



مدل‌سازی نمو فنولوژیک کلزا نسبت به دما و طول روز در شرایط مزرعه

سمیه لک‌زائی^۱، افشین سلطانی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳، فرشید قادری‌فر^۴، صفورا جعفرنوده^۵

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۵- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۰

چکیده

اطلاعات اندکی در مورد کمی کردن واکنش مراحل مختلف نمو کلزا به دما و طول روز وجود دارد. این مطالعه برای بررسی ویژگی‌های نمودی ۵ رقم کلزا (زرغام، هایولا ۴۰۱، هایولا ۳۰۸، هایولا ۵۰ و RGS) در ۱۲ تاریخ کاشت طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۹۳ و در شرایط محیطی گرگان انجام شد. برای کمی کردن واکنش سرعت ظهور جوانه زرد به دما و طول روز از توابع متعددی استفاده شد که در بین آن‌ها تابع بتا - دوتکه‌ای به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. با استفاده از این تابع دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف)، روز بیولوژیک، طول روز بحرانی (طول روزی که در پایین‌تر از آن سرعت گل‌دهی شروع به کاهش می‌کند) و ضریب حساسیت به طول روز (شیب معادله واکنش سرعت نمو به طول روز) برای مرحله ظهور جوانه زرد تعیین شدند. دمای پایه و مطلوب در بین ارقام اختلاف معنی‌داری نداشت و به ترتیب ۳/۰۲ و ۲۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. دمای سقف در این مطالعه به علت فراوانی اندک دماهای بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌طور ثابت ۴۰ درجه سانتی‌گراد فرض شد. تعداد روز بیولوژیک (تعداد روز موردنیاز برای رسیدن به مرحله نمودی معین تحت شرایط عدم محدودیت دما و طول روز یا به‌عبارت‌دیگر حداقل تعداد روز لازم برای عبور از یک مرحله نمودی معین تا مرحله نمودی دیگر) برای مرحله سبز شدن تا ظهور جوانه زرد نیز اختلاف معنی‌داری را نشان نداد و ۲۷ روز بیولوژیک به دست آمد. طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برآورد شده در بین ارقام به ترتیب ۱۵/۴۵ ساعت و ۰/۱۵ بود. با توجه به این نتایج، می‌توان برای کمی سازی واکنش سرعت ظهور جوانه زرد به دما و طول روز از مدل بتا - دوتکه‌ای استفاده کرد و از این مدل و پارامترهای برآورد شده از این مدل در تهیه مدل‌های پیش‌بینی زمان وقوع حوادث فنولوژیکی ارقام کلزا در شرایط دمایی و فتوپریودی مختلف استفاده کرد.

کلمات کلیدی: دما، روز بیولوژیک، طول روز، فنولوژی، کلزا، مدل‌سازی

* نگارنده مسئول (Afshin.sltani@gmail.com)

مقدمه

شروع تنش خشکی شدید و دماهای بالا بوده است که برای پر شدن دانه و تجمع روغن زیان‌آور هستند. همچنین در محیط‌های مستعد یخبندان، رقم و تاریخ کاشت باید طوری انتخاب شوند که احتمال خسارت یخبندان‌های دیررس به گل‌دهی و پر شدن دانه و در نتیجه عملکرد به حداقل برسد (Robertson *et al.*, 2002).

فنولوژی، مطالعه نمو گیاه در رابطه با آب و هوا می‌باشد (Perry *et al.*, 1987). دانش نمو فنولوژیک در درک رشد محصول، پتانسیل عملکرد و پیش‌بینی فنولوژی مهم است (Hammer *et al.*, 1982). اولین قدم برای به حداکثر رسانیدن عملکرد در مدیریت تولید یا اصلاح ژنتیکی گیاه این است که مطمئن شویم فنولوژی گیاه زراعی با منابع محیطی به خوبی تطبیق دارد. تشعشع، آب، مواد غذایی، دما و طول روز از مهم‌ترین عوامل محیطی هستند که بر مراحل نمو فنولوژیک در گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارند. کمی‌کردن اثرات این عوامل بر روی گیاهان، اساس مدل‌های شبیه‌سازی تولید محصولات می‌باشد (Atkinson & Porter, 1996; Stewart *et al.*, 1998).

اثر این عوامل به‌طور مشخصی بین فرآیندهای نمو و رشدی متفاوت است. مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر نمو فنولوژیک در شرایط عدم

در سال‌های اخیر کشت و کار گیاهان روغنی از جمله کلزا (*Brassica napus* L.) به دلیل اهمیت آن‌ها در تأمین روغن مصرفی و جلوگیری از واردات بی‌رویه روغن و دانه‌های روغنی به کشور مورد توجه قرار گرفته و سطح زیر کشت این گیاه به سرعت افزایش یافته است. از آن‌جا که این گیاه دارای تیپ‌های پاییزه، بهاره و حد واسط (پاییزه بهاره) است، لذا امکان کشت آن در شرایط مختلف آب و هوایی و نقاط مختلف کشورمان وجود دارد، ولی به‌طور کلی بهترین شرایط آب و هوایی برای کشت کلزا اقلیم معتدل می‌باشد. کاشت معمولاً با شروع اولین باران‌های پاییزه اتفاق می‌افتد؛ اما در بعضی از مناطق جنوبی، کلزا ممکن است در بهار کشت شود. ترکیب عرض جغرافیایی و تاریخ‌های کاشت بدین معنی است که گیاه زراعی در معرض دامنه وسیعی از رژیم‌های دمایی و فتوپریودی قرار داده شده که می‌توانند سرعت نمو گیاه و بنابراین تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی را تحت تأثیر قرار دهند. علاوه بر تأثیر رژیم‌های فتوترمال، خصوصیات خاص رقم هم نمو گیاه زراعی را تعیین می‌کنند (Robertson *et al.*, 2002). یکی از اهداف اولیه در تولید کلزا، کاشت ارقام در یک‌زمان مناسب به‌منظور رشد رویشی حداکثر و کامل شدن رسیدگی بذر قبل از

(1996) *Nanda et al* دریافتند که در ارقام کلزا، سرعت نمو به‌طرف گل‌دهی، اکثراً در دامنه فتوپریودی بین ۱۲ و ۱۴ ساعت واکنش نشان می‌دهد و این پاسخ در ۱۶ ساعت کاهش می‌یابد. این در حالی است که (King & 1986) Kondra نشان دادند که در بعضی از ژنوتیپ‌های *B.napus* و *B.campestris* در کانادا واکنش‌ها به طول روز تا حدود ۱۸ ساعت نیز اتفاق می‌افتد. (Habekotte 1997) نتیجه گرفت که فتوپریودهای پایه و سقف برای یک مدل نمو فنولوژیکی در کلزای زمستانه به ترتیب ۵/۷ و ۱۴/۸ ساعت بود. از این‌رو، آشکار است که فتوپریودهای پایه و سقف در عرض‌های جغرافیایی مختلف باهم تفاوت دارند که علت آن شاید اختلاف محدوده فتوپریودها و تفاوت‌های ژنوتیپی باشد.

پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی این گیاهان به شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به‌وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود. درک چگونگی واکنش نمو فنولوژیک کلزا به طول روز و دما، ایجاد مدلی برای پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مختلف نمو این گیاه زراعی را میسر می‌سازد. به دلیل اهمیت تأثیر عوامل محیطی بر روی رشد و نمو ارقام مورد استفاده کلزا در استان گلستان و محدود بودن

محدودیت آب، دما و طول روز می‌باشند (Ellis *et al.*, 1990; Chauhan *et al.*, 2002).

در گونه‌های براسیکا، نمو فنولوژیکی عمدتاً توسط فتوپریود و دما تغییر می‌یابد. بدین ترتیب که افزایش طول روز و یا دما موجب کوتاه شدن کلی مراحل رشد و نمو می‌گردد. گذشته از این، نمو بعضی از گونه‌ها بعد از قرار گرفتن در معرض شرایط خنک که بهاره سازی نامیده می‌شود، تسریع می‌یابد. این فاکتورهای محیطی در تعیین تعداد روزها بین کاشت، گل‌دهی و رسیدگی به‌طور متقابل اثر می‌کنند (Mendham & Salisbury, 1995). در مورد کلزای تیپ زمستانه، (Habekotte 1997) اظهار داشت که در دوره بین سبز شدن تا شروع گل‌دهی، دما، فتوپریود و بهاره‌سازی عوامل مؤثر بر نمو کلزا هستند، درحالی‌که نمو کلزا از کاشت تا سبز شدن و از شروع گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک تنها تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد. (Robertson *et al* 2002) اظهار داشتند که تعیین زمان گل‌دهی در تطبیق گیاه با محیط بسیار مهم است. ارقام کانولا وقتی که در دامنه وسیعی از دما و فتوپریود قرار بگیرند رسیدگی‌های متفاوتی خواهند داشت. پاسخ به بهاره‌سازی و طول روزهای بلند مدت زمان رسیدن به گل‌دهی را در تمام ژنوتیپ‌های کانولا کاهش داد و این موضوع باعث کاهش دوره بین کاشت و مرحله رؤیت جوانه‌ها شد.

۱۸ مرداد، ۱۸ شهریور و ۱۷ مهر ۱۳۹۳ بود. تاریخ‌های کاشت به کار گرفته‌شده الزاماً نشان‌دهنده تاریخ‌های کاشت متداول نیستند، بلکه به‌منظور ایجاد رژیم‌های مختلف دمایی و فتوپریودی انتخاب شدند. در هر تاریخ کاشت آزمایش به‌صورت یک طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید که بلوک آن شامل ۵ رقم کلزا شامل: زرفام، Hayola401، Hayola308، Hayola50 و RGS بود.

هر بلوک شامل ۵ خط کاشت ۳ متری بود. فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها با در نظر گرفتن تراکم ۱۰۰ بوته در هر مترمربع ۴-۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر بود که یک ردیف از طرفین هر کرت و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت فرعی به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. در این آزمایش به‌منظور ثبت مراحل نمو، در هر تاریخ کاشت از هر کرت فرعی ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک به‌طور تصادفی انتخاب شد. ثبت مراحل فنولوژیک بر اساس سیستم کدبندی (Sylvester-Bradley 1984) & Makepeace و به‌طور میانگین هر ۳ روز یک‌بار و در ماه‌های گرم سال هر روز انجام شد و زمان لازم برای رسیدن مراحل نمو اصلی شامل سبز شدن، ساقه رفتن، ظهور جوانه (سبز)، ظهور جوانه (زرد)، شروع گل‌دهی، غلاف‌دهی، شروع پر شدن دانه و رسیدگی ثبت گردید.

اطلاعات موجود در این زمینه، تحقیق به‌منظور دستیابی به این اهداف انجام شد: (۱) مقایسه مدل‌های مختلف در کمی کردن واکنش سرعت نمو ارقام مختلف کلزا به دما و طول روز در شرایط مزرعه و انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده پاسخ سرعت نمو به دما و طول روز. (۲) تعیین دماهای کاردینال و واکنش به طول روز (طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز) در ارقام مختلف کلزا.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۹۴-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی- آموزشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. شهرستان گرگان با بارندگی سالانه ۶۰۷ میلی‌متر، دامنه نوسان دمایی سالانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا و میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد، در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی قرار دارد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی سیلتی با pH حدود ۷/۷ و هدایت الکتریکی ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. زمین موردنظر در پاییز همان سال شخم زده شد و با اجرای عملیات دیسک برای کاشت آماده گردید. این آزمایش در ۱۲ تاریخ کاشت اجرا شد، که تاریخ‌های کاشت آن شامل ۱۷ آبان، ۱۸ آذر، ۱۷ دی، ۱۹ بهمن و ۱۵ اسفند ۱۳۹۲ و ۱۸ فروردین، ۲۰ اردیبهشت، ۲۱ خرداد، ۱۰ تیر،

فرجی، ۱۳۸۹، Hodgson, 1991; Andrew *et al.*, 1978; در زمینه واکنش ارقام کلزا به دما و طول روز نشان می‌دهند که در دوره بین سبز شدن تا شروع گل‌دهی، فتوپریود و دما از عوامل مؤثر بر نمو این گیاه می‌باشند، اما بعد از گل‌دهی تنها عامل دما بر نمو این گیاه تأثیرگذار می‌باشد. بنابراین، برای محاسبه سرعت نمو به‌سوی گل‌دهی از دما و طول روز استفاده شد. برای تعیین دماهای کاردینال و پارامترهای مربوط به طول روز و تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای گل‌دهی از مدل سلطانی (۱۳۸۸) زیر استفاده شد:

$$1/f = f(t) \cdot f(pp) / fo$$

در این معادله $1/f$ سرعت گل‌دهی، $f(t)$ تابع دما، $f(pp)$ تابع طول روز و fo تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای گل‌دهی می‌باشد. تعداد روز بیولوژیک مورد نیاز برای گل‌دهی عبارت است از تعداد روز موردنیاز برای گل‌دهی تحت شرایط عدم محدودیت دما و طول روز یا به عبارت دیگر حداقل تعداد روز از سبز شدن تا گل‌دهی. برای $f(t)$ و $f(pp)$ توابع مختلفی در نظر گرفته شد که در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. در این توابع T ، Tb ، To ، $To1$ ، $To2$ و Tc به ترتیب متوسط دمای هوا، دمای پایه، دمای مطلوب، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف می‌باشند. از آنجایی که در شرایط طبیعی دما به ندرت از ۳۵

به علت این‌که گیاه کلزا رشد نامحدود بوده و گل‌دهی تا مراحل پایانی ادامه داشت، مرحله پایان گل‌دهی حذف‌شده و برای آنالیز داده‌ها از اطلاعات ثبت‌شده در سایر مراحل استفاده گردید.

در مواقع لزوم (عدم بارندگی) به‌خصوص در تاریخ کاشت‌های بهار و تابستان آبیاری به‌صورت کرتی انجام گرفت به‌طوری‌که هیچ‌گونه تنش خشکی ایجاد نشود. سایر عملیات زراعی نظیر وجین علف‌های هرز، مبارزه با آفات و غیره نیز به‌طور مستمر در طول آزمایش صورت گرفت؛ اما در تاریخ کاشت ۱۸ شهریور ۱۳۹۳ به دلیل برخورد با سرمای زیاد رشد بوته‌های ارقام RGS، هایولا ۳۰۸، هایولا ۴۰۱ و هایولا ۵۰ تکمیل نشد. رقم زرفام در تاریخ کاشت ۱۹ بهمن ۱۳۹۲ در مرحله ظهور جوانه سبز و در تاریخ کاشت‌های ۱۵ اسفند ۱۳۹۲ و ۱۸ فروردین ۱۳۹۳ در مرحله ساقه رفتن، به علت حمله کرم برگ خوار (کارادینا) خسارت زیادی دید و به‌طور کامل از بین رفت. در تاریخ کاشت ۱۸ مرداد ۱۳۹۳ به دلیل گرمای شدید هوا هیچ‌یک از ارقام سبز نشدند. به همین دلیل در تجزیه و تحلیل داده‌ها از اطلاعات مربوط به سایر تاریخ کاشت‌ها استفاده گردید.

مطالعات انجام شده (Habekotte, 1997; Daniels *et al.*, 1986; Roberts & Summerfield, 1987 Netzer *et al.*, 1986;

۱۳۸۷). در پایان آزمایش جهت تجزیه واریانس داده‌ها، از تجزیه مرکب طرح بلوک‌های کامل تصادفی که در آن هر تاریخ کاشت، یک محیط منظور شده بود استفاده گردید. محاسبات مربوط به آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت (سلطانی، ۱۳۸۶). برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شکل ۱ (الف تا ی) رابطه بین واحد دمایی و طول روز را در هر یک از مراحل نمو فنولوژیک کلزا نشان می‌دهند. وجود رابطه معنی‌دار بین واحد دمایی از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد در برابر طول روز نشان داد که کلزا از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد نسبت به هر دو عامل دما و طول روز واکنش نشان می‌دهد. (Robertson *et al* (2002 نیز بیان کردند که تعداد روزها به‌سوی گل‌دهی در همه ژنوتیپ‌های کلزا در پاسخ به بهاره‌سازی و طول روزهای بلند از طریق کاهش دوره بین کاشت و ظهور جوانه‌ها، کاهش یافته بود. این در حالی است که (Habekotte 1997) گزارش کرد که در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) از کاشت تا گل‌دهی، فتوپریود و دما از عوامل مؤثر بر نمو این گیاه می‌باشند، اما بعد از گل‌دهی تنها عامل دما بر نمو این گیاه تأثیرگذار می‌باشد.

درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند، T_c در ۴۰ درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شد. PPsen, CPP, PP به ترتیب طول روز، طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز است. در این مطالعه از ۳ تابع دمایی در ترکیب با ۳ تابع طول روز (۹ تابع) برای توصیف سرعت گل‌دهی در مقابل دما و طول روز استفاده شد. تخمین پارامترهای هر مدل با نرم‌افزار SAS (سلطانی، ۱۳۸۶)، صورت گرفت. بهترین برآورد مدل بر اساس SE (خطای معیار) کم‌تر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات انحرافات) کم‌تر تجزیه رگرسیون مشخص شد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۷).

انتخاب مدل مناسب، در دو مرحله انجام شد، ابتدا مدل‌هایی انتخاب شدند که پیش‌بینی آن‌ها دارای اریب کم‌تری باشند، یعنی مقادیر a و b برای آن‌ها معنی‌دار نشده باشد و در مرحله دوم، از بین مدل‌های گزینش شده در مرحله اول، مدل یا مدل‌هایی گزینش شدند که مجذور میانگین مربع انحرافات (RMSE) کوچک‌تری داشته باشد و در همان حال بخش بزرگ‌تری از تغییرات را توجیه کند (R^2 بالاتر) و همبستگی مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده آن‌ها بالا باشد (r بالاتر). مقایسه پارامترهای برآورد شده دماهای کاردینال بین مدل‌ها بر مبنای حدود اطمینان ۹۹ درصد آن‌ها انجام گرفت (رضایی و سلطانی،

به‌سوی ظهور جوانه زرد در مقابل طول روز استفاده شد.

آماره‌های مربوط به مدل‌های مختلف در جدول ۴ (الف تا ج) نشان داده شده است. همچنین شکل ۲ (الف تا ج) کارایی برآزش مدل‌ها را برای داده‌های ارقام مختلف کلزا نشان می‌دهد. هر چه پراکنش این نقاط در اطراف خط ۱:۱ کم‌تر باشد، نشان‌دهنده کارایی بالاتر مدل است. نقاط مربوط به رقم زرفام اختلاف زیادی با خط ۱:۱ دارند که علت این مسئله نادیده گرفتن تأمین بهاره سازی است.

با توجه به مستندات جدول ۴ (الف تا ج)، تابع بتا-دوتکه‌ای دارای اریب کمتری کم‌تری نسبت به بقیه مدل‌ها بود، پس می‌توان برای کمی کردن سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد به دما و طول روز از این تابع استفاده کرد.

پژوهش‌گران مختلف، توابع گوناگونی را برای توصیف اثر دما و فتوپریود بر سرعت نمو مورد استفاده قرار داده‌اند. چراکه پیشنهاد یک تابع عمومی برای تمام گیاهان زراعی و تمام مراحل نمو فنولوژیک بسیار دشوار است. (2006) *Soltani et al* برای پیش‌بینی سرعت نمو به‌سوی گل‌دهی ۴ رقم نخود از مدل دندان مانند - درجه دوم استفاده کردند. از معادلات رگرسیون خطی ساده (Wallace, 1985; Roberts et al., 1980; Ellis et al., 1988) مدل درجه دوم (Roberts et al., 1968)، معادله

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که بین تاریخ‌های کاشت و ارقام مختلف از نظر تعداد روز از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به این که سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد در کلزا به‌عنوان یک گیاه روزبلند تحت تأثیر هر دو عامل دما و طول روز قرار می‌گیرد، معنی‌دار شدن اثر تاریخ کاشت و رقم طبیعی به نظر می‌رسد. چراکه در گرگان از شهریورماه به‌تدریج طول روز تا اول زمستان و دما نیز تا اواخر زمستان کاهش می‌یابد. در نتیجه باعث طولانی شدن دوره سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد می‌شود. از طرف دیگر، گیاهان کشت‌شده در بهار به‌ویژه در اردیبهشت و خردادماه با طول روزهای بلندتر و درجه حرارت بیشتر و همچنین تسریع در دریافت درجه حرارت تجمعی موردنیاز مواجه شده و دوره روز تا ظهور جوانه زرد ارقام سریع‌تر می‌شود. وجود تفاوت معنی‌دار بین ارقام نیز ناشی از اختلافات ژنتیکی آن‌هاست.

برای کمی کردن واکنش سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد به دما و طول روز از ۹ ترکیب تابعی استفاده شد. در این توابع ترکیبی برای کمی کردن واکنش سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد در مقابل دما از توابع بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای و از توابع نمایی منفی، دوتکه‌ای و درجه دوم برای کمی کردن واکنش سرعت نمو

اطمینان نبوده و به همین دلیل در محاسبه کل داده‌ها وارد نشده و مقادیر کل داده‌ها براساس ارقام RGS، هایولا ۳۰۸، هایولا ۴۰۱ و هایولا ۵۰ گزارش شده است. با توجه به نتایج تابع بتا-دوتکه‌ای به‌عنوان تابع برتر دمای پایه ارقام برای مرحله ظهور جوانه زرد ۳/۰۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. (Soltani *et al.* 2006) با استفاده از مدل دندان مانند- درجه دوم دمای پایه را برای مجموع ارقام نخود ۳/۳ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. در تحقیقات گروهی از پژوهش‌گران دمای پایه ارقام گندم زمستانه صفر درجه سانتی‌گراد گزارش شد (Li *et al.*, 2008; Soltani *et al.*, 2013). دمای مطلوب برآوردشده توسط تابع بتا-دوتکه‌ای در مرحله ظهور جوانه زرد برابر با ۲۳/۳۳ درجه سانتی‌گراد بود. در مطالعه (Soltani *et al.* 2013) دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برای مجموع ارقام نخود را با تابع دندان مانند - درجه دوم به‌ترتیب ۲۰ و ۳۳/۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. (2013) Soltani *et al.* با تابع بتا- درجه دوم دمای مطلوب ارقام گندم را ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. حداقل تعداد روز از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد در شرایط مطلوب دما و فتوپریود با تابع بتا-دوتکه‌ای ۲۷ روز به‌دست آمد. طی مطالعه‌ای حداقل تعداد روز از سبز شدن تا گل‌دهی برای ارقام نخود با استفاده از مدل دندان مانند- درجه دوم بین ۲۲/۷ تا ۳۲/۹ روز برآورد شده است.

نمایی (Angus *et al.*, 1981)، مدل لجستیک (Horie & Nakagawa, 1990)، مدل بتا- درجه دوم (Soltani *et al.*, 2013) و سلطانی و مداح (۱۳۹۲) و مدل بتا (Yin *et al.*, 1995; Yin *et al.*, 1997) نیز برای کمی کردن واکنش گیاهان به دما و طول روز استفاده شده است. در جدول ۵ (الف تا ج) پارامترهای برآورد شده توسط همه مدل‌های مورد استفاده به‌منظور کاربرد و مقایسه احتمالی آن‌ها توسط محققان آورده شده است. مدل برتر برای کمی کردن اثر متقابل دما و طول روز از مرحله سبز شدن تا ظهور جوانه زرد در ارقام کلزا، مدل بتا-دوتکه‌ای است. از نظر آماری، هیچ اختلاف معنی‌داری از جهت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب، مطلوب تحتانی و مطلوب فوقانی)، پارامترهای مربوط به طول روز (طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز) و روز بیولوژیک بین ارقام RGS، هایولا ۳۰۸، هایولا ۴۰۱ و هایولا ۵۰ بر پایه همه توابع مورد استفاده وجود نداشت و می‌توان از یک مقدار عددی ثابت برای این ارقام استفاده کرد. ولی رقم زرفام در مدل‌های بتا-دوتکه‌ای و دوتکه‌ای- درجه دوم از نظر طول روز بحرانی دارای اختلاف معنی‌دار با سایر ارقام بود. از آن-جایی که حساسیت به بهاره‌سازی در رقم زرفام زیاد بود، به علت تأمین نشدن نیاز بهاره‌سازی این رقم در بعضی از تاریخ کاشت‌ها و همچنین عدم وجود اطلاعات در مورد نیاز بهاره‌سازی آن، داده‌های به‌دست آمده برای رقم زرفام قابل

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، مدل بتا-دوتکه‌ای به‌عنوان تابع برتر برای توصیف رابطه سرعت نمو به‌سوی ظهور جوانه زرد در مقابل دما و طول روز انتخاب شد. هیچ اختلاف معنی‌داری بین ارقام از نظر دماهای کاردینال، ضریب حساسیت به طول روز و روز بیولوژیک بر پایه بتا-دوتکه-ای وجود نداشت. ولی رقم زرفام از نظر طول روز بحرانی دارای اختلاف معنی‌دار با سایر ارقام بود. دمای پایه کلیه ارقام در مرحله ظهور جوانه زرد ۳/۰۲، دمای مطلوب ۲۳/۳۳ و دمای سقف با تابع بتا-دوتکه‌ای ۴۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. طول روز بحرانی و ضریب حساسیت به طول روز برای ارقام به ترتیب ۱۵/۱۷ تا ۲۱/۰۱ ساعت و ۰/۱۵ محاسبه شد. روز بیولوژیک موردنیاز برای مرحله سبز شدن به‌سوی ظهور جوانه زرد برای ارقام بین ۲۶/۷۸ تا ۲۷/۵۵ روز بیولوژیک بود. چون حساسیت رقم زرفام به بهاره‌سازی زیاد بوده و هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه بهاره‌سازی رقم مذکور در دسترس نبود، داده‌های به دست آمده برای این رقم قابل اطمینان نبوده و به همین دلیل در محاسبه کل داده‌ها برای کمی‌سازی سرعت نمو به سوی ظهور جوانه زرد وارد نشد.

(Soltani *et al.*, 2006). در یک تحقیق تعداد روز بیولوژیک گزارش شده از سبز شدن تا ساقه رفتن گندم ۷/۶ روز به دست آمد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). (Soltani *et al* (2006) با مدل ندان مانند- درجه دوم، حداقل تعداد روز از سبز شدن تا گل‌دهی را برای ارقام نخود بین ۲۲/۷ تا ۳۲/۹ روز برآورد کردند.

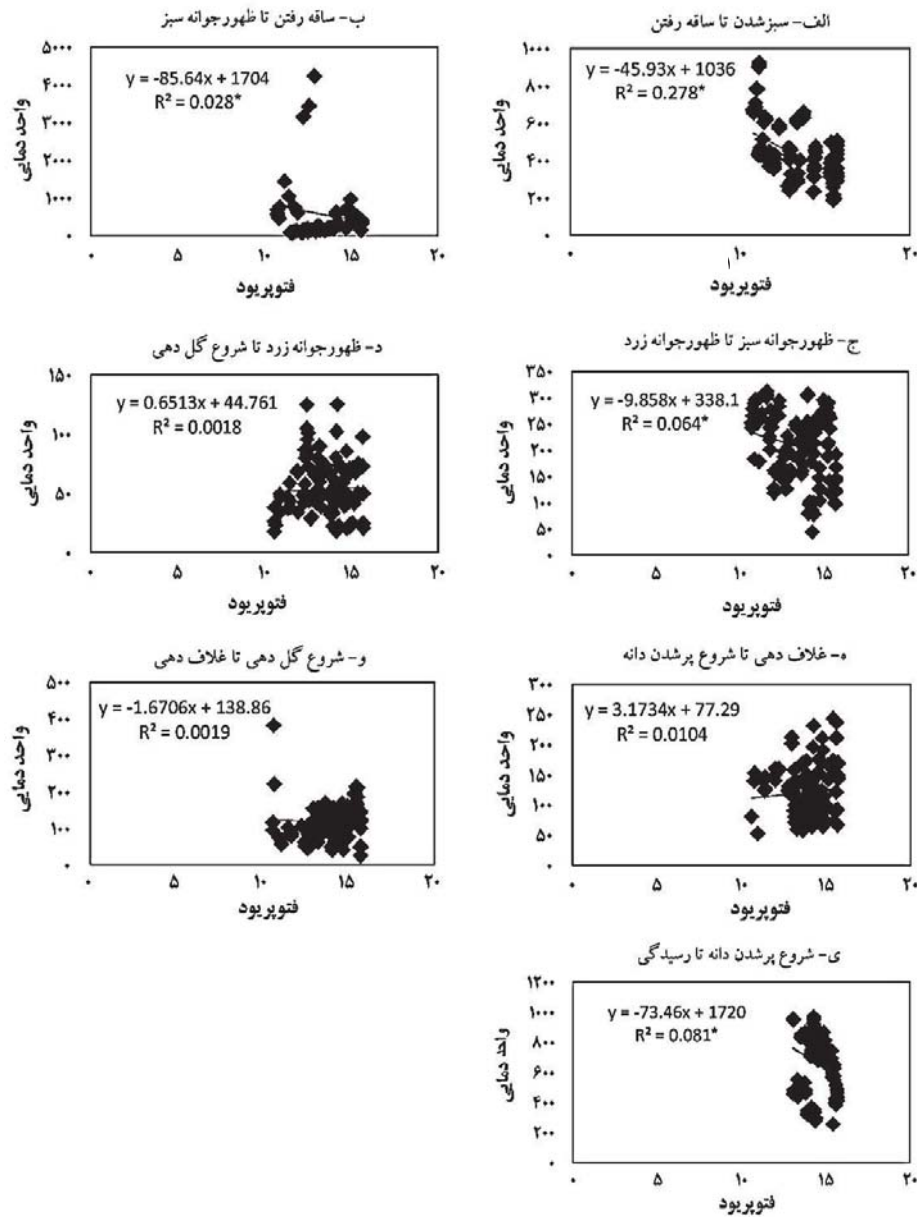
همچنین طول روز بحرانی (طول روزی است که در کمتر از آن سرعت گل‌دهی شروع به کاهش یافتن می‌کند) و ضریب حساسیت به طول روز ارقام به ترتیب ۱۵/۴۵ ساعت و ۰/۱۵ محاسبه شد. در مطالعه Roberts *et al* (2002) واکنش به فتوپریود بین ۱۰/۸ و ۱۶/۳ ساعت اتفاق افتاد و گیاهان از مرحله سبز شدن به طول روز پاسخ داده بودند. این در حالی است که احمدی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای روی ارقام گندم استان گلستان این مقدار را برای طول روز بحرانی ارقام بین ۱۲/۹۶ تا ۱۴/۰۰۴ ساعت و برای ضریب حساسیت به طول روز ۰/۱ تا ۰/۱۸ برآورد کردند و همچنین (Soltani *et al* (2013) با تابع بتا - درجه دوم به‌عنوان تابع برتر برای کمی کردن سرعت نمو ارقام گندم به دما و طول روز، طول روز بحرانی را در ارقام ۲۱ ساعت و ضریب حساسیت به طول روز را ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ به دست آوردند.

جدول ۱- توابع دمایی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو (سلطانی، ۱۳۸۸)

معادله	علامت اختصاری	تابع دما
$f(t) = \frac{\left[\frac{T_c - t}{T_c - T_p} \times \frac{t - T_b}{T_p - T_b} \right]^{\frac{T_p - T_b}{T_c - T_p}}}{f_0}$	B	بتا
$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{01} - T_b)}$	اگر $T_b < T < T_{01}$	دندان مانند
$= \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{02})}$	اگر $T_{02} < T < T_c$	
$= 1$	اگر $T_{01} < T < T_{02}$	
$= 0$	اگر $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$	
$f(T) = \frac{T - T_b}{T_o - T_b}$	اگر $T_b < T \leq T_o$	تابع دوتکه‌ای
$= \frac{T_c - T}{T_c - T_o}$	اگر $T_o < T < T_c$	
$= 0$	$T \leq T_b$ or $T_c \leq T$	

جدول ۲- توابع فتوپریودی مورد استفاده در مدل‌سازی نمو (سلطانی، ۱۳۸۸)

معادله	علامت اختصاری	تابع طول روز
$(f(PP)) = [1 - PPsen \times (CPP - PP)^2]$	Q	درجه دوم
$(f(PP)) = [\exp(1 - PPsen \times (CPP - PP))]$	NE	نمایی منفی
$(f(PP)) = [1 - (CPP - PP) \times PPsen]$	S	دو تکه‌ای



شکل ۱ الف تا ی- رابطه بین واحد دمایی و طول روز در تاریخ‌های کاشت مختلف در هر یک از مراحل نمو فنولوژیک

۵ رقم کلزا

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس برای زمان از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
سرعت ظهور جوانه زرد	سبز شدن تا ظهور جوانه زرد	طول روز	دما		
۰/۰۰۰۵۲**	۴۸۱۱/۶۹۶۹**	۳۳/۳۶۸۹**	۷۴۳/۸۶۹۸**	۱۰	محیط (تاریخ کاشت)
۰/۰۰۰۰۰۰۳۴	۲/ ۱۸۹۴	۰/۰۰۰۶۱۸۰	۰/۰۰۰۸۸	۲۲	خطای ۱
۰/۰۰۰۵۷۵۵**	۵۸۰۲۱/۸۱۷۲**	۳/۱۰۶۰**	۵۵/۳۴۶۷**	۴	رقم
۰/۰۰۰۰۵۳**	۴۲۳۶/۲۹۳۶**	۱/۱۲۵۹**	۱۴/۶۸۶۲**	۳۷	رقم × محیط
۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۱/۲۰۹۳	۰/۰۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۵۱۶۰	۸۲	خطای ۲

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۴ الف- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز در ارقام مختلف کلزا. ضریب تبیین (R^2) مربوط به رابطه بین سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز می‌باشد و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه بین روز تا ظهور جوانه زرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است. تابع دمای استفاده‌شده بتا است. توابع طول روز عبارت‌اند از: نمایی منفی، درجه دوم و دوتکه‌ای.

تابع بتا-نمایی منفی	N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
RGS	۳۶	۶/۵۱	۴/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۸	-۰/۰۳±۲/۰۷	۱/۰۰±۰/۰۳
هایولا ۳۰۸	۳۶	۷/۴۶	۴/۵۷	۰/۹۷	۰/۹۷	-۳/۱۷±۲/۰۹	۱/۰۷±۰/۰۳
هایولا ۴۰۱	۳۶	۹/۳۳	۵/۳۴	۰/۹۵	۰/۹۴	۸/۳۹±۲/۳۰*	۰/۷۹±۰/۰۳*
هایولا ۵۰	۳۶	۷/۸۲	۵/۳۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۲/۹۲±۲/۴۵	۰/۹۵±۰/۰۳
زرغام	۳۶	۳۱/۵۳	۲۳/۱۲	۰/۴۸	۰/۴۶	۱۳۳/۶۴±۱۴/۰۹*	-۰/۳۳±۰/۰۷*
کل داده‌ها	۱۴۴	۱۲/۸۸	۸/۴۵	۰/۹۲	۰/۹۱	۱/۷۳±۱/۸۶	۰/۹۷±۰/۰۳
تابع بتا-درجه دوم	N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
RGS	۳۶	۲۸/۴۶	۱۹/۷۵	۰/۴۸	۰/۴۶	۲۷/۸۳±۸/۵۳*	۰/۵۶±۰/۱۱*
هایولا ۳۰۸	۳۶	۲۳/۲۴	۱۳/۵۹	۰/۶۷	۰/۶۶	۱۲/۶۶±۶/۱۹*	۰/۷۶±۰/۰۹
هایولا ۴۰۱	۳۶	۲۳/۹۷	۱۰/۳۹	۰/۶۸	۰/۶۷	۹/۸۷±۴/۴۸*	۰/۵۴±۰/۰۷*
هایولا ۵۰	۳۶	۱۰/۶۲	۷/۴۸	۰/۹۴	۰/۹۴	-۴/۷۲±۳/۵۹	۱/۱۰±۰/۰۵
زرغام	۳۶	۶۵/۱۱	۲۳۸/۶۸	۰/۰۹	۰/۰۵	۵۶۴/۵۹±۱۴۵/۴۱*	-۱/۰۸±۰/۷۵*
کل داده‌ها	۱۴۴	۲۵/۲۳	۱۵/۸۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۲۱/۲۵±۳/۴۸*	۰/۶۳±۰/۰۵*
تابع بتا-دوتکه‌ای	N	CV	RMSE	R^2	r	$a \pm se$	$b \pm se$
RGS	۳۶	۹/۸۷	۷/۱۷	۰/۹۵	۰/۹۵	۲/۸۱±۳/۰۹	۰/۹۵±۰/۰۴
هایولا ۳۰۸	۳۶	۱۱/۶۰	۷/۱۵	۰/۹۴	۰/۹۴	-۴/۸۱±۳/۲۵	۱/۱۰±۰/۰۵
هایولا ۴۰۱	۳۶	۸/۹۹	۵/۴۰	۰/۹۶	۰/۹۶	-۰/۷۳±۲/۳۳	۰/۹۸±۰/۰۳
هایولا ۵۰	۳۶	۸/۶۰	۶/۰۷	۰/۹۶	۰/۹۶	-۴/۸۵±۲/۹۲	۱/۱۱±۰/۰۴
زرغام	۳۶	۱۰۴/۶۸	۶۵۱/۰۴	۰/۱۲	۰/۰۸	۱۲۵۹/۹۷±۳۹۶/۶۳*	-۳/۴۸±۲/۰۴
کل داده‌ها	۱۴۴	۱۷/۱۴	۱۲/۴۶	۰/۸۹	۰/۸۹	-۸/۸۱±۲/۷۴*	۱/۲۳±۰/۰۴*

* برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر و برای b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با ۱ است.

چون حساسیت رقم زرغام به بهاره‌سازی زیاد بوده و هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه بهاره‌سازی رقم مذکور در دسترس نبود، داده‌های به‌دست‌آمده برای این رقم معتبر نبوده و به همین دلیل در محاسبه کل داده‌ها وارد نشده است.

جدول ۴ ب- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز در ارقام مختلف کلزا. ضریب تبیین (R^2) مربوط به رابطه بین سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز می‌باشد و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه بین روز تا ظهور جوانه زرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است. تابع دمایی استفاده‌شده دندان مانند است. توابع طول روز عبارت‌اند از: نمایی منفی، درجه دوم و دوتکه‌ای.

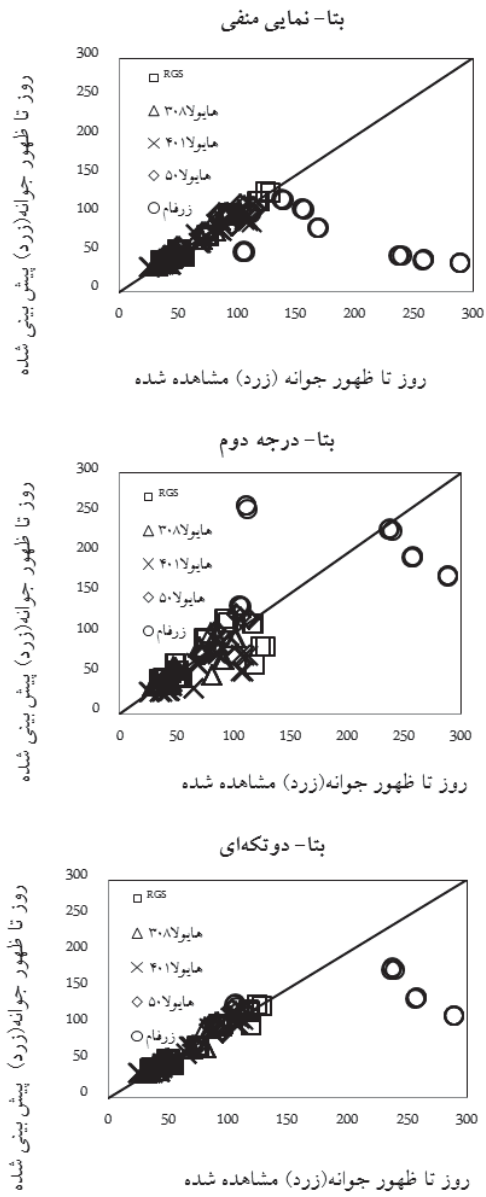
$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دندان مانند-نمایی منفی
$0.36 \pm 0.04^*$	$26.90 \pm 3.36^*$	0.70	0.70	7.79	14.60	36	RGS
$0.61 \pm 0.05^*$	$15.02 \pm 3.25^*$	0.82	0.83	7.13	13.73	36	هایولا ۳۰۸
$0.60 \pm 0.05^*$	$16.34 \pm 3.53^*$	0.81	0.81	8.20	15.26	36	هایولا ۴۰۱
$0.52 \pm 0.05^*$	$18.19 \pm 3.19^*$	0.75	0.76	8.10	14.88	36	هایولا ۵۰
$-0.22 \pm 0.04^*$	$10.31 \pm 7.08^*$	0.62	0.64	11.63	18.87	36	زرغام
$0.43 \pm 0.02^*$	$24.93 \pm 1.65^*$	0.73	0.73	7.48	14.04	144	کل داده‌ها
$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دندان مانند-درجه دوم
$1.28 \pm 0.06^*$	$-13.36 \pm 5.03^*$	0.93	0.93	11.64	14.31	36	RGS
$2.01 \pm 0.13^*$	$-42.69 \pm 8.71^*$	0.88	0.88	19.13	24.30	36	هایولا ۳۰۸
0.98 ± 0.04	2.27 ± 2.37	0.96	0.96	5.50	8.75	36	هایولا ۴۰۱
$1.43 \pm 0.08^*$	$-20.71 \pm 6.16^*$	0.90	0.90	12.82	16.78	36	هایولا ۵۰
$-0.10 \pm 0.05^*$	$20.64 \pm 9.66^*$	0.12	0.16	15.86	8.44	36	زرغام
$1.84 \pm 0.07^*$	$-32.35 \pm 4.90^*$	0.85	0.85	22.26	24.94	144	کل داده‌ها
$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دندان مانند-دوتکه‌ای
$0.75 \pm 0.06^*$	$10.80 \pm 4.49^*$	0.85	0.85	10.40	15.70	36	RGS
$0.80 \pm 0.04^*$	$9.54 \pm 2.31^*$	0.94	0.94	5.08	8.78	36	هایولا ۳۰۸
$0.72 \pm 0.04^*$	$13.40 \pm 2.44^*$	0.93	0.93	5.65	9.74	36	هایولا ۴۰۱
$0.67 \pm 0.04^*$	$15.23 \pm 2.46^*$	0.92	0.93	5.13	8.44	36	هایولا ۵۰
$-0.31 \pm 0.06^*$	$13.54 \pm 1.18^*$	0.52	0.54	19.51	24.92	36	زرغام
$0.77 \pm 0.02^*$	$11.22 \pm 1.77^*$	0.88	0.88	8.06	12.96	144	کل داده‌ها

* برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر و برای b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با ۱ است. چون حساسیت رقم زرغام به بهاره سازی زیاد بوده و هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه بهاره سازی رقم مذکور در دسترس نبود، داده‌های به‌دست آمده برای این رقم معتبر نبوده و به همین دلیل در محاسبه کل داده‌ها وارد نشده است.

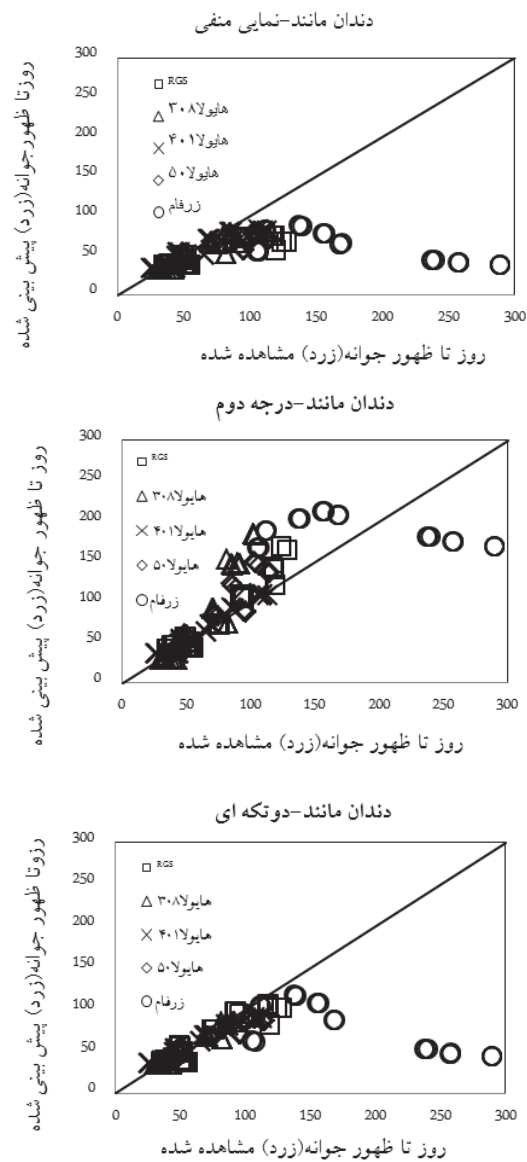
جدول ۴ ج- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز در ارقام مختلف کلزا. ضریب تبیین (R^2) مربوط به رابطه بین سرعت ظهور جوانه زرد با دما و طول روز می‌باشد و ضریب همبستگی (r) مربوط به رابطه بین روز تا ظهور جوانه زرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است. تابع دمایی استفاده‌شده دوتکه‌ای است. توابع طول روز عبارت- اند از: نمایی منفی، درجه دوم و دوتکه‌ای.

$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دوتکه‌ای-نمایی منفی
0.99 ± 0.03	$2/23 \pm 2/63$	0.97	0.97	6/10	8/13	36	RGS
$1/0.2 \pm 0.03$	$-0.180 \pm 1/88$	0.98	0.98	4/12	6/80	36	هایولا 308
0.92 ± 0.04	$5/31 \pm 2/41^*$	0.95	0.96	5/58	8/94	36	هایولا 401
$1/0.6 \pm 0.03$	$-0.183 \pm 2/16$	0.98	0.98	4/50	6/29	36	هایولا 50
$-0.47 \pm 0.10^*$	$198/57 \pm 20/34^*$	0.46	0.48	33/38	29/82	36	زرغام
$0.92 \pm 0.02^*$	$5/39 \pm 1/71^*$	0.92	0.92	7/78	11/77	144	کل داده‌ها
$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دوتکه‌ای-درجه دوم
$0.79 \pm 0.03^*$	$9/00 \pm 2/40^*$	0.96	0.96	5/56	8/28	36	RGS
$1/0.3 \pm 0.05$	$-3/65 \pm 3/11$	0.94	0.94	6/83	11/63	36	هایولا 308
$0.92 \pm 0.02^*$	$2/84 \pm 1/33^*$	0.96	0.99	3/10	5/20	36	هایولا 401
$1/0.2 \pm 0.04$	$-1/12 \pm 2/91$	0.95	0.95	6/05	8/85	36	هایولا 50
$-0.77 \pm 0.24^*$	$368/56 \pm 46/07^*$	0.29	0.33	75/63	33/30	36	زرغام
0.94 ± 0.03	$3/04 \pm 1/93$	0.90	0.90	8/79	13/43	144	کل داده‌ها
$b \pm se$	$a \pm se$	r	R^2	RMSE	CV	N	تابع دوتکه‌ای-دوتکه‌ای
$1/00 \pm 0.03$	$-0.153 \pm 2/68$	0.97	0.97	6/20	8/44	36	RGS
$1/0.7 \pm 0.05$	$-2/87 \pm 2/97$	0.95	0.95	6/52	10/58	36	هایولا 308
$1/12 \pm 0.03^*$	$-4/14 \pm 1/78^*$	0.98	0.98	4/12	6/36	36	هایولا 401
$1/01 \pm 0.03$	$-0.124 \pm 2/04$	0.96	0.98	4/25	6/23	36	هایولا 50
$-0.36 \pm 0.08^*$	$152/35 \pm 14/65^*$	0.48	0.51	24/04	27/71	36	زرغام
$1/49 \pm 0.05^*$	$-18/64 \pm 3/25^*$	0.89	0.89	14/76	18/50	144	کل داده‌ها

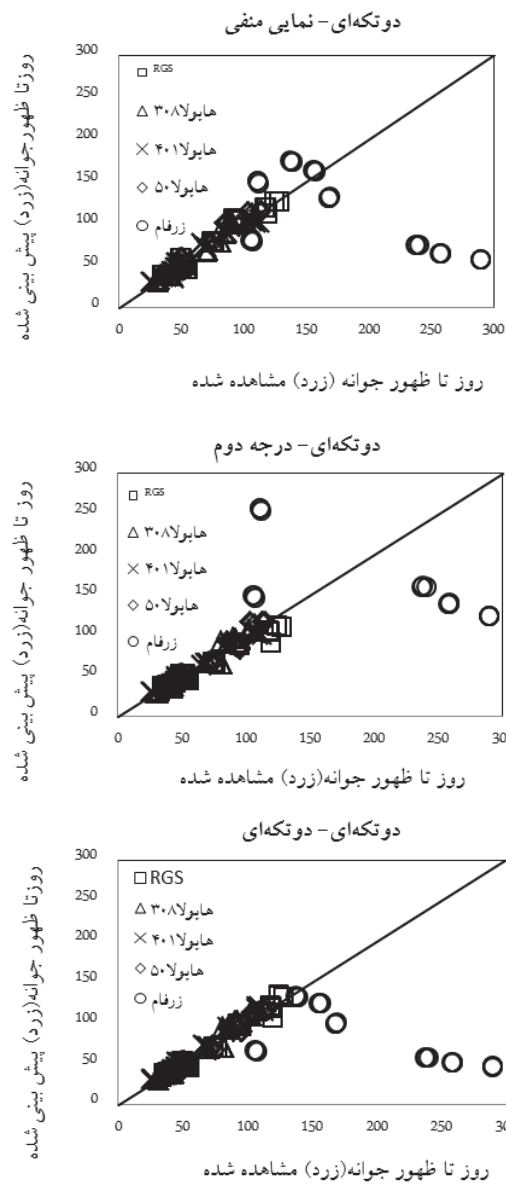
* برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با صفر و برای b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آن با ۱ است. چون حساسیت رقم زرغام به بهاره سازی زیاد بوده و هیچ‌گونه اطلاعاتی در زمینه بهاره سازی رقم مذکور در دسترس نبود، داده‌های به‌دست‌آمده برای این رقم معتبر نبوده و به همین دلیل در محاسبه کل داده‌ها وارد نشده است.



شکل ۲ الف- مقادیر روز از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده با مدل‌های بتا- نمایشی منفی، بتا-درجه دوم و بتا-دوتکه‌ای.



شکل ۲ ب- مقادیر روز از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده با مدل‌های دندان مانند-نمایی منفی، دندان مانند-درجه دوم و دندان مانند-دوتکه‌ای.



شکل ۲ ج- مقادیر روز از سبز شدن تا ظهور جوانه زرد پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده با مدل‌های دوتکه‌ای - نمایی منفی، دوتکه‌ای - درجه دوم و دوتکه‌ای - دوتکه‌ای.

جدول ۵-الف- برآورد دمای پایه (Tb)، دمای بهینه (TP)، تعداد روز بیولوژیک (eB)، طول روز بحرانی (CPP)، ضریب حساسیت به طول روز (PP_{Sen}) و حدود اطمینان (CI95%) برای سبزی شدن تا ظهور جوانه زرد با توابع بنا-نمای منفی (B-NE)، بنا-درجه دوم (B-Q)، بنا-و تکمیل (B-S) در ۵ رقم کلزا، دمای سقف (Tc)، ۴۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد.

تایع دمایی	ارقام	T _b ±se	CI95%	T _p ±se	CI95%	T _c	eo±se	CI95%	CPP ±se	CI95%	PP _{Sen} ±se	CI95%
B-NE	RGS	۴/۸۳±۲/۵۷	-۰/۳۰-۰/۱۵	۲۴/۹۴±۱/۳۲	۲۲/۲۶±۲/۶۳	۴۰	۲۷/۲۸±۱/۸۴	۲۳/۵۴±۱/۰۳	۱۴/۸۵±۰/۶۵	۱۲/۸۳±۱/۵۴۷	۰/۳۹±۰/۰۵	۰/۲۸-۰/۵۰
	هایولا ۳۰۸	۱/۴۸±۲/۷۶	-۴/۱۲-۷/۱۰	۲۶/۸۴±۱/۲۸	۲۴/۴۶±۲/۹۶	۴۰	۲۶/۷۵±۱/۱۲	۲۴/۴۶±۲/۹۰۴	۱۴/۶۸±۰/۳۶	۱۳/۹۵±۱/۵۴۱	۰/۳۱±۰/۰۳	۰/۲۵-۰/۳۷
	هایولا ۴۰۱	۲/۰۵±۲/۹۴	-۳/۹۴-۸/۰۴	۲۵/۷۸±۱/۴۲	۲۲/۸۹±۲/۱۶۸	۴۰	۲۶/۸۴±۱/۳۱	۲۴/۱۶±۲/۹۵۲	۱۴/۷۶±۰/۴۸	۱۳/۷۸±۱/۵۷۴	۰/۲۱±۰/۰۸	۰/۰۴-۰/۳۷
	هایولا ۵۰۱	۳/۴۶±۳/۱۴	-۲/۹۳-۹/۸۶	۲۵/۸۵±۱/۲۶	۲۳/۲۸±۲/۸۴۱	۴۰	۲۶/۹۶±۱/۷۵	۲۳/۳۸±۰/۵۳	۱۴/۲۵±۰/۳۸	۱۳/۴۷±۱/۵۰۴	۰/۲۹±۰/۰۲	۰/۰۴-۰/۳۳
	زرغام	۸/۷۴±۱/۹۴	۴/۶۹±۱/۷۴	۲۸/۲۵±۱/۲۶	۲۵/۶۴±۰/۸۵	۴۰	۲۷/۵۴±۵/۷۸	۱۵/۵۵±۲/۹۵۳	۱۵/۵۷±۰/۶۲	۱۴/۲۹±۱/۶۸۵	۰/۲۸±۰/۳۷	-۰/۴۸-۱/۰۵
	کل دامها	۳/۱۱±۱/۴۴	-۰/۲۶-۵/۹۶	۲۵/۸۲±۰/۷۰	۲۴/۴۴±۲/۷۰	۴۰	۲۶/۹۴±۰/۷۵	۲۵/۴۵±۲/۸۴۲	۱۴/۴۹±۰/۳۲	۱۳/۸۵±۱/۵۱۲	۰/۲۹±۰/۰۵	۰/۰۴-۰/۳۸
	RGS	۵/۹۲±۲/۰۴	۱/۷۷-۱/۰۷	۲۴/۱۱±۱/۱۳	۲۱/۸۰±۲/۶۲	۴۰	۲۷/۵۷±۱/۸۹	۲۳/۷۱±۳/۱۴۲	۱۳/۹۱±۰/۲۶	۱۳/۳۷±۱/۴۴۵	۰/۰۰۲±۰/۰۳	-۰/۰۵-۱/۰۶
	هایولا ۳۰۸	۳/۴۷±۲/۳۲	-۱/۰۶-۸/۰۰	۲۶/۵۰±۱/۲۸	۲۳/۸۸±۲/۹۱۱	۴۰	۲۶/۹۷±۱/۲۹	۲۴/۳۴±۲/۹۱۶	۱۳/۷۱±۰/۲۴	۱۳/۲۳±۱/۴۱۹	۰/۰۰۲±۰/۰۰	۰/۰۰۱-۱/۰۰۳
	هایولا ۴۰۱	۳/۸۲±۲/۳۳	-۰/۹۳-۸/۵۸	۲۵/۵۰±۱/۴۶	۲۲/۵۱±۲/۸۴۷	۴۰	۲۷/۰۹±۱/۴۵	۲۴/۱۴±۰/۰۵	۱۳/۸۰±۰/۲۲	۱۳/۳۵±۱/۴۲۵	۰/۰۰۲±۰/۰۰	۰/۰۰۱-۱/۰۰۲
	هایولا ۵۰۱	۴/۸۱±۲/۴۸	-۰/۲۴-۹/۸۶	۲۵/۳۷±۱/۰۷	۲۳/۱۹±۲/۷۵۶	۴۰	۲۷/۱۰±۱/۸۵	۲۳/۳۴±۰/۸۷	۱۳/۷۸±۰/۲۴	۱۳/۲۹±۱/۴۲۶	۰/۰۰۲±۰/۰۱	-۰/۰۲-۱/۰۰۳
زرغام	۹/۱۶±۱/۸۵	۵/۳۴±۱/۲۹۸	۲۴/۳۲±۳/۹۵	۱۶/۱۳±۲/۵۴	۴۰	۲۷/۶۴±۶/۰۴	۱۵/۱۰±۰/۱۷	۱۴/۹۶±۰/۶۵	۱۳/۶۰±۱/۶۳۲	۰/۰۳±۰/۰۰	-۰/۳۸-۰/۴۴	
کل دامها	۴/۵۹±۱/۱۴	۲/۳۵±۰/۸۴	۲۵/۳۲±۰/۶۹	۲۳/۹۴±۲/۶۹	۴۰	۲۷/۱۹±۰/۸۰	۲۵/۶۱±۲/۸۷۷	۱۳/۷۳±۰/۱۱	۱۳/۵۱±۱/۳۹۵	۰/۰۰۲±۰/۰۰	۰/۰۰۱-۱/۰۰۳	
B-S	RGS	۴/۸۶±۲/۶۲	-۰/۴۷-۱/۰۲۰	۲۲/۴۴±۱/۱۰	۲۰/۷۸±۲/۶۹	۴۰	۲۷/۳۲±۱/۸۴	۲۳/۵۶±۳/۱۰۸	۱۶/۷۹±۰/۳۴	۱۶/۰۹±۱/۷۴۹	-۰/۱۵±۰/۰۱	-۰/۱۸-۰/۱۲
	هایولا ۳۰۸	۱/۳۵±۲/۸۳	-۴/۴۲-۷/۱۲	۲۴/۳۳±۰/۹۹	۲۲/۲۶±۲/۶۴۰	۴۰	۲۶/۷۸±۱/۱۰	۲۴/۴۷±۲/۹۰۹	۱۵/۱۷±۰/۳۰	۱۴/۵۶±۱/۵۷۹	-۰/۱۶±۰/۰۱	-۰/۱۸-۰/۱۳
	هایولا ۴۰۱	۱/۹۴±۳/۰۲	-۴/۲۱-۸/۰۸	۲۳/۳۳±۱/۲۶	۲۰/۷۵±۲/۵۹۰	۴۰	۲۶/۸۷±۱/۳۲	۲۴/۱۸±۲/۹۵۷	۱۶/۱۱±۰/۳۶	۱۵/۳۴±۱/۶۸۵	-۰/۱۴±۰/۰۲	-۰/۱۷-۰/۱۰
	هایولا ۵۰۱	۳/۳۸±۳/۲۱	-۳/۱۷-۹/۹۳	۲۳/۲۲±۰/۹۰	۲۱/۳۱±۲/۵۰۷	۴۰	۲۶/۹۸±۱/۲۶	۲۳/۳۹±۲/۵۵۷	۱۵/۲۵±۰/۱۹	۱۴/۸۶±۱/۵۶۳	-۰/۱۶±۰/۰۱	-۰/۱۷-۰/۱۴
	زرغام	۸/۷۱±۱/۹۷	۴/۶۴±۱/۲۷۹	۲۷/۷۹±۲/۹۴	۲۱/۶۸±۳/۳۸۹	۴۰	۲۷/۵۵±۵/۸۱	۱۵/۵۰±۲/۹۱۶	۲۱/۰۱±۰/۴۷	۲۰/۰۳±۱/۹۸	-۰/۱۰±۰/۱۸	-۰/۴۷-۰/۲۷
	کل دامها	۳/۰۲±۱/۴۸	۰/۱۰-۵/۹۴	۲۳/۳۳±۰/۶۳	۲۲/۰۸±۲/۴۵۷	۴۰	۲۷/۰۰±۰/۷۵	۲۵/۵۲±۲/۸۴۹	۱۵/۴۵±۰/۲۲	۱۵/۰۲±۱/۵۸۷	-۰/۱۵±۰/۰۱	-۰/۱۷-۰/۱۳

جدول ۵- ب- برآورد دمای پایه (Tb)، مطلوب تحتانی (To1)، مطلوب فوقانی (To2)، تعداد روز بیولوژیک (e0)، طول روز بحرانی (CPP)، ضریب حساسیت به طول روز (PP_{Sen}) و حدود اطمینان (CI95%) برای سبزشدن تا ظهور جوانه زرد با توابع دندان مانند-دمایی منفی (D-NE)، دندان مانند-درجه دوم (D-Q) و دندان مانند-دوتکه‌ای (D-S) در رقم کلزا. دمای سقف (T_c)، ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

تایم	ارقام	Tb±se	CI95%	TO1±se	CI95%	TO2±se	CI95%	TC	e0±se	CI95%	CPP±se	CI95%	PPSen±se	CI95%	
D-NE	RGS	۳۴۵±۲۴۶	-۱/۳۵±۸۲۵	۲۵/۴۴±۳/۵۸	۱۸/۱۲±۳/۷۱	۳۰/۷۴±۱/۴۱	۲۷/۸۶±۳/۶۲	۴۰	۲۷/۹۰±۱/۹۹	۲۳/۸۵±۳/۱۹۶	۱۵/۱۴±۱/۶۲	۱۲/۵۵±۱/۷۲	۰/۰۷±۰/۱۴	۰/۰۲±۰/۳۵	
	هالیولا ۳۰	۰/۵۶±۲/۰۰	-۳/۵۰±۴/۶۳	۲۲/۷۵±۲/۱۴	۱۸/۳۸±۲/۱۲	۳۲/۳۶±۰/۷۴	۳۰/۸۷±۳/۹۰	۴۰	۲۷/۲۲±۱/۲۳	۲۴/۷۱±۲/۹۷۳	۱۴/۸۶±۰/۵۲	۱۳/۸۰±۱/۵۹۳	۰/۰۱±۰/۰۲	۰/۰۵±۰/۱۴	
	هالیولا ۴۰	۰/۹۹±۲/۲۵	-۳/۵۹±۵/۵۸	۲۴/۲۴±۳/۰۹	۱۷/۹۲±۳/۰۵۴	۳۱/۳۳±۰/۸۹	۲۹/۵۱±۳/۱۵	۲۷/۳۱±۱/۴۶	۴۰	۲۷/۳۱±۱/۴۶	۲۴/۳۴±۰/۳۹	۱۵/۱۱±۰/۵۲	۱۴/۰۵±۱/۶۱۸	۰/۰۶±۰/۰۳	۰/۰۱±۰/۱۲
	هالیولا ۵۰	۲/۴۲±۲/۴۹	-۲/۶۵±۷/۴۹	۲۳/۲۵±۲/۶۲	۱۷/۹۰±۲/۸۶	۳۰/۸۲±۱/۴۵	۲۷/۸۶±۳/۷۹	۲۳/۸۰±۳/۱۳۴	۴۰	۲۷/۵۷±۱/۸۵	۲۳/۸۰±۳/۱۳۴	۱۵/۰۲±۰/۳۳	۱۴/۵۶±۱/۵۵۰	۰/۰۶±۰/۰۳	۰/۰۱±۰/۱۲
	زرقم	۹/۴۷±۱/۴۵	۶/۶۷±۱/۲۴۶	۲۶/۵۰±۴/۰۲	۱۸/۱۶±۳/۴۸۳	۳۱/۷۶±۱/۹۳	۲۷/۷۷±۳/۵۷۶	۲۸/۳۷±۷/۷۵	۴۰	۲۸/۳۷±۷/۷۵	۱۲/۳۱±۴/۴۴	۱۵/۱۸±۱/۴۸	۱۲/۱۰±۱/۸۲۷	۰/۰۲±۰/۰۲	۰/۰۸±۰/۲۶
کل داده‌ها	۱/۹۲±۱/۱۵	-۰/۳۶±۲/۲۰	۲۴/۸۳±۱/۵۴	۲۱/۷۹±۲/۷۸۸	۳۱/۳۳±۰/۴۵	۲۷/۵۲±۰/۸۱	۲۵/۹۱±۴/۹۱۲	۴۰	۲۷/۵۲±۰/۸۱	۲۵/۹۱±۴/۹۱۲	۱۵/۳۰±۰/۳۹	۱۴/۵۳±۱/۶۰۶	۰/۰۶±۰/۰۵	۰/۰۳±۰/۱۶	
D-Q	RGS	۳/۵۰±۲/۳۷	-۱/۳۳±۸۳۳	۲۵/۴۲±۳/۵۸	۱۸/۱۲±۳/۷۲	۳۰/۷۴±۱/۴۱	۲۷/۸۷±۳/۶۰	۴۰	۲۷/۸۳±۱/۹۸	۲۳/۷۹±۳/۱۸۷	۱۲/۷۴±۱/۴۷	۹/۷۲±۱/۵۷۴	۰/۰۴±۰/۰۶	۰/۰۸±۰/۱۶	
	هالیولا ۳۰	۰/۶۲±۲/۰۱	-۳/۴۸±۴/۷۱	۲۲/۷۲±۲/۱۳	۱۸/۳۸±۲/۱۰۶	۳۲/۳۹±۰/۷۴	۳۰/۸۷±۳/۹۱	۴۰	۲۷/۱۹±۱/۲۲	۲۴/۷۱±۲/۹۶۷	۱۳/۶۳±۱/۰۲	۱۱/۵۵±۱/۵۷۰	۰/۰۲±۰/۰۴	۰/۰۴±۰/۱۰	
	هالیولا ۴۰	۱/۸۰±۲/۲۵	-۳/۴۸±۵/۶۸	۲۳/۱۵±۲/۶۵	۱۸/۴۳±۲/۹۳۶	۳۱/۳۳±۰/۸۵	۲۷/۲۹±۱/۴۵	۲۷/۲۹±۱/۴۵	۴۰	۲۷/۲۹±۱/۴۵	۲۴/۳۴±۰/۳۴	۱۳/۴۸±۰/۷۷	۱۱/۹۱±۱/۵۰۵	۰/۰۳±۰/۰۳	۰/۰۴±۰/۰۹
	هالیولا ۵۰	۲/۴۹±۲/۵۲	-۲/۶۴±۷/۶۱	۲۳/۴۰±۲/۷۵	۱۷/۷۷±۲/۹۰۰	۳۰/۸۲±۱/۴۵	۲۷/۵۱±۱/۸۵	۲۷/۵۱±۱/۸۵	۴۰	۲۷/۵۱±۱/۸۵	۲۳/۷۴±۱/۲۸	۱۲/۸۶±۰/۷۹	۱۱/۲۴±۱/۴۴۸	۰/۰۳±۰/۰۳	۰/۰۳±۰/۰۹
	زرقم	۹/۷۴±۱/۴۷	۶/۷۰±۱/۲۷۹	۲۶/۴۸±۴/۰۱	۱۸/۱۶±۳/۴۸۱	۳۲/۶۵±۰/۶۷	۲۸/۳۲±۷/۸۲	۲۸/۳۲±۷/۸۲	۴۰	۲۸/۳۲±۷/۸۲	۱۲/۰۹±۴/۵۴	۱۵/۲۷±۰/۰۰	۱۵/۲۶±۱/۵۲۸	۰/۰۸±۰/۰۱	۰/۰۶±۰/۰۹
کل داده‌ها	۱/۹۹±۱/۱۶	-۰/۳۰±۴/۳۹	۲۴/۸۲±۱/۵۴	۲۱/۷۸±۲/۷۸۷	۳۱/۳۳±۰/۴۵	۲۷/۴۶±۰/۸۱	۲۵/۸۷±۲/۹۰۶	۴۰	۲۷/۴۶±۰/۸۱	۲۵/۸۷±۲/۹۰۶	۱۳/۴۰±۰/۴۴	۱۲/۵۳±۱/۴۲۸	۰/۰۴±۰/۰۲	۰/۰۲±۰/۰۸	
D-S	RGS	۴/۳۱±۲/۰۳	-۰/۸۸±۸۴۵	۲۵/۳۸±۳/۵۸	۱۸/۰۹±۳/۶۸	۳۱/۴۰±۰/۳۷	۳۰/۶۴±۳/۱۱۷	۴۰	۲۷/۷۲±۱/۹۸	۲۳/۷۰±۳/۱۷۶	۱۵/۲۸±۰/۶۸	۱۳/۹۰±۱/۶۶۶	۰/۰۲±۰/۰۵	۰/۰۲±۰/۰۲	
	هالیولا ۳۰	۱/۹۱±۱/۶۹	-۱/۵۴±۵/۳۶	۲۲/۶۷±۲/۱۲	۱۸/۳۴±۲/۷۰۰	۳۱/۹۸±۰/۴۱	۳۱/۱۲±۳/۲۸۳	۴۰	۲۷/۰۹±۱/۲۲	۲۴/۶۰±۲/۹۵۹	۱۳/۵۷±۱/۰۰	۱۱/۵۲±۱/۵۶۲	۰/۰۱±۰/۰۲	۰/۰۱±۰/۰۹	
	هالیولا ۴۰	۲/۷۴±۱/۹۱	-۱/۶۴±۶/۱۳	۲۳/۷۹±۲/۶۴	۱۸/۳۹±۲/۹۰۹	۳۰/۱۴±۰/۸۳	۲۸/۵۳±۳/۱۹۴	۲۴/۲۲±۳/۰۱۴	۴۰	۲۷/۱۸±۱/۴۵	۲۴/۲۲±۳/۰۱۴	۱۵/۹۱±۰/۰۰	۱۵/۹۰±۱/۵۹۱	۰/۰۱±۰/۰۷	۰/۰۱±۰/۰۷
	هالیولا ۵۰	۳/۴۱±۲/۱۲	-۰/۹۱±۷/۷۴	۲۳/۳۸±۳/۷۵	۱۷/۷۶±۲/۹۰۰	۳۲/۴۴±۰/۳۶	۲۷/۴۵±۱/۸۴	۲۳/۶۹±۱/۳۰	۴۰	۲۷/۴۵±۱/۸۴	۲۳/۶۹±۱/۳۰	۱۵/۴۰±۰/۴۶	۱۴/۴۵±۱/۶۳۴	۰/۰۷±۰/۰۴	۰/۰۱±۰/۰۱
	زرقم	۹/۷۰±۱/۳۷	۶/۸۴±۱/۲۵۶	۲۶/۴۸±۴/۰۱	۱۸/۱۶±۳/۴۸۰	۳۱/۹۴±۱/۵۸	۲۸/۳۰±۷/۶۸	۲۸/۳۰±۷/۶۸	۴۰	۲۸/۳۰±۷/۶۸	۱۲/۳۶±۴/۴۳۳	۱۵/۲۹±۱/۵۳	۱۲/۱۰±۱/۸۴۷	۰/۰۲±۰/۰۲	۰/۰۲±۰/۰۲
کل داده‌ها	۳/۰۱±۰/۹۸	۱/۰۷±۴/۹۵	۲۴/۷۷±۱/۵۴	۲۱/۷۳±۲/۷۸۱	۳۰/۶۳±۰/۳۹	۲۷/۶۳±۰/۸۱	۲۵/۷۸±۲/۹۷	۴۰	۲۷/۶۳±۰/۸۱	۲۵/۷۸±۲/۹۷	۱۵/۳۰±۰/۳۳	۱۴/۷۴±۱/۵۶۶	۰/۰۱±۰/۰۲	۰/۰۱±۰/۰۶	

جدول ۵- ج- برآورد دمای پایه (Tb)، دمای بهینه (TP)، تعداد روز بیولوژیک (eo)، طول روز بحرانی (CPP)، ضریب حساسیت به طول روز (PPsen) و حدود اطمینان (CI95%) برای سبزشدن تا ظهور جوانه زرد با توابع دوتکه‌ای-نسبایی منفی (S-NE)، دوتکه‌ای-درجه دوم (S-Q)، دوتکه‌ای-دوتکه‌ای (S-S) در ۵ رقم کلزا. دمای سقف (Tc)، ۴۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد.

CI95%	PPsen ±se	CI95%	CPP ±se	CI95%	eo±se	Tc	CI95%	TP±se	CI95%	Tb±se	ارقام	تابع دمایی
۰/۲۸۰±۰/۳۹	۰/۳۳±۰/۰۳	۱۴/۱۰±۱۴/۸۶	۱۴/۴۸±۰/۱۹	۳۲/۰۹±۲۸/۵۶	۲۶/۸۳±۱/۸۳	۴۰	۲۵/۳۳±۲۷/۷۹	۲۶/۵۱±۰/۶۳	-۱/۶۶±۰/۶۴	۱/۴۹±۱/۵۵	RGS	
۰/۲۴۰±۰/۳۵	۰/۲۹±۰/۰۳	۱۴/۴۹±۱۵/۲۰	۱۴/۸۵±۰/۱۷	۲۵/۳۰±۲۸/۰۹	۲۶/۶۹±۰/۶۹	۴۰	۲۵/۳۸±۲۷/۲۲	۲۶/۳۰±۰/۴۵	-۰/۶۵±۰/۴۳	۱/۷۹±۱/۱۹	هالیولا ۳۰.۸	
۰/۱۶۰±۰/۳۴	۰/۲۵±۰/۰۴	۱۴/۸۷±۱۵/۹۶	۱۵/۴۱±۰/۳۷	۲۵/۵۵±۲۸/۸۵	۲۷/۳۰±۰/۸۱	۴۰	۲۲/۳۰±۲۸/۰۷	۲۵/۶۸±۱/۱۶	-۰/۹۲±۰/۴۳	۱/۷۵±۱/۳۱	هالیولا ۴۰.۱	S-NE
۰/۲۵۰±۰/۳۲	۰/۲۹±۰/۰۲	۱۴/۰۴±۱۴/۷۵	۱۴/۴۰±۰/۱۷	۲۳/۴۳±۳۰/۳۸	۲۶/۹۰±۱/۷۰	۴۰	۲۶/۳۲±۲۷/۷۷	۲۷/۰۴±۰/۳۵	۲/۹۵±۲/۳۰	۰/۱۷±۱/۵۳	هالیولا ۵۰.۱	
۰/۳۵۰±۰/۸۷	۰/۲۶±۰/۰۲۹	۱۲/۸۰±۱۵/۲۴	۱۴/۱۱±۰/۵۵	۱۶/۳۵±۳۸/۴۴	۲۷/۴۰±۵/۳۱	۴۰	۱۸/۱۷±۳۸/۷۳	۲۸/۴۴±۴/۹۴	۴/۴۷±۱/۲۰	۸/۷۷±۲/۰۸	زرقم	
۰/۲۶۰±۰/۳۱	۰/۲۹±۰/۰۱	۱۴/۸۷±۱۵/۴۳	۱۵/۱۵±۰/۱۴	۲۵/۲۷±۲۸/۰۷	۲۶/۶۷±۰/۷۱	۴۰	۲۴/۳۲±۲۶/۹۸	۲۵/۷۰±۰/۶۵	-۰/۱۷±۰/۶۶	۱/۲۵±۰/۷۱	کل دادهما	
۰/۰۶۰±۰/۰۹	۰/۰۱±۰/۰۴	۱۲/۷۵±۱۳/۲۲	۱۲/۹۸±۰/۱۱	۳۲/۹۴±۳۰/۰۳	۲۶/۹۸±۱/۴۹	۴۰	۳۲/۳۴±۲۶/۸۸	۲۵/۱۱±۰/۸۷	-۱/۸۴±۰/۵۴	۱/۳۵±۱/۵۶	RGS	
۰/۰۳۰±۰/۰۴	۰/۰۱±۰/۰۲	۱۲/۶۱±۱۳/۱۷	۱۲/۸۹±۰/۱۴	۲۴/۶۱±۳۷/۹۸	۲۶/۳۰±۰/۸۲	۴۰	۲۴/۰۵±۲۷/۳۷	۲۵/۷۱±۰/۸۱	-۰/۷۸±۰/۱۲	۱/۶۸±۱/۲۰	هالیولا ۳۰.۸	
۰/۰۳۰±۰/۰۵	۰/۰۱±۰/۰۲	۱۲/۶۷±۱۳/۳۰	۱۲/۹۹±۰/۱۵	۲۴/۴۸±۲۸/۵۵	۲۶/۵۲±۱/۰۰	۴۰	۲۴/۶۹±۲۷/۴۷	۲۶/۰۸±۰/۶۸	-۱/۰۶±۰/۳۴	۱/۶۴±۱/۳۲	هالیولا ۴۰.۱	S-Q
۰/۰۵۰±۰/۰۷	۰/۰۱±۰/۰۳	۱۲/۸۶±۱۳/۵۵	۱۳/۳۱±۰/۱۷	۳۳/۸۱±۲۹/۷۷	۲۶/۷۹±۱/۴۶	۴۰	۲۴/۳۲±۲۷/۵۱	۲۵/۹۲±۰/۷۸	۳/۱۴±۲/۱۷	۰/۰۴±۱/۵۵	هالیولا ۵۰.۱	
۰/۱۳۰±۱/۳۲	۰/۰۱±۰/۰۶۳	۱۴/۳۶±۱۵/۲۶	۱۴/۸۱±۰/۳۲	۰/۰۴۹±۱۲/۶۱	۲۷/۸۰±۴/۷۱۲	۴۰	۱۶/۸۵±۳۵/۱۴	۲۵/۹۹±۴/۴۰	۴/۴۱±۱/۲۰	۸/۷۵±۲/۱۰	زرقم	
۰/۰۱۰±۰/۰۳	۰/۰۱±۰/۰۱	۱۲/۷۴±۱۳/۰۵	۱۲/۹۰±۰/۰۸	۲۵/۵۴±۲۷/۸۶	۲۶/۷۰±۰/۵۹	۴۰	۲۵/۱۸±۲۶/۹۱	۲۶/۰۴±۰/۴۴	-۰/۳۱±۰/۵۴	۱/۱۲±۰/۷۳	کل دادهما	
۰/۰۱۹±۰/۱۵	۰/۰۱۷±۰/۰۱	۱۴/۳۸±۱۵/۶۶	۱۵/۰۲±۰/۳۱	۳۲/۴۵±۳۰/۶۶	۲۶/۵۵±۲/۰۱	۴۰	۳۲/۹۴±۲۸/۲۱	۲۶/۰۸±۱/۰۴	-۱/۶۹±۰/۶۳	۱/۴۷±۱/۵۵	RGS	
۰/۰۱۷±۰/۱۳	۰/۰۱۵±۰/۰۱	۱۴/۱۲±۱۵/۴۵	۱۴/۷۹±۰/۳۲	۲۴/۳۱±۲۸/۰۵	۲۶/۱۸±۰/۹۱	۴۰	۲۵/۳۸±۲۷/۲۳	۲۶/۳۰±۰/۴۵	-۰/۶۶±۰/۲۲	۱/۷۸±۱/۲۰	هالیولا ۳۰.۸	
۰/۰۱۷±۰/۱۲	۰/۰۱۴±۰/۰۱	۱۵/۲۵±۱۶/۶۹	۱۵/۹۷±۰/۳۵	۳۲/۵۶±۲۸/۷۵	۲۶/۱۵±۱/۳۷	۴۰	۲۴/۵۰±۲۷/۳۳	۲۵/۹۱±۰/۶۹	-۰/۹۴±۰/۴۲	۱/۷۴±۱/۳۱	هالیولا ۴۰.۱	S-S
۰/۰۱۶±۰/۱۳	۰/۰۱۴±۰/۰۱	۱۴/۰۸±۱۵/۲۶	۱۴/۶۷±۰/۲۹	۳۲/۸۴±۳۰/۳۲	۲۶/۵۷±۱/۸۳	۴۰	۲۶/۲۸±۲۷/۶۳	۲۶/۹۵±۰/۳۳	۲/۹۸±۲/۲۹	۰/۱۵±۱/۵۴	هالیولا ۵۰.۱	
۰/۰۵۴±۰/۳۵	۰/۰۰۹±۰/۰۳۲	۱۱/۳۷±۱۸/۹۲	۱۵/۰۹±۱/۸۴	۱۹/۰۰±۳۳/۶۲	۲۶/۳۱±۳/۵۱	۴۰	۲۵/۵۶±۳۰/۵۶	۲۸/۰۶±۱/۲۰	۴/۴۶±۱/۲۰	۸/۷۷±۲/۰۸	زرقم	
۰/۰۱۶±۰/۱۳	۰/۰۱۵±۰/۰۱	۱۵/۲۱±۱۶/۰۱	۱۵/۶۱±۰/۲۰	۲۴/۸۹±۲۷/۸۲	۲۶/۳۵±۰/۷۴	۴۰	۲۴/۷۶±۲۶/۶۴	۲۵/۷۰±۰/۴۸	-۰/۱۸±۰/۶۵	۱/۲۳±۰/۷۱	کل دادهما	

منابع

- نیکوبین، م.، ن.، لطیفی، ا.، سلطانی، و ا.، فرجی. ۱۳۸۸. تأثیر بهاره سازی بر فنولوژی و سرعت نمو در کانولا. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۲ (۱): ۱۳۵-۱۲۳.
- Andrew, M., M., Tommey, and E.J., Evans.** 1991. Temperature and daylength control of flowering initiation in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Ann. Appl. Biol. 118: 201-208.
- Angus, J.F., R.B., Cunningham, M.W., Moncur, and D.H., Mackenzie.** 1981. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. Field Crop. Res. 3: 365-378.
- Atkinson, D., and J.R., Porter.** 1996. Temperature, plant development and crops yields. Trends Plant Sci. 1: 119-124.
- Chauhan, Y.S., C., Johansen, J.K., Moon, Y.H., Lee, and S.H., Lee.** 2002. Photoperiod responses of extra-short-duration pigeonpea lines developed at different latitudes. Crop Sci. 42: 1139-1146.
- Daniels, R.W., D.H., Scarisbrick, L.J, and Smith.** 1986. Oilseed rape physiology. In: Scarisbrick, D.H., Daniels, R.W. (Eds.). Oilseed rape. Collins, London, pp. 83-126.
- Ellis, R.H., E.H., Roberts, and R.J. Summerfeld.** 1988. Variation in the optimum Temperature for Rates of Seedling Emergence and Progress Towards Flowering Amongst Six Genotypes of Faba Bean (*Vicia faba* L.). Ann. Bot-London. 62:119-126.
- احمدی، م.، ب.، کامکار، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، و ر.، عرب عامری. ۱۳۸۹. تأثیر تاریخ کاشت بر طول دوره‌های فنولوژیک ارقام گندم و رابطه آن با تولید عملکرد. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲ (۱۷): ۱۲۲-۱۰۹.
- رضایی، ع. و ا. سلطانی. ۱۳۸۷. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. چاپ سوم. ۲۹۴ ص.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۶. کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری (ویرایش دوم). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۲ ص.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵ ص.
- سلطانی، ا.، و و. مداح. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی رشد و نمو گندم با مدل SSM در شرایط محیطی استان گلستان. گزارش تحقیقاتی فرصت مطالعاتی. معاونت پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- فرجی، ا. ۱۳۸۹. تعیین واکنش فنولوژی ژنوتیپ‌های بهاره کلزا (*Brassica napus* L.) به تاریخ کاشت، دما و فتوپریود. مجله به-زراعی نهال و بذر. ۲-۲۶ (۱): ۴۱-۲۵.

- rape (*Brassica napus* L. and *B. campestris* L.). *Field Crop. Res.* 13: 367-373.
- Li, L., G.S., McMaster, and Q.Y. Jun Du.** 2008. Simulating winter wheat development response to temperature: Modifying Malo's exponential sine equation. *Comput. Electron. Agr.* 6(3): 274-281.
- Mendham, N.J. and P.A. Salisbury.** 1995. Physiology: Crop development, growth and yield. In 'Brassica oilseeds: production and utilization'. (Eds D. S. Kimber, D. I. McGregor) pp. 11-64. (CABI: Wallingford).
- Nanda, R., S.C. Bhargava, D.P.S. Tomar, and H.M. Rawson.** 1996. Phenological development of *B. campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata* grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. *Field Crop. Res.* 46: 93-103.
- Netzer, M.H., E. Tittone, and A. Merrien.** 1986. Initiation florale du colza d'hiver (*Brassica napus* L. cv Jet Neuf) en conditions controlees. *Inform. Tech+., CETIOM.* 96: 3-9.
- Ellis, R.H., P. Hadley, E.H. Roberts, and R.J. Summerfield.** 1990. Quantitative relations between temperature and crop development and growth. In: *Climatic Change and Plant Genetic Res.* 85-115. Eds. Jackson, M.T., B.V. Ford-lloyd and M.L. Parry. London and New York. Belhaven Press.
- Habekotte, B.** 1997. A model of the phenological development of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Field Crop. Res.* 54: 127-136.
- Hammer, G.L., P.J., Goynes, and D.R., Woodruff.** 1982. Phenology of sunflower cultivars. III. Models for prediction in field environments. *Aust. J. Agr. Res.* 33: 263-274.
- Hodgson, A.S.** 1978. Rapeseed adaptation in Northern New South Wales. II. Predicting plant development of *Brassica campestris* L. and *Brassica napus* L. and its implications for planting time, designed to avoid water deficit and frost. *Aust. J. Agr. Res.* 29: 711-726.
- Horie, T. and H. Nakagawa.** 1990. Modeling and prediction of development process in rice. I. Structure and method of parameter estimation of model for simulating development process toward heading. *Jpn. J. Crop Sci.* 59: 687-695.
- King, J.R. and Z.P., Kondra.** 1986. Photoperiod response of spring oilseed

- simulation model for wheat development, growth and yield. *Int. J. Plant Prod.* 7(4): 711-740.
- Stewart, D.W., L.M. Dwyer, and L.L. Carrigan.** 1998. Phenological temperature responses of maize. *Agron. J.* 90: 73-79.
- Sylvester-Bradley, R., and R.J., Makepeace.** 1984. A code for stages of development in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Ann. Appl. Biol.* 6: 399-419.
- Wallace, D.H.** 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. *Plant breeding Rev.* 3: 21-166.
- Yin, X., M.J. Kropff, G. McLaren, and R.M. Visperas.** 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agr. Forest Meteorol.* 77: 1-16.
- Yin, X., M.J. Kropff, H. Nakagawa, T. Horie, and J. Goudriaan.** 1997. A model for photothermal responses of flowering in rice. I. Model evaluation. *Field Crop. Res.* 51:
- Perry, M.W., K. H. M. Siddique, and J.F. Wallace.** 1987. Predicting phenological development of Australian wheats. *Aust. J. Agr. Res.* 38: 809-819.
- Roberts, E.H. and R.J. Summerfield.** 1987. Measurements and prediction of flowering in annual crops. In: Atherton, J. G. (Ed.). *Manipulation of Flowering.* Butterworth, London, PP: 17-50.
- Roberts, R.E., R.J. Summerfield, F.R. Minchin, and P. Hadley.** 1980. Phenology of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in contrasting aerial environments. *Exp. Agr.* 16: 343-360.
- Robertson, G.W.** 1968. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperature and photoperiod. *Int. J. Biometeorol.*, 12: 191-223.
- Robertson, M.J., A.R., Watkinson, and J.F., Holland.** 2002. Environmental and genotypic control of time to flowering in canola and India mustard. *Aust. J. Agr. Res.* 53(7): 793-809.
- Soltani, A., G.L. Hammer, B. Torabi, M.J. Robertson, and E. Zeinali.** 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crop. Res.* 99: 1-13.
- Soltani, A., V., Maddah, and T.R., Sinclair.** 2013. SSM-Wheat: a

Modeling phenological development to temperature and photoperiod in rapeseed under field conditions

S. Lakzaei¹, A. Soltani^{2*}, E. Zeinali³, F. Ghaderifar⁴, S. Jafarodeh⁵

1. M. Sc. Graduate of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.
2. Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.
3. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.
4. Assistant Professor, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.
5. PhD. Student of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Iran.

Abstract

Quantitative information about response of phenological development to temperature and photoperiod in rapeseed is limited. This study was undertaken to examine phenological development of 5 rapeseed cultivars (Zarfam, Hayola401, Hayola308, Hayola50 and RGS) under 12 sowing dates. The experiment was conducted in Gorgan during 2013-2014. Various response functions were evaluated for quantifying response of yellow bud appearance rate to temperature and photoperiod, which among them beta-segmented function was selected as superior model. Using this function, cardinal temperatures (base, optimal and ceiling), biological day, critical photoperiod (the photoperiod below which flowering rate begins to decrease) and photoperiod sensitivity coefficient (slope of the function in response to photoperiod) for yellow bud appearance rate were determined. There was no significant difference between cultivars for base (3.02°C) and optimum (23.33°C) temperature. Ceiling temperature was considered constant at 40°C because of the low frequency of daily temperature above 35°C. There was no significant difference between cultivars for biological (photothermal) day: that was 27 for emergence to yellow bud appearance. Estimated critical photoperiod and photoperiod sensitivity coefficient were 15.45h and 0.15 between cultivars. It was concluded that beta-segmented model can be used to quantify response of rapeseed yellow bud appearance rate to temperature and photoperiod and to obtain cardinal temperatures, thermal time, parameters of photoperiod and biological day. These parameters are required to make prediction rapeseed time to phenological development models under diverse temperature and photoperiod conditions.

Keyword: Biological day, Phenology, Photoperiod, Rapeseed (*Brassica napus* L.), Modeling, Temperature

* Corresponding author (Afshin.soltani@gmail.com)