

Evaluation of thermal and combined methods in determining potential evapotranspiration using moving correlation

Ahad Molavi^{ID}

Assistance Professor, Department of Water Science and Engineering, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Drought and limited water resources in Iran, especially in Azerbaijan, require preventing the wastage of existing water resources and making optimal use of them. One of the main indicators for estimating the water needed by plants (crops) and optimal design of irrigation and drainage networks is determining the amount of water evaporated and transpired from the desired area. The more accurately the estimation of this factor is done, the more the efficiency of agricultural products and the reduction of irrigation system costs and the reduction of excess water consumption will increase, so determining the amount of ETP should always be considered by researchers as one of the important and effective factors in agricultural studies. Based on the climate and weather conditions of the regions, several relationships have been presented by different researchers to estimate the amount of potential evapotranspiration, and in each of these relationships, a number of climatic factors have been used as the most important effective factors in this process. Considering the recent droughts in the northwest of the country and considering that this region is one of the agricultural poles of the country, it is inevitable to conduct such research in a part of this region. The purpose of this research is to estimate and localize the potential evapotranspiration estimation models in the Parsabad Moghan synoptic station and finally determine the most accurate method for the above location.

Materials and Methods

The area studied in this research is the Parsabad Moghan synoptic station, this station is located at 39 degrees and 39 minutes north latitude and 47 degrees and 55 minutes east longitude from the Greenwich meridian. The height of this station is about 45.4 meters above sea level. Parsabad Moghan is located in the Moghan plain. As the northernmost city of Iran, this city is located on the southern banks of the Aras River and borders the Republic of Azerbaijan. In this regard, several climatic factors were used in the calculation of potential evapotranspiration with the combined methods of Penman, Penman Monteith, Penman Wright and Van Bavel, as well as thermal methods including Blaney Criddle, Thornthwaite, Linacre and Hargreaves. The programming language was used to calculate potential evapotranspiration with eight methods and also to determine moving correlation coefficients. Among the climatic factors, monthly evaporation rate from the evaporation pans, monthly average temperature, monthly maximum relative humidity, monthly average relative humidity, monthly minimum relative humidity, air pressure, wind speed, percentage of sunny hours, extraterrestrial radiation, and synoptic meteorological data of Parsabad Moghan were used in the calculation of monthly potential evapotranspiration, as well as their correction. Statistical methods of linear correlation and power were used to modify and regionalize potential evapotranspiration estimation models. The performance of each method was evaluated using the correlation coefficient, root mean square error, and t-test.

Results and Discussion

The monthly potential evapotranspiration was estimated from the eight mentioned methods. The results showed that in the combined methods, the potential evapotranspiration calculated from April to June and in some of them until July had higher values than the evaporation pan method, and after that it is the opposite until December. Potential evapotranspiration values obtained from the Linacre method indicate that in all months these values are proportionally higher than the values obtained from the evaporation pan method, which shows a high correlation with the evaporation pan method. The results of the Thornthwaite method for all months have almost uniformly lower values than the values of the evaporation pan, which indicates the high agreement of the above values with the values of the evaporation pan method. Correlation coefficients in all thermal methods were higher than in combined methods. The methods of Linacre with a correlation coefficient of 0.883 and Thornthwaite with a correlation coefficient of 0.874, have the highest correlation coefficients with the values obtained from the evaporation pan method. Its climate and the fact that thermal methods work better in areas with high temperatures

are not far from expected. Linacre's method has been confirmed in several studies, including Benzaghna and Aniadik in calculating potential evapotranspiration in Libya and West Africa.

Conclusion

In this research, potential evapotranspiration was calculated using combined models including Penman, Penman-Monteith, Van Bavel, Penman-Whith, and also temperature-based models including Linacre, Thornthwaite, Hargreaves and Blaney-Criddle at Parsabad synoptic station was done. Potential evapotranspiration values calculated from the above models were compared with the results of the Evaporation pans method. The results of the research showed the superiority of the combined methods in terms of error with an average RMSE equal to 51.8 mm per month compared to temperature-based methods with an average RMSE equal to 54.24 mm per month. In the group of combined methods, Van Bavel's method had the highest error. According to the results of the t-test, in the group of temperature-based methods, the acceptability of Hargreaves and Blaney-Criddle methods was confirmed. The results of the calibration of the models showed that temperature-based methods with an average correlation coefficient of 0.849 were superior to combined methods with an average correlation coefficient of 0.732. Linacre, Thornthwaite and Blaney-Criddle methods respectively had the highest correlation coefficients among all the methods used to estimate the potential evaporation of Parsabad synoptic station with the data of the evaporation pan method. These methods are recommended to estimate the potential evapotranspiration for the above station by applying correction coefficients. In the meantime, the Linacre method is suggested as the best alternative to the evaporation pan method due to its simplicity of calculation and having the highest agreement.

Keywords: Evapotranspiration, Correlation coefficient, Drought, Water Resources

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The author of this article is grateful to the respected officials of Journal of Modeling and Water and Soil Management.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author

Authors' contribution

Ahad Molavi: Writing - original draft preparation, Resources, Software, Manuscript editing, Formal analysis and investigation, Visualization, Supervision, Conceptualization, methodology

*Corresponding Author, E-mail: ahad.molavi@iaut.ac.ir

Citation: Molavi, A. (2025). Evaluation of thermal and combined methods in determining potential evapotranspiration using moving correlation. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(2), 34-50.

doi: 10.22098/mmws.2024.15744.1491

Received: 30 August 2024, received in revised form: 13 October 2024, accepted: 13 October 2024, Published online: 22 June 2025

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 2, pp. 34-50.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی روش های دمایی و ترکیبی در تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل با کاربرد همبستگی متحرک

احمد مولوی

استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

بر اساس شرایط آب و هوایی و اقلیم مناطق، روابط متعددی برای تخمین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است که در هر کدام از این روابط تعدادی از عوامل اقلیمی به عنوان مهم ترین عوامل موثر در این فرآیند مورد استفاده قرار گرفته اند. هدف از انجام این پژوهش واسنجی مدل های ترکیبی و دمایی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک پارس آباد مغان است. در این راستا از عوامل اقلیمی متعددی در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با روش های ترکیبی و دمایی برای ایستگاه هواشناسی پارس آباد مغان استفاده به عمل آمد. برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با هشت روش و همچنین تعیین ضرایب همبستگی متحرک از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک استفاده شد. عملکرد هر روش به کار رفته با استفاده از ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و آزمون t مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی ها نشان داد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصله از روش های ترکیبی در ماه های فروردین تا خرداد نسبت به روش تحت تبخیر دارای مقادیر بیش تری هستند. در حالی که، از تیر تا آذر حالت عکس برقرار است. ضرایب همبستگی در کلیه روش های دمایی بالاتر از روش های ترکیبی حاصل شدند. روش های لیناگر (Linacre) با ضریب همبستگی ۰/۸۸۳ و ترونث وایت (Thornthwaite) با ۰/۸۷۴ بیش ترین ضریب همبستگی را با مقادیر حاصل از روش تحت تبخیر دارا بودند. روش های لیناگر، ترونث وایت با توجه به بالا بودن ضرایب همبستگی در آن ها به ترتیب اولویت بعد از اعمال ضرایب اصلاحی و واسنجی برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل پارس آباد مغان پیشنهاد می شوند.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق، ضریب همبستگی، خشکسالی، منابع آب

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ahad.molavi@iaut.ac.ir

استاد: مولوی، احمد (۱۴۰۴). ارزیابی روش های دمایی و ترکیبی در تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل با کاربرد همبستگی متحرک. مدل سازی و مدیریت

آب و خاک، ۵(۲)، ۳۴-۵۰. doi: 10.22098/mmws.2024.15744.1491

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۹، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۳۴ تا ۵۰.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

مسأله افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش مصرف سرانه آب، همواره مورد بحث کارشناسان است. خشکسالی و محدودیت منابع آب در ایران به خصوص در استان اردبیل ایجاب می کند تا از هدر رفتن منابع آب موجود جلوگیری شده و از آن استفاده بهینه شود. یکی از شاخص های اصلی برای تخمین آب مورد نیاز گیاهان (محصولات زراعی) و طراحی بهینه شبکه های آبیاری و زهکشی، تعیین مقدار آب تبخیر و تعرق یافته از منطقه مورد نظر است. هرچه برآورد این فاکتور با دقت انجام گیرد، راندمان محصولات کشاورزی و کاهش هزینه های سیستم های آبیاری و کاهش مصرف آب اضافی نیز افزایش خواهد یافت، لذا تعیین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (ETP) باید به عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر در مطالعات کشاورزی همواره مورد نظر محققین باشد (Mardikis, 2005). با توجه به خشکسالی های اخیر در کشور، به خصوص آذربایجان و با در نظر گرفتن اینکه این ناحیه یکی از قطب های کشاورزی کشور است انجام چنین تحقیقی در قسمتی از منطقه مورد مطالعه اجتناب ناپذیر است. مدل های تجربی متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل توسط پژوهشگران ابداع شده اند که در هر کدام بر اساس شرایط اقلیمی منطقه خاص به یک یا چند عامل توجه شده است. لذا قبل از کاربرد این مدل ها برای منطقه بایستی با استفاده از روش های آماری واسنجی و اصلاح شوند. تحت تبخیر اندازه گیری همزمان تأثیر باد، دما، تشعشع، رطوبت و کلیه عوامل جوی را که بر روی تبخیر از یک سطح آب آزاد موثرند، امکان پذیر می کند (Allen et al., 1991). به همین خاطر تحت تبخیر، نوسانات کوتاه مدت تبخیر و تعرق را بهتر از فرمول های تجربی که در آن ها تعداد کمتری عوامل آب و هوایی در نظر گرفته شده است برآورد می کند. مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است که در آن ها تحت تبخیر را یک روش دقیق برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل عنوان نموده اند. طی تحقیقی که درخصوص روش های تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل انجام شد، (Kohler and Parmele (1967 در نتایج بدست آمده بر دقت فوق العاده زیاد داده های تبخیر از تحت تبخیر اشاره نموده اند. پژوهشگرانی چون (Grismer et al. (2002, Conceição و (Usta (2024 در پژوهش هاشان بر دقت روش تحت تبخیر در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل تأکید کرده اند. (Joshani et al. (2015 روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با تحت تبخیر فائو^۱ را در دو اقلیم خشک و مرطوب در حوضه دریای خزر مورد ارزیابی قرار دادند و براساس پارامترهای آماری به این نتیجه رسیدند که روش های

فائو^{۲۴}، بلانی-کریدل^۲، تشعشی، هارگریوز-سامانی^۳، تورک^۴ و مک کینگ^۵ با ابعاد زمانی مختلف دارای بهترین سازگاری با تبخیر و تعرق مرجع هستند. (Benzaghta et al. (2011 در لیبی برای برآورد تبخیر و تعرق از سه مدل پنمن^۶، پریستلی-تیلور^۷ و لیناکر^۸ استفاده کرده و با مقادیر مشاهده شده داده های جمع آوری شده از تحت تبخیر مورد مقایسه قرار دادند. مطالعه آنان نشان داد که خطاهای پیش بینی مدل ها به ترتیب ۲/۹۵، ۱/۶۸ و ۱/۱۵ میلی متر در روز برای مدل های پنمن، پریستلی-تیلور و لیناکر بود. که در این بین مدل لیناکر کمترین خطا را در بین مدل ها داشت. (Daneshvar (2020 از میانگین های دراز مدت داده های دما، رطوبت، ساعات آفتابی و سرعت باد در هفت ایستگاه هواشناسی و داده های تحت تبخیر ایستگاه سقر برای تعیین روش مناسب تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده کردند. ستادهای حاصل نشان داد که بهترین روش برای این منطقه به عنوان اقلیم سرد و معتدل روش تشعشی فائو با ضریب تبیین ۰/۸۹، نش-ساتکیف^۹ با مقدار ۰/۸۶ در ایستگاه ییجار و روش بلانی-کریدل با ضریب تبیین ۰/۹۴ و نش-ساتکیف با مقدار ۰/۹۲ در ایستگاه سنجند هستند.

(Anyadike (1987 برای تخمین تبخیر و تعرق، چند مدل تجربی را در چهار منطقه آب و هوایی در غرب آفریقا مورد آزمایش قرار داد. نتایج کار ایشان حاکی از آن بود که تخمین های پنمن، ضرایب همبستگی مثبت بالاتری نسبت به روش ترونوت وایت^{۱۰} دارند و هم چنین روش لیناکر نسبت به ترونوت وایت دارای خطای کمتری بود.

(Sharifan et al. (2007 در تحقیقی روی تبخیر و تعرق پتانسیل دو گروه ترکیبی (پنمن و پنمن اصلاح شده) و دمایی (هارگریوز-سامانی و بلانی-کریدل-فائو) را برای سه ایستگاه گرگان، گنبد و مراوه تپه مورد مقایسه آماری قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که روش های پنمن و بلانی-کریدل-فائو به ترتیب دارای بالاترین و پایین ترین ضریب تبیین (R^2) بوده و اصلاح داده ها در ایستگاه های گرگان و گنبد تغییری در نتایج بررسی نداشت، ولی در ایستگاه مراوه تپه اثر قابل توجهی داشته که احتمالاً به دلیل خشکی این ایستگاه است. بررسی های آنان حاکی از آنست که می توان در منطقه گلستان با استفاده از مقادیر ETP به دست آمده از روش هارگریوز-سامانی و رابطه همبستگی مناسب، مقدار ETP قابل قبولی را بر اساس روش فائو-پنمن-مانتیت تخمین زد. (Sanaci-Nejad et al. (2011 توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد را با به کارگیری تصاویر سنجنده مودیس و با استفاده از الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال) با احتساب اثرات توپوگرافی بررسی نمودند. نتایج آنان حاکی از آن بود

⁶ Penman

⁷ Priestley-Taylor

⁸ Linacre

⁹ Nash-Sutcliffe

¹⁰ Thornthwaite

¹ FAO

² Blaney-Criddle

³ Hargreaves-Samani

⁴ Turc

⁵ Makink

اصلاحی بر اساس بالاترین ضریب همبستگی در آن محدوده، قابل استخراج خواهند بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت و اقلیم منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ایستگاه سینوپتیک پارس آباد است، این ایستگاه در ۳۹ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا حدود ۴۵/۴ متر است. پارس آباد مغان در دشت مغان جای گرفته است. این شهر به‌عنوان شمالی‌ترین شهر ایران، در سواحل جنوبی رود ارس قرار دارد و با جمهوری آذربایجان هم‌مرز است. شهر پارس آباد منطقه‌ای است که در جلگه‌ای هموار با آب و هوایی معتدل تا گرم قرار دارد. جلگه پارس آباد یکی از مستعدترین خاک و مطلوب‌ترین شرایط آب و هوایی برای کشاورزی دامپروری و باغداری را در ایران داراست. شرکت بزرگ کشت و صنعت و دامپروری دشت مغان بزرگ‌ترین بنگاه معاملاتی در نوع خود در کشور و در خاورمیانه با حجم عملیات زراعی، دامی و صنعتی در همین شهرستان دایر است. پارس آباد مغان دومین شهر بزرگ استان اردبیل از نظر جمعیت در شمال غربی ایران است. اقلیم استان اردبیل تحت تأثیر چهار عامل ارتفاع، عرض جغرافیایی، منابع آبی و توده‌های هوای مهاجر قرار داشته و فاکتورهای دیگری مثل پوشش گیاهی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و معدنی بر اقلیم منطقه تأثیر دارند. در شمال استان (پارس آباد مغان) متوسط دمای سالیانه بیش‌تر از سایر مناطق بوده و در جنوب استان (خلخال) کم‌تر از سایر نواحی است. نواحی شمالی استان دارای بارش کم و به طرف نواحی جنوبی مقدار بارندگی افزایش می‌یابد (Tawosi et al., 2011). در شکل‌های ۱-الف و ۱-ب موقعیت ایستگاه مورد مطالعه و نقشه پهنه‌بندی اقلیمی استان به روش‌های دمارتن و کوپن ارائه شده است.

که تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سبال قادر هستند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد به خوبی برآورد نمایند. همچنین نواحی با پوشش گیاهی متراکم و دمای پایین دارای مقادیر بالای تبخیر و تعرق بوده و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم از مقدار تبخیر و تعرق کمی برخوردارند. Salarian et al. (2014) در اصفهان برای تعیین بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های گرم و سرد سال پژوهشی را با به‌کارگیری شش مدل به انجام رساندند. مقایسه داده‌های حاصل از مدل با داده‌های روش پنمن-مانیتش نشان داد که به‌ترتیب استفاده از روابط بلانی-کریدل، radiation، هارگریز و تورک جایگزین مناسبی برای رابطه فوق هستند. Amatya et al. (2016) تحقیقی در مناطق مرطوب و ساحلی شرق آمریکا انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که روش تورک بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای آن منطقه است.

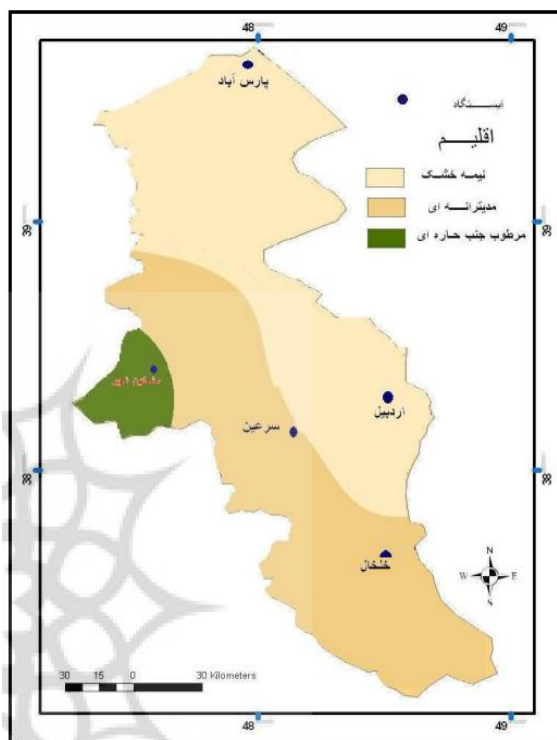
Ghamarnia and Soltani (2019) برای تعیین بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در بین روش‌های بر پایه تست تبخیر برای اقلیم‌های مختلف تحقیقی را انجام دادند که در آن از روش‌های مختلف برآورد ضریب تست تبخیر استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک کشور، روش‌های (Mohamed et al. 2008) نسبت به سایر روش‌های به‌کار رفته از دقت بالایی در تعیین ضریب تست تبخیر برخوردار هستند. Zoratipur el at. (2020) روش‌های نروفازی (ANFIS)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) و درخت تصمیم‌گیری M5 را در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی شیراز مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج آنان نشان داد مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل انفیس از دقت بالایی در شبیه‌سازی برخوردار هستند. مقدار R^2 ، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، مدل درخت تصمیم‌گیری به‌ترتیب برابر ۰/۷۱۷، ۰/۱۰۸۸ و ۰/۳۸۷ محاسبه شدند که نشان دهنده کارایی مناسب مدل درختی M5 در پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق مرجع بود.

در رابطه با ارزیابی و واسنجی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق مختلفی از کشورمان پژوهش‌ها متعددی صورت گرفته است ولی در خصوص ایستگاه سینوپتیک پارس آباد واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق به‌صورت ضرایب اصلاحی و همبستگی متحرک صورت نگرفته است، لذا هدف از این تحقیق ارزیابی و واسنجی روش‌های مبتنی بر دما و نیز روش‌های ترکیبی برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک پارس آباد با ارائه ضرایب همبستگی و اصلاحی متحرک است، که در آن با توجه به گسترش محدوده انتخاب ضریب همبستگی برای ماه یا ماه‌های مورد نظر، ضرایب

جدول ۱- روابط مدل های به کارفته برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل

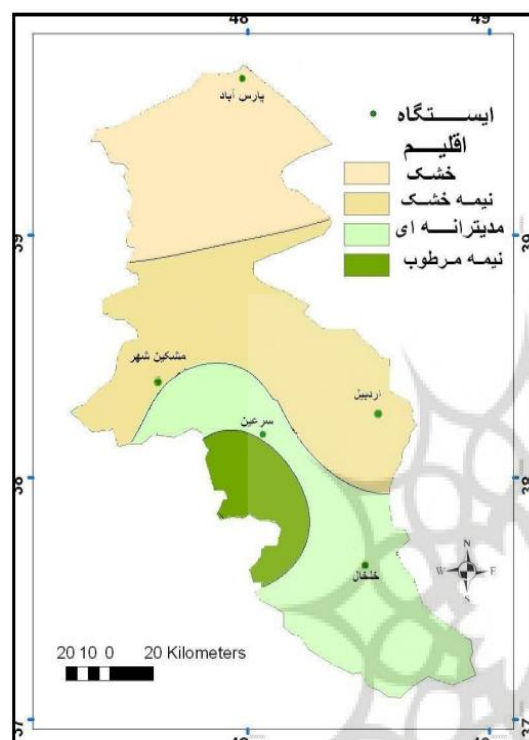
Table 1- The equations of the models employed to estimate potential evapotranspiration

نام مدل	منبع	رابطه
پنمن	Penman (1948)	$ETP = f\left(RH_{\max}, \frac{U_{day}}{U_{night}}, R_s, U_{day}\right) \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(u) \cdot \Delta e \right]$
پنمن-رایت	Writh-Penman (1982)	$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left(\frac{15.36}{0.1L} \right) (a_w + b_w U_{2m}) (e_s - e_a)$
Van bavel	Van bavel (1966)	$ETP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \left(\frac{0.622 \lambda \cdot \rho \alpha \cdot K^2}{P} \right) \frac{U_z}{[Ln(z/z_0)]}$
پنمن-مانتیث	(Allen et al., 1998)	$ETP = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$
هارگریوز	Hargreaves (1989)	$ETP = 0.0023 R_a (TC + 17.8) TR^{0.50}$
لیناکر	Linacre (1977)	$ETP = \frac{\left[\frac{700 T_M}{100 - L} + 15(T_A - T_D) \right]}{80 - T_A}$
بلانی-کریدل	Blaney Criddlle (1950)	$ETP = [a + b[P(0.46 T_{MEAN} + 8.13)]] \left(1 + 0.1 \left(\frac{EL}{1000} \right) \right)$ $a = 4.3 \times 10^{-3} RH_{MEAN} - \frac{n}{N} - 1.41$ $b = .908 - 4.83 \times 10^{-3} RH_{MIN} + 0.7949 \left(\frac{n}{N} \right) + .0768 [Ln(U_{DAY} + 1)]^2 - .0038 RH_{MIN} \times \left(\frac{n}{N} \right)$ $- 4.33 \times 10^{-4} \times RH_{MIN} \times U_{DAY} + 0.281 Ln(U_{DAY} + 1) \times LN \left(\frac{n}{N} + 1 \right) - 9.75 \times 10^{-3} Ln((U_{DAY} + 1) \times$ $[Ln(RH_{MIN} + 1)]^2 \times Ln \left(\frac{n}{N} + 1 \right)$
ترونت وایت	Thornthwaite (1948)	$ETP = 1.6 \left[\frac{10 T_{MEAN}}{I} \right]^a$ $I = \sum_{i=1}^{12} i = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{MEANi}}{5} \right)^{1.514}$ $a = (6.75 \times 10^{-11}) I^3 - (7.71 \times 10^{-9}) I^2 + (1.79 \times 10^{-6}) I + 0.492$



شکل ۱-ب- اقلیم پارس آباد در استان اردبیل بر اساس روش کوپن

Figure 1-b- Parsabad region in Ardabil province based on Köppen method



شکل ۱-الف- اقلیم پارس آباد در استان اردبیل بر اساس روش دمارتن

Figure 1-a- Parsabad region in Ardabil province based on De Martonne method

پژوهشگران مختلف استفاده از داده‌های تبخیر برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با به‌کارگیری رابطه ۱ پیشنهاد شده است (Doorenbos and Pruitt, 1984):

$$ETP = K_p \times E_{PAN} \quad (1)$$

در این رابطه ETP تبخیر و تعرق پتانسیل، E_{PAN} تبخیر از تشت و K_p ضریب تشت که تابعی از نوع تشت به‌کار رفته در ایستگاه هواشناسی، شرایط اقلیمی منطقه و محیط پیرامون تشت است (Allen and Pruitt, 1991). برای محاسبه ضریب تشت روابط متعددی پیشنهاد شده است که به ذکر تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود. (Mohamed et al., 2008) مقدار K_p را به‌صورت رابطه ۲ ارائه نمود:

$$K_p = 0.62407 - (0.0266 \times \ln(F)) - (0.00028 \times U_2) + (0.0026 \times (RH)) \quad (2)$$

در این رابطه، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب کیلومتر در روز، RH متوسط رطوبت نسبی به درصد و F فاصله‌ای که باد از روی پوشش گیاهی گذشته تا به تشت برسد (برحسب متر) است. (Doorenbos and Pruitt, 1984) مقدار K_p را به‌صورت رابطه ۳ ارائه داده‌اند:

$$K_p = 0.482 + 0.024 \times \ln(D) - 0.000376 \times U_2 + 0.0045 \times PH_{MEAN} \quad (3)$$

طبق شکل‌های ۱-الف و ۱-ب اقلیم پارس آباد بر اساس طبقه‌بندی‌های کوپن و دمارتن به‌ترتیب نیمه‌خشک و خشک است.

۲-۲- دوره آماری و مدل‌های مورد مطالعه

از عوامل اقلیمی دوره آماری مشترک میزان تبخیر ماهانه از تشت تبخیر و دمای متوسط ماهانه، رطوبت نسبی حداکثر ماهانه، رطوبت نسبی متوسط ماهانه، رطوبت نسبی حداقل ماهانه، فشار هوا، سرعت باد، درصد ساعات آفتابی، تشعشع برون زمینی و ... سال‌های ۱۹۸۷-۲۰۱۷ ایستگاه سینوپتیک پارس آباد در محاسبات تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه و نیز اصلاح آن‌ها استفاده به عمل آمده است. از روش‌های آماری همبستگی خطی و توانی به‌صورت متحرک برای اصلاح و منطقه‌ای کردن مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده شد. در جدول ۱ روابط مدل‌های به‌کار رفته در این تحقیق ارائه شده است.

۳-۲- تشت تبخیر

وسیله‌ای که به‌عنوان یکی از تجهیزات هواشناسی به‌منظور اندازه‌گیری میزان تبخیر در شبانه روز در ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پژوهش‌ها زیادی توسط

$$ETP_R = m.ETP_C^n \quad (۶)$$

در این رابطه، m و n ضرایب اصلاحی هستند. عملکرد هر مدل با استفاده از آزمون t ، ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا طبق روابط (۷) و (۸) ارزیابی شدند.

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (ETP_{Ci} - ETP_{Pi})^2 / n \right)^{1/2} \quad (۷)$$

$$R = \left\{ \frac{\left(\sum_{i=1}^n (ETP_{Pi} - \overline{ETP_P})^2 - \sum_{i=1}^n (ETP_{Ci} - ETP_{Pi})^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n (ETP_{Pi} - \overline{ETP_P})^2 \right)} \right\}^{1/2} \quad (۸)$$

در روابط (۷) و (۸) RMSE جذر میانگین مربعات خطا، R ضریب همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی و حاصل از روش تشت تبخیر، $\overline{ETP_P}$ میانگین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از روش تشت تبخیر، ETP_C و ETP_P به ترتیب مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از روش تشت تبخیر و سایر روش های محاسباتی هستند. در جدول های ۲ تا ۴ در استفاده از رابطه خطی ضریب همبستگی با R_1 و در استفاده از رابطه توانی ضریب همبستگی با R_p مشخص شده است.

۳- نتایج و بحث

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه با مدل های ترکیبی پنمن، پنمن-مانتیت، Van bavel، پنمن-رایت و مدل های مبتنی بر دما بلانی-کریدل، ترونوت وایت، لیناکر و هارگریوز انجام شد. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به دست آمده از مدل ها با نتایج حاصل از روش تشت تبخیر مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، که نتایج روش های لیناکر، ترونوت وایت و بلانی-کریدل با توجه به بالا بودن ضرایب همبستگی آن ها در قالب جدول های ۱ الی ۳ که حاوی ضرایب همبستگی خطی و توانی به صورت متحرک هستند ارائه شده است.

Allen and Pruitt (1991) مقدار K_p را برای حالتی که میانگین رطوبت نسبی بین ۳۰ تا ۸۴ درصد، سرعت باد در ارتفاع دو متری بین ۸۴ تا ۷۰۰ کیلومتر در روز و فاصله پوشش گیاهی اطراف تشت بین صفر تا ۱۰۰۰ متر باشد، به صورت رابطه ۴ ارائه کردند:

$$K_p = 0.108 - 0.000331 \times U_2 + 0.0422 \times \ln(F) + 0.1434 \ln(RH_{MEAN}) - 0.000631 \times [\ln(F)]^2 \times \ln(RH_{MEAN}) \quad (۴)$$

در این رابطه، F فاصله ای است که باد از روی پوشش گیاهی گذشته تا به تشت برسد. با توجه به تحقیق انجام یافته توسط Ghamarnia and Soltani (2019) در اقلیم های مختلف، برای تعیین ضریب تشت تبخیر برای اقلیم سازگار منطقه مورد مطالعه از روش Mohamed et al. (2008) استفاده شد.

با داشتن مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از روش های مختلف و مقادیر حاصل از روش تشت تبخیر حاصل از روش Mohamed et al. (2008)، با استفاده از روش های استوکاستیک برای هرچه دقیق تر بودن ضرایب اصلاحی در آن ها، ضرایب همبستگی به صورت متحرک محاسبه شدند. در این بین روابط خطی و توانی برای بدست آوردن ضرایب مربوطه به کار گرفته شدند.

۲-۴- رابطه خطی

در استفاده از این روش رابطه ۵ مورد استفاده قرار گرفت:

$$ETP_R = a.ETP_C + b \quad (۵)$$

در این رابطه، ETP_R تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده، ETP_C تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با استفاده از مدل های ذکر شده، b و a ضرایب اصلاحی هستند.

۲-۵- رابطه توانی

رابطه توانی بکار رفته برای اصلاح و منطقه ای کردن مدل های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت رابطه ۶ است:

جدول ۲- الف) ضرایب اصلاحی a, b و همبستگی R_1 در رابطه خطی $ETP_R = a.ETP_C + b$ و m, n و همبستگی R_p در رابطه توانی

$ETP_R = m.ETP_C^n$ برای روش لیناکر

Table 2a- Correction coefficients a , b , and correlation R_1 in the linear equation $ETP_R = a.ETP_C + b$ and m , n and correlation R_p in the power equation $ETP_R = m.ETP_C^n$ for the Linacre method

آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه
1.04	1	0.92	0.97	1.01	0.99	0.89	1.05	0.06	فروردین
0.96	1	0.83	0.85	0.92	0.85	0.66	0		اردیبهشت
0.95	1.01	0.78	0.5	0.58	0.38	0			خرداد
0.97	1.06	0.86	0.59	0.13	0				n تیر
0.99	1.09	0.9	0.75	0					مرداد
1.04	1.16	0.86	0						شهریور
1.04	1.18	0							مهر

جدول ۲-ب) ضرایب اصلاحی b, a و همبستگی R_i در رابطه خطی $ETP_R = a \cdot ETP_C + b$ و m, n و همبستگی R_p در رابطه توانی $ETP_R = m \cdot ETP_C^n$

[illegible]

جدول ۳-الف) ضرایب اصلاحی b, a و همبستگی RI در $ETPR=a.ETPC+b$ و m, n و همبستگی R_p در رابطه توانی $ETPR=m.ETPnC$ روش

ترون ت وایت

Table 3a- Correction coefficients a, b , and correlation RI in the $ETPR=a.ETPC+b$ and m, n and correlation R_p in the power equation $ETPR=m.ETPnC$ for the Thornthwaite method

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
n	فروردین	0.11	0.91	0.74	0.79	0.8	0.77	0.69	0.58
	اردیبهشت		0	0.67	0.84	0.9	0.75	0.62	0.54
	خرداد			0	1.17	1.15	0.43	0.56	0.54
	تیر				0	0.29	0.49	0.62	0.55
	مرداد					0	0.66	0.71	0.56
	شهریور						0	0.67	0.55
	مهر							0	0.5
	آبان								0.36
	آذر								-0.01
m	فروردین	46.62	1.91	3.84	2.93	2.81	3.39	5.17	9.20
	اردیبهشت		107.9	5.44	2.43	1.89	4.1	7.94	9.56
	خرداد			151.85	0.49	0.56	21.46	10.89	9.54
	تیر				202.51	45.63	17.25	8.57	9.14
	مرداد					205.66	10.2	7.22	9.01
	شهریور						164.69	7.22	9.34
	مهر							100.7	11.24
	آبان								15.27
	آذر								28.73
R_p	فروردین	0.12	0.6	0.73	0.8	0.79	0.74	0.73	0.874
	اردیبهشت		0.01	0.63	0.73	0.72	0.62	0.69	0.87
	خرداد			0	0.45	0.39	0.32	0.68	0.87
	تیر				0	0.09	0.43	0.76	0.87
	مرداد					0	0.48	0.76	0.86
	شهریور						0	0.64	0.84
	مهر							-0.02	0.76
	آبان								0.53
	آذر								-0.02

جدول ۳-ب) ضرایب اصلاحی b, a و همبستگی RI در $ETPR=a.ETPC+b$ و m, n و همبستگی R_p در رابطه توانی $ETPR=m.ETPnC$ روش

ترون ت وایت

Table 3b- Correction coefficients a, b , and correlation RI in the $ETPR=a.ETPC+b$ and m, n and correlation R_p in the power equation $ETPR=m.ETPnC$ for the Thornthwaite method

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
a	فروردین	2.71	1.09	0.82	1.01	1.12	1.07	1.01	1.06
	اردیبهشت		1.52	0.74	1.04	1.18	0.97	0.93	1.05
	خرداد			0.25	1.37	1.38	0.62	0.84	1.04
	تیر				-0.16	0.36	0.67	0.94	1.13
	مرداد					1.95	0.89	1.09	1.24
	شهریور						2.65	1.31	1.41
	مهر							-1.8	1.33
	آبان								0.64
	آذر								0.25
b	فروردین	-64.58	20.17	38.46	24.33	17.29	29.35	38.48	31.55
	اردیبهشت		-19.01	48.22	19.18	8.34	43.56	49.88	33.68
	خرداد			118.49	-32.41	-23.63	97.46	63.85	35.82
	تیر				234.53	150.84	101.22	59.67	33.94
	مرداد					-90.68	75.62	48.01	29.57
	شهریور						-103.6	32.15	23.93
	مهر							201.49	25.83
	آبان								

جدول ۴- ب) ضرایب اصلاحی a, b و همبستگی RI در $ETPR=m.ETPnC$ و m, n و همبستگی R_p در رابطه توانی $ETPR=m.ETPnC$ روش بلانی-کریدل

Table 4b- Correction coefficients a, b, and correlation RI in the $ETPR=m.ETPnC$ and m, n and correlation R_p in the power equation $ETPR=m.ETPnC$ for the Blaney-Criddle method

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
a	فروردین	-0.12	0.39	0.48	0.7	0.76	0.61	0.57	0.72
	اردیبهشت		0.04	0.33	0.56	0.49	0.31	0.47	0.71
	خرداد			-0.35	-0.36	-0.34	0.07	0.45	0.73
	تیر				-0.09	0.19	0.46	0.71	0.92
	مرداد					1.13	0.81	0.92	1.09
	شهریور						0.73	0.99	1.22
	مهر							-1.61	1.28
	آبان								1.45
	آذر								0.19
b	فروردین	92.42	51.23	45.92	26.09	29.82	61.86	67.43	44.28
	اردیبهشت		105.84	77.07	55.34	83.71	118.94	89.78	49.04
	خرداد			228.49	255.08	257.12	173.42	101.32	51.07
	تیر				226.01	173.15	121.16	75.56	40.88
	مرداد					17.81	75.24	55.75	32.72
	شهریور						85.49	51.09	28.11
	مهر							191.55	26.57
	آبان								21.64
	آذر								27.99
RI	فروردین	-0.07	0.35	0.59	0.64	0.57	0.47	0.53	0.73
	اردیبهشت		0.03	0.38	0.42	0.31	0.23	0.46	0.74
	خرداد			-0.34	-0.2	-0.19	0.06	0.48	0.78
	تیر				-0.04	0.1	0.36	0.68	0.86
	مرداد					0.39	0.47	0.73	0.88
	شهریور						0.2	0.63	0.85
	مهر							-0.59	0.72
	آبان								0.51
	آذر								0.09

طرز استفاده از جدول های ۲ تا ۴ برای استخراج ضرایب اصلاحی مدل ها به این گونه است که برای ماه یا ماه هایی که قرار است با روش به خصوصی ضرایب اصلاحی اعمال شود در جدول مربوط به آن روش، محدوده مجاز ماه مورد نظر را پیدا کرده و بر اساس بالاترین ضریب همبستگی در محدوده فوق، ضرایب اصلاحی n, m برای رابطه توانی و یا a, b مربوط به رابطه خطی (هر کدام ضریب همبستگی بیش تری داشت) متناظر از ردیف های فوقانی جدول مربوطه استخراج می شود. به عنوان نمونه فرض می کنیم در روش بلانی-کریدل ماه مرداد مد نظر باشد. در جدول ۴ محدوده مجاز انتخاب ضریب همبستگی در ماه فوق در

دو حالت روابط خطی و توانی با رنگ زردهایلایت شده اند. در این محدوده ها بالاترین ضریب همبستگی در استفاده از رابطه توانی ۰/۸۷ است (قسمت مربوط به رابطه توانی)، ولی در همان جدول در قسمت مربوط به رابطه خطی، بالاترین ضریب همبستگی در محدوده مشخص شده ۰/۸۸ است. در این صورت با توجه به بالا بودن ضریب همبستگی رابطه خطی، ضرایب a, b متناظر آن که به ترتیب ۱/۰۹ و ۳۲/۷۲ هستند را برای ضرایب اصلاحی بهینه انتخاب می کنیم در جدول ۵ نتایج تجزیه و تحلیل های آماری با آزمون t، ضرایب همبستگی و RMSE برای تعیین عملکرد مدل های به کار رفته، ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل های آماری روش های به کار رفته

Table 5- The results of the statistical analyses of the employed methods

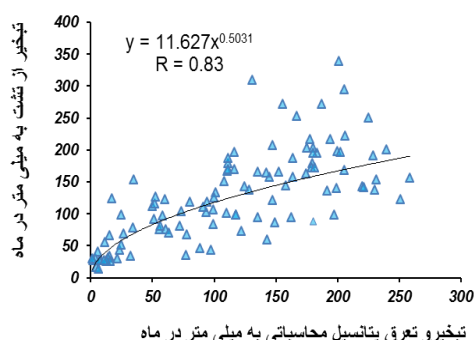
Method	Mean Difference	Std. Error Difference	RMSE (mm/month)	R	t Critical	t Sstat
مدل های ترکیبی						
Penman- Writh	-16.46	8.78	51.39	0.729	1.97	-1.87*
Penman - Monteith	1.25	9.99	48.71	0.783	1.97	0.13*

Penman	1.25	9.99	49.65	0.736	1.97	0.13*
Van bavel	1.34	9.84	57.45	0.682	1.97	0.14*
میانگین	-3.155	9.65	51.8	0.732		
مدل‌های دمایی						
Blaney-Criddle	-12.16	9.77	53.61	0.830	1.97	-1.24*
Thornthwaite	-21.76	8.70	53.42	0.874	1.97	-4.23
Hargreaves	-2.81	10.87	54.59	0.810	1.97	-0.26*
Linacre	19.63	10.06	55.36	0.882	1.97	3.44
میانگین	-4.275	9.85	54.245	0.849		

*: در سطح معنی داری ۵٪ فرض صفر ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) تایید می‌شود.

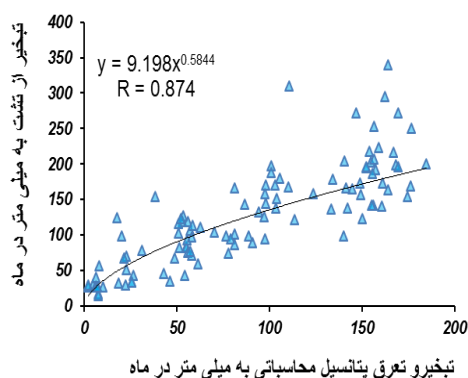
بین روش‌های مبتنی بر دما و هم‌چنین روش‌های ترکیبی بالاترین ضرایب همبستگی را به ترتیب برابر با ۰/۸۸۳ و ۰/۸۷۴ با روش تست تبخیر داشتند. کم‌ترین ضریب همبستگی در بین روش‌های مبتنی بر دما مربوط به روش هارگریوز بود.

در شکل‌های ۲ تا ۹ نمودارهای مربوط به مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش‌های پنمن، پنمن-مانتیث، Van bavel، پنمن-رایت، بلانی-کریدل، لیناگر، ترون‌ت‌وایت و هارگریوز با مقادیر حاصل از روش تست تبخیر برای کلیه ماه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش بلانی-کریدل و تبخیر از تست

Figure 2- Comparison of calculated ETP from the Blaney criddle method and pan evaporation



شکل ۳- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش ترون‌ت‌وایت و تبخیر از تست

Figure 3- Comparison of calculated ETP from the Thornthwaite method and pan evaporation

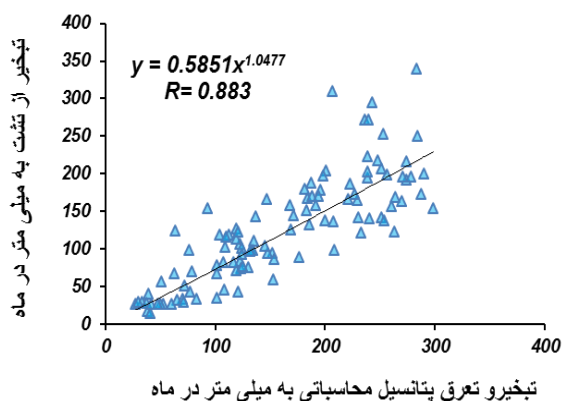
با استناد به جدول ۵ نتایج زیر در دو دسته مدل‌های ترکیبی و مدل‌های مبتنی بر دما قابل بیان هستند.

۳-۱- روش‌های ترکیبی

در تمامی روش‌های ترکیبی در سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض یک رد ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$) و فرض ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) صفر تأیید می‌شود، که بیانگر نبود اختلاف معنادار مدل‌های ترکیبی در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد با روش تست تبخیر در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. کم‌ترین مقدار RMSE برابر با ۴۸/۷۱ میلی‌متر در ماه مربوط به روش پنمن-مانتیث است که گویای نزدیکترین روش به روش تست تبخیر است. هم‌چنین RMSE روش‌های پنمن، پنمن-رایت و Van bavel به ترتیب ۴۹/۶۵، ۵۱/۳۹ و ۵۷/۴۵ میلی‌متر در ماه بوده که به این ترتیب روش Van bavel در بین روش‌های ترکیبی بیش‌ترین خطا را در برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل داراست. ضریب همبستگی روش پنمن بعد از روش پنمن-مانتیث با مقدار ۰/۷۳۶، بالاترین مقدار در بین روش‌های ترکیبی بود. روش Van bavel کم‌ترین ضریب همبستگی را در بین روش‌های ترکیبی با مقدار ۰/۶۸۲ داشت.

۳-۲- روش‌های مبتنی بر دما دمایی

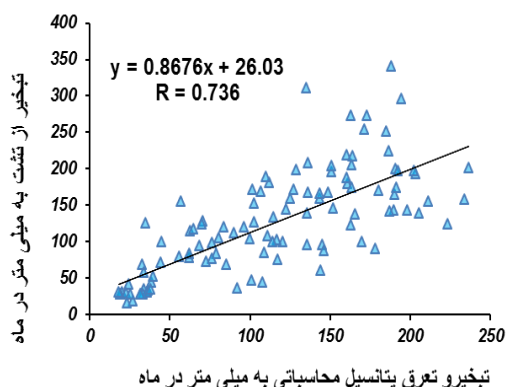
نتایج حاصل از آزمون t ارائه شده در جدول ۵، حاکی از آن است که در بین روش‌های مبتنی بر دما، فقط در روش‌های بلانی-کریدل و هارگریوز فرض یک رد ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$) و فرض صفر ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) تأیید شده است. در واقع در روش‌های بلانی-کریدل و هارگریوز اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه پارس آباد با روش تست تبخیر وجود ندارد. نتایج آزمون t نشان داد که روش‌های لیناگر و ترون‌ت‌وایت در سطح معنی‌داری ۵ درصد با توجه به مقادیر t این روش‌ها و t بحرانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد قابل اطمینان نبوده و در آن‌ها فرض صفر رد ($H_0: \mu_1 = \mu_2$) و فرض یک رد ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$) تأیید می‌شود. با آنکه قابلیت روش‌های لیناگر و ترون‌ت‌وایت در آزمون t تأیید نشد ولی این دو روش در



شکل ۵- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش لیناکر و تبخیر از تشت

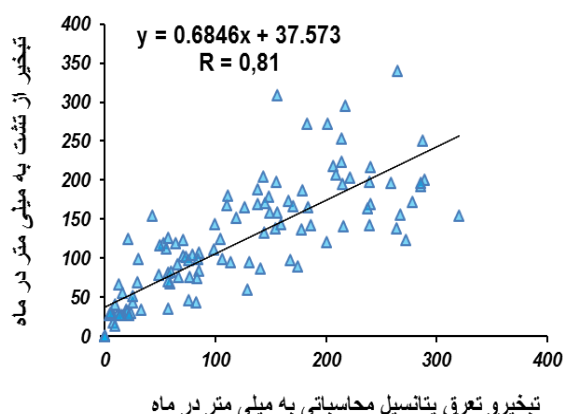
Figure 5- Comparison of calculated ETP from the Linacre method and pan evaporation

دارد. در شکل های ۲، ۳ و ۵ روابط استفاده شده توانی بوده ولی در شکل ۴ از رابطه خطی برای روش هارگریوز استفاده شده است. دلیل این امر آن است که در جداول همبستگی در روش های لیناکر، ترونوایت و بلانی-کریدل برای نه ماه استفاده شده از فروردین تا آذر، همبستگی رابطه توانی از رابطه خطی بیش تر بوده است.



شکل ۷- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش پنمن و تبخیر از تشت

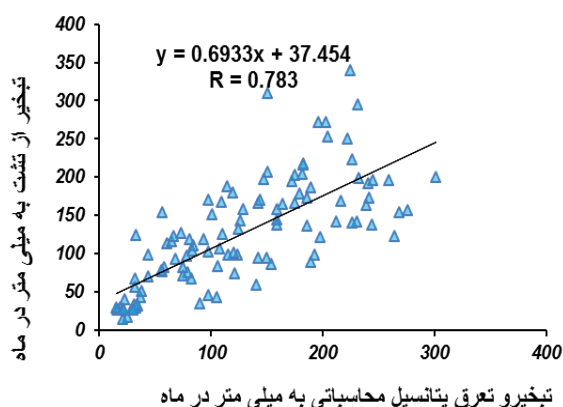
Figure 7- Comparison of calculated ETP from the Penman method and pan evaporation



شکل ۴- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش هارگریوز و تبخیر از تشت

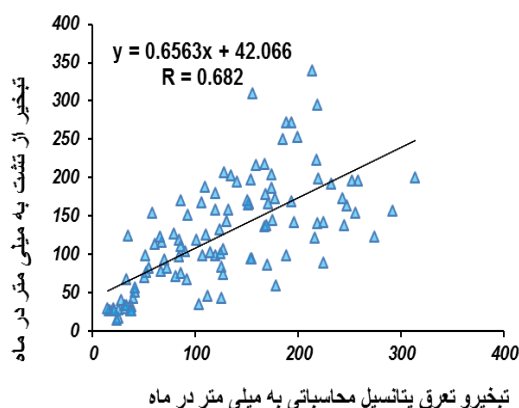
Figure 4- Comparison of calculated ETP from the Hargreaves method and pan evaporation

در شکل های ۲ تا ۵ تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش های مبتنی بر دما لیناکر، ترونوایت، هارگریوز و بلانی-کریدل با مقادیر روش تشت تبخیر مورد مقایسه قرار گرفته اند. طبق نمودارهای فوق بالاترین ضریب همبستگی مربوط به روش لیناکر در حالت استفاده از رابطه توانی است. ضرایب همبستگی بالا در روش های دمایی با آب و هوای گرم و معتدل منطقه مطابقت



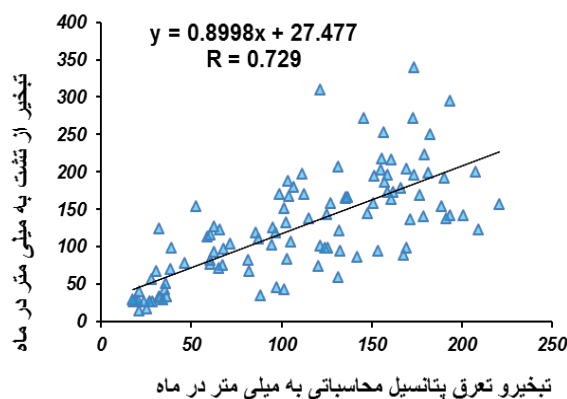
شکل ۶- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش پنمن-مانتیت و تبخیر از تشت

Figure 6- Comparison of calculated ETP from the penman-Monteith method and pan evaporation



شکل ۹- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش Van bavel و تبخیر از تشت

Figure 9- Comparison of calculated ETP from the Van bavel method and pan evaporation



شکل ۸- مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل محاسباتی از روش پنمن-رایت و تبخیر از تشت

Figure 8- Comparison of calculated ETP from the Penman-Whith method and pan evaporation

دارای روند و همخوانی خاصی با مقادیر روش تشت تبخیر است، که نشان از همبستگی کم‌تر روش فوق با روش تشت تبخیر است. بطوریکه از نمودارهای مربوطه مشخص است ضریب همبستگی در روش‌های دمایی بالاتر از روش‌های ترکیبی است از جدول ۵ و شکل‌های ۲ تا ۹ مشهود است که روش لیناکر با داشتن بیش‌ترین ضریب همبستگی بهترین همخوانی را در بین تمامی روش‌های مبتنی بر دما و نیز روش‌های ترکیبی با روش تشت تبخیر برای ایستگاه سینوپتیک پارس آباد دارد. روش لیناکر در پژوهش‌ها متعددی از جمله Benzaghta et al. (2011) و Anyadike (1987) نیز در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل که در لیبی و غرب آفریقا به انجام رسانده بودند مورد تایید قرار گرفته است.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با مدل‌های ترکیبی پنمن، پنمن-مانتیث، Van bavel، پنمن-رایت و مدل‌های مبتنی بر دما شامل لیناکر، ترونت‌وایت، هارگریوز و بلانی-کریدل ایستگاه سینوپتیک پارس آباد پرداخته شد. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده از مدل‌های فوق با نتایج حاصل از روش تشت تبخیر مقایسه شدند. واسنجی مدل‌ها به میزان قابل توجهی عملکرد آن‌ها را در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بهبود بخشید. نتایج تحقیق برتری روش‌های ترکیبی از لحاظ میزان خطا با متوسط RMSE برابر با ۵۱/۸ میلی‌متر در ماه نسبت به روش‌های مبتنی بر دما با متوسط RMSE معادل ۵۴/۲۴ میلی‌متر در ماه را به همراه داشت. در گروه روش‌های

در شکل‌های ۶ تا ۹ نیز تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش‌های ترکیبی پنمن، پنمن-مانتیث، Van bavel، پنمن-رایت با مقادیر روش تشت تبخیر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در شکل‌های ۶ تا ۹ روابط استفاده شده خطی هستند، به دلیل آن که در جدول همبستگی در روش‌های مزبور برای نه ماه استفاده شده از فروردین تا آذر، همبستگی رابطه خطی از رابطه توانی بیش‌تر بوده است. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت که در روش‌های ترکیبی تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش پنمن از فروردین تا خرداد نسبت به روش تشت تبخیر دارای مقادیر بیش‌تری است، از آن به بعد یعنی از تیر تا آذر حالت عکس برقرار است. در روش‌های Van bavel و پنمن-رایت نیز چنین حالتی وجود دارد با این تفاوت که در این دو روش از فروردین تا تیر مقادیر محاسباتی بیش‌تر از مقادیر روش تشت تبخیر بدست آمده‌اند، بعد از آن مقادیر تشت تبخیر بیش‌تر از مقادیر محاسباتی با این دو روش هستند. در روش پنمن-مانتیث این حالت از فروردین تا مرداد است. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل بدست آمده از روش لیناکر حاکی از آن است که در کلیه ماه‌ها این مقادیر با تناسب خاصی بیش‌تر از مقادیر حاصل از روش تشت تبخیر هستند که این نشان از همبستگی بالای روش فوق با روش تشت تبخیر است. ستاده‌های روش ترونت‌وایت نیز نشان می‌دهند که در کلیه ماه‌ها با آهنگ تقریباً یکنواختی، دارای مقادیری کم‌تر نسبت به روش تشت تبخیر بوده که گویای همخوانی بالای این روش با روش تشت تبخیر است. این روش نسبت به روش‌های دیگر مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه را کم‌تر برآورد کرده است. مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده با روش هارگریوز

مشارکت نویسندگان

احد مولوی: مفهوم سازی، انجام تحلیل های نرم افزاری/آمار، نگارش نسخه اولیه مقاله، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج، مفهوم سازی، مشاوره، بازبینی متن مقاله، تحلیل های آماری

منابع:

دانشور مروست، نجمه، سلطانی گرد فرامرز، سمیه، پورمحمدی و سمانه (۱۳۹۸). ارزیابی و تحلیل حساسیت روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم سرد و معتدل (مطالعه موردی: زیر حوضه سقز). *پژوهش ها کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۹(۵۵)، ۲۳۳-۲۴۸. doi: 10.29252/jgs.19.55.233

قمرنیا، هوشنگ و سلطانی، نرگس (۱۳۹۷). بررسی کارایی روش های تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع (بر پایه تست تبخیر) در اقلیم های مختلف (مطالعه موردی ایران). *پژوهش ها منابع آب ایران*، ۱۴(۴)، ۱۷۴-۱۹۳.

ثنایی نژاد، سید حسین، نوری، سمیرا و هاشمی نیا، سید مجید (۱۳۹۰). برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد. *نشریه آب و خاک*، ۳(۳۵)، ۵۴۰-۵۴۷. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.9641>

شریفان، حسین، قهرمان، بیژن، علیزاده، امین و میر لطیفی، سید مجید (۱۳۸۵). مقایسه روش های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن. *نشریه آب و خاک*، ۱۳(۱)، ۱۹-۳۰.

Reference

Allen, R.G. & Pruitt, W.O. (1991). FAO- 24reference evapotranspiration factors. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 117(5):758-774. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117(5):758-774)

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Anyadike, R. N. (1987). The Linacre evaporation formula tested and compared to others in various climates over West Africa. *gricultural and Forest Meteorology*, 39(2), 111-119. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(87\)90030-X](https://doi.org/10.1016/0168-1923(87)90030-X)

Amatya, D. M., Irmak, S., Gowda, p., Nettles, J. E. & Douglas-Mankin, K. R. (2016). Ecosystem evapotranspiration: challenges in measurements, estimates, and modeling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 59(2): 555-560. doi: 10.13031/trans.59.11808

ترکیبی روش Van bavel بیش ترین خطا را داشت. با توجه به نتایج آزمون t در گروه روش های مبتنی بر دما مقبولیت روش های هارگریوز و بلانی-کریدل تایید شدند. نتایج واسنجی مدل ها حاکی از آن بود که روش های مبتنی بر دما با متوسط ضریب همبستگی ۰/۸۴۹ نسبت به روش های ترکیبی با متوسط ضریب همبستگی ۰/۷۳۲ برتری داشتند. روش های لیناکر، ترونت وایت و نیز بلانی-کریدل به ترتیب بالاترین ضرایب همبستگی و همخوانی را در بین کلیه روش های به کار رفته برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک پارس آباد با داده های روش تست تبخیر دارا بودند و قابل توصیه برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه مزبور بعد از اعمال ضرایب اصلاحی هستند. در این میان روش لیناکر با توجه به سادگی محاسبه آن و نیز با داشتن بالاترین همخوانی بعد از اعمال ضرایب اصلاحی به عنوان بهترین جایگزین برای روش تست تبخیر پیشنهاد می شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده ها

داده ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

Benzaghta, M., Mohammed, T., Ghazali, A. H. & Amin, M. S. M. (2011). Comparison of evaporation estimate models for surface evaporation in semi-arid region of Libya. A case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 38(12):1373-1380. doi: 10.1139/111-098

Blaney, H.F. & Criddle, W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA, SCS-TP96.

Conceição, M.A., F. (2002). Reference evapotranspiration based on class A Pan evaporation. *Scientia Agricola*, 59(3), 417-420, doi: 10.1590/S0103-90162002000300001

Daneshvar, N., Soltani Gard framarzi, S. & Pourmohammadi, S. (2020). Evaluation and sensitivity analysis of different methods of estimating evapotranspiration and transpiration of the reference plant in cold and temperate climates (case study: Saez sub-basin). *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 55(19), 233-248. doi: 10.29252/jgs.19.55.233 [in Persian]

Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. (1984). Crop water requirements. FAO. *Irrigation and drainage*

- paper, 4.pp:124. doi: 10.4236/jacen.2014.32B010
- Ghamarnia, H. & Sotani, N. (2019). Evaluating efficiency of empirical estimation reference evapotranspiration (Pan based method) in different climate conditions (Case Study of Iran). *Iran Water Resources Research*, 14(4), 174-193. [in Persian]
- Grismer, M. E. Orang, M., Snyder, R. L. & Matyac, R. (2002). Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration Conversion Methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3), 263-267. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:3(180)
- Hargreaves, G.H. (1989). Accuracy of estimated reference crop evapotranspiration. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 115(6), 1000-1008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1989\)115:6\(1000\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1989)115:6(1000))
- Joshani, A., Dastjerdi, J. K. & Abyaneh, H. Z. (2015). Evaluating different estimation methods of reference evapotranspiration with FAO evaporation pan in both dry and humid climate of Caspian sea basin. *Environmental Science, Agricultural and Food Sciences*. 4, 190-200. doi: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.7
- Kohler, M.A., & Parmele, L.H. 1967. Generalized estimates of free-water evaporation. *Water resources Res.* 3(4):997-1005. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p00997>
- Linacre, E.T. (1977). A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, 18(6): 409-424. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3)
- Mardakis, M. G., Kalivas, D. P. & Kollias, V. J. (2005). Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration an application in Greece. *Water Resources Management*, 19(3), 251-278. doi: 10.1007/s11269-005-3179-2
- Mohamed H., Wahed A. & Snyder R. L. (2008). Simple equation reference evapotranspiration from evaporation pans surrounded by fallow soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. 134(4):425-429. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:4(425)
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water m bare soil and grass. *proc. Roy. Soc, London*, Ser. A. 193, 116-140. <https://doi.org/10.1098/rspa.1948.0037>
- Salarian, M., Najafi, M., Davari, K., Islamian, S. & Heydari, M. (2014). The most appropriate method to estimate potential evapotranspiration in meteorological data scarce condition in the warm and cold months of the year (Case study of Isfahan). *Iranian Irrigation and Drainage Journal*, 8(45), 62-73. dor: 2021-02-08
- Sanaei-Nejad, S.H., Noori, S. & Hashemi nia, M. (2011). Estimation of evapotranspiration using satellite image data in Mashhad area. *Iranian journal of Water and Soil*, 3(25), 540-547. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.9641> [in Persian]
- Sharifan, H., Kahraman, B., Alizadeh, A. & Mirlatif, S. (2007). Comparison of different reference evaporation-transpiration estimation methods (combined and temperature) with the standard method and checking the effects of dry air on it. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13 (1), 19-30. [in Persian]
- Usta, S. (2024). Estimation of reference evapotranspiration using some class-A pan evaporimeter pan coefficient estimation models in Mediterranean-Southeastern Anatolian transitional zone conditions of Turkey. *PeerJ*, 12(4), 1-27. doi: 10.7717/peerj.17685
- Tawosi, T., Del Ara, G. (2011). Climate zoning of Ardabil province. *Newar Scientific and Technical Magazine*, 34(71), 47-52.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Rev*, 38, 55-97. <http://dx.doi.org/10.2307/210739>
- Van Bavel, C.H.M. (1966). Potential evaporation .The combination concept and its experimental verification. *Water Resources Res.*, 2(3), 455-467. <https://doi.org/10.1029/WR002i003p00455>
- Writh, J.L. (1982). New evapotranspiration crop coefficients. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 108(1), 57-77. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001372>
- Zoratipur, E., Neisi, L., Golabi, M., Bazaz, A. & Zoratipur, A. (2020). Simulation and comparison of potential evapotranspiration by artificial neural networks, anfis (fuzzy neural network) and decision making M5 (Case study; Synaptic station of Shiraz). *Iran Water Resources Research*, 1(15), 365-37. dor: 20.1001.1.17352347.1398.15.1.28.5