

مدل‌سازی مراحل نمو یک رقم گلرنگ بهاره، با استفاده از درجه حرارت و طول روز

جواد خوشحال - دانشیار رشته اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان

عبدالمجید رضایی - استاد اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان

طلعت یساری* - دانشجوی دوره دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۳/۱۷ - تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۱۰/۳۰

چکیده

برای ارزیابی تأثیرپذیری طول مراحل مختلف نمو گلرنگ رقم اراک، از تغییرات طول روز و دما و مدل‌سازی سرعت نمو در دوره‌های مختلف نمو، آزمایش‌هایی با بهره‌گیری از تاریخ‌های مختلف کاشت طی سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان انجام گردید. برای تخمین سرعت نمو طی هر مرحله، عکس طول هر مرحله به عنوان متغیر تابع و متغیرهای حرارتی، طول روز و حاصل‌ضرب 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 آخرین جزء آن حداقل در سطح احتمال ۱۰ درصد معنی‌دار باشد و حداکثر ضریب تشخیص کل را داشته باشد. تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا رویت طبق، سبز شدن تا رسیدگی و گل‌دهی تا رسیدگی از تاریخ‌های کاشت تأثیر پذیرفت. با افزایش دما، طول مراحل نمو کاهش یافت. طول دوره سبز شدن تا رویت طبق بیشترین تأثیر را از طول روز پذیرفت و با افزایش آن کاهش یافت. درجه حرارت حداقل تنها متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی حدود ۷۶ درصد تغییرات سرعت سبز شدن رقم اراک را توضیح داد. حدود ۸۴ درصد تغییرات سرعت نمو در طول دوران سبز شدن تا رویت طبق به وسیله حاصل‌ضرب درجه حرارت حداکثر در طول روز، توجیه گردید. بخش عمده واریانس سرعت نمو این رقم طی دوران سبز شدن تا رسیدگی به وسیله حاصل‌ضرب مربع میانگین حرارت در مربع طول روز و به میزان حدود ۶۶ درصد توضیح داده شد. حاصل‌ضرب میانگین دما در طول روز، توان چهارم، دوم و اول درجه حرارت حداقل متغیرهای بعدی بودند که وارد مدل شدند و روی هم حدود ۸۰ درصد تغییرات سرعت این دوره را بیان کردند. توان چهارم درجه حرارت حداقل تنها متغیری بود که سرعت نمو مرحله گل‌دهی تا رسیدگی را به میزان حدود ۵۵ درصد توضیح داد.

کلیدواژه‌ها: دما، طول روز، گلرنگ، مراحل نمو، مدل‌سازی.

مقدمه

گلرنگ گیاهی یک‌ساله، متعلق به خانواده کاهو، برگ‌پهن، روغنی و سازگار با شرایط خشکی است

(Rohini & Sankava, 2000, 1043)، این گیاه ماهیتاً سرمدوست و روزبلند است. منشأ گلرنگ جنوب آسیاست و از دیرباز در چین، هند، ایران و مصر کشت می‌شده است. این گیاه در قرون وسطی در ایتالیا، فرانسه و اسپانیا نیز کشت می‌شد و بعداً به آمریکا، مکزیک، ونزوئلا و کلمبیا برده شد. در آغاز گلرنگ به‌منظور استفاده از رنگ حاصل از گلبرگ‌های آن در رنگ‌آمیزی پارچه و تزئین غذا کاشته می‌شد، ولی امروزه علاوه بر آن، کشت این گیاه به خاطر تولید روغن، کنجاله و تهیه مواد دارویی و لوازم آرایشی نیز انجام می‌گیرد (Cho and Ta, 2000, 258). سطح زیر کشت گلرنگ در جهان در سال ۲۰۰۴ معادل ۷۹۵۱۱۸ هکتار و تولید دانه آن ۷۳۱۴۲۵ تن بوده است. سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۶۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد یک تن در هکتار است و بیشترین سطح زیر کشت این گیاه به ترتیب مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان و یزد است (Frouzan, 2005, 265). سازگاری وسیع گلرنگ با اقلیم‌های مختلف و تحمل زیاد آن در شرایط نامساعد ایجاب می‌کند که مطالعات و آزمایش‌های گسترده‌ای روی آن انجام گیرد و در جهت گسترش کشت آن تلاش زیادی به‌عمل آید.

نمو محصول عبارت است از تغییرات کیفی برنامه‌ریزی شده‌ای که گیاه را به سوی رسیدگی هدایت می‌کند و محققان آن را پدیده‌شناسی می‌نامند (اندرزیان و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۲). نمو را باید از رشد که تجمع ماده خشک است و از فرایند فتوسنتز حاصل می‌شود، متمایز دانست. عواملی چون فراهم بودن آب، نیتروژن و مواد فتوسنتزی رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهند. 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 گیاه‌اند و تحت این شرایط میزان تأثیرپذیری 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.

یکی از راه‌های پیش‌بینی مراحل نمو ارقام گیاهان زراعی استفاده از روز رندها یا GDD است. گرچه این روش برای توصیه‌های کلی کاربرد دارد ولی به دلایل زیر دارای اشکال‌هایی نیز هست:

(الف) با توجه به اثر طول روز در نمو گیاهان، تأثیر این عامل مهم را بر روی نمو محصول نمی‌تواند محاسبه کند.
 (ب) در مفهوم واحد گرمایی یا درجه روز رشد تصور بر آن است که نوعی رابطه مستقیم خطی بین میزان رشد گیاه و درجه حرارت وجود دارد؛ در صورتی که چنین نیست و معمولاً این رابطه غیرخطی است.
 (ج) به‌جز معادلات اصلاح شده مقدار زیادی وزن به درجه حرارت بالا داده می‌شود، اگرچه دمای بالاتر از ۲۷ درجه ممکن است تأثیر زیان‌بار داشته باشد.

(د) هیچ اختلافی بین ترکیب مختلف فصل نمی‌توان ایجاد کرد. به عنوان مثال، ترکیب بهار گرم و تابستان خنک را نمی‌توان از بهار سرد و تابستان گرم تفکیک کرد.

(ه) دامنه روزانه دما به طور جدی و عمده به حساب آورده نمی‌شود؛ در صورتی که اغلب دامنه روزانه دما نسبت به میانگین روزانه دما دارای اهمیت بیشتری است.

(و) هیچ امتیازی به درجه حرارت آستانه - که با پیشرفت مراحل رویشی تغییر می‌کند - داده نمی‌شود.

(ز) ممکن است گیاه برای مدت کوتاهی (چند ساعت) در معرض حرارت‌های بازدارنده بالایی و پایینی قرار گیرد ولی

این مدت برای کل آن روز در نظر گرفته می‌شود (مظفری، ۱۳۸۳، ۱۴۱).

درجه حرارت و طول روز از عناصر مهم اقلیمی به‌شمار می‌آیند (Ahrens, 2007, 71). سهم بیشتر دما بر نمو سبب شد تا گام‌های نخست در جهت شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی با استفاده از دما صورت پذیرد و تمامی پژوهشگران در ابتدا بر این عقیده بودند که به دلیل نقش بیشتر دما، محاسبه شاخصی با زیربنای دما قادر به کاهش شدید ضریب تغییرات پیشگویی مراحل نمو خواهد بود (Jame and Cutforth, 1997, 9). مدل‌های نمو با آهنگ ثابت (Clarkson 1911, 911 & Russel, 1979)، شاخص دمای مؤثر (Robertson, 1983) و حرارتی غیرخطی (Yin and et al., 1995, 3) از جمله مدل‌های حرارتی هستند. وجود تأثیرات معنی‌دار طول روز بر گیاهان، پژوهشگران را بر آن داشت تا همزمان طول روز را نیز به واحدهای حرارتی اضافه کنند (جیم و همکاران، ۱۹۹۸، ۲۴۲). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های خطی دما - طول روز (Lown and Byte, 1973, 69)، دما و طول شب (Robertson, 1998, 146)، درجه دومی حرارت و طول روز (Major and et al., 1975, 177) و رگرسیون مرحله‌ای دما و طول روز (خواججه‌پور و سیدی، ۱۳۸۰، ۹۵) اشاره کرد.

ارقام گلرنگ نه تنها از نظر طول دوره نمو با یکدیگر متفاوت‌اند (Mundel and et al., 1994, 264)، بلکه تأثیرپذیری طول دوره‌های مختلف نمو آنها از دما و طول روز نیز فرق می‌کند (Zimmerman, 1973, 80). تفاوت‌ها سبب ناهمگونی در انطباق مراحل حساس رشد گیاهان با شرایط اقلیمی متفاوت می‌شوند (داداشی و خواججه‌پور، ۱۳۸۲، ۸۴) و بنابراین برای هر ژنوتیپ مشخص به مدل‌های خاصی نیاز است. هدف از این مطالعه، تعیین مدل‌هایی بر اساس دما و طول روز برای تخمین و پیشگویی مراحل مختلف نمو و همچنین تبیین تأثیر عناصر اقلیمی بر مراحل نمو گلرنگ رقم اراک برای توسعه کشت محصول بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی نقش دما و طول روز بر طول مراحل نمو و تعیین ضرایب معادلات برای تخمین سرعت مراحل نمو گلرنگ رقم اراک (این رقم از توده بومی اراک در آزمایش‌های به‌نژادی کرج جدا گردیده و به سایر مناطق از جمله اصفهان ارسال شده است)، آزمایش‌هایی طی سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان انجام شد. 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 تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین درازمدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه در این ایستگاه به ترتیب ۱۲۲ میلی‌متر و ۱۶/۱ درجه سانتی‌گراد است.

طی هر سال آزمایش، رقم مورد نظر در هشت تاریخ کاشت و شش تکرار در طرح آزمایشی بلوک‌های کامل تصادفی با توزیع کرت‌های خرد شده کشت گردید. تاریخ‌های کاشت در هر سال زراعی شامل ۱۵ و ۲۹ اسفندماه، ۱۵ و ۳۰ فروردین ماه، ۱۵ و ۳۰ اردیبهشت ماه، ۱۶ خرداد ماه و ۲ تیرماه بودند، به‌طوری که برای هر مرحله نمو ۹۶ (۲×۸×۶) داده وجود داشت که طیف وسیعی از مراحل نمو، درجه حرارت‌های مینیمم، ماکزیمم، متوسط و طول روزها را در بر می‌گرفت. به‌طور مثال، طول مرحله سبز شدن برای این رقم از حدود ۲۰ روز در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند، تا ۵ روز در

تاریخ کاشت ۲ تیر متغیر بود، یا طول دوره کاشت تا رسیدگی از حدود ۱۳۲ روز در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند تا حدود ۷۶ روز در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد نوسان داشت. به علاوه، این تنوع برای عناصر اقلیمی درجه حرارت و طول روز نیز وجود داشت، به طوری که درجه حرارت‌های مینیمم از دماهای زیر صفر تا ۲۵ درجه سانتیگراد را شامل می‌شد.

کاشت، داشت و برداشت طبق آزمایش‌های معمول گلرنگ انجام گرفت، به طوری که تراکم نهایی در همه کرت‌های آزمایشی یکنواخت بود. در این آزمایش‌ها پس از حذف خطوط اول و چهارم از هر ۴ کرت فرعی و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط دوم و سوم هر کرت، باقی‌مانده جامعه آماری آزمایش را تشکیل داد. مراحل نمو مورد بررسی قرار گرفت و معیاری که براساس آن وقوع هر مرحله ثبت شده، بدین شرح است:

الف) مرحله سبز شدن، خروج لپه‌ها در ۹۰ درصد بذره‌های کاشته شده از خاک.

ب) مرحله رویت طبق یا تکمه‌دهی، تشکیل جوانه زایشی به صورت تکمه‌ای به قطر ۱ سانتی‌متر در انتهای ساقه اصلی ۵۰ درصد از بوته‌ها.

ج) مرحله گل‌دهی، آغاز گرده‌افشانی در گل آذین‌های انتهایی ساقه اصلی در ۱۰ درصد بوته‌ها.

ه) مرحله رسیدگی، قهوه‌ای شدن ۹۰ درصد طبق‌ها.

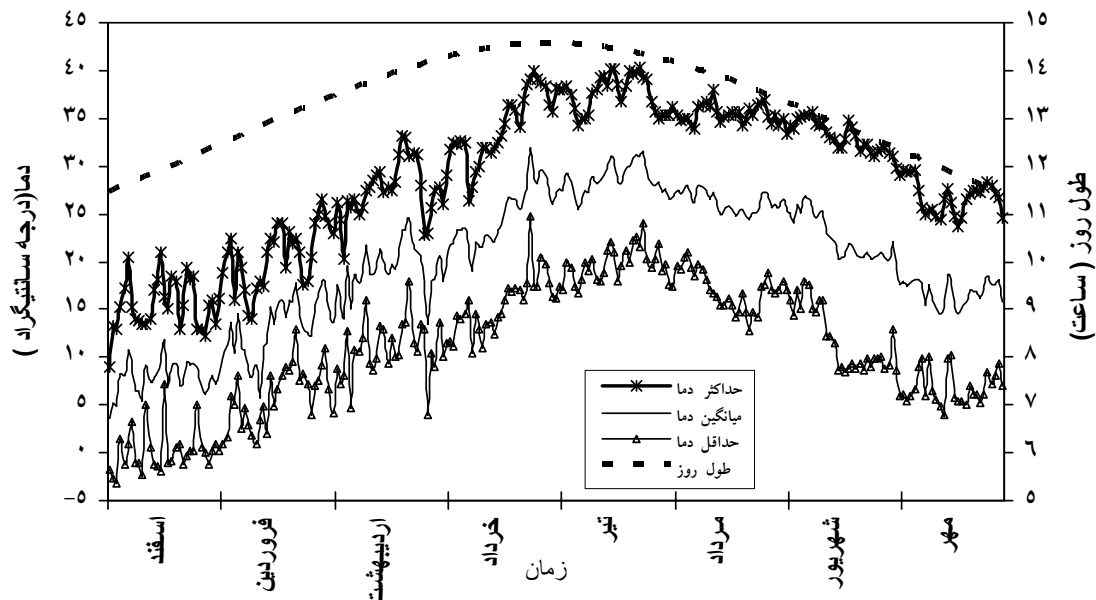
طول هر دوره نموی با استفاده از تفاضل تاریخ شروع آن مرحله تا تاریخ پایان آن در هر کرت آزمایشی براساس روز محاسبه شد. روز شروع هر مرحله در نظر گرفته شد، اما روز پایان آن مرحله احتساب نگردید. داده‌های هواشناسی شامل حداکثر، حداقل و متوسط شبانه‌روزی دما از ایستگاه هواشناسی کبوتر آباد اصفهان دریافت گردید. طول روز با استفاده از روش کیسلینگ^۱ (کیسلینگ، ۱۹۸۲، ۷۵۸) 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 برحسب ساعت تا چهار رقم اعشار به دست آمد. با وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار اکسل (Excel) متوسط حداکثرها، حداقل‌ها، میانگین دمای شبانه‌روزی و میانگین طول روز، مطابق با هر مرحله نموی ثبت شده به دست آمد. ضرایب همبستگی بین متغیرهای هواشناسی و طول مراحل نمو محاسبه گردید. عکس طول هر مرحله نمو ($1/N$) به عنوان میانگین سرعت نمو طی آن مرحله تعیین شد (Robertson, 1983, 3).

سرعت نمو به عنوان متغیر تابع و پارامترهای حرارتی و طول روز مربوط، به عنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون مرحله‌ای نرم‌افزار رایانه‌ای اس. ای. اس. (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 پیش‌گفته، میانگین و نیز مربع و مکعب طول روز از طول دوره نمو 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

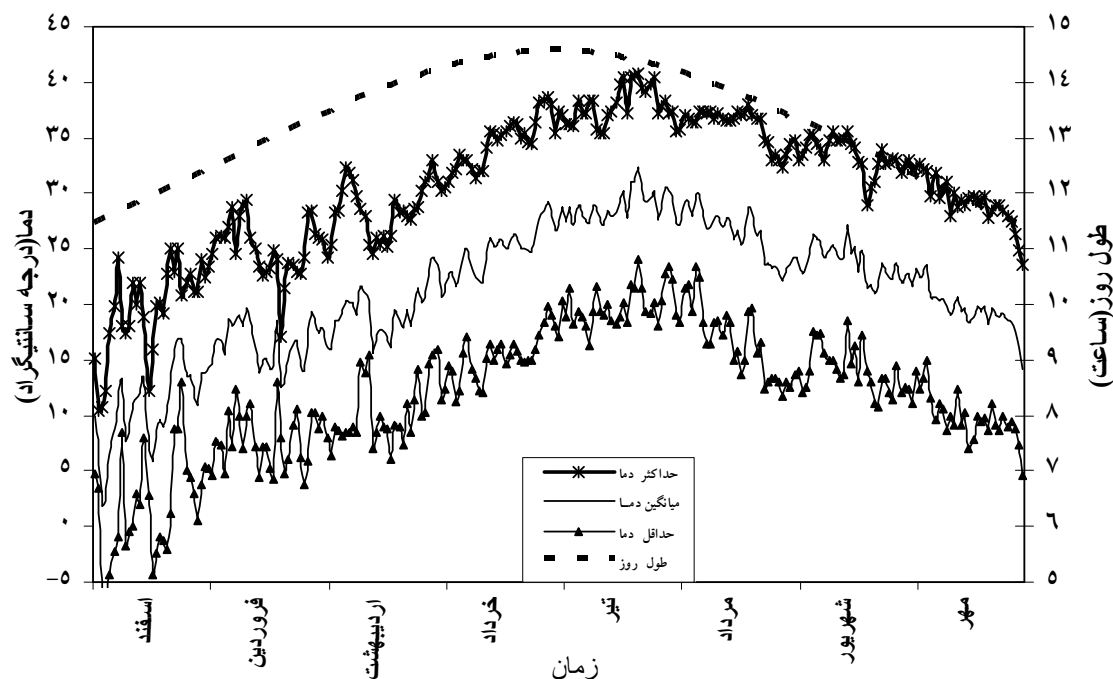
حداقل در سطح احتمال ۱۰ درصد معنی‌دار باشد و حداکثر ضریب تشخیص کل را داشته باشد. برای ارزیابی دقت و حساسیت مدل‌ها از نتایج آزمایش‌های سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ که در مدل‌سازی به کار گرفته نشده بود استفاده گردید.

یافته‌های تحقیق

روند تغییرات طول روز و دماهای حداقل، حداکثر و میانگین شبانه‌روزی در فصل رشد طی دو سال آزمایش در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه گردیده است. در ایستگاه مورد نظر، میانگین طول روز در شروع آزمایش در اسفند ماه ۱۱/۹۱ ساعت و در پایان آزمایش در مهرماه ۱۱/۸۹ ساعت است. بیشترین میانگین طول روز مربوط به تیرماه و به میزان ۱۴/۵۶ ساعت است. طی سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵، در فصل رشد، میانگین دمای شبانه‌روزی در اسفند ثابت ماند؛ و طی ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر افزایش پیدا کرد، در مرداد به تدریج از میزان آن کاسته شد، و در ماه‌های شهریور و مهر با شدت بیشتری این کاهش ادامه یافت. طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، در فصل رشد، میانگین دمای شبانه‌روزی طی ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر با روند تقریباً یکنواختی افزایش یافت اما طی ماه‌های مرداد، شهریور و مهر به تدریج رو به کاهش نهاد. به طور کلی روند تغییرات درجه حرارت در طول فصل رشد طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ نسبت به سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ شیب ملایم‌تری داشت. انحراف معیارهای میانگین دمای شبانه‌روزی طی سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۶-۱۳۸۵ به ترتیب ۵/۹۹ و ۷/۰۱ درجه سانتی‌گراد بود.



شکل ۱. روند تغییرات طول روز و دمای حداقل، حداکثر و میانگین طی فصل رشد در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵



شکل ۲. روند تغییرات طول روز و دمای حداقل، حداکثر و میانگین طی فصل رشد در سال زراعی ۱۳۸۶-۸۷

طول دوره کاشت تا سبز شدن در ژنوتیپ مورد مطالعه بین ۵ تا ۲۰ روز متغیر و میانگین آن ۱۰/۷ روز بود. بیشترین طول دوره در تاریخ کاشت اول در سال اول آزمایش و کمترین طول دوره در تاریخ‌های کاشت هفتم 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 معنی‌دار بین طول دوره و متغیرهای حرارتی مؤید این مطلب است (جدول ۱). مقایسه تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در تاریخ‌های کاشت مختلف طی دو سال آزمایش، نشان می‌دهد که روند تغییرات طول دوره نسبت به تغییرات دما در برخی موارد یکسان نیست و علت آن می‌تواند عواملی از قبیل دور آبیاری، عمق کاشت، رطوبت خاک و نظایر اینها باشد. درجه حرارت حداقل (مدل ۱) اولین متغیری بود که سرعت دوره کاشت تا سبز شدن ژنوتیپ مورد آزمایش را به میزان ۷۵/۶۹ درصد با ضریب رگرسیون مثبت توجیه کرد (جدول ۲).

مدل ۱: سرعت نمو کاشت تا سبز شدن

$$1/N = 0.03968712 + 0.00700082T_{min}$$

$$R^2 = 75/69 \%$$

با توجه به اینکه بذر در خاک جوانه می‌زند، به نظر می‌رسد که متغیر یاد شده، بخش عمده‌ای از تغییرات دمای خاک را تفسیر می‌کند. دمای خاک تا عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری با دمای شبانه‌روزی هوا در حال تعادل است؛ ولی رابطه بین دمای هوا و دمای خاک ساده نیست و از رنگ، بافت، رطوبت و پوشش خاک و میزان و جهت شیب زمین تأثیر می‌پذیرد (Jame & Cutforth, 2004, 209). به علاوه، میانگین دمای شبانه‌روزی هوا پیوسته تغییر می‌یابد. به همین جهت استفاده از روابط دیگری ضرورت دارد. بر این اساس می‌توان گفت که تخمین دقیق‌تر و صحیح‌تر دوران کاشت تا سبز

شدن بذرها نیازمند بررسی و اندازه گیری مستقیم حرارت خاک است که با توجه به وسایل مورد نیاز و حساسیت آن در مزارع کشاورزان کار دشواری است. در مطالعه‌ای که در انافک رشد بر رقم دینسر^۱ گلرنگ انجام گرفت، مدل زیر برای پیش بینی تعداد روز تا جوانه زنی این رقم ارائه گردید (Ayon et al., 2005, 190).

$$1/N = 0.38 - 0.07 T_{mean} + 0.012 T_{mean}^2$$

$$R^2 = 0.96$$

کمترین و بیشترین تعداد روز از سبز شدن تا رویت طبق، به ترتیب مربوط به تاریخ کاشت ششم در سال زراعی دوم به میزان ۳۲ روز و تاریخ کاشت اول در سال زراعی اول به میزان ۶۶ روز بود.

جدول ۱. ضرایب همبستگی مراحل مختلف نمو رقم اراک با متغیرهای هواشناسی

میانگین طول روز	دمای شبانه روزی			
	متوسط میانگین	میانگین حداقل	میانگین حداکثر	
				<u>کاشت تا سبز شدن</u>
			۰/۹۷۸**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۳**	۰/۹۹۵**	متوسط میانگین
	۰/۹۳۵**	۰/۹۴۲**	۰/۹۱۶**	میانگین طول روز
-۰/۹۵۲**	-۰/۸۹۸**	-۰/۹۰۳**	-۰/۸۸۱**	میانگین طول دوره
				<u>سبز شدن تا رویت طبق</u>
			۰/۹۸۵**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۶**	۰/۹۹۷**	متوسط میانگین
	۰/۸۷۷**	۰/۸۵۲**	۰/۸۹۰**	میانگین طول روز
-۰/۹۱۴**	-۰/۹۲۵**	-۰/۸۹۷**	-۰/۹۴۵**	میانگین طول دوره
				<u>سبز شدن تا رسیدگی</u>
			۰/۹۶۲**	میانگین حداقل
		۰/۹۸۸**	۰/۹۹۳**	متوسط میانگین
	۰/۱۳۸	۰/۲۱۶	۰/۰۶۴	میانگین طول روز
-۰/۴۰۵	-۰/۹۱۴**	-۰/۹۲۴**	-۰/۸۹۰**	میانگین طول دوره
				<u>گل دهی تا رسیدگی</u>
			۰/۹۶۶**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۴**	۰/۹۸۸**	متوسط میانگین
	۰/۹۷۰**	۰/۹۵۲**	۰/۹۷۵**	میانگین طول روز
-۰/۷۹۷**	-۰/۸۳۶**	-۰/۸۵۶**	-۰/۷۹۰**	میانگین طول دوره

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲. خلاصه نتایج آنالیز رگرسیون مرحله‌ای برای تخمین سرعت پیشروی به سوی مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا رؤیت طبق، سبز شدن تا رسیدگی، و گل‌دهی تا رسیدگی رقم اراک

متغیر	ضریب تشخیص مدل (R ²)	ضریب تشخیص جزء (P, R ²)	سطح احتمال معنی‌دار بودن ضریب تشخیص جزء	ضریب رگرسیون	اشتباه معیار ضریب رگرسیون	سطح احتمال معنی‌دار بودن ضریب رگرسیون
عرض از مبدأ Tmin	-	-	-	-۰/۰۳۹۶۸۱۲	۰/۰۰۰۴۷۰۲۲۹	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ Tmax×DL Tmean	-	-	-	-۰/۰۱۰۱۸۶۷۰	۰/۰۰۰۱۸۲۹۲۴	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	۰/۰۰۰۱۳۳۹۴	۰/۰۰۰۰۲۵۴۸	۰/۰۰۰۴
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	۰/۰۰۰۰۱۳۴۷	۰/۰۰۰۵۵۷۰۱	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	۰/۰۰۰۰۰۰۴۸	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	-۰/۰۰۰۰۲۵۵۷۵	۰/۰۰۰۰۱۵۱۴	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	۰/۰۰۰۰۰۰۱۱۹	۰/۰۰۰۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ T ² mean × DL ² × DL · Tmean min T ⁴ min ² T T min	-	-	-	۰/۰۰۰۰۰۰۳۳۷۶	۰/۰۰۰۰۰۰۸۶۱	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ min T ⁴	-	-	-	-۰/۰۰۰۰۱۶۸۶۳	۰/۰۰۰۰۳۳۳۵۸	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ min T ⁴	-	-	-	۰/۰۲۱۱۲۶۷	۰/۰۰۱۰۴۰۸۰	۰/۰۰۰۱
عرض از مبدأ min T ⁴	-	-	-	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱

میانگین تعداد روز برای این دوره در تمامی آزمایش‌ها ۴۴/۸ روز بود. به‌طور کلی می‌توان گفت با تأخیر در کاشت و گرم‌تر شدن هوا مدت زمان لازم از سبز شدن تا رویت طبق کاهش یافته است. همبستگی منفی و معنی‌دار بین طول دوره و متغیرهای حرارتی نیز نشان‌دهنده این مطلب است (جدول ۱). از طرف دیگر، با توجه به اینکه گلرنگ گیاهی ماهیتاً سرمادوست و روزبلند است و حساسیت آن به طول روز طی دوره سبز شدن تا تشکیل جوانه گل (مرحله رویت طبق) مشاهده می‌گردد (Francis, 1970, 791)، انتظار می‌رود که با تأخیر در کاشت و افزایش طول روز، طول دوره سبز شدن تا رویت طبق کاهش یابد - که این چنین نیز شد. همبستگی منفی و معنی‌دار ($r = -0.914^{**}$) بین طول دوره و طول روز نیز به‌خوبی نشان‌دهنده این مطلب است. بررسی‌های انجام گرفته (باقری، ۱۳۷۴، ۷۵؛ داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲، ۸۳) روی گلرنگ بهاره نیز نشان می‌دهد که طول دوره از کاشت تا رویت طبق (به‌عنوان اولین علامت قابل مشاهده شروع گلدهی در گلرنگ) همراه با تأخیر در کاشت نقصان می‌یابد. حاصل ضرب طول روز در درجه حرارت ماکزیمم اولین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی ۸۳/۸۹ درصد تغییرات سرعت نمو دوره سبز شدن تا رویت طبق را تفسیر کرد. میانگین درجه حرارت (مدل ۲) دومین و آخرین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی حدود ۱/۱ درصد از تغییرات سرعت نمو این مرحله و همراه با متغیر قبلی دقت مدل را به ۸۵ درصد رساند (جدول ۲).

مدل ۲: سرعت نمو کاشت تا رویت طبق

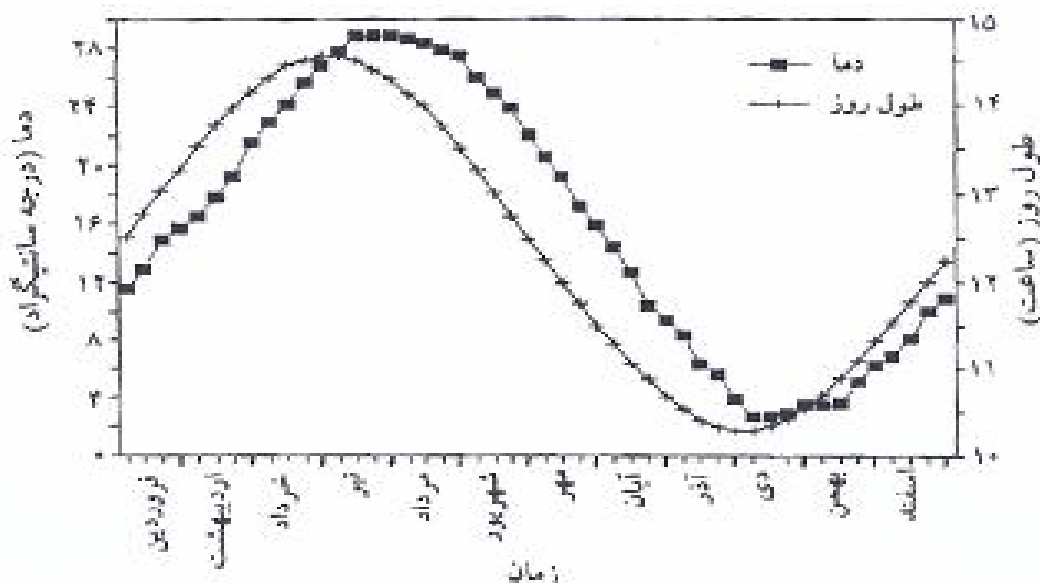
$$1/N = -0.0101867 + 0.0013394 T_{max} - 0.00116283 T_{mean} \quad R^2 = 85\%$$

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هم درجه حرارت و هم طول روز در توجیه سرعت نمو این مرحله نقش دارند. اگر چه تفکیک اثر طول روز از اثر دما در شرایط مزرعه‌ای بسیار دشوار است، ولی نتایج به‌دست آمده ممکن است در قیاس با سایر شرایط بیشتر تعمیم‌پذیر باشد. تعیین چگونگی عکس‌العمل گیاهان نسبت به طول روز در شرایط طبیعی ساده نیست. شکل ۳ روند تغییرات میانگین درازمدت ماهیانه دما و طول روز را (با محدوده شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی‌متر مربع بر دقیقه یا محدوده زمانی که مرکز خورشید حدوداً دو درجه زیر افق است) طی سال برای اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه) نشان می‌دهد. طول روز با روش کیسلینگ محاسبه شده و محدوده شدت نور براساس احتمال عکس‌العمل گیاهان به شدت نورهای کمتر از هنگام طلوع یا غروب انتخاب گردیده است. 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. براساس 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 تخمین طول دوره نمو، علاوه بر ماهیت عکس‌العمل گیاه، تحت تأثیر واریانس موجود در دما و هماهنگی تغییرات دما و طول روز قرار دارد. به‌طور 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. در مطالعه‌ای، سرعت نمو مرحله کاشت تا رویت طبق رقم آفتاب‌گردان ونیمیک^۱ با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای به صورتی که در ادامه می‌آید گزارش شد (سیدی و خواجه‌پور، ۱۳۸۰، ۱۰۵).

$$1/N = 1/38557 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-5} T_{max} / 0.450 \times 10^{-2} DL$$

$$R^2 = 0.84$$



شکل ۳. روند تغییرات میانگین دما و طول روز (در محدوده شدت نور ۰/۰۰۱ کالری بر سانتی‌متر مربع بر دقیقه) طی سال در اصفهان (خواجه‌پور، ۱۳۷۷، ۳۷)

میانگین تعداد روز از سبز شدن تا رسیدگی رقم مورد بررسی طی دو سال آزمایش ۹۳/۸ روز بود. بیشترین و کمترین تعداد روز سپری شده، از سبز شدن تا رسیدگی، به ترتیب مربوط به تاریخ کاشت‌های اول و هفتم سال زراعی دوم و به میزان ۱۱۳ و ۹۳/۸ روز بود. با توجه به معنی‌دار نشدن ضریب همبستگی طول دوره با طول روز ($r = -0.45$)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که طول دوره سبز شدن تا رسیدگی تابع متغیرهای حرارتی به‌ویژه درجه حرارت‌های حداقل ($r = -0.924^{**}$) است که با نتایج بررسی‌های گذشته (داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲، ۸۹) مطابقت دارد. نتایج رگرسیون مرحله‌ای در جدول ۲ نشان می‌دهد حاصل ضرب مربع میانگین درجه حرارت در مربع طول روز اولین متغیری بود که وارد مدل شد و به تنهایی حدود ۶۶ درصد سرعت نمو مرحله سبز شدن تا رسیدگی را تفسیر کرد. دومین متغیر وارد شده به مدل حاصل ضرب دمای میانگین در مربع طول روز بود که به تنهایی حدود ۶ درصد تغییرات و همراه با متغیر قبلی دقت

مدل را به حدود ۷۲ درصد رساند. توان چهارم، توان دوم و اول درجه حرارت حداقل (مدل ۳) متغیرهای بعدی بودند که به ترتیب وارد مدل شدند و همراه با دو متغیر قبلی حدود ۸۰ درصد سرعت نمو مرحله سبز شدن تا رسیدگی را توجیه کردند.

مدل ۳: سرعت نمو سبز شدن تا رسیدگی:

$$1/N = 0.79106937 + 0.00000011 T^2 \text{mean} \cdot DL^2 + 0.02138527 T^2 \text{Min} + 0.00001561 T^4 \text{Min} - \\ 0.0009474 T^3 \text{min} - 0.21311557 T \text{min} \quad R^2 = 79.98\%$$

با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد تأثیر متقابل متغیرهای حرارتی در طول روز و متغیرهای حرارتی عوامل عمده و اصلی در توجیه تغییرات این دوره‌اند. در تحقیق دیگری، سرعت پیشروی مرحله سبز شدن تا رسیدگی رقم سویا ویلیامز به وسیله این معادله بیان گردید (کریمی، ۱۳۷۷، ۸۹).

$$1/N = 0.498 - 0.0465 DL - 2 \cdot 10^{-7} DL^2 T^2 \text{max} + 9 \cdot 10^{-5} DL^3 + 10^{-5} DL^2 T \text{mean} + 5 \cdot 10^{-6} T^3 \text{mean} - \\ 0.0006 DL \cdot T \text{mean} - 4 \cdot 10^{-7} DL^2 T^2 \text{min} \quad R^2 = 0.96$$

با تأخیر در کاشت طول دوره گل‌دهی تا رسیدگی به آرامی کاهش پیدا کرد و از تاریخ کاشت پنجم به بعد به آرامی افزایش یافت. بیشترین و کمترین تعداد روز سپری شده از گل‌دهی تا رسیدگی به ترتیب با متوسط ۴۷/۸ و ۲۵/۷ روز مربوط به تاریخ‌های کاشت هفتم سال اول آزمایش و چهارم سال دوم آزمایش بودند. میانگین طول این مرحله نمودی طی دو سال آزمایش ۳۳ روز بود. طول این مرحله به خوبی با پارامترهای حرارتی و مخصوصاً حرارت‌های حداقل و میانگین هماهنگ است و همبستگی‌های محاسبه شده نیز به خوبی نشان‌دهنده این مطلب است (جدول ۱). در انطباق با ضرایب همبستگی محاسبه شده توان چهارم درجه حرارت حداقل (مدل ۴) تنها متغیری بود که وارد مدل شد و حدود ۵۵ درصد تغییرات سرعت نمو این مرحله را با ضریب رگرسیون مثبت توجیه کرد (جدول ۲).

مدل ۴: سرعت نمو گل‌دهی تا رسیدگی

$$1/N = 0.02112467 + 0.00000009 T^4 \text{min} \quad R^2 = 55.06\%$$

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 هیچ‌یک از متغیرهای مورد مطالعه تفسیر نشد (داداشی و خواجه‌پور، ۱۳۸۲، ۱۰۰).

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.

جدول ۳. اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آنها برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا رویت طبق، سبز شدن تا رسیدگی و گل‌دهی تا رسیدگی رقم اراک طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در تاریخ‌های مختلف کاشت

تاریخ کاشت	تعداد روز از کاشت تا سبز شدن			تعداد روز از سبز شدن تا رویت طبق			تعداد روز از سبز شدن تا رسیدگی					
	حقیقی	تخمینی	اختلاف	حقیقی	تخمینی	اختلاف	حقیقی	تخمینی	اختلاف			
۴/۱۵	۱۸	۱۶/۶	۱/۴	۵۹	۵۷/۲	۱/۸	۱۱۵	۱۱۹/۵	-۴/۵	۳۴	۳۰/۶	۳/۴
۱۲/۲۹	۱۴	۱۱/۸	۲/۲	۵۵	۵۵/۴	-۰/۴	۱۰۸	۱۰۶/۴	۱/۶	۳۰	۲۹/۴	۰/۶
۱/۱۵	۱۳	۱۱/۵	۱/۵	۵۰	۴۹/۸	-۰/۲	۹۶	۹۵/۷	-۰/۳	۲۸	۲۹	-۱
۱/۳۰	۱۱	۹/۷	۱/۳	۴۵	۴۶/۳	-۱/۳	۸۸	۸۹/۱	-۱/۱	۲۵	۲۸/۱	-۳/۱
۲/۱۵	۹	۹/۶	-۰/۶	۴۲	۴۲/۱	-۰/۱	۸۳	۸۱/۹	۱/۱	۲۷	۲۷	۰
۲/۳۰	۷	۷/۱	-۰/۱	۳۳	۳۴/۶	-۱/۶	۷۹	۷۹	۰	۳۲	۳۲/۲	-۰/۲
۳/۱۶	۶	۶/۵	-۰/۵	۳۲	۳۱/۹	-۰/۱	۷۹	۷۶/۲	۲/۸	۳۱	۳۸/۵	-۷/۵
۴/۲	۶	۵/۶	-۰/۴	۳۱	۳۰	۱	۹۳	۹۰/۳	۲/۷	۴۷	۴۳/۵	۳/۵

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که مراحل مختلف نمو، عکس‌العمل‌های متفاوتی را به تغییرات طول روز و دمای ناشی از تأخیر در کاشت نشان می‌دهند. متغیرهای ورودی در معادلات تخمین سرعت پیشروی به سوی مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا رویت طبق، سبز شدن تا رسیدگی و نیز گل‌دهی تا رسیدگی ثابت نیستند و با مقادیر متفاوتی این سرعت را توجیه کردند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سهم پارامترهای حرارتی و طول روز در تعیین مراحل مختلف نمو ثابت نیست. علت این امر ممکن است تفاوت‌هایی در ماهیت فیزیولوژیکی مراحل نمو و اختلاف در عکس‌العمل مراحل نمو به عناصر اقلیمی، خاکی، زراعی و تأثیرات متقابل این عوامل با یکدیگر و با ژنوتیپ گیاه باشد.

در دوره کاشت تا سبز شدن - به مانند سایر دوره‌های نمو- از دمای هوا استفاده شده است. با توجه به جوانه‌زنی بذر در خاک و تأثیرپذیری رابطه دمای هوا و خاک از رنگ، بافت، رطوبت و پوشش خاک و میزان جهت و شیب زمین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تخمین دقیق‌تر و صحیح‌تر دوران کاشت تا سبز شدن بذرها نیازمند بررسی و اندازه‌گیری مستقیم دمای خاک است.

انتظار می‌رود که افزایش طول روز فقط بر طول دوره سبز شدن تا تشکیل جوانه گل (مرحله رویت طبق در گلرنگ) مؤثر باشد، ولی به دلیل همروندی وسیع طول روز با دما، طول روز ممکن است به طور ناخواسته وارد معادلات سرعت پیشروی به سوی مراحل مختلف نمو شود، به طوری که در این پژوهش حاصل ضرب طول روز در متغیرهای حرارتی، چه در مرحله سبز شدن تا رویت طبق و چه در مرحله سبز شدن تا رسیدگی، وارد معادلات سرعت نمو گردید.

سرعت نمو مراحل کاشت تا سبز شدن و گل‌دهی تا رسیدگی بیشترین تأثیر را از دماهای حداقل پذیرفتند. این امر می‌تواند تأثیر دمای شبانه را در مراحل اولیه و انتهایی رشد گیاه توجیه کند. به عبارت دیگر، ضریب رگرسیون مثبت وارد شده در این دو مدل نشان می‌دهد که با افزایش دمای شبانه سرعت نمو زیاد می‌شود و طول دوره نمو کاهش می‌یابد.

کمترین و بیشترین ضریب تشخیص کل به ترتیب مربوط به سرعت نمو گل‌دهی تا رسیدگی و سبز شدن تا رویت طبق بوده است. انتظار می‌رود که مراحل طولانی‌تر نمو، با عناصر اقلیمی بهتر تخمین زده شوند؛ اما در این پژوهش مرحله سبز شدن تا رسیدگی بیشترین ضریب تشخیص را به خود اختصاص نداده است، که علت آن می‌تواند تأثیر آبیاری در مرحله رسیدگی باشد، به طوری که ممکن است این آبیاری‌ها، رسیدگی محصول را به تعویق بیندازند و در نتیجه بدون توجه به عناصر اقلیمی، طول مرحله سبز شدن تا رسیدگی را افزایش دهند.

در خاتمه می‌توان نتیجه گرفت که هر مرحله نمو به مدل تخمین متفاوتی نیاز دارد. تفکیک مناطق کشور به نواحی همگون از نظر حرارت و طول روز می‌تواند دقت مدل‌های تخمین سرعت مراحل نمو را افزایش دهد. انجام چنین مطالعه‌ای مستلزم دسترسی به اطلاعات فنولوژیکی کافی در هر منطقه اقلیمی است.

منابع

- Ahrens, C.D., 2007, **Meteorology Today**, 8 th-ed, Thomson Brooks.
- Anonymous, 2005, [http:// www. Fao. org/waice nt/portal/statistics_en. asp](http://www.Fao.org/waice nt/portal/statistics_en.asp).
- 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.
- Cho, M.H. and Tae R.H., 2000, **Purification and Characterization Decarboxylase from the Yellow Petals of *Carthamus tinctorius*, L.** Archive of Biochemistry and Biophysics, 382: 238-244.
- Clarkson, N.M. and Russel, J.S., 1979, **Effect of Temperature on the Development of Two Annual Medica**, Aust. J. Agric. Res. 30: 909-916
- Elias, S. , Basil S., and Kafka R., 2002, **Response of Safflower (*Carthamus tinctoriuos* L.) to Saline Soils and Irrigation**, I. Consumptive Water Use. Agricultural Water Management. 54:67-80.
- Francis, C.A., 1970, **Effective Day Lengths for the Study of Photo Period Sensitive Reaction Plants**, Agron. J. 62:740-792.
- Froozan, K., 2005, **Safflower Production in Iran (Past, Now, Future)**, pp. 255-257, paper presented at the Sixth International Safflower Conference, June 6-10. 2005. Istanbul, Turkey.
- Jame, Y.W. , Cutforth H.W., and Ritchie J.T., 1998, **Interaction of Temperature and Day Length on Leaf Appearance Rate in Wheat and Barley**, Agric. For. Meteorol. 92, 241-249.
- Jame, Y.W. and Cutforth H.W., 1997, **Crop Growth Models for Decision Support Systems**, Can. J. Plant Sci. 76:9-19.
- 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.

- Lown, R.J and Byth D.E., 1973, **Response of Soybeans to Planting Date in South-Eastern Queensland**, I. Influence of photoperiod and temperature on phasic development pattern, Aust. J. Agric. Res. 24, 67-80.
- Major, D.J., Johnson D.R., Tanner J. W., and Anderson I. C., 1975, **Effect of Day Length and Temperature on Soybean Development**, Crop Sci. 15:174-179.
- Mundel, H. H., Morrison R. J, Blackshaw, R. E., Eniz, T., Roth, B. T., Gaudiel R., and Kiehn F., 1994, **Seeding-date effect on Yield, Quality and Maturing of Safflower**, Can. J. Plant Sci. 74, 261-266
- Robertson, G.W., 1983, **Weather Based Mathematical Models for Estimating Development and Ripening of Crop** Technical Note no, 180. pp. 1-99.
- Robertson, G.W., 1998, **A Biometeorological Time Scale for Cereal Crop Involving Day and Night Temperature and Photoperiod**, Int. J. Biometeor. 12:141-223.
- Rohini, V. K. and Sankora K. R., 2000, **Embryo Transformation, a Practical Approach for Relazing Transgenic Plant of Safflower(*Carthamus tinctorios* L.)**, Annals of Botany. 86:1043-1049.
- Yin, X., Kropff, M. J., Mcloren G., and Visperas R. M., 1995, **A Nonlinear Model for Crop Development as a Functional Temperature**, Agric. For. Meteorol, 77, 1-16
- Zimmerman, L.H., 1973, **Effects of Photoperiod and Temperature on Rosette Habit in Safflower**, Crop Sci, 13:80-81.