, W. (1970). Verdunstungsstudien am neusiedler See. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 18: 1. 1-20.
- Makkink, G.F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *J. Instit. Water Eng.*, 11, 277-288.
- Morshedi, A. (2015). Evaluation of evapotranspiration with several mathematical models and national water document compared to lysimeter data in Shahrekord high plain. *Water Research in Agriculture, B / Volume 29 / Number 2.* (In Farsi)
- Meyer, A. 1926. U" ber einige Zusammenh" nge zwischen Klima und Boden in Europa. *Chem. Erde* 2:209-347.
- Nazari, R., Kaviani, A. (2015). Evaluation of potential evapotranspiration and evapotranspiration methods with alisimeter values in a climate Semi-dry(Case Study: Qazvin Plain).*J. Ecohydrology*. Vol. 3. Pp:19-30. [In Farsi]
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian,

- V., Anctil, F., Loumagne, C., (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *J.Hydrol.*303,290-306,<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Priestley, C.H.B. and R.J. Taylor. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.* 100 (2), 81-92.
- Pour, S. H., Abd Wahab, A. K., Shahid, S., & Ismail, Z. B. (2020). Changes in reference evapotranspiration and its driving factors in peninsular Malaysia. *Atmospheric Research*, 105096.
- Raouf, M., Azizi Mobaser, J. (2018). Evaluation of Eighteen Reference Evapotranspiration Models in Ardabil Plain Climatic Conditions', *Journal of Soil and Water Conservation Research* 24 (6) . [In Farsi]
- Sabziparvar, A., Tafazoli, F., Zare Abyaneh, H., Mosavi Byegi, M., Ghafouri, M., Mohseni Movahed, A.A., and Maryanji, Z. (2008). Comparison of some crop reference evapotranspiration models in a cold semiarid climate to optimize the use of radiation models. *J. Water Soil.* 22: 2. 328-340. (In Farsi)
- Schendel, U. (1967). *Vegetations Wasserverbrauch und Wasserbedarf*. Habilitation, Kiel, 137p.
- Turc, L. (1961). Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.*, 12, 13-49.