نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۳۶۸-۳۵۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 2, Summer. 2016, p. 354-368

بررسی روابط آلومتریک بین سطح‌برگ و تعدادی از صفات رویشی در ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰٤

ابراهیم زینلی[۱]- افشین سلطانی[۲]- محمد خادم‌پیر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴

چکیده

این مطالعه با هدف یافتن روابط آلومتریک بین سطح‌برگ بوته با تعدادی از صفات رویشی در گیاه ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ انجام‌شد. بدین‌منظور، در سال ۱۳۹۱ آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه‌تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان اجراگردید. فاکتورهای آزمایش و سطوح آن‌ها شامل تراکم بوته (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت (۹ خرداد و ۹تیر) بودند. نتایج نشان‌داد که برای توصیف رابطهٔ تعداد برگ در ساقه با واحد دمایی تجمعی، سطح‌برگ در بوته با وزن خشک برگ در بوته و سطح‌برگ در بوته با وزن خشک بوته در همهٔ تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها می‌توان از مدل رگرسیون غیرخطی دو تکه‌ای به‌ترتیب با ضرایب‌تبیین ۰/۹۴، ۰/۹۸ و ۰/۹۵ استفاده‌کرد. هم‌چنین، یافته‌های این مطالعه حاکی‌از آن بود که برای توصیف رابطهٔ سطح‌برگ در بوته با تعداد برگ (گره) در ساقه در تمام تراکم‌ها می‌توان مدل‌های توانی $y=x^{3/36}$ (برای تاریخ کاشت ۹خرداد) و $y=x^{2/86}$ (برای تاریخ کاشت ۹تیر) با ضریب‌تبیین ۰/۹۹، و برای توصیف رابطهٔ شاخص سطح‌برگ با ارتفاع بوته در تمام تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها مدل توانی $y=x^{1/014}$ با ضریب‌تبیین ۰/۹۹ را به‌کار گرفت. باتوجه به‌دقت بالای توابع به‌دست‌آمده برای توصیف روابط بین صفات یادشده با سطح‌برگ، از این توابع می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی ذرت و هم‌چنین برای محاسبهٔ سطح‌برگ استفاده‌نمود.

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

مقدمه

از آنجایی‌که برگ‌ها منبع اصلی تولید موادفتوسنتزی در گیاهان هستند، پتانسیل تولید مادهٔ خشک و عملکرد گیاهان زراعی تا حد زیادی به سطح‌برگ وابسته‌است. بسیاری از تغییرات محیطی از طریق تغییر سطح‌برگ بر رشد و عملکرد تأثیر می‌گذارند. از این‌رو، به‌تقریب در تمام مطالعات فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی، برای درک سازوکار تغییر عملکرد، سطح‌برگ سبز در بوته اندازه‌گیری و شاخص سطح‌برگ محاسبه می‌شود (Robertson *et al.*, 2002; Payne *et al.*, 1991; Akramghaderi *et al.*, 2004). با این‌حال، اندازه‌گیری سطح‌برگ 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 هزینهٔ بیش‌تر نیاز دارد. به‌همین‌دلیل، باتوجه به‌وجود روابط آلومتریک در گیاهان، مطالعات گسترده‌ای برای یافتن روابط بین سطح‌برگ با صفات دیگر گیاه که اندازه‌گیری آن‌ها ساده‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر بوده و نیاز به دستگاه‌های گران‌قیمت نیز ندارد، انجام شده‌است تا بااستفاده از این‌روابط، سطح‌برگ گیاه بدون اندازه‌گیری با دقتی قابل‌قبول برآوردشود. از صفاتی که به‌طور معمول هم‌بستگی بسیارخوبی با سطح‌برگ دارند و می‌توان بااستفاده از آن‌ها سطح‌برگ را برآورد کرد، می‌توان به تعداد برگ یا گره در ساقهٔ اصلی، ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و وزن خشک اجزای رویشی بوته اشاره‌کرد (Bakhshande *et al.*, 2011; Rahemi *et al.*, 2006).

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، بیان ریاضی مراحل و فرآیندهای رشد گیاه تحت‌تأثیر عوامل مختلف محیطی، ژنتیکی و مدیریتی می‌باشند. شاخص سطح‌برگ یک متغیر ضروری در مدل‌های مبتنی بر مکانیسم رشد گیاهان زراعی به‌منظور پیش‌بینی تولید بیوماس و عملکرد می‌باشد (Soltani and Torabi, 2009). (Poorreza *et al.*, 2007; Kumudini *et al.*, 2001). Poorreza *et al*, 2007 طی تحقیقی در زمینهٔ نخود خشک ایرانی (*Cicer arientinum* L.) بیان‌کردند 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 قویی وجود دارد که از این‌روابط می‌توان در تفسیر و تجزیه‌وتحلیل رفتارهای رشد گیاه یا در مدل‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی ارتفاع بوته (ضروری در شبیه‌سازی رقابت) استفاده‌کرد.

۱- دانشیار، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- استاد، گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشجوی دکترای رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: m.khadempir87@yahoo.com)

یافته‌های مطالعهٔ Bakhshande *et al*, 2011 نشان‌داد که در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) سطح‌برگ 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 آلومتریک بسیار قویی (به‌ترتیب با ضریب‌تبیین ۰/۹۲، ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۹۱) دارد. هم‌چنین، مشخص‌شد که شرایط محیطی گرگان این روابط در ارقام گندم ثابت و پایدار بوده و تحت‌تأثیر رقم و شرایط کشت (دیم و آبی) قرار نمی‌گیرد. به‌عبارت دیگر، از توابع به‌دست‌آمده می‌توان برای کلیه ارقام در هر دو شرایط آبی در مدل‌های شبیه‌سازی گندم و هم‌چنین برآورد سریع و آسان سطح‌برگ در مواقعی که دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح‌برگ دردسترس نیستند، استفاده‌کرد. Zainali *et al*, 2013 با بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در باقلا (*Vicia faba* L.) گزارش‌کردند که بین سطح‌برگ با وزن خشک برگ سبز، وزن خشک اجزای رویشی گیاه و ارتفاع بوته در دورهٔ توسعهٔ مؤثر سطح‌برگ روابط آلومتریک بسیارقویی (به‌ترتیب با ضریب‌تبیین ۰/۹۶ ، ۰/۹۶ و ۰/۹۴) وجود دارد. ایشان باتوجه به‌این‌که رابطهٔ سطح‌برگ با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب‌تبیین بالاتر و هم‌چنین جذر میانگین‌مربعات کوچک‌تری نسبت به ارتفاع بوته بود، پیشنهادکردند در مدل‌های شبیه‌سازی باقلا و هم‌چنین برای برآورد سریع و آسان سطح‌برگ از رابطه بین سطح و وزن خشک برگ استفاده شود. از روابط آلومتریک به‌طور موفقیت‌آمیزی برای محاسبهٔ سطح‌برگ 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 (*Glycine max* L. Merr) (Zainai *et al*, 2013)، سویا (Nehbandani *et al.*, 2013) و سورگوم شیرین (Sorghum bilcolour L. Moench) (Sharrett and Baker, 1985) استفاده شده‌است.

هدف از این مطالعه به‌دست‌آوردن روابط آلومتریک سطح‌برگ 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 سینگل‌کراس ۷۰۴ برای استفاده در مدل شبیه‌سازی رشد ذرت SSM[1] و هم‌چنین برآورد سریع سطح‌برگ با استفاده از صفات رویشی یادشده و بدون‌نیاز به اندازه‌گیری سطح‌برگ بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان در سال زراعی ۹۱-۹۰ واقع در عرض‌جغرافیایی ۳۶درجه و ۵۱دقیقه شمالی و طول‌جغرافیایی ۵۴درجه و ۲۷دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳متر از سطح دریا انجام‌شد. میانگین بارندگی سالیانه محل انجام آزمایش ۵۵۴میلی‌متر می‌باشد. بافت خاک مزرعه لوم رُسی‌سیلتی (۱۰درصد شن، ۵۲درصد سیلت و ۳۸درصد رُس) و هدایت‌الکتریکی ۰/۶دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیتهٔ ۶/۸ است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه‌تکرار انجام شد. آزمایش دارای دو فاکتور اصلی شامل تراکم بوته (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت (۹خرداد و ۹تیرماه) بود. هر بلوک شامل ۱۰کرت و هر کرت شامل شش‌ردیف کاشت به‌طول شش‌متر و به‌فاصلهٔ ۷۶سانتی‌متر بود. در این‌مطالعه از هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ استفاده‌شد که کاشت آن در کشور و منطقه متداول است (Akramghaderi *et al*., 2004). کاشت به‌صورت دستی و سایر عملیات‌زراعی مطابق روال متداول در منطقه انجام‌گرفت. برای اطمینان از دستیابی به‌تراکم موردنظر، در داخل شیار در هر محل ۲بذر کاشته‌شد. به‌منظور تنظیم تراکم بوته، پس از استقرار کامل بوته‌ها، بوته‌های اضافی در مراحل اولیه رشد رویشی حذف شدند به‌طوری‌که تراکم بوته به تراکم موردنظر (۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ بوته در مترمربع) رسید. در طول فصل رشد برای مبارزه با کرم طوقه‌بُر در مرحله جوانه‌زنی از سم سوین استفاده‌شد (Rahemi *et al*, 2006). برای مبارزه با حشرات در مراحل شش‌برگی و ظهور تاسل از سموم دیازینون و مالاتیون استفاده‌شد. در طول فصل رشد در مواقع لازم وجین علف‌های‌هرز به‌طور دستی انجام‌شد. در طول فصل رشد هر هفت الی ۱۰روز یک‌بار بر اساس وضعیت رطوبتی خاک، آبیاری صورت‌گرفت. در این آزمایش نمونه‌گیری به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک برگ، سطح‌برگ و تعداد برگ (یا گره) در ساقه اصلی (گره قابل‌شمارش؛ گره‌ای‌که لیگول مربوط به برگ آن دیده شود)، از ۱۵روز پس از کاشت تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک هر ۱۰روز یک بار انجام‌شد. پس از شمارش تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی در بوته‌های نمونه‌گیری شده، و تفکیک برگ‌ها و اندازه‌گیری سطح‌برگ بااستفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج، نمونه‌ها به تفکیک اندام در آون با دمای ۷۰درجه سانتی گراد به‌مدت ۴۸ساعت خشک‌شده و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. واحد دمایی برای گیاه ذرت در طی فصل رشد بااستفاده از برنامه GDD Calc. محاسبه شد. در این برنامه واکنش سرعت نسبی نمو در ذرت به میانگین دمای روزانه بااستفاده از یک تابع دندان‌مانند توصیف شده‌است. پارامترهای لازم برای اجرای این برنامه به‌ترتیب شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه،

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

دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف می‌باشد . در این مطالعه دماهای پایه، مطلوب تحتانی و فوقانی و سقف برای ذرت به‌ترتیب ۸، ۳۰، ۳۷ و ۴۵درجه سانتی‌گراد درنظر گرفته‌شد (Soltani and Sinclair, 2012). آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان واقع در پنج‌کیلومتری محل آزمایش تهیه گردید.

در این تحقیق، توابع ریاضی مختلف برای به‌دست‌آوردن روابط آلومتریک به داده‌ها برازش داده‌شد. برازش معادله و بررسی آن در سه‌حالت: 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 به‌دست‌آمده اگر اختلاف معنی‌دار نبودند، از حالت بعدی استفاده شد. برای مقایسه دقت معادلات از ضریب‌تبیین (R^2)، جذر میانگین‌مربعات خطا ($RMSE=\sqrt{\frac{\sum(p-o)^2}{n-1}}$) که در آن p و o به‌ترتیب مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل و مقدار مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد ، و ضریب‌تغییرات (CV) استفاده‌شد. ضریب‌تبیین بالاتر و ضریب‌تغییرات و جذر میانگین‌مربعات خطای پایین‌تر نشان‌دهنده دقت بالاتر معادله در توصیف روابط آلومتریک است. یادآور می‌شود که در این مقاله از RMSE بر حسب درصد استفاده‌شد که اگر کم‌تر از ۱۰باشد، شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰خوب، بین ۲۰ تا ۳۰متوسط و بالاتر از ۳۰ مدل ضعیف ارزیابی می‌شود. مدل‌های به‌کاررفته در این تحقیق عبارت‌اند از: الف) مدل ۲تکه‌ای به‌منظور بررسی رابطه واحد دمایی تجمعی با تعداد گره (یا برگ) در ساقه: مدل ۲تکه‌ای؛ متشکل از ۲خط 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).

$$y = a + bx \quad \text{اگر } x < x_0 \qquad (۱)$$
$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر } x \geq x_0$$

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. ب) مدل توانی: از میان معادله‌های مختلف برازش داده‌شده به داده‌های تغییرات سطح‌برگ در بوته در مقابل تعداد برگ در ساقه معادلهٔ توانی بهترین برازش را به داده‌ها داشت:

$$y=x^b \qquad (۲)$$

که در آن y سطح‌برگ در بوته، x تعداد برگ در ساقه اصلی و b ضریب معادله می‌باشد. برای برازش تابع، داده‌های سطح‌برگ بوته و تعداد برگ در ساقه اصلی تا زمانی‌که تعداد برگ در ساقه اصلی به حداکثر مقدار خود رسید، مورداستفاده قرارگرفتند، ج) به‌منظور محاسبه روند تغییرات شاخص سطح‌برگ در مقابل روز پس از کاشت از معادله لجستیک‌پیک زیر استفاده‌شد (۷):

معادله(۳)

$$LAI=((a*\exp((-a)*(x-b))*c))/((1+\exp((-a)*(x-b)))**2$$

که در آن ضرایب a، b و c به‌ترتیب، سرعت تولید سطح‌برگ، زمان‌لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح‌برگ و سرعت کاهش سطح‌برگ می‌باشند، د) برای توصیف رابطه بین شاخص سطح‌برگ و وزن خشک برگ (گرم در مترمربع) از معادله ۲تکه‌ای زیر استفاده‌شد:

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

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

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

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) به‌منظور توصیف رابطه بین سطح‌برگ در بوته (سانتی‌متر مربع در بوته، y) و ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) از رابطه (۶) استفاده‌شد که در آن b ضریب معادله است.

$$y=x^b \qquad (۶)$$

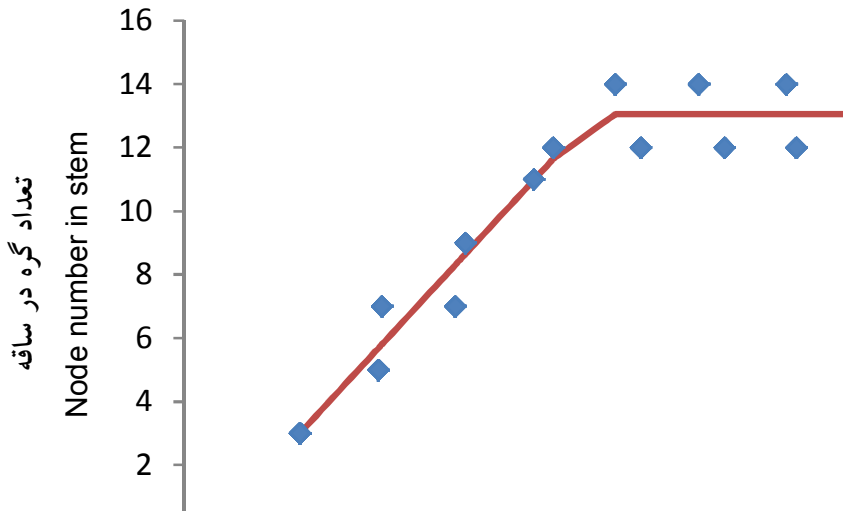
تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزار SAS (Soltani and Maddah, 2010) و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

رابطه واحد دمایی تجمعی با تعداد گره در ساقه

به‌منظور بررسی سرعت ظهور برگ در تیمارهای مختلف، مدل رگرسیون غیرخطی ۲تکه‌ای بر داده‌های تعداد گره (یا برگ) در ساقه اصلی در برابر واحد دمایی تجمعی برازش داده‌شد. در ابتدا برازش معادله ۱ برای هر یک از تراکم‌ها در هر یک از دو تاریخ کاشت به‌صورت جداگانه انجام‌شد، اما از آنجایی‌که بررسی حدود اطمینان در سطح ۹۵درصد نشان‌داد که ضرایب معادله در بین تراکم‌ها در هر تاریخ کاشت و بین تاریخ کاشت‌ها اختلاف معنی‌داری با یک‌دیگر ندارند (نتایج نشان‌داده نشده‌است)، یک‌معادله به‌کل داده‌های تعداد

برگ در ساقه اصلی در برابر واحد دمایی تجمعی برازش داده‌شد. در هر دو تاریخ کاشت، با افزایش واحد دمایی، تعداد برگ در ساقه اصلی به‌صورت خطی افزایش پیداکرد که شیب این‌خط سرعت ظهور برگ و عکس آن فیلوکرون را نشان می‌دهد (شکل ۱ و جدول ۱). مقدار فیلوکرون برای مجموع دو تاریخ کاشت ۷۲/۳۳واحد دمایی (درجه-روز) بود. در هر دو تاریخ کاشت، با رسیدن واحد دمایی تجمعی به‌یک حد معین، افزایش تعداد برگ در ساقه اصلی متوقف‌شد، یعنی افزایش در واحد دمایی، افزایش در تعداد برگ در ساقه اصلی را به‌دنبال نداشت (شکل ۱). واحد دمایی لازم از مرحله سبزشدن تا پایان تولید برگ در ساقه در مجموع تاریخ کاشت اول و دوم برابر با ۱۰۱۲/۶واحد دمایی بود. تعداد نهایی برگ در ساقه در تاریخ کاشت اول و دوم به‌ترتیب برابر ۱۴ و ۱۲برگ 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 شده‌است. Soltani *et al*, 2006 در مورد نخود، Turpin *et al*, 2002 در مورد باقلا و Ranganathan *et al*, 2001 در مورد لپه‌هندی گزارش‌کردند که تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر فیلوکرون ندارد. Sinclair, 1984 بیان داشت که در فلوریدا با میانگین دمای ۲۲درجه سانتی‌گراد، سرعت تولید برگ نیشکر ۰/۴برگ در روز می‌باشد.



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

♦ مقادیر مشاهده‌شده و ـــــ 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 ضریب‌تبیین هستند

Table 1- The coefficient a, phyllochron (phyll) and the x0 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

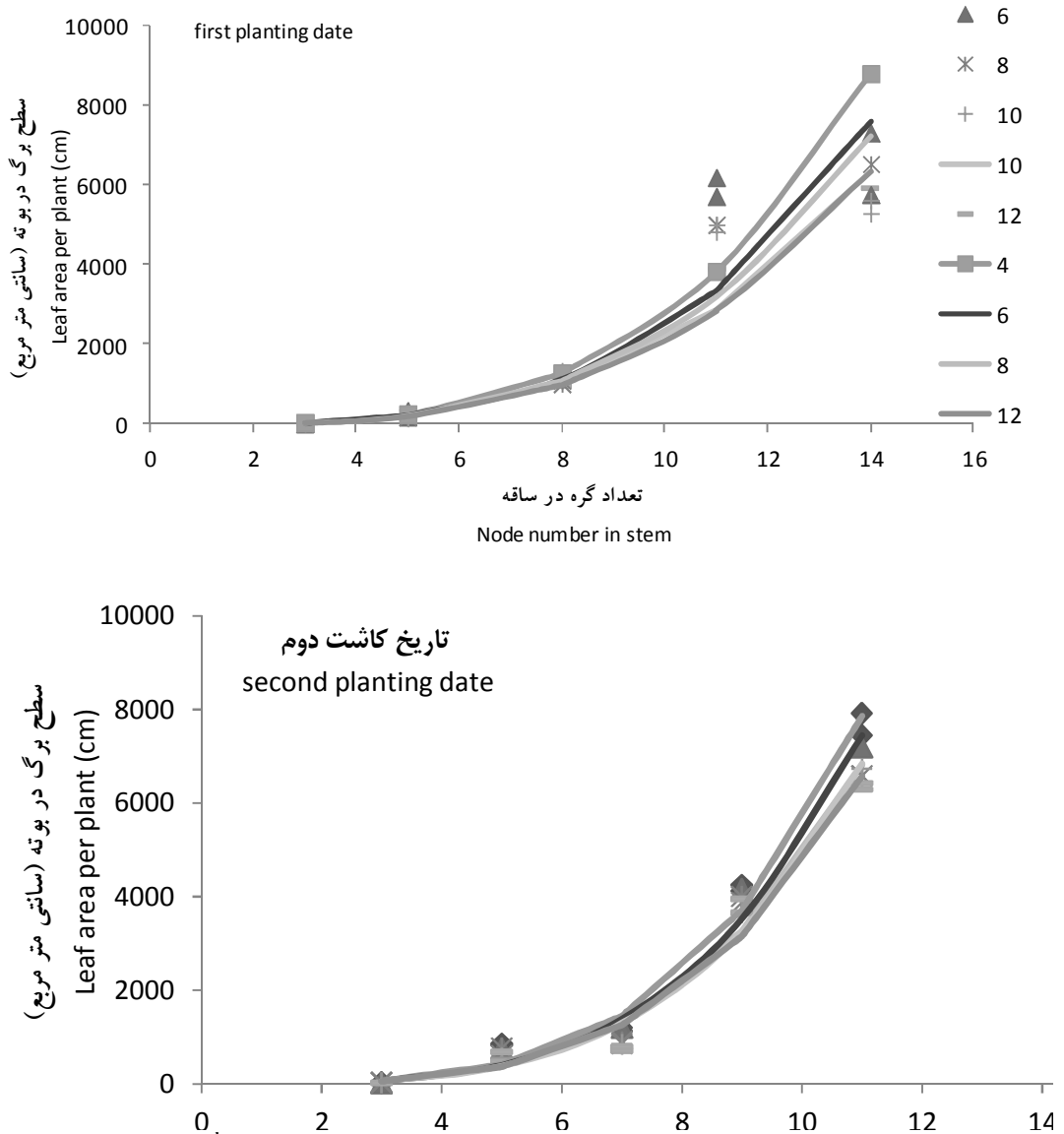
تاریخ کاشت Planting date	%RMSE	R^2	X0±SE	phyll±SE	a±SE
مجموع دو تاریخ کاشت Total two planting dates	5.59	0.94	1012.6± 19.08	72.33 ± 2.63	-0.949±0.313

رابطه سطح‌برگ در بوته با تعداد برگ در ساقه

بررسی حدود اطمینان در سطح ۹۵درصد نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین دو تاریخ کاشت و عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تراکم‌های مختلف بوته در هر تاریخ کاشت در مقدار ضریب b، رابطهٔ توانی بین سطح‌برگ در بوته با تعداد برگ در ساقه اصلی بود (نتایج نشان‌داده نشده‌است). از این‌رو، به داده‌های سطح‌برگ در مقابل تعداد برگ در ساقه هر یک از دو تاریخ کاشت معادلهٔ توانی جداگانه‌ای برازش داده‌شد. مقدار ضریب‌تبیین ۰/۹۹ توابع برازش داده‌شده برای

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

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



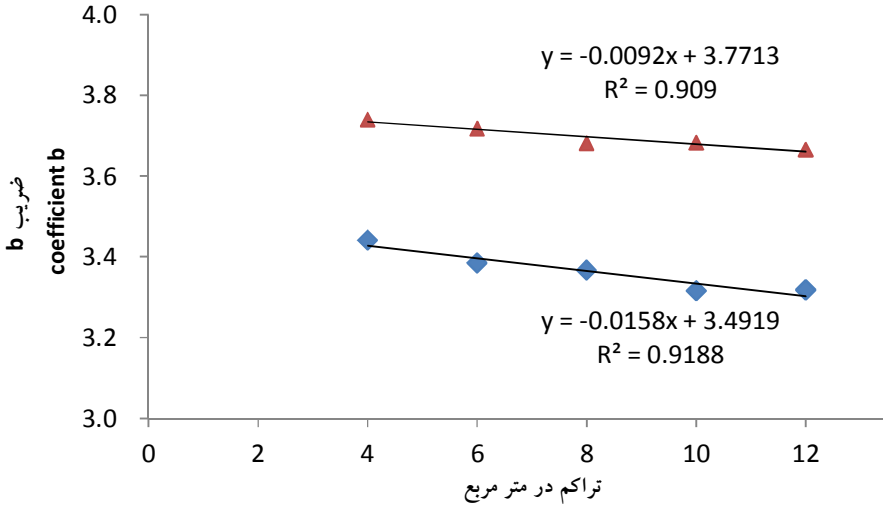
شکل ۲- سطح‌برگ در بوته به‌عنوان تابعی از تعداد گره (یا برگ) روی ساقه توصیف‌شده به‌وسیله معادله $y=x^b$(اعداد سمت راست شکل نشان‌دهنده تراکم بوته در مترمربع می‌باشد) اشکال هندسی نقاط مشاهده‌شده خطوط رنگی نقاط پیش‌بینی‌شده توسط مدل

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

جدول۲- ضریب (b) در معادله $y=x^b$ برای سطح‌برگ بوته در مقابل تعداد گره (یا برگ) در ساقه در تاریخ‌های مختلف کاشت. RMSE٪ درصد جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب‌تبیین 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 R2

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

Soltani *et al*, 2006 نشان‌دادند که در نخود ضریب b به تراکم وابسته‌بوده و با افزایش تراکم این ضریب کاهش می‌یابد. با قراردادن ضریب b در مقابل تراکم رابطه خطی نزولی گفته‌شده به‌دست می‌آید (شکل ۳). سطح‌برگ بوته تا زمان پایان رشد برگ بر روی ساقه اصلی بر مبنای این تابع قابل‌پیش‌بینی می‌باشد و برای مرحله پیری باید از روش‌های دیگری استفاده نمود. Sinclair, 1984 و Sinclair *et al*, 2003 سطح‌برگ بوته در مرحله پیری را براساس انتقال‌مجدد نیتروژن از برگ‌ها پیش‌بینی کردند. آن‌ها بیان‌کردند که پیش‌بینی سطح‌برگ در بوته برای مرحله پیری بااستفاده از انتقال مجدد نیتروژن کاملاً نتایج قابل‌قبولی داشته‌است و می‌توان از این روش در مدل‌های شبیه‌سازی رشدونمو گیاهان استفاده کرد.

شاخص سطح‌برگ

نتایج نشان‌داد که از نظر روند تغییرات شاخص سطح‌برگ (LAI) در طول فصل رشد بین تاریخ کشت اول (۹ خرداد) و دوم (۹ تیر) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج‌درصد وجود دارد، اما در این سطح احتمال، بین تراکم‌های مختلف در هر تاریخ کاشت اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. از این‌رو، برای هر تاریخ کاشت تابع جداگانه‌ای به داده‌های شاخص سطح‌برگ کل تراکم‌ها در برابر زمان از فصل رشد برازش داده‌شد (شکل ۴). مقادیر مربوط به ضرایب معادله، ضریب‌تبیین و حداکثر شاخص سطح‌برگ در دو تاریخ کاشت در جدول ۳ ارائه شده‌است. در این پژوهش، حداکثر شاخص سطح‌برگ 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 سطح‌برگ در تراکم‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت ولی اختلاف بین تاریخ کشت اول و دوم در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار بود. زمان لازم

برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح‌برگ در تاریخ کشت اول ۷۰/۲۸روز و در تاریخ کشت دوم برابر ۵۷/۰۶روز بود. حداکثر شاخص سطح‌برگ 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 سبزشدن، شاخص سطح برگ در ابتدا با سرعت کم (به‌صورت نمایی) و بعد از آن با شیبی تندتر به‌صورت خطی افزایش‌یافت تا زمانی‌که شاخص سطح‌برگ به حداکثر رسید. در ادامهٔ فصل رشد، به‌دلیل پیرشدن برگ‌ها شاخص سطح‌برگ کاهش پیدا کرد و در نهایت به‌صفر 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 سطح‌برگ در مقابل روز پس از کاشت برازش‌دادند و گزارش‌کردند که این مدل بهترین برازش را به داده‌های LAI در مقابل روز پس از کاشت داشت. Kumudini *et al*, 2001 نیز گزارش‌کردند که با آغاز مرحله رسیدگی برگ‌ها زردشده و درنتیجه شاخص سطح‌برگ به‌طور چشم گیری کاهش می یابد و در نهایت در مرحله رسیدگی شاخص سطح‌برگ به‌صفر می‌رسد. Bafkar *et al*, 2011 نیز در پژوهشی بر روی ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ روند تغییرات شاخص سطح‌برگ در مقابل روز پس از کاشت را به‌صورت لجستیک پیک توصیف کردند.

رابطه شاخص سطح‌برگ با وزن خشک برگ

پس از برازش توابع مختلف به داده‌های شاخص سطح‌برگ در برابر وزن خشک برگ تا زمان ورود بوته‌ها به فاز زایشی، که در تمام تراکم‌ها در هر دو تاریخ کاشت به‌تقریب ۶۲روز پس از کاشت اتفاق‌افتاد، تابع ۲تکه‌ای به‌دلیل نکویی بهتر برازش انتخاب‌شد. از آن‌جایی که ضرایب‌آلومتریک توابع ۲تکه‌ای برازش داده‌شده به تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت تفاوت معنی‌داری با یک‌دیگر نداشت، برای توصیف رابطه بین شاخص سطح‌برگ و وزن خشک برگ یک‌تابع به کل داده‌های تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت برازش داده‌شد (شکل ۵). ضریب‌تبیین این تابع ۰/۹۸ و جذر میانگین مربعات خطای آن برای مجموع تاریخ‌های کاشت و تراکم‌ها ۶/۵۴درصد بود که نشان از رابطهٔ بسیارخوب میان شاخص سطح‌برگ و وزن خشک برگ داشت (جدول ۴). همانند سایر غلات، در ذرت نیز در ابتدای فصل رشد ، بخش عمدهٔ موادفتوسنتزی به برگ‌ها اختصاص می‌یابد.

ضمن این‌که سطح ویژهٔ برگ‌ها نیز بیش‌تر (به‌بیان دیگر ضخامت برگ‌ها کم‌تر) است. در نتیجه، در این دوره شیب افزایش شاخص سطح‌برگ در مقابل زمان زیاد است، اما با گذشت زمان، به‌ویژه بعد از شروع طویل‌شدن ساقه، این شیب به‌دلیل کاهش سطح ویژهٔ برگ‌ها (افزایش ضخامت برگ‌ها) و افزایش ضریب‌تخصیص مادهٔ خشک به اندام‌های دیگر بوته مانند ساقه نسبت به‌قبل 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 رابطهٔ شاخص سطح‌برگ با وزن خشک برگ از تابع 2تکه‌ای استفاده‌کردند.

جدول۳- ضرایب مدل لجستیک پیک برای پیش‌بینی شاخص سطح‌برگ برای تاریخ‌های کاشت اول و دوم ؛ ضرایب a، b و c به‌ترتیب سرعت تولید سطح‌برگ، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر شاخص سطح‌برگ و سرعت کاهش سطح‌برگ . R^2 ضریب‌تبیین 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. R2 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

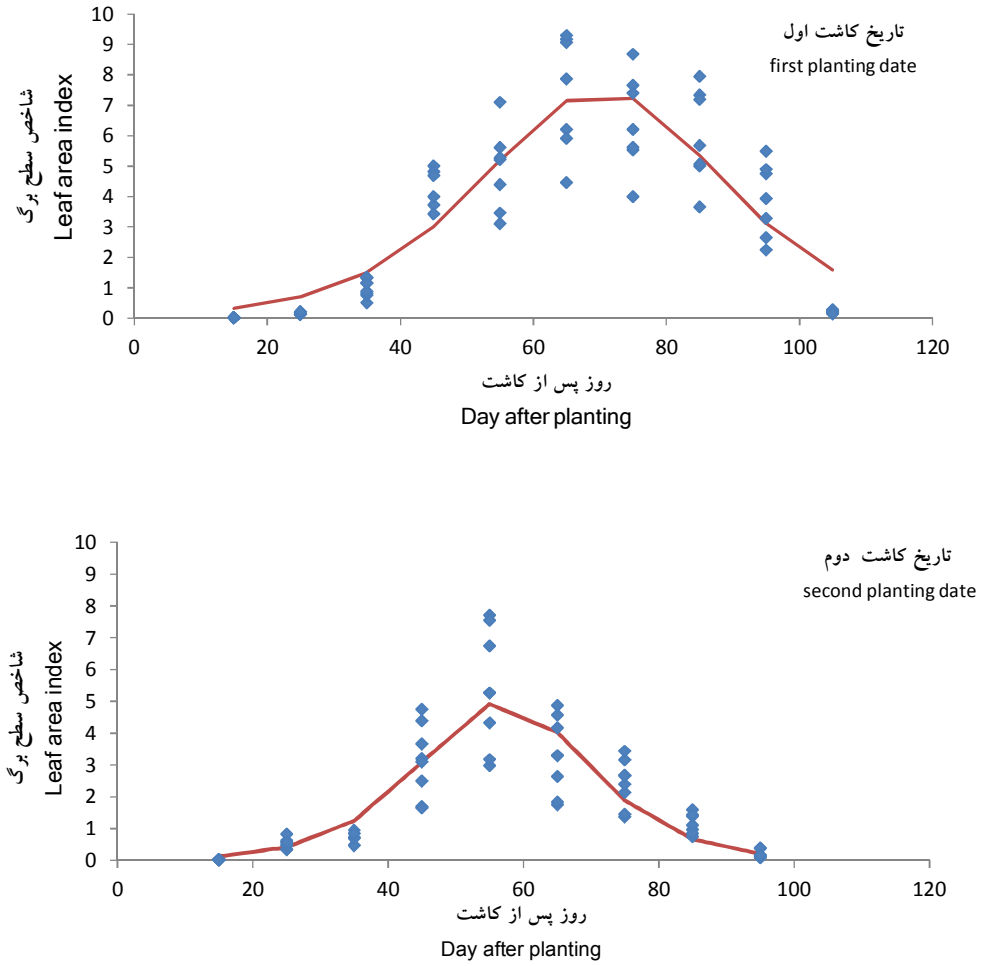
جدول ٤- ضرایب a و b و مقدار X_0 در تابع دو تکه‌ای برازش داده شده به داده‌های شاخص سطح‌برگ سبز در برابر وزن خشک برگ سبز

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب‌تبیین 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



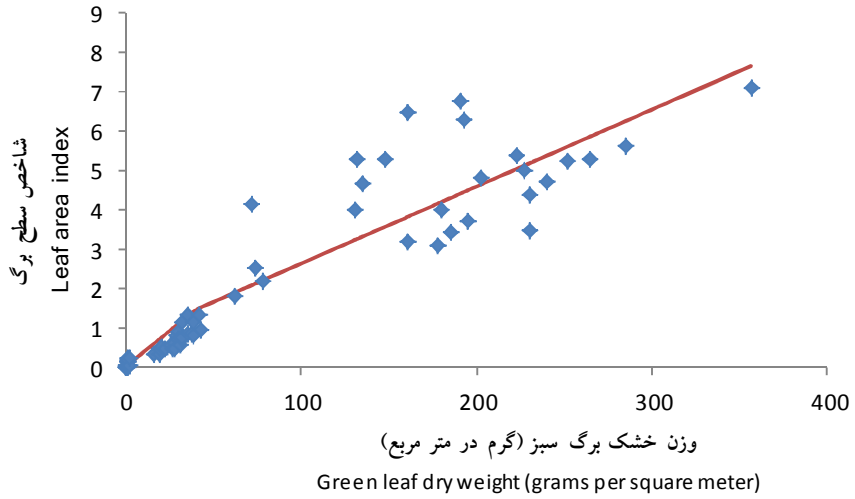
شکل ٤- روند تغییرات سطح‌برگ در مقابل روز پس از کاشت در ذرت

♦ مقادیر مشاهده شده در تراکم‌ها و تکرارهای مختلف و ـــــ 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

با این‌حال، برای توصیف رابطه بین شاخص سطح‌برگ با وزن خشک برگ از مدل‌های دیگر نیز استفاده شده‌است. برای مثال، Rahemi *et al*, 2006 برای نخود از یک مدل خطی، Sharrett and Baker, 1985 برای یونجه و Payne *et al*, 1991 برای ارزن از مدل غیرخطی، Hammer *et al*, 1993 و Zainali *et al*, 2013 برای باقلا از معادله توانی استفاده‌کردند. تفاوت مدل‌های برازش داده شده در گیاهان دیگر به داده‌های سطح‌برگ در برابر وزن خشک را می‌توان به تفاوت سطح ویژهٔ برگ و همین‌طور تفاوت تغییرات ضریب تخصیص مادهٔ خشک در طول فصل رشد به برگ‌ها در گیاهان مختلف نسبت‌داد. بر اساس نتیجهٔ یادشده، باتوجه به‌این‌که اندازه‌گیری سطح‌برگ دشوار و وقت‌گیر است و به دستگاه سطح‌برگ‌سنج نیازدارد که در بسیاری از موقعیت‌ها قابل‌دسترس نمی‌باشد و در مقابل، اندازه‌گیری وزن خشک برگ بسیار آسان‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر است، می‌توان بااستفاده از تابع به‌دست‌آمده، سطح‌برگ را با دقت زیادی با اندازه‌گیری وزن خشک برگ برآورد کرد.



شکل ۵- شاخص سطح‌برگ به‌عنوان تابعی از وزن خشک برگ در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تراکم‌های ٤، ٦، ٨، ١٠ و ١٢ بوته در متر مربع

♦ مقادیر مشاهده‌شده در تراکم‌ها و تکرارهای مختلف و ـــــ مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل را نشان می‌دهد

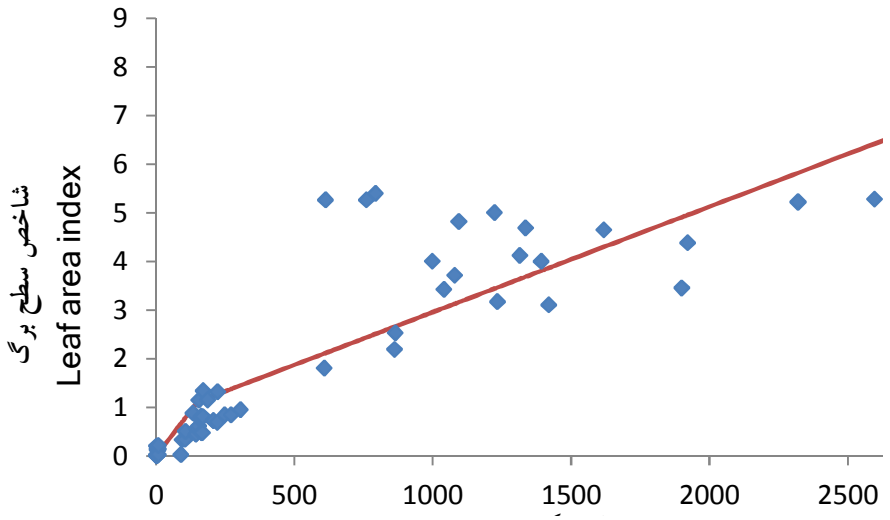
Figure 5- Leaf area index as a function of leaf dry weight in corn sowing 9 June and 9 of July at densities of 4, 6, 8, 10 and 12 plants per square meter

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

رابطه سطح‌برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه

بررسی حدود اطمینان ضرایب مدل‌های ۲تکه‌ای برازش داده‌شده به داده‌های سطح‌برگ در برابر وزن خشک اجزای رویشی گیاه نشان‌داد که از این‌نظر، 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 سطح‌برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه در تمام تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت از یک‌معادله استفاده کرد (جدول ۵). یادآور می‌گردد که بدین‌منظور از داده‌های سطح‌برگ و وزن خشک اجزای رویشی گیاه تا زمان ورود بوته‌ها به فاز زایشی (تقریباً ۶۲روز پس از کاشت در تمام تیمارها) استفاده‌شد. هم‌چنان که در بخش پیشین گفته‌شد، به‌دلیل تخصیص بخش عمدهٔ مادهٔ خشک به برگ‌ها در مراحل ابتدایی رشد و احتمالاً کم‌تربودن ضخامت برگ‌های تولیدشده در این دوره، شیب افزایش سطح‌برگ در برابر وزن خشک بوته یا برگ بیش‌تر از مراحل بعدی رشد است و این به‌معنای تولید سطح‌برگ بیش‌تر به‌ازای تولید هر گرم مادهٔ خشک می‌باشد. به‌همین‌دلیل، شیب خط در مرحله اول تابع ۲تکه‌ای بیش‌تر از مرحله دوم (دورهٔ بعد از نقطهٔ شکست) تابع ۲تکه‌ای می‌باشد . ضریب‌تبیین ۹۵درصد و جذر میانگین مربعات خطا بر حسب درصد ۱۱/۲۵، نشان‌دهنده رابطه خوب بین سطح‌برگ با وزن خشک اجزای رویشی گیاه (وزن خشک کل) است. یافته‌های مطالعات دیگر نیز حاکی‌از آن‌است که می‌توان از وزن خشک کل بوته برای برآورد سطح‌برگ استفاده‌کرد. با این‌حال، مطابق با نتایج مطالعات دیگر، در این مطالعه نیز دقت پیش‌بینی سطح‌برگ بااستفاده از وزن خشک برگ به‌طور نسبی بیش‌تر از وقتی بود که سطح‌برگ بااستفاده از وزن خشک کل اجزای رویشی گیاه برآورد گردید. اندازه‌گیری وزن خشک کل بوته نسبت به وزن خشک برگ‌ها مستلزم صرف وقت برای جداکرده برگ‌ها نبوده و با سرعت بیش‌تری انجام می‌شود. در مقابل، اگر فقط از وزن خشک برگ‌ها استفاده‌شود، علاوه‌بر بالاتربودن دقت پیش‌بینی سطح‌برگ حجم نمونه‌ها نیز کم‌تر است (Zainali *et al*, 2013). Soltani and Torabi, 2009 از تابع ۲تکه‌ای برای برآورد سطح‌برگ بوته به‌عنوان تابعی از از ماده خشک کل بوته در نخود استفاده‌کردند. Tsialtas and Maslaris, 2008 در مورد چغندرقند، Retta *et al*, 2000 در چند گیاه باریک‌برگ بااستفاده از معادلات رگرسیون خطی و غیرخطی هم‌بستگی بسیار بالایی را بین سطح‌برگ و وزن خشک برگ و وزن خشک کل اجزای رویشی بوته گزارش‌کردند. تعداد زیادی از محققان دیگر نیز از معادله‌های غیرخطی برای توصیف روابط سطح‌برگ 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 سطح‌برگ در مقابل وزن خشک

کل استفاده‌کردند، آن‌ها بیان‌داشتند در تمام مراحل رشد رویشی در باقلا شیب اختصاص موادفتوسنتزی به برگ‌ها تقریباً یک‌سان است.



شکل ٦- شاخص سطح‌برگ به‌عنوان تابعی از وزن خشک بوته در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تراکم‌های ٤، ٦، ٨، ١٠ و ١٢ بوته در مترمربع

♦ مقادیر مشاهده‌شده در تراکم‌ها و تکرارهای مختلف و ـــــ مقادیر پیش‌بینی‌شده 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 ٥- ضرایب a و b و مقدار X_0 در تابع ۲تکه‌ای برازش داده‌شده به داده‌های سطح‌برگ در برابر وزن خشک اجزای رویشی بوته

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب‌تبیین هستند

Table 5- coefficients a and b and the amount X0 in function two-piece fitted to the leaf level data in the vegetative parts of the plant dry weight

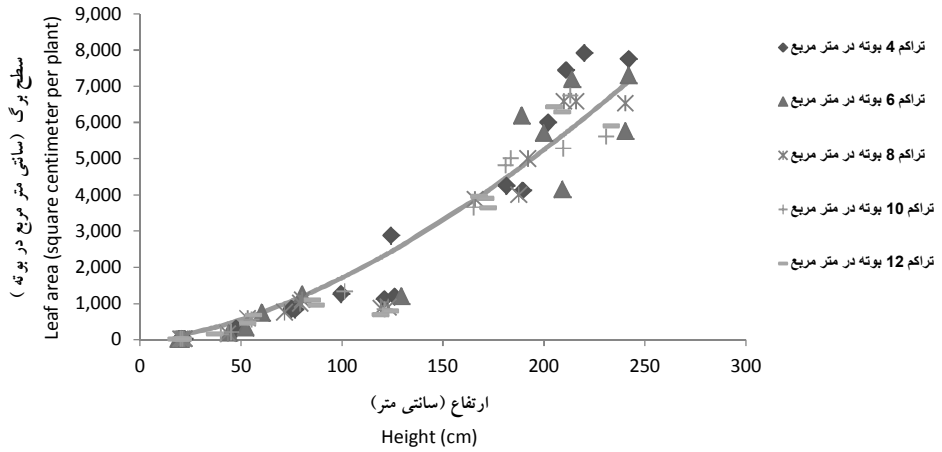
RMSE Root mean square error and the coefficient of determination R^2

b_1±SE	b_2±SE	X_0±SE	R^2	%RMSE
0.0724±0.00109	0.00217± 0.000174	190.7 ± 28.8	0.95	11.25

رابطهٔ بین سطح‌برگ و ارتفاع بوته

برای توصیف رابطهٔ سطح‌برگ سبز در بوته با ارتفاع بوته تابع 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 داده‌شده به داده‌های سطح‌برگ در برابر ارتفاع بوته در تراکم‌ها و تاریخ‌های کاشت در سطح احتمال پنج‌درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بنابراین، به کل داده‌های سطح‌برگ بوته (سانتی‌متر مربع در بوته، y) در برابر ارتفاع بوته (سانتی‌متر، x) در این آزمایش یک‌تابع توانی (رابطهٔ ۶) برازش داده‌شد (جدول ۶).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع بوته، میزان سطح‌برگ در بوته در ابتدا به‌صورت نمایی و سپس با شیبی تندتر به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. ازآنجایی‌که اندازه‌گیری ارتفاع بوته در مقایسه با اندازه‌گیری سطح‌برگ امری بسیار ساده‌تر، سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر است از این صفت می‌توان با دقت کافی برای برآورد سطح‌برگ استفاده‌نمود. بر خلاف نتایج این مطالعه که نشان‌دهنده رابطه نسبتاً خوبی بین ارتفاع و شاخص سطح‌برگ است، در تحقیقاتی که Nehbandani *et al*, 2013 بر روی سویا و Akramghaderi *et al*, 2004 روی پنبه و Zainali *et al*, 2013 روی باقلا انجام دادند، مشاهده‌کردند که ارتفاع گیاه توصیف‌کننده مناسبی برای سطح برگ نیست. البته برآورد سطح برگ بااستفاده از ارتفاع به‌دلیل جذر میانگین مربعات خطا بالاتر بر حسب درصد (۹/۲۲) نسبت به‌دیگر روش‌ها دارای دقت پایین‌تر می‌باشد.



شکل ۷- سطح‌برگ در بوته به عنوان تابعی از ارتفاع بوته در ذرت در دو تاریخ کاشت ۹ خرداد و ۹ تیر در تمام تراکم‌های ٤، ٦، ٨، ١٠ و ١٢ بوته در مترمربع

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 ٦- ضریب b و مقدار R^2 در رابطه توانی بین سطح‌برگ و ارتفاع بوته ذرت در در دو تاریخ کاشت ۹خرداد و ۹تیر در تمام تراکم‌های ٤، ٦، ٨، ١٠ و ١٢ بوته در متر مربع

RMSE جذر میانگین مربعات خطا و R^2 ضریب‌تبیین 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

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان‌داد که مقدار فیلوکرون در گیاه ذرت تحت‌تأثیر تاریخ کاشت و تراکم قرار نمی‌گیرد و فاصلهٔ بین ظهور یک‌برگ تا ظهور برگ بعدی به‌طور متوسط به ۷۲/۳۳ واحد دمایی می‌باشد. بررسی رابطه سطح‌برگ بوته در مقابل تعداد برگ در ساقه اصلی نشان‌داد که این رابطه تحت‌تأثیر معنی‌دار (در سطح احتمال پنج‌درصد) تراکم قرار نداشت، اما تأثیر تاریخ کاشت بر آن در سطح پنج‌درصد معنی‌دار و مقدار ضریب‌آلومتریک (b) محاسبه‌شده به تاریخ کاشت وابسته بود. از این‌رو، در هر تاریخ کاشت یک‌تابع جداگانه به داده‌های کل تراکم‌ها برازش داده‌شد. هم‌چنین، از آنجایی‌که میزان این ضریب با افزایش تراکم به‌طور غیرمعنی‌داری کاهش پیداکرد، شیب این کاهش برای هر تاریخ کاشت محاسبه‌شد. لازم به‌ذکر است که شیب کاهش این ضریب با افزایش تراکم بوته در مدل SSM تراکم موردنیاز است. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که رابطه سطح‌برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل گیاه و ارتفاع گیاه ذرت رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ تحت‌تأثیر تاریخ کاشت و تراکم قرار نمی‌گیرد. به‌عبارت دیگر، می‌توان از یک‌معادله برای دو تاریخ کاشت و کل تراکم‌ها برای رابطه سطح‌برگ با وزن خشک برگ، وزن خشک کل و ارتفاع بوته استفاده‌کرد. هم‌چنین، نتایج این تحقیق نشان‌داد که رابطه سطح‌برگ سبز بوته با وزن خشک برگ سبز و ارتفاع بوته دارای ضریب‌تبیین بالاتر و هم‌چنین جذر میانگین مربعات (بر حسب درصد) کوچک‌تری نسبت به صفات دیگر بود. از آنجایی‌که رابطه سطح‌برگ سبز با وزن خشک برگ سبز در بوته دارای ضریب تبیین بالاتر و هم‌چنین جذر میانگین مربعات کوچک‌تری نسبت به ارتفاع بود پیشنهاد می‌شود در مدل‌های شبیه‌سازی ذرت و هم‌چنین برای برآورد سریع و آسان سطح‌برگ در مواقعی که دستگاه اندازه‌گیری سطح‌برگ دردسترس نیستند، از این رابطه استفاده‌شود.

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).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 2, Summer. 2016, p. 354-368

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص. ۳۶۸-۳۵۴

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

E. Zeinali[1]- A. Soltani [2]- 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 (cm^2 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 ^{o} 51' N, longitude 54 ^{o}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 ^{o}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