Research Paper

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. 4 (52)

Received:
2023-09-22

Accepted:
2023-11-20

Pages: 1-9

Determining the Amount of Water Use and Evapotranspiration of Bean Using Tafteh, Pasquale and Raes Methods under the Conditions of Drip and Furrow Irrigation

Fatemeh Keykhaei[1], Ali Abdzad Gohari[*2] and Niazali Ebrahimipak[3]

1) Instructor, On-Farm Water Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2) Researcher, On Farm Water Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3) Associated professor, On Farm Water Management Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
* Corresponding author email: abdzadgohari_a@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: Due to the limitation of water resources, proper use of water is necessary, and the use of appropriate irrigation methods in fields is an appropriate strategies to use water. Water stress can affect crop yield in the field. Therefore, the correct method of irrigation and management of water consumption is one of the basic issues in farms. The deficit irrigation strategy with the water requirement supply approach can be considered as a practical and efficient technique to ensure more crop yield, without compromising the physiological processes and yield. Therefore, the scope of this research is to estimate the amount of water consumed and the amount of evapotranspiration of the bean plant with the aim of evaluating the field conditions and comparing it with Tafteh, Pasquale and Raes methods.

Method: The present study aims to determine the amount of water use and evapotranspiration of bean using Tafteh, Pasquale and Raes methods and based on the inverse solution of the yield production function in Markazi Province and at the Khomin Bean National Research Station at an altitude of 1930 meters above sea level with a length of 49 degrees and 57 minutes of latitude and 33 degrees and 39 minutes of latitude were implemented in 2016 and 2017. In this experiment, the irrigation treatment including furrow and drip-tape as the main factor and, the values of water requirement including 100, 75 and 55% of water requirement as a sub-factor and in the form of split plots in the form of randomized complete blocks design were done in three replications. Cultivated variety was of native type and its planting time was on the 10th and 9th of June respectively in the first and second year. Drip irrigation tapes were placed on the stacks and irrigation was carried out in the same way until the seedling was fully established in the stage of emergence of the third three leaves.

Results: The highest seed yield with an average of 2683 kg/ha was obtained in the furrow irrigation method and by providing 100% of the water requirement. In evaluating evapotranspiration, the root mean square error (RMSE) in Tafteh, Pasquale and Raes methods were 0.160, 117.8 and 0.185 mm respectively and the root mean square normal error ($RMSE_n$) were 0.448, 0.330 and 0.518 percent respectively. The index of agreement or compatibility (d) in Tafteh, Pasquale and Raes methods were 0.295, 0.600 and 0.081% respectively. In the investigation of irrigation water amounts, the root mean square error (RMSE) in Tafteh, Pasquale and Raes methods was 156.7, 117.5, and 181.3 mm, respectively, and the root mean square normal error ($RMSE_n$) was 0.446, 0.335 and 0.516 percent respectively. The index of agreement or compatibility (d) in Tafteh, Pasquale and Raes methods were 0.324, 0.602 and 0.118% respectively.

Conclusion: In general and according to the statistical results, Tafteh, Pasquale and Raes methods had an acceptable estimate of the amount of irrigation water and the amount of evapotranspiration in the furrow and drip conditions under different amounts of water requirement. Therefore, they can be used as appropriate tool in the estimation of water use in the studied area.

Keywords: Irrigation methods, Native Cultivar, Niazab system, Numerical inverse solution, Water requirement

10.30495/WSRCJ.2023.75397.11406

مقاله پژوهشی

تعیین مقدار آب مصرفی و تبخیر-تعرق گیاه لوبیا با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس تحت شرایط آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای

فاطمه کیخایی[1]، علی عبدزاد گوهری[2*] و نیاز علی ابراهیمی پاک[3]

۱) هیات علمی، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه،، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲) محقق، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه،، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲) دانشیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه،، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: abdzadgohari_a@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: با توجه به محدودیت منابع آب، استفاده درست از آب ضروری است و به کارگیری روش‌های مناسب آبیاری در مزارع از راهکارهای مناسب در استفاده از آب است. تنش آبی می‌تواند عملکرد محصول را در مزرعه تحت تاثیر قرار دهد. بنابراین، روش صحیح آبیاری و مدیریت مصرف آب از موارد اساسی در مزارع می‌باشد. استراتژی کم‌آبیاری با رویکرد تامین نیاز آبی را می‌توان به عنوان یک تکنیک عملی و کارآمد برای اطمینان از عملکرد بیشتر محصول، بدون به خطر انداختن فرآیندهای فیزیولوژیکی و عملکرد در نظر گرفت. لذا زمینه این پژوهش تخمین مقدار آب مصرفی و میزان تبخیر-تعرق گیاه لوبیا با هدف ارزیابی شرایط مزرعه‌ای و مقایسه آن با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس می‌باشد.

روش پژوهش: پژوهش حاضر به‌منظور تعیین مقدار آب مصرفی و تبخیر-تعرق لوبیا با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس و بر مبنای حل معکوس تابع تولید عملکرد در استان مرکزی و در ایستگاه ملی تحقیقات لوبیای خمین در ارتفاع ۱۹۳۰ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و۵۷ دقیقه و عرض جغرافیای ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ اجرا شد. در این آزمایش تیمار آبیاری شامل جویچه‌ای و قطره‌ای-نواری به‌عنوان فاکتور اصلی و مقادیر نیاز آبی شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی به‌عنوان فاکتور فرعی انتخاب و به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. رقم مورد کشت از نوع بومی و زمان کاشت آن در سال اول و دوم به‌ترتیب روز دهم و نهم خردادماه بود. نوارهای آبیاری قطره‌ای بر روی پشته‌ها قرار گرفته و آبیاری تا استقرار کامل گیاهچه در مرحله ظهور سومین سه برگچه‌ای به‌صورت یکسان انجام شد.

یافته‌ها: بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۲۶۸۳ کیلوگرم بر هکتار در روش آبیاری جویچه‌ای و با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. در ارزیابی تبخیر-تعرق، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۱۶۰/۰، ۱۱۷/۸ و ۱۸۵/۰ میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب ۰/۴۴۸، ۰/۳۳۰ و ۰/۵۱۸ درصد بود و شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۲۹۵، ۰/۶۰۰ و ۰/۰۸۱ درصد بود. در بررسی مقادیر آب آبیاری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۱۵۶/۷، ۱۱۷/۵ و ۱۸۱/۳ میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب ۰/۴۴۶، ۰/۳۳۵ و ۰/۵۱۶ درصد بود. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۳۲۴، ۰/۶۰۲ و ۰/۱۱۸ درصد بود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی و با توجه به‌نتایج آماری، روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس، برآورد قابل قبولی از مقدار آب آبیاری و میزان تبخیر-تعرق در شرایط جویچه‌ای و قطره‌ای-نواری تحت مقادیر مختلف نیاز آبی داشتند. از این‌رو می‌توانند به‌عنوان یک ابزار مناسب در تخمین آب مصرفی در محل مورد مطالعه استفاده شوند.

کلید واژه‌ها: حل معکوس عددی، رقم محلی، روش‌های آبیاری، سامانه نیاز آب، نیاز آبی

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 ٤ (٥٢)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۸/۲۹

صفحات: ۹-۱

10.30495/WSRCJ.2023.75397.11406

مقدمه

لوبیا[1] یکی از مهم‌ترین حبوبات در جهان و ایران محسوب می‌شود که شامل کالری، پروتئین، فیبر، مواد معدنی و انواع ویتامین‌ها برای میلیون‌ها نفر در جهان می‌باشد (Farid et al., 2016: Dashadi et al., 2022). این گیاه یکی از بهترین گیاهان در تناوب با غلات می‌باشد که در سال‌های اخیر به‌علت رشد جمعیت، سطح زیر کشت آن در حال افزایش است. لوبیا چیتی گیاهی است که به آب و هوای گرم نیاز دارد و یکی از مهم‌ترین منابع غذایی می‌باشد. مقدار آب مورد نیاز بستگی به بافت و ساختمان خاک، شرایط آب و هوایی‌دارد و در خاک‌های با بافت متوسط به دلیل نفوذپذیری بیشتر خاک و تبخیر بیشتر آب از سطح خاک، مقدار مصرف آب بیشتر از خاک‌های تهمه سنگین می‌باشد (Kamel et al., 2016). لوبیا به‌مقدار آبیاری بسیار حساس است، به‌طوری که آب آبیاری باید به‌اندازه کافی پای بوته لوبیا نفوذ کند و تسطیح زمین، کرت‌بندی و مقدار آب ورودی به-داخل کرت از اهمیت خاصی برخوردار است (Kamel et al., 2016). تحقیقات نشان داد که تنش‌آبی بر مراحل گلدهی و پر شدن دانه اثر گذاشته و عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا را کاهش می‌دهد (Babazadeh et al., 2015; Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). در پژوهشی، بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب لوبیا چیتی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه لرستان با تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری قطره‌ای-نواری و روش آبیاری سطحی با تأمین ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی انجام شد و گزارش گردید که بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمارها ۱۰۰ درصد نیاز آبی با میانگین ۳۰۵۳ کیلوگرم بر هکتار بود و عملکرد دانه در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری سطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای-نواری، ۱۸ درصد بیشتر بود و صفات عملکرد بیولوژیک و وزن صد دانه نیز بیش‌ترین میزان را در تیمار آبیاری سطحی داشتند (Darabi et al., 2022). در تحقیق تأثیر عناصر کم‌مصرف و آبیاری در مراحل مختلف رشد در سه سطح آبیاری معمول، قطع یک نوبت آبیاری در مرحله غلاف‌بندی، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه را بر برخی خصوصیات رویشی و عملکرد لوبیا چیتی رقم تلاش را در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان خوی بررسی نمودند و گزارش کردند که تأثیر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه و بیولوژیک و میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود و با قطع آبیاری طی مراحل غلاف‌بندی و پر شدن دانه، عملکرد دانه از ۲۶۴۷ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری معمول به‌ترتیب به ۱۲۶۹ و ۱۹۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت و در نهایت به دلیل حساسیت زیاد لوبیا چیتی به کم‌آبی، آبیاری معمول همراه با محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف طی دو مرحله برای بهبود رشد موثر بود (Roshdi et al., 2012). به منظور مقایسه بهره‌وری مصرف آب در کشت لوبیا تحت سیستم‌های آبیاری شیاری، بارانی و قطره‌ای تیپ، آزمایشی را در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام دادند و گزارش کردند که اثر روش‌های مختلف آبیاری بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در سطح ۵ درصد و بر مقدار آب مصرفی در سطح یک درصد معنی‌دار بود و روش آبیاری بارانی موجب افزایش در عملکرد دانه به میزان حداکثر ۲۹/۵ درصد و افزایش عملکرد بیولوژیک به‌میزان حداکثر ۲۷/۸ نسبت به روش آبیاری تیپ و شیاری گردید، اما این افزایش معنی‌دار نبود و اختلاف بهره‌وری آب در روش‌های بارانی و تیپ اختلاف معنی‌داری نداشتند، اما اختلاف آن‌ها با سیستم شیاری معنی‌دار بود. بررسی واکنش گیاهان زراعی به کم‌آبی و روش های مختلف آبیاری به‌عنوان بخشی از مدیریت کم‌آبی در کشور اهمیت بسیار دارد (Roodbarani et al., 2021). از این‌رو تعیین مقدار آب مصرفی لوبیا در روش های مختلف آبیاری دارای اهمیت خاصی است. در راستای تعیین مقدار آب مصرفی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای تحت عنوان نیاز آبی گیاهان را ارائه نمود که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی را در سطح منطقه، شهرستان و دشت را دارد. تعیین برآورد میزان آب مصرفی در سطح مزرعه و مقایسه با سامانه (روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس) می‌تواند در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها راهگشا باشد (Ebrahimipak et al., 2022c). در پژوهشی از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس برای تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری تحت شرایط ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی استفاده گردید و گزارش شد که با توجه به‌نتایج آماری، این روش‌ها مقدار آب آبیاری و میزان تبخیر-تعرق را با تقریب مناسبی برآورد می‌کند (Abdzad Gohari et al., 2023). در مطالعه‌ای، با اندازه‌گیری میدانی و مزرعه‌ای، مقدار آب آبیاری و عملکرد گندم تحت شرایط مدیریت کشاورزان در سطح ۳۷ شهرستان در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با مقدار آب آبیاری روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بررسی شد و گزارش گردید که میانگین مقدار آب آبیاری گندم در روش اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس، برآورد مناسبی داشت و ضریب کارایی نشان داد که این روش‌ها نتایج قابل قبولی در تعیین مقدار آب آبیاری و بهره وری آب گندم در سطح مزارع کشور دارد. از این رو، می‌توان از روش‌های مذکور در برآورد حجم آب مورد نیاز برای آبیاری گندم در سطح کشور و در مدیریت آب در مزرعه بهره برد (Ebrahimipak et al., 2022a). در تحقیقی ارقام بادام‌زمینی با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بررسی شد و نتایج نشان داد که مقدار ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب کارایی مناسب بود

که حاکی از برآورد سازگار مقدار واقعی آب آبیاری توسط این روش‌ها بود (Abdzad Gohari et al., 2022). در پژوهشی بر روی گیاه چغندرقند، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با برآورد شده توسط روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس نشان داد که میانگین مقدار آب آبیاری چغندرقند در روش اندازه‌گیری شده و روش‌های مذکور به‌ترتیب برابر با ۱۳۰۸۸ و ۱۳۸۵۶ مترمکعب در هکتار و میانگین عملکرد غده چغندرقند در اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و روش‌های مورد مطالعه به‌ترتیب برابر با ۷۱۸۴۶ و ۶۴۲۰۶ کیلوگرم در هکتار شد که حاکی از برآورد مناسب این سه روش می‌باشد (Ebrahimipak et al., 2022b). در تحقیقی تأمین نیاز آبی در مراحل مختلف رشد بر گیاه گندم مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داده شد که ریشه میانگین مربعات خطا در روش تافته، پاسکوئله و رئس به ترتیب با ۱۲۲، ۸۳ و ۱۲۶ میلی‌متر در روز بود که در این میان، روش پاسکوئله نسبت به‌سایر روش‌ها، دارای برآورد بهتری بود و روش پاسکوئله بهترین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال برابر با ۰/۱۸ درصد داشت و شاخص توافق یا سازگاری در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۹۵، ۰/۹۸ و ۰/۹۵ درصد و ضریب کارایی مدل به‌ترتیب با ۰/۷۷، ۰/۹۱ و ۰/۷۳ بود. همچین نتایج آنالیز آماری نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده به‌خط یک‌به‌یک نزدیک و ارتباط مناسبی دارند و مقدار ضریب تبیین در سال‌های مورد مطالعه، ۰/۹۸ می‌باشد (Ebrahimipak et al., 2022a). هدف از این پژوهش ارزیابی روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس در تعیین مقدار آب آبیاری و میزان تبخیر-تعرق گیاه لوبیا بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط کم‌آبیاری تحت روش‌های آبیاری سطحی و قطره‌ای-نواری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور تعیین مقدار آب مصرفی و تبخیر-تعرق لوبیا با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس و بر مبنای حل معکوس تابع تولید عملکرد در استان مرکزی و در ایستگاه ملی تحقیقات لوبیای خمین در ارتفاع ۱۹۳۰ متر از سطح دریا با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و۵۷ دقیقه و عرض جغرافیای ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ اجرا شد (شکل ۱). در این آزمایش تیمار آبیاری شامل جویچه‌ای و قطره‌ای-نواری به‌عنوان فاکتور اصلی و مقادیر نیاز آبی شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی به‌عنوان فاکتور فرعی انتخاب به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. داده‌های هواشناسی ناحیه مورد مطالعه در جدول (۱) و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه در جدول (۲) ارائه شده است.

شکل ۱. منطقه مورد مطالعه پژوهش حاضر در استان مرکزی

رقم مورد کشت از نوع محلی و زمان کاشت آن در سال اول و دوم به‌ترتیب روز دهم و نهم خردادماه بود. اندازه هر کرت آزمایشی ۵×۳ متر بود. نوارهای آبیاری قطره‌ای بر روی پشته‌ها قرار گرفتنه و آبیاری تا استقرار کامل گیاهچه در مرحله ظهور سومین سه برگچه‌ای به‌صورت یکسان انجام شد. مقادیر آب آبیاری بر اساس بیلان آبی روزانه و بر مبنای کمبود آب نسبت به‌رطوبت ظرفیت زراعی خاک و با اندازه‌گیری رطوبت خاک با وسیله TDR در وسط هر کرت در طول دوره رشد انجام شد. زمان آبیاری برای هر تیمار زمانی بود که کمبود آب منطقه ریشه برابر با حداکثر تخیله مجاز آب، ۴۵ درصد (بر اساس گزارش فائو) بود و رطوبت برای هر تیمار اندازه‌گیری شد. عمق آب آبیاری در هر نوبت برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر و با توجه به‌اختلاف درصد میانگین رطوبت خاک در دو عمق تعیین شد (رابطه ۱).

$$d_n = (FC-PWP)\times D_r/100 \qquad (۱)$$

FC: رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه برحسب درصد، d_n: عمق آب آبیاری برحسب میلی‌متر، PWP: رطوبت خاک قبل از آبیاری بر حسب درصد و D_r: عمق ریشه برحسب میلی‌متر بود. عمق توسعه ریشه به‌صورت مستقیم با حفر پروفیل تعیین شد. راندمان در روش جویچه‌ای ۵۰ درصد و در روش قطره‌ای ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. قبل از مرحله گلدهی در هر دو سال آزمایش عملیات خاک-دهی و مبارزه با علف‌های هرز انجام شد برای تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه، غلاف‌های رسیده انتخاب و به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. سپس با استفاده از ترازو و با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری و به کیلوگرم بر هکتار تبدیل گردید.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

سال‌ها	میانگین دما (سانتی‌گراد)	مقدار بارش (میلی‌متر)	میانگین کمینه رطوبت (٪)	میانگین بیشینه رطوبت (٪)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)
۱۳۹۵	۲۳/۹۸	۶	۱۱/۹	۳۱/۰	۱/۸
۱۳۹۶	۲۴/۲۴	۳/۱	۱۲/۵	۳۲/۶	۲/۲

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	نیتروژن (٪)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	ظرفیت‌زراعی حجمی (٪)	نقطه پژمردگی حجمی (٪)	هدایت الکتریکی (dS/m)	وزن‌مخصوص ظاهری (g/cm^3)
۰-۳۰	لومی	۱۸	۳۸	۴۴	۰/۱۸	۲۵	۴۹۱	۲۶/۳	۱۲/۶	۱/۲	۱/۴۴
۳۰-۶۰	لومی	۲۰	۳۸	۴۲	۰/۱۹	۲۲	۴۷۳	۲۷/۶	۱۳/۷	۱/۱	۱/۴۴

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه با نرم‌افزارهای SAS و SPSS16 (با آزمون چند دامنه‌ای دانکن) و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. میزان تبخیر-تعرق بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های Raes (2004)، Tafteh et al., (2014) و روش پاسکوئله بر مبنای فائو ۶۶ از پژوهش Raes (2017) استفاده شد که به‌ترتیب در روابط ۲ تا ۴ ارائه شده است. هر سه‌روش ارزیابی، حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند.

$$\frac{y_a}{y_m}=\prod_{j=1}^{n}\left[1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{\Delta t_i}{L_i}} \quad (۲)$$

$$\frac{y_a}{y_m}=\prod_{j=1}^{n}\left[1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n}k_{yi}}} \quad (۳)$$

$$y_a=\sum_i^n Bi\times HI \quad , \quad Bi=\left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}\right)\times\sum_1^n ET_{ai} \quad (۴)$$

که در آن y_a و y_m به‌ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، K_{yi} ضریب واکنش عملکرد محصول به آب، $ET_{a,j}$ و $ET_{m,j}$ به‌ترتیب تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر- تعرق استاندارد در زمان j، Δ_{tj} بازهٔ زمانی موردنظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد می‌باشد. در معادله پاسکوئله، n شماره روز پس از کشت، (B_i) مقدار زیست‌توده (کیلوگرم بر هکتار) در هر بازه و (HI) شاخص برداشت (درصد) محصول می‌باشد. هر سه‌روش، ارزیابی حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند و توان نسبی را بر اساس نسبت ضریب واکنش عملکرد به‌کل ضرایب واکنش (به‌عنوان توان معادله حاصل ضربی) ارائه می‌دهد. برای تحلیل شاخص‌های آماری از روابط ۵ تا ۱۰ استفاده شد.

$$MRE=\frac{|O_i-P_i|}{O_i}\times 100 \quad (۵)$$

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

$$RMSE_n=[(\sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2\right)}/\overline{O}]\times 100 \quad (۷)$$

$$EF=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۸)$$

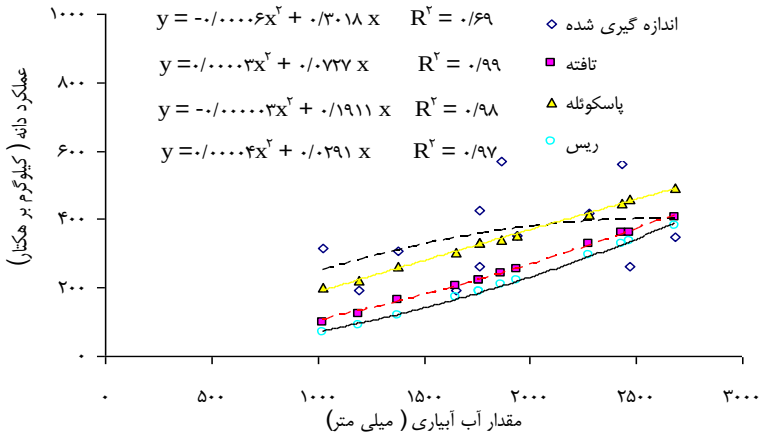
$$R^2=\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})(O_i-\overline{O})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(P-\overline{P})^2\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2} \quad (۹)$$

$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i-\overline{O}|+|O-\overline{O})^2} \quad (۱۰)$$

که در آن: MRE میانگین خطای نسبی[۲]، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا[۳]، $RMSE_n$ ریشه میانگین مربعات خطای نرمال[۴]، EF ضریب کارایی مدل[۵]، d شاخص توافق یا سازگاری[۶] و R^2 ضریب تبیین[۷] است. پارامترهای O، P، $\overline{O}$ و n به‌ترتیب داده مشاهده شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات می‌باشد. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه-گیری شده اگر مقادیر MRE و RMSE به صفر و مقادیر d، EF و R^2 به ۱ نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. اگر ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بالاتر از ۳۰ درصد، ضعیف بر آورد شده است (Jamieson et al., 1991). میزان ضریب کارایی و میزان شاخص توافق یا سازگاری بین منفی بی‌نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه میزان آن به‌یک نزدیکتر باشد، مدل دارای کارایی بهتر و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر می‌باشد (Willmott et al., 1982).

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که حجم آب مصرفی در سال اول در تیمارهای ۵۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری جویچه‌ای به‌ترتیب ۳۰۸۰، ۴۲۰۰ و۵۶۰۰ مترمکعب در هکتار و در روش آبیاری قطره‌ای نواری به‌ترتیب ۱۹۳۰، ۲۶۳۰ و ۳۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود. در حالی که در سال دوم در تیمارهای ۵۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش آبیاری جویچه‌ای به-ترتیب ۳۱۴۰، ۴۲۸۰ و ۵۷۰۰ مترمکعب در هکتار و در روش آبیاری قطره‌ای-نواری به‌ترتیب ۱۹۳۰، ۲۶۴۰ و ۳۵۲۰ مترمکعب در هکتار بود. با مصرف آب تا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تبخیر-تعرق در لوبیا روند صعودی داشت. اما



شکل ۲. میزان عملکرد و مقدار آب آبیاری در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس

افزایش مقدار آب مصرفی تاثیری بر میزان عملکرد نداشت و بیشترین تبخیر-تعرق در عملکرد ۱۸۶۳ کیلوگرم بر هکتار به میزان ۵۷۶ میلی‌متر در روش آبیاری قطره‌ای-نواری و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده گردید. بیشترین عملکرد با میانگین ۲۶۸۳ کیلوگرم بر هکتار در روش آبیاری جویچه‌ای و با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. میزان تبخیر-تعرق برآورد شده در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس با شرایط اندازه‌گیری شده دارای روندی مشابه بود (شکل ۲ و جدول ۳).

برآورد مقادیر تبخیر- تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بر پایه حل معکوس تابع تولید نشان داد که میزان تبخیر-تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و بیشترین تبخیر-تعرق در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و روش جویچه‌ای رخ داد، به‌طوری که در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس، میزان تبخیر-تعرق در سال ۹۵ به‌ترتیب ۴۰۵، ۴۹۳ و ۳۸۳ میلی‌متر و در سال ۹۶ به‌ترتیب ۲۵۵، ۳۵۴ و ۲۲۲ میلی‌متر بود و میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس در سال اول به‌ترتیب ۱/۳۸، ۳/۸۵ و ۰/۷۶ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۲/۸۷-، ۰/۱۰- و ۳/۷۹- درصد بود (جدول ۳). در طول دوره رشد گیاه، میزان تبخیر-تعرق مقدار ثابتی نمی‌باشد و شرایط محیطی نیز بر میزان تبخیر-تعرق مؤثر می‌باشد. به‌طوری که شدت تبخیر-تعرق از سطح خاک به‌علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به‌مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به‌علت توسعه پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (Ehsani et al., 2012; Abdzad Gohari et al., 2022).

جدول ۳. تبخیر-تعرق و مقدار آب آبیاری در شرایط اندازه‌گیری و برآورد شده با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس و تعیین درصد خطای نسبی

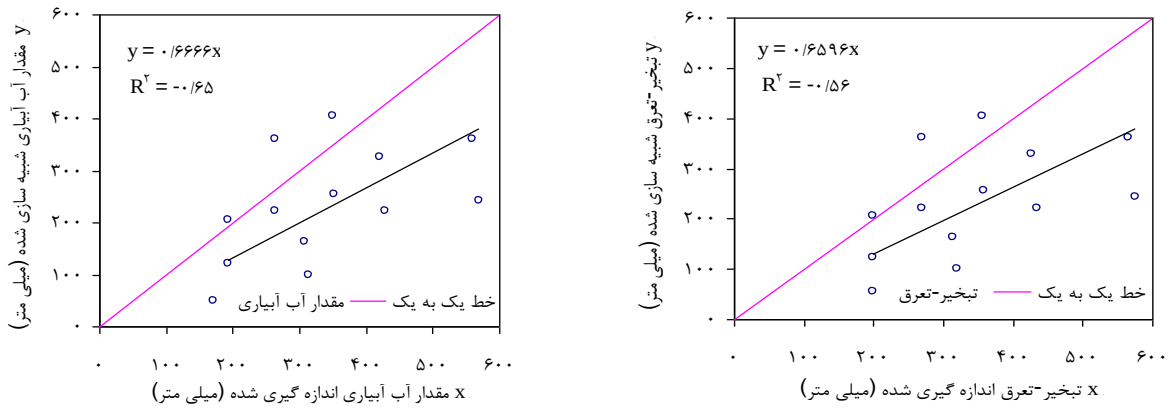
سال‌ها	تیمارها	اندازه‌گیری شده			برآورد شده با روش‌های مورد مطالعه						MRE خطای نسبی (درصد)					
					تافته		پاسکوئله		رئس		روش تافته		روش پاسکوئله		روش رئس	
		Y	ET_C	IR	ET_C	IR	ET_C	IR	ET_C	IR	ET_C	IR	ET_C	IR	ET_C	IR
۱۳۹۵	M_1I_1	۲۴۳۵b	۵۶۶	۵۶۰	۳۶۱	۳۶۰	۴۴۹	۴۴۸	۳۲۸	۳۲۷	-۳/۶۲	-۳/۵۷	-۲/۰۷	-۲/۰۰	-۴/۲۰	-۴/۱۶
	M_1I_2	۲۲۸۰c	۴۲۶	۴۲۰	۳۲۸	۳۲۷	۴۱۶	۴۱۵	۲۹۵	۲۹۴	-۲/۳۰	-۲/۲۱	-۰/۲۳	-۰/۱۲	-۳/۰۸	-۳/۰۰
	M_1I_3	۱۳۸۰h	۳۱۴	۳۰۸	۱۶۳	۱۶۲	۲۶۲	۲۶۱	۱۱۹	۱۱۸	-۴/۸۱	-۴/۷۴	-۱/۶۶	-۱/۵۳	-۶/۲۱	-۶/۱۷
	M_2I_1	۲۶۸۳a	۳۵۶	۳۵۰	۴۰۵	۴۰۴	۴۹۳	۴۹۲	۳۸۳	۳۸۲	۱/۳۸	۱/۵۴	۳/۸۵	۴/۰۶	۰/۷۶	۰/۹۱
	M_2I_2	۲۴۷۲b	۲۶۹	۲۶۳	۳۶۲	۳۶۱	۴۶۰	۴۵۹	۳۳۹	۳۳۸	۳/۴۸	۳/۷۵	۷/۱۳	۷/۴۹	۲/۶۳	۲/۸۸
	M_2I_3	۱۶۵۱g	۱۹۹	۱۹۳	۲۰۷	۲۰۶	۳۰۶	۳۰۵	۱۷۴	۱۷۳	۰/۴۳	۰/۷۰	۵/۴۲	۵/۸۴	-۱/۲۳	-۱/۰۱
۱۳۹۶	M_1I_1	۱۸۶۳e	۵۷۶	۵۷۰	۲۴۴	۲۴۳	۳۴۳	۳۴۲	۲۱۱	۲۱۰	-۵/۷۷	-۵/۷۴	-۴/۰۵	-۴/۰۰	-۶/۳۴	-۶/۳۲
	M_1I_2	۱۷۶۵f	۴۳۴	۴۲۸	۲۲۲	۲۲۱	۳۳۲	۳۳۱	۱۸۹	۱۸۸	-۴/۸۸	-۴/۸۳	-۲/۳۵	-۲/۲۶	-۵/۶۴	-۵/۶۰
	M_1I_3	۱۰۲۶j	۳۲۰	۳۱۴	۱۰۱	۱۰۰	۲۰۰	۱۹۹	۷۰	۶۹	-۶/۸۴	-۶/۸۱	-۳/۷۴	-۳/۶۶	-۷/۸۱	-۷/۸۰
	M_2I_1	۱۹۳۷d	۳۵۸	۳۵۲	۲۵۵	۲۵۴	۳۵۴	۳۵۳	۲۲۲	۲۲۱	-۲/۸۷	-۲/۷۷	-۰/۱۰	۰/۰۴	-۳/۷۹	-۳/۷۱
	M_2I_2	۱۷۶۵f	۲۷۰	۲۶۴	۲۲۲	۲۲۱	۳۳۲	۳۳۱	۱۸۹	۱۸۸	-۱/۷۷	-۱/۶۲	۲/۳۱	۲/۵۵	-۲/۹۹	-۲/۸۷
	M_2I_3	۱۱۹۷i	۱۹۹	۱۹۳	۱۲۳	۱۲۲	۲۲۲	۲۲۱	۹۰	۸۹	-۳/۸۳	-۳/۶۹	۱/۱۴	۱/۴۳	-۵/۴۹	-۵/۴۰

روش آبیاری قطره‌ای-نواری (M_1)، روش جویچه‌ای (M_2) و تأمین ۵۵ درصد نیازآبی (I_3)، ۷۵ درصد نیازآبی (I_2) و ۱۰۰ درصد نیازآبی (I_1). عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم بر هکتار (Y)، تبخیر-تعرق واقعی بر حسب میلی‌متر (ET_C) و آب آبیاری بر حسب میلی‌متر (IR).

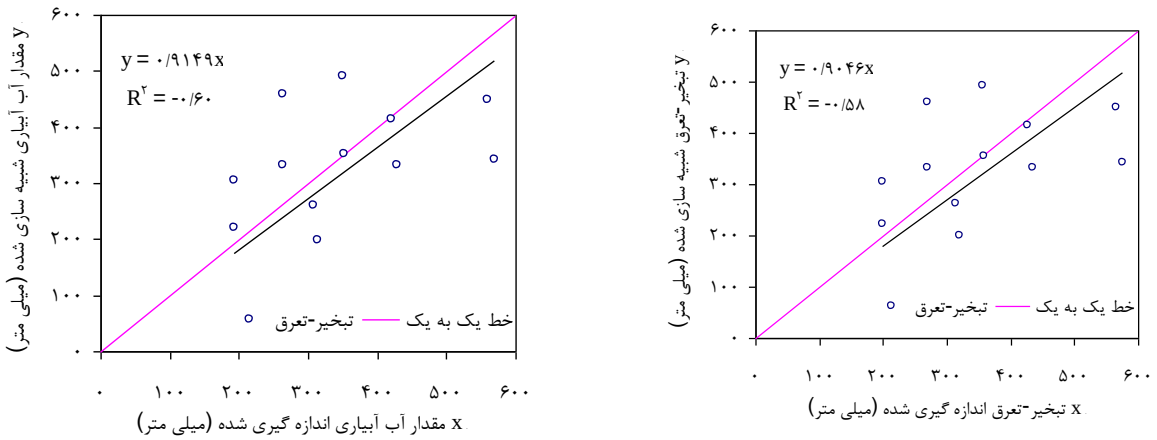
در تبخیر-تعرق، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۱۶۰/۰، ۱۱۷/۸ و ۱۸۵/۰میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب ۰/۴۴۸، ۰/۳۳۰ و ۰/۵۱۸ درصد بود. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۲۹۵، ۰/۶۰۰ و ۰/۰۸۱ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به‌ترتیب با ۰/۸۰۰- ،۰/۰۲۴ و ۱/۴۰۵- بود (جدول ۶). در مقادیر آب آبیاری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۱۵۶/۷، ۱۱۷/۵ و ۱۸۱/۳ میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب ۰/۴۴۶، ۰/۳۳۵ و ۰/۵۱۶ درصد بود. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۳۲۴، ۰/۶۰۲ و ۰/۱۱۸ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به‌ترتیب با ۰/۷۲۶- ،۰/۰۲۹ و ۱/۳۰۹- بود (جدول ۶). نتایج مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده در روش پاسکوئله نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده به‌خط یک‌به‌یک نزدیک بود و ضرایب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۰/۵۶، ۰/۵۸ و ۰/۵۵ درصد بود و مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس برای مقادیر آب آبیاری به‌ترتیب ۰/۶۵، ۰/۶۰ و ۰/۵۷ درصد بود (شکل-های ۳ تا ۵). در پژوهشی، تبخیر-تعرق گیاه کلزا با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بررسی شد و مقادیر بالای ضریب تبیین برای این گیاه در سه روش مذکور گزارش گردید (Ebrahimipak et al., 2018b). در پژوهشی با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس، مدیریت‌های مختلف آبیاری گندم بررسی شد و گزارش گردید که عملکرد دانه دارای ریشه میانگین خطای نرمال ۰/۱۷ درصد و ضریب توافق ۰/۹۵ است که نشان‌دهنده قابل قبول بودن نتایج در تعیین مقدار آب آبیاری در سطح مزرعه می‌باشد (Ebrahimipak et al., 2022a). در تحقیقی ارقام گیاه بادام‌زمینی با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بررسی گردید و بیان شد که مقدار ضریب تبیین در ارقام مختلف بین ۰/۶۵ و ۰/۶۴، ریشه میانگین مربعات خطا بین ۵۲/۶۰ و ۵۲/۲۴ و میانگین انحراف خطا بین ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳ متغیر بود و شاخص توافق مدل به‌ترتیب بین ۰/۹۵ و ۰/۹۸ و ضریب کارایی بین ۹۵ و ۹۸ درصد قرار داشت که نشان دهنده برآورد مناسب مقدار واقعی آب آبیاری توسط این روش‌ها بود (Abdzad Gohari et al., 2022). در پژوهشی تیمارهای تخلیه رطوبتی را بر اساس ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد در مراحل مختلف رشد بر روی گیاه کینوا، با مدل‌های آکواکراپ و روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس بررسی شد و گزارش گردید که در شاخص‌های آماری مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده، برای ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مدل آکواکراپ و روش‌های مذکور به‌ترتیب ۹ و ۶ درصد و همچنین ضریب کارایی برای مدل و این روش‌ها حدود ۰/۹۸ بود که بیانگر دقت و همخوانی نتایج با شرایط اندازه‌گیری شدهٔ تبخیر-تعرق داشت (Emdad et al., 2022). در تحقیقی تعیین نیاز آبی و آب کاربردی فلفل‌دلمه‌ای در شرایط گلخانه‌ای با تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بررسی و با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های آماری RMSE، $RMSE_n$، d و EF به‌ترتیب برابر با ۳۸/۵۵، ۰/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ بود (Jafari najafabadi et al., 2022).

جدول ۴. نتایج آماری تبخیر-تعرق (ET) و مقدار آب آبیاری (IR) با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس

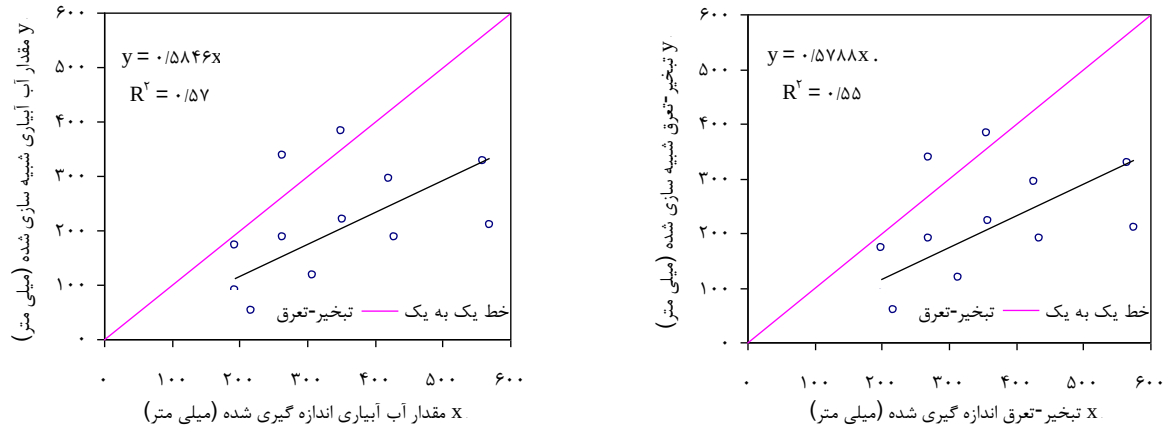
شاخص‌های‌آماری	RMSE (mm/day)		$RMSE_n$ (%)		d (%)		EF (%)	
متغیرها	ET	IR	ET	IR	ET	IR	ET	IR
روش تافته	۱۶۰/۰	۱۵۶/۷	۰/۴۴۸	۰/۴۴۶	۰/۲۹۵	۰/۳۲۴	-۰/۸۰۰	-۰/۷۲۶
روش پاسکوئله	۱۱۷/۸	۱۱۷/۵	۰/۳۳۰	۰/۳۳۵	۰/۶۰۰	۰/۶۰۲	۰/۰۲۴	۰/۰۲۹
روش رئس	۱۸۵/۰	۱۸۱/۳	۰/۵۱۸	۰/۵۱۶	۰/۰۸۱	۰/۱۱۸	-۱/۴۰۵	-۱/۳۰۹



شکل ۳. مقادیر تبخیر-تعرق و آب آبیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده با استفاده از روش تافته و همکاران (۲۰۱۴)



شکل ۴. مقادیر آب آبیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده با استفاده از روش پاسکوئله و همکاران (۲۰۱۷)



شکل ۵. مقادیر آب آبیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده با استفاده از روش رئس و همکاران (۲۰۰۴)

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، میزان تبخیر-تعرق و مقدار آب مصرفی واقعی گیاه لوبیا بر اساس حل معکوس تابع تولید بررسی گردید و با روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس در سامانه نیاز آب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیازآبی و روش جویچه‌ای با میانگین ۲۶۸۳ کیلوگرم بر هکتار مشاهده شد در حالی‌که بیشترین میزان تبخیر-تعرق در تیمار ۱۰۰ درصد نیازآبی و در روش آبیاری قطره‌ای-نواری در سال ۹۵ و ۹۶ به ترتیب با میانگین ۵۶۶ و ۵۷۶ میلی‌متر بود. نتایج شاخص‌های آماری نیز نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب ۱۶۰/۰، ۱۱۷/۸ و ۱۸۵/۰میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب ۰/۴۴۸، ۰/۳۳۰ و ۰/۵۱۸ درصد بود. همچنین شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و رئس به‌ترتیب با ۰/۲۹۵، ۰/۶۰۰ و ۰/۰۸۱ درصد بود. به‌طور کلی با توجه به برآورد مناسب بین داده‌های مزرعه‌ای و روش‌های تافته، پاسکوئله و رئس در تعیین مقدار آب مصرفی واقعی، می‌توان از روش‌های ذکر شده به‌عنوان یک ابزار مناسب در تخمین آب مصرفی و تصمیم‌گیری در سطح منطقه استفاده نمود که در این میان، روش پاسکوئله از دقت بیشتری در شبیه‌سازی برخوردار بود.

Reference:

Abdzad Gohari, A. & Sadeghipour, O. (2019). Effect of Deficit Irrigation and Humic Acid on Yield and Water Use Efficiency in Common Bean. Journal of Water Research in Agriculture, 33 (3), 383-395. (in Persian)

Abdzad Gohari, A., Nikakhtar, A., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2023). Using NIAZAB System to Determine Soybean Water Use Based on the Inverse Solution of the Production Functions under Different Irrigation Conditions. Journal of Water Research in Agriculture, 37(2), 159-169.

Abdzad Gohari, A., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Investigation of Water Requirement System in Determining the Actual Amount of Irrigation Water of Peanut Plant Based on Inverse Solution of Yield Function under Water Stress Conditions. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 3(16), 460-471. (in Persian)

Babazadeh, H., Abdzad Gohari, A., & Khonok, A. (2015). Effect of Irrigation Management and Different Levels of Straw Mulch on Yield and Yield Components of Bean (phaseolus Vulgaris) . Journal of Water Research in Agriculture, 29 (2), 129-140. (in Persian)

Darabi, F., Sharifipour, M., & Nasrolahi, A. (2022). Effect of Deficit Irrigation on Yield Components and Water Productivity of Pinto Beans Using Drip Tape Irrigation in Khorramabad Climatic. Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 44 (4), 1-14. (in Persian)

Dashadi, M., Rasaei, A., & Ranjbar, F. (2022). Investigation of different irrigation times and nitrogen starter fertilizer on yield and water use efficiency of bean. Crop Physiology Journal, 13 (52), 79-93. (in Persian)

Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Egdarnejad, A., & Kapourchal, S. (2018a). Determination of monthly evapotranspiration coefficients of winter wheat by different methods of estimating evapotranspiration and evaporation pan in Qazvin plain. Iranian Journal of Soil and Water Research, 8 (4), 107-121. (in Persian)

Ebrahimipak, N.A., Egder Nejad, A., Tafteh, A., & Khodadadi Dehkordid, D. (2018b). Evaluation of AquaCrop Model to Simulate Canola (*Brassica napus*) Yield under Deficit Irrigation Scenarios in Gazvin Plain. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49 (5). 1003-1015. (in Persian)

Ebrahimipak, N.A., Tafteh, A., Abbasi, F., & Baghani, G. (2022a). Estimation of the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and comparing with the farm measurement, Iranian Journal of Soil and Water Research, 53 (9), 2075-2092. (in Persian)

Ebrahimipak, N.A., Tafteh, A., Abbasi, F., & Baghani, G. (2022b). Comparing the amount of sugar beet irrigation water using the NIAZAB system and field measurement. Water and Soil Management and Modeling, Articles in Press, (in Persian)

Ebrahimipak, N.A., Tafteh, A., Hoseini, N. & Kikhaei, F. (2022c). NIAZAB system. Soil and Water Research Institute. (http://niwr.ir) (in Persian)

Ehsani, A., Arzani, H., Farahpur, M., & Jafari, M. (2012). Evapotranspiration Estimation Using Climatic Data, Plant Characteristics and Cropwat 8.0 Software (Case Study: Steppic Region of Markazi Province, Roodshore Station). Iranian journal of Range and Desert Research, 19 (1), 1-16.

Emdad, M., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Efficiency of Aquacrop Model in Simulating Yield of Quinoa in Different Deficit Irrigation Managements. Journal of Water and Soil, 36 (3), 319-331. (in Persian)

Farid, M., Hugh, J. E. & Navabi, A. (2016). Yield stability of dry bean genotypes across nitrogen-fixation-dependent and fertilizer-dependent management systems. Crop Science. 56: 1-10.

Jafari najafabadi, M., Tafteh, A., & Ebrahimipak, N. (2022). Determining the water requirement and Applied water of bell pepper in the greenhouse and comparing it with the results of the water requirement system. Iranian Journal of Soil and Water Research, 53(8), 1831-1848. (in Persian)

Jamieson, P.D., Porter, J.R., & Wilson, D.R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27: 337-350.

Kamel, M., Shabiri, S., & Mohammadi, B. (2016). Technical instructions for planting, keeping and harvesting beans and introduction of cultivars. Agricultural and natural resources research and training center of Zanjan province, 27p. (in Persian)

Raes, D. (2004). Budjet: A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0 (http://www.iupware.be and select downloads and next software. last updated June 2004).

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2017). Reference manual AquaCrop. FAO. Land and Water Division, Rome, Italy. 25p.

Roodbarani, J., Mozaffari, J., & Mohseni Movahed, S. (2021). Comparison of bean yield in Furrow, Tape and Rain flat irrigation systems. Journal of Water and Soil Conservation. 28 (2), 195-210.

Roshdi, M., Boyaghchi, D., & Rezadoust, S. (2012). Effect of Micronutrients on Growth and Yield of Pinto Bean under Irrigation cutback Treatments. Journal of Crop Production and Processing, 2 (5), 131-142.

Tafteh, A., Ebrahimipak. N.A., Babazadeh, H, & Kaveh, F. (2014). Determine yield response factors of important crops by different production functions in Qazvin plain. Ecology, Environment and Conservation, 20 (2), 415-422.

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

یادداشت ها

[1] Phaseolus vulgaris *L*
[2] *Mean Relative Error*
[3] *Root Mean Square Error*
[4] *Normalized Root Mean Square Error*
[5] *Coefficient of Efficiency*
[6] *Index of Agreement*
[7] *Coefficient of Determination*