نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۵۵۸-۵۴۶

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 546-558

تأثیر تراکم بوته بر روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در گندم

بهزاد ظفری قلعه رودخانی[1*]- افشین سلطانی[2]- ابراهیم زینلی[3]- بهنام کامکار[4]- محمد فیروزفرد[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

تراکم بوته از عوامل مدیریتی مهم بر روی عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. به‌منظور کمی‌سازی سطح برگ و صفات رویشی در گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل تراکم بوته (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰، ۸۰۰ بذر در مترمربع) و دو رقم (کوهدشت و مروارید) بودند. فاصله ردیف‌های کاشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بین سطح برگ با سایر صفات رویشی روابط آلومتریک مناسبی تا مرحله تورم غلاف برگ پرچم وجود داشت به‌طوری‌که ضرایب تبیین بین سطح برگ بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز و ارتفاع بوته به‌ترتیب ۰/۸۷، ۰/۷۸ و ۰/۸۵ بود. همچنین در بررسی اثر تراکم بر روی روابط آلومتریک بین صفات نتایج نشان دادند که برای صفات سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی و ارتفاع بوته تراکم تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت و برای صفت سطح برگ بوته در مقابل وزن خشک برگ سبز اثر تراکم غیرمعنی‌دار بود. از روابط به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گندم استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: اندام رویشی، رقم، فاصله کاشت بوته، قرینگی، وزن برگ

مقدمه

گندم (*Triticum*)، یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین گیاهان غذایی و اقتصادی در جهان محسوب می‌شود. مدل‌های گیاهان زراعی از بخش‌های مهم مدل‌های اکولوژیک می‌باشند (Jorgensen *et al.*, 1988). این مدل‌ها امکان پیش‌بینی سیستم‌های گیاهی و افزایش درک درباره چگونگی عملکرد آنها را فراهم می‌آورند (Van Ittersum and Donatelli, 2003). روابط آلومتریک در گیاهان تغییرات رشد و نمو و مشخصات نسبی یک بخش از گیاه را در مقایسه با کل یا بخش‌های دیگر گیاه آشکار می‌سازد (Niklas, 1994). تعیین تراکم بوته مناسب برای کشت، در گیاهان زراعی خصوصاً گندم از اهمیت بالایی برخوردار است که بر روی صفاتی از قبیل عملکرد و اجزای عملکرد بسیار تأثیرگذار می‌باشد. این تأثیرگذاری در مراحل مختلف رشد و نمو گیاه متفاوت است. برگ‌ها اندام‌های اصلی دریافت تشعشع و فتوسنتز در گیاهان زراعی هستند. شاخص سطح برگ به‌صورت نسبت مساحت برگ‌ها در یک مترمربع زمین اشغال شده توسط بوته‌ها محاسبه می‌شود (Labafihosienabadi *et al.*, 2012). نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، گسترش برگ‌هایی که به تازگی ظهور کرده‌اند و پیری برگ‌های مسن می‌باشد. دما از طریق تأثیر بر سرعت ظهور برگ، سرعت و دوام گسترش برگ می‌تواند بر سطح برگ بوته تأثیر بگذارد (Soltani, 2009).

در گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris*) رابطه بین عملکرد دانه و شاخص سطح برگ (R^2=۰/۲۳) و همچنین درصد جوانه‌زنی بذر با شاخص سطح برگ (R^2=۰/۳۵) می‌باشد به‌عبارتی دیگر ضریب تبیین

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email: behzadzafari@yahoo.com
DOI: 10.22067/gsc.v15i3.46036

برای این روابط پایین است (Rahemikarizaki *et al.*, 2006). در بررسی که بر روی روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) (۳ تاریخ کاشت و ۴ سطح تراکم) انجام شد، برای توصیف رابطه سطح برگ با صفات ذکر شده از معادله $Y=ax^b$ و تبدیل شده خطی $Ln(y)= a + bln(x)$ توسط راحمی کاریزکی و همکاران استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که بین سطح برگ با وزن خشک برگ R^2=۰/۹۴، وزن خشک کل اجزای رویشی R^2=۰/۹۳، ارتفاع بوته R^2=۰/۸۴ رابطه معنی‌داری وجود دارد همچنین توصیف سطح برگ از وزن خشک برگ و وزن خشک کل اجزای رویشی نسبت به ارتفاع از دقت بالایی برخوردار است (Rahemikarizaki *et al.*, 2006). در بررسی رابطه سطح برگ با تعداد گره در ساقه اصلی نخود نتایج نشان داده است که بین این دو صفت با ضریب تبیین R^2=۰/۹۴ رابطه معنی‌داری وجود دارد (Rahemikarizaki *et al.*, 2006). سطح برگ با استفاده از روابط آلومتریک در گیاه گندم نان و دوروم قابل پیش‌بینی بوده و بین سطح برگ در بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی R^2=۰/۹۲، وزن خشک برگ سبز R^2=۰/۹۶، وزن خشک اجزای رویشی R^2=۰/۹۵، ارتفاع بوته R^2=۰/۹۱ روابط معنی‌داری وجود دارد (Bakhshandeh *et al.*, 2011). نتیجه اینکه این روابط در ارقام گندم ثابت و پایدار بوده و تحت‌تأثیر رقم و شرایط کشت قرار نگرفت یعنی استفاده از یک معادله برای کلیه ارقام در هر دو شرایط کشت برای هر یک از صفات کافی بود. ضمناً از روابط زیر برای توصیف استفاده شد:

$$y = b_1x \quad (1)$$

$$y = b_1x_0 + b_2(x_2 + x_1) \quad (2)$$

که در این معادلات y سطح برگ در بوته، x تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز، اجزای رویشی و یا ارتفاع بوته، x_0 نقطه عطف بین دو مرحله و b_1 و b_2 شیب‌های خط (یعنی میزان افزایش در y به‌ازای هر واحد افزایش در x) هستند.

برای بررسی و برآورد سطح برگ در ارقام پنبه با استفاده از ویژگی‌های رویشی گیاه (سه رقم و چهار سطح تاریخ کاشت) تحت شرایط آبی معادله توانی به‌صورت تبدیل شده خطی $Ln(y) = a + bln(x)$ می‌توان استفاده کرد، به‌طوری‌که بین سطح برگ با وزن خشک برگ (R^2=۰/۹۸)، وزن خشک کل اجزای رویشی (R^2=۰/۸۴) و ارتفاع بوته (R^2=۰/۷۶) رابطه معنی‌داری وجود داشت (Akramghaderi *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای جهت پیش‌بینی شاخص سطح برگ کدوی پوست کاغذی با روابط آلومتریک (سه تاریخ کاشت با چهار تکرار) از معادله خطی $Ln(y) = a + bln(x)$ استفاده شد، نتیجه اینکه بین شاخص سطح برگ و تعداد برگ در بوته R^2=۰/۹۰، تعداد گره در ساقه اصلی R^2=۰/۹۰، طول بوته R^2=۰/۹۰، وزن تر برگ R^2=۰/۹۸ و وزن خشک برگ R^2=۰/۹۸ رابطه قوی و معنی‌داری وجود داشت (Kanemasu *et al.*, 1997).

در پژوهشی به منظور پیدا کردن رابطه آلومتریک بین سطح برگ در ساقه اصلی و تعداد پنجه در ۹ رقم برنج (*Oryza sativa*) در شرایطی با اثرات آب و خاک نتایج مشاهده شد که برای سطح برگ در ۹ رقم، شیب آلومتری در شرایط هوازی نسبت به غرقابی تغییرات بیشتری دارد. در نتیجه ارقام با برگ‌های بزرگتر در قیاس با برگ‌های کوچکتر که با محدودیت رطوبت مواجه بودند، شیب آلومتری بالاتری خواهند داشت. همچنین برای ۹ رقم در شرایط هوازی بین اندازه برگ و قدرت اولیه ارتباط معنی‌داری مشاهده شده است:

$$\ln S = a\ln N \quad (3)$$

در این معادله S تغییرات آلومتریک در اندازه سطح‌برگ، N تعداد و a ضریب می‌باشند (Niklas, 1994). همچنین در پژوهشی به‌منظور تعیین سطح برگ هشت رقم بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea*) با تیپ‌های رشدی متفاوت از وزن خشک کل اجزای رویشی و وزن خشک برگ سبز استفاده شد. درنهایت نتایج نشان داد که مدل غیرخطی می‌تواند با دقت بیشتر و در محدوده گسترده‌تری ارقام و وضعیت‌های رشد، سطح برگ کانوپی بادام‌زمینی را برآورد کند.

$$LA = ۰/۰۲۳۴LDW^{۰/۹۷} \quad (4)$$

$$LA = ۰/۰۲۰۵LDW^{۰/۸۵} \quad (5)$$

در این روابط LA سطح برگ و LDW وزن خشک برگ سبز می‌باشد (Niklas, 1994).

پس از ۵ سال بررسی بر روی گیاه چغندرقند (رقم رایزو) در شرایط مزرعه‌ای محققان گزارش کردند که یک تابع درجه دوم به‌صورت زیر با ضریب تبیین R^2=۰/۶۳ می‌تواند رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز را توصیف کند:

$$LA = ۴۳/۴۴\ LDW۲ - ۱۰/۶۹\ LDW + ۱۱۸/۳۴ \quad (6)$$

که در این روابط LA سطح برگ و LDW وزن خشک برگ سبز می‌باشد (Tsialtas and Maslaris, 2008). در بررسی ۳ ساله بر روی گیاه جو (*Hordeum vulgare*) که بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز و وزن خشک کل اجزای رویشی به‌ترتیب با مقادیر ضریب تبیین R^2=۰/۹۶ و R^2=۰/۹۶، نشان داده شد که رابطه آلومتریک بالایی وجود دارد. نتایج نشان داده است که این روابط تحت تأثیر شرایط محیطی قرار نمی‌گیرند. بنابراین نتایج می‌توان سطح برگ را با معادلات زیر به‌دست آورد:

$$LA = ۶/۸۵ + ۲۴۴/۸۶\ LDW \quad (7)$$

$$LA = ۴/۳۹ + ۱۳۸/۸۲\ TBM \quad (8)$$

در این روابط LA سطح برگ و LDW وزن خشک برگ سبز و TBM وزن خشک کل اجزای رویشی می‌باشد (Sharrett and Baker, 1985).

در مطالعه‌ای رابطه‌ی سطح برگ با وزن خشک برگ سبز و وزن خشک کل اجزای رویشی در طول سه فصل رشد، تحت شرایط

مطلوب آبیاری در گیاه یونجه مورد بررسی قرار گرفت و گزارش شد که این روابط تحت تأثیر فصل رشد قرار نگرفته است همچنین از معادله‌های زیر برای برآورد سطح برگ یونجه استفاده می‌شود:

$$LA = ۲۸/۷\ LDW^{۰/۹۹۳} \quad (۱۱)$$

$$LA = ۱۰/۷\ TBM^{۰/۹۹۲} \quad (۱۲)$$

در این روابط LDW وزن خشک برگ سبز، TBM وزن خشک کل اجزای رویشی، LA سطح برگ می‌باشد. برای توصیف رابطه بین سطح برگ با وزن خشک کل اجزای رویشی در گیاه سویا (*Glycine max*) از رابطه توانی ۱۳ می‌توان استفاده کرد (Lieth *et al.*, 1986):

$$LA = ۳۲۸/۸\ TBM^{۰/۷۳} \quad (۱۳)$$

در این روابط TBM وزن خشک کل اجزای رویشی، LA سطح برگ می‌باشد. در بررسی بر روی گیاه یونجه (*Medicago sativa*) و ارزن (*Panicum miliaceum*) مدل غیرخطی روابط بین سطح برگ و وزن خشک برگ را بهتر توصیف می‌کند (Niklas, 1994; Rahemi-karizaki, 2005).

تراکم در هر سه مرحله ساقه‌رفتن، تورم غلاف برگ پرچم و گلدهی سبب افزایش شاخص سطح برگ در واحد سطح می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2011). تراکم زیاد در کاشت گندم، سطح برگ بیشتری در هر نمونه به‌دست می‌آید. به‌طور کلی در تراکم‌های کمتر بوته، سطح برگ کمتری در مقایسه با تراکم‌های زیادتر به‌دست می‌آید و در تراکم‌های بیشتر، گیاهان زودتر به حداکثر شاخص سطح برگ می‌رسند.

مواد و روش‌ها

آزمایش طی سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۰ متر انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه ۶۰۷ میلی‌متر و میانگین دمای حداکثر ۲۲/۷ و دمای حداقل ۱۲/۶ درجه سانتی‌گراد با دامنه نوسان ۱۰ درجه سانتی‌گراد (Akram-Ghaderi *et al.*, 2005) بود. منطقه مورد نظر از نظر آب و هوایی جزء معتدل نیمه مرطوب می‌باشد. نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ نشان داده شده است و بافت خاک لومی‌رسی‌سیلتی[1] می‌باشد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو رقم گندم (کوهدشت و مروارید) و هفت تراکم (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۵۰، ۵۰۰، ۶۵۰، ۸۰۰ بذر در مترمربع) بودند. فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر تکرار شامل ۱۴ کرت بود و در هر کرت ۱۰ ردیف به طول ۵ متر و عرض ۲ متر و با فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر بود. فاصله کرت‌ها از یکدیگر در یک بلوک ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱ متر در نظر گرفته شد.

بذرها در تاریخ ۱۹ آذرماه ۱۳۹۱ پس از ضدعفونی کردن، به‌صورت دستی و در عمق ۳ سانتی‌متری از سطح خاک کشت شدند. زمینی که طرح موردنظر در آن انجام شد در سال قبل زیر کشت گندم و در فصل تابستان آیش بود. پس از انجام عملیات شخم با گاوآهن برگردان‌دار در اوایل آذرماه ۱۳۹۱، زمین در دو نوبت به‌صورت عمود بر هم دیسک زده شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری)

Table 1- Test the soil profile (zero to 30 cm depth)

مشخصات Specifications	مقدار Amount
درصد اشباع Saturation	51.5
هدایت الکتریکی Electrically conductive (dS m^{-1})	0.6
اسیدیته گل اشباع Mud acidity saturation	7.9
درصد مواد خنثی شونده The percentage of neutralizing	25
کربن آلی Organic carbon (%)	1.30
نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	0.1
فسفر قابل جذب Available phosphorous (ppm)	9.5
پتاسیم قابل جذب Available potassium (ppm)	200
رس Clay (%)	36
سیلت Silt (%)	54
شن Sand (%)	10

براساس داده‌های حاصل از آزمایش خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح، قبل از کاشت، کوددهی زمین کشت انجام شد که برای کود اوره مرحله اول ۲۰ روز بعد از کاشت (اوایل پنجه‌زنی) در تاریخ ۱۱ دی ماه و مرحله دوم در تاریخ ۲۰ اسفند ماه (اوایل ساقه رفتن) بود. کود دی‌آمونیوم فسفات، کوددهی در یک مرحله در تاریخ ۱۱ دی ماه انجام شد. میزان مصرفی کودها براساس سنجش و ارزیابی مقادیر آزمایش خاک صورت گرفت. چون آزمایش در شرایط عدم محدودیت عناصر غذایی، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز انجام می‌شد، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز در مواقع

1- Silty Clay Loam

لازم صورت گرفت.

برای جلوگیری از بیماری زنگ زرد گندم، سفیدک پودری غلات و سپتوریوز از سم قارچ‌کش پروپیکونازول (تیلت، ۸۰ گرم بر لیتر) در ۲ مرحله، نوبت اول در ۸ فروردین ۱۳۹۲ و نوبت دوم در ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۲ به مقدار ۱/۲ لیتر در هکتار و همچنین به منظور مبارزه با ملخ، سن گندم و سوسک برگخوار گندم (لما) از سم حشره‌کش دیازینون به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار در تاریخ ۸ فروردین ماه ۱۳۹۲ استفاده شد. درخصوص مبارزه با علف‌های هرز نیز از علف‌کش تری‌بنورون‌متیل (گرانستار، ۷۵۰ گرم بر لیتر) به مقدار ۲۰ گرم در هکتار و کلودینانوپ برودیارژیل (تاپیک، ۲۵۰ گرم بر لیتر) به مقدار یک لیتر در هکتار در تاریخ ۵ اسفند ماه ۱۳۹۱ استفاده شد.

اندازه‌گیری‌ها در تمام کرت‌ها از مرحله پنجه‌زنی تا پایان مرحله رشد در فاصله زمانی هر ۷ تا ۱۰ روز (بستگی به شرایط آب و هوایی) انجام شد. اندازه‌گیری در تراکم‌های بالا روی نمونه گیاهی شامل ۵ تا ۱۰ بوته که از یک نمونه بزرگ‌تر ۱۵ تا ۳۰تایی و در تراکم‌های پایین‌تر چون تعداد بوته‌ها کمتر بود اندازه‌گیری روی ۵ بوته که از یک نمونه بزرگ‌تر ۱۰ تا ۱۵تایی انتخاب شده بودند، صورت گرفت. تنها در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک کلیه اندازه‌گیری‌ها بر روی ۱۵ بوته انتخابی از ۲۵ تا ۳۰ بوته نمونه بزرگ‌تر انجام شد. جهت سنجش سطح برگ از دستگاه سطح برگ‌سنج دلتا تی و برای شمارش تعداد برگ در ساقه اصلی از روش هان (Han, 1973) استفاده شد.

برازش معادلات آلومتریک مرتبط با شاخص سطح برگ تا مرحله پایان تورم غلاف برگ پرچم، در چهار حالت یعنی (۱) هر تراکم برای هر یک از دو رقم (۲) هر تراکم برای هر دو رقم یعنی ترکیب ارقام (۳) هر رقم شامل همه تراکم‌ها (۴) یک معادله کلی برای همه تراکم‌ها و هر دو رقم، انجام و با استفاده از نرم‌افزار SAS و تخمین ضرایب هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری با کمک رویه PROC NLIN صورت گرفت.

برای محاسبه واحد دمایی تجمعی از برنامه GDD_Calc استفاده شد. در این برنامه واحد دمایی تجمعی (زمان حرارتی) با لحاظ منحنی واکنش سرعت نمو به دما و دماهای کاردینال نمو محاسبه شد. دماهای کاردینال به‌ترتیب صفر درجه سانتی‌گراد برای دمای پایه، ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای دمای مطلوب تحتانی، ۲۸ درجه سانتی‌گراد برای دمای مطلوب فوقانی و ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای دمای سقف در نظر گرفته شد (Soltani, 2009).

برای توصیف روابط آلومتریک معمولاً به‌صورت گسترده از معادله توانی (۱۴) استفاده می‌شود که در آن a عبارت از مقدار y وقتی x=۱ و b ضریب آلومتریک می‌باشد (Rahemikarizaki, 2006). همچنین اگر در معادله (۱۴) مقدار a برابر یک فرض شود، به‌صورت معادله (۱۵) ساده خواهد شد.

$$y = ax^b \quad (۱۴)$$

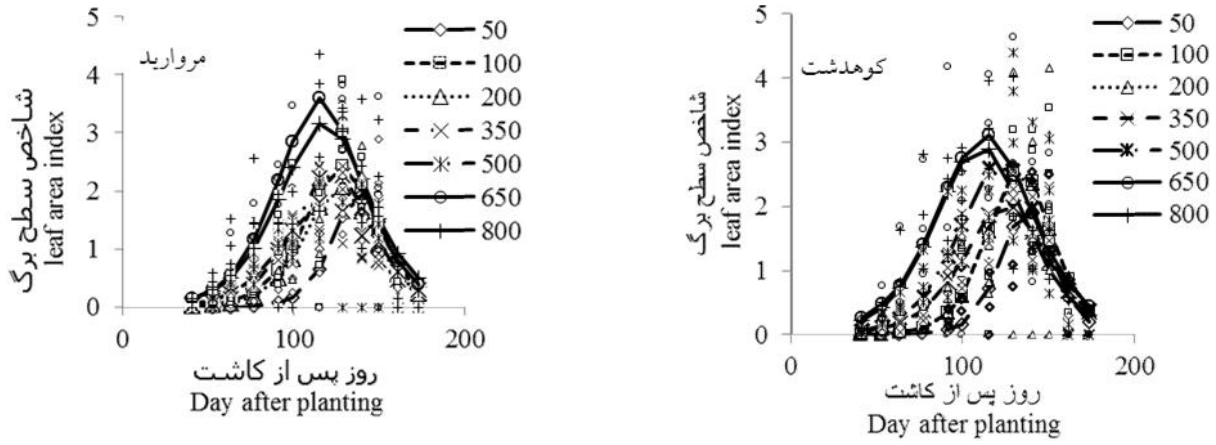
$$y = x^b \quad (۱۵)$$

در این مطالعه برای توصیف روابط آلومتریک بین سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته) با تعداد برگ در ساقه اصلی، سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته) با ارتفاع بوته (سانتی‌متر) از معادله (۱۵) و برای توصیف شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ سبز (گرم در بوته) از معادله (۱۴) استفاده گردید.

به‌منظور مقایسه چگونگی تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد از معادله لجستیک (۱۶) (Arabamer, 2008; Pengelly *et al.*, 1999) به‌صورت زیر استفاده گردید:

$$y = (ae^{-a(x-b)(c)}) / (۱ + e^{-a(x-b)})^2 \quad (۱۶)$$

که در آن a یک ضریب ثابت می‌باشد و نقطه عطف منحنی را نشان می‌دهد. b زمان پس از کاشت که در آن حداکثر شاخص سطح برگ حادث می‌شود و c نیز یک ضریب ثابت می‌باشد.



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در ارتباط با زمان (روز پس از کاشت) دو رقم گندم مروارید و کوهدشت در تراکم‌های مختلف

Figure 1- LAI change with time (days after planting), two wheat cultivars in different density Morvarid and Kouhdasht

نتایج و بحث

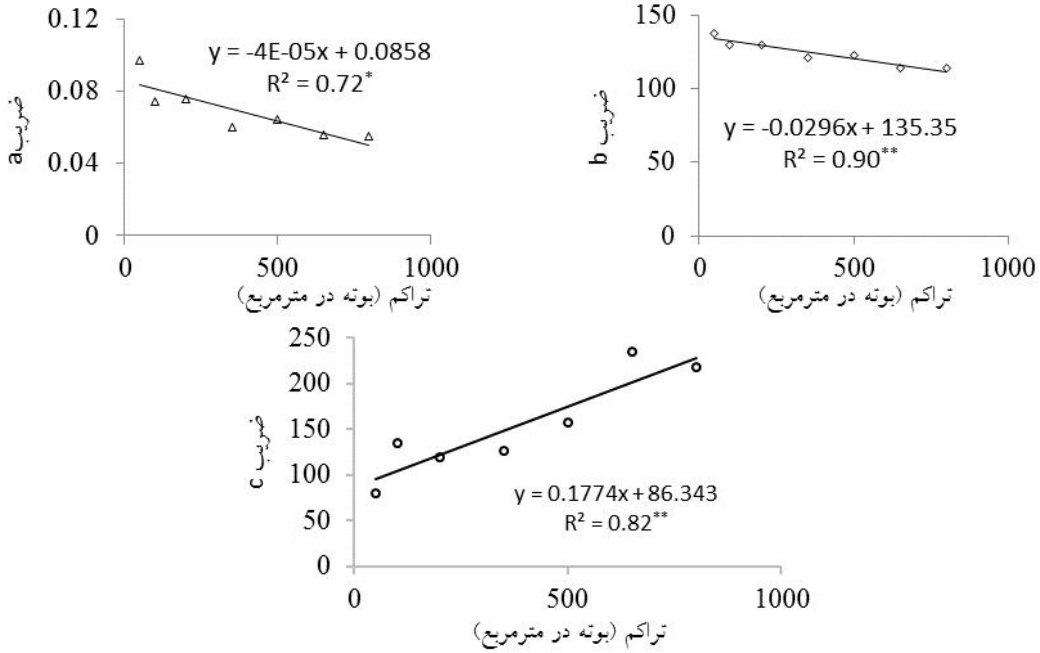
برازش معادلات مرتبط با شاخص سطح برگ

ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۳ و محدوده جذر میانگین مربعات خطا بین ۰/۳۷ تا ۰/۷۷ برای سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت نشان داد که معادله لجستیک (۱۶) توانست افزایش سطح‌برگ در طول زمان را به خوبی توصیف کند بنابراین از این معادله می‌توان برای پیش‌بینی سطح‌برگ در زمان‌های مختلف پس از کاشت استفاده کرد. مقادیر مربوط به ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تغییرات در جدول ۲ ارائه شده است. چگونگی روند افزایش شاخص سطح برگ در طول فصل رشد در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی ضرایب نشان داد که بین تراکم‌های گندم از نظر مقدار ضریب a در سطح پنج درصد و ضریب b و c در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲) و با افزایش تراکم ضریب c افزایش و ضرایب a و b کاهش یافتند. به‌طوری‌که برای سطح برگ، مقدار ضریب c، ۰/۱۷۷۴ واحد به‌ازای هر بوته افزایش یافت و مقدار ضریب a، ۰/۰۰۰۴ واحد و ضریب b، ۰/۰۲۹۶ واحد به‌ازای هر بوته کاهش یافت. به‌عبارت دیگر برای b که نشان‌دهنده روز یا زمانی است که حداکثر شاخص سطح برگ اتفاق می‌افتد، در تراکم پایین به‌علت وجود پنجه و عدم رقابت برای نور و فضا، ظاهر شدن گره و میانگره‌ها و سپس طویل شدن برگ‌ها دیرتر اتفاق می‌افتد، پس مدت زمان بیشتر و واحد دمایی بالاتری جهت رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ نیاز خواهد بود. بنابراین با افزایش تراکم، چون تعداد پنجه‌ها کمتر و رقابت برای نور بیشتر می‌شود، نقطه عطف منحنی زودتر اتفاق خواهد افتاد. ضرایب مربوط به معادلات در شکل ۲ ارائه شده است. در تغییرات بین شاخص سطح برگ با تعداد روز پس از کاشت در تمامی صفات بین ارقام اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (Bakhshandeh, 2011).

رابطه بین شاخص سطح برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی

برای تعیین رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ در ساقه اصلی از معادله $Y = x^b$ استفاده شد. مقادیر ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۷ و جذر میانگین مربعات خطا بین ۹/۶۵ تا ۲۴/۳۹ به‌ترتیب متعلق به تراکم‌های ۸۰۰ و ۵۰ بودند که نشان‌دهنده رابطه مناسبی بین سطح برگ در بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی می‌باشد (جدول ۳). نمودار مربوط به چگونگی برازش این معادله و افزایش سطح برگ بوته در ارتباط با تعداد برگ در ساقه اصلی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲- برازش رگرسیونی خطی تأثیر تراکم بر ضرایب a و b برای سطح برگ در ارتباط با واحد دمایی

Figure 2- The effect of density on the regression coefficients a and b of leaf surface with thermal unit

جدول ۲- تخمین ضرایب معادله (۱۶) توصیف‌کننده تغییرات شاخص سطح‌برگ در ارتباط با روز پس از کاشت

Table 2- The estimated coefficients of the equation describing the change in LAI with 16 days after planting

تیمار	n	a±SE	b ±SE	C±SE	RMSE	CV (%)	R^2
کوهدشت							
50	48	0.099 ± 0.011	136.8 ± 1.65	79.21 ± 7.63	0.41	65.21	0.83
100	47	0.080 ± 0.008	132.6 ± 1.91	130.3 ±11.29	0.55	55.30	0.84
200	45	0.079 ± 0.011	132.8 ± 2.51	128.3 ± 14.49	0.71	70.93	0.73
350	48	0.061 ± 0.005	124.2 ± 1.94	132.1 ± 9.13	0.41	39.55	0.80
500	48	0.062 ± 0.007	121.5 ± 2.42	173.9 ± 15.20	0.70	48.04	0.81
650	46	0.053 ± 0.005	112.5 ± 2.58	234.5 ± 18.67	0.77	38.81	0.84
800	48	0.056 ± 0.004	110.0 ± 1.93	209.2 ± 13.25	0.57	34.81	0.89
مروارید							
50	46	0.096 ± 0.010	138.6 ± 1.51	81.59 ± 7.07	0.37	57.26	0.86
100	47	0.070 ± 0.006	127.5 ± 1.97	138.5 ± 10.78	0.51	48.36	0.85
200	46	0.074 ± 0.006	126.8 ± 1.65	112.3 ± 4.74	0.37	46.81	0.88
350	48	0.060 ± 0.005	118.3 ± 2.11	121.6 ± 8.99	0.41	41.02	0.85
500	45	0.067 ± 0.005	122.7 ± 1.79	141.1 ± 9.64	0.44	44.43	0.87
650	45	0.060 ± 0.005	115.1 ± 1.80	236.9 ± 15.03	0.66	37.80	0.89
800	46	0.057 ± 0.005	118.0 ± 2.32	223.6 ± 17.09	0.72	41.21	0.86
کوهدشت	329	0.059 ± 0.003	122.4 ± 1.15	158.3 ± 6.29	0.73	51.59	0.74
مروارید	323	0.062 ± 0.002	122.5 ± 1.01	151.8 ± 5.54	0.66	51.82	0.77
50	93	0.097 ± 0.007	137.6 ± 1.11	80.55 ± 5.16	0.38	60.77	0.84
100	94	0.074 ± 0.005	130.0 ± 1.40	135.1 ± 7.86	0.53	51.65	0.84
200	91	0.076 ± 0.006	130.0 ± 1.63	120.1 ± 8.37	0.57	62.37	0.78
350	96	0.060 ± 0.004	121.3 ± 1.46	127.0 ± 6.51	0.41	40.57	0.86
500	93	0.064 ± 0.004	122.2 ± 1.55	158.1 ± 9.09	0.59	47.93	0.83
650	91	0.056 ± 0.003	113.9 ± 1.54	235.2 ± 11.89	0.71	38.44	0.86
800	94	0.055 ± 0.003	113.9 ± 1.57	218.4 ± 11.11	0.67	38.15	0.86
کل	652	0.061 ± 0.002	122.4 ± 0.76	155.1 ± 4.18	0.70	51.73	0.76

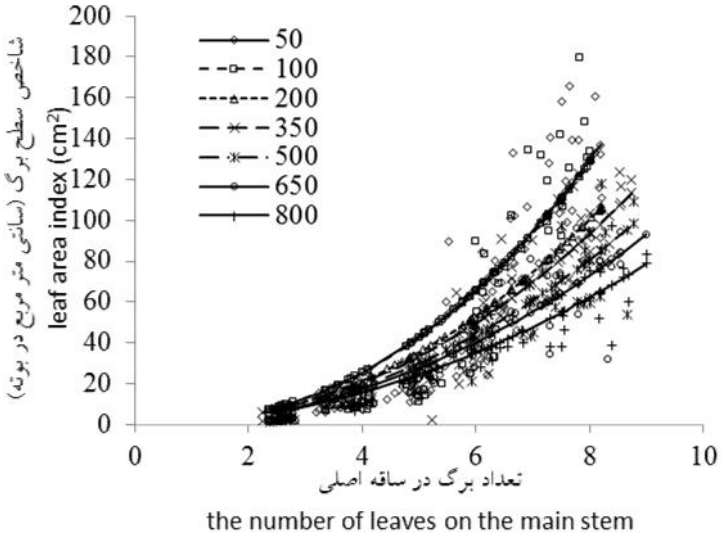
جدول ۳ - تخمین ضرایب معادله $Y = x^b$ توصیف‌کننده تغییرات شاخص سطح برگ در ارتباط با تعداد برگ در ساقه اصلی

Table 3- The estimated coefficients of the equation $Y = x^b$ describing the changes in relation to the number of leaves, leaf area index

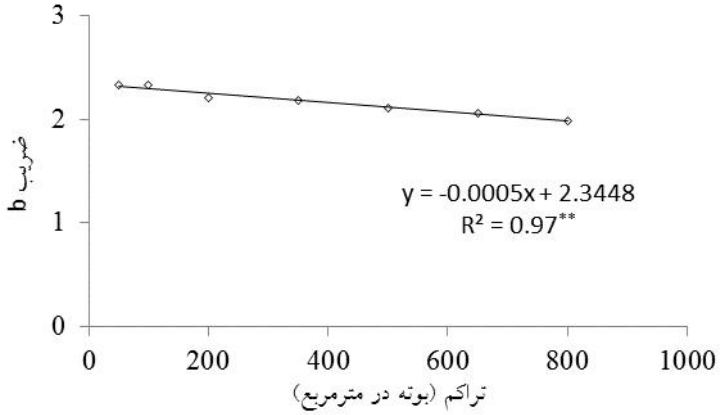
تراکم	n	b±se	RMSE	CV (%)	R^2
50	53	2.33 ± 0.02	24.39	26.87	0.87
100	54	2.33 ± 0.02	22.08	23.27	0.91
200	56	2.21 ± 0.01	16.41	22.42	0.93
350	56	2.18 ± 0.01	16.32	24.24	0.93
500	56	2.11 ± 0.01	14.36	25.23	0.93
650	52	2.06 ± 0.01	12.94	26.24	0.92
800	54	1.98 ± 0.01	9.65	22.42	0.94
کل	381	2.17 ±0.00	21.57	32.74	0.87

بررسی ضرایب نشان داد که بین تراکم‌های گندم از نظر مقدار ضریب b تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد (شکل ۴). به‌عبارت دیگر با افزایش تراکم ضریب b کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که به‌ازای افزایش یک بوته، مقدار این ضریب ۰/۰۰۰۵ واحد کاهش یافت (شکل ۴). در تراکم بالا به علت کمتر بودن تعداد پنجه، تعداد برگ در کل بوته کمتر خواهد بود، بنابراین با افزایش تراکم، مقدار شاخص سطح برگ بوته افزایش یافته، به‌ازای افزایش هر برگ در ساقه اصلی، کاهش می‌یابد. ضریب مربوط به معادله در شکل ۴ ارائه شده است. سلطانی و همکاران در نخود نشان دادند که ضریب b به تراکم وابسته بوده و با افزایش تراکم این ضریب کاهش می‌یابد

(Soltani *et al.*, 2006). بخشنده و همکاران (Bakhshandeh *et al.*, 2011) علاوه بر استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی دوتکه‌ای، از معادله $y=x^b$ برای توصیف سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی استفاده کردند و نشان دادند این معادله به خوبی می‌تواند این توصیف را با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۸ توجیه نماید. همر و همکاران (Hammer *et al.*, 1993) در سورگوم دانه‌ای (*Sorgum bicolor*) و سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006) در نخود نیز از معادله مشابهی برای توصیف سطح برگ از تعداد گره در ساقه اصلی استفاده کردند. پنگلی و همکاران (Pengelly *et al.*, 1999) از این تابع برای پیش‌بینی سطح برگ به‌عنوان تابعی از شاخص پلاستوکرون (فاصله زمانی بین ظهور آغازی‌های برگ) استفاده کردند.



شکل ۳- برازش مدل $y=x^b$ شاخص سطح برگ در ارتباط با تعداد برگ در ارتباط با ساقه اصلی در تراکم‌های مختلف
Figure 3- Model $y = x^b$ leaf area in relation to the number of leaves on the main stem of different density



شکل ٤ - برازش رگرسیونی خطی تأثیر تراکم بر ضریب b برای سطح برگ در ارتباط با تعداد برگ در ساقه اصلی
Figure 4- Regression coefficient b for the density effect in relation to the number of leaves, leaf area

رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز

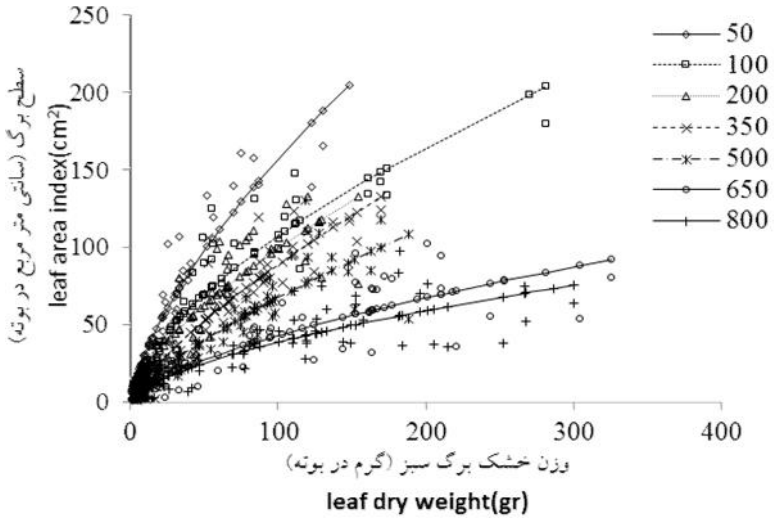
برای توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز، برازش معادله $Y = ax^b$ انجام شد. مقدار ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۸ و مقدار جذر میانگین مربعات خطا بین ۱۳/۴۴ تا ۱۷/۶۸ به‌ترتیب متعلق به تراکم‌های ۳۵۰ و ۱۰۰ بودند که نشان‌دهنده وجود رابطه نسبتاً خوبی بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز می‌باشد (جدول ۴). چگونگی برازش معادله $Y= ax^b$ و افزایش سطح برگ در ارتباط با وزن خشک برگ سبز در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ٤- تخمین ضرایب معادله $Y = ax^b$ توصیف‌کننده تغییرات سطح برگ در ارتباط با وزن خشک برگ سبز برای تراکم‌های مختلف

Table 4- The estimated coefficients of the equation $Y = ax^b$ describing the changes in leaf area and leaf green dry weight in relation to the density

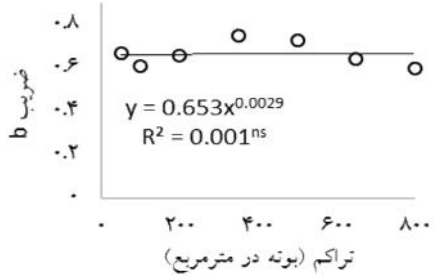
تراکم	n	a±se	b±se	RMSE	CV	R^2
50	53	7.09 ± 1.11	0.67 ± 0.03	14.72	26.18	0.95
100	54	6.31 ± 1.21	0.61 ± 0.04	17.68	27.50	0.94
200	56	4.64 ± 1.21	0.66 ± 0.05	16.81	28.24	0.93
350	56	2.79 ±0.70	0.75 ± 0.05	13.44	24.65	0.95
500	56	2.28 ± 0.79	0.73 ± 0.07	15.32	29.77	0.92
650	52	2.27 ± 0.90	0.64 ± 0.07	15.48	31.32	0.90
800	54	2.41 ± 0.98	0.60 ± 0.08	14.25	30.87	0.89
کل	381	8.08 ± 1.18	0.46 ± 0.03	27.90	38.99	0.78

بررسی ضرایب نشان داد که بین تراکم‌های گندم از نظر مقدار ضریب b تفاوت معنی‌داری وجود (شکل ۶). ضرایب مربوط به معادلات در شکل ۶ ارائه داده شده است. بخشنده و همکاران (Bakhshandeh *et al.*, 2011) در مطالعه‌ای بر روی گندم از مدل رگرسیون غیرخطی برای توصیف سطح برگ به وزن خشک برگ سبز استفاده کردند که به‌خوبی توانست توصیف‌کننده نسبت ذکر شده باشد. لایت و همکاران (Lieth *et al.*, 1986) از رابطه غیر خطی برای توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ سبز در سویا استفاده کردند. نه‌بندانی و همکاران (Nehbandani *et al.*, 2013) در مطالعه‌ای گزارش کردند که رابطه شاخص سطح برگ در مقابل وزن خشک برگ در گیاه سویا تحت تأثیر رقم و تراکم قرار ندارند.



شکل ٥- برازش مدل $y=ax^b$ بین سطح برگ در ارتباط با وزن خشک برگ سبز در تراکم‌های مختلف

Figure 5- Model $y=ax^b$ the green leaf area and leaf dry weight in relation to the different density



شکل ٦- برازش رگرسیونی تأثیر تراکم بر ضریب b، برای سطح برگ در ارتباط با وزن خشک برگ سبز

Figure 6- The effect of density on the regression coefficient b, a leaf with green leaf dry weight

رابطه بین سطح برگ و ارتفاع بوته

برای تعیین رابطه بین سطح برگ و ارتفاع بوته برازش معادله $Y = x^b$ انجام شد. مقادیر ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۵ و دامنه جذر میانگین مربعات خطا بین ۹/۹۲ تا ۲۱/۱۳ سانتی‌متر مربع در بوته، به‌ترتیب برای تراکم‌های ۸۰۰ و ۲۰۰ نشان‌دهنده رابطه مناسبی بین سطح برگ و ارتفاع بوته می‌باشد (جدول ۵). نمودار مربوط به چگونگی برازش معادله $Y = x^b$ و افزایش سطح برگ در ارتباط با ارتفاع در شکل ۷ نشان داده شده است.

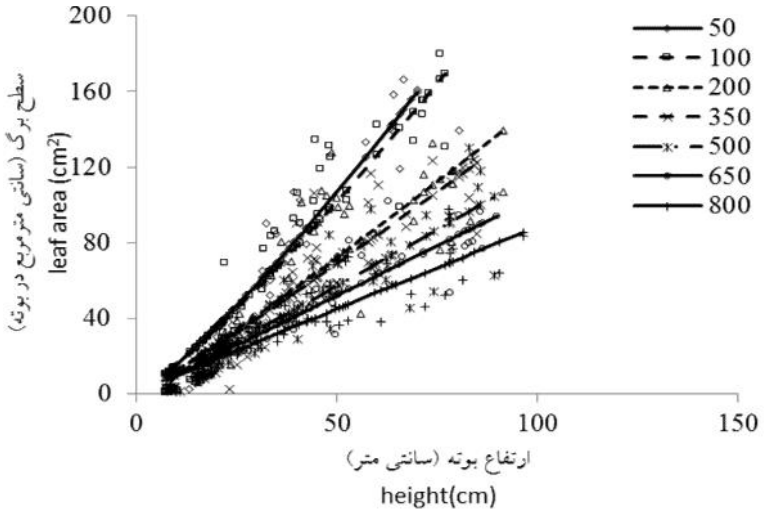
جدول ۵- تخمین ضرایب معادله $Y = x^b$ توصیف‌کننده تغییرات شاخص سطح برگ در ارتباط با ارتفاع برای تراکم‌های مختلف

Table 5- The estimated coefficients of the equation $Y = x^b$ describing the changes associated with high LAI for different density

تراکم	n	b±se	RMSE	CV	R^2
50	52	1.19 ± 0.00	11.07	20.55	0.94
100	53	1.18 ± 0.00	18.57	26.39	0.93
200	54	1.09 ± 0.01	21.13	36.16	0.89
350	55	1.08 ± 0.00	16.52	26.99	0.93
500	55	1.03 ± 0.00	14.53	26.50	0.93
650	51	1.00 ± 0.00	10.56	22.20	0.95
800	53	0.97 ± 0.00	9.92	24.04	0.94
کل	373	1.06 ± 0.00	23.13	39.45	0.85

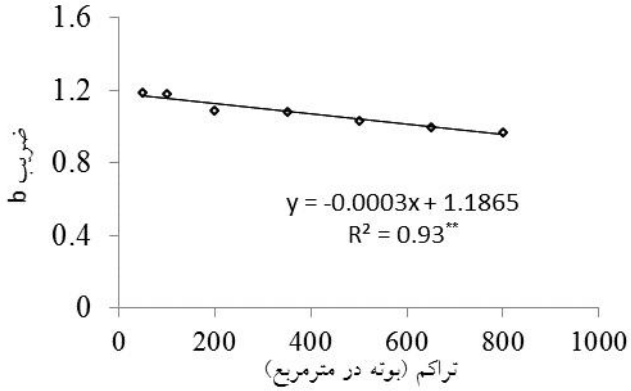
بررسی ضرایب نشان داد که بین تراکم‌های مختلف گندم از نظر مقدار ضریب b تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد وجود داشت (شکل ۸) و با افزایش تراکم ضریب b کاهش یافت به‌طوری‌که به‌ازای هر بوته افزایش تراکم، مقدار این ضریب ۰/۰۰۰۳ واحد کاهش یافت (جدول ۵). در تراکم بالا به علت کمتر بودن تعداد پنجه، سطح برگ در کل بوته کمتر خواهد بود بنابراین با افزایش تراکم، مقدار سطح‌برگ بوته افزایش یافته به‌ازای افزایش ارتفاع بوته، کاهش می‌یابد. ضریب مربوط به معادله در شکل ۸ نشان داده شده است.

بخشنده و همکاران (Bakhshandeh *et al.*, 2011) از مدل رگرسیون غیرخطی دوتکه‌ای برای توصیف رابطه بین سطح برگ و ارتفاع بوته استفاده کردند. راحمی و همکاران (Rahemikarizaki *et al.*, 2006) در نخود، اکرم قادری و همکاران (Akram-Ghaderi *et al.*, 2005) در پنبه (*Gossypium*)، لایت و همکاران (Lieth *et al.*, 1986) در سویا از معادلات غیرخطی برای توصیف این رابطه استفاده کردند.



شکل ۷- برازش مدل $y=x^b$ بین سطح برگ در ارتباط با ارتفاع بوته در تراکم‌های مختلف

Figure 7- Model $y=x^b$ relationship between leaf area and plant height at different densities



شکل ۸- برازش رگرسیونی خطی تأثیر تراکم بر ضریب b برای شاخص سطح برگ در ارتباط با ارتفاع بوته

Figure 8- Regression coefficient b for the density effect in relation to plant height, leaf area index

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه بین سطح برگ بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز و ارتفاع بوته روابط آلومتریک خوبی تا مرحله تورم غلاف برگ پرچم نشان داد (به‌ترتیب ۰/۸۷، ۰/۷۸ و ۰/۸۵). همچنین در این مطالعه، برای صفات سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی و ارتفاع بوته تراکم تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت و برای صفت سطح برگ بوته در مقابل وزن خشک برگ سبز اثر معنی‌داری از تراکم مشاهده نشد. به‌طور کلی از این روابط می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی گندم و همچنین برآورد سریع و آسان سطح برگ در مواقعی که دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح برگ وجود ندارد، استفاده کرد.

References

1. Akram-Ghaderi, F., Soltani, A., and Rezaie, J. 2005. Estimation of leaf area using cotton varieties vegetative features. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11 (1): 15-23.
2. Arabamer, R. 2008. Predicting kernel number and biomass retrains location in wheat (*Triticum aestivum* L.). Thesis of MS.c, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources. 89p. (in Persian).
3. Bakhshandeh, A. 2011. Assessment of allometric relations in wheat. MS.c Thesis Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources. 104 p.
4. Bakhshandeh, A., Soltani, A., Zeynali, E., Kalatearabi, M., and Ghadiriyan, R. 2011. Assessment of allometric relations of leaf and vegetative traits in bread wheat and durum. Iranian Journal of Crop Sciences 13 (4): 642-657.
5. Ghorbani, M. H., and Hartoniyan, V. H. 2011. Density and row spacing on the growth and yield of wheat in dryland. Electronic Journal of Crop Production 4 (2): 139-154 P.
6. 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 Research 33: 293-310.
7. Han, J. R. 1973. Visual qualification of wheat development. Agron. J. 65: 116-119.
8. Jorgensen, P. D., Brooking, I. R., Semenov, M. A., and Porter, J. P. 1988. Making sense of wheat development: a critique of methodology. Field Crops Research 55: 117-127.
9. Kanemasu, E., Hellman, J., Bagley, J., and Powers, W. 1977. Using Landsat data to estimate evapotranspiration of winter wheat. Environmental Management 1: 515-520.
10. Labafihosienabadi, M. R., Elahdadi, A., Najafi, F., Akbari, G. A., Khalaj, H. V., and Ghavami, N. 2012. Predict leaf paper skin pumpkin (*Cucurbita pepo*. L.) with allometric relationships. National conference on natural products and herbs. Bojnoord University of Medical Sciences. P 373.
11. Lieth, J. H., Reynolds, J. F., and Rogers, H. H. 1986. Estimation of leaf area of soybeans grown under elevated carbon dioxide levels. Field Crops Research 13: 193-203.
12. Midori, O., Yoichiro, K., and Junko, Y. 2012. Allometric relationship between the size and number of shoots as a determinant of adaptations in rice to water-saving aerobic culture. Field Crops Research 131: 17-25.
13. Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., Najafi, R. 2013. Allometric relationships between leaf area and vegetative characteristics in soybean. International journal of agriculture and crop sciences 6 (16): 1127-1136.
14. Niklas, K. J. 1994. Plant allometry, the scaling of form and process. Chicago: University of Chicago press. 81: 339-344.

15. Payne, W. A., Went, C. W., Hossner, L. R., and Gates, C. E. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agronomy Journal 83: 937-941.
16. Pengelly, B. C., Blamey, F. P. C., and Nuchow, R. C. 1999. Radiation interception and the accumulation of biomass and nitrogen by soybean and three tropical annual forage legumes. Field Crops Research 63: 99-112.
17. Rahemikarizaki, A., Soltani, A., Porreza, J., Zeynali, A., and Sarparast, R. 2006. Allometric relationship between leaf and vegetative parts of the plant. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13: 49-59.
18. Rahemi-karizaki, A. 2005. Predicting interception and use of solar radiation in chickpea. Thesis of MS.c. Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources. 89 p. (in Persian).
19. Sharrett, B. S., and Baker, D. G. 1985. Alfalfa leaf area as a function of dry matter. Crop Science 26: 1040-1042.
20. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crop plants. Press SID Mashhad. P 175.
21. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development Leaf production and senescence. Field Crops Research 138: 14-23.
22. Tsialtas, J. T., and Maslaris, N. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a suger beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. J. Photosynthetica. 46: 351-355.
23. Van Ittersum, M. K., and Donatelli, M. 2003. Modeling cropping systems highlights of the symposium and preface to the special issues. European Journal of Agronomy 18: 187-197.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 3, Fall. 2017, p. 546-558

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، ص. ۵۵۸-۵۴۶

Effect of Plant Density on Allometric Relationships between Leaf Area and Vegetative Traits of Wheat

B. Zafari ghalehrodkhani[1*]- A. Soltani[2]- E. Zeinali[3]- B. Kamkar[4]- M. Firozfard[5]

Received: 20-04-2015
Accepted: 20-04-2016

Introduction

Crop models are the most important components of ecological models. These models could provide the possibility of crop systems prediction in addition to increase the understanding of their performance. Allometric relationships of plants show changes of growth of one part in comparison to other parts of the plant. Determine the appropriate plant density in crops, especially wheat has the high importance which affects some characteristics such as yield and yield component. This affects varies in different stages of plant growth.

Materials and Methods

This research has been done in research station of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (37°45′N, 54°30′E and 120m above sea level) in the growing season of 2012-13. The experiment was conducted in a factorial experiment with randomized complete block design with four replications as base. Treatments consisted of two wheat cultivars (Koohdasht and Morvarid) and 7 plant densities (50, 100, 200, 350, 500, 650, 800 seed.m^2). Each replication consisted of 14 plots and each plot had 10 rows with length of 5 m, width of 2 m and a row spacing of 20 cm. Plot distances from each other was 40 cm and block distances was 1 m to each other. Measurements were done from tillering to the end of the growing every 7 to 10 days (depending on weather conditions). Cumulative thermal units were calculated using GDD_Calc program. Power model and non-liner segmented regression model were used to describe allometric relationships.

Results and Discussion

For fitting equations related to leaf area versus days after planting, coefficient of determination was 0.73 and root mean square error ranged between 0.37 and 0.77 which revealed that the logistic model could well describe increasing leaf area during the time. There is a significant effect for a, b and c coefficients in different plant density of wheat and increasing density could lead to -the increasing coefficient and decreasing the a and b coefficients. In addition, regarding the relationship between leaf area and number of leaves in different plant density, coefficient of determination values greater than 0.87 and ranges of root mean square error between 9.65 and 24.39, belong to the plant densities of 800 and 50, respectively, which showed a good correlation between leaf area per plant and the numbers of leaves. In this regard, b coefficient has a significant difference in various wheat density.

The relationship between leaf area and green leaf dry weight coefficient of determination greater than 0.78 and the root mean square error between 31.44 and 17.68, respectively belong to plant density of 350 and 100 with no significant difference in b coefficient. In connection with the relationship between leaf area and plant height, coefficient of determination greater than 0.85 and the root mean square error between 9.29 and 21.13 $cm.m^{-2}.plant^{-1}$ respectively belong to plant density of 800 and 200. We found a significant difference in b

1- MSc, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2- Professor of Crop Physiology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
4- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
5- MSc Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(*- Corresponding Author Email: behzadzafari@yahoo.com)

coefficient and decrease about 0.0003 unit with increasing plant density.

Conclusions

The results of relation between leaf area of each plant with the number of leaves in main stem, dry weight of green leaf and plant height showed good allometirc correlation until booting stage (0.87, 0.78 and 0.85, respectively). In addition, significant effects were investigated for correlation between leaf area of each plant and the number of leaves and plant height, however, correlation between leaf area of each plant and dry weight of green leaf area of plant was not significant.

Keywords: Allometeric, Cultivar, Leaf area, Plant Density, Vegetative Traits