

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۶

T. Yasari, Ph.D

طلعت یساری، استادیار دانشکده علوم، دانشگاه زابل

M. R. Shahsavari, Ph.D

محمد رضا شهسواری، استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

J. Khoshhal, Ph.D

جواد خوشحال، دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه اصفهان

شماره مقاله: ۱۰۰۸ صص: ۱۹۲-۱۸۱

E-mail: yasari85@yahoo.com

وصول: ۹۲/۱۱/۲۵ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳۰

اثر دما و طول روز بر سرعت مراحل نمو گلرنگ در استان اصفهان

چکیده

نمو محصول عبارت است از تغییرات کیفی برنامه ریزی شده ای که گیاه را به سوی رسیدگی هدایت می کند. تحت شرایط فاریاب، تنها عناصر اقلیمی قادر به تغییر رشد و نمو گیاه هستند و تحت این شرایط، میزان تأثیرپذیری از دما و طول روز بیش از سایر عناصر خواهد بود. به منظور تخمین سرعت نمو ارقام گلرنگ به نام های اراک، زنده رود و گلدشت با استفاده از درجه حرارت و طول روز، از آزمایش های تاریخ کاشت این ارقام طی سال های ۱۳۸۸-۱۳۸۳ در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان استفاده شد. برای محاسبه سرعت نمو، طول هر مرحله نموی عکس گردید. برای تعیین مدل سرعت نمو هر مرحله، سرعت هر مرحله نمو به عنوان متغیر تابع و متغیرهای حرارتی، طول روز و حاصل ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز به عنوان متغیر مستقل در رگرسیون مرحله ای استفاده شدند. مرحله ای از رگرسیون به عنوان مدل مناسب انتخاب شد که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جزء آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بوده و حداکثر ضریب تبیین کل را داشته باشد. تعداد روز از کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه دهی، سبز شدن تا گل دهی و تا رسیدگی و گل دهی تا رسیدگی از تاریخ های کاشت تأثیر پذیرفت. با افزایش دما، طول مراحل نمو کاهش یافت. طول دوران سبز شدن تا تکمه دهی و تا گل دهی بیشترین تأثیر را از طول روز پذیرفت و با افزایش آن کاهش یافت. میانگین درجه حرارت تنها متغیری بود که وارد مدل شد و حدود ۷۶ درصد تغییرات سرعت سبز شدن ارقام مورد مطالعه را توضیح داد. حدود ۸۳ درصد سرعت نمو مرحله سبز شدن تا تکمه دهی به وسیله حاصل ضرب درجه حرارت حداکثر در طول روز توجیه گردید. مربع درجه حرارت حداکثر در مربع طول روز حدود ۹۲ درصد تغییرات سرعت نمو مرحله سبز شدن تا گل دهی را بیان نمود. مربع درجه حرارت حداکثر در مربع طول روز با توان چهارم درجه حرارت حدود ۸۱ درصد واریانس سرعت نمو مرحله سبز شدن تا رسیدگی را بیان نمودند. مکعب درجه حرارت حداقل، تنها متغیری بود که سرعت مرحله گل دهی تا رسیدگی را به میزان ۴۷ درصد توضیح داد. سهم پارامترهای حرارتی و طول روز در تعیین سرعت مراحل مختلف نمو ثابت نیست. علت این امر ممکن است تفاوت هایی در ماهیت فیزیولوژیک مراحل نمو و اختلاف در عکس العمل مراحل نمو به عناصر اقلیمی، خاکی، زراعی و اثرهای متقابل این عوامل با یکدیگر و با ژنوتیپ گیاه باشد.

واژه های کلیدی: سرعت نمو، گلرنگ، تاریخ کاشت، ارقام، دما، طول روز

مقدمه

گلرنگ گیاهی یک ساله، برگ پهن و روغنی از خانواده کاهوست که به خوبی با شرایط خشکی و شوری سازگار است (روهینی و سانکارا، ۲۰۰۰: ۱۰۴۳). گلرنگ در ابتدا به منظور استخراج رنگ از گلچه‌های آن برای رنگ آمیزی پارچه و تزئین غذا کشت می‌شده است؛ اما سابقه زراعت آن به عنوان یک دانه روغنی چندان طولانی نیست (چو و تا، ۲۰۰۰، ۲۵۸). سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۶۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد یک تن در هکتار است و بیشترین سطح زیر کشت آن به ترتیب مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان و یزد است (فروزان، ۲۰۰۵: ۲۶۵).

نمو محصول عبارت است از تغییرات کیفی برنامه ریزی شده‌ای که گیاه را به سوی رسیدگی هدایت می‌کند و محققان آن را پدیده شناسی 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، ازت 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 گیاه هستند 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.

گلرنگ در استان اصفهان در مناطق حاشیه‌ای که دارای مشکل شوری و کم آبی هستند، کشت می‌گردد. بر این اساس، گیاه تحت این شرایط تولید در مراحل مختلف نمو خود با تنش‌های محیطی روبه‌روست. بنابراین، آگاهی از زمان وقوع و طول دوره مراحل نمو آن باعث می‌شود که مراحل نمو حساس‌تر و تأثیرگذارتر در عملکرد دانه مورد شناسایی قرار گرفته و عوامل محدودکننده تولید، نظیر آب در این مراحل برای گیاه تأمین گردد. این امر در نهایت سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد و به همین سبب، مطالعه تغییرات حیاتی گیاه شامل مراحل رشد رویشی و زایشی نسبت به زمان (فنولوژی^۳) اهمیت پیدا می‌کند.

در ابتدا بهتر است که نمو را نه به عنوان یک پروسه کلی، بلکه به عنوان یک میزان متغیر روز به روز در نظر بگیریم. چون این میزان نمو روزانه معمولاً به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، بهتر است متوسط نمو کل را روی فواصل زمانی کوتاه مدت تعیین کرد. به نظر می‌رسد در طی این زمان‌های کوتاه پروسه نمو همگونی خوبی دارد. در این صورت، سرعت پیشروی به سوی نمو، عکس میزان طول این دوره زمانی است (رابرتسون^۴، ۱۹۸۳: ۸). این میزان نمو را گاهی افزایش کسری روزانه نمو^۵ می‌نامند (کلارکسون و راسل^۶، ۱۹۷۹: ۹۱۱). ساده‌ترین مدل نمو آن است که در آن میزان متوسط نمو تا بلوغ یا تا هر مرحله فنولوژیک دیگر ثابت فرض شود که در این صورت معادله (۱) به دست می‌آید.

$$dM/dt=1/N=C$$

(۱)

1-Rohini and Sankara

2-Cho and Tae

3-Phenology

4-Robertson

۵- Daily fraction increment of development

6- Clarkson and Russel

به طوری که C و N ، dM/dt به ترتیب تغییرات نمو نسبت به زمان، طول دوره و مقدار ثابت هستند. با انتگرال گیری روی دوره فنولوژیک از یک مرحله (S_1) تا مرحله دیگر (S_2) معادله (۲) به دست می آید.

$$\int_{S_1}^{S_2} dM = \int_{t=0}^N dt / N = N / N = 1 \quad (2)$$

در این رابطه M وقوع بلوغ برای هر دوره فنولوژیک مورد نظر است. به عبارت دیگر، با جمع نمو جزئی روزانه طی دوره فنولوژیک مورد نظر و رسیدن به عدد ۱، دوره تکمیل می گردد (رابرتسون، ۱۹۸۳: ۱۲).

سهم بیشتر دما بر نمو سبب شد تا گام های نخست در جهت شبیه سازی رشد و نمو گیاهان زراعی با استفاده از دما صورت پذیرد. 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 (رابرتسون، ۱۹۸۳: ۲۵؛ جیمز و کاتفورد^۷، ۲۰۰۴: ۲۰۷). مدل های نمو با آهنگ ثابت (کلارکسون و راسل، ۱۹۷۹: ۹۱۱)، شاخص دمای مؤثر (جیمز و کاتفورد، ۱۹۹۷: ۹) و حرارتی غیرخطی (ین^۸ و همکاران، ۱۹۹۵: ۳) از جمله مدل های حرارتی هستند. وجود تأثیرات معنی دار طول روز بر گیاهان، پژوهشگران را بر آن داشت تا همزمان طول روز را نیز به واحد های حرارتی اضافه کنند (خواجه پور و سیدی، ۱۳۸۰: ۹۵؛ خواجه پور و داداشی، ۱۳۸۲: ۸۴). از جمله این مدل ها می توان به مدل های خطی دما - طول روز (لون و بیت^۹، ۱۹۷۳: ۶۹)، دما و طول شب (رابرتسون، ۱۹۹۸: ۱۴۶) درجه دومی حرارت و طول روز (ماجور^{۱۰} و همکاران، ۱۹۷۵: ۱۷۷) و رگرسیون مرحله ای دما و طول روز (خواجه پور و سیدی، ۱۳۸۰: ۹۵؛ خواجه پور و داداشی، ۱۳۸۲: ۸۴) اشاره کرد.

هدف از این مطالعه، تخمین سرعت پیشروی مراحل نمو ارقام گلرنگ در کشت بهاره توسط تعیین مدل هایی بر اساس دما و طول روز و همچنین، تأثیر این عناصر اقلیمی بر طول مراحل نمو این ارقام برای توسعه کشت آن ها بود.

داده ها و روش پژوهش

به منظور تخمین سرعت مراحل نمو ارقام گلرنگ بهاره، اراک، زنده رود و گلدشت و همچنین، ارزیابی تأثیرپذیری سرعت نمو این مراحل، از تغییرات طول روز و دما از آزمایش های تاریخ کاشت این ارقام که طی پنج سال زراعی در مزرعه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان انجام شد، استفاده گردید. این ارقام طی سال زراعی ۱۳۸۲-۱۳۸۳ در شش تاریخ کاشت، اول (۱۵ اردیبهشت)، دوم (۳۱ اردیبهشت)، سوم (۱۵ خرداد)، چهارم (۳۱ خرداد)، پنجم (۱۵ تیر)، ششم (۳۱ تیر) و طی سال های زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳، ۱۳۸۵-۱۳۸۶، ۱۳۸۶-۱۳۸۷ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ 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. آزمایش های سال های زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ و ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در ۳ تکرار و بقیه آزمایش ها در ۶ تکرار اجرا شدند. این ایستگاه در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی

7- Jame and Cutforth,

8 -Yin

9- Lown and Byth

10- Majore

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 تقسیم بندی کوپن دارای اقلیم خشک، بسیار گرم با تابستان گرم و خشک است. میانگین دراز مدت بارندگی و درجه حرارت سالیانه در این ایستگاه به ترتیب ۱۲۲ میلی متر 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، باقی مانده 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 رؤیت طبق (تکمه دهی)، زمانی که جوانه زایشی به صورت تکمه‌ای به قطر حدود ۱ سانتی متر در انتهای ساقه اصلی ۱۰ درصد بوته‌ها آغاز می‌شود؛ ج) مرحله گل دهی، 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 نمو یادشده، طول مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گل دهی، سبز شدن تا رسیدگی و گل دهی تا رسیدگی بر اساس روز محاسبه شد. روز شروع هر مرحله احتساب شد و روز پایان آن مرحله احتساب نگردید. برای محاسبه سرعت نمو، طول هر مرحله عکس گردید. داده‌های هواشناسی شامل حداکثر، حداقل و متوسط شبانه روزی دما از ایستگاه هواشناسی کبوترآباد اصفهان تهیه شد. طول روز با استفاده از روش کیسلینگ^{۱۱} (۱۴) 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^{۱۲}، متوسط حداکثرها، حداقلها، میانگین دمای شبانه روزی 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 (I/N) به عنوان متغیر تابع و پارامترهای حرارتی و طول روز مربوط، به عنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون مرحله‌ای نرم افزار رایانه ای اس.آ.اس^{۱۳} استفاده شدند. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای مرحله کاشت تا سبز شدن، شامل: میانگین حداقلها (T_{min})، میانگین حداکثرها (T_{max})، متوسط میانگین‌های دمای شبانه روزی (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 حاصل ضرب متغیرهای حرارتی با متغیرهای طول روز در معادلات رگرسیون مرحله‌ای منظور شدند. مرحله‌ای از رگرسیون به عنوان مدل مناسب انتخاب شد که ضریب رگرسیون و ضریب تشخیص جزء آن حداقل در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بوده و حداکثر

1- Keisling
2- Excel
3- S.A.S

ضریب تشخیص کل را داشته باشد. برای ارزیابی دقت و حساسیت مدل‌ها از نتایج آزمایش‌های زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ که در مدل سازی به کار گرفته نشده بود، استفاده گردید.

یافته‌های پژوهش

طول دوره کاشت تا سبز شدن در ارقام مورد مطالعه بین ۴ تا ۲۰ روز متغیر و میانگین آن حدود ۹/۱ روز بود. به طور کلی، با تأخیر در کاشت طول دوره از کاشت تا سبز شدن به علت افزایش دما کاهش یافت. همبستگی منفی و معنی دار (جدول ۱) 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 ۱۳۸۵-۸۶ و حداقل آن در تاریخ‌های کاشت پنجم و ششم (پانزدهم و سی و یکم تیر)، ۴ روز در سال ۱۳۸۳ و تاریخ کاشت هشتم (سی و یکم خرداد) در سال ۱۳۸۳-۸۴ حادث شد. مقایسه تعداد روز از کاشت تا سبز شدن در تاریخ‌های کاشت مختلف طی سال‌های آزمایش نشان می‌دهد که روند تغییرات طول دوره نسبت به تغییرات میانگین دما در برخی موارد یکسان نیست. این تنوعات ممکن است به بافت خاک، دور 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؛ برای 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. سرعت نمو در دوره کاشت تا سبز شدن ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ متغیر و میانگین آن ۰/۱۱ بود. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای سرعت دوره کاشت تا سبز شدن (جدول ۲) نشان داد، میانگین درجه حرارت شبانه‌روز تنها متغیری بود که وارد مدل سرعت نمو در دوره کاشت تا سبز شدن شد و با ضریب رگرسیون مثبت، ۷۵/۷۵ درصد تغییرات آن را تبیین نمود (مدل ۱).

$$1/N = -0.01057761 + 0.00648714T_{\text{mean}} \quad (3)$$

با توجه به این که 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 سانتی متری با دمای شبانه‌روزی هوا در حال تعادل است، ولی

جدول ۱) ضرایب همبستگی مراحل مختلف نمو ارقام مورد مطالعه با متغیرهای هواشناسی

دمای شبانه روزی				
میانگین طول روز	متوسط میانگین	میانگین حداقل	میانگین حداکثر	
<u>کاشت تا سبز شدن</u>				
			۰/۹۷۹**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۳**	۰/۹۹۶**	متوسط میانگین
	۰/۹۳۵**	۰/۹۴۲**	۰/۹۱۶**	میانگین طول روز
-۰/۹۵۲**	-۰/۹۰۱**	-۰/۸۹۹**	-۰/۸۸۸**	میانگین طول دوره
<u>سبز شدن تا تکمه دهی</u>				
			۰/۹۸۵**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۶**	۰/۹۹۴**	متوسط میانگین
	۰/۸۷۷**	۰/۸۵۴**	۰/۸۸۸**	میانگین طول روز
-۰/۹۳۱**	-۰/۹۲۶**	-۰/۹۰۶**	-۰/۹۴۶**	میانگین طول دوره
<u>سبز شدن تا گل دهی</u>				
			۰/۹۸۵**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۴**	۰/۹۹۶**	متوسط میانگین
	۰/۷۹۶**	۰/۷۵۷**	۰/۸۰۸**	میانگین طول روز
-۰/۸۹۴**	-۰/۹۷۳**	-۰/۹۵۴**	-۰/۹۷۷**	میانگین طول دوره
<u>سبز شدن تا رسیدگی</u>				
			۰/۹۵۶**	میانگین حداقل
		۰/۹۸۷**	۰/۹۹۰**	متوسط میانگین
	۰/۱۴۳	۰/۲۰۶	۰/۰۶۳	میانگین طول روز
-۰/۳۶۸	-۰/۹۴۵**	-۰/۹۲۵**	-۰/۹۳۶**	میانگین طول دوره
<u>گل دهی تا رسیدگی</u>				
			۰/۹۶۴**	میانگین حداقل
		۰/۹۹۴**	۰/۹۸۷**	متوسط میانگین
	۰/۹۵۴**	۰/۹۴۷**	۰/۹۷۳**	میانگین طول روز
-۰/۷۸۸**	-۰/۸۳۴**	-۰/۸۵۸**	-۰/۷۸۸**	میانگین طول دوره

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۲) خلاصه آنالیز رگرسیون مرحله‌ای برای تخمین سرعت نمو مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه دهی، سبز شدن تا گل دهی، سبز شدن تا رسیدگی و گل دهی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه

متغیر ورودی*	ضریب تشخیص مدل (R ²)	ضریب تشخیص جزء (P.R ²)	سطح احتمال معنی دار بودن ضریب تشخیص جزء	ضریب رگرسیون	اشتباه معیار ضریب رگرسیون	سطح احتمال معنی دار بودن ضریب رگرسیون
کاشت تا سبز شدن						
عرض از مبدأ	--	--	--	-۰/۰۱۰۵۷۷۶۱	۰/۰۰۴۲۷۹۶۹	۰/۰۱۴۰
T _{mean}	۰/۷۵۷۵	۰/۷۵۷۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶۴۸۷۱۴	۰/۰۰۰۲۱۷۰۵	۰/۰۰۰۱
سبز شدن تا تکمه دهی						
عرض از مبدأ	--	--	--	-۰/۰۰۰۶۷۸۱۵۸	۰/۰۰۰۸۱۳۲۸	۰/۰۰۰۱
DL×T _{max}	۰/۸۳۲۴	۰/۸۳۲۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۶۷۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱۷۸	۰/۰۰۰۱
سبز شدن تا گل دهی						
عرض از مبدأ	--	--	--	۰/۰۲۱۲۲۸۰۷	۰/۰۰۴۵۷۶۵۸	۰/۰۰۰۱
DL ² ×T _{max} ²	۰/۹۲۲۶	۰/۹۲۲۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱
سبز شدن تا رسیدگی						
عرض از مبدأ	--	--	--	۰/۰۰۰۰۰۹۶۶	۰/۰۰۰۴۳۲۱۲	۰/۹۸۲۲
DL ² ×T _{max} ²	۰/۷۹۵۹	۰/۷۹۵۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
T _{max} ⁴	۰/۸۱۲۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
گل دهی تا رسیدگی						
عرض از مبدأ	--	--	--	۰/۰۱۸۹۳۳۳۱۵	۰/۰۰۰۸۴۷۱۱	۰/۰۰۰۱
T _{min} ³	۰/۴۷۲۸	۰/۴۷۲۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۲۱۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۱

* DL - T_{max} , T_{min} , T_{mean} به ترتیب، میانگین طول روزها، متوسط حداکثرها و حداقل‌های درجه حرارت و متوسط درجه حرارت طی دوره مورد نظر هستند.

رابطه بین دمای هوا و خاک ساده نیست و از رنگ، بافت، رطوبت و پوشش خاک و میزان و جهت شیب زمین تأثیر می‌پذیرد (جیمز و کاتفورد، ۲۰۰۴)، به علاوه، میانگین دمای شبانه روزی هوا پیوسته تغییر می‌یابد. به همین علت، استفاده از روابط دیگری ضرورت دارد. پس می‌توان گفت که تخمین دقیق‌تر و صحیح‌تر دوران کاشت تا سبز شدن بذرها نیازمند بررسی و اندازه‌گیری مستقیم حرارت خاک است که با توجه به وسایل مورد نیاز و حساسیت آن در مزارع کشاورزان کار دشواری است. در مطالعه‌ای که در اتاکنک رشد روی رقم دینسر^{۱۴} گلرنگ انجام گرفت، مدل زیر برای پیش‌بینی تعداد روز تا جوانه زنی این رقم ارائه شد (آیون^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۵).

$$1/N = 0.38 - 0.07T_{\text{mean}} + 0.0012T_{\text{mean}}^2 \quad R^2 = 90.68\% \quad (۴)$$

طول دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی در ارقام مورد مطالعه بین ۳۲ تا ۶۸ روز متغیر و میانگین آن حدود ۴۳/۵ روز بود. به طور کلی، با تأخیر در کاشت طول دوره سبز شدن تا تکمه کاهش یافت. حداکثر طول دوره از سبز شدن تا تکمه‌دهی در تاریخ کاشت اول (پانزدهم اسفند) در سال ۸۴-۱۳۸۳ و حداقل آن در تاریخ کاشت ششم (سی‌ام اردیبهشت) در سال ۸۷-۱۳۸۶ به وقوع پیوست. همبستگی‌های منفی و معنی‌دار (جدول ۱) 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 (به عنوان اولین علامت قابل مشاهده شروع گل‌دهی 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 نقش تعدیل‌کنندگی دما و طول روز بر روی یکدیگر است و این امر سبب می‌گردد تا گیاه عکس‌العمل‌های پیش‌بینی شده را نداشته باشد.

سرعت نمو در دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ متغیر و میانگین آن ۰/۰۲ بود. حاصل ضرب میانگین طول روز در میانگین درجه حرارت حداکثر، تنها متغیری بود که در این مرحله وارد مدل شد (جدول ۱) و به تنهایی ۸۳/۲۴ درصد تغییرات سرعت نمو ارقام مورد مطالعه طی مرحله سبز شدن تا تکمه‌دهی را تفسیر نمود (مدل ۲).

$$1/N = -0.00678158 + 0.00006701DL \times T_{max} \quad (5)$$

طول دوره 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 (پنجم اسفند) در سال ۸۴-۱۳۸۳، به ترتیب کمترین و بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی را سپری نمودند. همچون مراحل کاشت تا سبز شدن و سبز شدن تا تکمه‌دهی با افزایش دما و طول روز، طول این دوره کاهش یافت. ضرایب همبستگی بین پارامترهای حرارتی و طول روز با طول دوره مؤید این مطلب است (جدول ۱).

سرعت نمو در دوره سبز شدن تا گل‌دهی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۱۱ تا ۰/۰۲۰ متغیر و میانگین آن ۰/۰۱۶ بود. حاصل ضرب مربع طول روز در مربع درجه حرارت حداکثر تنها متغیری بود که در این مرحله وارد مدل شد (مدل ۳) و ۹۲/۲۶ درصد تغییرات سرعت نمو این مرحله را توجیه نمود (جدول ۲).

$$1/N = 0.02122807 + 0.00000028DL^2 \times T_{max}^2 \quad (6)$$

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. روند افزایش دما در تاریخ‌های کاشت دیر در کاهش فاصله زمانی سبز شدن تا رسیدگی نقش داشته و بخش عمده کاهش تعداد روز به علت تسریع در گل‌دهی بوده است. همبستگی منفی معنی‌دار (جدول ۱) بین متغیرهای حرارتی و طول دوره با این نتیجه‌گیری هماهنگ است.

سرعت نمو در دوره سبز شدن تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۳ متغیر و میانگین آن ۰/۰۱۱ بود. نتایج رگرسیون مرحله‌ای برای سرعت دوره سبز شدن تا رسیدگی در جدول (۲) نشان داده شده است. حاصل ضرب مربع میانگین طول روز در مربع میانگین درجه حرارت حداکثر شبانه‌روزی، اولین متغیر ورودی به

مدل بود که به تنهایی ۷۹/۵۹ درصد از تغییرات این دوره را توجیه نمود. توان چهارم درجه حرارت حداکثر متغیر دوم بود که وارد مدل شد و ۱/۶۸ درصد از تغییرات سرعت این مرحله را در مدل توجیه نمود و همراه با متغیر اول دقت مدل را به ۸۱/۲۷ درصد رساند (مدل ۴).

$$1/N = 0.00000966 + 0.000000DL^2 \times T_{max}^2 - 0.00000000T_{max}^4 \quad (7)$$

طول دوره گل دهی 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 به ترتیب، کمترین و بیشترین زمان را برای طی این دوره به خود اختصاص دادند. با تأخیر در کاشت و در نتیجه افزایش تدریجی درجه حرارت و طول روز، طول این دوره کاهش یافت. همبستگی منفی و معنی‌دار بین پارامترهای حرارتی و طول روز با طول دوره نتیجه‌گیری فوق را تصدیق می‌نماید (جدول ۱).

سرعت نمو در دوره گل دهی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۲۱ تا ۰/۰۶۳ متغیر و میانگین آن ۰/۰۳۲ بود. مکعب درجه حرارت حداقل تنها متغیری بود که وارد مدل شد (مدل ۵) و ۴۷/۹۸ درصد تغییرات این دوره را تفسیر نمود (جدول ۲). با توجه به متغیرهای ورودی در مدل این مرحله به نظر می‌رسد متغیرهای حرارتی، خصوصاً درجه حرارت‌های حداقل، نقش تعیین‌کننده‌ای در طول دوره و سرعت نمو ارقام در این مرحله را دارا هستند.

$$1/N = 0.01893315 + 0.00000211T_{min}^3 \quad (8)$$

اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آن‌ها برای مراحل کاشت تا سبزشدن، سبزشدن تا رؤیت طبق، سبزشدن تا گل دهی، سبزشدن تا رسیدگی و گل دهی تا رسیدگی ارقام مورد مطالعه طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در تاریخ‌های مختلف کاشت با استفاده از آمار درازمدت ایستگاه کبوترآباد برای تجمع روزانه برابر با یک (سرعت نمو) در جدول (۳) نشان داده شده‌اند. عدم اختلاف بین اعداد حقیقی و تخمینی برای مراحل کاشت تا سبزشدن و سبزشدن تا رسیدگی به ترتیب در ۵ و ۱ مورد مشاهده شد و برای بقیه مراحل موردی مشاهده نگردید. بیشترین اختلاف ۶ روز و مربوط به مرحله سبزشدن تا گل دهی در تاریخ کاشت سی‌ام اردیبهشت 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 (۴) ارائه شده است. قدر مطلق پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل شامل: حداقل، حداکثر، طیف، میانگین قدر مطلق‌ها و انحراف معیار برای دوره کاشت تا سبزشدن دارای کمترین مقدار و برای دوره گل دهی تا رسیدگی در اکثر موارد دارای بیشترین مقدار بودند. علت این امر، در مورد مرحله گل دهی تا رسیدگی را می‌توان به پایین بودن ضریب تبیین مدل برای این مرحله ربط داد (جدول ۲) ولی در مورد مرحله کاشت تا سبزشدن 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 سبزشدن را بهترین مدل دانست؛ اما در صورتی که حدود تغییرات انحراف از مدل طی دوره کاشت تا سبزشدن مورد توجه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که میزان انحراف نسبت به طول دوره حقیقی نمو بسیار بزرگ است. به همین علت، حداکثر قدر مطلق میزان انحراف از مدل نسبت به طول دوره حقیقی نمو به صورت درصد (حداکثر خطای تخمین) سنجیده شد. بر اساس این معیار، مراحل نمو طولانی به خوبی تخمین زده شدند که

نشان‌دهنده کارآیی مدل‌های محاسبه شده است. معیار مناسب دیگری برای ارزیابی ممکن است میزان خطای تخمین (به صورت درصد) بر حسب طیف انحراف از مدل (خطای تخمین بر اساس طیف) باشد. معیار اخیر وضعیت ارزیابی مدل‌ها را تغییر نمی‌دهد. برای مثال، خطای تخمین بر اساس طیف برای مرحله کاشت تا سبز شدن بسیار بیشتر از همین معیار برای مراحل سبز شدن تا رؤیت طبق، سبز شدن تا گل‌دهی و سبز شدن تا رسیدگی است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد مراحل مختلف نمو، عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به تغییرات طول روز و دمای ناشی از تأخیر در کاشت نشان می‌دهند؛ به طوری که متغیرهای ورودی در معادلات تخمین سرعت نمو مراحل مختلف نمو ثابت نبودند. علت این امر ممکن است تفاوت‌هایی در ماهیت فیزیولوژیک مراحل نمو و اختلاف در عکس‌العمل مراحل نمو به عناصر اقلیمی، خاکی، زراعی و اثرهای 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 فنولوژیک کافی در هر منطقه اقلیمی است.

جدول ۳) اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آن‌ها برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا رؤیت طبق، 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 و تجمع روزانه برابر یک

تعداد روز از کاشت تا سبز شدن	تعداد روز از سبز شدن تا رسیدگی			تعداد روز از سبز شدن تا گل‌دهی			تعداد روز از سبز شدن تا رؤیت طبق			تعداد روز از کاشت تا رسیدگی			تاریخ کاشت		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل			
۱۸	۱۹	-۱	۵۷	۶۱	-۴	۷۹	۸۳	-۴	۱۱۲	۱۱۷	-۵	۳۴	۳۲	۲	۱۲/۱۵
۱۴	۱۵	-۱	۵۴	۵۷	-۳	۷۵	۷۶	-۱	۱۰۵	۱۰۸	-۳	۳۰	۳۲	-۲	۱۲/۲۹
۱۲	۱۲	۰	۴۹	۵۱	-۲	۶۳	۶۸	-۵	۹۴	۹۴	۰	۲۸	۳۱	-۳	۱/۱۵
۱۰	۱۰	۰	۴۴	۴۷	-۳	۵۹	۶۳	-۴	۸۶	۸۷	-۱	۲۶	۳۱	-۳	۱/۳۰
۹	۹	۰	۴۱	۴۳	-۲	۵۴	۵۷	-۳	۸۱	۸۱	۰	۲۶	۳۰	-۴	۲/۱۵
۷	۷	۰	۳۲	۳۵	-۳	۴۶	۵۲	-۶	۷۸	۷۹	-۱	۳۱	۳۲	-۱	۲/۳۰
۶	۷	-۱	۳۰	۳۳	-۳	۴۸	۵۰	-۲	۷۷	۷۴	۳	۳۱	۳۶	-۵	۳/۱۶
۶	۶	۰	۲۹	۳۱	-۲	۵۰	۵۱	-۱	۸۷	۸۴	۳	۴۴	۴۱	-۳	۴/۲

جدول ۴) پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل، طول دوره حقیقی و میزان‌های خطای تخمین مراحل مختلف نمو ارقام مورد مطالعه با استفاده از آمار دراز مدت ایستگاه کبوترآباد و تجمع روزانه برابر یک

خطای ^۲ تخمین بر اساس طیف درصد)	حداکثر ^۱ خطای تخمین (درصد)	انحراف از مدل					طول دوره حقیقی (روز)	مرحله نمو
		انحراف معیار	میانگین قدر مطلقها	طیف	حداکثر	حداقل		
۹/۷	۹/۷	۰/۵۲	۰/۴	۱	۰	-۱	۱۰/۳	کاشت تا سبز شدن
۱/۲	۹/۵	۰/۷۱	۲/۸	۲	-۲	-۴	۴۲	سبز شدن تا رویت طبق
۸/۴	۱۰/۱	۱/۸	۳/۳	۵	-۱	-۶	۵۹/۳	سبز شدن تا گل دهی
۶/۷	۳/۳	۲/۷	۲	۶	۳	-۳	۹۰	سبز شدن تا رسیدگی
۲۲/۴	۱۶	۲/۳	۳/۱	۷	۲	-۵	۳۱/۳	گل دهی تا رسیدگی

۱- عبارت است از حداکثر قدر مطلق انحراف از مدل تقسیم بر طول دوره حقیقی ضرب در صد

۲- عبارت است از طیف انحراف از مدل تقسیم بر طول دوره حقیقی ضرب در صد

منابع

- ۱- اندرزیان، بهرام، عبدالمهدی بخشنده، محمد بنایان و یحیی امام. (۱۳۸۶). CDSS:Model: مدلی برای شبیه سازی مراحل نمو گیاهی، پژوهش و سازندگی، ج ۲۰، ش ۳، صص ۷۱-۷۹.
- ۲- خواجه پور، محمدرضا و فرامرز سیدی. (۱۳۸۰). اثر دما و طول روز بر مراحل نمو ارقام آفتابگردان در شرایط مزرعه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ج ۵، ش ۲، صص ۹۱-۱۰۷.
- ۳- داداشی، نصرالله و محمدرضا خواجه پور. (۱۳۸۲). اثر دما و طول روز بر مراحل مختلف نمو ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط مزرعه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ج ۷، ش ۴، صص ۸۳-۱۰۲.
- 4- 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.
- 5- Cho, M. H. and Tae, R. H. (2000), Purification and characterization decarboxylase from the yellow petals of *Charthamus tinctorius*, L. Archive of Biochemistry and Biophysics, 382: 238-244.
- 6- 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.
- 7- 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. Istnbul, Turkey.
- 8- Jame, Y. W. Cutforth, H. W. (1997), Crop growth models for decision support systems, Can. J. Plant Sci. 76: 9-19.
- 10- Jame, Y. W. 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.
- 11- Keisling, T. C. (1982), Calculation of the length of day. Agron. J., 74:758-759.
- 12- Lown, R. J and Byth, D. E. (1973), Response of soybean to planting date in South-Eastern Queensland, I. Influence of photoperiod and temperature on phasic development pattern. Aust. J. Agric. Res., 24:67-80.
- 13- Majore, 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.

- 14- Robertson, G. W. (1983), Weather based mathematical models for estimating development and ripening of crop. Technical note No. 180, pp.1-99.
- 15- Robertson, G. W. (1998), A biometeorological time scale for cereal crop involving day and night temperature and photoperiod. Int. J. Biometeor., 12:141-223.
- 16- Rohini, V. K. and Sankora, K. R. (2000), Embryo transformation, a practical approach for releasing transgenic plant of safflower (*Carthamus tinctorios* L.). Annals of Bot., 86:1043-1049.
- 17- 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.

