

پیش‌بینی زمان وقوع مراحل فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت بر اساس درجه حرارت و طول روز در منطقه اصفهان

Prediction of Phenological Development Stages of Safflower cv. Goldasht Based on Temperature and Day Length in Isfahan Region in Iran

طلعت یساری^۱ و محمدرضا شهبواری^۲

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه زابل، زابل

۲- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۲۱

چکیده

یساری، ط. و شهبواری، م. ر. ۱۳۹۲. پیش‌بینی زمان وقوع مراحل فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت بر اساس درجه حرارت و طول روز در منطقه اصفهان. مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۲۹ (۱): ۴۶ - ۳۱.

در کشاورزی مدرن اغلب احتیاج به اطلاعات دقیقی در مورد تاریخ وقوع مراحل فنولوژیکی محصول می‌باشد که دارای کاربردهای وسیعی است. به منظور پیش‌بینی طول مراحل نمو گلرنگ رقم گلدشت با استفاده از درجه حرارت و طول روز، از آزمایشات تاریخ کاشت این رقم طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان استفاده شد. برای تخمین طول نمو هر مرحله، طول هر مرحله به عنوان متغیر تابع و متغیرهای حرارتی، طول روز و حاصل ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز به عنوان متغیر مستقل در رگرسیون مرحله‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. مرحله‌ای از رگرسیون به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جزء آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و حداکثر ضریب تبیین کل را داشت. تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی، سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی از تاریخ‌های کاشت تأثیر پذیرفت. با افزایش دما، طول مراحل نمو کاهش یافت. طول دوران سبز شدن تا تکمه‌دهی و سبز شدن تا گلدهی بیشترین تأثیر را از طول روز پذیرفت و با افزایش آن کاهش یافت. میانگین و مکعب حداکثر درجه حرارت‌ها متغیرهایی بودند که وارد مدل شدند و بر روی هم حدود ۸۹ درصد تغییرات طول دوره سبز شدن را توضیح دادند. حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر همراه با حاصل ضرب مربعات این دو متغیر حدود ۸۸ درصد تغییرات طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی را توجیه نمودند. حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر حدود ۹۵ درصد طول دوره سبز شدن تا گلدهی را توضیح داد. حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر همراه با مربع درجه حرارت میانگین حدود ۸۵ درصد تغییرات طول دوره سبز شدن تا رسیدگی را توضیح دادند. درجه حرارت حداقل تنها متغیری بود که به تنهایی حدود ۵۸ درصد از واریانس طول مرحله گلدهی تا رسیدگی را بیان کرد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، مرحله فنولوژیکی، تکمه‌دهی، گلدهی و رسیدگی.

مقدمه

گلرنگ به منظورهای مختلفی کشت و کار می‌گردد. از گلچه‌های آن برای تهیه دارو و رنگ‌های طبیعی، از دانه آن برای تهیه روغن و کنجاله و از شاخ و برگ آن برای تعلیف دام‌ها به صورت تازه و سیلو شده استفاده می‌گردد. استان اصفهان از لحاظ سطح زیر کشت و تولید گلرنگ بهاره از مهم‌ترین استان‌های کشور است (Froozan, 2005). این گیاه به واسطه تحمل بالایی که به خشکی و شوری دارد (Vollman and Rajcan, 2010) در استان اصفهان در مناطق حاشیه‌ای که دارای مسأله شوری و کم آبی هستند کشت می‌گردد.

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 دوره مراحل فنولوژیکی آن باعث می‌شود که مراحل حساس‌تر و تأثیرگذارتر در عملکرد دانه مورد شناسایی قرار گرفته و عوامل محدودکننده تولید، نظیر آب و مواد غذایی در این مراحل برای گیاه تأمین 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 (Phenology) اهمیت پیدا می‌کند.

در کشاورزی مدرن اغلب احتیاج به اطلاعات دقیقی در مورد تاریخ وقوع مراحل خاص نمو می‌باشد. توانائی پیشگویی مراحل

نمو، کاربردهای وسیعی از جمله انجام به موقع عملیات زراعی، دست یابی به حداکثر راندمان نهاده‌های زراعی، طراحی الگوهای کاشت، مبارزه با آفات و بیماری‌ها، پیش‌بینی رسیدگی محصول، سازمان‌دهی عملیاتی چون برداشت، بسته‌بندی و حمل و نقل محصول و نیز انطباق زمان برداشت با نیازهای بازار را دارد. زمان وقوع هر یک از مراحل نمو گیاهان زراعی به ژنوتیپ و عمدتاً دما و طول روز بستگی دارد.

قابل ذکر است مدل‌های متعددی برای کمی کردن مراحل نمو وجود دارد، ولی در اکثر مواقع در مکان‌هایی با شرایط محیطی مختلف این مدل‌ها پیش‌بینی‌های صحیحی را نشان نمی‌دهند. یکی از دلایل می‌تواند این باشد که پارامترهای استفاده شده در این مدل‌ها از یک سری داده‌های محدود، برآورد شده باشند بنابراین برای به دست آوردن برآوردهای دقیق‌تر پارامترها برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی، داده‌های مورد استفاده باید دامنه وسیعی از محل‌ها و یا تاریخ‌های کاشت را در بر گیرد (Grimm et al., 1993; Soltani et al., 2006). بر این اساس استفاده از سال‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف برای کمی کردن دقیق‌تر مراحل نمو گیاهان ضروری به نظر می‌رسد.

سهم بیشتر دما بر نمو سبب شد 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 به

کنند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های خطی دما-طول روز (Sinclair *et al.*, 1991; Grimm *et al.*, 1993)، دما و طول شب (Roberetson, 1998)، درجه دومی حرارت و طول روز (Ahmadi *et al.*, 2009) و رگرسیون مرحله‌ای دما و طول روز اشاره کرد (Daddashi and Khajehpour, 2003; Khajehpour and Seyedi, 2001).

با بکارگیری رگرسیون مرحله‌ای، مدل فتوترمال افزایشی زیر برای برآورد سرعت نمو و در پی آن طول دوره نمو از کاشت تا رویت طبق برای آفتابگردان رقم ونیمیک ۸۹۳۱ ارایه شد (Khajehpour and Seyedi, 2001).

دلیل نقش بیشتر دما، محاسبه شاخصی با زیربنای دما قادر به کاهش شدید ضریب تغییرات پیشگویی مراحل نمو خواهد بود (James and Cuthforth, 2004). مدل‌های نمو با آهنگ ثابت (Clarckson and Russel, 1979)، شاخص دمای مؤثر یا درجه روز رشدها (Andarzian *et al.*, 2007) و حرارتی غیر خطی (Ayon *et al.*, 2005) از جمله مدل‌های حرارتی هستند.

وجود تأثیر معنی‌دار طول روز بر گیاهان پژوهشگران را بر آن داشت تا هم زمان طول روز را نیز به واحدهای حرارتی اضافه

$$1/D = 1.38557 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-5} T_{max}^2 - 1.0405 \times 10^{-2} DL \quad R^2 = 0.98$$

گلرنگ رقم کوسه و کاشت تا رسیدگی گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ پیشنهاد شد (Daddashi and Khajehpour, 2003).

با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای پیش رونده، مدل‌های زیر به ترتیب برای برآورد سرعت نمو مرحله کاشت تا ۵۰ درصد گلدهی

$$1/D = -0.002 + 5 \times 10^{-5} T_{mean} DL \quad R^2 = 0.86$$

$$1/D = 0.926 - 0.0148 T_{min} + 6 \times 10^{-4} T_{min}^2 \quad R^2 = 0.99$$

شدن تا رویت طبق با متغیرهای دمایی و طول روز را به صورت زیر ارایه نمودند.

حیدری‌زاده و همکاران (Heydarizadeh *et al.*, 2008) ارتباط سرعت نمو ژنوتیپ گلرنگ اصفهان ۱۴ در دوره سبز

$$1/D = 0.0138 - 0.00075 T_{max} + 0.00009812 T_{mean} \times DL \quad R^2 = 0.99$$

رقم گلرنگ گلدشت در 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 شد. آزمایش‌های سال‌های زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ و ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در سه تکرار و بقیه آزمایش‌ها در شش تکرار به اجرا در آمدند.

عملیات تهیه بستر شامل شخم عمیق پائیزه، دیسک بهاره و تسطیح بود. کودپاشی قبل از کاشت بر اساس ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم (۴۸ درصد اکسید فسفر و ۱۸ درصد نیتروژن خالص) انجام گرفت. در این حالت کود با خاک مخلوط گردید و دوباره تسطیح انجام شد. به منظور کنترل علف‌های هرز، علف کش ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار پاشیده و به کمک دیسک با خاک مخلوط گردید.

کاشت به صورت خشکه کاری و خطی انجام شد. فاصله خطوط کاشت ۴۰ سانتیمتر و فاصله دو بوته در یک ردیف ۵ سانتیمتر (۵۰ بوته در مترمربع) بود. بدین منظور در مرحله کاشت بذرها پشت سر هم کاشته شدند و در مرحله

واکنش ژنوتیپ‌های یک گونه زراعی به دما و طول روز یکسان نیست (Sinclair et al., 1991) بر این اساس (Heydarizadeh et al., 2008). برای تاثیرپذیری دوره‌های مختلف نمو هر رقم گلرنگ از دما و طول روز به مدل خاصی نیاز می‌باشد هدف از این مطالعه برآورد طول مراحل فنولوژیک گلرنگ رقم گلدشت با تعیین مدل‌هایی بر اساس دما و طول روز و همچنین تأثیر این عناصر اقلیمی بر مراحل فنولوژیکی این رقم برای توسعه کشت آن بود.

مواد و روش‌ها

به منظور پیش‌بینی طول مراحل فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت و همچنین ارزیابی تأثیرپذیری طول این مراحل از تغییرات طول روز و دما از آزمایش‌های تاریخ کاشت این رقم که طی پنج سال زراعی در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان انجام شد، استفاده گردید. این ایستگاه در ۳۰ 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 خشک، بسیار گرم با تابستان گرم و خشک می‌باشد. میانگین دراز مدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه در این ایستگاه به ترتیب ۱۲۲ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سیلسیوس است (Karimi, 1983).

محاسبه گردید. روز شروع هر مرحله احتساب و روز پایان آن مرحله احتساب نگردید. داده‌های هواشناسی شامل حداکثر، حداقل و میانگین شبانه روزی دما از ایستگاه هواشناسی کبوترآباد اصفهان تهیه شد. طول روز با استفاده از روش گیزلینگ (Keisling, 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 به دست آمد. با وارد کردن داده‌ها در نرم افزار اکسل، میانگین حداکثرها، حداقل‌ها، میانگین دمای شبانه‌روزی و میانگین طول روز، مطابق با هر مرحله فنولوژیکی ثبت شده به دست آمد.

ضرایب همبستگی بین متغیرهای هواشناسی و طول مراحل نمو محاسبه گردید. طول هر مرحله فنولوژیکی به عنوان متغیر تابع و پارامترهای حرارتی و طول روز مربوط، به عنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون مرحله ای نرم‌افزار 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 فنولوژیکی، علاوه بر متغیرهای حرارتی، میانگین طول روز (DL)،

چهار برگی، بوته‌ها به فاصله ۵ سانتیمتر از یکدیگر تنک شدند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف کاشت به طول ۴ متر بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی بر اساس دور آبیاری و بسته به دمای هوا و نیاز گیاه انجام گردید. وجین علف‌های هرز پس از کاشت و در مواقع لازم صورت گرفت. همراه با آخرین وجین (در مرحله هشت برگی)، معادل ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره (۴۵ درصد نیتروژن خالص) در هکتار در بصورت سرک به هر کرت داده شد.

مراحل فنولوژیکی بر اساس مشاهده علائم مربوطه در هر کرت بدین شرح تعیین گردید (Anon., 1983):

الف) مرحله سبز شدن، زمانی که لپه‌ها در ۹۰ درصد از نقطه‌های کاشت خارج می‌شوند.
ب) مرحله رؤیت طبق (تکمه‌دهی)، زمانی که جوانه زایشی به صورت تکمه‌ای به قطر حدود ۱ سانتی‌متر در انتهای ساقه اصلی در ۱۰ درصد بوته‌ها آغاز می‌شود.
ج) مرحله گل‌دهی، آغاز گرده‌افشانی در گل آذین‌های انتهایی ساقه اصلی در ۱۰ درصد بوته‌ها.

د) مرحله رسیدگی، زمانی که ۹۰ درصد طبق‌ها متمایل به رنگ قهوه‌ای می‌شوند.

بر اساس مراحل فنولوژیکی 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

مربع و مکعب طول روز برای طول دوره فنولوژیک (D) مورد نظر و حاصل ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز در معادلات رگرسیون مرحله‌ای منظور شدند. مرحله‌ای از رگرسیون به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جزء آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود و حداکثر ضریب تشخیص کل را داشت. برای ارزیابی دقت و حساسیت مدل‌ها از نتایج آزمایش‌های زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ که در مدل‌سازی بکار گرفته نشدند استفاده گردید.

نتایج و بحث

طول دوره کاشت تا سبز شدن در گلرنگ رقم گلدشت در تاریخ کاشت‌های مختلف بین ۴ تا ۲۰ روز متغیر و میانگین آن ۹/۲ روز بود. بیشترین طول دوره در تاریخ کاشت اول در سال سوم آزمایش و کمترین طول دوره در تاریخ

کاشت‌های ششم در سال اول آزمایش و هشتم در سال دوم آزمایش حاصل شدند. با تأخیر در کاشت طول این دوره کاهش یافت که دلیل آن را می‌توان افزایش دما ذکر کرد. همبستگی‌های منفی و معنی دار بین طول دوره و متغیرهای حرارتی مؤید این مطلب است (جدول ۱). مقایسه تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در تاریخ کاشت‌های مختلف در سال‌های آزمایش نشان می‌دهد که روند تغییرات طول این دوره نسبت به تغییرات دما در برخی موارد یکسان نیست که علت آن می‌تواند عواملی از قبیل دور آبیاری، عمق کاشت، رطوبت خاک و نظیر آن باشد. میانگین و مکعب درجه حرارت حداکثر (مدل ۱) متغیرهایی بودند که طول دوره کاشت تا سبز شدن ژنوتیپ مورد آزمایش را به میزان ۸۹/۴۹ درصد توضیح دادند (جدول ۲).

مدل ۱: مدل تخمین طول دوره کاشت تا سبز شدن:

$$D = 23.486454 - 1.79620603T_{\text{mean}} - 0.00044607T_{\text{max}}^3 \quad R^2 = 0.89$$

میسر خواهد بود که به وسایل خاص نیاز دارد. به هر حال با توجه به ضریب تشخیص بدست آمده در مدل ۱ بنظر می‌رسد بخش زیادی از تغییرات دمای خاک توسط دمای هوا در این مطالعه توضیح داده شد. در مطالعه‌ای که در اتاکنک رشد روی گلرنگ رقم Dinsler انجام گرفت، مدل زیر برای پیش‌بینی تعداد روز تا

دمای خاک بر جوانه زدن و سبز شدن بذر گیاه مؤثر است. از طرف دیگر با دمای خاک تا عمق جوانه زدن بذر با دمای شبانه‌روزی هوا در حال تعادل است ولی چون میانگین دمای شبانه‌روزی هوا بطور مداوم تغییر می‌کند تخمین دقیق‌تر طول دوران سبز شدن بذر در خاک با اندازه‌گیری مستقیم حرارت خاک

جدول ۱- ضرایب همبستگی مراحل فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت با متغیرهای هواشناسی
Table 1. Correlation coefficients of safflower cv. Goldasht phenological development stages with meteorological variables

		Daily temperature دمای شبانه روزی			میانگین طول روز
		میانگین حداکثر Maximum mean	میانگین حداقل Minimum mean	میانگین Mean	Day length mean
		Planting to Emergence کاشت تا سبز شدن			
Minimum mean	میانگین حداقل	0.977**			
Mean	میانگین	0.995**	0.993**		
Day length mean	میانگین طول روز	0.916**	0.942**	0.935**	
Period mean	میانگین طول دوره	-0.881**	-0.897**	-0.899**	-0.952**
		Emergence to Heading سبز شدن تا تکمه دهی			
Minimum mean	میانگین حداقل	0.985**			
Mean	میانگین	0.997**	0.995**		
Day length mean	میانگین طول روز	0.889**	0.854**	0.874**	
Period mean	میانگین طول دوره	-0.945**	-0.909**	-0.933**	-0.903**
		Emergence to Flowering سبز شدن تا گلدهی			
Minimum mean	میانگین حداقل	0.984**			
Mean	میانگین	0.996**	0.996**		
Day length mean	میانگین طول روز	0.834**	0.784**	0.810**	
Period mean	میانگین طول دوره	-0.982**	-0.963**	-0.976**	-0.903**
		Emergence to Maturity سبز شدن تا رسیدگی			
Minimum mean	میانگین حداقل	0.964**			
Mean	میانگین	0.992**	0.990**		
Day length mean	میانگین طول روز	0.109	0.247	0.180	
Period mean	میانگین طول دوره	-0.884**	-0.898**	-0.899**	-0.473
		Flowering to Maturity گلدهی تا رسیدگی			
Minimum mean	میانگین حداقل	0.954**			
Mean	میانگین	0.984**	0.992**		
Day length mean	میانگین طول روز	0.954**	0.916**	0.943**	
Period mean	میانگین طول دوره	-0.746**	-0.840**	-0.809**	-0.749**

** : Significant at the 1% probability level.

** : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۲- خلاصه آنالیز رگرسیون مرحله ای برای برآورد طول دوره مراحل فنولوژیک گلرنگ رقم گلدشت

Table 2. Summary of stepwise regression for estimating of duration of phenological development stages of safflower cv. Goldasht

متغیر ^۱	ضریب تشخیص مدل	ضریب تشخیص جزء	سطح احتمال معنی دار بودن ضریب تشخیص جزء	ضریب رگرسیون	اشتباه معیار ضریب رگرسیون	سطح احتمال معنی دار بودن ضریب رگرسیون
Variable ¹	Coefficient of determination of model (R ²)	Partial coefficient of determination (P. R ²)	Significant level of partial coefficient of determination	Regression coefficient	Standard error of regression coefficient	Probability level of significance of regression coefficient
Sowing to Emergence کاشت تا سبز شدن						
Intercept	--	--	--	33.48645406	1.19272015	0.0001
T mean	0.7873**	0.7873	0.0001	-1.79620603	0.11908822	0.0001
T ³ max	0.8944**	0.1076	0.0001	0.00044687	0.00004571	0.0001
Emergence to heading سبز شدن تا تکمه دهی						
Intercept	--	--	--	194.59439597	19.03662951	0.0001
DL × T _{max}	0.8457**	0.8457	0.0001	-0.556399465	0.08684138	0.0001
DL ² × T _{max} ²	0.8776**	0.0319	0.0001	0.00047619	0.00009676	0.0001
Emergence to flowering سبز شدن تا گلدهی						
Intercept	--	--	--	139.62255906	2.03184361	0.0001
DL × T _{max}	0.9447**	0.9447	0.0001	-0.17344716	0.00432761	0.0001
Emergence to Maturity سبز شدن تا رسیدگی						
Intercept	--	--	--	291.8805142	16.06907982	0.0001
DL × T _{max}	0.8263**	0.8263	0.0001	-0.50596864	0.05697893	0.0001
T _{mean} ²	0.8464	0.0200	0.5830	0.0661398	0.01900505	0.0001
Flowering to Maturity گلدهی تا رسیدگی						
Intercept	--	--	--	7.95697085	3.43942215	0.0001
T _{min}	0.5830*	0.5830	0.5830	-2.17469491	0.18971641	0.0001

(۱) -DL, Tmean, T min, T max, به ترتیب میانگین طول روز، میانگین حداکثر و حداقل و میانگین درجه حرارت طی دوره مورد نظر می باشند.
1. DL, Tmax, Tmin, Tmean are; day length mean, maximum mean, minimum mean and mean of temperature, respectively.

(Ayon et al., 2005)

جوانه‌زنی این رقم ارائه گردید

$$1/D = 0.38 - 0.07T_{\text{mean}} + 0.0012T_{\text{mean}}^2$$

$$R^2 = 0.91$$

۶۷ روز متغیر و میانگین آن ۴۳/۴ روز بود.
بیشترین طول دوره در تاریخ کاشت اول در سال

طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی در رقم
مورد مطالعه در تاریخ کاشت مختلف بین ۳۱ تا

خوبی نشان دهنده این مطلب است. بررسی‌های انجام گرفته (Mundel *et al.*, 1994; Daddashi and Khajehpour, 2003) روی گلرنگ بهاره نیز نشان می‌دهد که طول دوره از کاشت تا تکمه‌دهی (به عنوان اولین علامت قابل مشاهده شروع گلدهی در گلرنگ) همراه با تأخیر در کاشت کوتاه می‌شود. حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر اولین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی ۸۴/۵۷ درصد تغییرات را توضیح داد. مربع طول روز در مربع درجه حرارت ماکزیمم دومین متغیری بود که وارد مدل شد و ۳/۱۹ درصد تغییرات این دوره را تفسیر نمود و همراه با متغیر اول دقت مدل را (مدل ۲) به ۸۷/۷۶ درصد رسانید (جدول ۲).

مدل ۲: مدل تخمین طول مرحله سبز شدن تا تکمه‌دهی:

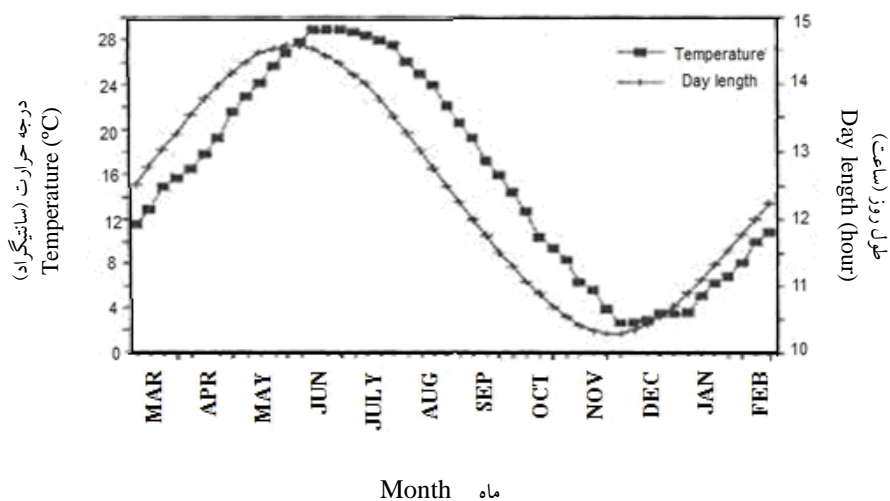
دوم آزمایش و کمترین طول دوره در تاریخ کاشت‌های ششم و هشتم در سال چهارم آزمایش حاصل شدند. بطور کلی می‌توان گفت با تأخیر در کاشت و گرم شدن هوا مدت زمان لازم از سبز شدن تا تکمه‌دهی کاهش یافت. همبستگی منفی و معنی‌دار بین طول دوره و متغیرهای حرارتی نیز نشان‌دهنده این مطلب بود (جدول ۱). از طرف دیگر با توجه به اینکه گلرنگ گیاهی سرما دوست و روز بلند است و حساسیت آن به طول روز طی سبز شدن تا تشکیل جوانه گل (مرحله رؤیت طبق) مشاهده می‌گردد (Francis, 1970)، انتظار می‌رود که با تأخیر در کاشت و افزایش طول روز، طول دوره سبز شدن تا رؤیت طبق کاهش یابد که این چنین نیز شد.

همبستگی منفی و معنی‌دار ($r = -0.903^{**}$) بین طول دوره و طول روز نیز به

$$D = 194.59439597 - 0.55639965DL \times T_{\max} + 0.00047619DL^2 \times T_{\max}^2 \quad R^2 = 0.88$$

طول روز را (با محدوده شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی‌مترمربع بر دقیقه یا محدوده زمانی که مرکز خورشید حدوداً دو درجه زیر افق است) در طول سال برای اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی) نشان می‌دهد. طول روز با روش کیزلینگ (Keisling, 1982) محاسبه شد و محدوده شدت نور بر اساس احتمال عکس‌العمل گیاهان به شدت نورهای کمتر از هنگام طلوع یا غروب

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هم درجه حرارت و هم طول روز در توجیه سرعت نمو این مرحله نقش دارند. اگرچه تفکیک اثر طول روز از اثر دما در شرایط مزرعه‌ای بسیار دشوار است، ولی نتایج بدست آمده ممکن است در قیاس با سایر شرایط بیشتر تعمیم‌پذیر باشد. تعیین چگونگی واکنش گیاهان نسبت به طول روز در شرایط طبیعی ساده نیست. شکل ۱ روند تغییرات میانگین دراز مدت ماهانه دما و



شکل ۱- روند تغییرات میانگین دما و طول روز (در محدوده شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی متر مربع بر دقیقه) در طول سال در اصفهان (اقتباس از Khajehpour, 1998)

Fig. 1. Mean temperature and day length (at light intensity of 0.001 calcm⁻²min⁻¹ before sunrise and after sunset) during the year in Esfahan (adapted from Khajehpour, 1998)

تحت تأثیر واریانس موجود در دما و هماهنگی تغییرات دما و طول روز قرار دارد. به طور مثال، طول روز از اواسط خرداد تا اوایل مرداد ثبات بیشتری دارد. در سایر مواقع از فصل رشد این دو متغیر به طور هماهنگ تغییر می‌یابند (Khajehpour, 1998). در مطالعه‌ای، سرعت نمو مرحله کاشت تا رؤیت طبق رقم آفتابگردان Vinimik با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای به صورت زیر گزارش شد (Khajehpour and Seyedi, 2001).

انتخاب گردید. مشاهده می‌شود که تغییرات میانگین دما نسبت به طول روز با تأخیر فاز همراه است، ولی هر دو، همروندی کاملی را نشان می‌دهند. به این طریق تفکیک اثر دما از طول روز بر نمو گیاه دچار اشکال می‌شود. بر اساس اینکه دوره نمو مورد نظر در کدام ماه از سال رخ می‌دهد، سهم دما و طول روز در تعیین طول این دوره متفاوت خواهد بود. ورود این دو متغیر در مدل‌های برآورد طول دوره فنولوژیکی، علاوه بر ماهیت عکس‌العمل گیاه،

$$1/N = 1.38557 \times 10^{-10} + 3 \times 10^{-5} T_{\max} + 1.045 \times 10^{-2} DL \quad R^2 = 0.84$$

متغیر و میانگین آن ۵۸ روز بود. کمترین و بیشترین طول این دوره بترتیب در تاریخ کاشت هفتم در سال سوم آزمایش و

طول دوره سبز شدن تا گلدهی در گلرنگ رقم گلدشت در تاریخ کاشت‌های مختلف بین ۴۶ تا ۸۱ روز

تاریخ کاشت اول در سال دوم آزمایش بود. در این مرحله حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت حداکثر تنها متغیری بود که وارد مدل شد (مدل ۳) و دقت آنرا به ۹۴/۴۷ درصد رساند (جدول ۲) که بدلیل کوتاه بودن فاصله زمان تکمه‌دهی تا گلدهی مورد انتظار می‌باشد.

مدل ۳: مدل تخمین طول مرحله سبز شدن تا گلدهی:

$$D = 139.622555906 - 0.17344716 DL \times T_{max} \quad R^2 = 0.94$$

طول دوره سبز شدن تا رسیدگی برای گلرنگ رقم گل‌دشت در تاریخ کاشت‌های مختلف از ۷۶ تا ۱۱۲ روز متغیر و میانگین آن ۹۰/۴ روز بود. کمترین تعداد روز در تاریخ کاشت هفتم در سال چهارم از آزمایش و بیشترین تعداد روز در تاریخ کاشت اول در سال سوم آزمایش بود (مدل ۴).

مدل ۴: مدل تخمین طول مرحله سبز شدن تا رسیدگی:

$$D = 291.88605142 - 0.50596864 DL \times T_{max} + 0.0661398 T_{mean}^2 \quad R^2 = 0.85$$

با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد متغیرهای حرارتی و عمدتاً درجه حرارت‌های حداکثر عوامل اصلی در توضیح تغییرات این دوره می‌باشند. در تحقیق دیگری سرعت نمو گلرنگ لاین اراک-۲۸۱۱ طی دوران کاشت تا رسیدگی توسط حداقل دما تفسیر شد (Daddashi and Khajehpour, 2003).

با تأخیر در کاشت طول دوره گلدهی تا رسیدگی به آرامی کاهش یافت و سپس با تأخیر بیشتر به آرامی افزایش یافت که دقیقاً هم‌روند با تغییرات حرارتی طی این دوره می‌باشد (جدول ۱). طول دوره گلدهی تا رسیدگی برای رقم گل‌دشت از ۱۷ تا ۴۸ روز متغیر و میانگین آن ۳۱/۸ روز بود. کمترین تعداد روز در تاریخ کاشت اول در سال دوم آزمایش و بیشترین آن در تاریخ کاشت هفتم در سال سوم آزمایش مشاهده شد. در انطباق با ضرایب همبستگی محاسبه شده درجه حرارت حداقل تنها متغیری بود که وارد مدل شد (مدل ۵) و ۵۸/۳۰ درصد تغییرات طول دوره این مرحله را با ضریب رگرسیون منفی توضیح داد (جدول ۲).

مدل ۵: طول دوره مرحله گلدهی تا رسیدگی:

$$D = 7.95697085 - 2.17469491T_{\min}$$

$$R^2 = 0.58$$

کمترین مقدار و برای دوره‌های سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی دارای بیشترین مقدار بودند. علت این امر در مورد مرحله گلدهی تا رسیدگی را می‌توان به پائین بودن ضریب تبیین مدل برای این مرحله ربط داد (جدول ۲). در حالیکه در مورد مراحل کاشت تا سبز شدن و سبز شدن تا رسیدگی می‌توان گفت دقت یک مدل هنگامی مطلوب است که انحراف از رگرسیون در حداقل خود بوده و میانگین انحرافات و انحراف معیار آن نزدیک به صفر باشد. بر این اساس ممکن است مدل‌های تخمین طول دوران کاشت تا سبز شدن را بهترین مدل دانست.

در صورتیکه حدود تغییرات انحراف از رگرسیون طی دوره کاشت تا سبز شدن مورد توجه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که میزان انحراف نسبت به طول دوره حقیقی نمو بسیار بزرگ است. به همین دلیل حداکثر میزان انحراف از رگرسیون نسبت به طول دوره حقیقی نمو بصورت درصد (حداکثر خطای برآورد) سنجیده شد (جدول ۴). بر اساس این معیار، مراحل نمو طولانی بخوبی تخمین زده شدند که نشانگر کارایی مدل‌های محاسبه شده برای گلرنگ رقم گلدهی می‌باشد. معیار مناسب دیگری برای ارزیابی ممکن است میزان خطای تخمین (بصورت درصد) بر حسب طیف انحراف از رگرسیون (خطای تخمین بر اساس

باید یادآور شد انتظار نمی‌رود که طول دوره گلدهی تا رسیدگی تحت تأثیر طول روز قرار گیرد. در آزمایشی که روی گلرنگ رقم ورامین انجام شد، دوره مذکور به وسیله هیچ یک از متغیرهای مورد مطالعه توضیح داده نشد (Daddashi and Khajehpour, 2003).

نتایج ارزیابی مدل‌ها با توجه به مرحله مدل‌سازی شده، مقادیر حقیقی و تخمینی و اختلاف این دو مقدار در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به اطلاعات این جدول، عدم وجود اختلاف بین اعداد حقیقی و پیش‌بینی شده برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی بترتیب در ۱، ۲ و ۱ مورد مشاهده و برای مراحل سبز شدن تا تکمه دهی و سبز شدن تا رسیدگی موردی مشاهده نگردید. بیشترین اختلاف برای گلرنگ رقم گلدهی، ۱۱ روز و مربوط به مراحل سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی بود.

میانگین طول دوره حقیقی مراحل مختلف فنولوژیکی در تاریخ‌های مختلف کاشت، پارامترهای مرتبط با انحراف از رگرسیون و میزان خطاهای تخمین بر اساس حداکثر و طیف انحراف از رگرسیون برای گلرنگ رقم گلدهی در جدول ۴ ارائه شده است. قدر مطلق پارامترهای مرتبط با انحراف از رگرسیون شامل حداقل، حداکثر، طیف، میانگین و انحراف معیار برای دوره کاشت تا سبز شدن دارای

جدول ۳ - اعداد حقیقی، تخمینی و تفاوت آنها برای طول مراحل مختلف فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت در تاریخ کاشت‌های مختلف در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷

Table 3. Observed and estimated data and differences for various phenological development stages of safflower cv. Goldasht in different sowing dates in 2008-2009 growing seasons

تاریخ کاشت Planting date	روز از کاشت تا سبز شدن			روز از سبز شدن تا رویت طبق			روز از سبز شدن تا گلدهی			روز از سبز شدن تا رسیدگی			روز از گلدهی تا رسیدگی		
	No. days (sowing to emergence)			No. days (emergence to heading)			No. days (emergence to flowering)			No. days (emergence to maturity)			No. days (flowering to maturity)		
	مشاهده شده	برآورد	اختلاف	مشاهده شده	برآورد	اختلاف	مشاهده شده	برآورد	اختلاف	مشاهده شده	برآورد	اختلاف	مشاهده شده	برآورد	اختلاف
Observed	Estimated	Difference	Observed	Estimated	Difference	Observed	Estimated	Difference	Observed	Estimated	Difference	Observed	Estimated	Difference	
5 March	17	15	2	55	60	-5	76	72	4	109	118	-9	33	44	-11
20 March	14	15	-1	52	57	-5	71	70	1	101	107	-6	31	30	1
5 April	13	10	3	48	52	-4	60	62	-2	90	101	-11	27	23	4
20 April	10	10	0	41	43	-2	56	57	-1	83	88	-5	26	24	2
5 May	9	9	0	39	41	-2	51	51	0	79	85	-6	25	25	0
20 May	8	7	1	30	36	-6	42	47	-5	75	82	-7	29	23	9
5 June	6	5	1	28	31	-3	44	46	-2	73	76	-3	30	28	2
20 June	6	5	1	27	29	-2	45	41	4	77	75	2	40	33	7

جدول ۴ - پارامترهای مرتبط با انحراف از رگرسیون، طول دوره مشاهده شده و میزان خطای برآورد برای طول مراحل فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت

Table 4. Parameters associated to regression deviation, observed duration and estimated error for phenological development stages of safflower cv. Goldasht

Phenological development stage	مرحله فنولوژیکی	طول دوره مشاهده شده (روز) Observed duration (day)	Deviation from regression			انحراف از رگرسیون		حداکثر خطای برآورد (درصد) ^۱	خطای برآورد بر اساس طیف (درصد) ^۲
			حداقل Min	حداکثر Max	دامنه Range	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation	Max. of estimated error (%) ¹	Estimated error based on range (%) ²
Sowing to Emergence	کاشت تا سبز شدن	10.5	-2	2	4	0.9	1.2	19.0	38.1
Emergence to Heading	سبز شدن تا رویت طبق	43.4	-4	3	7	1.5	2.1	9.2	16.1
Emergence to flowering	سبز شدن تا گلدهی	59.0	-4	5	9	2.9	3.4	8.5	15.3
Emergence to maturity	سبز شدن تا رسیدگی	92.6	-8	7	15	4.8	4.3	8.1	16.2
Flowering to maturity	گلدهی تا رسیدگی	31.8	-2	9	11	3.0	3.2	28.3	34.6

1. Maximum deviation from regression divided by observed duration × 100

۱ - حداکثر انحراف از رگرسیون تقسیم بر طول دوره مشاهده شده × ۱۰۰

2. Range of deviation from regression divided by observed duration × 100

۲ - دامنه انحراف از رگرسیون تقسیم بر طول دوره مشاهده شده × ۱۰۰

تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی، سبز شدن تا رسیدگی و نیز رسیدگی تا رسیدگی ثابت نیستند و با مقادیر متفاوتی طول این دوره‌ها را توضیح دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سهم پارامترهای درجه حرارت و طول روز در تعیین مراحل مختلف فنولوژیکی گلرنگ رقم گلدشت ثابت نیست. علت این امر ممکن است تفاوت‌هایی در ماهیت فیزیولوژیکی مراحل و اختلاف در عکس‌العمل مراحل فنولوژیکی به عناصر اقلیمی، خاکی، زراعی و اثر متقابل این عوامل با یکدیگر و با ژنوتیپ گیاه باشد.

طیف) باشد (جدول ۴) معیار اخیر وضعیت ارزیابی مدل‌ها را تغییر نمی‌دهد. بطور مثال خطای تخمین بر اساس طیف برای مرحله کاشت تا سبز شدن بسیار بیشتر از همین معیار برای مراحل سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی بود.

نتایج این پژوهش نشان داد که مراحل مختلف فنولوژیک گلرنگ رقم گلدشت، عکس‌العمل‌های متفاوتی را به تغییرات طول روز و دمای ناشی از تأخیر در کاشت نشان می‌دهند. متغیرهای ورودی در معادلات برآورد طول مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا

References

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., and Zeinali, E. 2009. Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of bread wheat (Tajan cultivar) in response to temperature and photoperiod. *Electronic Journal of Crop Production* 2(4): 39-54 (In Persian).
- Andarzian, B., Bakhsandeh, A., Fathi, G., Alamisaied, M., Banayan, V., and Emamai, Y. 2007. CDSS MODEL: A model for modeling of crop developmental stages. *Pajouhesh -va-Sazandegi* 20: 71-79 (In Persian).
- Anonymus. 1983. Safflower descriptors. International Board for Plant Genetic Resources. 21pp.
- 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. In: *Proceedings of the 6th International Safflower Confernce.*
- Clarkson, N. M., and Russel, J. S. 1979. Effect of temperature on the development of two annual medics. *Australian Journal of Agricultural Research* 30: 909-916.
- Dadashi, N., and Khajehpour, M. R. 2004. Effects of temperature and day-length on developmental stages of safflower genotypes under field conditions. *Journal of Science*

- and Technology of Agriculture and Natural Resources 7: 83-102 (In Persian).
- Grimm, S. S., Jones, J. W., Boote, K. J., and Hesketh, J. D. 1993.** Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. *Crop Science* 33: 137-144.
- Francis, C .A. 1970.** Effective day-lengths for the study of photoperiod sensitive reaction plants. *Agronomy Journal* 62: 740-792.
- Froozan, K. 2005.** Safflower production in Iran (past, now, future). Pp. 255-257. In: *Proceedings of the 6th International Safflower Conference.*
- Heydarzadeh, P., Sabazalian, M. R., and Khajehpour, M. R. 2008.** Effect of temperature and daylength on vegetative and seed yield in safflower genotypes. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 45: 365-377 (In Persian).
- Jame, Y. W., and Cutforth, H. W. 2004.** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agriculture Forest Meteorology* 124: 207-218.
- Karimi, M. 1982.** Esfahan province climate. Plan and Budget Organization of Esfahan. 54 pp.
- Khajehpour, M. R. 1998.** The role of day-length and temperature in planting date selection of crops. Pp. 35-55. In: *Proceedings of the 5th Iranian Conference on Crop Production and Plant Breeding.*
- Khajehpour, M. R., and Seyedi, F. 2001.** Effect of temperature and day-length on developmental stages of sunflower cultivars under field conditions. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 2: 91-107 (In Persian).
- Keisling, T. C. 1982.** Calculation of the length of day. *Agronomy Journal* 74: 758-759.
- Mundel, H. H., Morrison, R. J., Blackshaw, R. E., Roth, B. T., Gaudiel, R., and Kiehn, F. 1994.** Seeding-date effect on yield, quality and maturing of safflower. *Canadian Journal of Plant Science* 74: 261-266.
- Robertson, G. W. 1998.** A biometeorological time scale for cereal crop involving day and night temperature and photoperiod. *International Journal of Biometeorology* 12: 141-223.
- Sinclair, T. R., Kitani, S., Hinson, K., Bruniard, J., and Horie, T. 1991.** Soybean flowering date: Linear and logistics models based on temperature and photoperiod. *Crop*

Science 31: 786-790.

Soltani, A., Robertson, M. A., Torabi, B., Yousefi Daz, M., and Sarparast, R. 2006.

Modeling seeding emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth.

Agriculture and Forest Meteorology 138: 156-167.

Vollman, J., and Rajcan, I. 2010. Oil crops. Springer, London. 548 pp.