



انستیتو ملی تحقیقات درختان میوه گرجان

نشریه پژوهش های تولید گیاهی

جلد بیست و نهم، شماره دوم، ۱۳۹۸

۸۵-۹۹

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2019.14600.2312

## پیش‌بینی فنولوژی، فیلوکرون و سطح برگ گندم (رقم سرداری)

\*نبی خلیلی اقدم

استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** پیش‌بینی مراحل نمو و به‌ویژه زمان تا پایان رشد در هر منطقه با استفاده از مدل‌های ریاضی در جوامع گیاهی به‌ویژه گندمیان از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین با توجه به اهمیت پیش‌بینی فنولوژی، سطح برگ و زمان تا اتمام رشد برگ گیاه گندم، این پژوهش جهت معرفی و آزمون اعتبارسنجی مدل فنولوژی Phenology MMS در شرایط محیطی سقر، پیش‌بینی سرعت ظهور برگ یا فیلوکرون در شرایط تنش کم‌آبی و تصحیح ضرایب روابط آلومتریک پیش‌بینی‌کننده سطح برگ گندم رقم سرداری به اجرا درآمد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش ابتدا اعتبار مدل Phenology MMS در پیش‌بینی مراحل نمو و تعداد برگ در ساقه اصلی گندم رقم سرداری با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای سنجش شد و سپس با برازش مدل دوتکه‌ای، به شیوه درون‌یابی، روز و زمان حرارتی لازم تا پایان رشد برگ و فیلوکرون (درجه روز بر برگ) در سطوح مختلف تنش استخراج شدند. سپس با استفاده از روابط آلومتریک بین تعداد برگ و سطح برگ بهترین مدل آلومتریک برای تخمین سطح برگ انتخاب شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که مدل به‌خوبی قادر به پیش‌بینی مراحل نمو گندم است و روز و ترمال تایم لازم تا هر مرحله خاص نمو را در سه حالت پس از کشت، پس از سبزشدن و پس از بهاره‌سازی پیش‌بینی می‌کند. نتایج همچنین نشان داد که گیاه گندم پس از گذراندن ۱۷۱۶ درجه روز به زمان پایان رشد برگ خود خواهد رسید که این زمان حرارتی دقیقاً پس از طی ۲۳۸/۸ روز (در منطقه اجرای پژوهش) پس از سبزشدن کسب خواهد شد. به بیان ساده‌تر با گذشت هر ۱۶/۶ روز پس از سبزشدن، یک برگ به تعداد برگ‌های گندم اضافه خواهد شد. با افزایش تنش، شیب خط رگرسیون تغییرات تعداد برگ در مقابل زمان حرارتی نیز کاهش پیدا کرد و به ۰/۰۰۲۹ برگ بر درجه روز در تنش بسیار شدید، کاهش پیدا کرد. برعکس با افزایش شدت تنش بر مقدار فیلوکرون افزوده شد و از ۱۳۳/۳ در تنش متوسط به ۳۳۹/۱ درجه روز بر برگ در تنش خیلی شدید، افزایش پیدا کرد. نتایج پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از دو رابطه توانی و یک رابطه دوتکه‌ای نیز نشان داد که مدل دوتکه‌ای نسبت به دو مدل توانی دیگر از دقت بالاتری در پیش‌بینی سطح برگ برخوردار بوده است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به قابل‌قبول بودن نتایج مدل فنولوژی در پیش‌بینی مراحل نمو، مقادیر سرعت ظهور برگ و فیلوکرون، می‌توان استفاده از این مدل در مطالعات شبیه‌سازی و زراعی را توصیه کرد. از طرفی تنش آبی نیز می‌تواند تأثیر زیادی بر سرعت

\* مسئول مکاتبه: [nkhaliliaqdam@yahoo.com](mailto:nkhaliliaqdam@yahoo.com)

ظهور برگ و مقدار فیلوکرون بگذارد. همچنین بهترین مدل برای تخمین سطح برگ از روی تعداد برگ اصلی، مدل دوتکه‌ای بود زیرا این مدل بخاطر درک ساده‌تر و قابلیت بسط مفاهیم فیزیولوژیکی به پارامترهای آن می‌تواند بیان صحیحی از تغییرات سطح برگ را ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش، سرداری، ظهور برگ، مدل

### مقدمه

در منابع علمی واژه‌های متعددی برای بیان سرعت ظهور برگ بیان شده است: پلاستوکرون، اکسی‌کرون و فیلوکرون. قدیمی‌ترین این واژه‌ها، پلاستوکرون بوده و به‌صورت مدت زمان بین تغییر شکل (تمایز) سلول‌های مریستمی در رأس ساقه تعریف شده است که بعدها به‌صورت مدت زمان بین تمایز سلول‌های مریستمی به نقاط رشد برگ، گره و غیره توسعه پیدا کرد. اکسی‌کرون نیز آن‌چنان که از منابع علمی برمی‌آید به‌صورت مدت زمان بین دو مرحله قابل تشخیص روی برگ‌های یک گیاه بیان شده است. اولین تعاریف از فیلوکرون نیز در سال ۱۹۶۶ توسط بونتینگ و دینن ارائه شد و بر فاصله زمانی بین ظهور دو برگ روی ساقه دلالت داشت (۲۱). در یک تعریف کلی فیلوکرون یا سرعت ظهور برگ شاخصی از سرعت نمو برگ گیاهان است و به‌صورت مدت زمان لازم برای ظهور برگ روی ساقه (درجه روز به‌ازای هر برگ) بیان می‌شود (۲۱). از این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای شناخت مراحل نمو گراس‌ها استفاده شده است (۲). تخمین مقدار فیلوکرون هر گونه در جوامع گیاهی به جهت کاربرد آن در الگوریتم مدل‌های شبیه‌سازی تولید گیاهی و برنامه‌ریزی مدیریت عملیات زراعی دارای اهمیت زیادی است، زیرا وابستگی شدیدی بین مراحل نمو با سرعت ظهور برگ وجود دارد (۱۱). فیلوکرون ارتباط وسیعی با دمای هوا و دیگر شرایط محیطی مانند طول روز، تنش کم‌آبی، ذخایر کربوهیدراتی و تنش‌های منابع

دانستن سن گیاه و پیش‌بینی آن در مدیریت زاعی و به‌نژادی اهمیت زیادی دارد. منظور از سن گیاه همان نمو فنولوژیک یا مراحل نمو گیاه مانند سبز شدن، گلدهی و یا رسیدگی است که در مدل‌سازی تولید گیاهان بسیار دارای اهمیت است و چون تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های تولید گیاهان زراعی تا حد زیادی متأثر از زمان وقوع مراحل فنولوژی است (۳۱)، بنابراین ممکن است پیش‌بینی تغییرات سطح برگ به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشد (۳۲). روش‌های متفاوتی برای کمی‌سازی نمو فنولوژیک گیاهان وجود دارد که اولویت استفاده از آن‌ها به‌میزان حساسیت به فتوپریود، وقوع یا عدم وقوع تنش خشکی، کمبود عناصر غذایی، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز وابسته است. دوره‌های فنولوژیک اصولاً مبتنی بر میزان زمان حرارتی کسب شده در هر دوره نمو هستند و برابر است با جمع اختلاف دمائی بین متوسط دما با دمای پایه گیاه موردنظر که در آن چنانچه دمای متوسط از دمای پایه کم‌تر باشد، معیار دمای پایه خواهد بود (۲۲). خلیلی‌ا قدم (۲۰۱۴) نشان داد که هیچ اختلافی بین محاسبه ترمال تایم به روش دمای ساعتی، سه‌ساعته و ۲۴ ساعته وجود ندارد و می‌توان همان دمای میانگین ۲۴ ساعته را ملاک قرار داد (۱۶). از طرفی با داشتن تعداد برگ در ساقه هر گیاه در مقابل زمان حرارتی در دوره افزایش برگ (نه دوره ثابت شدن آن) می‌توان سرعت ظهور برگ و سپس مقدار فیلوکرون را برآورد نمود.

روش‌های برآورد شاخص‌هایی که اندازه‌گیری آن‌ها مشکل است (مثل سطح برگ)، استفاده از روابط آلومتریک است (۴). به عبارت دیگر مفهوم روابط آلومتریک، یافتن روابط بین خصوصیات گیاهی مرتبط با سطح برگ با تعداد برگ یا گره، وزن خشک برگ و وزن خشک اجزای رویشی است. از این روابط به‌طور وسیعی در گیاهان مختلف مانند گندم (مداح‌یزدی و همکاران، ۲۰۰۸؛ شیری و همکاران، ۲۰۱۴)، سویا (بخشنده و همکاران، ۲۰۱۰) و پنبه (اکرم‌قادری و سلطانی، ۲۰۰۷) استفاده شده است (۱، ۴، ۱۸ و ۲۸). با توجه به اهمیت پیش‌بینی فنولوژی، سطح برگ و زمان تا اتمام رشد برگ گیاه گندم و این‌که تا به حال از این مدل در ایران استفاده نشده است. بنابراین هدف از این آزمایش: ۱- معرفی و آزمون اعتبارسنجی مدل فنولوژی Phenology MMS در شرایط محیطی سقز، ۲- پیش‌بینی سرعت ظهور برگ یا فیلوکرون در شرایط تنش کم‌آبی و ۳- تصحیح ضرایب روابط آلومتریک پیش‌بینی‌کننده سطح برگ گندم رقم سرداری است.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرکز سقز با بافتی لومی رسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا درآمد. کرت‌های آزمایشی شامل ۸ ردیف به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر بودند که در آن بذر رقم سرداری در تراکم بوته ۴۲۵ بوته در مترمربع در ۲۱ شهریور در عمق ۳ سانتی‌متری کشت شدند. بذور گندم قبل از کشت برای جلوگیری از ابتلا به بیماری با قارچ‌کش کابوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان کوددهی براساس آزمایش خاک (نمونه‌برداری از عمق حداکثر ۳۵ سانتی‌متری) به صورت ۷۵ کیلوگرم

غذائی دارد (۲۳). اثرات کاهندگی کمبود شدید کود نیتروژن (۱۹)، تاخیر در تاریخ کشت (۲۶)، طول روز (۲۸) و کمبود دی‌اکسیدکربن و کیفیت نور مادون‌قرمز (۲) روی فیلوکرون گزارش شده است. اما جعفری مقدم و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که کاربرد برگی کودهای حاوی مس، بر و روی سبب کاهش مقدار فیلوکرون در گندم شده است (۱۳). در مورد تنش کم‌آبی گزارش‌های متفاوتی ارائه شده است (۱۱). کاتفورث و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تنش شدید کم‌آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم آب شده است (۸) در حالی‌که بیکر و همکاران (۱۹۹۰) برعکس گزارش داده‌اند که تنش شدید کم‌آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم شده است (۳). امروزه روش‌های متفاوتی اعم از روابط تجربی و غیرتجربی برای تخمین مقدار فیلوکرون ارائه شده است. مدل‌های بیکر (بیکر و همکاران، ۱۹۹۰) و کیربی (کیربی و پری، ۱۹۸۷) از جمله روابط رگرسیون غیرخطی دقیق در تخمین مقدار فیلوکرون هستند (۳ و ۱۵) که در آن‌ها تنها عامل تغییر اختلاف طول روز بین دو روز متوالی است (۲۱). شاخص هان (هان، ۱۹۷۳) نیز اغلب برای اندازه‌گیری فیلوکرون در طی مرحله رویشی گندمیان کاربرد دارد و اتکای آن بر تغییر طول جوان‌ترین برگ در بالای ساقه نسبت به برگ مقابل خود است (۱۲).

در حال حاضر ساده‌ترین روش برای محاسبه فیلوکرون محاسبه زمان حرارتی مورد نیاز از ظهور یک برگ تا ظهور برگ بعدی است که به صورت عکس سرعت ظهور برگ بیان می‌شود (۳۱). سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم در بسیاری از مطالعات زراعی است و از همین‌رو درک اثرات متقابل بین رشد و نمو گیاه و محیط ضروری است. یکی از

$$Y = a + b_1x \quad \text{if} \quad x_0 \leq x \quad (۴)$$

$$Y = a + b_2x_0 \quad \text{if} \quad x > x_0$$

که در آن،  $Y$  تعداد برگ در بوته (ساقه اصلی)،  $x$  زمان حرارتی یا روز پس از سبزشدن،  $x_0$  نقطه چرخش تابع دوتکه‌ای و  $b_1$  و  $b_2$  شیب خط در دو طرف تابع دوتکه‌ای هستند که مقدار  $b_2$  عموماً برابر صفر بوده و رابطه به صورت  $Y = a$  در می‌آید. مقدار  $x_0$  در برازش تغییرات تعداد برگ در مقابل زمان حرارتی برابر زمان حرارتی لازم تا پایان رشد برگ و در صورت برازش تغییرات تعداد برگ در مقابل روز پس از سبزشدن بیانگر زمان رسیدن به پایان رشد برگ است.

برای شبیه‌سازی دوره‌های فنولوژیکی گندم زمستانه نیز از مدل فنولوژی Phenology MMS استفاده شد (۲۳). این مدل در محیط جاوا و به زبان فرتن نوشته شده است و یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت‌های زراعی گیاهان زراعی است. این مدل قادر به پیش‌بینی دوره‌های فنولوژیکی و تعداد برگ در بوته برخی از گیاهان مهم زراعی از جمله گندم بهاره و پائیزه، جوی بهاره و زمستانه، ذرت، سورگوم، ارزن و غیره در چهار سطح تنش آبی با سه روش محاسبه ترمال تایم است. سطوح تنش براساس درصد پر شدن منافذ خاک از آب به سطوح مطلوب، تنش متوسط، تنش شدید و تنش خیلی شدید تقسیم‌بندی شده است که در آن‌ها به ترتیب ۴۵-۱۰۰، ۳۵-۴۵، ۲۵-۳۵ و صفر درصد منافذ خاک از آب پر شده‌اند. ورودی‌های این مدل ساده بوده و نیاز است تا برای هر ناحیه و هر رقم با دقت جمع‌آوری شوند (جدول ۱). برای هر گونه گیاهی در مدل خصوصیات ارقام آن به صورت زمان حرارتی مورد نیاز برای مراحل مختلف در متن آن قرار دارد که برای رقم سرداری ترمال تایم مورد نیاز گندم رقم سرداری توسط مدل ترمال تایم (۲۰) محاسبه و تحت عنوان رقم سرداری در مدل بارگذاری شد. از دیگر ورودی‌های مدل، مقادیر

کود فسفات‌ها از نوع سوپر فسفات تریپل، ۱۵ کیلوگرم پتاس (سولفات پتاسیم) و ۱۰۰ کیلوگرم کود ازته در سه مرحله کاشت، پنجه‌زنی و ساقه رفتن به طور مساوی به خاک اضافه شد. جهت ایجاد شرایط عدم محدودیت غذایی و آفات و بیماری‌ها، حذف علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها در طول دوره آزمایش صورت گرفت. آبیاری نیز به صورت کرتی و هر هفته یکبار انجام شد (حداکثر تا دو دور آبیاری: پس از سبزشدن). برای یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی، در هر کرت تعداد ۱۰ بوته با روبان قرمز مشخص و هر سه روز یکبار براساس جدول زادوکس مراحل یادداشت‌برداری می‌شد (۳۶).

از زمان سبزشدن بوته تا پایان رشد گیاه، به فواصل زمانی هر ۸-۱۰ روز یکبار بسته به شرایط آب و هوایی، تعداد برگ در بوته (به روش هان (۱۲) و سطح برگ با دستگاه ADC BioScientific اندازه‌گیری شدند. برای توصیف روابط آلومتریک سطح برگ و تعداد برگ در ساقه از دو رابطه توانی و یک رابطه دوتکه‌ای زیر استفاده شد:

$$Y = ax^b \quad (۱)$$

$$Y = x^b \quad (۲)$$

$$Y = b_1x \quad \text{if} \quad x_0 \leq x \quad (۳)$$

$$Y = b_2x + a(x - x_0) \quad \text{if} \quad x > x_0$$

که در آن،  $Y$  سطح برگ در بوته،  $x$  تعداد برگ در بوته (ساقه اصلی)،  $x_0$  نقطه چرخش تابع دوتکه‌ای و  $b_1$  و  $b_2$  شیب خط در دو طرف تابع دوتکه‌ای هستند. برای برازش تابع دوتکه‌ای تغییرات تعداد برگ در مقابل زمان حرارتی و روز پیش از سبزشدن نیز از تابع دوتکه‌ای زیر استفاده شد.

آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، ضریب تغییرات، رسم خطوط یک به یک و شاخص AICc استفاده شد (۹).

$$AICc = n \log\left(\frac{RSS}{n}\right) + 2k + (2k(k+1))/(n-k-1) \quad (5)$$

$$\Delta_i = AICc_i - AICc_{\min} \quad (6)$$

که در آن، AICc شاخص آئیک تصحیح شده، RSS مجموع مربعات باقی مانده‌ها، k تعداد پارامترهای مدل، n تعداد نمونه‌ها، AICc<sub>i</sub> شاخص آئیک برای هر مدل، AICc<sub>min</sub> کمترین مقدار شاخص آئیک محاسبه شده در بین مدل‌ها و مربوط به مدلی است که بهترین برازش را نشان داده است.  $\Delta_i$  نیز اختلاف شاخص‌های آئیک هر مدل با کمترین مقدار شاخص به دست آمده است. اگر مقدار کم‌تر از ۱۰ باشد، به مفهوم عدم اختلاف در برازش مدل‌ها است و چنانچه بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، مدل با شاخص AICc بزرگ‌تر مناسب نبوده و برازش خوبی به دست نخواهد داد (۸).

مربوط به دمای حداقل، حداکثر و متوسط دما، بارندگی و ساعات آفتابی روزانه برای سال زراعی مورد شبیه‌سازی (۹۵-۹۶) است که باید در مدل قرار داده شود. تا زمانی که مدل قادر به شناسایی اطلاعات مربوط به رقم و سال نباشد، هر گونه شبیه‌سازی توسط مدل بر اساس فرضیات بوده و نتایج صحیح نخواهد بود. برای استخراج نتایج دوره‌های فنولوژیکی و تعداد برگ، خروجی مدل بر اساس روش دوم محاسبه ترمال تایم در هر سطح رطوبتی به‌طور منفک به‌صورت پس از کشت، پس از سبزشدن و پس از بهاره‌سازی شبیه‌سازی شدند.

برای برازش مدل‌های رگرسیون غیرخطی و مدل‌های توانی از رویه Proc nlin در محیط نرم‌افزار (SAS, 2009) به روش مطلوب‌سازی تکراری صورت گرفت (۲۹). در این روش با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کم‌ترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود و تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام می‌شود که بهترین برآورد از متغیر به‌دست بیاید. برای سنجش دقت مدل Phenology MMS و مقادیر شبیه‌سازی شده مدل‌های توانی و غیرخطی نیز از

جدول ۱- مقادیر مربوط به پارامترهای ورودی به مدل.

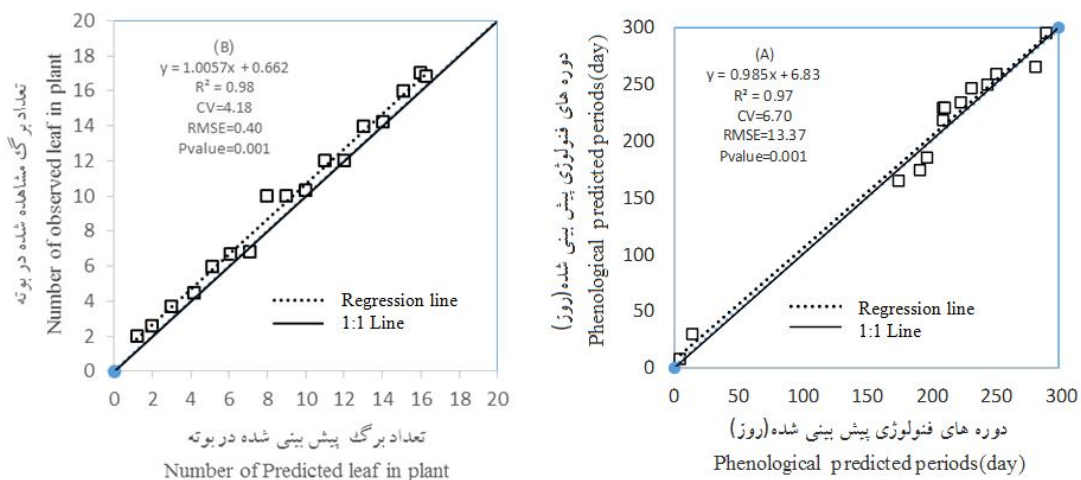
Table 1. Values of model inputs.

متغیر (Parameter)	مشخصات (Characteristics)
محصول (Plant)	گندم زمستانه (Wheat winter)
رقم (Cultivar)	سرداری (Sardari)
زمان کشت (Sowing date)	۲۱ شهریور (۲۵۴ روز میلادی) (254 Julian day)
سطح رطوبتی (Moisture level)	هر ۴ سطح تنش (All of the stress level)
دمای پایه (درجه سانتی‌گراد) (T <sub>b</sub> )	1.5
دمای مطلوب تحتانی (درجه سانتی‌گراد) (T <sub>01</sub> )	23.8
دمای مطلوب فوقانی (درجه سانتی‌گراد) (T <sub>02</sub> )	33
دمای سقف (درجه سانتی‌گراد) (T <sub>c</sub> )	41
عمق کشت (سانتی‌متر) (Sowing depth, cm)	2
تراکم بوته (بوته در مترمربع) (Plant density, plant/m <sup>2</sup> )	425
طول جغرافیایی ناحیه (Latitude)	46.37
حداکثر ارتفاع بوته (سانتی‌متر) (Height <sub>max</sub> )	100
روش محاسبه ترمال تایم (Thermal time method)	روش دوم (Second method)

**نتایج و بحث**

نتایج شبیه‌سازی برای ۱۴ مرحله فنولوژیکی گندم توسط مدل Phenology MMS در جدول ۲ ارائه شده است. این مدل طول روز را براساس عرض جغرافیائی محل محاسبه می‌کند و پس از تخمین دوره‌های فنولوژیکی با استفاده از روش دوم ترمال تایم اقدام به احتساب ترمال تایم از کشت تا برداشت، از سبزشدن تا برداشت و از بهاره‌سازی تا برداشت می‌کند. تمامی طول دوره‌ها و مقادیر ترمال تایم در شرایط بدون تنش شبیه‌سازی شده است. نتایج برازش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد برگ در ساقه اصلی و طول دوره‌های فنولوژیکی نشان داد که مدل به‌خوبی قادر به پیش‌بینی تعداد برگ و طول دوره‌های فنولوژیکی برای گندم در این ناحیه بوده است. کم بودن مقادیر مربوط به ضریب تغییرات و ریشه میانگین مربعات خطا، معنی‌دار بودن رگرسیون خطی بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده و

بالا بودن ضریب تبیین از دلایل صحت پیش‌بینی مدل است (شکل ۱). یکی از دلایل بالا بودن این دقت، استفاده مدل از پارامترهای خاص رقم مورد مطالعه است که مقادیر اولیه آن در مدل بارگذاری شده است (جدول ۱). با توجه به این‌که در اغلب مدل‌های پیش‌بینی‌کننده تولید گیاهان زراعی، فرآیند پیش‌بینی مبتنی بر پنج مرحله: سبزشدن، پایان تولید برگ در ساقه اصلی، شروع پرشدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت است و مدل‌ها فقط قادر به تخمین این دوره‌ها هستند و این‌که مراحل نموی استاندارد گندم براساس روش‌های تلفیقی هان و زادوکس نیز تنها مبتنی بر ۱۰ مرحله نموی است (۳۲)، بنابراین خروجی این مدل که مشتمل بر ۱۴ مرحله نموی در گندم است می‌تواند راهنمای بسیار خوبی در مطالعات شبیه‌سازی و مدیریت‌های زراعی گندم به حساب آید.



شکل ۱- برازش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده دوره‌های فنولوژی (A) و تعداد برگ گندم (B).

**Fig. 1. Observed and predicted value of phenology (A) and leaf number (B).**

جدول ۲- روز و ترمال تایم (درجه سانتی گراد) از هر سه مرحله کشت، سبزشدن و بهاره سازی تا برداشت برای هر مرحله نموی گندم.

**Table 2. Day and thermal time from sowing, emergence and vernalization to harvest for every developing period of wheat.**

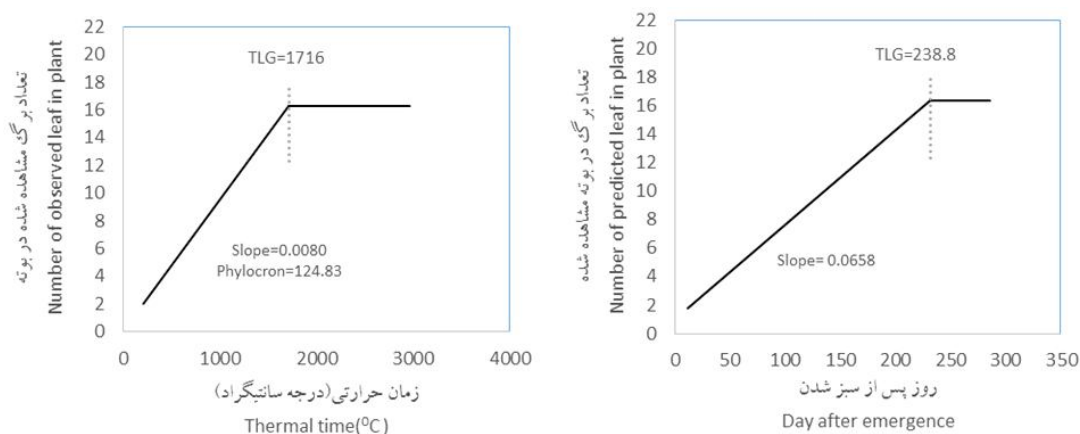
فنولوژی Penological event	روز پس از کاشت Day after sowing	روز پس از سبزشدن Day after emergence	روز پس از بهاره سازی Day after vernalization	ترمال تایم از کشت تا برداشت Thermal time from sowing to harvest	ترمال تایم از سبزشدن تا برداشت Thermal time from emergence to harvest	ترمال تایم از بهاره سازی تا برداشت Thermal time from vernalization to harvest
کشت Sowing	0	-	-	-	-	-
سبزشدن Emergence	5	-	-	106.9	-	-
ظهور اولین پنجه First tiller	15	11	-	298.2	213.1	-
طول شدن غلاف برگ Single ridge	75	171	65	1330.9	1245.8	185.1
عمودی شدن غلاف برگ Double ridge	192	188	82	1454.2	1369.2	308.4
گل انگیزی Floret primordial init begins	197	109	87	1483	1397.9	337.2
شروع ساقه دهی Stem elongation begins	209	205	99	1605.8	1520.7	460
پایان گل انگیزی End spikelete initiation	209	205	99	1605.8	1520.7	460
طول شدن میانگره ها Booting	211	207	101	1631.2	1546.2	485.4
خوشه دهی Sowing	223	219	113	1799.7	1714.6	653.9
ظهور گل ها Heading	232	228	122	1936.6	1851.5	790.8
شروع گرده افشانی Anthesis starts	244	240	134	2106.9	2021.8	961.1
پایان گرده افشانی Anthesis ends	251	247	141	2228.9	2143.8	1083.2
رسیدگی فیزیولوژیک Physiological maturity	282	278	172	2864.5	2779.4	1718.7
آماده برداشت Harvest ready	290	286	180	3050.8	2965.7	1905

روز پس از سبزشدن کسب خواهد شد. از این زمان به بعد هیچ توسعه برگی در گیاه صورت نخواهد گرفت. دانستن زمان پایان رشد برگ برای محاسبه دوره ماندگاری برگ، زمان قطع آبیاری و زمان برخورد با دوره گرما اهمیت زیادی دارد. در شرایط

برازش تعداد مشاهده شده برگ در بوته در مقابل زمان حرارتی و درون یابی نقطه چرخش با استفاده از مدل دو تکه ای نشان داد که گیاه گندم پس از تجربه ۱۷۱۶ درجه روز به زمان پایان رشد برگ خود خواهد رسید که این زمان حرارتی دقیقاً پس از طی ۲۳۸/۸

شدن هر یک روز از زمان سبزشدن به بعد، حدود ۰/۰۶ بر تعداد برگ خود می‌افزاید. به بیان ساده‌تر، با گذشت تقریبی هر ۱۶/۶ روز پس از سبزشدن، یک برگ به تعداد برگ‌های گندم اضافه خواهد شد (شکل ۲).

مورد مطالعه گیاه گندم با شیب ۰/۰۰۸ به‌ازای هر درجه روز رشد برگ تولید خواهد کرد. به‌عبارت دیگر به‌ازای دریافت هر درجه روز، گیاه گندم حدود ۰/۰۰۸ تولید برگ خواهد داشت. عکس این ضریب برابر مقدار فیلوکرون یعنی ۱۲۴/۸ درجه روز به‌ازای هر برگ است. بر پایه همین نتایج گندم به‌ازای سپری



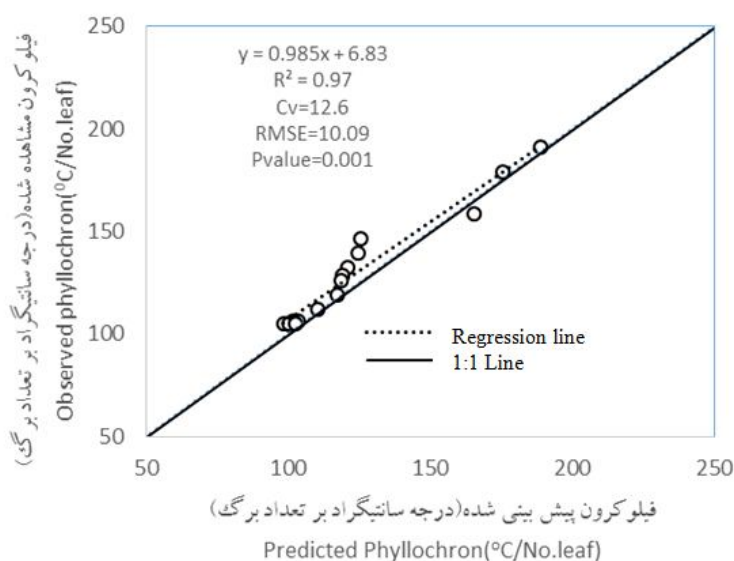
شکل ۲- تغییرات تعداد برگ مشاهده شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) و روز پس از سبزشدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (ترمال تایم، درجه سانتی‌گراد)).

Fig. 2. Observed leaf number via thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at: leaf growth ending (°C).

داشت. مقدار فیلوکرون پیش‌بینی شده توسط مدل فنولوژی نیز، ۱۲۵/۴۲ درجه روز بر برگ و شیب خط رگرسیون در تکه اول برابر ۰/۰۰۷۹۷ برگ به‌ازای هر درجه روز به‌دست آمد. به بیان ساده‌تر گیاه گندم براساس نتایج مدل پس از کسب ۱۲۵/۴۲ درجه، یک برگ بر تعداد برگ‌های آن افزوده خواهد شد (شکل ۴) و هرچه این زمان حرارتی زودتر کسب شود، ظهور برگ‌ها نیز سریع‌تر است و از همین رو است که دما مؤثرترین عامل محیطی بر ظهور برگ شناخته شده است.

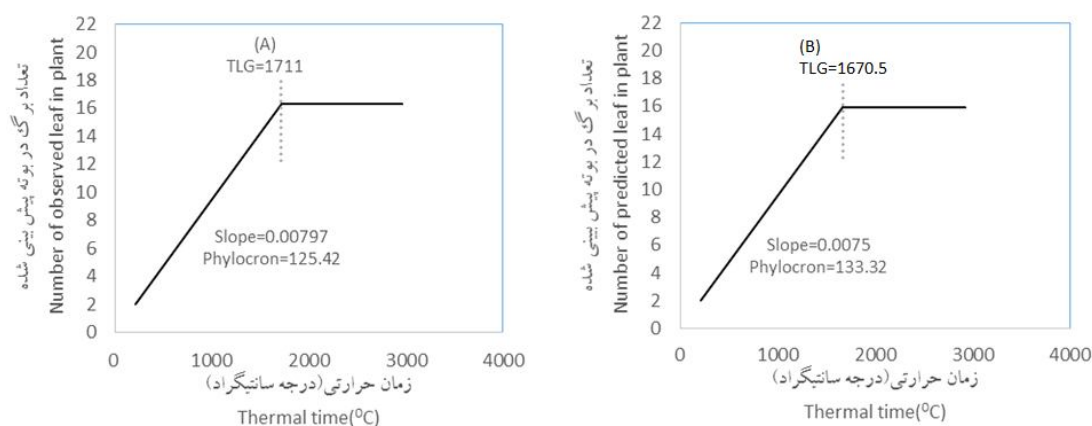
آزمون کارایی مدل برای صحت پیش‌بینی مقدار فیلوکرون نیز نشان داد که مدل از کارایی قابل‌قبولی در پیش‌بینی این پارامتر مهم گیاهی، برخوردار است (شکل ۳). نزدیکی داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده فیلوکرون، ضریب تبیین بالا و معنی‌دار بودن شیب رگرسیون خطی بیانگر نزدیکی داده‌های پیش‌بینی شده فیلوکرون به مقادیر مشاهده شده است. زمان پایان رشد برگ توسط مدل در شرایط بدون تنش پس از تجربه ۱۷۱۱ درجه روز به‌دست آمد که با مقدار مشابه آن در مزرعه ۵ درجه روز اختلاف





شکل ۳- برآزش فیلوکرون مشاهده شده در برابر فیلوکرون پیش بینی شده در شرایط مطلوب توسط مدل.

Fig. 3. Observed phyllochron via predicted data at optimum condition by model.



شکل ۴- تغییرات تعداد برگ پیش بینی شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی گراد) دو شرایط بدون تنش (A) و تنش متوسط (B) (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (ترمال تایم، درجه سانتی گراد)).

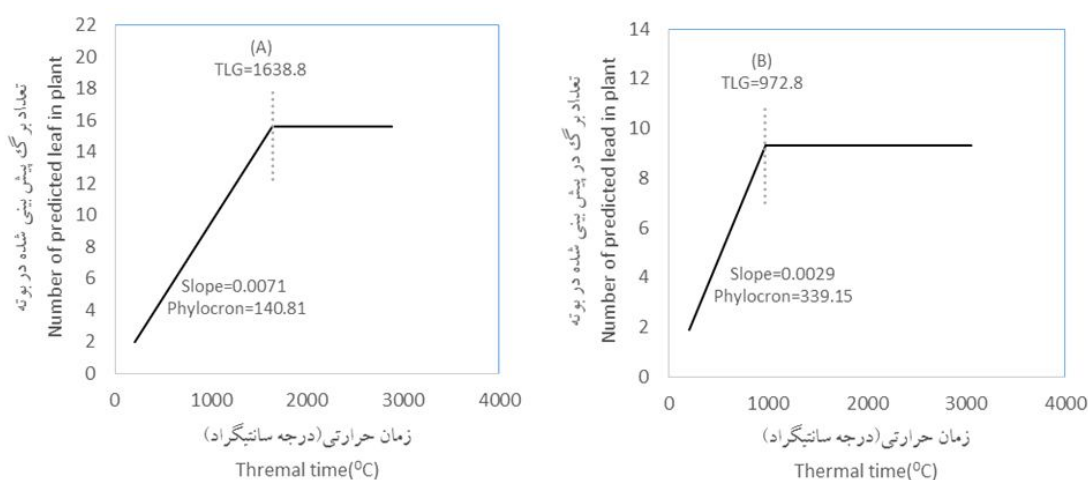
Fig. 4. Predicted leaf number via thermal time at two level: normal (A) and medium stress (B), TLG: Thermal time at: leaf growth ending (°C).

با افزایش سطح تنش، شیب خط رگرسیون قسمت اول مدل دوتکه ای کاهش پیدا کرد و این کاهش در سطح تنش شدید بسیار فاحش بود به نحوی که مقدار آن از ۰/۰۰۷۵ به ۰/۰۰۲۹ برگ بر درجه روز کاهش پیدا کرد. البته اختلاف شیب این خط در شرایط وقوع تنش متوسط و تنش شدید چندان قابل توجه نبود (۰/۰۰۰۴ برگ بر درجه روز). به طور برعکس با

با توجه با صحت نتایج مدل در پیش بینی تعداد برگ، زمان حرارتی و مقادیر فیلوکرون و زمان پایان رشد برگ، در گام بعدی با برآزش مدل دوتکه ای به داده های تعداد برگ و زمان حرارتی خروجی از مدل، به شیوه درون یابی، مقادیر فیلوکرون، زمان تا پایان رشد برگ و شیب رگرسیون در قسمت اول مدل دوتکه ای درون یابی شدند. نتایج نشان داد که هم زمان

کاهش پیدا کرد. این بدان معنی است که در صورت خالی بودن ۶۵-۵۵ درصد منافذ خاک از آب، گیاه سریع‌تر به زمان اتمام رشد برگ خود خواهد رسید و این مورد سبب کاهش دوره رشد گیاه خواهد شد. با افزایش شدت تنش (خالی بودن ۶۵-۷۵ درصد منافذ خاک از آب تا حضور فقط ۰-۲۵ درصد رطوبت در خاک) زمان تا پایان رشد برگ به‌طور شدیدی کاهش پیدا کرد و به ۹۷۲/۸ درجه روز بر برگ رسید (شکل ۵). این نتایج به‌خوبی اثر شدید تنش‌های شدید آبی بر دوره رشد گیاه و زمان تا پایان رشد گیاه را نشان می‌دهد.

افزایش شدت تنش بر مقدار فیلوکرون افزوده شد و از مقدار ۱۳۳/۳ در تنش متوسط به ۳۳۹/۱ درجه روز بر برگ افزایش پیدا کرد (شکل ۴). این در حالی بود که فیلوکرون در سطوح تنش متوسط با تنش شدید فقط ۷/۵ درجه روز بر برگ اختلاف داشت. با توجه به اثر تنش بر مقادیر فیلوکرون و شیب رگرسیون مدل دوتکه‌ای، آن‌چنان که انتظار می‌رفت مقادیر زمان تا پایان رشد برگ نیز متأثر از تنش بود. با بروز تنش در سطح متوسط یا در صورت پر بودن تنها ۳۵-۴۵ درصد منافذ خاک از آب، زمان تا پایان رشد برگ از ۱۷۱۱ (درجه روز بر برگ) در صورت عدم وجود تنش در مزرعه به ۱۶۷۰/۵ (درجه روز بر برگ)



شکل ۵- تغییرات تعداد برگ پیش‌بینی‌شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) دو سطح شدید (A) و تنش بسیار شدید (B) (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (ترمال تایم، درجه سانتی‌گراد)).

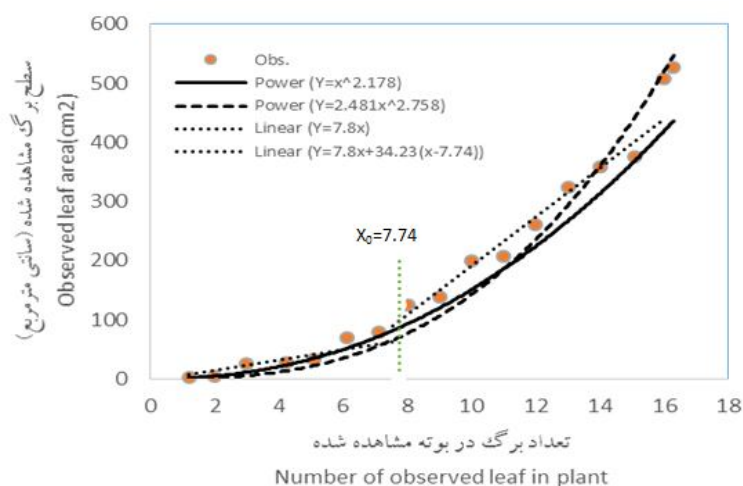
Fig. 5. Predicted leaf number via thermal time at two level: severe (A) and much severe (B), TLG: Thermal time at: leaf growth ending (°C).

که بین ۱۰ رقم گندم زمستانه هیچ تفاوتی از نظر مقدار فیلوکرون وجود نداشته است (۲۴). تا جایی که مقدار فیلوکرون در مدل‌های DSSAT (جونز و همکاران، ۲۰۰۳) و APSIM (کیتینگ و همکاران، ۲۰۰۳) برابر ۱۲۰ درجه روز به‌ازای هر برگ گزارش

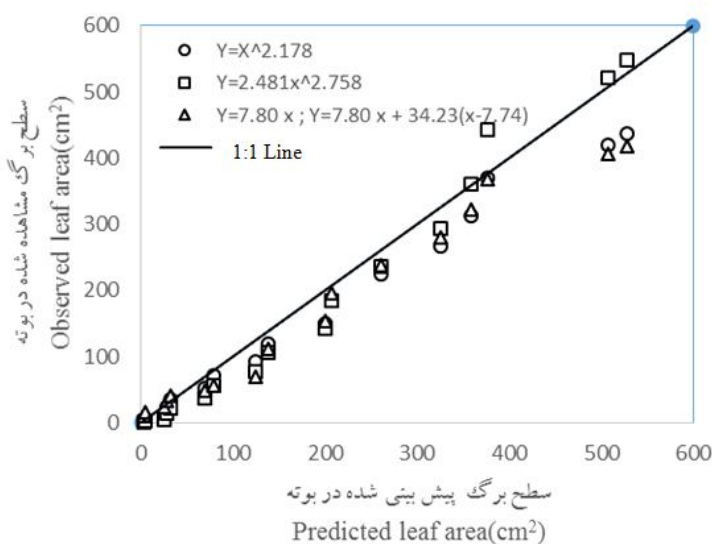
اهمیت فیلوکرون و زمان تا پایان رشد برگ تا اندازه‌ای است که با داشتن مقادیر این دو پارامتر و تعداد برگ در ساقه می‌توان از روی روابط آلومتریکی سطح برگ و در نهایت ماده خشک تولیدی را محاسبه نمود (۳۲). مک‌مستر و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند

برگ در بوته نیز در شکل نشان داده شده است. مقدار ضریب  $b$  در معادلات توانی،  $2/178$  و ضریب  $a$  نیز  $2/481$  به دست آمد. در مدل دوتکه‌ای نیز نقطه چرخش برابر  $7/74$  و ضرائب  $b$  و  $a$  به ترتیب  $7/80$  و  $34/23$  پیش‌بینی شد (شکل ۶). نتایج پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از دو رابطه توانی و یک رابطه دوتکه‌ای نیز نشان داد که مدل دوتکه‌ای با داشتن ضریب تبیین بالا، ضریب تغییرات پائین و ریشه میانگین مربعات خطای کم‌تر نسبت به دو مدل توانی دیگر از دقت بالاتری در پیش‌بینی سطح برگ برخوردار بوده است. گزینش بهترین مدل با استفاده از شاخص  $AICc$  (آئی‌ک تصحیح شده) نیز نشان داد که مدل دوتکه‌ای با دارا بودن کم‌ترین مقدار شاخص  $AICc$ ، بهترین مدل برای پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از داده‌های سطح برگ بود ( $AICc=55/44$ ). از طرفی کوچک‌تر بودن مقدار  $\Delta_i$  از مقدار  $10$ ، بیانگر عدم اختلاف این مدل‌ها در برازش و پیش‌بینی سطح برگ بود اما با توجه به کوچک‌تر بودن شاخص  $AICc$ ، بهترین مدل، همان مدل دوتکه‌ای انتخاب شد (جدول ۳). همچنین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سطح برگ به خوبی در اطراف خط یکی به یک پراکنده بودند (شکل ۷). بنابراین به نظر می‌رسد که این مدل (دوتکه‌ای) به خاطر درک ساده‌تر و قابلیت بسط مفاهیم فیزیولوژیکی به پارامترهای آن بتواند بیان صحیحی از تغییرات سطح برگ را ارائه دهد. در این مدل گیاه گندم تا رسیدن تعداد برگ به میزان  $7/74$  برگ، سطح برگ با یک شیب ثابت  $7/8$  سانتی‌متر مربع به‌ازای هر برگ افزایش پیدا می‌کند و از این نقطه به بعد سطح برگ با شیب متفاوت‌تری افزایش پیدا می‌کند.

شده است (۱۴ و ۱۵). جعفری‌مقدم و همکاران (۲۰۱۲) و سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) نیز مقدار فیلوکرون گندم را به ترتیب  $126$  و  $125$  درجه روز بر برگ گزارش داده‌اند (۱۳ و ۳۱). در این پژوهش نیز مشابه با نتایج بالا فیلوکرون گندم در شرایط مزرعه و پیش‌بینی شده به ترتیب  $124/8$  و  $125/4$  درجه روز بر برگ به دست آمد که بسیار نزدیک به مقادیر به دست آمده از مطالعات دیگران است. مطالعات بی‌شماری نشان داده‌اند که شرایط محیطی از طریق دما، طول روز، تنش کم‌آبی، عناصر غذایی، تاریخ کشت و حتی رقم بر مقدار فیلوکرون تأثیر دارند و ارتباط وسیعی بین تغییرات فیلوکرون با این عوامل مشاهده شده است (۱۰، ۱۳ و ۱۹). با این وجود مطالعات اندکی در مورد تنش کم‌آبی گزارش شده است. کاتفورث و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تنش شدید کم‌آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم آب شده است (۱۰) در حالی که بیکر و همکاران (۱۹۹۰) برعکس گزارش داده‌اند که تنش شدید کم‌آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم شده است (۳). در این پژوهش نیز تنش کم‌آبی ضمن کاهش زمان پایان رشد برگ، سبب افزایش مقدار فیلوکرون و شیب تغییرات تعداد برگ در برابر زمان حرارتی پس از سبزشدن نیز شد. از آنجائی‌که فیلوکرون برابر است با زمان حرارتی پس از سبزشدن بر تعداد برگ، بنابراین با بروز تنش‌های شدید، به واسطه کاهش فعالیت نقاط مریستمی برگ، تعداد برگ نیز کاهش پیدا خواهد کرد، بنابراین با کوچک‌تر شدن مخرج کسر، مقدار فیلوکرون نیز افزایش خواهد یافت. تغییرات سطح برگ مشاهده شده در مقابل تعداد



شکل ۶- برازش سطح برگ مشاهده شده با استفاده از سه مدل متفاوت در مقابل تعداد برگ اندازه‌گیری شده.  
 Fig. 6. Observed leaf area via observed leaf number in plant using three non-linear model.

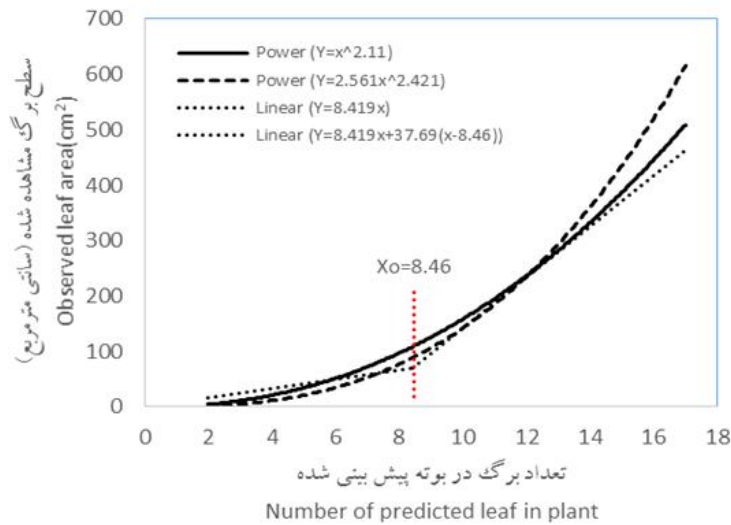


شکل ۷- برازش سطح برگ مشاهده شده در بوته با استفاده از سه مدل متفاوت در مقابل سطح برگ پیش‌بینی شده.  
 Fig. 7. Observed leaf area via observed predicted leaf area in plant using three model.

جدول ۳- ضرائب برازش رگرسیون مقادیر سطح برگ پیش‌بینی شده در برابر مقادیر مشاهده شده با استفاده از سه مدل غیرخطی.

Table 3. Regression coefficients of predicted leaf area via observed data using three non-linear model.

مدل Model	عرض از مبدا Intercept	شیب رگرسیون Slope	ضریب تغییرات CV	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تیین R <sup>2</sup>	P <sub>value</sub>	AICc	Δ <sub>i</sub>
$Y = x^b$	3.79±6.67	1.15±0.030	12.52	24.29	0.97	0.001	63.86	8.41
$Y = ax^b$	28.73±8.22	0.91±0.032	13.12	21.48	0.96	0.001	59.81	4.37
$Y = bx + a(x - x_0)$	3.11±7.90	0.83±0.036	9.16	18.23	0.98	0.001	55.44	



شکل ۸- برازش سطح برگ مشاهده شده با استفاده از سه مدل متفاوت در مقابل تعداد برگ پیش‌بینی شده.

Fig. 8. Observed leaf area via Predicted leaf number in plant using three non-linear model.

چنانچه اطلاعات کافی از مزرعه در دست نباشد، باید ضرائب روابط آلومتریکی را نسبت به تراکم و گونه گیاهی تصحیح کرد (۳۲). انجام این پژوهش نیز در واقع در راستای همین مسأله بوده است. نتایج این پژوهش با نتایج بخشنده و همکاران (۲۰۱۱) و مداح یزدی و همکاران (۲۰۰۸) روی گندم مطابقت دارد (۵، ۲۰). همچنین مطالعات راحمی و همکاران (۲۰۰۶) و سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) روی نخود بیان داشتند که بین سطح برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی ارتباط بالائی وجود دارد (۲۷ و ۳۱). وهابی و سینکر (۲۰۰۵) نیز روی گندم و جو نشان دادند که بین سطح برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی همبستگی بالائی وجود دارد و از رابطه نمائی برای توصیف این تغییرات استفاده کردند (۳۴).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش به‌طورکلی نشان داد که ۱- مدل فنولوژی Phenology MMS به‌خوبی قادر به پیش‌بینی دوره‌های فنولوژی و تعداد برگ در ساقه اصلی گندم رقم سرداری است بنابراین می‌توان از آن

در برازش سه مدل مورد بررسی به داده‌های تعداد برگ در بوته مدلسازی شده با استفاده از مدل فنولوژیکی و داده‌های سطح برگ مشاهده شده ضرائب مدل از تغییرات اندکی برخوردار بودند اما نحوه تغییرات تعداد برگ در مقابل سطح برگ به همان حالت مورد انتظار بود. در روابط توانی به‌دست آمده از برازش داده‌های سطح برگ مشاهده شده به تعداد برگ در بوته پیش‌بینی شده توسط مدل فنولوژی ضریب  $b$  از  $2/178$  به  $2/11$  کاهش پیدا کرد. ضمن این‌که مقدار ضریب  $a$  نیز  $2/561$  به‌دست آمد و نقطه چرخش منحنی دوتکه‌ای نیز از  $7/74$  به  $8/46$  در این حالت افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که با توجه به نزدیکی مقادیر ضرائب به هم و نحوه تغییرات صحیح سطح برگ در مقابل تعداد برگ در بوته، می‌توان به دقت مدل فنولوژی در پیش‌بینی تعداد برگ در بوته پی برد و از نتایج آن در مطالعات شبیه‌سازی و مدیریتی زراعی استفاده کرد. بنابراین اگر روابط آلومتریکی برای یک گیاه ویژه ثابت باشند، می‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی رشد گیاه استفاده کرد (۲۵). نتایج مطالعات همچنین نشان داده است که

برگ به خوبی توسط داده‌های خروجی مدل فنولوژی قابل تخمین است. ۳- بهترین مدل آلومتریک برای تخمین سطح برگ، مدل دوتکه‌ای بود که از این مدل می‌توان برای تخمین سطح برگ گندم رقم سرداری استفاده نمود.

در مطالعات شبیه‌سازی استفاده نمود. ۲- درونیابی مقادیر فیلوکرون و زمان تا پایان رشد برگ چه به لحاظ پارامتر ورودی به مدل‌های شبیه‌سازی و یا از لحاظ مدیریتی بسیار دارای اهمیت هستند و نتایج نشان داد که مقادیر فیلوکرون و روز تا پایان رشد

## منابع

1. Akram-Ghaderi, F. and Soltani, A. 2007. Leaf area relationships to plant vegetative characteristics in cotton (*Gossypium hirsutum*, L.) grown in a temperate sub-humid environment. *Int. J. Plant Prod.* 1: 63-71.
2. Bahuguna, D.K., Kumar, V., Singh, Y.P., Kumar, N., Nishat, R. and Agrwal, D. 2014. Effect of phyllochron on leaf emergence stage in barley, Wheat Rice. *Agron. J.* 2: 1. 121-126.
3. Baker, J.T., Pinter, P.J., Reginato, R.J. and Kanemasu, E.T. 1990. Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agron. J.* 78: 605-613.
4. Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R. and Kamkar, B. 2010. A rapid and non-destructive method to determine the Leaflet, trifoliolate and total leaf area of soybean. *Asian Austr. J. Plant Sci. Biotech.* 4: 19-23.
5. Bakhshandeh, E., Soltani, A., Zeinali, E., Kalate-Arabi, M. and Qadrian, R. 2011. Evaluation allometric relationship between leaf area and vegetative characteristics in bread and durum wheat cultivars. *Iran. J. Agron. Sci.* 13: 3. 642-657. (In Persian)
6. Barnes, C. and Bugbee, B. 1991. Morphological response of wheat to changes in phytochrome photoequilibrium. *Plant Physiol.* 97: 359-365.
7. Boone, M.Y.L. and Wall, G.W. 1990. CO<sub>2</sub> enrichment and temperature effects on spring wheat. IV. Phyllochron intervals. P 14. In *Agronomy abstracts*. ASA, Madison, WI.
8. Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical Information-Theoretic Approach. Springer, New York, USA.
9. Burnham, K.P., Anderson, D.R. and Huyvaret, K.P. 2011. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observation, and comparisons. *Bahav. Ecol. Sociobiol.* 65: 23-35.
10. Cutforth, H.W., Jame, Y.W. and Jefferson, P.G. 1992. Effect of temperature, vernalization and water stress on phyllochron and final main stem leaf number of HY 320 and Neepawa spring wheats. *Can. J. Plant Sci.* 72: 1141-1151.
11. Frank, A.B. and Bauer, A. 1995. Phyllochron differences in wheat, barley, and forage grasses. *Crop. Sci.* 35: 19-23.
12. Hun, J.R. 1973. Visual qualification of wheat development. *Agron. J.* 65: 116-119.
13. Jafari-Moghadam, M., Sharifabad, H., Noormohammadi, Gh., Sadeghian Motahar, S.Y. and Siadat, S.A. 2012. Modeling the effect of micronutrients on phyllochron and leaf appearance rate in wheat. *Annal. Biol. Res.* 3: 9. 4552-4461.
14. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Prter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.T. and Ritchie. 2003. The DSSATcropping system model. *Europ. J. Agron.* 18: 235-265.
15. Keating, B.A., Asseng, S., Brown, S.D., Carberry, P.S., Chapman, S., Dimes, J.P., Freebairn, D.M., Hammer, G.I., Hargreaves, J.N.G., Hochman, Z., Holzworth, D., Hulth, N.I., Meinke, H., McCown, R.L., Probert, A.E., Robertson, M.J., Silburn, M., Smith, C.J., Snow, V.O., Verburg, K. and Wang, E. 2003. An review of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Europ. J. Agron.* 18: 267-288.

16. Khaliliaqdam, N. 2014. Sensitivity analysis of thermal time to time steps in soybean. *Agric. Sci. Dev.* 3: 3. 88-92.
17. Kirby, E.J.M. and Peny, M.W. 1987. Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. *Austr. J. Agric. Res.* 38: 455-464.
18. Kirby, E.J.M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Res.* 35: 101-111.
19. Longnecker, N., Kirby, E.J.M. and Robson, A. 1993. Leaf emergence, tiller growth, and apical development of nitrogen deficient spring wheat. *Crop Sci.* 33: 154-160.
20. Maddah-Yazdi, V., Soltani, A., Kamkar, B. and Zeinali, E. 2008. Comparative physiology of wheat and chickpea: leaves production and senescence. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 36-44. (In Persian)
21. McMaster, G.S. and Wilhelm, W.W. 1995. Accuracy of equations predicting the phyllochron of wheat. *Crop Sci.* 35: 30-36.
22. McMaster, G.S. and Wilhelm, W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest Meteorolo.* 87: 291-300.
23. McMaster, G.S., Edmunds, D.A., Wilhelm, W.W., Nielsen, D.C., Prasad P.V.V. and Ascoug, J.C. 2011. Phenology MMS: A program to simulate crop phenological responses to water stress. *Com. Elec. Agric.* 77: 118-125.
24. McMaster, G.S., Morgan, J.A. and Wilhelm, W.W. 1992. Simulating winter wheat spike development and growth. *Agric. For. Meteorol.* 60: 193-220.
25. Niklas, K.J. 1995. Plant height and the properties of some herbaceous steam. *Annal. Bot.* 75: 133-142.
26. Petroczi, I. and Matuz, J. 2002. Sesonal study of tillering and phyllochron of winter wheat in field trials. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Hungarian Congress on Plant Physiology.* S5-P13.
27. Rahemi, A., Soltani, A., Purreza, J., Zainali, E. and Sarparast, R. 2006. Allometric relationship between leaf area and vegetative characteristics in field-grown chickpea. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 13: 49-59. (In Persian)
28. Rosa, H.T., Walter, L.C., Streck, A., Andriolo, J.L., Silva, M.R.D. and Langner, J.A. 2011. Base temperature for leaf appearance and phyllochron of selected strawberry cultivars in a suboptimal environment. *Bragantia.* Campinas. 70: 4. 939-945.
29. SAS. 2009. Statistical analysis system, Version: 9.2. Carry NC.
30. Shiri, A., Khaliliaqdam, N. and Mir-Mahmoodi, T. 2014. Evaluation of different empirical models for the estimation of leaf area in various cultivars of wheat. *J. Agron. Plant Breed.* 10: 3. 77-88. (In Persian)
31. Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y. and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. *Field. Crops. Res.* 138: 14-23.
32. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crops. *Jahad Daneshgai Press.* 174p. (In Persian)
33. Tsialtas, J.T. and Maslaris, N. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Photosynthetica.* 46: 351-355.
34. Wahabi, A. and Sinclair, T.R. 2005. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field. Crops. Res.* 91: 287-296.
35. Wilhelm, W.W. and McMaster, G.S. 1995. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop. Sci.* 35: 1-3.
36. Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth of cereals. *Weed. Res.* 14: 415-421.

*Arci*