



تعیین سرعت مراحل فنولوژیک گلرنگ در کبوترآباد اصفهان

طلعت یساری^۱، محمدرضا شهسوازی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

چکیده

پیش‌بینی طول مراحل نمو گونه‌های زراعی به کمک عوامل محیطی برای تسهیل در عملیات زراعی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. در شرایطی که آبیاری، تغذیه و سایر عوامل تولید تحت کنترل باشد این شرایط اقلیمی منطقه است که می‌تواند تعیین کننده طول مراحل نمو باشد. دما و طول روز بیشترین اثر را روی سرعت نمو گیاه دارا هستند. به منظور تعیین معادلات سرعت مراحل نمو یک رقم گلرنگ بنام زنده رود از عناصر اقلیمی دما، طول روز و ترکیب آنها استفاده شد. برای ایجاد تنوع لازم در دماها و طول روزها، رقم مورد نظر در تاریخ‌ها و سال‌های مختلف در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد اصفهان کشت گردید. برای تعیین بهترین معادله بین سرعت نمو و این متغیرها از رگرسیون مرحله‌ای استفاده شد. با پیشرفت فصل و گرمتر شدن هوا در تاریخ‌های کاشت دیرتر سرعت مراحل مختلف نمو افزایش و در نتیجه طول این مراحل کاهش یافت. انحراف استاندارد از معادله برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا طبق‌دهی، سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی به ترتیب ۱/۲، ۱/۷، ۳/۶ و ۴/۵ روز بود که نشان دهنده کفایت معادلات است. ضرایب تبیین برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا طبق‌دهی، گلدهی و رسیدگی به ترتیب ۷۵/۶۹، ۷۷/۸۸، ۹۹/۳۷، ۹۹/۵۵ بود. با توجه به ماهیت مختلف مراحل نمو و تأثیرپذیری هریک از این مراحل از دما و طول روز مشخص گردید که سهم آنها در تعیین طول مراحل نمو متغیر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دما، طول روز، گلرنگ، مراحل نمو، معادلات نمو

مقدمه

سانتی‌گراد به دما می‌باشد (Mundel et al., 1992). گیاه ماهیتاً روز بلند است، اما بسیاری از ارقام اصلاح شده آن نسبت به طول روز بی تفاوت هستند. با ارقام موجود، کاشت این گیاه بصورت پائیزه، بهار و تابستانه در کشور انجام می‌گیرد (Khajehpour, 2004). طبق آمار رسمی سطح زیر کشت و تولید آن در جهان به ترتیب ۶۵۲۷۸۰ هکتار و ۵۹۰۸۶۹ تن و برای کشور ۴۷۶۷ و ۶۳۱۳ تن بوده است (FAO, 2019). استان اصفهان با دارا بودن نیمی از سطح زیر کشت گلرنگ در بین استان‌های کشور رتبه اول را دارا می‌باشد (Ahmadi, 2016). با توجه به میزان سطح زیر کشت گلرنگ در استان، آگاهی از مراحل رشد و نمو آن به منظور تسهیل در عملیات کشاورزی دارای اهمیت خاصی است. در علوم کشاورزی، رشد

گلرنگ یا کوشه (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی دو لپه از تیره مرکبه است (Weiss, 2000). بر اساس مطالعات جدید، موطن آن خاورمیانه و احتمالاً مبداء آن ایران می‌باشد (Zareie et al., 2013). گلرنگ به منظور استفاده در صنایع روغن‌کشی، رنگ‌سازی، دارویی، آرایشی و بهداشتی و تزئینی و همچنین به عنوان یک گیاه علوفه‌ای کشت و کار می‌شود (Emongor, 2015; Weiss, 2000). از لحاظ سازگاری گیاهی مقاوم به خشکی، شوری، سرما و گرما است (Khalili et al., 2014). حداقل دما برای رشد این گیاه حدود ۵ درجه سانتی‌گراد است و دارای مقاومت وسیع بین ۴۰ تا ۷- درجه

و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان- ایران
(*نویسنده مسئول: shahsavari_mr@yahoo.com)

^۱ استادیار آب و هواشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زابل
^۲ بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی

نحوه ارجاع مقاله:

رسیدن به عدد ۱، طول دوره کامل می‌شود (Robertson, 1983). تقویم‌های زمانی برای تعیین سرعت و طول مراحل نمو، خصوصاً برای محل‌ها و شرایط محیطی مختلف دقیق نیستند. با توجه به اثر دما روی رشد و نمو گیاهان و همچنین بر اساس اصل تجمع حرارتی، هر گیاه بدون توجه به مدت زمان مورد نیاز، موقعی به مرحله خاصی از نمو خود می‌رسد که مقدار معینی حرارت از محیط دریافت کرده باشد. بر این اساس گیاه برای پشت سر گذاشتن هر یک از مراحل نمو خود به مقدار معینی گرما نیاز دارد که به آن واحد حرارتی، شاخص حرارتی یا درجه-روز رشد گفته می‌شود (Aiken, 2005). این نخستین تلاش برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی با استفاده از دما بود. از مدل‌های دمایی دیگر می‌توان به بررسی نمو گیاهان در دماهای ثابت و کنترل شده اشاره نمود. مدل‌های حاصل از این مطالعات، به مدل‌های نمو با ریتم یا آهنگ ثابت معروف هستند که برای آزمایش‌های کارایی آنها، انجام آزمایشات مزرعه‌ای ضرورت دارد (Hatfield and Prueger, 2015). شاخص دمای مؤثر یکی دیگر از روش‌هایی است که در مدل‌سازی حرارتی مراحل نمو گیاهان به آن توجه شده است. در این روش دامنه عکس‌العمل نمو به دما به دو مقدار پایه و دمای سقف محدود می‌شود و سرعت نمو در خارج هر یک از این مقادیر برابر صفر (روز تا گلدهی بی‌نهایت است) می‌باشد. بر اساس تعریف، حداکثر سرعت نمو در دمایی موسوم به دمای مطلوب رخ می‌دهد. مثلاً، میزان دمای پایه، مطلوب و سقف برای جوانه‌زنی گندم به ترتیب ۲، ۲۵ و ۳۷ و برای سویا ۶، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Grimi and et al., 1994). برای تعیین معادلات سرعت نمو مراحل مختلف گیاهان از مدل‌های حرارتی غیرخطی نیز استفاده شده است. اساس این مدل‌ها نیز عمدتاً همان دماهای پایه، بهینه و سقف می‌باشد. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های درجه دوم زنگوله‌ای شکل با چولگی (Tydesely, 1978; Jhonson and Thornley, 1985)، نمایی (Angus and et al., 1981)، لجستیک (Horie and Nakagawa, 1990) و درجه چهارم (Robertson, 1968) و غیره اشاره نمود. قابل ذکر است که با توجه به نقش طول روز که یکی دیگر از عناصر اقلیمی است که اثر قابل توجهی

به معنای افزایش ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک گیاه می‌باشد ولی نمو عبور از یک مرحله رشدی به مرحله رشدی دیگر است. به طور کلی نمو، پدیده‌ای است که طی آن سلول‌هایی که به ظاهر شبیه هم هستند طرح مورفولوژیکی و نقش فیزیولوژیکی متفاوتی را بر عهده می‌گیرند (Nobel, 2020). عوامل متعددی مثل دما، طول روز، بافت خاک، ساختمان خاک، مواد غذایی، شوری و ژنوتیپ بر رشد و نمو گیاه مؤثر می‌باشند. تحت شرایط فراهمی آب و مواد غذایی معمولاً این عناصر اقلیمی هستند که رشد و نمو گیاه را تا حدود زیادی کنترل می‌کنند. از بین عناصر اقلیمی نیز دما و طول روز بیشترین نقش را بر رشد و نمو دارا می‌باشند. در هر اقلیم نیز تاریخ‌های کاشت، تنوع‌هایی در رشد و نمو گیاهان ایجاد می‌کنند. تعیین سرعت نمو و به دنبال آن طول مراحل نمو ارقام گیاهی از جمله گلرنگ در تسهیل امور مختلف از جمله تعیین زمان مناسب مبارزه با آفات و بیماری‌ها، آماده‌سازی وسایل کاشت، داشت و برداشت، استفاده از تاریخ‌های کاشت مناسب، بازاریابی مناسب محصول و غیره بسیار راهگشاست. اگر نمو گیاه به صورت روزانه در نظر گرفته شود، به دلیل اینکه میزان نمو به صورت روزانه قابل اندازه‌گیری نیست و با توجه به این که هر مرحله نمو دارای یکنواختی طی دوره خود می‌باشد می‌توان سرعت نمو آن مرحله را، از معکوس کردن طول دوره آن به دست آورد (Robertson, 1983). به این میزان روزانه، افزایش کسری روزانه نمو می‌گویند (Clarkson and Russel, 1979). با توجه به مطالب گفته شده می‌توان معادله ۱ را به دست آورد.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{N} = C \quad (1)$$

در این معادله $\frac{dM}{dt}$ تغییرات نمو نسبت به زمان، N طول مرحله نمو و C مقدار ثابت می‌باشد. با انتگرال‌گیری روی دوره‌ی نمو از یک مرحله (S_1) تا مرحله دیگر (S_2) معادله ۲ حاصل می‌شود.

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

در این معادله M حدوث بلوغ برای هر دوره نمو است. بنابراین با جمع نمو کسری روزانه طی دوره مورد نظر و

تحقیقات کشاورزی و هواشناسی کبوتر آباد اصفهان استفاده شد. تاریخ‌های کاشت طی سال‌های مختلف دهه ۱۳۸۰ از ۱۵ اسفند شروع و به فاصله ۱۵ روز از یکدیگر تا اوایل تیرماه به اجرا در آمد. آزمایش‌ها در قالب طرح‌های بلوک‌های کامل تصادفی با توزیع کرت‌های یک بار خرد شده اجرا شدند. در این آزمایشات ارقام و از جمله رقم زنده رود در تاریخ‌های مختلف کاشت با حداقل سه تکرار کشت گردیدند. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و هواشناسی کبوترآباد هر دو در یک محل و در جنوب شرقی اصفهان در کنار یکدیگر قرار دارند. طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع این ایستگاه به ترتیب ۴۹° و ۵۱° شرقی، ۳۰° و ۳۲° شمالی و ۱۵۴۱ متر است. بر اساس طبقه‌بندی دوارتن این ایستگاه دارای اقلیم فرا خشک سرد است (Khalili et al., 2022). میانگین درازمدت ۲۳ ساله (۲۰۱۵-۱۹۹۲) دما و بارندگی در این ایستگاه به ترتیب ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۶/۳ میلی‌متر است. خاک محل آزمایش دارای بافت رسی سیلتی از سری خاک‌های اصفهان می‌باشد. متوسط اسیدیته خاک تا عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر حدود ۷/۸، هدایت الکتریکی آن در حدود ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و جرم مخصوص ظاهری خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. برای کاشت از زمین‌هایی استفاده شد که در سال قبل آیش بودند. کودپاشی قبل از کاشت بر اساس ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم (۴۸ درصد اکسید فسفر و ۱۸ درصد نیتروژن خالص) انجام گرفت. برای از بین بردن علف‌های هرز از علف‌کش‌های پیش‌کاشتی و همچنین وجین دستی در مواقع لزوم استفاده شد. کاشت به صورت نم‌کاری و بر روی سطوح پشته‌های احداث شده انجام گرفت. فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته روی پشته ۵ سانتی‌متر بود. هر پلات آزمایشی دارای چهار پشته به طول ۶ متر بود. آبیاری‌ها در طول آزمایش بر اساس گرمی هوا در دوره‌های مختلف انجام شد. برای مبارزه با مگس گلرنگ از سموم نفوذی تماسی استفاده شد. مراحل مختلف نمو در اشکال ۱ تا ۴ نشان داده شده‌اند.

برنمو گیاهان خصوصاً در مرحله گلدهی دارد. معادلات اشاره شده کامل نیستند. گیاهان بر اساس حساسیت به طول روز به سه گروه روز کوتاه، روز بلند و روز خنثی تقسیم کردند. در گیاهان روز بلند مثل گلرنگ انتقال از مرحله رویشی به زایشی همراه با افزایش طول روز تسریع می‌گردد و روزهای کوتاه منجر به تأخیر گلدهی آنها می‌شود. به عبارت دیگر این گیاهان تا زمانی که دوره تاریکی از یک حد بحرانی کمتر و یا طول روز از یک حد بحرانی بیشتر نشود قادر به گلدهی نیستند و یا گلدهی آنها به تأخیر می‌افتد (Khajehpour, 2004). بر این اساس طول روز نیز همچون دما وارد معادله‌های تخمین مراحل نمو شد. از جمله این معادله‌ها می‌توان به معادله‌های خطی و غیرخطی دما و طول روز و معادله‌های خطی و غیرخطی دما در طول روز که به مدل‌های فوتوثرمال معروف هستند اشاره نمود. به عنوان مثال در مطالعه‌ای که بر روی ۹ رقم سویا انجام شد معادله خطی شماره ۳ با ضریب تبیین بین ۷۴ تا ۹۸ درصد به دست آمد (Sinclair et al, 1991).

$$\frac{1}{f} = a + bP + cT \quad (3)$$

در معادله ۳، $\frac{1}{f}$ سرعت نمو یا معکوس زمان از کاشت تا گلدهی، P طول روز، T دما و a ، b و c ضرایب رگرسیون هستند. باید متذکر در این نوع معادلات نیز همه متغیرهای دمایی و طول روز استفاده نشدند. تعیین سرعت و طول مراحل مختلف نمو یک ژنوتیپ بهاره- پاییزه گلرنگ با استفاده از متغیرهای مختلف دمایی و طول روز و ترکیبات آنها و اثرگذاری این عناصر بر مراحل مختلف نمو و راستی آزمایشی آنها در منطقه کبوترآباد اصفهان از اهداف این بررسی بود.

مواد و روش‌ها

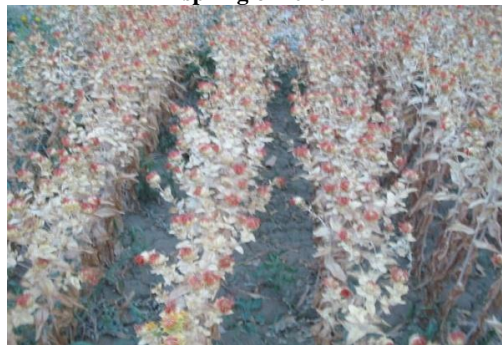
برای تعیین معادلات سرعت نمو مراحل مختلف نمو رقم گلرنگ زنده رود و ایجاد واریانس برای دما و طول روز از تاریخ کاشت‌های مختلف بهاره طی سال‌های مختلف در ایستگاه



شکل ۲- مرحله تکمه دهی گلرنگ، بهار ۱۳۸۹ در کبوترآباد
Fig2. Safflower heading stage at the Kabootar Aabaad in spring of 2010



شکل ۱- مرحله سبز شدن گلرنگ، بهار ۱۳۸۹ در کبوترآباد
Fig1. Safflower emergence stage at Kabootar Aabaad in spring of 2010



شکل ۴- مرحله رسیدگی گلرنگ، تابستان ۱۳۸۹ در کبوترآباد
Fig4. Safflower ripening stage at Kabootar Aabaad in summer of 2010



شکل ۳- مرحله گلدهی گلرنگ، بهار ۱۳۸۹ در کبوترآباد
Fig3. Safflower flowering stage at Kabootar Aabaad in spring of 2010

محاسبه شد. به منظور تعیین معادله‌های مراحل مختلف نمو این رقم گلرنگ از روش رگرسیون مرحله‌ای استفاده گردید. در این معادلات سرعت نمو هر مرحله به عنوان متغیر تابع و عناصر دمایی و طول روز و ترکیبات مختلف آنها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. معادلات به دست آمده از رگرسیون مرحله‌ای معادلاتی بودند که ضرایب رگرسیون و تبیین جزء آنها معنی‌دار شدند و همچنین بیشترین ضریب تشخیص کل را دارا بودند. در مرحله کاشت تا سبز شدن به واسطه عدم تأثیرپذیری این مرحله از طول روز از این متغیر در به دست آوردن معادلات استفاده نشد و فقط از متغیرهای مختلف حرارتی استفاده گردید. برای راستی آزمایشی مدل‌ها از نتایج یکی از سال‌های آزمایش که از آنها در پردازش معادلات استفاده نشده بود استفاده به عمل آمد.

نتایج و بحث

با پیشرفت فصل رشد و گرمتر شدن هوا تعداد روزهای سپری شده از کاشت تا سبز شدن برای ژنوتیپ مورد آزمایش

با یادداشت‌برداری از مراحل نمو، طول مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی، سبز شدن تا گلدهی، سبز شدن تا رسیدگی و گلدهی تا رسیدگی با روش Flemmer et al., (2015) بر حسب روز به دست آمد. طبق تعریف عکس طول هر مرحله نموی ($\frac{1}{D}$) به عنوان سرعت نمو آن مرحله در نظر گرفته شد (Robertson, 1983). میانگین دماها و طول روزهای مطابق با دوره هر مرحله نموی محاسبه شدند. دماها شامل دماهای حداقل، حداکثر و میانگین بودند و از ایستگاه مستقر در کنار محل انجام آزمایشات تهیه گردید. طول‌روزها به کمک روش Keisling (1982) محاسبه شدند. برای به دست آوردن طول روز، عرض جغرافیایی ایستگاه در فاصله دو شدت نور که گیاه به آن حساسیت نشان می‌دهد (۰/۰۱ کالری بر سانتی‌متر مربع بر دقیقه) وارد معادله شد و طول روز بر اساس ساعت تا چهار رقم اعشار محاسبه شد. ضرایب همبستگی بین میانگین طول مراحل مختلف نمو و میانگین دماهای حداقل، حداکثر و متوسط و همچنین طول‌روز برای هر مرحله نموی

سله خاک، عمق کاشت، بارندگی در زمان کاشت و غیره اشاره نمود. بنابراین افزایش دما موقعی می‌تواند سرعت سبز شدن را افزایش دهد که عوامل دیگر برای استقرار و سبز شدن گیاه فراهم باشد. سرعت نمو در دوره کاشت تا سبز شدن رقم مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ متغیر و میانگین آن ۰/۱۱ بود. ضرایب رگرسیون و ضرایب تشخیص مربوط به دوره کاشت تا سبز شدن در جدول ۱ نشان داده شده است.

کاهش یافت. بیشترین و کمترین تعداد روز از کاشت تا سبز شدن به ترتیب ۴ و ۲۰ روز و میانگین آن ۹/۱ روز بود. ضریب همبستگی منفی و معنی‌دار (**۰/۹۰۱-) بین طول دوره کاشت تا سبز شدن با میانگین دما طی همین مدت مؤید این مطلب می‌باشد. عدم همروندی کامل طول دوره کاشت با میانگین دما در بعضی از سال‌ها و تاریخ‌های کاشت آزمایش می‌تواند به عللی غیر از رابطه دما و طول دوره سبز شدن باشد، از جمله این عوامل می‌توان به دور آبیاری، شوری آب و خاک،

جدول ۱- خلاصه تحلیل رگرسیون مرحله ای برای تخمین سرعت نمو مراحل مختلف نمو رقم زنده رود

Table 1- Stepwise regression summary for estimating development stages period of Zende Rood cultivar

Variable	Determination coefficient of model (R ²)	Partial determining coefficient (P.R ²)	Significant level of partial determination	Regression coefficient	Standard error of regression coefficient	Level of significant regression coefficient analysis	Vif	Tol
Planting to Emergence								
intercept	--	--	--	-0.00104729	0.00774663	0.1634		
T _{mean}	0.7569	0.7569	0.0001	0.00647526	0.00037847	0.0001		
Emergence to heading								
intercept	--	--	--	-0.000668603	0.00010208	0.0001		
DL×T _{max}	0.8588	0.8588	0.0001	0.00006432	0.00198975	0.0001		
Emergence to flowering								
intercept	--	--	--	-0.00727904	0.00054296	0.0001		
DL×T _{max}	0.9537	0.9537	0.0001	0.00005064	0.00000115	0.0001		
Emergence to Ripening								
intercept	--	--	--	0.23629162	0.00467516	0.0001		
T _{max}	0.9715	0.9715	0.0001	-0.00925181	0.00033790	0.0001	3.08	0.325
T _{min} ⁴	0.9955	0.0239	0.0001	0.00000147	0.00000010	0.0001	3.08	0.325

1. DL, T_{max}, T_{min}, T_{mean} are day length mean, maximum mean, minimum mean and mean average respectively.

بذر در محیط‌های کنترل شده مثل اطاقک‌های رشد بر روی گیاهان مختلف انجام شده معادلات دقیق‌تر با ضرایب تشخیص بالاتری به دست آمده است. به طور مثال معادله ۵ برای جوانه‌زنی یک رقم گلرنگ در اطاقک رشد به دست آمد (Ayon et al., 2005).

$$\frac{1}{D} = 0.38 - 0.07 \times T_{\text{mean}} + 0.0012 \times T_{\text{mean}}^2 \quad (5)$$

طول دوره سبز شدن تا تشکیل طبق (تکمه‌دهی) در این رقم حداقل ۳۵ و حداکثر ۶۹ روز طول کشید. متوسط طول این دوره برای این رقم در همه تاریخ‌های کاشت ۴۸ روز بود. همچون مرحله کاشت تا سبز شدن در این مرحله نموی نیز با کاشت در ماه‌های گرم‌تر طول این مرحله کم شد. بیشترین و کمترین زمان رسیدن به تکمه دهی به ترتیب در تاریخ‌های

تنها متغیری که در این مرحله وارد مدل سرعت نمو شد میانگین شبانه‌روزی دما بود (معادله ۴). میانگین شبانه‌روزی دما ۷۵/۶۹ درصد تغییرات این دوره را توجیه کرد.

$$\frac{1}{D} = -0.0104729 + 0.00647526 \times T_{\text{mean}} \quad (4)$$

اگر چه دمای خاک با دمای هوا در اعماق کم در حال تعادل است ولی به دست آوردن معادلات دقیق‌تر با ضرایب تبیین بالاتر برای این مرحله، مستلزم اندازه‌گیری دمای خاک می‌باشد، چون دمای خاک به طور مستقیم بر سرعت جوانه زدن و سبز شدن بذر مؤثر است. قابل ذکر است اندازه‌گیری دمای خاک، نیاز به وسایل و امکانات بیشتری نسبت به اندازه‌گیری دمای هوا دارد و این اندازه‌گیری‌ها در مزارع معمولی کار سختی است. در مطالعاتی که بر روی جوانه زدن

نمو در دوره سبز شدن تا گل‌دهی رقم مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۱۱ تا ۰/۲۰ متغیر و میانگین آن ۰/۱۶ بود. حاصل ضرب طول روز در دمای حداکثر تنها متغیری بود که در این مرحله وارد مدل شد (معادله ۷) و ۹۵/۳۷ درصد تغییرات سرعت نمو این مرحله را توجیه نمود (جدول ۱).

$$\frac{1}{D} = -0.00727904 + 0.00005064DL \times T_{\max} \quad (7)$$

طول دوره سبز شدن تا رسیدگی رقم زنده رود در سال‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف انجام آزمایش از ۸۱ تا ۱۱۷ روز متغیر و میانگین آن ۹۳ روز بود. بر طبق انتظار حداکثر طول دوره سبز شدن تا رسیدگی (۱۱۷ روز) در اولین تاریخ کاشت یعنی نیمه اول اسفند ماه یکی از سال‌های آزمایش حادث شد. حداقل طول این دوره (۸۱ روز) مربوط به تاریخ کاشت آخر اردیبهشت ماه سال یکی از سال‌های آزمایش بود. باید یادآور شد که کاهش طول دوره سبز شدن تا رسیدگی در تاریخ کاشت‌های دیر عمدتاً مربوط به کاهش طول دوره سبز شدن تا گلدهی بواسطه دماهای بالاتر در این تاریخ کاشت‌ها می‌باشد. همبستگی طول دوره سبز شدن با دماهای مینیمم، ماکزیمم و متوسط و طول روز به ترتیب 0.899^{**} ، 0.895^{**} ، 0.907^{**} و 0.392^{-} بود. معنی‌دار نشدن طول دوره مرحله سبز شدن تا رسیدگی با طول روز را می‌توان به طولانی‌تر بودن این مرحله نسبت به مراحل سبز شدن تا طبق‌دهی و سبز شدن تا گلدهی دانست به طوری که بعد از گلدهی همروندی قوی بین دما و طول روز وجود ندارد. و طول‌روزها در فاصله زمانی بعد از گلدهی شروع به بلند شدن می‌کند. سرعت نمو در دوره سبز شدن تا رسیدگی رقم مورد آزمایش طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۹ تا ۰/۱۳ متغیر و میانگین آن ۰/۱۱ بود. نتیجه رگرسیون گام به گام برای این مرحله در جدول ۱ آمده است. دماهای ماکزیمم و توان چهارم دمای مینیمم دو متغیری بودند که وارد مدل شدند و به ترتیب ۹۷/۱۵ و ۲/۳۹ درصد تغییرات این دوره را تبیین نمودند و با یکدیگر دقت معادله را به ۹۹/۵ درصد رساندند (معادله ۸).

$$\frac{1}{D} = 0.23629162 - 0.00925181 \times T_{\max} + 0.00000147 \times T_{\min}^4 \quad (8)$$

اعداد مشاهده شده، تخمینی و تفاوت آنها برای مراحل مختلف این رقم طی یک سال آزمایش که داده‌های آن در

کاشت اسفند و تیرماه حادث شد. به عبارت دیگر با پیشروی تاریخ کاشت به سوی بهار و تابستان طول این دوره کاهش یافت. ضرایب همبستگی منفی و معنی‌دار بین طول این دوره با دماهای ماکزیمم (0.943^{**})، مینیمم (0.910^{**}) و متوسط (0.910^{**}) مؤید این مطلب است. ضریب همبستگی طول دوره تکمه‌دهی با طول روز طی این دوره منفی و معنی‌دار (0.941^{**}) بود که با توجه به روز بلند بودن گلرنگ قابل انتظار است، زیرا با تأخیر در کاشت روزها بلندتر شده و طول دوره کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که زمان تکمه‌دهی گلرنگ را می‌توان نشانه قابل مشاهده شروع مرحله گلدهی در این گیاه دانست. با توجه به روز بلند بودن گلرنگ، در برخی تاریخ‌های کاشت علیرغم کاهش طول‌روز، تعداد روز تا تکمه‌دهی افزایش نیافته است. بروز چنین عکس‌العملی احتمالاً نقش تعدیل‌کنندگی دما و طول روز بر روی یکدیگر می‌باشد و این امر سبب می‌گردد تا گیاه عکس‌العمل‌های پیش‌بینی شده را نداشته باشد. سرعت نمو در دوره سبز شدن تا تکمه‌دهی در رقم مورد مطالعه طی سال‌های آزمایش از ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ متغیر و میانگین آن ۰/۰۲ بود. حاصل ضرب میانگین طول‌روز در میانگین دما حداکثر تنها متغیری بود که در این مرحله وارد مدل شد (جدول ۱) و با ضریب تشخیص ۸۵/۸۸ درصد، تغییرات سرعت نمو این رقم طی مرحله سبز شدن تا طبق‌دهی را تفسیر نمود (معادله ۶).

$$\frac{1}{D} = -0.000668603 + 0.00006432DL \times T_{\max} \quad (6)$$

حداکثر و میانگین تعداد روز تا گلدهی به ترتیب ۴۸، ۸۷ و ۶۳ روز برای رقم مورد مطالعه ثبت شد. گلدهی در تاریخ کاشت‌های زود، طولانی‌تر و در تاریخ کاشت‌های دیر، کوتاه‌تر اتفاق افتاد. باید یادآور شد که در تاریخ کاشت‌های خیلی دیر مثل کاشت در تیر ماه چونکه زمان گلدهی گلرنگ در ماه‌های خنک‌تر از تیر و مرداد اتفاق می‌افتد طول دوره گلدهی نسبت به کاشت در ماه‌های اردیبهشت و خرداد کاهش می‌یابد که دلیل آن باز به دماهای پایین‌تر در زمان گلدهی ارتباط دارد. در انطباق با مطالب ذکر شده و نتایج به دست آمده ضرایب همبستگی بین طول دوره سبز شدن تا گلدهی با دماهای مینیمم، ماکزیمم، متوسط و طول روز به ترتیب 0.968^{**} ، 0.945^{**} ، 0.962^{**} و 0.880^{**} بود. سرعت

پدرازش معادلات استفاده نگردیده بود، درهشت تاریخ مختلف کاشت با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی کبوترآباد برای رسیدن به عدد یک (سرعت نمو تجمعی) در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- اعداد حقیقی، تخمینی و اختلاف آن‌ها برای مراحل مختلف نمو رقم زنده رود طی سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ در تاریخ‌های مختلف کاشت و تجمع روزانه برابر یک

Table 2- Observed, estimated data and their differences for various development stages of Zende Rood cultivar in different planting dates and daily aggregation equal to one at 2008-2009

planting date	No days (planting to Emergence)			No. days (Emergence to Heading)			No. days (Emergence to flowering)			No. days (Emergence to ripening)		
	observed	estimated	difference	observed	estimated	difference	observed	estimated	difference	observed	estimated	difference
12/15	19	17	2	57	55	2	80	84	-4	112	114	-2
12/29	14	15	-1	54	51	3	76	82	-6	106	112	-6
1/15	12	13	-1	50	48	2	64	68	-4	95	98	-3
1/30	11	11	0	44	43	1	60	67	-7	87	87	0
2/15	9	11	-2	41	43	-2	54	60	-6	82	82	0
2/30	8	7	1	32	31	1	47	48	-1	79	76	3
3/16	6	6	0	31	31	0	50	49	1	78	79	-1
4/2	5	6	-1	30	32	-2	50	46	4	91	82	9

انحراف از معادله شامل حداقل، حداکثر و دامنه اختلاف و میزان خطاهای تخمین بر اساس قدر مطلق حداکثر اختلاف و دامنه انحراف اختلاف از معادله محاسبه شدند (جدول ۳). در نگاه اول با توجه به داده‌های جدول، پارامترهای انحراف از معادله برای دوره کاشت تا سبز شدن از بقیه مراحل کمتر بود ولی چنانچه به جای این انحرافات از درصد مقادیر حداکثر قدرمطلق و دامنه تغییرات بر طول دوره مشاهده شده استفاده شود تخمین دقیق‌تری از کارایی معادلات به دست می‌آید.

عدم وجود اختلاف بین اعداد مشاهده شده و اعداد به دست آمده از مدل برای مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه‌دهی و سبز شدن تا رسیدگی به ترتیب ۲، ۱ و ۲ مورد بود و برای بقیه مراحل اختلاف وجود داشت. بیشترین تفاوت ۸ روز و در ارتباط با مرحله سبز شدن تا گل‌دهی در تاریخ کاشت هشتم بود. برای ارزیابی دقیق‌تر معادلات در تمامی تاریخ‌های کاشت و برای هر مرحله نمودی به طور جداگانه متوسط طول دوره مشاهده شده، مقادیر عددی مرتبط با

جدول ۳- پارامترهای مرتبط با انحراف از مدل، طول دوره حقیقی و میزان خطای تخمین مراحل مختلف نمو رقم زنده رود و تجمع روزانه برابر یک

Table 3- Parameters related to regression deviation, observed days and estimated error of Zende Rood cultivar development stages and daily aggregation equal to one

Developmental stage	Observed days	Deviation from regression					Max of ¹ estimated error (%)	Estimated ² error based on range (%)
		Min	Max	Range	Mean	Standard deviation		
Planting to Emergence	10.5	-2	2	4	1	1.2	19	38.1
Emergence to Heading	42.4	-2	3	5	1.6	1.7	7	11.8
Emergence to flowering	60.1	-7	4	11	4.1	3.6	11.6	18.3
Emergence to Ripening	91.3	-6	9	15	3	4.5	9.8	16.4

۱- عبارتست از حداکثر قدر مطلق انحراف از مدل تقسیم بر طول دوره حقیقی ضربدر صد

۲- عبارتست از طیف انحراف از مدل تقسیم بر طول دوره حقیقی ضربدر صد

- Flemmer, A. C., Franchini, M. C., Lindstorm, L. I. 2015. Description of safflower growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, 166(2), 331-339.
- Grimi, S. S., G., James, W. J., Kenneth, J. B., Herzog, D. C. 1994. Modeling the occurrence of reproductive stages after flowering for four soybean cultivars. *Agronomy Journal*, 86(1), 31-38.
- Hatfield, J. L., Prueger, J. H. 2015. Temperature extremes, Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10.
- Horie, T., Nakagawa, H. 1990. Modeling and prediction of development process in rice. I. Structure and method of parameter estimation of a model for simulating development process toward heading. *Japan Journal of Crop Science*, 59, 687-695.
- Johnson, I. R., Thornley, J. H. M. 1985. Temperature dependence of plant and crop processes. *Annual Botany*, 55(1), 1-24.
- Khajepour, M. R. 2004. *Industrial crops*. 2 th-ed. Jahadeh-Daneshgahi, 564 pages. (In Farsi)
- Khalili, A., Bazrafshan, J., Cheraghalizadeh, M. 2022. A Comparative study on climate maps of Iran in extended de Martonne classification and application of the method for world climate zoning. *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1), 3-16. (In Farsi)
- Khalili, M., Pour-Aboughadareh, A., Naghavi, M. R., Mohammad-Admini, E. 2014. Evaluation of drought tolerance in safflower genotypes based on drought tolerance indices. *Notulae*
- Keisling, T. C. 1982. Calculation of the length of day. *Agronomy Journal*, 74 (4), 758-759.
- Mündel, H. H., Morrison, R. J., Blackshaw, R. E., Roth, B. 1992. Safflower Production on the Canadian Prairies. *Agriculture Canada Research Station, Lethbridge/Alberta*, 35.
- McPherson, M. A., Good, A. G., Topinka, L., Hall, L. M. 2004. Theoretical hybridization potential of transgenic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with weedy relatives in the new world. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2), 923-934.
- Nobel, P. S. 2020. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. 15th Edition. Elsevier Inc, 608 pages.
- Robertson, G. W. 1983. Weather based mathematical models for estimating development and ripening of crop. Technical note No. 180. 99 pages.

نتیجه گیری

ضرایب تشخیص معادلات سرعت نمو، کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا تکمه دهی، سبز شدن تا گلدهی و سبز شدن تا رسیدگی به ترتیب ۷۵/۶۹، ۸۵/۸۸، ۹۵/۳۷ و ۹۹/۵۵ درصد بود که نشان دهنده دقت بالای معادلات است. از نتایج این مطالعه می توان به ثابت نبودن ورود متغیرهای حرارتی و طول روز برای مراحل مختلف فنولوژیک اشاره نمود. علت این امر را می توان به ماهیت فیزیولوژیکی هر یک از این مراحل و عکس العمل متفاوت این مراحل به عوامل محیطی از جمله عناصر اقلیمی حرارت و طول روز و اثرات متقابل آنها ربط داد. با توجه به اینکه مراحل مختلف نمو و شاید هر رقم گیاهی به معادلات تخمین متفاوتی نیاز دارد، تقسیم مناطق کشور از لحاظ یکنواختی دما و طول روز می تواند راهگشا باشد.

منابع

- Ahmadi, K. 2016. *Agricultural Statistics*. Vol.1 (crop products), Ministry of Agriculture Deputy Director of planning and economic, ICT center. (In Farsi)
- Aiken, R.M. 2005. Applying thermal time scales to sunflower development. *Agronomy Journal*, 97(3), 746-754.
- Angus, J. F., Mackenzie, D. H., Morton, R., Schafer, C. A. 1981. Phasic development in field crops. II. Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. *Field Crops Research*, 4(1), 269-283.
- Ayon, A. K., Ciyak, C., Cdabas, M. S., Camas, N. 2005. Modeling the effect of temperature on the days to seed germination in safflower, 187-192. Paper presented at the Sixth International Safflower Conference, June 6-10. 2005. Istanbul, Turkey.
- Clarkson, N. M., and Russel, J. S. 1979. Effect of temperature on the development of two annual medica. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, 909-916.
- Emongor, V. E., Oagile, O., Kedikanetswe, B. 2015. Effects of plant population and season on growth and development of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as an ornamental plant. *Acta Horticulturae*, 1077, 35-45.
- FAO. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Availability at <http://www.apps.fao.org>.

- Weiss, E. A. 2000. Oilseed Crops. 2nd Edition. Black Well Science, London. United Kingdom, 364 pages.
- Zareie, S., Mohammadi-Nejad, G., Sardoule-Nasab, S. 2013. Screening of Iranian safflower genotypes under water deficit and normal conditions using tolerance indices. Australian Journal of Crop Science, 7(7), 1032-037.
- Sinclair, T.R., Kitani, S., Hinson, K., Bruniard, J., and Horie, T. 1991. Soybean flowering date, Linear and logistic models based on temperature and photoperiod. Crop Science, 31(3), 786-790.
- Tyldesly, J. B. 1978. A method of evaluating the effect of temperature on an organism when the response is nonlinear. Agriculture Meteorology. 19 (2-3), 137-153.



Determining the phenological stages rate of safflower at Kabootar Abaad of Isfahan

T. Yasari^{1*}, M.R. Shahsavari²

Received: 06/08/2023

Accepted: 02/04/2024

Abstract

To improve agricultural practice, it is important to predict the length of development stages of crop species by environmental factors. When irrigation, nutrition, and other production factors are under control, the climatic conditions can determine the length of the development stages. Temperature and day length are the most important factors of plant development. To determine the rate equation of the development stage of a safflower cultivar named Zende Rood, the climatic elements of temperature, day length, and their combination were used. For variation in temperature and day length, this cultivar was planted on multiple dates and years. Stepwise regression was used to determine the best equation for the relationship between development rate and these variables. As the season progressed and the weather became warmer, the rate of different development stages increased, and as a result, the length of their development stages decreased. The standard deviation of the equation for the stages of planting to emergence, emergence to heading, flowering, and ripening were 1.2, 1.7, 3.6, and 4.5 days, respectively, which in turn shows the adequacy of the rate equation. Determination of coefficients for the stages of planting to emergence, emergence to heading, flowering, and ripening were 75.69, 85.88, 95.37 and 99.55 respectively. According to the different nature of development stages and the effect of temperature and day length on these stages, it was indicated that their contribution to determine the length of development stages was varied.

Keywords: Day Length, Development Stages, Safflower, Rate Equations, Temperature



¹ Assistant Professor, Department of Science, Zabol University, Zabol, Iran

² Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

(*Corresponding Author Email Address: shahsavari_mr@yahoo.com)

نحوه ارجاع مقاله:

یساری، ط.، شهنساری، م. ر. ۱۴۰۳. تعیین سرعت مراحل فنولوژیک گلرنگ در کیوتراآباد اصفهان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۴۲-۵۰. DOI: 10.22125/AGMJ.2024.410169.1156

Yasari, T., Shahsavari, M. R. 2025. Determining the phenological stages rate of safflower at Kabootar Abaad of Isfahan. Journal of Agricultural Meteorology, 12(2): 42-50. DOI: 10.22125/AGMJ.2024.410169.1156