نشریه حفاظت منابع آب و خاک
ISSN 2251-7480

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

آرش تافته*[۱]، اصلان اگدرنژاد[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 حاصل‌ضرب اصلاح‌شده ریس (Rase, 2004) و حاصل‌ضربی اصلاح‌شده 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 تشت تبخیر کلاس A) با سه تکرار طی سال‌های زراعی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای T12 و T11 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 به‌دست‌آمده و سایر بازه‌های زمانی از دقت مدل می‌کاهد. در هر دو روش مورد ارزیابی کمترین خطا در بازه زمانی کل دوره رشد به‌دست‌آمده 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

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. ازآنجایی‌که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران به‌صورت واردات تأمین و تنها کمتر از 10 درصد آن در داخل تولید می‌شود، بنابراین تولید دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرارگرفته است (Honar *et al.*, 2012). کلزا با توجه قابلیت کشت در اکثر مناطق کشور گیاهی نویدبخش در جهت کاهش 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 به‌طورمعمول حاوی ٤٠٪ روغن است و بعد از استخراج روغن کنجاله آن شامل ٣٦٪ تا ٤٦٪ پروتئین است (Sheikh Hoseini Lari, 2009). گیاه کلزا ازلحاظ سطح زیر کشت پس از سویا مقام دوم و ازنظر تأمین روغن مصرفی بعد از سویا و نخل روغنی مرتبه سوم را دارد (FAO, 2005). ویژگی‌های گیاه کلزا

مخصوصاً ازلحاظ 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).

به‌طورکلی 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 ذکرشده، آبیاری اثر زیادی بر عملکرد و کیفیت دانه کلزا دارد که این موضوع تاکنون توسط محققان زیادی موردبررسی قرارگرفته است. خصوصیات خاک نیز از عوامل بسیار تاثیرگذار بر تولید گیاهی بوده و توابع تولید در هر بافت خاک بسیار وبسته به توابع انتقالی حاصل از این خصوصیات می باشد(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 ۲٤، ۱٤ و ۱۱ درصد می‌باشد. ازاین‌رو از اعمال تنش خشکی در این مراحل می‌بایست اجتناب گردد. مقایسه دو روش آبیاری نواری قطره‌ای و شیاری بر اجزاء عملکرد ارقام کلزا در همدان نشان داد در بین ارقام، تفاوت معنی‌داری به لحاظ عملکردی وجود نداشت، لیکن درمجموع رقم اُپرا (Opera) با 3706 کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد را به خود اختصاص داد. در بررسی اثر متقابل آبیاری و رقم، رقم اُپرا (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 کارآئی مصرف آب، روش‌های آبیاری اختلاف معنی‌داری باهم داشتند. به‌طوری‌که آبیاری قطره‌ای (با ۱/۳٤ کیلوگرم بر مترمکعب) نسبت به آبیاری نشتی (با ۰/۷٤ کیلوگرم بر مترمکعب) برتری داشت (Mazaheri *et al.*, 2011). بررسی روابط بین عملکرد دانه و اجزای آن درکشت 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 درنهایت 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 نشاند 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. درنتیجه 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 slm046

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 درنتیجه روش مناسبی برای منطقه قزوین معرفی‌شده است. سپاسخواه و تافته (Sepaskhah and Tafteh, 2012) با بررسی آبیاری یک‌درمیان درکشت 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 به‌صورت 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 بازهٔ 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. ازآنجایی‌که باید در ارزیابی توابع تولید مقادیر مختلف آبیاری و عملکرد مورد ارزیابی قرار گیرد با استفاده از داده‌های تیمارهای متفاوت ازنظر آبیاری انتخاب شدند به‌طوری‌که 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 مترمربع (۶×۴) قطعه‌بندی شد. کود نیترات 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 مورداستفاده رقم SLM46 بود. کاشت بذر به‌صورت دستی به مقدار شش کیلوگرم در هکتار در تاریخ ۱۵ مهرماه انجام شد. مقدار آب آبیاری بر اساس رطوبت خاک به‌صورت وزنی در اعماق ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و مقدار رطوبت قابل‌استفاده لایه خاک در ناحیه ریشه گیاه از رابطه (۱) به دست آمد. آبیاری به شیوه کرتی و میزان آب ورودی به‌وسیله کنتور آب اندازه‌گیری و به داخل هر کرت منتقل شد.

$$d_n = \sum_{i=1}^{n} \rho_b (Fc - \theta_i) D \qquad (۱)$$

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.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک موردمطالعه

عمق خاک (سانتی‌متر)	وزن مخصوص ظاهری ($gr.cm^{-3}$)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	بافت خاک	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم
۰–۳۰	۱/۵٦	۲۸	۳۹	۳۳	Loam-Clay	۲۲/۵	۱۳/۹
۳۰–٦۰	۱/۷۲	۳۲	۲۹	۳۹	Loam-Clay	۲٤/۵	۱٤/۹
عمق خاک (سانتی‌متر)	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	۰/۷٤	۷/۷	۳٦	۸	۰/۸٦	٤	٤
۳۰–٦۰	۰/۸٤	۷/۵	۲۸	۲	۰/٦۰	۵	۵

به‌منظور اندازه‌گیری و کنترل دقیق تبخیر- تعرق گیاه کلزا از یک لایسیمتر زهکش‌دار به مساحت ۲/۵ مترمربع و عمق ۲/۲ متر استفاده شد. این لایسیمتر در وسط قطعه زمینی به ابعاد ٤۰×٤۰ متر نصب شد؛ به‌گونه‌ای 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.

$$ET_c = I + P - D \pm \sum_{i=1}^{n}(Pw_1 - Pw_2) \qquad (۲)$$

در این رابطه؛ ET_c تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، I مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P میزان بارش (میلی‌متر)، D عمق زهاب (میلی‌متر)، Pw_1 و Pw_2 به ترتیب رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری (میلی‌متر) می‌باشد.

مقدار تبخیر تعرق واقعی مربوط به تیمارهای اعمال تنش شده با استفاده از رابطه ۲ و داده‌های رطوبتی به دست آمد و مقدار پتانسیل از داده‌های تیمار ۱۲ که در لایسیمتر کشت‌شده بود و بدون تنش در نظر گرفته‌شده 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 می‌آید، به‌صورت کمی ارزیابی کنیم که حاصل آن ارائه توابع تولید می‌باشد. تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر- تعرق نسبی گیاه است که محققان پس از جمع‌بندی روابط ارائه‌شده و تجزیه‌وتحلیل، ضریب واکنش عملکرد محصول را به‌صورت عمومی ارائه کردند. با توجه به اینکه اثرات تنش آبی در مراحل مختلف رشد متفاوت است غالباً توابع تولید طوری نوشته می‌شوند که در آن‌ها حساسیت گیاه به کم‌آبی در هریک از مراحل رشد لحاظ شده باشد. از پیشرفته‌ترین معادلات فعلی که در این مطالعه از آن استفاده‌شده است، تابع Rase (2004) در مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح (*BUDGET*) می‌باشد که در آن هر یک از مراحل مختلف رشد به چند بازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند (رابطه ۳).

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

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 بازهٔ زمانی موردنظر (روز) و L_i طول کل دوره رشد می‌باشد.

از دیگر توابع مطرح در این زمینه و مورداستفاده در این تحقیق تابع Tafteh *et al* (2013) می‌باشد که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه Rase (2004) به‌صورت رابطه (٤) ارائه‌شده است.

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}} \quad (٤)$$

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

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2} \quad (٥)$$

$$\mathrm{NRMSE} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}}{\overline{X}} \quad (٦)$$

$$d = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|X_i - \overline{X}| + |Y_i - \overline{Y}|)^2}\right] \quad (٧)$$

در روابط فوق؛

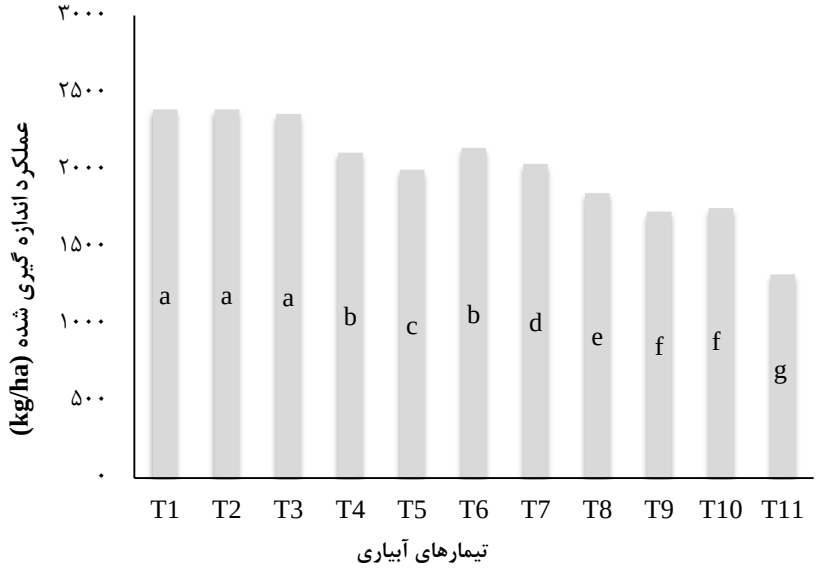
n تعداد داده‌ها، X و Y به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده‌شده، $\overline{X}$ و $\overline{Y}$ به ترتیب میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و میانگین مقادیر تخمین زده‌شده می‌باشد.

نتایج و بحث

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

مقادیر تبخیر- تعرق گیاه کلزا در سال‌های آماری مختلف در جدول (۲) ارائه‌شده است. با توجه به تیمارهای آبیاری اعمال‌شده در این سال‌ها مقادیر عملکرد هر یک نیز در این جدول اشاره‌شده است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان توابع تولید ذکرشده در این تحقیق را در بازه‌های زمانی موردبحث، ارزیابی و بررسی نمود.



شکل ۱. اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد محصول اندازه‌گیری شده

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

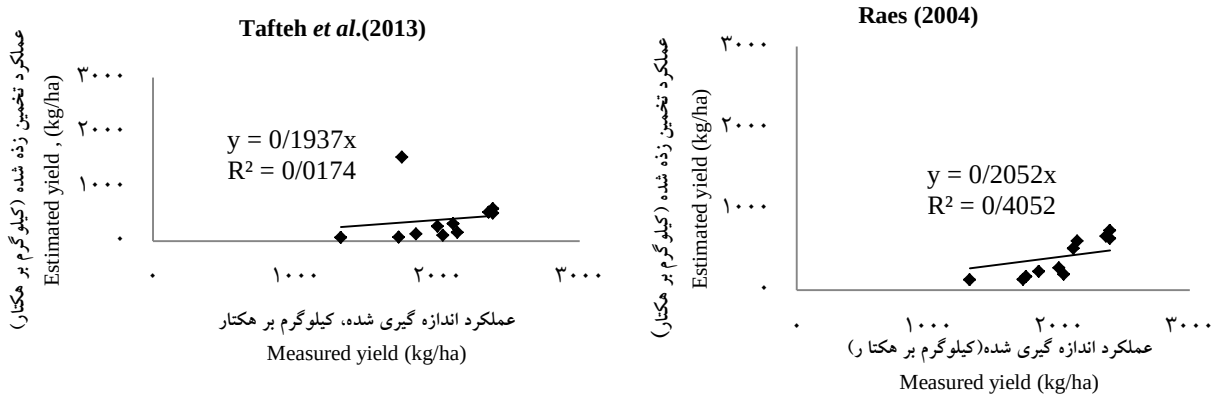
طبق اطلاعات جدول (۲)، تیمار T_{12} دارای بیشترین نیاز آبی با مقدار ۸۳٤/۸ میلی‌متر و حداکثر عملکرد محصول برابر ۳۱۳۲ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و به‌عنوان تیمار شاهد برای سایر تیمارها لحاظ گردید. حداقل آب مصرفی گیاه کلزا در این تحقیق با مقدار ۳۷۲/۷ میلی‌متر و حداقل عملکرد محصول برابر ۱۳۲۰ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار T_{11} می‌باشد. همچنین طبق این جدول بیشترین مقدار آب مصرفی کلزا در فروردین‌ماه ۱۲٤ میلی‌متر و کمترین مقدار آن ۱٤ میلی‌متر در خردادماه می‌باشد.

مقادیر محاسبه‌شده 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_y) در جدول‌های (۳) و (٤) آورده شده است. با استفاده از اطلاعات جدول‌های (۳) و (٤) و میزان عملکرد محصول در مزرعه، به‌وسیله 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 ٤۲۳ و ۰/۲۱۱ مربوط به بازهٔ 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 ٤۵۰/۱۲ و ۰/۲۲٤ در بازه کل دوره رشد به‌دست‌آمد.

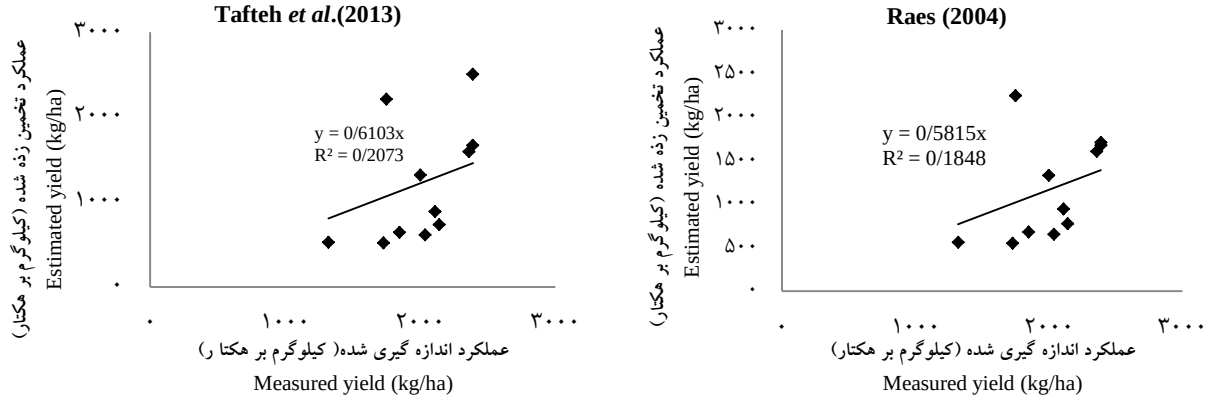
جدول ۲. میزان تبخیر- تعرق ماهانه و عملکرد محصول گیاه کلزا در منطقه اسماعیل‌آباد قزوین

تیمار	تبخیر- تعرق (mm)									عملکرد محصول ($kg.ha^{-1}$)
	مهر (Oct)	آبان (Nov)	آذر (Dec)	دی (Jan)	بهمن (Feb)	اسفند (Mar)	فروردین (Apr)	اردیبهشت (May)	خرداد (Jun)	
T_1	۹۹	۹۹	٥٤	۱۹/٥	۳۰	۱۰۳/۲	۱۰۲	۱۰۳	٦۹	٦۷۸/۷
T_2	۸۰	٦۸	٤۲	۲۱/٥	۲۰	۷۰	۱۱٦/۸	۱۰٦	۸٤	٦۰۸/۳
T_3	۸۰	٦۸	٤۲	۲٦/٥	۲۷/٥	۷۷/۲	۱۲٤	۸٥/٦	۷۳	٦۰۳/۸
T_4	۸۳	۸۸	۷۳	٤۷	٦۰	٤۲	۱۰۲	٤۷	۱٥	٥٥۷
T_5	۸٥	۷۰	٦۳/۸	۲٤	۲٤	۲٦	۷۱	۷٤/۱	۸٥	٥۲۲/۹
T_6	۸۸	۷٤/۸	٤٦/۲	۳۱	۳٤	٤۳	۱۰٤	۳۸	۲۰	٤۷۹
T_7	۸۹	۷۲	٥٥	۲۷/٥	۲٦/٥	٤٥	۷۹/٦	۳۰	۱٦	٤٤۰/٦
T_8	۷۸	٤۷	۳۹	۲۰/۸	۲۷	٥۳	۱۰٦	۷۷	۱٦	٤٦۳/۸
T_9	۷۳	٤۸	۳۸	۲۰/٥	۲٤	٥٥	۸٥	۲٤	۱٤	۳۸۱/٥
T_{10}	۹۱/۳	۹٦/۸	۸۰/۳	٥۱/۷	٦۲/٥	۷٦/۹	۱۱۰/۹	۷۰/٤	۸٥	۷۲٥/۸
T_{11}	٦۹	۷۸	٤۷/٥	۲۷/۷	۲٥/٥	۲۲	٥۹	۲۷	۱۷	۳۷۲/۷
T_{12}	۹۹	۱۰۱/۱	۸٤/۳	٥۱/۷	٦٤/٥	۱۰۳/۲	۱۲٤	۱۱٦	۹۱	۸۳٤/۸

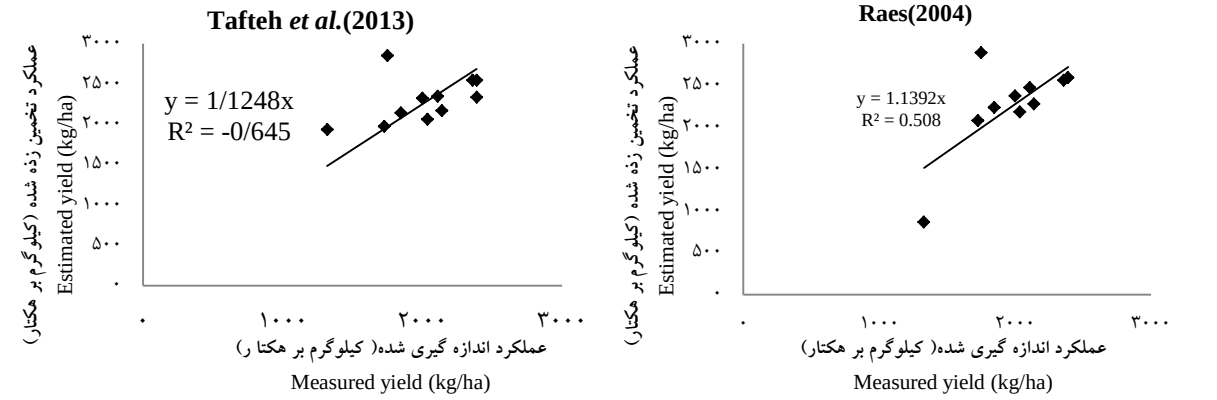
هراندازه مقادیر این شاخص‌ها کمتر باشد، نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است. همچنین بیشترین مقدار شاخص توافق در بین بازه‌های زمانی مختلف برای روش‌های Tafteh *et al* (2013) و Rase (2004)، به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۶۷ در بازهٔ کل دوره رشد به‌دست آمد. هراندازه این شاخص بیشتر باشد نشان دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است. از مقایسه دو روش نیز تابع 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 (٤) نشان داده‌شده است.



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



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



شکل ٤. رابطه بین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع تولیدی در بازهٔ کل دوره رشد

همان‌طور که در این نمودارها نشان داده‌شده است، تابع Tafteh *et al* (2013) در بازهٔ کل دوره رشد با ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/٦٤٥، عملکرد مناسب‌تری نسبت به تابع Rase (2004) دارد. ازاین‌رو با توجه به نتایج به‌دست‌آمده توابع حاصل‌ضربی باید در بازهٔ 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 حساسیت آن‌ها را به تنش آبی بیشتر می‌کند. ازاین‌رو با کوچک‌تر شدن مخرج توان، کسر توانی بزرگ‌تر شده و منجر به کاهش بیشتر عملکرد می‌گردد.

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

جدول ۳. توان تابع تولیدی (۲۰۰٤) Raes در بازه‌های زمانی مختلف

ماهانه	L_i	$\Delta t_j / L_i$	مراحل رشد	L_i	$\Delta t_j / L_i$	کل دوره رشد	L_i	$\Delta t_j / L_i$
مهر (Oct)	۳۰	۰/۵۰	ابتدایی (Initial)	۲۸	۰/۵۳	مهر (Oct)	۲۳۸	۰/۰۹
آبان (Nov)	۳۰	1				آبان (Nov)	۲۳۸	۰/۱۲
آذر (Dec)	۳۰	1	توسعه (Development)	۹۱	۰/۳۲	آذر (Dec)	۲۳۸	۰/۱۲
دی (Jan)	۳۰	1				دی (Jan)	۲۳۸	۰/۱۲
بهمن (Feb)	۳۰	1	میانی (Middle)	۹۸	۰/۳۰	بهمن (Feb)	۲۳۸	۰/۱۲
اسفند (Mar)	۳۰	1				اسفند (Mar)	۲۳۸	۰/۱۲
فروردین (Apr)	۳۱	1	نهایی (Final)	۲۱	۰/۵۲	فروردین (Apr)	۲۳۸	۰/۱۲
اردیبهشت (May)	۳۱	1				مهر (Oct)	۲۳۸	۰/۰۹
خرداد (Jun)	۳۱	۰/۳٦				آبان (Nov)	۲۳۸	۰/۱۲

جدول ٤. ضریب واکنش عملکرد گیاه و توان تابع تولیدی (۲۰۱٤ b) Tafteh *et al.* در بازه‌های زمانی مختلف

ماهانه	k_{yFAO}	$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}$	مراحل رشد	k_{yFAO}	$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}$	کل دوره رشد	k_{yFAO}	$\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}$
مهر (Oct)	۰/۲۰	۱	ابتدایی (Initial)	۰/۲۰	۱	مهر (Oct)	۰/۲۰	۰/۰۵
آبان (Nov)	۰/٤۳	۱				آبان (Nov)	۰/٤۳	۰/۱۰
آذر (Dec)	۰/۵۰	۱	توسعه (Development)	۰/٦۰	۰/۳۹	آذر (Dec)	۰/۵۰	۰/۱۱
دی (Jan)	۰/٦۰	۱				دی (Jan)	۰/٦۰	۰/۱٤
بهمن (Feb)	۰/٦۰	۱	میانی (Middle)	۰/۵۰	۰/۲۲	بهمن (Feb)	۰/٦۰	۰/۱٤
اسفند (Mar)	۰/٦۰	۱				اسفند (Mar)	۰/٦۰	۰/۱٤
فروردین (Apr)	۰/۵۵	۱	نهایی (Final)	۰/٤۰	۱	فروردین (Apr)	۰/۵۵	۰/۱۳
اردیبهشت (May)	۰/۵۰	۱				اردیبهشت (May)	۰/۵۰	۰/۱۱
خرداد (Jun)	۰/٤۰	۱				خرداد (Jun)	۰/٤۰	۰/۰۹

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

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. ازاین‌رو این توابع در بازه‌های زمانی مختلف که بر توان این معادلات اثرگذار می‌باشد، موردبررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد با کوچک‌تر شدن بازه محاسبات توانی، خطای این توابع افزایش چشمگیری دارند. بنابراین نمای توانی 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 (R^2) را برای کل دوره رشد دارد. درنتیجه توابع مذکور با ضرایب فوق به‌عنوان روش‌های مناسب برای تخمین محصول گیاه کلزا برای کل دوره رشد در دشت قزوین توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

Ahmadi, M. W. 2003. Foodstuffs, product and oilseed development of Rapeseed.194.

Ebrahimipak, 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 food outlook.com. 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 Haghighi, 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 Khouzestan 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.

ISSN 2251-7480

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

Arash Tafteh[1]*, Aslan Egdernezhad[2] and NiazAli Ebrahimipak[3]

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.