



ISSN 2251-7480

بررسی توابع تولید محصول برای برآورد عملکرد گیاه کلزا در بازه‌های زمانی مختلف

آرش تافته^{۱*}، اصلان آگدرنژاد^۲، نیازعلی ابراهیمی پاک^۳

^{۱*} استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
^{*} نویسنده مسئول مکاتبات: arash_tafteh@yahoo.com

^۲ گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

^۳ دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۹

چکیده:

هدف از این تحقیق ارزیابی توابع تولید حاصل ضرب اصلاح شده ریس (Rase, 2004) و حاصل ضربی اصلاح شده (Tafteh et al., 2013) در برآورد عملکرد گیاه کلزا تحت شرایط کم‌آبیاری در بازه‌های ماهانه، مراحل چهارگانه رشد و کل دوره رشد در منطقه قزوین می‌باشد. بدین منظور از داده‌های طرح بلوک کامل تصادفی با تیمارهای زمان آبیاری (۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تست تبخیر کلاس A) با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای T11 و T12 به ترتیب با ۲۳۹۰ و ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر و حداقل عملکرد خشک را دارند. نتایج نشان داد که در بازه‌های زمانی مختلف بهترین نتیجه در بازه زمانی کل دوره رشد به دست آمده و سایر بازه‌های زمانی از دقت مدل می‌کاهد. در هر دو روش مورد ارزیابی کمترین خطا در بازه زمانی کل دوره رشد به دست آمده است. بررسی شاخص‌های آماری حاکی از آن است که روش Tafteh et al. (2013) در بازه کل دوره رشد با کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) به ترتیب به مقدار ۴۲۳ و ۰/۲۱۱ و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) به ترتیب برابر با ۰/۷۶ و ۰/۶۴۵ در برآورد عملکرد گیاه کلزا روش مناسب‌تری می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تابع تولید محصول؛ ضریب واکنش عملکرد؛ دوره رشد؛ کلزا.

مقدمه

این نیاز به شمار می‌رود (Ahmadi, 2003). کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی به شمار می‌رود که بومی مدیترانه بوده و به دلیل درصد کیفیت روغن آن، سازگاری وسیع مقاومت به خشکی و سرما در بسیاری از مناطق جهان کشت می‌شود. بذر کلزا به‌طور معمول حاوی ۴۰٪ روغن است و بعد از استخراج روغن کنجاله آن شامل ۳۶٪ تا ۴۶٪ پروتئین است (Sheikh Hoseini Lari, 2009). گیاه کلزا از لحاظ سطح زیر کشت پس از سویا مقام دوم و از نظر تأمین روغن مصرفی بعد از سویا و نخل روغنی مرتبه سوم را دارد (FAO, 2005). ویژگی‌های گیاه کلزا

در میان محصولات کشاورزی، دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند. این محصولات علاوه بر دارا بودن ذخایر غنی اسیدهای چرب، حاوی پروتئین نیز می‌باشند. از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین و تنها کمتر از ۱۰ درصد آن در داخل تولید می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است (Honar et al., 2012). کلزا با توجه قابلیت کشت در اکثر مناطق کشور گیاهی نویدبخش در جهت کاهش

اجزاء عملکرد ارقام کلزا در همدان نشان داد در بین ارقام، تفاوت معنی داری به لحاظ عملکردی وجود نداشت، لیکن در مجموع رقم آپرا (Opera) با 3706 کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد. در بررسی اثر متقابل آبیاری و رقم، رقم آپرا (Opera) با روش آبیاری قطره‌ای با عملکرد 3961 کیلوگرم در هکتار و رقم Slm046 با آبیاری نشتی و عملکرد 3710 کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد را دارا بودند. در بررسی کارایی مصرف آب، روش‌های آبیاری اختلاف معنی داری باهم داشتند. به طوری که آبیاری قطره‌ای (با ۱/۳۴ کیلوگرم بر مترمکعب) نسبت به آبیاری نشتی (با ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب) برتری داشت (Mazaheri et al., 2011). بررسی روابط بین عملکرد دانه و اجزای آن در کشت دیم کلزای بهاره نشان داد در شرایط تک آبیاری، تعداد خورجین در مترمربع، عملکرد کاه و کلش و تعداد دانه در خورجین دارای اثر مستقیم مثبت بر عملکرد دانه هستند. این نتایج بیانگر این است که تک آبیاری به میزان 60 میلی‌متر در مرحله گل‌دهی با کنترل تنش رطوبتی، سبب افزایش میزان رشد رویشی، ایجاد شاخ و برگ و در نهایت افزایش تولید دانه به میزان 83 درصد نسبت به شاهد دیم می‌شود (Tavakoli and Abdolrahmani, 2013). تافته و همکاران (Tafteh et al., 2012) در ارزیابی توابع تولید برای برآورد عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف آبیاری در دشت قزوین نشان دادند که روش حاصل‌ضربی بر اساس توان (k_y) ماهانه، نسبت به روش‌های دیگر کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشت. در نتیجه روش پیشنهادی، روش مناسبی برای منطقه است. نتایج تحقیقی در اصفهان بر تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح‌شده کلزا نشان داد رقم زرفام در رژیم‌های مختلف آبیاری بالاترین عملکرد دانه و روغن دانه را به خود اختصاص داد و رقم

مخصوصاً از لحاظ سازگار نمودن آن با شرایط مختلف آب و هوایی اهمیت این محصول را برای کشت در ایران بیشتر نموده است. یافتن روش‌های مناسب برای پرورش این گیاه در نواحی مختلف و ارقام اصلاح‌شده مناسب با هر اقلیم از این گیاه می‌تواند وابستگی شدید کشور را به واردات روغن از بین برد.

امروزه یکی از موارد مهم در بخش کشاورزی وضعیت کمبود آب در اراضی فاریاب می‌باشد. در این خصوص می‌توان از راهکارهای مختلفی برای مقابله با این مشکل در سطح مزرعه سود برد که لازمه آن بررسی واکنش گیاه به تنش آبی یا کم آبیاری می‌باشد. کم آبیاری به‌عنوان روشی که می‌تواند حداکثر تولید و سود خالص را به همراه بیاورد، به‌عنوان یک فناوری مهم، هدفمند و هوشمند و اقتصادی در مهندسی آبیاری مطرح است (Sepaskhah et al., 2006, Tafteh et al., 2014a).

به‌طور کلی رشد، عملکرد و کیفیت دانه کلزا نه‌تنها وابسته به شرایط آب و هوایی و اقلیمی منطقه است، بلکه تحت تأثیر عواملی نظیر تاریخ کاشت و برداشت، میزان و زمان مصرف کود نیتروژن و سایر مواد مغذی، تراکم بذر و فاصله بین خطوط کشت، عمق کاشت و آبیاری نیز می‌باشد. از بین عوامل ذکر شده، آبیاری اثر زیادی بر عملکرد و کیفیت دانه کلزا دارد که این موضوع تاکنون توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. خصوصیات خاک نیز از عوامل بسیار تأثیرگذار بر تولید گیاهی بوده و توابع تولید در هر بافت خاک بسیار وابسته به توابع انتقالی حاصل از این خصوصیات می‌باشد (Sepaskhah and tafteh, 2013). کلانتر احمدی و همکاران (Kalantar Ahmadi et al., 2014) گزارش کردند میزان کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری در مراحل گل‌دهی، خورجین دهی و پر شدن دانه به ترتیب ۲۴، ۱۴ و ۱۱ درصد می‌باشد. از این رو از اعمال تنش خشکی در این مراحل می‌بایست اجتناب گردد. مقایسه دو روش آبیاری نواری قطره‌ای و شیاری بر

توابع تولید مقادیر مختلف آبیاری و عملکرد مورد ارزیابی قرار گیرد با استفاده از داده‌های تیمارهای متفاوت از نظر آبیاری انتخاب شدند به طوری که تیمارهای T_1 ، T_2 و T_{12} مربوط به تیمار ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، تیمارهای T_3 ، T_4 و T_6 مربوط به تیمار ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، تیمارهای T_5 ، T_8 و T_7 مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و تیمارهای T_9 ، T_{10} و T_{11} مربوط به تیمار ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر می‌باشند.

قبل از کاشت یک نمونه مرکب خاک از اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری تهیه و در آزمایشگاه، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱). پس از عملیات آماده‌سازی، زمین به ابعاد ۲۴ متر مربع (۶×۴) قطعه‌بندی شد. کود نیترا به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفات به مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار (از منبع سوپر فسفات تریپل) به خاک داده شدند. بذر کلزای مورد استفاده رقم SLM46 بود. کاشت بذر به صورت دستی به مقدار شش کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. مقدار آب آبیاری بر اساس رطوبت خاک به صورت وزنی در اعماق ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و مقدار رطوبت قابل استفاده لایه خاک در ناحیه ریشه گیاه از رابطه (۱) به دست آمد. آبیاری به شیوه کرتی و میزان آب ورودی به وسیله کتور آب اندازه‌گیری و به داخل هر کرت منتقل شد.

$$d_n = \sum_{i=1}^n \rho_b (Fc - \theta_i) D \quad (1)$$

در این رابطه؛ d_n عمق آبیاری (میلی‌متر)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (gr.cm^{-1})، Fc و θ_i به ترتیب ظرفیت زراعی مزرعه و رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد وزنی)، D عمق خاک (میلی‌متر) و n تعداد لایه‌های پروفیل خاک می‌باشد.

در رتبه بعدی قرار گرفت. با توجه به توانمندی بالای ارقام مذکور در تولید روغن در شرایط تنش، قابلیت آن‌ها برای بهره‌گیری در مطالعات آینده و تولید در شرایط تنش خشکی مشخص می‌شود (Fayaz et al., 2007). تافته و همکاران (Tafteh et al., 2013) در بررسی و اصلاح توابع تولیدی برای گیاه گندم زمستانه با دو ضریب واکنش عملکرد محصول FAO و Najarchi نشان دادند که روش پیشنهادی (Tafteh et al. (2013) با k_{yNaj} (ضریب واکنش عملکردی که با استفاده از مدل CROPWAT برآورد می‌شود)، کمترین ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) را دارد و در نتیجه روش مناسبی برای منطقه قزوین معرفی شده است. سپاسخواه و تافته (Sepaskhah and Tafteh, 2012) با بررسی آبیاری یک‌درمیان در کشت کلزا نشان دادند با این روش می‌توان کارایی مصرف آب و کارایی اقتصادی آب را افزایش داد و کم آبیاری و عوامل مؤثر بر رشد کلزا را مدیریت نمود و سطح کود لازم برای بهینه شدن هر روش را بیان کردند و توابع تولید هر روش را به صورت جداگانه بیان نمودند. هدف از اجرای این پژوهش بررسی دو تابع تولیدی ریس (Rase, 2004) و تافته و همکاران (Tafteh et al., 2013)، برای تخمین میزان عملکرد محصول گیاه کلزا و تعیین مناسب‌ترین تابع بر اساس بازه زمانی برای کشت گیاه کلزا در منطقه قزوین است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسماعیل‌آباد قزوین به عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی در طی سه سال زراعی (۸۹-۸۸، ۹۰-۸۹ و ۹۱-۹۰) اجرا شد. اقلیم منطقه قزوین به روش دومارتن نیمه‌خشک سرد است. این پژوهش با چهار تیمار زمان آبیاری (۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) در سه تکرار در قالب یک طرح بلوک کامل تصادفی انجام گرفت. از آنجایی که باید در ارزیابی

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی متر)	وزن مخصوص ظاهری (gr.cm ⁻³)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی
۰-۳۰	۱/۵۶	۲۸	۳۹	۳۳	Loam-Clay	۱۳/۹	۲۲/۵
۳۰-۶۰	۱/۷۲	۳۲	۲۹	۳۹	Loam-Clay	۱۴/۹	۲۴/۵
عمق خاک (سانتی متر)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	K (ppm)	P (ppm)	OC (meq.L ⁻¹)	Na (meq.L ⁻¹)	Ca+Mg (meq.L ⁻¹)
۰-۳۰	۰/۷۴	۷/۷	۳۶	۸	۰/۸۶	۴	۴
۳۰-۶۰	۰/۸۴	۷/۵	۲۸	۲	۰/۶۰	۵	۵

نسبی گیاه است که محققان پس از جمع بندی روابط ارائه شده و تجزیه و تحلیل، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارائه کردند. با توجه به اینکه اثرات تنش آبی در مراحل مختلف رشد متفاوت است غالباً توابع تولید طوری نوشته می شوند که در آنها حساسیت گیاه به کم آبی در هر یک از مراحل رشد لحاظ شده باشد. از پیشرفته ترین معادلات فعلی که در این مطالعه از آن استفاده شده است، تابع (Rase (2004) در مدل شبیه سازی بیان آب و املاح (BUDGET) می باشد که در آن هر یک از مراحل مختلف رشد به چند بازه زمانی کوچک تر تقسیم می شوند (رابطه ۳).

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

در این رابطه؛

y_a و y_m 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 پتانسیل در زمان j ، Δt_j بازه زمانی مورد نظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد می باشد.

از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورد استفاده در این تحقیق تابع (Tafteh et al (2013) می باشد که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه (Rase (2004) به صورت رابطه (۴) ارائه شده است.

به منظور اندازه گیری و کنترل دقیق تبخیر-تعرق گیاه کلزا از یک لایسیمتر زهکش دار به مساحت ۲/۵ مترمربع و عمق ۲/۲ متر استفاده شد. این لایسیمتر در وسط قطعه زمینی به ابعاد ۴۰×۴۰ متر نصب شد؛ به گونه ای که از چهار جهت دارای پوشش گیاهی کلزا باشد. برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه کلزا در طول فصل زراعی از روش بیلان رطوبتی خاک (رابطه ۲) در بازه هفتگی در تیمارهای مختلف استفاده گردید.

$$ET_c = I + P - D \pm \sum_{i=1}^n (PW_1 - PW_2) \quad (2)$$

در این رابطه؛ ET_c تبخیر-تعرق گیاه (میلی متر)، I مقدار آب آبیاری (میلی متر)، P میزان بارش (میلی متر)، D عمق زهاب (میلی متر)، PW_1 و PW_2 به ترتیب رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری (میلی متر) می باشد.

مقدار تبخیر تعرق واقعی مربوط به تیمارهای اعمال تنش شده با استفاده از رابطه ۲ و داده های رطوبتی به دست آمد و مقدار پتانسیل از داده های تیمار ۱۲ که در لایسیمتر کشت شده بود و بدون تنش در نظر گرفته شده بود استفاده شد. برای آنکه اثرات حاصل از آبیاری را در عملکرد تحلیل کنیم، ابتدا باید میزان محصول را که در اثر آبیاری به دست می آید، به صورت کمی ارزیابی کنیم که حاصل آن ارائه توابع تولید می باشد. تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر-تعرق

مقادیر اندازه‌گیری شده و میانگین مقادیر تخمین زده شده می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز آماری مقایسه میانگین عملکرد محصول تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد در نمودار (۱) نشان داده شده است.

این نمودار بیانگر این است که تیمارهای T1، T2 و T3 و تیمارهای T4 و T6 و تیمارهای T9 و T10 با یکدیگر طبق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. تیمار T12 به‌عنوان تیمار شاهد مطرح بوده و بدون اعمال تنش بوده است لذا در توابع تولید از آن استفاده شده است.

مقادیر تبخیر- تعرق گیاه کلزا در سال‌های آماری مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به تیمارهای آبیاری اعمال شده در این سال‌ها مقادیر عملکرد هر یک نیز در این جدول اشاره شده است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان توابع تولید ذکر شده در این تحقیق را در بازه‌های زمانی مورد بحث، ارزیابی و بررسی نمود.

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

در این رابطه؛ n تعداد مراحل دوره رشد می‌باشد. سایر پارامترها پیشتر تعریف شده‌اند. هر دو روش Rase (2004) و Tafteh et al (2013) در بازه‌های زمانی مختلف (ماهانه، مراحل چهارگانه رشد و کل دوره رشد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس برای مقایسه نتایج به دست آمده از شاخص‌های آماری ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق (d) به شرح زیر استفاده گردید.

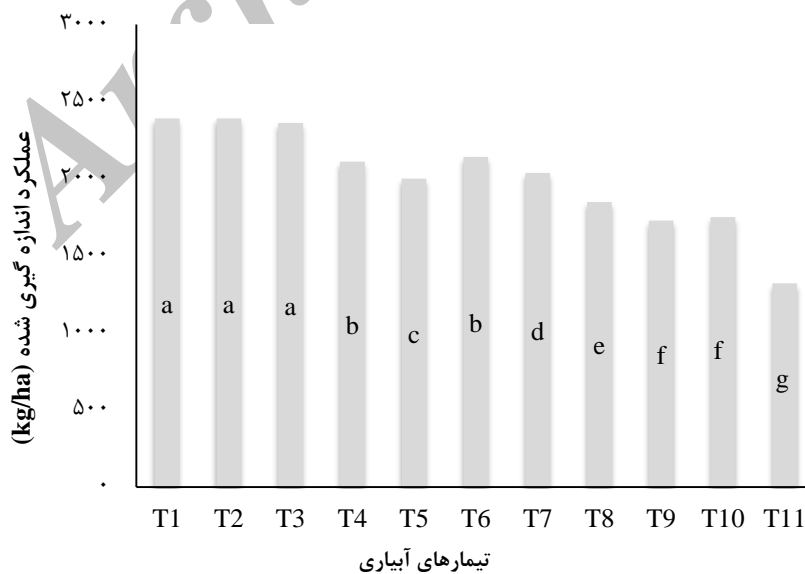
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (5)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}} \quad (6)$$

$$d = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{X}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (7)$$

در روابط فوق؛

n تعداد داده‌ها، X و Y به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده شده، \bar{X} و \bar{Y} به ترتیب میانگین



شکل ۱. اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد محصول اندازه‌گیری شده

(ستون‌هایی که دارای حرف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند)

روش‌های مذکور مقدار عملکرد محصول برآورد شد. سپس مقادیر عملکرد بر اساس شاخص‌های آماری ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق (d) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این روش‌ها با ضرایب پیشنهادی FAO در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به جدول مذکور از مقایسه عملکرد اندازه‌گیری شده با عملکرد محصول برآورد شده به روش Tafteh et al (2013)، مشاهده می‌گردد در بین بازه‌های زمانی مختلف، کمترین مقدار RMSE، NRMSE برابر ۴۲۳ و ۰/۲۱۱ مربوط به بازه کل دوره رشد می‌باشد که این نتیجه مطابق سایر گزارش‌ها است (Rase et al., 2006; Tafteh et al., 2013). در مورد روش Rase (2004) نیز نتیجه‌ای مشابه از مقایسه با مقدار RMSE، NRMSE برابر ۴۵۰/۱۲ و ۰/۲۲۴ در بازه کل دوره رشد به دست آمد.

طبق اطلاعات جدول (۲)، تیمار T₁₂ دارای بیشترین نیاز آبی با مقدار ۸۳۴/۸ میلی‌متر و حداکثر عملکرد محصول برابر ۳۱۳۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و به عنوان تیمار شاهد برای سایر تیمارها لحاظ گردید. حداقل آب مصرفی گیاه کلزا در این تحقیق با مقدار ۳۷۲/۷ میلی‌متر و حداقل عملکرد محصول برابر ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار T₁₁ می‌باشد. همچنین طبق این جدول بیشترین مقدار آب مصرفی کلزا در فروردین ماه ۱۲۴ میلی‌متر و کمترین مقدار آن ۱۴ میلی‌متر در خردادماه می‌باشد.

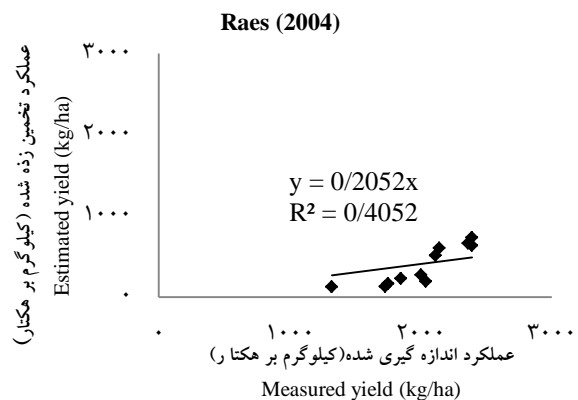
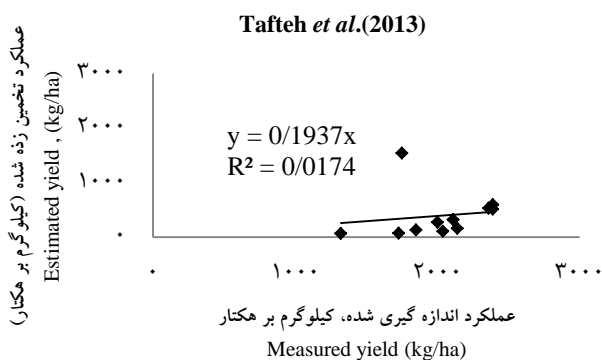
مقادیر محاسبه شده وزن توانی در بازه‌های ماهانه، مراحل چهارگانه رشد و کل دوره رشد برای روش‌های Rase (2004) و Tafteh et al (2013) با ضریب واکنش عملکرد محصول FAO 56(k_p) در جدول‌های (۳) و (۴) آورده شده است. با استفاده از اطلاعات جدول‌های (۳) و (۴) و میزان عملکرد محصول در مزرعه، به وسیله

جدول ۲. میزان تبخیر- تعرق ماهانه و عملکرد محصول گیاه کلزا در منطقه اسماعیل‌آباد قزوین

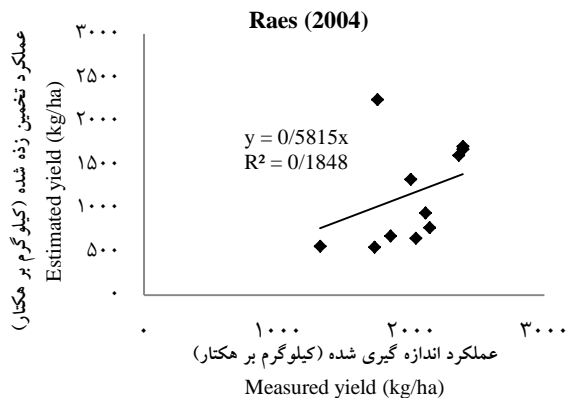
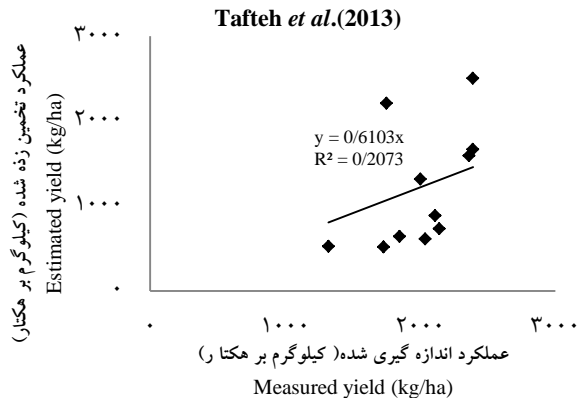
عملکرد محصول (kg.ha ⁻¹)	تبخیر- تعرق (mm)									
	خرداد (Jun)	اردیبهشت (May)	فروردین (Apr)	اسفند (Mar)	بهمن (Feb)	دی (Jan)	آذر (Dec)	آبان (Nov)	مهر (Oct)	تیمار
۶۷۸/۷	۶۹	۱۰۳	۱۰۲	۱۰۳/۲	۳۰	۱۹/۵	۵۴	۹۹	۹۹	T ₁
۶۰۸/۳	۸۴	۱۰۶	۱۱۶/۸	۷۰	۲۰	۲۱/۵	۴۲	۶۸	۸۰	T ₂
۶۰۳/۸	۷۳	۸۵/۶	۱۲۴	۷۷/۲	۲۷/۵	۲۶/۵	۴۲	۶۸	۸۰	T ₃
۵۵۷	۱۵	۴۷	۱۰۲	۴۲	۶۰	۴۷	۷۳	۸۸	۸۳	T ₄
۵۲۲/۹	۸۵	۷۴/۱	۷۱	۲۶	۲۴	۲۴	۶۳/۸	۷۰	۸۵	T ₅
۴۷۹	۲۰	۳۸	۱۰۴	۴۳	۳۴	۳۱	۴۶/۲	۷۴/۸	۸۸	T ₆
۴۴۰/۶	۱۶	۳۰	۷۹/۶	۴۵	۲۶/۵	۲۷/۵	۵۵	۷۲	۸۹	T ₇
۴۶۳/۸	۱۶	۷۷	۱۰۶	۵۳	۲۷	۲۰/۸	۳۹	۴۷	۷۸	T ₈
۳۸۱/۵	۱۴	۲۴	۸۵	۵۵	۲۴	۲۰/۵	۳۸	۴۸	۷۳	T ₉
۷۲۵/۸	۸۵	۷۰/۴	۱۱۰/۹	۷۶/۹	۶۲/۵	۵۱/۷	۸۰/۳	۹۶/۸	۹۱/۳	T ₁₀
۳۷۲/۷	۱۷	۲۷	۵۹	۲۲	۲۵/۵	۲۷/۷	۴۷/۵	۷۸	۶۹	T ₁₁
۸۳۴/۸	۹۱	۱۱۶	۱۲۴	۱۰۳/۲	۶۴/۵	۵۱/۷	۸۴/۳	۱۰۱/۱	۹۹	T ₁₂

Tafteh *et al* (2013) روش مناسب‌تری معرفی و توصیه می‌شود و این نتیجه مطابق سایر گزارش‌ها می‌باشد (Ebrahimipak *et al.*, 2014, Tafteh *et al.*, 2013;) (Tafteh *et al.*, 2012). برای درک بهتر این مسئله نمودار رابطه بین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی مذکور در بازه‌های زمانی مختلف در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است.

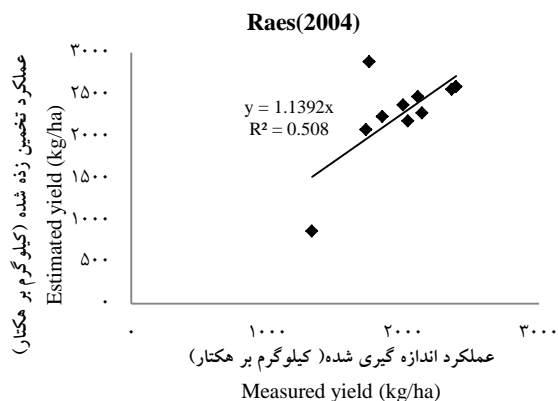
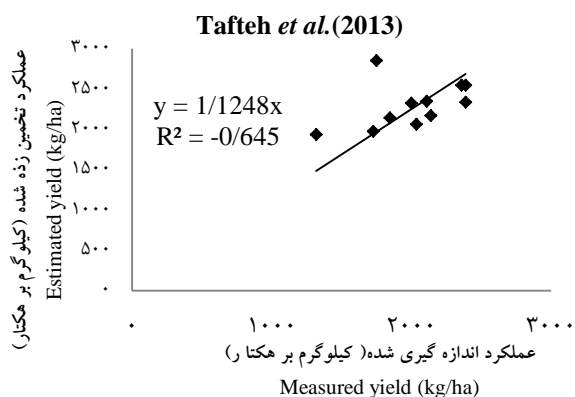
هراندازه مقادیر این شاخص‌ها کمتر باشد، نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. همچنین بیشترین مقدار شاخص توافق در بین بازه‌های زمانی مختلف برای روش‌های (Tafteh *et al* (2013) و Rase (2004)، به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۶۷ در بازه کل دوره رشد به دست آمد. هراندازه این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. از مقایسه دو روش نیز تابع



شکل ۲. رابطه بین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی در بازه زمانی ماهانه



شکل ۳. رابطه بین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی در بازه مراحل رشد



شکل ۴. رابطه بین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی در بازه کل دوره رشد

حساسیت آن‌ها را به تنش آبی بیشتر می‌کند. از این رو با کوچک‌تر شدن مخرج توان، کسر توانی بزرگ‌تر شده و منجر به کاهش بیشتر عملکرد می‌گردد.

در نتیجه همان‌طور که در نتایج بازه ماهانه نیز مشهود است، در بازه‌های زمانی کوچک‌تر، عملکرد محصول بیشتر کاهش یافته و این امر موجب افزایش خطای این نوع توابع می‌شود. بنابراین طبق نتایج این تحقیق، کل دوره رشد به‌عنوان بهترین بازه زمانی در استفاده از این توابع پیشنهاد می‌گردد.

همان‌طور که در این نمودارها نشان داده شده است، تابع *Tafteh et al* (2013) در بازه کل دوره رشد با ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۶۴۵، عملکرد مناسب‌تری نسبت به تابع *Rase* (2004) دارد. از این رو با توجه به نتایج به‌دست‌آمده توابع حاصل‌ضربی باید در بازه کل دوره رشد واسنجی شوند تا بتوان از آن‌ها با دقت مطلوبی استفاده نمود. علت این امر ناشی از وابستگی و حساسیت زیاد این توابع به توان اعمالی در معادله آن‌ها می‌باشد و تغییر بازه زمانی کل منجر به تغییر توان معادلات شده و

جدول ۳. توان تابع تولیدی (۲۰۰۴) Raes در بازه‌های زمانی مختلف

$\Delta t_j / L_i$	L_i	کل دوره رشد	$\Delta t_j / L_i$	L_i	مراحل رشد	$\Delta t_j / L_i$	L_i	ماهانه
۰/۰۹	۲۳۸	مهر (Oct)	۰/۵۳	۲۸	ابتدایی (Initial)	۰/۵۰	۳۰	مهر (Oct)
۰/۱۲	۲۳۸	آبان (Nov)				۱	۳۰	آبان (Nov)
۰/۱۲	۲۳۸	آذر (Dec)			توسعه	۱	۳۰	آذر (Dec)
۰/۱۲	۲۳۸	دی (Jan)	۰/۳۲	۹۱	(Development)	۱	۳۰	دی (Jan)
۰/۱۲	۲۳۸	بهمن (Feb)				۱	۳۰	بهمن (Feb)
۰/۱۲	۲۳۸	اسفند (Mar)	۰/۳۰	۹۸	میانی (Middle)	۱	۳۰	اسفند (Mar)
۰/۱۲	۲۳۸	فروردین (Apr)				۱	۳۱	فروردین (Apr)
۰/۰۹	۲۳۸	مهر (Oct)	۰/۵۲	۲۱	نهایی (Final)	۱	۳۱	اردیبهشت (May)
۰/۱۲	۲۳۸	آبان (Nov)				۰/۳۶	۳۱	خرداد (Jun)

جدول ۴. ضریب واکنش عملکرد گیاه و توان تابع تولیدی (۲۰۱۴ b) *Tafteh et al.* در بازه‌های زمانی مختلف

$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^n k_{yi}}$	k_{yFAO}	کل دوره رشد	$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^n k_{yi}}$	k_{yFAO}	مراحل رشد	$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^n k_{yi}}$	k_{yFAO}	ماهانه
۰/۰۵	۰/۲۰	مهر (Oct)	۱	۰/۲۰	ابتدایی	۱	۰/۲۰	مهر (Oct)
۰/۱۰	۰/۴۳	آبان (Nov)			(Initial)	۱	۰/۴۳	آبان (Nov)
۰/۱۱	۰/۵۰	آذر (Dec)			توسعه	۱	۰/۵۰	آذر (Dec)
۰/۱۴	۰/۶۰	دی (Jan)	۰/۳۹	۰/۶۰	(Development)	۱	۰/۶۰	دی (Jan)
۰/۱۴	۰/۶۰	بهمن (Feb)				۱	۰/۶۰	بهمن (Feb)
۰/۱۴	۰/۶۰	اسفند (Mar)	۰/۲۲	۰/۵۰	میانی (Middle)	۱	۰/۶۰	اسفند (Mar)
۰/۱۳	۰/۵۵	فروردین (Apr)				۱	۰/۵۵	فروردین (Apr)
۰/۱۱	۰/۵۰	اردیبهشت (May)	۱	۰/۴۰	نهایی	۱	۰/۵۰	اردیبهشت (May)
۰/۰۹	۰/۴۰	خرداد (Jun)			(Final)	۱	۰/۴۰	خرداد (Jun)

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی در بازه‌های زمانی مختلف

عملکرد اندازه‌گیری شده (kg.ha ⁻¹)	Rase (2004)			Tafteh et al (2013)		
	ماهانه	مراحل رشد	کل دوره رشد	ماهانه	مراحل رشد	کل دوره رشد
۲۳۹۰	۷۳۶	۱۶۷۷	۲۵۹۴	۵۹۱	۱۶۶۹	۲۳۳۶
۲۳۹۰	۶۳۶	۱۷۰۷	۲۵۹۴	۵۱۱	۲۵۰۵	۲۵۴۵
۲۳۶۰	۶۶۶	۱۶۰۵	۲۵۶۴	۵۲۸	۱۵۹۴	۲۵۴۶
۲۱۱۰	۵۱۵	۹۴۵	۲۴۷۶	۳۱۹	۸۸۷	۲۳۵۰
۲۰۰۰	۲۷۶	۱۳۳۱	۲۳۷۶	۲۷۰	۱۳۱۶	۲۳۲۴
۲۱۴۰	۶۰۶	۷۷۵	۲۲۸۱	۱۶۱	۷۳۳	۲۱۷۱
۲۰۳۷	۱۹۶	۶۵۲	۲۱۸۵	۱۰۸	۶۱۲	۲۰۶۲
۱۸۴۸	۲۳۲	۶۸۰	۲۲۳۶	۱۲۸	۶۴۱	۲۱۴۱
۱۷۲۸	۱۳۴	۵۴۹	۲۰۸۲	۷۰	۵۱۶	۱۹۷۵
۱۷۵۰	۱۶۹	۲۲۴۴	۲۸۹۳	۱۵۳۷	۲۲۱۲	۲۸۵۳
۱۳۲۰	۱۳۰	۵۶۰	۸۶۸	۶۴	۵۲۶	۱۹۳۶
RMSE	۱۶۲۳/۹۳	۹۸۶/۵۹	۴۵۰/۱۲	۱۶۸۶/۵۷	۹۹۳/۷۷	۴۲۳
NRMSE	۰/۸۰۹	۰/۴۹۲	۰/۲۲۴	۰/۸۴۱	۰/۴۹۵	۰/۲۱۱
d	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۶۷	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۷۶

نتیجه‌گیری

این توابع باید برای کل دوره رشد تعریف گردند تا خطای این نوع توابع در حد قابل قبولی قرار گیرد. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری، نشان می‌دهد که روش Tafteh et al (2013) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R²) را برای کل دوره رشد دارد. در نتیجه توابع مذکور با ضرایب فوق به‌عنوان روش‌های مناسب برای تخمین محصول گیاه کلزا برای کل دوره رشد در دشت قزوین توصیه می‌شود.

در بررسی توابع تولید عملکرد Tafteh et al (2013) و Rase (2004) مشخص شد این توابع به دلیل شکل ریاضی معادله‌هایشان (به‌صورت تابع حاصل‌ضربی توانی)، حساسیت ویژه‌ای به توان تعریف‌شده خوددارند. از این رو این توابع در بازه‌های زمانی مختلف که بر توان این معادلات اثرگذار می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد با کوچک‌تر شدن بازه محاسبات توانی، خطای این توابع افزایش چشمگیری دارند. بنابراین نمای توانی

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M. W. 2003. Foodstuffs, product and oilseed development of Rapeseed. 194.
 Ebrahimpak, N. A., Tafteh, A. and Babazadeh, H. 2014. Evaluation of Hay production functions to estimate the crop performance in different levels of irrigation in the region of Qazvin. Iran Soil and Water Research 45: 135-145.
 FAO. 2005. Food outlook global market analysis. <http://www.fao.org/food-outlook>. 91 pages.
 Fayaz, F., Naderi Darbaghshahi, M. R. and Shirani Rad, A. H. 2007. Effects of water stress on yield and yield components of developed rapeseed in Isfahan. New Findings in Agriculture 3: 177-189.

- Honar, T., Sabet Sarvestani, A., Shams, Sh., Sepaskhah, A. R. and Kamgar Haghghi, A. A. 2012. Effect of drought stress in different growth stages on grain yield and yield components of rapeseed (*cv.* Talayeh). *Iranian Journal of Crop Sciences* 14: 320-332.
- Kalantar Ahmadi, S. A., Shirani Rad, A. H. and Siadat, S. A. 2015. Study of limited-irrigation stress on grain yield of canola cultivars in north Khuzestan conditions. *Journal of Oil Plants Production* 2: 53-65.
- Mazaheri, H. and Ghadami Firuzabadi, A. 2012. Comparison Two Irrigation Systems, Tape and Furrow Irrigation Methods on Yield Components of Rapeseed Cultivars in Hamedan Province. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 102: 41-47.
- Rase, D. 2004. Budget: A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0.
- Rase, D., Greets, E., Wellens, J. and Sahli, A. 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model. *Agric. Water Manage* 81: 335-357.
- Sepaskhah, A. R., Tavakoli, A. and Moosavi, S. F. 2006. Principles and application of irrigation. National Committee on Irrigation and Drainage of Iran 139.
- Sepaskhah, A. R. and Tafteh, A. 2012. Yield and nitrogen leaching in rapeseed field under different nitrogen rates and water saving irrigation. *Agric. Water Manage* 112: 55-62.
- Sepaskhah, A. R. and Tafteh, A. 2013. Pedotransfer function for estimation of soil-specific surface area using soil fractal dimension of improved particle-size distribution. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59 (1), 93-103.
- Sheikh Hoseini Lari, M. 2010. Effect of drought stress on yield and yield components of Rapeseed in weather conditions Bardsir. 11th Iranian Crop Sciences Congress. 3992-3995.
- Tafteh, A., Ebrahimipak, N. A., Babazadeh, H. and Kaveh, F. 2014.a. 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., Ebrahimipak, N. A., Babazadeh, H. and Kaveh, F. 2014.b. Determine yield response factors of important crops by different production functions in qazvin plain. *Ecology, Environment and Conservation* 20 (2), 415-422
- Tafteh, A., Ebrahimipak, N. A., Babazadeh, H. and Kaveh, F. 2012. Evaluation of production function to assess the Tomato performance in different irrigation treatments at Ghazvin Dasht. *Journal of Water Research in Agriculture* 27: 315-328.
- Tafteh, A., Ebrahimipak, N. A., Babazadeh, H. and Kaveh, F. 2013. Evaluation of Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. *Journal of Agricultural Science* 5: 111-122.
- Tavakoli, A. and Abdolrahmani, B. 2013. Effect of Single Irrigation on Yield and Agronomic Characters of Spring Rapeseed at Rainfed Condition. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 104: 64-72.

Archive of SID



ISSN 2251-7480

Evaluation of production functions to estimate rapeseed yield in different Interval times

Arash Tafteh^{1*}, Aslan Egdernezhad² and NiazAli Ebrahimipak³

1*) Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* Corresponding author email: arash_tafteh@yahoo.com

2) Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3) Associated professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: 08-03-2017

Accepted: 08-02-2018

Abstract

In this research evaluated production functions has been modified by Rase, 2004 And Tafteh *et al.* 2013, this methods evaluated to estimate rapeseed yield under deficit irrigations with in the monthly intervals, quadruple growth stages and total growth period in the Qazvin plain. For this purpose, randomized complete block design was applied. The irrigation treatments (60-90-120-150 mm evaporation from pan class A) with three replications were used during 2010 - 2012. The results showed that Treatments T11 and T12 with 2390 and 1320 yield (kg/ha) respectively have a maximum and minimum yield. Also results show that the best estimation was occurred in the total growth stage and other intervals were decreased the accuracy of the models. So the minimum error was in the total growth stage in the both methods. Statistical analysis shown that Tafteh *et al.* (2013) method in the total growth stage has the lowest root mean squared error (*RMSE*) and Normalized root mean squared error (*NRMSE*) respectively equal to 423 and 0.211. Also this method has a maximum of agreement index (*d*) and correlation coefficient (R^2) Respectively equal to 0.76 and 0.645. Therefore Tafteh *et al.* (2013) method is suitable way for estimation of rapeseed yield in deficit irrigations.

Keywords: production function, yield response factor, the growth period, rapeseed.