

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

چکیده

برآورد نیاز آبی و تعیین مقدار واقعی آب، از مهم‌ترین عوامل در مدیریت منابع آب کشاورزی و از الزامات هر طرح آبیاری می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در استان گیلان (شهرستان آستانه اشرفیه) انجام شد. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی مدیریت آبیاری شامل دیم و ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی و تیمار فرعی شامل دو رقم بادام زمینی گیل و جنوبی بود. نتایج نشان داد که بیشترین تبخیر-تعرق در تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی واقعی گیاه در سال‌های ۹۶ و ۹۷ در رقم جنوبی ترتیب ۴۴۷ و ۵۲۴ میلی‌متر و در رقم گیل به ترتیب ۴۳۹ و ۵۲۲ میلی‌متر بود و در مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده نیاز آبیاری توسط سامانه نیاز آب، مقدار ضریب تبیین در رقم جنوبی و گیل به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۴، ریشه میانگین مربعات خطا برای رقم جنوبی و گیل به ترتیب ۵۲/۲۴ و ۵۲/۲۴ و میانگین انحراف خطا به ترتیب ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳ بود. شاخص توافق و ضریب کارایی مدل در سال‌های ۹۶ و ۹۷ برای رقم جنوبی به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۵ و برای رقم گیل به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۶ بود. با توجه به نتایج و شاخص‌های آماری موجود، سامانه نیاز آب برآوردی منطقی از مقدار واقعی آب آبیاری در دو رقم بادام زمینی ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، ارقام بادام زمینی، تبخیر-تعرق مرجع، ضریب حساسیت،

مقدمه

برای رشد و توسعه محصول است (El-Metwally and Saady, 2021). تبخیر-تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از روش‌های بهبود مدیریتی مصرف آب در مزرعه، تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه از طریق محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق گیاه است. بررسی فنولوژی گیاه به منظور تعیین طول دوره رشد رویشی و زایشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر عامل‌های آب و هوایی، میزان تبخیر-تعرق تحت تأثیر خصوصیات خاک و گیاه، مراحل فنولوژی گونه‌های گیاهی و دیگر عوامل محیطی و مدیریتی نیز بستگی دارد (احسانی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌هایی که برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده می‌شوند، پارامترهای اقلیمی یکسانی را به کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آن‌ها برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند. به همین دلیل لازم است که تخمین متناسب با شرایط منطقه انجام شود (فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۵).

هدف از آبیاری، تأمین آب موردنیاز گیاه جهت رشد و تعرق است

آب یکی از مهم‌ترین منابع رشد و توسعه جوامع انسانی است. تقاضای آب برای کشاورزی در سرتاسر جهان به دلیل تقاضای فزاینده برای تولید مواد غذایی در حال افزایش است. با توجه به کمبود آب و با مصرف بیشتر آن در بخش کشاورزی نسبت به سایر بخش‌ها، منطقی کردن مصرف آب با افزایش بهره‌وری آب، اجتناب‌ناپذیر است. بالاین حال، کمبود آب به عنوان تنش غیر زیستی یک چالش بزرگ

۱- محقق، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- دانشیار، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: abdzadgohari_a@yahoo.com)

دانه بادام زمینی را ناشی از آبیاری با ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تبخیر و تعرق محصول نسبت به آبیاری توصیه شده (تأمین ۱۰۰ درصد) ثبت کردند (Aydinsakir, 2016). برای مصرف بهینه و سازگاری با کمبود منابع آبی، کاربرد روش‌های مدیریتی نوین و استراتژی‌های آبیاری مناسب از اهمیت زیادی برخوردار است. تابع تولید یکی از شاخص‌های مورد استفاده در مباحث عملکرد گیاه- آب مصرفی است که در افزایش بهره‌وری مصرف آب که به صورت نسبت عملکرد محصول به مقدار آب مصرفی می‌باشد، مؤثر است. هرچه چالش‌های افزایش آب برای آبیاری رواج بیشتری پیدا کند، دانش پاسخ به عملکرد محصول به آب می‌تواند توسعه راهکارهای آبیاری را برای بهبود بهره‌وری کشاورزی تسهیل کند (تافته و همکاران، ۱۳۹۹).

توابع تولید آب زراعی و ارزیابی روش و شیوه‌های آبیاری برای دستیابی به توسعه پایدار آب در منطقه بسیار پراهمیت است (تافته و همکاران، ۱۳۹۹؛ Greaves et al., 2017). روش حل معکوس تابع تولید، از روش (GRG) پیروی می‌کند. این روش، توسعه‌ای از روش گرادین کاهش یافته برای تطبیق با محدودیت‌های نابرابر غیرخطی است که در آن به گونه‌ای جواب یافت می‌شود که برای هر حرکت کوچک، محدودیت‌های فعال در نظر گرفته می‌شود و دقیقاً فعال باقی می‌ماند. 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 گرادین پیشرفته در نظر گرفت.

موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای برای تعیین نیاز آبی گیاهان کشور (نیاز آب) تهیه نموده است که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان را در سطح منطقه، شهرستان، حوضه آبریز، دشت دارد. سامانه نیاز آبی گیاهان یک سامانه چندهسته‌ای است که شامل چندین هسته اولیه برای محاسبه نیاز آبی گیاهان در سطح کشور طراحی شده است. چندهسته‌ای در این سامانه بدین گونه است که سامانه با در اختیار گرفتن بانک‌های اطلاعات داده‌های هواشناسی، داده‌های گیاهی، مراحل فنولوژی گیاه داده‌های مربوط به عملکرد گیاهان در سطح کشور و با ایجاد زیرسامانه محاسبات فنی که شامل فرمول‌ها و روابط علمی کالیبره شده برای ایران که توسط موسسه انجام گرفته است، مقدار نیاز آبی گیاهان را برآورد می‌کند و از طریق زیرسامانه‌های خروجی بسته به نوع بهره‌بردار، خروجی‌های متعدد در اختیار قرار می‌دهد. یکی از نکات برجسته این سامانه، مکان محور بوده و استفاده‌کننده در هر مکان با مراجعه به سامانه، نیازهای منطقه‌ای خود را استخراج می‌کند و می‌تواند آب مصرفی برای الگوی کشت را تحت

اما به این دلیل که مسیر جذب آب توسط گیاه از بستر خاک صورت می‌پذیرد، نمی‌توان از تبخیر آب از سطح خاک، برای تعیین نیاز آبی گیاه صرف نظر کرد. در پارامتر تبخیر و تعرق، تغییرات این دو جزء در طول فصل رشد گیاه دارای اهمیت خاصی است. شناخت واکنش‌های دو جزء تبخیر و تعرق نسبت به تنش آبی، می‌تواند برای رسیدن به هدف مصرف آب کمتر و بهره‌وری بالای مصرف آب در مدیریت کم آبیاری، مؤثر باشد (سعیدی، ۱۴۰۰). تنش آبی محدودیت اصلی محیطی برای محصولات زراعی از جمله بادام زمینی است که بهره‌وری آن را محدود می‌کند. بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L) یک محصول مهم از دانه‌های روغنی است که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری با میانگین دمای روزانه بالاتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد. دانه بادام زمینی حاوی درصد بالایی از روغن (۳۵-۵۶ درصد)، پروتئین (۲۵-۳۰ درصد) و کربوهیدرات (۲۱ درصد) است و یک محصول مهم برای تغذیه انسان می‌باشد (Gulluoglu et al., 2016; Nkuna et al., 2021). دانه‌های بادام زمینی معمولاً برای تولید روغن، غذای میان وعده و کره بادام زمینی استفاده می‌شوند (Cemal et al., 2017).

این گیاه در ایران غالباً در استان‌های شمالی و با آب و هوایی معتدل و همچنین در استان اردبیل (منطقه مغان) کشت می‌شود. تولید بادام زمینی تحت تأثیر عوامل محیطی متعددی به ویژه تنش خشکی و دمای بالا و پایین قرار دارد و در مناطقی با میانگین بارندگی ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در شرایط دیم کشت می‌شود و نیاز آبی این گیاه در طول فصل، با بارندگی و در صورت نیاز با آبیاری مدیریت می‌شود (عبدزاد گوهری، ۱۴۰۰b) و در طول فصل رشد، به خصوص در زمان گلدهی، به آب فراوان نیاز دارد (عبدزادگوهری و صادقی‌پور، ۱۳۹۸). تنش آبی می‌تواند در مراحل حساس رشد رخ دهد و منجر به کاهش ۲۲ تا ۵۳ درصدی عملکرد بادام زمینی شود (Thangthong et al., 2019) و همچنین آلودگی قارچی را از ۲ تا ۱۷ درصد افزایش دهد. با این حال، تنش آبی در مرحله قبل از گلدهی، بر عملکرد دانه اثری ندارد (Jongrunklang et al., 2011). گزارش شد که اگر تنش آبی در زمان رشد غلاف رخ دهد، عملکرد غلاف بین ۱۷ تا ۲۵ درصد بسته به رقم کاهش می‌یابد (Cecilia et al., 2013). پژوهشگران دریافتند که بادام زمینی در طول گلدهی و پر شدن غلاف بیشترین حساسیت را به تنش آبی دارد (Aydinsakir, 2016; Thangthong et al., 2019). با این حال، انواع مختلف ارقام به تنش آبی واکنش متفاوتی نشان می‌دهند (Devi et al., 2010; Jongrunklang et al., 2011). مدیریت مناسب آبیاری، انتخاب تاریخ کاشت و ارقام مقاوم به خشکی می‌تواند موجب بهبود عملکرد بادام زمینی در شرایط تنش شود (عبدزاد گوهری، ۱۴۰۰a؛ El-Boraie et al., 2009; Thangthong et al., 2019; Aboelil et al., 2012). پژوهشی به ترتیب ۸۱، ۶۸/۵، ۲۸/۵، ۱۲ درصد کاهش در عملکرد

مقدار آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک محاسبه شد و درصد حجمی رطوبت خاک قبل از آبیاری با نمونه‌گیری از عمق‌های ۳۰-۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری و عمق خالص آبیاری (d_n) بر حسب سانتی‌متر، پس از تخلیه رطوبتی مجاز (MAD) و به استفاده از معادله ۵ محاسبه گردید. تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به عنوان تیمار آبیاری کامل و سایر تیمارهای آبیاری (تیمارهای تنش) به عنوان درصدی از این مقدار در نظر گرفته شدند.

$$d_n = \frac{(\theta_{Fc} - \theta_{pwp})}{100} \times MAD \times D_r \quad (1)$$

که در آن، θ_{Fc} : درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، θ_{pwp} : درصد حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم و D_r : عمق توسعه ریشه گیاه (سانتی‌متر) می‌باشد. اندازه‌گیری بیشترین عمق توسعه ریشه با روش پروفیل مستقیم و به میزان ۶۰ سانتی‌متر بود. مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی توسط کنتور انجام شد و مقدار آب مصرف‌شده در طول دوره رشد گیاه شامل مجموع آب آبیاری و میزان بارندگی بود (جدول ۳).

روابط مختلفی برای ضریب عکس‌العمل (K_y) یا فاکتور واکنش عملکرد به آب ارائه شده است که یکی از آن‌ها، رابطه آب-عملکرد-تابع تولید (Doorenbos and Kassam, 1979) می‌باشد (معادله ۱).

$$1 - \frac{y_a}{y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (2)$$

که در آن y_a : عملکرد واقعی (کیلوگرم بر هکتار)، y_m : حداکثر عملکرد گیاه بدون محدودیت آب (برحسب کیلوگرم بر هکتار)، ET_a : تبخیر تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_m : حداکثر تبخیر تعرق گیاه (میلی‌متر)، K_y : ضریب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب می‌باشد.

برای تبدیل تبخیر-تعرق استاندارد به تبخیر-تعرق واقعی بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های (Raes (2006)، Tafteh et al., (2014) و روش پاسکوئله بر مبنای تحقیق Raes (2017) استفاده می‌شود. روش Raes (2006) به صورت معادله ۲ می‌باشد.

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^n \left[1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right]^{\Delta t_j / L_i} \quad (3)$$

که در آن y_m و y_a به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، K_{yi} ضریب واکنش عملکرد محصول به آب، $ET_{a,j}$ و $ET_{m,j}$ به ترتیب تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق استاندارد در زمان t_j ؛ بازه زمانی موردنظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد می‌باشد. از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورد استفاده در این تحقیق تابع Tafteh et al., (2013) می‌باشد که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه Rase (2004) به صورت معادله ۳ ارائه شده است.

گزینه‌های مختلف کاربری به ذی‌نفعان بخش آب کشاورزی با قابلیت به‌روزرسانی ارائه نماید. در پژوهشی تافته و همکاران (۱۳۹۷) از توابع حاصل ضرب اصلاح‌شده با روش‌های Tafteh et al., و Rase, 2004 (2013)، میزان عملکرد گیاه کلزا را تحت شرایط کم آبیاری در بازه‌های ماهانه، مراحل چهارگانه رشد و کل دوره رشد بررسی کردند و گزارش نمودند که در روش Tafteh et al., (2013)، شاخص‌های آماری مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده، بیشترین مقدار شاخص توافق و ضریب تبیین به ترتیب ۴۲۳، ۰/۲۱۱، ۰/۷۶ و ۰/۶۴۵ بود. هدف از این مطالعه، ارزیابی بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام-زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به منظور بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری و عملکرد گیاه بادام‌زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید در شرایط تنش آبی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در شهرستان آستانه‌اشرفیه واقع در شرق استان گیلان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۹۴ دقیقه با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا انجام شد. طرح آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی مدیریت آبیاری شامل دیم و ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی و تیمار فرعی شامل دو رقم بادام‌زمینی گیل و جنوبی بود. لحاظ آب و هوایی، منطقه جزء مناطق معتدل و مرطوب بود. مقدار بارندگی در سال‌های ۹۶ و ۹۷ به ترتیب ۸۴/۴ و ۸۵/۵ میلی‌متر بود (جدول ۱). قبل از آماده‌سازی زمین، جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد (جدول ۲). زمان کاشت هر دو رقم در طی دو سال، ۱۰ اردیبهشت‌ماه و زمان جوانه‌زنی در دو رقم بین ۱۷ تا ۲۰ اردیبهشت و زمان برداشت بین ۲۰ تا ۲۵ شهریورماه متغیر بود. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۲۰×۲/۵ متر و دارای شش ردیف کشت بود. در این پروژه برای به دست آوردن تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) از نرم‌افزار کراپوات (Cropwat 8.0) استفاده شد. این نرم‌افزار از روش پنمن-مونتیث برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع استفاده می‌کند. تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ET_c)، از ضرب کردن تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی (K_c) که از پژوهش عبدزاد گوهری و همکاران (۱۴۰۰) استخراج شده است، استفاده گردید.

1. Maximum Allowable Depletion, MAD

جدول ۱- اطلاعات مربوط به هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۹۶ و ۹۷.

ماه‌های مورد مطالعه	سال	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	سال ۹۶	۲۴/۳	۲۷/۴	۲۹/۸	۳۰/۷	۲۹/۶
	سال ۹۷	۲۶/۲	۲۹/۲	۳۱/۹	۳۳/۸	۳۲/۳
حداقل دما (سانتی‌گراد)	سال ۹۶	۱۶/۶	۱۸/۱	۱۸/۶	۱۹/۱	۲۱/۳
	سال ۹۷	۱۷	۱۸/۶	۲۱/۴	۲۰/۶	۲۱
حداکثر رطوبت نسبی (درصد)	سال ۹۶	۹۰	۸۹/۵	۸۷/۶	۸۷/۸	۹۰/۳
	سال ۹۷	۹۴	۹۱/۶	۸۶/۵	۸۹/۷	۹۴
حداقل رطوبت نسبی (درصد)	سال ۹۶	۶۲/۲	۵۵/۶	۵۵/۸	۴۸/۷	۵۴/۸
	سال ۹۷	۶۳/۸	۵۷/۵	۵۵/۶	۴۶/۵	۵۴/۳
سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)	سال ۹۶	۶/۸	۶/۲	۵/۵	۶/۲	۵/۸
	سال ۹۷	۶/۵	۶/۵	۵/۲	۶/۸	۶/۰
تبخیر از تشتک (میلی‌متر)	سال ۹۶	۳/۸	۴/۱	۶/۳	۵/۲	۴/۳
	سال ۹۷	۳/۱	۴/۹	۶/۴	۵/۵	۴/۵
بارندگی (میلی‌متر)	سال ۹۶	۱۵/۲	۱۲	۳/۹	۰	۵۳/۲
	سال ۹۷	۱۷/۶	۱۲/۳	۱۳/۶	۲۱/۵	۲۰/۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	سال ۱۳۹۶		سال ۱۳۹۷	
	۳۰-۰	۶۰-۳۰	۳۰-۰	۶۰-۳۰
یافت خاک	لوم	لوم	لوم	لوم
شن (%)	۵۰	۴۹	۵۱	۵۰
رس (%)	۱۷	۱۹	۱۵	۱۹
سیلت (%)	۳۳	۳۲	۳۴	۳۱
کربن آلی (%)	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۸
نیترژن کل (درصد)	۰/۰۸۶	۰/۰۹۸	۰/۰۹۴	۰/۰۹۲
فسفر قابل جذب (ppm)	۶/۲۷	۶/۲۱	۶/۴۵	۶/۱۸
پتاسیم قابل جذب (ppm)	۲۳۵	۲۱۶	۲۴۱	۳۲۲
هدایت الکتریکی (dS/m)	۰/۶۵۵	۰/۶۴۷	۰/۶۳۲	۰/۶۳۷
رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (%)	۲۴/۶	۲۵/۷	۲۳/۴	۲۵/۵
رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (%)	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۰/۹	۱۳/۲
وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	۱/۴۶	۱/۴۵	۱/۴۶	۱/۴۶

جدول ۳- مقدار آب مصرفی (میلی‌متر) در طول دوره رشد در ارقام گیل و جنوبی

ارقام	سال‌های مورد مطالعه	تأمین نیاز آبی		
		۴۰ درصد	۶۰ درصد	۸۰ درصد
رقم جنوبی	سال ۹۶	۹۴/۸	۱۸۷/۳	۲۷۴/۰
	سال ۹۷	۹۹/۰	۱۹۵/۴	۳۸۸/۲
رقم گیل	سال ۹۶	۹۲/۷	۱۸۴/۸	۳۶۷
	سال ۹۷	۹۸/۰	۱۹۲/۴	۳۸۵/۴

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O_i| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (12)$$

که در آن: RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، NRMSE ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF ضریب کارایی مدل و MBE میانگین انحراف خطا، d شاخص توافق یا سازگاری و R^2 ضریب تبیین است. پارامترهای P ، O ، O_{ave} و n به ترتیب داده مشاهده شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات می‌باشد. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده اگر مقادیر E_r و RMSE به صفر و مقادیر d ، EF و R^2 به ۱ نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهنده 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 برآورد شده است (Jamieson et al., 1991). میزان ضریب کارایی، بین منفی بی-نهایت 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). میزان شاخص توافق یا سازگاری از منفی بی-نهایت تا مثبت یک متغیر است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، شبیه‌سازی مدل دارای کارایی بهتر است (Willmott et al., 1982).

نتایج و بحث

بر اساس نتایج سامانه نیاز آب اطلاعات فنولوژی گیاهی بر اساس جدول ۴ بیان گردید. مبنای برآورد نیاز آبی گیاه، محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل است که با استفاده از داده‌های آب و هوایی به روش‌های مختلف محاسبه می‌شود.

جدول ۴- اطلاعات گیاهی سامانه نیاز آب

مرحله اولیه	مرحله توسعه	مرحله میانی	مرحله پایانی
۲۰	۳۰	۴۵	۳۰
روز			
۰/۵	۱/۵ الی ۱	۱/۱	۰/۷
ضریب گیاهی (K_c)			
۰/۶	۰/۸۵	۱/۲۵	۰/۷
ضریب حساسیت رقم جنوبی (K_y)			
۰/۷	۰/۸	۱/۲۵	۰/۸
ضریب حساسیت رقم گیل (K_y)			

است. از این رو تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف در سال‌های مورد مطالعه در بادام‌زمینی رقم جنوبی و گیل با استفاده از سامانه نیاز آب و روش حل معکوس تابع تولید برآورد گردید. بیشترین تبخیر-تعرق در تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سال‌های ۹۶ و ۹۷ در رقم جنوبی به ترتیب ۴۴۷ و ۵۲۴ میلی‌متر و در رقم گیل به ترتیب ۴۳۹ و ۵۲۲ میلی‌متر بود. همچنین بیشترین عملکرد در تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^n \left[1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right]^{\sum_{i=1}^n k_{yi}} \quad (4)$$

در این معادله؛ n تعداد بازه زمانی در مراحل دوره رشد می‌باشد. سایر پارامترها پیشتر تعریف شده‌اند. از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورد استفاده در این تحقیق روش پاسکوتله است (Raes, 2017) که در مدل آکواکراپ و FAO66 ارائه شده است که به صورت معادله ۴ ارائه شده است.

$$y_a = \sum_i^n Bi \times HI, \quad Bi = \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right) \times \sum_1^n ET_{ai} \quad (5)$$

در این معادله، n شماره روز پس از کشت می‌باشد، مقدار زیست‌توده (Bi) در هر بازه و شاخص برداشت (HI) برای محصول مورد نظر می‌باشد، سایر پارامترها پیشتر تعریف شده‌اند. از این توابع می‌توان در برنامه‌ریزی آبیاری و بررسی سناریوهای مختلف توزیع آب نیز استفاده نمود (Tafteh et al., 2014a).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزارهای SPSS و برای مقایسه آماری بین نتایج توابع تولید، از شاخص‌های آماری موجود در روابط ۶ تا ۱۲ استفاده شد.

$$E_r = \frac{(P-O)}{O} \times 100 \quad (6)$$

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

$$NRMSE = \left(\sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right)} \right) \times 100 \quad (8)$$

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

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

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (11)$$

در بخش کشاورزی برآورد صحیح تبخیر-تعرق به منظور تعیین شیوه‌های مدیریت آب، طراحی سیستم‌های آبیاری، تعیین رژیم آبیاری و محاسبه عملکرد محصول، بسیار مهم است (Eberbach et al., 2011؛ دهقانی سانج و همکاران، ۱۳۹۶؛ احسانی و همکاران، ۱۳۹۴). برآورد مقادیر تبخیر-تعرق برای محاسبه نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی آبیاری برای ارقام مختلف بادام‌زمینی، از اهمیت زیادی برخوردار

شکل ۱ ارائه شد.

در این پژوهش بر اساس عملکردها، تابع تولید با روش (Taftteh et al, 2013) محاسبه و برای هر یک از تیمارهای کم آبیاری در طی دو سال زراعی نیاز آبیاری اندازه‌گیری زده شد. مقادیر نیاز آبیاری تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده در بادام‌زمینی رقم‌های جنوبی و گیل نشان داد که در اکثر تیمارها اختلاف اندکی در شرایط تخمین زده‌شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد (جدول ۷).

نتایج آنالیز آماری ارقام جنوبی و رقم گیل نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده به خط یک‌به‌یک نزدیک و ارتباط مناسبی دارند (شکل‌های ۲ و ۳) و سامانه نیاز آب، مقدار ضریب تبیین را در ارقام جنوبی و گیل به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۴ نشان داد. ریشه میانگین مربعات خطا برای رقم جنوبی و گیل به ترتیب ۵۲/۶۰ و ۵۲/۲۴ سانتی‌متر و میانگین انحراف خطا در ارقام جنوبی و گیل به ترتیب ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳ بود. شاخص توافق و ضریب کارایی مدل نیز برای رقم جنوبی به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۵ و برای رقم گیل به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۶ مشاهده شد. با توجه به برآورد سامانه نیاز آب و توانایی شبیه‌سازی پاسخ عملکرد گیاه بادام‌زمینی نسبت به تیمارهای مختلف آبیاری، این سامانه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب در تخمین نیاز آبی جهت بهبود مدیریت آب در کشت بادام‌زمینی مورد استفاده قرار گیرد.

در رقم جنوبی به در سال ۹۶ و ۹۷ به ترتیب ۱۵۷۹ و ۱۵۸۳ کیلوگرم در هکتار و در رقم گیل در سال‌های ۹۶ و ۹۷ به ترتیب ۱۵۵۵ و ۱۶۰۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵ و ۶). با توجه به خصوصیات بادام‌زمینی، دلیل این افزایش را می‌توان به افزایش سطح سایه‌انداز گیاه در مرحله توسعه و میانی و به تبعه آن توسعه شاخص سطح برگ دانست. به تدریج با نزدیک شدن به زمان رسیدگی و کاهش سطح سایه‌انداز، تدریجاً روند کاهشی در تبخیر-تعرق مشاهده شد. در ابتدای فصل رشد و قبل از جوانه‌زنی که سطح خاک فاقد پوشش گیاهی است جز تعرق صفر و فقط جزء تبخیر از سطح خاک وجود دارد. هر چه رشد گیاه کامل‌تر شود، جزء تبخیر به دلیل افزایش چتر سایه‌انداز گیاه بر سطح خاک، کاهش پیدا می‌کند و جزء تعرق به دلیل گسترش اندام‌های گیاهی افزایش پیدا می‌کند.

از این رو میزان تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و علاوه بر این شرایط محیطی نیز بر میزان تبخیر و تعرق تأثیرگذار است. به عبارتی شدت تبخیر-تعرق از سطح خاک به علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به‌مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به علت توسعه پوشش گیاهی کاهش یافت (احسانی و همکاران، ۱۳۹۴). بررسی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در تیمارهای نیاز آبی در ارقام گیل و جنوبی بر اساس روش حل معکوس تابع تولید (Taftteh et al., 2014b) در

جدول ۵- مقادیر تبخیر-تعرق در تیمارهای اعمال‌شده در سال‌های مورد مطالعه در بادام‌زمینی رقم جنوبی

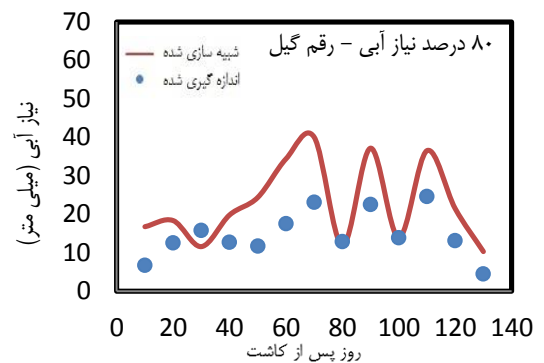
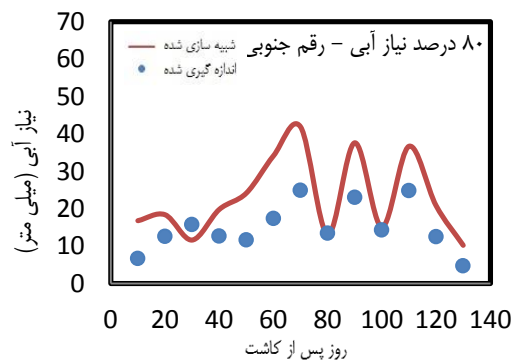
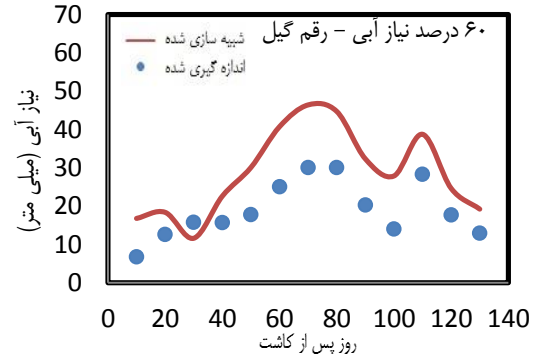
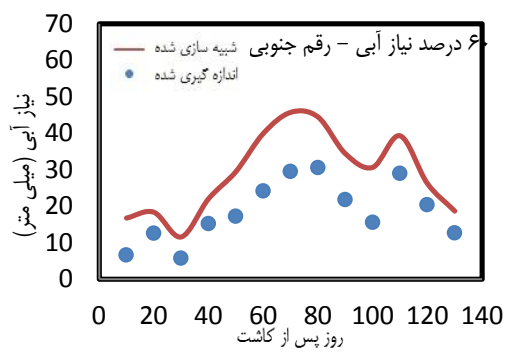
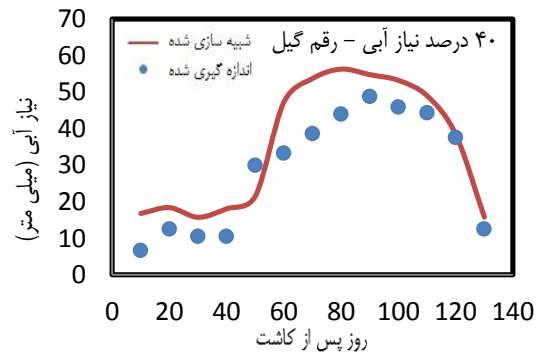
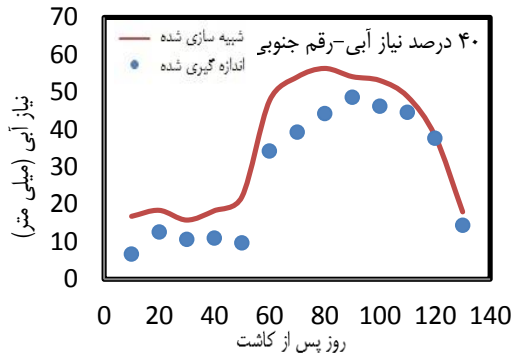
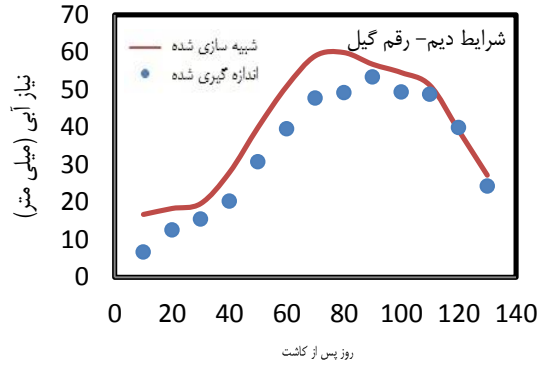
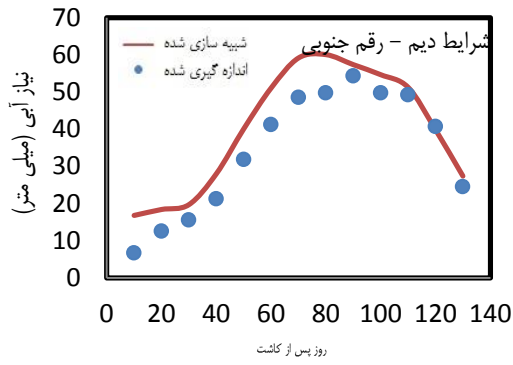
دیم	سال ۹۷				سال ۹۶			
	۴۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی	۴۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی
۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰
۱۸/۴۹	۱۸/۴۰	۱۸/۴۰	۱۸/۴۰	۱۸/۴۰	۱۲/۶۷	۱۲/۶۰	۱۲/۶۰	۱۲/۶۰
۱۱/۲۷	۱۱/۶۳	۱۱/۶۳	۱۵/۸۰	۱۹/۷۰	۵/۵۲	۵/۷۹	۵/۷۹	۱۰/۶۵
۱۳/۸۲	۱۹/۸۰	۲۲/۱۰	۱۸/۳۰	۲۸/۰	۶/۲۳	۱۲/۷۱	۱۵/۲۵	۱۰/۹۶
۱۸/۲۵	۲۴/۱۷	۲۹/۵۳	۲۲/۰۲	۴۰/۱۰	۶/۵۳	۱۱/۶۶	۱۷/۲۷	۹/۶۹
۳۷/۲۷	۳۴/۱۳	۳۹/۹۷	۴۷/۷۳	۵۱/۱۰	۲۱/۰۹	۱۷/۴۳	۲۴/۲۲	۳۴/۲۱
۱۸/۵۶	۴۱/۸۹	۴۵/۷۷	۵۴/۰۳	۵۹/۲۰	۵/۳۳	۲۴/۹۷	۲۹/۵۴	۳۹/۲۵
۷/۲۲	۱۳/۰۷	۴۴/۵۱	۵۶/۳۳	۶۰/۱۰	۱/۱۳	۳/۴۶	۳۰/۵۹	۴۴/۲۳
۷/۴۲	۳۷/۶۲	۳۴/۴۷	۵۴/۱۳	۵۷/۴۰	۱/۱۴	۲۳/۱۰	۲۱/۸۰	۴۸/۵۷
۲۲/۰۰	۱۵/۱۰	۳۰/۶۹	۵۳/۱۰	۵۴/۷۰	۷/۵۱	۴/۳۵	۱۵/۶۵	۴۶/۲۴
۲۷/۰۸	۳۶/۶۹	۳۹/۳۵	۴۸/۸۳	۵۱/۳۰	۱۳/۹۶	۲۴/۸۷	۲۹/۱	۴۴/۶۰
۱۱/۰۶	۲۰/۸۲	۲۶/۲۸	۳۸/۲۶	۳۹/۹۰	۳/۸۸	۱۲/۵۲	۲۰/۴۶	۳۷/۶۴
۸/۳۲	۱۰/۲۲	۱۸/۷۲	۱۸/۰۰	۲۷/۴۰	۲/۵۰	۴/۷۲	۱۲/۷۶	۱۴/۴۱
مجموع مقادیر تبخیر-تعرق (میلی‌متر)								
۲۱۸	۳۰۰	۳۷۸	۴۶۳	۵۲۴	۹۴	۱۶۵	۲۴۲	۳۵۹
عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)								
۷۷۸	۹۹۹	۱۱۹۲	۱۴۳۵	۱۵۸۳	۴۳۵	۷۵۸	۱۰۲۷	۱۴۲۱

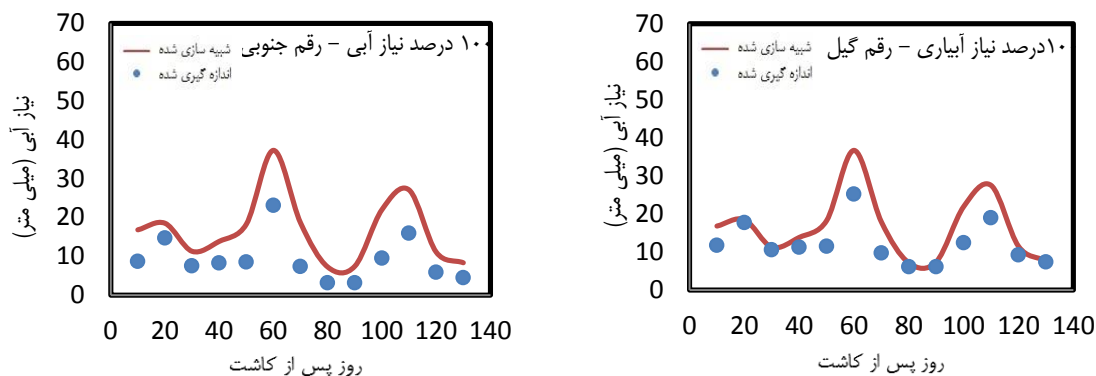
جدول ۶- مقادیر تبخیر-تعرق در تیمارهای اعمال شده در سالهای مورد مطالعه در بادامزمینی رقم گیل

سال ۹۷					سال ۹۶				
دیم	۴۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی	دیم	۴۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی
۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۱۶/۸۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰	۶/۷۰
۱۸/۴۹	۱۸/۳۹	۱۸/۳۹	۱۸/۳۹	۱۸/۳۹	۱۲/۶۷	۱۲/۵۹	۱۲/۵۹	۱۲/۵۹	۱۲/۵۹
۱۱/۲۶	۱۱/۶۳	۱۱/۶۳	۱۵/۷۶	۱۹/۷۰	۵/۵۱	۵/۷۹	۵/۷۹	۱۰/۶۱	۱۵/۵۵
۱۳/۸۱	۱۹/۸۴	۲۲/۶۳	۱۸/۸	۲۷/۹۶	۶/۲۱	۱۲/۷۳	۱۵/۷۲	۱۰/۵۸	۲۰/۲۹
۱۸/۲۲	۲۴/۴۰	۳۰/۱۰	۲۱/۵۳	۴۰/۲	۶/۵۱	۱۱/۷۷	۱۷/۷۸	۹/۱۰	۳۰/۸۱
۳۶/۷۱	۳۴/۴۲	۴۰/۷۵	۴۷/۲۹	۵۰/۹۶	۲۰/۱۶	۱۷/۵۸	۲۵/۰۶	۳۳/۳۴	۳۹/۵۶
۱۷/۸۷	۴۰/۶	۴۶/۴۴	۵۳/۷۲	۵۹/۰۸	۴/۶۹	۲۳/۱۶	۳۰/۰۵	۳۸/۶۸	۴۷/۸۲
۷/۱۳	۱۱/۹۰	۴۴/۷۵	۵۶/۲۹	۵۹/۹۵	۱/۹	۲/۹۲	۳۰/۰۹	۴۳/۹۹	۴۹/۲۷
۷/۳۹	۳۷/۲۰	۳۲/۳۶	۵۴/۷۶	۵۶/۸۳	۱/۱۲	۲۲/۵۶	۲۰/۲۹	۴۸/۸۰	۵۳/۴۳
۲۱/۹۲	۱۳/۹۷	۲۷/۸۹	۵۳/۱۹	۵۴/۶۱	۷/۴۱	۳/۸۸	۱۴/۰۲	۴۵/۹۶	۴۹/۴۳
۲۷/۵۱	۳۶/۵۶	۳۸/۷۷	۴۸/۹۸	۵۱/۲۰	۱۳/۹۳	۲۴/۶۵	۲۸/۳۴	۴۴/۳۵	۴۸/۸۱
۱۱/۴۸	۲۱/۵۱	۲۴/۶۵	۳۸/۴۱	۳۹/۲۲	۴/۲۳	۱۳/۱۶	۱۷/۷۰	۳۷/۶۲	۳۹/۹۴
۷/۶۷	۱۰/۳۴	۱۹/۲۴	۱۵/۷۹	۲۷/۲۶	۲/۳۳	۴/۴۷	۱۲/۵۹	۱۲/۵۹	۲۴/۳۱
مجموع مقادیر تبخیر-تعرق (میلی متر)									
۲۱۶	۲۹۷	۳۷۴	۴۵۸	۵۲۲	۹۳	۱۶۲	۲۳۷	۳۵۵	۴۳۹
عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)									
۶۲۲	۱۳۱۷	۱۲۷۸	۱۵۴۱	۱۶۰۹	۴۲۸	۷۴۷	۹۹۴	۱۴۱۳	۱۵۵۵

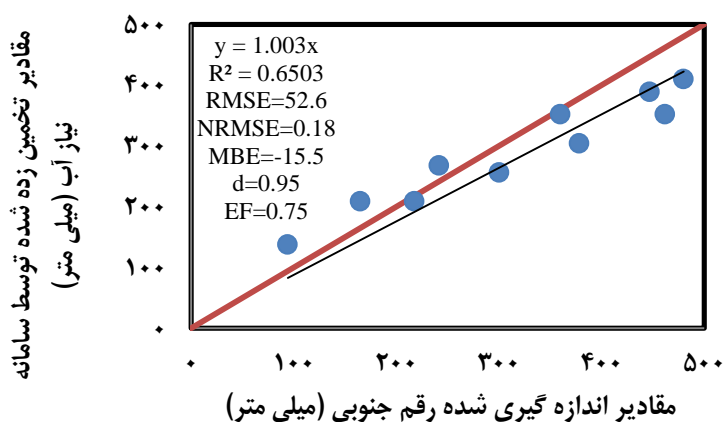
جدول ۷- مقادیر نیاز آبیاری تخمین زده شده و اندازه گیری شده در رقم جنوبی و گیل

رقم گیل			رقم جنوبی		
خطای نسبی (درصد)	تخمین زده شده (میلی متر)	اندازه گیری شده (میلی متر)	خطای نسبی (درصد)	تخمین زده شده (میلی متر)	اندازه گیری شده (میلی متر)
-۰/۹۳	۴۴۲/۶	۴۲۸/۵	-۱/۷۶	۴۵۴/۷	۴۴۶/۷
-۱۲/۶۳	۴۰۶/۲	۳۵۴/۹	-۱۱/۴۵	۴۰۶/۲	۳۵۹/۷
-۲۳/۳۴	۳۰۹/۳	۲۳۷/۱	-۲۱/۸۹	۳۰۹/۳	۲۴۱/۶
-۳۴/۹۰	۲۴۸/۷	۱۶۱/۹	-۳۳/۷۴	۲۴۸/۷	۱۶۴/۸
-۴۷/۶۱	۱۷۶/۷	۹۲/۵۷	-۴۶/۷۰	۱۷۶/۷	۹۴/۲
۱۴/۷۸	۴۵۴/۷	۵۲۱/۹	۱۵/۲۶	۴۵۴/۷	۵۲۴/۱
۳/۷۱	۴۴۲/۶	۴۵۹/۰	۱۰/۳۵	۴۱۸/۴	۴۶۱/۷
۱/۲۴	۳۶۹/۸	۳۷۴/۴	۵/۷۰	۳۵۷/۸	۳۷۸/۲
-۲۲/۲۵	۳۸۲/۰	۲۹۷/۰	-۲/۹۱	۳۰۹/۳	۳۰۰/۳
۱/۸۴	۲۱۲/۴	۲۱۶/۳	-۱۲/۵۵	۲۴۸/۷	۲۱۷/۵

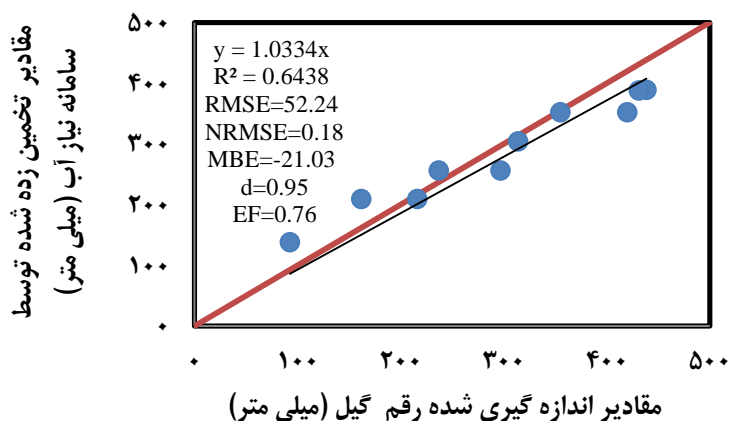




شکل ۱- مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده توسط سامانه نیاز آب در ارقام بادام‌زمینی گیل و جنوبی در تیمارهای نیاز آبی



شکل ۲- مقایسه مقادیر نیاز آبیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده توسط سامانه نیاز آب در رقم جنوبی



شکل ۳- مقایسه مقادیر نیاز آبیاری اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده توسط سامانه نیاز آب در رقم گیل

نتیجه‌گیری

پژوهش، تبخیر-تعرق و عملکرد دو رقم بادام‌زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید ارزیابی شد و با داده‌های سامانه نیاز آب مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که شدت

جهت حفظ تولید و مدیریت آب در رشد گیاه در شرایط تنش آبی، اتخاذ راهکارهای مناسب مدیریتی دارای اهمیت فراوان است. در این

(علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸ (۲): ۴۲۹-۴۲۰.

عبدزاد گوهری، ع و صادقی پور، ا. ۱۳۹۸. مدیریت علف‌های هرز در مزارع بادام‌زمینی. انتشارات اندیشمندان پارس. ۶۲ ص.

عبدزاد گوهری، ع. ۱۴۰۰a. بررسی عملکرد، تابع تولید و بهره‌وری مصرف آب دو رقم بادام‌زمینی تحت شرایط کم آبیاری در روش-های مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۱۵): ۴۶۷-۴۸۲.

عبدزاد گوهری، ع. ۱۴۰۰b. بررسی اثر کم آبیاری و دو شیوه آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم بادام‌زمینی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ب. ۳۵ (۱): ۴۶۷-۴۸۲.

عبدزاد گوهری، ع. تافته، آ. ابراهیمی پاک، ن. و بابا زاده، ح. ۱۴۰۰c. برآورد ضرایب تنش، گیاهی و واکنش عملکرد به آب در بادام-زمینی تحت سطوح مختلف آبیاری. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.

فلاح قاهری، غ. و داداشی رودباری، ع. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی گندم بهاره توسط مدل CROPWAT در شهرستان مشهد. سومین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم. دانشگاه محقق اردبیلی.

Aboelill, A.A., Mehanna, H.M., Kassab, OM. and Abdallah, EF. 2012. The response of peanut crop to foliar spraying with potassium under water stress conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 6: 626-634.

Aydinsakir, K., Dinc, N., Buyuktas, D. and Bastug, R. Toker, R. 2016. Assessment of different irrigation levels on peanut crop yield and quality components under mediterranean conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 16:1-9.

Cecilia, M., Tojo, S., Suleiman, A., Anothai, j., Flitcroft, I. and Hoogenboom, G. 2013. Scheduling irrigation with a dynamic crop growth model and determining the relation between simulated drought stress and yield for peanut. Irrigation Science. 31: 889-901.

Cemal, K., Bakal, H., Gulluoglu, L. and Arioglu, H. 2017. The effect of twin row planting pattern and plant population on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at main crop planting in cukurova region of Turkey. Field Crops. 22(1): 24-31.

Devi, MJ., Sinclair, T.R. and Vadez, V. 2010. Genotypic variability among peanut (*Arachis hypogaea* l.) in sensitivity of nitrogen fixation to soil drying. Plant and Soil. 330:139-148.

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. irrigation and drainage. Paper No. 33. Food and Agricultural Organization. Rome. Italy. 193p.

تبخیر-تعرق از سطح خاک به علت سطح کم پوشش گیاهی در مراحل ابتدایی بالا بوده و پس از آن به‌مرور زمان میزان تبخیر از سطح خاک به علت توسعه پوشش گیاهی کاهش یافت. از این رو بیشترین تبخیر-تعرق در سال‌های ۹۶ و ۹۷ در تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در دو رقم جنوبی و گیل مشاهده شد. شاخص‌های آماری در مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده توسط سامانه نیاز آب نشان داد که در ارقام جنوبی و گیل، مقدار ضریب تبیین به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۶۴، میانگین مربعات خطا به ترتیب ۵۲/۶۰ و ۵۲/۲۴، میانگین انحراف خطا به ترتیب ۱۵/۵۳ و ۱۵/۰۳، شاخص توافق به ترتیب ۰/۹۵ و ۰/۷۵ و ضریب کارایی مدل نیز ۰/۹۵ و ۰/۷۶ بود که دارای تقریب خوبی بوده و حاکی از برآورد مناسب سامانه نیاز آب در تعیین مقدار مصرف واقعی آب آبیاری در شرایط تنش آبی را دارد.

منابع

احسانی، ع. ارزانی، ح. فرحپور، م. احمدی، ح. محمد جعفری، م. و اکبر زاده، م. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه مرتع و خاک به کمک برنامه نرم-افزار Cropwat (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۹ (۱): ۱-۱۶.

تافته، آ. نخجوانی مقدم، م. اصلان اگدرنژاد، م. سپهری صادقیان، س. ۱۳۹۹. بررسی توابع تولید در تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از ضرایب واکنش عملکرد بومی در ایران. تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱ (۱۰): ۲۵۲۹-۲۵۱۹.

تافته، آ.، اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی پاک، ن. ۱۳۹۷. بررسی توابع تولید محصول برای برآورد عملکرد گیاه کلزا در بازه‌های زمانی مختلف. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷ (۳): ۱۱۳-۱۰۳.

دهقانی‌سانج، ح. کنعانی، ا. اخوان، س. ۱۳۹۶. ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن و ارتباط آن‌ها با شاخص سطح برگ در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. نشریه آب و خاک. ۳۱ (۶): ۱۵۶۰-۱۵۴۹.

سعیدی، ر. ۱۴۰۰. جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۲ (۵): ۱۲۶۳-۱۲۷۳.

شیخ‌الاسلامی، ن. بیژن قهرمان، ب. مساعدی، ا. داوری، ک. مهاجر پور، م. ۱۳۹۳. پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه (مطالعه موردی: ایستگاه مشهد). نشریه آب و خاک

- Nkuna, R.T., Wang, C.T., Wang, X.Z., Tang, Y.Y., Wang, Z.W. and Zhang, J.C. 2021. Sodium azide induced high-oleic peanut (*Arachis hypogaea* L.) mutant of virginia type. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 68: 1759-1767.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2017. Reference manual AquaCrop. FAO. Land and Water Division. Rome. Italy. 25p.
- 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).
- Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N.A. and Kaveh, F. 2014a. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. *Irrigation and Drainage*. 63(5): 590-598.
- Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A. and Kaveh, F. 2013. Evaluation and improvement of crop production functions for simulation winter wheat yields with two types of yield response factors. *Journal of Agricultural Science* 5: 111-122.
- Tafteh, A., Ebrahimipak, N.A., Babazadeh, H. and Kaveh, F. 2014b. Determine yield response factors of important crops by different production functions in Qazvin plain. *Ecology, Environment and Conservation* 20(2): 415-422.
- Thangthong, N., Jogloy, S., Tساناي Punjansing, T., Craig, K. Kvien., Kesmala, T. and Vorasoot, N. 2019. Changes in root anatomy of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under different durations of early season drought. *Agronomy*. 9: 215. 1-18.
- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society*. 63: 1309-1313.
- Eberbach, P.L., Humphreys, E. and Kukal, S.S. 2011. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India. *Agricultural Water Management*. 98(12): 1847-185.
- El-Boraie, F.M., Abo-El-Ela, H.K. and Gaber, A.M. 2009. Water requirements of peanut grown in sandy soil under drip irrigation and biofertilization. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3: 55-65.
- El-Metwally, I. and Saady, H. 2021. Interactional impacts of drought and weed stresses on nutritional status of seeds and water use efficiency of peanut plants grown in arid conditions. *Gesunde Pflanzen*. 73: 407-416.
- Greaves, G. and Wang, Y. 2017. Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Plant Production Science*. 36:1-13.
- Gulluoglu, L., Bakal, H., Onat, B., El Sabagh, A. and Arioglu, H. 2016. Characterization of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil and fatty acids composition under different growing season under Mediterranean environment. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 4: 564-571.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*. 27: 337-350.
- Jongrunklang, N., Toomsan, B., Vorasoot, N., Jogloy, S., Boote, K., Hoogenboom, and G. Patanothai, A. 2011. Rooting traits of peanut genotype with different yield response to pre-flowering drought stress. *Field Crops Research*. 120: 262-270.

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

A. Abdzad Gohari^{1*}, A. Tafteh², N. Ebrahimipak³
Received: Jan.03, 2022 Accepted: Feb.24, 2022

Abstract

Estimating water requirement and determining the actual amount of water is one of the most important factors in the management of agricultural water resources and one of the requirements of any irrigation project. The present study was conducted to investigate the water requirement system in determining the actual amount of peanut irrigation water based on the inverse solution of yield function under water stress in two crop years 2017 and 2018 in Guilan province. The experimental design was performed in the form of split plots in a randomized complete block design with three replications. The main factor of irrigation management included rainfed and 40, 60, 80, 100% Water requirement supply and sub treatment included two cultivars of peanut Guil and Jonobi. The results showed that the highest evapotranspiration in supplying 100% of water requirement in 2017 and 2018 was 446.7 and 524.1 mm in the Jonobi cultivar and 438.5 and 521.9 mm in the Guil cultivar, respectively. In the measured and estimated values of irrigation need by the water requirement system, the values of the coefficient of determination in the Jonobi and Guil cultivars are 0.65 and 0.64 respectively, and the root mean square error for Jonobi and Guil cultivars were 52.60 and 52.24, respectively, and the mean error deviation was 15.53 and 15.03, respectively. The agreement Wilmot index and efficiency coefficient of the model in 2017 and 2018 were 0.95 and 0.75 for the Jonobi cultivar and 0.95 and 0.76 for the Guil cultivar, respectively. According to the available results and statistical indicators, the water demand system provided a reasonable estimate of the actual amount of irrigation water in two peanut cultivars.

Keywords: Evapotranspiration, Peanut cultivars, Sensitivity coefficient, Water use

1- Researcher, Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Assistant professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
3- Associated professor, Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(* - Corresponding Author Email: abdzadgohari_a@yahoo.com)