Research Paper

Investigating the Performance of Regression Equations Methods in Determining Reference Evapotranspiration and Comparison with Hargreaves Method in Alborz Province

Arash Tafteh [1*], niazali Ebrahimipak[2], Seyed Narges Hosseini[3]

[1] Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*Corresponding Author Email: arash_tafteh@yahoo.com.
[2] Associate Professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (nebrahimipak@yahoo.com)
[3] Researcher, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (narges_eau@yahoo.com)

10.22125/IWE.2023.173251

Received: **April 18, 2022**
Accepted: **September 5, 2022**
Available online: **June 25, 2023**

Keywords: Evaporation, Grass plant, Regression model, Transpiration.

Abstract

Determination of reference evapotranspiration is the basis of all calculations of water requirement and is considered as the main foundation in determining water requirement, therefore, proper estimation of reference evapotranspiration is of great importance. Globally, systems have been developed that provide users with this information in a location-based manner. In this study, using the database of the country's water requirement system, the evapotranspiration rates of the reference plant were evaluated using meteorological data at Karaj station as a combination regression function. In this study, using SPSS software, the values of different curves based on the parameters of relative humidity, temperature and sunshine were calibrated. The results showed that there is a significant relationship between transpiration evaporation and parameters of relative humidity, temperature, and sunshine. Therefore, two combined and multivariate regression models were calibrated using 7300 data of Karaj station and for evaluation using 15432 data in Alborz province. The evaluation results showed that the combined regression model with normal error of 29% and root mean square error index of about 0.5 mm, agreement index of 0.98 and efficiency index of model 0.94 had better performance. Therefore, this method can be used to determine the reference evapotranspiration in the stations of IRAN.

1. Introduction

Evapotranspiration is one of the main components of the hydrological cycle and its correct determination is of great importance for many studies such as hydrological balance of water, design and management of irrigation systems, crop performance and management of water resources. Nonlinear properties, inherent uncertainty and the need for diverse climatic information and the high cost of this information in estimating evapotranspiration have been the reasons that have led researchers to turn to

* **Corresponding Author:** Arash Tafteh
Address: Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
Email: arash_tafteh@yahoo.com.
Tel: 09125652601

data mining methods such as decision trees and regression methods. Accurate estimation of evapotranspiration plays an important role in meeting the water needs of plants, especially in semi-arid regions. Regression studies that can be based on the FAO-Penman-Monteith method to estimate the amount of evaporation and transpiration of the reference plant with climatic factors will be very helpful (Tafteh et al., 2013). The results of the implementation of these models indicate that there is a strong relationship between ETo resulting from multivariate regression and climatic factors. Standard regression equations indicate that the share of wind speed and maximum temperature variables in the rate of annual and seasonal evapotranspiration is more than other climatic factors. Comparison of annual and seasonal co-evaporation maps of the Central Plateau catchment has shown that there is a close and acceptable relationship between the FAO-Penman-Monteith method and the regression model (behzadi karimi and Mazidi, 2020). According to what was studied, the results show that multivariate and combined regression models have a high capability in the analysis of reference evapotranspiration.

2. Materials and Methods

In this study, using the database of the country's water requirement system, the evapotranspiration rates of the reference plant were evaluated using meteorological data at Karaj station as a combination regression function. In this study, using SPSS software, the values of different curves based on the parameters of relative humidity, temperature, wind speed and sunshine were calibrated. The results showed that there is a significant relationship between transpiration evaporation and parameters of relative humidity, temperature, and sunshine. Therefore, two combined and multivariate regression models were calibrated using 7300 data of Karaj station and for evaluation using 15432 data in Alborz province.

3. Results

The results show that most reference evapotranspiration occurs daily on 16 to 20 July, which is equivalent to 20 June to 20 July each year. The lowest values of transpiration evaporation occurred in 1390 and the highest values occurred in 1399. The mean daily transpiration evaporation is 3.7 mm and the statistical average is 3.5 mm. The value of statistical variance is 4.3 mm and the maximum value is recorded in the 20-year period as 9.08 and the minimum as 0.33. The highest frequency of data is in the range of 0 to 2 mm and the lowest frequency is related to the evaporation of reference transpiration above 8 mm. The average annual transpiration evaporation at Karaj station was 1353 mm, which is in comparison with 1307 mm of Alborz Meteorological Organization (Ebrahimipak et al., 2018). The results show that both regression methods have high agreement and their agreement index value is about 0.97 and Hargreaves method has an agreement of 0.89 which has less agreement compared to the two regression models.

4. Discussion and Conclusion

The normal error value of the hybrid method is 17% and the multivariate method is 19% and the Hargreaves method is 35%. et al. 1991). Also, the efficiency coefficient of the model in the combined method is 0.89 and in the multivariate method is 0.87 and, in the Hargreaves, method is 0.62. Hence, the use of the combined method increases the accuracy of the work. Regarding the error of deviation from the mean, the combined method has a low fit of 0.01 mm, but the multivariate method shows a low estimate of 0.09 mm and R.S. Hargreaves 0.42 mm. Overall, with a general review of these results, it can be concluded that the combined regression method has priority over the multivariate regression method and Hargreaves in determining the reference transpiration evaporation, which is consistent with the report presented by Sriram and Rashmi, 2014.The evaluation results showed that the combined regression model with normal error of 29% and root mean square error index of about 0.5 mm, agreement index of 0.98 and efficiency index of model 0.94 had better performance. Therefore, this method can be used to determine the reference evapotranspiration in the stations of IRAN Subject to reassessment.

5. Six important references

1) ASCE-EWRI. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference

Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173 Pages.

2) behzadi karimi, H., Mazidi, A. 2020. Modeling the relationship between reference evapotranspiration annual and seasonal with climatic factors in catchment central plateau Iran. Journal of Climate Research, 1398(37), 69-86.

3) karimipour, A., Banitalebi, G. 2020. Evaluation of Different Evapotranspiration Methods, Optimizing the Best Model Based on Multivariate Linear Regression in Cold Moderate and Semi-Humid Climates. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering, 5(2), 21-38. doi: 10.22112/jwwse.2020.194967.1163.

4) Sharafi, S., Ghaleni, M.M. 2021. Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran. Theor Appl Climatol 143, 1409–1423 (2021). https://doi.org/10.1007/s00704-020-03473-0

5) Sriram, V., and C N, Rashmi. 2014. Estimation of Potential Evapotranspiration by Multiple Linear Regression Method. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 11. 65-70. 10.9790/1684-11246570.

6) Yirga SA .2019. Modelling reference evapotranspiration for Megecha catchment by multiple linear regression Modeling Earth Systems and Environment. 5:471–477.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. شماره پنجاه و دو . تابستان ۱۴۰۲

بررسی عملکرد معادلات رگرسیونی در تعیین تبخیرتعرق مرجع و مقایسه آن با روش هارگریوز در استان البرز

آرش تافته [۱*] ،نیازعلی ابراهیمی پاک[۲]، سید نرگس حسینی[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۶/۱۴

مقاله پژوهشی

چکیده

تعیین تبخیر تعرق مرجع پایه تمامی محاسبات نیاز آبی است و به عنوان پایه اصلی در تعیین نیاز آبی محسوب می شود از این رو برآورد مناسب تبخیر تعرق مرجع از اهمیت بالایی برخوردار است. در سطح جهان نیز سامانه هایی تهیه شده است که به صورت مکان محور این اطلاعات را در اختیار کاربران قرار می دهد. در این مطالعه با استفاده از پایگاه اطلاعات سامانه نیاز آبی کشور مقادیر تبخیر تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده های هواشناسی در ایستگاه کرج به صورت توابع رگرسیونی ترکیبی مورد ارزیابی قرار گرفت. منحنی های مختلف بر اساس پارامترهای رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و ساعت آفتابی با استفاده از نرم افزار SPSS مورد برازش قرار گرفت. نتایج نشان داد که رابطه معناداری بین تبخیر تعرق و پارامترهای رطوبت نسبی، دما، و ساعت آفتابی وجود دارد. از این رو دو مدل رگرسیونی ترکیبی و چند متغیره و روش هارگریوز با استفاده از ۷۳۰۰ داده ایستگاه کرج، واسنجی و با استفاده از ۱۵۴۳۲ داده در سطح استان البرز ارزیابی و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل رگرسیونی ترکیبی با خطای نرمال ۲۹ درصد و شاخص ریشه میانگین مربعات خطای حدود ۰/۵ میلی متر و شاخص توافق ۰/۹۸ و شاخص کارایی مدل ۰/۹۴ عملکرد مناسب تری داشت. لذا از این روش جهت تعیین تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه های کشور به شرط واسنجی می توان بهره برد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر، تعرق، گیاه چمن، مدل رگرسیونی.

۱- استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
ایمیل نویسنده مسئول .arash_tafteh@yahoo.com (نویسنده مسئول)
۲- دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.(nebrahimipak@yahoo.com)
۳- محقق، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
(narges_eau@yahoo.com)

مقدمه

تبخیر- تعرق یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی است و تعیین صحیح آن برای بسیاری از مطالعات از قبیل توازن هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم های آبیاری، عملکرد محصول و مدیریت منابع آب از درجه اهمیت بالایی برخوردار است. خاصیت غیرخطی، عدم قطعیت ذاتی و نیاز به اطلاعات متنوع اقلیمی و هزینه بالای این اطلاعات در برآورد تبخیر وتعرق از دلایلی بوده اند که باعث شده پژوهشگران به سوی روش های داده کاوی همچون درخت تصمیم و روش های رگرسیونی روی آورند(Samadianfard and Panahi,2019).

تخمین دقیق تبخیر و تعرق نقش مهمی در تأمین نیاز آبی گیاهان به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک دارد. مطالعات رگرسیونی که با مبنا قرار دادن روش فائو-پنمن-مانتیث بتوانند مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با عوامل اقلیمی برآورد کنند بسیار کمک کننده خواهند بود(Tafteh et al., 2013). نتایج حاصل از اجرّای این مدل ها مبین آن است که رابطه قوی بینETo حاصل از رگرسیون چندمتغیره با عوامل اقلیمی وجود دارد. معادلات رگرسیون استاندارد حاکی از آن است که سهم متغیرهای سرعت باد و حداکثر دما در میزان تبخیر و تعرق سالانه و فصلی بیش از سایر عوامل اقلیمی است. مقایسه ی نقشه های هم تبخیر سالانه و فصلی حوضه‌ی آبریز فلات مرکزی نشان داده است که از لحاظ مکانی نیز ارتباط نزدیک و قابل قبولی بین روش فائو-پنمن-مانتیث و مدل رگرسیون وجود دارد(behzadi karimi and Mazidi, 2020).

از طرف دیگر از روش های رگرسیونی برای آگاهی از روند تغییرات و پیش‌بینی تبخیر تعرق مرجع استفاده می شوند. بررسی روند تغییرات و پیش‌بینی ETo سالانه با استفاده از رگرسیون چند متغیره بین فراسنج های موثر بر تبخیر- تعرق در شش ایستگاه سینوپتیک ایران، شامل مشهد، شیراز، تبریز، کرمانشاه، خرم‌آباد و ارومیه نشان داده است که در بیشتر ایستگاه‌ها دماهای بیشینه، کمینه و تبخیر- تعرق افزایش و بارندگی و رطوبت نسبی روند کاهشی داشته‌اند. پیش‌بینی ETo سالانه با استفاده از رگرسیون چند متغیره بطور کلی نشان از توافق خوب بین EToسالانه ی تخمین زده شده با استفاده از معادله ی پنمن- مانتیت و روش مذکور با خطای نسبی کم می‌باشد. مقادیر خطای نسبی در ایستگاه مشهد بین ۴/۱ - تا ۲/۴، شیراز بین ۱/۶– تا ۰/۹، تبریز بین ۰/۵- تا ۲/۴، کرمانشاه بین ۲/۳ - تا ۰/۷، خرم‌آباد بین ۰/۱- تا ۲/۹ و ارومیه بین ۲/۳- تا ۲/۸ محاسبه شدند. بنابراین به آسانی می توان با استفاده از معادلات رگرسیونی، تبخیر- تعرق را با دقتی مناسب پیش‌بینی نمود((Arab Salgar, et al., 2012).

مطالعات جامع بر ۹ روش برپایه درجه حرارت، ۱۰ روش برپایه تشعشع و ۶ روش برپایه انتقال جرم در سه مقیاس زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) در مقایسه با روش FAO56-PMنشان داده است که معادلات ترکیبی عملکرد بهتری نسبت به معادلات خطی دارند و استفاده از پارامتر دما به‌عنوان پارامتر ورودی منجر به دقت بالاتر در برآورد ET0 در مقایسه با روش‌های Hargreaves-M4 و Trajkovicمی‌شود(karimipour and Banitalebi,2020).

همچنین در تحقیقی دیگر، مدل رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از حداقل مربعات بررسی شد و مدل سازی میانگین تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از استاندارد FAO-56 Penman – Monteith و معادله ترکیبات مختلف داده های آب و هوایی روزانه، یعنی تابش خورشیدی، دمای هوا، نسبی رطوبت و سرعت باد به عنوان ورودی مدل تعریف شد. بر اساس نتایج تحلیل مشخص شد که مدل رگرسیون خطی چندگانه در برآورد تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه بسیار دقیق و مناسب خواهد بود(Sriram and Rashmi,2014).

بررسی رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از مدل MLR نشان داده است که این روش می‌تواند تبخیر تعرق مرجع را به خوبی پیش‌بینی کند و می‌تواند در بخش هایی که نیاز به تعیین تبخیر تعرق مرجع دارند مورد استفاده قرار گیرد(Yirga,2019). همچنین مدل‌های رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR) و موجک-GPR برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع روزانه چند مرحله‌ای در ایستگاه سینوپتیک زنجان نشان داده است که عملکرد مدل در فصل

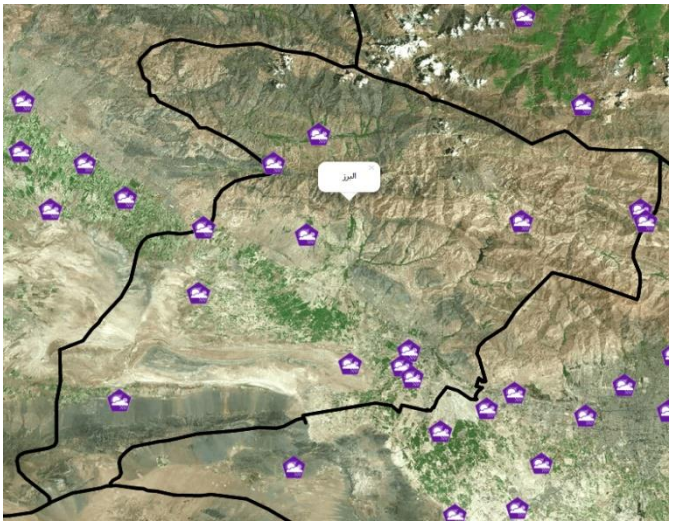
گرمتر از عملکرد آن در طول سال بهتر است(Karbasi,2018).

ارزیابی دقت معادلات تجربی (Hargreaves-Samani; HS, Irmak; IR و Dalton; DT) و مدل های رگرسیون خطی چند متغیره (MLR1-6) برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع (ETRef) در اقلیم های مختلف ایران بر اساس روش کوپن شامل بیابان خشک (Bw)، نیمه خشک (Bs)، مرطوب با زمستان های معتدل (C) و مرطوب با زمستان های شدید نشان داده است که ساده‌ترین مدل رگرسیون (MLR1) بر اساس داده‌های حداقل و حداکثر دمایی نسبت به معادلات تجربی دقت بیشتری دارد. کمترین و بالاترین دقت مربوط به مدل MLR6 بود و به طور کلی، نتایج نشان داد که توانایی مدل‌های رگرسیون در تمامی اقلیم‌ها عالی بوده است(Sharafi and Ghaleni,2021).

بنابر آنچه که بررسی شد نتایج نشان می دهد که مدل های رگرسیونی چند متغیره و ترکیبی قابلیت بالایی در تحلیل تبخیر - تعرق مرجع دارند از این رو سعی بر آن شد تا در این مطالعه روش های رگرسیونی در تعیین مقادیر تبخیر- تعرق در استان البرز مورد بررسی قرار گیرند.

مواد و روش ها

در این مطالعه اطلاعات هواشناسی و تبخیر-تعرق مرجع ایستگاه های استان البرز طبق جدول ۱ از سامانه نیاز آبی کشور برداشت و مورد بررسی قرار گرفت. استان البرز در رشته کوه البرز مرکزی جای گرفته است و از شمال با استان مازندران از غرب با استان قزوین، از شرق با استان تهران و از جنوب با استان مرکزی همجوار است. مساحت استان حدود ۵۱۲۵ کیلومتر مربع، کمتر از نیم درصد حدود ۰/۳۱ درصد وسعت کشور است. (شکل ۱).



شکل (۱): نمایی از استان البرز در سامانه نیاز آبی کشور

با توجه به شرایط کوهستانی و دشت از هر قسمت یک ایستگاه هواشناسی انتخاب شد تا مطالعه انجام شده معرف کل استان باشد. از این رو ایستگاه های هواشناسی کرج، هشتگرد، طالقان و اشتهارد انتخاب شدند که مشخصات آن ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه های مورد استفاده

نام ایستگاه (کد ایستگاه)	تعداد داده مورد استفاده	سال های مورد استفاده	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع متر
کرج(۴۰۷۵۲)	۷۳۰۰	۱۳۸۰-۱۳۹۹	۵۰/۹۵	۳۵/۸۰	۱۲۹۳
هشتگرد (۹۹۳۹۶)	۵۱۴۴	۱۳۸۹-۱۳۹۹	۵۰/۷۴	۳۶/۰۰	۱۶۱۳
طالقان (۹۹۳۲۱)	۵۱۴۴	۱۳۸۹-۱۳۹۹	۵۰/۷۷	۳۶/۱۸	۱۸۵۸
اشتهارد(۱۸۷۱۲)	۵۱۴۴	۱۳۸۹-۱۳۹۹	۵۰/۳۷	۳۵/۷۲	۱۱۹۱

اطلاعات شامل کمینه دما، بیشینه دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، سرعت باد ، ساعت آفتابی از ایستگاه های هواشناسی جدول ۱ جمع آوری شد و تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایستگاه ها با استفاده از روش پنمن-مانتیث اصلاح شده در نشریه ASCE-EWRI (۲۰۰۵) و با هدف استانداردسازی روش پنمن-مانتیث در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع چمن، به صورت زیر در سامانه نیاز آبی کشور تصحیح شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad ۱$$

که در آن ET_0: تبخیر-تعرق مرجع استاندارد شده برای چمن سردسیری با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر برحسب میلی‌متر بر روز برای گام‌های زمانی روزانه یا میلی‌متر بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی، Rn: تابش خالص محاسبه شده در سطح گیاه بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز برای گام-های زمانی روزانه یا مگاژول بر متر مربع بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی، G: شدت شار گرمایی در سطح خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز برای گام‌های زمانی روزانه یا مگاژول بر متر مربع بر ساعت برای گام‌های زمانی ساعتی، T: میانگین روزانه یا ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری بر حسب درجه سلسیوس، u2: میانگین روزانه یا ساعتی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر بر ثانیه، es: فشار بخار اشباع در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری بر حسب کیلوپاسکال، محاسبه شده برای گام-های زمانی روزانه به‌صورت میانگین فشار بخار اشباع رخ داده در بیشینه و کمینه دمای هوا ، ea: میانگین فشار بخار واقعی در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری بر حسب کیلوپاسکال، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع در مقابل دما بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس، γ: ثابت سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس، Cn: ثابت صورت کسر که بسته به نوع مرجع و گام زمانی محاسبات تغییر می‌کند، Cd: ثابت مخرج کسر که بسته به نوع مرجع و گام زمانی محاسبات تغییر می‌کند. به منظور محاسبه اجزاء روابط تبخیر-تعرق مرجع، توصیه شده که از روابط و روش-های استاندارد شده استفاده شود. این کار سبب ایجاد اطمینان در محاسبات مستقل شده و بازبینی و ارزیابی محاسبات را ساده می‌کند. در مرحله بعد اطلاعات هواشناسی ایستگاه کرج (۴۰۷۵۲) که شامل ۷۳۰۰ داده روزانه بود مورد بررسی قرار گرفت. که تک به تک پارامتر ها با استفاده از مدل Curve estimation نسبت به تبخیر تعرق گیاه مرجع مورد واسنجی و بررسی قرار گرفتند. سپس پارامتر های معنی دار شده به دو روش رگرسیون چند متغیره و رگرسیون ترکیبی در مدل SPSS تعریف و مورد واسنجی قرار گرفت. پس از استخراج اطلاعات این دو مدل به صورت کامل ارائه شدند. برای ارزیابی نتایج از داده های ایستگاه‌های هشتگرد (۹۹۳۹۶)، طالقان (۹۹۳۲۱) و اشتهارد(۱۸۷۱۲) استفاده شد. در مجموع این اطلاعات ۱۵۴۳۲ داده روزانه بود که برای ارزیابی هر دو مدل استفاده شد. همچنین از مدل هارگریوز سامانی برای واسنجی و ارائه تبخیر تعرق مرجع نیز استفاده شد که معادله آن به شرح ذیل بود(Hargreaves et al., 1985):

$$ET_0 = 0.408 \times K_{rs} \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times Ra \quad (۲)$$

که در آن Tmean میانگین روزانه دمای هوا بر حسب درجه سلسیوس، Tmax بیشینه روزانه دمای هوا بر حسب درجه سلسیوس، Tmin کمینه روزانه دمای هوا بر حسب درجه سلسیوس ، Ra تابش فرازمینی بر حسب مگاژول بر مترمربع بر روز و Krs ضریب اصلاحی منطقه ای می باشد. این روش نیز با ۷۳۰۰ داده کرج واسنجی و در نهایت با داده های ایستگاه‌های هشتگرد (۹۹۳۹۶)، طالقان (۹۹۳۲۱) و اشتهارد(۱۸۷۱۲) ارزیابی شد.

سپس با استفاده از شاخص های آماری، مقادیر بدست آمده از هر دو مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص های آماری مطرح در زمینه مقایسه مدل ها به شرح ذیل مورد استفاده قرار گرفتند(Tafteh et al.,2014).

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} \quad (۳)$$

$$NRMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} / O_{ave} \quad (۴)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - O_{ave})^2} \quad (۵)$$

$$MBE = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right) \quad (۶)$$

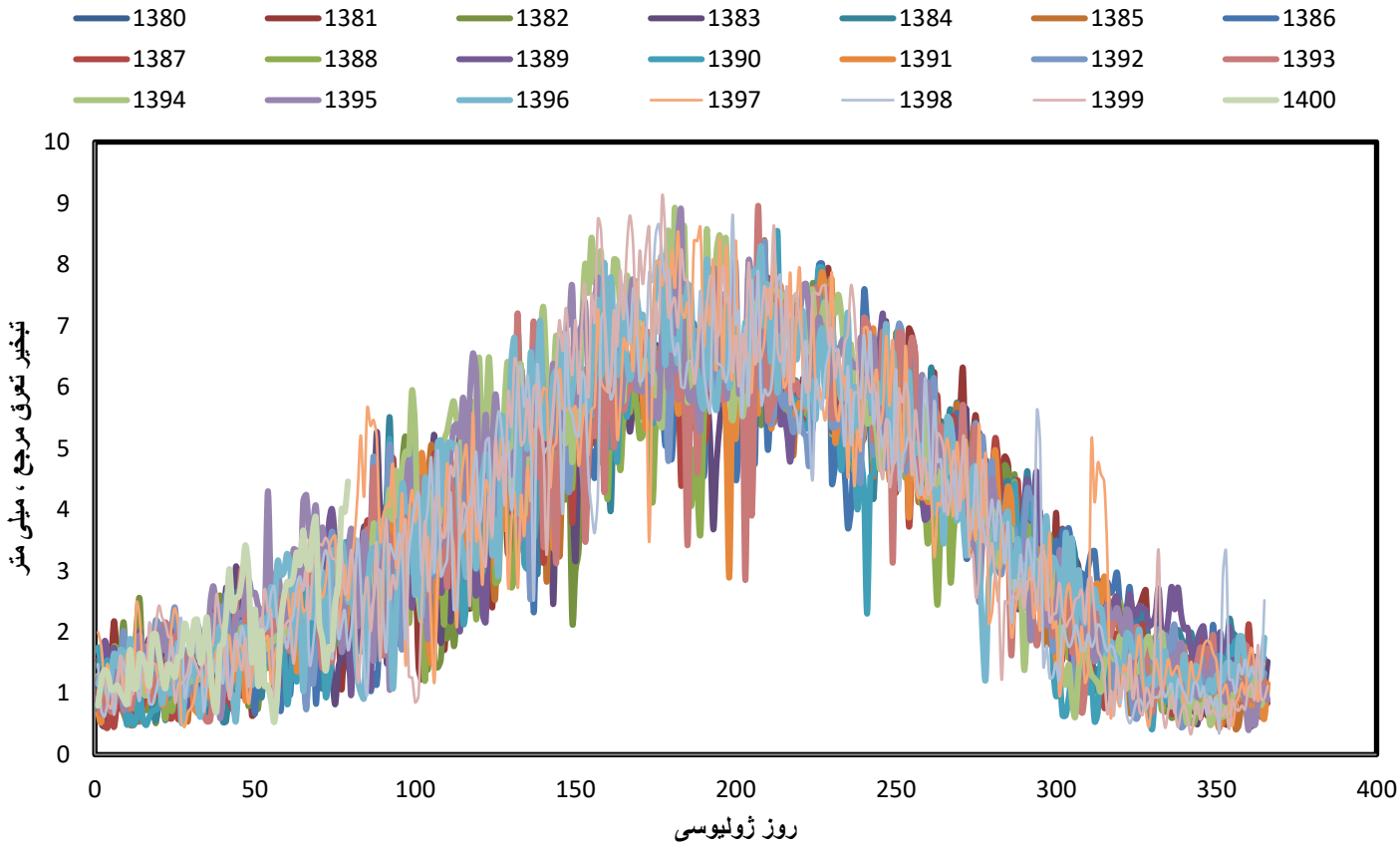
$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2} \quad (۷)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{t=1}^{n}(|P_i - O_i| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (۸)$$

که در آن: RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF ضریب کارایی مدل و MBE میانگین انحراف خطا، d شاخص توافق یا سازگاری و R2 ضریب تبیین است. پارامترهای O، P، Oave و n به ترتیب داده مشاهده‌شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات می‌باشد (Willmott et al. 1982).

نتایج و بحث

در ابتدا با استفاده از اطلاعات ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی کرج مقادیر تبخیر- تعرق مرجع و تغییرات آن بر اساس روز ژولیوسی در سال های مختلف بررسی شد که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است:



شکل (۲): بررسی تغییرات تبخیر تعرق گیاه مرجع در ایستگاه کرج از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰

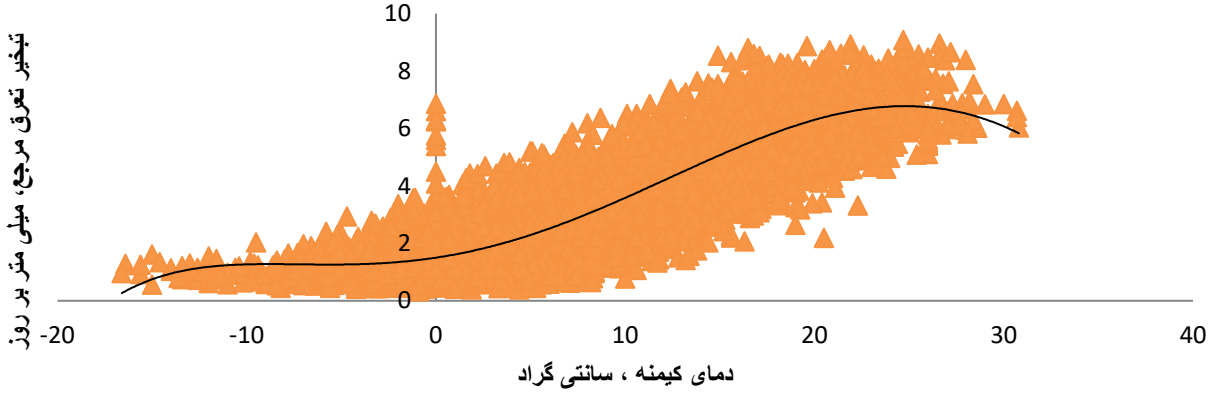
نتایج نشان می دهد که بیشترین تبخیر- تعرق مرجع روزانه در روزهای ۱۶۰ تا ۲۰۰ ژولیوسی رخ می دهد که معادل ۲۰ خرداد ماه تا ۲۰ تیر ماه هر سال است. کمترین مقادیر تبخیر- تعرق در سال ۱۳۹۰ و بیشترین مقادیر در سال ۱۳۹۹ رخ داده است. مقدار میانگین تبخیر- تعرق روزانه ۳/۷ میلی متر و میانه آماری ۳/۵ میلی متر است. مقدار واریانس آماری ۴/۳ میلی متر و بیشینه ماکزیمم مقدار در بازه ۲۰ ساله ۹/۰۸ و کمینه ۰/۳۳ ثبت شده است. بیشترین فراوانی داده ها در محدوده ۰ تا ۲ میلی متر بوده و کمترین فراوانی مربوط به تبخیر تعرق مرجع بالای ۸ میلی متر می باشد. متوسط تبخیر تعرق سالانه در ایستگاه کرج نیز ۱۳۵۳ میلی متر بدست آمد که در مقایسه دوره آماری مشابه با ۱۳۰۷ میلی متر سازمان هواشناسی استان البرز منطبق است(Ebrahimipak et al.,2018).

سپس با استفاده از نرم افزار SPSS و مدل CURVE ESTIMATION توابع مختلف بین پارامترهای هواشناسی و تبخیر تعرق مرجع برازش داده شد که بهترین توابع از نظر همخوانی و معناداری انتخاب شدند که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

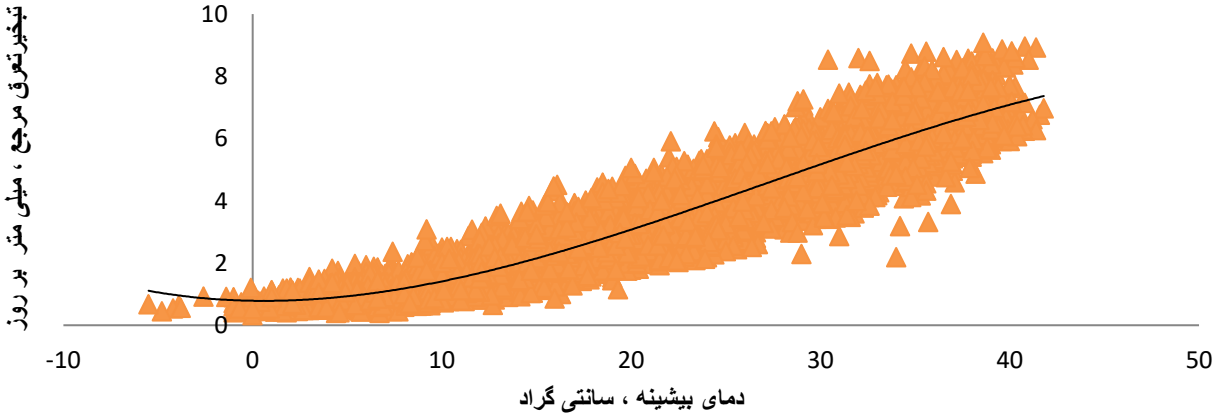
جدول (۲): نتایج بهترین برازش توابع مختلف تبخیر تعرق مرجع و پارامتر های هواشناسی در ایستگاه کرج

پارامتر	تابع تایید شده	R^2	Sig	معادله
حداقل دما	درجه ۳	0.786	0.000	$ET_0=-0.00031\times T_{min}^3+0.10686\times T_{min}^2+0.146431\ T_{min}+1.4520$
حداکثر دما	درجه ۳	0.900	0.000	$ET_0=-0.0001\times T_{max}^3+0.008242\times T_{max}^2-0.00992T_{max}+0.78654$
رطوبت کمینه	نمایی	0.701	0.000	$ET_0=8.008e^{-0.033RHmin}$
رطوبت بیشینه	نمایی	0.328	0.000	$ET_0=11.981e^{-0.020RHmax}$
ساعت آفتابی	نمایی	0.618	0.000	$ET_0=0.006612\times T_{max}^3-0.07549\times T_{max}^2+0.356291Tmax+1.360791$

نتایج نشان می دهد که رابطه پارامترهای حداقل دما، حداکثر دما و ساعت آفتابی با تبخیر تعرق مرجع به صورت تابع درجه ۳ بوده و رابطه رطوبت کمینه و رطوبت بیشینه به صورت نمایی می باشد که با گزارش karimipour and Banitalebi,2020 منطبق است. برای نتیجه گیری بهتر در شکل ۳ نتایج دمای کمینه، در شکل ۴ نتایج دمای بیشینه ارائه شده است.

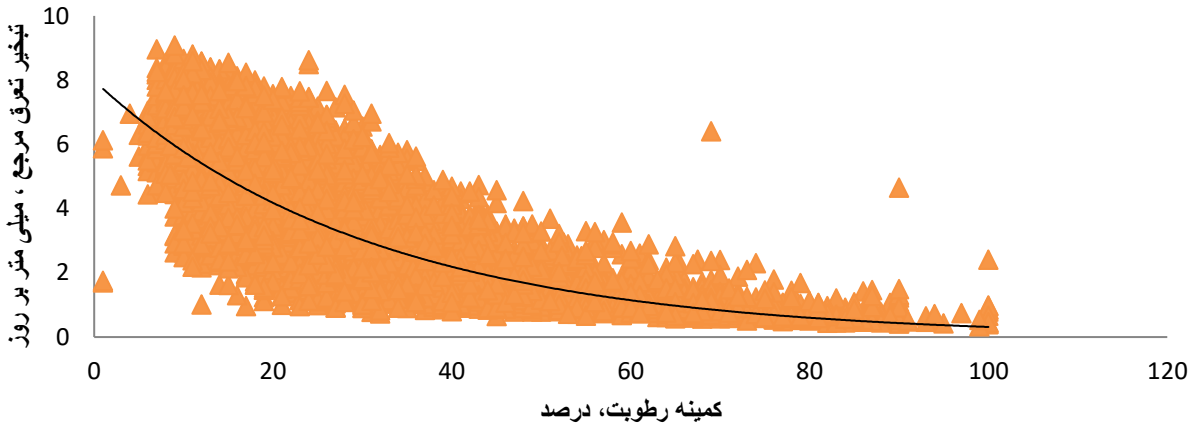


شکل(۳): بررسی رابطه کمینه دما با تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه کرج

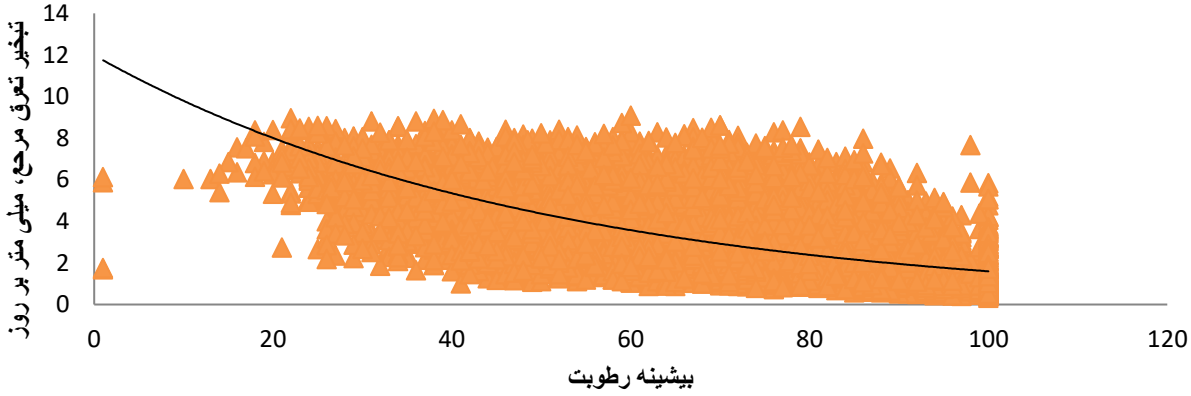


شکل (۴): بررسی رابطه بیشینه دما با تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه کرج

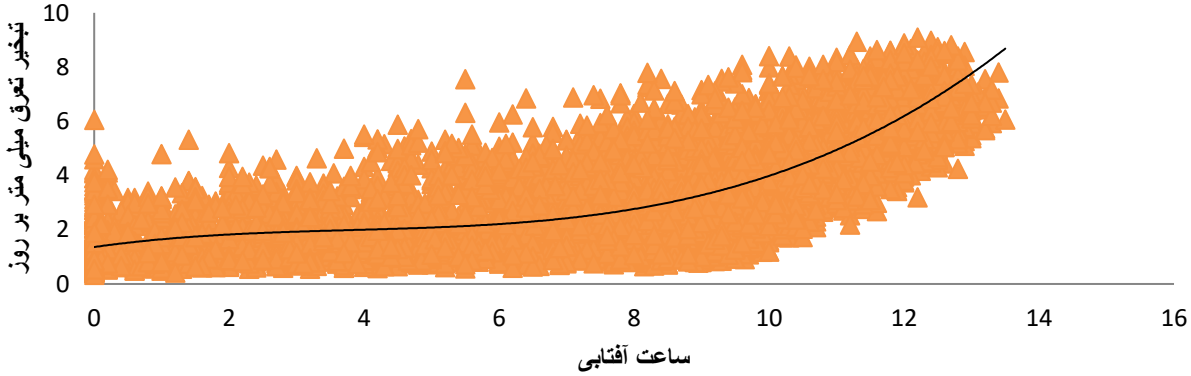
نتایج شکل ۳ و ۴ نشان می دهد که تغییرات این دو پارامتر نسبت به تبخیر- تعرق مرجع به صورت تابع درجه ۳ بوده و دارای نقطه عطف می باشد. همچنین مقادیر رطوبت کمینه و بیشینه و ساعت آفتابی بترتیب در شکل های ۵، ۶ و ۷ ارائه شد.



شکل (۵): بررسی رابطه کمینه رطوبت با تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه کرج



شکل (۶): بررسی رابطه بیشینه رطوبت با تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه کرج



شکل (۷): بررسی رابطه ساعت آفتابی با تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه کرج

با استفاده از این روابط که از نظر آماری معنی دارند بودند بین این روابط و پارامتر ها ، رگرسیون ترکیبی با استفاده از مدل SPSS گرفته شد که نتایج آن به صورت زیر بدست آمد:

$$ET_0=-0.00011\times Tmax^3+0.008059\times Tmax^2-0.03559+9.48E\text{-}06\times Tmin^3-0.00017 \times Tmin^2 + 0.011049 \times Tmin +0.002807 \times h^3 - 0.03958 \times h^2 + 0.194773 \times h + 0.062152 \times e^{-0.020RHmax} + 0.457501\times e^{-0.033RHmin} + 0.556282 \quad (۹)$$

همچنین از رگرسیون چند متغیره نیز جهت تعیین رابطه منطقی استفاده شد که رابطه آن به صورت زیر بدست آمد:

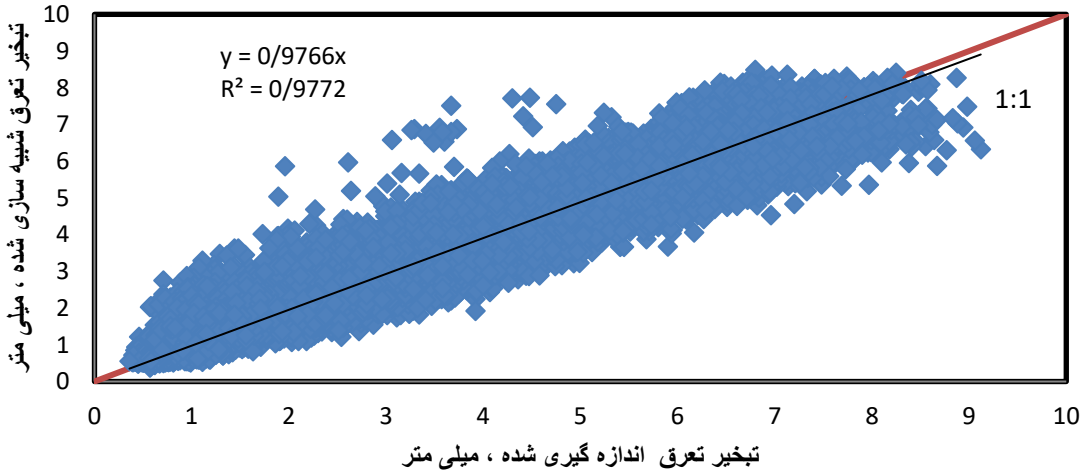
$$ET_0 = 0.146674Tmax + 0.020506Tmin + 0.11036H - 0.00218RHmax + 0.002832RHmin - 0.59159 \quad (۱۰)$$

که در آن Tmax بیشینه دمای روزانه بر حسب میلی متر، Tmin کمینه دمای روزانه بر حسب میلی متر، h ساعت آفتابی در طول روز، RHmin درصد رطوبت کمینه و RHmax درصد رطوبت بیشینه در روز می باشد.

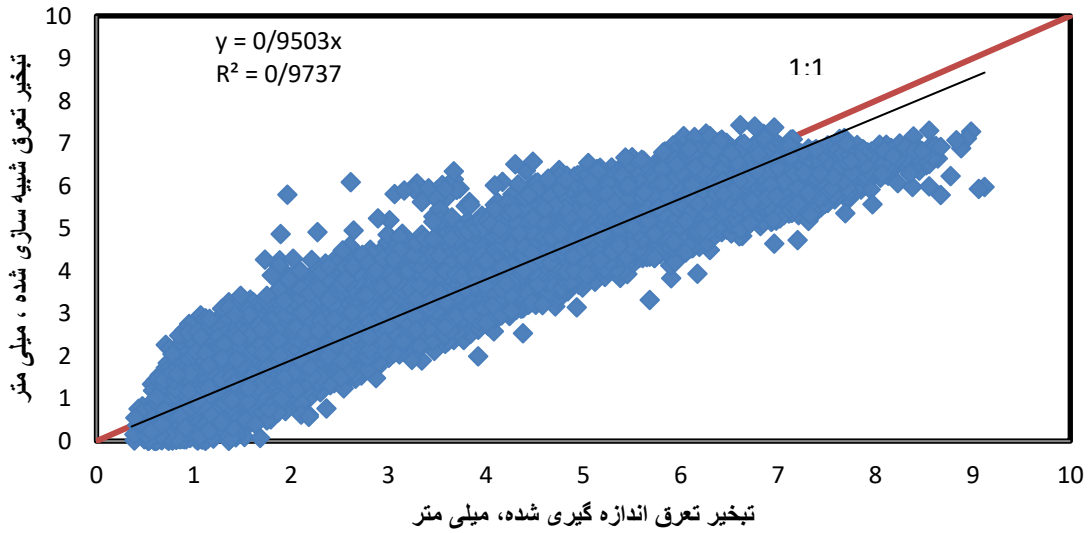
معادله هارگریوز و همکاران نیز به صورت زیر واسنجی شد:

$$ETo = 0.408 \times 0.084 \times (Tmax-Tmin)^{0.5} \times Ra \quad (۱۱)$$

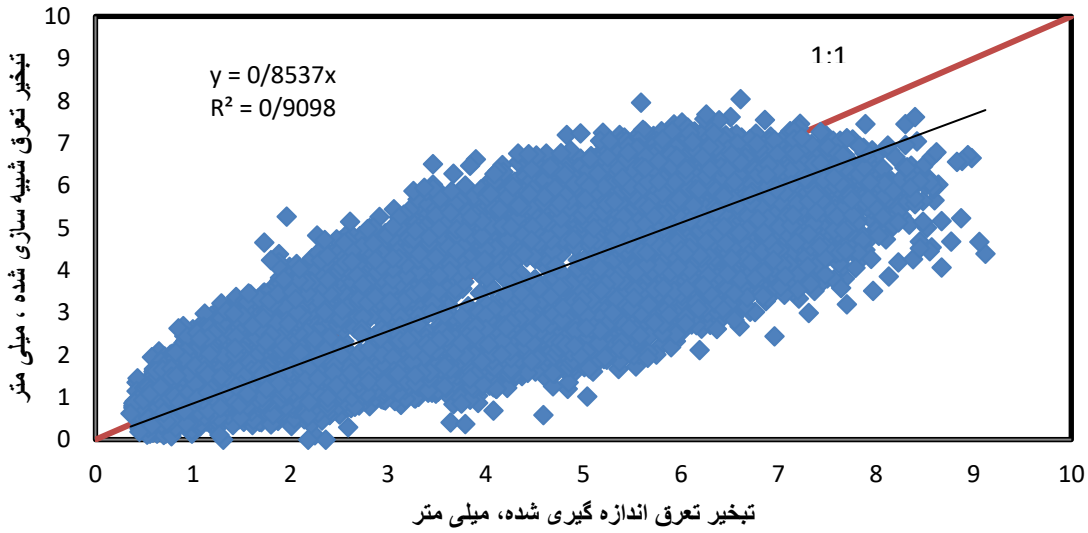
پس از تعیین روابط رگرسیونی نیاز بود تا این توابع با یکسری داده مستقل مورد ارزیابی قرار گیرند. از این رو از داده های ایستگاه‌های هشتگرد (۹۹۳۹۶)، طالقان (۹۹۳۲۱) و اشتهارد (۱۸۷۱۲) استفاده شد. آنالیز آماری ایستگاه هشتگرد نشان می دهد که میانگین تبخیر- تعرق مرجع روزانه ایستگاه ۳/۶۸ مقدار بیشینه ۹/۱۲ و کمینه ۰/۳۹ میلی متر در روز گزارش شده است. در ایستگاه طالقان، تبخیر-تعرق مرجع روزانه ایستگاه ۳/۵۱ مقدار بیشینه ۸/۵۱ و کمینه ۰/۴۱ گزارش شده است. در ایستگاه اشتهارد تبخیر- تعرق مرجع روزانه ایستگاه ۳/۸۸ مقدار بیشینه ۱۰/۷۴ و کمینه ۰/۴۱ میلی متر در روز گزارش شده است. بنابراین یک مجوعه داده مستقل شکل گرفت که کاملا با شرایط اولیه متفاوت بوده و از نظر ارتفاعی هم ارتفاعات را در نظر گرفته و هم دشت را پوشش داده است. از این رو از این اطلاعات که حدود ۱۵۴۳۲ داده مستقل هستند استفاده شد که از نقاط مختلف استان البرز انتخاب شدند تا نتیجه بررسی به صورت جامع تری صورت پذیرد. نتایج بررسی عملکرد رابطه ۸ و ۹ و هارگریوز بترتیب در شکل ۸ ، ۹ و ۱۰ ارائه شده است.



شکل (۸): مقایسه مقادیر تبخیر تعرق با استفاده از رابطه ۸ با خط یک به یک



شکل (۹): مقایسه مقادیر تبخیر تعرق با استفاده از رابطه ۹ با خط یک به یک



شکل (۱۰): مقایسه مقادیر تبخیر تعرق با استفاده از رابطه هارگریوز با خط یک به یک

نتایج مقایسه با خط یک به یک نشان می دهد که هر سه مدل کم برازش بوده و روابط ۸ و ۹ بترتیب به طور متوسط ۳ و ۵ درصد از خط یک به یک انحراف دارند. این در حالی است که روش هارگریوز ۱۵ درصد انحراف از خط یک به یک را ارائه می کند. جهت بررسی بهتر، نتایج بدست آمده با استفاده از شاخص های آماری، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده در جدول ۳ ارائه شد:

جدول (۳): نتایج آنالیز آماری مقادیر شبیه سازی شده توسط روابط ارائه شده در مقایسه با روش مرجع

روش	MBE	RMSE	NRMSE	d	EF
رگرسیون ترکیبی	-0.01	0.63	0.17	0.97	0.89
رگرسیون چند متغیره	-0.09	0.68	0.19	0.97	0.87
هارگریوز	-0.42	1.28	0.35	0.89	0.62

نتایج نشان می دهد که هر دو روش رگرسیونی دارای انطباق بالایی بوده و مقدار شاخص توافق آن ها حدود ۰/۹۷ می باشد و روش هارگریوز دارای توافق ۰/۸۹ می باشد که در مقایسه با دو مدل رگرسیونی توافق کمتری دارد. از طرفی مقدار خطای نرمال روش ترکیبی ۱۷ درصد است و روش چند متغیره ۱۹ درصد و روش هارگریوز ۳۵ درصد می باشد که بر اساس طبقه بندی آماری، روش های رگرسیونی در مرتبه مدل های خوب و روش هارگریوز در مرتبه مدل ضعیف قرار می گیرند(Jamieson et al. 1991). همچنین ضریب کارایی مدل در روش ترکیبی ۰/۸۹ و روش چند متغیره ۰/۸۷ و در روش هارگریوز ۰/۶۲ می باشد. از این رو استفاده از روش ترکیبی دقت کار را افزایش می دهد. در مورد خطای انحراف از میانگین نیز، روش ترکیبی ۰/۰۱ میلی متر کم برازش داشت ولی روش چند متغیره ۰/۰۹ میلی متر و روش هارگریوز ۰/۴۲ میلی متر کم برآورد را نشان داد. در مجموع با بررسی کلی این نتایج می توان اینگونه نتیجه گیری نمود که روش رگرسیون ترکیبی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره و هارگریوز در تعیین تبخیر- تعرق مرجع در اولویت قرار دارد که با گزارش ارئه شده توسط Sriram and Rashmi,2014 منطبق است.

نتیجه گیری

بررسی روش های رگرسیونی و هارگریوز در استان البرز نشان داد که این روش ها بر اساس توابع تعریف شده عمل نموده و بر اساس ضرایب واسنجی شده عمل می کنند. نتایج در مورد استان البرز نشان داد که روش رگرسیونی ترکیبی از دقت بالاتری برخوردار بوده است. لذا از این روش برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع می توان بهره برد. نکته بسیار مهم این است که روش های رگرسیونی با سرعت بالاتری می توانند نسبت به تولید داده در حجم بالا کمک کنند لذا در مواردی که نیاز به روابط در سطح کلان مطالعات وجود دارد می توان از این روابط در مدل سازی ها بهره برد و کاربرد آن ها از مدل هایی همچون هارگریوز بسیار کابردی تر و دقیق تر خواهد بود.

منابع:

Arab Salgar, Ali Akbar, Dehghan, Hadi, Sedghi, Hussein, Naderianfar, Mohammad. 2012. Prediction of annual evapotranspiration using meteorological data in the number of stations in semi-arid regions of Iran. Journal of Water Resources Engineering, 4 (8), 21-30.

ASCE-EWRI. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Technical Committee Report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, 173 Pages.

behzadi karimi, H., Mazidi, A. 2020. Modeling the relationship between reference evapotranspiration annual and seasonal with climatic factors in catchment central plateau Iran. Journal of Climate Research, 1398(37), 69-86.

Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Egdarnejad, A., Asadi Kapourchal, S. (2018). Determination of monthly evapotranspiration coefficients of winter wheat by different methods of estimating evapotranspiration and evaporation pan in Qazvin plain. Irrigation and Water Engineering, 8(4), 107-121.

Hargreaves, G. L., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P. 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin. J. Irrigation and Drainage Engr., ASCE 111: 113-124.

Jamieson, P.D.; Porter, J.R.;Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crop Res. 27. 337–350.

karimipour, A., Banitalebi, G. 2020. Evaluation of Different Evapotranspiration Methods, Optimizing the Best Model Based on Multivariate Linear Regression in Cold Moderate and Semi-Humid Climates. Journal of Water and Wastewater Science and Engineering, 5(2), 21-38. doi: 10.22112/jwwse.2020.194967.1163.

Karbasi M.2018. Forecasting of multi-step ahead reference evapotranspiration using wavelet-Gaussian process regression model. Water Resour Manag 32:1035–1052.

Samadianfard S, Panahi S.2019. Estimating Daily Reference Evapotranspiration using Data Mining Methods of Support Vector Regression and M5 Model Tree. jwmr. 9 (18) :157-167.

Sharafi, S., Ghaleni, M.M. 2021. Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran. Theor Appl Climatol 143, 1409–1423 (2021). https://doi.org/10.1007/s00704-020-03473-0

Sriram, V., and C N, Rashmi. 2014. Estimation of Potential Evapotranspiration by Multiple Linear Regression Method. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 11. 65-70. 10.9790/1684-11246570.

Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A., and F. Kaveh . 2013. Evaluation and improvement of crop production functions for simulation winter wheat yields with two types of yield response factors. J.Agric. Sci. 5 (3),111-122.

Tafteh,A.,Babazadeh,H.,Ebrahimipak, N. A.& Kaveh,F.2014.Optimization of irrigation water distribution using he MGA method and comparison with a linear programming method. Irrigation and Drainage63(5), 590–598.

Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society 63: 1309-1313.

Yirga SA .2019. Modelling reference evapotranspiration for Megecha catchment by multiple linear regression Modeling Earth Systems and Environment. 5:471–477.

Investigating the Performance of Regression Equations Methods in Determining Reference Evapotranspiration and Comparison with Hargreaves Method in Alborz Province

Arash Tafteh[1]*, niazali Ebrahimipak[2] ,Seyed Narges Hosseini[3]

Abstract:
Determination of reference evapotranspiration is the basis of all calculations of water requirement and is considered as the main foundation in determining water requirement, therefore, proper estimation of reference evapotranspiration is of great importance. Globally, systems have been developed that provide users with this information in a location-based manner. In this study, using the database of the country's water requirement system, the evapotranspiration rates of the reference plant were evaluated using meteorological data at Karaj station as a combination regression function. In this study, using SPSS software, the values of different curves based on the parameters of relative humidity, temperature and sunshine were calibrated. The results showed that there is a significant relationship between transpiration evaporation and parameters of relative humidity, temperature, and sunshine. Therefore, two combined and multivariate regression models were calibrated using 7300 data of Karaj station and for evaluation using 15432 data in Alborz province. The evaluation results showed that the combined regression model with normal error of 29% and root mean square error index of about 0.5 mm, agreement index of 0.98 and efficiency index of model 0.94 had better performance. Therefore, this method can be used to determine the reference evapotranspiration in the stations of IRAN.

Keywords: Evaporation, Grass plant, Regression model, Transpiration.

[1]Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
[2]Associate Professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.(nebrahimipak@yahoo.com)
[3] Researcher, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.(narges_eau@yahoo.com)