دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال هفتم، شماره بیست و سوم، ۱۳۹۴

بررسی رابطه بین سطح برگ و برخی خصوصیات رویشی در گلرنگ

بنیامین ترابی[۱]، ناصر دست فالی نژاد[۲]، اصغر رحیمی[۲]، افشین سلطانی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۲

چکیده

به منظور یافتن روش سریع و مطمئن برای تخمین سطح برگ در گیاه گلرنگ توده محلی اصفهان، آزمایش مزرعه‌ای با چهار تکرار و دو فاکتور شامل تاریخ کاشت (۱۷ فروردین، ٦ اردیبهشت و ۲۹ اردیبهشت) و تراکم (۱۵، ٤۰، ٦٥ و ۹۰ بوته در متر مربع) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. در این مطالعه، از مدل‌های رگرسیونی مختلفی برای تخمین سطح برگ از طریق اندازه‌گیری‌های انجام شده برای تعداد برگ در ساقه اصلی، تعداد گره در ساقه اصلی، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه استفاده شد. بر اساس RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و R^2 (ضریب تبیین) مدل های مورد مطالعه، وزن خشک برگ بهترین متغیر مستقل برای تخمین سطح برگ معرفی شد. رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ توسط مدل خطی توصیف شد. مقادیر RMSE در تراکم‌های مختلف بین ۲٤/۳۹ تا ٦۱/۳٥ متغیر بود و مقدار R^2 بیش از ۰/۹٦ بود که حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل در پیش‌بینی سطح برگ از طریق وزن خشک برگ می‌باشد. شیب تغییرات سطح برگ در مقابل وزن خشک برگ بین ۱۰٤/۸ تا ۱۱٦/۷ سانتی‌متر مربع بر گرم متغیر بود. از آن‌جا که هیچ اختلاف معنی‌داری بین شیب افزایش سطح برگ در مقابل وزن خشک برگ در بین تراکم ها وجود نداشت، داده‌های مربوط به همه تراکم‌ها با هم ادغام شدند و یک مدل خطی کلی برای تخمین سطح برگ توسط وزن خشک برگ به دست آمد که ضرایب a و b آن به ترتیب برابر ۹/۷ و ۱۰۸/۷ تخمین زده شدند.

واژه‌های کلیدی: مدل، تعداد گره، تعداد برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ

ترابی، ب.، ن. دست فالی نژاد، ا. رحیمی و ا. سلطانی. ۱۳۹٤. بررسی رابطه بین سطح برگ و برخی خصوصیات رویشی در گلرنگ. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۲۳: ۱۷٥-۱٦٥.

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران- مسئول مکاتبات. پست الکترونیک: Ben_Torabi@yahoo.com

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

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

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یک گیاه دانه روغنی یک‌ساله و متعلق به خانواده مرکبیان است. این گیاه معمولا برای استخراج رنگیزه و روغن به صورت تجاری در مناطق مختلف دنیا کشت می‌شود (داجو و موندال، ۱۹۹٦)، به همین دلیل تحقیقات بر روی این گیاه روز به روز در حال افزایش است.

سطح برگ یک متغیر کلیدی برای مطالعات فیزیولوژیکی شامل رشد گیاه، جذب نور، کارایی فتوسنتزی، تبخیر و تعرق و همچنین پاسخ گیاه به کودها و آبیاری است (بلانکو و فولگاتی، ۲۰۰۵). بنابراین، سطح برگ به شدت رشد و تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تخمین این فاکتور یکی از اجزای اساسی مدل‌های رشد محصولات است (لیزاسو و همکاران، ۲۰۰۳).

تعیین سطح برگ به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم مختلفی امکان‌پذیر است (کاندینان و همکاران، ۲۰۰۹). روش‌های مستقیمی که برای اندازه‌گیری این پارامتر به‌کار می‌رود شامل استفاده از انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح برگ به صورت لیزری یا اسکنری و یا استفاده از دوربین ثابت و نرم‌افزار آنالیز تصویری است که دارای مزایا و معایبی نیز هستند. به‌عنوان مثال، اندازه‌گیری سطح برگ کل و یا بخشی از گیاه با روش‌های مستقیم زمان و کار زیادی می‌برد (لوی و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این، روش‌هایی مثل کپی‌برداری[1]، چاپ کردن اوزالیدی[2]، عکس‌برداری یا استفاده از یک سطح برگ سنج، به مقدار زیادی سطح برگ نیاز دارد که کانوپی گیاه نیز ممکن است آسیب ببیند (کریستافوری و همکاران، ۲۰۰۷). سطح برگ به‌صورت سریع و غیرتخریبی با استفاده از یک پلانی‌متر اسکن‌کننده دستی نیز قابل اندازه‌گیری است (داتری، ۱۹۹۰)، امّا این روش نیز فقط برای گیاهان کوچک با تعداد برگ محدود مناسب است (نایکود و همکاران، ۱۹۹۷).

روش‌های غیرمستقیم که در آن سطح برگ از طریق مشاهده سایر صفات رویشی گیاه تخمین زده می‌شود، عموماً سریع‌تر، غیرتخریبی و کم هزینه‌تر هستند و با استفاده از آن‌ها حتی می‌توان سطح نمونه‌های حجیم‌تر برگ را به راحتی تخمین زد. با توجه به نیاز روش‌های مستقیم به وسایل اندازه‌گیری، به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری سطح برگ از اهمیت بیشتری برخوردار باشند (جان کری و همکاران، ۲۰۰٤). اندازه‌گیری غیرمستقیم سطح برگ بر اساس تخمین سطح برگ از طریق روابط آلومتریک صورت می‌گیرد (سنتاگ و همکاران، ۲۰۰۷). متغیر مستقلی که معمولاً برای تخمین سطح برگ استفاده می‌شود شامل وزن برگ، وزن ساقه، وزن کل، تعداد برگ‌ها و تعداد گره‌ها روی ساقه اصلی و ارتفاع گیاه هستند. در این روش، مقدار سطح برگ از روی متغیرهای مستقل و با استفاده از مدل‌های متعدد خطی و یا غیرخطی تخمین زده می‌شوند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰٦؛ تیالتاس و ماسلاریس، ۲۰۰۸؛ پوررضا و همکاران، ۲۰۰۹). اکرم‌قادری و سلطانی (۲۰۰۷) از روی خصوصیات رویشی پنبه و با استفاده از مدل‌های مختلف خطی و غیرخطی، میزان سطح برگ را تخمین زدند. در نهایت آن‌ها استنباط کردند که سطح برگ می‌تواند به طور قابل قبولی از طریق وزن خشک برگ و وزن خشک کل تخمین زده شود. راحمی کاریزکی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی رابطه بین سطح برگ و برخی از خصوصیات رویشی در نخود را مورد بررسی قرار دادند و نهایتا استنباط کردند که می‌توان با استفاده از تعداد گره در ساقه اصلی، وزن خشک برگ و وزن خشک رویشی می‌توان سطح برگ را پیش‌بینی کرد. در مطالعه‌ای دیگر بخشنده و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه بر روی گندم دریافتند که سطح برگ گندم را می‌توان با استفاده از تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز، وزن خشک کل اجزای رویشی و ارتفاع بوته به خوبی پیش‌بینی کرد.

هدف از این مطالعه بررسی روابط بین سطح برگ و تعدادی از خصوصیات رویشی در گیاه گلرنگ توده محلی اصفهان و نیز معرفی مناسب‌ترین رابطه برای تخمین سطح برگ از طریق این خصوصیات بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ بر روی گلرنگ توده محلی اصفهان در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ٥٦ درجه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱٤٦۹ متر انجام شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ٤ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ترکیب ۳ سطح تاریخ کاشت (۱۷ فروردین، ٦ اردیبهشت و ۲۹ اردیبهشت) و ٤

1- Tracing
2- Blueprinting

سطح تراکم (۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در متر مربع) بودند. تاریخ کاشت اول، تاریخ کاشت مرسوم و تاریخ‌های کاشت دوم و سوم، تاریخ‌های کاشت تأخیری می‌باشند. هر کرت آزمایشی دارای ابعاد ۴×۲/۴ متر مربع که حاوی شش ردیف کاشت بود و فاصله بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

آماده سازی زمین شامل یک مرحله شخم عمیق در زمستان به وسیله گاو آهن برگردان‌دار و یک مرحله دیسک در بهار، قبل از کاشت بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک محل آزمایش، کودهای فسفاته (سوپرفسفات تریپل) و پتاسه (سولفات پتاسیم) از هر کدام ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت استفاده شد (جدول۱). 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. برای اجتناب از تنش آب، آبیاری به میزان مناسب و به صورت هفتگی انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

اسیدیته	هدایت الکتریکی (میلی‌موس بر سانتی‌متر)	فسفر قابل جذب (پی پی ام)	پتاسیم قابل جذب (پی پی ام)	کربن آلی (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	نیتروژن کل (درصد)
۷/۳	۴	۲/۶۱	۲۹۲/۶	۰/۲۲	۴۳	۱۷	۴۰	۰/۰۳

نمونه‌گیری‌ها در فاصله زمانی ۵ تا ۱۰ روز از اوایل رشد یعنی در مرحله ۶ تا ۸ برگی انجام شد و تا مرحله گل‌دهی (زمانی که تعداد برگ یا گره ثابت ماند)، ادامه یافت. در هر نمونه‌گیری ۱۰ بوته، نشان‌دهنده متوسط کرت، از ابتدای هر ردیف با حفظ تراکم بوته انتخاب و اندازه‌گیری‌ها روی آن‌ها انجام شد. در این نمونه‌گیری‌ها کل بوته به دو قسمت برگ و ساقه تقسیم شد. سطح برگ (LA) با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Delta T Devices, Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد. برگ سبز و ساقه به طور جداگانه در آون در دمای ثابت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا این که کاملا خشک شوند و سپس با ترازوی ۰/۰۱ نمونه‌ها وزن شدند. علاوه بر این، تعداد برگ سبز و گره روی ساقه اصلی شمارش شدند. برگی کامل در نظر گرفته شد که نوک آن باز شده باشد و بیش از ۵۰ درصد سطح برگ آن قابل مشاهده باشد.

مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی مختلفی برای توصیف رابطه بین سطح برگ و خصوصیات رویشی (وزن خشک برگ سبز، وزن خشک ساقه، تعداد برگ سبز و گره روی ساقه اصلی) اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد استفاده شد. در تجزیه رگرسیون، برای هر تراکم، داده‌های همه تاریخ کاشت‌ها با هم ادغام شدند تا کارآیی بهتری از برازش مدل بر داده‌ها به‌دست آید. این مدل‌ها از مطالعات انجام شده توسط سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) و اکرم‌قادری و سلطانی (۲۰۰۷) به دست آمدند یا از طریق نمودار پراکنش داده‌های به دست آمده تخمین زده شدند. بهترین رابطه برای تخمین سطح برگ از طریق RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) کمتر و R^2 (ضریب تبیین) بالاتر مدل به‌دست آمد. تجزیه‌های آماری با نرم افزار SAS و رویه PROC NLIN و PROC REG انجام شد.

نتایج و بحث

رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ روی ساقه اصلی

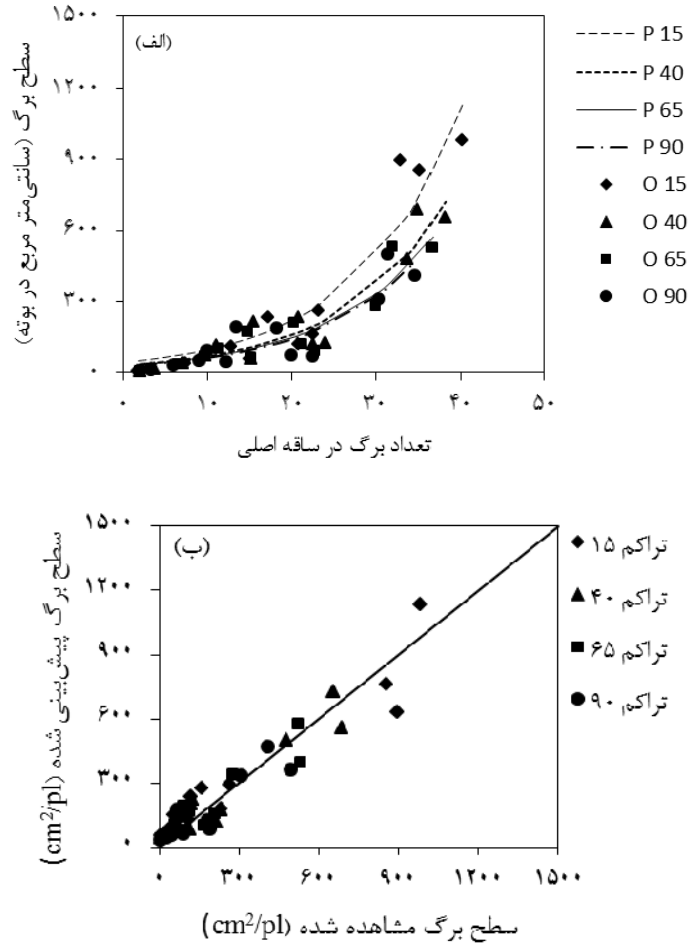
برای توصیف رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ روی ساقه اصلی از مدل رگرسیون نمایی استفاده شد (شکل ۱ الف). نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد در مجموع تاریخ کاشت‌ها، در تراکم‌های مختلف کاشت با افزایش تعداد برگ روی ساقه اصلی، سطح برگ به صورت نمایی افزایش یافت، ولی اختلاف معنی‌داری بین ضرایب a (مقدار سطح برگ در شروع رشد؛ سانتی‌متر مربع در بوته) و b (سرعت نسبی افزایش سطح برگ؛ سانتی‌متر مربع در بوته بر تعداد برگ) تراکم‌های مختلف بوته بر اساس حدود اطمینان ۹۵ درصد ضرایب وجود نداشت. مقدار ضریب a بین ۲۷/۳۱ و ۴۲/۹۹ متغیر بود و ضریب b برابر ۰/۰۸ بود (جدول ۲). دقت مدل برای سطح برگ پیش‌بینی شده از طریق تعداد برگ روی ساقه اصلی در مقابل مشاهده شده در شکل ۱ ب نشان داده شده است. داده‌ها دارای پراکندگی نسبتا زیادی در اطراف خط ۱:۱ هستند که این پراکندگی در سطح برگ بالاتر بیشتر است. این نشان می‌دهد که دقت مدل برای پیش‌بینی سطح برگ خوب نیست. مقادیر RMSE برای

پیش‌بینی سطح برگ در تراکم‌های ۱۵، ٤۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۱۱۵/۵٦، ۷۳/٤۱، ٦٦/٤۷ و ۷۲/۲۸ و مقدار R^2 برازش مدل بر روی داده های سطح برگ در مقابل تعداد برگ روی ساقه اصلی در تراکم‌های کاشت بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۵ متغیر بود (جدول ۲).

جدول ۲- تخمین پارامترها همراه با خطای استاندارد برای مدل نمایی ($y = ae^{bx}$) جهت توصیف رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ روی ساقه اصلی. مقادیر R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و Pr (سطح معنی‌داری مدل) نیز آورده شده‌اند

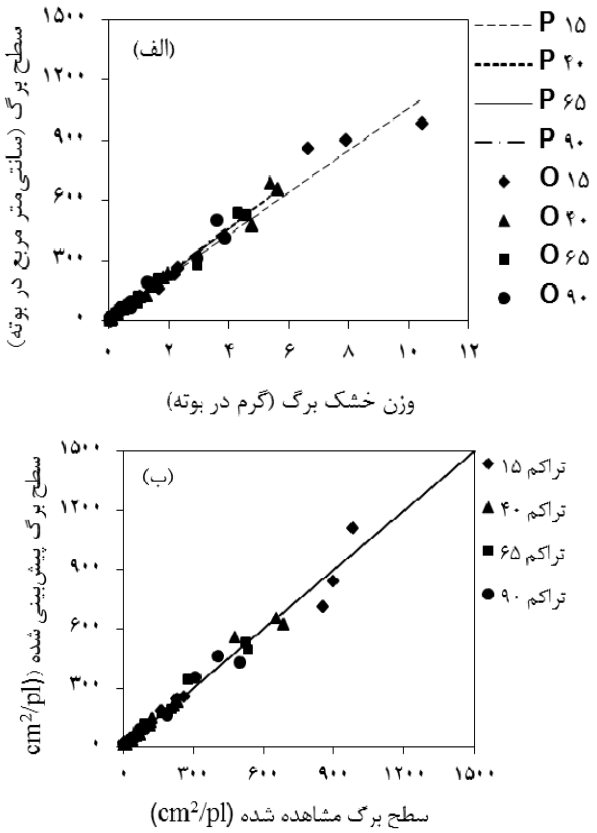
تراکم	a ± SE	b ± SE	R^2	RMSE
۱۵	٤۲/۹۹ ± ۱۷/۱٤	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹٤	۱۱۵/۵٦
٤۰	۳۰/۲٤ ± ۱۱/۷۱	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹۵	۷۳/٤۱
٦۵	۲۹/۰۳ ± ۱۱/۳۳	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹۳	٦٦/٤۷
۹۰	۲۷/۳۱ ± ۱۳/۵۸	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹۰	۷۲/۲۸

b: سرعت نسبی تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد برگ روی ساقه اصلی؛ a: مقدار سطح برگ در شروع رشد



شکل ۱- رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی (الف) و رابطه بین سطح برگ مشاهده شده و سطح برگ پیش‌بینی شده (ب). O، مقادیر مشاهده شده و P، مقادیر پیش‌بینی شده در تراکم‌های ۱۵، ٤۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در مترمربع

با توجه به شکل (۱ الف) می‌توان استنباط کرد افزایش سریع سطح برگ تقریبا در مرحله ۲۰ تا ۲۵ برگی صورت می گیرد. افزایش سریع‌تر سطح برگ در بعد از این مرحله احتمالا به دلیل تولید زیاد شاخه های فرعی می‌باشد. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از یک مدل ساده توانی برای پیش‌بینی سطح برگ از روی تعداد برگ گیاه سورگوم دانه‌ای و نخود استفاده کردند. مداح یزدی و همکاران (۱۳۸۷) بر روی گندم و نخود، بخشنده و همکاران (۱۳۹۰) بر روی گندم و راحمی کاریزکی (۱۳۸۵) بر روی نخود رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ (گره) بر روی ساقه اصلی را با معادله توانی توصیف کردند. آن‌ها وجود چنین رابطه‌ای را به افزایش تعداد پنجه در گندم و شاخه‌های فرعی در نخود نسبت دادند.



شکل ۲- رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ (الف) و رابطه بین سطح برگ مشاهده شده و سطح برگ پیش‌بینی شده (ب). O، مقادیر مشاهده شده و P، مقادیر پیش‌بینی شده در تراکم‌های ۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در مترمربع

رابطه بین سطح برگ و وزن برگ سبز

نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد در مجموع تاریخ کاشت‌ها در تراکم‌های مختلف کاشت، با افزایش وزن خشک برگ، سطح برگ به صورت خطی افزایش یافت (شکل ۲ الف). همچنین اختلاف معنی‌داری بین ضرایب a (سطح برگ در شروع رشد؛ سانتی‌متر مربع در بوته) و b (SLA، سطح ویژه برگ؛ سانتی‌متر بر گرم) تراکم‌های مختلف کاشت وجود نداشت. مقدار ضریب a بین ۰/۴۶ و ۱۱/۴۲ و SLA نیز بین ۱۰۴/۸۴ و ۱۱۶/۶۷ متغیر بود (جدول ۳). در بررسی رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ، دقت مدل برای پیش‌بینی سطح برگ در شکل ۲ ب نشان داده شده است. همچنان‌که در شکل مشاهده می‌شود داده‌ها دارای پراکندگی نسبتا کمی در اطراف خط ۱:۱ هستند، این امر نشان‌دهنده این است که دقت مدل برای پیش‌بینی سطح برگ نسبتا خوب است. مقادیر RMSE برای تراکم‌های ۱۵، ۴۰، ۶۵ و ۹۰ بوته در متر مربع به‌ترتیب ۶۱/۳۵، ۳۰/۸۴، ۲۴/۳۹ و ۳۱/۶۴ بود. مقدار R^2 برای برازش مدل بر داده های سطح برگ در مقابل وزن خشک برگ سبز برای تراکم‌های مختلف کاشت نیز بین ۰/۹۶ تا ۰/۹۸ متغیر بود (جدول ۳).

افزایش سطح برگ گیاه در رابطه با افزایش وزن خشک برگ سبز را می‌توان به ایجاد راهکاری برای افزایش دریافت

تشعشع خورشیدی توسط گیاه نسبت داد (سلطانی، ۱۳۸۸). بخشنده و همکاران (۱۳۹۰) رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز را با استفاده از مدل دوتکه‌ای توصیف کردند. آن‌ها گزارش کردند سطح برگ بعد از ۵۰ تا ٦۵ روز پس از کاشت با سرعت کمتری افزایش یافت. اکرم‌قادری و سلطانی (۲۰۰۷) دریافتند که سطح برگ پنبه را می‌توان به خوبی توسط وزن خشک برگ با استفاده از مدل توانی برآورد کرد. تیسالتاس و ماسلاریس (۲۰۰۸) از یک معادله درجه دوم برای توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ چغندرقند استفاده کردند. چاندا و سینگ (۲۰۰۲) نشان دادند که در تمام طول دوره رشد گندم رابطه نزدیکی بین سطح برگ و وزن خشک برگ وجود داشت، ولی مدل لگاریتمی بهتر از مدل خطی بود.

جدول ۳- تخمین پارامترها همراه با خطای استاندارد برای مدل خطی ($y = a + bx$) جهت توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ. مقادیر R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و Pr (سطح معنی‌داری مدل) نیز آورده شده‌اند

تراکم	a ± SE	b ± SE	R^2	RMSE
۱۵	۱۱/٤۲ ± ۲۱/۹۵	۱۰٤/۸٤ ± ۵/۱۹	۰/۹۷	٦۱/۳۵
٤۰	۰/٤٦ ± ۱۱/۸۷	۱۱۵/٤۸ ± ٤/۳۸	۰/۹۸	۳۰/۸٤
٦۵	۱/۳۸ ± ۹/۵۸	۱۱٤/۲۱ ± ٤/۵۸	۰/۹۸	۲٤/۳۹
۹۰	۵/۰۱ ± ۱۲/۲۱	۱۱٦/٦۷ ± ٦/۷٦	۰/۹٦	۳۱/٦٤

b: سرعت تغییرات سطح برگ در مقابل وزن خشک؛ a: مقدار سطح برگ در شروع رشد

رابطه بین سطح برگ و تعداد گره روی ساقه اصلی

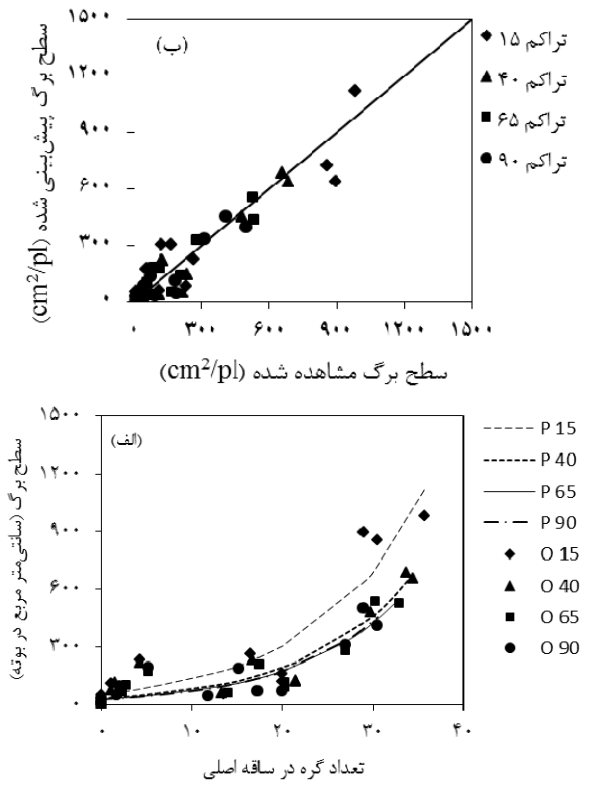
تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد گره با استفاده از مدل رگرسیون نمایی توصیف شد. نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد در مجموع تاریخ کاشت‌ها در تراکم‌های مختلف کاشت، با افزایش تعداد گره، سطح برگ به صورت نمایی افزایش یافت (شکل ۳ الف)، ولی اختلاف معنی‌داری بین ضرایب a و b تراکم‌های مختلف کاشت وجود نداشت. تخمین ضرایب مدل از ۲۸/۵۰ تا ۵۷/۵٦ برای a و از ۰/۰۸ تا ۰/۰۹ برای b متغیر بود (جدول ٤). در بررسی تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد گره، مدل نتوانست رابطه بین سطح برگ و تعداد گره را خوب توصیف کند. شکل ۳ ب پراکندگی زیاد سطح برگ پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده را نشان می‌دهد. مقادیر RMSE برای تراکم‌های ۱۵، ٤۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۱۳۵/۲۵، ۷۹/۳۳، ٦۸/۱۰ و ۷۳/۸۰ بود. مقدار R^2 برای برازش مدل در تراکم‌های مختلف کاشت نیز بین ۰/۹۰ تا ۰/۹٤ متغیر بود (جدول ٤).

راحمی کاریزکی و همکاران (۱۳۸۵) روند تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد گره روی ساقه اصلی نخود را با استفاده از رابطه نمایی توصیف کردند. افزایش نمایی سطح برگ در ارتباط با افزایش تعداد گره روی ساقه اصلی را می توان به افزایش شاخه زایی در گیاه نسبت داد (سلطانی، ۱۳۸۸؛ راحمی کاریزکی و همکاران، ۱۳۸۵؛ بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ٤- تخمین پارامترها همراه با خطای استاندارد برای مدل نمایی ($y = ae^{bx}$) جهت توصیف رابطه بین سطح برگ و تعداد گره روی ساقه اصلی. مقادیر R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و Pr (سطح معنی‌داری مدل) نیز آورده شده‌اند

تراکم	a ± SE	b ± SE	R^2	RMSE
۱۵	۵۷/۵٦ ± ۲۵/۷٤	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹۲	۱۳۵/۲۵
٤۰	۳۳/۳۰ ± ۱٤/۹۳	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹٤	۷۹/۳۳
٦۵	۲۹/٦۸ ± ۱۳/۱۱	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۰/۹۳	٦۸/۱۰
۹۰	۲۸/۵۰ ± ۱۵/۷۰	۰/۰۹ ± ۰/۰۱	۰/۹۰	۷۳/۸۰

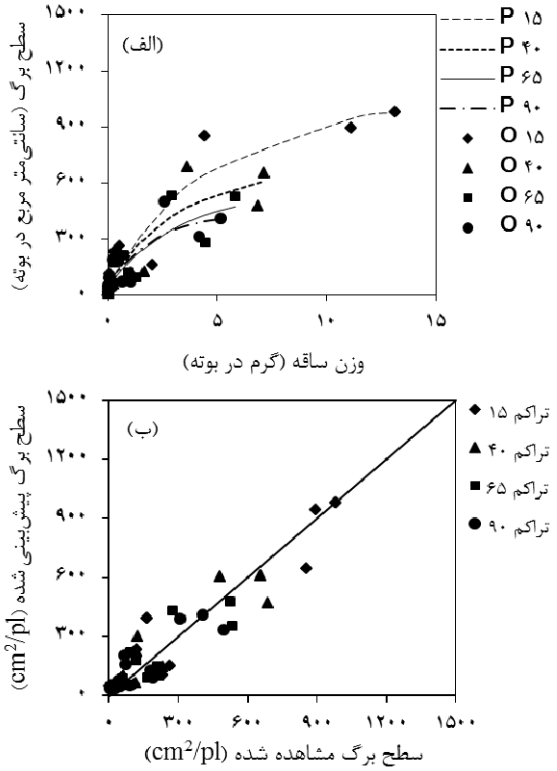
b: سرعت نسبی تغییرات سطح برگ در مقابل تعداد گره روی ساقه اصلی؛ a: مقدار سطح برگ در شروع رشد



شکل ۳- رابطه بین سطح برگ و تعداد گره در ساقه اصلی (الف) و رابطه بین سطح برگ مشاهده شده و سطح برگ پیش‌بینی شده (ب). O، مقادیر مشاهده شده و P، مقادیر پیش‌بینی شده در تراکم‌های ۱۵، ۴۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در مترمربع

رابطه بین سطح برگ و وزن خشک ساقه

تغییرات سطح برگ در مقابل وزن ساقه نیز با استفاده از مدل رگرسیون مجانب افقی توصیف شد. نتایج تجزیه رگرسیون نشان داد در مجموع تاریخ کاشت‌ها در تراکم‌های مختلف کاشت، با افزایش وزن ساقه، سطح برگ به صورت مجانب افزایش یافت (شکل ٤ الف) که در آن به جزء در تراکم ۱۵ و ۹۰ بوته در مترمربع که بین ضرایب a و b آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت در بین سایر تراکم‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تخمین ضرایب مدل از ٤۳٦/٤ تا ۱۰٤٤/۵ برای a و از ٤۰۱/۱ تا ۹۹۷/٦ برای b متغیر بود (جدول ۵). مدل برازش یافته بر داده‌ها نتوانست رابطه بین سطح برگ و وزن ساقه را به خوبی توصیف کند. شکل ٤ ب پراکندگی زیاد سطح برگ مشاهده شده و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. مقادیر RMSE برای تراکم‌های ۱۵، ٤۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۱۲۰/۸۵، ۱۱۵/۱۱، ۹٦/۱٦ و ۸۷/۹۳ بود. مقدار R^2 برای برازش مدل در تراکم‌های مختلف کاشت نیز بین ۰/۷٤ تا ۰/۹۰ متغیر بود (جدول ۵).



شکل ٤- رابطه بین سطح برگ و وزن ساقه (الف) و رابطه بین سطح برگ مشاهده شده و سطح برگ پیش‌بینی شده (ب). O، مقادیر مشاهده شده و P، مقادیر پیش‌بینی شده در تراکم‌های ۱۵، ٤۰، ٦۵ و ۹۰ بوته در مترمربع

جدول ۵- تخمین پارامترها برای مدل مجانب افقی ($y = a - bc^x$) جهت توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن ساقه. قادیر R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و Pr (سطح معنی‌داری مدل) نیز آورده شده‌اند

تراکم	a ± SE	b ± SE	c ± SE	R^2	RMSE
۱۵	۱۰٤٤/۵ ± ۱۵۹/۳	۹۹۷/٦ ± ۱۵٤/٤	۰/۸۱ ± ۰/۰۷	۰/۹۰	۱۲۰/۸۵
٤۰	٦۷۷/۵ ± ۱۸۹/۸	٦۲٦/۱ ± ۱۸۰/۹	۰/۷۳ ± ۰/۱٦	۰/۸۰	۱۱۵/۱۱
٦۵	۵۵۸/۲ ± ۲٤۵/۱	۵۱۳/۵ ± ۲۳۳/۳	۰/۷۳ ± ۰/۲۲	۰/۷۵	۹٦/۱٦
۹۰	٤۳٦/٤ ± ۱۲۰/۸	٤۰۱/۱ ± ۱۱٤/۸	۰/٦۰ ± ۰/۲۳	۰/۷٤	۸۷/۹۳

a حداکثر سطح برگ و b و c ضرایب مدل هستند

همان‌گونه که در شکل (٤ الف) مشاهده می‌شود در ابتدای فصل رشد سرعت افزایش سطح برگ در مقابل وزن ساقه بیشتر است. این امر می‌تواند به دلیل وجود رشد روزت در گیاه و نیز مهم بودن سطح برگ جهت دریافت تشعشع خورشیدی باشد که نهایتا منجر به این می شود گیاه بیشتر ماده خشک تولیدی خود را به برگ اختصاص دهد. با افزایش رشد گیاه و خارج شدن از مرحله روزت سهم ماده خشک تولیدی به ساقه افزایش و سهم تولید برگ کاهش می‌یابد که نهایتا منجر به کاهش سطح برگ می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج به دست آمده در مطالعات بخشنده و همکاران (۱۳۹۰) و اکرم‌قادری و سلطانی (۲۰۰۷) مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که که وزن خشک برگ توانسته است نسبت به سایر خصوصیات رویشی برآورد بهتری از سطح برگ داشته باشد. کمتر بودن RMSE (بین ۲٤/۳۹ تا

۶۱/۳۵) و بالا بودن R^2 (۰/۹۶ تا ۰/۹۸) رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ و پراکنش کمتر داده‌ها اطراف خط ۱:۱ در شکل ۲ب تأیید کننده این موضوع می‌باشد. با توجه به عدم اختلاف معنی‌دار بین ضریب b مدل خطی در تراکم های مختلف (جدول ۳)، یک مدل خطی کلی برای همه تراکم‌ها جهت پیش‌بینی سطح برگ از طریق وزن خشک برگ توصیه شد که ضرایب مدل برای a برابر با ۹/۷ و برای b برابر با ۱۰۸/۷ بودند. این مدل ($y = ۹/۷ + ۱۰۸/۷x$) ۹۷ درصد تغییرات در سطح برگ را توسط وزن خشک برگ توجیه کرد. مدل فوق می‌تواند برای تخمین سطح برگ، زمانی که دستگاه سطح برگ‌سنج در دسترس نیست، استفاده شود. همچنین از این رابطه می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گلرنگ استفاده کرد.

منابع

بخشنده، ا.، ا. سلطانی، ا. زینلی و م. کلاته عربی. ۱۳۹۰. ارزیابی روابط آلومتریک سطح برگ و صفات رویشی در هفت رقم گندم نان. مجله علوم زراعی ایران. ۱۳ (٤): ٦٥٧-٦٤٢.

پوررضا، ج.، ا. سلطانی، ع. راحمی کاریزکی، س. گالشی و ا. زینلی. ۱۳۸٦. روابط آلومتریک میان ارتفاع بوته و صفات رویشی در گیاه نخود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ١٤ (٥): ١٩٩-١٩١.

راحمی کاریزکی، ع.، ا. سلطانی، ج. پوررضا، ا. زینلی و ر. سرپرست. ۱۳۸۵. روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در گیاه نخود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳ (۵): ۵۹-٤۹.

سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵ صفحه.

مداح‌یزدی، و.، ا. سلطانی، ب. کامکار و ا. زینلی. ۱۳۸۷. فیزیولوژی مقایسه‌ای گندم و نخود: تولید و زوال برگ‌ها. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵ (٤): ٤٤-٣٦.

Akram-Ghaderi, F. and A. Soltani. 2007. Leaf area relationships to plant vegetative characteristics in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown in a temperate sub-humid environment. Int. J. Plant Prod. 1: 63-71.

Blanco, F. F. and M. V. Folegatti. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Sci. Agric. 62: 305-309.

Chanda, S. V. and Y. D. Singh. 2002. Estimation of leaf area in wheat using linear measurements. Plant Breed. Seed Sci. 46: 75-79.

Cristofori, V., Y. Rouphael, E. Mendoza-de Gyves and C. Bignami. 2007. A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements. Sci. Hort. 113(2): 221-225.

Dajue, L., H. H. Mündel. 1996. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetic and Crop Plant Research, Gatersleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome. Italy.

Daughtry, C. S. T. 1990. Direct measurements of canopy structure. Int. J. Remote. Sens. Rev. 5: 45-60.

Jonckheere, I., S. Fleck, K. Nackaerts, B. Muys, P. Coppin, M. Weiss and F. Baret. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. I: Theories, sensors and hemispherical photography. Agric. For. Meteorol. 121: 19-35.

Kandiannan, K., U. Parthasarathy, K. S. Krishnamurthy, C. K. Thankamani and V. Srinivasan. 2009. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. Sci. Hortice. 120(4): 532-537.

Leroy, C., L. Saint-Andre and D. Auclair. 2007. Practical methods for non-destructive measurement of tree leaf area. Agroforest. Syst. 71(2): 99-108.

Lizaso, J. I., W. D. Batchelor and M. E. Westgate. 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. Field Crops Res. 80: 1-17.

Nyakwende, E., C. J. Paull and J. G. Atherton. 1997. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing. J. Hortice. Sci. 72(2): 225-262.

Pourreza, J., A. Soltani, A. Naderi and A. Aynehband. 2009. Modeling leaf production and senescence in wheat. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 6: 498-507.

Soltani, A., M. J. Robertson, Y. Mohammad-Nejad and A. Rahemi-Karizaki. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Res. 99: 14-23.

Sonnentag, O., J. Talbot, J. M. Chen and N. T. Roulet. 2007. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. Agric. For. Meteorol. 144: 200-212.

Tsialtas, J. T. and N. Maslaris. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar. Photosynthetica. 46: 351-355.

Assessing the relationship between leaf area and some vegetative characteristics in safflower

B. Torabi[1], N. Dastfali-Nejad[2], A. Rahimi[2], A. Soltani[1]

Received: 2014-11-23 Accepted: 2015-2-1

Abstract

To find a quick and reliable method to estimate leaf area in safflower cv. 'Local Esfahan', a factorial experiment based on completely randomized block design was conducted with four replicates and two factors included sowing date: 5 and 25 April and 18 May and plant density: 15, 40, 65 and 90 plants/m^{-2}. Leaf area was estimated through leaf number on main stem, node number on main stem, leaf dry weight and stem dry weight by different regression models. Based on RMSE (root mean squares of error) and R^2 (determinant coefficient) estimated for studied models, leaf dry weight was the best independent variable to estimate the leaf area. The relationship between leaf area and leaf dry weight was described by a linear model. The values of RMSE varied between 24.39 and 61.35 for different densities and the values of R^2 was higher than 0.96. This indicates that the model could predict leaf area by leaf dry weight. It was found no significant difference between the slopes of linear model fitted on leaf area data against leaf dry weight. Therefore, a general model was fitted on these data using all densities and the values of *a* and *b* coefficients were estimated to be 9.7 and 108.7, respectively.

Key Words: Model, node number, leaf number, leaf dry weight, stem dry weight

1- Department of Agronomy and Crop Breeding, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Department of Agronomy and Crop Breeding, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran