Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 48, No 2, Summer 2017 (557-566)
DOI: 10.22059/ijfcs.2017.131817.653939

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۶ (ص ۵۶۶-۵۵۷)

مدل شبیه‌سازی مرحله‌های نمو دو رقم گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بهاره با استفاده از دما و طول روز

علی سلیمانی*
دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/٦/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲)

چکیده

به‌منظور تعیین مدل‌های برآوردی و بررسی نقش طول روز و دما در تعیین طول دوره و سرعت نمو دو رگهٔ (لاین) گلرنگ در سه مرحله از سبز شدن تا رسیدگی، ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی و از تکمه‌دهی تا رسیدگی آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در اصفهان طراحی شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. تاریخ‌های کاشت در کرت اصلی و رگه‌ها در کرت‌های فرعی جای گرفتند. تاریخ‌های کاشت در سال۹۰ (۱۵ اردیبهشت، ۳۱ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۳۱ خرداد، ۱۵ تیر و ۳۱ تیر) و در سال ۹۱ عبارت بودند از (۱۵ اسفند،۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین، ۳۱ فروردین، ۱۵ اردیبهشت، ۳۱ اردیبهشت، ۱۵ خرداد، ۳۱ خرداد) و رگه‌های مورد بررسی، اصفهان-۱٤ و *IL111* بودند. نتایج نشان داد، با تأخیر در کاشت طول دورهٔ روز پس از سبز شدن تا رسیدگی در هر دو سال کاهش یافت. در مرحلهٔ سبز شدن تا رسیدگی برای هر دو رگه توان چهارم میانگین کمینهٔ دما مهم‌ترین توجیه‌کنندهٔ تغییرات طول دوره در این مرحله بود. در مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی، مهم‌ترین توجیه‌کنندهٔ تغییرات طول دوره در هر دو رگه مکعب طول روز بود. در مرحلهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی نیز در هر دو رگهٔ مکعب طول روز نقش مهمی داشت. دو رگهٔ گلرنگ در بیشتر موارد واکنش‌های یکسانی را به طول روز و فراسنجه (پارامتر)های گرمایی از خود نشان دادند. لذا متغیرهای دمایی به همراه طول روز بخش اعظم تغییرات مرحله‌های نموی مختلف را توجیه می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: دما، طول روز، گلرنگ بهاره، مرحله‌های نمو، شبیه‌سازی.

Simulation model of spring safflower by temperature and day length

Ali Soleymani*
Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan Iran
(Received: Sep. 13, 2015 - Accepted: Nov. 22, 2016)

ABSTRACT

In order to estimating model and considering day length and temperature development stages the growth period and plant development rate and role of factors and equations to estimate development stages, an experiment was conducted in two years, 2011 and 2012 in Isfahan. A split plot layout with randomized complete block design with 3 replications was used. The planting dates in 2011 were 5th May, 21th May, 5th Jun, 21th Jun, 5th July, 21th July, and in 2012 were 5th Mar, 21th Mar, 5th Apr, 21th Apr, 5th May, 21th May, 5th Jun and 21th Jun. Isfahan-14 and IL111 were used, which were late maturity and early maturity, respectively. Meteorological data in two years included daily maximum, minimum and mean temperatures and the mean of each temperature variable considered for period length. The results showed that duration of all three development stages were reduced as planting was delayed. From emerging to maturity in two cultivars, mean temperature explained the most part of variation. From emerging to 10 percentage of flowering DL^3 and from segmented stage to maturity, DL^3 explained most part of variation for two cultivars. It can be concluded that lines showed the same reactions to day length and variables, and day length play an important role on changes of development stages, but the rate of these factors were different.

Keywords: Development stage, simulation, spring safflower, temperature.

* Corresponding author E-mail: a_soleymani444@yahoo.com

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه‌های روغنی است که در نواحی خشک کشت شده و افزون بر صنایع روغن‌کشی به‌عنوان ادویه و غذای پرندگان نیز کاربرد دارد (Koutroubas & Papkosta, 2005). این گیاه از شرق مدیترانه منشأ گرفته اما در مناطق معتدل نیز عملکرد مناسبی دارد (Reinbrecht *et al*., 2005).

در هر منطقهٔ اقلیمی نیز تاریخ کاشت تعیین‌کنندهٔ چگونگی سازگاری مرحله‌های نمو با دماها و طول روزهای متفاوت در طی فصل رشد است و نقش دما در تعیین طول روز نمو بیشتر رقم‌های گلرنگ بیش از طول روز است (Estilai & Knowles, 1995).

مرحله‌های نمو گلرنگ شامل سبز شدن، روزت، به ساقه رفتن، شاخه‌دهی، گلدهی و رسیدگی است (Hans-Henming *et al*., 1988). طول هرکدام از این مرحله‌ها بسته به عامل‌های مختلفی همچون دما، طول روز، نوع و میزان عنصرهای غذایی در دسترس، رطوبت خاک، تراکم بوته، تاریخ کاشت و عامل‌های ژنتیکی تغییر می‌کند (Koutroubas *et al*., 2009). در بررسی طول دورهٔ کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک گیاه گلرنگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. طول این دوره با تأخیر کاشت از ۲۱ اسفند تا کاشت سوم ۲۰ اردیبهشت کاهش یافت. طول دورهٔ وردمانی (روزت) در کشت‌های پاییزه بیش از کشت‌های بهاره است (Dadashi & Khagepour, 2003).

نتایج بررسی Cholaky *et al*. (1993) گویای آن است که با تأخیر در کاشت و افزایش دمای هوا، فاصلهٔ زمانی ظهور نخستین گل تا رسیدگی دانه کاهش می‌یابد. دما نیز از جمله عامل‌های اقلیمی بوده که عامل‌های زیادی بر تغییرات زمان و مکانی آن اثرگذار است (Delpozo *et al*., 1997). در نتایج پژوهشی نیز گزارش شد، نقش دما و طول روز بر طول دورهٔ کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک همروند است (Dadashi & Khagepour, 2003). تأخیر در کاشت گلرنگ بهاره سبب برخورد دورهٔ پر شدن و رسیدگی دانه با دماهای کمتر از حد بهینهٔ (مطلوب) آخر فصل رشد و در نتیجه درصد روغن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Singh *et al*., 2016; Mundel *et al*., 1994).

آگاهی از نقش دما و طول روز بر رشد و نمو می‌تواند در مدیریت‌های زراعی و اصلاح گیاهان استفاده شده و اطلاعات پایه‌ای و ضروری برای پیشگویی مرحله‌های نمو را فراهم آورد (Sedding *et al*., 1990). پیشگویی مرحله‌های مختلف نمو و استفاده از مدل‌های برآورد عملکرد که در آن‌ها از عامل‌های اقلیمی استفاده می‌شود، اهمیت شایانی دارد (Bouman & Vanler, 2005). توانایی پیشگویی مرحله‌های نمو، کاربردهای چندی از جمله انجام به‌هنگام عملیات زراعی مختلف در سازگاری با مرحله‌های نمو خاص برای دستیابی به بیشترین بازدهٔ نهاده‌های زراعی، طراحی الگوهای کاشت، تناوب، تقویم زراعی و ... است. در این تحقیق از روش رگرسیون مرحله‌ای مهم‌ترین فراسنجه (پارامتر)ها اعم از فراسنجه‌های دمایی و طول روز در مرحله‌های مختلف نمو شناسایی و ارزیابی دقیق شد و مرحله‌های مختلف رشد به‌طور جداگانه با توجه به اهمیت نقش دما و طول روز بررسی شدند. لذا هدف از این بررسی شبیه‌سازی مرحله‌های نمو دو رقم گلرنگ بهاره با استفاده از دما و طول روز است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی نقش طول روز و دما در تعیین طول دوره و سرعت نمو گیاه و تعیین ضریب‌های معادله‌های مربوطه برای برآورد مرحله‌های نمو روی دو رگهٔ گلرنگ در سه مرحله از سبز شدن تا رسیدگی، ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی و از تکمه‌دهی تا رسیدگی، آزمایشی در دو سال زراعی ۹۰ و ۹۱ در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان اجرا شد. برای ایجاد تنوع در طول روز و دما در فرآیند مرحله‌های مختلف نمو گلرنگ از تاریخ‌های کاشت مختلف استفاده شد. ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان و در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقهٔ شرقی واقع شده است. خاک محل آزمایش بافت رسی سیلتی از سری خاک‌های اصفهان دارد. میانگین اسیدیتهٔ خاک در عمق ۰ تا ۳۰

سانتی‌متری حدود ۷/۸، هدایت الکتریکی آن در حدود ۲/۵ میلی‌موس بر سانتی‌متر بود. در این آزمایش تاریخ‌های کاشت در کرت‌های اصلی و رگه (لاین)های گلرنگ در کرت‌های فرعی قرار داشتند. تاریخ‌های کاشت سال ۱۳۹۰ در ۶ سطح شامل: اول (۱۵ اردیبهشت)، دوم (۳۱ اردیبهشت)، سوم (۱۵ خرداد)، چهارم (۳۱ خرداد)، پنجم (۱۵ تیر) و ششم (۳۱ تیر) بود، و تاریخ‌های کاشت سال ۱۳۹۱ در ۸ سطح شامل: اول (۱۵ اسفند)، دوم (۳۰ اسفند)، سوم (۱۵ فروردین)، چهارم (۳۰ فروردین)، پنجم (۱۵ اردیبهشت)، ششم (۳۰ اردیبهشت)، هفتم (۱۵ خرداد) و هشتم (۳۰ خرداد) بودند. رگه‌های مورد استفاده در این آزمایش عبارت بودند از دو رگهٔ گلرنگ با نام‌های اصفهان-۱۴ و *IL111* که از لحاظ سپری کردن مرحله‌های نمو به‌کلی با یکدیگر متفاوت بودند. زمین محل آزمایش در سال پیش آیش بوده و عملیات تهیهٔ بستر به ترتیب شامل شخم عمق پاییزه، دیسک بهاره، پاشیدن امولسیون ۴۸درصد ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار و کوددهی بر پایهٔ نیاز غذایی گلرنگ (آزمون خاک) انجام گرفت. روش کاشت به‌صورت دستی بود و میزان ۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار کاشته شد. عملیات تنک پیش از مرحلهٔ ساقه‌دهی صورت گرفت، فاصلهٔ دو بوته روی یک ردیف ۵ سانتی‌متر و بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر و تراکم نهایی ۴۰۰۰۰۰ بوته در هکتار بود. نخستین آبیاری پس از کاشت به‌طور سبک و یکنواخت انجام شده و آبیاری‌های بعدی هر ۱۵ روز یک‌بار طوری تنظیم شدند که گیاهان در شرایط تنش آبی قرار نگیرند. برای مبارزه با مگس گلرنگ از سم دیازیتون به غلظت ۱/۵ در هزار استفاده شد. برای نمونه‌برداری پس از حذف خطوط ۱ و ۴ و ۰/۵ متر از آغاز هر کرت قسمت باقیماندهٔ جامعهٔ آماری آزمایش تشکیل و مرحله‌های نمو بررسی شد. معیاری که بر پایهٔ آن رخداد هر مرحلهٔ نموی ثبت شد بر پایهٔ روش Dadashi & Khagepour (2003) بود که مرحله‌های نمو شامل: الف) مرحلهٔ سبز شدن: خروج لپه‌ها در ۹۰ درصد بذرهای کاشته شده از خاک، ب) مرحلهٔ تکمه‌دهی: تشکیل جوانهٔ زایشی به‌صورت تکمه‌ای به قطر ۱ سانتی‌متر در انتهای ساقهٔ اصلی ۵۰ درصد از بوته‌ها، پ) مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی: آغاز گرده‌افشانی در گل‌آذین‌های انتهایی ساقهٔ اصلی در ۵۰ درصد بوته‌ها، ت) مرحلهٔ رسیدگی: قهوه‌ای شدن ۹۰ درصد طبق‌ها، بود. طول هر دورهٔ نموی با استفاده از تفاضل تاریخ آغاز هر مرحلهٔ نموی تا تاریخ پایان آن برای هر رگه در هر آزمایش بر پایهٔ روز محاسبه شد. داده‌های هواشناسی از آمار ایستگاه هواشناسی کبوترآباد اصفهان به دست آمد که شامل بیشینه، کمینه و میانگین روزانهٔ دما بود. طول روز با استفاده از روش Keisling (1982) در فاصلهٔ دو شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی‌متر مربع در دقیقه (پیش از طلوع و پس از غروب خورشید) با وارد کردن عرض جغرافیایی ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد برحسب ساعت تا چهار رقم اعشار به دست آمد. با استفاده از وارد کردن اعداد در برنامهٔ *Excel*، میانگین بیشینه‌ها، کمینه‌ها، میانگین دمای شبانه‌روز و میانگین طول روز در دو سال متوالی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به دست آمد. عکس طول هر مرحله از نمو (1/n) به‌عنوان میانگین سرعت نمو در فرآیند آن مرحله محاسبه شد. طول هر مرحلهٔ نموی و سرعت آن به‌عنوان متغیر تابع و فراسنجه‌های دمایی و طول روز به‌عنوان متغیر مستقل در رگرسیون مرحله‌ای برنامه‌ای کامپیوتر *SAS* استفاده شدند. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای مرحلهٔ کاشت تا سبز شدن شامل میانگین کمینه‌ها (*Tmin*)، میانگین بیشینه‌ها (*Tmax*)، میانگین‌های دمای شبانه‌روز (Tmean)، تفاضل میانگین بیشینه‌ها از کمینه‌ها (*Tmax-Tmin*) و نیز مجذور و مکعب متغیرهای دمایی بالا بودند. برای دیگر مرحله‌های نمو، افزون بر متغیرهای بالا، میانگین مربع و مکعب طول روز از طول دورهٔ نمو مورد نظر و نیز حاصل‌ضرب متغیرهای دمایی با متغیرهای طول روز در معادله‌های رگرسیون مرحله‌ای منظور شدند. مرحله‌ای از رگرسیون به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد که دارای بالاترین ضریب تشخیص (R^2) و ضریب رگرسیون معنی‌دار بوده است.

نتایج و بحث

سبز شدن تا رسیدگی

طول دوره از سبز شدن تا رسیدگی در دو رگهٔ مورد

بررسی طی سال‌های آزمایش از ۸۲ تا ۱۰۲ روز متغیر و میانگین آن ۹۰/۴ روز بود. بیشترین طول دوره در تاریخ کاشت سوم (۱/۱۵) در سال ۹۱ و کمینهٔ آن در تاریخ کاشت دوم (۱۲/۳۰) در سال ۹۰ بود (جدول ۱). به‌طورکلی می‌توان بیان داشت که در شرایطی که دما و طول روز با هم افزایش یافته‌اند، کمترین طول دوره به دست آمد، زیرا این دو عامل باعث کاهش شدید طول دوره در مرحله‌های مختلف نمو گیاه به‌ویژه دوران گلدهی می‌شود. همبستگی منفی و معنی‌دار بین متغیرهای دمایی و طول دوره و همبستگی منفی بین طول روز با این نتیجه‌گیری هماهنگی دارد (جدول ۲). درحالی‌که در نتایج یک بررسی گزارش شد، نقش دما و طول روز بر طول دوره از سبز شدن تا رسیدگی هم‌راستا است (Dadashi & Khagepour, 2003).

جدول ۱. میانگین تکرارها بر پایهٔ طول دوره، دما و طول روز پس از سبز شدن تا رسیدگی در گلرنگ به تفکیک سال و تاریخ کاشت

Table 1. Average of period length, temperature and day length from emergence to maturity in Safflower by year and planting date

Planting date	Period length (Day)	Temperature (C^o)	Day length (Hours)
2011			
5 May	88	25.40	14.31
21 May	82	26.76	14.26
5 June	88	27.15	13.98
21 June	83	26.95	13.72
6 July	92	24.67	13.19
22 July	97	27.89	12.70
2012			
5 March	96	18.21	13.75
20 March	97	20.97	14.04
3 April	102	23.52	14.20
18 April	94	24.41	14.29
4 May	93	25.82	14.28
20 May	83	26.83	14.26
4 June	88	27.44	13.96
20 June	83	27.28	13.74

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت نمو در رگهٔ اصفهان-۱۴ نشان داد، نخستین متغیر واردشده به مدل طول دوره از سبز شدن تا رسیدگی توان چهارم میانگین کمینهٔ دما بود که به‌تنهایی چیزی در حدود ۶۵/۹ درصد از تغییر طول دوره را در این مرحله توجیه کرد. دومین متغیر واردشده به مدل طول دورهٔ حاصل‌ضرب طول روز در میانگین دمای بیشینه بود که در حضور متغیر پیشین در مدل در حدود ۷۲/۵ درصد از تغییرات را توجیه کرد (جدول ۳). در رگهٔ اصفهان-۱۴ نشان داد که نخستین متغیر واردشده به مدل طول دوره از سبز شدن تا رسیدگی توان چهارم میانگین کمینهٔ دما بود که به‌تنهایی چیزی در حدود ۶۶/۵ درصد از تغییرات طول دوره را در این محله توجیه کرد. دومین متغیر واردشده به مدل طول دورهٔ حاصل‌ضرب طول روز در میانگین دمای بیشینه بود که در حضور متغیر پیشین در مدل در حدود ۷۳ درصد از تغییرات را توجیه کرد (جدول ۳).

جدول ۲. ضریب همبستگی در دوران سبز شدن تا رسیدگی در دو رگهٔ گلرنگ و در هر رگه به‌صورت جداگانه

Table 2. Correlation coefficients from emergence to maturity in two safflower lines and each line individually

	Day and night temperature			
	Average maximum	Average minimum	Average	Day length
		Total lines		
Tmin	0.972**			
Tmean	0.994**	0.992**		
Day length	0.134	0.352	0.238	
Period length	-0.699**	-0.722**	-0.715**	-0.192
		Isfahan-14 line		
Tmin	0.971**			
Tmean	0.994**	0.992**		
Day length	0.125	0.351	0.233	
Period length	-0.726**	-0.741**	-0.739**	-0.174
		IL111 line		
Tmin	0.974**			
Tmean	0.994**	0.993**		
Day length	0.143	0.354	0.243	
Period length	-0.721**	-0.750**	-0.739**	-0.207

** نشانگر معنی‌دار بودن همبستگی بین متغیرها در سطح احتمال ۱ درصد هستند.

** Significant at 1% probability level.

جدول ۳. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ سبز شدن تا رسیدگی در رگهٔ گلرنگ اصفهان-۱۴

Table 3. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of emergence to maturity in Isfahan-14 safflower line

Input variable[1]	Model R^2	Partial R^2	Regression coefficient
	Period length		
Intercept	-	-	49.7065
Tmin[4]	0.665**	0.665	$-3*10^{-5}$
DL × Tmax	0.735**	0.070	0.1356
	Development rate		
Intercept	-	-	0.0156
Tmin[4]	0.659**	0.659	$4*10^{-8}$
DL × Tmax	0.725**	0.065	$-15*10^{-6}$

۱. Tmax، Tmin و DL به‌ترتیب میانگین بیشینه‌ها، کمینه‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

**: نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۱ درصد است.

1. Tmax, Tmin and DL are average of maximum temperatures, average of minimum temperatures and day length, respectively.

** Significant at 1% probability level.

در رگهٔ *IL111* مشخص شد که متغیرهای واردشده به مدل همان متغیرهای واردشده برای رگهٔ اصفهان-۱۴ بودند، با این تفاوت که ضریب تشخیص مدل بالاتری داشت. نخستین متغیر واردشده به مدل توان چهارم میانگین دمای کمینه بود که به‌تنهایی ۷۱ درصد از تغییرات طول دوره را توجیه کرد و دومین متغیر واردشده به مدل حاصل‌ضرب طول دوره در میانگین دمای بیشینه بود که در حضور متغیر پیشین در مدل چیزی در حدود ۸۰ درصد از تغییرات را توجیه کرد (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ سبز شدن تا رسیدگی در رگهٔ گلرنگ *IL111*

Table 4. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of emergence to maturity in IL111 safflower line

Input variable[1]	Model R^2	Partial R^2	Regression coefficient
	Period length		
Intercept	-	-	44.7113
$Tmin^4$	0.712^{**}	0.7112	$-37*10^{-5}$
DL × Tmax	0.802^{**}	0.090	0.1418
	Development rate		
Intercept	-	-	0.0169
$Tmin^4$	0.719^{**}	0.719	$5*10^{-8}$
DL × Tmax	0.812^{**}	0.093	$-17*10^{-6}$

۱. Tmax، Tmin و DL به‌ترتیب میانگین بیشینه‌ها، کمینه‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

**: نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۱ درصد است.

1. Tmax, Tmin and DL are average of maximum temperatures, average of minimum temperatures and day length, respectively.

** Significant at 1% probability level.

۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی

طول دوره از ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در دو رگهٔ مورد بررسی طی دو سال اجرای آزمایش از ۱۰ تا ۴۰ روز متغیر و میانگین آن ۲۹/۵ روز بود. میانگین تکرارها بر پایهٔ طول دوره، دما و طول روز از ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در دو رگهٔ مورد بررسی به تفکیک سال و تاریخ کاشت در جدول ۸ ارائه شده است. بیشترین طول دوره در این مرحله مربوط به تاریخ کاشت پنجم (۴/۱۵) در سال ۹۰ و کمینهٔ آن مربوط به تاریخ کاشت اول (۱۲/۱۵) در سال ۹۱ بود (جدول۵). از یک دیدگاه کلی می‌توان بیان داشت که در هر دو سال آزمایش با تأخیر در کاشت طول دوره از ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی افزایش یافته، زیرا با تأخیر در کاشت در هر دو سال دما و طول روز کاهش می‌یابد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین طول دوره با متغیرهای دمایی (میانگین بیشینه‌ها و متوسط میانگین‌ها) و طول روز با نتیجه‌گیری بالا هماهنگی دارد، بالاترین همبستگی منفی و معنی‌دار بین طول دوره و طول روز وجود داشته است که نشانگر اهمیت طول روز در این مرحله است (جدول ۶). کاهش طول دورهٔ زایشی ناشی از تأخیر کاشت و به همراه آن تغییرات دما و طول روز در بررسی‌های دیگر در مورد سویا نیز گزارش شده است (Wilcox & Frankenberge, 1987; Johnston *et al*., 2002; Weiss, 2000).

جدول ۵. میانگین تکرارها بر پایهٔ طول دوره، دما و طول روز از ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در دو رگهٔ گلرنگ به تفکیک سال و تاریخ کاشت

Table 5. Average of period length, temperature and day length from ten percent of flowering to maturity in Safflower by year and planting date

Planting date	Period length (Day)	Temperature (C^o)	Day length (Hours)
2011			
5 May	30	27.38	14.10
21 May	29	28.39	13.88
5 June	34	27.07	13.38
21 June	29	25.05	12.99
6 July	39	21.16	11.90
22 July	37	17.34	11.74
2012			
5 March	11	26.10	14.55
20 March	18	28.83	14.50
3 April	28	29.72	14.34
18 April	31	29.31	14.25
4 May	34	28.70	14.04
20 May	30	27.52	13.89
4 June	34	26.02	13.35
20 June	30	24.93	13.02

نتایج رگرسیون مرحله‌ای نشان می‌دهد که مکعب میانگین دمای بیشینهٔ نخستین متغیر ورودی به مدل که به‌تنهایی ۸۱/۷ درصد از تغییرات این دوره را توجیه کرد. تفاضل میانگین دمای بیشینه از کمینهٔ دومین متغیر واردشده به مدل بود که به‌تنهایی ۳/۳ درصد و به همراه دیگر متغیرهای پیشین ۸۵ درصد از تغییرات این دوره را توجیه کرد. میانگین دمای بیشینه دومین متغیر واردشده به مدل بود که به‌تنهایی حدود ۰/۸ درصد از تغییرات را

توجیه کرد. چهارمین متغیر واردشده به مدل حاصل‌ضرب مربع طول روز در مربع متوسط میانگین‌ها بود که به‌تنهایی ۱ درصد از تغییرات و به همراه دیگر متغیرها ۸۷ درصد از تغییرات طول دوره را در این مرحله توجیه کرد (جدول ۷). مکعب طول روز نخستین متغیر واردشده به مدل بود که به‌تنهایی چیزی در حدود ۲۷ درصد از تغییرات سرعت نمو را توجیه کرد و دومین متغیر واردشده به مدل مربع میانگین دمای بیشینه بود که به‌تنهایی حدود ۵۵ درصد از تغییرات را در حضور متغیرهای پیشین توجیه کرد، سومین متغیر واردشده به مدل سرعت نمو حاصل‌ضرب مربع طول روز در مربع متوسط میانگین‌ها بود که ۷ درصد از تغییرات سرعت نمو را در حضور متغیرهای پیشین توجیه کرد و کل ضریب تشخیص مدل را به حدود ۹۰درصد رسانید (جدول ۷).

جدول ۶. ضریب همبستگی در دوران ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در دو رگهٔ گلرنگ و در هر رگهٔ جداگانه

Table 6. Correlation coefficients from ten percent of flowering to maturity in two safflower lines and each line individually

	Day and night temperature			
	Average maximum	Average minimum	Average	Day length
		Total lines		
Tmin	0.964**			
Tmean	0.990**	0.992**		
Day length	0.854**	0.891**	0.901**	
Period length	-0.461*	-0.337	-0.397*	-0.672**
		Isfahan-14 line		
Tmin	0.963**			
Tmean	0.989**	0.992**		
Day length	0.930**	0.994**	0.935**	
Period length	-0.517	-0.399	-0.458	-0.689**
		IL111 line		
Tmin	0.966**			
Tmean	0.990**	0.993**		
Day length	0.858**	0.857**	0.865**	
Period length	-0.400	-0.270	-0.332	-0.665**

* و ** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن همبستگی بین متغیرها در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

* and ** Significant at 5 and 1% probability levels respectively.

نتایج به‌دست‌آمده از رگرسیون مرحله‌ای چند متغیره برای برآورد طول دوره از ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی برای رگهٔ اصفهان-۱۴ نشان‌دهندهٔ این است که نخستین متغیر واردشده به مدل مکعب طول روز بود که به‌تنهایی ۵۰ درصد از تغییرات را توجیه کرد و متغیرهای بعدی واردشده به مدل طول دوره به ترتیب مربع میانگین دمای کمینه و توان چهارم متوسط میانگین‌ها بود که در حضور متغیرهای پیشین هرکدام ۳۶ درصد و ۱/۴ درصد از تغییرات طول دوره را برای رگهٔ اصفهان-۱۴ توجیه کردند و ضریب تشخیص کل مدل را به حدود ۸۸/۴ درصد رسانید (جدول ۸). همچنین نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ رگرسیون چند متغیره برای برآورد طول دوره از درصد گلدهی تا رسیدگی *IL111* نشان داد که در رگهٔ *IL111* هم نخستین متغیر واردشده به مدل طول دورهٔ مکعب طول روز بود که به‌تنهایی در حدود ۴۵/۹ درصد از تغییرات را توجیه کرد و متغیرهای بعدی واردشده به مدل به ترتیب مربع میانگین دمای کمینه، مکعب تفاضل دمای بیشینه از کمینه و حاصل‌ضرب مربع طول روز در مربع میانگین دمای کمینه بود که ۳۹، ۵/۸ و ۰/۸ درصد از تغییرات طول دوره را در حضور متغیرهای پیشین در مدل توجیه کردند و ضریب تشخیص کل مدل را به ۹۲/۲ درصد رسانید (جدول۸).

جدول ۷. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در رگهٔ گلرنگ اصفهان-۱۴

Table 7. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of ten percent of flowering to maturity in Isfahan-14 safflower line

Input variable[1]	Model R^2		Partial R^2	Regression coefficient
		Period length		
Intercept	-		-	17.3450
Tmax[3]	0.817**		0.817	0.0077
Tmax-Tmin	0.851**		0.033	-1.4120
Tmax	0.86**		0.008	2.5825
$DL^2 \times Tmean^2$	0.870**		0.010	-7×10^{-4}
		Development rate		
Intercept	-		-	-0.0246
DL^3	0.277**		0.277	-16×10^{-6}
$Tmax^2$	0.832**		0.555	-55×10^{-5}
$DL^2\times Tmean^2$	0.904**		0.072	15×10^{-7}

۱. Tmax، Tmin و DL به‌ترتیب میانگین بیشینه‌ها، کمینه‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

**: نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۱ درصد است.

1. Tmax, Tmin and DL are average of maximum temperatures, average of minimum temperatures and day length, respectively.

** Significant at 1% probability level.

جدول ۸. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی در رگهٔ گلرنگ *IL111*

Table 8. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of ten percent of flowering to maturity in IL111 safflower line

Input variable[1]	Model R^2		Partial R^2	Regression coefficient
		Period length		
Intercept	-		-	79.9366
DL^3	0.459^{**}		0.459	-0.0104
$Tmin^2$	0.855^{**}		0.396	-0.0096
$T(max-min)^3$	0.914^{**}		0.058	-0.0021
$DL^2 \times Tmin^2$	0.922^{*}		0.008	-99×10^{-5}
		Development rate		
Intercept	-		-	1.2631
DL^3	0.276^{**}		0.276	-78×10^{-5}
$DL^2 \times Tmin^2$	0.931^{**}		0.655	-85×10^{-6}
$T(max-min)^3$	0.962^{**}		0.031	16×10^{-5}
$Tmin^4$	0.977^{**}		0.014	45×10^{-7}
$Tmean^4$	0.979^{*}		0.002	-2×10^{-7}
$DL^2 \times Tmax^2$	0.990^{**}		0.010	-24×10^{-6}
DL	0.992^{**}		0.001	0.1886
$DL^2 \times Tmean^2$	0.994^{**}		0.001	94×10^{-6}
T(max-min)	0.997^{**}		0.0005	-0.1762
$Tmax^3$	0.998^{**}		0.001	-37×10^{-6}

۱. Tmax، Tmin، Tmean و DL به‌ترتیب میانگین بیشینه‌ها، میانگین کمینه‌ها و متوسط میانگین‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

* و ** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

1. Tmax, Tmin, Tmean and DL are average of maximum temperatures, average of minimum temperatures, mean of average and average of day and night temperatures and day length, respectively.

*, **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

تکمه‌دهی تا رسیدگی

طول دوره از تکمه‌دهی تا رسیدگی دو رگهٔ مورد بررسی طی دو سال اجرای آزمایش از ۲۷ تا ۶۱ روز متغیر بوده و میانگین آن ۴۳/۷ روز است (جدول ۹). بیشترین طول دوره در این مرحله مربوط به تاریخ کاشت ششم در سال ۹۰ و کمینهٔ آن مربوط به تاریخ کاشت اول در سال ۹۱ بود. در هر دو سال آزمایش با تأخیر در کاشت، طول دورهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی افزایش یافته، زیرا با تأخیر در کاشت طول روز و دما از یک روند کاهشی تا حدودی یکسان پیروی کرده که بررسی جداگانهٔ آن‌ها کار دشواری بوده و تنها می‌توان به روند آن اشاره داشت. بالاترین همبستگی بین طول دوره با طول روز وجود داشته که نشانگر نقش مهم و اثرگذار طول روز در این مرحله است (جدول ۱۰)، در بررسی‌های دیگری نیز به کاهش طول دورهٔ زایشی در اثر تأخیر در کاشت اشاره شده است که با نتایج آزمایش این بررسی هماهنگی دارد (Mundel *et al.*, 1994; Tomar, 1995). نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای چند متغیره برای طول دوره از تکمه‌دهی تا رسیدگی برای رگهٔ اصفهان-۱۴ نشان می‌دهد، نخستین متغیر واردشده به مدل مکعب طول روز بوده که به‌تنهایی حدود ۶۷/۱ درصد از تغییرات را توجیه کرد (جدول ۱۱). در *IL111*، نخستین متغیر واردشده به مدل مکعب طول روز بوده که به‌تنهایی حدود ۵۹ درصد از تغییرات طول دوره را در این مرحله توجیه کرد و دو متغیر بعدی واردشده به مدل به ترتیب توان چهارم میانگین دمای کمینه و طول روز هستند که هرکدام به ترتیب ۱۸ درصد و ۵/۳ درصد از تغییرات را به‌تنهایی توجیه کردند و ضریب تشخیص کل مدل را به حدود ۸۳/۳ درصد رسانید (جدول ۱۲).

جدول ۹. میانگین تکرارها بر پایهٔ طول دوره، دما و طول روز از تکمه‌دهی تا رسیدگی در دو رگهٔ مورد بررسی به تفکیک سال و تاریخ کاشت

Table 9. Average of period length, temperature and day length from heading (bud stage) to maturity in Safflower by year and planting date

Planting date	Period length (Day)	Temperature (C^o)	Day length (Hours)
2011			
5 May	42	27.73	14.22
21 May	40	27.71	14.01
5 June	51	27.20	13.64
21 June	42	26.23	13.19
6 July	54	22.68	12.64
22 July	61	19.87	12.13
2012			
5 March	28	23.45	14.49
20 March	34	26.70	14.51
3 April	40	28.96	14.39
18 April	40	28.99	14.32
4 May	46	28.87	14.16
20 May	40	28.37	14
4 June	52	26.80	13.61
20 June	42	25.60	13.15

جدول ۱۰. ضریب همبستگی در دوران تکمه‌دهی تا رسیدگی در دو رگه و در هر رگه به‌صورت جداگانه

Table 10. Correlation coefficients from heading (bud stage) to maturity in two safflower lines and each line individually

	Day and night temperature			
	Average maximum	Average minimum	Average	Day length
		Total lines		
Tmin	0.974**			
Tmean	0.992**	0.995**		
Day length	0.704**	0.755**	0.736**	
Period length	-0.385*	-0.411*	-0.402*	-0.788**
		Isfahan-14 line		
Tmin	0.980**			
Tmean	0.994**	0.996**		
Day length	0.758**	0.789**	0.779**	
Period length	-0.518	-0.520	-0.522	-0.817**
		IL111 line		
Tmin	0.969**			
Tmean	0.991**	0.993**		
Day length	0.649**	0.720**	0.692**	
Period length	-0.243	-0.288	-0.270	-0.770**

* و ** به ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن همبستگی بین متغیرها در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد هستند.

* and ** Significant at 5 and 1% probability levels respectively.

جدول ۱۱. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی در رگهٔ اصفهان-۱۴

Table 11. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of heading (bud stage) to maturity in Isfahan-14 safflower line

Input variable[1]	Model R^2		Partial R^2	Regression coefficient
		Period length		
Intercept	-		-	99.6056
DL[3]	0.671**		0.6711	-0.0235
Tmin[4]	0.718*		0.0473	5×10^{-5}
		Development rate		
Intercept			-	-0.0106
DL[3]	0.616**		0.6166	16×10^{-6}
$DL^2\times Tmin^2$	0.770**		0.1541	-17×10^{-8}

۱. Tmin و DL به ترتیب کمینه‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

* و ** به‌ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۱ درصد است.

1. Tmin and DL are average of minimum temperatures and day length, respectively.

* and ** Significant at 5 and 1% probability levels respectively.

جدول ۱۲. نتایج تجزیهٔ رگرسیون مرحله‌ای برای برآورد سرعت پیشروی از مرحلهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی در رگهٔ *IL111*

Table 12. Stepwise regression analysis results for estimating the progress rate of heading (bud stage) to maturity in IL111 safflower line

Input variable[1]	Model R^2		Partial R^2	Regression coefficient
		Period length		
Intercept	-		-	619.4285
DL[3]	0.594**		0.594	0.0800
Tmin[4]	0.780**		0.186	13×10^{-5}
DL	0.833*		0.053	-57.8820
		Development rate		
Intercept	-		-	0.8515
DL[3]	0.438**		0.438	0.0010
DL[2]	0.921**		0.026	-0.0182
Tmin[4]	0.935**		0.014	22×10^{-8}
Tmin	0.946*		0.011	0.0161

۱. Tmin و DL به ترتیب کمینه‌های دمای شبانه‌روز و طول روز در دورهٔ مورد نظر هستند.

* و ** به‌ترتیب نشانگر معنی‌دار بودن اثر متغیر در سطح احتمال ۱ درصد است.

1. Tmin and DL are average of minimum temperatures and day length, respectively.

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels respectively.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج گویای آن است که رگه‌های گلرنگ اصفهان-۱۴ و *IL111* در مرحلهٔ سبز شدن تا رسیدگی واکنش‌های یکسانی به عامل‌های محیطی نشان دادند، ولی در مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی و مرحلهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی این واکنش‌ها متفاوت بود. به‌طوری‌که در مرحلهٔ سبز شدن تا رسیدگی برای هر دو رگهٔ گلرنگ توان چهارم میانگین کمینهٔ دما مهم‌ترین توجیه‌کنندهٔ تغییرات طول دوره بود ولی در مرحلهٔ ۱۰ درصد گلدهی تا رسیدگی و در مرحلهٔ تکمه‌دهی تا رسیدگی مکعب طول روز مهم‌ترین توجیه‌کنندهٔ تغییرات طول دوره بود. باوجود ماهیت متفاوت این دو رگه از لحاظ دیررس و زودرس بودن، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط محدودیت عامل‌های محیطی هیچ‌کدام از این دو رگه نتوانستند از بیشترین قابلیت و ظرفیت ژنتیکی خود استفاده کنند و هر دو تحت تأثیر مستقیم دما و طول روز قرار گرفتند. در بسیاری از مرحله‌ها جداسازی اثرگذاری طول روز از دما بسیار دشوار بود. شاید اختلاف در فراسنجه‌های واردشده به مدل برای مرحله‌های مختلف نمو گلرنگ ناشی از تفاوت در ماهیت فیزیولوژیکی مرحله‌های نمو و وجود اختلاف در واکنش مرحله‌های مختلف نمو به فراسنجه‌های اقلیمی، زراعی و خاکی است. به ناچار برای هر رگه در هر مرحلهٔ نموی خاص به مدل برآوردی متفاوت و ویژه نیاز بوده که این مسئله بسیار دشوار است. برای قابل تعمیم بودن نتایج در تحقیقات بعدی استفاده از روش تجزیهٔ مسیر برای جداسازی اثر مستقیم و غیرمستقیم فراسنجه‌ها توصیه می‌شود.

REFERENCES

1. Bouman, B. A. & Vanler, H. H. (2005). *Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen limited conditions*. Wagening University.
2. Cholaky, L., Fernandez, E. M., Asnal, W. E., Giayetto, O. & Plevich, Y. J. O. (1993). Safflower (Carthamus tinctorius L) sowing date in Riocuarto (Cordoba, Argentina). In Proceedings of 3th International Safflower Conference, 14-18 June, Beijing, China, pp395-402.
3. Dadashi, N. & Khajepour, M. R. (2003). *Effect of temperature and day length on stage developments of different safflower genotypes in field*. M.Sc. thesis. Department of Agriculture Engineering, Isfahan University of Technology. (in Farsi)
4. Delpozo, A., Huidobro, J. G., Novoa, R. & Villaseca, S. (1997). Relationship of base temperature to development of spring wheat. *Experimental Agriculture*, 23, 21-36.
5. Estilai, A. & Knowles, P. F. (1995). Aneuploids in safflower. Crop Science, 20, 516-518.
6. Hans-Henming, M., Morisson, R. J., Blackshaw, R. E. & Roth, B. (1998). *Safflower production on the Canadian prairies*. Graph comp printers Lt., Letherbridge, Alberta.
7. Johnston, A. M., Tanaka, D. L., Miller, P. R., Brandt, S. A., Nielsen, D. C., Lafond, G. P. & Riveland, N. R. (2002). Oilseed crops for semiarid cropping systems in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 94, 231-240.
8. Keisling, T. C. (1982). Calculation of length of day. *Agronomy Journal*, 72, 758-759.
9. Koutroubas, S. D. & Papakosta, D. K. (2005). Adaptaion, grain yield and oil content of safflower in Greece. In: Proceeding of *6th International Safflower Conference*, 6-10 June, Istanbul, Turkey, pp161-166.
10. Koutroubas, S. D., Papakosta, D. K. & Doitsinis, A. (2009). Phenotypic variation in physiological determinants of yield in spring sown safflower under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 112, 199-204.
11. Mundel, H. H., Morrison, R. J., Blackshaw, R. E., Entz, T., Roth, B. T., Gaudiel, R. & Kiehn, F. (1994). Sowing date effect on yield, quality and maturity of safflower. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 261-266.
12. Reinbrecht, C., Barth, S., von Witzke-Enbrecht, S., Frick, C., Elfadi, E., Kahnt, G., Becker, H. C. & Claupein, W. (2005). Screening of a worldwide safflower collection for adaptation to humid temperature climates and cultivation in organic farming. In: Proceeding of *6th International Safflower Conference*, 6-10 June, Istanbul, Turkey, pp236-242.
13. Sedding, M., Jolliff, G. D. & Orf, J. H. (1990). Night temperature effects on soybean phenology. *Crop Science*, 29, 400-409.
14. Singh, S., Angadi, S. V., Grover, K., Begna, S. & Auld, D. (2016). Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. *Agricultural Water Management*, 163, 354-362.

15. Tomar, S. S. (1995). Effect of soil hydrothermal regimes on the performance of safflower planted on different dates. *Crop Science*, 175, 141-152.
16. Weiss, E. A. (2000). *Oilseed crops*. Blackwell Publishing limited, London, UK.
17. Wilcox, J. R. & Frankenberge, E. M. (1987). Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. *Agronomy Journal*, 79, 1074-1078.