

Using the NIAZAB system to estimate the amount of water consumed by the eggplant plant using the method of inverse solution of the production function in deficit irrigation conditions

Ali Abdzad Gohari^{1*}, Arash Tafteh², Niazali Ebrahimipak³

1- Corresponding author and Researcher of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(abdzadgohari_a@yahoo.com)

2- Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Arash_tafteh@yahoo.com)

3- Associated professor, Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(Nbrahimipak@yahoo.com)

Received Date: 10/07/2022

Accepted Date: 21/10/2022

Abstract

Introduction: Deficit low irrigation is of particular importance as a valuable strategy for areas where water is the limiting factor in crop cultivation. The ability to estimate in determining the water requirement, the amount of water consumed and Irrigation scheduling one of the most effective factors in the irrigated cultivation of agricultural products. Therefore, this research was conducted in order to investigate the NIAZAB system in determining the actual amount of irrigation water and eggplant yield based on the inverse solution of the production function under water stress conditions in Guilan province.

Material and methods: In this research, irrigation management included no irrigation and providing 60, 80, and 100% of the plant's water needs as the main factor and secondary factors nitrogen fertilizer amounts (from the urea fertilizer source) included two levels of zero and 120 kg/ha. The experiment was carried out in the form of split plots in the form of a randomized complete block design in three replications in the years 2020 - 2022. In terms of climate, the region was one of the temperate and humid regions. The Soil and Water Research Institute of the country presented a system called "NIAZAB System" which is used to determine the water requirement of agricultural crops. This system has the ability to estimate and determine water Requirements, water consumption and plant irrigation planning at the level of the region, city, watershed and plain. One of the important points of this system is its location-based nature, and the user can extract the needs of the desired area by referring to the system and estimate the water consumption for the cultivation pattern under different options.

Results and discussion: The results showed that the highest amounts of evapotranspiration in the studied years occurred in the irrigation conditions of 100% of the water requirement and the consumption of 120 kg N fertilizer. In the measured conditions and the methods of Tafteh, Pasquale and Reas, the amount of evapotranspiration in 2020 were 341, 332, 333 and 333 mm respectively and in 2021 it were 358, 346, 359 and 346 mm respectively and in 2022 were 620, 576, 615 and 577 mm respectively. The average relative error in the mentioned methods in the first year were 2.6%, 2.3% and 2.3% respectively and in the second year were 3.4%, -0.3% and 3.4% respectively, and in the third year, were 7.1%, 0.8% and 6.9% respectively. The root mean square error (RMSE) for evapotranspiration in Tafteh, Pasquale and Reas methods were 18.6, 79.3 and 18.3 mm/day, respectively, and the root mean square normal error (RMSE_n) was 0.059, 0.251 and 0.058% respectively. The Index of agreement (d) in the Tafteh, Pasquale and Reas methods were 0.976, 0.595 and 0.977%, respectively. The coefficients of efficiency (EF) of the models were 0.915, -0.536 and 0.918 percent respectively, and the coefficients of determination (R²) were 0.92, 0.35 and 0.92% respectively.

Conclusions: In general, the statistical results between field data and NIAZAB System showed that Tafteh and Reas methods are a suitable method for making decisions and estimating the water consumption of eggplant plants in the study area.

Keywords: Water productivity, evapotranspiration, numerical inverse solution, water requirement.

استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل معکوس تابع تولید در شرایط کم آبیاری

علی عبدزادگوهری^{۱*}، آرش تافته^۲، نیاز علی ابراهیمی پاک^۳

۱- نویسنده مسئول، محقق، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(abdzadgohari_a@yahoo.com)

۲- استادیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Arash_tafteh@yahoo.com)

۳- دانشیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(Nebrahimipak@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

توانایی تعیین نیاز آبی، مقدار آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری از موارد اثرگذار در کشت آبی محصولات کشاورزی می‌باشد. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای با عنوان «سامانه نیاز آب» ارائه داد که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان در سطح منطقه، شهرستان و دشت را با استفاده از روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس دارد. در این تحقیق مدیریت آبیاری شامل بدون آبیاری و تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن (از منبع کود اوره) شامل دو سطح صفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به عنوان عامل فرعی بودند. آزمایش به‌صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر تبخیر-تعرق در سال‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد. در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر-تعرق در سال ۱۳۹۹ به ترتیب ۳۴۱، ۳۳۲، ۳۳۳ و ۳۳۳ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۳۵۸، ۳۴۶، ۳۵۹ و ۳۴۶ میلی‌متر و در سال ۱۴۰۱ به ترتیب ۶۲۰، ۵۷۶، ۶۱۵ و ۵۷۷ میلی‌متر بود. میانگین خطای نسبی در روش‌های مذکور در سال اول به ترتیب ۲/۶، ۲/۳ و ۲/۳ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳/۴، ۳/۳ و ۰/۳ درصد و در سال سوم به ترتیب ۷/۱، ۸/۰ و ۶/۹ درصد بود. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر-تعرق در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب ۱۸/۶، ۷۹/۳ و ۱۸/۳ میلی‌متر در روز و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب با ۰/۰۵۹، ۰/۲۵۱ و ۰/۰۵۸ درصد مشاهده شد. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و ریس به ترتیب با ۰/۹۷۶، ۰/۵۹۵ و ۰/۹۷۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب با ۰/۹۱۵، ۰/۵۳۶ و ۰/۹۱۸ درصد و مقادیر ضریب تبیین (R^۲) به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۳۵ و ۰/۹۲ درصد بود. به طور کلی، نتایج آماری بین داده‌های مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب نشان داد که روش‌های تافته و ریس به‌عنوان یک روش مناسب در تصمیم‌گیری و تخمین آب مصرفی گیاه بادمجان در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد.

کلمات کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، تبخیر-تعرق، حل معکوس عددی، نیاز آبی.

مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena* L) گیاهی مهم از خانواده سولاناسه (Solanaceae) است که به طور گسترده در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری جهان کشت می شود (Rotino et al., 2014; Mwinuka et al., 2021). میوه های بادمجان علاوه بر سایر ترکیبات فعال زیستی تقویت کننده سلامت، دارای مقدار کافی مواد مغذی هستند که حاوی غلظت قابل توجهی از اسیدهای فنولیک می باشند که برای سلامت و رشد انسان مفید است (Braga et al., 2016; Niño-Medina et al., 2017; Blando et al., 2018). بادمجان بعد از سیب زمینی، گوجه فرنگی، فلفل و تنباکو، پنجمین محصول مهم اقتصادی سولاناسه است (Taher et al., 2017). در هر منطقه، محدودیت منابع آب می تواند از گسترش بیشتر کشاورزی جلوگیری کند (Mohawesh and Al Absi 2009).

خشکی یکی از مهم ترین تنش های محیطی است که می تواند بر خواص خاک، رشد گیاه و بهره وری محصولات کشاورزی از جمله بادمجان به عنوان یک محصول باغی، تأثیر نامطلوب بگذارد. آبیاری در زمانی که بادمجان ها در حال رشد می باشد، ضروری است و دوره های خشکی بیش از حد می تواند باعث ریزش گل ها و رشد میوه شود (Mwinuka et al., 2021). مقدار آب مورد نیاز بستگی به نوع خاک، شرایط رشد و روش های کاشت دارد. روش کم آبیاری به عنوان یک استراتژی ارزشمند در مناطق مختلف بر محصولات زراعی، باغی و درختان میوه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج موفقیت آمیزی داشت (Zegbe et al., 2004; Mahadeen et al., 2011; Mohawesh and Al Absi 2009; Karam et al., 2006; Fereres and Soriano, 2007; Mahadeen et al., 2011). یکی دیگر از مزایای کم آبیاری، کاهش سطح آلودگی آفات و بیماری های گیاهی است؛ به ویژه آفاتی که تحت تأثیر آبیاری و رطوبت خاک هستند (Kriedemann and Goodwin, 2003). مطالعات متعددی، تنش آبی را بر رشد و عملکرد بادمجان بررسی نمودند و نشان دادند که تنش آبی باعث کاهش

میانگین وزن، قد، قطر و حجم میوه بادمجان می شود که منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد تازه می شود (Kirnak et al., 2002; Chaves et al., 2003). در تحقیقی گزارش شد که تنش آبی باعث کاهش عملکرد و بهره وری مصرف آب در بادمجان می شود (Lovelli et al., 2007). در پژوهشی گزارش شد که تنش آبی منجر به کاهش سطح برگ و همچنین تجمع ماده خشک در بادمجان می شود، اما با شرایط آبیاری مناسب، به دلیل حفظ تعادل آبی در گیاه، قابلیت استفاده از مواد مغذی بهبود یافت (Abdalla et al., 2018).

کود نیتروژن نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی دارد و انتخاب این کود برای رسیدن به بالاترین سطح تولید الزامی است. استفاده بهینه از آب و کود نیتروژن و اعمال مدیریت درست می تواند علاوه بر افزایش محصول از زیان های ناشی از کمبود منابع آب جلوگیری نماید (Mwinuka et al., 2021).

تابع تولید یکی از شاخص های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه-آب مصرفی است که در افزایش بهره وری مصرف آب که به صورت نسبت عملکرد محصول به مقدار آب مصرفی می باشد، مؤثر است (Taftah et al., 2014; Greaves et al., 2020). در زمینه آب مصرفی و توابع تولید، هدف اساسی حصول بیشترین عملکرد در واحد سطح و حداکثر بهره وری از آب مصرفی است تا به بالاترین سود و درآمد خالص نهایی رسید (Abdzaad et al., 2022).

سامانه نیاز آبی کشور که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب کشور ارائه شده است، سامانه ای است برای تعیین نیاز آبی محصولات زراعی و باغی که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه ریزی آبیاری گیاهان را در سطح منطقه، شهرستان، حوضه آبریز، دشت دارد. این سامانه ساختار چند هسته ای دارد و با در اختیار گرفتن بانک های اطلاعات داده های هواشناسی، داده های گیاهی، مراحل فنولوژی گیاه و با ایجاد زیرسامانه محاسبات فنی

که شامل فرمول‌ها و روابط علمی کالیبره شده است، مقدار نیاز آبی گیاهان را برآورد می‌کند و از طریق زیرسامانه‌های خروجی بسته به نوع بهره‌بردار، خروجی‌های متعدد در اختیار کاربر قرار می‌دهد. یکی از نکات برجسته این سامانه، مکان محور بودن آن است و استفاده‌کننده در هر مکان با مراجعه به سامانه، نیازهای منطقه‌ای خود را استخراج می‌کند و می‌تواند آب مصرفی برای الگوی کشت را تحت گزینه‌های مختلف کاربری به‌ذی‌نفعان بخش آب کشاورزی با قابلیت به‌روزرسانی ارائه نماید (Ebrahimi, Pak et al., 2022a). مبنای حل معکوس تابع تولید، از روش جی آر جی (GRG Nonlinear (Generalized Reduced Gradient پیروی می‌کند. این روش، توسعه‌ای از روش گرادیان کاهش یافته برای تطبیق با محدودیت‌های نابرابر غیرخطی است که در آن به‌گونه‌ای جواب یافت می‌شود که برای هر حرکت کوچک، محدودیت‌های فعال در نظر گرفته می‌شود و دقیقاً فعال باقی می‌مانند. اگر برخی از قیودهای فعال به دلیل غیرخطی بودن توابع محدودیت، دقیقاً برآورده نشده باشند، از روش نیوتن-رافسون برای بازگشت به مرز محدودیت استفاده می‌شود. بنابراین، روش مذکور را می‌توان تا حدودی شبیه به روش طرح‌ریزی گرادیان پیشرفته در نظر گرفت.

این پژوهش با هدف بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شرق استان گیلان و در شهرستان آستانه اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه، با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. مدیریت آبیاری

شامل بدون آبیاری و تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر کود نیتروژن (از منبع کود اوره) شامل دو سطح صفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بودند. منطقه از لحاظ آب و هوایی جزء مناطق معتدل و مرطوب بود (جدول ۱). قبل از آماده‌سازی زمین، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در طی سه سال از اعماق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد (جدول ۲). در ۳۰ فروردین ماه، زمین شخم و بعد کرت‌بندی انجام گردید. در دهم اردیبهشت ماه نشاء بادمجان (رقم محلی)، روی ردیف خطی و به صورت دستی کشت شد. ابعاد هر یک از کرت‌های آزمایشی ۱۰×۲۰ متر بود. بر اساس آزمون خاک، میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۴۵ کیلوگرم در هکتار کود فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم استفاده شد. توزیع کود نیتروژن در ۵ نوبت، در طول دوره کشت انجام شد. برای تعیین تیمارهای آبیاری از تخلیه رطوبتی خاک به‌روش وزنی استفاده شد و نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری به‌عنوان درصدی از این مقدار منظور گردید (Stewart and Nielsen, 1990). برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه، با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. مقدار آب آبیاری بر پایه رطوبت خاک در عمق ریشه تا حد ظرفیت زراعی مزرعه بود.

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i) \cdot pb \cdot D_r \quad (1)$$

که در آن، θ_{Fc} : درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی، θ_i : درصد وزنی رطوبت موجود در خاک، pb : جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D_r : عمق مؤثر ریشه (سانتی‌متر) می‌باشد. مدت زمان و میزان آبیاری در هر مرحله با تعیین عمق ریشه در گیاه (حفر خاک در اطراف ریشه گیاه در هر کرت) اندازه‌گیری شد. رطوبت خاک نیز در هر لایه به روش وزنی برای هر

که در آن ET_c : مقدار تبخیر-تعرق در شرایط بدون تنش آبی، K_c : معرف ضریب گیاهی و ET_o : مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع است. در سامانه نیاز آب، میزان تبخیر-تعرق بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های (Raes (2004)، Tafteh *et al.*, (2014) و روش پاسکوئه بر اساس (Reas *et al.*, (2017) بر مبنای فائو ۶۶ استفاده می‌شود. هر سه روش، ارزیابی حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند و توان نسبی را بر اساس نسبت ضریب واکنش عملکرد به کل ضرایب واکنش (به عنوان توان معادله حاصل ضربی) ارائه دادند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS (آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد)، رسم شکل‌ها با Excel و برای مقایسه آماری بین نتایج، از شاخص‌های آماری موجود در روابط ۶ تا ۱۱ استفاده شد.

$$MRE = \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)} \quad (7)$$

$$RMSE_n = \left[\left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \right] \times 100 \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (11)$$

که در آن: میانگین خطای نسبی (Mean Relative Error, MRE)، ریشه میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error, RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (Normalized Root Mean Square Error, RMSEn)، ضریب کارایی مدل (Coefficient of Efficiency/EF)، شاخص توافق یا سازگاری (Index of

مرحله از آبیاری مشخص گردید. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه شامل مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی بود و اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی، توسط کنتور انجام گرفت. اندازه‌گیری بیشترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۹۰ سانتی‌متر بود. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی گیاه بادمجان از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان آب بر اساس رابطه (۲) انجام شد.

$$I + P - ET_c - R - D = \Delta S \quad (2)$$

که در آن I: مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P: بارندگی موثر (میلی‌متر)، ET_c : مقدار تبخیر و تعرق (میلی‌متر)، پارامترهای R و D به ترتیب مقدار رواناب و عمق آب زهکشی شده هستند که در سیستم آبیاری قطره‌ای نواری این مقادیر صفر در نظر گرفته شدند. ΔS : نشان دهنده تغییرات ذخیره رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر می‌باشد که جهت تعیین آن، پس از هر نوبت آبیاری، از کرت‌های آزمایشی نمونه‌گیری رطوبتی (روش وزنی) انجام پذیرفت. تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) از روش پنمن مانیتث و با کمک برنامه کراپ‌وات (Cropwat) محاسبه گردید. در طول فصل رشد عملیات داشت مانند وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها انجام گرفت. تعداد چین‌های برداشت محصول در این تحقیق ۷ چین بود که براساس تعداد چین متعارف بین کشاورزان انجام گردید. جهت برآورد عملکرد محصول، پس از حذف دو ردیف گیاه از طرفین، ۱۲ بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) بر اساس تبخیر-تعرق، از تقسیم عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) بر میزان تبخیر-تعرق (میلی‌متر) محاسبه گردید (Abdzad *et al.*, 2022). مقدار ضریب گیاهی در طول دوره رشد گیاه، از رابطه (۳) به‌دست آمد (Allen *et al.*, 2011).

$$ET_c = K_c ET_o \quad (3)$$

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 برآورد 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 به یک نزدیکتر باشد، مدل دارای کارایی بهتر و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر می‌باشد (Willmott *et al.*, 1982).

Coefficient of Agreement/IoA Or d) و ضریب تبیین (Determination/R2) است. پارامترهای $\bar{O}$, P , O و n به ترتیب داده مشاهده‌شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات می‌باشد. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری 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،

جدول ۱- داده های هواشناسی منطقه در سال‌های مورد مطالعه

Table 1- Meteorological data of the region in the studied years

Month	Years	Min Temp (°C)	Max Temp (°C)	Average relative humidity (%)	Wind speed at a height of two meters (m/s).	Rainfall (mm)	Evaporation from pan (mm per day)
May	2020	12.1	39.0	41.4	1.9	32.1	6.9
	2021	11.2	38.4	40.2	2.0	20.3	6.7
	2022	11.7	38.7	40.8	1.9	10.0	6.8
June	2020	17.5	46.6	32.2	1.8	8.5	12.4
	2021	16.8	45.5	33.3	1.9	9.4	11.9
	2022	17.2	46.1	32.8	1.9	9.1	12.2
July	2020	21.0	44.0	31.3	2.0	30.0	13.6
	2021	20.0	44.6	30.2	2.1	25.5	13.1
	2022	20.5	44.3	30.8	2.0	12.8	13.4
August	2020	23.0	45.0	36.6	2.0	15.4	12.1
	2021	22.0	44.5	35.7	2.3	12.3	12.0
	2022	22.5	44.8	36.2	2.1	10.9	12.1
September	2020	15.0	42.0	29.4	2.7	5.0	11.4
	2021	14.7	41.6	25.4	2.8	2.5	11.0
	2022	14.9	41.8	27.4	2.8	3.8	11.2

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil of the experiment site

Years	Soil depth (cm)	Soil texture	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	pH	EC (ds/m)	Total N (%)	Available P (ppm)	Available K (ppm)	Bulk density (g.cm ⁻³)	PWP (%Vol)	FC (%Vol)
2020	0-30	Sandy Loam	63	5	32	7.1	0.31	0.05	0.99	46.7	1.43	5.3	16.0
	30-60	Sandy Loam	70	4	26	7.5	0.31	0.04	0.63	55.6	1.43	4.6	13.8
2021	0-30	Sandy Loam	67	5	28	7.2	0.46	0.05	0.99	47.2	1.43	5.2	15.0
	30-60	Sandy Loam	75	4	21	7.5	0.48	0.04	0.63	56.0	1.42	4.6	12.7
2022	0-30	Sandy Loam	67	3	30	7.2	0.45	0.03	0.98	46.7	1.42	4.1	14.1
	30-60	Sandy Loam	72	3	25	7.6	0.26	0.03	0.52	26.2	1.42	4.0	12.9

نتایج و بحث

مقادیر تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های تافته، پاسکول و ریس موجود در سامانه نیاز آب و رویکرد حل معکوس تابع تولید برآورد گردید. نتایج نشان داد که میزان تبخیر-تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و شرایط محیطی بر میزان تبخیر-تعرق تأثیرگذار است. شدت تبخیر-تعرق از سطح خاک به علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به علت توسعه پوشش گیاهی کاهش می‌یابد (Ehsani *et al.*, 2012; Abdzad Gohari *et al.*, 2022). بیشترین مقدار آب مصرفی در سال‌های مورد مطالعه در تمام تیمارها در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود، به طوری که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکول و ریس، مقدار آب مصرفی در سال اول به ترتیب ۲۸۷، ۲۷۹، ۲۸۰ و ۲۸۰ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۲۸۸، ۲۷۶، ۲۸۸ و ۲۷۷ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۵۹۱، ۵۴۷، ۵۸۶ و ۵۴۸ میلی‌متر بود (جدول ۳). بیشترین مقادیر تبخیر-تعرق در سال‌های مورد مطالعه در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد، به طوری که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکول و ریس، میزان تبخیر-تعرق در سال اول به ترتیب ۳۴۱، ۳۳۲، ۳۳۳ و ۳۳۳ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۳۵۸، ۳۴۶، ۳۵۹ و ۳۴۶ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۶۲۰، ۵۷۶، ۶۱۵ و ۵۷۷ میلی‌متر بود. میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکول و ریس در سال اول به ترتیب ۲/۶، ۲/۳ و ۲/۳ درصد و در سال دوم به ترتیب ۳/۴، ۰/۳ و ۳/۴ درصد و در سال سوم به ترتیب ۷/۱، ۰/۸ و ۶/۹ درصد بود (جدول ۴). مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در گیاه بادمجان نشان داد که در تیمارهای مختلف، بین روش‌های تافته و ریس اختلاف اندکی وجود دارد. اما با توجه به ماهیت سامانه و عدم

توانایی در شبیه‌سازی در شرایط تنش یا دیم، مشاهده شد که روش‌های مذکور دقت پایینی دارند و روش پاسکول نسبت به سایر روش‌ها از دقت بسیار پایینی برخوردار بود که با نتایج گزارش شده توسط Egdernezhad *et al.* (2019) منطبق است. اما در شرایط آبیاری کامل و تنش تا سطح ۸۰ درصد، روش‌های تافته و ریس، ارزیابی قابل قبولی در برآورد مقدار آب مصرفی و تبخیر-تعرق داشتند. بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اندازه‌گیری شده، روش تافته، پاسکول و ریس در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن در سال ۱۳۹۹ با عملکرد ۴۷/۴ تن بر هکتار به ترتیب ۱۶/۵، ۱۷/۰، ۱۶/۹ و ۱۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود که میزان خطای نسبی آن-ها ۰/۳ درصد بود. در سال ۱۴۰۰ عملکرد ۴۵/۲ تن بر هکتار به ترتیب ۱۵/۷، ۱۶/۴، ۱۵/۷ و ۱۶/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود که میزان خطای نسبی آن‌ها به ترتیب ۰/۰۴، صفر و ۰/۴ درصد بود. در سال ۱۴۰۱ عملکرد ۴۲/۹ تن بر هکتار به ترتیب ۷/۳، ۷/۸، ۷/۳ و ۷/۸ درصد بود که میزان خطای نسبی آن‌ها به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۰۱ و ۰/۰۸ درصد بود (جدول ۵).

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر-تعرق در روش‌های تافته، پاسکول و ریس به ترتیب ۱۸/۶، ۷۹/۳ و ۱۸/۳ میلی‌متر در روز و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب با ۰/۰۵۹، ۰/۲۵۱ و ۰/۰۵۸ درصد مشاهده شد. شاخص توافقی یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکول و ریس به ترتیب با ۰/۹۷۶، ۰/۵۹۵ و ۰/۹۷۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب با ۰/۹۱۵، ۰/۵۳۶- و ۰/۹۱۸ بود. نتایج مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از سامانه نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از سامانه در روش‌های تافته و ریس به خط یک به یک نزدیک بود و مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکول و ریس به ترتیب ۰/۹۲، ۰/۳۵ و ۰/۹۲ درصد بود (شکل‌های ۱ تا ۳). در پژوهشی نشان داده شد

علی عبدزاد گوهری و همکاران: استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل ...

جدول ۳- مقادیر آب مصرفی (میلی متر) در شرایط اندازه گیری شده و برآورد شده با سامانه در سال های مورد مطالعه

Table 3- The amounts of water consumed (mm) in the conditions measured and estimated by the system in the studied years

Tretements	Water consumed (mm)											
	2020 year				2021 year				2022 year			
	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Obs**	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
I ₂ N ₁	127	136	279	137	129	138	288	139	262	300	586	301
I ₂ N ₂	172	147	280	148	173	149	288	150	355	339	586	340
I ₃ N ₁	169	159	279	160	172	161	288	162	349	352	586	352
I ₃ N ₂	230	183	280	184	230	183	288	184	473	391	586	392
I ₄ N ₁	211	171	279	172	215	172	288	173	436	339	586	340
I ₄ N ₂	287	279	280	280	288	276	288	277	591	547	586	548

مدیریت آبیاری: ۶۰٪ (I₂)، ۸۰٪ (I₃) و ۱۰۰٪ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂).

Irrigation management: 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Nitrogen fertilizer amounts: zero (N₁) and 120KgN/ha (N₂). *: water consumed Or water consumed (mm). **: Observational Or Measured: Obs.

جدول ۴- تبخیر-تعرق برآورد شده با استفاده از سامانه و اندازه گیری شده و مقادیر درصد خطای نسبی

Table 4- Evapotranspiration estimated using the system and observational and mean relative error (%) amounts

Year	Treatments	Yield (t/ha)	Evapotranspiration (mm)				Mean Relative Error (%)		
			Obs*	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
2020	I ₁ N ₁	13.2g	128	164	332	163	28.1	159.4	27.3
	I ₁ N ₂	18.1e	133	189	333	190	42.1	150.4	42.9
	I ₂ N ₁	15.0f	167	176	332	177	5.4	98.8	6.0
	I ₂ N ₂	18.7e	216	189	333	190	12.5	54.2	12.0
	I ₃ N ₁	21.6d	213	202	333	203	5.2	56.3	4.7
	I ₃ N ₂	26.1b	279	228	333	229	18.3	19.4	17.9
	I ₄ N ₁	24.4c	258	215	333	216	16.7	29.1	16.3
	I ₄ N ₂	47.4a	341	332	333	333	2.6	2.3	2.3

ادامه جدول ۴
Continue Table 4

Year	Treatments	Yield (t/ha)	Evapotranspiration (mm)				Mean Relative Error (%)		
			Obs [*]	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
Average (2020 year)		23.1	216.7	211.9	332.8	212.6	16.4	71.2	16.2
2021	I ₁ N ₁	12.7f	113	177	359	177	56.6	217.7	56.6
	I ₁ N ₂	18.1d	118	203	359	203	72.0	204.2	72.0
	I ₂ N ₁	14.6e	179	190	359	191	6.1	100.6	6.7
	I ₂ N ₂	18.5d	229	203	359	203	11.4	56.8	11.4
	I ₃ N ₁	21.4c	228	215	359	216	5.7	57.5	5.3
	I ₃ N ₂	25.7b	293	241	359	242	17.7	22.5	17.4
	I ₄ N ₁	21.8c	276	229	359	229	17.0	30.1	17.0
	I ₄ N ₂	45.2a	358	346	359	346	3.4	0.3	3.4
Average (2021 year)		22.3	224.3	225.5	359.0	225.9	23.8	86.2	23.7
2022	I ₁ N ₁	12.1g	57	303	538	304	843.9	433.3	429.5
	I ₁ N ₂	17.4e	59	355	615	356	942.4	503.4	499.2
	I ₂ N ₁	14.2f	291	329	615	330	111.3	13.4	13.3
	I ₂ N ₂	18.8e	384	368	615	369	60.2	3.9	-4.0
	I ₃ N ₁	21.1c	378	381	615	382	62.7	1.1	1.0
	I ₃ N ₂	25.3b	502	420	615	421	22.5	16.1	-16.2
	I ₄ N ₁	19.1d	465	368	615	369	32.3	20.6	-20.7
	I ₄ N ₂	42.9a	620	576	615	577	0.8	6.9	-6.9
Average (2022 year)		21.4	344.5	387.5	605.4	388.5	124.4	259.5	111.9

مدیریت آبیاری: بدون آبیاری (I₁)، ۶۰٪ (I₂)، ۸۰٪ (I₃) و ۱۰۰٪ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂). حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن بین تیمارها است (p<0.01).

Irrigation management: No Irrigation (I₁), 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Amounts of nitrogen fertilizer: zero (N₁) and 120 Kg/ha (N₂). Different letters after the numbers in the observational column, indicate a significant difference between treatments based on Duncan's test (p<0.01). *: Observational Or Measured: Obs.

علی عبدزاد گوهری و همکاران: استفاده از سامانه نیاز آب در برآورد مقدار آب مصرفی گیاه بادمجان به روش حل ...

جدول ۵- مقادیر درصد خطای نسبی بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با سامانه

Table 5- The relative error percentage of water physical productivity in the conditions observational and estimated by the system

Year	Treatments	WP (kg/ha)				Mean Relative Error (%)		
		Obs*	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method	Tafteh Method	Pasquale Method	Reas Method
2020	I ₂ N ₁	11.8c	11.0	5.4	10.9	0.07	0.54	0.07
	I ₂ N ₂	10.9d	12.7	6.7	12.6	0.17	0.39	0.16
	I ₃ N ₁	12.8b	13.6	7.7	13.5	0.06	0.39	0.06
	I ₃ N ₂	11.3c	14.3	9.3	14.2	0.26	0.18	0.25
	I ₄ N ₁	11.6c	14.3	8.7	14.2	0.23	0.24	0.23
	I ₄ N ₂	16.5a	17.0	16.9	16.9	0.03	0.03	0.03
Average (2020 year)		12.5	13.8	9.1	13.7	0.14	0.30	0.13
2021	I ₂ N ₁	11.3c	10.6	5.1	10.5	0.07	0.55	0.07
	I ₂ N ₂	10.7d	12.4	6.4	12.3	0.16	0.40	0.15
	I ₃ N ₁	12.4b	13.3	7.4	13.2	0.07	0.40	0.06
	I ₃ N ₂	11.2c	14.0	8.9	14.0	0.26	0.20	0.25
	I ₄ N ₁	10.1d	12.7	7.6	12.6	0.25	0.25	0.24
	I ₄ N ₂	15.7a	16.4	15.7	16.3	0.04	0.00	0.04
Average (2021 year)		11.9	13.2	8.5	13.2	0.14	0.30	0.14
2022	I ₂ N ₁	5.4c	4.7	2.4	4.7	0.13	0.55	0.13
	I ₂ N ₂	5.3c	5.5	3.2	5.5	0.05	0.39	0.04
	I ₃ N ₁	6.0b	6.0	3.6	6.0	0.01	0.40	0.01
	I ₃ N ₂	5.3c	6.5	4.3	6.5	0.21	0.19	0.21
	I ₄ N ₁	4.4d	5.6	3.3	5.6	0.29	0.26	0.28
	I ₄ N ₂	7.3a	7.8	7.3	7.8	0.08	0.01	0.08
Average (2022 year)		5.6	6.0	4.0	6.0	0.13	0.30	0.12

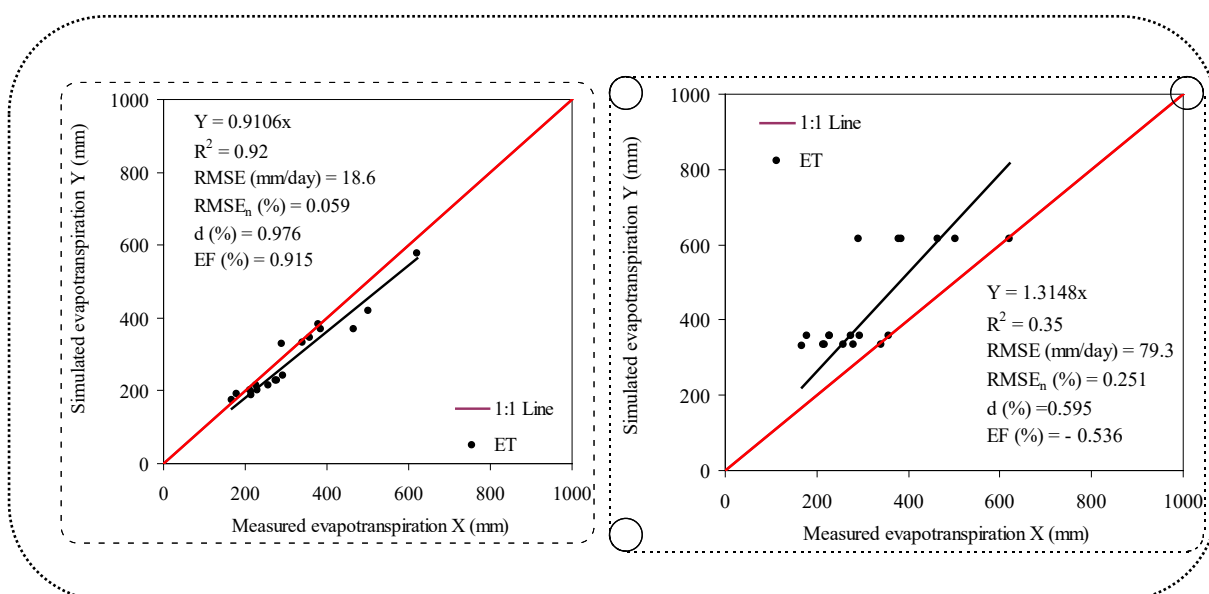
مدیریت آبیاری: ۶۰ (I₂)، ۸۰ (I₃) و ۱۰۰ (I₄) درصد نیاز آبی؛ مقادیر کود نیتروژن: صفر (N₁) و ۱۲۰ کیلوگرم بر هکتار (N₂)

Irrigation management: 60% (I₂), 80% (I₃) and 100% (I₄) water requirement; Amounts of nitrogen fertilizer: zero (N₁) and 120 KgN/ha (N₂). *: Observational Or Measured: Obs.

میانگین خطای نرمال ۰/۱۷ درصد و ضریب توافقی ۰/۹۵ بود که نشان‌دهنده نتایج قابل قبول در تعیین مقدار آب آبیاری در سطح مزرعه است (Ebrahimipak et al., 2022b).

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای بهره‌وری مصرف آب در روش‌های تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب ۱/۱۶، ۲/۹۲ و ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSE_n) به ترتیب با ۰/۱۱۶، ۰/۲۹۲ و ۰/۱۱۳ درصد مشاهده شد. شاخص توافقی یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب با ۰/۹۰۱، ۰/۵۲۳ و ۰/۹۰۷ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به ترتیب با ۰/۶، ۱/۵۴۴- و ۰/۶۲۳ درصد بود. نتایج نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط سامانه، در روش‌های تافته و ریس به خط یک‌به‌یک نزدیک بود. مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوله و ریس به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۶۹ و ۰/۹۰ درصد بود (شکل‌های ۴ تا ۶). نتایج حاکی از برآورد مناسب دو روش تافته و ریس بود که نسبت به روش پاسکوله از دقت بیشتری برخوردار است.

که روش‌های تافته، پاسکوله و ریس، دارای مقادیر بالای ضریب تبیین با داده‌های مشاهده‌ای در گیاه کلزا بودند (Ebrahimipak et al., 2018). در پژوهشی ارقام گیاه بادام‌زمینی با سامانه نیاز آب 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 توافقی مدل به ترتیب 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 سامانه نیاز آب بود (Abdzaad Gohari et al., 2022). در تحقیقی نیاز آبی گیاه فلفل‌دلمه‌ای در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بررسی و با سامانه نیاز آب مقایسه گردید، نتایج نشان داد که شاخص‌های آماری RMSE، RMSE_n و d و EF به ترتیب برابر با ۳۸/۵۵، ۰/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ بود (Jafari et al., 2022). در پژوهشی مدیریت‌های مختلف آبیاری در گندم با استفاده از سامانه نیاز آب بررسی گردید و گزارش شد که میزان عملکرد دارای ریشه

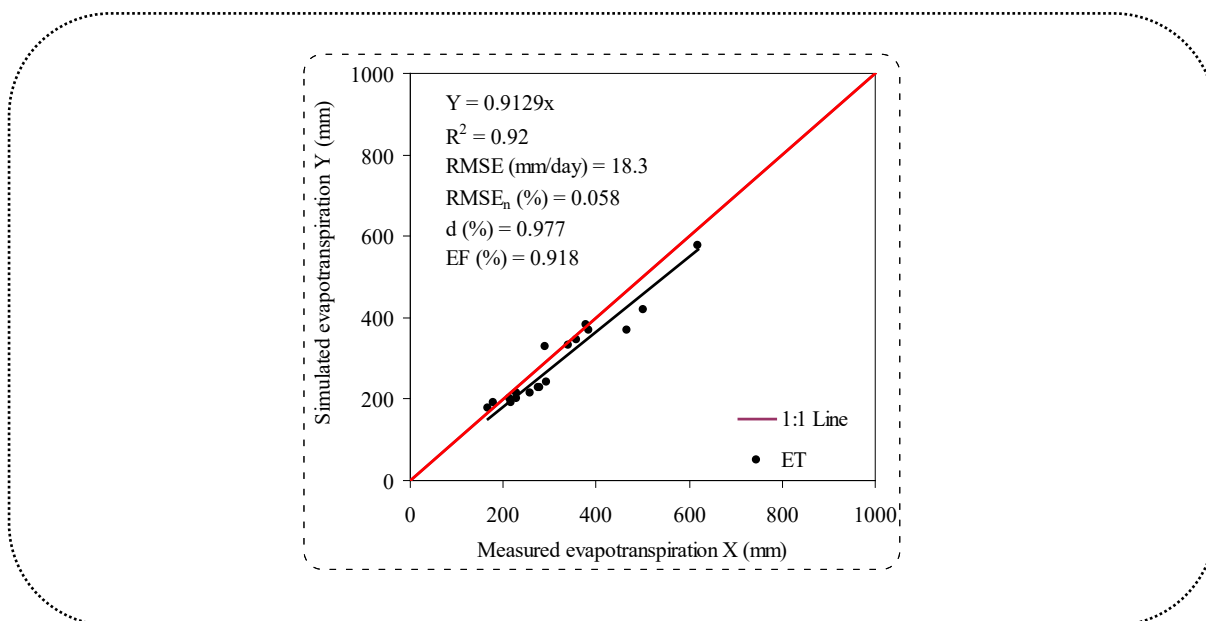


شکل ۱- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴

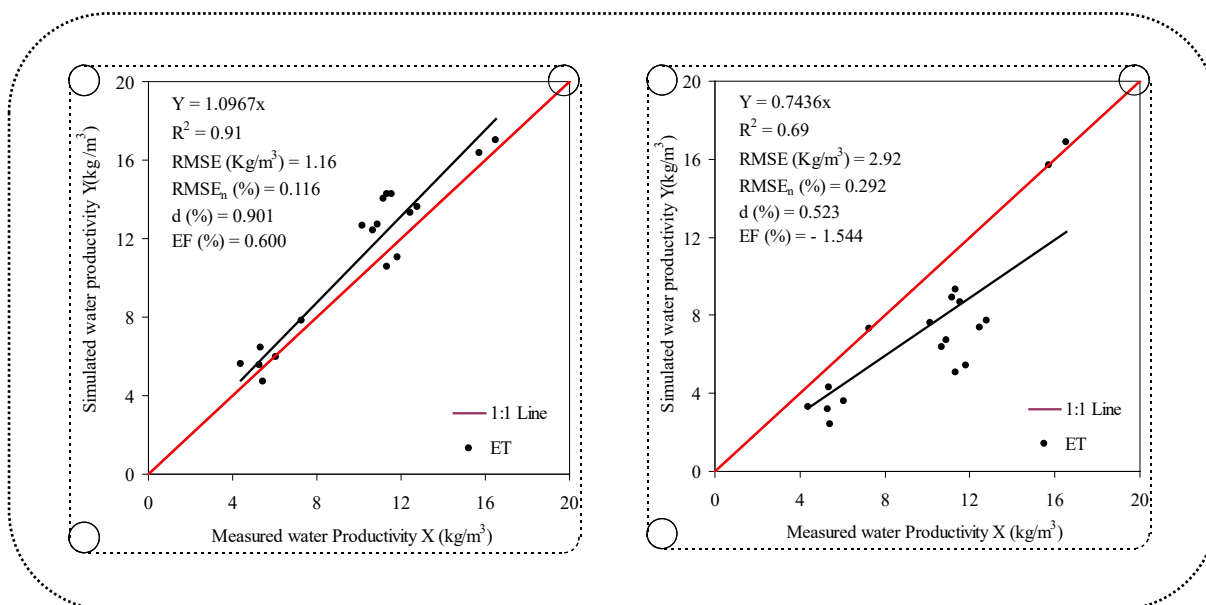
Figure 1- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Tafteh et al., 2014

شکل ۲- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش پاسکوله (ریس و همکاران، ۲۰۱۷)

Figure 2- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Pasquale (Reas et al., 2017)

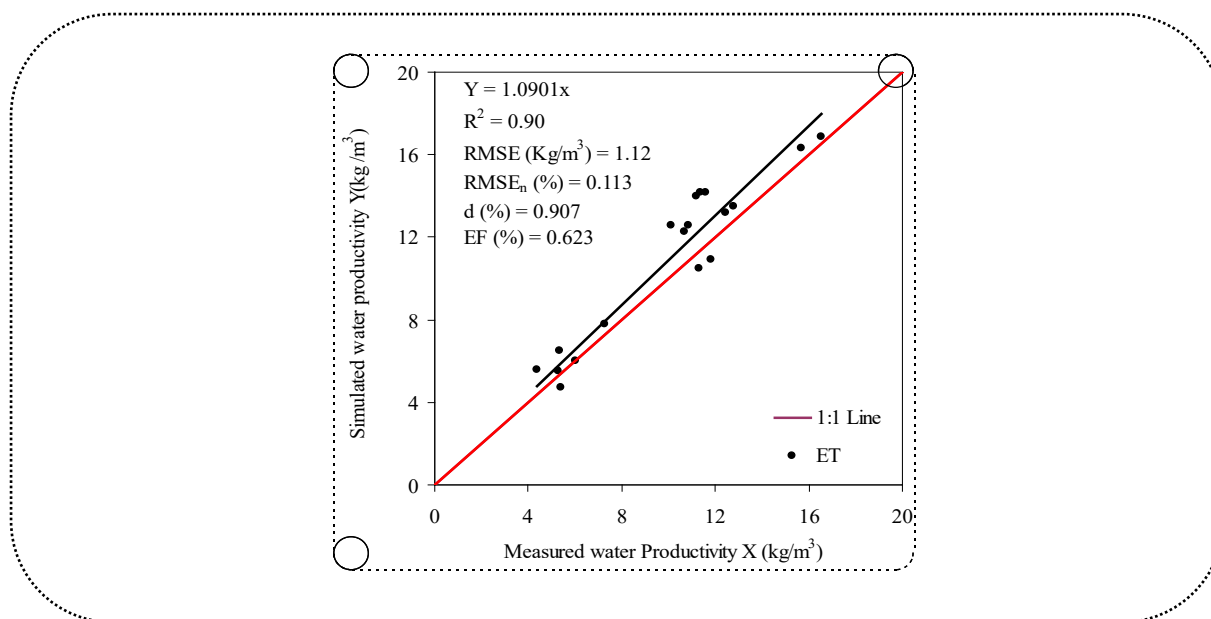


شکل ۳- مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴
Figure 3- Evapotranspiration amount measured and estimated using the method of Reas *et al.*, 2004



شکل ۴- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴
Figure 4- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Taffeh *et al.*, 2014

شکل ۵- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش پاسکوئله (ریس و همکاران، ۲۰۱۷)
Figure 5- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Pasquale (Reas *et al.*, 2017)



شکل ۶- میزان بهره‌وری مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴

Figure 6- Water productivity in measured and estimated conditions using the method of Reas *et al.*, 2004

می‌توان از روش‌های تافته و ریس موجود سامانه نیاز آب به عنوان یک روش مناسب در تصمیم‌گیری و تخمین آب مصرفی گیاه بادمجان در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

منابع

Abdalla, M.M.A., H.Z. El-Dekashey, M. Dalia., T. Nassef., and G.Z.H. Kahlil. 2018. Effect of Irrigation Intervals and Genotypes on Growth and Yield of Eggplant (*Solanum melongena* L.) I-Vegetative Growth. Assiut Journal of Agricultural Sciences. (49) 2: 157-176.

Abdzad Gohari, A., A. Tafteh., and N. Ebrahimipak. (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).

Allen, R.G., L.S. Pereira, T.A. Howell., and M.E. Jensen. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management. 98(6): 899-920.

Blando, F., N. Calabriso, H. Berland, G. Maiorano, C. Gerardi, M.A. Carluccio, A. Andersen., and O.M. Radical. 2018. Scavenging and anti-inflammatory activities of representative anthocyanin groupings from pigment-rich fruits and vegetables.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بیشترین تبخیر-تعرق برای گیاه بادمجان در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کود مصرفی ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. حل معکوس تابع تولید با استفاده از سامانه نیاز آب در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق گیاه بادمجان در سال اول ۲۱۱/۹، ۲۱۶/۹، ۳۳۲/۸ و ۲۱۲/۶ میلی‌متر و در سال دوم به ترتیب ۲۲۴/۳، ۲۲۵/۵، ۳۵۹ و ۲۲۵/۹ میلی‌متر و در سال سوم به ترتیب ۳۴۴/۵، ۳۸۷/۵، ۶۰۵/۴ و ۳۸۸/۵ میلی‌متر بود. نتایج میزان بهره‌وری مصرف آب و تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده حاکی از آن بود که مقادیر بهره‌وری مصرف آب و تبخیر-تعرق در روش تافته و ریس به خط یک‌به‌یک نزدیک بود و میزان ضریب تبیین در روش‌های مذکور برای بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۰ درصد و برای تبخیر-تعرق در هر دو روش ۰/۹۲ درصد بود. بنابراین، این دو روش نسبت به روش پاسکوئله دارای برآورد مناسب‌تری هستند. به‌طور کلی و با توجه به نتایج آماری و برآورد مناسب بین داده‌های مشاهده‌ای (اندازه‌گیری شده) با سامانه نیاز آب،

- Jafari najafabadi, M., A. Tafteh., and N.A. Ebrahimipak. 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., J.R. Porter., and D.R. Wilson. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27: 337-350.
- Karam, F., L. Ahoud, R. Masaad, R. Daccache, A. Mounzer., and Y. Roupheal. 2006. Water Use and Lint Yield Response of Drip Irrigated Cotton to Length of Irrigation Season. *Agricultural Water Management*. 85: 287-295.
- Kirnak, H., I. Tas, C. Kaya., and D. Higgs. 2002. Effects of deficit irrigation on growth, yield, and fruit quality of eggplant under semi- arid conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53:1367-1373.
- Kriedemann, P.E., and I. Goodwin. 2003. Regulated deficit irrigation and partial root-zone drying: an overview of principles and applications. *Irrigation insights* 4. Canberra: Land and Water. p. 102.
- Lovelli, S., M. Perniola, A. Ferrara., and T. Tommaso. 2007. Yield response factor to water (K_y) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agricultural Water Management*. 92: 73-80.
- Mahadeen, A., O. Mohawesh, K. Al-Absi., and W. Al-Shareef. 2011. Effect of irrigation regimes and frequency on water use efficiency and tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under an arid environment. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 57:105-114.
- Mohawesh, O., and K. Al-Absi. 2009. Physiological response of two apple genotypes to different water regimes under semiarid conditions. *Advances in Horticultural Science*. 23: 158-165.
- Mwinuka, P.R., B.P. Mbilinyi, W.B. Mbungu, S.K. Mourice, H.F. Mahoo., and P. Schmitter. 2021. Optimizing water and nitrogen application for neglected horticultural species in tropical sub-humid climate areas: A case of African eggplant (*Solanum aethiopicum* L.). *Scientia Horticulturae*. 276: 109756.
- Niño-Medina, G., V. Uriás-Orona, M.D. Muy-Rangel., and J.B. Heredia. 2017. Structure and content of phenolics in eggplant (*Solanum melongena* L): A review. *South African Journal of Botany*. 111: 161-169.
- International Journal of Molecular Sciences. 19: 169. 1-15.
- Braga, P.C., R.L. Scalzo, M.D. Sasso, N. Lattuada, V. Greco., and M. Fibiani. 2016. Characterization and antioxidant activity of semi-purified extracts and pure delphinidin-glycosides from eggplant peel (*Solanum melongena* L.). *Journal of Functional Foods*. 20: 411-421.
- Chaves, M.M., J.P. Maroco, and J.S. Pereira. 2003. Understanding plant responses to drought from genes to whole plant. *Functional Plant Biology*. 30: 239-264.
- Ebrahimipak, N., A. Tafteh, N. Hosseini., and Keykhaei, F. 2022a. NIAZAB system. Soil and Water Research Institute. (<http://niwr.ir>). (In Persian).
- Ebrahimipak, N.A., A. Tafteh, A. Egdarnejad., and S. Kapourchal. 2018. 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., A. Tafteh, F. Abbasi., and G. Baghani. 2022b. Estimation the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and compare with the farm measurement. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 53(9): 2075-2092. (In Persian).
- Egdernezhad, A., N.A. Ebrahimipak, A. Tafteh., and M. Ahmadee. 2019. Canola Irrigation Scheduling using AquaCrop Model in Qazvin Plain. *Water Management in Agriculture*. 5(2): 53-64. (In Persian).
- Ehsani, A., H. Arzani, M. Farahpur., and M. Jafari. 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. (In Persian).
- Fereres, E., and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress. *Journal of Experimental Botany*. 58: 147-159.
- Greaves, L.M., C.A. Houkamau., and C.G. Sibley. 2017. Random intercept exploratory factor analysis of the multidimensional model of Māori identity and cultural engagement. *Personality and Individual Differences*. 105: 14-18.

Tafteh, A., T. Nakhjavani Moghadam, A. Egdernezhad., and S. Sepehri. 2020. Evaluation of Production Functions in Estimating Two Varieties of Corn Yield with Native Yield Response Factor in the Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research. 51(10): 2519-2529. (In Persian).

Taher, D., S. Solberg, J. Prohens, Y. Chou, M. Rakha., and T. Wu. 2017. World vegetable center eggplant collection: origin, composition, seed dissemination and utilization in breeding. Front Plant Science. 8: 1484. 1-12.

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

Zegbe, J.A., M.H. Behboudian., and B.E. Clothier. 2004. Partial rootzone drying is feasible option for irrigating processing tomatoes. Agricultural Water Management. 68: 195-206.

Raes, D. 2004. Budget: 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., P. Steduto, T.C. Hsiao., and E. Fereres. 2017. Reference manual AquaCrop. FAO. Land and Water Division, Rome, Italy. 25p.

Rotino, G.L., T. Sala., and L. Toppino. 2014. Eggplant in Alien Gene Transfer in Crop Plants. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. pp. 381-409.

Stewart, B.A., and D.R. Nielsen. 1990. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America Publishers, Madison, Wisconsin. Agricultural Water Management. 20(4): 341-342.

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