مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۲/ ۱۴۰۲. ص۱۵۹- ۱۶۹
https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361550.978

استفاده از سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب مصرفی سویا بر اساس حل معکوس توابع عملکرد در شرایط مختلف آبیاری

علی عبدزادگوهری*، امیر نیک‌اختر، نیازعلی ابراهیمی‌پاک و آرش تافته

محقق، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
abdzadgohari_a@yahoo.com
کارشناس ارشد، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، بندرعباس، ایران.**amirnik1367@gmail.com**
دانشیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
Nebrahimipak@yahoo.com
استادیار، بخش تحقیقات مدیریت آب در مزرعه، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
Arash_tafteh@yahoo.com

دریافت: اسفند ۱۴۰۱ و پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

چکیده

مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سامانه "نیاز آب" را برای برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی در سطح منطقه، شهرستان و دشت‌های کشور ارائه نموده است. پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) در تعیین مقدار آب مصرفی واقعی گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع عملکرد انجام شد. تیمارهای کودی آزمایشی شامل بدون کود و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با تیمارهای مختلف آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰٪ نیاز آبی بود که به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان حاجی‌آباد، واقع در استان هرمزگان در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا گردید. مقادیر برآورد شده توسط سامانه و اندازه‌گیری شده نشان داد که میانگین خطای نسبی در میزان تبخیر و تعرق، در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس در سال اول به‌ترتیب ۷/۴۹٪، ۰/۰۵-٪ و ۹/۱۴٪ و در سال دوم به‌ترتیب ۶/۴۷٪، ۱/۲۹-٪ و ۹/۰۶٪ بود. میانگین خطای نسبی در بهره‌وری فیزیکی آب در روش‌های مذکور در سال اول به‌ترتیب ۸/۲۳-٪، ۰/۷۳-٪ و ۱۰/۰۸-٪ و در سال دوم به‌ترتیب ۷/۱۰-٪، ۰/۵۸٪ و ۱۰/۰۷-٪ را نشان داد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۴۳، ۳۵ و ۴۹ میلی‌متر و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال (RMSEn) به‌ترتیب ۰/۰۹۳٪، ۰/۰۷۶٪ و ۰/۱۰۵٪ بود. به‌طور کلی و با توجه به‌نتایج آماری، سامانه نیاز آب، مقدار آب آبیاری و میزان تبخیر و تعرق را با تقریب مناسبی برآورد نمود و می‌توان از آن در تخمین آب مصرفی در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، روش تافته، روش پاسکوئله ، روش ریس، سویا رقم ویلیامز

* - آدرس ایمیل نویسنده مسئول: abdzadgohari_a@yahoo.com

مقدمه

سویا (*Glycine max L.*) از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی و یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی، کربوهیدرات‌ها و سایر مواد مغذی است که برای تغذیه انسان و دام مهم است (کور و همکاران، ۲۰۱۷). زراعت این گیاه در ایران از نظر تأمین بخشی از روغن مورد نیاز، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). کمبود رطوبت یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد سویا است و تنش آب در بسیاری از مراحل نمو سویا، عملکرد محصول را کاهش داده و اثرات منفی آن در طی گل‌دهی و تشکیل دانه و پر شدن دانه آن مهم است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴؛ اوبر و شارپ، ۲۰۰۳؛ ویو و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعه واکنش گیاه سویا به‌تنش رطوبتی و تعیین نیاز آبی آن می‌تواند به‌میزان قابل توجهی از کاهش محصول جلوگیری کند. با توجه به‌محدودیت منابع آب، افزایش تولید از طریق افزایش عملکرد به‌ازای هر واحد آب مصرفی ضرورت دارد و برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت کم‌آبیاری می‌تواند با تنظیم و تأمین مقدار مناسب آبیاری مخصوصاً در مراحل حساس رشد گیاه، سبب بهبود بهره‌وری آب و میزان عملکرد محصول گردد (اکبری نودهی، ۱۳۹۱؛ بیوزو و همکاران، ۲۰۱۹؛ سیسکانی و همکاران، ۲۰۱۵). بهره‌وری آب آبیاری از نسبت عملکرد محصول به‌میزان آب آبیاری به‌دست می‌آید و ارتقاء بهره‌وری با هدف تولید بیش‌تر به‌ازای مصرف آب کم‌تر، به‌عنوان یکی از گزینه‌های راهبردی مؤثر در مدیریت آبیاری تحت شرایط کم‌آبی قلمداد می‌گردد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴). در پژوهشی موسوی و همکاران، (۱۳۹۴) ارزیابی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری محدود بر عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ سویا شامل ویلیامز،L17 و هابیت را در سال‌های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در رشت بررسی نمودند و گزارش کردند که آبیاری در دو سال زراعی باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در ژنوتیپ‌های سویا شد. بیشترین عملکرد دانه در سال ۱۳۹۲ مربوط به تیمار یک نوبت آبیاری و در رقم L17 و در سال ۱۳۹۳ مربوط به تیمار سه نوبت آبیاری و رقم L17 به ترتیب برابر ۴۶۱۶ و ۴۱۹۸ کیلوگرم در هکتار بود. در سال-های زراعی ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ ژنوتیپ L17 نسبت به دو ژنوتیپ دیگر دارای بیش‌ترین میانگین عملکرد دانه به-ترتیب با وزن ۳۹۳۲ و ۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار بود و بالاترین بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب مربوط به تیمار یک نوبت آبیاری و در رقم L17 و سه نوبت آبیاری در رقم L17 به‌میزان ۱/۷۲ و ۰/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود. در پژوهشی وحدی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر سطوح رژیم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا در ارومیه بررسی کردند و گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، صفات عملکرد بیولوژیک و دانه کاهش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی شدید به‌دست آمد. همچنین تنش آبی شدید، عملکرد دانه را نسبت به آبیاری مطلوب در ارقام آنیون، ویلیامز و کلارک به‌ترتیب ۱۱، ۵۴ و ۶۳ درصد کاهش داد و در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی شدید، بیشترین عملکرد دانه در رقم آنیون حاصل شد. در پژوهشی رستمی اجیرلو و همکاران (۱۳۹۶) چهار سطح آبیاری کامل و تأمین ۸۰، ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی را در ارقام ویلیامز، M9 و زان بررسی نمودند و گزارش کردند که کم‌آبیاری در تمامی سطوح موجب کاهش عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی در تمامی ارقام شد و در تیمار آبیاری کامل، بالاترین میزان عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب با ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۰/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب در رقم ویلیامز بود.

نیتروژن به‌عنوان یک عنصر پرمصرف و به‌علت نقش داشتن در ساخت اسیدهای آمینه، آمیدها، نوکلوپروتئین‌ها، آنزیم‌ها، افزایش رشد سبزینه‌ای و شدت رنگ سبز برگ‌ها و افزایش تولید دانه، مهم‌ترین و ضروری‌ترین عنصر در تغذیه گیاهان است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۴؛ رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). سویا نیاز نیتروژن خود را عمدتاً از طریق نیتروژن بیولوژیکی همزیستی یا با جذب نیتروژن از خاک انجام می‌دهد.

نیتروژن بیولوژیکی به‌طور متوسط، فقط ۵۰ تا ۶۰ درصد از نیتروژن سویا را تأمین می‌کند که تنها برای دستیابی به ۸۰ تا ۹۰ درصد از عملکرد سویا کافی است و هرگونه خلأ بین تقاضای نیتروژن در سویا و تأمین آن توسط گیاه باید از منابع دیگر تأمین شود (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳؛ کور و همکاران، ۲۰۱۷). ازآنجایی‌که تنش آبی، جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برقراری تناسب میان مصرف نیتروژن و میزان آب در خاک ضروری است (زندپارسا و همکاران، ۱۳۹۹؛ گروس و همکاران، ۲۰۱۷). عدم دسترسی به نیتروژن کافی، معمولاً عاملی مهم محدودکننده رشد و عملکرد گیاه است؛ بنابراین، کاربرد استراتژیک کود نیتروژن یک ابزار مدیریتی مهم است که برای افزایش عملکرد استفاده می‌شود. آب و نیتروژن دو عامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد سویا و در نتیجه بهره‌وری آب هستند و آب آبیاری، عامل انتقال نیتروژن و سایر عناصر غذایی است. میزان نیتروژن خاک کاملاً به‌میزان آب آبیاری و میزان مصرف کود نیتروژن وابسته است. نیتروژن در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش بسزایی در افزایش محصول دارد و در دسترس بودن نیتروژن می‌تواند بر میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ تأثیر بگذارد، اما اغلب دلیل اصلی تأثیر زیاد نیتروژن اضافی بر رشد محصول این است که سطح برگ در هر بوته افزایش یافته و در نتیجه سطح برگ در واحد سطح زمین افزایش می‌یابد که منجر به افزایش فتوسنتز محصول می‌شود. برهم‌کنش آب و نیتروژن از اهمیت بالایی برخوردار است و در شرایط تنش، با مصرف کود نیتروژن (نسبت به شرایط بدون مصرف کود)، افزایش تبخیر و تعرق محسوس است. زند پارسا و همکاران، (۱۳۹۹) بیان کردند که استفاده از نیتروژن موجب افزایش ماده خشک و دانه در گندم می‌شود و علاوه بر آن، باعث تسریع رشد سبزینه‌ای، افزایش بخش هوایی گیاه و افزایش تبخیر-تعرق می‌گردد و در شرایط تنش خشکی، موجب بیشتر شدن توان جذب آب از اعماق خاک می‌شود.

مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سامانه‌ای تحت عنوان نیاز آبی گیاهان کشور را ارائه نمود که توانایی برآورد و تعیین نیاز آبی، آب مصرفی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی را در سطح منطقه، شهرستان، حوضه آبریز و دشت دارد. این سامانه چند هسته‌ای بوده و دارای بانک‌های اطلاعاتی منحصر به‌فرد در مقیاس ملی است که بر اساس جدیدترین روش‌های علمی، آب مصرفی را در سطوح مختلف کشت تخمین زده و آن را در اختیار بهره‌برداران قرار می‌دهد. این سامانه قابلیت به‌روزرسانی داشته و تمامی اطلاعات و بانک‌های معرفی شده به‌صورت مستمر به هنگام می‌شوند (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۴۰۱). پژوهشگران متعددی، سامانه نیاز آب را در گیاهان مختلف با مدیریت‌های متفاوت آبیاری مورد بررسی قرار دادند. به‌طوری‌که در پژوهشی عبدزادگوهری و همکاران، (۱۴۰۱) مدیریت آبیاری شامل دیم و تأمین ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی را برای دو رقم بادام‌زمینی با استفاده از سامانه نیاز آب کشور بررسی نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین تبخیر و تعرق در ارقام مورد بررسی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی واقعی گیاه در سال‌های ۹۶ و ۹۷ بین ۴۳۹ و ۵۲۴ میلی‌متر متغیر بود و مقادیر خطای نسبی برای شرایط اندازه‌گیری و برآورد شده بین ۱/۷۶- و ۴۶/۷۰- درصد قرار داشت. در پژوهشی دیگر، صداقت و همکاران (۱۴۰۱) به ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و مقایسه آن با نتایج سامانه نیاز آب در استان قزوین پرداختند و برآورد مناسب سامانه نیاز آب و همچنین میانگین دمای هوای روزانه را مهم‌ترین پارامتر هواشناسی تأثیرگذار در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع گزارش کردند. با توجه به محدودیت منابع آبی کشور، دقت و صرفه‌جویی در مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی که حجم زیادی از آب مصرفی را به خود اختصاص داده است، امری اجتناب‌ناپذیر است، ازاین‌رو برآورد نیاز آبی و تعیین مقدار آب واقعی گیاه، از عوامل مهم در مدیریت آب در کشاورزی است. لذا هدف از این مطالعه، بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار آب آبیاری گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه سویا رقم ویلیامز بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد انجام شد. تیمارهای آزمایشی در این پژوهش شامل بدون کود (N_1) و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N_2) تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری در شرایط ۱۰۰ (I_4)، ۸۰ (I_3)، ۶۰ (I_2) و ۴۰ (I_1) درصد نیاز آبی بود که به‌صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در استان هرمزگان و در شهرستان حاجی‌آباد با عرض جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۲۸ درجه و ۱۸ دقیقه با ارتفاع متوسط ۱۱۹۶ متر از سطح دریا در سال‌های زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا گردید. داده‌های هواشناسی دوره مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی حاجی‌آباد دریافت شد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش، از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک برای تعیین مشخصات خاک نمونه‌برداری گردید (جدول ۲). رقم کشت‌شده در این تحقیق ویلیامز بود. در اواسط اردیبهشت، زمین محل آزمایش برای از بین بردن کلوخه‌ها دیسک زده شد و تاریخ کاشت سویا ۳۰ اردیبهشت‌ماه بود. قبل از کشت نیز، بذر در قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شد و در عمق سه سانتی‌متری خاک‌کشت گردید. بر اساس آزمون خاک، در ابتدای فصل کشت، ۵۰ کیلوگرم کود فسفر (سوپرفسفات‌تریپل) و ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (سولفات-پتاسیم) استفاده گردید. مصرف کود نیتروژن در سه نوبت و به‌طور یکسان در مرحله قبل از کشت، سه هفته بعد از کشت و در ابتدای گلدهی، به خاک داده شد. در مرحله داشت، سه مرحله وجین جهت کنترل علف‌هرز در طی سه مرحله انجام پذیرفت. پس از رسیدگی گیاه، اقدام به‌اندازه-گیری عملکرد و بهره‌وری مصرف آب شد. روش آبیاری استفاده‌شده در این تحقیق از نوع آبیاری جوی‌پشته‌ای بود. فاصله بین دو ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین گیاهان در هر ردیف پنج سانتی‌متر بود. برای تعیین تبخیر و تعرق در تیمارهای آبیاری، از شاخص تخلیه رطوبتی خاک و روش بیلان رطوبت استفاده شد (رابطه ۱) و نیاز آبی گیاه به‌عنوان تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آبیاری، درصدی از این میزان منظور گردید. برای دستیابی به تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری، رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه، با احتساب راندمان ۹۰ درصد به‌نحوی محاسبه گردید که رطوبت خاک تا عمق ریشه به‌حد ظرفیت مزرعه برسد (رابطه ۲). مدت زمان آبیاری بر اساس رسیدن آب به جبهه رطوبتی در اطراف عمق ریشه گیاه بود.

$$ETc = I + P - D - R \pm \Delta S \quad (۱)$$

$$d_n = (\theta_{Fc} - \theta_i).\rho_b.D_r \quad (۲)$$

θ_{Fc}: درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی. θ_i: درصد وزنی رطوبت موجود در خاک. ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب). D_r: ارتفاع مؤثر ریشه (سانتی‌متر). تعیین رطوبت لایه‌های مختلف خاک به‌روش وزنی انجام شد. اندازه‌گیری مقدار آب تحویلی به هر واحد آزمایشی با کنتور انجام شد. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از مجموع آب آبیاری و مقدار بارندگی مؤثر تأمین شد (جدول ۳). برای اجرای صحیح نمونه‌برداری و حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های ردیف کناری و نیز بوته-های واقع‌شده در ابتدا و انتهای کرت‌ها در نظر گرفته نشدند. برای تعیین عملکرد، ۱۲ بوته به‌طور تصادفی انتخاب گردید. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از گیاه جدا و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به-وسیله ترازوی دقیق یک صدم توزین، سپس به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید. بهره‌وری فیزیکی آب سویا بر مبنای تبخیر و تعرق، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (لاوسون و سادراس، ۲۰۱۳).

$$WP = Y/ET \quad (۳)$$

که در آن: Y عملکرد دانه سویا (کیلوگرم در هکتار) و ET بیانگر تبخیر و تعرق کل (میلی‌متر) در طول فصل رشد است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد

ماه‌های مورد مطالعه	اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد		شهریور	
سال	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۴۰۰
بارندگی (میلی‌متر)	۳۱/۳	۳۲/۸	۸/۵	۹/۵	۳۰/۰	۳۰/۵	۱۵/۱	۱۲/۳	۱	۰
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۴۱/۴	۴۰/۲	۳۲/۲	۳۳/۳	۳۱/۳	۳۰/۲	۳۶/۵	۳۵/۷	۲۴/۹	۲۵/۴
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۱/۸۸	۱/۹۸	۱/۸۰	۱/۹۳	۲/۰	۲/۰۸	۱/۹۹	۲/۲۶	۲/۷۰	۲/۸۱
حداکثر دما (سانتی‌گراد)	۳۹/۰	۳۸/۴	۴۶/۶	۴۵/۵	۴۴	۴۴/۶	۴۵	۴۴/۵	۴۲	۴۱/۶
حداقل دما (سانتی‌گراد)	۱۲/۱	۱۱/۲	۱۷/۵	۱۶/۸	۲۱	۲۰	۲۳	۲۲	۱۵	۱۴/۷
تبخیر از تشتک (میلی‌متر در روز)	۶/۹	۶/۷	۱۲/۴	۱۱/۹	۱۳/۶	۱۳/۱	۱۲/۱	۱۲	۱۱/۴	۱۱/۰

جدول ۲- خصوصیات مربوط به خاک در مزرعه آزمایشی

عمق خاک (سانتی-متر)	هدایت الکتریکی (dS/m)	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک
۳۰-۰	۱/۹	۰/۴۸۴	۰/۰۳۱	۴/۰۳	۱۰۵	۸	۳۲	۶۰	لومی شنی
۶۰-۳۰	۱/۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۵	۳/۳۶	۱۳۱	۱۰	۳۵	۵۵	لومی شنی

میزان ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در عمق ۰-۳۰ به ترتیب ۱۸/۱ و ۷ درصد و در عمق ۳۰-۶۰ به ترتیب ۲۰/۲ و ۸/۱ درصد بود

جدول ۳- مقدار آب مصرفی در مدیریت‌های مختلف آبیاری

مدیریت آبیاری	سال ۱۳۹۹	سال ۱۴۰۰
۴۰ درصد نیاز آبی	۲۶۴/۶	۲۵۹/۰
۶۰ درصد نیاز آبی	۳۵۴/۱	۳۴۷/۰
۸۰ درصد نیاز آبی	۴۴۳/۶	۴۳۵/۰
۱۰۰ درصد نیاز آبی	۵۳۳/۲	۵۴۰/۸

در سامانه نیاز آب، میزان تبخیر و تعرق بر اساس عملکرد پتانسیل و واقعی از روش‌های ریس (۲۰۰۴)، تافته (۲۰۱۴) و پاسکوئله بر مبنای فائو ۶۶ از پژوهش ریس (۲۰۱۷) استفاده شد که به‌ترتیب در روابط ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. هر سه‌روش ارزیابی، حساسیت محصول را بر روی بازه‌ها و توان‌های مختلف بررسی می‌کنند.

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

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}} \quad (۴)$$

$$y_a = \sum_{i}^{n} Bi \times HI \quad , \quad Bi = \left(\frac{ET_{ai}}{ET_{mi}}\right) \times \sum_{1}^{n} ET_{ai} \quad (۵)$$

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 و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق استاندارد در زمان j، Δ_{tj} بازهٔ زمانی موردنظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد است. در معادله پاسکوئله، n شماره روز پس از کشت، (B_i) مقدار زیست‌توده در هر بازه و (HI) شاخص برداشت محصول است. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده، در انتهای فصل زراعی از نرم‌افزار MSTATC برای مقایسه میانگین داده‌ها و از نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد. در تکنیک حل معکوس تابع تولید، مقادیر عملکرد برای هر تیمار به سامانه وارد می‌شود و متناسب با آن، مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست آید. سپس با مقادیر به‌دست آمده از مزرعه مقایسه می‌گردد. برای ارزیابی نتایج سامانه با داده‌های مزرعه‌ای، از روابط ۶ تا ۱۱ استفاده شد.

$$MRE = \frac{O_i - P_i}{O_i} \times 100 \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right)} \quad (۷)$$

$$RMSE_n=[(\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2/n)^{0.5}/\overline{O}]\times 100 \quad (۸)$$

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

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

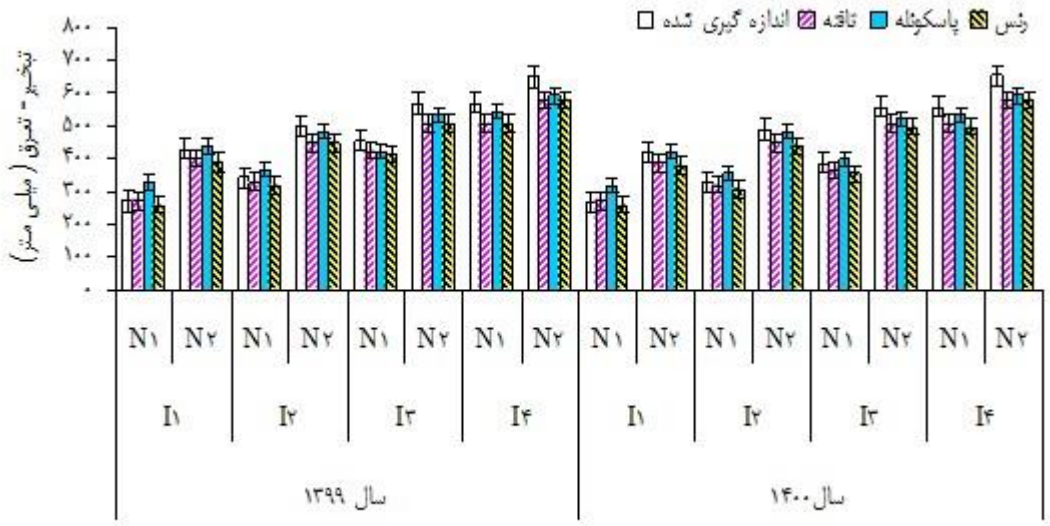
$$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i-\overline{O}|+|O-\overline{O})^2} \quad (۱۱)$$

که در آن: MRE میانگین خطای نسبی، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا، $RMSE_n$ ریشه میانگین مربعات خطای نرمال، EF ضریب کارایی مدل، d شاخص توافق یا سازگاری و R^2 ضریب تبیین است. پارامترهای O، P، $\overline{O}$ و n به‌ترتیب داده مشاهده‌شده، برآورد شده و میانگین داده‌های مشاهده‌ای و تعداد مشاهدات است. در ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده، اگر مقادیر MRE و RMSE به‌صفر و مقادیر d، EF و R^2 به یک 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 (جامیسون و همکاران، ۱۹۹۱). 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 شبیه‌سازی‌شده قابل اطمینان‌تر است (ویلموت و همکاران، ۱۹۸۲).

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که با مصرف آب تا تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تبخیر و تعرق در سویا روند صعودی داشت. از طرفی، میزان تبخیر و تعرق برآورد شده توسط سامانه نیاز آب (شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس) با شرایط اندازه‌گیری شده، دارای روندی مشابه بود (شکل ۱). برآورد مقادیر تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف آبیاری در سال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های موجود در سامانه نیاز آب و روش حل معکوس تابع تولید نشان داد که میزان تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه مقدار ثابتی نیست و شرایط مدیریت آبیاری و کود نیتروژن بر میزان تبخیر و تعرق تأثیرگذار است. بیشترین تبخیر و تعرق در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن رخ داد، به‌طوری‌که در حالت اندازه-گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر و تعرق در سال اول به‌ترتیب ۶۵۰/۳، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر و در سال دوم به‌ترتیب ۶۵۴/۴، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر بود و میانگین خطای نسبی در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس در سال اول به‌ترتیب ۷/۴۹، ۷/۳۲ و ۹/۱۴ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۶/۴۷، ۶/۷۴ و ۹/۰۶ درصد بود (جدول ۴). بهره‌وری فیزیکی آب در سال اول و دوم در شرایط اندازه‌گیری شده، روش تافته، پاسکوئله و ریس در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در سال ۱۳۹۹ با عملکرد دانه ۳۰۱۴ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۰/۴۶، ۰/۵۲، ۰/۵۱ و ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال ۱۴۰۰ با عملکرد دانه ۲۲۸۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۰/۵۱، ۰/۵۴، ۰/۵۰، ۰/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب بود. میانگین خطای نسبی در روش-های تافته، پاسکوئله و ریس برای مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده بهره‌وری فیزیکی آب در تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن در سال اول به‌ترتیب ۸/۲۳، ۷/۰۸ و ۱۰/۰۸ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۷/۱۰، ۶/۴۵ و ۱۰/۰۷ درصد بود (جدول ۵). احسانی و همکاران (۱۳۹۱) و عبدزادگوهری و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که در طول دوره رشد گیاه، میزان تبخیر و تعرق مقدار ثابتی نیست و علاوه بر این، شرایط محیطی نیز بر میزان تبخیر و تعرق مؤثر است. به‌عبارتی، شدت تبخیر و 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. ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی مدیریت‌های مختلف آبیاری را در گندم با استفاده از سامانه نیاز آب بررسی نمودند و گزارش کردند که عملکرد دانه دارای ریشه میانگین خطای

نرمال ۰/۱۷ درصد و ضریب توافق ۰/۹۵ بود و در راندمان کاربرد آب آبیاری، ریشه میانگین خطای نرمال ۰/۱۹ درصد و ضریب توافق ۰/۹۳ برآورد شد که ضریب کارایی نشان-دهنده نتایج قابل‌قبول در تعیین مقدار آب آبیاری در سطح مزرعه است.



شکل ۱- تبخیر و تعرق برآورد شده یا استفاده از سامانه و اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن (I_1)، (I_2)، (I_3) و (I_4) به‌ترتیب شامل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و (N_1) و (N_2) مقادیر کود نیتروژن شامل صفر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار

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

سال‌ها	تیمارها	تبخیر و تعرق (میلی‌متر)				درصد خطای نسبی در تبخیر و تعرق		
		اندازه‌گیری شده	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس
۱۳۹۹	I_1N_1	۲۷۲/۵	۲۶۹/۹	۳۲۹/۴	۲۵۸/۱	۰/۹	۲۰/۹	۵/۳
	I_1N_2	۴۲۸/۳	۴۰۰/۶	۴۳۶/۳	۳۸۸/۸	۶/۵	۱/۹	۹/۲
	I_2N_1	۳۴۲/۰	۳۲۹/۴	۳۶۵/۰	۳۱۷/۵	۳/۷	۶/۷	۷/۲
	I_2N_2	۴۹۷/۲	۴۴۸/۱	۴۸۳/۸	۴۴۸/۱	۹/۹	۲/۷	۹/۹
	I_3N_1	۴۵۷/۰	۴۲۴/۴	۴۲۴/۴	۴۱۲/۵	۷/۱	۷/۱	۹/۷
	I_3N_2	۵۶۶/۴	۵۰۷/۷	۵۳۱/۷	۵۰۷/۷	۱۰/۴	۶/۱	۱۰/۴
	I_4N_1	۵۶۷/۳	۵۰۷/۷	۵۴۳/۷	۵۰۷/۷	۱۰/۵	۴/۲	۱۰/۵
	I_4N_2	۶۵۰/۳	۵۷۹/۷	۵۹۱/۷	۵۷۹/۷	۱۰/۹	۹/۰	۱۰/۹
میانگین سال اول		۴۷۲/۶	۴۳۳/۴	۴۶۳/۲	۴۲۷/۵	۷/۴۹	۷/۳۲	۹/۱۴
۱۴۰۰	I_1N_1	۲۶۵/۶	۲۶۹/۹	۳۱۷/۵	۲۵۸/۱	۱/۶	۱۹/۶	۲/۸
	I_1N_2	۴۲۰/۴	۳۸۸/۸	۴۲۴/۴	۳۷۶/۹	۷/۵	۱/۰	۱۰/۳
	I_2N_1	۳۲۹/۲	۳۱۷/۵	۳۵۳/۱	۳۰۵/۶	۳/۶	۷/۳	۷/۲
	I_2N_2	۴۸۸/۵	۴۴۸/۱	۴۸۳/۸	۴۳۶/۳	۸/۳	۱/۰	۱۰/۷
	I_3N_1	۳۸۴/۳	۳۶۵/۰	۴۰۰/۶	۳۵۳/۱	۵/۰	۴/۲	۸/۱
	I_3N_2	۵۵۶/۲	۵۰۷/۷	۵۱۹/۷	۴۹۵/۷	۸/۷	۶/۶	۱۰/۹
	I_4N_1	۵۵۷/۵	۵۰۷/۷	۵۳۱/۷	۴۹۵/۷	۸/۹	۴/۶	۱۱/۱
	I_4N_2	۶۵۴/۴	۵۷۹/۷	۵۹۱/۷	۵۷۹/۷	۱۱/۴	۹/۶	۱۱/۴
میانگین سال دوم		۴۸۴/۴	۴۲۳/۰	۴۵۲/۸	۴۱۲/۶	۶/۴۷	۶/۷۴	۹/۰۶

شامل تأمین ۴۰ (I_1)، ۶۰ (I_2)، ۸۰ (I_3) و ۱۰۰ (I_4) درصد نیاز آبی و مقادیر کود نیتروژن شامل صفر (N_1) و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (N_2)

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

سال‌ها	تیمارها	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	آب مصرفی	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)				درصد خطای نسبی بهره‌وری فیزیکی آب		
				اندازه‌گیری شده	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس	روش تافته	روش پاسکوئله	روش ریس
۱۳۹۹	I_1N_1	۱۵۸۶g	۲۶۸/۷	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۹۵	۱۷/۲۸	۵/۵۷
	I_1N_2	۲۱۷۵d	۳۹۹/۵	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۶	۶/۹۲	۱/۸۳	۱۰/۱۷
	I_2N_1	۱۸۴۹f	۳۲۸/۲	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۵۸	۳/۸۳	۶/۳۰	۷/۷۲
	I_2N_2	۲۴۳۵c	۴۷۰/۸	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۴	۱۰/۹۶	۲/۷۸	۱۰/۹۶
	I_3N_1	۲۲۸۳d	۴۳۵/۲	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۵	۷/۶۸	۷/۶۸	۱۰/۷۹
	I_3N_2	۲۶۹۷b	۵۳۰/۳	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۳	۱۱/۵۶	۶/۵۳	۱۱/۵۶
	I_4N_1	۲۷۰۰b	۵۳۰/۷	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۵۳	۱۱/۷۳	۴/۳۳	۱۱/۷۳
	I_4N_2	۳۰۱۴a	۶۰۲/۳	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۱۲/۱۸	۹/۹۰	۱۲/۱۸
میانگین سال اول		۲۳۴۲	۴۴۵/۷	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۵	۸/۲۳	۷/۰۸	۱۰/۰۸
۱۴۰۰	I_1N_1	۱۵۶۰g	۲۴۴/۸	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۴۹	۰/۶۰	۱/۶۱	۱۶/۳۶	۲/۸۹
	I_1N_2	۲۱۴۵d	۳۷۵/۸	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۵۷	۸/۱۳	۰/۹۴	۱۱/۵۴
	I_2N_1	۱۸۰۰f	۲۹۲/۵	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۵۹	۳/۶۹	۶/۷۷	۷/۷۲
	I_2N_2	۲۴۰۲c	۴۲۳/۴	۰/۴۹	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۵	۹/۰۲	۰/۹۸	۱۱/۹۷
	I_3N_1	۲۰۰۹e	۳۴۰/۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۵۷	۵/۳۰	۴/۰۶	۸/۸۵
	I_3N_2	۲۶۵۸b	۴۸۲/۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۴	۹/۵۶	۷/۰۳	۱۲/۲۱
	I_4N_1	۲۶۶۳b	۴۸۲/۹	۰/۴۸	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۵۴	۹/۸۱	۴/۸۵	۱۲/۴۷
	I_4N_2	۳۰۲۹a	۵۶۶/۲	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۲	۱۲/۸۹	۱۰/۶	۱۲/۸۹
میانگین سال دوم		۲۲۸۳	۴۰۱/۱	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۶	۷/۱۰	۶/۴۵	۱۰/۰۷

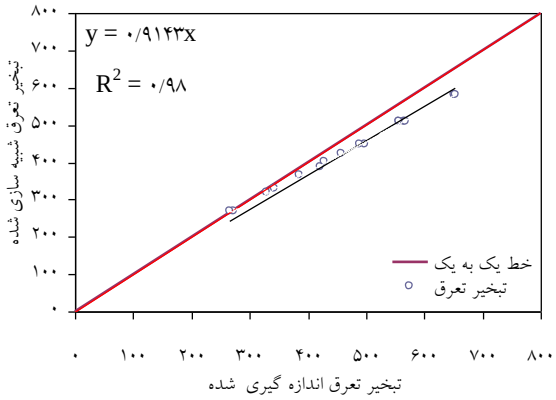
شامل تأمین ۴۰ (I_1)، ۶۰ (I_2)، ۸۰ (I_3) و ۱۰۰ (I_4) درصد نیاز آبی و مقادیر کود نیتروژن شامل صفر (N_1) و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار (N_2). حروف مختلف بعد از اعداد در ستون مشاهده‌ای، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها است ($p < 0.01$)

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تبخیر و تعرق روزانه در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۴۳، ۳۵ و ۴۹ میلی‌متر در روز و کمترین ریشه میانگین مربعات خطای نرمال ($RMSE_n$) به‌ترتیب با ۰/۰۹۳، ۰/۰۷۶ و ۰/۱۰۵ درصد مشاهده شد. شاخص توافق یا سازگاری (d) در روش تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب با ۰/۹۶، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ درصد و ضریب کارایی (EF) مدل به‌ترتیب با ۰/۸۷۸، ۰/۹۱ و ۰/۸۳ بود (جدول ۶). نتایج مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با استفاده از سامانه نشان داد که مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده با استفاده از سامانه به‌خط یک‌به‌یک نزدیک بود و مقادیر ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۷ و ۰/۹۹ درصد است (شکل‌های ۲ تا ۴). ارتباط مناسب و مقادیر بالای ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس را ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) در گیاه کلزا گزارش نمودند. عبدزادگوهری و همکاران (۱۴۰۱) ارقام بادام‌زمینی را در سامانه نیاز آب بررسی کردند و بیان نمودند 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 نشان‌دهنده برآورد مناسب مقدار واقعی آب آبیاری توسط سامانه نیاز آب بود. در پژوهشی امداد و همکاران (۱۴۰۱) تیمارهای تخلیه رطوبتی را بر اساس ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد در مراحل مختلف رشد بر روی گیاه کینوا، با مدل‌های آکواکراپ و سامانه نیاز آب بررسی نمودند و گزارش کردند که در شاخص‌های آماری مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده، برای ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مدل آکواکراپ و سامانه نیاز آب به‌ترتیب ۹ و ۶ درصد و همچنین ضریب کارایی برای مدل و سامانه حدود ۰/۹۸ بود که بیانگر دقت و

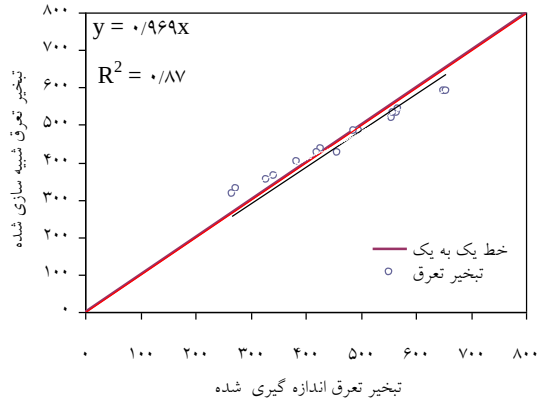
همخوانی نتایج با شرایط اندازه‌گیری شدهٔ تبخیر و تعرق است. جعفری نجف‌آبادی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی تعیین نیاز آبی و آب کاربردی فلفل‌دلمه‌ای در گلخانه را در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه بررسی و با سامانه نیاز آب مورد مقایسه قرار دادند که نتایج شاخص‌های آماری RMSE، $RMSE_n$، d و EF به‌ترتیب برابر با ۳۸/۵۵، ۰/۲۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۵ بود.

جدول ۶- نتایج آنالیز آماری تبخیر و تعرق با توابع تولید موجود در سامانه نیاز آب

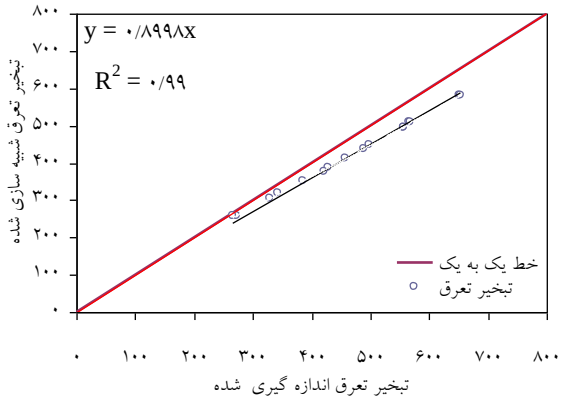
روش‌های سامانه	RMSE (mm/day)	$RMSE_n$ (%)	d (%)	EF (%)
روش تافته	۴۳	۰/۰۹۳	۰/۹۶	۰/۸۷
روش پاسکوئله	۳۵	۰/۰۷۶	۰/۹۷	۰/۹۱
روش ریس	۴۹	۰/۱۰۵	۰/۹۵	۰/۸۳



شکل ۲- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش تافته و همکاران، ۲۰۱۴



شکل ۳- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش پاسکوئله و همکاران، ۲۰۱۷



شکل ۴- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط سامانه با استفاده از روش ریس و همکاران، ۲۰۰۴

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تبخیر و تعرق و میزان آب مصرفی گیاه سویا بر اساس حل معکوس تابع تولید بررسی گردید و با داده‌های سامانه نیاز آب که شامل روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین تبخیر و تعرق در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن بود، به‌طوری‌که در شرایط اندازه‌گیری شده و روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس، میزان تبخیر و تعرق در سال اول به‌ترتیب ۶۵۰/۳، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر و در سال دوم به‌ترتیب ۶۵۴/۴، ۵۷۹/۷، ۵۹۱/۷ و ۵۷۹/۷ میلی‌متر بود. نتایج میزان تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده

حاکی از آن بود که مقادیر حاصله به‌خط یک‌به‌یک نزدیک بوده و میزان ضریب تبیین در روش‌های تافته، پاسکوئله و ریس به‌ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۷ و ۰/۹۹ درصد را نشان داد. به‌طورکلی و با توجه به‌نتایج آماری و برآورد مناسب بین داده‌های مزرعه‌ای و سامانه نیاز آب در تعیین مقدار مصرف واقعی آب آبیاری، می‌توان از سامانه نیاز آب کشور به‌عنوان یک ابزار مناسب در تخمین آب مصرفی و تصمیم‌گیری در سطوح منطقه‌ای و استانی استفاده نمود.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی‌پاک، ن.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳): ۷۱۵-۷۲۶.

۲. ابراهیمی‌پاک، ن.، تافته، آ.، حسینی، ن. و کیخایی، ف. ۱۴۰۱. سامانه نیاز آب. موسسه تحقیقات خاک و آب. (http://niwr.ir).

۳. احسانی، ع.، ارزانی، ح.، فرح‌پور، م. و جعفری، م. ۱۳۹۱. تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های اقلیمی، ویژگی‌های گیاهی و نرم‌افزار Cropwat 8 (مطالعه موردی: منطقه استپیک استان مرکزی، ایستگاه رودشور). نشریه تحقیقات مرتع و بیابان ایران. ۱۹(۱): ۱-۱۶.

۴. اکبری نودهی، د. ۱۳۹۱. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و کارایی مصرف آب سویا در مازندران. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲ (۱): ۱۳-۲۳.

۵. امداد، م.، تافته، آ. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۴۰۱. کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری. نشریه آب‌وخاک. ۳۶ (۳): ۳۱۹-۳۳۱.

۶. امینی‌فر، ج.، بیگلویی، م.، محسن‌آبادی، غ. و سمیع‌زاده، ح. ۱۳۹۰. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب در هفت رقم سویا در منطقه رشت. نشریه دانش آب‌وخاک. ۲۱ (۴): ۸۱-۹۱.

۷. جعفری نجف‌آبادی، م.، تافته، ع. و ابراهیمی پاک، ن. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی و آب مصرفی فلفل دلمه‌ای در گلخانه و مقایسه آن با نتایج سیستم نیاز آبی. نشریه تحقیقات آب‌وخاک ایران. ۵۳ (۸): ۱۸۳۱-۱۸۴۸

۸. حیدری، ح.، بدیعی، ص.، غلامی،ک. و مجیدی‌زاده، ل. ۱۳۹۴. تأثیر کود نیتروژن بر گیاهان. دومین همایش یافته‌های نوین در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی.

۹. رستمی‌اجیرلو، ا.، اصغری‌پور، م.، قنبری، ا.، جودی، م. و خرمی‌وفا، م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، خصوصیات کیفی و شاخص بهره‌وری مصرف آب ۳ رقم سویا در دشت مغان. نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک. ۷ (۱): ۱۱۳-۱۲۵.

۱۰. زندپارسا، ش.، قاسمی سعادت‌آبادی، ف.، مهبد، م. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۹۹. برآورد بهره‌وری و بازده مصرف آب گندم (رقم شیراز) در مقادیر مختلف کم‌آبیاری و کمبود نیتروژن. نشریه علوم آب‌وخاک. ۲۴ (۲): ۱۸۱-۱۹۵.

۱۱. صداقت، آ.، ابراهیمی پاک، ن.ع.، آرش تافته، آ. و حسینی، ن. ۱۴۰۱. ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و مقایسه آن با نتایج سامانه نیاز آب در استان قزوین. نشریه آب‌وخاک. ۳۶ (۶): ۷۱۱-۷۲۷.

۱۲. عبدزادگوهری، ع.، تافته، آ. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۴۰۱. بررسی سامانه نیاز آب در تعیین مقدار واقعی آب آبیاری گیاه بادام‌زمینی بر اساس حل معکوس تابع تولید عملکرد در شرایط تنش آبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۱۶): ۴۶۰-۴۷۱.

۱۳. موسوی، س.، خالدیان، م.، اشرف‌زاده، ا. و شاهین‌رخسار، پ. ۱۳۹۴. تأثیر آبیاری محدود در مراحل حساس رشد بر افزایش عملکرد و بهره‌وری آب سه ژنوتیپ سویا در منطقه رشت. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۴): ۴۳۳-۴۴۶.

۱۴. وحدی، ن.، قلی‌نژاد، ا.، منصوری‌فر، س.، غیرتی آرانی، ل. و رحیمی، م. ۱۳۹۸. تأثیر تنش‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا. نشریه فن‌آوری تولیدات گیاهی. ۱۱ (۱). ۱۰۳-۱۱۳.

15. Buezo, J., Sanz-Saez, A., Moran, J.F., Soba, D., Aranjuelo, I. and Esteban, R. 2019. Drought tolerance response of high-yielding soybean varieties to mild drought: physiological and photochemical adjustments. Physiologia Plantarum. 166 (1): 88-104.
16. 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.
17. Kaur, G., William, I.D., Serson, R., Orlowski, J.M., McCoy, J., Bobby, A., Golden, R. and Bellaloui, N. 2017. Nitrogen Sources and Rates Affect Soybean Seed Composition in Mississippi. Agronomy. 7(77): 1-10.
18. Ober, E.S. and Sharp, R.E. 2003. Electrophysiological responses of maize roots to low water potentials: relationship to growth and ABA accumulation. Journal of Experimental Botany. 54: 813-824.
19. Raes, D. 2004. Budjet: A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0.
20. Raes, D., Steduto, P., Hsiao T.C. and Fereres, E. 2017. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome. Italy.
21. Sadras, V.O. and Lawsonm, C. 2013. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. European Journal of Agronomy 46:34-41.
22. Siskani, A., Seghatoleslami, M. and Moosavi, G. 2015, January. Effect of deficit irrigation and nano fertilizers on yield and some morphological traits of cotton. International Biological Forum. 7 (1): 1710.
23. Tafteh, A., Babazadeh, H., Ebrahimipak, N.A. and Kaveh, F. 2014. Optimization of irrigation water distribution using the MGA method and comparison with a linear programming method. Irrigation and Drainage. 63(5): 590-598.
24. Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of American Meteorology Society. 63: 1309-1313.
25. Wu, R., Yang, J. and Wang, L. 2019. Physiological response of flax seedlings with different drought-resistances to drought stress. Acta Agriculturae Boreali-Sinica. 34 (2): 145-153.

Using NIAZAB System to Determine Soybean Water Use Based on the Inverse Solution of the Production Functions under Different Irrigation Conditions

A. Abdzad Gohari*, A. Nik Akhtar, N. A. Ebrahimipak, and A. Tafteh

Researcher, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **abdzadgohari_a@yahoo.com**

Research Expert, Department of Soil and Water Research, Hormozgan Agricultural Research and Training Center, (AREEO), Bandar Abbas, Iran. **amirnik1367@gmail.com**

Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **Nebrahimipak@yahoo.com**

Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. **Arash_tafteh@yahoo.com**

Received: February 2023 and Accepted: June 2023

Abstract

Soil and Water Research Institute (SWRI) has presented NIAZAB system to estimate and determine crops water requirement, water consumption, and irrigation planning at the scale of region, district, and plains in Iran. The current research was conducted in order to use NIAZAB system (including Tafteh, Pasquale and Reas methods) in determining the amount of water used for soybean cv. Williams, based on the inverse solution of the production function. The experimental treatments in this research included no fertilizer and application of of 150 kg N ha^{-1} and different irrigation treatments including 100%, 80%, 60%, and 40% of water requirement. Experimental design was split plot in the form of randomized complete blocks with three replications, and was conducted in Hajiabad Region, Hormozgan Province, in 2020 and 2021. The values estimated by the system and measured showed that, in the first year, the average relative error (ARE) in eatimation of evapotranspirationin by Tafteh, Pasquale and Reas methods were 7.49%, -0.05%, and 9.14%, respectively. In the second year, these values were 6.47%, -1.29%, and 9.06%, respectively. The ARE in the physical water productivity in the mentioned methods was -8.23%, -0.73%, and -10.08% in the first year, and -7.10%, 0.58%, and -10.07% in the second year, respectively. In Tafteh, Pasquale, and Reas methods, the root mean square error (RMSE) were 43, 35, and 49 mm, respectively, and the normalized root mean square error ($RMSE_n$) were 0.093%, 0.076%, and 0.105%, respectively. Considering the results, NIAZAB system estimated the amount of irrigation water and evapotranspiration with acceptable approximation and it can be used for estimation of water consumption in the studied area.

Keywords: Evapotranspiration, Tafteh method, Pasquale method, Reas method, Production functions, Soybean cultivar Williams

* - Corresponding author's email: abdzadgohari_a@yahoo.com