Technical Note

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 1 (49)

Received:
2023-07-06

Accepted:
2023-08-16

Pages: 131-140

Comparison of Some Calibration Methods of Hargreaves Equation for Evapotranspiration Estimation

(Case Study: Shiraz and Zarghan Synoptic Stations in Fars Province)

Hamid Reza Fooladmand[1]

1) Associated Professor of Irrigation and Drainage, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.
*Corresponding author email: hrfoolad@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: The Hargreaves equation is one of the simplest methods for estimation of reference crop potential evapotranspiration which has two constant coefficients of 17.8 and 0.0023. The Hargreaves equation has been calibrated in many studies around world based on lysimeter data or the Penman-Monteith method. The main objective of this study was the calibration and validation of Hargreaves equation with three conditions based on the Penman-Monteith equation in Shiraz and Zarghan synoptic stations in Fars province.

Method: In this study, the Hargreaves equation has been calibrated and evaluated with three different conditions based on the Penman-Monteith method in Shiraz and Zarghan synoptic stations in Fars province. In the first condition (H_1), the monthly effective temperature was used instead of monthly mean temperature, and also the constant coefficients of 17.8 and 0.0023 were calibrated. The monthly effective temperature is the function of minimum and maximum monthly temperature and a constant coefficient that must be determined in calibration stage. In the second condition (H_2), the constant coefficients of 17.8 and 0.0023 were calibrated, and in the third condition (H_3) only the constant coefficient of 0.0023 was calibrated. For this study, 25 years (1988-2012) of monthly weather data of Shiraz and Zarghan synoptic stations in Fars province were used to calibrate the three mentioned conditions, and the coefficients of each condition for each month and each station were determined separately by using the Solver menu of Excel software. Then, 10 years (2013-2022) of monthly data of mentioned stations were used to evaluate the obtained results. Also, Root Mean Square Error (RMSE), Normalized Root Mean Square Error (NRMSE), Mean Bias Error (MBE) and model Efficiency Factor (EF) were employed to compare the results in calibration and evaluation stages.

Results: The results in calibration and evaluation stages for both stations showed that the H_3 condition for estimating evapotranspiration was better than the other conditions, and only determining a coefficient instead of 0.0023is needed. The value of this coefficient was changed between 0.0022 to 0.0027 in both stations.

Conclusion: The results indicated that similar to many previous studies in the world, it is better to calibrate the coefficients of the Hargreaves equation for estimating reference crop potential evapotranspiration for study region. On the other hand, the results showed that using monthly effective temperature for estimating reference crop potential evapotranspiration in Hargreaves equation didn't lead to the improvement of evapotranspiration estimation.

Keywords: Evapotranspiration, Hargreaves equation, Monthly effective temperature, Penman-Monteith equation

10.30495/WSRCJ.2023.74048.11388

یادداشت فنی

مقایسه چند حالت واسنجی معادله هارگریوز برای تخمین تبخیرتعرق

(مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز و زرقان در استان فارس)

حمیدرضا فولادمند[1]

۱) دانشیار آبیاری و زهکشی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.
ایمیل مسئول مکاتبات: hrfoolad@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: معادله هارگریوز یکی از ساده‌ترین روش‌های تخمین تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع است که دارای دو ضریب ثابت ۱۷/۸ و ۰/۰۰۲۳ می‌باشد. این معادله در بسیاری از تحقیقات انجام شده در دنیا برمبنای داده‌های لایسی‌متر و یا معادله پنمن- مانتیت واسنجی شده است. هدف اصلی از این تحقیق واسنجی و ارزیابی معادله هارگریوز از سه حالت مختلف بر مبنای معادله پنمن- مانتیت برای دو ایستگاه سینوپتیک شیراز و زرقان در استان فارس می‌باشد.

روش پژوهش: در این تحقیق معادله هارگریوز در سه حالت مختلف برمبنای معادله پنمن- مانتیت برای دو ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز و زرقان در استان فارس واسنجی و ارزیابی گردید. در حالت اول (H_1) به جای استفاده از میانگین دمای ماهانه در معادله اصلی هارگریوز، از دمای موثر ماهانه استفاده شد و همچنین ضرایب ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ نیز واسنجی شدند. دمای مؤثر ماهانه تابعی از دمای حداکثر و دمای حداقل ماهانه است و ضریب ثابتی دارد که در مرحله واسنجی باید تعیین گردد. در حالت دوم (H_2) از معادله اولیه هارگریوز استفاده شد و ضرایب ثابت ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ واسنجی شدند و در حالت سوم (H_3) فقط ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ واسنجی شد. برای انجام این تحقیق از ۲۵ سال داده‌های هواشناسی ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز و زرقان طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۱ برای واسنجی ضرایب حالت‌های ذکر شده اول تا سوم استفاده شد و ضرایب مورد نظر در هر ایستگاه و برای هر ماه سال به طور جداگانه با استفاده از گزینه Solver نرم‌افزار اکسل تعیین شدند. سپس از ده سال داده‌های هواشناسی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی شیراز و زرقان طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ برای ارزیابی نتایج استفاده شد. برای مقایسه نتایج در هر دو مرحله واسنجی و ارزیابی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ضریب کارایی مدل (EF) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج در هر دو ایستگاه شیراز و زرقان و مراحل واسنجی و ارزیابی نشان داد که حالت سوم (H_3) تخمین معادله هارگریوز یعنی تنها تعیین ضریبی به جای ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ مناسب‌تر از حالت‌های دیگر است. مقدار این ضریب نیز در ماه‌های مختلف سال در دو ایستگاه بین ۰/۰۰۲۲ تا ۰/۰۰۲۷ به دست آمد.

نتایج: نتایج نشان داد که همانند بسیاری از تحقیقات انجام شده قبلی مناسب‌تر است که برای استفاده از معادله هارگریوز جهت محاسبه تبخیرتعرق، ضرایب این معادله برای منطقه موردمطالعه واسنجی گردد. ازطرف‌دیگر نتایج نشان داد که استفاده از دمای مؤثر ماهانه در تخمین تبخیرتعرق از معادله هارگریوز منجر به بهبود قابل توجه تخمین تبخیرتعرق نخواهد شد.

کلید واژه‌ها: تبخیرتعرق، دمای موثر ماهانه، معادله پنمن- مانتیت، معادله هارگریوز

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ۱ (۴۹)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۵

صفحات: ۱۴۰-۱۳۱

10.30495/WSRCJ.2023.74048.11388

مقدمه

به خارج شدن آب از سطح خاک تبخیر و از سطح روزنه‌های برگ گیاه، تعرق گفته می‌شود. در سطح مزرعه جداسازی این دو از یکدیگر کار آسانی نیست و لذا در هم ادغام شده و به آن تبخیرتعرق گفته می‌شود. تبخیرتعرق گیاه خود به دو نوع واقعی و پتانسیل تقسیم می‌شود. برای تعیین تبخیرتعرق پتانسیل می‌توان از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم (با استفاده از جعبه کشت یا لایسی‌متر) و یا روش‌های محاسباتی استفاده نمود که به دلیل وقت‌گیر و پرهزینه بودن آزمایش‌های لایسی‌متری بیشتر از روش‌های غیرمستقیم محاسباتی استفاده می‌شود که بر پایه داده‌های هواشناسی استوار هستند. همچنین برای سادگی کار روش‌های محاسباتی زیادی برای چمن به‌عنوان گیاه مرجع در نقاط مختلف دنیا ارائه‌شده است که به آن تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_o) گفته می‌شود. سپس برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل گیاهان مختلف از حاصل‌ضرب ET_o در ضریب گیاهی استفاده می‌شود که این ضریب برای گیاهان مختلف و در زمان‌های مختلف فصل رشد قابل تعیین است.

در بین روش‌های مختلف تخمین ET_o معادله پنمن- مانتیت (Allen et al., 1998) متداول‌ترین روش است که صحت آن توسط داده‌های لایسی‌متری متعددی تأییدشده است (Droogers and Allen, 2002). برای محاسبه ET_o با این روش احتیاج به آمار حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد در ارتفاع دومتری از سطح زمین و ساعت آفتابی می‌باشد. لذا مشکل عمده این روش احتیاج به داده‌های زیاد هواشناسی است که در اغلب مناطق و ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارند. به همین علت معادله‌های دیگری ارائه‌شده‌اند که به داده‌های هواشناسی کمتری برای محاسبه ET_o احتیاج دارند که ازجمله آن‌ها می‌توان به معادله هارگریوز (Hargreaves and Samani, 1985) اشاره نمود که تنها به داده‌های دما وابسته است.

معادله اولیه هارگریوز دارای دو ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ می‌باشد که در تحقیقاتی در نقاط مختلف ایران بر مبنای معادله پنمن- مانتیت واسنجی شده و به‌جای آن دو ضرایب دیگری پیشنهادشده است. فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) برای تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس و اطراف این استان ضریب ۰/۰۰۲۳ را به صورت ماهانه واسنجی کرده و نقشه تغییرات مکانی ماهانه این ضریب اصلاح شده در سطح استان فارس ارائه دادند. در تحقیق دیگری فولادمند و همکاران (۲۰۰۸) معادله هارگریوز را با واردکردن داده‌های بارندگی ماهانه برای استان فارس اصلاح نمودند. شریفان و همکاران (۲۰۱۲) برای ایستگاه سینوپتیک هاشم‌آباد گرگان، قهرمان و همکاران (۲۰۱۴) برای ده ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی و حیدری و حیدری (۲۰۱۴) برای پانزده ایستگاه سینوپتیک در مرکز ایران با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ضرایب معادله هارگریوز را واسنجی نمودند. نتایج تحقیق دیگری در استان البرز نتایج نشان داد که مدل رگرسیونی ترکیبی شامل پارامترهای رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و ساعات آفتابی برای تخمین تبخیرتعرق مناسب‌تر از معادله هارگریوز می‌باشد (Tafteh et al., 2023). در تحقیقات متعددی در دیگر نقاط دنیا معادله هارگریوز بر مبنای معادله پنمن- مانتیت واسنجی شده است (Martinez-Cob and Tejero-Juste, 2004; Gavilan et al., 2006; Tang et al., 2019; Zhu et al., 2019; Pandey and Pandey, 2023).

کامارگو و همکاران (۱۹۹۹) پیشنهاد نمودند که در معادله تورنتوایت (Thornthwaite, 1948) برای محاسبه ET_o به‌جای استفاده از دمای میانگین ماهانه از دمای مؤثر ماهانه که تابعی از دمای حداقل و حداکثر ماهانه است، استفاده شود. پس‌ازآن در تحقیقاتی از دمای مؤثر ماهانه در برآورد ET_o از معادله‌های مختلف در سطح استان فارس استفاده‌شده است. به‌عنوان نمونه احمدی و فولادمند (۲۰۰۸) در معادله تورنتوایت، فولادمند و احمدی (۲۰۰۹) در معادله بلانی- کریدل (Doorenbos and Pruitt, 1977) و فولادمند و صالونی (۲۰۱۴) در معادله جنسن- هیز (Jensen and Haise 1963) از دمای موثر ماهانه استفاده نموده‌اند که همگی آن‌ها نشان‌دهنده مناسب‌بودن استفاده از آن برای تخمین ET_o است.

چنانچه تحقیقات مختلف نشان داده است برای بهبود تخمین تبخیرتعرق با استفاده از معادله هارگریوز بهتر است که ضرایب اولیه این معادله در منطقه مورد نظر اصلاح گردد. لذا هدف از این تحقیق واسنجی معادله هارگریوز بر مبنای معادله پنمن- مانتیت از چند روش مختلف شامل استفاده از دمای موثر ماهانه برای ایستگاه‌های سینوپتیک شیراز و زرقان در استان فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معادله اولیه هارگریوز به صورت زیر است (Hargreaves and Samani, 1985):

$$ET_o = 0.408 \times C_H \times (T_m + a) \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \quad (۱)$$

که در آن ET_O تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، Tm، Tmax و Tmin به ترتیب میانگین دمای ماهانه، میانگین حداکثر دمای ماهانه و میانگین حداقل دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد) و R_a تشعشع ماورای جوی (مگاژول بر متر مربع در روز) است که وابسته به زمان سال و عرض جغرافیایی منطقه است. C_H و a نیز ضرایب اولیه معادله هستند که به

ترتیب برابر ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ پیشنهاد شده‌اند و عدد ۰/۴۰۸ نیز ضریب ثابت تبدیل مگاژول بر متر مربع در روز به میلی‌متر در روز می‌باشد. از طرف دیگر کامارگو و همکاران (۱۹۹۹) برای افزایش دقت تخمین تبخیرتعرق ماهانه در معادله تورنتوایت دمای مؤثر ماهانه را به صورت زیر معرفی نموده‌اند:

$$T_{eff} = \frac{k}{2}(3T_{max} - T_{min}) \qquad (۲)$$

که در آن T_{eff} دمای مؤثر ماهانه (درجه سانتی‌گراد) و k ضریب معادله است که باید تعیین گردد.

در این تحقیق برای واسنجی معادله هارگریوز برمبنای معادله پنمن- مانتیت سه حالت درنظر گرفته شده است. در حالت اول که در ادامه متن با H_1 نشان داده شده به جای استفاده از میانگین دمای ماهانه در رابطه اصلی هارگریوز، از دمای موثر ماهانه استفاده شده و همچنین ضرایب ثابت ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ نیز متغیر درنظر گرفته شده و با علامت‌های C_{H1} و a_1 نشان داده شده‌اند. لذا خواهیم داشت:

$$ET_o = 0.408 \times C_{H1} \times \left[\frac{k}{2}(3T_{max} - T_{min}) + a_1\right] \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times R_a \qquad (۳)$$

در حالت دوم که در ادامه متن با H_2 نشان داده شده از معادله اولیه هارگریوز (رابطه ۱) استفاده شده است با این تفاوت که ضرایب ثابت ۰/۰۰۲۳ و ۱۷/۸ نیز متغیر درنظر گرفته شده‌اند و با علامت‌های C_{H2} و a_2 نشان داده شده‌اند. همچنین در حالت سوم که در ادامه متن با H_3 نشان داده شده از معادله اولیه هارگریوز (رابطه ۱) با اعمال ضریب ثابت ۱۷/۸ استفاده شده و فقط ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ متغیر درنظر گرفته شده و با علامت C_{H3} نشان داده شده است.

برای انجام این تحقیق از ۲۵ سال داده‌های هواشناسی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی شیراز و زرقان (هر دو ایستگاه با اقلیم نیمه‌خشک) طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۱ برای واسنجی ضرایب حالت‌های ذکر شده اول تا سوم و از ده سال داده‌های هواشناسی ماهانه این دو ایستگاه طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۱ برای ارزیابی نتایج استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک شیراز در نزدیکی فرودگاه این شهرستان به طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ارتفاع ۱۴۸۸ متر از سطح دریا و ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زرقان در ۳۶ کیلوتری شمال شیراز به طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه و ارتفاع ۱۵۹۶ متر از سطح دریا واقع شده‌اند. در مرحله واسنجی ضرایب C_{H1}، k ، a_1 ، C_{H2} ، a_2 و C_{H3} در هر ایستگاه و برای هر ماه سال به طور جداگانه تعیین شدند. برای این منظور ET_O ماهانه از روش پنمن- مانتیت محاسبه شد و سپس ET_O حالت‌های اول تا سوم معادله هارگریوز به گونه‌ای تعیین شدند که مناسب‌ترین ضرایب مجهول هر حالت به دست آیند. برای پیدا کردن ضرایب مجهول هر حالت از گزینه Solver نرم‌افزار اکسل بر اساس کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا استفاده شد. در زمان استفاده از این گزینه، ضرایب مجهول به گونه‌ای تغییر می‌کنند که اختلاف بین مقادیر ET_O محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت و ET_O هر یک از حالت‌های اول تا سوم معادله هارگریوز حداقل گردد (Pashakhah et al., 2017). همچنین در زمان استفاده از از گزینه Solver نرم‌افزار اکسل محدودیت‌های زیر جهت تعیین ضرایب اعمال شد: الف) ضرایب C_{H1} ، C_{H2} و C_{H3} اعداد مثبت کوچک‌تر از یک صدم باشند که با چهار رقم اعشار تعیین شوند. ب) ضرایب a_1 a_2 اعداد مثبت کوچک‌تر از صد باشند که با دو رقم اعشار تعیین شوند. ج) ضریب k اعداد مثبت کوچک‌تر از یک باشند که با دو رقم اعشار تعیین شوند. پس از به دست آمدن ضرایب ذکر شده مرحله واسنجی، از آن‌ها در مرحله ارزیابی استفاده شد و ET_O محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت و ET_O هر یک از حالت‌های اول تا سوم معادله هارگریوز مقایسه شدند تا بهترین حالت تخمین ET_O از بین سه حالت تعیین گردد. برای مقایسه نتایج در هر دو مرحله واسنجی و ارزیابی از آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و ضریب کارایی مدل (EF) به صورت روابط زیر استفاده شد که در تحقیقات مشابهی نیز از آن‌ها استفاده شده است (Roudbari and Bagheri, 2023; Sedaghat et al., 2023):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n}} \qquad (۴)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum(x_i - y_i)^2}}{x_m} \qquad (۵)$$

$$MBE = \frac{\sum(x_i - y_i)}{n} \qquad (۶)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum(x_i - y_i)^2}{\sum(x_i - x_m)^2} \qquad (۷)$$

در رابطه‌های بالا x_i تبخیرتعرق محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت، y_i تبخیرتعرق محاسبه شده از هر یک از حالت‌های اول تا سوم معادله هارگریوز و x_m و y_m میانگین مقادیر x_i و y_i می‌باشند. لازم به ذکر است که هرچه مقدار RMSE کمتر باشد مدل برآوردکننده دارای دقت بیشتری خواهد بود. مقدار MBE برای نشان‌دادن اریب مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقادیر مثبت و منفی آن به‌ترتیب بیانگر تخمین بیشتر و کمتر مدل است و به‌طورکلی هرچه به صفر

نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است. NRMSE به‌عنوان شاخص خطای پیش‌بینی مدل استفاده می‌شود و اگر مقدار آن کمتر از ۱۰ درصد باشد نتیجه تخمین عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد قابل قبول و بیشتر از ۳۰ درصد ضعیف می‌باشد. همچنین مقدار EF از منفی بی‌نهایت برای بدترین برآورد تا یک برای تطابق کامل تغییر می‌کند و بالای مقدار ۰/۵ عملکرد قابل قبول مدل را نشان می‌دهد (Sedaghat et al., 2023).

نتایج و بحث

ضرایب واسنجی شده C_{H1} ، k ، a_1 ، C_{H2} ، a_2 و C_{H3} در ایستگاه‌های شیراز و زرقان برای ماه‌های مختلف سال در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. در این دو جدول مقدار C_{H3} گزارش شده توسط فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) برای ایستگاه‌های شیراز و زرقان نیز آورده شده است. چنانچه در جدول ۱ برای ایستگاه شیراز مشاهده می‌شود بین مقادیر C_{H3} به دست آمده در این تحقیق و گزارش شده توسط فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) در ماه‌های مختلف سال اختلاف کمی وجود دارد، اما در مقابل نتایج جدول ۲ برای ایستگاه زرقان نشان‌دهنده اختلاف نسبتاً بیشتری بین مقادیر C_{H3} به دست آمده در این تحقیق و گزارش شده توسط فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) است. این موضوع نشان‌دهنده آن است که نه تنها نیاز به اصلاح ضرایب معادله هارگریوز در هر منطقه است بلکه ممکن است ضرایب اصلاح شده در یک منطقه با گذشت زمان و تغییر سال‌های آماری داده‌های هواشناسی نیز تغییر نماید. بنابراین این روش یک روش بومی بوده و در سطح کلان و داده‌های ثابت کارایی مناسبی نخواهد داشت. از طرف دیگر نتایج جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که ضریب a_2 در ایستگاه شیراز به جای مقدار ثابت ۱۷/۸ بین مقادیر ۰/۲۶ تا ۱۷/۸۴ و در ایستگاه زرقان بین ۷/۷۹ تا ۸۵/۶۰ متغیر است. همچنین در تحقیق احمدی و فولادمند (۲۰۰۸) برمبنای اصلاح معادله تورنتوایت (Thornthwaite, 1948)، ضریب k در ایستگاه شیراز در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۷۱ تا ۰/۹۷ و در ایستگاه زرقان در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵۵ تا ۰/۹۲ گزارش شده است، در حالی که در این تحقیق ضریب فوق در ایستگاه شیراز در ماه‌های مختلف سال بین ۰/۳۰ تا ۰/۷۱ و در ایستگاه زرقان بین ۰/۲۵ تا ۰/۶۳ به دست آمده است.

جدول ۱. ضرایب واسنجی شده حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه شیراز

ماه سال	C_{H1}	k	a_1	C_{H2}	a_2	C_{H3}	C_{H3}^*
فروردین	۰/۰۰۲۰	۰/۵۲	۲۵/۳۲	۰/۰۰۲۸	۱۲/۶۷	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۶
اردیبهشت	۰/۰۰۲۱	۰/۶۱	۲۲/۵۰	۰/۰۰۳۳	۶/۸۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۷
خرداد	۰/۰۰۲۲	۰/۳۸	۳۰/۸۵	۰/۰۰۳۲	۵/۹۰	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۶
تیر	۰/۰۰۲۳	۰/۳۲	۳۳/۵۱	۰/۰۰۳۶	۱/۲۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۶
مرداد	۰/۰۰۲۳	۰/۳۰	۳۵/۵۶	۰/۰۰۲۸	۱۰/۹۰	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۶
شهریور	۰/۰۰۲۳	۰/۳۶	۳۲/۳۷	۰/۰۰۳۶	۳/۷۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۶
مهر	۰/۰۰۲۲	۰/۳۳	۳۴/۲۲	۰/۰۰۴۲	۳/۲۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۶
آبان	۰/۰۰۲۱	۰/۴۷	۲۶/۸۵	۰/۰۰۵۸	۰/۲۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۵
آذر	۰/۰۰۲۵	۰/۷۱	۱۳/۲۱	۰/۰۰۴۴	۷/۲۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۴
دی	۰/۰۰۲۲	۰/۶۸	۱۶/۰۹	۰/۰۰۳۵	۱۱/۷۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۵
بهمن	۰/۰۰۲۱	۰/۵۵	۱۹/۹۰	۰/۰۰۴۰	۹/۰۵	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۷
اسفند	۰/۰۰۱۸	۰/۴۲	۲۹/۴۱	۰/۰۰۲۵	۱۷/۸۴	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۷

*گزارش شده توسط فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۰ میلادی

جدول ۲. ضرایب واسنجی شده حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه زرقان

ماه سال	C_{H1}	k	a_1	C_{H2}	a_2	C_{H3}	C_{H3}^*
فروردین	۰/۰۰۲۱	۰/۵۴	۱۸/۵۶	۰/۰۰۲۲	۱۹/۶۶	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۱
اردیبهشت	۰/۰۰۲۱	۰/۵۹	۱۷/۴۵	۰/۰۰۲۲	۱۹/۴۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۱
خرداد	۰/۰۰۲۲	۰/۳۳	۲۸/۴۷	۰/۰۰۱۶	۳۳/۷۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۰
تیر	۰/۰۰۲۳	۰/۳۵	۲۷/۹۴	۰/۰۰۱۸	۲۷/۴۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۹
مرداد	۰/۰۰۲۲	۰/۲۵	۳۵/۳۵	۰/۰۰۰۹	۸۵/۶۰	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۸
شهریور	۰/۰۰۲۴	۰/۳۹	۲۵/۴۰	۰/۰۰۱۳	۵۶/۰۳	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۹
مهر	۰/۰۰۲۳	۰/۳۱	۲۸/۸۲	۰/۰۰۱۱	۶۵/۶۳	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۹
آبان	۰/۰۰۲۵	۰/۵۶	۱۴/۷۰	۰/۰۰۲۹	۱۴/۴۸	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۹
آذر	۰/۰۰۲۵	۰/۶۳	۱۲/۴۸	۰/۰۰۴۲	۷/۷۹	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۷
دی	۰/۰۰۲۱	۰/۵۸	۱۷/۱۳	۰/۰۰۲۷	۱۶/۱۹	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۹
بهمن	۰/۰۰۲۱	۰/۵۸	۱۷/۲۹	۰/۰۰۱۴	۳۶/۱۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۳
اسفند	۰/۰۰۲۱	۰/۵۱	۱۹/۴۲	۰/۰۰۲۰	۲۳/۹۰	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۳

*گزارش شده توسط فولادمند و حقیقت (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ میلادی

جهت مقایسه سه حالت مختلف تخمین تبخیرتعرق از معادله هارگریوز مقادیر RMSE، NRMSE، MBE و EF مراحل واسنجی و ارزیابی ایستگاه شیراز در جدول‌های ۳ تا ۶ و ایستگاه زرقان در جدول‌های ۷ تا ۱۰ آورده شده‌اند. با توجه به اطلاعات این جدول‌ها نتایج زیر قابل استنتاج است:

جدول ۳. مقادیر RMSE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه شیراز (میلی‌متر در روز)

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۱
اردیبهشت	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۱۲
خرداد	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۲۰
تیر	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۳
مرداد	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۲۳
شهریور	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۹
مهر	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷
آبان	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۴
آذر	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۶
دی	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۱۰
بهمن	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۶
اسفند	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۶
میانگین	**۰/۲۳**	**۰/۱۷**	**۰/۱۸**	**۰/۱۶**	**۰/۱۶**	**۰/۱۴**

جدول ۴. مقادیر NRMSE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه شیراز

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴
اردیبهشت	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲
خرداد	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
تیر	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
مرداد	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
شهریور	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱
مهر	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱
آبان	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴
آذر	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
دی	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۵
بهمن	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶
اسفند	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲
میانگین	**۰/۰۶**	**۰/۰۴**	**۰/۰۴**	**۰/۰۴**	**۰/۰۴**	**۰/۰۳**

جدول ۵. مقادیر MBE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه شیراز (میلی‌متر در روز)

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۱۲	-۰/۱۰
اردیبهشت	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۱۸	-۰/۰۷	-۰/۱۰
خرداد	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۱۹	-۰/۱۶
تیر	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۷۵	-۰/۱۲	-/۱۰
مرداد	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۱۸
شهریور	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۱	-۰/۰۵	-۰/۰۷
مهر	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۰۶
آبان	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۲	-۰/۰۲	-۰/۰۸
آذر	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۱۱	-۰/۰۹	-۰/۰۹
دی	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۰۱
بهمن	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۴
اسفند	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱

جدول ۶. مقادیر EF مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه شیراز

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۸۷
اردیبهشت	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۸۹
خرداد	-۱/۸۳	-۰/۲۴	-۰/۳۲	-۱/۱۹	-۱/۴۶	-۰/۷۱
تیر	-۴/۰۵	-۱/۳۸	-۱/۵۹	-۲/۲۰	-۱/۹۸	-۱/۰۱
مرداد	-۲/۹۲	-۱/۰۱	-۱/۰۴	-۰/۷۸	-۰/۸۵	-۰/۷۲
شهریور	-۳/۷۹	-۰/۸۳	-۱/۰۵	-۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۵۶
مهر	-۰/۶۱	۰/۴۲	۰/۳۲	-۱/۰۴	۰/۲۱	۰/۷۰
آبان	۰/۶۴	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۸۴
آذر	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۵
دی	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۳
بهمن	-۰/۷۳	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۴۹	۰/۶۱
اسفند	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۰	۰/۹۵	۰/۹۵

الف- برای ایستگاه شیراز مطابق جدول ۳ مقدار میانگین RMSE دوازده ماه سال در مرحله واسنجی در دو حالت H_2 و H_3 بسیار نزدیک به هم بوده (به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۱۸) و از حالت H_1 (برابر ۰/۲۳) کمتر می‌باشند. همچنین مقدار میانگین RMSE دوازده ماه سال در مرحله ارزیابی در هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 بسیار نزدیک به هم هستند (به ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۱۶ و ۰/۱۴) که البته حالت H_3 از دو حالت دیگر مقداری کمتر است. همچنین مطابق جدول ۴ مقدار میانگین NRMSE دوازده ماه سال در مرحله واسنجی در دو حالت H_2 و H_3 برابر ۰/۰۴ است و از حالت H_1 که برابر ۰/۰۶ شده کمتر می‌باشند. به علاوه مقدار میانگین NRMSE دوازده ماه سال در مرحله ارزیابی در هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 بسیار نزدیک به هم هستند (به ترتیب برابر ۰/۰۴، ۰/۰۴ و ۰/۰۳). از طرف دیگر مطابق جدول ۵ مشاهده می‌شود که مقادیر MBE مرحله واسنجی در هر سه حالت و برای تمام ماه های سال بین ۰/۰۱- تا ۰/۰۱ متغیر است که نشان‌دهنده مناسب بودن هر سه حالت تخمین است هرچند این آماره در مرحله ارزیابی نسبت به مقدار مناسب صفر پراکنش قابل توجهی دارد. با این حال مقادیر MBE مرحله ارزیابی حالت‌های H_2 و H_3 مناسب‌تر می‌باشند. از طرف دیگر با توجه به جدول ۶ مشاهده می‌شود که مقادیر EF مراحل واسنجی حالت H_3 در بیشتر ماه‌های سال به مقدار ایده‌ال یک نزدیک‌تر هستند. بنابراین هرچند برای ایستگاه شیراز با توجه به مقادیر RMSE، NRMSE، MBE و EF مراحل واسنجی و ارزیابی هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 برای تخمین تبخیرتعرق مناسب هستند اما حالت H_3 تا حدودی مناسب‌تر از دو حالت دیگر است، یعنی واسنجی معادله اولیه هارگریوز با اعمال ضریب ثابت ۱۷/۸ و تنها تعیین ضریبی به جای ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ گزینه مناسبی برای تخمین تبخیرتعرق در ایستگاه شیراز خواهد بود. چنانچه مشاهده می‌شود مقدار این ضریب نیز از همان مقدار اولیه ۰/۰۰۲۳ در ماه تیر تا ۰/۰۰۲۷ در ماه‌های آبان و آذر متغیر است. از طرف دیگر نتایج به دست آمده برای ایستگاه شیراز نشان داد که استفاده از دمای مؤثر ماهانه در تخمین تبخیرتعرق از معادله هارگریوز برخلاف نتایج گزارش شده مطالعات قبلی در سطح استان فارس منجر به بهبود قابل توجه تخمین تبخیرتعرق نخواهد شد.

جدول ۷. مقادیر RMSE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه زرقان (میلی‌متر در روز)

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۰	۰/۲۰
اردیبهشت	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
خرداد	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۱۲
تیر	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۹	۰//۲۷	۰/۱۴	۰/۱۲
مرداد	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۵
شهریور	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۹
مهر	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۱۲
آبان	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۳۱
آذر	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۹
دی	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۸
بهمن	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۱۵
اسفند	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۱
میانگین	**۰/۱۱**	**۰/۱۱**	**۰/۱۲**	**۰/۱۸**	**۰/۱۵**	**۰/۱۵**

ب- برای ایستگاه زرقان مطابق جدول ۷ مقدار میانگین RMSE دوازده ماه سال در مرحله واسنجی در هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 بسیار نزدیک به هم هستند (به ترتیب برابر ۰/۱۱، ۰/۱۱ و ۰/۱۲). همچنین مقدار میانگین RMSE دوازده ماه سال در مرحله ارزیابی در دو حالت H_2 و H_3 برابر ۰/۱۵ بوده و از حالت H_1 (برابر ۰/۱۸) کمتر می‌باشند. همچنین مطابق جدول ۸ مقدار میانگین NRMSE دوازده ماه سال در مرحله واسنجی در هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 بسیار نزدیک به هم هستند (به ترتیب برابر ۰/۰۳، ۰/۰۳ و ۰/۰۴) و این موضوع در مرحله ارزیابی نیز قابل مشاهده است (به ترتیب برابر ۰/۰۵، ۰/۰۴ و ۰/۰۴). از طرف دیگر مطابق جدول ۹ مشاهده می‌شود که مقادیر MBE مرحله واسنجی در هر سه حالت و برای تمام ماه های سال بین ۰/۰۲- تا صفر متغیر است که نشان‌دهنده مناسب بودن هر سه حالت تخمین است هرچند این آماره در مرحله ارزیابی نسبت به مقدار مناسب صفر پراکنش قابل توجهی دارد. با این حال مقادیر MBE مرحله ارزیابی حالت‌های H_2 و H_3 مناسب‌تر می‌باشند. از طرف دیگر با توجه به جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که مقادیر EF مراحل واسنجی حالت H_3 در بیشتر ماه‌های سال به مقدار ایده‌ال یک نزدیک‌تر هستند. بنابراین هرچند برای ایستگاه زرقان با توجه به مقادیر RMSE، NRMSE، MBE و EF مراحل واسنجی و ارزیابی هر سه حالت H_1، H_2 و H_3 برای تخمین تبخیرتعرق تقریباً مناسب هستند اما همانند ایستگاه شیراز در ایستگاه زرقان نیز حالت H_3 تا حدودی مناسب‌تر از دو حالت دیگر است. یعنی واسنجی معادله اولیه هارگریوز با اعمال ضریب ثابت ۱۷/۸ و تنها تعیین ضریبی به جای ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ گزینه مناسبی برای تخمین تبخیرتعرق در ایستگاه زرقان خواهد بود. چنانچه مشاهده می‌شود مقدار این ضریب نیز از مقدار ۰/۰۰۲۲ در ماه‌های خرداد و تیر تا ۰/۰۰۲۶ در ماه‌های آبان و آذر متغیر است. همچنین نتایج به دست آمده برای ایستگاه زرقان همانند ایستگاه شیراز نشان داد که استفاده از دمای مؤثر ماهانه در تخمین تبخیرتعرق از معادله هارگریوز منجر به بهبود قابل توجه تخمین تبخیرتعرق نخواهد شد.

جدول ۸. مقادیر NRMSE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه زرقان

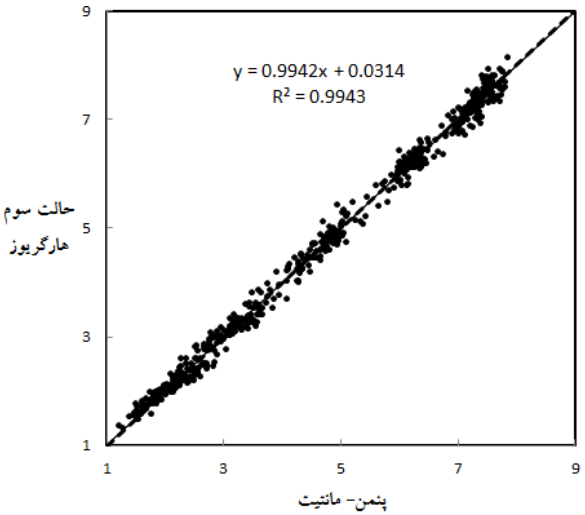
ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵
اردیبهشت	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳
خرداد	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
تیر	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲
مرداد	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
شهریور	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
مهر	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
آبان	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۱
آذر	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۰
دی	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴
بهمن	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶
اسفند	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
میانگین	**۰/۰۳**	**۰/۰۳**	**۰/۰۴**	**۰/۰۵**	**۰/۰۴**	**۰/۰۴**

جدول ۹. مقادیر MBE مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه زرقان (میلی‌متر در روز)

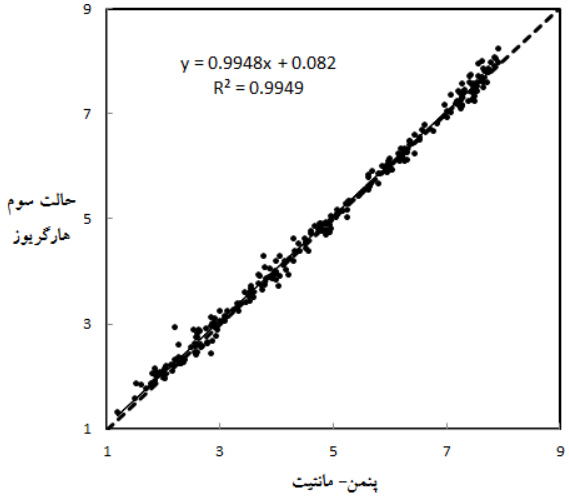
ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۰/۱۰	-۰/۱۱
اردیبهشت	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۲	-۰/۱۲	-۰/۱۲
خرداد	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۰۳
تیر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۰۶
مرداد	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۰۶
شهریور	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۰۲
مهر	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۹
آبان	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۰/۲۳
آذر	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۹	-۰/۱۸	-۰/۱۴
دی	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۳
بهمن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۰	۰/۰۱	-۰/۰۸
اسفند	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۷

جدول ۱۰. مقادیر EF مراحل واسنجی و ارزیابی حالت‌های مختلف معادله هارگریوز در ایستگاه زرقان

ماه سال	H_1 واسنجی	H_2 واسنجی	H_3 واسنجی	H_1 ارزیابی	H_2 ارزیابی	H_3 ارزیابی
فروردین	۰/۸۵	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۸۹
اردیبهشت	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۴
خرداد	۰/۶۶	۰/۸۴	۰/۷۹	-۲/۷۱	۰/۰۰	۰/۵۰
تیر	۰/۴۹	۰/۷۷	۰/۷۶	-۷/۰۲	-۱/۰۸	-۰/۶۶
مرداد	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۲۰
شهریور	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۶۲	۰/۵۴
مهر	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۲۶	۰/۵۵	۰/۳۸
آبان	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۴۰
آذر	۰/۹۳	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۴۵	۰/۵۴
دی	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۵
بهمن	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۶۲
اسفند	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۶۶	۰/۸۲	۰/۸۰



شکل ۱. پراکنش داده‌های تبخیرتعرق محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت و حالت سوم معادله هارگریوز نسبت به خط یک به یک (خط چین) در مرحله واسنجی در دو ایستگاه شیراز و زرقان



شکل ۲. پراکنش داده‌های تبخیرتعرق محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت و حالت سوم معادله هارگریوز نسبت به خط یک به یک (خط چین) در مرحله ارزیابی در دو ایستگاه شیراز و زرقان

در شکل‌های ۱ و ۲ نیز پراکنش داده‌های تبخیرتعرق محاسبه شده از روش پنمن- مانتیت و حالت سوم معادله هارگریوز در دو مرحله واسنجی و ارزیابی در دو ایستگاه شیراز و زرقان در اطراف خط یک به یک (نشان داده شده در شکل‌ها به صورت خط چین) ارائه شده است. هر دو شکل بیانگر پراکنش بسیار مناسب نتایج در اطراف خط یک به یک است که خود گویای نتایج قابل قبول تخمین تبخیرتعرق از حالت سوم معادله هارگریوز در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که:

الف- همانند بسیاری از تحقیقات انجام شده قبلی مناسب‌تر است که در زمان استفاده از معادله هارگریوز جهت محاسبه تبخیرتعرق، ضرایب این معادله برای منطقه در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد مطالعه و واسنجی قرار گیرد.

ب- در این تحقیق برای واسنجی معادله هارگریوز برمبنای معادله پنمن- مانتیت سه حالت مختلف درنظر گرفته شد و نتایج در هر دو ایستگاه شیراز و زرقان نشان داد که واسنجی معادله اولیه هارگریوز با اعمال ضریب ثابت ۱۷/۸ و تنها تعیین ضریبی به جای ضریب ثابت ۰/۰۰۲۳ گزینه مناسبی برای تخمین تبخیرتعرق می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار ضریب فوق در ماه‌های مختلف سال در دو ایستگاه بین ۰/۰۰۲۲ تا ۰/۰۰۲۷ متغیر است و در ایستگاه شیراز در ماه تیر و در ایستگاه زرقان در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و مرداد برابر مقدار اولیه ۰/۰۰۲۳ شده است.

ج- نتایج این تحقیق برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که استفاده از دمای مؤثر ماهانه در تخمین تبخیرتعرق از معادله هارگریوز منجر به بهبود قابل توجه تخمین تبخیرتعرق نخواهد شد.

Reference:

Ahmadi ,S. H., & Fooladmand, H. R. (2008). Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from the calibration of Thornthwaite equation: a case study, South of Iran. Irrigation Science, 26: 303-312.

Allen, R. G, Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop WaterRequirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.

Camargo, A. P., Marin, F. R., Sentelhas, P. C. & Picini, A. G. (1999). Adjust of the Thornthwaite's method to estimate the potential evapotranspiration for arid and superhumid climates, based on daily temperature amplitude. Revista Brasileira de Agrometeorologica, 7:251–257. [In Portuguese]

Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, Italy.

Droogers, P., & Allen, R. G. (2002). Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. Irrigation and Drainage Systems, 16: 33-45.

Fooladmand, H. R., & Ahmadi, S. H. (2009). Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ETo in south of Iran. Irrigation and Drainage, 58: 234-245.

Fooladmand, H. R., & Haghighat, M. (2007). Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET_o based on Penman-Monteith method. Irrigation and Drainage, 56: 439-449.

Fooladmand, H. R., & Salooni, M. (2014). Modification of Jensen- Haise equation for estimating evapotranspiration in Farce province. Journal of Irrigation and Water Engineering, 16: 95-105. [In Persian]

Fooladmand, H. R., Zandilak, H., & Ravanan, M. H. (2008). Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. Archives of Agronomy and Soil Science, 54(3): 321-330.

Gavilan, P., Lorite, L. J., Tornero, S., & Berengena, J. (2006). Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. Agricultural Water Management, 81: 257–281.

Ghahraman, B., Sharifan, H., Davary, K. & Karimirad, L. (2014). Optimum correction factor for Hargreaves– Samani method for determination of reference crop evapotranspiration (Case study: Khorasan Razavi province). Iranian Journal of lrrigation and Drainage, 7(4): 466-477. [In Persian]

Hargreaves, G. L., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2): 96-99.

Heydari, M. M., & Heydari, M. (2014). Calibration of Hargreaves–Samani equation for estimating reference evapotranspiration in semiarid and arid regions. Archives of Agronomy and Soil Science, 60(5): 695-713.

Jensen, M. E., & Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigattion and Drainage ASCE, 89: 15-41.

Martinez-Cob, A., & Tejero-Juste, M. (2004). A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions. Agricultural Water Management, 64: 251–264.

Pashakhah, P., Ebrahimi, H., Bolokazari, S., & Hasan Pour Darvishi, H. (2017). Calibrate and evaluation of the three experimental methods estimating source evapotranspiration. (Case study: Three different dlimates of six main climates in Iran). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 11(1): 104-112. [In Persian]

Pandey, P. K., & Pandey, V. (2023). Parametric calibration of Hargreaves–Samani (HS) reference evapotranspiration equation with different coefficient combinations under the humid environment. HydroResearch, 6: 147-155.

Roudbari, A. & Bagheri, A. (2023). Estimation of reference evapotranspiration using full and limited data of Sari, Qarakheil and Amol synoptic stations. Journal of Water Research in Agriculture, 36(4): 455-466. [In Persian]

Sedaghat, A., Ebrahimipak, N., Tafteh, A., & Hosseini, S. N. (2023). Evaluating reference evapotranspiration using data mining methods and comparing it with the results of water requirement system in Qazvin province. Journal of Water and Soil, 36(6): 711-727. [In Persian]

Sharifan, H., Dehghani, A. A. & Karimirad, I. (2012). Correction factor for Hargreaves-Samani method to estimate ETo (Case study: Gorgan synoptic station). Journal. of Water and Soil Conservation, 19(2): 227-235. [In Persian]

Tafteh, A., Ebrahimipak, N., & Hosseini, S. N. (2023). Investigating the performance of regression equations methods in determining reference evapotranspiration and comparison with Hargreaves method in Alborz province. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 13(2): 133-148. [In Persian]

Tang, P., Xu, B., Gao, Z., Li, H., Gao, X., & Wang, C. (2019). Estimating reference crop evapotranspiration with elevation based on an improved HS model. Hydrology Research, 50(1): 187-199.

Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 38: 55-94.

Zhu, T., Lu, Y., Yang, Y., Gue, L., Lue, H., Fang, C., & Cui, Y. (2019). Calibration and validation of the Hargreaves Samani model for reference evapotranspiration estimation in China. Irrigation and Drainage, 68(4): 822-836.