

Prediction of Rate of Leaf Appearance, Leaf Area Index and Growth Stages in Corn and Sunflower

Nabi Khaliliaqdam^{1*}, Seyed Javad Talebzadeh²

¹ Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran, Email: Nkhaliliaqdam@yahoo.com

² Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran, Email: Sj.tagr@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/04/29
Revised: 2021/07/19
Accepted: 2021/07/27

Keywords:
Leaf appearance
Model
Phenology
Tension

ABSTRACT

Background and objectives: Prediction of development periods of crops by mathematical models, especially, time to growth ending is so important in every area. So, as impotence of prediction of phenology, leaf area and time to leaf growth ending, this research performed to introduce and test of Phenology MMS model in environmental conditions of Boukan, prediction of leaf appearance rate, phyllochron in stress condition of drought and to correct coefficient of allometric equations of predicting of leaf area of Corn (cv. Single cross 704) and Sunflower (cv. Shamshiri).

Method and Materials: In this research, Phenology MMS evaluated using field data for corn and sunflower was measured using field data in Buchan (located in the south of West Azerbaijan province) during the 2019-2020 crop year. Then time and thermal time needed to leaf growth ending and phyllochron (degree day per leaf) obtained using segmented model in every stress level. So, the best algometric model selected for describing of relation between leaf area and leaf number.

Results: Results showed that the model predicted development periods of corn and sunflower well and was capable to estimate day and thermal time needed to every special development period of day after sowing and day after emergence. Also, in corn, results released that time to leaf growth ending will occur after reception of 782.9 degree day which equal to 72.3 day after emergence whereas for sunflower time to leaf growth ending will occur after reception of 798.1 degree day which equal to 59.14 day after emergence. After every 3 and 2.06 days after emergence, one leaf will be added to the number of corn and sunflower leaves, respectively. In medium tension, the slope of regression line of leaf number versus thermal time, increased and reached to 0.0285 and 0.033 leaf per degree day in corn and sunflower respectively. Results of predicting of leaf area using exponential segmented models showed that all of models were good in predicting of leaf area index.

Conclusion: As for being acceptable of results of phonological model for prediction of thermal time, leaf number and phyllochron, we advise using of this model in modeling and agronomical studies. So, drought stress can effect on leaf appearance rate and phyllochron value. All of models were good in predicting of leaf area index.

Cite this article: Khaliliaqdam, N., Talebzade, S.J. 2022. Prediction of Rate of Leaf Appearance, Leaf Area Index and Growth Stages in Corn and Sunflower. *Crop Production*, 15 (1), 205-228.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19114.2426

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



پیش‌بینی سرعت ظهور برگ، شاخص سطح برگ و مراحل رشد دو گیاه ذرت و آفتابگردان

نبی خلیلی‌اقدام^۱، سیدجواد طالب‌زاده^۲

۱. دانشیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، رایانامه: Nkhaliliaqdam@yahoo.com

۲. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، رایانامه: Sjtagr@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: پیش‌بینی فنولوژی، سرعت ظهور برگ (فیلوکرون) و به‌ویژه حداکثر شاخص سطح برگ در هر منطقه با استفاده از مدل‌های ریاضی در جوامع گیاهی برای استفاده در مدل‌های پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاهان زراعی از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین، با توجه به اهمیت پیش‌بینی فنولوژی، سطح برگ و زمان تا اتمام رشد برگ دو گیاه مهم صنعتی ذرت و آفتابگردان، این تحقیق جهت معرفی و آزمون اعتبار سنجی مدل فنولوژی Phenology MMS در شرایط محیطی بوکان، پیش‌بینی سرعت ظهور برگ یا فیلوکرون در شرایط تنش کم آبی متوسط و تصحیح ضرایب روابط آلومتریک پیش‌بینی‌کننده شاخص سطح برگ ذرت رقم سینگل گراس ۷۰۴ و آفتابگردان رقم شمشیری به اجرا درآمد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۹ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵	مواد و روش‌ها: در این تحقیق ابتدا اعتبار مدل Phenology MMS در پیش‌بینی مراحل نمو و تعداد برگ در ساقه ذرت آفتابگردان با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در بوکان (واقع در جنوب استان آذربایجان غربی) طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ سنجش شد و سپس با برازش مدل دو تکه‌ای، به شیوه درونیابی، روز و زمان حرارتی لازم تا پایان رشد برگ و فیلوکرون (درجه روز بر برگ) در دو حالت بدون تنش و تنش متوسط استخراج شدند. سپس با استفاده از روابط آلومتریک بین تعداد برگ و شاخص سطح برگ بهترین مدل آلومتریک برای تخمین شاخص سطح برگ انتخاب شد.
واژه‌های کلیدی: تنش ظهور برگ فنولوژی مدل	نتایج: نتایج نشان داد که مدل به‌خوبی قادر به پیش‌بینی مراحل نمو ذرت و آفتابگردان است و روز و زمان حرارتی لازم تا هر مرحله خاص نمو را در دو حالت پس از کشت و پس از سبز شدن پیش‌بینی می‌کند. نتایج همچنین نشان داد که گیاه ذرت پس از گذراندن ۷۸۲/۹ درجه روز به زمان پایان رشد برگ خود خواهد رسید که این زمان حرارتی دقیقاً پس از طی ۷۲/۳ روز (در منطقه اجرای تحقیق) پس از سبز شدن کسب خواهد شد. در آفتابگردان نیز گیاه پس از کسب ۷۹۸/۱ درجه روز رشد یعنی در ۵۹/۱۴ روز پس از سبز شدن به پایان رشد برگ می‌رسد به بیان ساده‌تر با گذشت هر ۳ و ۲/۰۶ روز پس از سبز شدن، یک برگ به تعداد برگ‌های ذرت و آفتابگردان به ترتیب اضافه خواهد شد. در صورت بروز تنش متوسط، شیب خط رگرسیون تغییرات تعداد برگ در مقابل زمان حرارتی نیز افزایش پیدا کرد و به ۰/۲۸۵ و ۰/۰۳۳ برگ بر درجه روز به ترتیب در ذرت و آفتابگردان، افزایش پیدا کرد. نتایج پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از دو رابطه توانی و یک رابطه دو تکه‌ای نیز نشان داد که هر سه مدل از دقت مشابهی در پیش‌بینی شاخص سطح برگ ذرت و آفتابگردان برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری: با توجه به قابل قبول بودن نتایج مدل فنولوژی در پیش‌بینی مراحل نمو، مقادیر سرعت ظهور برگ و فیلوکرون، براساس شاخص AICC (آکانیک تصحیح شده)، می‌توان استفاده از این مدل در مطالعات شبیه‌سازی و زراعی را توصیه کرد. از طرفی تنش آبی نیز می‌تواند بر سرعت ظهور برگ و مقدار فیلوکرون تأثیر بگذارد. همچنین، هیچ اختلاف معنی‌داری بین سه مدل آلومتریک برای تخمین شاخص سطح برگ از روی تعداد برگ اصلی، وجود نداشت.

استناد: خلیلی‌اقدم، ن.، طالب‌زاده، س.ج. (۱۴۰۱). پیش‌بینی سرعت ظهور برگ، شاخص سطح برگ و مراحل رشد دو گیاه ذرت و آفتابگردان. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۱)، ۲۰۵-۲۲۸.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19114.2426

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



© نویسندگان.

مقدمه

دانستن سن گیاه و پیش‌بینی آن در مدیریت زاعی و به‌نژادی اهمیت زیادی دارد. منظور از سن گیاه همان نمو فنولوژیک یا مراحل نموی گیاه مانند سبز شدن، گلدهی و یا رسیدگی است که در مدل‌سازی تولید گیاهان بسیار حائز اهمیت است و چون تولید توزیع ماده خشک در مدل‌های تولید گیاهان زراعی تا حد زیادی متأثر از زمان وقوع مراحل فنولوژی است (۳۶)، لذا ممکن است پیش‌بینی تغییرات سطح برگ به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشد (۳۷). روش‌های متفاوتی برای کمی‌سازی نمو فنولوژیک گیاهان وجود دارد که اولویت استفاده از آن‌ها به میزان 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 نموی هستند و برابر است با جمع اختلاف دمایی بین متوسط دما با دمای پایه گیاه مورد نظر که در آن چنانچه دمای متوسط از دمای پایه کم‌تر باشد، معیار دمای پایه خواهد بود (۲۳). ضمن اینکه خلیلی اقدم (۲۰۱۴) نشان داد که هیچ اختلافی بین محاسبه زمان حرارتی به روش دمای ساعتی، سه ساعته و ۲۴ ساعته وجود ندارد و می‌توان همان دمای میانگین ۲۴ ساعته را ملاک قرار داد (۱۷). 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.

فیلوکرون یا سرعت ظهور برگ شاخصی از سرعت نمو برگ گیاهان است و به‌صورت مدت زمان لازم برای ظهور برگ روی ساقه (درجه روز به ازای هر برگ) بیان می‌شود (۲۲). از این شاخص به‌طور گسترده‌ای برای شناخت مراحل نموی 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 نموی با سرعت ظهور برگ وجود دارد (۱۱). فیلوکرون ارتباط وسیعی با دمای هوا و دیگر شرایط محیطی مانند طول روز، تنش کم آبی، ذخایر کربوهیدراتی و تنش‌های منابع غذایی دارد (۲۴). اثرات کاهندگی کمبود شدید کود نیتروژن (۲۰)، تاخیر در تاریخ کشت (۲۸)، طول روز (۳۱) و کمبود دی اکسید کربن و کیفیت نور مادون قرمز (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 (۱۴). در مورد تنش کم آبی گزارشات متفاوتی ارائه شده است (۱۱). قلی نژاد (۲۰۱۴) نیز نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب و تراکم بوته، فیلوکرون آفتابگردان کاهش پیدا کرده است (۲۹). همچنین، کاتفورت و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تنش شدید کم آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم آب شده است (۸). نتایج مطالعه سید شریفی و ضعیفی نژاد (۲۰۱۳) نیز موید اثر کاهش مصرف کود نیتروژنه روی سرعت ظهور برگ بوده است (۳۴). پنگلی و همکاران (۱۹۹۹) معتقدند که سرعت ظهور برگ و گسترش آن یکی از حساس‌ترین فرآیندهای رشدی است که وابستگی شدیدی به شرایط محیطی دارد. امروزه روش‌های متفاوتی اعم از روابط تجربی و غیرتجربی برای تخمین مقدار فیلوکرون ارائه شده است (۲۷). مدل‌های بیکر (بیکر و همکاران، ۱۹۹۰) و کیربی (کیربی و پری، ۱۹۸۷) از جمله روابط رگرسیون غیرخطی دقیق در تخمین مقدار فیلوکرون هستند (۳)، که در آن‌ها تنها عامل تغییر اختلاف طول روز بین دو روز متوالی است (۲۲). شاخص هان (هان، ۱۹۷۳) نیز اغلب برای اندازه‌گیری فیلوکرون در طی فاز

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 (۳۶). سطح برگ یکی از شاخص‌های مهم در بسیاری از مطالعات زراعی است و از همین رو درک اثرات متقابل بین رشد و نمو گیاه و محیط ضروری است. یکی از 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 (۱۳، ۲۱، ۳۶)، سویا (۵) و پنبه (۱) استفاده شده است. با توجه به اهمیت پیش‌بینی فنولوژی، سطح برگ و زمان تا اتمام رشد برگ گیاهان صنعتی ذرت و آفتابگردان و اینکه تا به حال از این مدل در ایران برای ذرت و آفتابگردان استفاده نشده است، لذا هدف از این آزمایش: ۱- معرفی و آزمون اعتبار سنجی مدل فنولوژی Phenology MMS در شرایط محیطی شهرستان بوکان واقع در جنوب استان آذربایجان غربی ۲- پیش‌بینی سرعت ظهور برگ یا فیلوکرون ذرت و آفتابگردان در شرایط تنش کم آبی متوسط و نرمال و ۳- تصحیح ضرایب روابط آلومتریک پیش‌بینی کننده شاخص سطح برگ برای این دو گیاه بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در یک

مزرعه‌ی تحقیقاتی در شهرستان بوکان واقع در جنوب استان آذربایجان غربی (جدول ۱) با بافتی لومی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار برای هر دو گیاه به‌طور مجزا به اجرا درآمد. محل آزمایش در سال زراعی قبل زیر کشت جو قرار داشت. کرت‌های آزمایشی در هر دو گیاه شامل ۵ ردیف به طول ۴ متر و با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر بودند که در آن بذور رقم سینگل کراس ۷۰۴ ذرت (در تاریخ ۵ اردیبهشت) و شمشیری آفتابگردان (در تاریخ ۱۰ اردیبهشت) در عمق ۵ سانتی‌متری و تراکم ۸ و ۷ بوته در مترمربع به ترتیب کشت شدند. تعیین تاریخ کشت براساس بهترین تاریخ کاشت عرف منطقه انجام شد. بذور ذرت قبل از کشت برای جلوگیری از ابتلا به بیماری با قارچ‌کش کابوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. عملیات تهیه بستر شامل شخم با گاو آهن برگردان‌دار و خرد کردن کلوخه‌ها با دیسک در پائیز و تسطیح زمین در فصل بهار انجام شد. میزان کوددهی براساس آزمایش خاک براساس نمونه‌برداری از عمق حداکثر ۳۵ سانتی‌متری خاک (جدول ۲) به صورت ۲۵۰ کیلوگرم کود فسفات‌ها از نوع فسفات آمونیوم، ۱۵ کیلوگرم کود پتاسیم (سولفات پتاسیم) و ۹۰ کیلوگرم کود اوره 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 سبز شدن). برای یادداشت‌برداری مراحل فنولوژیکی، در هر کرت تعداد ۱۰ بوته با روبان قرمز مشخص و هر دو روز یکبار براساس جداول برای هر گیاه، مراحل یادداشت‌برداری شد (۳۲).

پیش‌بینی سرعت ظهور برگ، شاخص سطح برگ... / نبی خلیلی اقدم و سیدجواد طالبزاده

جدول ۱- برخی ویژگی‌های آب و هوایی محل آزمایشی.

Table 1- Some climate characteristics of area.

سال/ماه Month/Year	بارندگی (میلی‌متر)		ساعات آفتابی		میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	
	Precipitation (mm)		Sun hours		Temperature mean (°C)	
	1398-99 2019-220	1397-98 2018-2019	98-9913 2019-220	1397-98 2018-2019	1398-99 2019-220	1397-98 2018-2019
مهر (23 Sep-22 Oct)	2.1	0.0	322.5	293.5	18.1	15.8
آبان (23 Oct-21 Nov)	1.4	14.6	198.1	152.6	7.2	11
آذر (22 Nov-21 Dec)	8.6	28.7	117.0	99.6	4.6	5.5
دی (22 Dec-20 Jan)	14.2	14.0	93.0	157.1	2.7	1.3
بهمن (21 Jan-19 Feb)	21	32.8	126.5	165.4	0.4	3.5
اسفند (20 Feb-20 Mar)	3.6	10.7	153.7	183.3	8.1	5-9
فروردین (21 Mar-20 Apr)	9.7	21.4	211.8	192.8	11.6	10.5
اردیبهشت (21 Apr-21 May)	20.6	12.5	284.2	293.0	16.8	14
خرداد (21 May-21 Jaun)	0.0	0.0	372.6	374.7	20.3	21.8
تیر (22 Jan- 22 Jul)	0.3	0.0	348.8	392.4	26.7	26.8
مرداد (23 Jul- 22 Aug)	0.0	0.0	372.4	352.2	27.5	28.6
شهریور (23 Aug- 22 Sep)	0.2	0.0	339.9	332.1	22.8	23.4

جدول ۲- برخی ویژگی‌های خاک مزرعه براساس آزمایش خاک.

Table 2- Some characteristics of farm soil based on soil analysis test.

درصد رطوبت (Moisture percent)	وزن مخصوص ظاهری (Bulk soil density, gr/cm ³)	ظرفیت زراعی (درصد) (FC, %)	اسیدیته گل اشباع (pH in saturated soil)	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) (EC, μs/cm)	کلاس بافتی (Texture class)
35.6	12	27.9	7.4	3.03	لومی (Loamy)

تعداد برگ در مقابل زمان حرارتی و روز پیش از سبز شدن نیز از تابع دو تکه‌ای زیر استفاده شد.

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

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

رابطه ۱:

که در این رابطه، Y تعداد برگ در بوته (ساقه اصلی)، x زمان حرارتی یا روز پس از سبز شدن، x_0 نقطه چرخش تابع دو تکه‌ای و b_1 و b_2 شیب خط در دو طرف تابع دو تکه‌ای 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 سبز شدن بیان‌گر زمان رسیدن به پایان رشد برگ است.

از زمان سبز شدن بوته تا پایان رشد گیاه، به‌فواصل زمانی هر ۸-۱۰ روز یک‌بار بسته به شرایط آب و هوایی، تعداد برگ در بوته و سطح برگ با دستگاه ADC BioScientific (ساخت انگلستان مدل ای‌ام ۳۵۰) اندازه‌گیری شدند. برای توصیف روابط آلومتریک سطح برگ و تعداد برگ در ساقه از دو رابطه توانی و یک رابطه دو تکه‌ای زیر استفاده شد:

$$Y = x^b \quad Y = ax^b$$

رابطه ۱:

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

رابطه ۲:

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

رابطه ۳:

که در این روابط، Y سطح برگ در بوته، x تعداد برگ در بوته (ساقه اصلی)، x_0 نقطه چرخش تابع دو تکه‌ای و b_1 و b_2 شیب خط در دو طرف تابع دو تکه‌ای هستند. برای برازش تابع دو تکه‌ای تغییرات

به صورت پس از کشت و پس از سبز شدن شبیه سازی شدند.

برای برآزش مدل های رگرسیون غیرخطی و مدل های توانی از رویه Proc nlin در محیط نرم افزار SAS (نسخه ۲۰۰۹) به روش مطلوب سازی تکراری صورت گرفت (۳۳). در این روش با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آنها با روش کم ترین توان های دوم تخمین زده می شود و تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام می شود که بهترین برآورد از پارامتر به دست بیاید. برای سنجش دقت مدل Phenology MMS و مقادیر شبیه سازی شده مدل های توانی و غیر خطی نیز از آماره های ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تبیین، ضریب تغییرات، رسم خطوط یک به یک و شاخص AICc استفاده شد (۹).

رابطه ۵:

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

$$\Delta_i = AICc_i - AICc_{\min} \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در آن AICc شاخص آکائیک تصحیح شده، RSS مجموع مربعات باقی مانده ها، k تعداد پارامترهای مدل، n تعداد نمونه ها، AICc_i شاخص آکائیک برای هر مدل، AICc_{min} کم ترین مقدار شاخص آکائیک محاسبه شده در بین مدل ها و مربوط به مدلی است که بهترین برآزش را نشان داده است. Δ_i نیز اختلاف شاخص های آکائیک هر مدل با کم ترین مقدار شاخص به دست آمده است. اگر مقدار کم تر از ۱۰ باشد، به مفهوم عدم اختلاف در برآزش مدل ها است و چنانچه بزرگ تر از ۱۰ باشد، مدل با شاخص AICc بزرگ تر مناسب نبوده و برآزش خوبی به دست نخواهد داد (۸).

برای شبیه سازی دوره های فنولوژیکی ذرت و آفتابگردان نیز از مدل فنولوژی Phenology MMS استفاده شد (۲۴). این مدل در محیط جاوا و به زبان فرترن نوشته شده و یک ابزار تصمیم گیری برای مدیریت های زراعی گیاهان زراعی است. این مدل قادر به پیش بینی دوره های فنولوژیکی و تعداد برگ در بوته برخی از گیاهان مهم زراعی از جمله گندم، بهار و پاییزه، جوی بهار و زمستانه، ذرت، سورگوم، ارزن و ... در چهار سطح تنش آبی با سه روش محاسبه زمان حرارتی است. سطوح تنش براساس درصد پر شدن منافذ خاک از آب به سطوح مطلوب، تنش متوسط، تنش شدید و تنش خیلی شدید تقسیم بندی شده است که در آنها به ترتیب ۱۰۰-۴۵، ۳۵-۲۵ و صفر درصد منافذ خاک از آب پر شده اند. ورودی های این مدل ساده بوده و نیاز است تا برای هر ناحیه و هر رقم با دقت جمع آوری شوند (جدول ۳). 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 دو گیاه ذرت و آفتابگردان زمان حرارتی مورد نیاز توسط مدل زمان حرارتی (۲۰) محاسبه و در مدل بارگذاری شد. از دیگر ورودی های مدل، مقادیر مربوط به دمای حداقل، حداکثر و متوسط دما، بارندگی و ساعات آفتابی روزانه برای سال زراعی مورد شبیه سازی (۱۳۹۸-۱۳۹۹) است که باید در مدل قرار داده شود. تا زمانی که مدل قادر به شناسایی اطلاعات مربوط به رقم و سال نباشد، هر گونه شبیه سازی توسط مدل براساس فرضیات بوده و نتایج صحیح نخواهد بود. برای استخراج نتایج دوره های فنولوژیکی و تعداد برگ، خروجی مدل براساس روش دوم محاسبه زمان حرارتی در هر سطح رطوبتی به طور جداگانه

جدول ۳- مقادیر مربوط به پارامترهای ورودی به مدل.

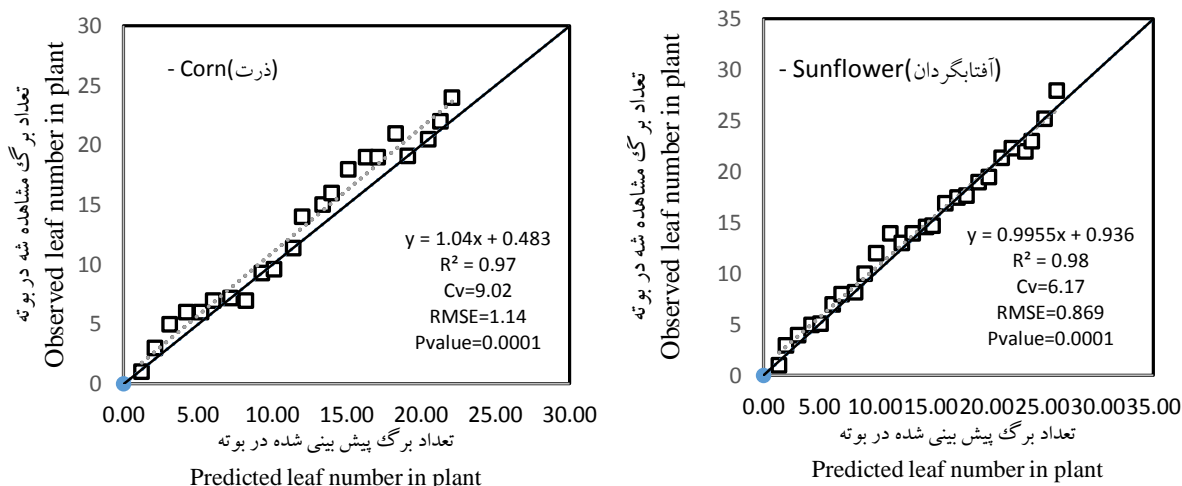
Table 3- Values of model inputs.

پارامتر (Parameter)	مشخصات (Characteristics)	
محصول (Crop)	آفتابگردان (Sunflower)	ذرت (Corn)
رقم (Cultivar)	شمشیری (Shamshiri)	سینگل کراس ۷۰۴ (Single cross-704)
زمان کشت (Sowing date)	۱۰ اردیبهشت (30 April)	۱۵ اردیبهشت (5 May)
سطوح تنش (Stress level)	۲ سطح تنش (two level of stress)	۲ سطح تنش (2 of the stress level)
(T_b , °C) دمای پایه (درجه سانتی‌گراد)	7	10
(T_{01} , °C) دمای مطلوب تحتانی (درجه سانتی‌گراد)	28	25
(T_{02} , °C) دمای مطلوب فوقانی (درجه سانتی‌گراد)	28	25
(T_c , °C) دمای سقف (درجه سانتی‌گراد)	30	30
عمق کشت (سانتی‌متر) (Sowing depth, cm)	5	4.5
تراکم بوته (بوته در مترمربع) (Plant density, plant/m ²)	7	8
طول جغرافیایی ناحیه (Latitude)	46.20	46.20
حداکثر ارتفاع بوته (سانتی‌متر) ($Height_{max}$)	190	190
روش محاسبه زمان حرارتی (Thermal time method)	Second method (روش دوم)	Second method (روش دوم)

نتایج و بحث

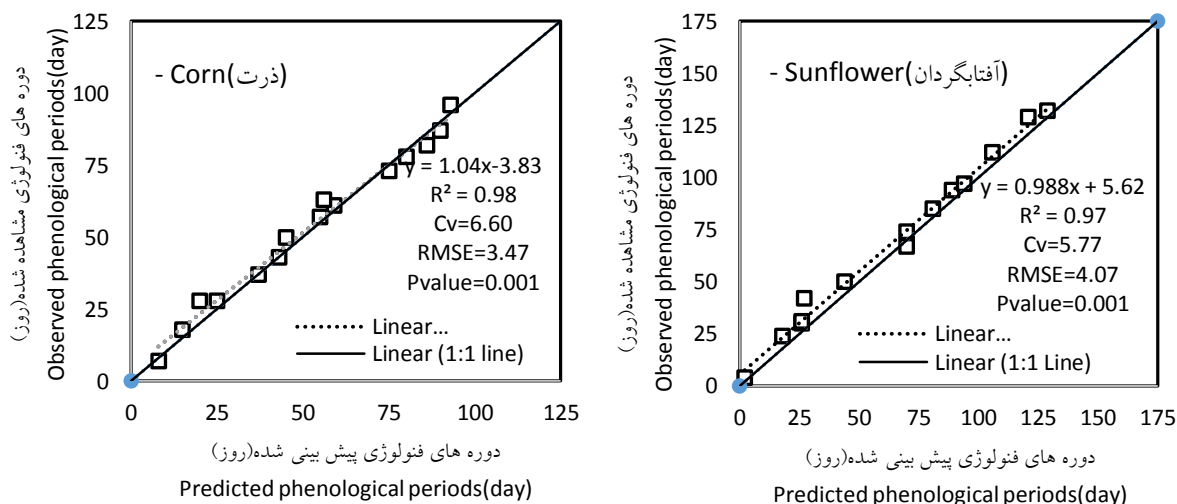
نتایج شبیه‌سازی برای ۱۴ مرحله فنولوژیکی ذرت و آفتابگردان توسط مدل Phenology MMS در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. این مدل طول روز را براساس عرض جغرافیایی محل محاسبه می‌کند و پس از تخمین دوره‌های فنولوژیکی با استفاده از روش دوم زمان حرارتی اقدام به احتساب زمان حرارتی از کشت تا برداشت و سبز شدن تا برداشت می‌کند. تمامی طول دوره‌ها و مقادیر زمان حرارتی در شرایط بدون تنش شبیه‌سازی شده است. نتایج برازش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد برگ در بوته و طول دوره‌های فنولوژیکی برای هر دو گیاه مورد مطالعه نشان داد که مدل به‌خوبی قادر به پیش‌بینی تعداد برگ (شکل ۱) و طول دوره‌های فنولوژیکی (شکل ۲) برای ذرت و آفتابگردان بود. کم بودن مقادیر مربوط به ضریب تغییرات و ریشه میانگین مربعات خطا، معنی‌دار بودن رگرسیون خطی

بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده و بالابودن ضریب تبیین از دلایل صحت پیش‌بینی مدل است (شکل ۱). یکی از دلایل بالا بودن این دقت، استفاده مدل از پارامترهای خاص برای گیاهان مورد مطالعه است که مقادیر اولیه آن‌ها در مدل بارگذاری شده است (جدول ۱). با توجه به اینکه در اغلب مدل‌های پیش‌بینی کننده تولید گیاهان زراعی، فرآیند پیش‌بینی مبتنی بر مراحل اصلی: سبز شدن، گلدهی، شروع پر شدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیکی و رسیدگی برداشت است و مدل‌ها فقط قادر به تخمین این دوره‌ها هستند و اینکه مراحل نموی استاندارد ذرت و آفتابگردان براساس روش‌های توصیه شده به‌ترتیب برابر ۹ و ۸ مرحله نموی است (۳۷)، بنابراین، خروجی این مدل که مشتمل بر ۱۵ مرحله نموی برای هر دو گیاه است می‌تواند راهنمای بسیار خوبی در مطالعات شبیه‌سازی و مدیریت‌های زراعی ذرت و آفتابگردان به حساب آید.



شکل ۱- برازش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تعداد برگ در ذرت و آفتابگردان.

Figure 1- Observed and predicted value of leaf number in corn and sunflower.



شکل ۲- برازش مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده دوره های فنولوژی در ذرت و آفتابگردان.

Figure 2- Observed and predicted value of phenology periods in corn and sunflower.

رشد در ۶۹/۵۰ روز پس از کشت به حداکثر تعداد برگ در بوته می‌رسد (شکل ۴). در آفتابگردان نیز گیاه از تجربه ۷۹۸/۱ درجه روز، یعنی در ۵۹/۱۴ روز پس از کشت به زمان پایان رشد برگ خود رسید (شکل ۵). برازش تعداد برگ پیش‌بینی شده در مقابل زمان حرارتی و روز پس از کشت برای آفتابگردان نیز نشان داد که این گیاه در ۷۸۹/۳ درجه روز رشد یعنی دقیقاً در ۵۷/۷۴ روز پس از کشت به حداکثر تعداد برگ در بوته می‌رسد (شکل ۶).

برازش برگ تعداد مشاهده شده در بوته در مقابل زمان حرارتی و درون‌یابی نقطه چرخش با استفاده از مدل دو تکه‌ای نشان داد که گیاه ذرت پس از تجربه ۷۸۲/۹ درجه روز به زمان پایان رشد برگ خود خواهد رسید که این زمان حرارتی دقیقاً پس از طی ۷۲/۳ روز پس از سبز شدن کسب خواهد شد (شکل ۳). از این زمان به بعد هیچ توسعه برگگی در گیاه صورت نخواهد گرفت. برازش تعداد برگ پیش‌بینی شده در مقابل زمان حرارتی و روز پس از کشت برای همین گیاه نیز نشان داد که ذرت در ۷۷۵/۱ درجه روز

پیش‌بینی سرعت ظهور برگ، شاخص سطح برگ... / نبی خلیلی اقدم و سیدجواد طالب‌زاده

جدول ۴- روز و زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) از دو مرحله کشت و سبز شدن تا برداشت برای هر مرحله نموی آفتابگردان.

Table 4- Day and thermal time from sowing and emergence to harvest for every developing period of sunflower.

فنونولوژی Penological event	روز پس از کاشت Day after sowing	روز پس از سبز شدن Day after emergence	زمان حرارتی از کشت تا برداشت Thermal time from sowing to harvest	زمان حرارتی از سبز شدن تا برداشت Thermal time from emergence to harvest
کشت (Sowing)	0	-	-	-
کشت تا سبز شدن (Emergence)	7	-	70.5	-
ظهور برگ چهارم (V4)	18	12	190.9	129.2
برگ هشتم (V8)	28	22	308.6	246.9
برگ دوازدهم (V12)	37	31	434.0	372.3
ظهور گل آذین (R1)	43	37	533.7	472.0
طولیل شدن میانگره‌ها (R2)	50	44	639.6	577.9
طولیل شدن میانگره‌های دوم به بعد (R3)	57	51	749.0	687.3
باز شدن گل آذین (R4)	61	55	818.6	756.9
شروع گل‌انگیزی (R5)	63	57	851.6	789.9
پایان گل‌انگیزی (R6)	73	67	1029.6	967.9
زرد شدن پشت طبق (R7)	78	72	1119.8	1058.1
زرد متمایل به قهوه‌ای پشت طبق (R8)	82	76	1201.9	1140.2
رسیدگی فیزیولوژیک (R9)	87	81	1284.0	1222.3
آماده برداشت (Harvest ready)	96	90	1430.2	1368.5

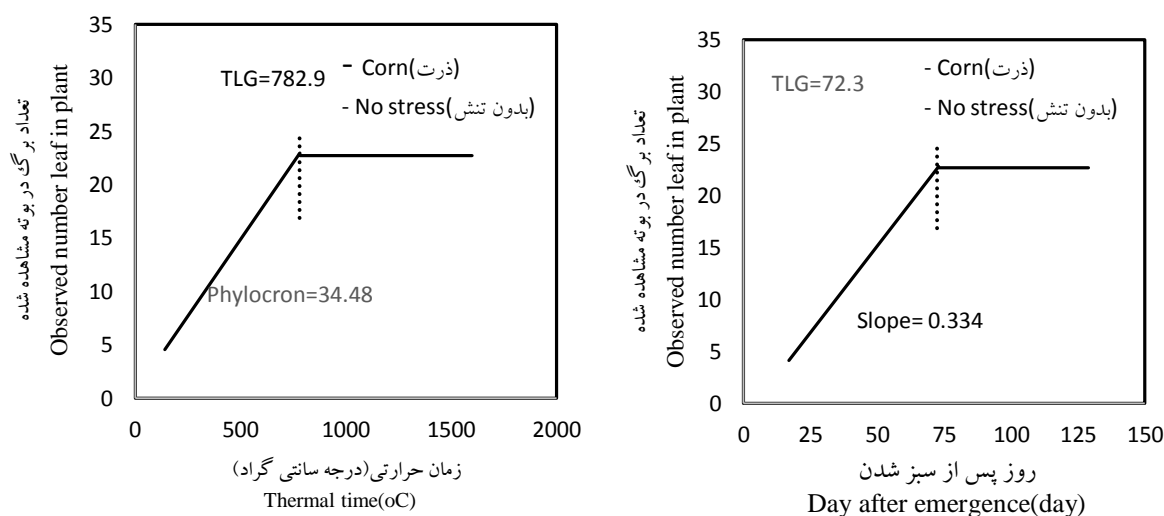
جدول ۵- روز و زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) از دو مرحله کشت و سبز شدن تا برداشت برای هر مرحله نموی ذرت.

Table 5- Day and thermal time from sowing and emergence to harvest for every developing period of corn.

فنونولوژی Penological event	روز پس از کاشت Day after sowing	روز پس از سبز شدن Day after emergence	زمان حرارتی از کشت تا برداشت Thermal time from sowing to harvest	زمان حرارتی از سبز شدن تا برداشت Thermal time from emergence to harvest
کشت (Sowing)	0	-	-	-
کشت تا سبز شدن (Emergence)	2	-	18.1	-
ظهور برگ چهارم (V4)	18	17	151.4	141.9
گل‌تاجی (Tassel initiation)	26	25	224.6	215.2
بلال‌انگیزی (ear initiation)	26	25	224.6	215.2
شروع طولیل شدن (Internode elongation begins)	27	26	233.9	224.5
ظهور برگ دوازدهم (V2)	44	43	434.3	424.9
ظهور تاسل‌ها (Tasseling)	70	69	784.0	774.6
ظهور تاره‌های ابریشمی (R1)	70	69	784	774.6
غنچه دهی (R2(Blister)	81	80	950.8	941.4
شیری شدن دانه (R3(Grain Milky)	89	88	1066.5	1057.1
نرم شدن دانه (R4(Grain Doughy)	94	93	1134.7	1125.3
دندانی شدن دانه (R5(Grain Denty)	106	105	1305.2	1195.8
(رسیدگی) (R6(Maturity)	121	120	1508.9	1499.5
آماده برداشت (Harvest ready)	129	129	1607.5	1598.1

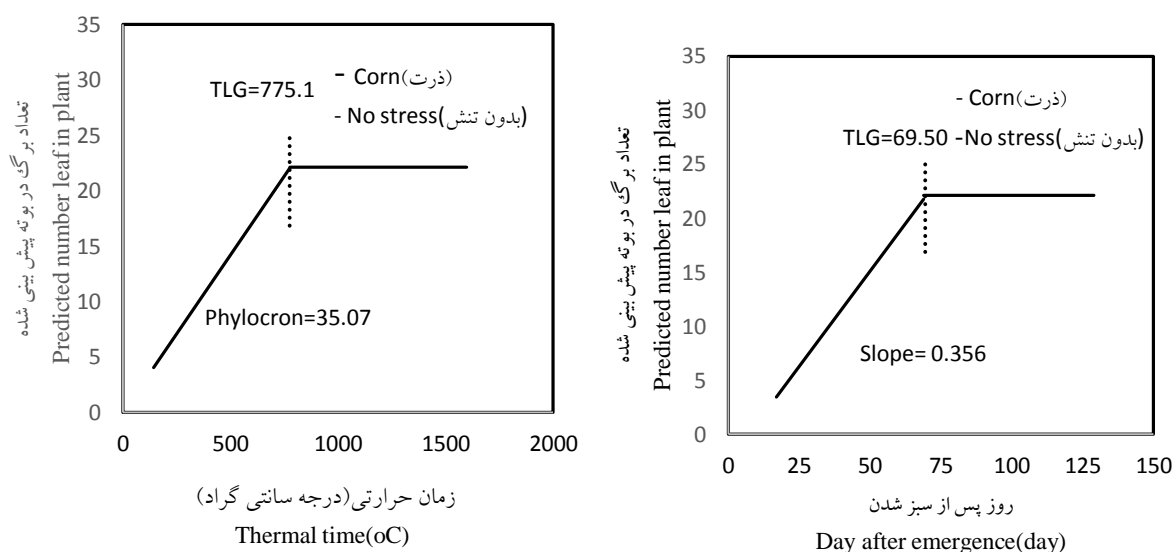
می‌افزاید. به بیان ساده‌تر با گذشت تقریبی هر ۳ روز پس از سبز شدن، یک برگ به تعداد برگ‌های ذرت اضافه خواهد شد (شکل ۲). مشابه همین حالت نیز در آفتابگردان رخ داده‌است. به‌طوری‌که به ازای دریافت هر درجه روز رشد، گیاه ذرت حدود $0/033$ برگ تولید برگ خواهد داشت. عکس این ضریب برابر مقدار فیلوکرون یعنی $30/34$ درجه روز به ازای هر برگ است. این بدان معنی است که آفتابگردان به ازای سپری شدن هر یک روز از زمان سبز شدن به بعد، حدود $0/334$ برگ تعداد برگ خود می‌افزاید. به بیان ساده‌تر با گذشت تقریبی هر $2/06$ روز پس از سبز شدن، یک برگ به تعداد برگ‌های ذرت در شرایط بدون تنش اضافه خواهد شد (شکل ۳).

از آنجایی که دانستن زمان پایان رشد برگ برای محاسبه دوره ماندگاری برگ، زمان قطع آبیاری و زمان برخورد با دوره گرما اهمیت زیادی دارد. لذا پیش‌بینی و تعیین زمان پایان رشد برگ در شرایط مختلف محیطی از ضروریات تحقیقی در هر گیاه زراعی است. در شرایط مطلوب گیاه ذرت با شیب $0/029$ به ازای هر درجه روز رشد برگ تولید خواهد کرد. به عبارت دیگر، بازای دریافت هر درجه روز، گیاه ذرت حدود $0/029$ تولید برگ خواهد داشت. عکس این ضریب برابر مقدار فیلوکرون یعنی $34/48$ درجه روز به ازای هر برگ است. بر پایه همین نتایج ذرت به ازای سپری شدن هر یک روز از زمان سبز شدن به بعد، حدود $0/334$ برگ تعداد برگ خود



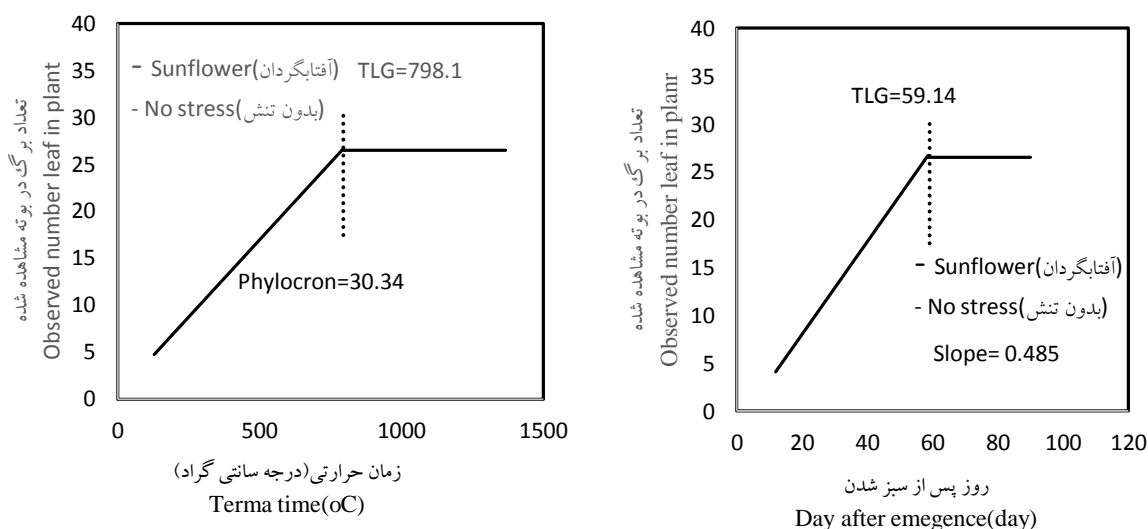
شکل ۳- تغییرات تعداد برگ مشاهده شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی گراد)) در ذرت در شرایط بدون تنش.

Figure 3- Observed leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at leaf growth ending ($^{\circ}\text{C}$) of corn without stress condition.



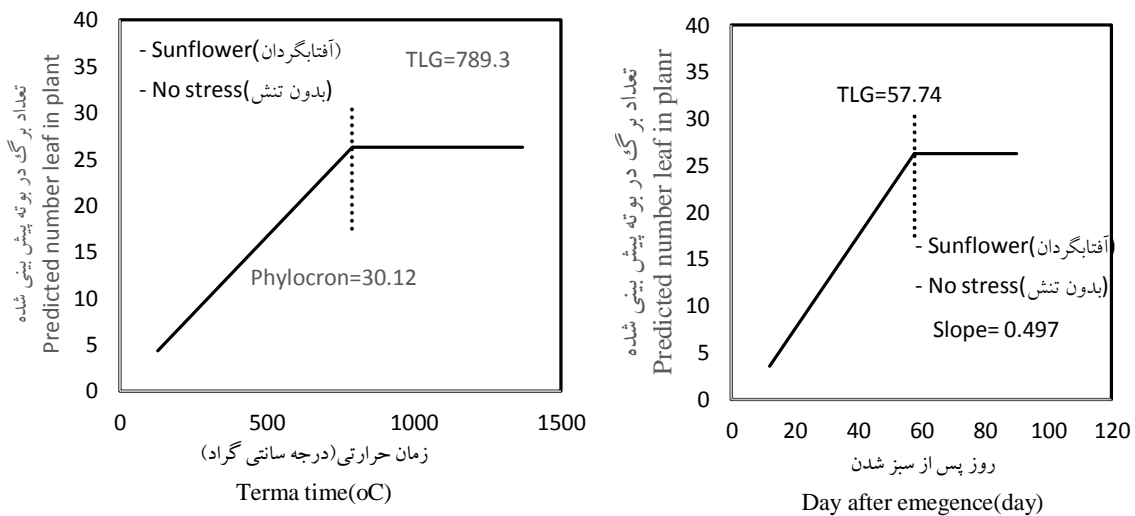
شکل ۴- تغییرات تعداد برگ پیش‌بینی شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی‌گراد) در ذرت در شرایط بدون تنش.

Figure 4- Predicted leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at : leaf growth ending ($^{\circ}\text{C}$) of corn without stress condition.



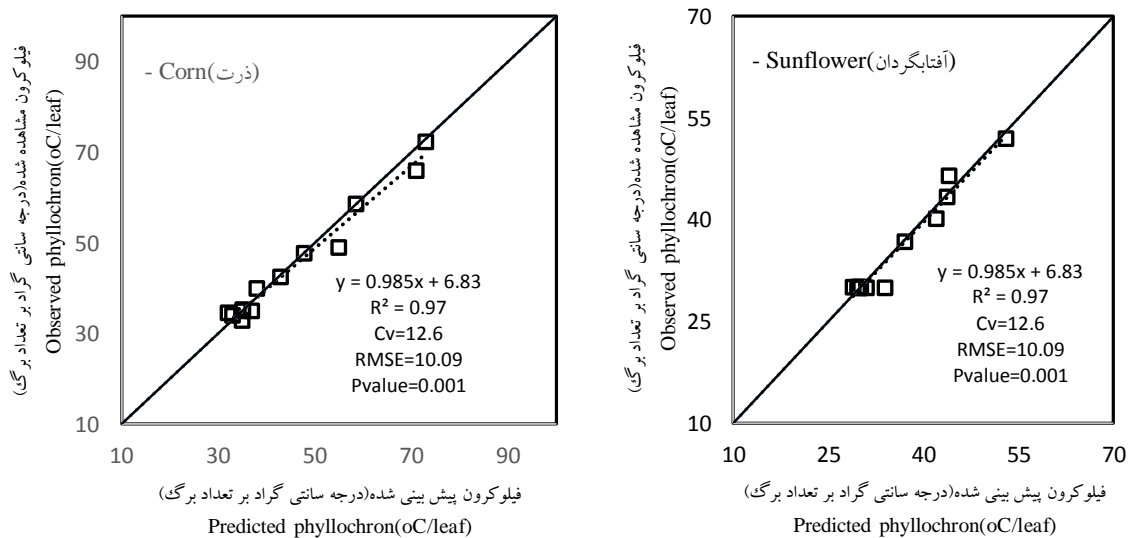
شکل ۵- تغییرات تعداد برگ مشاهده شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی‌گراد) در شرایط بدون تنش در آفتابگردان.

Figure 5- Observed leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at : leaf growth ending ($^{\circ}\text{C}$) of sunflower without stress condition.



شکل ۶- تغییرات تعداد برگ پیش‌بینی شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی‌گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی‌گراد)) در شرایط بدون تنش در آفتابگردان.

Figure 6- Predicted leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at : leaf growth ending ($^{\circ}\text{C}$) of sunflower without stress condition.



شکل ۷- برازش فیلوکرون مشاهده شده در برابر فیلوکرون پیش‌بینی شده در ذرت و آفتابگردان.

Figure 7- Observed and predicted phyllochron of corn and sunflower crops.

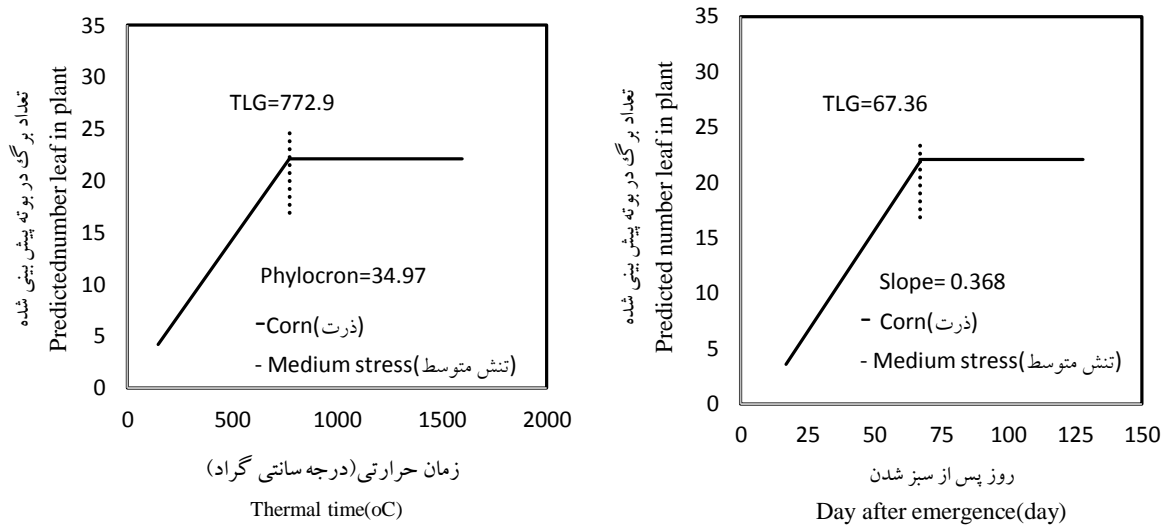
رگرسیون خطی موید نزدیکی داده‌های پیش‌بینی شده فیلوکرون به مقادیر مشاهده شده است. زمان پایان رشد برگ توسط مدل در شرایط بدون تنش در ذرت پس از ۶۹/۵۰ روز به دست آمد که با مقدار مشابه آن در مزرعه ۲/۸ روز اختلاف داشت. مقدار فیلوکرون پیش‌بینی شده ذرت توسط مدل فنولوژی نیز، ۳۴/۴۸

آزمون کارایی مدل برای صحت پیش‌بینی مقدار فیلوکرون برای هر دو گیاه ذرت و آفتابگردان نیز نشان داد که مدل از کارایی قابل قبولی در پیش‌بینی این پارامتر مهم گیاهی، برخوردار است (شکل ۷). نزدیکی داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده فیلوکرون، ضریب تبیین بالا و معنی دار بودن شیب

و در آفتابگردان (شکل ۸) از ۵۷/۷۴ روز پس از کشت به ۵۴/۱ روز پس از کشت تقلیل پیدا کرد. این نتایج نشان می‌دهد که بروز تنش با کاهش مقدار فیلوکرون سبب افزایش سرعت ظهور برگ، اتمام زودتر دوره رشد و ورود سریع‌تر به فاز گلدهی و در نهایت کوتاه‌تر شدن دوره رشد گیاه خواهد شد. با توجه به اثر تنش بر مقادیر فیلوکرون و شیب رگرسیون مدل دو تکه‌ای، آنچنان که انتظار می‌رفت مقادیر زمان تا پایان رشد برگ نیز متأثر از تنش بود. 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. بدیهی است برپایه این نتایج با توجه به کوتاه شدن زمان تا پایان رشد برگ، نتیجه آن کاهش سطح برگ و شاخص سطح برگ خواهد بود. بدین معنی که تنش با کاهش تقریبی فیلوکرون، سبب تسریع ظهور برگ خواهد شد و با توجه به مدت زمان کم لازم برای طی دوره رویشی این امر کاهش سطح برگ را در پی خواهد داشت. لذا میتوان چنین نتیجه گرفت که اثر تنش بیش‌تر روی سطح برگ اثر گذار بوده است. برآزش مقادیر فیلوکرون در طول دوره رشد برگ نیز نشان داد که مقدار فیلوکرون در طول دوره رشد برگ از یک روند نسبتاً ثابتی تبعیت می‌کند بدین معنی که در طی سبز شدن سرعت ظهور هر برگ نسبت به برگ‌های بعدی تقریباً یکسان است (شکل ۹).

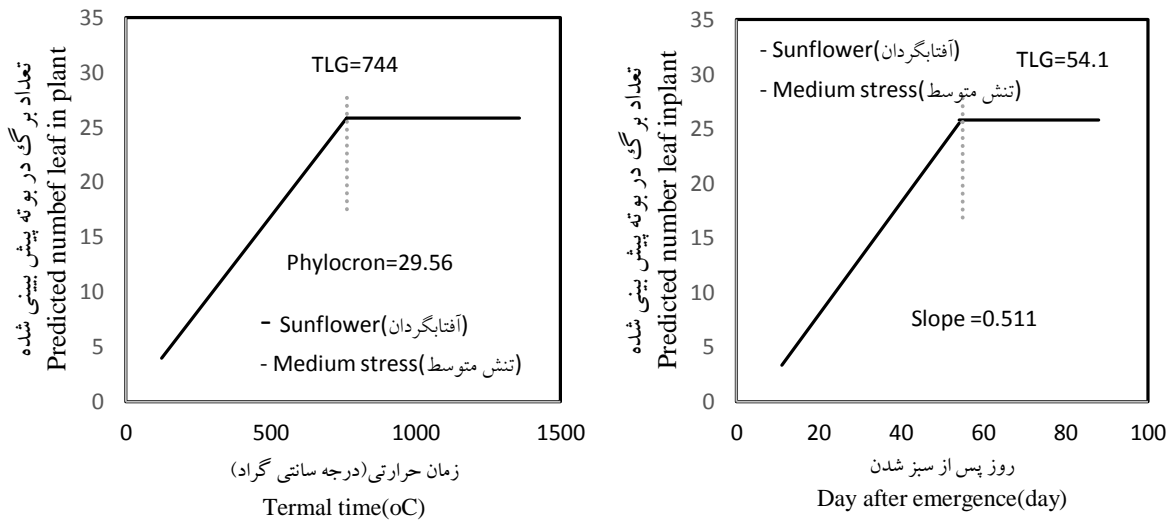
درجه روز بر برگ به‌دست آمد که با مقدار به‌دست آمده در مزرعه ۰/۵۹ درجه روز رشد تفاوت داشت. در آفتابگردان نیز فیلوکرون از ۳۰/۳۴ در مزرعه به ۳۰/۱۲ درجه روز رشد در حالت پیش‌بینی شده توسط مدل تغییر داشت. به بیان ساده‌تر ذرت و آفتابگردان براساس نتایج مدل به ترتیب پس از کسب ۷۷۵/۱ و ۷۸۹/۳ درجه روز رشد، یک برگ بر تعداد برگ‌های آن افزوده خواهد شد (شکل‌های ۳ الی ۶) و هرچه این زمان حرارتی زودتر کسب شود، ظهور برگ‌ها نیز سریع‌تر است و از همین رو است که دما موثرترین عامل محیطی بر ظهور برگ شناخته شده است.

با توجه به صحت نتایج مدل در پیش‌بینی تعداد برگ، زمان حرارتی، مقادیر فیلوکرون و زمان پایان رشد برگ، در گام بعدی با برآزش مدل دو تکه‌ای به داده‌های تعداد برگ و زمان حرارتی خروجی از مدل، به شیوه درون‌یابی، مقادیر فیلوکرون، زمان تا پایان رشد برگ و شیب رگرسیون در قسمت اول مدل دو تکه‌ای در شرایط تنش متوسط (۴۵-۳۵ درصد منافذ خاک از آب پر هستند) درون‌یابی شدند. برهمین پایه نتایج نشان داد که در سطح دوم تنش مدل (تنش متوسط)، مقدار فیلوکرون در هر دو گیاه افزایش پیدا کرد به‌طوری‌که در ذرت از ۳۵/۰۷ درجه روز رشد به ۳۴/۹۷ درجه روز رشد و در آفتابگردان از ۳۰/۱۲ به ۲۹/۵۶ درجه روز رشد کاهش پیدا کرد. بر همین اساس زمان تا پایان رشد برگ در ذرت (شکل ۷) از ۶۹/۵۰ روز پس از کشت به ۶۷/۳۶ روز پس از کشت



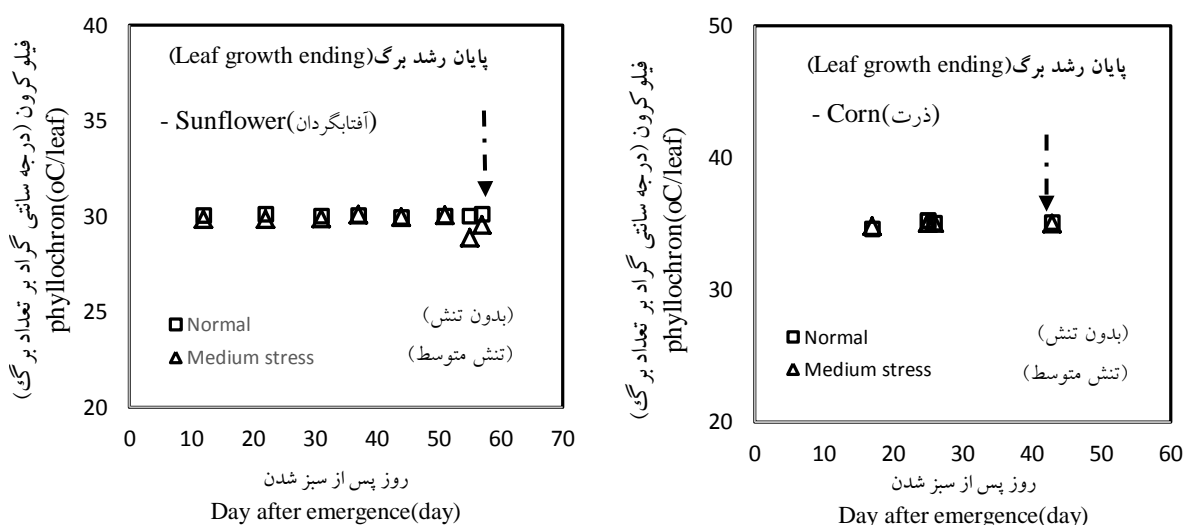
شکل ۷- تغییرات تعداد برگ مشاهده شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی گراد) در شرایط تنش متوسط در ذرت.

Figure 6- Observed leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at leaf growth ending(⁰C) of corn in medium stress condition.



شکل ۸- تغییرات تعداد برگ مشاهده شده در مقابل زمان حرارتی (درجه سانتی گراد) و روز پس از سبز شدن (TLG: زمان حرارتی در پایان رشد برگ (زمان حرارتی، درجه سانتی گراد) در شرایط تنش متوسط در آفتابگردان.

Figure 7- Observed leaf number against thermal time and day after emergence, TLG: Thermal time at leaf growth ending (⁰C) of sunflower in medium stress condition.

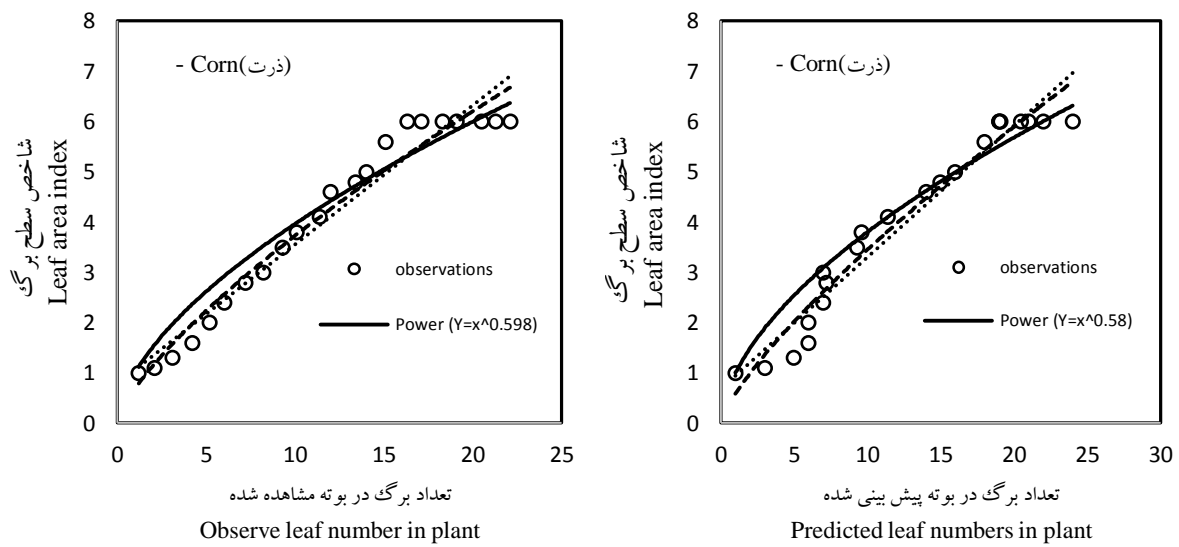


شکل ۹- تغییرات فیلوکرون در مقابل روز پس از سبز شدن در دو گیاه ذرت و آفتابگردان.

Figure 9- Phyllochron changes against day after emergence in corn and sunflower crops.

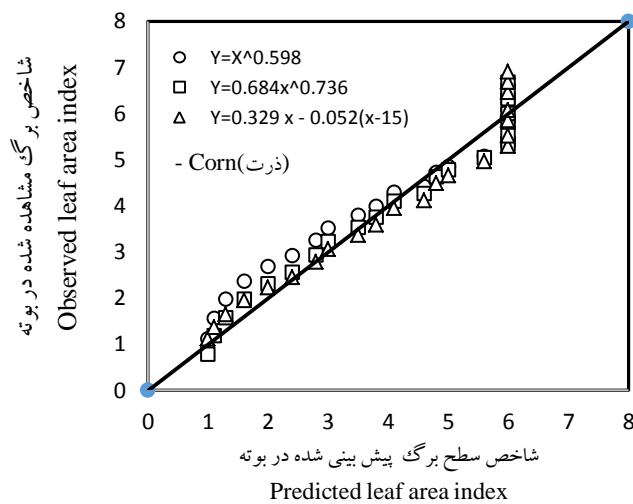
شرایط محیطی از طریق دما، طول روز، تنش کم آبی، عناصر غذایی، تاریخ کشت و حتی رقم بر مقدار فیلوکرون تأثیر دارند و ارتباط وسیعی بین تغییرات فیلوکرون با این عوامل مشاهده شده است (۱۰، ۱۴، ۲۰). با این وجود مطالعات اندکی در مورد تنش کم آبی گزارش شده است. کاتفورث و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که تنش شدید کم آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون در گندم آب شده است (۱۰). قلی نژاد (۲۰۱۴) نیز گزارش داد که تنش کم آبی سبب افزایش مقدار فیلوکرون و کاهش سرعت ظهور برگ در آفتابگردان شده است (۲۹). خلیلی اقدم (۲۰۱۹) نیز گزارش داد که بروز تنش سبب کاهش فیلوکرون و به تبع افزایش سرعت ظهور برگ و اتمام سریع‌تر رشد برگ می‌شود (۱۳).

اهمیت فیلوکرون و زمان تا پایان شد برگ تا اندازه‌ای است که با داشتن مقادیر این دو پارامتر و تعداد برگ در ساقه می‌توان از روی روابط آلومتریکی سطح برگ و نهایتاً ماده خشک تولیدی را محاسبه نمود (۳۷). مک مستر و همکاران (۱۹۹۲) نشان دادند که بین ۱۰ قم گندم زمستانه هیچ تفاوتی از نظر مقدار فیلوکرون وجود نداشته است (۲۵). تا جایی که مقدار فیلوکرون در مدل‌های DSSAT (۱۵) و APSIM (۱۶) برابر ۱۲۰ درجه روز به ازای هر برگ گزارش شده است. سید شریفی و ضعیفی‌زاده (۲۰۱۳) نیز مقدار فیلوکرون ذرت را به بین ۳-۴ روز بر برگ در تیمارهای مختلف گزارش کرده‌اند (۳۴). در این تحقیق نیز فیلوکرون ذرت و آفتابگردان در شرایط مزرعه به ترتیب ۳۵/۰۷ و ۳۰/۱۲ درجه روز رشد بر برگ به دست آمد. مطالعات بی‌شماری نشان داده‌اند که



شکل ۱۱- تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل تعداد برگ مشاهده شده و پیش‌بینی شده در ذرت با استفاده از سه مدل.

Figure 11- Changes of leaf number index against predicted and observed leaf number in corn using of three models.



شکل ۱۲- تغییرات شاخص سطح برگ مشاهده شده در مقابل شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده در بوته ذرت با استفاده از سه مدل.

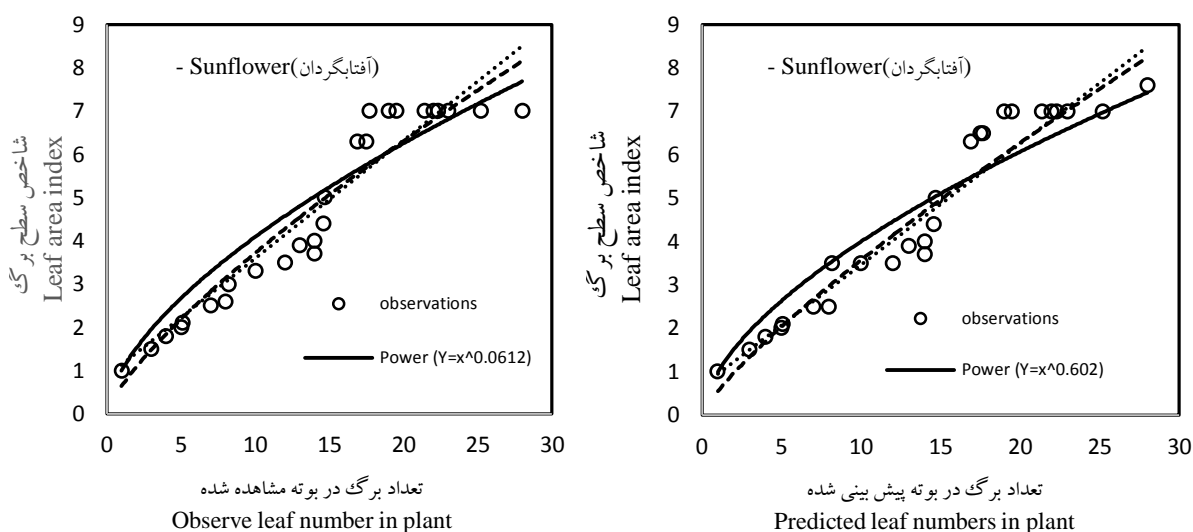
Figure 12- Changes of observed leaf area index against predicted leaf area index in corn using of three models.

در $1/01$ و ضریب a نیز $0/8 -$ و $0/07 -$ به‌دست آمد. در مدل دو تکه‌ای نیز مقدار x_0 برابر ۱۸ (شکل ۱۳). نتایج پیش‌بینی سطح برگ در هر دو گیاه با استفاده از دو رابطه توانی و یک رابطه دو تکه‌ای نیز نشان داد که هر سه مدل تقریباً با داشتن ضریب تبیین بالا، ضریب تغییرات پایین و ریشه میانگین مربعات خطای کم، از دقت مشابهی در پیش‌بینی سطح برگ برخوردار بود. گزینش بهترین مدل با استفاده از شاخص $AICc$

تغییرات شاخص سطح برگ مشاهده شده در مقابل تعداد برگ در بوته نیز در شکل نشان داده شده است. در آفتابگردان در برازش شاخص سطح برگ در برابر تعداد برگ در بوته مشاهده شده، مقدار ضریب b در معادلات توانی، $1/17$ و $1/02$ و ضریب a نیز $1 -$ و $0/2 -$ به‌دست آمد. در مدل دو تکه‌ای نیز مقدار x_0 برابر ۱۵ محاسبه شد. مقدار این ضرایب در ذرت نیز به‌صورت مقدار ضریب b در معادلات توانی، $1/16$ و

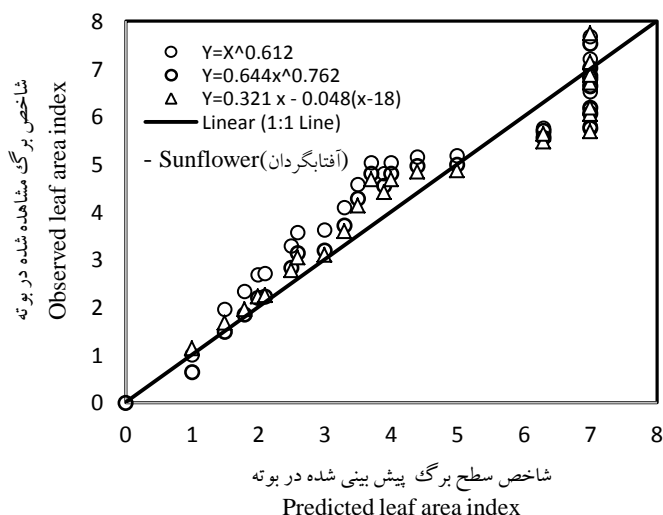
در هر سه مدل در هر دو گیاه، تفاوت معنی‌داری بین سه مدل در پیش‌بینی شاخص سطح برگ در روابط آلومتریک بین شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته وجود نداشت (جدول ۶). همچنین، مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سطح برگ در هر سه مدل به خوبی در اطراف خط یکی به یک پراکنده بودند (شکل‌های ۱۲ و ۱۴).

(آکائیک تصحیح شده) نیز نشان داد که مدل دو تکه‌ای با دارا بودن کم‌ترین مقدار شاخص AICc، بهترین مدل برای پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از داده‌های سطح برگ بود (AICc=۵۵/۴۴). از طرفی کوچک‌تر بودن مقدار Δ_i از مقدار ۱۰، حاکی از عدم اختلاف این مدل‌ها در برازش و پیش‌بینی سطح برگ بود اما با توجه به کوچک بودن شاخص AICc، از مقدار ۱۰



شکل ۱۳- تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل تعداد برگ مشاهده شده و پیش‌بینی شده در آفتابگردان با استفاده از سه مدل.

Figure 13- Changes of leaf number index against predicted and observed leaf number in sunflower using of three models.



شکل ۱۴- تغییرات شاخص سطح برگ مشاهده شده در مقابل شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده در بوته آفتابگردان با استفاده از سه مدل.

Figure 14- Changes of observed leaf area index against predicted leaf area index in sunflower using of three models.

جدول ۶- ضرائب برآزش رگرسیون مقادیر سطح برگ پیش‌بینی شده در برابر مقادیر مشاهده شده با استفاده از سه مدل غیر خطی.

Table 6- 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 (درصد) CV (%)	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تیین R^2	Pvalue	AICc	Δ_i
Sunflower								
$Y = x^b$	-1.01±0.38	1.17±0.074	14.29	0.65	0.91	0.001	-15.18	2.55
$Y = ax^b$	-0.2±0.319	1.02±0.602	13.74	0.63	0.92	0.001	-17.73	0.0
$Y = bx + a(x - x_0)$	-0.207±0.32	1.02±0.063	13.19	0.64	0.92	0.001	-11.34	6.39
Corn								
$Y = x^b$	-0.8±0.209	1.16±0.047	8.46	0.34	0.96	0.001	-6.07	3.44
$Y = ax^b$	-0.07± 0.187	1.01±0.042	8.69	0.35	0.97	0.001	-9.51	0.0
$Y = bx + a(x - x_0)$	-0.007±0.22	1.00±0.05	10.47	0.42	0.95	0.001	-8.26	1.25

واقع در راستای همین مسئله بود. نتایج این تحقیق با نتایج بخشنده و همکاران (۲۰۱۱) و مداح یزدی و همکاران (۲۰۰۸) روی گندم مطابقت داشت (۵، ۲۱). 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 (۳۰، ۳۶). 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 نمایی برای توصیف این تغییرات استفاده کردند (۳۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق به‌طور کلی نشان داد که ۱- مدل فنولوژی Phenology MMS به‌خوبی قادر به پیش‌بینی دوره‌های فنولوژی و تعداد برگ در ساقه آفتابگردان و ذرت است. لذا می‌توان از آن 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 حایز اهمیت هستند و نتایج نشان داد که مقادیر فیلوکرون و روز تا پایان رشد برگ به‌خوبی توسط داده‌های خروجی مدل فنولوژی قابل تخمین است. ۳- از

در برآزش 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 برآزش داده‌های سطح برگ مشاهده شده به تعداد برگ در بوته پیش‌بینی شده توسط مدل فنولوژی ضریب b تغییر چندانی پیدا نکرد. ضمن اینکه تغییرات مقدار ضریب a نیز کم بود و مقدار x_0 در آفتابگردان از ۱۸ به ۱۷/۵ و در ذرت از ۱۵ به ۱۸ در حالت پیش‌بینی شده تغییر 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 آلومتریک برای یک گیاه ویژه ثابت باشند، می‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی رشد گیاه استفاده کرد (۲۶). نتایج مطالعات همچنین نشان داده است که چنانچه اطلاعات کافی از مزرعه در دست نباشد، باید ضرائب روابط آلومتریک را نسبت به تراکم و گونه گیاهی تصحیح کرد (۳۷). انجام این تحقیق نیز در

اختلافی بین سه مدل در برآورد شاخص سطح برگ وجود ندارد.

آنجایی که اختلافات Δ_i در بین مدل‌ها کم‌تر از ۱۰ به دست آمد، این به منزله عدم اختلاف معنی‌دار بین مدل‌ها در برآورد شاخص سطح برگ است. بنابراین،

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: 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 and rice. Agro. 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. Agro. J. 78: 605-613.
4. Bakhshandeh, E., Ghadiryan., R. and Kamkar, B. 2010. A rapid and non-destructive method to determine the Leaflet, trifoliate and total leaf area of soybean. Asian Australian 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. CO₂ 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. Canadian 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. Khaliliaqdam, N. 2019. Prediction of phenology, phyllochron and leaf area of wheat, J. Plant Prod Res. 2: 26. 85-99
14. Jafari-Moghadam, M., Sharifabad, H.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.
15. 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 DSSA Tcropping system model. Eur J. Agron. 18: 235-265.
16. 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,

- amodel designed for farming systems simulation. *Eur J. Agron.* 18: 267-288.
17. Khaliliaqdam, N. 2014. Sensitivity analysis of thermal time to time steps in soybean. *Agric. Sci. Dev.* 3: 3. 88-92.
 18. Kirby, E.J.M. and Peny, M.W. 1987. Leaf emergence rates of wheat in a Mediterranean environment. *Aust J. Agric. Res.* 38: 455-464.
 19. 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.
 20. 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.
 21. Maddah-Yazdi, V., Soltani, A., Kamkar, B. and Zeinali, E. 2008. Comparative physiology of wheat and chickpea: leaves production and senescence. *J. Agric. Sci. and Natur. Resour.* 15: 36-44. (In Persian)
 22. McMaster, G.S. and Wilhelm, W.W. 1995. Accuracy of equations predicting the phyllochron of wheat. *Crop Sci.* 35: 30-36.
 23. McMaster, G.S. and Wilhelm, W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest Meteorol.* 87: 291-300.
 24. 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. *Comput Electron. Agric.* 77: 118-125.
 25. McMaster, G.S., Morgan, J.A. and Wilhelm, W.W. 1992. Simulating winter wheat spike development and growth. *Agric. Forest Meteorol.* 60: 193-220.
 26. Niklas, K.J. 1995. Plant height and the properties of some herbaceous stem. *Annals Bot.* 75: 133-142.
 27. Pengelly, B.C., Muchow, R.C. and Blamey, P.C. 1999. Predicting leaf area development in response to temperature in three tropical annual forage legumes. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 253-259.
 28. Petroczi, I. and Matuz, J. 2002. Seasonal study of tillering and phyllochron of winter wheat in field trials. *Proceedings of the 7th Hungarian congress on plant physiology.* S5-P13.
 29. Qolinejad, E. 2014. Effect of drought stress, density and nitrogen rates on morphological and quality traits of sunflower in uremia climate condition. *Res. crop EcoL.* 1: 3.41-58.
 30. 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)
 31. 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. *Bragan Campin.* 70: 4. 939-945.
 32. Ritchie, S.W., Hanway, J.J. and Benson, G.O. 1993. How a corn plant develops (SP-48). Iowa state university. Available in <http://www.estension.iastate.edu/hancock/info/corn.htm>.
 33. SAS. 2009. Statistical analysis system, Version: 9.2. Cary NC.
 34. Schneiter, A.A. and Miller, J.F. 1981. Description of sunflower growth stage. *Crop Sci.* 21: 901-903.
 35. Seyed Sharifi, R. and Zaefi zadeh, M. 2013. Effect of nitrogen fertilizer rate on yield, phyllochron and leaf emergence in three maize cultivars. *Iran Biol. J.* 2: 26. 196-207.
 36. 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)
 37. 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.
 38. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crops. Jahad Daneshgahi Press. 174 p. (In Persian)

39. 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.
40. 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.
41. Wilhelm, W.W. and McMaster, G.S. 1995. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop Sci.* 35: 1-3.
42. Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth of Cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.

