

ارزیابی مدل CliPest در شبیه‌سازی رقابت گندم (*Aestivum triticum* L.) و یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) در کرمانشاه

اشکان جلیلیان^۱، فرزاد مندنی^{۲*}، محمود خرمی وفا^۲ و علیرضا باقری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

جلیلیان، ا.، مندنی، ف.، خرمی وفا، م.، و باقری، ع. ر. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل CliPest در شبیه‌سازی رقابت گندم (*Aestivum triticum* L.) و یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) در کرمانشاه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۱): ۲۴۸-۲۶۶.

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، ابزار مفیدی در تعیین بهینه‌ترین راهبرد مدیریت زراعی و پایداری تولید در بوم‌نظام‌های کشاورزی به شمار می‌آیند. بنابراین با هدف واسنجی و ارزیابی مدل CliPest در شرایط آب و هوایی کرمانشاه، یک آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا گردید. نتایج نشان داد که میزان nRMSE برای عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه گندم (*Aestivum triticum* L.) به ترتیب، ۷/۷ و ۳/۱ درصد میانگین مشاهده شده‌ها و برای وزن خشک کل یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) نیز به ترتیب، ۲۳/۴ درصد میانگین مشاهده شده‌ها بود. نتایج ارزیابی مدل CliPest نیز نشان داد که میزان nRMSE برای مراحل نمو، عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه، درصد کاهش عملکرد وزن خشک و عملکرد دانه گندم به علت خسارت یولاف وحشی به ترتیب، ۲/۴، ۲۴/۳، ۴/۸، ۱۵/۷ و ۱۱/۶ درصد میانگین مشاهده شده‌ها بود. همچنین نتایج شاخص توافق ویلموت و برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با خط ۱:۱ نیز نشان داد که مدل قادر است به ترتیب تا بیش از ۹۰ و ۹۵ درصد از تغییرات مشاهده شده صفات مورد بررسی را شبیه‌سازی کند. نتایج نشان داد که مدل CliPest دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی تغییرات عملکرد گندم پاییزه در شرایط رقابت با علف هرز یولاف وحشی داشت.

واژه‌های کلیدی: تخصیص مواد فتوسنتزی، رقابت علف‌های هرز، شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی، واسنجی

مقدمه

مصرف سرانه آن در دنیا است (FAO, 2014). مقدار تولید گندم در ایران نیز حدود ۱۰/۶ میلیون تن است که از مساحتی حدود هفت میلیون هکتار برداشت می‌شود (USDA, 2015). علف‌های هرز جز عوامل مهم خسارت‌زا و کاهنده تولید در مزارع گندم هستند که با جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Zarea-Feizabady et al., 2009). یولاف وحشی (*Avena ludoviciana* L.) با پراکنش جغرافیای وسیع، تولید بذر بالا و قابلیت مقاومت به علف‌کش‌ها از مهم‌ترین علف‌های هرز خسارت‌زا در مزارع گندم به شمار می‌رود (Mondani et al., 2015).

محاسبه خسارت علف‌های هرز بر رشد و عملکرد گندم نیاز به انجام آزمایش‌های متعددی دارد که به دلیل تنوع آب و هوایی کشور،

گندم (*Aestivum triticum* L.) با کشت در ۱۲۵ کشور دنیا، سطح زیر کشت و تولید به ترتیب حدود ۲۲۱/۶ میلیون هکتار و ۷۲۸/۹ میلیون تن در سال مهم‌ترین گیاه زراعی است که سهم مهمی در برنامه غذایی انسان‌ها دارد، به گونه‌ای که سرانه مصرف آن در ایران حدود ۲۳۲ کیلوگرم در سال است که بیش از دو برابر میانگین

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، استادیار اکولوژی گیاهان زراعی و استادیار علوم شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه
(*) نویسنده مسئول: (Email: f.mondani@razi.ac.ir)

دادند که میزان جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مراحل نمو فنولوژیک گندم و یولاف وحشی به ترتیب، ۱۰/۴ و ۱۴/۵ درصد، متوسط وزن خشک کل گندم و یولاف وحشی در تیمارهای مختلف به ترتیب، ۵/۸ و ۷/۶ درصد و کاهش عملکرد دانه گندم به علت رقابت یولاف وحشی ۷/۵ درصد بود. بر این اساس نام‌برده اظهار داشت که مدل دقت قابل قبولی در پیش‌بینی خسارت یولاف وحشی بر عملکرد گندم داشت.

در بین استان‌های کشور، کرمانشاه با سطح زیر کشت حدود ۴۳۱ هزار هکتار و تولید حدود ۸۸۸ هزار تن در سال و سهم ۸/۴ درصدی از تولید سالیانه گندم کشور، در جایگاه سوم تولید قرار دارد (MJA, 2014). با توجه به اهمیت کشت گندم پاییزه و میزان خسارت علف-هرز یولاف وحشی در اکثر مزارع گندم کشور و استان کرمانشاه این بررسی با هدف شبیه‌سازی رقابت علف هرز یولاف وحشی با گندم پاییزه و در راستای سرعت بخشیدن به آزمایش‌های علمی و حذف آزمایش‌های تکراری، در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

ساختار مدل CliPest¹

مدل CliPest یک مدل عمومی رشد و نمو گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های زیستی است که توانایی ارزیابی رشد و عملکرد گیاهان زراعی و برهمکنش‌های بین گیاهان زراعی با آفات را دارد (Mondani, 2012). ساختار اصلی این مدل برگرفته از مدل لینتول یک (LINTTUL 1) است که رشد گندم بهاره را برای تولید در شرایط پتانسیل و متناسب با اطلاعات هواشناسی (میزان تشعشع روزانه، درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه) بر اساس کارایی مصرف نور شبیه‌سازی می‌کند (De Wit et al., 1997). در ساختار مدل CliPest ابتدا مراحل نمو (یک متغیر بدون بُعد در ساختار مدل‌ها که بین صفر تا دو در نوسان است. به این صورت که صفر، ۱ و ۲ به ترتیب نشان دهنده مرحله نمو سبز شدن، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک است) و فرمان بهاره‌سازی اضافه شد. به این صورت مدل برای شبیه‌سازی رشد و نمو گندم پاییزه اصلاح گردید و سپس با وارد

وجود بیوتیپ‌های مقاوم به علف‌کش‌ها و تغییرات اقلیمی، هزینه‌های زیادی در بر دارد. یکی از روش‌های مناسب و کم‌هزینه برای جایگزینی این مطالعات، استفاده از علم مدل‌سازی در تحقیقات کشاورزی است که در حال حاضر، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و می‌توان از آن در پیش‌بینی اثرات رقابت و اقلیم بر فرآیندهای رشد و عملکرد محصولات زراعی استفاده کرد (Willocquet et al., 2000, Rahmani et al., 2015; Deihimfard et al., 2015; Zarakani et al., 2014). از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات زراعی می‌توان برای درک واکنش گیاهان زراعی به تغییرات اقلیم، رابطه گیاه و آب، ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیک جهت بهبود ژنتیکی عملکرد و بهینه‌سازی کارایی استفاده از منابع بهره برد (Soltani et al., 2006). تحقیقات مزرعه‌ای مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است، در حالی که مدل‌ها می‌توانند با شبیه‌سازی آزمایش‌های وسیع باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه شوند، اما از آن‌جا که این مدل‌ها نمی‌توانند جایگزین آزمایش‌های مزرعه‌ای شوند، بهترین حالت آن است که به عنوان مکمل این آزمایش‌ها استفاده شوند (Dastmalchi et al., 2012). برای مثال نتایج شبیه‌سازی رشد و نمو گندم با استفاده از مدل CDSS-MODEL نشان داد که این مدل با شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا و رگرسیون خطی یک به یک (۱:۱) بالا قادر بود مراحل نمو را به خوبی شبیه‌سازی کند (Andarzian et al., 2007). همچنین بررسی ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT در پیش‌بینی رشد و نمو عملکرد گندم پاییزه نیز نشان داد که مدل توانایی قابل قبولی در شبیه‌سازی مراحل نمو فنولوژیک گندم دارد (Mahru-Kashani et al., 2011).

رزوق و همکاران (Rezzoug et al., 2008) در بررسی ضرایب ژنتیکی نه رقم گندم در کشور الجزایر با مدل DSSAT نشان دادند که این مدل از دقت قابل قبولی در پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام گندم برخوردار بود، به نحوی که مقدار جذر میانگین مربعات خطا حدود ۷۳۰ کیلوگرم بود. بررسی دیگری با مدل CERES-Maize نشان داد این مدل قادر است به خوبی عملکرد محصول و زیست‌توده کل ذرت را با شاخص توافق ویلموت به ترتیب، ۰/۹ و ۰/۸۴ درصد پیش‌بینی کند (Haghjoo & Bahrani, 2015). مندنی (Mondani, 2012) با طراحی مدل CliPest برگرفته از مدل LINTUL1 رقابت گندم پاییزه را در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی بررسی کرده و نشان

1- CliPest: A dynamic simulation model for evaluation of climate change impacts, crop yields and losses due to invasion multiple pests damage.

اندام‌های مختلف یولاف وحشی در مراحل نموی نیز با استفاده از روش اندازه‌گیری مستقیم در گلخانه محاسبه شد.

آزمایش مزرعه

به منظور استخراج پارامترهای مورد نیاز جهت واسنجی و ارزیابی مدل CliPest، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۸/۶ متر) در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. در طرح اجرایی این آزمایش سه تکرار جهت واسنجی و تکرار چهارم جهت تعیین اعتبار مدل در نظر گرفته شد. تیمارهای آزمایش شامل تراکم-های ۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع یولاف وحشی بود. نیاز غذایی گندم به عناصر غذایی با توجه به نتایج آزمایش خاک حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل ۴۶ درصد و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره ۴۶ درصد بود (جدول ۱). تمام کود فسفره و یک سوم از کود نیتروژن در مرحله کاشت و مابقی کود نیتروژن به صورت سرک در مراحل اوایل ساقه رفتن و ابتدای گلدهی به خاک اضافه شد.

آماده‌سازی مزرعه شامل شخم نیمه‌عمیق، سپس دیسک و کود-پاشی، قبل از کاشت بود. هر کرت آزمایشی شامل ۱۰ ردیف کاشت به طول سه متر بود. گندم رقم پیش‌تاز با دست و در عمق سه تا پنج سانتی‌متری خاک و در ردیف‌هایی با فاصله ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. تاریخ دفن بذر گندم و یولاف وحشی ۲۰ آبان ماه و تاریخ کاشت گندم و یولاف وحشی با توجه به اولین بارندگی پس از دفن بذر، ۲۷ آبان ماه در نظر گرفته شد. تراکم نهایی مزرعه ۴۰۰ بوته در مترمربع بود. بذر یولاف وحشی نیز از مزارع اطراف جمع‌آوری شد و سپس برای شکستن خواب از تیمار نیترات پتاسیم دو درصد به مدت ۲۴ ساعت استفاده شد (Dezhkam et al., 2011). در تمام تیمارها بذر یولاف وحشی با تراکم بالاتر در بین ردیف‌های گندم کشت شد و در مرحله چهار تا پنج برگی، برای رسیدن به تراکم‌های مورد نظر، اقدام به تنک کردن بوته‌ها شد. برای جلوگیری از ایجاد تنش رطوبتی از مرحله نموی انتهایی طولی شدن ساقه‌ها، آبیاری هر هفت روز یک‌بار به صورت غرقابی صورت گرفت. جهت کنترل علف‌های هرز پهن برگ در ابتدای ساقه رفتن از علف‌کش توفوردی به میزان ۱/۵ لیتر در

کردن مکانیزم‌های کاهنده محصول (خسارت علف‌هرز یولاف وحشی و آفت سن گندم) برای شرایط تنش‌های زیستی تکمیل گردیده است. ورودی‌های این مدل شامل درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد و میزان تشعشع روزانه خورشید بر حسب مگاژول در مترمربع بود که از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه تهیه شد.

مشخصات سیستم و مقادیر اولیه متغیرها

تاریخ سبز شدن گندم پاییزه و یولاف وحشی بر اساس خروج ۵۰ درصد گیاهچه‌ها از خاک به ترتیب، ۴ و ۷ آذر در نظر گرفته شد. درجه حرارت پایه برای هر دو گیاه، صفر درجه سانتی‌گراد بود (Rezaei et al., 2008; Willenborg et al., 2005). مقادیر اولیه برای شبیه‌سازی وزن خشک کل، برگ، ساقه، ریشه و سنبله گندم به ترتیب، ۱۰، ۰/۵، ۰/۳، ۰/۸ و صفر گرم در مترمربع بود (Willoquet et al., 2000). تمامی مراحل واسنجی و ارزیابی مدل در شرایط ایده-آل رشد (عدم تنش‌های غیر زیستی همچون آب و نیتروژن و عدم تنش‌های زیستی به جز خسارت علف‌هرز یولاف وحشی) در نظر گرفته شد (Hoogenboom et al., 2015). در نسخه پیشین مدل CliPest به جای مقادیر تخصیص ترکیبات فتوسنتزی به سمت اندام‌های یولاف وحشی (برگ، ساقه، ریشه و اندام‌های ذخیره‌ای) از مقادیر تخصیص مواد فتوسنتزی گندم استفاده شده بود، که در این تحقیق این مقادیر از طریق اندازه‌گیری‌های مستقیم به دست آمد و در ساختار مدل جایگزین شد که در بخش واسنجی مدل مراحل کار به‌طور کامل شرح داده شده است.

واسنجی^۱ پارامترهای مدل

پارامترهای مورد واسنجی ابتدا از طریق فرآیند آنالیز حساسیت مشخص می‌شود که در این بررسی از میان پارامترهای به‌کار رفته در مدل، کارایی مصرف نور، سطح ویژه برگ (که با اندازه‌گیری مستقیم محاسبه شد)، ضریب خاموشی نور و درجه حرارت پایه گندم پاییزه و یولاف وحشی (که از طریق مرور منابع استخراج شد (Hassanzadeh-Dlouhy et al., 2002; Rezaei et al., 2008)) انتخاب گردید. همچنین مقادیر اولیه وزن خشک گیاهچه، ریشه، ساقه، برگ و اندام ذخیره‌ای یولاف وحشی نیز از روش اندازه‌گیری مستقیم به دست آمد. ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی به سمت

هکتار استفاده شد و سایر علف‌های هرز باقیمانده با دست وجین شدند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1. Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق (سانتی متر) Depth (cm)	بافت Texture	رس (%) Clay (%)	سیلت (%) Silt (%)	شن (%) Sand (%)	کربن آلی (%) Organic Carbon (%)	نیترژن (%) N (%)	اسدیته خاک PH	پتاسیم (میلی-گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی-گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)
0-30	Clay-Silt	43.9	54.4	10.7	1.5	0.15	7.4	282.4	20.6
30-60	Clay-Silt	36.7	46.6	16.7	1.3	0.13	7.4	246.5	4.6

آزمایش گلخانه

به منظور تعیین میزان تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف یولاف وحشی (برگ، ساقه، ریشه و اندام ذخیره‌ای)، آزمایشی گلدانی در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل مقدار ۳۵، ۷۰ و ۱۱۵ کیلوگرم نیترژن خالص در هکتار بود که با توجه به مصرف این کود در مزارع گندم انتخاب گردید و سپس از طریق تناسب مقدار کود مصرفی در سطح یک متر مربع در شرایط مزرعه به مساحت هر گلدان (۲۷۰ سانتی‌متر مربع) به‌ترتیب معادل ۳/۱، ۶/۲ و ۱۰/۱ گرم کود اوره در هر گلدان در مراحل اوایل ساقه رفتن و گلدهی اضافه شد. با توجه به برطرف نشدن نیاز سرمایی یولاف وحشی در گلخانه، جهت فرایند بهاره‌سازی، ابتدا بذر یولاف وحشی به مدت ۱۰ دقیقه با محلول هیپوکلریت سدیم دو درصد ضدعفونی (Haghighi-Khah et al., 2013) و پس از جذب رطوبت به مدت ۴۰ روز در دمای دو درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا فرایند بهاره‌سازی گیاه تکمیل شود (Loskutov, 2001). سپس بذر به گلدان‌های اولیه انتقال داده شد تا بعد از اطمینان از جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه مورد نیاز (سه بوته در هر گلدان) به گلدان‌های اصلی انتقال داده شود. آبیاری با توجه به نیاز گیاه هر هفت روز یک‌بار صورت گرفت. جهت بررسی صفات مربوط به ریشه و همچنین نمونه‌برداری‌های تخریبی، گلدان‌ها به‌صورت دست‌ساز و از پلاستیک‌های ورقه‌ای (فلت ساختمانی) ساخته شد که با توجه به مراحل نمونه‌برداری از ۲۰ سانتی‌متر تا یک متر تهیه شد.

با توجه به نمونه‌برداری حذفی در طول آزمایش، هفت گلدان برای هر تیمار در نظر گرفته شد و هفت مرحله نمونه‌برداری همزمان با طی شدن مراحل نمو فنولوژیک (دو برگی، پنجه‌دهی، ساقه‌دهی،

مراحل نموی گندم و یولاف وحشی در بازه زمانی سه روزه، با ظهور علائم هر مرحله نموی (سبز شدن، پنجه‌دهی، ساقه‌دهی، خوشه‌دهی، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) ثبت گردید. نمونه برداری‌های تخریبی نیز توسط کوادرات (۲۵×۳۰ سانتی‌متر) با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای با شروع طویل شدن ساقه‌های گندم و یولاف وحشی هر ۱۴ روز یک‌بار تا انتهای دوره رشد صورت گرفت. به این صورت که اندام‌های هوایی گیاه ابتدا از سطح خاک برداشت شده و سپس به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک اندام‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت تعیین وزن خشک نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت در آون قرار داده و سپس توزین شد. شاخص سطح برگ گندم و یولاف وحشی نیز توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ تعیین شد. جهت اندازه‌گیری کارایی مصرف نور گندم و یولاف وحشی ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی کرمانشاه به روش ارائه شده توسط خودریان و ون لار (Goudriaan & Van Laar, 1993) محاسبه شد. کارایی مصرف نور بر حسب گرم برگ مگاژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک (گرم بر مترمربع) و میزان تشعشع جذب شده جمعی (مگاژول بر مترمربع) محاسبه شد (Zhang et al., 2009). نمونه‌گیری نهایی نیز به این صورت بود که در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت از مساحت یک مترمربع نمونه‌برداری نهایی صورت گرفت و سپس نمونه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و نهایتاً عملکرد دانه گندم، عملکرد وزن خشک کل گندم و یولاف وحشی به تفکیک تیمارها اندازه‌گیری شد.

مدل بود. به منظور ارزیابی مدل CliPest در شبیه‌سازی مراحل نمو، روند تغییرات وزن خشک کل، عملکرد دانه، درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل گندم پاییزه و همچنین مراحل نمو و روند تغییرات وزن خشک کل یولاف وحشی علاوه بر شاخص‌های RMSE، nRMSE از برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز استفاده شد (Nassiri Mahallati, 2008). دیگر شاخص ارزیابی مدل، شاخص آماری توافق ویلمویت (d) می‌باشد که در بازه صفر تا یک بیانگر دقت برازش مدل است. به این صورت که هرچه مقدار این شاخص به یک نزدیک شود، نشان از دقت بالاتر مدل دارد (Kiani et al., 2013).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad \text{معادله (۳)}$$

در این رابطه، S_i : مقادیر شبیه‌سازی شده، O_i : مقادیر مشاهده شده، n : تعداد مشاهده‌ها و \bar{O} : مقدار میانگین مشاهدات است.

نتایج و بحث

جای‌گذاری پارامترها

پارامترهای مورد نیاز جهت واسنجی مدل CliPest در جدول ۲ آمده است. مقدار کارایی مصرف نور گندم و یولاف وحشی به ترتیب، ۱/۴۵ و ۱/۶۰ و ضریب خاموشی نور نیز به ترتیب، ۰/۰۶ و ۰/۴۸ بود. همچنین سطح ویژه برگ گندم و یولاف وحشی، ۰/۱۹ به دست آمد. مقادیر اولیه وزن خشک گیاهچه، ریشه، ساقه، برگ و اندام ذخیره‌ای تک بوته یولاف وحشی نیز به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۶، ۰/۰۰۹ و ۰/۰۰۹ و صفر گرم بود. نتایج تحقیق دیگری نیز مقدار کارایی مصرف نور را برای گندم و یولاف وحشی از ۱/۳۸ تا ۱/۶۲ گرم بر مگازول گزارش کردند (Ayenehband, 2012). نتایج تحقیقات نشان داده است که یولاف وحشی علاوه بر توانایی بالاتر در رقابت با گندم پاییزه از طریق کاهش جذب مواد غذایی، کاهش سطح برگ و کاهش توانایی فتوسنتزی گیاه، با برخورداری ارتفاع بیشتر و توزیع مناسب‌تر برگ به منظور جذب نور بهتر از کارایی مصرف نور بالاتری نسبت به گندم برخوردار است (Blakshaw et al., 2004; Abrahamipour, 2007; Asadi et al., 2013). از دیگر پارامترهای مورد واسنجی ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی، یولاف وحشی به سمت اندام‌های مختلف در مراحل نمو بود که مقادیر آن

ظهور خوشه‌چه، گلدهی، اواسط پر شدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد، به این صورت که در هر مرحله نمونه‌برداری با اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های یولاف وحشی (برگ، ساقه، اندام ذخیره‌ای و ریشه)، ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های مختلف اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری بیوماس ریشه‌ها نیز ابتدا خاک گلدان‌ها تخلیه و سپس ریشه‌ها توسط آب شستشو و جداسازی انجام شد. جهت تعیین وزن خشک، ریشه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و سپس توزین گردید.

شاخص‌های راستی آزمایی مدل

به منظور مقایسه آماری و راستی آزمایی پارامترهای به کار رفته در مرحله واسنجی مدل CliPest جهت شبیه‌سازی عملکرد وزن خشک کل و دانه گندم پاییزه و همچنین عملکرد وزن خشک کل یولاف وحشی از شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^1$) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده ($nRMSE^2$) که اختلاف نسبی بین داده‌های شبیه‌سازی شده (S_i) و مشاهده شده (O_i) را نشان می‌دهد، استفاده شد (Nassiri Mahallati, 2008). مقادیر کمتر از ۱۰ درصد برای جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نشان‌دهنده دقت عالی شبیه‌سازی‌ها، مقادیر ۱۰ تا ۲۰ درصد نشان‌دهنده دقت خوب، مقادیر ۲۰ تا ۳۰ درصد نشان‌دهنده دقت متوسط و مقادیر بالاتر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده دقت غیرقابل قبول است (Nassiri Mahallati, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad \text{معادله (۲)}$$

سنجش اعتبار مدل^۳

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، برای رسیدن به این هدف یک آزمایش مزرعه‌ای با چهار تکرار اجرا شد که از اطلاعات یک تکرار آن جهت تعیین اعتبار مدل استفاده شد. لازم به ذکر است که تمامی مراحل نمونه‌برداری‌های تخریبی و نهایی و همچنین اندازه‌گیری صفات مورد نظر، مشابه سه تکرار مورد استفاده در فرآیند واسنجی

1- Root mean square error

2- Normalized root mean square error

3- Model Validation

ماده خشک در اندام‌های مختلف گیاه طی فصل رشد به این صورت است که در ابتدای فصل بیشترین سهم به برگ‌ها و ریشه‌ها، سپس به ساقه‌ها و در مراحل پایانی نمو (رشد زایشی) به اندام‌های ذخیره‌ای اختصاص می‌یابد (Khadempir et al., 2014).

ها در جدول ۲ آمده است. تخصیص مواد فتوسنتزی به معنی توزیع ماده خشک حاصل از فتوسنتز گیاه به اندام‌های مختلف در طول فصل رشد است. نتایج نشان داد که با افزایش رشد یولاف وحشی و طی شدن مراحل نمو، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه، برگ و ریشه کاهش و در اندام ذخیره‌ای افزایش یافت. به طور کلی، روند تخصیص

جدول ۲- پارامترهای واسنجی شده گندم پاییزه و یولاف وحشی جهت استفاده در مدل CliPest

Table 2- Calibration parameters of Winter wheat and wild oat for used in the CliPest model

گیاه Plant	ضریب خاموشی نور Light-extinction coefficient	درجه حرارت پایه (سانتی‌گراد) Basic temperature (° C)	سطح ویژه برگ Specific leaf area	کارایی مصرف نور (گرم بر مگاژول) Radiation use efficiency (g.MJ ⁻¹)
گندم پاییزه Winter wheat	0.6	0	0.0195	1.45
یولاف وحشی Wild oat	0.48	0	0.019	1.60
ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی و پارامترهای واسنجی شده یولاف وحشی Assimilates partitioning coefficients and wild oat of calibrated parameters				
مراحل نمو Development Stage	ریشه Root	اندام‌های هوایی Shoots	برگ* Leaf	اندام ذخیره‌ای* Storage organs
دو برگی Second leaf	0.362	0.638	0.400	0.600
پنجه‌دهی Tillering	0.422	0.578	0.400	0.600
ساقه‌دهی Stem elongation	0.166	0.834	0.412	0.588
ظهور خوشه‌چه Head emergence	0.094	0.906	0.423	0.503
گلدهی Flowering	0.111	0.889	0.361	0.250
اواسط پر شدن دانه Mid-seed filling	0.110	0.890	0.290	0.100
رسیدگی Maturity	0.074	0.926	0.183	0.100
مقادیر اولیه وزن خشک (گرم در تک بوته) Initial quantities of dry weight (g.plant⁻¹)				
دو برگی Second leaf	0.009	0.02	0.006	0.008

*: ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی برگ، ساقه و اندام ذخیره‌ای نسبت به اندام هوایی محاسبه شده است.

*: Assimilates partitioning coefficients of leaves, stems and storage tissues calculated ratio to shoots.

واسنجی مدل CliPest

nRMSE نیز برای روند تغییرات وزن خشک کل یولاف وحشی در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع یولاف وحشی به- ترتیب، ۱۹/۹، ۲۰/۵، ۱۷/۹ و ۲۲/۷ درصد میانگین مشاهدات بود که نشان‌دهنده دقت نسبتاً خوب مدل CliPest در شبیه‌سازی روند وزن خشک کل یولاف وحشی و همچنین نتایج استخراج شده از مزرعه

نتایج نشان داد که میزان RMSE روند وزن خشک کل یولاف وحشی در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع به-ترتیب، ۷/۳، ۱۵/۳، ۱۸/۷ و ۳۲/۱ در مقایسه با میانگین مشاهده شده به- ترتیب، ۳۶/۴، ۷۴/۷، ۱۰۴/۷ و ۱۴۱/۵ گرم در مترمربع بود. میزان

مشاهده شده با شبیه‌سازی شده در فاز رویشی و زایشی گیاه یک روز بود. مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مرحله نموی سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک یولاف وحشی به ترتیب، ۲/۹ و ۲/۷ روز در مقایسه با میانگین مشاهدات بود. مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) نیز برای مرحله نموی سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک یولاف وحشی به ترتیب، ۲/۸ و ۲/۲ درصد میانگین مشاهده‌ها بود که نشان‌دهنده دقت عالی مدل در شبیه‌سازی مراحل نموی بود. نتایج شاخص توافق ویلموت (d) نیز برای مراحل نموی سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیک یولاف وحشی، ۰/۹۹ بود. علاوه بر این، نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و مدل CliPest قادر بود تا بیش از ۹۹ درصد از تغییرات مشاهده‌شده نمو فنولوژیک یولاف وحشی را به خوبی پیش‌بینی کند (شکل ۱). مندنی و همکاران (Mondani et al., 2015) نیز نشان دادند که مدل CliPest به خوبی می‌تواند مراحل نموی یولاف وحشی را با ضریب رگرسیون، ۰/۹۹ و nRMSE، ۱۴/۵ پیش‌بینی کند که در مقایسه با نتایج این تحقیق دقت کمتری داشت. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که طول دوره زایشی یولاف وحشی ۲۴ روز بود که با نتایج این تحقیق همخوانی داشت.

وزن خشک کل یولاف وحشی

در شرایط مزرعه حداکثر وزن خشک یولاف وحشی در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی به ترتیب، ۹۱/۰، ۸۲/۸، ۲۶۷/۰ و ۳۲۸/۴ گرم در مترمربع بود و نتایج شبیه‌سازی مدل نیز مقدار این صفت را به ترتیب، ۸۷/۷، ۱۷۰/۲، ۲۴۷/۶ و ۳۱۹/۹ گرم در متر مربع پیش‌بینی کرد که نشان‌دهنده اختلاف اندک بین نتایج مشاهدات و شبیه‌سازی‌ها بود (شکل ۲). میزان RMSE وزن خشک کل در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع به ترتیب، ۸/۷، ۱۶/۶، ۲۶/۷ و ۳۷/۴ گرم و در مقایسه با میانگین مشاهده‌شده، ۳۹/۸، ۷۵/۵، ۱۱۵/۷ و ۱۵۳/۵ گرم در مترمربع مشاهده‌شده بود. میزان nRMSE نیز در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع به ترتیب، ۲۱/۹، ۲۱/۲، ۲۳/۱ و ۲۴/۴ درصد میانگین مشاهده‌شده‌ها بود. همچنین نتایج شاخص توافق ویلموت (d) برای وزن خشک کل

جهت واسنجی مدل بود. میزان RMSE برای وزن خشک کل گندم در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در متر-مربع به ترتیب، ۴۰/۷، ۴۶/۱، ۵۲/۲، ۶۸/۷ و ۷۲/۹ در مقایسه با میانگین مشاهده‌شده به ترتیب، ۸۳۳/۶، ۷۵۶/۸، ۶۸۹/۵، ۶۱۸/۵ و ۵۵۸/۴ گرم در مترمربع بود. میزان nRMSE نیز در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۴/۹، ۶/۱، ۷/۶، ۱۱/۱ و ۱۴/۸ درصد میانگین مشاهده‌شده‌ها بود، که نشانگر دقت بالای مدل CliPest در شبیه‌سازی روند وزن خشک کل بود. میزان RMSE عملکرد دانه گندم در تراکم‌های مختلف علف‌هرز یولاف وحشی معادل ۱۹/۲ در مقایسه با میانگین مشاهدات ۶۱۹/۲ گرم در مترمربع بود. همچنین مقدار nRMSE عملکرد دانه گندم پاییزه نیز در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی ۳/۱ درصد میانگین مشاهدات بود که نشانگر دقت عالی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه بود. رزوق و همکاران (Rezzoug et al., 2008) نیز در واسنجی ضرایب ژنتیکی ۹ رقم گندم در کشور الجزایر با مدل DSSAT، میزان RMSE عملکرد دانه را ۷۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. همچنین نتایج واسنجی مدل HERMES برای عملکرد دانه دو رقم گندم پاییزه نیز نشان داد که میزان RMSE حدود ۷۹۰ کیلوگرم در هکتار بود (Pohankova et al., 2013). ربیعی و همکاران (Rabie et al., 2012) دریافتند که مدل CSM-CERES-Maize دقت قابل قبولی در پیش‌بینی وزن خشک کل ذرت علوفه‌ای ۷۰۴ دارد که دلیل آن را دقت پارامترهای انتخاب شده در فرآیند واسنجی مدل عنوان کردند که فیض بخش و همکاران (Feyzbakhsh et al., 2016) نیز نشان دادند که میزان nRMSE وزن خشک کل ذرت در واسنجی مدل CERES-Maize حدود ۲/۷ درصد بود.

ارزیابی مدل CliPest

نمو فنولوژیک یولاف وحشی

نتایج شبیه‌سازی مدل نشان داد که یولاف وحشی با کسب به-ترتیب، ۱۴۲۳ و ۱۹۳۳ درجه روز رشد به ترتیب در ۱۷۰ و ۱۹۴ روز پس از کاشت به مرحله گلدهی (مرحله نموی ۱) و رسیدگی فیزیولوژیک (مرحله نموی ۲) رسید. طول دوره رشد رویشی و پر شدن دانه به ترتیب ۱۷۰ و ۲۴ روز شبیه‌سازی شد. همچنین نتایج آزمایش مزرعه‌ای نیز نشان داد که طول دوره رشد رویشی و زایشی مشاهده‌شده به ترتیب، ۱۶۹ و ۲۵ روز بود. اختلاف بین داده‌های

یولاف وحشی در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع نیز به‌ترتیب، ۰/۹۸، ۰/۹۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ بود که بیان‌کننده دقت قابل قبول مدل CliPest در شبیه‌سازی روند وزن خشک یولاف وحشی بود. علاوه بر این، نتایج برآزش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل CliPest توانست بیش از ۹۸ درصد از تغییرات مشاهده‌شده وزن خشک کل را پیش‌بینی کند (شکل ۲).

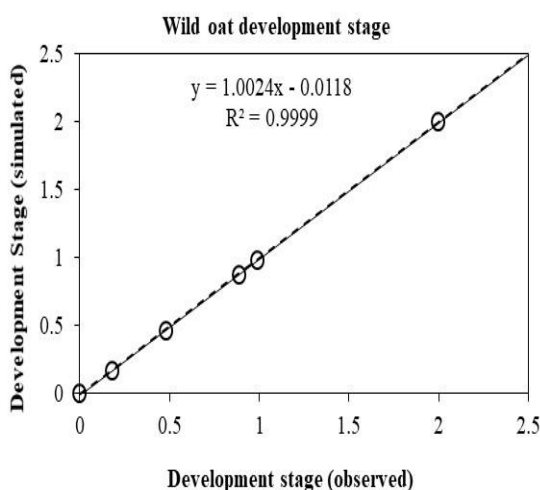
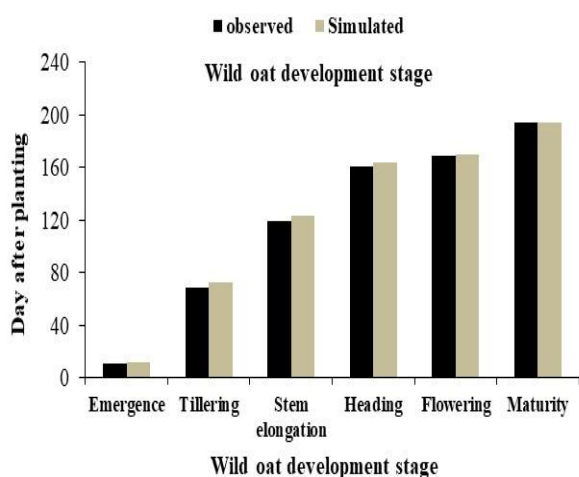
همان‌طور که نتایج ارزیابی‌ها نشان داد مدل CliPest وزن خشک کل یولاف وحشی را در تمام تیمارهای مورد بررسی کمتر از شرایط مزرعه شبیه‌سازی کرد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد دلیل این اختلاف پیچیده بودن مفاهیم تئوری رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای در شرایط مزرعه بر سر منابع مورد نیاز و همچنین قرارگیری مدل CliPest در دسته مدل‌های ساده از نظر تعداد معادلات و فرآیندهای به کار رفته در ساختار مدل باشد. بنابراین، با شناخت هر چه بیشتر روابط بیولوژیک حاکم بر تغییرات سیستم‌های طبیعی و فرموله کردن آن‌ها و در ادامه ترکیب ساختن این روابط در ساختار اصلی مدل می‌توان دقت پیش‌بینی‌های مدل CliPest را افزایش داد. فلتچر و همکاران (Fletcher et al., 2008) نیز اختلاف اندکی را بین نتایج مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده وزن خشک کل جو و یولاف

یولاف وحشی در تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع نیز به‌ترتیب، ۰/۹۸، ۰/۹۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۷ بود که بیان‌کننده دقت قابل قبول مدل CliPest در شبیه‌سازی روند وزن خشک یولاف وحشی بود. علاوه بر این، نتایج برآزش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل CliPest توانست بیش از ۹۸ درصد از تغییرات مشاهده‌شده وزن خشک کل را پیش‌بینی کند (شکل ۲).

همان‌طور که نتایج ارزیابی‌ها نشان داد مدل CliPest وزن خشک کل یولاف وحشی را در تمام تیمارهای مورد بررسی کمتر از شرایط مزرعه شبیه‌سازی کرد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد دلیل این اختلاف پیچیده بودن مفاهیم تئوری رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای در شرایط مزرعه بر سر منابع مورد نیاز و همچنین قرارگیری مدل CliPest در دسته مدل‌های ساده از نظر تعداد معادلات و فرآیندهای به کار رفته در ساختار مدل باشد. بنابراین، با شناخت هر چه بیشتر روابط بیولوژیک حاکم بر تغییرات سیستم‌های طبیعی و فرموله کردن آن‌ها و در ادامه ترکیب ساختن این روابط در ساختار اصلی مدل می‌توان دقت پیش‌بینی‌های مدل CliPest را افزایش داد. فلتچر و همکاران (Fletcher et al., 2008) نیز اختلاف اندکی را بین نتایج مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده وزن خشک کل جو و یولاف

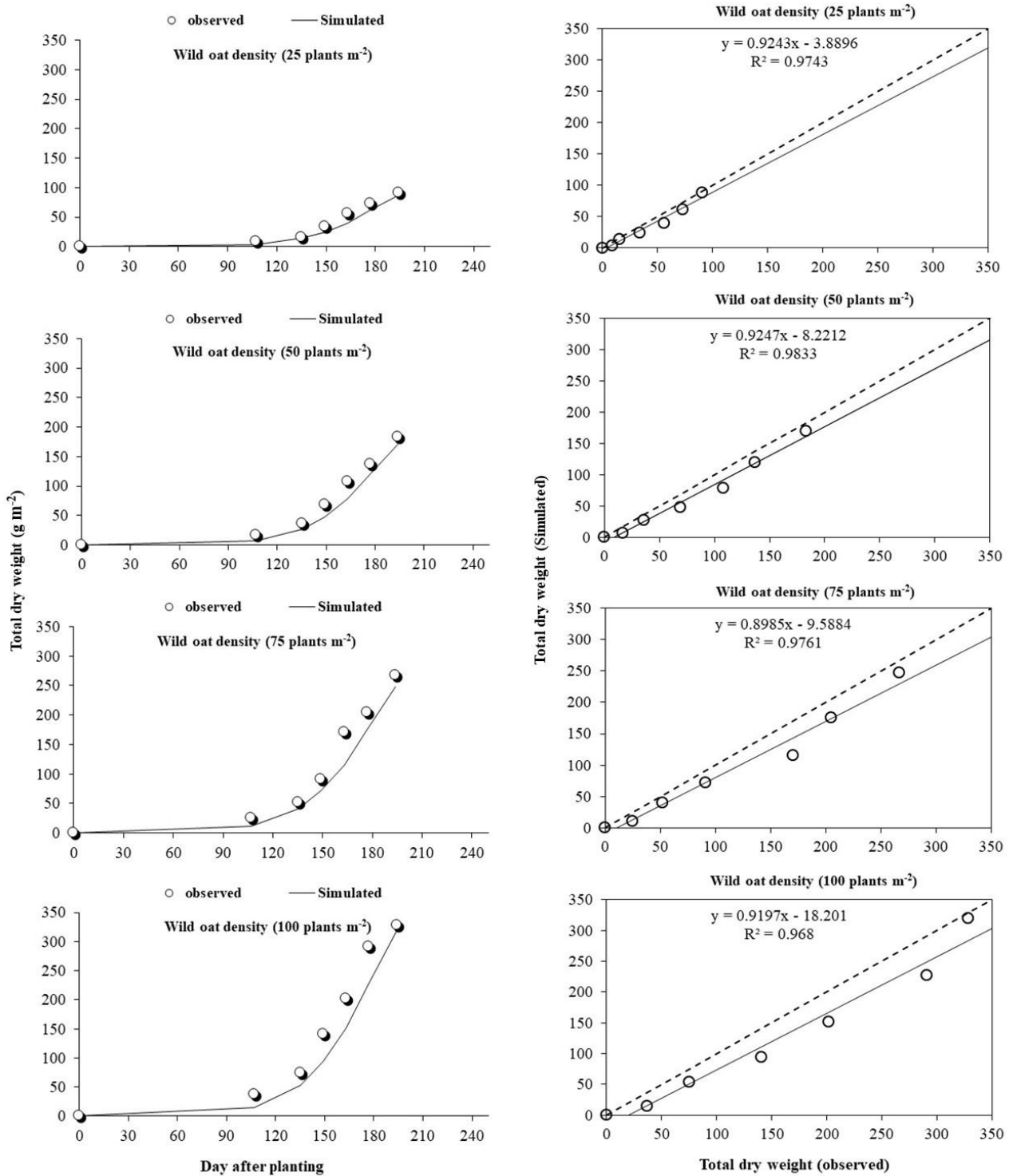
نمو فنولوژیک گندم پاییزه

نتایج نشان داد که گندم پاییزه با کسب به‌ترتیب، ۱۲۷۰ و ۲۲۷۹ درجه روز در ۱۶۲ و ۲۰۷ روز پس از کاشت به مرحله گلدهی (مرحله نموی ۱) و رسیدگی فیزیولوژیک (مرحله نموی ۲) رسید. طول دوره رشد رویشی و پر شدن دانه به‌ترتیب، ۱۶۲ و ۴۵ روز بود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نیز نشان داد که طول دوره رشد رویشی و زایشی گندم به‌ترتیب، ۱۶۳ و ۴۴ روز بود. اختلاف بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده فاز رویشی و زایشی ۱ روز بود.



شکل ۱- مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده نمو فنولوژیک یولاف وحشی (شکل چپ) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده نمو فنولوژیک برای ارزیابی مدل (شکل راست)

Fig. 1- Observed and simulated of wild oat development stages (left) and the regression analysis between simulated and measured development stages for model validation (right)



شکل ۲- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وزن خشک کل یولاف وحشی (راست) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده -
 شده وزن خشک کل برای ارزیابی مدل (چپ)

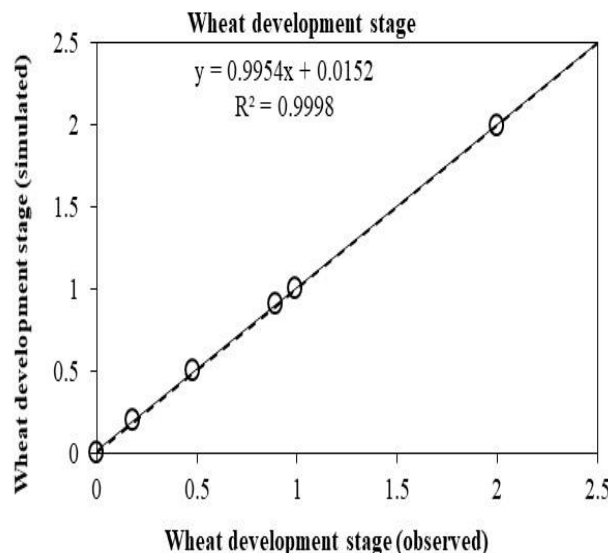
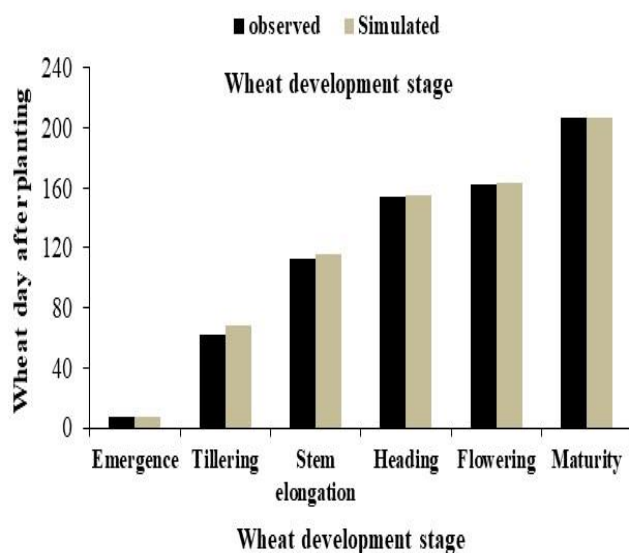
روند وزن خشک کل مشاهده شده (نقاط تو خالی) و شبیه‌سازی شده (خط ممتد) در تراکم‌های مختلف

Fig. 2- Observed and simulated of wild oat total dry weight (right) and the regression analysis between simulated and measured total dry weight for model validation (left)

Observed (hollow points) and simulated (solid line) wild oat total dry weight trend in different densities

رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل با ضریب رگرسیون ۹۹ درصد توانست تغییرات مشاهده‌شده نمو فنولوژیک گندم را پیش‌بینی کند (شکل ۳). مندنی و همکاران (Mondani et al., 2015) نیز نشان دادند که مدل CliPest به خوبی قادر است مراحل نمو گندم پاییزه را با ضریب رگرسیون ۰/۹۹ و $nRMSE = ۱۰/۴$ پیش‌بینی کند. نامبردگان همچنین طول دوره زایشی گندم پاییزه را ۴۲ روز گزارش کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی بسیار نزدیکی داشت. با توجه به شرایط مختلف در دو منطقه مورد آزمایش، به نظر می‌رسد علت نزدیک بودن طول دوره زایشی گندم در این دو آزمایش می‌تواند به علت افزایش شدید درجه حرارت طی فاز زایشی گیاه در دو منطقه مورد بررسی و در ادامه کاهش طول این دوره باشد.

هم در شرایط مزرعه و هم در شرایط شبیه‌سازی شده طول دوره رشد رویشی گندم در مقایسه با یولاف وحشی (۱۶۹ روز پس از کاشت) کمتر بود، در حالی که طول دوره پر شدن دانه گندم بیشتر از یولاف وحشی (۲۵ روز) بود. دلیل این اختلاف سرعت کمتر رشد یولاف وحشی در مرحله رویشی و همچنین سرعت بیشتر رشد آن در مرحله زایشی نسبت به گندم است (Saadatian et al., 2011; Mondani, 2012). نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که میزان RMSE برای مراحل نمو سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فنولوژیک به ترتیب، ۳/۱ و ۲/۸ روز در مقایسه با مینگین مشاهدات بود. همچنین میزان nRMSE مراحل نمو سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فنولوژیک نیز به ترتیب، ۳/۱ و ۲/۴ درصد میانگین مشاهده‌شده‌ها بود که نشان از دقت عالی مدل در شبیه‌سازی مراحل نمو گندم داشت. نتایج شاخص توافق ویلموت (d) نیز برای مراحل نمو سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی فنولوژیک حدود ۰/۹۹ بود. علاوه بر این، نتایج برازش



شکل ۳- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نمو فنولوژیک گندم پاییزه (چپ) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده نمو فنولوژیک برای ارزیابی مدل (راست)

Fig 3- Observed and simulated of winter wheat development stages (left) and the regression analysis between simulated and measured development stages for model validation (right)

تا ۱۲۵ روز پس از کاشت (اوایل ساقه‌دهی) به علت سردی هوا و نیاز به فرآیند بهاره‌سازی، وزن خشک کل از رشد بسیار کندی برخوردار

وزن خشک کل گندم پاییزه
نتایج مشاهده‌شده روند وزن خشک کل گندم پاییزه نشان داد که

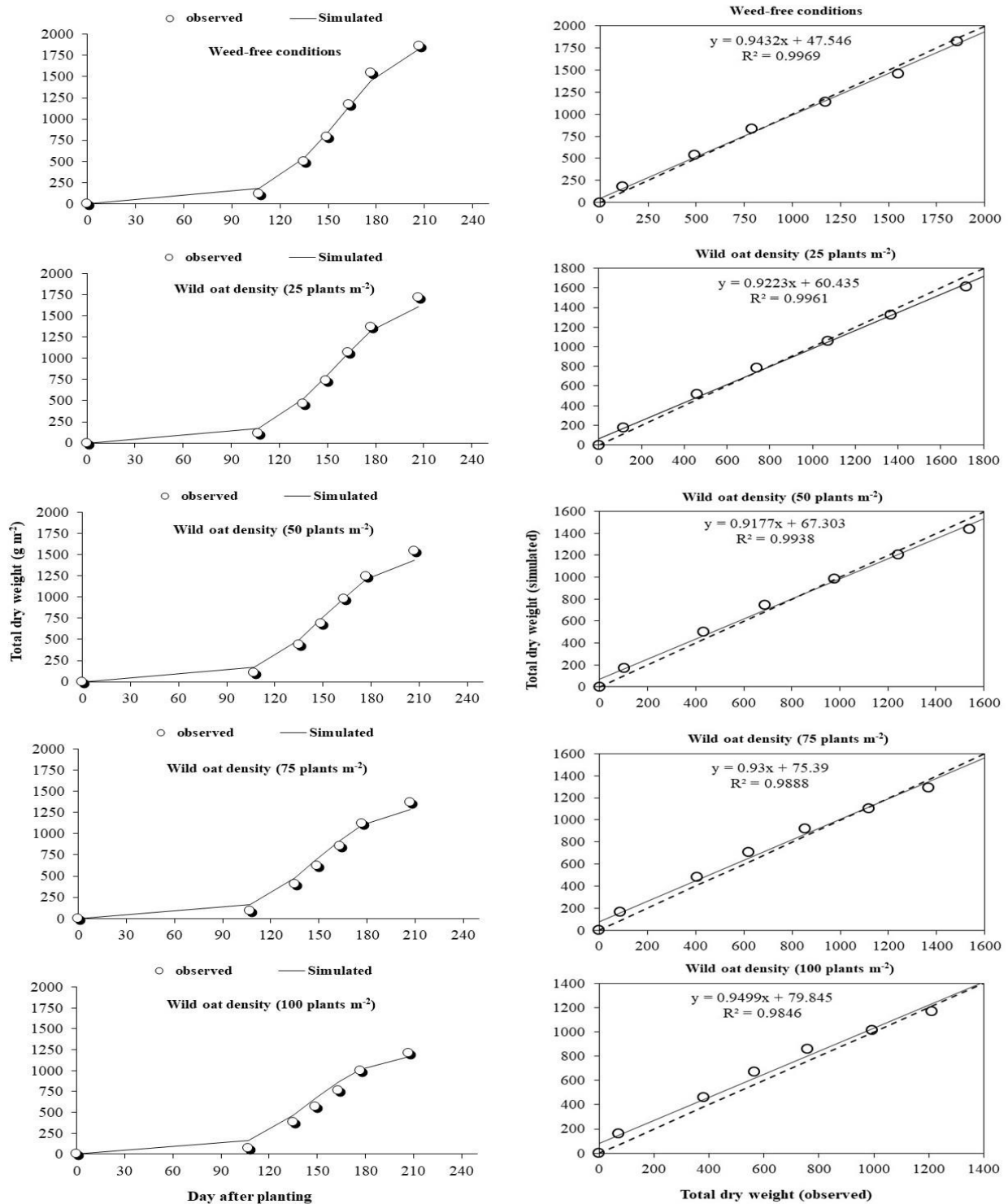
بود، سپس با افزایش دما و همچنین رفع نیاز بهاره‌سازی به تدریج افزایش یافت و در حدود ۲۰۷ روز پس از کاشت (رسیدگی فیزیولوژیک) به حداکثر میزان خود رسید که با نتایج شبیه‌سازی‌ها مطابقت بالایی داشت (شکل ۴). در شرایط مزرعه حداکثر وزن خشک کل در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۱۸۵۹/۰، ۱۷۲۰/۹، ۱۵۳۹/۵، ۱۳۶۷/۴ و ۱۲۱۱/۸ گرم در متر مربع بود و نتایج شبیه‌سازی مدل نیز مقدار حداکثر وزن خشک کل را به ترتیب، ۱۸۲۵/۶، ۱۶۱۲/۰، ۱۴۳۶/۲، ۱۲۹۰/۰ و ۱۱۶۷/۴ گرم در مترمربع پیش‌بینی کرد که نشان دهنده اختلاف اندک بین نتایج مشاهدات و شبیه‌سازی شده بود (شکل ۴).

میزان RMSE وزن خشک کل در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۵۰/۸، ۵۷/۴، ۵۹/۱، ۶۵/۲ و ۷۴/۷ در مقایسه با میانگین به ترتیب، ۸۵۴/۵، ۷۸۲/۴، ۷۱۱/۷، ۶۳۶/۰ و ۵۶۸/۸ گرم در مترمربع مشاهده شده‌ها بود. میزان nRMSE نیز در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۵/۹، ۷/۳، ۸/۳، ۱۰/۲ و ۱۳/۱ درصد میانگین مشاهده شده‌ها بود. همچنین شاخص توافق ویلموت (d) در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۰/۹۹، ۰/۹۹، ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ بود که بیانگر دقت بالایی مدل CliPest در شبیه‌سازی روند وزن خشک کل بود. علاوه بر این، نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی اختلاف معنی‌داری به جز در تراکم ۵۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع وجود ندارد و مدل CliPest قادر بود تا بیش از ۹۹ درصد از تغییرات مشاهده‌شده وزن خشک کل را پیش‌بینی کند (شکل ۴). به‌طور کلی نتایج ارزیابی وزن خشک کل گندم در تراکم‌های یولاف وحشی نشان داد که تا قبل از مرحله گلدهی مدل CliPest مقادیر شبیه‌سازی شده را کمی بالاتر از مشاهدات مزرعه تخمین زد (شکل ۴). به نظر می‌رسد علت این موضوع اتمام زودتر دوره بهاره‌سازی گیاه در شرایط شبیه‌سازی در مقایسه با مزرعه باشد، زیرا در مدل‌های رشد عامل پیش‌برنده فرآیند نمو فنولوژیک که بهاره‌سازی نیز جزئی از آن است، درجه حرارت است و سایر عوامل تأثیرگذار بر آن هنوز در مطالعات علمی کشف نشده است (Nassiri

عملکرد دانه

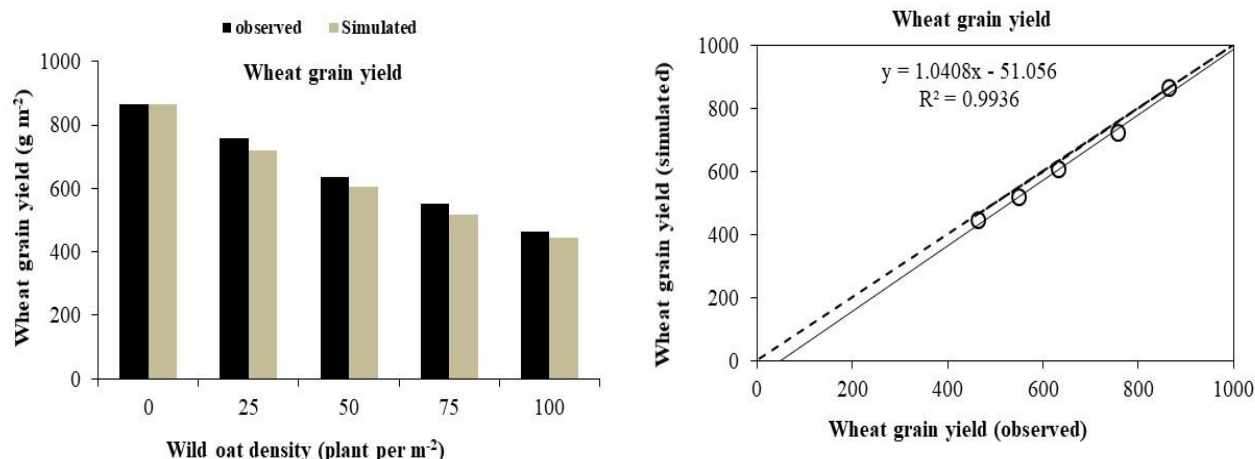
آزمایش مزرعه نشان داد که در تمام تیمارهای آزمایش طول دوره پر شدن دانه گندم حدود ۴۵ روز بود. طول دوره پر شدن دانه تحت تأثیر رقابت یولاف وحشی قرار نگرفت. عملکرد دانه گندم نیز در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۸۶۵/۲، ۷۵۸/۰، ۶۳۴/۲، ۵۵۱/۰ و ۴۶۵/۱ گرم در مترمربع بود (شکل ۵). در فرآیند شبیه‌سازی نیز عملکرد دانه در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی در مترمربع به ترتیب، ۸۶۴/۷، ۷۲۰/۲، ۶۰۶/۶، ۵۱۶/۳ و ۴۴۳/۹ گرم در مترمربع بود که نشان از اختلاف ناچیزی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده داشت (شکل ۵).

میزان RMSE عملکرد دانه در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی، ۲۷/۷ گرم در مقایسه با میانگین ۶۵۴/۷ گرم در مترمربع مشاهده شده بود. میزان nRMSE نیز در تراکم‌های مختلف، ۴/۲ درصد میانگین‌های مشاهده شده بود. شاخص توافق ویلموت (d) نیز ۰/۹۹ بود که بیانگر دقت عالی مدل CliPest در شبیه‌سازی عملکرد دانه در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی است. علاوه بر این، نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تراکم‌های مختلف یولاف وحشی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل CliPest قادر بود تا بیش از ۹۹ درصد از تغییرات مشاهده شده عملکرد دانه را پیش‌بینی کرد (شکل ۵). مندنی (Mondani, 2012) نیز مقدار nRMSE را در شبیه‌سازی عملکرد گندم تحت شرایط رقابت با یولاف وحشی توسط مدل CliPest برای شرایط آب و هوایی مشهد حدود ۴/۶ درصد گزارش کردند و نشان دادند که این مدل قادر است تا بیش از ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد دانه را شبیه‌سازی کند.



شکل ۴- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وزن خشک کل گندم پاییزه (راست) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده وزن خشک کل برای ارزیابی مدل (چپ). روند وزن خشک کل مشاهده شده (نقاط تو خالی) و شبیه‌سازی شده (خط ممتد) در تراکم‌های مختلف

Fig. 4- Observed and simulated of winter wheat total dry weight (right) and the regression analysis between simulated and measured total dry weight for model validation (left). Observed (hollow points) and simulated (solid line) total dry weight trend in different densities



شکل ۵- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نمو عملکرد دانه گندم پاییزه (چپ) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد دانه برای ارزیابی مدل (راست)

Fig. 5- Observed and simulated of winter wheat grain yield (left) and the regression analysis between simulated and measured grain yield for model validation (right)

کننده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی این دو صفت بود. علاوه بر این، نتایج برازش رگرسیون خطی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با شیب خط ۱:۱ نیز نشان داد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و مدل CliPest توانست تا بیش از ۹۹ درصد از تغییرات مشاهدات درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل را به خوبی پیش‌بینی کند (شکل ۶).

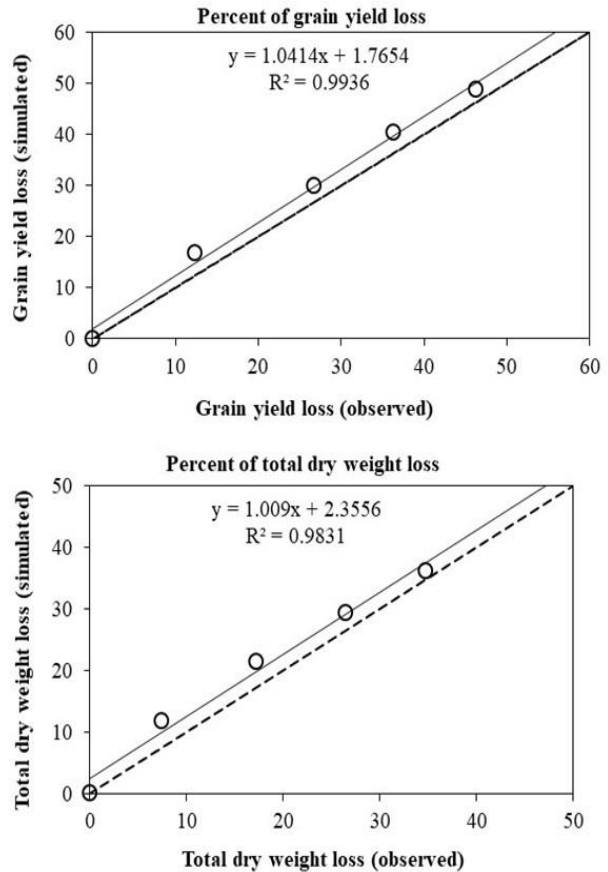
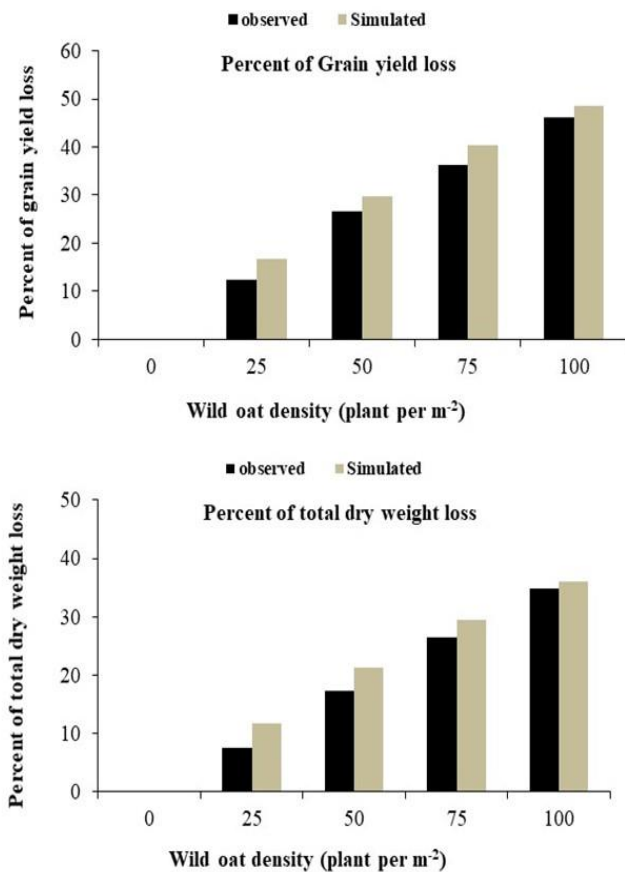
همان‌طور که نتایج این بررسی نشان داد، مدل CliPest درصد خسارت علف‌هرز یولاف وحشی به عملکرد دانه و وزن خشک کل گندم پاییزه را در مقایسه با شرایط مزرعه با اختلاف ناچیزی بالاتر تخمین زده است که دلیل این امر را می‌توان ناشی از شرایط تیمارهای آزمایش مزرعه‌ای دانست، زیرا این احتمال وجود دارد که تراکم‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته یولاف وحشی، دقیقاً به همین تعداد در مترمربع حادث نشده باشد. از دیگر دلایل این اختلاف ممکن است عدم یکنواختی در طی شدن مراحل نمو فنولوژیک یولاف در شرایط مزرعه در مقایسه با شرایط شبیه‌سازی باشد که پیشنهاد می‌شود برای افزایش هر چه بیشتر دقت شبیه‌سازی‌ها، پس از شناسایی روابط بیولوژیک حاکم بر این فرایند، عدم یکنواختی در طی شدن مراحل نمو یولاف بصورت فرموله در ساختار مدل CliPest وارد شود. مندنی و همکاران (Mondani et al., 2015) نیز مقدار nRMSE درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل گندم به‌علت خسارت یولاف وحشی را به ترتیب، ۷/۶ و ۱۳/۹ درصد میانگین

درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل

در شرایط مزرعه با افزایش تراکم یولاف وحشی عملکرد دانه و وزن خشک کل گندم پاییزه کاهش یافت (شکل ۶). کاهش عملکرد دانه مشاهده شده در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در متر مربع یولاف وحشی نسبت به شرایط عاری از علف هرز به ترتیب، ۱۲/۴، ۲۶/۷، ۳۶/۳ و ۴۶/۲ درصد بود. کاهش عملکرد دانه شبیه‌سازی شده نیز در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در مترمربع نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز به ترتیب، ۱۶/۷، ۲۹/۸، ۴۰/۳ و ۴۸/۶ درصد بود. همچنین کاهش عملکرد وزن خشک کل مشاهده شده نیز در تراکم‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوته در متر-مربع یولاف وحشی نسبت به شرایط عاری از علف هرز به ترتیب، ۷/۴، ۱۷/۳، ۲۶/۴ و ۳۴/۸ درصد بود. در شرایط شبیه‌سازی کاهش عملکرد وزن خشک کل در تراکم‌های ذکر شده نسبت به شرایط عاری از علف‌هرز به ترتیب، ۱۱/۷، ۲۱/۳، ۲۹/۳ و ۳۶/۱ درصد بود (شکل ۶). میزان RMSE درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل در تراکم‌های مختلف به ترتیب، ۳/۵ و ۳/۴ در مقایسه با میانگین، ۳۰/۴ و ۲۱/۵ درصدی مشاهده شده‌ها بود. میزان nRMSE برای درصد کاهش عملکرد دانه و وزن خشک کل نیز در تراکم‌های مورد بررسی به ترتیب، ۱۱/۶ و ۱۵/۷ درصد میانگین مشاهده شده‌ها بود. شاخص توافق ویلموت (d) نیز برای درصد کاهش عملکرد دانه، ۰/۹۸ و برای درصد کاهش عملکرد وزن خشک کل، ۰/۹۷ بود که بیان-

کاهش عملکرد وزن خشک کل و دانه گندم در شرایط خسارت علف-های هرز را به ترتیب، ۳/۷ و ۴/۷ درصد گزارش کردند.

مشاهده شده‌ها گزارش کردند. آگروال و همکاران (Aggarwal et al., 2006) نیز در ارزیابی مدل InfoCrop مقدار nRMSE درصد



شکل ۶- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده درصد کاهش عملکرد وزن خشک کل و دانه گندم پاییزه به علت خسارت یولاف وحشی (چپ) و آنالیز رگرسیون بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده درصد کاهش عملکرد وزن خشک کل و دانه برای ارزیابی مدل (راست)

Fig. 7- Observed and simulated of winter wheat total dry weight and grain yield loss (%) due to wild oat damage (left) and the regression analysis between simulated and measured total dry weight and grain yield loss (%) for model validation (right)

کاهش نور جذب شده توسط گندم و در نهایت کاهش فتوسنتز جاری و وزن خشک دانه می‌گردد (Moradi-Telavat et al., 2010; Asadi et al., 2013). آرمین و اصغری‌پور (Armin & Asgharipour, 2011) نیز گزارش کردند عملکرد وزن خشک کل و دانه گندم پاییزه با افزایش تراکم یولاف وحشی کاهش یافت.

نتیجه گیری

CliPest یک مدل عمومی رشد و نمو گیاهان زراعی است که می‌تواند خسارت ناشی از تنش‌های زیستی همچون علف‌های هرز و آفات را به محصول با دقت مناسب پیش‌بینی کند. ساختار این مدل به

همچنین نتایج بیانگر آن است که افزایش تراکم یولاف وحشی، خسارت شدیدتری به عملکرد دانه گندم نسبت به وزن خشک کل وارد ساخت. به نظر می‌رسد علت خسارت بیشتر به عملکرد دانه نسبت به عملکرد وزن خشک کل، ناشی از حساسیت بیشتر عملکرد دانه گندم به رقابت علف‌های هرز به دلیل واکنش بیشتر رشد زایشی گیاهان در مقایسه با رشد رویشی آن و کوتاه بودن طول دوره پر شدن دانه باشد. از طرفی یولاف وحشی تا قبل از مرحله گلدهی گندم دارای ارتفاع بوته کوتاه‌تر یا مساوی با گندم است ولی بعد از مرحله گلدهی گندم ارتفاع یولاف وحشی از گندم بیشتر شده که این موضوع باعث سایه‌اندازی هر چه بیشتر و در نتیجه رقابت شدیدتر برای جذب نور،

بررسی باشد. هر چند در نسخه قبلی این مدل از ضرایب تخصیص مواد فتوسنتزی گندم برای اختصاص مواد به سمت اندام‌های مختلف یولاف وحشی (ریشه، برگ، ساقه و سنبله) استفاده شده است، ولی نتایج حاصل از نسخه قبلی این مدل نیز دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی مشاهدات مزرعه‌ای در شرایط اقلیمی مشهد داشت (Mondani, 2012) با این وجود، اندازه‌گیری دقیق ضرایب تخصیص یولاف وحشی و جایگزینی آن در ساختار این مدل در تحقیق حاضر موجب افزایش دقت شبیه‌سازی‌ها شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل CliPest دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی تغییرات عملکرد گندم پاییزه در رقابت با علف‌هرز یولاف وحشی داشت.

گونه‌ای است که می‌توان با جایگزینی شاخص‌های مربوط به گیاهان زراعی، علف‌های هرز و آفات متفاوت از آن برای ارزیابی میزان خسارت وارده به گیاهان زراعی مختلف استفاده نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل CliPest قادر بود ویژگی‌های رشدی گندم و یولاف وحشی و همچنین خسارت ناشی از رقابت این علف هرز در تراکم‌های مختلف را به دقت تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه پیش‌بینی کند. به نظر می‌رسد انتخاب دقیق شاخص‌های مورد واسنجی در فرایند ارزیابی حساسیت و همچنین اندازه‌گیری این شاخص‌ها در شرایط مزرعه و گلخانه و جایگزینی آن‌ها در ساختار مدل از دلایل اصلی دقت بالای پیش‌بینی‌ها در اکثر ویژگی‌های مورد

منابع

- Aggarwal, P.K., Banerjee, B., Daryaei, M.G., Bhatia, A., Bala, A., Rani, S., Chander, S., Pathak, H., and Kalra, N. 2006. Info Crop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. II. Performance of the model. *Agricultural Systems* 89: 47-67.
- Abrahimpour Noorabady, F., Ayenehband, A., Nour Mohammadi, G.H., Moosavinia, H., and Mesgarbashi, M. 2007. Study of some wheat ecophysiological indices as influenced by wild oat interaction. *Pajouhesh and Sazandegi* 73: 117-125. (In Persian with English Summary)
- Andarzian, B., Bakhshande, A.M., Bannayan, M., Emam, Y., Fathi, G., and Alami-Saeed, K. 2007. CDSS-Model: A simulation model for simulating crop development stages. *Pajouhesh and Sazandegi* 76: 71-79. (In Persian with English Summary)
- Armin, M., and Asgharipour, M.R. 2011. Effect of plant density on wild oat competition with competitive and non-Competitive wheat cultivars. *Agricultural Sciences in China* 10: 1554-1561.
- Asadi, S., Ayneband, A., and Rahnama, A. 2013. Wheat yield response to the competition stress and different levels of nitrogen. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11: 365-376. (In Persian with English Summary)
- Ayenehband, A. 2012. *Production Efficiency of Agroecosystems*. Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad. Iran. (In Persian)
- Blakshaw, R.E., Molnar, L.J., and Janzen, H.H. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. *Weed Science* 52: 614-622.
- Dastmalchi, A., Soltani, A., Latifi, N., and Zeinali, E. 2012. Evaluation of cropsyst-wheat for simulating of development, growth and yield in response to planting date. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10: 511-521. (In Persian with English Summary)
- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2015. Simulating the potential yield and yield gaps of sugar beet due to water and nitrogen limitations in Khorasan province using SUCROS model. *Journal of Agroecology* 7: 315-330. (In Persian with English Summary)
- De Wit, C.T. 1997. LINTUL1: A simple general crop growth model for optimal growing conditions (example: spring wheat). Graduate School for Production Ecology. Dept of Theoretical Production Ecology of the Wageningen Agricultural University, and Dloresearch Centre for Agrobiology and Soil Fertility.
- Dezhkam, H., Dejam, M., and Zakerian, A. 2011. Breaking dormancy and seed germination of (*Avena ludoviciana* L.). National Conference of Agriculture Management, 26 May 2011. Jahrom, Islamic Azad University Jahrom. (In Persian)
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database). 2014. FAOSTAT Production Statistics of Crops. Available: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- Feyzbakhsh, M.T., Kamkar, B., Mokhtarpour, H., and Asadi, M.E. 2016. Calibration and evaluation of the CERES-

- maize model in Gorgan climatic conditions. *Electronic Journal Crop Production* 8: 25-49. (In Persian with English Summary)
- Fletcher, A.L., Martin, R.J., Ruiter, J.M., Jamieson, P.D., and Zyskowski, R.F. 2008. Simulating biomass and grain yields of barley and oat crops with the Sirius wheat model. *Crop Modeling and Decision Support*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York p. 192-203.
- Loskutov, G.I. 2001. Influence of vernalization and photoperiod to the vegetation period of wild species of oats (*Avena* spp.). *Euphytica* 117: 125-131.
- Gimplinger, D.M., and Kaul, K.P. 2009. Calibration and validation of the crop growth model LINTUL for grain amaranth (*Amaranthus* sp.). *Journal of Applied Botany and Food Quality* 82: 183-192.
- Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1993. *Modeling Potential Crop Growth Processes*. Kluwer Academic.
- Haghighi-Khah, M., Khajeh-Hosseini, M., and Bannayan-Awal, M. 2013. Effect of different treatments on breaking dormancy of various species of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* and *Echinochloa awal orizy cola*). *Journal of Plant Protection* 27: 255-257. (In Persian with English Summary)
- Haghjoo, M., and Bahrani, A. 2015. Simulation of grain yield and biomass of corn at different irrigation regimes and nitrogen application. *Journal of Crop Ecophysiology* 9: 167-176. (In Persian with English Summary)
- Hassanzadeh-Dlouhy, M., Rahimian-Mashhadi, H., Nassiri Mahallati, M., and Nor-Mohammdi, G. 2002. The competitive effects of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) at different densities. *Iranian Journal of Crop Sciences* 4: 116-127. (In Persian with English Summary)
- Hoogenboom, G., Jones, J.W. P., Wilkens, W., Porter, C.H., Boote, K.J., Hunt, L.A., Singh, U., Lizaso, J.I., White, J.W., Uryasev, O., Ogoshi, R., Koo, J., Shelia, V., and Tsuji, G.Y. 2015. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6* (<http://dssat.net>). DSSAT Foundation, Prosser, Washington. USA.
- Khadempir, M., Zeynali, E., Soltani, A., and Torani, M. 2014. Investigation leaf area index, dry matter accumulation and allocation in two cultivars of faba bean (*Vicia faba* L.) affected by the distance between rows and planting date. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology* 1: 15-36. (In Persian with English Summary)
- Kiani, M., Gheysari, M., and Mostafazadeh-Fard, B. 2013. Estimation of genetic coefficients and evaluation of OILCROP-SUN model under different levels of nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 2: 1-11. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M. 2008. Moldling. In: A. Koocheki and M. Khajeh-Hosseini (Eds). *Modern Agronomy*. Jihade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran p. 420-445. (In Persian)
- Mahru-Kashani, A.H., Soltani, A., Galeshi, S., and Kalate-Arabi, M. 2011. Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province. *Electronic Journal Crop Production* 3: 229-253. (In Persian with English Summary)
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. 2014. www.maj.ir.
- Mondani, F., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Hajjiyan-Shahri, M. 2015. Simulation of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) competition on winter wheat (*Triticum astivum*) growth and yield. I: model description and validation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 13: 218-231. (In Persian with English Summary)
- Mondani, F. 2012. Simulation effects of climatic change on wild oat and sunn pest damages of winter wheat under Mashhad weather conditions. PhD dissertation Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Moradi-Telavat, M.R., Siadat, S.A., Fathi, G., Zand, E., and Alamisaieid, K. 2010. Effect of nitrogen and herbicide application on competition between wheat and wild oat. *Iranian Journal of Crop Sciences* 12: 364-376. (In Persian with English Summary)
- Pohankova, E., Tranka, M., Hlavinka, P., Takae, J., and Zalu, Z. 2013. Calibration of the crop growth models for winter wheat. *Mendel Net* 130- 135.
- Rabie, M., Mirlatifi, S.M., and Gheysari, M. 2012. Calibration and evaluation of the CSM-CERES-MAIZE model for maize hybrid 704 single-cross in Varamin. *Journal of Water and Soil* 26: 290-299. (In Persian with English Summary)
- Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., and Hadizadeh Azghandi, M. 2015. Effects of climate change on the length of growth stages and water requirement of wheat and barley (Case Study: Birjand Plain). *Journal of Agroecology* 7: 443-460. (In Persian with English Summary)
- Rezaei, P., Soltani, A., Ghaderi, A., and Zeinali, E. 2008. Quantifying the occurrence of thermal stresses in wheat in

- Gorgan. Journal Agriculture Science Natural Resource 15: 1-11. (In Persian with English Summary)
- Rezzoug, W., Gabrielle, B, Suleiman, A., and Benabdeli, K. 2008. Application and evaluation of the DSSAT-wheat in the Tiaret region of Algeria. African Journal of Agricultural Research 3: 284-296.
- Saadatian, B., Ahmadvand, G., and Soleymani, F. 2011. Investigation of growth indices and yield of two wheat (*Triticum aestivum* L) cultivars in competition with rye (*Secale cereale* L.) and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) weeds. Journal of Agroecology 3: 454-467. (In Persian with English Summary)
- Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Research 99: 14-23.
- Suriharan, B., Patanothai, A., Pannangpetch, K., Jogloy, S., and Hoogenboom, G. 2007. Peanut lines for breeding applications of the CSM-CROPGRO-Peanut model. Crop Science 47: 607-621.
- USDA, Last update on August 15. 2015.
- Willenborg, C.J., Shirliff, S.J., and William, E. 2005. Wild oat (*Avena fatua* L.) time of emergence and density influence tame oat (*Avena Sativa* L.) yield and quality. Weed Science 53: 342-352.
- Willoquet, L., Savary, S., Fernandez, L., Elazegui, F., and Teng, P. 2000. Development and evaluation of a multiple-pest, production situation specific model to simulate yield losses of rice in tropical Asia. Ecological Modelling 131: 133-159.
- Zarea-Feizabady, A., Sarban, H., Rajabzadeh, M., and Khazaei, H. 2009. Competitive relationship between wheat cultivars at different densities of wild oat. Iranian Journal of Crop Sciences 7: 465-472. (In Persian with English Summary)
- Zhang, Y., Tang, Q., Zou, Y., Li, D., Qin, J., Yang, S., Chen, L., Xia, B., and Peng, S. 2009. Yield potential and radiation use efficiency of “super” hybrid rice grown under subtropical conditions. Field Crops Research 114: 91-98.
- Zarakani, F., Kamali, G., and Chizari, A. 2014. The effect of climate change on the economy of rain fed wheat (a case study in Northern Khorasan). Journal of Agroecology 6: 301-310. (In Persian with English Summary)



Evaluation of CliPest Model in Simulation of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Wild Oat (*Avena ludoviciana* L.) Competition in Kermanshah

A. Jalilian¹, F. Mondani^{2*}, M. Khoramivafa² and A.R. Bagheri³

Submitted: 07-11-2016

Accepted: 24-12-2016

Jalilian, A., Mondani, F., Khoramivafa, M., and Bagheri, A.R. 2018. Simulation of competition between winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild oat (*Avena ludoviciana* L.) under Kermanshah weather conditions: calibration and validation CliPest model. Journal of Agroecology 10(1): 248-266.

Introduction

Crop growth simulation models are powerful tools in determining optimal agriculture management strategies and the sustainability of production in agroecosystems. These models predict plant growth, water use and yield to understand the response of crops to the dynamics of climate-plant-water systems, to evaluate physiological traits for genetic yield improvement and to help make decisions that optimize use of available resources. Since implementing field research required time and cost, thus computer simulation models can save time and money by simulation doing extensive testing. The CliPest model is a generic dynamic simulation model for evaluation of climate change impacts, crop yields and losses due to invasion multiple pests damage. Therefore, the objectives of the present study were: (1) to calibration of the CliPest model (2) to evaluate the performances CliPest model to simulating winter wheat growth, development and grain yield in different wild oat plant densities under Kermanshah weather condition.

Materials and Methods

A field experiment was done based on randomized complete block design (RCBD) with four replications and a greenhouse experiment was conducted based on completely randomized design (CRD) with three replications to the CliPest model of calibration and validation in the campus of Agriculture and Natural Resources at Razi University during 2014-2015. The treatments were wild oat plant densities (0, 25, 50, 75 and 100 plant m⁻²) in the field experiment and nitrogen fertilizer application (3.1, 6.2 and 10.1 g urea pot⁻¹) in the greenhouse experiment. The required model inputs were daily solar radiation (MJ.m⁻².d⁻¹), and daily minimum and maximum temperature (°C). Model performance was evaluated by comparing simulated and measured values of winter wheat phenological development stages, total dry weight and grain yield for independent wild oat plant densities treatments (fourth replication from the field experiment that did not use in the model calibration process) by root mean square error (RMSE), normalized RMSE (nRMSE) and index of agreement (d).

Results and Discussion

The results of CliPest calibration showed that nRMSE for total dry weight yield and grain yield of winter wheat and total dry weight of wild oat observed 7.7, 3.1 and 23.4% , respectively. The results of CliPest validation showed that nRMSE for phenological development stages, total dry weight yield, grain yield winter wheat observed 2.4, 24.3, 4.8%, respectively and for phenological development stages and total dry weight of wild oat observed 2.2 and 23.4% of , respectively. The nRMSE for percent of total dry weight yield loss by wild oat damage and percent of grain yield loss due to wild oat damage in winter wheat observed 15.7 and 11.6%, respectively. The results of Clipest showed that with increasing of wild oat plant density, total dry weight and grain yield of winter wheat decreased which was agreement by obtained data in the field experiment. The results of index of agreement (d) and r² coefficient between observed and simulated data compared to 1:1 line also showed that the CliPest was able to simulate successfully more than 90% and 95% of observed differences in

1, 2 and 3- MSc Student of Agroecology, Assistant Professor in Crop Ecology and Assistant Professor in Weed Science, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Engineering Science, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.

(*- Corresponding author Email: f.mondani@razi.ac.ir)

DOI:10.22067/jag.v10i1.60082

studied traits, respectively.

Conclusion

The results indicated that the CliPest model was able to simulate successfully the observed growth traits of winter wheat and wild oat as well as wheat yield loss by oat damage in different plant densities under Kermanshah climate condition. It seems that careful selection in calibrated parameters in the sensitivity analysis process, measure these parameters in the field and the greenhouse conditions and use of them in the model structure were the main reason to achieve high accuracy for predictions.

Keywords: Calibration, Crop growth simulation, Partitioning, Validation, Weed competition