دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی"
دوره هشتم، شماره ۱۵، پاییز و زمستان ۱۴۰۲
http://arpe.gonbad.ac.ir

ارزیابی مدل SSM-Wheat برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد جو

صادق محمدی[۱]، علی راحمی کاریزکی[۲*]، علی نخ‌زری مقدم[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

[۳،۲]استادیاران گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

چکیده

مقدمه: جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. یکی از گیاهان مهم تیره غلات می‌باشد. مدل‌سازی گیاهان زراعی، یکی از شاخه‌های زراعت و فیزیولوژی گیاهان زراعی است، که ظهور آن به حدود ۴۰ سال قبل باز می‌گردد و توسعه رایانه‌های پر قدرت و کارآمد در پیشرفت این رشته سهم عمده‌ای داشته است. این مدل‌ها معمولاً امکان تعیین گزینه‌های مدیریتی را فراهم می‌آورند، همچنین می‌توان آن‌ها را برای بررسی طیف گسترده‌ای از استراتژی‌های مدیریتی، با هزینه‌های پایین استفاده کرد. مدل‌های گیاهی ثابت کرده‌اند که جهت برآورد عملکرد محصولات، ترکیب جامعی از مقادیر در شرایط فیزیولوژیکی و برای ارزیابی گزینه مدیریت محصول، ابزارهای مفیدی می‌باشند. هدف از این تحقیق، ارزیابی مدل SSM-Wheat برای پیش‌بینی عملکرد جو با توجه به تولید و توزیع ماده خشک و میزان رشد برگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: اطلاعات لازم جهت شبیه‌سازی رشد و عملکرد جو از داده‌های آزمایش شده بر روی سه رقم جو (فردان، خرم و صحرا) در طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ و همچنین داده‌های آزمایش شده بر روی چهار رقم جو (فردان، خرم، ماهور و صحرا) در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶استفاده شد. داده‌های مربوط به عملکرد و سطح برگ اندازه‌گیری شده برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. فایل داده‌های هواشناسی (حداکثر و حداقل دما، میزان بارندگی و تشعشع خورشیدی) به صورت روزانه گردآوری و در مدل تعریف شد. پارامترهای مربوط به ویژگی‌های خاک از داده‌های پایه خود مدل در نظر گرفته شد.

نتایج: مقادیر به‌دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب با حداکثر و حداقل معادل ۵۳۷/۳۱ و ۲۲۸/۸۱ گرم در متر مربع و میانگین ۳۶۰/۵۱ گرم در متر مربع بود و همچنین حداکثر و حداقل مقادیر برای این صفت در مقادیر پیش‌بینی شده مدل معادل ۲۷۸/۷۴ و ۲۰۳/۰۲ گرم در متر مربع و میانگین ۲۵۸/۲۱ گرم در متر مربع بود. عملکرد بیولوژیک بدست آمده در آزمایش مزرعه‌ای در دامنه‌ای از حداقل معادل ۴۸۷/۵۵ گرم در مترمربع تا حداکثر ۱۵۴۰ گرم در مترمربع و میانگین ۱۰۹۲ گرم در مترمربع بدست آمد. مدل نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد بیولوژیک را به ترتیب معادل ۱۱۱۵، ۱۲۶۷و ۱۱۸۱ گرم در مترمربع محاسبه نمود.

*نویسنده مسئول: alirahemi@yahoo.com

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

نتیجه‌گیری کلی: نتایج جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE) برای پارامترهای عملکردی شامل عملکرد دانه برابر با ۳۳/۹۹، عملکرد بیولوژیک برابر با ۲۴/۱۴ و شاخص برداشت برابر با ۵۱/۱۱ بود که حاکی از عدم پیش‌بینی مناسب پارامترهای عملکردی به غیر از عملکرد بیولوژیک گیاه جو در شرایط مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جو، شبیه‌سازی، عملکرد، مدل SSM-Wheat

مقدمه

جو با نام علمی *Hordeum vulgare* L. یکی از گیاهان مهم تیره غلات[2] می‌باشد. با وجود اینکه جو دارای گونه‌های دیپلوئید، تتراپلوئید و هگزاپلوئید است، کلیه جوهای زراعی به طور عمومی دیپلوئید هستند (Komatsuda *et al*., 1999). جو گیاهی یک‌ساله، تک لپه، روز بلند، خودگشن و دارای 2n =14 کروموزم می‌باشد (Nour Mohammadi *et al*., 1999). این گیاه چهارمین غله مهم دنیا پس از گندم، ذرت و برنج شناخته می‌شود و جزء ده محصول مهم دنیا به شمار می‌آید (Akar *et al*., 2004). جو در ایران با سطح زیرکشت ۱۶۰۰۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۷، بعد از زراعت گندم در رتبه دوم قرار دارد (FAO, 2017). مدل‌سازی گیاهان زراعی، یکی از شاخه‌های زراعت و فیزیولوژی گیاهان زراعی است، که ظهور آن به حدود ۴۰ سال قبل باز می‌گردد و توسعه رایانه‌های پر قدرت و کارآمد در پیشرفت این رشته سهم عمده‌ای داشته است. این مدل‌ها معمولاً امکان تعیین گزینه‌های مدیریتی را فراهم می‌آورند، همچنین می‌توان آن‌ها را برای بررسی طیف گسترده‌ای از استراتژی‌های مدیریتی، با هزینه‌های پایین استفاده کرد (Soltani *et al*., 2006).

از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع حوادث فنولوژی به نحوی که کود، تنظیم کننده‌های رشد، علف‌کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به کار گرفته شوند، استفاده نمود. بسیاری از مدل سازان از مدل‌های خود به‌عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی خطرات موجود در تولید استفاده کرده‌اند (Sinclair and Muchow, 1999). مدل‌های گیاهی ثابت کرده‌اند که جهت برآورد عملکرد محصولات، ترکیب جامعی از مقادیر در شرایط فیزیولوژیکی (Azam-Ali *et al*., 2001; Steduto *et al*., 2009) و برای ارزیابی گزینه مدیریت محصول، ابزارهای مفیدی می‌باشند (Mabhaudhi *et al*., 2014). استفاده از مدل‌های آزمون شده، راه جایگزین خوبی برای ارزیابی راهبردهای مختلف مدیریت زراعی و به‌نژادی هستند (Soltani *et al*., 2016; Akram-Qaderi and Soltani, 2007). کیانی و همکاران (Kiani *et al*., 2004) در مورد ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم مطالعات زیادی انجام دادند.

بهرامجردی (Bahramjerdi, 2015) به منظور ارزیابی مدل شبیه‌سازی SSM-Wheat برای پیش‌بینی نمو، رشد و عملکرد دو رقم گندم در استان کرمان نشان داد که علی‌رغم اختلافات مطلق بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، مدل SSM-Wheat می‌تواند واکنش نمو، رشد و عملکرد ارقام مورد استفاده کرمان به تاریخ کاشت را به خوبی شبیه‌سازی کند. نتایج تحقیق با استفاده از مدل SSM-Wheat نشان داد که در زراعت گندم باید ضمن توجه به تغییرات اقلیمی، به راه‌های افزایش دوره پرشدن دانه و تسریع ورود به این دوره و بهبود کارایی مصرف نور گیاه، بانضمام کسب یک شاخص سطح برگ مطلوب در طی دوره رویشی توجه داشت زیرا که آن‌ها می‌توانند از مهم‌ترین عوامل افزایش عملکرد دانه گندم

2 Poaceae

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

به شمار آیند (Khalili agdam, 2018). ماهروکاشانی (Mahrokashani, 2009) به منظور برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT در پیش‌بینی نمو و رشد و عملکرد گندم در شرایط محیطی استان گلستان مطالعه‌ای را انجام دادند، ایشان بیان کردند که مدل DSSAT-Wheat توانست واکنش نمو ارقام مورد استفاده در استان گلستان به تاریخ کاشت را به خوبی شبیه‌سازی کند. هدف از این تحقیق، ارزیابی مدل SSM-Wheat برای پیش‌بینی عملکرد جو با توجه به تولید و توزیع ماده خشک و میزان رشد برگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای شبیه سازی رشد و عملکرد جو از مدل SSM-Wheat استفاده شد (Soltani *et al*., 2013). این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده‌ی خشک، موازنه نیتروژن گیاه، عملکرد و موازنه آب و خاک را دارد. پاسخ فرایندهای گیاهی به عوامل محیطی مانند تابش خورشیدی، فتوپریود، دما، نیتروژن، آب قابل دسترس و تفاوت‌های ژنتیکی ارقام در مدل در نظر گرفته شده است. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد و از اطلاعات قابل دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند.

برای اجرای مدل SSM-Wheat نیاز به یک سری ورودی می‌باشد. این ورودی‌ها عبارتند از: فایل اطلاعات هواشناسی که باید دمای حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی را به صورت روزانه وارد نمود .اطلاعات مدیریت زراعی که باید نوع رقم، تاریخ کاشت، زمان آبیاری، مقدار آبیاری و تعداد آبیاری، همچنین نوع، میزان و دفعات کوددهی (کود نیتروژن) را مشخص شود. داده‌های خاک‌شناسی شامل اطلاعات کاملی از لایه‌های مختلف خاک، بافت خاک، مقدار آب خاک در حالت اشباع، حد بالای آب در خاک پس از خروج آب ثقلی، ضریب زهکشی عمقی خاک، شاخص نیتروژن معدنی، شاخص دسترسی آب پروفیل خاک، وزن حجمی خاک، میزان نیترات و آمونیوم موجود در لایه‌های مختلف خاک و درصد ماده آلی خاک را باید معین نمود. اطلاعات گیاه حاوی پارامترهای گیاهی هر گیاه و رقم خاص می‌باشد. مقادیر پارامترهایی چون فنولوژی، فتوپریود، بهاره‌سازی، فیلوکرون، تعرق، نیتروژن، رشد و عملکرد جو را برآورد و در این قسمت وارد می‌کنیم.

مدل با استفاده از این پارامترها، محاسبات را از زمان کاشت تا رسیدگی انجام می‌دهد و زمان وقوع مراحل مختلف نموی، سرعت رشد روزانه محصول، عملکرد دانه، شاخص برداشت و سطح برگ را پیش‌بینی می‌کن (Muchow and sinclair, 2012). اطلاعات لازم جهت شبیه‌سازی رشد و نمو جو از داده‌های آزمایش شده بر روی سه رقم جو (فردان، خرم و صحرا) در طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ و همچنین داده‌های آزمایش شده بر روی چهار رقم جو (فردان، خرم، ماهور حرا) در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶استفاده شد. مطالعه به صورت موردی و در شهرستان گنبد کاووس اجرا شد، به همین منظور از داده‌های روزانه هواشناسی مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ ایستگاه هواشناسی گنبد کاووس استفاده گردید. شدت تشعشع خورشیدی با استفاده از برنامه SRAD از روی تعداد ساعات آفتابی گنبد تخمین زده شد (Soltani and Maddah Yazdi, 2010).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

تخمین سطح برگ: پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تخمین میزان تشعشع دریافت شده و تولید ماده خشک مورد نیاز می‌باشد. همچنین پیش‌بینی آن در تعیین توزیع تبخیر تعرق به تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه مهم می‌باشد (Soltani *et al*., 2006).

جدول ۱- پارامترهای ورودی مربوط به تخمین سطح برگ

Table 1- Input parameters related to leaf area estimation

پارامترها Parameters	واحد Unit	مقدار Amount
فیلوکرون (Phyllochron)	C°	75
ضریب ثابت a ارتباط دهنده سطح برگ بوته به تعداد گره در ساقه (PLACON) A coefficient (constant) in power relationship between plant leaf area and mainstem node number	-	1
ضریب توانی b ارتباط دهنده سطح برگ بوته به تعداد گره در ساقه (PLAPOW) A coefficient (exponent) in power relationship between plant leaf area and mainstem node number	-	2.34
سطح ویژه برگ (SLA) Specific leaf area	m^2/g	0.031
دمای تجمعی تشکیل مریستم‌های برگ (TKILL) Critical minimum temp for leaf destruction due to frosts	C°	-5
کسر تخریب برگ‌های پایینی در هر روز (FRZLDR) Fraction leaf destruction below the critical by each degree centigrad	$m^2/m^2/C°$	0.01

تخمین تولید ماده خشک: شبیه‌سازی تولید ماده خشک احتمالاً بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی است که خود تحت تأثیر مدل‌سازی نمو فنولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی توزیع ماده خشک اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، عملکرد دانه را مشخص می‌کند (Soltani, 2009).

ارزیابی مدل: به منظور ارزیابی مدل SSM-Wheat در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ در مرحله گرده‌افشانی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ استفاده شد که از جمله رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی‌ها توسط مدل محسوب می‌شود (Nasiri Mahallati, 2008). همچنین از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) که اختلاف نسبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد، استفاده شد (Nasiri Mahallati, 2008). در این ارزیابی مقادیر کم‌تر از ۱۰ درصد برای جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نشان دهنده دقت عالی شبیه‌سازی‌ها، مقادیر ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان دهنده دقت خوب، مقادیر ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان دهنده دقت متوسط و مقادیر بالاتر از ۳۰ درصد نشان دهنده دقت غیر قابل قبول است (Mondani *et al*., 2015).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

جدول ۲- پارامترهای ورودی مربوط به تخمین تولید ماده خشک

Table 2- Input parameters to estimated dry matter production

پارامترها Parameters	واحد Unit	مقدار Amount
دمای پایه برای تولید ماده خشک (TBRUE) Base temperature for dry matter production	C°	2
دمای مطلوب تحتانی برای تولید ماده خشک (TP1RUE) Lower optimum temperature for dry matter production	C°	10
دمای مطلوب فوقانی برای تولید ماده خشک (TP2RUE) Upper optimum temperature for dry matter production	C°	30
دمای سقف برای تولید ماده خشک (TCRUE) Ceiling temperature for dry matter production	C°	37
ضریب خاموشی برای تشعشع فعال فتوسنتزی (KPAR) Extinction coefficient for photosyntheticaly active radiation	-	0.64
کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب (IRUE) Radiation use efficiency under optimal growth conditions	g/MJ	2.33
ضریب توزیع ماده خشک به برگ‌ها از سبز شدن تا پایان رشد برگ در سطوح پایین ماده خشک (FLF1A) Partitioning coefficient to leaves during main phase of leaf area development at lower levels of total crop mass	g/g	0.9
ضریب توزیع ماده خشک به برگ‌ها از سبز شدن تا پایان رشد برگ در سطوح بالای ماده خشک (FLF1B) Partitioning coefficient to leaves during main phase of leaf area development at higher levels of total crop mass	g/g	0.4
وزن خشک تاج (WTOPL) Accumulated crop (above-ground) dry matter	g/m^2	177
ضریب تخصیص به برگ (FLF2) Partitioning coefficient to leaves	g/g	0.05
کسر ماده خشک انتقالی به دانه (FRTRL) Fraction crop mass at beginning seed growth which is translocateble to grains	-	0.2

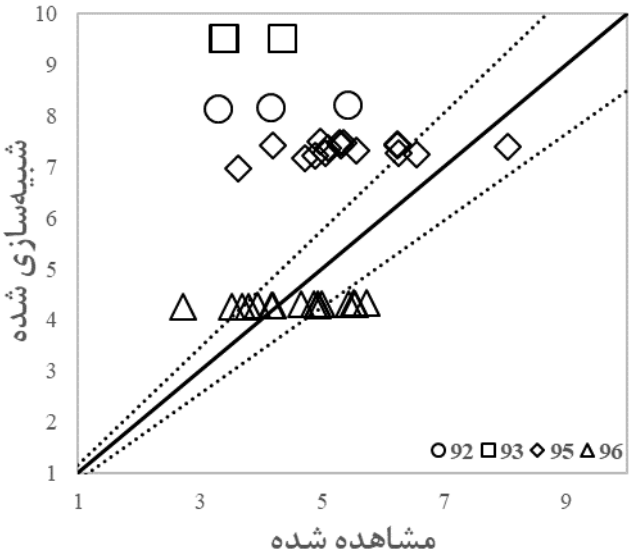
نتایج و بحث

حداکثر شاخص سطح برگ: نتایج شبیه‌سازی داده‌های به‌دست آمده در مزرعه و داده‌های پیش‌بینی شده در مدل در خصوص حداکثر شاخص سطح برگ نشان داد که مدل به خوبی این خصوصیت را نتوانست پیش‌بینی نماید. مقادیر به‌دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب با حداکثر و حداقل معادل ۸/۰۵ و ۲/۷۱ و میانگین ۴/۸۱ بود و همچنین حداکثر و حداقل مقادیر برای این صفت در مقادیر پیش‌بینی شده مدل معادل ۹/۵۲ و ۴/۲۴ و میانگین ۶/۲۹ بود. جذر میانگین

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده این پارامتر، ۲/۴۷ مترمربع بر مترمربع محاسبه گردید که ۳۳/۲۱ درصد میانگین سطح برگ مشاهده شده بود.



شکل ۱- حداکثر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در مقابل حداکثر سطح برگ مشاهده شده
Figure 1- Predicted maximum leaf area index versus its actual mounts

جدول ۳- پارامترهای ریاضی و آماری مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه بدست آمده از مدل و آزمایشات مزرعه‌ای
Table 3- Mathematical and statistical parameters related to the various traits studied by the model and field experiments

صفت Parameter	حداکثر Maximum		حداقل Minimum		میانگین Mean		پارامترهای آماری Statistical parameters		
	واقعی Actual	پیش‌بینی شده Predicted	واقعی Actual	پیش‌بینی شده Predicted	واقعی Actual	پیش‌بینی شده Predicted	R^2	RMSE	NRMSE
ANTLAI	8.05	52.9	2.71	4.24	4.81	6.29	0.097	2.47	33.21
WGRN	537	279	229	203	361	258	0.45	120	33.97
WTOP	1540	1267	488	1116	1093	1181	0.017	254	24.14
HI	38.1	23.8	23	18.2	31.99	21.88	-0.09	10.87	51.11

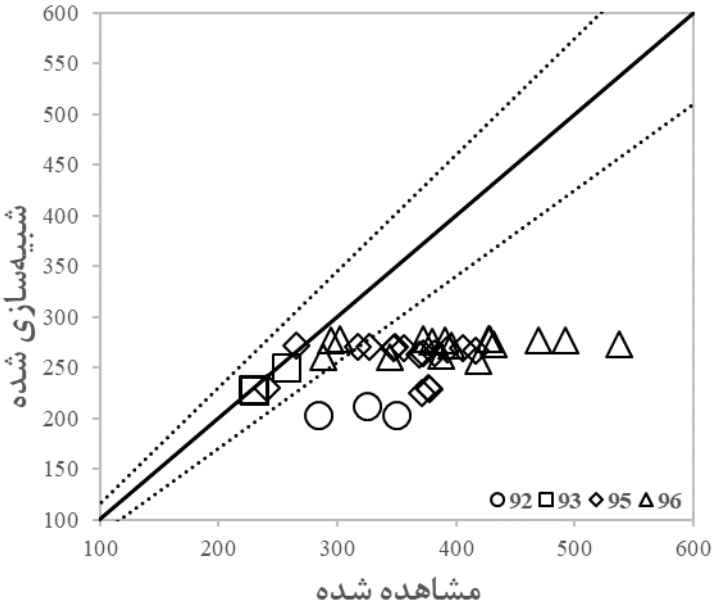
ANTLAI: شاخص سطح برگ در مرحله گرده‌افشانی (حداکثر شاخص سطح برگ)، WGRN: وزن خشک تجمعی دانه، WTOP: وزن خشک تجمعی تاج، HI: شاخص برداشت.

عملکرد دانه: مقایسه داده‌های آماری مربوط به مقایسه بین عملکرد به‌دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و عملکرد پیش‌بینی شده در مدل نشان داد که مدل تحت شرایط مطالعه قادر نیست پیش‌بینی خوبی از عملکرد ارائه دهد. مقادیر به‌دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب با حداکثر و حداقل معادل ۵۳۷ و ۲۲۹ گرم در متر مربع و میانگین ۳۶۱ گرم در متر مربع بود و همچنین حداکثر و حداقل مقادیر برای این صفت در مقادیر پیش‌بینی شده مدل معادل ۲۷۹ و ۲۰۳

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

گرم در متر مربع و میانگین ۲۵۸ گرم در متر مربع بود. به‌عبارتی ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب برابر ۰/۴۵، ۱۲۰ و ۳۳/۹۷ بدست آمد که نشان می‌دهد مدل ارزیابی مطلوبی در مورد این پارامتر ندارد. علاوه بر این در خصوص نمودار بین عملکرد واقعی و عملکرد پیش‌بینی شده نیز مشخص گردید که اکثر داده‌ها در خارج از محدوده‌ی ۱۵ درصد خط ۱:۱ قرار دارد.



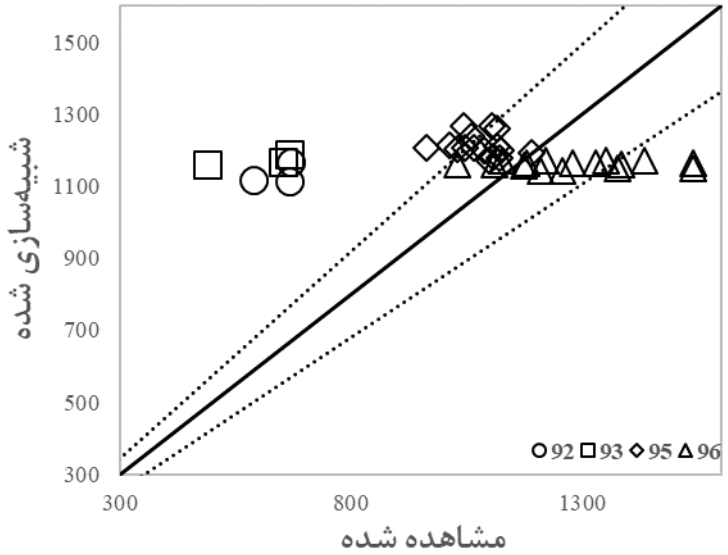
شکل ۲- عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده
Figure 2- Predicted grain yield versus its actual mounts

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک بدست آمده در آزمایش مزرعه‌ای در دامنه‌ای از حداقل معادل ۴۸۸ گرم در مترمربع تا حداکثر ۱۵۴۰ گرم در مترمربع و میانگین ۱۰۹۳ گرم در مترمربع بدست آمد. مدل نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد بیولوژیک را به ترتیب معادل ۱۱۱۶، ۱۲۶۷ و ۱۱۸۱گرم در مترمربع محاسبه نمود. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده عملکرد بیولوژیک، ۲۵۴ گرم در مترمربع محاسبه گردید که ۲۴/۱۴ درصد میانگین عملکرد بیولوژیک مشاهده شده بود.

شاخص برداشت: نتایج استخراج شده از مدل برای مقایسه پارامتر شاخص برداشت مشاهده شده در مزرعه و پیش‌بینی شده در مدل نشان داد که مدل شبیه‌سازی مناسبی از شاخص برداشت جو ارائه نمی‌دهد. مقادیر به‌دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب با حداکثر و حداقل معادل ۳۸/۱ و ۲۳/۱۲ درصد و میانگین ۳۱/۹۹ درصد بود و همچنین حداکثر و حداقل درصد برای این صفت در مقادیر پیش‌بینی شده مدل معادل ۲۳/۸ و ۱۸/۲ درصد و میانگین ۲۱/۸۸ درصد بود. به‌عبارتی ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگن مربعات خطای نرمال شده به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۱۰/۸۷ و ۵۱/۱۱ بدست آمد. مقایسه‌های آماری و نمودار خط ۱:۱، گویای این مطلب بود که مدل نتواسته است پیش‌بینی مطلوبی برای پارامتر شاخص برداشت ارائه دهد.

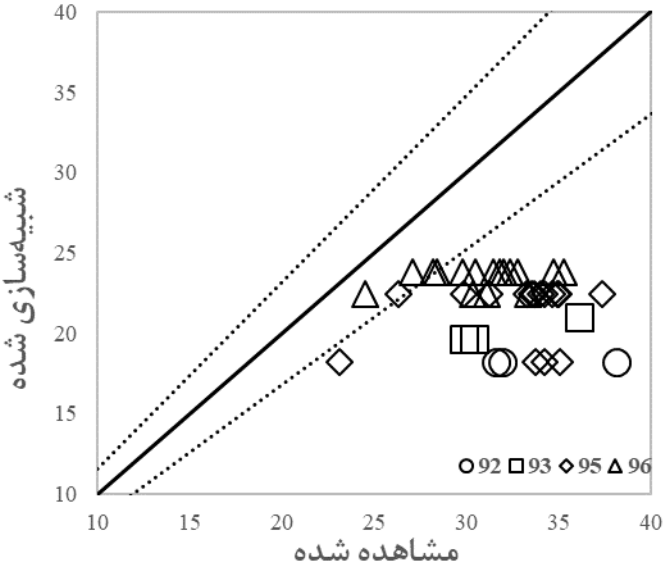
[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]



شکل ۳- عملکرد بیولوژیک شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد بیولوژیک مشاهده شده

Figure 3- Predicted biological yield versus its actual mounts



شکل ۴- شاخص برداشت شبیه‌سازی شده در مقابل شاخص برداشت مشاهده شده

Figure 4- Predicted harvest index versus its actual mounts

کیانی و همکاران (Kiani *et al*., 2004) به‌منظور ارزیابی توانایی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد و نمو و پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیکی، از آن در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان استفاده کرد. مقایسه شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ مشاهده شده بسیار بیشتر از شبیه‌سازی شده بوده است. رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیز بسیار زودتر از مرحله

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

گرده‌افشانی رخ داده است. ایشان اذعان داشتند این روند غیر معمول در شاخص سطح برگ به دلیل فراهمی زیاد آب و بخصوص ازت در ابتدای فصل بوده است که پس از ورنالیزه شدن و با شروع روند افزایشی دمای هوا در انتهای فصل زمستان و ابتدای فصل بهار، باعث رشد بیش از حد برگ‌ها شده و رسیدن کانوپی به حداکثر شاخص سطح برگ، بسیار زودتر از زمان معمول آن انجام شده است. از طرف دیگر با توجه به اینکه تولید، رشد و تعداد برگ‌ها در ساقه اصلی و در پنجه‌ها و نیز مرگ‌ومیر برگ‌ها و پنجه‌ها، در توسعه سطح برگ‌ها مؤثرند و از آنجائیکه همه این فرآیندها در مدل از طریق زمان دمایی شبیه‌سازی می‌شوند و با توجه به ارتباط بسیار نزدیک زمان دمایی با فیلوکرون، به نظر می‌رسد برای شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ که یک فاکتور بسیار مهم در شبیه‌سازی است و در واقع کل تولید مواد فتوسنتزی بر اساس آن محاسبه می‌شود، باید آزمایش دقیق زراعی برای مشخص کردن فیلوکرون و سرعت توسعه برگ‌ها در ارقام مختلف، انجام شوند تا بتوان با استفاده از این داده‌ها، مدل را برای شبیه‌سازی‌های فوق کالیبره کرد. در ارزیابی کیانی و همکاران (Kiani *et al*., 2004) مدل مقدار بیوماس را بیشتر از بیوماس تولیدی مزرعه برآورد کرد. ایشان عامل اصلی عدم شبیه‌سازی دقیق بیوماس را عدم تطابق معادلات بکار رفته در مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی بیوماس، با شرایط تولید بیوماس در مزرعه، عنوان کرد. در مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی تولید بیوماس از مفهوم راندمان مصرف نور (RUE) استفاده می‌شود. بر این اساس زمانی که شرایط محیطی برای رشد گیاه در حد پتانسیل باشند (شرایط مطلوب)، تولید بیوماس بطور خطی با جذب نور ارتباط خواهد داشت.

خلیلی‌اقدم (Khalili agdam, 2018) با شبیه‌سازی برخی صفات مطلوب مرتبط با عملکرد گندم دیم در شرایط ارومیه نشان داد که می‌توان با کاهش طول دوره رویشی و افزایش طول دوره پر شدن دانه و کارایی مصرف نور، می‌توان عملکرد گندم را افزایش داد. ضمن اینکه افزایش طول دوره رویشی و کاهش طول دوره زایشی، باعث افزایش بیوماس و کاهش عملکرد دانه می‌گردد. ایشان بیان کردند که وجود اختلافات بین سال‌های شبیه‌سازی را می‌توان به حاکم بودن شرایط آب و هوایی متفاوت مرتبط دانست. در تحقیقی افزایش کارایی استفاده از تشعشع و دیررسی از طریق روز بیولوژیک دوره زایشی، عامل افزایش عملکرد نخود زراعی در شرایط دیم گرگان و گنبد اعلام شده است (Akram-Qaderi and Soltani, 2007). عملکرد دانه بیشتر متاثر از عوامل مؤثر بر طول دوره پرشدن دانه است ضمن اینکه تغییر در دوره فنولوژی به‌ویژه در مراحل اولیه می‌تواند بر شاخص برداشت گیاه مؤثر باشد (Khalili aghdam, 2018). ماهروکاشانی (Mahrokashani, 2009) به منظور برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT در پیش‌بینی نمو و رشد و عملکرد گندم در شرایط محیطی استان گلستان مطالعه‌ای را انجام دادند، ایشان بیان کردند که مدل DSSAT-Wheat توانست واکنش نمو ارقام مورد استفاده در استان گلستان به تاریخ کاشت را به خوبی شبیه‌سازی کند ولی، مدل واکنش رشد و عملکرد ارقام به تاریخ کاشت را خیلی خوب شبیه‌سازی نکرد که لزوم بررسی‌های بیش‌تر این مدل توسط محققین و مدل‌سازان را می‌طلبد. کیفیت کارکرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به کیفیت و قابلیت دسترسی ورودی‌های لازم برای اجرای مدل‌ها بستگی دارد. دسترسی به داده‌های دقیق گیاهی و ارقام خاص، به دلیل پراکندگی اطلاعات یا اندک بودن آن، مشکل می‌باشد. استفاده از تقریب‌زدن این پارامترها، خالی از خطا نخواهد بود (Soltani, 2009). تفاوت‌های داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده‌ی این تحقیق را می‌توان به اطلاعات اندک در مورد پارامترهای ورودی مربوط به تخمین سطح برگ و تولید و توزیع ماده خشک، نسبت داد که بررسی‌های بیشتری را جهت بدست آوردن پارامترهای ورودی دقیق، می‌طلبد. برخلاف نتایج این تحقیق، گزارش‌هایی در توانایی مدل‌ها در شبیه‌سازی رشد و عملکرد وجود دارد. بهرامجردی (Bahramjerdi, 2015) بیان داشت، علی‌رغم اختلافات مطلق بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده،

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

مدل SSM-Wheat می‌تواند واکنش نمو، رشد و عملکرد ارقام مورد استفاده کرمان به تاریخ کاشت را به خوبی شبیه‌سازی کند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE) برای پارامترهای عملکردی شامل عملکرد دانه برابر با ۳۳/۹۹، عملکرد بیولوژیک برابر با ۲۴/۱۴ و شاخص برداشت برابر با ۵۱/۱۱ بود که حاکی از عدم پیش‌بینی مناسب پارامترهای عملکردی گیاه جو در شرایط مطالعه می‌باشد. علاوه بر آن مدل، پیش‌بینی مناسبی را از حداکثر سطح برگ، ارائه نکرد.

منابع

Akar T., Avci M.., Dusunceli F. 2004. Barley; Post-harvest operations, Accessed on 15 August 2007.

Akram-Qaderi F., Soltani A. 2007. Determination of optimum characteristics of Plant for Cicer arientinum in irrigate farms of gorgon and Gonbad by compute Simulation Journal of Agricultural Science and Natural Resources, 14 (5): 1-11. (In Persian).

Azam-Ali S.N., Sesay A., Karikari S., Massawe F.J., Aguilar-Manjarrez J., Bannayan M., Hampson K.J. 2001. Assessing the potential of an underutilized crop a casestudy using bambara groundnut. Experimental Agriculture, 37: 433-472.

Bahramjerdi F. 2015. Evaluation of SSM-Wheat simulation model under Kerman conditions, Master Thesis, Rafsanjan Vali Asr University. (In Persian).

Khalili Agdam N. 2018. Simulation of some optimal related to rain-fed wheat yield at Urmi conditions, Journal of Crop Ecophysiology, 12 (47): 377-392. (In Persian).

Kiani A., Kochaki A., Nasiri Mahallati A., Banayan M. 2004. CERES-Wheat model evaluation at two different climatic locations in Khorasan province, phenology and growth parameter simulation. Desert Research Journal, 9 (1). (In Persian).

Komatsuda T., Tanno K., Salomon B., Bryngelsson T., Von Bothmer R. 1999. Phylogeny in genus Hodeum based on nucleotide sequences closely linked to the locus (row number of spikelets). Genome, 42: 937-981.

Mabhaudhi T., Modi A.T., Beletse Y.G. 2014. Parameterisation and evaluation of the food and agriculture organization aquacrop model for a South African taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) landrace. Agricultural and Forest Meteorology.192: 132-139.

Mahrokashani A. 2009. Growth and yield simulation of wheat using DSSAT model in Gorgan. Master Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).

Mondeani F., Nasiri Mahallati A., Koocheki A., Hajiyan Shahri M. 2015. Simulating of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) competition on winter wheat (*Triticum astivum*) growth and yield, l: model description and validation. Iranian Journal of Field Crops Research, 13 (2): 218-231. (In Persian).

Nasiri Mahallati A. 2008. Modeling, In: Modern Agronomy, Koochaki A and Khajeh Hosseini M. Publications University of Mashhad. (In Persian).

Nour Mohammadi Gh., Siadat S., Kashani A. 1999. Cereal Farming, Shahid Chamran University Press, 1: 446. (In Persian).

Sinclair T.R., Muchow R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advance in Agronomy, 65: 215-265.

Soltani A. 2009. Mathematical Modeling in Field Crops. Publications University of Mashhad. (In Persian).

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]

Soltani A., Hajjarpoor A., Vadez V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and waterlimited potential yield in Iran. Field Crops Research, 185: 21-30.

Soltani A., Maddah-Yazdi V. 2010. Simple, Applied Programs for Education and Research in Agronomy. Niak Press. (In Persian).

Soltani A., Roberston MJ, Mohammad-Nejad Y., Rahemi-Karizaki A. 2006. Modeling ckickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Research, 99 (1): 1-33.

Soltani E., Soltani A., Zeinali E., Dastmalchi A. 2013. Estimates of nitrate leaching from wheat fields in Gorgan. Journal of Soil Water Conserve, 20: 145-163.

Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., Fereres E. 2009. Aqua crop the food and agriculture organization model to simulate yield response to water. Agronomy, 101: 426-437.

FAO. 2017. www.fao.org/faostst/en/#data/QC.

[Downloaded from arpe.gonbad.ac.ir on 2026-07-02]

[DOI: 10.22034/arpe.8.15.58]