



بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ و تعدادی از صفات رویشی در ذرت رقم سینگل کراس

۷۰۴

ابراهیم زینلی^۱ - افشین سلطانی^۲ - محمد خادم پیر^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

چکیده

این مطالعه با هدف یافتن روابط آلومتریک بین سطح برگ بوته با تعدادی از صفات رویشی در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. بدین منظور، در سال ۱۳۹۱ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش و سطوح آن‌ها شامل تراکم بوته (۴، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت (۹ خرداد و ۹ تیر) بودند. نتایج نشان داد که برای توصیف رابطه تعداد برگ در ساقه با واحد دمایی تجمعی، سطح برگ در بوته با وزن خشک برگ در بوته و سطح برگ در بوته با وزن خشک بوته در همه تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها می‌توان از مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۹۴، ۰/۹۸ و ۰/۹۵ استفاده کرد. همچنین، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن بود که برای توصیف رابطه سطح برگ در بوته با تعداد برگ (گره) در ساقه در تمام تراکم‌ها می‌توان مدل‌های توانی $y=x^{0.736}$ (برای تاریخ کاشت ۹ خرداد) و $y=x^{0.726}$ (برای تاریخ کاشت ۹ تیر) با ضرایب تبیین ۰/۹۹، و برای توصیف رابطه شاخص سطح برگ با ارتفاع بوته در تمام تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها مدل توانی $y=x^{0.14}$ با ضرایب تبیین ۰/۹۹ را به کار گرفت. با توجه به دقت بالای توابع به دست آمده برای توصیف روابط بین صفات یادشده با سطح برگ، از این توابع می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی ذرت و همچنین برای محاسبه سطح برگ استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع بوته، ذرت، روابط آلومتریک، سطح برگ، وزن خشک برگ

مقدمه

ساده‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر بوده و نیاز به دستگاه‌های گران‌قیمت نیز ندارد، انجام شده‌است تا با استفاده از این روابط، سطح برگ گیاه بدون اندازه‌گیری با دقتی قابل قبول برآورد شود. از صفاتی که به‌طور معمول هم‌بستگی بسیار خوبی با سطح برگ دارند و می‌توان با استفاده از آن‌ها سطح برگ را برآورد کرد، می‌توان به تعداد برگ یا گره در ساقه اصلی، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و وزن خشک اجزای رویشی بوته اشاره کرد (Bakhshande et al., 2011; Rahemi et al., 2006).

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی، ژنتیکی و مدیریتی می‌باشند. شاخص سطح برگ یک متغیر ضروری در مدل‌های مبتنی بر مکانیسم رشد گیاهان زراعی به‌منظور پیش‌بینی تولید بیوماس و عملکرد می‌باشد (Soltani and Torabi, 2009). Poorreza (Poorreza et al., 2007; Kumudini et al., 2001) و Cicer et al., 2007 طی تحقیقی در زمینه نخود خشک ایرانی (*arientinum* L.) بیان کردند که بین تعداد زیادی از متغیرها از جمله ارتفاع بوته، تعداد گره در ساقه اصلی، وزن خشک ساقه و وزن خشک اجزای رویشی روابط آلومتریک قوی وجود دارد که از این روابط می‌توان در تفسیر و تجزیه و تحلیل رفتارهای رشد گیاه یا در مدل‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی ارتفاع بوته (ضروری در شبیه‌سازی رقابت) استفاده کرد.

از آنجایی که برگ‌ها منبع اصلی تولید مواد فتوسنتزی در گیاهان هستند، پتانسیل تولید ماده خشک و عملکرد گیاهان زراعی تا حد زیادی به سطح برگ وابسته‌است. بسیاری از تغییرات محیطی از طریق تغییر سطح برگ بر رشد و عملکرد تأثیر می‌گذارند. از این‌رو، به‌تقریب در تمام مطالعات فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی، برای درک سازوکار تغییر عملکرد، سطح برگ سبز در بوته اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود (Robertson et al., 2002; Payne et al., 1991; Akramghaderi et al., 2004). با این حال، اندازه‌گیری سطح برگ در مقایسه با اندازه‌گیری صفات دیگر مانند ارتفاع بوته و وزن خشک اندام‌ها یا کل بوته، کاری بسیار مشکل و وقت‌گیر بوده و به‌دستگاه‌های دقیق و صرف هزینه بیشتر نیاز دارد. به‌همین دلیل، با توجه به وجود روابط آلومتریک در گیاهان، مطالعات گسترده‌ای برای یافتن روابط بین سطح برگ با صفات دیگر گیاه که اندازه‌گیری آن‌ها

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

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

۳- دانشجوی دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*- نویسنده مسئول: (Email: m.khadempir87@yahoo.com)

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال زراعی ۹۱-۹۰ واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳ متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی سالانه محل انجام آزمایش ۵۵۴ میلی‌متر می‌باشد. بافت خاک مزرعه لوم رُسی سیلتی (۱۰ درصد شن، ۵۲ درصد سیلت و ۳۸ درصد رُس) و هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۶/۸ است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. آزمایش دارای دو فاکتور اصلی شامل تراکم بوته (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت (۹ خرداد و ۹ تیرماه) بود. هر بلوک شامل ۱۰ کرت و هر کرت شامل شش ردیف کاشت به طول شش متر و به فاصله ۷۶ سانتی‌متر بود. در این مطالعه از هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد که کاشت آن در کشور و منطقه متداول است (Akramghaderi et al., 2004). کاشت به صورت دستی و سایر عملیات زراعی مطابق روال متداول در منطقه انجام گرفت. برای اطمینان از دستیابی به تراکم مورد نظر، در داخل شیار در هر محل ۲ بذر کاشته شد. به منظور تنظیم تراکم بوته، پس از استقرار کامل بوته‌ها، بوته‌های اضافی در مراحل اولیه رشد رویشی حذف شدند به طوری که تراکم بوته به تراکم مورد نظر (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع) رسید. در طول فصل رشد برای مبارزه با کرم طوقه‌بُر در مرحله جوانه‌زنی از سم سویین استفاده شد (Rahemi et al., 2006). برای مبارزه با حشرات در مراحل شش‌برگی و ظهور تاسل از سموم دیازینون و مالاتیون استفاده شد. در طول فصل رشد در مواقع لازم وجین علف‌های هرز به طور دستی انجام شد. در طول فصل رشد هر هفت الی ۱۰ روز یک‌بار بر اساس وضعیت رطوبتی خاک، آبیاری صورت گرفت. در این آزمایش نمونه‌گیری به منظور اندازه‌گیری وزن خشک برگ، سطح برگ و تعداد برگ (یا گره) در ساقه اصلی (گره قابل شمارش؛ گره‌ای که لیگول مربوط به برگ آن دیده شود)، از ۱۵ روز پس از کاشت تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک هر ۱۰ روز یک بار انجام شد. پس از شمارش تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی در بوته‌های نمونه‌گیری شده، و تفکیک برگ‌ها و اندازه‌گیری سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج، نمونه‌ها به تفکیک اندام در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. واحد دمایی برای گیاه ذرت در طی فصل رشد با استفاده از برنامه GDD Calc محاسبه شد. در این برنامه واکنش سرعت نسبی نمو در ذرت به میانگین دمای روزانه با استفاده از یک تابع دندان‌مانند توصیف شده است. پارامترهای لازم برای اجرای این برنامه به ترتیب شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه،

یافته‌های مطالعه Bakhshande et al., 2011 نشان داد که در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) سطح برگ بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز، وزن خشک کل اجزای رویشی (برگ و ساقه) و ارتفاع بوته تا مرحله گرده‌افشانی روابط آلومتریکی بسیار قوی (به ترتیب با ضریب‌تیبین ۰/۹۲، ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۹۱) دارد. همچنین، مشخص شد که شرایط محیطی گرگان این روابط در ارقام گندم ثابت و پایدار بوده و تحت تأثیر رقم و شرایط کشت (دیم و آبی) قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، از توابع به دست آمده می‌توان برای کلیه ارقام در هر دو شرایط آبی در مدل‌های شبیه‌سازی گندم و همچنین برآورد سریع و آسان سطح برگ در مواقعی که دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح برگ در دسترس نیستند، استفاده کرد. Zainali et al., 2013 با بررسی روابط آلومتریکی بین سطح برگ و صفات رویشی در باقلا (*Vicia faba* L.) گزارش کردند که بین سطح برگ با وزن خشک برگ سبز، وزن خشک اجزای رویشی گیاه و ارتفاع بوته در دوره توسعه مؤثر سطح برگ روابط آلومتریکی بسیار قوی (به ترتیب با ضریب‌تیبین ۰/۹۶، ۰/۹۶ و ۰/۹۴) وجود دارد. ایشان با توجه به این که رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب‌تیبین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات کوچک‌تری نسبت به ارتفاع بوته بود، پیشنهاد کردند در مدل‌های شبیه‌سازی باقلا و همچنین برای برآورد سریع و آسان سطح برگ از رابطه بین سطح و وزن خشک برگ استفاده شود. از روابط آلومتریکی به طور موفقیت‌آمیزی برای محاسبه سطح برگ در گیاهان مختلف مانند پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) (Akramghaderi et al., 2004)، گندم (Bakhshande et al., 2011)، نخود خشک ایرانی (Poorreza et al., 2007)، باقلا (Zainali et al., 2013)، سویا (*Glycine max* L. Merr) (Nehbandani et al., 2013) و سورگوم شیرین (*Sorghum bilcolour* L. Moench) (Sharrett and Baker, 1985) استفاده شده است.

هدف از این مطالعه به دست آوردن روابط آلومتریکی سطح برگ سبز (سانتی‌متر مربع در بوته) با تعداد برگ در ساقه اصلی، وزن خشک برگ سبز (گرم در بوته)، وزن خشک کل اجزای رویشی (ساقه و برگ) و بررسی تأثیر دو فاکتور تاریخ کاشت و تراکم بر این روابط در گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ برای استفاده در مدل شبیه‌سازی رشد ذرت SSM^۱ و همچنین برآورد سریع سطح برگ با استفاده از صفات رویشی یاد شده و بدون نیاز به اندازه‌گیری سطح برگ بود.

۱- مدل SSM (Simple Simulation Models) توسط Soltani and Sinclair (2012) برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی مختلف تهیه شده است. با کمک این مدل می‌توان تولید گیاهان زراعی و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در تولید آن‌ها را تجزیه و تحلیل کرد. این مدل دارای کد باز بوده و چون دارای ساختار ساده است، برای اهداف آموزشی نیز قابل استفاده است.

حداکثر مقدار خود رسید، مورد استفاده قرار گرفتند، ج) به منظور محاسبه روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت از معادله لجستیک پیک زیر استفاده شد (۷):

معادله (۳)

$$LAI = \frac{(a * \exp(-a * (x-b)^c))}{(1 + \exp(-a * (x-b)))} ** 2$$

که در آن ضرایب a ، b و c به ترتیب، سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ می‌باشند، d برای توصیف رابطه بین شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) از معادله ۲ تکه‌ای زیر استفاده شد:

$$y = (b_1 * x_0) + b_2 * (x - x_0) \quad (۴)$$

که در آن y شاخص سطح برگ، x وزن خشک برگ (گرم در مترمربع)، x_0 نقطه چرخش بین دو مرحله تخصیص ماده خشک، b_1 ضریب تخصیص در طول مرحله یک و b_2 ضریب تخصیص ماده خشک در مرحله ۲ می‌باشد، h مدل ۲ تکه‌ای: مدل‌های مختلفی به داده‌های سطح برگ در مقابل وزن خشک اجزای رویشی برآزش داده شد، و در نهایت مدل ۲ تکه‌ای به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (رابطه ۵).

$$y = (b_1 * x_0) + b_2 * (x - x_0) \quad (۵)$$

که در آن y شاخص سطح برگ، x وزن خشک اجزای رویشی گیاه (گرم در مترمربع)، x_0 نقطه چرخش بین دو مرحله تخصیص ماده خشک، b_1 ضریب تخصیص در طول مرحله یک و b_2 ضریب تخصیص ماده خشک در مرحله ۲ می‌باشد. و) به منظور توصیف رابطه بین سطح برگ در بوته (سانتی‌متر مربع در بوته، y) و ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) از رابطه (۶) استفاده شد که در آن b ضریب معادله است.

$$y = x^b \quad (۶)$$

تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS (Soltani and Maddah, 2010) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

رابطه واحد دمایی تجمعی با تعداد گره در ساقه

به منظور بررسی سرعت ظهور برگ در تیمارهای مختلف، مدل رگرسیون غیرخطی ۲ تکه‌ای بر داده‌های تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی در برابر واحد دمایی تجمعی برآزش داده شد. در ابتدا برآزش معادله ۱ برای هر یک از تراکم‌ها در هر یک از دو تاریخ کاشت به صورت جداگانه انجام شد، اما از آنجایی که بررسی حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد نشان داد که ضرایب معادله در بین تراکم‌ها در هر تاریخ کاشت و بین تاریخ کاشت‌ها اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (نتایج نشان داده نشده است)، یک معادله به کل داده‌های تعداد

دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف می‌باشد. در این مطالعه دماهای پایه، مطلوب تحتانی و فوقانی و سقف برای ذرت به ترتیب ۸، ۳۰، ۳۷ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Soltani and Sinclair, 2012). آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان واقع در پنج کیلومتری محل آزمایش تهیه گردید.

در این تحقیق، توابع ریاضی مختلف برای به دست آوردن روابط آلموتریک به داده‌ها برآزش داده شد. برآزش معادله و بررسی آن در سه حالت: ۱) هر تراکم در هر یک از تاریخ‌های کاشت، ۲) ترکیب تراکم‌ها برای هر تاریخ کاشت، ۳) ترکیب تمام تراکم‌ها برای هر دو تاریخ کاشت انجام شد. در هر حالت، با بررسی حدود اطمینان ضرایب به دست آمده اگر اختلاف معنی‌دار نبودند، از حالت بعدی استفاده شد. برای مقایسه دقت معادلات از ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات

خطا $(RMSE = \sqrt{\frac{\sum (p-o)^2}{n-1}})$ که در آن p و o به ترتیب مقدار پیش‌بینی

شده با استفاده از مدل و مقدار مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد، و ضریب تغییرات (CV) استفاده شد. ضریب تبیین بالاتر و ضریب تغییرات و جذر میانگین مربعات خطای پایین‌تر نشان‌دهنده دقت بالاتر معادله در توصیف روابط آلموتریک است. یادآور می‌شود که در این مقاله از RMSE بر حسب درصد استفاده شد که اگر کم‌تر از ۱۰ باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ متوسط و بالاتر از ۳۰ مدل ضعیف ارزیابی می‌شود. مدل‌های به کار رفته در این تحقیق عبارت‌اند از: الف) مدل ۲ تکه‌ای به منظور بررسی رابطه واحد دمایی تجمعی با تعداد گره (یا برگ) در ساقه؛ مدل ۲ تکه‌ای؛ متشکل از ۲ خط راست متقاطع است که شیب خط در تکه اول نشان‌دهنده افزایش در تعداد گره و خط افقی نشان‌دهنده حداکثر تعداد گره بر روی ساقه می‌باشد (شکل ۱).

$$y = a + bx \quad (۱) \quad \text{اگر } x < x_0$$

$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر } x \geq x_0$$

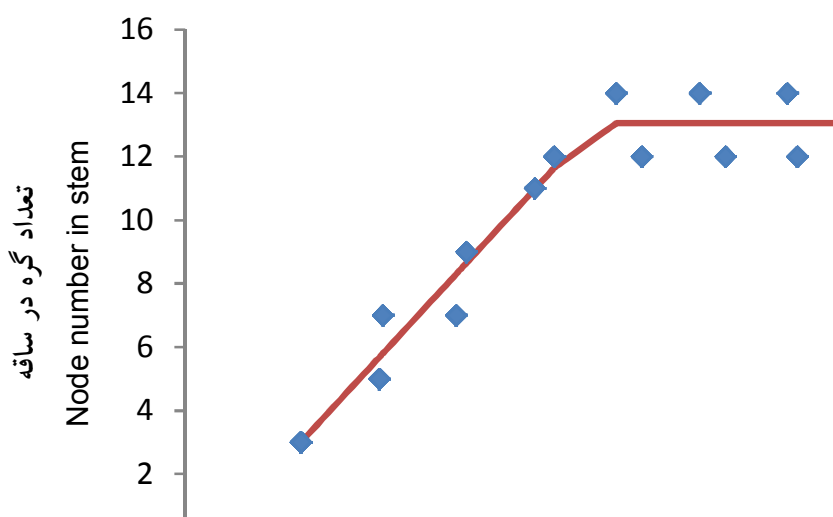
در این معادله y تعداد گره در ساقه اصلی، x زمان (واحد دمایی تجمعی بعد از کاشت)، a محل برخورد منحنی با محور عمودی ($x = 0$)، b سرعت افزایش خطی در تعداد گره (گره بر واحد دمایی)، x_0 زمان خاتمه افزایش خطی در تعداد گره (زمان خاتمه تولید برگ جدید) و $a + bx_0$ حداکثر تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی را نشان می‌دهد. b مدل توانی: از میان معادله‌های مختلف برآزش داده شده به داده‌های تغییرات سطح برگ در بوته در مقابل تعداد برگ در ساقه معادله توانی بهترین برآزش را به داده‌ها داشت:

$$y = x^b \quad (۲)$$

که در آن y سطح برگ در بوته، x تعداد برگ در ساقه اصلی و b ضریب معادله می‌باشد. برای برآزش تابع، داده‌های سطح برگ بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی تا زمانی که تعداد برگ در ساقه اصلی به

دمایی بود. تعداد نهایی برگ در ساقه در تاریخ کاشت اول و دوم به ترتیب برابر ۱۴ و ۱۲ برگ بود (جدول ۱). افزایش خطی تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی در نخود توسط Robertson *et al*, 2002 و در نیشکر توسط Sinclair, 2003 گزارش شده است. Soltani *et al*, 2006 در مورد نخود، Turpin *et al*, 2002 در مورد باقلا و Ranganathan *et al*, 2001 در مورد لپه‌هندی گزارش کردند که تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر فیلوکرون ندارد. Sinclair, 1984 بیان داشت که در فلوریدا با میانگین دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد، سرعت تولید برگ نیشکر ۰/۴ برگ در روز می‌باشد.

برگ در ساقه اصلی در برابر واحد دمایی تجمعی برآزش داده‌شد. در هر دو تاریخ کاشت، با افزایش واحد دمایی، تعداد برگ در ساقه اصلی به صورت خطی افزایش پیدا کرد که شیب این خط سرعت ظهور برگ و عکس آن فیلوکرون را نشان می‌دهد (شکل ۱ و جدول ۱). مقدار فیلوکرون برای مجموع دو تاریخ کاشت ۷۲/۳۳ واحد دمایی (درجه-روز) بود. در هر دو تاریخ کاشت، با رسیدن واحد دمایی تجمعی به یک حد معین، افزایش تعداد برگ در ساقه اصلی متوقف شد، یعنی افزایش در واحد دمایی، افزایش در تعداد برگ در ساقه اصلی را به دنبال نداشت (شکل ۱). واحد دمایی لازم از مرحله سبزشدن تا پایان تولید برگ در ساقه در مجموع تاریخ کاشت اول و دوم برابر با ۱۰۱۲/۶ واحد



شکل ۱- روند تولید برگ در ساقه ذرت در مقابل واحد دمایی تجمعی (GDD)

♦ مقادیر مشاهده‌شده و — مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل را نشان می‌دهد

Figure 1- The production process of leaves of corn in front of the cumulative thermal units (GDD)

♦ observed values and the values predicted by the model shows

جدول ۱- ضریب a ، فیلوکرون (phyll) و مقدار x_0 در رابطه بین تعداد گره (یا برگ) در ساقه در مقابل واحد دمایی تجمعی (GDD) درصد RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند

Table 1- The coefficient a , phyllochron (phyll) and the x_0 in the relationship between the number of nodes (or leaves) per stem in front of the cumulative thermal units (GDD)

Percent root mean square error RMSE and R^2 are the coefficient of determination

تاریخ کاشت Planting date	%RMSE	R^2	$X_0 \pm SE$	phyll $\pm SE$	$a \pm SE$
مجموع دو تاریخ کاشت Total two planting dates	5.59	0.94	1012.6 \pm 19.08	72.33 \pm 2.63	-0.949 \pm 0.313

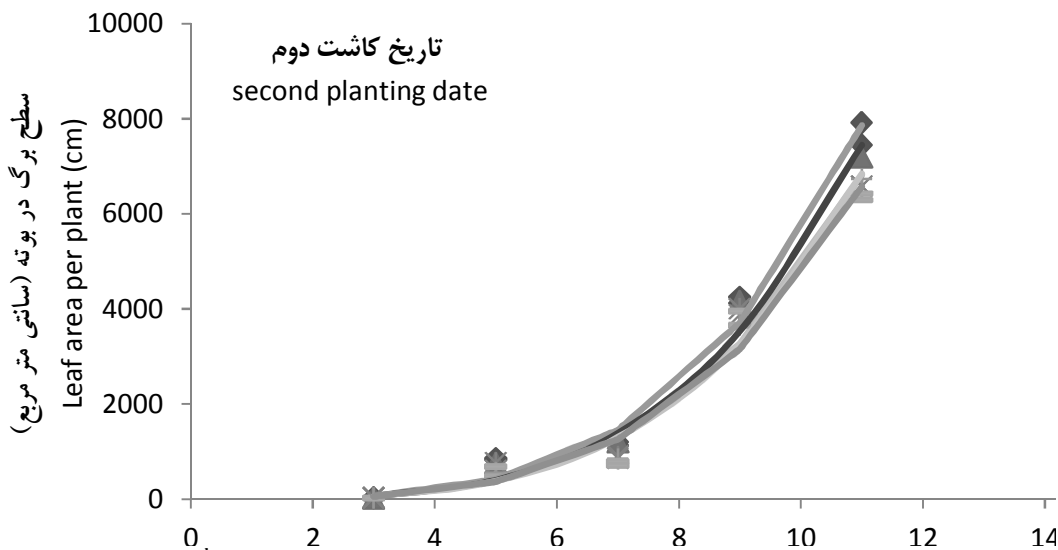
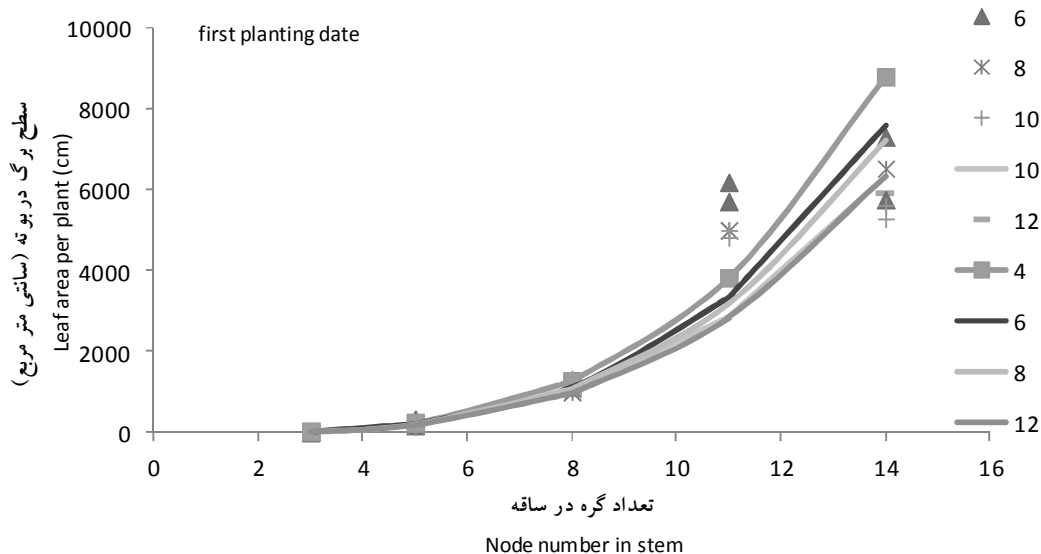
رابطه توانی بین سطح برگ در بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی بود (نتایج نشان داده نشده است). از این رو، به داده‌های سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه هر یک از دو تاریخ کاشت معادله توانی جداگانه‌ای برآزش داده‌شد. مقدار ضریب تبیین ۰/۹۹ توابع برآزش داده‌شده برای

رابطه سطح برگ در بوته با تعداد برگ در ساقه

بررسی حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تاریخ کاشت و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تراکم‌های مختلف بوته در هر تاریخ کاشت در مقدار ضریب b .

یافته‌های Pengelly *et al.*, 1999 نشان داد که در گیاه ماش نیز می‌توان با استفاده از معادله توانی سطح برگ بوته را به‌عنوان تابعی از تعداد گره در ساقه اصلی پیش‌بینی کرد. بررسی ضریب b معادله (۲) در هر دو تاریخ کاشت نشان داد که این ضریب به تراکم به‌طور غیر معنی‌داری وابسته بوده و در هر دو تاریخ کاشت با افزایش تراکم بوته مقدار این ضریب کاهش می‌یابد.

دو تاریخ کاشت نشان‌دهنده وجود رابطه بسیارخوب بین سطح برگ بوته با تعداد برگ بر مبنای معادله (۲) در تراکم‌های مختلف (جدول ۲ و شکل ۲) و دقت بالای توابع برای پیش‌بینی سطح برگ در بوته با شمارش تعداد برگ در ساقه می‌باشد. Sinclair, 1984 و همین‌طور Hammer *et al.*, 1993 نیز از یک‌مدل غیرخطی (توانی) برای توصیف سطح برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی به‌ترتیب در سویا و سورگوم استفاده کردند.



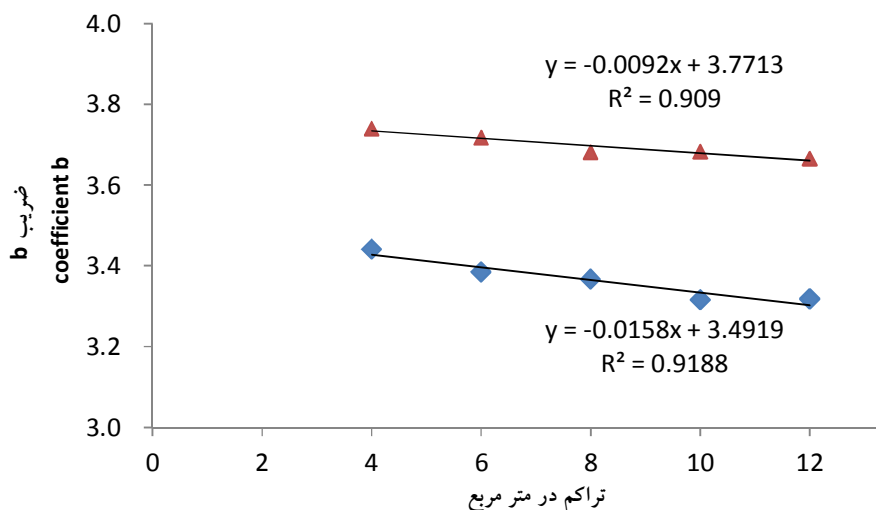
شکل ۲- سطح برگ در بوته به‌عنوان تابعی از تعداد گره (یا برگ) روی ساقه توصیف‌شده به‌وسیله معادله $y=x^b$ (اعداد سمت راست شکل نشان‌دهنده تراکم بوته در مترمربع می‌باشد) اشکال هندسی نقاط مشاهده‌شده خطوط رنگی نقاط پیش‌بینی شده توسط مدل

Figure 2- Leaf area per plant as a function of the number of nodes (or leaves) the stem described by the equation $y = x^b$ (right numbers figure represents the density of plants per square meter) observed geometric shapes of colored lines parts of the projected by the model

جدول ۲- ضریب (b) در معادله $y=x^b$ برای سطح برگ بوته در مقابل تعداد گره (یا برگ) در ساقه در تاریخ‌های مختلف کاشت. %RMSE درصد جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند

Table 2- Factor (b) in the equation $y = xb$ for leaf area in front of the number of nodes (or leaves) per stem at different planting dates. RMSE% percent root mean square error and the coefficient of determination R^2

تاریخ کاشت Planting date	b±SE	R^2	%RMSE
تاریخ کاشت اول first planting date	3.364±0.021	0.99	14.43
تاریخ کاشت دوم second planting date	0.286±0.011	0.99	5.69



شکل ۳- تأثیر تراکم بوته بر ضریب b معادله توانی $y=x^b$

▲: تاریخ کاشت اول. ◆: تاریخ کاشت دوم

Figure 3- Effect of Plant Density coefficient b power equation $y = xb$

▲: first planting date. ◆: second sowing date

نتایج نشان داد که از نظر روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) در طول فصل رشد بین تاریخ کشت اول (۹ خرداد) و دوم (۹ تیر) اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد وجود دارد، اما در این سطح احتمال، بین تراکم‌های مختلف در هر تاریخ کاشت اختلاف معنی داری وجود ندارد. از این رو، برای هر تاریخ کاشت تابع جداگانه‌ای به داده‌های شاخص سطح برگ کل تراکم‌ها در برابر زمان از فصل رشد برازش داده شد (شکل ۴). مقادیر مربوط به ضرایب معادله، ضریب تبیین و حداکثر شاخص سطح برگ در دو تاریخ کاشت در جدول ۳ ارائه شده است. در این پژوهش، حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اول (۹ خرداد) ۷/۲۲ و در تاریخ کاشت دوم (۹ تیر) ۴/۹۱ بود. زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم‌های مختلف اختلاف معنی داری نداشت ولی اختلاف بین تاریخ کشت اول و دوم در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. زمان لازم

Soltani *et al*, 2006 نشان دادند که در نخود ضریب b به تراکم وابسته بوده و با افزایش تراکم این ضریب کاهش می‌یابد. با قراردادن ضریب b در مقابل تراکم رابطه خطی نزولی گفته شده به دست می‌آید (شکل ۳). سطح برگ بوته تا زمان پایان رشد برگ بر روی ساقه اصلی بر مبنای این تابع قابل پیش‌بینی می‌باشد و برای مرحله پیری باید از روش‌های دیگری استفاده نمود. Sinclair, 1984 و Sinclair *et al*, 2003 سطح برگ بوته در مرحله پیری را براساس انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها پیش‌بینی کردند. آن‌ها بیان کردند که پیش‌بینی سطح برگ در بوته برای مرحله پیری با استفاده از انتقال مجدد نیتروژن کاملاً نتایج قابل قبولی داشته است و می‌توان از این روش در مدل‌های شبیه‌سازی رشدونمو گیاهان استفاده کرد.

شاخص سطح برگ

برابر وزن خشک برگ تا زمان ورود بوته‌ها به فاز زایشی، که در تمام تراکم‌ها در هر دو تاریخ کاشت به تقریب ۲۳٪ پس از کاشت اتفاق افتاد، تابع ۲ تکه‌ای به دلیل نکوبی بهتر برازش انتخاب شد. از آنجایی که ضرایب آلو متریک توابع ۲ تکه‌ای برازش داده شده به تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشت، برای توصیف رابطه بین شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ یک تابع به کل داده‌های تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت برازش داده شد (شکل ۵). ضریب تبیین این تابع ۰/۹۸ و جذر میانگین مربعات خطای آن برای مجموع تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها ۵۴/۶ درصد بود که نشان از رابطه بسیار خوب میان شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ داشت (جدول ۴). همانند سایر غلات، در ذرت نیز در ابتدای فصل رشد، بخش عمده مواد فتوسنتزی به برگ‌ها اختصاص می‌یابد.

ضمن این که سطح ویژه برگ‌ها نیز بیش تر (به بیان دیگر ضخامت برگ‌ها کم تر) است. در نتیجه، در این دوره شیب افزایش شاخص سطح برگ در مقابل زمان زیاد است، اما با گذشت زمان، به ویژه بعد از شروع طویل شدن ساقه، این شیب به دلیل کاهش سطح ویژه برگ‌ها (افزایش ضخامت برگ‌ها) و افزایش ضریب تخصیص ماده خشک به اندام‌های دیگر بوته مانند ساقه نسبت به قبل از نقطه شکست، کاهش پیدا می‌کند. Bakhshande *et al*, 2011 در مورد گندم، Soltani and Torabi, 2009 در مورد نخود و Nehbandani *et al*, 2013 در مورد سویا نیز برای توصیف رابطه شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ از تابع ۲ تکه‌ای استفاده کردند.

برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ در تاریخ کشت اول ۷۰/۲۸ روز و در تاریخ کشت دوم برابر ۵۷/۰۶ روز بود. حداکثر شاخص سطح برگ در هر دو تاریخ کاشت تقریباً در مرحله شروع پُرشدن دانه (R1 مرحله رشدی با اقتباس از Abendroth *et al*, 2011) بود. در تمام تیمارها، بعد از سبز شدن، شاخص سطح برگ در ابتدا با سرعت کم (به صورت نمایی) و بعد از آن با شیبی تندتر به صورت خطی افزایش یافت تا زمانی که شاخص سطح برگ به حداکثر رسید. در ادامه فصل رشد، به دلیل پیر شدن برگ‌ها شاخص سطح برگ کاهش پیدا کرد و در نهایت به صفر رسید. Cavero *et al*, 2000 در گیاه ذرت، Nehbandani *et al*, 2013 در سویا، Zainali *et al*, 2013 در باقلا نیز مدل لجستیک پیک را به داده‌های شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت برازش دادند و گزارش کردند که این مدل بهترین برازش را به داده‌های LAI در مقابل روز پس از کاشت داشت. Kumudini *et al*, 2001 نیز گزارش کردند که با آغاز مرحله رسیدگی برگ‌ها زرد شده و در نتیجه شاخص سطح برگ به طور چشم گیری کاهش می‌یابد و در نهایت در مرحله رسیدگی شاخص سطح برگ به صفر می‌رسد. Bafkar *et al*, 2011 نیز در پژوهشی بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ روند تغییرات شاخص سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت را به صورت لجستیک پیک توصیف کردند.

رابطه شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ

پس از برازش توابع مختلف به داده‌های شاخص سطح برگ در

جدول ۳- ضرایب مدل لجستیک پیک برای پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تاریخ‌های کاشت اول و دوم؛ ضرایب a، b و c به ترتیب سرعت تولید سطح برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت کاهش سطح برگ. R^2 ضریب تبیین می‌باشد

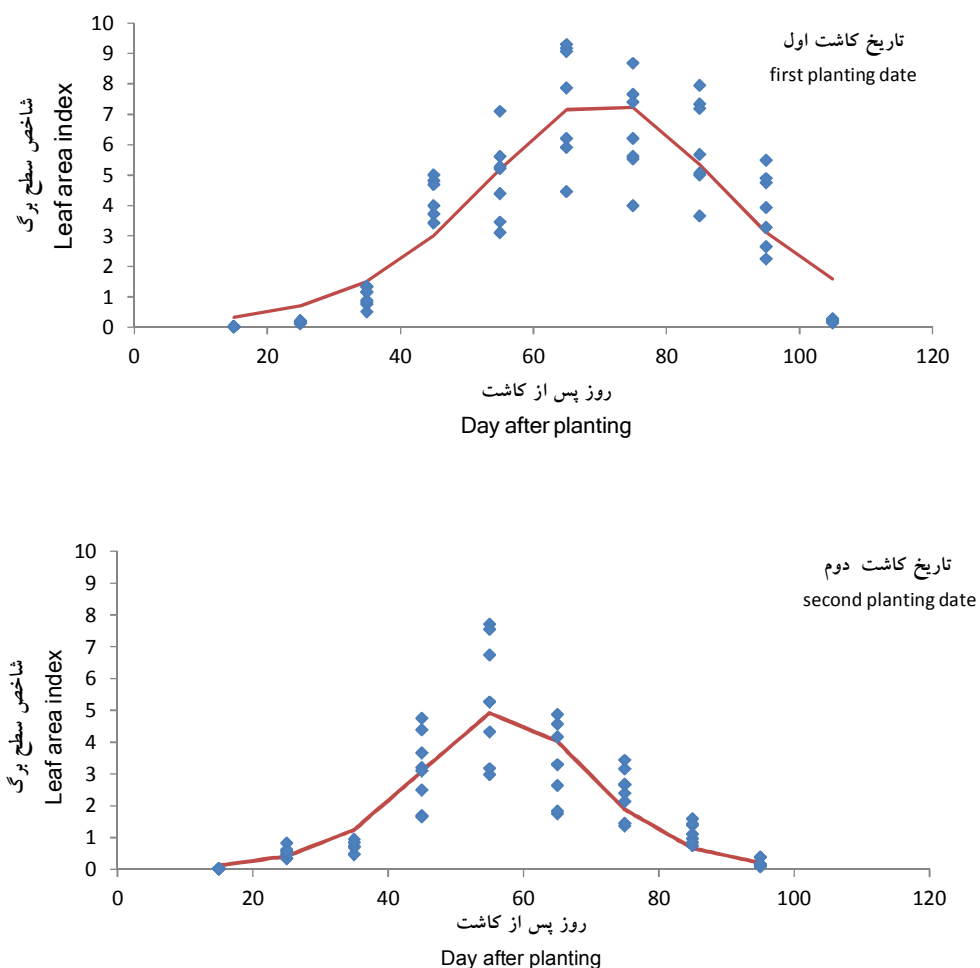
Table 3- Coefficients logistic model to predict peak leaf area index for the first and second planting dates; coefficients a, b and c to-order production rate of leaf area, leaf area index and the time required to achieve maximum speed lower leaf surface. R^2 is the coefficient of determination

تاریخ کاشت Planting date	LAI _{max}	b±SE	a±SE	c±SE	R ²
تاریخ کاشت اول first planting date	7.22 a	70.28±1.01	0.08 ± 0.004	368.2 ± 17.58	0.92
تاریخ کاشت دوم second planting date	4.91 c	57.06 ± 0.84	0.11 ± 0.008	۱۶۷/۵ ± ۹/۶	0.89

جدول ۴- ضرایب a و b و مقدار X₀ در تابع دو تکه‌ای برازش داده شده به داده‌های شاخص سطح برگ سبز در برابر وزن خشک برگ سبز RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R² ضریب تبیین هستند

Table 4- The coefficients a and b and the amount X₀ in function two-piece fitted to the dry weight of green leaf, green leaf area index data

RMSE Root mean square error and the coefficient of determination R ²				
b ₁ ±SE	b ₂ ±SE	X ₀ ±SE	R ²	%RMSE
0.0362±0.00429	0.0196±0.00137	55.07± 8.823	0.98	6.54



شکل ۴- روند تغییرات سطح برگ در مقابل روز پس از کاشت در ذرت

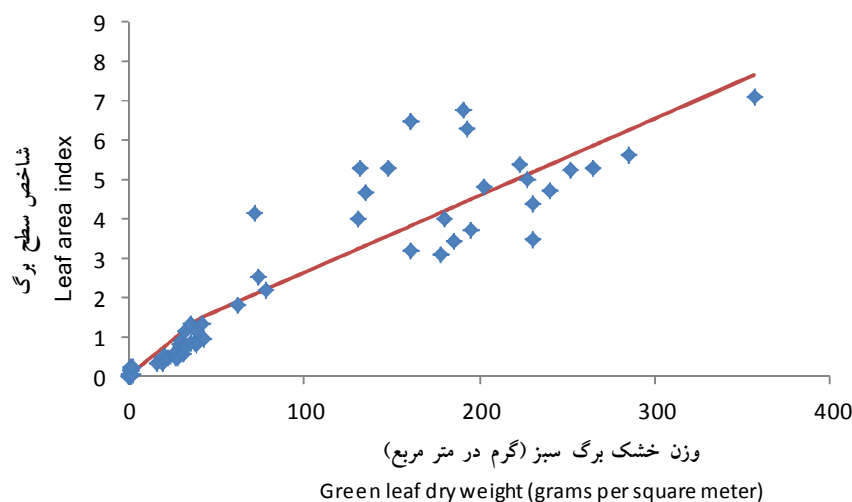
◆ مقادیر مشاهده شده در تراکمها و تکرارهای مختلف و — مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد

Figure 4- trend of leaf area in the days after planting the corn

◆ observed values of the density and several repeats and the values predicted by the model shows

تخصیص ماده خشک در طول فصل رشد به برگ‌ها در گیاهان مختلف نسبت داد. بر اساس نتیجه یادشده، باتوجه به این که اندازه‌گیری سطح برگ دشوار و وقت‌گیر است و به دستگاه سطح برگ‌سنج نیاز دارد که در بسیاری از موقعیت‌ها قابل دسترس نمی‌باشد و در مقابل، اندازه‌گیری وزن خشک برگ بسیار آسان‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر است، می‌توان با استفاده از تابع به دست آمده، سطح برگ را با دقت زیادی با اندازه‌گیری وزن خشک برگ برآورد کرد.

با این حال، برای توصیف رابطه بین شاخص سطح برگ با وزن خشک برگ از مدل‌های دیگر نیز استفاده شده است. برای مثال، Sharrett, 2006 و Rahemi *et al*, 2006 برای نخود از یک مدل خطی، Payne *et al*, 1991 and Baker, 1985 برای یونجه و Zainali *et al*, 2013 و Hammer *et al*, 1993 از مدل غیرخطی، برای باقلا از معادله توانی استفاده کردند. تفاوت مدل‌های برآزش داده شده در گیاهان دیگر به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک را می‌توان به تفاوت سطح ویژه برگ و همین‌طور تفاوت تغییرات ضریب



شکل ۵- شاخص سطح برگ به عنوان تابعی از وزن خشک برگ در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تراکم‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در متر مربع

♦ مقادیر مشاهده شده در تراکم‌ها و تکرارهای مختلف و — مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد

Figure 5- Leaf area index as a function of leaf dry weight in corn sowing 9 June and 9 of July at densities of 4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter

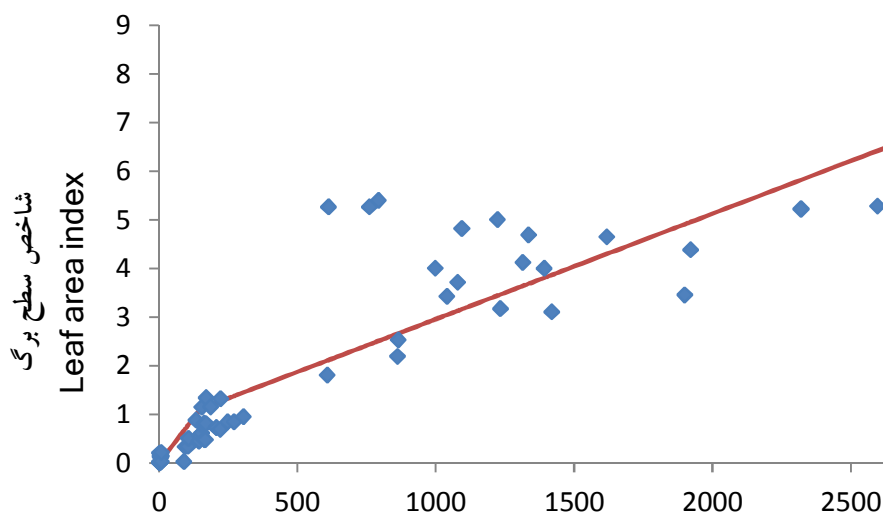
♦ observed values of the density and several repeats and the values predicted by the model shows

آن‌است که می‌توان از وزن خشک کل بوته برای برآورد سطح برگ استفاده کرد. با این حال، مطابق با نتایج مطالعات دیگر، در این مطالعه نیز دقت پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از وزن خشک برگ به‌طور نسبی بیش‌تر از وقتی بود که سطح برگ با استفاده از وزن خشک کل اجزای رویشی گیاه برآورد گردید. اندازه‌گیری وزن خشک کل بوته نسبت به وزن خشک برگ‌ها مستلزم صرف وقت برای جدا کرده برگ‌ها نبوده و با سرعت بیش‌تری انجام می‌شود. در مقابل، اگر فقط از وزن خشک برگ‌ها استفاده شود، علاوه بر بالاتر بودن دقت پیش‌بینی سطح برگ حجم نمونه‌ها نیز کم‌تر است (Zainali *et al.*, 2013). Soltani and Torabi, 2009 از تابع ۲تکه‌ای برای برآورد سطح برگ بوته به‌عنوان تابعی از ماده خشک کل بوته در نخود استفاده کردند. Retta *et al.*, 2008 در مورد چغندرقد، Tsialtas and Maslaris, 2008 در چند گیاه باریک‌برگ با استفاده از معادلات رگرسیون خطی و غیرخطی هم‌بستگی بسیار بالایی را بین سطح برگ و وزن خشک برگ و وزن خشک کل اجزای رویشی بوته گزارش کردند. تعداد زیادی از محققان دیگر نیز از معادله‌های غیرخطی برای توصیف روابط سطح برگ با وزن خشک برگ و یا وزن خشک کل اجزای رویشی استفاده کرده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به Akramghaderi *et al.*, 2004 در پنبه، Bakhshande *et al.*, 2011 در سویا و گندم، و Rahemi *et al.*, 2006 در نخود اشاره کرد. Zainali *et al.*, 2013 از معادله توانی برای بیان رابطه بین سطح برگ در مقابل وزن خشک

رابطه سطح برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه

بررسی حدود اطمینان ضرایب مدل‌های ۲تکه‌ای برازش داده شده به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک اجزای رویشی گیاه نشان داد که از این نظر، بین تراکم‌های مختلف و دو تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در نتیجه می‌توان به‌جای استفاده از معادله‌های جداگانه برای هر یک از تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت، برای توصیف رابطه سطح برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه در تمام تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت از یک معادله استفاده کرد (جدول ۵). یادآور می‌گردد که بدین منظور از داده‌های سطح برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه تا زمان ورود بوته‌ها به فاز زایشی (تقریباً ۶۲ روز پس از کاشت در تمام تیمارها) استفاده شد. هم‌چنان که در بخش پیشین گفته شد، به دلیل تخصیص بخش عمده ماده خشک به برگ‌ها در مراحل ابتدایی رشد و احتمالاً کم‌تر بودن ضخامت برگ‌های تولید شده در این دوره، شیب افزایش سطح برگ در برابر وزن خشک بوته یا برگ بیش‌تر از مراحل بعدی رشد است و این به‌معنای تولید سطح برگ بیش‌تر به‌ازای تولید هر گرم ماده خشک می‌باشد. به‌همین دلیل، شیب خط در مرحله اول تابع ۲تکه‌ای بیش‌تر از مرحله دوم (دوره بعد از نقطه شکست) تابع ۲تکه‌ای می‌باشد. ضریب‌تیین ۹۵ درصد و جذر میانگین مربعات خطا بر حسب درصد ۱۱/۲۵، نشان‌دهنده رابطه خوب بین سطح برگ با وزن خشک اجزای رویشی گیاه (وزن خشک کل) است. یافته‌های مطالعات دیگر نیز حاکی از

کل استفاده کردند، آن‌ها بیان داشتند در تمام مراحل رشد رویشی در باقلا شیب اختصاص مواد فتوسنتزی به برگ‌ها تقریباً یک‌سان است.



شکل ۶- شاخص سطح برگ به عنوان تابعی از وزن خشک بوته در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تراکم‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع

♦ مقادیر مشاهده شده در تراکم‌ها و تکرارهای مختلف و — مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد

Figure 6- leaf area index as a function of plant dry weight in corn sowing 9 June and 9 of July at densities of 4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter

♦ observed values of the density and several repeats and the values predicted by the model shows

جدول ۵- ضرایب a و b و مقدار X_0 در تابع ۲ تکه‌ای برازش داده شده به داده‌های سطح برگ در برابر وزن خشک اجزای رویشی بوته

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند

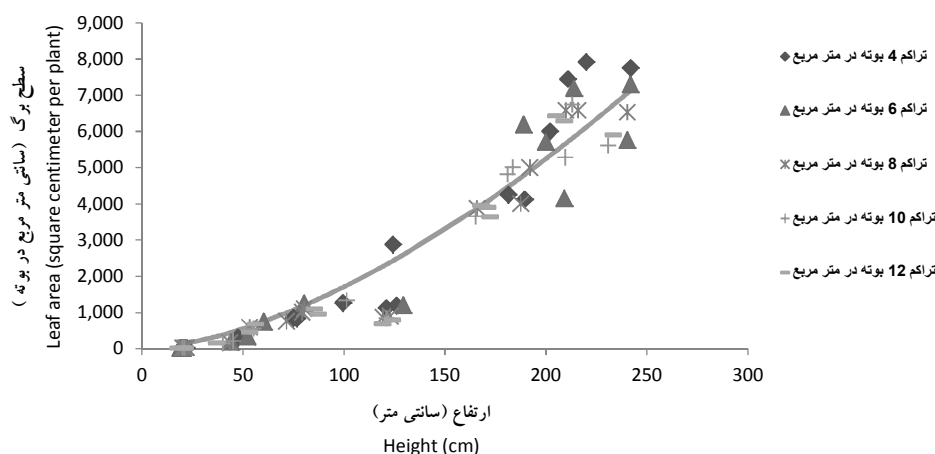
Table 5- coefficients a and b and the amount X_0 in function two-piece fitted to the leaf level data in the vegetative parts of the plant dry weight

RMSE Root mean square error and the coefficient of determination R^2				
$b_1 \pm SE$	$b_2 \pm SE$	$X_0 \pm SE$	R^2	%RMSE
0.0724 ± 0.00109	0.00217 ± 0.000174	190.7 ± 28.8	0.95	11.25

تندتر به صورت خطی افزایش می‌یابد. از آنجایی که اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مقایسه با اندازه‌گیری سطح برگ امری بسیار ساده‌تر، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر است از این صفت می‌توان با دقت کافی برای برآورد سطح برگ استفاده نمود. بر خلاف نتایج این مطالعه که نشان‌دهنده رابطه نسبتاً خوبی بین ارتفاع و شاخص سطح برگ است، در تحقیقاتی که *Nehbandani et al*, 2013 بر روی سویا و *Akramghaderi et al*, 2004 روی پنبه و *Zainali et al*, 2013 باقلا انجام دادند، مشاهده کردند که ارتفاع گیاه توصیف‌کننده مناسبی برای سطح برگ نیست. البته برآورد سطح برگ با استفاده از ارتفاع به دلیل جذر میانگین مربعات خطا بالاتر بر حسب درصد (۹/۲۲) نسبت به دیگر روش‌ها دارای دقت پایین‌تر می‌باشد.

رابطه بین سطح برگ و ارتفاع بوته

برای توصیف رابطه سطح برگ سبز در بوته با ارتفاع بوته تابعی توانی در مقایسه با سایر توابع از نکویی برازش بهتری برخوردار بود. با وجود کاهش ارتفاع بوته در تاریخ کاشت دوم نسبت به تاریخ کاشت اول، با بررسی حدود اطمینان ضرایب توابع مشخص شد که بین ضرایب توابع توانی برازش داده شده به داده‌های سطح برگ در برابر ارتفاع بوته در تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین، به کل داده‌های سطح برگ بوته (سانتی‌متر مربع در بوته، y) در برابر ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) در این آزمایش یک تابع توانی (رابطه ۶) برازش داده شد (جدول ۶). همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع بوته، میزان سطح برگ در بوته در ابتدا به صورت نمایی و سپس با شیبی



شکل ۷- سطح برگ در بوته به عنوان تابعی از ارتفاع بوته در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تمام تراکم‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در متر مربع

Figure 7- Leaf area per plant as a function of height in corn sowing 9 May and 9 June in all densities of 4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter

جدول ۶- ضریب b و مقدار R^2 در رابطه توانی بین سطح برگ و ارتفاع بوته ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تمام تراکم‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در متر مربع

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب تبیین هستند

Table 6- Coefficient b and the value of R^2 in the power relationship between leaf area and plant height of maize sowing 9 May and 9 June in all densities of 4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter
RMSE Root mean square error and the coefficient of determination R^2

b±SE	R^2	%RMSE
0.014±0.0021	0.99	9.22

سطح برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل گیاه و ارتفاع گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم قرار نمی‌گیرد. به عبارت دیگر، می‌توان از یک معادله برای دو تاریخ کاشت و کل تراکم‌ها برای رابطه سطح برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل و ارتفاع بوته استفاده کرد. همچنین، نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه سطح برگ سبز بوته با وزن خشک برگ سبز و ارتفاع بوته دارای ضریب تبیین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات (بر حسب درصد) کوچک تری نسبت به صفات دیگر بود. از آنجایی که رابطه سطح برگ سبز با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب تبیین بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات کوچک تری نسبت به ارتفاع بود پیشنهاد می‌شود در مدل‌های شبیه‌سازی ذرت و همچنین برای برآورد سریع و آسان سطح برگ در مواقعی که دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ دردسترس نیستند، از این رابطه استفاده شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار فیلوکرون در گیاه ذرت تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم قرار نمی‌گیرد و فاصله بین ظهور یک برگ تا ظهور برگ بعدی به طور متوسط به ۷۲/۳۳ واحد دمایی می‌باشد. بررسی رابطه سطح برگ بوته در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی نشان داد که این رابطه تحت تأثیر معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) تراکم قرار نداشت، اما تأثیر تاریخ کاشت بر آن در سطح پنج درصد معنی‌دار و مقدار ضریب آلومتری (b) محاسبه شده به تاریخ کاشت وابسته بود. از این رو، در هر تاریخ کاشت یک تابع جداگانه به داده‌های کل تراکم‌ها برازش داده شد. همچنین، از آنجایی که میزان این ضریب با افزایش تراکم به طور غیرمعنی‌داری کاهش پیدا کرد، شیب این کاهش برای هر تاریخ کاشت محاسبه شد. لازم به ذکر است که شیب کاهش این ضریب با افزایش تراکم بوته در مدل SSM تراکم مورد نیاز است. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که رابطه

References

- 1- Abendroth, L. J., Elmore, R.W., Boyer, and Marlay. S.K., 2011. Corn growth and development. PMR 1009. Iowa State University Extension. Ames, Iowa.
- 2- Akramghaderi, F., Soltani, A., Rezaii, J. 2004. Estimation of leaf area in cotton cultivars of the plant vegetative characteristics. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11(1): 30-39. (In Persian with English Abstract).
- 3- Bafkar, A., Boromand, S., Behzad, M., Farhadi, B., 2011. Predict production potential of grain corn in Mahidasht Kermanshah 704 C using a simulation model of crop growth WOFOST. Iranian Journal of Field Crop Science 42(4): 45-55. (In Persian with English Abstract).
- 4- Bakhshande, A., Soltani, A., Zainali, A., Kalatearabi, M., Ghadirian, R. 2011. Evaluation of allometric relationships leaf area and plant growth components in durum and bread wheat varieties. Iranian Journal of Crop Sciences 13(4): 55-87. (In Persian with English Abstract).
- 5- Bakhshandeh, E., Ghadiryan, R. and Kamkar, B. 2010. A rapid and non-destructive method to determine the leaflet, trifoliate and total leaf area of soybean. Asian. Australian Journal Plant Science. Biotechnology 4: 19-23. (In Persian with English Abstract).
- 6- Cavero, J., Farre, I., Debaeke, Ph. and Faci, J. M. 2000. Simulation of Maize Yield under Water Stress with the EPICphase and CROPWAT Models. Agronomy Journal 92. 12p.
- 7- Ghadirian, R., Soltani, A., Zainali, A., Kalatearabi, M., Bakhshande, A. 2011. Evaluation of non-linear regression models for use in wheat growth analysis. Electronic Journal of Crop Production 4: 55-77. (In Persian with English Abstract).
- 8- 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.
- 9- Kumudini, S., Hume, D. J. and Chu, G. 2001. Genetic improvements in short season soybeans I. Dry matter accumulation, partitioning and leaf area duration. Crop Science 41:391-398.
- 10- Nehbandani, A., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S. and Najafi, R. 2013. Allometric relationships between leaf area and vegetative characteristics in soybean. IJACS Journal 6(16). 1127-1136 p.
- 11- Payne, W. A., C. W. Went, L. R. Hossner and C. E. Gates. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agronomy Journal 83: 937-941.
- 12- Pengelly, B.C., Muchow, R.C. and Blamey, P.C. 1999. Predicting leaf area development in response to temperature in three tropical annual forage legumes. Australian Journal of Agricultural Research 50: 253-259.
- 13- Poorreza, J., Soltani, A., Rahemi, A., Galeshi, S., Zainali, A. 2007. Allometric relationships between plant height and growth traits in pea plants (*Cicer arietinum*). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14(5): 37-46. (In Persian with English Abstract).
- 14- Rahemi, A., Soltani, A., poorreza, J., Zainali, A., Sarparst, R. 2006. Allometric relationships between leaf and vegetative traits in pea plants. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13(5): 33-44.
- 15- Ranganathan, R., Chamhan, Y.S., Flower, D.J., Robertson, C. and Silim, S.N. 2001. Predicting growth and development of pigeonpea: Leaf area development. Field Crops Research 69: 163-127.
- 16- Retta, A., Armbrust, D. V., Hagen, L. J. and Skidmore, E. L. 2000. Leaf and stem area relationship to masses and their height distributions in native grasses. Agronomy Journal 92: 225-230.
- 17- Robertson, M.J., Carberry, P.S., Huth, N.I., Turpin, J.E., Probert, M.E., Poulton, P.L., Bell, M., Wright, G.C., Yeates, S.J. and Brinsmead, R.B. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. Australian Journal of Agricultural Research 53: 429- 446.
- 18- Sharrett, B. S. and Baker, D. G. 1985. Alfalfa leaf area as a function of dry matter. Crop Science 26: 1040-1042.
- 19- Sinclair T.R., Gilbert R.A., Perdomo R.E., Shine Jr. J.M., Powell G. and Montes G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research 88: 171-178.
- 20- Sinclair, T.R., 1984. Leaf area development in field-grown soybeans. Agronomy journal 76: 141-146.
- 21- Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. 2nd ed., JDM Press, Mashhad, Iran. p182. (In Persian).
- 22- Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Applied, Simple programs for Education and Research in Agronomy. Iranian Society Ecological Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian).
- 23- Soltani, A., and Sinclair, T. R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield: Cabi.

-
- 24- Soltani, A., Torabi, B. 2009. Modeling crop (case studies). Publications Jihad Mashhad University. Mashhad. 232, p.
 - 25- Tsialtas J. T. and N. Maslaris. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars. *Photosynthetica* 46: 351-355.
 - 26- 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. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 227-237.
 - 27- Zainali, A., Soltani, A., Torani, M., Khadempir, M. 2013. Study allometric relationships between leaf area and plant growth components in the Faba Bean. *Journal of Plant Production* 4: 18-44. (In Persian with English Abstract).



Investigating the Allometric Relationships between Leaf Area and Some of Vegetative Characteristics in SC704 Corn Hybrid

E. Zeinali¹- A. Soltani²- M. Khadempir^{3*}

Received: 16-10-2014

Accepted: 23-02-2015

Introduction

Since the leaves are the main source of production of photosynthetic substances in plants, dry matter production and crop yield potential is largely dependent on the leaf surface, and many environmental changes affect growth and yield through changes in leaf area. Hence, green leaf area per plant and leaf area index is measured in almost all studies of crop physiology to understand the mechanism of yield alteration. However, measurement of leaf area compared with the other traits such as plant height and total plant dry weight is very difficult, need to precision instruments and spend more time and cost. Therefore, according to the allometric relationships in plants, extensive studies were done to find the relationship between leaf area and the other plant traits that their measurement is easier, faster and cheaper, and does not require expensive equipment. Using these relationships will be used to estimate plant leaf area with acceptable accuracy without measuring. Plant traits that have high correlation with leaf area and usually use to estimate the plant leaf area are the number of leaves or nodes per main stem, plant height, leaf dry weight and dry weight of vegetative parts of the plant. Allometric equations was used successfully to calculate leaf area for various crops such as cotton, wheat, chickpea, faba bean, peanuts, soybean and sweet sorghum.

This study was conducted to obtain the allometric relationships between green leaf area (cm² per plant) with number of leaves or nodes per main stem, plant height, green leaf dry weight and dry weight of vegetative parts of the plant (gram per plant), and investigating the effect of plant density and planting date on these relationships in SC704 corn (*Zea mays* L.) hybrid.

Materials and Methods

This study was conducted at Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources farm located at latitude 36° 51' N, longitude 54°27' E and altitude of 13 meters above sea level in 2012. The experiment was carried out in a randomized complete block design as factorial with three replications. The experimental factors and their levels were, including plant density (4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter) and planting date (May 30 and June 30). Each plot was including 6 rows with 76 cm inter-row spacing and 6 m length. Corn hybrid SC704, a common hybrid in Iran and Gorgan region, was used in this study. Plant sampling was carried out once every 10 days from 15 days after planting to physiological maturity to measure leaf dry weight, plant green leaf area, the leaf (node) number per stem, dry weight of total vegetative plant parts and plant height. Green leaf area was measured using leaf area meter in laboratory. Plant samples were placed in an oven with 70 °C for 48 hours. To obtain allometric relationships various mathematical equations fitted to green leaf area against mentioned traits data. Fitting the functions to data and examining them was carried out in three steps: 1) Fitting function to each of the plant density in each planting date, 2) Fitting a function to all plant densities in each of two planting dates, separately, and 3) Fitting a function to all data. At each step, after fitting the functions and analysis of coefficients, if the differences were not significant, the next step was used. Statistical analysis was done using the software SAS and the graphs drew using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that a non-linear segmented model can be used to describe the relationships between the number of leaves per stem with cumulative thermal units ($R^2=0.94$, RMSE =5.59%), and leaf area per plant with leaf dry weight per plant ($R^2=0.98$, RMSE =6.54%) and plant dry weight ($R^2=0.95$, RMSE =11.25%) in all plant densities and planting dates. Moreover, the results revealed that the effect of planting date and plant density

1- Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2- Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3- Ph.D, student, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

(* - Corresponding Author Email: khadempir87@yahoo.com)

on the phyllochron, time between the appearance of successive leaves on a shoot was not significant, and mean of the phyllochron was 72.33 thermal units in all treatments. In addition, the findings of this study indicated the significant effect of planting date and non-significant effect of plant densities on the relationship between leaf area per plant and number of leaves (nodes) per stem. Therefore, two individual power equations with $R^2= 0.99$ ($Y= X^{3.36}$ and $Y= X^{0.286}$ for the first and second planting date, respectively) applied to describe this relationship in two planting dates. Similarly, a power equation ($Y = X^{0.14}$, $R^2= 0.99$) can be used to describe the relationship between leaf area index and plant height in all planting dates and densities.

Conclusions

Findings of this study showed that the obtained functions to describe the relationship between the leaf area have high accuracy to estimate green leaf area per plant. But among these relationships, relationships between plant green leaf area with plant green leaf dry weight and plant height had higher coefficient of determination, smaller root mean square, and subsequently higher estimation accuracy. Therefore, using these two traits, leaf area can be estimated more accurately. Moreover, since the relationship between green leaf area with green leaf dry weight per plant was more accurate than plant height, using this relationship in corn simulation models and for fast and easy estimating of leaf area, especially when the leaf area meter is not available, is recommended.

Keywords: Allometric relationships, Corn, Leaf area, Vegetative characteristics