



دانشگاه گیلان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹

۹۳-۱۰۶

<http://jopp.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jopp.2020.15761.2418

اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر سرعت تولید و زوال برگ گلرنگ

*بنیامین ترابی^۱، ناصر دستفالی‌نژاد^۲، افشین سلطانی^۳ و اصغر رحیمی^۴

^۱دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، ^۲دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران، ^۳استاد گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

^۴دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: پیش‌بینی تغییرات سطح برگ بخش مهمی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است. قابلیت پیش‌بینی تغییرات شاخص سطح برگ گیاه در طی فصل رشد برای تخمین میزان تشعشع خورشیدی دریافتی و ماده خشک تولیدی گیاه مهم است. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات تولید و زوال (پیری) سطح برگ گلرنگ "نوده محلی اصفهان" می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولیعصر رفسنجان در سال ۱۳۹۱ انجام شد. عوامل آزمایش شامل تاریخ کاشت (۱۷ فروردین و ۶ اردیبهشت) و تراکم بوته (۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع) بودند. پس از سبزشدن بوته‌ها تا پایان فصل رشد به فاصله زمانی هر ۱۰ روز یکبار سطح برگ بوته‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هم‌چنین از ابتدای فصل رشد تا پایان مرحله گلدهی، هر ۷-۳ روز یکبار تعداد برگ سبز و گره تولید شده روی ساقه اصلی، تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی و هم‌چنین تعداد کل برگ زرد روی بوته شمارش و ثبت گردید.

یافته‌ها: با کاهش تراکم بوته شاخص سطح برگ حداکثر (LAI_{max}) روند افزایشی داشت به طوری که مقدار آن در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع به ۳/۹۱ و ۳/۳۷ در تاریخ کاشت‌های اول و دوم رسید و در تراکم‌های بالاتر مقدار آن کاهش یافت. سرعت تولید برگ میان تراکم‌های مختلف در تاریخ کاشت‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری نشان نداد و بین ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۴۹ $leaf/^\circ Cd^{-1}$ متغیر بود. تولید برگ در گیاه پس از گذشت ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۵ $^\circ Cd^{-1}$ و ۱۳۰۰ تا ۱۳۸۴ $^\circ Cd^{-1}$ به ترتیب برای تاریخ کاشت‌های اول و دوم پایان یافت. با افزایش تعداد برگ در طول فصل رشد، سطح برگ در قالب معادله توانی افزایش یافت به طوری که شیب افزایش سطح برگ با افزایش تراکم و تأخیر در کاشت روند کاهشی داشت. سرعت زوال برگ در تراکم‌های پایین‌تر هر تاریخ کاشت و نیز با تأخیر در کاشت با شیب زیادی صورت گرفت. سرعت پیری برگ براساس تعداد برگ زرد در بوته بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۴۵ $leaf/^\circ Cd^{-1}$ برای تاریخ کاشت اول و ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۳۷ $leaf/^\circ Cd^{-1}$ برای تاریخ کاشت دوم متغیر بود.

نتیجه‌گیری: با افزایش تراکم بوته به دلیل افزایش رقابت درون و برون‌بوته‌ای و در نتیجه کاهش تعداد شاخه فرعی در هر بوته، سطح برگ تک‌بوته کاهش می‌یابد اما بر خلاف این انتظار، افزایش تعداد بوته نتوانست کاهش شاخص سطح برگ را جبران کند.

* مسئول مکاتبه: ben_torabi@yahoo.com

این امر به احتمال زیاد به دلیل کاهش تعداد برگ در بوته در تراکم بالاتر بود. تأخیر در کاشت موجب افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش دوره مؤثر تولید برگ گردیده و از تعداد نهایی برگ در ساقه اصلی کاسته شد. سرعت تولید گره در طی این دوره در درجه نخست به وسیله دما و پس از آن توسط دسترسی به مواد فتوسنتزی برای رشد برگ تعیین می‌شود. با افزایش تراکم، سرعت زوال برگ در ساقه بیش‌تر شد. افزایش شدت پیری در تراکم‌های کاشت پایین را می‌توان به رقابت درون گیاهی و سایه‌اندازی بیش‌تر نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: تعداد گره، درجه روز رشد، سطح برگ

مقدمه

نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، گسترش برگ‌هایی که به تازگی ظهور کرده‌اند و زوال (پیری) برگ‌های مسن می‌باشد (۱۶). هرچه گیاهان توانایی تولید برگ بیش‌تر در زمان کم‌تری از شروع سبز شدن داشته باشند و سرعت زوال برگ در آن‌ها کم‌تر باشد، توانایی دریافت تشعشع بیش‌تر شده و در نهایت عملکرد بالاتری نیز خواهند داشت (۱۹). دما و طول روز می‌توانند روی سطح برگ، سرعت ظهور برگ و هم‌چنین روی سرعت و طی شدن دوره گسترش و پیری برگ تأثیر بگذارد. دما و طول روز هم‌چنین می‌توانند سطح برگ را از طریق تأثیر بر دوره‌های تولید برگ تنظیم کنند (۷). در همین راستا مشخص گردید که دوره تولید موثر برگ در نخود (*Cicer arietinum* L.) تا حدود مرحله غلاف‌دهی ادامه می‌یابد، ولی بسته به دسترسی کربن و نیتروژن، تولید پراکنده برگ می‌تواند تا رسیدگی ادامه پیدا کند (۲۰). برعکس، در گیاه رشد محدود مثل گندم (*Triticum aestivum* L.)، دوره تولید برگ مؤثر در ساقه اصلی هم‌زمان با کامل شدن برگ پرچم خاتمه می‌یابد و در کل گیاه نیز معمولاً دوره رشد مؤثر برگ در پنجه‌ها تا زمان خوشه‌دهی ادامه می‌یابد (۱۸). در بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) مشاهده گردید که سرعت ظهور گره بین دماهای ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد

به صورت خطی افزایش می‌یابد (۱۱). در تمامی ژنوتیپ‌های لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) با افزایش میانگین دما سرعت ظهور برگ در ساقه اصلی بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین سرعت ظهور برگ بر روی ارقام مختلف نخودفرنگی (*Pisum Sativum* L.) (۸) و نخود (۱۷) در مقابل دما به صورت خطی افزایش یافت.

رشد برگ با پیری خاتمه می‌یابد. علت پیری برگ‌ها، فرآیندهای زیست‌شناختی طبیعی پیری است اما تأثیر کمبود آب و عناصر غذایی، حرارت بالای درون تاج‌پوشش، حمله آفات و بیماری‌ها یا خسارات فیزیولوژیکی نیز به‌طور محسوسه طول برگ را کاهش داده و باعث پیری می‌شوند. هم‌چنین تفاوت‌های ژنتیکی مرتبط با پیری در ژنوتیپ‌های مختلف بعضی از گیاهان گزارش شده است. محیط‌های با نور کم سبب سایه‌اندازی و عدم تحرک نیتروژن از برگ‌ها به دانه‌های در حال رشد شده که با پیری برگ‌ها مرتبط است (۱۵). تنش رطوبتی، دمای بالای درون تاج‌پوشش و شروع پرشدن دانه باعث تسریع پیری برگ‌ها می‌شود. شروع مرحله پیری معمولاً در شروع پرشدن دانه اتفاق می‌افتد که این امر می‌تواند به علت انتقال نیتروژن از برگ به سمت دانه باشد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به علت وجود نیتروژن اندک در برگ‌ها، پدیده پیری تقریباً در همه

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش عوامل مورد بررسی شامل تاریخ کاشت با دو سطح (۱۷ فروردین و ۶ اردیبهشت) و تراکم با چهار سطح (۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع) بودند. کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۲×۴ متر و حاوی شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. خاک مزرعه موردنظر دارای بافت لومی بود. آماده‌سازی زمین شامل یک مرحله شخم عمیق در زمستان به وسیله گاوآهن برگردان‌دار و یک مرحله دیسک در بهار، قبل از کاشت بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک محل آزمایش، کودهای فسفاته و پتاسه از هر کدام ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت استفاده شد (جدول ۱). عمق کاشت در حدود چهار سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مرحله چهار تا شش برگی، برای رسیدن به تراکم مطلوب، عمل تنک کردن بوته‌ها انجام شد. آبیاری به صورت کرتی و مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی صورت گرفت. با توجه به نتایج تجزیه خاک محل آزمایش (جدول ۱)، مقدار ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بعد از کاشت در دو نوبت شروع ساقه‌دهی و آغاز طبق‌بندی به صورت سرک مصرف گردید.

پس از سبز شدن بوته‌ها تا پایان فصل رشد به فاصله زمانی هر ۱۰ روز یک‌بار، هفت بوته از هر کرت (پس از حذف اثر حاشیه‌ای) با حفظ تراکم بوته انتخاب و سطح برگ آن‌ها به وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج مدل دلتا تی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هم‌چنین از ابتدای فصل رشد تا پایان مرحله گلدهی، هر ۳-۷ روز یک‌بار، بسته به شرایط دمایی محیط و سرعت رشد گیاه، تعداد برگ سبز و گره تولید شده روی ساقه اصلی، تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی و هم‌چنین تعداد کل برگ زرد روی بوته شمارش و ثبت گردید.

برگ‌های گیاه مشاهده می‌شود (۱۷ و ۱۸). سرعت پیری گره روی ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد تجمعی در لپه هندی (*Cajanus cajan* L.) نشان داد که بعد از گلدهی ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد روز برای پیری هر برگ لازم بود و با پیر شدن هر گره در ساقه اصلی، ۰/۰۳ از کل تعداد برگ‌ها در گیاه پیر شدند (۱۶).

امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد تحت شرایط مختلف محیطی روبه افزایش است. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی مجموعه‌ای از معادلات ریاضی (معمولاً معادلات جبری یا دیفرانسیل) هستند که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و یک سامانه را توصیف می‌کنند. برای اجرای این مدل‌ها نیاز به برخی از پارامترهای گیاهی، خاکی، اقلیمی و زراعی می‌باشد. از جمله متغیرهای گیاهی مورد نیاز، متغیرهای مربوط به تولید و پیری سطح برگ می‌باشد (۱۸). با توجه این که هیچ‌گونه پژوهشی در مورد تخمین خصوصیات تولید و پیری برگ در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) وجود نداشت، بنابراین پژوهش حاضر جهت تعیین صفات فوق در شرایط تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف کاشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در فاصله زمانی اسفندماه ۱۳۹۰ تا شهریورماه ۱۳۹۱ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و با ارتفاع ۱۴۶۹ متر از سطح دریا اجرا گردید. در این پژوهش از بذر گلرنگ توده محلی اصفهان استفاده گردید.

که در آن، LAI شاخص سطح برگ، t زمان، LAI_{max} حداکثر شاخص سطح برگ، T_b زمان شروع رشد برگ، T_o زمان رسیدن تا حداکثر شاخص سطح برگ، T_c زمان تا پایان رشد سطح برگ و α ضریب ثابت می‌باشد.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از تجزیه واریانس و روش رگرسیون خطی و غیرخطی از طریق نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل شدند. در این مطالعه روند تغییرات شاخص سطح برگ به وسیله مدل بتا توصیف گردید (۶):

$$LAI = LAI_{max} \left(\left(\frac{t - T_b}{T_o - T_b} \right) \left(\frac{T_c - T}{T_c - T_o} \right) \frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right)^\alpha \quad (1)$$

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physical and chemical properties of soil in experimental site.

سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	کربن آلی OC (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	هدایت الکتریکی EC ($\mu\text{mhos.cm}^{-1}$)	اسیدیته pH
40	17	43	0.22	292.6	2.61	0.03	4	7.3

تغییرات تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی در برابر درجه روز رشد به وسیله مدل نمایی و خطی توصیف گردید. روند تغییرات تعداد کل برگ زرد نسبت به درجه روز رشد نیز در هر دو تاریخ کاشت به وسیله مدل نمایی توصیف شد.

تغییرات تعداد برگ در مقابل درجه روز رشد (GDD) نیز با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای توصیف شد:

$$Y = a + bx \quad \text{if} \quad x < x_0$$

$$Y = a + bx_0 \quad \text{if} \quad x \geq x_0 \quad (2)$$

نتایج و بحث

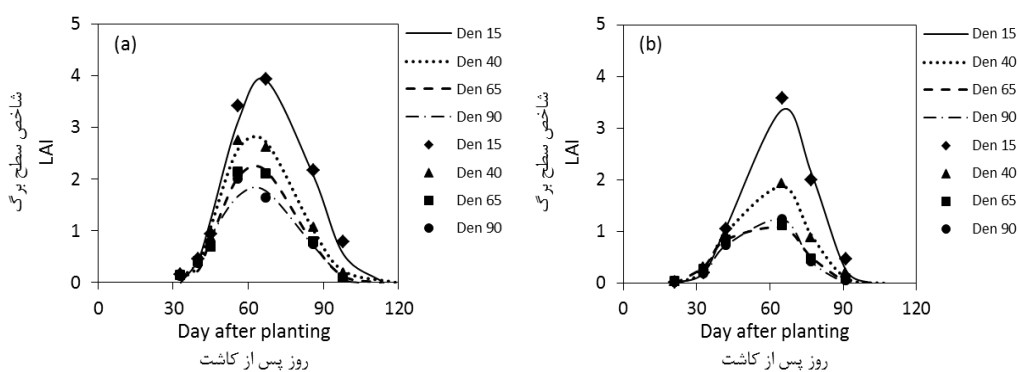
روند تغییرات شاخص سطح برگ: شکل ۱ روند تغییرات شاخص سطح برگ در تراکم‌ها و تاریخ کاشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. گلرنگ در اوایل رشد، سطح برگ کمی داشته و در زمان گلدهی به حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد و سپس به دلیل سایه‌اندازی، پیری و ریزش برگ‌ها شاخص سطح برگ سیر نزولی می‌گیرد. با این وجود بررسی دقیق‌تر روند تغییرات شاخص سطح برگ از طریق ضرایب مدل، اختلافاتی را در بین تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد.

که در آن، a و b ضرایب معادله و x_0 پایان تولید برگ می‌باشد. برای محاسبه GDD از روش زیر استفاده شد:

$$GDD = T_{avg} - T_b \quad (3)$$

که در آن، T_{avg} متوسط دمای هوا و T_b دمای پایه برای نمو می‌باشد که ۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (۲۲).

روند تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد برگ به وسیله مدل نمایی توصیف شد. هم‌چنین روند



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در گلرنگ در تراکم‌های مختلف (Den) در تاریخ کاشت اول (a) و دوم (b).
Fig. 1. Changes of LAI of safflower in different densities (Den) in the first (a) and second (b) planting dates.

و برون‌بوته‌ای و در نتیجه کاهش تعداد شاخه فرعی در هر بوته، سطح برگ تک‌بوته کاهش می‌یابد. هم‌چنین به‌دلیل سایه‌اندازی بیش‌تر در تراکم‌های بالاتر و ایجاد محدودیت از نظر جذب آب، مواد غذایی خاک و نور، از میزان شاخص سطح برگ سایه‌انداز گیاهی کاسته می‌شود. احسان‌زاده و زارعیان بغدادآبادی (۲۰۰۳) مشاهده کردند که با افزایش تراکم در گیاه گلرنگ، شاخص سطح برگ تغییرات زیادی نشان نداد (۵). هم‌چنین احسان‌زاده (۱۹۹۸) برای شرایط دیم مرکز کانادا عدم تغییر شاخص سطح برگ در تراکم‌های مختلف را گزارش کرده است (۴). اما نتایج متناقضی در این زمینه بر روی گیاهان مختلف گزارش شده است. به‌عنوان مثال پورهادیان و زاهدی (۲۰۱۱) نشان دادند در دو تراکم ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع گلرنگ با افزایش تراکم بوته، شاخص سطح برگ افزایش معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که شاخص سطح برگ از ۳/۰۹ در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به ۳/۲۷ در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع رسید. آن‌ها بیان نمودند که با افزایش تراکم بوته، با وجود ایجاد رقابت به‌دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح، تعداد برگ در واحد سطح افزایش یافته و این امر منجر به افزایش شاخص سطح برگ می‌گردد و در اواخر دوره رشد به‌دلیل در سایه قرار گرفتن و ریزش سریع‌تر برگ‌ها در اثر نرسیدن نور شاخص سطح برگ هر دو تیمار به هم نزدیک شدند (۱۴).

نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد در تاریخ کاشت اول از لحاظ شاخص سطح برگ حداکثر (LAI_{max}) در بین تراکم ۱۵ بوته در مترمربع با تراکم‌های ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع و هم‌چنین بین تراکم ۴۰ بوته در مترمربع با تراکم ۹۰ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). شاخص سطح برگ حداکثر در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع حدود ۳/۹۱ بود و با افزایش تراکم مقدار آن کاهش یافت. شاخص سطح برگ حداکثر در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع حدود ۴۶ درصد نسبت به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع کاهش نشان داد (جدول ۲). در تاریخ کاشت دوم شاخص سطح برگ حداکثر (LAI_{max}) در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع با تراکم‌های ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری داشت. بیش‌ترین شاخص سطح برگ در این تاریخ کاشت نیز مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و به‌میزان ۳/۳۷ و کم‌ترین آن مربوط به تراکم ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع بود که نسبت به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع حدود ۳۷ تا ۴۳ درصد کاهش یافت (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد در هر دو تاریخ کاشت، تراکم ۱۵ بوته در مترمربع دارای بیش‌ترین شاخص سطح برگ می‌باشد و اختلاف نسبتاً زیادی با سایر تراکم‌ها دارد. هم‌چنین با افزایش تراکم از شاخص سطح برگ حداکثر کاسته شد. با افزایش تراکم بوته به‌دلیل افزایش رقابت درون

جدول ۲- تخمین متغیرهای مدل بتا (حدود اطمینان ۹۵٪) شامل حداکثر شاخص سطح برگ (LAI_{max})، زمان شروع رشد برگ (T_b)، زمان رسیدن تا حداکثر شاخص سطح برگ (T_o)، زمان تا پایان رشد سطح برگ (T_c) و ضریب ثابت (α) برای تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف در گلرنگ. پارامترهای داخل پرانتز ثابت در نظر گرفته شده‌اند. CI حدود اطمینان ۹۵ درصد برای تخمین برآورد است.

Table 2. Parameters estimation (95% confidence limits) of the beta model including maximum leaf area index (LAI_{max}), time to beginning of the leaf growth (T_b), time to the maximum leaf area index (T_o), time to end of the leaf area growth (T_c) and constant factor (α) for different densities and sowings dates in safflower. Parameters in the parenthesis are fixed. CI is 95% confidence limits for parameter estimation.

RMSE	R ²	α	T_c (CI)	T_o (CI)	T_b (CI)	LAI_{max} (CI)	تراکم Density	تاریخ کاشت Planting date
0.297	0.99	(2.3)	113.8(67.59; 160)	66.8 (60.28 ; 73.43)	33 (24.28; 41.71)	3.91 (3.13; 4.68)	15	
0.187	0.99	(2)	118.6 (70.07; 167.1)	62.3 (57.72 ; 66.98)	35.7 (32.69; 38.71)	2.83 (2.38; 3.29)	40	اول
0.149	0.99	(2)	112.5 (73.29; 151.8)	62.5 (57.84; 67.21)	35.6 (32.41; 38.88)	2.25 (1.88; 2.61)	65	First
0.229	0.98	(1.7)	104.2 (54.07; 154.4)	62.9 (51.93; 73.87)	33 (20.83; 45.16)	1.81 (1.26; 2.37)	90	
0.237	0.99	(3.8)	101.4 (53.14 ; 149.6)	63.2 (54.08; 72.39)	21 (-1.03; 43.03)	3.37 (2.26; 4.49)	15	
0.091	0.99	(3.8)	107.8 (49.73; 165.8)	58.5 (52.72; 64.41)	20.4 (4.75; 36.15)	2.06 (1.49; 2.63)	40	دوم
0.073	0.99	(2.5)	98.5 (55.13; 142.1)	55.7 (49.47; 61.98)	21 (6.27; 35.72)	1.26 (0.85; 1.66)	65	Second
0.042	0.99	(3.4)	91.6 (68.61; 114.6)	57.4 (53.27; 61.55)	20.7 (9.24; 32.32)	1.45 (1.14; 1.75)	90	

جدول ۳- تخمین متغیرهای (حدود اطمینان ۹۵٪) مدل دوتکه‌ای توصیف‌کننده روند تغییرات تعداد برگ نسبت به درجه روز رشد گلرنگ در تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف. b سرعت تولید برگ و x_0 پایان تولید برگ می‌باشد. CI حدود اطمینان ۹۵ درصد برای تخمین برآورد است.

Table 3. Parameters estimation (95% confidence limits) of the segmented model describing the trend of the number of leaf against the growing degree days for different densities and planting dates in safflower. b is leaf production rate and x_0 is leaf production termination. CI is 95% confidence limits for parameter estimation.

RMSE	R ²	x_0 (CI)	b (CI)	a (CI)	تراکم بوته Plant density	تاریخ کاشت Planting date
2.12	0.98	1356.3 (1244.6; 1468)	0.049 (0.041; 0.055)	-25.6 (-32.06; -19.19)	15	
2.20	0.98	1349.0 (1229.9; 1468)	0.047 (0.039; 0.054)	-25.5 (-32.18; -18.74)	40	اول
1.60	0.98	1395.4 (1229.9; 1468)	0.042 (0.036; 0.047)	-22.2 (-27.12; -17.34)	65	First
2.05	0.98	1383.4 (1252.8; 1514.1)	0.041 (0.034; 0.048)	-22.5 (-28.79; -16.28)	90	
1.89	0.98	1300.3 (1170.3; 1430.2)	0.040 (0.033; 0.047)	-19.3 (-25.38; -13.31)	15	
1.83	0.98	1383.7 (1234.2; 1533.2)	0.037 (0.029; 0.043)	-17.3 (-23.12; -11.41)	40	دوم
1.27	0.99	1305.2 (1205.4; 1404.9)	0.035 (0.030; 0.040)	-16.2 (-20.27; -12.16)	65	Second
1.92	0.97	1380.1 (1206.6; 1553.6)	0.033 (0.025; 0.040)	-15.4 (-21.56; -9.25)	90	

روز متغیر بود (جدول ۲). هم‌چنین نتایج نشان داد از لحاظ زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر (T_o) بین تراکم‌های مختلف هر دو تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و مقدار آن در تاریخ کاشت اول بین ۶۲/۳ تا ۶۶/۸ روز و در تاریخ

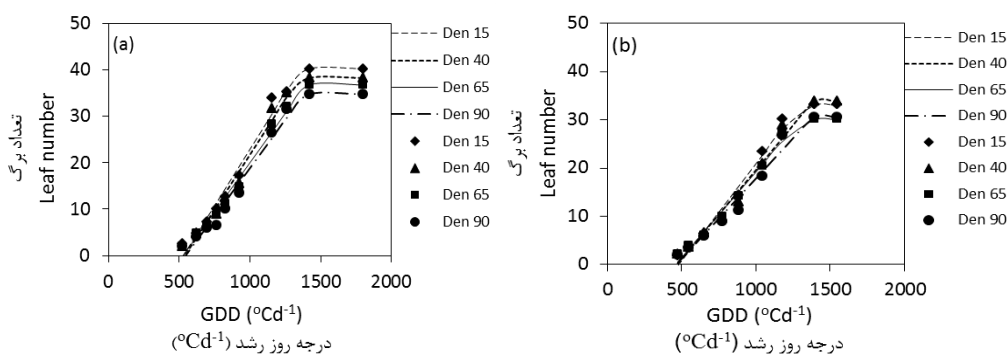
نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد زمان شروع رشد برگ (T_b) در بین تراکم‌های مختلف بوته در هر یک از تاریخ کاشت‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و مقدار آن در تاریخ کاشت اول بین ۲۱ تا ۳۳ و در تاریخ کاشت دوم بین ۲۰/۴ تا ۳۵/۷

مقدار آن روند کاهشی را نشان داد. مقدار T_c در تاریخ کاشت اول بین ۱۰۴/۲ تا ۱۱۸/۶ روز و در تاریخ کاشت دوم بین ۹۱/۶ تا ۱۰۷/۸ روز متغیر بود (جدول ۲).

تولید برگ: تغییرات تعداد برگ در مقابل درجه روز رشد با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی دوتکه‌ای توصیف شد. مدل دوتکه‌ای حاوی دو خط متقاطع است که شیب خط (b) در تکه اول نشان‌دهنده سرعت تولید برگ و خط افقی نشان‌دهنده حداکثر تعداد برگ می‌باشد (شکل ۲). نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که با افزایش درجه روز رشد در هر دو تاریخ کاشت اول و دوم تعداد برگ به صورت خطی افزایش یافت (شکل ۲) ولی اختلاف معنی‌داری بین تراکم‌های مختلف این دو تاریخ کاشت از نظر سرعت تولید برگ (b؛ تعداد برگ بر درجه سانتی‌گراد بر روز) وجود نداشت (جدول ۳). هم‌چنین نتایج نشان داد که تولید برگ حقیقی در تاریخ کاشت اول در تراکم‌های مختلف بوته تقریباً با دریافت ۵۲۲/۴ تا ۵۴۸/۸ درجه سانتی‌گراد بر روز و در تاریخ کاشت دوم تقریباً با دریافت ۴۶۲/۸ تا ۴۸۲/۵ درجه سانتی‌گراد بر روز شروع شد (شکل ۲).

کاشت دوم بین ۵۵/۷ تا ۶۳/۲ روز متغیر بود (جدول ۲). میزان شاخص سطح برگ در مراحل اولیه رشد گیاه به دلیل تعداد کم برگ، کوچک بودن برگ‌ها و کامل نبودن پوشش گیاهی، کم است ولی به تدریج با رشد و افزایش برگ‌های گیاه شاخص سطح برگ افزایش یافته تا به حداکثر خود می‌رسد که این مدت زمان تا رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر در تراکم‌های بالاتر به علت تداخل و رقابت درون و برون‌بوته‌ای معمولاً زودتر اتفاق می‌افتد و مدت زمان کم‌تری نیز در این حالت باقی می‌ماند. هم‌چنین در شرایطی که تراکم گیاهی بالا باشد سایه‌اندازی برگ‌ها در تراکم‌های بالاتر سبب تسریع پیری برگ‌های پایین و ریزش سریع‌تر آن‌ها می‌شود. این نتایج با نتایج احمدی و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت می‌نماید (۱). استین‌موس و نوریس (۲۰۰۲) گزارش کردند حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم‌های پایین اگرچه دیرتر به حد نهایی می‌رسد ولی مقدار آن از تراکم‌های بالا بیش‌تر است (۲۱).

نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که هر چند از نظر صفت زمان تا پایان رشد سطح برگ (T_c) در بین تراکم‌های مختلف هر یک از تاریخ کاشت اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ولی با افزایش تراکم

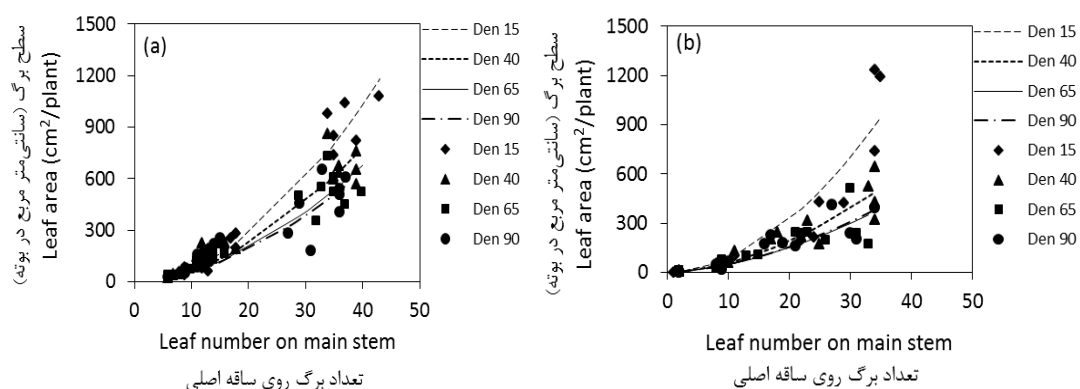


شکل ۲- تغییرات تعداد برگ نسبت به درجه روز رشد در گلرنگ در تراکم‌های مختلف (Den) در تاریخ کاشت اول (a) و دوم (b).
 Fig. 2. Changes of leaf number of safflower in different densities (Den) in the first (a) and second (b) planting dates.

تولید گره را تعیین می‌کنند و سرعت تولید گره در طی این دوره در درجه نخست به‌وسیله دما و پس از آن توسط دسترسی به مواد فتوسنتزی برای رشد برگ تعیین می‌شود (۲۰). محمدنژاد (۲۰۰۴) در گیاه نخود مشاهده کرد که در بین تراکم‌های کاشت از نظر سرعت ظهور و حداکثر تعداد گره و پایان تولید گره اختلاف قابل‌توجهی وجود نداشت (۱۲). هم‌چنین تأخیر در کاشت موجب افزایش سرعت ظهور برگ و کاهش دوره مؤثر تولید برگ گردیده و از تعداد نهایی برگ در ساقه اصلی کاسته شد (۲).

نتایج برازش معادله رگرسیون غیرخطی بر داده‌های سطح برگ در مقابل تعداد برگ نشان داد که با افزایش تعداد برگ، سطح برگ نیز به‌صورت توانی افزایش می‌یابد (شکل ۳).

از نظر زمان پایان تولید برگ (x_0) نیز در بین تراکم‌های مختلف هر دو تاریخ کاشت اول و دوم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در تاریخ کاشت اول پس از گذشت ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۵ درجه سانتی‌گراد بر روز و در تاریخ کاشت دوم پس از گذشت ۱۳۰۰ تا ۱۳۸۴ درجه سانتی‌گراد بر روز تولید برگ در آن‌ها پایان یافت (جدول ۳). قابل‌دسترس بودن مواد پرورده می‌تواند بر ظهور گره و تولید برگ تأثیر بگذارد. از دلایل دیگر افزایش تعداد برگ، بالا رفتن دمای محیط است به‌طوری‌که میانگین حداقل دما با گذشت زمان افزایش می‌یابد. کاهش در سرعت ظهور گره با افزایش بیش از حد دما می‌تواند منجر به محدودیت مواد فتوسنتزی برای رشد برگ شود. فتوپریود و دما، زمان موجود برای



شکل ۳- تغییرات سطح برگ نسبت به تعداد برگ در گلرنگ در تراکم‌های مختلف (Den) در تاریخ کاشت اول (a) و دوم (b).

Fig. 3. Changes of leaf area versus leaf number on main stem in safflower in different densities (Den) in the first (a) and second (b) planting dates.

توانی افزایش می‌یابد که چنین حالتی را می‌توان به شاخه‌زایی در گیاه نسبت داد (۱۸). وجود تفاوت معنی‌دار در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع نسبت به سایر تراکم‌ها را می‌توان به علت ظهور شاخه‌ها و ساقه‌های جانبی بیش‌تر و در نتیجه تولید تعداد برگ بیش‌تر نسبت داد. در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع سایه‌اندازی بوته‌ها بر روی یکدیگر کم‌تر بوده و در نتیجه به

سرعت گسترش سطح برگ (b؛ سانتی‌مترمربع بر تعداد برگ) در هر دو تاریخ کاشت، به‌جز در بین تراکم ۱۵ بوته در مترمربع که با سایر تراکم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت در بین سایر تراکم‌ها اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود با افزایش تعداد برگ در تراکم‌های مختلف، سطح برگ در بوته به‌صورت

جهت عدم رقابت بوته‌ها با یکدیگر و ایجاد فضای کافی برای گیاه جهت استفاده بیش‌تر از منابع خاکی (رطوبت و مواد غذایی) و محیطی مانند نور، ظهور شاخه‌ها، ساقه‌های جانبی و نیز تعداد برگ بیش‌تر می‌گردد.

جدول ۴- تخمین متغیرها (حدود اطمینان ۹۵٪) برای مدل توانی ($y = x^b$) توصیف‌کننده روند تغییرات سطح برگ نسبت به تعداد برگ گلرنگ در تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف. CI حدود اطمینان ۹۵ درصد برای تخمین برآورد است.

Table 4. Parameters estimation (95% confidence limits) of the power model ($y = x^b$) describing the trend of the leaf area variation against the leaf number for different densities and planting dates in safflower. CI is 95% confidence limits for parameter estimation.

RMSE	R ²	b (CI)	تراکم بوته Density	تاریخ کاشت Planting date
87.26	0.98	1.88 (1.85; 1.90)	15	
90.70	0.96	1.80 (1.77; 1.83)	40	اول
87.79	0.94	1.77 (1.73; 1.80)	65	First
94.63	0.91	1.75 (1.71; 1.79)	90	
161.07	0.90	1.93 (1.87; 1.97)	15	
81.03	0.92	1.75 (1.70; 1.80)	40	دوم
84.37	0.83	1.67 (1.59; 1.75)	65	Second
63.91	0.89	1.68 (1.62; 1.74)	90	

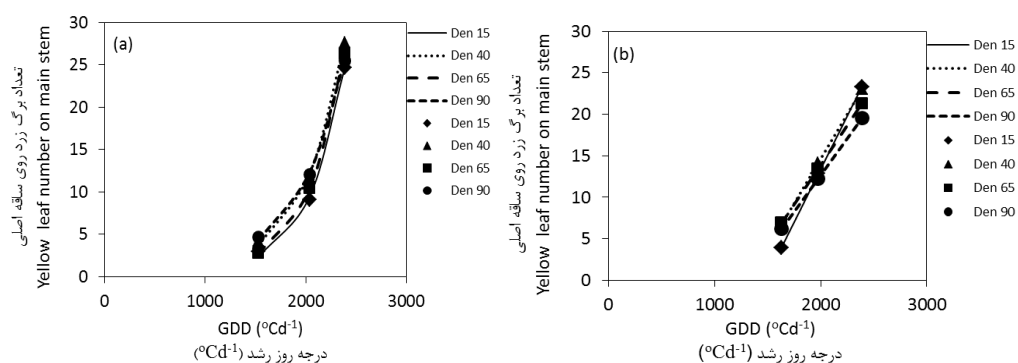
جدول ۵- تخمین متغیرها (خطای معیار) برای مدل‌های توصیف‌کننده روند تغییرات تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی نسبت به درجه روز رشد در تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف در گلرنگ. در تاریخ کاشت اول مدل نمایی و تاریخ کاشت دوم مدل خطی استفاده شده است.

Table 5. Parameters estimation (SE) for models describing the trend of the number of yellow leaves on the main stem ratio against the GDD in different densities and planting dates in safflower. The exponential and linear model was used in the first and second planting dates, respectively.

RMSE	R ²	b±SE	a±SE	تراکم Density	تاریخ کاشت Planting date
0.769	0.99	0.0027±0.0002	0.035±0.017	15	
0.707	0.99	0.0023±0.0001	0.103±0.035	40	اول
0.114	0.99	0.0027±0.00003	0.046±0.003	65	First
0.480	0.99	0.0021±0.00009	0.178±0.039	90	
0.070	0.99	0.0256±0.00013	-37.79±0.266	15	
0.175	0.99	0.0215±0.00033	-28.38±0.665	40	دوم
0.017	1.00	0.0190±0.000033	-24.20±0.066	65	Second
0.075	0.99	0.0177±0.00014	-22.66±0.284	90	

پیری برگ: نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که با افزایش درجه روز رشد در تاریخ کاشت اول تعداد برگ زرد در ساقه اصلی به صورت نمایی افزایش یافت (شکل ۴) که این حالت افزایشی (ضریب b) در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع با تراکم‌های ۱۵ و ۶۵ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری با آن‌ها داشت ولی در بین سایر تراکم‌ها اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۵).

مشابه این نتایج در پژوهش‌های دراگوویچ و همکاران (۱۹۹۶) بر روی چغندر قند (*Beta vulgaris L.*) نیز آمده است (۳). سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) در گیاه نخود مشاهده کردند که با افزایش تعداد گره، سطح برگ نیز افزایش می‌یابد و این حالت افزایشی در بین تمامی تراکم‌های مختلف بوته دارای اختلاف معنی‌داری بود (۲۰). رانگاناتان و همکاران (۲۰۰۱) نیز در گیاه لپه هندی (۱) و تورپین و همکاران (۲۰۰۲) بر روی باقلا (*Vicia faba L.*) مشاهده کردند که گیاه در تراکم بوته بیش‌تر برگ‌های کم‌تری دارد (۱۶ و ۲۳).



شکل ۴- روند تغییرات تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی نسبت به درجه روز رشد در گلرنگ در تراکم‌های مختلف (Den) در تاریخ کاشت اول (a) و دوم (b).

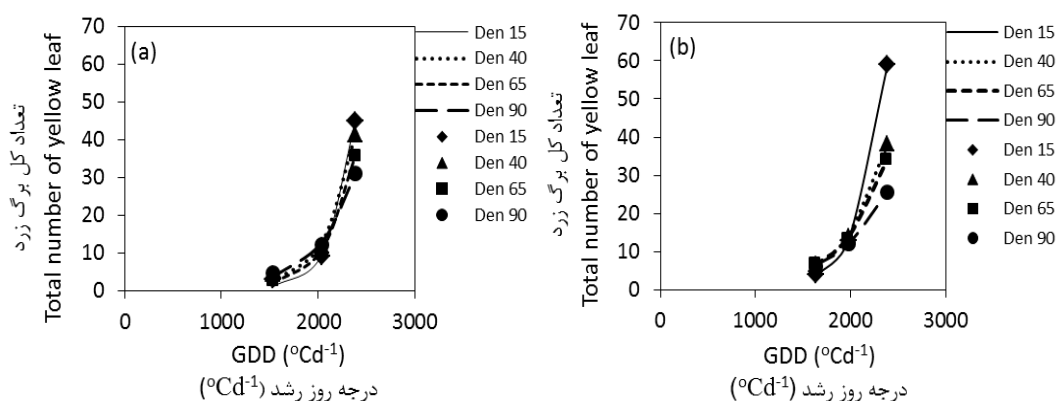
Fig. 4. Changes of yellow leaf number on main stem in safflower in different densities (Den) in the first (a) and second (b) planting dates.

مترمربع بود (جدول ۵). هم‌چنین نتایج نشان داد که شروع تولید برگ زرد روی ساقه اصلی (زوال برگ) در تاریخ کاشت اول در تراکم‌های مختلف پس از دریافت ۱۴۳۹ تا ۱۵۱۰ درجه سانتی‌گراد در روز شروع شد (شکل ۴). این در حالی است که شروع تولید برگ زرد روی ساقه اصلی در تاریخ کاشت دوم در تراکم مختلف بوته با دریافت ۱۲۷۳/۷ تا ۱۴۷۶/۲ درجه سانتی‌گراد در روز شروع گردید (شکل ۴). با افزایش تراکم، شروع زوال برگ در ساقه اصلی زودتر آغاز می‌گردد. پیری زودتر برگ‌ها در تراکم‌های کاشت بالا را می‌توان به رقابت درون گیاهی و

شیب افزایش تعداد برگ زرد (سرعت زوال برگ، تعداد برگ بر درجه سانتی‌گراد بر روز) در تراکم‌های ۱۵ و ۶۵ بوته در مترمربع ۰/۰۰۲۷ و در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع برابر با ۰/۰۰۲۱ بود (جدول ۵). در تاریخ کاشت دوم تعداد برگ زرد روی ساقه اصلی به صورت خطی افزایش یافت (شکل ۴) که در این تاریخ کاشت بین تراکم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). بیش‌ترین مقدار شیب افزایش تعداد برگ زرد در این تاریخ کاشت با ۰/۰۲۵۶ مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و کم‌ترین آن با ۰/۰۱۷۷ مربوط به تراکم ۹۰ بوته در

اول به صورت نمایی افزایش یافت که این حالت افزایشی (ضریب b) در بین تراکم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۵، جدول ۶) و بالاترین شیب افزایش تعداد کل برگ زرد (سرعت زوال برگ، تعداد برگ بر درجه سانتی‌گراد بر روز) در تراکم‌های مختلف مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و به میزان $۰/۰۰۴۵$ و کم‌ترین شیب افزایش مربوط به تراکم ۹۰ بوته در مترمربع و به میزان $۰/۰۰۲۵$ بود (جدول ۶). در تاریخ کاشت دوم با افزایش درجه روز رشد، تعداد کل برگ زرد به صورت نمایی افزایش یافت و به جز بین تراکم ۱۵ و ۹۰ بوته در مترمربع که بین آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت در بین سایر تراکم‌های کاشت اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۵، جدول ۶) و بالاترین شیب افزایش تعداد کل برگ زرد مربوط به تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و به میزان $۰/۰۰۳۷$ و کم‌ترین آن مربوط به تراکم ۹۰ بوته در مترمربع و به میزان $۰/۰۰۱۸$ بود.

سایه‌اندازی بیش‌تر نسبت داد. محمدنژاد و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی زوال برگ در ساقه اصلی نخود مشاهده کردند که از نظر سرعت زوال برگ در ساقه اصلی در بین تاریخ کاشت‌ها و تراکم‌های مختلف بوته اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت ولی از نظر شروع زوال برگ در ساقه اصلی بین تراکم‌های مختلف کاشت اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای وجود داشت (۱۳). رائگانانان و همکاران (۲۰۰۱) نیز در گیاه لپه هندی بین تراکم‌های کاشت ۴ و ۳۳ بوته در مترمربع اختلافی در سرعت زوال برگ در برابر حرارت تجمعی مشاهده نکردند اما از نظر شروع زوال برگ در ساقه اصلی بین تراکم‌های کاشت اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای وجود داشت (۱۶). محمدنژاد (۲۰۰۴) در گیاه نخود مشاهده کرد که با افزایش تراکم زوال برگ در ساقه اصلی زودتر آغاز گردید. وی پیری زودتر برگ‌ها در تراکم‌های کاشت بالا را به رقابت درون گیاهی و سایه‌اندازی بیش‌تر نسبت داد (۱۲). نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد که با افزایش درجه روز رشد، تعداد کل برگ زرد در تاریخ کاشت



شکل ۵- روند تغییرات تعداد کل برگ زرد نسبت به درجه روز رشد در گلرنگ در تراکم‌های مختلف (Den) در تاریخ کاشت اول (a) و دوم (b).

Fig. 5. Changes of total yellow leaf number in safflower in different densities (Den) in the first (a) and second (b) planting dates.

محمدنژاد (۲۰۰۴) نیز در گیاه نخود مشاهده کرد که از نظر کسر برگ‌های پیر شده در بوته در برابر کسر برگ‌های پیرشده در ساقه اصلی در بین تاریخ‌های کاشت و تراکم‌های مختلف بوته اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد (۱۲). مداح‌یزدی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر روی گیاه گندم و نخود مشاهده کردند که زمان شروع زرد شدن برگ‌ها در گندم رقم زاگرس و تجن به ترتیب برابر با ۶۷۵ و ۷۰۰ درجه روز رشد و در نخود رقم هاشم و آرمان به ترتیب برابر با ۹۲۳ و ۱۰۰۲ درجه روز رشد می‌باشد (۱۰).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که در تراکم پایین‌تر میزان شاخص سطح برگ حداکثر بیش‌تر خواهد بود در حالی که طول دوره رشد شاخص سطح برگ در همه تراکم‌ها تقریباً یکسان بود. در تراکم پایین‌تر بوته با افزایش تعداد برگ، سطح برگ بوته به مقدار بیش‌تر افزایش یافت که علت این اختلاف به احتمال زیاد به شاخه‌زایی بیش‌تر در تراکم پایین‌تر نسبت داده می‌شود. هم‌چنین نتایج نشان داد که در تراکم بالاتر بوته سرعت پیری برگ روی ساقه اصلی و نیز کل بوته کم‌تر بود، اما این در حالی است که شروع پیری در تراکم‌های بالاتر به احتمال زیاد به علت افزایش رقابت درون‌بوته‌ای زودتر اتفاق افتاد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که استفاده از تراکم پایین‌تر می‌تواند منجر به افزایش دریافت تشعشع گردد. نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌تواند در مدل‌های گیاهان زراعی جهت انجام شبیه‌سازی رشد و عملکرد مورد استفاده قرار گیرد.

هم‌چنین شیب افزایش تعداد کل برگ زرد در تراکم ۴۰ و ۶۵ بوته در مترمربع نیز به ترتیب ۰/۰۰۲۴ و ۰/۰۰۲۲ بود (جدول ۶). هم‌چنین نتایج نشان داد که زمان شروع برگ زرد کل بوته (زوال برگ) در تاریخ کاشت اول در تراکم‌های ۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع به ترتیب پس از دریافت ۱۵۵۰، ۱۵۱۸، ۱۵۳۵ و ۱۴۹۳ درجه روز رشد شروع شد (شکل ۵). زمان شروع تولید برگ زرد کل بوته در تاریخ کاشت دوم در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع پس از دریافت ۱۶۰۰ درجه روز رشد، در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع پس از دریافت ۱۵۶۰ درجه روز رشد، در تراکم ۶۵ بوته در مترمربع پس از دریافت ۱۵۴۲ درجه روز رشد و در تراکم ۹۰ بوته در مترمربع پس از دریافت ۱۵۴۰ درجه روز رشد شروع گردید (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در هر دو تاریخ کاشت با افزایش درجه روز رشد، تعداد کل برگ زرد در مراحل اولیه رشد با سرعت کندتر و بعد از آن با سرعت تندتری افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که زوال برگ در گیاه گل‌رنگ در ارتباط با زوال برگ در ساقه اصلی است. در مطالعه سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی کسر برگ‌های پیر در بوته در مقابل کسر برگ‌های پیر روی ساقه اصلی در گیاه نخود مشاهده کردند که بین تاریخ کاشت‌ها و تراکم‌های کاشت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (۲۰). هم‌چنین سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) و لیتلون و همکاران (۱۹۷۹) در گیاهان نخود و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تاریخ‌های مختلف کاشت مشاهده کردند که زوال تجمعی برگ در بوته یک دوره با شیب کند (به‌علت مرگ برگ‌های پائینی) و دوره‌ای با شیب تند داشته است (۹ و ۲۰).

جدول ۶- تخمین متغیرها (حدود اطمینان ۹۵٪) برای مدل نمایی توصیف‌کننده روند تغییرات تعداد کل برگ زرد نسبت به درجه روز رشد در تراکم و تاریخ کاشت‌های مختلف در گلرنگ. CI حدود اطمینان ۹۵ درصد برای تخمین برآورد است.

Table 6. Parameters estimation (95% confidence limits) for the exponential model describing the trend of total yellow leaf number against growing degree days in different densities and planting dates in safflower. CI is 95% confidence limits for parameter estimation.

RMSE	R ²	b (CI)	a (CI)	تراکم Density	تاریخ کاشت Planting date
2.072	0.99	0.0045 (-0.0033; 0.012)	0.001 (-0.01; 0.02)	15	
2.221	0.99	0.0034 (-0.0027; 0.009)	0.012 (-0.16; 0.18)	40	اول
1.025	0.99	0.0035 (0.0001; 0.007)	0.009 (-0.06; 0.08)	65	First
1.366	0.99	0.0025 (-0.009; 0.006)	0.073 (-0.52; 0.66)	90	
0.323	0.99	0.0037 (0.0029; 0.004)	0.009 (-0.005; 0.02)	15	
0.604	0.99	0.0024 (0.0012; 0.003)	0.131 (-0.19; 0.46)	40	دوم
0.583	0.99	0.0022(0.0011; 0.003)	0.177 (-0.26; 0.61)	65	Second
0.238	0.99	0.0018 (0.0013; 0.002)	0.314 (-0.04; 0.66)	90	

منابع

- Ahmadi, A., Saeidi, M. and Zali, A. 2006. Drought resistance and its relation with yield, leaf area and crop growth rate during reproductive stage in bread wheat genotypes with different breeding background. *J. Agri. Sci. Nat. Res.* 12: 5. 82-91. (In Persian)
- Butler, T.J., Evers, G.W., Hussey, M.A. and Ringer, L.J. 2002. Rate of leaf appearance in crimson clover. *Crop Sci.* 42: 23-241.
- Dragovic, S., Maksimovic, L. and Karagic, D.J. 1996. Effect of stand density on formation of leaves and leaf area of sugarbeet under irrigation. *J. Sugar Beet Res.* 33: 44-52.
- Ehsanzadeh, P. 1998. Agronomic and growth characteristics of spring spelt compared to common wheat. Ph.D. Thesis. Univ. Saskatchewan, Canada.
- Ehsanzadeh, P. and Zareian-Baghdadabadi, A. 2003. Effect of plant density on yield, yield components and some growth characteristics of two safflower cultivars in Isfahan weather conditions. *J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res.* 7: 1. 129-140. (In Persian)
- Ghadiryani, R., Soltani, A., Zeinali, E., Kalateh-Arabi, M. and Bakhshandeh, E. 2002. Evaluating non-linear regression models for use in growth analysis of wheat. *J. Plant Prod.* 4: 3. 55-77. (In Persian)
- Hammer, G.L., Carberry, P.S. and Muchow, R.C. 1993. Modeling genotype and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. I. Whole plant level. *Field Crops Res.* 33: 293-310.
- Lecoecur, J. and Ney, B. 2003. Change with time in potential radiation use efficiency in field pea. *Eur. J. Agro.* 19: 91-105.
- Littleton, E.J., Dennett, M.D., Elston, J. and Monteith, J.L. 1979. The growth and development of cowpea (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions. *J. Agri. Sci. Cam.* 93: 291-307.
- Maddah-Yazdi, V., Soltani, A., Kamkar, B. and Zeinali, E. 2008. Comparative physiology of wheat and chickpea: leaves production and senescence. *J. Agri. Sci. Nat. Res.* 15: 4. 63-72. (In Persian)
- Massawe, F.J., Azam, S.N. and Roberts, A. 2005. The impact of temperature on leaf appearance in bambara groundnut landraces. *Crop Sci.* 43: 1375-1379.

12. Mohammad-Nejad, Y. 2004. Prediction of branching and leaf production and senescence in chickpea. M.Sc. Thesis, Department of Crop Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
13. Mohammad-Nejad, Y., Soltani, A., Sayedi, F. and Zamini, A. 2006. Prediction the branching and leaf emergence and senescence in chickpea Hashem cultivar. J. Agri. Sci. Nat. Res. 13: 1. 39-48.
14. Pourhadyan, H. and Zahedi, M. 2011. Effects of row spacing and plant density on developmental stages, growth indices, remobilization and grain yield of safflower. J. Crop Eco. 3: 4. 307-323. (In Persian)
15. Pourreza, J., Soltani, A., Naderi, A. and Aynehband A. 2009. Modeling leaf production and senescence in wheat. American-Eurasian J. Agric. Env. Sci. 6: 5. 498-507.
16. Ranganathan, R., Chauhan, Y.S., Flower, D.J., Robertson, M.J., Sanetra, C. and Silim, S.N. 2001. Predicting growth and development of pigeon pea: Leaf area development. Field Crops Res. 69: 163-172.
17. Singh, P. and Virmani, S.M. 1996. Modeling growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crops Res. 46: 41-59.
18. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling of the crop. JDM Press. 175p. (In Persian)
19. Soltani, A. and Galeshi, S. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. Field Crops Res. 77: 17-30.
20. Soltani, A., Robertson, M.J., Mohammad-Nejad, Y. and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Res. 99: 14-23.
21. Steinmaus, S.J. and Norris, R.F. 2002. Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated Mediterranean-type agroecosystems. Weed Sci. 50: 42-53.
22. Torabi, B., Attarzadeh, M. and Soltani, A. 2013. Germination response to temperature in different safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars. Seed Tech. 35: 27-39.
23. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S. and Herridge, D.F. 2002. Faba bean (*Vicia faba*) in Australia's northern grains belt: Canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. Aust. J. Agri. Res. 53: 227-237.