



## مدل‌سازی رشد و عملکرد گندم پاییزه در استان همدان

سهیلا قاسمی مهمام<sup>۱</sup>، بنیامین ترابی<sup>۲</sup>، امیر دادرسی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۵

### چکیده

به منظور مدل‌سازی مراحل رشد و عملکرد گندم بر اساس آمار هواشناسی استان همدان (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) با استفاده از زیر مدل‌های مربوط به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرات سطح برگ در گیاه گندم مطالعه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان در بهار سال ۱۳۹۴ صورت گرفت پارامترهای زیر مدل مذکور با استفاده از داده‌های مربوط به پژوهش‌های صورت گرفته در ایران و سایر کشورها برآورد گردید. با استفاده از مدل مذکور تغییرات روزانه مربوط به فنولوژی، ماده خشک کلو شاخص برداشت محاسبه شد سپس عملکرد در پایان فصل رشد پیش‌بینی گردید. یکی از معیارهای ارزیابی مدل، مقایسه ضرایب رگرسیون خطی بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده ( $a=0.73 \pm 0.10$  و  $b=0.90 \pm 0.67$ ) با ضرایب خط ۱:۱ که (۱ و ۰) می‌باشد. در خصوص ضریب تغییرات مربوط به عملکرد دانه پیش‌بینی شده و مشاهده شده ( $CV=7/28$ ) دقت مدل بسیار بالا بوده به گونه‌ای که در آزمایشات مزرعه‌ای حد مجاز برای ضریب تغییرات ۲۰ تا ۲۵ می‌باشد. مقدار  $R^2$  برای عملکرد دانه برابر با ۰/۸۱ بوده که این امر بیانگر این است که به احتمال ۸۱ درصد داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهده شده همخوانی دارند. از دیگر آماره‌هایی که برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌گردد، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) می‌باشد که در مورد عملکرد دانه ۰/۴۳ بود که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی عملکرد است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عملکرد دانه گندم برای داده‌های مشاهده شده بین ۴/۰۸ تن تا ۸/۰۱ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۶/۰۹ تن بود و برای داده‌های پیش‌بینی شده دامنه تغییرات عملکرد بین ۴/۰۸ تا ۷/۵۹ تن و میانگین آنها ۵/۵۳ تن در هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: آمار هواشناسی، گندم، مدیریت، عملکرد، همدان.

قاسمی مهمام، س.، ب. ترابی و ا. دادرسی. ۱۳۹۷. مدل‌سازی رشد و عملکرد گندم پاییزه در استان همدان. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۳۳: ۱۹۹-۱۸۶.

۱- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: s.ghasemimaham@gmail.com

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

۳- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

## مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهمترین گیاه زراعی ایران به شمار می‌رود و دارای حدوداً ۶/۸ میلیون هکتار سطح زیر کشت بوده که ۶۶٪ آن به صورت کشت دیم و ۳۴٪ آن به صورت کشت آبی است. قریب به ۷۰٪ از اراضی تحت کشت گندم ایران در مناطق سردسیر و مرتفع کوهستانی قرار دارد (صادق زاده اهری، ۱۳۸۰). عملکرد گیاهان تحت تأثیر عوامل متعدد محیطی قرار می‌گیرند که این عوامل رشد و نمو گیاهی را متأثر می‌سازند (جراح و جنگ، ۱۹۹۷). شناخت عواملی که بر روی مراحل رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد امکان اتخاذ تصمیم مناسب جهت انجام زراعت را فراهم می‌سازد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۱) از بین عناصر اقلیمی، مقدار بارندگی، مقدار تشعشع و دمای محیط اطراف گیاه زراعی برای کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۱). زمان کاشت تأثیر بسزایی در رشد و نمو گیاه طی فصل رشد دارد. به نحوی که تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند طول مراحل نمو را به شدت تغییر دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). مهمترین معیار برای تعیین زمان کاشت مطلوب گندم، عملکرد دانه می‌باشد. در تاریخ کاشت مطلوب، دما و رطوبت برای جوانه‌زنی بذر مناسب است و در نتیجه باعث افزایش جوانه‌زنی، قدرت گیاهچه و گسترش ریشه‌دهی در گیاه می‌شود. در کشت به موقع پنجه زنی و اجزا عملکرد دانه گندم افزایش می‌یابد (شیرینازی فرد و همکاران، ۱۳۹۱)، از این رو برنامه‌ریزی دقیق برای تولید در مقیاس منطقه‌ای مستلزم در اختیار داشتن برآوردهای قابل قبول از عملکرد محصولات زراعی است تا بتوان با تعیین نیاز بازار مصرف در مورد توسعه کاشت یک محصول یا کاهش آن و سایر برنامه‌ریزی‌های مرتبط با نظام‌های تولید در سطوح کلان به نوعی پیش آگاهی دست یافت (کامکار و همکاران، ۱۳۸۷). مدل‌های گیاهان زراعی از بخش‌های مهم مدل‌های اکولوژیک می‌باشند (خاوری و همکاران، ۱۳۸۷). زیرا این مدل‌ها امکان پیش‌بینی سیستم‌های گیاهی و افزایش فهم درباره چگونگی عملکرد آن‌ها را فراهم می‌آورند (خاوری و همکاران، ۱۳۸۷). مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان و محصول در واقع بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و مدیریتی است. این مدل‌ها برای هدف‌های مختلفی ایجاد شده و هر کدام نیازمند دانستن جزئیات فرآیندهای رشد گیاه و نیز حساسیت این فرآیندها به محیط در مدیریت‌های مختلف می‌باشند (هنر و همکاران، ۱۳۹۱). مدل‌ها نقش مهمی در ساخت داده‌ها و ایده‌ها دارند و قادرند نقاط ضعف

دانش ما را تعیین نمایند، یک مدل از رشد گیاه، توصیف ریاضی شناخت ما از رفتار گیاه است و به علت استفاده از توابع ریاضی باید این رفتار در هر مرحله کاملاً مشخص و معین باشد و دیگر جایی برای احتمال یا امکان وجود ندارد. نیاز به یک رابطه ما را مجبور می‌سازد تا فرض‌هایی را در نظر بگیریم و مدل، جهت آزمون این فرضیات ساخته می‌شود. اگر پیش‌بینی‌های مدل از واقعیت موجود دقیق نباشد، بایستی بپذیریم که شناخت ما از سیستم مورد مطالعه کامل نیست. 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، تشعشع، بارندگی) پرداخت. از مدل‌های ساده که استفاده از آن‌ها و تفسیر نتایج آن‌ها آسان می‌باشد به صورت موفقیت آمیزی برای بررسی پتانسیل عملکرد اقلیمی و محدودیت‌های آن استفاده شده است (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۸). در سال‌های اخیر شبیه‌سازی عملکرد گیاهان، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته شده است. چرا که ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، امکان شبیه‌سازی در شرایط مختلف را به آسانی فراهم می‌آورد (هنر و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به اینکه تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک با مرحله فنولوژی گیاه تغییر می‌کنند، کمی کردن دقیق مراحل نمو فنولوژیک برای هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی رشد ضروری است. هدف از این پژوهش، 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 گندم به کار گرفته شود.

## مواد و روش‌ها

## توصیف مدل

در این بررسی مدل بکار برده شده از روی مدل سلطانی و سینگر مورد استفاده قرار گرفت (سلطانی، ۱۳۸۸). از مفهوم زمان حرارتی برای کمی کردن فنولوژی گندم استفاده شد که در آن  $GDD$  درجه روز رشد در یک شبانه روز،  $T$  میانگین دمای شبانه روز،  $T_b$  دمای پایه و  $T_0$  دمای مطلوب بر حسب درجه سانتی گراد هستند. رابطه (۱) بدین معنی است که سرعت نمو در کمتر از دمای پایه صفر است، با افزایش دمای پایه تا رسیدن به دمای مطلوب به طور خطی افزایش می‌یابد و افزایش دما در بیشتر از دمای مطلوب موجب افزایش سرعت نمو نمی‌شود (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۲).

آسانی فراهم می‌آورد پیش‌بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه زراعی برای بهینه سازی فعالیت‌های مدیریتی در مزرعه و سازگاری بهتر تقویم زراعی با سیستم‌های آگرواکولوژیک خاص، بسیار مهم می‌باشد (خانال، ۲۰۰۵). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در پیش‌بینی صحیح مراحل فنولوژی گیاه گندم و تعیین سازگاری این گیاه با سیستم‌های اکولوژیکی، بسیار مهم است. شبیه سازی و کمی کردن مراحل نمو فنولوژیکی و طول دوره رشد گندم در سنین مختلف گیاه برای بهبود مدیریت مزرعه و بهینه سازی مراحل فنولوژیکی گندم بوده است (امیری لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۰). مرحله نمو (DVS; Development Stage) هر گیاه نشان دهنده سن فیزیولوژیک آن گیاه می‌باشد که به وسیله تشکیل اندام‌های مختلف و ظهور آن‌ها مشخص می‌شود. مهمترین تغییر فنولوژیکی گیاه، عبور از مرحله رویشی به زایشی است که موجب تغییر در جابجایی ماده خشک در اندام‌های گیاه می‌شود. با توجه به اینکه تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک با مرحله نمو گیاه تغییر می‌کنند، کمی کردن نمو فنولوژیک در هر مدل شبیه‌سازی رشد گیاه ضروری است (لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۰).

برای محاسبه‌ی حرارت مورد نیاز دوره‌های فنولوژیکی گیاه، از دو روش متداول سامانه‌ی درجه - روز مؤثر و فعال استفاده شد. در سامانه‌ی درجه - روز رشد، از دمای پایه بیولوژیکی گیاه استفاده می‌گردد و تعیین درجه - روز تجمعی با استفاده از رابطه (۱) صورت می‌پذیرد (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۸۸).

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

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

درجه روز رشد مورد نیاز برای سبز شدن، درجه روز رشد مورد نیاز برای پایان رشد برگ، درجه روز رشد مورد نیاز برای شروع پرشدن دانه، درجه روز رشد مورد نیاز برای پایان پر شدن دانه و درجه روز رشد مورد نیاز برای رسیدگی در منطقه مورد بررسی که داده‌های مذکور از تحقیقات انجام شده در سال‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف یادداشت برداری شد و در مدل مورد استفاده قرار گرفت. عوامل محیطی متعددی در زمان وقوع مراحل نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که مهم‌ترین آنها دما، فتوپریود، خشکی و کمبود عناصر غذایی هستند. از میان این عوامل نقش دما و فتوپریود بسیار مهم است. با توجه به تأثیر

دمای پایه‌ی رشد گندم بر اساس مطالعات کلاته عربی و همکاران (۱۳۹۱)، مدنی و همکاران (۱۳۹۰)، رضایی و همکاران (۱۳۸۶) در نقاط مختلف ایران معادل صفر درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب رشد معادل ۲۵ درجه سانتی‌گراد منظور گردید. در این مدل در ابتدا به پیش‌بینی وقوع مراحل نمو گیاه زراعی مثل مرحله‌ی سبز شدن، گلدهی و سپس رسیدگی پرداخته و موازنه آب و خاک نیز پیش‌بینی می‌شود. پیش‌بینی نمو فنولوژیک در مدل‌سازی به دلیل تأثیرگذاری بسیار زیاد زمان وقوع مراحل فنولوژی بر میزان تولید و توزیع ماده خشک تولیدی اهمیت بسزایی دارد و دانستن سن گیاه و پیش‌بینی آن در مدیریت زراعی و به نژادی اهمیت زیادی دارد. برای این منظور، نیاز به یکسری روابط و معادلات می‌باشد تا بتوان شبیه‌سازی مهمترین فرآیندهای رشد گیاه را محاسبه نمود. مراحل فنولوژیکی گندم طبق مطالعاتی که در سال‌های گذشته توسط سازمان جهاد کشاورزی در منطقه همدان و طی سال‌های متوالی (۱۳۸۱-۱۳۶۳) با دقت اندازه‌گیری شده بود (بازگیر و همکاران، ۲۰۰۷) محاسبه و پیش‌بینی شد. برای راه‌اندازی و اجرا مدل مذکور احتیاج به یکسری ورودی است که در جدول (۱) به آن‌ها به اختصار اشاره شده و پارامترهای مورد نیاز برای مدل نیز از تحقیقات مختلف انجام شده در سال‌های گذشته جمع‌آوری شده بود (جدول ۲).

#### نمو فنولوژی

در سال‌های اخیر شبیه‌سازی عملکرد گیاهان، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته شده است. چرا که ضمن کاهش هزینه‌های اجرایی، امکان شبیه‌سازی در شرایط مختلف را به

رابطه (۱) درجه روز رشد تجمعی (GDD)

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 سانتی‌گراد هستند که GDD برای مراحل مختلف نمو به صورت تجمعی استفاده شد. در این مطالعه برای پیش‌بینی مدت زمان از کاشت تا مراحل مختلف نمو با استفاده از رابطه ۱، از داده‌های مربوط به مطالعات کاربردی محصول گندم پاییزه در استان همدان از سال ۱۹۹۶ میلادی (سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۶۳) در مزرعه تحقیقاتی اداره جهاد کشاورزی استان همدان آغاز گردید. این مراحل طی چندین دوره در سال‌های زراعی به صورت پیوسته انجام گرفت.

شود و مقدار دمای مؤثر در پیشبرد نمو یا درجه رشد روزانه یا زمان حرارتی روزانه محاسبه می‌گردد. با جمع زدن این مقادیر روزانه مجموع درجه رشد که گیاه نیاز دارد از هر مرحله به مرحله بعدی برسد بدست می‌آید.

نسبتاً پایین خشکی، عناصر غذایی، ثابت و یکسان بودن تأثیر فتوپریود در یک محیط معین، به طور وسیع از مفهوم درجه روز رشد یا زمان حرارتی و یا واحد حرارتی برای کمی سازی و پیش بینی وقوع مراحل نمو گیاهان زراعی استفاده می‌شود. در این روش بطور ساده دمای پایه از دمای متوسط روزانه کسر می‌

جدول ۱- پارامترهای مورد نیاز برای زیر مدل گیاه گندم

پارامتر	واحد
حداکثر دمای روزانه (TMax)	درجه سلسیوس
حداقل دمای روزانه (TMin)	درجه سلسیوس
تابش خورشیدی روزانه (SRAD)	مگاژول در متر مربع در روز
بارندگی روزانه (RAIN)	میلی‌متر
آلبیدو (SALB)	ندارد
ضریب زهکشی (DRAINF)	میلی‌متر بر میلی‌متر
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)	سانتی‌متر بر سانتی‌متر
شماره منحنی خاک (CN)	ندارد
تاریخ کشت (PDOY)	روز سال از اول ژانویه
تراکم (DEN)	بوته در متر مربع
رطوبت خاک در موقع کاشت (ISW)	میلی‌متر
کسر آب قابل تعرق اک برای انجام آبیاری (IRGLVL)	ندارد

و آبیاری وارد خاک شده و از طریق راوناب، زهکشی عمقی، تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه خارج می‌شود. میزان آب موجود در خاک را که برآیند این ورود و خروج است در هر روز می‌توان از رابطه (۲) بدست آورد.

$$SWC_i = SWC_{i-1} + ERAIN + IRGW_i - DRAIN_i - SEVP_i - Tri \quad (2) \text{ رابطه}$$

که در آن  $SWC_i$  مقدار آب وجود در خاک در روز  $i$ ام،  $SWC_{i-1}$  مقدار آب موجود در خاک در روز  $i-1$ ام،  $ERAIN$  میزان بارندگی مؤثر،  $IRGW_i$  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

در استان همدان اطلاعات مورد نیاز گندم بصورت مقاطع از گزارشات متفاوت استفاده شد (بازگیر و همکاران، ۲۰۰۷). که  $GDD$  برای مراحل نمو مورد پیش‌بینی از کاشت تا سبز شدن، شروع رشد برگ، شروع پر شدن دانه، پایان پر شدن دانه و رسیدن فیزیولوژیکی به ترتیب ۱۸۱، ۱۳۳۸، ۱۵۲۱، ۱۹۶۵، ۲۲۳۶ درجه سلسیوس در روز بودند.

#### موازنه آب خاک

این مدل با تأثیر شرایط آب و هوایی در مراحل مختلف رشد گیاهی، میزان محصول نهایی را با توجه به اثر مقدار آب خاک در هر مرحله از رشد گیاه پیش‌بینی می‌کند. مدل شبیه ساز بیان مقدار محصول را به صورت تابعی از مقدار آب قابل استفاده خاک در طی دوره رشد محاسبه می‌نماید (هنر و همکاران، ۱۳۹۰). این مدل تنها با داشتن آمار روزانه بارندگی و دمای حداکثر و حداقل فاقد اطلاعات کامل هواشناسی قابل اجرا است (آرین و همکاران، ۱۳۷۰). آب از طریق بارندگی

تابش در محاسبه تقسیم تبخیر - تعرق (KET)، ضریب آلیبدوی گیاه (CALB) و عمق مؤثر استخراج آب از خاک (SOLDEP) می‌باشند که مقدار آنها برای مدل حاضر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نام، واحد اندازه‌گیری، مقدار تخمین و منبع مورد استفاده برای تخمین پارامترهای ورودی در مدل گیاه گندم

پارامتر	واحد	تخمین	منبع تخمین
دمای پایه (Tb)	درجه سلسیوس	۰	نیک خواه و همکاران، ۱۳ و نجفی میرک، ۱۳۹۰
دمای مطلوب برای نمو (To)	درجه سلسیوس	۲۵	نیک خواه و همکاران، ۱۳
دمای پایه کارایی مصرف تابش (TbRUE)	درجه سلسیوس	۲	سلطانی، ۱۳۸۸
دمای مطلوب تحتانی کارایی مصرف تابش (To1RUE)	درجه سلسیوس	۲۵، ۲۲	نیک خواه و همکاران، ۱۳ و نجفی میرک، ۱۳۹۰
دمای مطلوب فوقانی کارایی مصرف تابش (To2RUE)	درجه سلسیوس	۱۵	سلطانی، ۱۳۸۸
دمای سقف برای کارایی مصرف تابش (TcRUE)	درجه سلسیوس	۲۵	سلطانی، ۱۳۸۸
کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب قبل از پر شدن دانه (IRUE1)	گرم بر مگاژول	۳/۲	Orley, 2004 و RobertoT 2013
کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب طی دوره پر شدن دانه (IRUE2)	گرم بر مگاژول	۳/۴	Monica et al., 2010
ضریب خاموشی برای تابش فعال فتوسنتزی (KPAR)	-	۰/۶۲	زاهد، ۱۳۹۲ و حسین پناهی، ۱۳۹۱
شاخص برداشت روزانه (DHI)	گرم در روز	۰/۰۱۵	سلطانی، ۱۳۸۸
نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P1)	بوته در متر مربع	(۱۲۵-۰/۶)	سلطانی، ۱۳۸۸
نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P2)	بوته در متر مربع	(۲۵۰-۰/۹۵)	سلطانی، ۱۳۸۸
نقطه ۱ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نمایزه شده (D1)	-	(۰/۱۵-۰/۰۱)	سلطانی، ۱۳۸۸
نقطه ۲ روی منحنی شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نمایزه شده (D2)	-	(۰/۵، ۰/۹۵)	سلطانی، ۱۳۸۸
حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در منطقه (LAI <sub>max</sub> )	-	۴/۳	سعادتیان و همکاران، ۱۳۹۰
کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش تولید ماده خشک (WSSG)	-	۰/۳	سلطانی، ۱۳۸۸
کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش سطح برگ (WSSL)	-	۰/۴	سلطانی و همکاران، ۱۳۸۸
ضریب خاموشی در محاسبات مربوط به تبخیر تعرق (KET)	-	۰/۵	سلطانی، ۱۳۸۸
ضریب آلیبدوی گیاه (CALB)	-	۰/۲۳	سلطانی، ۱۳۸۸
عمق مؤثر استخراج آب از خاک (SOLDEP)	میلی‌متر	۱۰۰۰	سلطانی، ۱۳۸۸

#### تولید و توزیع ماده خشک

فنونولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه سازی توزیع ماده خشک نیز اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، عملکرد دانه را مشخص می‌کند. ماده خشک تولید شده

شبیه سازی تولید ماده خشک احتمالاً بخش مرکزی هر مدل شبیه سازی گیاه زراعی است که خود تحت تأثیر مدل‌های نمو

چه برگ‌ها عمودی‌تر باشند و یا تراکم کاشت کمتر باشد میزان ضریب خاموشی کمتر خواهد بود (ساکي، ۱۹۶۰). این مسئله اهمیت عضو متوقف‌کننده نور را بیشتر نشان می‌دهد. اهمیت زیاد اندازه  $K$  برای گیاهان مدرن با سطح برگ کم در بوته و ارتفاع کمتر، در آزمایشات صدیق و همکاران (۱۹۸۹) نیز ثابت شده است و مقدار  $KPAR$  در این آزمایش بر اساس تراکم انتخاب و  $0/6$  مدنظر قرار گرفت. مقدار  $LAI$  با توجه به مدل  $EPIC$  محاسبه شد (سلطانی، ۱۳۸۸).

اگرچه کارایی استفاده از تشعشع تحت شرایط مطلوب رشد ثابت بوده ولی دماهای نامناسب می‌تواند موجب کاهش آن شوند (سلطانی، ۱۳۸۸) با در دست داشتن دماهای کاردینال مربوط به تولید ماده خشک می‌توان مقدار کارایی استفاده از تشعشع را برای دماهای نامناسب نیز اصلاح نمود.

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: رابطه (۳)  $DBP = SRAD \times FINT \times RUE$

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

$$FINT = 1 - \exp(-K \times LAI) \quad (4)$$

مقدار  $KPAR$  برای گندم بین  $0/62$  گزارش شده است (جونس و همکاران، ۲۰۰۳). در یک جامعه گیاهی بسته به آرایش کاشت و ژنوتیپ گیاه میزان  $K$  می‌تواند متغیر باشد هر

رابطه (۵)

$$TCFRUE=0 \text{ if } TMP \leq TBRUE \text{ or } TMP \geq TCRUE \quad TCFRUE = (TMP - TBRUE) / (TP1RUE - TBRUE) \text{ if } TBRUE < TMP < TP1RUE$$

$$TBRUE < TMP < TP1RUE$$

$$TCFRUE = (TCRUE - TP2RUE) / (TP2RUE - TMP) \text{ if } TP2RUE < TMP < TCRUE$$

$$TCFRUE = 1 \text{ if } TP1RUE \leq TMP \leq TP2RUE$$

برابر  $RRUE$  می‌باشد و مقدار  $RRUE$  بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$RRUE = \frac{IRUE2}{IRUE1} \quad (7) \text{ رابطه (۷)}$$

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  $0/15$  گرم 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.

#### ارزیابی مدل

برای مقایسه داده‌های پیش بینی شده توسط مدل با آنچه در واقعیت اندازه‌گیری شده است شاخص‌های آماری زیر مورد استفاده قرار گرفت (هنر و همکاران، ۱۳۹۰):

شاخص  $RMSE$  یا مجذور میانگین مربعات خطا، علاوه بر آن  $R^2$  (مجذور ضریب همبستگی) نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

##### مراحل فنولوژیک

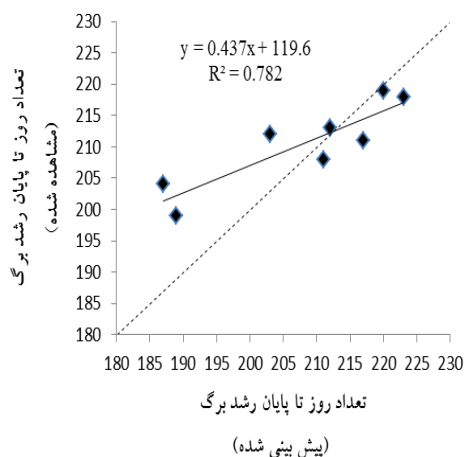
در معاله فوق  $TCFRUE$  ضریب اصلاح کارایی استفاده از تشعشع برای دما،  $TMP$  متوسط دمای روزانه،  $TBRUE$  دمای پایه برای تولید ماده خشک،  $TP1RUE$  حد تحتانی دمای مطلوب برای تولید ماده خشک،  $TP2RUE$  حد فوقانی دمای مطلوب برای تولید ماده خشک،  $TCRUE$  دمای سقف برای تولید ماده خشک هستند. بر اساس رابطه شماره (۵) در دماهای بین مطلوب تحتانی و فوقانی کارایی استفاده از تشعشع در حداکثر خود است و با کاهش دما از دمای مطلوب تحتانی به سوی دمای پایه و یا افزایش دما از دمای مطلوب فوقانی به سمت دمای سقف به طور خطی کاهش یافته و در دمای پایه و دمای سقف به صفر می‌رسد.

با توجه به رابطه زیر، کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط نامطلوب دمایی تصحیح می‌گردد.

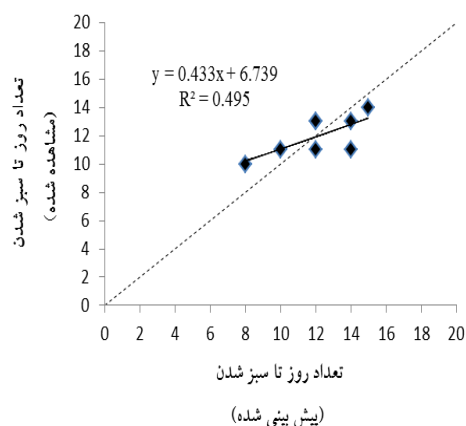
$$RUE = IRUE1 \times DVRUE \times TCFRUE \quad (6) \text{ رابطه (۶)}$$

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

مقادیر آماره‌های بکار رفته جهت اعتبارسنجی مدل برای تک تک صفات فنولوژیک در جدول ۳ بیان شده است در این بخش تنها به دامنه تغییرات هریک از صفات و میانگین آنها برای داده‌های مشاهده شده و پیش بینی شده پرداخته می‌شود. دامنه تغییرات برای صفت روز تا سبز شدن مشاهده شده از حداکثر ۱۵ تا حداقل ۸ روز و با میانگین ۱۱/۵ روز بدست آمد در مورد همین صفت در حالت پیش بینی با مدل حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب برابر با ۱۲، ۱۴ و ۱۲ روز حاصل شد که نشان دهنده برآورد مطلوب مدل در مورد این صفت است (شکل ۱). در مورد صفت روز تا پایان رشد برگ نیز نتایج حاکی از آن بود که حداقل تعداد روز برای داده‌های مشاهده شده ۱۹۷ روز، حداکثر ۲۱۹ روز و میانگین این دامنه ۲۱۰/۱۲ روز بود و اما در مورد داده‌های پیش بینی شده توسط مدل حداقل تعداد روز تا پایان رشد برگ ۱۸۲، حداکثر روز ۲۲۳ و میانگین ۲۰۶/۷۵ روز بدست آمد (شکل ۱).



در مورد شبیه سازی صفات فنولوژیک بر اساس پارامترهای مورد نیاز مدل، که در بخش مواد و روش‌ها به آنها اشاره شد بعنوان معیار تشخیص و اندازه‌گیری مدنظر قرار گرفت. آماره‌های قابل استناد برای اعتبارسنجی مدل در جدول ۳ گزارش شده است که در آن ابتدا ضرایب رگرسیونی خط برازش یافته بین نقاط مشاهده شده و پیش بینی شده برای هریک از صفات فنولوژیک آمده است که برای بررسی اینکه آیا با خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری وجود دارد یا خیر، درجه آزادی هر صفت را ضربدر خطای استاندارد کرده و  $\pm$  ضرایب خط رگرسیونی گردید که برای ضریب **a** باید عدد صفر در دامنه مورد نظر قرار گیرد و برای ضریب **b** عدد یک باید در دامنه باشد. از بین صفات فنولوژیک که توسط مدل برآورد شده و با داده‌های مشاهده شده مقایسه گردیدند، مدل مذکور صفت روز تا شروع پر شدن دانه را نسبت به سایر صفات بهتر پیش بینی نموده بود که بنابر نتایج بیان شده با خط ۱:۱ نیز تفاوت چندانی نداشت. از آنجایی که



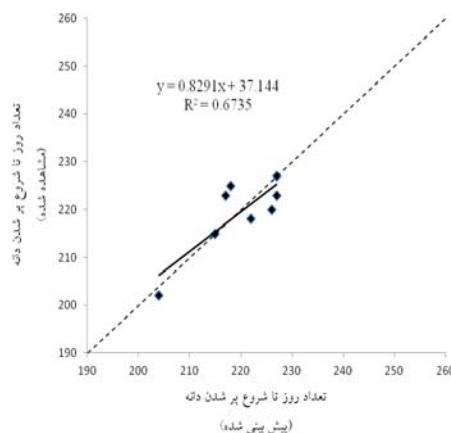
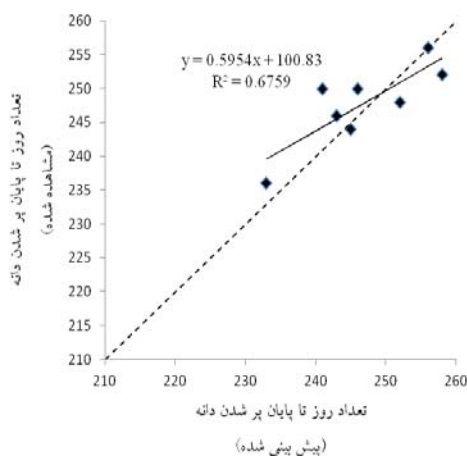
شکل ۱- روز تا سبز شدن پیش بینی شده در مقابل روز تا سبز شدن مشاهده شده (سمت راست) و تعداد روز تا پایان رشد برگ پیش بینی شده در مقابل تعداد روز تا پایان رشد برگ مشاهده شده (سمت چپ) خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.

که این امر بیانگر برآورد بسیار مناسب مدل در مورد این صفت بود. در خصوص صفت روز تا پایان پر شدن دانه، دامنه تغییرات برابر بود حداقل مقدار ۲۳۳ روز، حداکثر ۲۵۸ و با میانگین ۲۴۶/۷۵ روز بدست آمد و اما در مورد داده‌های پیش بینی شده برای روز تا پایان پر شدن دانه کمینه، بیشینه و میانگین به ترتیب برابر با ۲۳۶، ۲۵۶ و ۲۴۷/۷۵ بدست آمد (شکل ۲).

در مورد صفت روز تا شروع پر شدن دانه دامنه تغییرات برای داده‌های مشاهده شده به گونه‌ای بود که حداقل، حداکثر و میانگین برابر با ۲۰۴، ۲۲۷ و ۲۱۹/۵ روز و در مورد داده‌های شبیه سازی شده این مقادیر برابر با ۲۰۲، ۲۲۷ و ۲۱۹/۱۲ روز بود (شکل ۲) همانگونه بیان شد از نظر میانگین تعداد روز مشاهده شده با شبیه سازی شده تفاوت چندانی وجود نداشت

جدول ۳- آماره‌های بدست آمده از آنالیز رگرسیونی بین داده‌های مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل Epic

صفات مورد بررسی	Df	a±se	b±se	CV	R2	RMSE
روز تا سبز شدن	۷	۰/۴۳±۰/۱۷	۶/۷۳±۲/۱۹	۹/۰۳	۰/۴۹	۱/۰۸
روز تا پایان رشد برگ	۷	۰/۴۳±۰/۲۲	۱۱۹/۶±۴/۹۵	۱/۶۱	۰/۷۸	۳/۰۴۳
روز تا شروع پر شدن دانه	۷	۰/۲۳±۰/۸۲	۳۷/۱۴±۵۱/۷۶	۱/۹۰	۰/۶۵	۴/۸۸
روز تا پایان پر شدن دانه	۷	۰/۵۹±۰/۱۶	۱۰۰/۸۳±۴۱/۲۴	۱/۱۶	۰/۶۷	۳/۶۸
روز تا رسیدگی محصول	۷	۰/۳۹±۰/۱۷	۱۵۸/۷۱±۵۲/۰۶	۲/۲۳	۰/۶۵	۳/۵۴



شکل ۲- روز تا شروع پر شدن دانه پیش بینی شده در مقابل تعداد روز تا شروع پر شدن دانه مشاهده شده (سمت راست) و روز تا پایان پر شدن دانه پیش بینی شده در مقابل ماده خشک در زمان پر شدن دانه مشاهده شده (سمت چپ) خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.

#### عملکرد دانه

ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد ماده خشک شبیه سازی شده در مقابل عملکرد ماده خشک مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد عملکرد شبیه سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد. در خصوص ضریب تغییرات مربوط به عملکرد دانه پیش بینی شده و مشاهده شده ( $CV=۸/۷۱$ ) دقت مدل بسیار بالا بوده به گونه‌ای که در آزمایشات مزرعه‌ای حد مجاز برای ضریب تغییرات ۲۵ تا ۳۰ می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عملکرد دانه برای داده‌های مشاهده

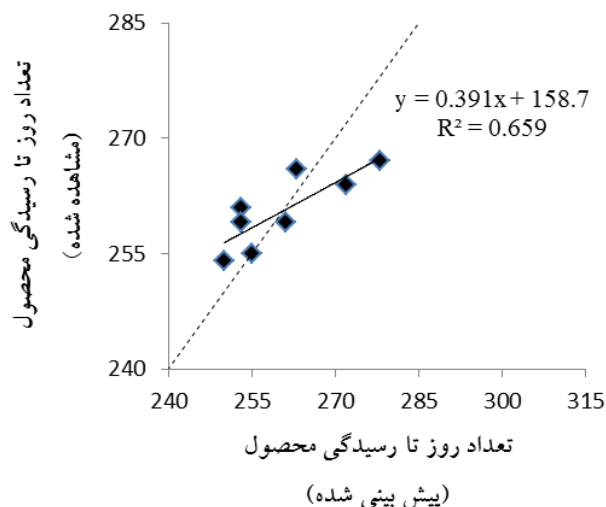
بررسی‌های صورت گرفته در مورد صفت روز تا رسیدگی

محصول برای داده‌های مشاهده شده به گونه‌ای بود که دامنه تغییرات (حداقل، حداکثر و میانگین) برابر با ۲۴۷، ۲۸۰ و ۲۵۷/۶۲ روز و در مورد داده‌های شبیه سازی شده دامنه اعداد بدین صورت تغییر نمود که حداقل مقدار با ۲۵۰ روز، حداکثر با ۲۶۸ روز و با میانگین ۲۵۸/۷۵ روز بدست آمد (شکل ۳). همانگونه از میانگین داده‌های مشاهده شده و پیش بینی شده برمی‌آید مدل تخمین مناسبی از این صفت نیز داشته است.

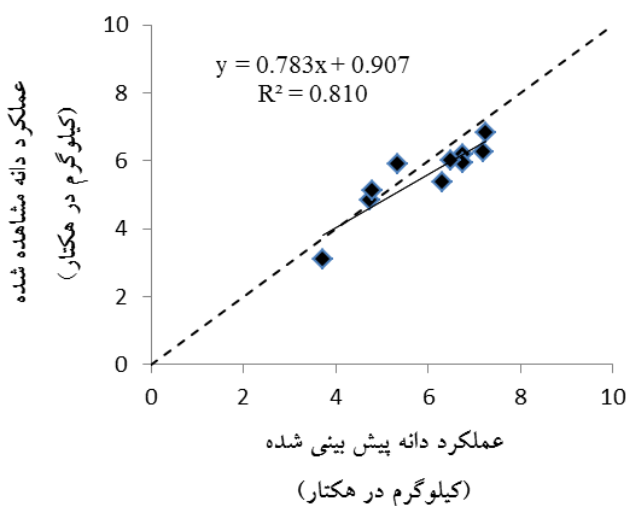


روندی که مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد در واکنش به تاریخ کاشت دنبال می‌کنند. محدودیت فصل رشد و مواجه شدن مراحل بحرانی فنولوژیک گیاه با دمای بالا باعث می‌شود، تعداد دانه و متوسط وزن دانه، هر دو تحت تأثیر قرارگیرند (دستمالچی و همکاران، ۱۳۹۱).

شده بین ۴/۰۸ تا ۸/۰۱ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۶/۰۹ تن بود و برای داده‌های پیش بینی شده دامنه تغییرات عملکرد بین ۴/۰۸ تا ۷/۵۹ تن و میانگین آنها ۵/۵۳ تن در هکتار بود. با تاخیر در کاشت، عملکرد دانه کاهش یافت. بطور کلی و صرف نظر از اختلافات مطلق عددی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد ارقام مختلف در واکنش به تاریخ کاشت،



شکل ۳- روز تا رسیدگی محصول پیش بینی شده در مقابل تعداد روز تا رسیدگی محصول مشاهده شده خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.

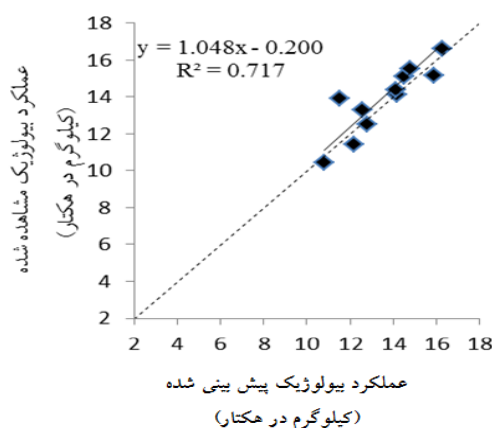


شکل ۴- عملکرد دانه پیش بینی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.

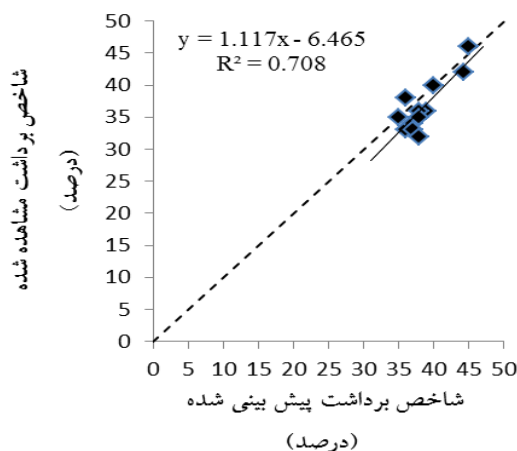
## عملکرد بیولوژیک (ماده خشک تولیدی)

عملکرد بین ۱۰/۸ تا ۱۶/۳ تن و میانگین آنها ۱۴/۷ تن در هکتار بود. چپانسی و همکاران (۱۹۹۷) به منظور پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در مراحل مختلف رشد گیاه (استقرار گیاه، تمایز سنبله انتهایی، پایان رشد رویشی و شروع رشد دانه) در منطقه ساسکاچوان کانادا با استفاده از مدل CERES-Wheat بیان نمودند که عملکرد نهایی شبیه‌سازی شده در مراحل مختلف نمو با عملکرد نهایی مشاهده شده دارای اختلاف کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. و این حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد نهایی در فصل رشد می‌باشد.

ضرایب تبیین حاصل از خط ۱:۱ عملکرد ماده خشک شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد ماده خشک مشاهده شده نشان داد که در تمام موارد عملکرد شبیه‌سازی شده مطابقت خوبی با عملکرد مشاهده شده دارد (شکل ۵). ضرایب خط رگرسیونی مذکور در محدوده مجاز خط استاندارد قرار دارد. شکل ۵ نشان می‌دهد که دامنه تغییرات عملکرد بیولوژیک برای داده‌های مشاهده شده بین ۱۱/۵۰ تا ۱۵/۵۰ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۱۳/۵۹ تن بود و برای داده‌های پیش‌بینی شده دامنه تغییرات



شکل ۵- عملکرد بیولوژیک پیش‌بینی شده در مقابل عملکرد بیولوژیک مشاهده شده خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.



شکل ۶- شاخص برداشت پیش‌بینی شده در مقابل شاخص برداشت مشاهده شده خط چین بیانگر خط (۱:۱) و خط توپر بیانگر معادله رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط بدست آمده است.

## شاخص برداشت

با توجه به نتایج گزارش شده در شکل ۶ دوخط به چشم می-خورد که خط چین نشان دهنده معادله خط رگرسیونی حاصل از نقاط پیش بینی و مشاهده شده شاخص برداشت بوده و خط توپر مربوط به خط ۱:۱ است که جهت تعیین درستی مدل آورده شده است. نتایج بدست آمده از بررسی های مشاهده شده بیانگر

آن بود که دامنه تغییرات برای این صفت از حداقل ۳۱ درصد، حداکثر ۴۷ و میانگین شاخص برداشت در تاریخ کاشت های مختلف برابر با ۳۸/۶۶ درصد بدست آمد و در مورد شاخص برداشت پیش بینی شده نیز حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب با مقادیر ۳۲، ۴۲، ۳۶/۱۶ درصد حاصل شد (شکل ۶).

جدول ۴- آماره های بدست آمده از آنالیز رگرسیونی بین داده های مشاهده شده و پیش بینی شده برای صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

صفات مورد بررسی	df	a±se	b±se	CV	R2	RMSE
عملکرد دانه	۹	۰/۷۳±۰/۱۰	۰/۹۰±۰/۷۷	۷/۲۸	۰/۸۱	۰/۴۳
عملکرد بیولوژیک	۱۱	۱/۰۴±۰/۲۰	-۰/۲۰±۲/۸۸	۸/۵۶	۰/۷۱	۱/۲۱
شاخص برداشت	۱۰	۰/۷۸±۰/۱۹	-۰/۷۸±۷/۴۳	۴/۱۲	۰/۸۱	۱/۴۹

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 دوره 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 (استوکل و همکاران، ۲۰۰۳). در تحقیق حاضر نیز تفاوت هایی بین داده های مشاهده شده و پیش بینی شده وجود داشت که امر را می توان به خطاهای معمول اکثر مدل های شبیه سازی مراحل رشد و نمو گیاهان نسبت داد. هرچند گزارشات متعددی نیز مبنی بر درستی مدل ها در پیش بینی مراحل فنولوژیک و عملکرد محصولات مطابق با داده های مشاهده شده وجود دارد. چپاننشی و همکاران (۱۹۹۷) به منظور پیش بینی عملکرد نهایی گندم در مراحل مختلف رشد گیاه (استقرار گیاه، تمایز سنبله انتهایی، پایان رشد رویشی و شروع رشد دانه) در منطقه ساسکاچوان کانادا با استفاده از مدل CERES-Wheat بیان نمودند که

عملکرد نهایی شبیه سازی شده در مراحل مختلف نمو با عملکرد نهایی مشاهده شده دارای اختلاف کمتر از ۱۰ درصد می باشد. و این حاکی از توانایی خوب مدل در پیش بینی عملکرد نهایی در فصل رشد می باشد. بنایان و همکاران (۲۰۰۳) جهت پیش بینی عملکرد نهایی گندم در طی فصل رشد گیاه (مراحل ۵ تا ۵ برگی، ظهور برگ پرچم و شیرینی شدن دانه) در چهار منطقه انگلستان به کمک مدل CERES-Wheat بیان داشتند که مدل در حد قابل قبولی عملکرد نهایی را در مراحل مختلف رشد گیاه پیش بینی می نماید. آرورا و همکاران (۲۰۰۷) مدل CERES-Wheat را جهت بررسی واکنش تولید گندم به آب و هوا رژیم های آبیاری و کود نیتروژن در یک منطقه نیمه خشک گرمسیری در هندوستان استفاده نمودند. سینکلر و موجو (۱۹۹۹) مدلی برای سویا ساختند که از این مدل به عنوان یک چهارچوب برای انواع مدل های سایر گیاهان زراعی مثل گندم (امیر و سینکلر، ۱۹۹۱)، ذرت (ترابی و سلطانی، ۲۰۱۳)، سورگوم (هامر و ماچو، ۱۹۹۴)، بادام زمینی (هامر و همکاران، ۱۹۹۵) و نخود (سلطانی و همکاران، ۱۹۹۹) استفاده شد.

## نتیجه گیری

کاربرد این صفت در راستای اعتبارسنجی اجتناب شده است. همچنین نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که برآورد و تعیین پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی مراحل رشدی و عملکرد گندم به درستی صورت گرفته و با استفاده از این مدل می‌توان بهترین تاریخ کاشت در جهت تخمین حداکثر عملکرد در استان همدان را تعیین نمود.

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر حاکی از آن بود که از بین صفات مورد بررسی (پیش‌بینی توسط مدل و ارزیابی با نتایج مشاهده شده) بهترین برآورد مربوط به صفت روز تا شروع پرشدن دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بود ولی برآورد درستی از شاخص سطح برگ نداشت که به همین دلیل از

## منابع

- احمدی، م.، ب. کامکار، ا. سلطانی، ا. زینلی، و. ر. عرب عامری. ۱۳۸۹. تأثیر تاریخ کاشت بر طول دوره‌های فنولوژیک ارقام گندم و رابطه آن با تولید عملکرد. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. جلد ۱۷، شماره ۲: ۱۰۹-۱۲۲.
- امیری لاریجانی، ب.، ز. طهماسبی سرورستانی، ق. نعمت زاده، ا. امیری، و م. اصفهانی. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه استفاده مدل (ORYZA2000). مجله زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۳: ۴۸۰-۴۶۶.
- آرین، ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۰. معرفی و برآزش مدل شبیه‌سازی محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک سمینار آبیاری و کاهش تبخیر. چهارمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر (CRPSM) ۱۹ و ۲۰ بهمن ۱۳۷۰، دانشگاه کرمان.
- ترابی، ب. ا. سلطانی. ۱۳۹۴. مدل ساده برای پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت سینگل کراس ۷۰۴. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، جلد ۳، شماره ۷: ۴۷-۵۸.
- خاوری، ف.، ا. سلطانی، ف. اکرم قادری، غ. گزانچیان، و. ر. عرب عامری. ۱۳۸۷. مدل‌سازی تولید و زوال برگ در گیاه گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد ۱، شماره ۳: ۳۲-۱۷.
- خوشحال دستجردی، ج. و ع. براتیان. ۱۳۸۸. برآورد نیازهای حرارتی مراحل فنولوژیکی کلزای پاییزه (ارقام OKAPI، ۰۴۶SLM) در شرایط اقلیمی سرد ایران (مطالعه مورد شهرکرد)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، جلد ۱، شماره ۷: ۴۴-۳۵.
- دستمالچی، ع.، ا. سلطانی، ن. لطیفی، و ا. زینلی. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل Crop syst-گندم برای پیش‌بینی نمو، رشد و عملکرد در واکنش به تاریخ کاشت، نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۰، شماره ۵: ۵۱۱-۵۰۲.
- رضایی، ب.، ا. سلطانی، ف. اکرم قادری، و ا. زینلی. ۱۳۸۷. کمی‌سازی وقوع تنش‌های دمایی در زراعت گندم (*aestivum Triticum*) در گرگان و مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، شماره ۴: ۱۱-۱.
- سبزی پرور، ع.، م. ترکمان، و ز. مریانجی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی استان همدان)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۱: ۶۱-۱.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدلسازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵ صفحه.
- سلطانی، ا.، م. قلی‌پور، و ح. حاجی‌زاده آزاد. ۱۳۸۴. یک مدل ساده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد چغندر. مجله علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۱۹، شماره ۲: ۲۳-۳۷.
- شیرنیازی فرد، ع.، ا. زراعی سیاه‌بیدی، و ع. رضایی‌زاد. ۱۳۹۱. بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نوید بخش گندم آبی در مناطق معتدل استان کرمانشاه، مجله پژوهش در علوم زراعی. جلد ۳، شماره ۱۷: ۱۲۵-۱۴۲.
- صادق‌زاده اهری، د. ۱۳۸۰. بررسی عملکرد ارقام گندم با عاداتهای رشدی متفاوت در دو تاریخ کاشت به منظور تعیین عادت رشدی مناسب برای مناطق سردسیر دیم. مجله نهال و بذر. جلد ۱۷، شماره ۱: ۱-۲۴۶.
- کامکار، ب.، ع. کوچکی، م. نصیری محلاتی، و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۷. ساخت و آزمون یک مدل ساده برای پیش‌بینی پتانسیل تولید ماده خشک در ارزن مرواریدی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد اول، شماره ۳: ۳۴-۴۹.
- کلاته عربی، م.، ف. شیخ، ح. سوقی، و ج. میوه‌چی. ۱۳۹۰. اثر تاریخ کاشت بروی عملکرد و اجزای عملکرد دانه رقم دو رقم گندم نان در گرگان. مجله به زراعی نهال و بذر. جلد ۲۷، شماره ۳: ۴۳۵-۳۵۳.
- مدنی، ح.، ا. مرادی مقدم، و ت. ظاهر خانی. ۱۳۹۱. بیان خصوصیات اکوفیزیولوژیک توده‌های مختلف بذر گندم مادری تولید داخل کشور براساس آزمونهای بذری، مجله زراعت و اصلاح نباتات، جلد ۸، شماره ۱: ۸۶-۷۱.

- هنر، ت. ع. ثابت سروستانی، ع. سپاسخواه، ع. کامگار حقیقی، و ش. شمس. ۱۳۹۱. شبیه سازی آب خاک و عملکرد گیاه کلزا توسط مدل گیاهی CRPSM. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. جلد ۱۶. شماره ۵۷: ۵۹-۴۵.
- Amir, J. and T. R. Sinclair. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Res*, 29: 59-69.
- Arora, V. K., H. Singh and B. Singh. 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model, *Agri water Mana*, 94: 22-30.
- Bannayan, M., N. M. J. Crout and G. Hoogenboom. 2003. Application of the CERES- wheat model for within season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. *Agro J*, 95: 114-125.
- Bazgeer, S., Gh. kamali and A. Mortazavi. 2008. Wheat yield prediction through agrometeorological indices for Hamedan, Iran. *BIABAN*. 12:33-38.
- Chipanshi, A. C., E. A. Ripley and R. G. Lawford. 1997. Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical weather data using the CERES-wheat model. *Agri For Meteorol*, 84: 223-232.
- Hammer, G. L., R. C. and Muchow. 1994. Assessing climatic risk to sorghum production in Water-limiting sub-tropical subtropical environment; I. development and testing of simulation 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 peanut simulation model: I. Model development and testing. *Agro J*, 87 :1085-1093.
- Jarrah, M. and L. Geng. 1997. Variability of morphophysiological traits of mediterranean durum cultivars. *Rachis*. 16: 52-56.
- Jones, J. W., G. Hoogenboom, C. H. Porter, K. J. Boote, W. D. Batchelor, A. L. Hunt and J. T. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*. 18(3): 235-265.
- Keating, B. A., P. S. Carberry, G. L. Hammer, M. E. Probert, M. J. Robertson, D. Holzworth, and C. J. Smith. 2003. An overview of APSIM a model designed for farming systems simulation. *European J of Agr*. 18(3): 267-288.
- Penning, D and F. Vries. 1975. Use of assimilates in higher plants. *Photosynthesis and productivity in different environments*. 15: 541-557.
- Saeki, T. 1960. Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant Community. *Bot. Mag. Tokyo*. 73: 55-63.
- 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 and R. C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. *Advin Agr*, 65: 215-265.
- Soltani, A., F. R. Khoorie, K. Ghassemi-Golezani, F. Rahimzadeh-Khoorie and M. Moghaddam. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Res*, 62: 213-224.
- Stockle, C. O., M. Donatelli and R. L. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur J of Agr*, 18: 289-307.
- Zarei, G. R., H. Shamsi and F. Fazeli. 2011. Effect of planting density on yield and yield components of safflower cultivars in spring planting. *5(12): 1-3*.

## Modeling growth and yield of winter wheat in Hamadan province

S. Ghasemi Maham<sup>1</sup>, B. Torabi<sup>2</sup>, A. Dadrasi<sup>1</sup>

Received: 2016-6-9 Accepted: 2016-10-6

### Abstract

In order to modeling of growth stages and yield of wheat according to Hamedan province meteorological data (minimum and maximum temperature, radiation and rainfall) By using the sub models of phenology, production and distribution of dry matter and leaf area changes in maize studies was conducted at the Faculty of Agriculture, University of Vali-e-Asr Rafsanjan in spring 2015. The parameters of sub model were estimated according to data from previous researches in Iran and other countries. Daily changes of phenology, harvest Index total dry matter and leaf area was calculated using the model and the yield at the end of season was predicted. One of the criteria to evaluation of a model is Comparison between coefficients of linear regression of observed and predicted yield ( $b=0.90\pm 0.67$  and  $a=0.73\pm 0.10$ ) and coefficients of line 1:1 (1, 0). Accuracy of the model related to coefficient of variations of predicted and observed seed yield ( $CV= 7.28$ ) was very high so that in field experiments coefficient of variations limit is 20 to 25.  $R^2$  quantity of seed yield was 0.81; showing that the probability for coordination of predicted and observed data is 81 percent. The Root mean square error is the other statistics which is used to evaluation of model accuracy. The Root mean square error of seed yield was 0.43, which is evidence of accuracy of model for yield prediction. domain variation for observed and predicted data were 4.08-8.01 tones and 4.08-7.59 tons per hectare respectively and the means were 6.09 and 5.53 tones per hectare respectively.

**Keywords:** Meteorological data, wheat, management, grain yield, Hamedan

---

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

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