مدل سازی مراحل نمو ارقام گلرنگ در کشت بهاره

Modeling of Developmental Stages of Safflower Cultivars in Spring Cultivation

محمدرضا شهسواری[۱*] و طلعت یساری[۲]

چکیده

آگاهی از زمان وقوع مراحل نمو محصولات زراعی از جمله گلرنگ دارای اهمیت خاصی است. برای مدل‌سازی مراحل نمو ارقام گلرنگ اراک، صفه و گلدشت با استفاده از درجه حرارت و طول روز، از آزمایش‌های تاریخ کاشت این ارقام طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان استفاده شد. برای تعیین مدل نمو هر مرحله، طول هر مرحله به‌عنوان متغیر تابع و متغیرهای حرارتی، طول روز و حاصل‌ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز به‌عنوان متغیر مستقل در رگرسیون مرحله‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. مرحله‌ای از رگرسیون به‌عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جزء آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده و حداکثر ضریب تبیین کل را داشته باشد. تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی و رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی از تاریخ‌های کاشت تاثیر پذیرفت. با افزایش دما، طول مراحل نمو کاهش یافت. طول دوران سبز شدن تا تکمه‌دهی و تا گلدهی بیش‌ترین تاثیر را از طول روز پذیرفت و با افزایش طول روزکاهش یافتند. حداقل درجه حرارت و مربع آن متغیرهایی بودند که وارد مدل شدند و حدود ۸۹ درصد تغییرات طول دوره سبز شدن ارقام مورد مطالعه را توضیح دادند. حدود ۸۵ درصد تغییرات طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی به‌وسیله حاصل‌ضرب درجه حرارت حداکثر در طول روز و مربع حاصل‌ضرب آن‌ها توجیه گردید. حاصل ضرب درجه حرارت حداکثر در طول روز حدود ۹۱ درصد تغییرات طول مرحله سبز شدن تا گلدهی را بیان نمود. مربع درجه حرارت حداکثر در مربع طول روز با توان چهارم درجه حرارت میانگین حدود ۸۴ درصد واریانس طول مرحله سبز شدن تا رسیدگی را بیان نمودند. مربع درجه حرارت حداقل، نیز متغیری بود که طول مرحله گلدهی تا رسیدگی را به‌میزان حدود ۶۰ درصد توضیح داد. پیش‌بینی زمان تکمه‌دهی، گلدهی و رسیدگی به‌ترتیب برای مبارزه با مگس گلرنگ، تامین آب آبیاری و تهیه کمباین برداشت بسیار راهگشا است.

واژه‌های کلیدی: دما، دقت مدل، ژنوتیپ، ضریب تبیین، طول روز

۱. مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان
۲. استادیار دانشکده علوم دانشگاه زابل
*: نویسنده مسوول Shahsavari_mr@yahoo.com

مقدمه

سیاست وزارت جهاد کشاورزی در ارتباط با افزایش تولید گلرنگ در کشور، کشت آن در مناطق حاشیه‌ای که دارای مساله شوری و کم‌آبی هستند می‌باشد (بی نام، ۱۳۸۸). بر این اساس گیاه تحت این شرایط تولید، در مراحل مختلف نمو خود با تنش‌های محیطی روبرو است. بنابراین آگاهی از زمان وقوع و طول مراحل نمو آن باعث می‌شود که مراحل نمو حساس‌تر به تنش‌های محیطی و تاثیر گذارتر در عملکرد دانه مورد شناسایی قرار گرفته و عوامل محدود کننده تولید، نظیر آب در این مراحل برای گیاه تامین گردد. این امر در نهایت سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد و به همین خاطر، مطالعه تغییرات حیاتی گیاه شامل مراحل رشد رویشی و زایشی نسبت به زمان (فنولوژی[1]) اهمیت پیدا می‌کند.

تحت شرایط فاریاب، انتظار می‌رود کلیه عوامل به استثنای عناصر اقلیمی، تحت کنترل باشند. به این ترتیب تنها عناصر اقلیمی قادر به تغییر رشد و نمو گیاه هستند و تحت این شرایط میزان تاثیرپذیری از دما و طول روز بیش از سایر عناصر خواهد بود. در هر مکان نیز تاریخ کاشت تعیین‌کننده نحوه انطباق مراحل نمو با حرارت‌ها و طول روزهای متفاوت طی فصل رشد است. ارقام گلرنگ که در فصل گرم کاشته می‌شوند نه تنها از نظر ماهیت و طول مراحل نمو با ارقامی که در فصل سرد کاشته می‌شوند متفاوت هستند بلکه هر یک از مراحل نمو آن‌ها به‌طور کاملا مستقل به دما و طول روز عکس‌العمل نشان می‌دهند (حیدری‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

سهم بیش‌تر دما بر نمو سبب شده است تا گام‌های نخست در جهت شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی با استفاده از دما صورت پذیرد. تمامی پژوهش‌گران در ابتدا بر این عقیده بودند که به‌دلیل نقش بیش‌تر دما ، محاسبه شاخصی با زیر بنای دما قادر به کاهش شدید ضریب تغییرات پیش‌گویی مراحل نمو خواهد بود (*رابرتسون*[2]، 1983). مدل‌های نمو با آهنگ ثابت (*دلپوزو*[3]، 2000)، شاخص دمای موثر (شهسواری و همکاران، ۱۳۸۴ و خوشحال و همکاران، ۱۳۸۸) و حرارتی غیر خطی (*ین*[4] و همکاران، 1995؛ *جیم و کاتفورد*[5]، 2004 و *آیون*[6] و همکاران، 2005) از جمله مدل‌های حرارتی هستند. وجود تاثیرات معنی‌دار طول روز بر گیاهان، پژوهش‌گران را بر آن داشت تا هم‌زمان طول روز را نیز به واحدهای حرارتی اضافه کنند (*روبرتز*[7] و همکاران، 2002؛ *سیسوا*[8] *و مارکوسکایا*، 2006 و عجم نوروزی و وزین، 2011). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های خطی دما- طول روز (رضادوست و همکاران، ۲۰۱۰)، درجه دومی حرارت و طول روز (*ستییونو*[9] و همکاران، 2007) و رگرسیون مرحله‌ای دما و طول روز (خواجه‌پور و سیدی، ۱۳۸۰؛ خواجه‌پور و داداشی، ۱۳۸۲ و حیدری‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶) اشاره کرد.

هدف از این مطالعه، تخمین طول مراحل نمو ارقام گلرنگ در کشت بهاره توسط تعیین مدل‌هایی بر اساس دما و طول روز و هم‌چنین تاثیر این عناصر اقلیمی بر طول مراحل نمو این ارقام و پیش‌بینی مراحل نمو آن‌ها بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تخمین طول مراحل نمو گلرنگ ارقام، اراک، صفه و گلدشت در کشت بهاره و هم‌چنین ارزیابی تاثیرپذیری طول این مراحل از تغییرات طول روز و دما مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از آزمایش‌های تاریخ کاشت این ارقام که طی پنج سال زراعی در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان انجام شد استفاده گردید. این ارقام طی سال زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ در شش تاریخ کاشت، اول (۱۵ اردیبهشت)، دوم (۳۱ اردیبهشت)، سوم (۱۵ خرداد)، چهارم (۳۱ خرداد)، پنجم (۱۵ تیر)، ششم (۳۱ تیر) و طی سال‌های زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳، ۱۳۸۶-۱۳۸۵، ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در هشت تاریخ کاشت، اول (۱۵ اسفند)، دوم (۲۹ اسفند)، سوم (۱۵ فروردین)، چهارم (۳۱-۳۰ فروردین)، پنجم (۱۵ اردیبهشت)، ششم (۳۱-۳۰ اردیبهشت)، هفتم (۱۵ خرداد)، هشتم (۳۱ خرداد تا ۲ تیر) کشت شدند. آزمایش‌های سال‌های زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ و ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در ۳ تکرار و بقیه آزمایش‌ها در ۶ تکرار به اجرا در آمدند. این ایستگاه در ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی اصفهان، در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی واقع است. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۵۴۱ متر است و طبق تقسیم‌بندی کوپن دارای اقلیم بسیار گرم با تابستان گرم و خشک می‌باشد. میانگین دراز مدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه

1. Phenology
2. Robertson *et al.*
3. Delpozo
4. Yin *et al.*
5. Jame and Cutforth
6. Ayon *et al.*
7. Roberts *et al.*
8. Sysoeva and Markovskaya
9. Setiyono *et al.*

در این ایستگاه به‌ترتیب ۱۲۲ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سلسیوس است.

کاشت، داشت و برداشت طبق آزمایش‌های معمول گلرنگ انجام گرفت. در این آزمایش‌ها پس از حذف خطوط اول و چهارم از هر چهار خط یک کرت فرعی و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط دوم و سوم هر کرت، باقی‌مانده جامعه آماری آزمایش را تشکیل داد. مراحل نمو بر اساس مشاهده علائم مربوطه در هر کرت بدین شرح تعیین گردید. الف) مرحله سبز شدن، زمانی که لپه‌ها در ۹۰ درصد از نقطه‌های کاشت خارج می‌شوند. ب) مرحله تکمه‌دهی زمانی که جوانه زایشی به‌صورت تکمه‌ای به قطر حدود ۱ سانتی‌متر در انتهای ساقه اصلی ۱۰ درصد بوته‌ها مشاهده می‌شود. ج) مرحله گلدهی، آغاز گرده‌افشانی در گل‌آذین‌های انتهایی ساقه اصلی در ۱۰ درصد بوته‌ها. د) مرحله رسیدگی، زمانی که ۹۰ درصد طبق ها متمایل به رنگ قهوه‌ای می‌شوند.

بر اساس مراحل نمو یاد شده، طول مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی، سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی بر اساس روز محاسبه گردید. روز شروع هر مرحله احتساب و روز پایان آن مرحله احتساب نگردید. داده‌های هواشناسی شامل حداکثر، حداقل و متوسط شبانه روزی دما از ایستگاه هواشناسی کبوتر آباد اصفهان تهیه شد. طول روز با استفاده از روش *کیسلینگ*[1] (1982) در فاصله دو شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی‌متر مربع بر دقیقه (قبل از طلوع و بعد از غروب خورشید) با وارد کردن عرض جغرافیایی ایستگاه کبوترآباد بر حسب ساعت تا ۴ رقم اعشار به‌دست آمد. با وارد کردن داده‌ها در نرم افزار Excel، متوسط حداکثرها، حداقل‌ها، میانگین دمای شبانه‌روزی و میانگین طول روز، مطابق با هر مرحله نموی ثبت شده به‌دست آمد.

ضرایب همبستگی بین متغیرهای هواشناسی و طول مراحل نمو محاسبه گردید. طول هر مرحله نمو (N) به‌عنوان متغیر تابع و پارامترهای حرارتی و طول روز مربوطه، به‌عنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون مرحله‌ای نرم افزار رایانه‌ای SAS مورد استفاده قرار گرفتند. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای مرحله کاشت تا سبز شدن شامل میانگین حداقل‌ها (T_{min})، میانگین حداکثرها (T_{max})، متوسط میانگین‌های دمای شبانه‌روزی (T_{mean})، تفاضل میانگین حداکثرها از حداقل‌ها ($T_{max} - T_{min}$) و نیز مجذور، مکعب و توان چهارم متغیرهای حرارتی مذکور بودند. برای سایر مراحل نمو، علاوه بر متغیرهای حرارتی، میانگین، مربع و مکعب طول روز برای طول دوره نمو مورد نظر و حاصل‌ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز در معادلات رگرسیون مرحله‌ای منظور شدند. مرحله‌ای از رگرسیون به‌عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جز آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده و حداکثر ضریب تشخیص کل را داشته باشد. برای ارزیابی دقت و حساسیت مدل‌ها از نتایج آزمایش‌های زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ که در مدل‌سازی به‌کار گرفته نشده بود استفاده گردید.

نتایج و بحث

طول دوره کاشت تا سبز شدن در ارقام مورد مطالعه بین ۴ تا ۲۰ روز متغیر و میانگین آن حدود ۹/۱ روز بود. به‌طور کلی با تاخیر در کاشت، طول دوره کاشت تا سبز شدن به دلیل افزایش دما کاهش یافت (جدول ۱). همبستگی منفی و معنی‌دار (جدول ۲) بین این دو متغیر با این نتیجه‌گیری هماهنگ است. حداکثر طول دوره از کاشت تا سبز شدن در تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند)، ۲۰ روز در سال ۸۵-۱۳۸۶ و حداقل آن در تاریخ‌های کاشت پنجم و ششم (پانزدهم و سی و یکم تیر) در سال ۱۳۸۳ و تاریخ کاشت هشتم (سی و یکم خرداد) در سال ۸۳-۱۳۸۴ و به‌مدت ۴ روز حادث شد (جدول ۱).

مقایسه تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در تاریخ‌های کاشت مختلف طی سال‌های آزمایش نشان می‌دهد که با میانگین درجه حرارت‌های یکسان طول دوره کاشت تا سبز شدن در برخی موارد یکسان نیست (جدول ۱). این تنوع ممکن است به بافت خاک، دوره آبیاری، عمق کاشت و سایر عوامل مربوط باشد. یادآوری می‌گردد که افزایش دما زمانی می‌تواند باعث تسریع در سبز شدن شود که سایر عوامل برای جوانه‌زنی و سبز شدن مهیا باشد. به‌طور مثال اگر در زمان افزایش دما، تنش رطوبتی و یا سله خاک عامل محدودکننده باشد، می‌تواند نقشی بازدارنده در سرعت جوانه‌زنی و سبز شدن ایفا کند.

نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای طول دوره کاشت تا سبز شدن (جدول ۳) نشان داد که درجه حرارت حداقل اولین متغیر ورودی به مدل است که به تنهایی ۷۸/۹ درصد از تغییرات آن را توجیه می‌نماید. مربع درجه حرارت حداقل، دومین متغیری بود که وارد مدل شد و ۱۰/۲۹ درصد تغییرات طول این دوره در صورت حضور متغیر قبلی را

1. Keisling

توجیه کرد. این دو متغیر همراه با یکدیگر دقت مدل را به ۸۹/۱۹ درصد رساندند (مدل ۱).

به‌نظر می‌رسد متغیرهای فوق بخش قابل ملاحظه‌ای از تغییرات دمای خاک را توجیه می‌نمایند. علاوه بر دمای هوا، عواملی مانند بافت، رنگ، شیب و رطوبت خاک، فواصل آبیاری، عمق کاشت بذر و خصوصیات بستر بذر بر دمای خاک موثرند (خواجه‌پور، ۱۳۷۶ و جیم و *کاتفورد*، 2004). بنابراین تخمین دقیق دوران کاشت تا سبز شدن مستلزم اندازه‌گیری مستقیم حرارت خاک است که انجام آن در مزارع کشاورزان کار دشواری است.

(۱)

$$N=21.53621082\ 1.70967718Tmin+0.00044687T^{2}min$$

جدول ۱: میانگین طول دوره (روز) مراحل نمو ارقام گلرنگ مورد مطالعه به تفکیک سال و تاریخ کاشت

Table 1: Mean duration (day) of developmental stages of safflower cultivars based on year and planting date

Flowering to ripening	Emergence to ripening	Emergence to flowering	Emergence to heading	Planting toemergence	Planting date
		2003-2004			
30	88	57	44	7	May 5
29	82	52	40	6	May 21
34	88	63	45	5	June5
29	83	53	40	5	June21
39	82	52	36	4	July6
37	97	58	34	4	July22
		2004-2005			
13	13	84	68	13	Mar 5
13	13	77	63	13	Mar19
11	11	73	61	11	Apr4
10	10	63	52	10	Apr20
8	8	58	45	8	May5
7	7	52	42	7	May21
6	6	53	35	6	Jun5
4	4	53	40	4	Jun21
		2006-2007			
34	115	82	66	20	Mar 5
35	108	73	60	17	Mar19
30	98	68	51	12	Apr4
31	91	60	50	10	Apr19
36	81	55	38	9	May5
34	85	51	35	7	May20
47	94	47	35	8	Jun5
45	98	53	36	7	Jun25
		2006-2007			
31	111	79	59	17	Mar 5
30	104	75	55	13	Mar19
28	94	66	50	12	Apr4
25	86	60	45	10	Apr19
28	83	56	44	7	May5
30	79	50	33	8	May20
30	80	49	36	5	Jun5
41	92	51	33	5	Jun25

جدول ۲: ضرایب همبستگی مراحل نمو ارقام گلرنگ در کشت بهاره با متغیرهای هواشناسی

Correlation coefficients of safflower cultivars developmental stages with meteorological variables.:Table1

Daily temperature				
Day length mean	Mean average	Minimum mean	Maximum mean	
		Planting to Germination		
			0.979**	(Minimum mean)
		0.993**	0.976**	(Mean average)
	0.935**	0.942**	0.916**	(Day length mean)
-0.952**	-0.901**	-0.899**	-0.888**	(Period mean)
		Germination to Heading		
			0.985**	(Minimum mean)
		0.995**	0.997**	(Mean average)
	0.874**	0.854**	0.889**	(Day length mean)
-0.903**	-0.933**	-0.909**	-0.945**	(Period mean)
		Germination to Flowering		
			0.985**	(Minimum mean)
		0.996**	0.944**	(Mean average)
	0.872**	0.854**	0.888**	(Day length mean)
-0.931**	-0.926**	-0.906**	-0.946**	(Period mean)
		Germination to Ripening		
			0.956**	(Minimum mean)
		0.987**	0.990**	(Mean average)
	0.143	0.206	0.062	(Day length mean)
-0.368	-0.945**	-0935**	-0.936**	(Period mean)
		Flowering to Ripening		
			0.964**	(Minimum mean)
		0.994**	0.987**	(Mean average)
	0.954**	0.947**	0.973**	(Day length mean)
-0.788**	-0.834**	-0.858**	-0.788**	(Period mean)

**: Significant at 1% probability

با توجه به این‌که بذر در خاک جوانه می‌زند، به‌نظر می‌رسد که متغیر یاد شده، بخش عمده‌ای از تغییرات دمای خاک را تفسیر می‌کند. دمای خاک تا عمق ۲۰ تا۳۰ سانتی متری با دمای شبانه روزی هوا در حال تعادل است (موسوی بایگی و اشرف،۱۳۹۰)، به‌علاوه، میانگین دمای شبانه‌روزی هوا پیوسته تغییر می‌یابد. در مطالعه‌ای که در اتاقک رشد روی رقم دینسر[1] گلرنگ انجام گرفت، مدل زیر برای پیش بینی تعداد روز تا جوانه‌زنی این رقم ارائه گردید (*آیون* و همکاران، 2005).

$1/N= 0.38 - 0.07T_{mean} + 0.0012T^2_{mean}$ R^2=90.68%

طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی در ارقام مورد مطالعه بین ۳۲ تا ۶۸ روز متغیر و میانگین آن حدود ۴۳/۵ روز بود. به‌طور کلی با تاخیر در کاشت طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی کاهش یافت. حداکثر طول دوره از سبز شدن تا تکمه‌دهی در تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند) در سال ۸۳-۱۳۸۴ و حداقل آن در تاریخ کاشت ششم (سی ام اردیبهشت) در سال.۸۷-۱۳۸۶ به وقوع پیوست (جدول ۱). همبستگی‌های منفی و معنی‌دار (جدول ۲) بین پارامترهای درجه حرارت و طول روز با طول دوره نشان می‌دهد که با افزایش درجه حرارت و طول روز، طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی (به‌عنوان اولین علامت قابل مشاهده شروع گلدهی

1. Dinser

در گلرنگ) کاهش می‌یابد. با توجه به روز بلند بودن گلرنگ، در برخی تاریخ‌های کاشت علی‌رغم کاهش طول روز، تعداد روز تا تکمه‌دهی افزایش نیافته است. بروز چنین عکس‌العملی احتمالاً به دلیل اثرات جبرانی دما و طول روز بر روی یکدیگر می‌باشد و این امر سبب می‌گردد تا گیاه عکس‌العمل‌های پیش‌بینی شده را نداشته باشد.

نتایج رگرسیون مرحله‌ای (جدول ۳) نشان می‌دهد که حاصل‌ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر اولین متغیر ورودی به مدل بودکه به تنهایی ۸۲/۴۴ درصد از تغییرات طول دوره سبز شدن تا تکمه دهی را توجیه نمود. حاصل‌ضرب مربع طول روز در مربع درجه حرارت حداکثر دومین متغیر ورودی به مدل بود که به تنهایی۳/۳ درصد تغییرات این دوره و همراه با متغیر قبلی دقت مدل را به ۸۵/۷۴ درصد رسانید (مدل ۲).

ورود متغیرهای درجه حرارت و طول روز طی این مرحله را می‌توان به تاثیرگذاری هر دوی آن‌ها بر روی طول این مرحله ربط داد. در مطالعه داداشی و خواجه‌پور (۱۳۸۲) سرعت نمو در مرحله سبز شدن تا تکمه‌دهی در ارقام اراک ۲۸۱۱ و نبراسکا ۱۰ بیش از سایر متغیرهای جوی، توسط حداکثر دما تفسیر شد و هر رقم با رابطه خطی نسبت به حداکثر دما عکس‌العمل نشان می‌دهد که با افزایش دما، گیاه تحت تنش حرارتی و رطوبتی قرار گرفته و سرعت نمو آن به شدت افزایش می‌یابد. در پژوهش‌های *گوین* و همکاران (1990) در شرایط مزرعه‌ای، سرعت نمو ارقام آفتابگردان از مرحله کاشت تا تکمه‌دهی رابطه خطی با دما نشان داد.

(۲)

$$N= 208.21049997 – 0.6026922DL \times T_{max} + 0.000520DL^2 \times T^2_{max}$$

جدول ۳: خلاصه آنالیز رگرسیون مرحله‌ای برای تخمین طول دوره مراحل نمو ارقام گلرنگ

Table2: Summery of stepwise regression for estimating of developmental stages period of safflower cultivars

Level of significant regression coefficient analysis	Standard error of regression coefficient	Regression coefficient	Significant level of partial determination	Partial determining coefficient($P.R^2$)	Determination coefficient of model (R^2)	Variable[1]
			Planting to Germination			
0.0001	0.28948778	21.53621082	--	--	--	intercept
0.0001	0.6233676	-1.70967718	0.0001	0.789	0.789	T min
0.0001	0.00290931	0.00044687	0.0001	0.1029	0.8919	T^2 min
			Germination to heading			
0.0001	12.70544512	208.21049997	--	--	--	intercept
0.0001	0.05771818	-0.6026922	0.0001	0.8244	0.8244	$DL \times T_{max}$
0.0001	0.00006411	0.00052075	0.0001	0.033	0.8574	$DL^2 \times T^2_{max}$
			Germination to flowering			
0.0001	1.59451623	150.03684852	--	--	--	intercept
0.0001	0.00359596	-0.19059675	0.0001	0.9076	0.9076	$DL \times T_{max}$
			Germination to ripening			
0.0001	12.31647440	314.04743657	--	--	--	intercept
0.0001	0.03278988	-0.50110242	0.0001	0.8205	0.8205	$DL \times T_{max}$
0.0001	0.00000896	0.000004675	0.0001	0.0157	0.8361	T^4_{mean}
			Flowering to ripening			
0.0001	1.02553196	53.110846448	--	--	--	intercept
0.0001	0.00300816	-0.0620068	0.0001	0.5977	0.5977	T^2_{min}

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

طول‌دوره از سبز شدن تا گلدهی در ارقام مورد مطالعه طی سال‌های انجام آزمایش از ۴۹ تا ۸۴ روز متغیر و میانگین آن حدود ۶۱ روز بود. ارقام در تاریخ کاشت هفتم (پانزدهم خرداد) در سال ۸۶- ۱۳۸۵ و تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند) در سال ۸۴-۱۳۸۳، به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی را سپری نمودند (جدول ۱).

مانند مراحل کاشت تا سبز شدن و سبز شدن تا تکمه‌دهی با افزایش دما و طول روز، طول این دوره کاهش یافت (جدول ۱). ضرایب همبستگی بین پارامترهای حرارتی و طول روز با طول دوره مؤید این مطلب است (جدول ۲).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای نشان می‌دهد (جدول ۳) که حاصل‌ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر تنها متغیری ورودی به مدل بود و ۹۰/۷۶ درصد تغییرات طول این دوره را توضیح داد (مدل ۳). در همین رابطه داداشی و خواجه‌پور (۱۳۸۲) مدلی را که در آن حاصل‌ضرب میانگین درجه حرارت در طول روز در آن به‌عنوان متغیر مستقل وارد شده بود را برای توجیه سرعت نمو مرحله کاشت تا ۵۰ درصد گلدهی ارقام اراک و کوسه به‌ترتیب با ضرایب تبیین ۸۷ و ۸۶ درصد ارائه نمودند.

(۳)

$$N=150.03684852 - 0.19059675DL \times T_{max}$$

طول دوره سبز شدن تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۷۹ تا ۱۱۵ روز متغیر و میانگین آن ۹۳ روز بود. حداقل طول دوره در تاریخ کاشت ششم (سی‌ام اردیبهشت) سال ۸۷-۱۳۸۶ و حداکثر آن در تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند) سال ۸۶-۱۳۸۵ بود (جدول ۱). روند افزایش دما در تاریخ کاشت‌های دیر در کاهش فاصله زمانی سبز شدن تا رسیدگی نقش داشته و بخش عمده کاهش تعداد روز به‌دلیل تسریع در گلدهی بوده است. همبستگی منفی معنی‌دار (جدول ۲) بین متغیرهای حرارتی و طول دوره با این نتیجه‌گیری هماهنگ است.

نتایج رگرسیون مرحله‌ای (جدول ۳) نشان می‌دهد که حاصل‌ضرب درجه حرارت حداکثر در طول روز اولین متغیر ورودی به مدل بود که ۸۲/۰۵ درصد از تغییرات دوره سبز شدن تا رسیدگی را توجیه نمود. توان چهارم متوسط میانگین‌های شبانه‌روزی دومین و آخرین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی ۱/۵۷ درصد و به همراه متغیر قبلی ۸۳/۶۱ درصد تغییرات این دوره را توجیه نمود (مدل ۴). به‌نظر می‌رسد اثر متقابل طول روز با متغیرهای حرارتی عامل عمده در توجیه تغییرات این دوره باشند.

(۴)

$$N=314.04743657 - 0.50110242DL \times T_{max} + 0.000004675 T^4_{mean}$$

طول دوره گلدهی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۱۶ تا ۴۷ روز متغیر و میانگین آن ۳۱/۴ روز بود. تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند) سال ۸۴-۱۳۸۳ و تاریخ کاشت هفتم (پانزدهم خرداد) سال ۸۶-۱۳۸۵ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین زمان را برای طی این دوره به خود اختصاص دادند. با تاخیر در کاشت و در نتیجه افزایش تدریجی درجه‌حرارت و طول روز، طول این دوره کاهش پیدا کرد (جدول ۱). همبستگی‌های منفی و معنی‌دار بین پارامترهای حرارتی و طول روز با طول دوره گلدهی تا رسیدگی، نتیجه‌گیری فوق را تصدیق می‌نماید (جدول ۲).

نتایج رگرسیون مرحله‌ای (جدول ۳) نشان می‌دهد که مربع درجه‌حرارت حداقل تنها متغیر ورودی به مدل بود که ۵۹/۷۷ درصد تغییرات این دوره را توجیه کرد (مدل ۵).

(۵)

$$N= 531.0846448 - 0.0620068T^2_{min}$$

اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آن‌ها برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی، سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در تاریخ‌های مختلف کاشت با استفاده از آمار دراز مدت ایستگاه کبوترآباد در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. عدم اختلاف بین اعداد حقیقی و تخمینی برای مرحله کاشت تا سبز شدن در ۶ مورد و برای سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی در یک مورد و برای سبز شدن تا رسیدگی موردی مشاهده نشد. بیش‌ترین اختلاف ۸ روز و مربوط به مرحله گلدهی تا رسیدگی در تاریخ کاشت دوم تیر بود.

میانگین طول دوره حقیقی مراحل مختلف نمو در تاریخ‌های مختلف کاشت، پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل و میزان خطاهای تخمین بر اساس حداکثر قدر مطلق و طیف انحراف از مدل در جدول ۵ ارائه گردیده است. قدر مطلق پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل شامل حداقل، حداکثر، طیف، میانگین قدر مطلق‌ها و انحراف معیار برای دوره کاشت تا سبز شدن دارای کم‌ترین مقدار بود و برای دوره گلدهی تا رسیدگی دارای بیش‌ترین مقادیر بودند. علت این امر، در مورد مرحله گلدهی تا رسیدگی را می‌توان به

پایین بودن ضریب تبیین مدل برای این مرحله ربط داد (جدول ۲) ولی در مورد مرحله کاشت تا سبز شدن می‌توان گفت دقت یک مدل هنگامی مطلوب است که انحراف از مدل در حداقل خود بوده، میانگین قدر مطلق انحرافات و انحراف معیار آن به صفر نزدیک باشد. بر این اساس ممکن است مدل تخمین طول دوران کاشت تا سبز شدن را بهترین مدل دانست. اما در صورتی‌که حدود تغییرات انحراف از مدل طی دوره کاشت تا سبز شدن مورد توجه قرارگیرد، مشاهده می‌شود که میزان انحراف نسبت به‌طول دوره حقیقی نمو بسیار بزرگ است. به همین دلیل حداکثر قدر مطلق میزان انحراف از مدل نسبت به‌طول دوره حقیقی نمو به‌صورت درصد (حداکثرخطای تخمین) سنجیده شد. بر اساس این معیار، مراحل نمو طولانی به‌خوبی تخمین زده شدند که نشان‌گر کارآیی مدل‌های محاسبه شده می‌باشد. معیار مناسب دیگری برای ارزیابی ممکن است میزان خطای تخمین (به‌صورت درصد) برحسب طیف انحراف از مدل (خطای تخمین براساس طیف) باشد. معیار اخیر وضعیت ارزیابی مدل‌ها را تغییر نمی‌دهد. به‌طور مثال خطای تخمین بر اساس طیف برای مرحله کاشت تا سبز شدن بسیار بیش‌تر از همین معیار برای مراحل سبز شدن تا رویت طبق و سبز شدن تا رسیدگی می‌باشد.

نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد مراحل مختلف نمو عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به تغییرات طول روز و دمای ناشی از تاخیر در کاشت نشان می‌دهند، به‌طوری‌که متغیرهای ورودی در معادلات تخمین سرعت نمو مراحل مختلف نمو ثابت نبودند. علت این امر ممکن است تفاوت‌هایی در ماهیت فیزیولوژیکی مراحل نمو و اختلاف در عکس‌العمل مراحل نمو به عناصر اقلیمی، خاکی، زراعی و اثرات متقابل این عوامل با یکدیگر و با ژنوتیپ گیاه باشد. با توجه به این‌که هر مرحله نمو و شاید هر ژنوتیپ به مدل تخمین متفاوتی نیاز دارد، تفکیک مناطق کشور به نواحی هم‌گون از نظر حرارت و طول روز می‌تواند دقت تخمین مدل‌های مراحل نمو را افزایش دهد. انجام چنین مطالعه‌ای مستلزم دسترسی به اطلاعات فنولوژیکی کافی در هر منطقه اقلیمی می‌باشد. پیش‌بینی زمان تکمه‌دهی، گلدهی و رسیدگی به‌ترتیب برای مبارزه با مگس گلرنگ، تامین آب آبیاری و تهیه کمباین برداشت از نتایج کاربردی این پژوهش است.

جدول ۴: اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آن‌ها برای طول مراحل مختلف نمو ارقام گلرنگ طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table3: Observed and estimated data and differences for various developmental stages of safflower cultivars at 2008-2009 in different planting dates

No. days (flowering to ripening)			No. days (germination to ripening)			No. days (germination to flowering)			No. days (germination to heading)			No. days (planting to germination)			planting date
difference	estimated	observed	difference	estimated	observed	difference	estimated	observed	difference	estimated	observed	difference	estimated	observed	
-1	35	34	-6	118	117	1	78	79	-1	58	57	0	18	18	Mar 5
-1	31	30	-7	112	108	-3	78	75	1	53	54	0	14	14	Mar19
1	27	28	-6	100	94	-2	65	63	-1	50	49	-1	13	12	Apr4
1	25	26	-2	88	87	-1	60	59	1	43	44	-1	11	10	Apr19
0	26	26	-3	84	81	0	54	54	-1	42	41	0	9	9	May5
2	29	31	-3	81	79	-1	47	46	0	32	32	0	7	7	May20
1	30	31	-2	79	74	1	47	48	-2	32	30	0	6	6	Jun5
8	36	44	-4	81	84	-5	45	50	-2	31	29	0	6	6	Jun25

جدول ۵: پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل، طول دوره حقیقی و میزان خطای تخمین طول مراحل نمو ارقام گلرنگ

Table4: Parameters related to regression deviation, observed days and estimated error of developmental stages of safflower cultivars

Estimated error based on range[2] (%)	Max of estimated error[1] (%)	Deviation from model					Observed days	Developmental stage
		Standard deviation	Mean	Range	Max	Min		
9.7	9.7	0.53	0.3	2	1	-1	10.3	to Germination Planting
7.1	4.7	1.19	1.1	3	1	-2	42	Germination to Heading
10.1	8.4	2.05	1.8	6	1	-5	59.3	Germination to flowering
5.5	7.7	1.96	4.1	5	-2	-7	90	Germination to Ripening
28.7	28.7	2.9	1.9	10	9	-1	31.3	Flowering to Ripening

1. Maximum deviation from regression divided by observed days multiple 100
2. Range of deviation from regression divided by observed days multiple 100

منابع

بی‌نام، ۱۳۸۸. شیوه نامه‌های پژوهشی محصولات زراعی و باغی. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. ۵۲ صفحه.

حیدری‌زاده، پ.، سبزعلیان، م. ر. و خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۷. اثر دما و طول روز بر رشد رویشی و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گلرنگ. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۵: ۳۷۶-۳۶۵.

خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۷۶. اصول و مبانی زراعت. مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. ۳۸۶ صفحه.

خواجه‌پور، م. ر. و سیدی، ف. ۱۳۸۰. اثر دما و طول روز بر مراحل نمو ارقام آفتابگردان در شرایط مزرعه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۵ (۲):۱۰۷-۹۱.

داداشی، ن. و خواجه‌پور، م. ر. ۱۳۸۲. اثر دما و طول روز بر مراحل مختلف نمو ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط مزرعه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.۷ (۴):۱۰۲-۸۳.

خوشحال، ج.، یساری، ط. و نوری، ح. ۱۳۸۸. بررسی نیازهای حرارتی مراحل مختلف نمو آفتابگردان در کبوترآباد اصفهان. جغرافیا و برنامه ریزی خطی.۳۶(۴):۱۶-۱.

شهسواری، م. ر.، یساری، ط.، برزگر، ا. ب. و امیدی، ا. ح. ۱۳۸۴. مطالعه مراحل نمو و ارتباط آن‌ها با عملکرد دانه در ده ژنوتیپ پیشرفته گلرنگ. پژوهش و سازندگی. ۱۸(۳):۸۳-۷۵.

موسوی بایگی، م. و اشرف، ب. ۱۳۹۰. هوا و اقلیم‌شناسی در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۸۲ صفحه.

Ajam Norouzi, H. and Vazin, F. 2011. Prediction of flowering occurrence in faba bean (Vicia faba L.). Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.39(1):198-207

Ayon, A. K.., Ciyak, C., Cdabas, M. S. and Camas, N. 2005. Modeling the effect of temperature on the days to seed germination in safflower. pp 187-192. Paper presented at the Sixth International Safflower Conference, June 6-10. 2005. Istanbul, Turkey.

Delpozo, A., Ovalle, C., Aronson, J. and Avendanaok, J. 2000. Developmental response to temperature and photoperiod in ecotypes of *Medicago polymorpha* L. collected along an environmental gradient in centeral Chile. Ann. of Bot.85:809-814.

Goyne, P. J., Schneider, A. A. and Cleary, K. 1990. Prediction of time to anthesis of a selection of sunflower genotypes. Agron.J.82:501-505.

Jame, Y. W. and Cutforth, H. W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agric.For.Meteorol. 124:207-218.

Keisling, T. C. 1982. Calculation of the length of day. Agron.J.74:758-759.

Rezadoust, S., Karimi, M. M., Vazan, S., Ardakan, M. R., Kashani, A. and Gholinezhad, E. 2010. The modeling of development stages of sunflower on the basis of temperature and photoperiod Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.38(1): 66-70.

Robertson, G. W. 1983. Weather based mathematical models for estimating development and ripening of crop. Technical Note no.180, 99 pp.

Roberts, E. H., Summerfield, R. J., Ellis, R. H. A .and Stewart, K. 2002. Photo-thermal time for flowering in lentils and the analysis of potential vernalization responses. Ann. Bot.61:29-39.

Setiyono, T. D., Weiss, T., Spcht, J., Bastidas, A. M., Cassman, K. G. and Doermann, A. 2007. Understanding and modeling the effect of temperature and day length on soybean phenology under high-yield conditions. Field Crop Res.100:257-271.

Sysoeva, M. I. and Markovskaya, E. F. 2006. Photothermal model of plant development. Russ. J. of Develop. Bio. 37(1):16-21.

Yin, X., Kropff, G. and Visperas, R. M. 1995. A nonlinear model for crop development as a functional temperature. Agric.For.Meteorol.77:1-16.

Modeling of Developmental Stages of Safflower Cultivars in Spring Cultivation

Shahsavari [1]*, M. R. and Yasari[2], T.

Abstract

Awareness of time occurrence of developmental stages of agronomic crops, such as safflower, is very important. To introduce model for developmental stages of three safflower cultivars, Arak, Sofea and Goldasht by temperature and day length, planting date, trials conducted in Kabootar-Abad Agricultural Research Station during 2003-2009. To estimate duration of each developmental stage, the measured duration of each developmental stage considered as the dependent variable and various temperature variables, day length and combination of them considered as the independent variables in a stepwise regression procedure. A step of regression was considered appropriate if the highest R^2 was accompanied by the significant ($p\leq0.05$) regression coefficient and partial R^2. Days from planting to emergence, emergence to heading, emergence to flowering, emergence to ripening and flowering to ripening were affected by planting dates. By increasing temperature, developmental stage durations decreased. Day length had the most effect on emergence to heading and emergence to flowering duration and by increasing of day length, they decreased. T_{min} and T^2_{min} were the variables which entered the regression model and explained about 89% of variation of planting to emergence period. Periods of emergence to head visible was explained by $DL\times T_{max}$ and $DL^2\times T^2_{max}$ in accuracy about %82. $DL\times T_{max}$ was the only variable which entered the regression model and explained about %91 of variation emergence to flowering period. $DL\times T_{max}$ and T^4_{mean} explained the most variance (84%) of emergence to ripening period. T^2_{min} was the only variable which entered the regression model and explained about 60% of variation of flowering to ripening period. Anticipating of heading, flowering and ripening stages are very important for control of fruit fly and providing of water irrigation and harvesting combine respectively.

Keywords: Genotype, Coefficient of determination, Day length, Model accuracy, Temperature

1. Instructor of Agricultural and Natural Resources Center of Esfahan
2. Associated professor of science faculty of Zabol university
*: Corresponding Author Shahsavari_mr@yahoo.com