به زراعی کشاورزی
دوره ۱۵ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۲
صفحه‌های ۳۷-۲۷

تجزیه و تحلیل رشد گیاه گلرنگ با استفاده از مدل‌سازی رگرسیونی

محمدسعید حسنوندی*[۱]، مسعود رفیعی[۲]، عظیمه باقری[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز ـ ایران
۲. دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، خرم آباد ـ ایران
۳. کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد ـ ایران

تاریخ وصول مقاله: ۹۱/۸/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۹/۱۱

چکیده

تجزیه و تحلیل رشد، روش کاربردی و با ارزشی در بررسی کمی رشد، نمو و تولیدگیاهان زراعی به شمار می‌رود. به منظور مطالعهٔ اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر شاخص‌های مهم فیزیولوژیک رشد گیاه گلرنگ (رقم IL111)، آزمایشی در قالب کرت‌های خرده با طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۸۷ـ۱۳۸٦ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در شهرستان خرم‌آباد، اجرا شد. تیمارها شامل کود نیتروژن به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (N_1=۰، N_2=۷۵ و N_3=۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و تراکم بوته به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (D_1=٤۰، D_2=۵۰ و D_3=٦۰ بوته در مترمربع) بودند. به منظور بررسی دقیق‌تر از شاخص درجهٔ روز رشد برای برازش منحنی‌های شاخص رشد استفاده شد و با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای هر کدام از شاخص‌های رشد مدل مناسب انتخاب شد. نتایج بررسی شاخص‌های رشد نشان داد کاربرد نیتروژن سبب افزایش شاخص‌هایی نظیر سطح برگ، تجمع مادهٔ خشک و سرعت رشد محصول شد، اما سرعت جذب خالص در آن کاهش یافت. با افزایش تراکم بوته شاخص‌هایی نظیر سطح برگ و تجمع مادهٔ خشک به علت خاصیت شاخه دهی گلرنگ دچار تغییر زیادی نشد، اما سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص در گیاه کاهش پیدا کرد.با توجه به مجموع نتایج می‌توان این‌گونه اظهار کرد که کاربرد نیتروژن در مقایسه با تغییرات تراکم بوته، اثر بیشتر و مثبت‌تری بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در گیاه گلرنگ داشته است.

کلیدواژه‌ها: تراکم بوته، رگرسیون غیرخطی، سطح برگ، شاخص‌های فیزیولوژیک رشد، نیتروژن.

* نویسنده مسئول Email: ms_hasanvandi@yahoo.com

۱. مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) گیاهی از تیرهٔ مرکبان[1] است که از دانه‌های روغنی قدیمی محسوب می‌شود. این گیاه با داشتن ریشه‌ای عمودی توانایی نفوذ به خاک را تا عمق ۲ تا ۳ متر دارد [۲]. گلرنگ عموماً در مناطق نیمه‌خشک با آب و هوای معتدل در بسیاری از مناطق دنیا رشد می‌کند و به‌عنوان روغن‌های صنعتی، ادویه و غذای پرندگان استفاده می‌شود [۲۳،۳۱]. مراحل بسیاری در متابولیسم و رشد گیاهان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم تحت تأثیر نیتروژن قرار می‌گیرند [۹]. نیتروژن یکی از مواد غذایی مهم برای رشد و توسعهٔ گلرنگ به شمار می‌رود [۲۱] و واکنش این گیاه به نیتروژن نسبت به سایر عناصر غذایی بیشتر است [۳۱]. محققان بیان داشتند که قبل از ورود گیاه به فاز زایشی کود نیتروژن تخصیص مادهٔ خشک را به اندام‌های رویشی افزایش می‌دهد و پس از آن، نیتروژن سبب تخصیص بیشتر مادهٔ خشک به اندام‌های زایشی و به‌خصوص دانه‌ها می‌شود [۲۱]. درداس و سیولاس بیان داشتند که کود نیتروژن می‌تواند عملکرد، اجزای عملکرد، بازده فتوسنتز و فیزیولوژی گلرنگ را تحت تأثیر قرار دهد [۲۱]. کاربرد نیتروژن اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش در بیشتر اجزای عملکرد در مقایسه با به‌کارنبردن نیتروژن می‌شود. به علاوه، نیتروژنی که جذب می‌شود توزیع فتوآسیمیلات‌ها را در گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۸،۲۰، ۳۳]. تناقض‌های موجود در نیاز کودی نیتروژن برای گلرنگ شاید به باقیماندهٔ نیتروژن خاک، تفاوت رقم‌هایی که استفاده شده‌اند، تفاوت شرایط آب‌وهوایی و تأثیر آبیاری بر رشد محصول و واکنش به کود نیتروژن مرتبط باشد [۲۱]. تراکم گیاهی در واحد سطح یکی از عوامل مهم ایجاد رقابت در میان گیاهان زراعی است. نحوهٔ توزیع و تراکم بوته‌ها در مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی مؤثر بر رشد تأثیر می‌گذارد و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، عملکرد دانه در واحد سطح را تعیین می‌کند [۲٤]. افزایش تراکم بوته تا رسیدن به حداکثر عملکرد در واحد سطح سبب افزایش تعداد شاخه و برگ در واحد سطح می‌شود، تاج پوشش گیاهی زودتر بسته می‌شود [۲٦] و جذب عوامل محیطی افزایش می‌یابد. زیادترشدن بهره‌وری از عوامل محیطی همراه با افزایش تعداد بوته در واحد سطح سبب افزایش وزن خشک بوته در واحد سطح [۱،۲٦] و شاخص سطح برگ [۱۵،۲٦] می‌شود. همچنین، نتایج پژوهش‌های متعدد نشان‌دهندهٔ این موضوع است که با افزایش تراکم بوته، بین گیاهان رقابت به وجود آمده است و به تغییرات مورفولوژیک در آن‌ها منجر می‌شود [٦]. در تحقیقی به منظور مطالعهٔ اثر تراکم بوته و نیتروژن بر گیاه گلرنگ بهاره مشاهده شد که با افزایش کاربرد نیتروژن و همچنین، با افزایش تراکم بوته، شاخص‌های رشد نظیر تجمع مادهٔ خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص افزایش پیدا می‌کنند. البته این در حالی است که علت اثر مثبت افزایش تراکم بر شاخص‌های رشد بهره‌وری بهتر از فضا با کاشت دوطرفه روی پشته‌ها بیان شده است [۵]. تجزیه و تحلیل رشد روش باارزشی در بررسی کمی رشد و نمو و تولیدگیاهان زراعی به شمار می‌رود و نیز روشی پرقدرت برای تخمین بلندمدت تولید خالص فتوسنتزی است [۷،۱۹]. این روش بر مبنای اندازه‌گیری متوالی وزن خشک و سطح برگ گیاه منفرد و یا پوشش‌های گیاهی استوار است [۷]. مفهوم اساسی و کاربردهای فیزیولوژیک تجزیه و تحلیل رشد در اوایل دههٔ ۱۹۰۰ معرفی شد [۱٦،۱۷]. پس از آن، به‌ویژه به‌دنبال کارهای کلاسیک واتسون، در سال‌های ۱۹٤۷ و ۱۹۵۲، از تجزیه و تحلیل رشد برای کمی‌کردن فرایندهای رشد گیاه در اروپا و کشورهای مشترک‌المنافع و سپس، در

1. Compositae

آمریکا و دیگر نقاط دنیا استفاده شد [۲۸، ۲۹، ۳۰]. در روش رگرسیونی تجزیه و تحلیل رشد، پارامترها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی محاسبه می‌شوند که بر تغییرات سطح برگ و وزن خشک یا لگاریتم آن‌ها نسبت به زمان برازش داده شده است، معادلات زیادی برای توصیف الگوهای رشد سیگموییدی پیشنهاد شده‌اند [۳۲] و معادلات جدید نیز توسعه پیدا کرده‌اند [۱٤]. هدف از اجرای این پژوهش بررسی روند شاخص‌های رشد مهم گیاه گلرنگ، تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و تراکم بوته، بود که با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مدل‌سازی شدند.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در اسفند ماه، سال زراعی ۸۷ـ۱۳۸٦ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان، واقع در کیلومتر ۱۲جادهٔ خرم‌آباد ـ اندیمشک با طول جغرافیایی ٤۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ارتفاع ۱۱۱۷ متر از سطح دریا با بارندگی سالیانه ٥۲٤ میلی‌متر و دمای متوسط سالیانه ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد، اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار به اجرا درآمد. عوامل مورد آزمون شامل کود نیتروژن به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (N_1=۰، N_2=۷۵ و N_3=۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و تراکم بوته به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (D_1=٤۰، D_2=٥۰ و D_3=٦۰ بوته در مترمربع) بود. در این آزمایش از رقم IL111 (از ارقام جدید گلرنگ) استفاده شد که از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر کرج تأمین شد. فاصلهٔ بوته‌ها روی ردیف کاشت براساس تیمارهای تراکم بوته تنظیم شد. فواصل بوته‌ها روی ردیف در تراکم‌های ٤۰، ٥۰ و ٦۰ بوته در مترمربع به ترتیب ٥، ٤ و ۳ سانتی‌متر بودند. عملیات تنک کمی قبل از مرحلهٔ به ساقه‌رفتن انجام شد. برای اجرای تیمارهای کودی از کود اوره (٤٦ درصد نیتروژن) استفاده شد که در سه مرحله (هم‌زمان با کاشت، ابتدای به ساقه‌رفتن و در مرحلهٔ گل‌دهی) و به‌صورت نواری به خاک اضافه شد. در پایان هر مرحلهٔ کوددهی بلافاصله آبیاری انجام شد. عملیات آبیاری به‌صورت جوی و پشته، هر ۷ الی ۱۰ روز یک‌بار تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک اجرا شد. کودهای فسفر و پتاسیم به میزان ٥۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به خاک اضافه شدند. نمونه‌برداری‌ها از ۳۰ روز پس از کاشت، شروع و هر ۱۲ روز یک‌بار تکرار شد که جمعاً ٦ نمونه‌برداری انجام شد. در هر نمونه‌برداری ٦ بوته از خطوط ۲، ۳ و ٤، با رعایت ۲۰ سانتی‌متر حاشیه از ابتدا، از کرت‌ها کف‌بر و داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند و سپس، خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری سطح برگ (فقط یک طرف)، سطح تمامی برگ‌های ٦ بوته مربوط به هر کرت با دستگاه سنجش سطح برگ[1] مدل WinDias اندازه‌گیری شدند و سپس، براساس تراکم‌های مربوط به هر کرت، به مترمربع تعمیم داده شدند. در ادامه به‌منظور بررسی روند تجمع مادهٔ خشک کل، برگ‌ها به همراه سایر اندام‌های هوایی گیاه درون آون الکتریکی به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و سپس، با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. پس از اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و مادهٔ خشک، سایر شاخص‌های رشد از قبیل سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شدند [۷].

۱) سرعت رشد محصول [۷]:

$$CGR=1/GA.(W_2-W_1)/(T_2-T_1)$$

۲) سرعت جذب خالص [۷]:

$$NAR=(W_2-W_1)/(T_2-T_1).(\ln LA_2-\ln LA_1)/(LA_2-LA_1)$$

1. Leaf area meter

به‌منظور بررسی دقیق‌تر و علمی‌تر شاخص‌های رشد مورد مطالعه از واحد درجهٔ روز رشد به جای فاصلهٔ زمانی برای بررسی روند شاخص‌های رشد در طی فصل رشد استفاده شد. این روش نسبت به فاصلهٔ زمانی نوسانات فصلی کمتری دارد و آن را تعدادی از محققان پیشنهاد کرده اند [٤، ٢٥، ٢٧]. درجه روزهای رشد در هر مرحله نمونه‌برداری با توجه به آمارهای هواشناسی منطقه و دماهای پایه و حداکثر و حداقل گیاه و با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

۳) درجهٔ روز رشد

$$GDD= \Sigma\, n[(T_{max}+T_{min})/2]-T_b$$

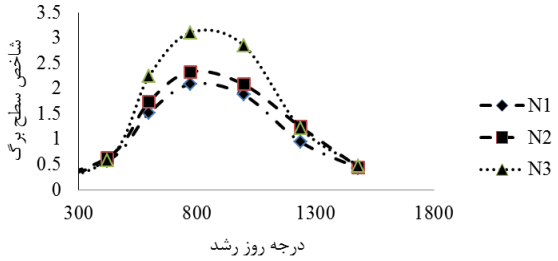
که در این رابطه GDD درجهٔ روز رشد، T_{max} حداکثر دمای شبانه‌روز، T_{min} حداقل دمای شبانه‌روز، T_b دمای پایه و n تعداد روزهای رشد است. دمای پایه برای گلرنگ ۵ درجهٔ سانتی‌گراد در نظرگرفته شد. همچنین، دمای بالاتر از ۳۵ درجه و پایین‌تر از ۵ درجه به ترتیب ۳۵ و ۵ درجهٔ سانتی‌گراد منظور شدند [۸، ۱۱، ۱۲].

شاخص‌های رشد براساس معادلهٔ رگرسیونی غیرخطی نسبت به واحد روز درجه برازش داده شدند. پس از مقایسه مدل‌های رگرسیونی غیرخطی مختلف، مدل رگرسیونی با دقت بیشتر و مطابقت بهتر با شاخص‌های رشد گیاه (مدل با R square بالاتر)، برای به‌دست‌آوردن معادلهٔ رگرسیونی انتخاب شد. از نرم‌افزار spss (نسخه ۱۹) برای برازش و به‌دست‌آوردن مدل‌های رگرسیونی استفاده شد.

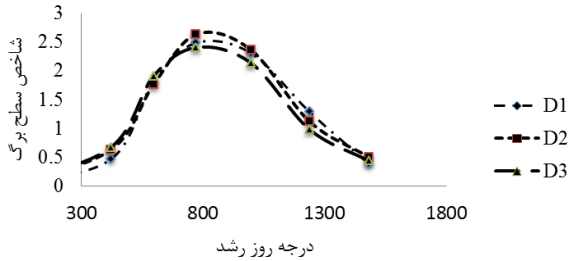
۳. نتایج و بحث

۱.۳. شاخص سطح برگ (LAI)

شاخص سطح برگ بیان‌کنندهٔ نسبت سطح برگ به سطح زمین اشغال‌شده با گیاه است. تولید محصول، وسیلهٔ عملی دریافت انرژی خورشیدی و تبدیل آن به غذا و دیگر مواد قابل استفاده است. روش‌های زراعی معمولاً، به نوعی طراحی شده‌اند تا دریافت نور را از طریق پوشش کامل سطح زمین با تغییر تراکم گیاهی و فواصل گیاهان و بالابردن سرعت گسترش برگ، حداکثر کنند [۷]. در بررسی اثر مقادیر مختلف نیتروژن بر شاخص سطح برگ، همان‌طور که از نمودار پیداست (شکل ۱)، تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در کل طول فصل رشد همواره بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داده است و اختلاف زیادی با دو تیمار دیگر دارد. بالاترین مقدار شاخص سطح برگ در این تیمار در زمان دریافت حدود ۸۰۰ درجه روز رشد با میانگین ۳/۱ بود که به‌طور تقریب مصادف با اوایل گل‌دهی در گیاه بود. معمولاً شاخص سطح برگ ۳ تا ۵ برای تولید حداکثر مادهٔ خشک در بیشتر محصولات زراعی مناسب است [۲۲]. پس از آن تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن دارای بیشترین شاخص سطح برگ بوده است و پایین‌تر از همه، تیمار عدم کاربرد نیتروژن قرار داشت. با توجه به نقش مثبت نیتروژن در افزایش رشد رویشی، نیتروژن باعث افزایش رشد برگ‌ها و افزایش سطح آن‌ها شد و در نتیجه سطح برگ نسبت به سطحی که محصول اشغال کرده است خیلی بیشتر از تیمارهایی خواهد بود که مقدار نیتروژن کمتری در آن‌ها مصرف شده است (شکل ۱). پس از بررسی اثر تراکم بوته بر شاخص سطح برگ در واحد سطح، مشاهده شد که میان تراکم‌های مختلف اختلاف چشمگیری از نظر شاخص سطح برگ وجود نداشت و نمودار آن‌ها تقریباً بر هم منطبق بودند. این نتایج نشان می‌دهد که در تراکم‌های بالا، در واحد سطح، کاهش سطح برگ در تک بوته از طریق افزایش تعداد بوته در واحد سطح جبران شده و در نتیجه اختلافی بین تراکم‌های مختلف از نظر شاخص سطح برگ به وجود نیامده است (شکل ۲).



شکل ۱. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر شاخص سطح برگ گیاه گلرنگ



شکل۲.تأثیر تراکم‌های مختلف بوته بر شاخص سطح برگ گیاه گلرنگ

جدول ۱. مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی شاخص‌های رشد بر اساس درجهٔ روز رشد

	شاخص رشد	همبستگی	ضرایب رگرسیونی معادله				مدل
	Growth Index	R square	b_0	b_1	b_2	b_3	Model
عدم کاربرد نیتروژن	LAI	۰/۹۹۹	−۲/۶۲۷ **	۰/۰۰۸ **	−۷/۴۴۱ $E^{-۶}$**	۱/۸۵۶ $E^{-۹}$ ns	$Log(LAI)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۰/۹۹۹	−۰/۸۴۷ ns	۰/۰۰۷ *	−۴/۵۰۴ $E^{-۶}$*	۹/۱۹۹ $E^{-۱۰}$ns	$Log(TDM)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	CGR	۰/۹۷۶	−۲/۵۸۰ *	۰/۰۰۸ *	−۳/۷۷۰ $E^{-۶}$*	------	$Log(CGR)= b_0+b_1X+b_2X^2$
	NAR	۰/۹۹۷	۳/۶۶۵ ns	−۰/۰۱۴ ns	۲/۰۷۸ $E^{-۵}$ns	−۹/۶۰۴ $E^{-۹}$ ns	$Log(NAR)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
کاربرد ۷۵ kg/ha نیتروژن	LAI	۰/۹۹۴	−۲/۲۸۵ *	۰/۰۰۷ *	−۵/۸۹۹ $E^{-۶}$*	۱/۲۷۷ $E^{-۹}$ns	$Log(LAI)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۰/۹۹۹	−۰/۹۸۹ *	۰/۰۰۸ **	−۵/۰۴۲ $E^{-۶}$*	۱/۰۱۸ $E^{-۹}$ns	$Log(TDM)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	CGR	۰/۹۹۴	۳۷/۵۸۷ ns	−۰/۲۰۷ ns	۰/۰۰۰ *	−۱/۵۹۳ $E^{-۷}$*	$CGR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	NAR	۰/۹۸۷	۸۳/۴۵۸ ns	−۰/۳۶۲ ns	۰/۰۰۱ ns	−۲/۴۵۳ $E^{-۷}$ ns	$NAR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
کاربرد ۱۵۰ kg/ha نیتروژن	LAI	۰/۹۹۶	−۳/۳۷۷ **	۰/۰۱۱ *	−۱/۰۰۲ $E^{-۵}$*	۲/۵۶۹ $E^{-۹}$ns	$Log(LAI)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۰/۹۸۲	−۰/۴۲۷ ns	۰/۰۰۶ **	−۲/۲۵۳ $E^{-۶}$**	------	$Log(TDM)= b_0+b_1X+b_2X^2$
	CGR	۰/۹۶۴	۳۷/۵۴۰ ns	−۰/۲۱۱ ns	۰/۰۰۰ ns	−۱/۵۴۹ $E^{-۷}$ ns	$CGR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	NAR	۰/۹۸۸	۲۷/۰۹۳ ns	−۰/۰۸۸ ns	۰/۰۰۰ ns	−۶/۰۷۵ $E^{-۸}$ ns	$NAR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد. ns: بدون معنی.

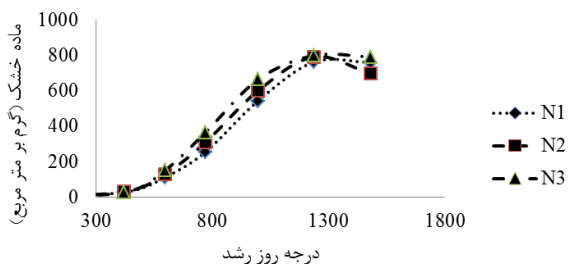
این نتایج با نتایج پژوهش نادری درباغشاهی و همکاران مطابقت دارد [۱۳]، اما با نتایج پورهادیان و خواجه‌پور و همچنین، با نتایج آذری و خواجه‌پور متناقض است که افزایش شاخص سطح برگ با افزایش تراکم را گزارش کردند [۱،۳]. البته این تناقض ممکن است ناشی از تفاوت در ارقام مورد استفاده، شرایط آب‌وهوایی محل کشت و نیز نوع کشت باشد.

در این آزمایش‌ها از رقم محلی اصفهان به نام کوسه

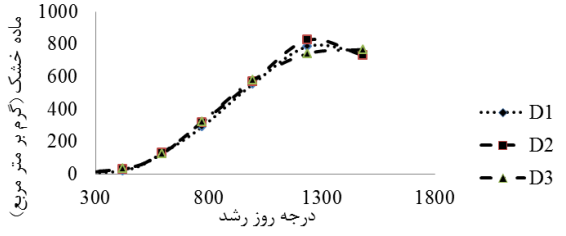
برای کشت استفاده شد و نوع کشت آن تابستانه است که با توجه به شرایط آب‌وهوایی محل آزمایش (اصفهان)، امکان رشد بیشتر برای بوته‌های بیشتری فراهم آمده بود. در زمان گل دهی، شاخص سطح برگ به بالاترین میزان خود می‌رسد و پس از آن، به علت پیری و ریزش برگ‌های مسن پایین، کاهش می‌یابد. در تراکم‌های پایین‌تر گیاه زودتر به گل‌دهی می‌رود و در حین گل‌دهی، گیاه بیشتر منابع خود را صرف تقویت و رسیدن گل‌ها می‌کند و شاخص سطح برگ زودتر به حداکثر خود می‌رسد [۱۰].

۲.۳. روند تجمع مادهٔ خشک کل (TDM)

وزن خشک بوته در واحد سطح یکی از متغیرهای مهم در تحقیقات به‌زراعی است، زیرا بیانگر توان تولید گیاه در طول فصل رشد است. در مراحل اولیه رشد و هنگامی که گیاه هنوز کوچک است، افزایش واقعی وزن خشک در روز اندک است، ولی هم‌زمان با بزرگ‌ترشدن گیاه، ازدیاد وزن گیاه در روز افزایش می‌یابد. البته این افزایش لگاریتمی رشد، نمی‌تواند تا پایان دورهٔ زندگی گیاه ادامه یابد. با زیادشدن سن گیاه قسمت عمده‌ای از ساختمان گیاه غیرفعال می‌شود، برگ‌های پایینی در سایه قرار می‌گیرند یا به علت پیری قدرت فتوسنتزی خود را از دست می‌دهند. چنین برگ‌هایی ریزش می‌کنند و این امر نشان‌دهندهٔ کاهش وزن خشک گیاه است. قسمت‌های زیادی از گیاه، شامل ساقه و سایر بافت‌ها، فعالیت متابولیکی کمی دارند. بنابراین، سهم مهمی در رشد ندارند، به‌علاوه هنگامی که گیاه در مزرعه بزرگ‌تر می‌شود، رقابت گیاهان مجاور برای آب، مواد غذایی و نور نیز می‌تواند باعث کاهش رشد شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش کاربرد نیتروژن روند تجمع مادهٔ خشک نیز در گیاهان بیشتر می‌شود و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بالاتر از سایر تیمارها قرار گرفته است. علت افزایش تجمع مادهٔ خشک با افزایش کاربرد نیتروژن، تأثیر مثبت نیتروژن در افزایش رشد رویشی و در نتیجه بالارفتن وزن خشک گیاه است. میان تیمارهای مختلف تراکم از نظر تجمع مادهٔ خشک اختلاف زیادی مشاهده نشد. این موضوع ممکن است به این علت باشد که در تراکم‌های کم که گیاه فضای کافی برای رشد دارد، رشد بیشتری نسبت به تراکم‌های بالاتر داشته است (شکل ۳). در مقابل، در تراکم‌های بالا کاهش رشد رویشی از طریق افزایش تعداد بوته در واحد سطح جبران شده و در نتیجه اختلاف زیادی میان تراکم‌های مختلف از نظر تجمع مادهٔ خشک در مترمربع به وجود نیامده است (شکل ٤).



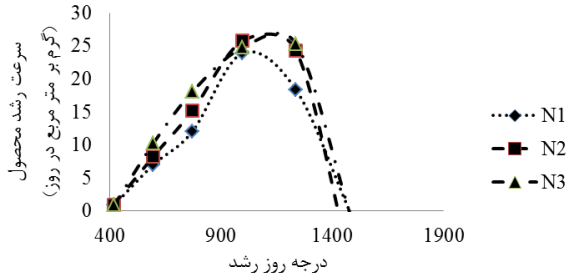
شکل ۳. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر تجمع ماده خشک در گیاه گلرنگ



شکل ٤. تأثیر تراکم‌های مختلف بوته بر تجمع ماده خشک در گیاه گلرنگ

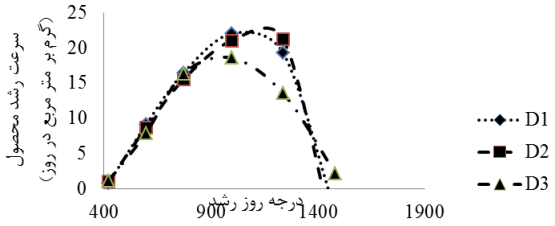
۳.۳. سرعت رشد محصول (CGR)

سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح و زمان است [۷]. سرعت رشد محصول بامعناترین واژه در تجزیه و تحلیل رشد است. در این آزمایش سرعت رشد محصول در ابتدای رشد به دلیل کامل‌نبودن پوشش گیاهی، پایین‌بودن درصد جذب نور و کوتاه‌بودن روزها در ماه‌های اول سال روند کندی داشت، ولی با افزایش شاخص سطح برگ و افزایش شدت تشعشع و در نتیجه بهره‌وری بیشتر از نور خورشید، میزان تولید مادهٔ خشک در واحد سطح افزایش یافت و به دنبال آن سرعت رشد محصول نیز روند افزایشی را نشان داد، اما با گذشت زمان و پیرشدن برگ‌ها و ریزش آن‌ها میزان فتوسنتز در گیاه کاهش یافت و در نتیجه میزان تولید و افزایش وزن گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند و نمودار سرعت رشد گیاه روند نزولی پیدا می‌کند. همان‌طور که از نمودارها نیز مشخص است با کاربرد نیتروژن سرعت رشد محصول افزایش یافته است. این افزایش سرعت رشد محصول به علت افزایش سطح برگ و افزایش رشد رویشی گیاه تحت تأثیر کاربرد نیتروژن بوده است (شکل ۵).



شکل ۵. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت رشد محصول در گیاه گلرنگ

در ارتباط با اثر تراکم‌های مختلف بر سرعت رشد محصول مشاهده شد که تا اواسط رشد در تمام تراکم‌ها سرعت رشد محصول یکسان و به‌صورت افزایشی است. علت این موضوع این است که تا این مرحله از رشد، بوته‌ها هنوز رشد زیادی نداشته‌اند و اثر رقابت در تراکم‌های بالا محسوس نبوده است؛ در نتیجه، در تمامی تراکم‌ها، بوته‌ها رشد تقریبا یکسانی داشتند. اما با افزایش رشد، رقابت بر سر جذب مواد غذایی و سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر در تراکم‌های بالا باعث کاهش تولید مادهٔ خشک در گیاه و در نتیجه کاهش سرعت رشد نسبت به تراکم‌های پایین شده بود. سرعت رشد محصول در تراکم ۶۰ بوته در مترمربع حدود ۱۰ روز زودتر از دو تراکم دیگر شروع به کاهش کرد، اما در دو تراکم دیگر سرعت رشد محصول پس از گل‌دهی شروع به کاهش کرد. علت آن زردشدن برگ‌ها و افزایش بافت‌های مرده در گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز و تولید مادهٔ خشک در گیاه است (شکل ۶).



شکل ۶. تأثیر تراکم‌های مختلف بوته بر سرعت رشد محصول در گیاه گلرنگ

وجود رابطهٔ رگرسیونی قوی بین حداکثر سرعت رشد محصول و عملکرد دانه در مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم‌های مختلف بوته نشان‌دهندهٔ اهمیت سرعت رشد محصول در یک زراعت است. به این معنی که با افزایش سرعت رشد محصول عملکرد دانه نیز به‌طور خطی افزایش می‌یابد و تیمارهایی که سرعت رشد بیشتری دارند، در نهایت، نیز عملکرد دانهٔ بالاتری تولید می‌کنند (جدول ۲).

جدول ۲. رابطهٔ خطی و معادلهٔ رگرسیونی میان عملکرد دانه و حداکثر سرعت رشد محصول در مقادیر مختلف نیتروژن و تراکم‌های مختلف بوته

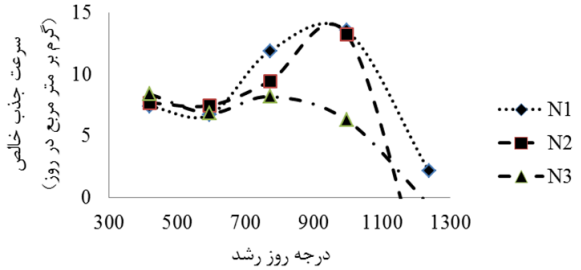
مدل	ضرایب معادلهٔ رگرسیونی		همبستگی	
Model	b_1	b_0	R Square	
$yield=b_0+b_1X$	۲۰۰/۱۶۲ *	– ۳۸۲۲/۸۹۶ *	۰/۹۹۹	نیتروژن
$yield=b_0+b_1X$	۷۹/۱۲۱ ns	– ٤۳۹/۱۷۲ ns	۰/۹۰۸	تراکم بوته

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد
ns : بدون معنی

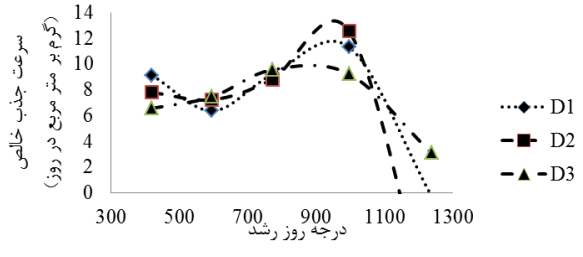
٤.۳. میزان جذب خالص (NAR)

میزان جذب خالص عبارت است از تجمع مادهٔ خشک در واحد سطح برگ در واحد زمان و بیانگر این است که هر واحد سطح برگ چقدر ماده فتوسنتزی در روز تولید می‌کند. در واقع بازده و کارایی فتوسنتز را بیان می‌کند. در ابتدای رشد چون رشد گلرنگ به‌صورت رزت است به علت هم‌پوشانی برگ‌ها، شدت فتوسنتز در برگ‌ها و میزان جذب خالص کاهش پیدا می‌کند، اما با افزایش رشد، برگ‌ها از هم باز می‌شوند و در معرض تشعشع خورشیدی قرار می‌گیرند و در نتیجه میزان فتوسنتز در آن‌ها بالا می‌رود در نهایت، با وجود سطح برگ کم چون مادهٔ خشک در آن‌ها نسبت به واحد سطح برگ بیشتر می‌شود، بنابراین، میزان جذب خالص نیز افزایش پیدا می‌کند، اما دوباره با افزایش رشد بوته‌ها و برگ‌ها، سایه‌اندازی آن‌ها روی یکدیگر بیشتر می‌شود؛ سپس، شدت فتوسنتز و نسبت مادهٔ خشک تولیدی به سطح برگ کاهش می‌یابد و به دنبال آن میزان جذب خالص نیز کم می‌شود و نمودار آن روند نزولی پیدا می‌کند. در مقادیر بالای نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) به علت افزایش سریع رشد برگ‌ها، نسبت سطح برگ به مادهٔ خشک تولیدشده افزایش می‌یابد، در نتیجه میزان جذب خالص خیلی کمتر از سایر تیمارها بود. اما در تیمار عدم کاربرد نیتروژن چون سطح برگ به شدت کاهش یافته بود، بنابراین، نسبت مادهٔ خشک تولیدی به سطح برگ افزایش یافت و به دنبال آن میزان جذب خالص نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته بود (شکل ۷).

در تراکم‌های بالا (۶۰ بوته در مترمربع) سطح برگ تولیدشده در واحد سطح زیاد است، اما به علت سایه‌اندازی آن‌ها روی یکدیگر، میزان تولید مادهٔ خشک در گیاه کاهش یافته و در نتیجه نسبت مادهٔ خشک تولید شده به سطح برگ کاهش پیدا کرده و به دنبال آن میزان جذب خالص پایین آمده است (شکل ۸).



شکل ۷. تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر سرعت جذب خالص در گیاه گلرنگ



شکل ۸. تأثیر تراکم‌های مختلف بوته بر سرعت جذب خالص در گیاه گلرنگ

جدول ۳. مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی شاخص‌های رشد براساس درجهٔ روز رشد

	شاخص رشد	همبستگی	ضرایب رگرسیونی معادله				مدل
	Growth Index	**R square**	b_0	b_1	b_2	b_3	**Model**
تراکم ۴۰ بوته	LAI	۰/۹۹۶	−۸/۰۱۶ **	۰/۰۳۰ **	−۲/۷۱۳ E$^{-۵}$*	۷/۰۹۷ E$^{-۹ns}$	$LAI=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۰/۹۸۳	−۰/۵۲۱ ns	۰/۰۰۶ **	−۲/۲۰۸ E$^{-۶}$**	------	$Log(TDM)= b_0+b_1X+b_2X^2$
	CGR	۰/۹۹۸	−۱/۵۳۹ ns	−۰/۰۴۱ ns	۰/۰۰۰ *	−۷/۹۲۹E$^{-۸ns}$	$CGR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	NAR	۱/۰۰	۷۰/۶۷۰ *	−۰/۲۸۳ *	۰/۰۰۰ *	−۱/۷۳۵E$^{-۷ns}$	$NAR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
تراکم ۵۰ بوته	LAI	۰/۹۹۹	−۲/۷۸۲ **	۰/۰۰۹ **	−۸/۰۸۱ E$^{-۶}$**	۲/۰۳۶ E$^{-۹ns}$	$Log(LAI)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۰/۹۹۸	−۱/۱۱۱ ns	۰/۰۰۸ *	−۵/۷۱۱ E$^{-۶ns}$	۱/۲۸۵ E$^{-۹ns}$	$Log(TDM)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	CGR	۰/۹۸۵	۲۱/۱۳۲ns	۰/۱۳۲ ns –	۰/۰۰۰ ns	−۱/۲۰۴ E$^{-۷ns}$	$CGR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	NAR	۰/۹۸۶	۸۶/۶۹۸ ns	−۰/۳۷۴ ns	۰/۰۰۱ ns	−۲/۵۰۴ E$^{-۷ns}$	$NAR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
تراکم ۶۰ بوته	LAI	۰/۹۹۶	۲/۶۸۹ ** –	۰/۰۰۹ **	۸/۲۰۶ E −۶ * –	۲/۱۱۶ E$^{-۹ns}$	$Log(LAI)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	TDM	۱/۰۰۰	۱/۰۲۶ ** –	۰/۰۰۸ **	−۵/۸۲۱ E$^{-۶}$**	۱/۳۷۷ E$^{-۹ns}$	$Log(TDM)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	CGR	۰/۹۸۴	−۲۹/۴۳۳ ns	۰/۰۸۳ ns	−۲/۲۸۸ E$^{-۵ns}$	−۱/۲۸۵ E$^{-۸ns}$	$CGR=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$
	NAR	۱/۰۰۰	۱/۶۲۲ *	− ۰/۰۰۴ *	۷/۸۱۳ E$^{-۶}$*	−۳/۹۷۳ E$^{-۹ns}$	$Log(NAR)=b_0+b_1X+b_2X^2+b_3X^3$

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns: بدون معنی

منابع

۱. آذری، آ؛ خواجه‌پور، م.، ر؛ (۱۳۸٤). «اثر آرایش کاشت بر رشد، نمو، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در کشت بهاره گلرنگ، توده محلی کوسه اصفهان». *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۹، ۳، ص. ۱٤۲ـ۱۳۱.

۲. آلیاری، ف؛ شکاری، ز؛ شکاری، ف، د؛ (۱۳۷۹). *دانه‌های روغنی، زراعت و فیزیولوژی*. انتشارات عمیدی، تبریز، ۱۸۲ صفحه.

۳. پورهادیان، ح؛ خواجه‌پور، م، ر؛ (۱۳۸٦). «تأثیر فواصل ردیف کاشت و تراکم بوته بر شاخص‌های رشد و عملکرد گلرنگ، توده محلی اصفهان (کوسه) در کاشت تابستانه». *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۱، ٤۲، الف، ص. ۳۱ـ۱۷.

٤. زمانیان، م؛ هاشمی‌دزفولی، ا، ح؛ (۱۳۸۰). «بررسی شاخص‌های فیزیولوزیک رشد موثر بر عملکرد علوفه هفت رقم یونجه». *علوم زراعی ایران*. ۱، ٤، ص. ۱۳ـ۲۸.

۵. طهماسبی‌زاده، ح؛ خدابنده، ن؛ مدنی، ح؛ فراهانی، ا؛

(۱۳۸۷). «بررسی تجزیه و تحلیل رشد گلرنگ بهاره و تأثیر آن بر عملکرد در شرایط آب و هوایی اراک». *یافته‌های نوین کشاورزی*. ۲،۳، ص. ۱۵٤ـ۱۳٦.

٦. قلی‌نژاد، ا؛ توبه، ا؛ حسن‌زاده قورت‌تپه، ع؛ اصغری، ع؛ پناهیان، م؛ (۱۳۸۵). «تأثیر فاصلهٔ خطوط کاشت و تراکم بوته بر صفات زراعی و عملکرد آفتابگردان در ارومیه». خلاصهٔ مقالات، *هشتمین کنگرهٔ علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران*. ۱٦۱ صفحه.

۷. کوچکی، ع؛ سرمدنیا، غ، ح؛ (۱۳۷۷). *فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه)*. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ٤۰۰ صفحه.

۸. کوچکی، ع؛ بنایان‌اول، م؛ (۱۳۷۳). *فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی*. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۸۰ صفحه.

۹. لسانی، ح؛ مجتهدی، م؛ (۱۳۸٤). *مبانی فیزیولوژی گیاهی (ترجمه)*. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۲٦ صفحه.

۱۰. محمدی، م، ر؛ (۱۳۸٤). «مقایسهٔ عملکردکمی و کیفی و خصوصیات فیزیولوژیکی رشد و نمو ارقام مختلف گلرنگ بهاره در تراکم‌های متفاوت در منطقهٔ اراک». مرکزی. اراک. *رسالهٔ کارشناسی ارشد*.

۱۱. محمدی‌نیک‌پور، ع، ر؛ (۱۳۷٤). «بررسی اثرتاریخ کاشت و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ در منطقهٔ مشهد». خراسان رضوی، مشهد، *رسالهٔ کارشناسی ارشد*.

۱۲. میرزاخانی، م؛ (۱۳۸۰). «بررسی اثرات تاریخ کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و آنالیز رشد ارقام گلرنگ بهاره در استان مرکزی». اصفهان، خوراسگان، *رسالهٔ کارشناسی ارشد*.

۱۳. نادری درباغشاهی، م، ر؛ نورمحمدی، ق؛ مجیدی، ا؛ درویش، ف؛ شیرانی‌راد، ا، ح؛ مدنی، ح؛ (۱۳۸۳). «بررسی اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر صفات اکولوژیکی سه لاین گلرنگ در کاشت تابستانه در اصفهان». *نهال و بذر*. ۲۰، ۳، ص. ۲۹٦ـ۲۸۱.

14. Birch CPD (1999) A new generalized logistic sigmoid growth equation compared with the Richards growth equation. Annals of Botany. 83: 713-723.

15. Biswas DK, Haque MM, Hamid A, Ahmed JU and Rahman MA (2002) Influence of plant population density on growth and yield of two blackgram varieties. Pakistan Journal of Agronomy. 1(2-3): 83-85.

16. Blackman VH (1919) The compound interest low and plant growth. Annals of Botany. 33: 353-360.

17. Briggs GE, Kidd F and West C (1920) Quantitative analysis of plant growth. Annals of Applied Biology. 7:103-123.

18. Cechin I and Fumis TF (2004) Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of safflower plants grown in the greenhouse.Plant Science.166: 1379-1385.

19. Chiariello NR, MooneyHA and Williams K (1989) Growth; carbon allocation and cost of plant tissues. In R.W. Pearcy et al (ed). Plant Physiological Ecology, Field Methods and Instrumentation, Hall, London, pp. 327-365.

20. Del Poso A, Perez P, Gutierrez ZD, Alonso A, Morcuende R amd Martinez-Carrasco R (2007) Gas exchange acclimation to elevated co_2 in

upper-sunlit and lower-shaded canopy leaves inrelation to nitrogen acquisition and partitioning in wheat grown in field chambers. Environmental and Experimental Botany. 53: 371-380.

21. Dordas CA and Sioulas C (2008) Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial crops and products. 27: 75-85.

22. Gardner FP, Valle R and Mcclud DE (1990) Yield characteristics of ancient races of maize compared to a modern hybrid.Agronomy Journal.82:864-868.

23. Johnston AM, Tanaka DL, Miller PR, Brandt SA, NielsenDC, Lafond GP and Riveland NR (2002) Oilseed crops for semiarid cropping systems in the Northern Great Plains. Agronomy Journal. 94: 231–240.

24. Johnson BL andHanson BK (2003) Row-spacing interactions on spring canola performance in the Northern Great plains. Agronomy Journal. 95: 703-708.

25. Karimi MM and Siddique HM (1991) Crop growth and relative growth rate of old and modern wheat cultivars.Australian Journal of Agriculture Research.42:13-20.

26. Lopez-Bellido L, Fuentes M and Castiilo JE (2000) Growth and yield of white lupine under Mediterranean conditions : Effect of plant density. Agronomy Journal. 92: 200-205.

27. Russelle MP (1984) Growth analysis based on degree days. Crop Science. 24:28-32.

28. Wallace DM and Munger HM (1965) Studies of the physiological basis of yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. Crop Science. 5: 343-348.

29. Watson DJ (1947) Comparative physiological studies in the growth of field crops.Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Annalsof Botany. 11: 41-76.

30. Watson DJ (1952) The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy. 4:101-145.

31. Weiss EA (2000) Oilseed Crops. Blackwell Publishing Limited, London, UK.

32. Zeide B (1993) Analysis of growth equations. Forest Science. 39: 594-616.

33. Zhao D, Reddy RK, Kakani VG and Reddy VR (2005) Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis and hypespectral reflectance properties of sorghum. European Journal of Agronomy. 22: 391-403.