



مدلسازی رشد و عملکرد گلرنگ در اصفهان

ولی الله دادرسی^۱، بنیامین ترابی^۲، سهیلا قاسمی مهام^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۷

چکیده

گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) یکی از مهمترین گیاهان زراعی و دارویی در ایران است که با استفاده از آمار دراز مدت هواشناسی و بهره گیری از یک مدل ساده می توان عملکرد بالقوه اقلیمی این گیاه و محدودیت های آن را بررسی کرد. این مطالعه، به منظور مدل سازی آماری و پیش بینی عملکرد محصول گلرنگ در استان اصفهان، بر مبنای شاخص های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیمی انجام شده است. برای پیش بینی مراحل رشد و عملکرد گیاه زراعی بایستی زیر مدل های فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، موازنه آب و خاک مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. پارامترهای مربوط به هر زیر مدل با استفاده از داده های مربوط به تاریخ کاشت های مختلف در سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ در منطقه اصفهان و داده های مربوط به سایر محققان در سایر نقاط برآورد گردید. بر اساس آمار هواشناسی استان اصفهان (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) و با استفاده از زیر مدل های مربوط به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرات رشد و عملکرد آن محاسبه شده و عملکرد مربوط به محصول گلرنگ در پایان فصل رشد پیش بینی گردید. از معیارهای ارزیابی مدل، مقایسه ضرایب رگرسیون خطی بین عملکرد مشاهده شده و پیش بینی شده ($a = 0.073 \pm 0.046$ و $b = 0.018 \pm 0.049$) با ضرایب خط ۱:۱ می باشد. در خصوص ضریب تغییرات مربوط به عملکرد دانه پیش بینی شده و مشاهده شده ($CV = 0.89$) دقت مدل بسیار بالا بوده به گونه ای که در آزمایشات مزرعه ای حد مجاز برای ضریب تغییرات ۲۰ تا ۲۵ می باشد. مقدار ضریب تبیین (R^2) برای عملکرد دانه برابر با ۰/۷۵ بوده که این امر بیانگر این است که داده های پیش بینی شده با داده های مشاهده شده به احتمال ۷۵ درصد هم خوانی دارند. تغییرات عملکرد دانه برای داده های مشاهده شده بین ۱/۲ تا ۴/۶۱ تن در هکتار و میانگین داده ها ۲/۹ تن بود و برای داده های پیش بینی شده دامنه تغییرات عملکرد بین ۱/۹۴ تا ۳/۶۲ تن و میانگین آنها ۲/۷۸ تن در هکتار بود که در تمام موارد عملکرد شبیه سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. بنابراین، با توجه به توانایی مناسب مدل در شبیه سازی مراحل فنولوژی گلرنگ، می توان از آن به عنوان ابزار مناسبی برای برنامه ریزی و مدیریت بهتر مزارع گلرنگ در منطقه اصفهان استفاده نمود.

واژه های کلیدی: مدل سازی، فنولوژی، ماده خشک، سطح برگ، گلرنگ

دادرسی، و. ب. ترابی، و. س. قاسمی مهام. ۱۳۹۷. مدلسازی رشد و عملکرد گلرنگ در اصفهان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۲: ۱۶۱-۱۷۶.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: v.dadrasi@gmail.com

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) گیاهی از خانواده استراسه بوده که دارای خواص دارویی بالا و اسیدهای چرب با کیفیت بالا می‌باشد (شمس و همکاران، ۱۳۸۷). گلرنگ در ابتدا به منظور استخراج رنگ از گلچه‌های آن جهت رنگ آمیزی پارچه و تزئین غذا کشت می‌شده است اما سابقه زراعت آن به عنوان یک دانه روغنی چندان طولانی نیست (چو و تائه، ۲۰۰۰). سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۶۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد یک تن در هکتار می‌باشد و بیشترین سطح زیر کشت آن بترتیب مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان و یزد است (فروزان، ۲۰۰۵). لذا با توجه به اینکه مناطق عمده کشت این محصول جزو مناطق کویری و حاشیه کویری می‌باشد و با توجه به شرایط تولید، در مراحل مختلف نمو خود با تنش‌های محیطی روبرو است. بنابراین آگاهی از زمان وقوع و طول مراحل نمو آن باعث می‌شود که مراحل نمو حساستر به تنش‌های محیطی و تاثیر گذارتر در عملکرد دانه مورد شناسایی قرار گرفته و عوامل محدود کننده تولید، نظیر آب در این مراحل برای گیاه تامین گردد. این امر در نهایت سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد (داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲). به همین لحاظ بررسی تغییرات حیاتی گیاه شامل مراحل رشد رویشی و زایشی نسبت به زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (ماندل و همکاران، ۱۹۹۴).

کاربرد مدل‌های کامپیوتری در کشاورزی به سرعت در حال افزایش است. مدل‌های رشد گیاهان زراعی ابزارهای قوی برای پیش بینی تغییرات عملکرد می‌باشند. عملکرد یک محصول زراعی در یک مکان، حاصل تغییرات عوامل مدیریتی و محیطی است. عوامل محیطی شامل نوع خاک، آفات، بیماری‌ها، رطوبت خاک ذخیره شده در زمان کاشت، تغییرات روزانه آب و هوا در طول فصل رشد و عوامل مدیریتی شامل تراکم گیاه، تاریخ کاشت، حاصلخیزی، آبیاری و تیمارهای شیمیایی برای مبارزه با آفت و بیماری‌ها هستند. روش‌های مختلفی برای تصمیم‌گیری عوامل فوق جهت افزایش بهره‌وری و کاهش خطرات در شرایط مختلف آب و هوایی وجود دارند. مدل‌های گیاهان زراعی، ابزارهای قوی برای بهینه‌سازی چنین تصمیماتی تحت شرایط مختلف آب و هوایی هستند. هدف از بوجود آوردن یک مدل این است که در شرایط مختلف محیطی، عملکرد محصول را به خوبی پیش بینی کند (ترابی و سلطانی ۱۳۹۲).

محدودیت‌های محیطی در عملکرد هر منطقه‌ای را، می‌توان با کمک یک مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی و داده‌های هواشناسی

دراز مدت ارزیابی کرد و به تحلیل عملکرد و تغییرات آن در رابطه با عوامل آب و هوایی (دما، تششع، بارندگی و CO_2) پرداخت (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۲). در واقع مدل‌سازی تعیین روابط بین فرایندهای منطقی و مرتبط باهم و ارائه یک سیستم پویا است که با کمک آن می‌توان تغییرات سیستم را پیشگویی نمود و زمینه لازم را برای تخمین رشد و تولید محصول در سطح یک منطقه فراهم کرد. با کمک مدل و شبیه‌سازی می‌توان از تکرار آزمایشات و افزایش هزینه‌ها جلوگیری نمود بدون اینکه به نتایج حاصله خدشه وارد گردد (سعادت‌خواه، ۱۳۹۲). امروزه استفاده از مدل‌های ساده به عنوان ابزاری برای تفسیر آسان نتایج مد نظر قرار گرفته و به صورت موفقیت‌آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد اقلیمی و محدودیت‌های آن استفاده شده است. سینکر (۱۹۸۶) در ابتدا مدلی برای سویا ساخته و سپس از این مدل به عنوان یک چهارچوب برای انواع مدل‌ها برای سایر گیاهان زراعی مثل گندم (آرنیر و سینکر، ۱۹۹۱)، ذرت (ماجو و سینکر، ۱۹۹۱؛ ترابی و سلطانی، ۱۳۹۲)، سورگوم (هامر و ماجو، ۱۹۹۴)، بادام زمینی (هامر و همکاران، ۱۹۹۵)، چغندرقد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۲) و نخود (سلطانی و همکاران، ۱۹۹۹) ساخته شد که از آنها در بررسی پتانسیل عملکرد استفاده گردید. در همین راستا تحقیقات زیادی به منظور پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی گیاه گلرنگ در نواحی مختلف ایران از جمله اصفهان (داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲)، کبوترآباد (شهسواری و یساری، ۱۳۸۹) و بیرجند (موسوی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹) به وسیله مدل ریاضی صورت گرفته است. از کاربردهای دیگر مدل می‌توان به پیش‌بینی وقوع حوادث فنولوژیکی گیاه گلرنگ تحت تاثیر کود، علف‌کش، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه، تراکم (شریفی و همکاران، ۲۰۱۲)، تاریخ کشت (داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲)، آبیاری (اسماعیلی و سلیمانی، ۲۰۱۳)، رقم (شهسواری و یساری، ۱۳۸۹) و طول روز (شهسواری، ۱۳۹۱) اشاره کرد.

هدف از این مطالعه، ایجاد یک مدل ساده می‌باشد که بتوان عملکرد را به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، میزان رشد برگ و موازنه آب خاک نسبت دهد و این مدل بتواند به عنوان یک ابزار کاربردی ساده برای پیش‌بینی عملکرد گلرنگ به کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

توصیف مدل

از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی بشمار می‌آید و تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی بوسیله تنظیم مراحل نمو زمان‌بندی می‌شود. و می‌توان گفت نمو محصول عبارت است از تغییر کیفی برنامه‌ریزی شده- ای، که گیاه را به سوی رسیدگی هدایت می‌کند (اندرزیان و همکاران، ۱۳۸۶). قابل ذکر است مدل‌های متعددی برای کمی کردن مراحل نمو وجود دارد، ولی در اکثر مواقع در مکان‌هایی با شرایط محیطی مختلف این مدل‌ها پیش‌بینی‌های صحیحی را نشان نمی‌دهند. یکی از دلایل می‌تواند این باشد که پارامترهای استفاده شده در این مدل‌ها از یک سری داده‌های محدود، برآورد شده باشند بنابراین برای به دست آوردن برآوردهای دقیق‌تر پارامترها برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک، داده‌های مورد استفاده باید دامنه وسیعی از محل‌ها و یا تاریخ‌های کاشت را در بر گیرد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). بر این اساس استفاده از سال‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف برای کمی کردن دقیق‌تر مراحل نمو گیاهان ضروری به نظر می‌رسد.

این مدل با الگو برداری از مدل سلطانی و همکاران (۲۰۰۵) صورت گرفت. که در واقع جهت محاسبه رشد و نمو، عملکرد و موازنه آب خاک کاربرد دارد. برای این منظور، نیاز به یکسری روابط و معادلات اندکی می‌باشد تا بتوان شبیه‌سازی مهمترین فرایندها را محاسبه کرد. به طوری که مراحل فنولوژیکی گیاه بر اساس مطالعات موسوی‌فر و همکاران، (۱۳۸۹)، داداشی و خواجه‌پور، (۱۳۸۲) و یساری و همکاران، (۱۳۸۴) صورت گرفت و محاسبه میزان رشد و توسعه سطح برگ بر اساس مطالعات امیدوی و شریفی مقدس، (۲۰۱۰)، طهماسبی زاده و همکاران، (۱۳۸۷) و اسماعیلی و سلیمانی (۲۰۱۳) انجام گرفت. همچنین از تحقیقات سعادت‌خواه، (۱۳۹۲) و علی‌نقی‌زاده و همکاران، (۱۳۸۹) به منظور محاسبه و تعیین توزیع و تجمع ماده خشک و کارایی مصرف تابش استفاده گردید. لذا مدل برای اجرا نیاز به یکسری ورودی دارد که در جدول ۱ اشاره شده است و کلیه پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل از پژوهش‌های مختلف جمع‌آوری شده است (جدول ۲).

نمو فنولوژی

جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز برای مدل گلرنگ

واحد	پارامتر	
درجه سلسیوس	حداکثر دمای روزانه (TMax)	داده‌های هواشناسی و اقلیمی
درجه سلسیوس	حداقل دمای روزانه (TMin)	
مگاژول در متر مربع در روز	تابش خورشیدی روزانه (SRAD)	
میلی‌متر	بارندگی روزانه (RAIN)	
ندارد	آلیدو (SALB)	
میلی‌متر بر میلی‌متر	ضریب زهکشی (DRAINF)	ویژگی‌های خاک
سانتی‌متر بر سانتی‌متر	کسر حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی (IDUL)	
سانتی‌متر بر سانتی‌متر	کسر حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (ILI)	
سانتی‌متر بر سانتی‌متر	کسر حجمی رطوبت در نقطه اشباع (ISAT)	
ندارد	شماره منحنی خاک (CN)	
روز سال از اول ژانویه	تاریخ کشت (PDOY)	
بوته در متر مربع	تراکم (DEN)	
میلی‌متر	رطوبت خاک در موقع کاشت (ISW)	مدیریت زراعی
ندارد	کسر آب قابل تعرق اک برای انجام آبیاری (IRGLVL)	

کمی کردن فنولوژی گلرنگ استفاده گردید (شیکویچ، ۱۹۹۵). که رایج‌ترین شاخص حرارتی درجه روز رشد تجمعی (GDD) می‌باشد. که برای پیش‌بینی مراحل مختلف نمو در دامنه محدودی از تاریخ‌های کاشت و عرض‌های جغرافیایی استفاده

سهم بیشتر دما بر نمو سبب شد تا گام‌های نخست در جهت شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی با استفاده از دما صورت پذیرد. از این رو از شاخص حرارتی که مراحل مختلف نمو را خیلی دقیق بر اساس زمان تقویمی پیش‌بینی می‌کند برای

می‌شود. در این تحقیق درجه روز رشد تجمعی نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه شده است (معادله ۱).

$$GDD = \sum \left((T_{max} + T_{min}) / 2 \right) - T_b$$

معادله ۱- معادله درجه روز رشد تجمعی

$$\begin{aligned} \text{If } T < T_b & \quad GDD = 0 \\ \text{If } T_b < T < T_o & \quad GDD = T - T_b \\ \text{If } T \geq T_o & \quad GDD = T_o - T_b \end{aligned}$$

مقدار KPAR برای گلرنگ بین ۰/۵۲ تا ۱/۰۸۱ گزارش شده است (مجذ نصری و احمدی، ۱۳۸۴). در یک جامعه گیاهی بسته به آرایش کاشت و ژنوتیپ گیاه میزان K می‌تواند متغیر باشد هرچه برگ‌ها عمودی‌تر باشند و یا تراکم کاشت کمتر باشد میزان ضریب خاموشی کمتر خواهد بود (سائگی، ۱۹۶۰). این مسئله اهمیت عضو متوقف کننده نور را بیشتر نشان می‌دهد. اهمیت زیاد اندازه K برای گیاهان مدرن با سطح برگ کم در بوته و ارتفاع کمتر، در آزمایشات صدیقی و همکاران (۱۹۸۹) نیز ثابت شده است و مقدار KPAR در این آزمایش بر اساس تراکم انتخاب، و ۰/۶۲۲ مد نظر قرار گرفت. مقدار LAI با توجه به مدل EPIC محاسبه شد (سلطانی، ۱۳۸۸).

مقدار RUE برای گلرنگ در بین ارقام مختلف حدود ۱/۷ تا ۲/۵ گزارش شده است (سعادت‌خواه، ۱۳۹۲) که مقدار RUE برای رقم مورد نظر حدود ۱/۸ در نظر گرفته شد و سعادت‌خواه (۱۳۹۲) توانست مقدار RUE را بر اساس یک رابطه خطی، ارتباط بین تشعشع دریافت شده تجمعی و ماده خشک تجمعی از کاشت تا رسیدگی با مقادیر ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۸ به خوبی توجیه کند. که در این روش عامل اصلی در تعیین RUE، شاخص سطح برگ می‌باشد به طوری که هر چه شاخص سطح برگ بیشتر باشد ماده تجمعی بیشتر شده و در نهایت مقدار RUE افزایش می‌یابد. که این امر روی سایر گیاهان نظیر باقلا (تارپین و همکاران، ۲۰۰۲)، عدس (تامسون و صدیقی، ۱۹۹۷)، سویا (پنگلی و همکاران، ۱۹۹۹) و ماش (ماچو و همکاران، ۱۹۹۳) به اثبات رسیده است. در گیاه گلرنگ به دلیل داشتن رشد روزت در مراحل اولیه رشد، رشد کندی داشته و افزایش وزن خشک در این دوره نسبت به زمان ناچیز است. سپس با تشکیل ساقه مقدار تجمع ماده خشک افزایش پیدا کرده و در اواخر مرحله رشد مقدار آن کاهش می‌یابد که این امر احتمالاً به خاطر تغییر در کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط نامطلوب دمایی باشد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۸۷). که با توجه به رابطه زیر، کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط نامطلوب دمایی تصحیح گردد.

$$RUE = IRUE1 \times DVRUE \times TCFRUE \quad \text{معادله ۴}$$

که در آن T_o ، T_b ، T ، T_{min} ، T_{max} به ترتیب حداکثر دمای روزانه، حداقل دمای روزانه، متوسط دمای روزانه، دمای پایه و دمای مطلوب بر حسب درجه سلسیوس هستند که GDD برای مراحل مختلف نمو به صورت تجمعی بیان شد. بنابراین، از شروع هر مرحله نموی تا پایان آن مرحله GDD روزانه محاسبه و سپس با هم جمع گردید و در نهایت به صورت تجمعی ارائه شد.

در این مطالعه برای پیش‌بینی مدت زمان از کاشت تا مراحل مختلف نمو با استفاده از معادله ۱، از داده‌های مربوط به رقم اراک تحت شرایط اصفهان استفاده شد. که GDD برای مراحل نموی مورد پیش‌بینی از کاشت تا سبز شدن، تکمه دهی (رسیدن قطر جوانه طبق در رأس ساقه اصلی به حدود ۵ میلی‌متر)، آغاز گلدهی (مشاهده نخستین گل‌های خارج شده در طبق‌های اصلی)، تا ۱۰۰ درصد گلدهی (مشاهده خروج گل‌ها در ۹۵ درصد طبق‌های موجود در هر کرت) و رسیدن فیزیولوژیکی (آغاز زرد شدن ۷۵ درصد برگچه‌های طبق‌های موجود) به ترتیب ۱۰۵/۸، ۸۹۰/۶، ۱۱۴۶، ۱۶۱۰ و ۱۹۶۷ درجه سلسیوس در روز بودند.

تولید و توزیع ماده خشک

ماده خشک تولید شده در هر روز یا سرعت رشد محصول (DPB) گرم در متر مربع در روز) به صورت حاصل ضرب کل تشعشعات خورشیدی رسیده (SRAD، مگاژول در متر مربع در روز)، کسری از تشعشع خورشیدی که توسط گیاه دریافت می‌شود (FINT، فاقد واحد) و کارایی مصرف نور (RUE، گرم بر مگاژول) محاسبه می‌شود:

$$DBP = SRAD \times FINT \times RUE \quad \text{معادله ۲}$$

مقدار FINT خود به شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب خاموشی (K) بستگی دارد که بر اساس قانون بیر (قلی-پور و سلطانی، ۱۳۸۴) به دست می‌آید:

$$FINT = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad \text{معادله ۳}$$

عملکرد دانه به عنوان تابعی از تجمع ماده خشک و افزایش خطی شاخص برداشت روزانه (DHI) توصیف شد (زارعی و همکاران، ۲۰۱۱). که در این مدل شاخص برداشت روزانه برابر 0.302 در روز تخمین زده شد (جدول ۲). از آنجایی که شاخص برداشت تا زمانی انجام می‌گیرد که حداکثر وزن دانه بدست آید و بعد از آن منحنی شاخص برداشت در مقابل زمان حرارتی یک حالت مسطح پیدا می‌کند.

که در آن RUE کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط مختلف دمایی، IRUE1 کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در طول دوره رشد رویشی در شرایط مطلوب دمایی، DVRUE ضریب کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی می‌باشد و مقدار آن قبل از پر شدن دانه برابر ۱ و بعد از پر شدن دانه برابر RRUE می‌باشد. و مقدار RRUE بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$RRUE = \frac{IRUE2}{IRUE1} \quad \text{معادله ۵}$$

جدول ۲- نام، واحد اندازه‌گیری، مقدار تخمین و منبع تخمین پارامترهای ورودی در مدل گلرنگ

پارامتر	واحد	تخمین	منبع تخمین
دمای پایه (Tb)	درجه سلسیوس	۵	ترابی و همکاران، ۲۰۱۲
دمای مطلوب برای نمو (To)	درجه سلسیوس	۳۰	ترابی و همکاران، ۲۰۱۳
دمای پایه کارایی مصرف تابش (TbRUE)	درجه سلسیوس	۸	سلطانی، ۱۳۸۸
دمای مطلوب تحتانی کارایی مصرف تابش (To1RUE)	درجه سلسیوس	۱۷	سلطانی، ۱۳۸۸
دمای مطلوب فوقانی کارایی مصرف تابش (To2RUE)	درجه سلسیوس	۲۷	سلطانی، ۱۳۸۸
دمای سقف برای کارایی مصرف تابش (TcRUE)	درجه سلسیوس	۴۵	سلطانی، ۱۳۸۸
کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب قبل از پر شدن دانه (IRUE1)	گرم بر مگاژول	۱/۸	سعادت‌خواه، ۱۳۹۲
ضریب خاموشی برای تابش فعال فتوسنتزی (KPAR)	-	۰/۶۲۲	مجدنصیری و احمدی، ۱۳۸۴
شاخص برداشت روزانه (DHI)	گرم در روز	۰/۳۰۲	زارعی و همکاران، ۲۰۱۱
نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P1)	بوته در متر مربع	۴۰	طهماسبی زاده و همکاران، ۱۳۸۷
نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P2)	بوته در متر مربع	۸۰	طهماسبی زاده و همکاران، ۱۳۸۷
نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نمایزه شده (D1)	-	۳/۲	مجدنصیری و احمدی، ۱۳۸۴
نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نمایزه شده (D2)	-	۳/۹	مجدنصیری و احمدی، ۱۳۸۴
حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در منطقه (LAI _{max})	-	۴/۹۶	شریفی و همکاران، ۲۰۱۲
کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش تولید ماده خشک (WSSG)	۰/۲۵	سلطانی، ۱۳۸۸	
کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش سطح برگ (WSSL)	۰/۳۵	سلطانی، ۱۳۸۸	
ضریب خاموشی در محاسبات مربوط به تبخیر تعرق (KET)	۰/۵	سلطانی، ۱۳۸۸	
ضریب آلبیدوی گیاه (CALB)	۰/۲۳	سلطانی، ۱۳۸۸	
عمق موثر استخراج آب از خاک (SOLDEP)	میلی‌متر	۱۲۰۰	سلطانی، ۱۳۸۸

سطح برگ

که در آن LAI شاخص سطح برگ، RLA نسبت LAI موجود به حداکثر LAI قابل حصول توسط محصول (LAI_{max}) می‌باشند. که مقدار RLA با توجه به مرحله نمو استاندارد شده (NGS)، نسبت زمان حرارتی موجود به زمان حرارتی از کاشت تا رسیدگی برداشت) از طریق معادلات زیر بدست آمد:

محاسبات مربوط به سطح برگ با روشی مشابه به آنچه در مدل EPIC که در مدل SBEET و ذرت بکار گرفته شده بود انجام گرفت. که میزان شاخص برگ بر اساس این مدل، در هر روز از کاشت تا برداشت از طریق معادله زیر محاسبه شد.

$$LAI = RLA \times LAI_{max} \quad \text{معادله ۶}$$

$$\text{RLAI} = \text{NGS} / (\text{NGS} + \text{EXP}(a + b \times \text{NGS})) \quad \text{اگر}$$

$$\text{RILA} = \text{BSGLAI} \times ((1 - \text{NGS}) / (1 - \text{BLS})) \quad \text{اگر}$$

زمان حرارتی از کاشت تا برداشت، LAI به ۵ درصد حداکثر خود می‌رسد و D2 برابر است با زمانی که ۵۰ درصد زمان حرارتی سپری شود LAI به ۹۵ درصد حداکثر خود برسد. بر اساس معادله ۶ LAImax حداکثر شاخص سطح برگ برای تراکم مورد نظر و RLAI نسبت LAI موجود به حداکثر LAI قابل حصول توسط محصول می‌باشد. که LAImax با استفاده از رابطه زیر بدست آمد:

$$\text{LAImax} = ((\text{PDEN} / \text{PDEN} + \text{EXP}(A1 - B1 \times \text{PDEN}))$$

(SOLDEP) می‌باشند که مقدار آنها برای مدل حاضر در جدول ۲ آورده شده است.

ارزیابی مدل

برای مقایسه داده‌های پیش بینی شده توسط مدل با آنچه در واقعیت اندازه گیری شده است شاخص های آماری زیر مورد استفاده قرار گرفت (هنر و همکاران، ۱۳۹۰):
شاخص RMSE یا مجذور میانگین مربعات خطا:

$$\text{RMSE} = \left[\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((Q_i) - (P_i))^2 \right)^{0/5} \right]$$

علاوه بر آن R^2 (مجذور ضریب همبستگی) نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

روز تا سبز شدن

در مورد شبیه سازی تعداد روز تا سبز شدن پنجاه درصد مزرعه بر اساس پارامترهای مورد نیاز مدل که در بخش مواد و روش‌ها به آنها اشاره شد بعنوان معیار تشخیص و اندازه‌گیری مدنظر قرار گرفت. نتایج قابل استناد برای درستی و ارزیابی مدل در جدول ۳ گزارش گردیده است که در آن ابتدا ضرایب رگرسیونی خط برازش داده شده بین نقاط، برابر $(a=1/32 \pm 0/09)$ و $(b=-1/42 \pm 0/77)$ بود که برای بررسی اینکه آیا با خط ۱:۱ اختلاف دارند یا نه درجه آزادی هر صفت را ضریب خطای استاندارد کرده و \pm ضرایب خط رگرسیونی می‌گردد که برای a باید عدد صفر در دامنه مورد نظر قرار گیرد و برای b عدد یک باید در دامنه باشد که در مورد این صفت

$$\text{معادله ۷} \quad \text{NGS} < \text{BLS}$$

$$\text{NGS} \geq \text{BLS}$$

BLS مرحله نمو استاندارد شده در شروع پر شدن دانه است که در آن حداکثر شاخص سطح برگ (BSGLAI) حاصل می‌شود و بعد از آن شاخص سطح برگ کاهش می‌یابد. a و b ضرایب معادله هستند و با در دست بودن دو نقطه D1 و D2 از طریق حل همزمان معادله فوق برای آن دو نقطه بدست می‌آید. مقدار D1 و D2 در این مطالعه بر طبق پژوهش سلطانی (۰/۱۵، ۰/۰۵) و (۰/۵۰، ۰/۹۵) در نظر گرفته شد (جدول ۲). D1 نشان می‌دهد که پس از طی شدن ۱۵ درصد

معادله ۸

در این معادله، PDEN تراکم گیاه گلرنگ در متر مربع می‌باشد که به صورت یک ورودی باید به مدل داده شود. A1 و B1 ضرایب معادله هستند که با در دست بودن دو نقطه P1 و P2 از طریق حل همزمان معادله فوق برای آن دو نقطه بدست می‌آید. در این مدل مقدار $P1(3/2, 40)$ و مقدار $P2(3/9, 80)$ در نظر گرفته شدند (جدول ۲).

موازنه آب

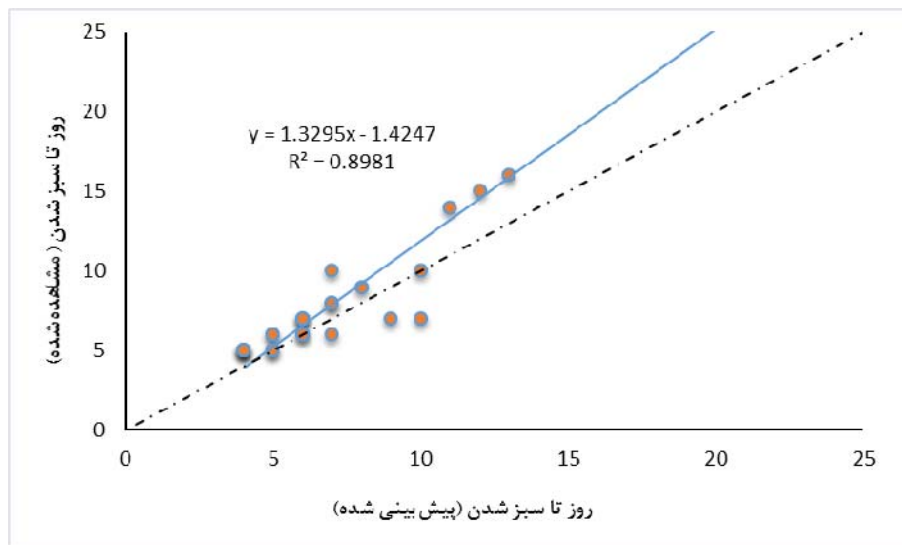
برای پیش‌بینی مقدار آب مصرفی مرتبط با رشد و عملکرد لازم است که موازنه آب در عمق خاک صورت گیرد. برای موازنه آب خاک، آب‌های ورودی به خاک از آب‌های خروجی از خاک کسر می‌گردد (سلطانی، ۱۳۸۸). برای موازنه آب خاک از فرمول زیر استفاده شد:

$$\text{SWCi} = \text{SWCi-1} + \text{ERAIN} + \text{IRGW}_i - \text{DRAIN}_i - \text{SEVP}_i - \text{Tri} \quad \text{معادله ۹}$$

که در آن SWCi مقدار آب وجود در خاک در روز i ام، SWCi مقدار آب موجود در خاک در روز $i-1$ ام، ERAIN میزان بارندگی موثر، IRGW_i میزان آب از طریق آبیاری در روز i ام، DRAIN_i میزان زهکشی عمقی که از محل ریشه خارج شده است، SEVP_i میزان تبخیر از سطح خاک و Tri میزان تعرق روزانه گیاه می‌باشد. محاسبات مربوط به زهکشی و تبخیر و تعرق بر طبق پژوهش سلطانی (۱۳۸۸) انجام شد. پارامترهای مربوط به موازنه آب خاک شامل ضریب تصحیح تولید ماده خشک برای تنش آب (WSSG)، ضریب تصحیح گسترش سطح برگ برای تنش آب (WSSL)، ضریب خاموشی برای کل تابش در محاسبه تقسیم تبخیر - تعرق (KET)، ضریب آلبیدوی گیاه (CALB) و عمق موثر استخراج آب از خاک

خطا (RMSE) نیز عدد مورد نظر برابر با $1/67$ بدست آمد که این آماره هر چه کوچکتر باشد بیانگر درستی مدل سازی و نزدیکی داده ها پیش بینی شده به مشاهده شده است. در مورد میانگین تعداد روز تا سبز شدن که در شکل ۱ گزار شده است محور X بیان گر تعداد روز تا سبز شدن (پیش بینی شده) و محور Y نشان دهنده تعداد روز تا سبز شدن (مشاهده شده) است که خط چین بیانگر روند پیش بینی است که در کنار خط (۱:۱) میزان درستی مدل مشخص گردیده است.

هیچکدام از ضرایب در محدوده قرار نداشتند، ضریب تغییرات برای این صفت برابر با $(19/6)$ درصد بود. با توجه به پراکنش نقاطی که از داده های حاصل از شبیه سازی و گزارش شده توسط سایر محققین بدست آمده بود خطی بین نقاط برازش داده شد که ضریب تبیین آن (R^2) $0/89$ بود که این امر نشان دهنده این است که با توجه به مشاهدات گزارش شده، مدل مورد استفاده به احتمال 89 درصد تغییرات تعداد روز تا سبز شدن را درست پیش بینی نموده است. در مورد ریشه میانگین مربعات



شکل ۱- روز تا سبز شدن پیش بینی شده در مقابل روز تا سبز شدن مشاهده شده

جدول ۳- آماره های بدست آمده از آنالیز رگرسیونی بین داده های مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل Epic

CV	R ²	R MSE	b ± SE	a ± SE	DF E	صفات
19.6	0.89	1.67	-1.42 ± 0.77	1.32 ± 0.09	23	D EMR
7.53	0.94	4.53	2.81 ± -3.42	1.04 ± 0.09	17	D BTG
7.56	0.92	4.73	-3.59 ± 4.56	1.04 ± 0.07	18	D BFL
7.46	0.88	6.82	3.52 ± 8.35	0.98 ± 0.092	15	D TFL
6.38	0.87	6.79	10.55 ± 8.75	0.91 ± 0.082	17	D HAR

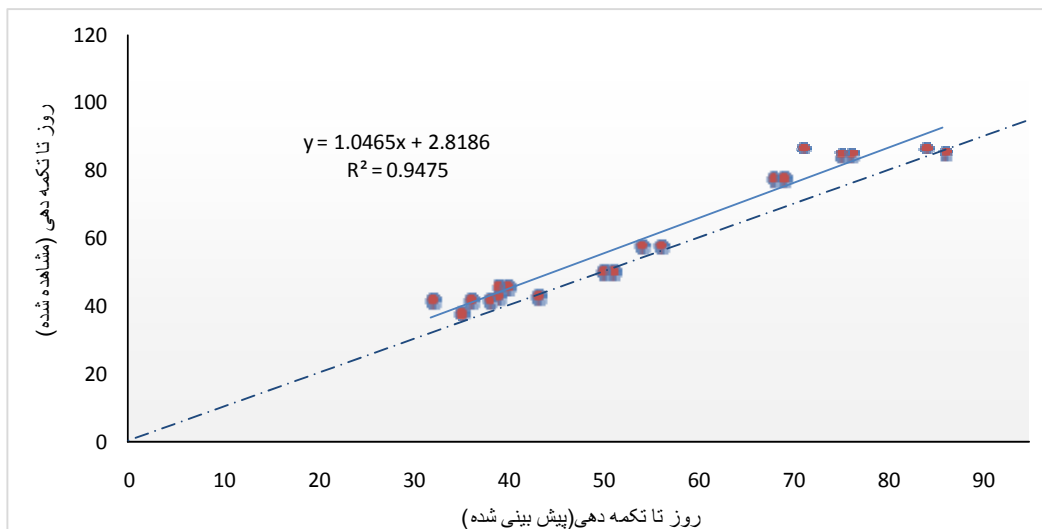
روز تا تکمه دهی

رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط برای ضریب a صفر در دامنه تغییر این خط قرار داشت اما ضریب b که خط ۱:۱ در محدوده تعین شده قرار نداشت. در مورد ضریب تغییرات نیز با توجه به عدد بدست آمده از جذر میانگین مربعات خطا بر میانگین کل ضریب ۱۰۰، میزان پراکندگی اعداد شبیه سازی شده و مشاهده شده در محدوده قابل قبولی قرار داشت که این آماره دقت مدل را نشان میدهد و در نهایت ضریب تبیین یا R² میزان

بر اساس نتایج تجزیه رگرسیونی داده های شبیه سازی شده و مشاهده شده برای تعداد روز تا تکمه دهی (جدول ۳)، آماره های مورد استفاده برای ارزیابی مدل به شرح زیر بدست آمد $(a=1/0.4 \pm 0/0.9)$ ، $b=2/81 \pm 3/42$ ، $CV=7/53$ ، $R^2=0/94$ ، $RMSE=4/53$. در مورد ضرایب خط رگرسیونی نیز باید عنوان نمود که با توجه به اعداد بدست آمده از خط

هر قدر این آماره کمتر باشد نشان دهنده دقیق تر بودن مدل می باشد. نمودار مقایسه داده های مشاهده شده و پیش بینی شده برای تعداد روز تا تکمه دهی در شکل ۲ گزارش شده است.

درستی شبیه سازی اعداد را نشان میدهد که به احتمال ۹۲ درصد تعداد روز تا تکمه دهی را درست پیش بینی نموده بود. با توجه به موارد گزارش شده ریشه میانگین مربعات میزان خطای برآورد داده های شبیه سازی در مقابل مشاهده شده را نشان میدهد که

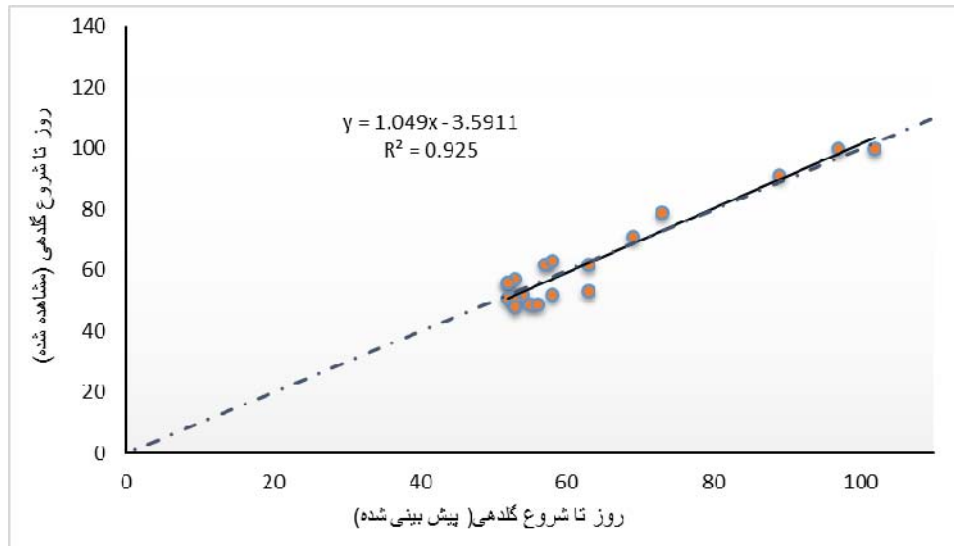


شکل ۲- روز تا تکمه دهی پیش بینی شده در مقابل تکمه دهی مشاهده شده

واقعیت بود که با پارامتر هایی که قبلا به آنها اشاره شد به احتمال ۹۲ درصد اعداد را درست پیش بینی کرده است. آماره دیگری که با استفاده از آن برای ارزیابی مدل استفاده می شود ریشه میانگین مربعات خطا می باشد که در برای این صفت برابر با $RMSE=4.73$ می باشد که کم بودن مقدار آن نشان دهنده میزان دقت بالای مدل در شبیه سازی تعداد روز تا شروع گلدهی است.

شروع گلدهی

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ ابتدا ضرایب خط رگرسیونی برازش داده شده بین اعداد پیش بینی شده و مشاهده شده بیان میگردد که این ضرایب دارای مقادیر $a=1.04 \pm 0.07$ و $b=-3.59 \pm 0.56$ بود. ضریب تغییرات برای این صفت برابر 7.56 می باشد که نشان دهنده میزان خوب مدل مورد استفاده می باشد. در خصوص ضریب تبیین ($R^2=0.92$) بیانگر این

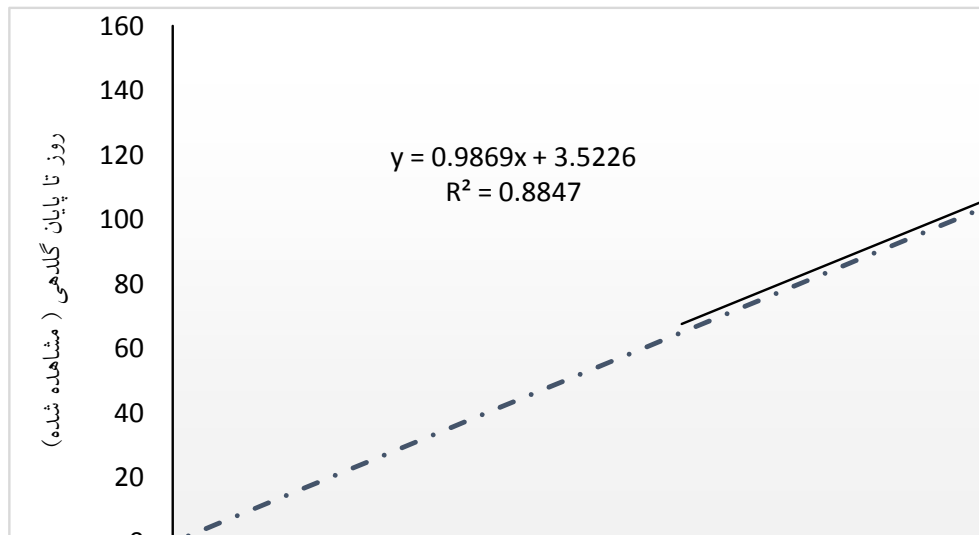


شکل ۳- روز تا شروع گلدهی پیش بینی شده در مقابل روز تا شروع گلدهی مشاهده شده

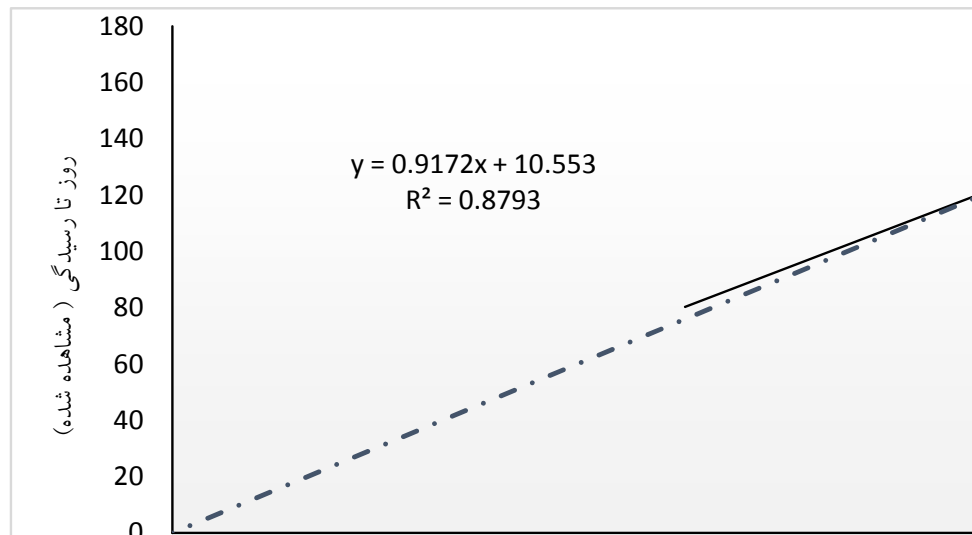
روز تا پایان گلدهی

با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی داده های مربوط به روز تا پایان پایان گلدهی بین پیش بینی شده و مشاهده شده آماره های مهمی که از طریق آن میتوان مدل را مورد ارزیابی قرار داد ابتدا ضرایب خط رگرسیونی که از طریق برازش داده بدست آمده است که $a = 0.98 \pm 0.092$ و $b = 3.52 \pm 8.35$ می باشد ضرایب a و b به ترتیب نشان دهنده مقدار انحراف خط

رگرسیون از مبدا مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ را نشان میدهد. همچنین مقدار ضریب تغییرات در مورد این صفت برابر با $CV = 7/16$ بود. در خصوص مقدار R^2 برای این صفت برابر با 0.82 بود که این امر بیانگر آن است که به احتمال ۸۲ درصد داده ها پیش بینی شده با داده های مشاهده شده یکسان بودند. جذر میانگین مربعات اشتباه برابر با $RMSE = 6/82$ بود (جدول ۳).



شکل ۴- روز تا پایان گلدهی پیش بینی شده در مقابل روز تا پایان گلدهی مشاهده شده



شکل ۵ - روز تا رسیدگی پیش بینی شده در مقابل روز تا رسیدگی مشاهده شده

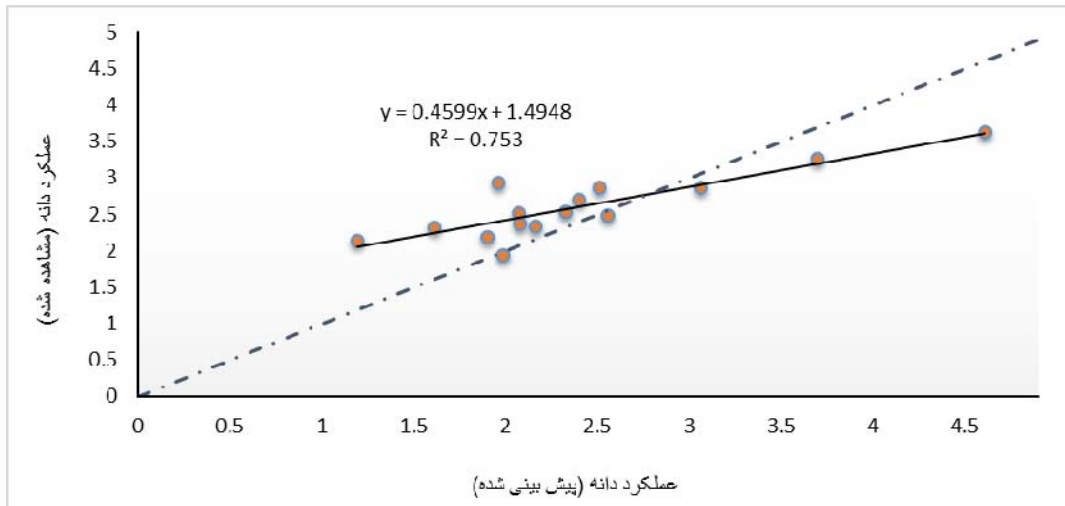
روز تا رسیدگی محصول

خط چین که معاله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط حاصل از مشاهده شده و پیش بینی مدل می باشد در حول خط ۱:۱ قرار دارد که این امر با بیان ضرایب معاله خط یعنی $a = 0.91 \pm 0.082$ و $b = 10.55 \pm 8.75$ دامنه ضریب a برآورد شده با ضرایب خط ۱:۱ اختلاف معنی داری نداشت و عددی برای ضریب b در محدوده تعریف شده قرار نداشت. برای مشخص نمودن دقت میزان پراکندگی داده های مدل و میزان دقت برآورد داده ها از ضریب تغییرات که برابر با ۶۳۸ درصد می باشد استفاده گردید. جذر میانگین مربعات خطا یعنی RMSE برابر با ۶۷۹ بود و همان گونه که از ضریب تبیین برمی آید ($R^2 = 0.87$) درصد درستی پیش بینی روز تا رسیدگی ۸۷ درصد بود (جدول ۳).

عملکرد دانه

ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد دانه شبیه سازی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد عملکرد شبیه سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. یکی از معیارهای ارزیابی مدل ضرایب

رگرسیونی خطی بین عملکرد مشاهده شده و پیش بینی شده است که با مقادیر $a = 1/49 \pm 0/18$ و $b = 10/55 \pm 8/75$ با توجه به ضرایب خط ۱:۱ که (۱ و ۰) می باشد. در خصوص ضریب تغییرات مربوط به عملکرد دانه پیش بینی شده و مشاهده شده ($CV = 8/89$) دقت مدل بسیار بالا بوده به گونه ای که در آزمایشات مزرعه ای حد مجاز برای ضریب تغییرات تا ۲۵ تا ۳۰ می باشد. مقدار R^2 برای عملکرد دانه برابر با ۰/۷۵ بوده که این امر بیانگر این است که به احتمال ۷۵ درصد داده های پیش بینی شده با داده های مشاهده شده همخوانی دارند. از دیگر آماره هایی که برای ارزیابی دقت مدل استفاده میگردد جذر میانگین مربعات خطا می باشد که در مورد عملکرد دانه ($RMSE = 0/231$) بود که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش بینی عملکرد است (جدول ۴). شکل ۶ نشان می دهد که دامنه تغییرات عملکرد دانه برای داده های مشاهده شده بین ۱.۲ تا ۴.۶۱ تن در هکتار و میانگین داده ها ۲.۹ تن بود و برای داده های پیش بینی شده دامنه تغییرات عملکرد بین ۱.۹۴ تا ۳.۶۲ تن و میانگین آنها ۲.۷۸ تن در هکتار بود. در نمودار زیر خط چین معادله رگرسیونی برازش داده شده و خط توپر نشان دهنده خط ۱:۱ می باشد که جهت مقایسه این خطو با هم گزارش شده است.



شکل ۶- عملکرد دانه پیش بینی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده

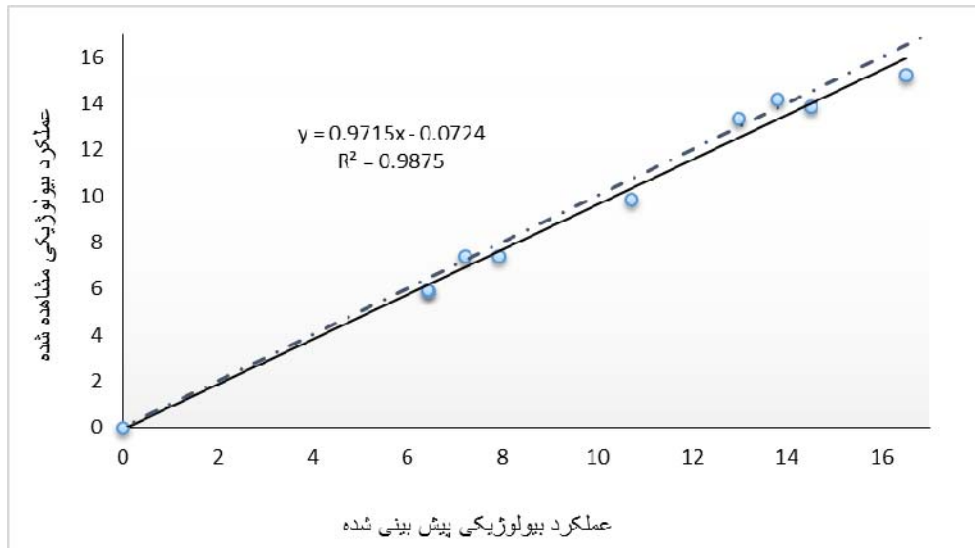
است که به احتمال ۹۷ درصد داده های پیش بینی شده با داده های مشاهده شده همخوانی دارند. از دیگر آماره هایی که برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌گردد. جذر میانگین مربعات خطا می باشد در مورد عملکرد بیولوژیک (RMSE=۰/۶۱۵) بود که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش بینی عملکرد است (جدول ۴). شکل ۷ دامنه تغییرات عملکرد بیولوژیک را برای داده های مشاهده شده و برای داده های پیش بینی شده نشان می‌دهد. در نمودار زیر خط توپر معادله رگرسیونی برازش داده شده و خط چین نشان دهنده خط ۱:۱ می باشد که جهت مقایسه این خط با هم گزارش شده است.

عملکرد بیولوژیک (ماده خشک تولیدی)

ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد بیولوژیک شبیه سازی شده در مقابل عملکرد بیولوژیک مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد عملکرد شبیه سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. یکی از معیارهای ارزیابی مدل ضرایب رگرسیونی خطی بین عملکرد مشاهده شده و پیش بینی شده است که با مقادیر (a=۰/۹۷±۰/۰۵۶ و b=۰/۱۵±۰/۰۶۴) با توجه به ضرایب خط ۱:۱ که (۱۰) می باشد. در خصوص ضریب تغییرات مربوط به عملکرد بیولوژیک پیش بینی شده و مشاهده شده (CV=۵/۹۵) دقت مدل بسیار بالا بود. همچنین مقدار R² برای عملکرد بیولوژیک برابر با ۰/۹۷ بوده که این امر بیانگر این

جدول ۴- آماره های بدست آمده از آنالیز رگرسیونی بین داده های مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل

صفات	DF E	a ± SE	b ± SE	R MSE	R ²	CV
SY	13	0.46±0.073	1.49±0.18	0.231	0.75	8.89
BY	7	0.97±0.056	0.15±0.064	0.615	0.97	5.95
LAI	12	0.59±0.089	0.124±0.26	0.639	0.78	22.46
HI	9	0.51±0.082	8.12±2.39	1.44	0.812	6.32

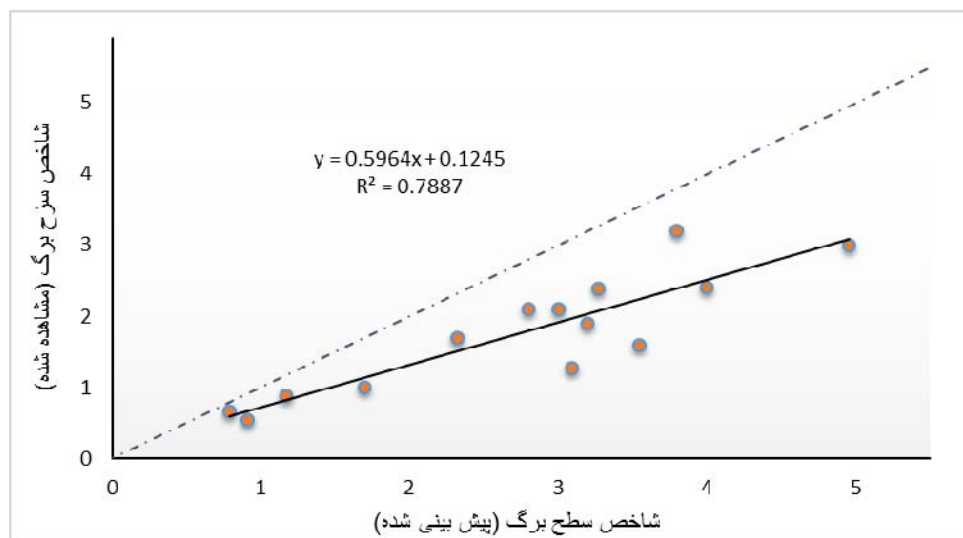


شکل ۷- عملکرد بیولوژیکی پیش بینی شده در مقابل عملکرد بیولوژیکی مشاهده شده

شاخص سطح برگ با داده‌های مشاهده شده همخوانی داشت. در خصوص جذر میانگین مربعات خطا که یک معیار اساسی برای ارزیابی مدل به شمار می‌رود در این صفت نیز ناچیز گزارش شد. با توجه به نتایج گزارش شده در شکل ۸ دوخط به چشم می‌خورد که خط توپر نشان دهنده معادله خط رگرسیونی حاصل از نقاط پیش بینی و مشاهده شده شاخص سطح برگ بوده و خط چین مربوط به خط ۱:۱ است که جهت تعیین درستی مدل آورده شده است.

شاخص سطح برگ

آماره های بدست آمده از تجزیه رگرسیونی داده های شاخص سطح برگ به ترتیب عبارتند از ($a=0.059 \pm 0.089$, $b=0.124 \pm 0.26$, $CV=22/46$, $R^2=0.7887$, $RMSE=0.639$) که ضرایب خط رگرسیونی برازش داده شده حاکی از آن بود که ضریب a خط ۱:۱ در محدوده تعیین شده برای ضریب a معادله خط بدست آمده بود ولی ضریب b همانند سایر صفات در محدوده تعیین شده قرار نداشت (جدول ۴). ضریب تبیین نشان می‌دهد که به احتمال ۷۸ درصد داده‌های مربوط به پیش بینی

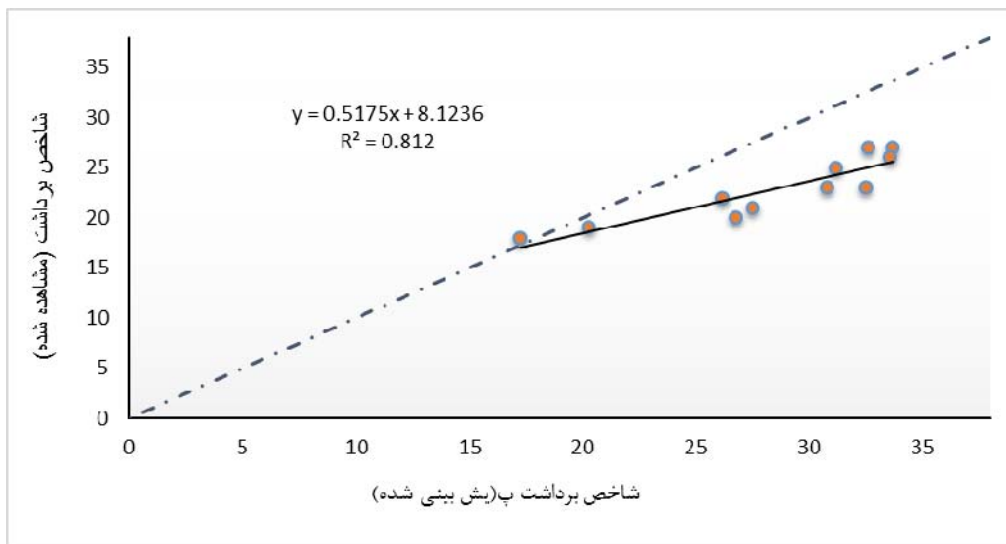


شکل ۸- شاخص سطح برگ پیش بینی شده در مقابل شاخص سطح برگ مشاهده شده

شاخص برداشت

آماره های بدست آمده از تجزیه رگرسیونی داده های شاخص برداشت به ترتیب عبارتند از ($a=0.51 \pm 0.089$ ، $b=8.1236 \pm 2.32$ ، $CV=6.32$ ، $R^2=0.812$ ، $RMSE=1.44$) که ضرایب خط رگرسیونی برازش داده شده حاکی از آن بود که ضریب a خط ۱:۱ در محدوده تعیین شده برای ضریب a معادله خط بدست آمده بود ولی ضریب b در محدوده تعیین شده قرار نداشت (جدول ۴). ضریب تغییرات در این صفت نشان دهنده میزان دقت بالای مدل می باشد. ضریب تبیین نیز نشان میدهد که

به احتمال ۸۱ درصد داده های مربوط به پیش بینی شاخص برداشت با داده های مشاهده شده همخوانی دارد. جذر میانگین مربعات خطا می باشد در مورد شاخص برداشت نشان دهنده دقت نسبتاً خوب مدل در پیش بینی شاخص برداشت است (جدول ۴). با توجه به نتایج گزارش شده در شکل ۸ دوخط به چشم میخورد که خط توپر نشان دهنده معادله خط رگرسیونی حاصل از نقاط پیش بینی و مشاهده شده شاخص برداشت بوده و خط چین مربوط به خط ۱:۱ است که جهت تعیین درستی مدل آورده شده است.



شکل ۹- شاخص برداشت پیش بینی شده در مقابل شاخص برداشت مشاهده شده

به صورت قراردادی، ارزیابی مدل با مقایسه خروجی های شبیه سازی شده توسط مدل با داده های جمع آوری شده از دنیای واقعی صورت می گیرد. اگر چه ارزیابی مدل ها می تواند به وسیله عوامل مختلف به گونه ای محدود شوند که اجرای درست و صحیح مدل را دشوار سازد. اطلاعات دقیق و جزء به جزء از شرایط اولیه سیستم های زراعی به منظور انجام این مقایسات مورد نیاز می باشد، اطلاعاتی که همیشه در دسترس نیستند و یا تحت تاثیر شرایط مزرعه ای قرار گرفته و تغییر می کنند. وقتی سیستم تحت بررسی باشد ارزیابی مدل خیلی سخت است و وقتی تناوب های زراعی و سیستم های کاشت برای چندین سال نیز به آن اضافه گردد، این مسئله خیلی سخت تر خواهد شد. در بسیاری از موارد، به داده های زیادی جهت ارزیابی فرایندهای مختلف شبیه سازی شده توسط مدل، نیاز است به علاوه تمامی خروجی های مدل نمی تواند تحت ارزیابی

مدل قرار گیرند زیرا اندازه گیری دقیق بعضی از پارامترها یا خیلی سخت است و یا اصلاً ممکن نیست. از دیگر مشکلاتی که در مسیر ارزیابی مدل وجود دارد، انتخاب شاخص های کمی مورد استفاده برای ارزیابی کارایی مدل است. معمولاً این شاخص های آماری بر تک تک مقایسات (مشاهده شده در برابر شبیه سازی شده)، خطا در اندازه گیری و دیگر منابع تغییر آزمایشات مزرعه ای تکیه دارند. به علاوه اختلافات بین مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در سری های زمانی به طور مطلوب ارزیابی نمی شوند و خروجی های شبیه سازی شده، نسبت به مقادیر مشاهده شده، زمان نسبتاً کمی برای تغییر دارند (استاکل و همکاران، ۲۰۰۳). هدف اصلی از ارزیابی مدل، این است که مشخص شود پیش بینی های مدل تا چه اندازه با اندازه گیری ها انطباق دارند. در ارزیابی مدل باید بر اساس معیارهای از قبل تعیین شده در بخش اهداف عمل نمود. چنانچه پیش بینی ها

نظر صورت گیرد و یا کار به مدل‌سازی خاتمه داده شود بدون آن که مدل مناسبی به دست آمده باشد (سلطانی، ۲۰۰۹ الف).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر می‌توان این گونه استنباط نمود که برآورد و تعیین پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی مراحل رشدی و عملکرد گلرنگ به درستی صورت گرفته و با استفاده از این مدل می‌توان زمان دقیق کاشت و بهترین تاریخ کاشت جهت تخمین حداکثر عملکرد را در استان اصفهان بدست آورد.

هم‌خوانی قابل قبولی با اندازه‌گیری داشته باشد، کار تمام بوده و مدل نهایی خواهد شد. چنانچه پیش‌بینی‌ها و خروجی مدل قابل قبول نباشد، باید معادلات و روش‌های کمی به کار گرفته شده مورد بازنگری قرار گیرد و در صورت لزوم از روش‌ها و معادلات جایگزین استفاده شود و ارزیابی مجدد انجام گیرد. در صورتی که اشکال از روش‌ها کمی نباشد، ممکن است ضروری باشد در فرضیات تجدید نظر شود. برای مثال، در صورت موفقیت یک مدل فنولوژی مبتنی بر درجه حرارت، شاید لازم باشد تاثیر طول روز نیز در نظر گرفته شود. چنانچه باز هم نتیجه قابل قبول حاصل نشد باید در اهداف و انتظارات از مدل تجدید

منابع

- اندرزیان، ب.، ع. بخشنده، ق. فتحی، ح. عالمی سعید، م. بنایان و ی. امامی. ۱۳۸۶. CDSS:Model مدلی برای شبیه سازی مراحل نمو گیاهی. پژوهش و سازندگی. جلد ۲۰، شماره ۳: ۷۹-۷۱.
- ترابی، ب. و ا. سلطانی. ۱۳۹۲. مدلی ساده برای پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. جلد ۳، شماره ۷: ۱۲-۱.
- خدابنده، ن. ح. مدنی و ا. فراهانی. ۱۳۸۷. بررسی آنالیز رشد گلرنگ بهاره و تاثیر آن بر عملکرد در شرایط آب و هوایی اراک. یافته های نوین کشاورزی. جلد ۳، شماره ۲: ۱۵۴-۱۳۶.
- داداشی، ن. ا. و م. ر. خواجه‌پور. ۱۳۸۲. اثر دما و طول روز بر مراحل نمو ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط مزرعه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۷، شماره ۴: ۸۳-۱۰۲.
- سعادت‌خواه، ح. ۱۳۹۲. کمی‌کردن تولید و توزیع ماده خشک گلرنگ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت و اصلاح نباتات. دانشگاه ولیعصر رفسنجان. ۹۵ صفحه.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدلسازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵ صفحه.
- شمس، ک. ع. پازکی و س. کبرایی. ۱۳۸۷. بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در شرایط کرمانشاه. مجله زراعت و اصلاح نبات ایران. جلد ۴، شماره ۲: ۳۵-۲۳.
- شهسواری، م. ر. ۱۳۹۱. تخمین طول مراحل نمو گلرنگ رقم صغه با استفاده از درجه حرارت و طول روز. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۱۰، شماره ۳: ۵۶۲-۵۵۵.
- شهسواری، م. ر. و ط. یساری. ۱۳۸۹. مدل سازی مراحل نمو ارقام گلرنگ در کشت بهاره. دوفصلنامه فن‌آوری تولیدات گیاهی. جلد ۲، شماره ۲: ۵۲-۴۱.
- سلطانی، ا. م. قلی پور و ح. حاجی زاده آزاد. ۱۳۸۴. SBEET یک مدل ساده برای شبیه سازی رشد و عملکرد چغندر قند. مجله علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۱۹، شماره ۲: ۲۶-۱۱.
- مجد نصیری، ب. و م. ر. احمدی. ۱۳۸۴. تأثیر فصل کاشت و فاصله بوته در نحوه توزیع و میزان جذب نور در جامعه گیاهی ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*). مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶(۱): ۷۳-۶۳.
- موسوی‌فر، ب. م. ع. بهدانی، م. ج. الاحمدی و م. س. حسینی بجد. ۱۳۸۹. اثر آبیاری محدود بر رشد و عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره در شرایط بیرجند. نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. جلد ۲، شماره ۴: ۶۳۹-۶۲۷.
- یساری، ط. م. ر. شهسواری، اب. برزگر و ا.ح. امیدی. ۱۳۸۴. مطالعه مراحل نمو و ارتباط آنها با عملکرد دانه درده ژنوتیپ پیشرفته گلرنگ. جهاد سازندگی، جلد ۱۰، شماره ۶۸: ۸۲-۷۵.
- Amir, J. and T.R. Sinclair. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res.* 29: 59-69.
- Cho, M. H. and R. H. Tae. 2000. Purification and characterization decarboxylase from the yellow petals of (*Charthamus tinctorius L.*). *Archive of Biochemistry and Biophysics.* 382: 238-244.

- Esmaeili, R. and A. Soleymani. 2013. Evaluation of et-hs model in estimating water requirement of safflower in center of Iran. *Inte. J. Agro. and Plant Pro.* Vol 4, Number 12: 3366-3370.
- Froozan, K. 2005. Safflower production in Iran (past, now and future). *Proceedings of the 6th International Safflower Conference.* Istanbul, Turkey. Pp. 255-257.
- Hammer, G. L. and R. C. Muchow. 1994. Assessing climatic risk to Sorghum production in water limited subtropical environment; I. development and testing of assimilation model. *Field Crop Res.* 36: 221-234.
- Hammer, G. L., T. R. Sinclair, K. J. Boote, G. C. Wright, H. Meinke and M.J. Bell. 1995. A Penut simulation model: I. Model development and testing. *Argon. J.* 87: 1085-1093.
- Muchow, R. C. and T. R. Sinclair. 1991. Water deficit effects on maize grain yield modeled under current and greenhouse climat. *Agron. J.* 83: 1052-1059.
- Muchow, R. C., M. J. Robertson and B. C. Pengelly. 1993. Radiation use efficiency of soybean Mungbean and cowpea under different environmental condition. *Field crops Res.* 32: 1-16.
- Mundel, H. H., R. J. Morrison, R. E. Blackshaw, T. Entz, B. T. Roth, R. Gau and F. Kiehn. 1994. Seedling - date effects on yield, quality and maturity of safflower. *Cana. J. Plant Sci.* 74: 261-266.
- Omidi, A. H. and M. R. Sharifmogadas. 2010. Evaluation of Iranian Safflower Cultivars Reaction to Different Sowing Dates and Plant Densities. *World App. Sci. J.* Vol 8, Number 8: 953-958.
- Pengelly, B. C., P. C. Blamey. and R. C. Muchow. 1999. Radiation interception and accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage legumes. *Field Crop Res.* 63: 99-111.
- Saeki, T. 1960. Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant Community. *Bot. Mag. Tokyo.* 73: 55-63.
- Sharifi, S., M. R. Naderidarbaghshahi, A. R. Golparvar and A. H. Nayerain-Jazy. 2012. Effect of plant density on the PAR extinction coefficient and yield of safflower cultivars. *Tech. J. Eng. and Applied Sci.* Vol 2, Number 8: 223-227.
- Shaykewich, C. F. 1995. An appraisal of cereal crop phenology modeling. *Cana. J. Plant Sci.* 75: 329-341.
- Siddique, K. H. M., R. K. Belford, M. W. Perry and D. Tennant. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. *Aust.J.Agric. Res.* 40: 473-487.
- Sinclair, T. R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I model development. *Field Crop Res.* 15: 125-141.
- Soltani, A. 2009. *Mathematical Modeling in Field Crops*, JDM Press. (in Farsi)
- Soltani, A., M. Gholipour and H. Hajizadeh. 2005. SBEET: A simple model to simulate growth and yield of sugar beet. *Journal of Agricultural Science and Technology.* 19: 11-26.
- Soltani, A., F. R. Khooie, K. Ghassemi-Golezani, F. Rahimzadeh-Khoioie and M. Moghaddam. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Fild crops Res.* 62: 213-224.
- Soltani, A., M. A. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi Daz and R. Sarparast. 2006. Modeling seeding emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agri. and Fore Meteo.* 138: 156-167.
- Stockle, C. O., M. Donatelli, and R. L. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Euro. J. Agro.* 18: 289-307.
- Thomson, B. D. and K. H. M. Siddique. 1997. Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments II. Canopy development, radiation interception, and dry-matter production. *Field Cro Res.* Vol 54, Number 2-3: 189-199.
- Torabi, B., M. Attarzadeh and A. Soltani. 2013. Germination Response to Temperature in Different Safflower (*Carthamus tinctorius*) Cultivars. *Seed Tech.* Vol 35, Number1: 1-13.
- Turpin, J. E., M. J. Robertson, N. S. Hillcoat and D. F. Herridge. 2002. Fababean (*Vicia faba*) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. *Aust. J. Agri. Res.* Vol 53, Number 2: 227 - 237.
- Zarei, G.R., H. Shamsi, and F. Fazeli. 2011. Effect of planting density on yield and yield components of safflower cultivars in spring planting. *Vol 5, Number 12: 1-3.*

Modeling growth and yield of safflower in Isfahan

V. Dadrasi¹, B. Torabi², S. Ghasemi Mham³

Received:2016-2-24 Accepted: 2018-5-7

Abstract

Safflower (*Carthamus tinctorius*) is one of the most important agronomic and medicinal crops in Iran, that it's potential yield and limitations can be determined using a simple model and long-term meteorological data. This study was performed to yield prediction and statistical modeling of Safflower based on meteorological indicators and climatic parameters. Phenology, dry matter production and distribution and soil-water balance sub models should be studied in order to growth stages and yield prediction in agricultural crops. Parameters related to each sub model were estimated using data reported on different sowing dates during the years 2002-2015 in Isfahan region and the data reported by other researchers in other regions. Growth and yield changes were calculated by phenology, dry matter production and distribution using meteorological data (minimum and maximum temperatures, radiation and rainfall) from Isfahan region, and the safflower crop yield at the end of growing season was predicted. One of the model evaluation criteria is comparison of coefficient of linear regression between observed and predicted yield ($a= 0.46 \pm 0.073$, $b= 1.49 \pm 0.18$) with coefficient of line 1:1. In the field experiments the limit for Coefficient of variation (CV) is 20 to 25. Accuracy of the model was high, regarding to the coefficient of variation of predicted and observed grain yield ($CV=8.89$). R^2 of grain yield was 0.75, which is indicating that predicted data are 70 percent likely match with observed data. Variation range for observed data was 1.2 to 4.61 tones per hectare and the mean was 2.9 tones and for the predicted data it was 1.94 to 3.62 tones per hectare and the mean was 2.78 Tones per hectare. In all cases, simulated yield compliance with observed yield. Hence, given the ability of the model to simulate the phonological stages of safflower, it can be used as a suitable tool for planning and better management of safflower fields in Isfahan.

Keyword: Modeling, phonology, dry matter, leaf area, safflower

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran