

تخمین سطح برگ در گلرنگ با استفاده از خصوصیات رویشی

بنیامین ترابی^{۱*}، افشین سلطانی^۲ و حسن سعادتخواه^۳

* نویسنده مسئول: استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (Ben_Torabi@yahoo.com)

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

۳- کارشناس ارشد، گروه زراعت، دانشگاه ولیعصر رفسنجان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱

چکیده

اندازه‌گیری‌های دقیق سطح برگ برای مطالعات زراعی و فیزیولوژیک گیاه مهم هستند. به منظور یافتن روش سریع و مطمئن برای تخمین سطح برگ در گلرنگ، آزمایش مزرعه‌ای با چهار رقم (۴۱۱، سینا، محلی اصفهان و صفه) در ۳ تاریخ کاشت (۱۷ فروردین و ۶ و ۲۷ اردیبهشت) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. در این مطالعه، از مدل‌های رگرسیونی مختلفی برای تخمین سطح برگ (LA) از طریق اندازه‌گیری‌های انجام‌شده برای تعداد برگ در ساقه اصلی (MSLN)، تعداد گره در ساقه اصلی (MSNN)، وزن خشک برگ (LDW)، وزن خشک ساقه (SDW) و وزن خشک رویشی (VDW) استفاده شدند. بر اساس RMSD (جذر میانگین مربعات) و r (ضریب همبستگی) بین سطح برگ مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، LDW بهترین متغیر مستقل برای تخمین سطح برگ معرفی شد. رابطه بین LA و LDW توسط مدل خطی توصیف شد. مقادیر RMSD در ارقام مختلف بین ۳۹/۹ تا ۶۱/۴ متغیر بود و مقدار r بیش از ۰/۹۶ بود که حاکی از دقت نسبتاً خوب مدل در پیش‌بینی LA از طریق LDW است. از آنجا که هیچ اختلاف معنی‌داری بین ضرایب مدل خطی برازش یافته بر داده‌های LA و LDW مورد مطالعه وجود نداشت، داده‌های مربوط به همه ارقام باهم ادغام شدند و یک مدل کلی برای تخمین سطح برگ توسط LDW برای رقم گلرنگ به‌دست آمد ($LA = LDW \cdot 1.02/2 + 1.0/6$) که در این مدل RMSD برابر ۵۲ و r برابر ۰/۹۶ بود.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی، روابط آلومتریک، مدل.

مقدمه

اندازه‌گیری‌های مستقیم سطح برگ دقیق‌تر و نقش مهمی را در ارزیابی اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم ایفا می‌کنند (Chen et al., 1997; Sonnentag et al., 2007). روش مستقیم اندازه‌گیری، شامل جداسازی همه برگ‌ها از گیاه و اندازه‌گیری آن‌ها است. این روش تخریبی است و نیاز به دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ دارد که این دستگاه‌ها نسبتاً گران هستند. برخی از مدل‌های این دستگاه شامل LICOR LAI-2000، DEMON، TRAC و DELTAT هستند که مستقیماً بر اساس اسکن برگ سطح برگ را اندازه‌گیری می‌کنند. روش

سطح برگ یکی از متغیرهای مهم در مطالعات زراعی و فیزیولوژیک مرتبط با فرآیندهای رشد گیاه مثل دریافت نور، کارآیی فتوسنتز، تبخیر و تعرق و واکنش به کود و آبیاری می‌باشد (Antunes et al., 2008). Blanco and Folegatti, 2005). بنابراین دقت در اندازه‌گیری سطح برگ در مطالعات مختلف برای درک واکنش گیاه به تیمارهای آزمایشی لازم است (Akram-Ghaderi and Soltani, 2007). سطح برگ به دو روش مستقیم و غیرمستقیم قابل محاسبه است.

مورد نیاز انجام شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی متری در جدول (۱) آورده شده است. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. فاکتورها شامل تاریخ کاشت در سه سطح (۱۷ فروردین، ۶ و ۲۷ اردیبهشت) و رقم در چهار سطح (۴۱۱، سینا، محلی اصفهان و صفه) بودند. طول کرت‌های آزمایشی ۳ متر و در هر کرت ۶ ردیف با فاصله ردیف ۴۰ سانتی متر و با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع کشت شدند. برای اجتناب از تنش آب، آبیاری بعد از ۷۰ میلی متر تبخیر تجمعی از تشتک کلاس A انجام شد. نمونه‌گیری‌ها در فاصله زمانی ۵ تا ۱۰ روز از اوایل رشد یعنی در مرحله ۶ تا ۸ برگی انجام شد و تا مرحله پرشدن دانه، بعد از این که برگ‌ها زرد شدند، ادامه یافت. در هر نمونه‌گیری ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری‌ها روی آن انجام شد. در این نمونه‌گیری‌ها کل بوته به دو قسمت برگ و ساقه تقسیم شد. سطح برگ (LA) با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Delta T Devices, Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد و سپس وزن خشک برگ (LDW) و وزن خشک ساقه (SDW) به طور جداگانه پس از قرارگیری در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شدند. وزن خشک رویشی (VDW) از مجموع LDW و SDW به دست آمد. علاوه بر این، تعداد برگ روی ساقه اصلی (MSLN) و تعداد گره روی ساقه اصلی (MSNN) شمارش شدند. برگی کامل در نظر گرفته شد که نوک آن باز شده باشد و بیش از ۵۰ درصد سطح برگ آن قابل مشاهده باشد.

غیرمستقیم، که در آن سطح برگ از طریق مشاهدات سایر صفات رویشی گیاه تخمین زده می‌شود، عموماً سریع‌تر، غیرتخریبی و کم هزینه‌تر هستند و حتی می‌توان سطح نمونه‌های حجیم‌تر برگ را به راحتی تخمین زد. با توجه به نیاز کم این روش به امکانات اندازه‌گیری به نظر می‌رسد این روش در مقایسه با روش مستقیم مهم‌تر باشد (Jonckheere *et al.*, 2004).

اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم سطح برگ بر اساس تخمین سطح برگ از طریق روابط آلومتریکی صورت می‌گیرد (Sonntag *et al.*, 2007). آلومتری رابطه بین وزن یا سطح قسمت یا همه یک موجود زنده و یک متغیر مستقل است (Gower *et al.*, 1999). متغیر مستقلی که معمولاً برای تخمین سطح برگ استفاده می‌شود شامل طول و عرض برگ، وزن برگ، وزن ساقه، وزن کل، تعداد برگ‌ها و تعداد گره‌ها روی ساقه اصلی و ارتفاع گیاه هستند. در این روش، مدل‌های متعدد (خطی و غیرخطی) برای تخمین سطح برگ استفاده می‌شوند (Akram-Ghaderi and Soltani, 2007; Kumar and Sharma, 2010; Poureza *et al.*, 2009; Soltani *et al.*, 2006; Tsialtas and Maslaris, 2008). هدف از این مطالعه بررسی روابط مختلف بین سطح برگ و تعدادی از خصوصیات رویشی در ارقام گلرنگ و نیز معرفی مناسب‌ترین رابطه برای تخمین سطح برگ از طریق این خصوصیات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ولی عصر رفسنجان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۳ دقیقه، طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۴۶۹ متر برای جمع‌آوری داده‌های

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰-۳۰ سانتی متری

Table 1. Physical and chemical properties of soil in 0-30 cm depth in experimental site

پتانسیم قابل دسترس (پی پی ام) K (ppm)	فسفر قابل دسترس (پی پی ام) P (ppm)	نیترژن کل (درصد) Total N (%)	کربن آلی (درصد) Organic C (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس) EC (ds.m ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
292.6	2.61	0.03	0.22	7.3	4	Loam

b در این مدل بین ۳۱/۳ تا ۴۷/۱ و ۰/۰۷ تا ۰/۱۰ به ترتیب تخمین زده شد. بر اساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد، هیچ اختلاف معنی داری بین ضرایب a و b در ارقام وجود نداشت. دقت مدل برای پیش‌بینی سطح برگ در شکل (۱ ب) نشان داده شده است. داده‌ها با فاصله نسبتاً زیادی از خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. این نشان می‌دهد که دقت مدل برای پیش‌بینی سطح برگ خوب نیست. مقادیر RMSD برای رقم ۴۱۱ حدود ۸/۸، برای سینا ۹/۶، برای اصفهان ۱۳۶/۳ و برای صنفه ۷۷/۰ بود. هم‌چنین مقادیر r بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۴ در بین ارقام به دست آمد (جدول ۲). مقادیر MSNN اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد در ارقام مورد مطالعه بین صفر در مرحله روزت تا ۳۴ قرار داشت (شکل ۲). مدل نمایی رابطه بین سطح برگ و MSNN برای همه ارقام را توصیف کرد (شکل ۲ الف). تخمین‌های ضرایب مدل در ارقام مختلف بر اساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی داری نشان ندادند (جدول ۳). تخمین‌های مدل برای ضریب a بین ۴۸/۱ تا ۸۰/۴ و برای ضریب b بین ۰/۰۶ تا ۰/۰۹ بودند (جدول ۳). کارآیی مدل در پیش‌بینی سطح برگ با استفاده از MSNN در شکل (۲ ب) نشان داده شده است. شکل (۲ ب) پراکنندگی داده‌ها را در اطراف خط ۱:۱ نشان می‌دهد. در بیشتر موارد، سطح برگ پیش‌بینی شده از سطح برگ مشاهده شده اختلاف نسبتاً زیادی داشتند. مقادیر بالای RMSD و مقادیر پایین r تأییدکننده این موضوع هستند. مقادیر RMSD برای ۴۱۱ حدود ۹۱/۳، برای سینا ۱۳۵/۳، برای محلی اصفهان ۷۹/۱ و برای صنفه ۱۲۳/۳ بودند. مقادیر r بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۳ در بین ارقام متغیر بودند (جدول ۳).

مدل‌های رگرسیون مختلفی برای توصیف رابطه بین سطح برگ و دیگر خصوصیات رویشی گیاه (MSNN، VDW، SDW، LDW، MSLM) بررسی شدند. در تجزیه رگرسیون، برای هر رقم، داده‌های همه تاریخ کاشت‌ها با هم ادغام شدند تا کارآیی بهتری از برآزش مدل بر داده‌ها به دست آید. نوع مدل‌های مورد استفاده جهت برآزش بر داده‌ها از طریق نمودار پراکنش داده‌ها تخمین زده شد. مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل: مدل خطی ($y=a+bx$)، نمایی ($y=ae^{bx}$) و توانی ($y=ax^b$) بودند که در آن‌ها a عرض از مبدا و b شیب مدل می‌باشند. در بین مدل‌های مختلف، بهترین مدل برای تخمین سطح برگ از طریق RMSD (جذر میانگین مربعات بین سطح برگ پیش‌بینی شده و مشاهده شده) کمتر و r (ضریب همبستگی بین سطح برگ پیش‌بینی شده و مشاهده شده) بالاتر انتخاب شد. مقدار RMSD از فرمول زیر محاسبه شد:

$$RMSD = \sqrt{\sum(Q_i - P_i)^2 / n}$$

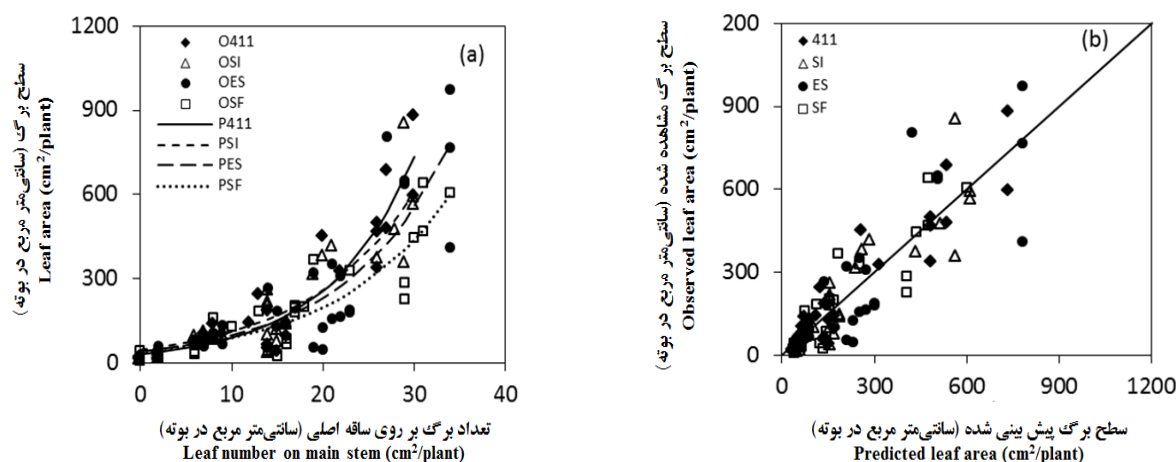
که در آن O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده سطح برگ و n تعداد کل مشاهدات است.

نتایج و بحث

سطح برگ اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد ارقام مورد مطالعه از ۴/۶ تا ۹۷۳/۵ سانتی‌متر مربع در بوته متغیر بود که این سطح برگ معادل ۲ تا ۳۴ برگ در هر بوته بود (شکل ۱). مدل نمایی برای توصیف رابطه بین LA و MSLN استفاده شد (شکل ۱ الف). مقادیر a و

جدول ۲- تخمین پارامترهای مدل نمایی ($y=ae^{bx}$) برای رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ روی ساقه اصلی (MSLN)
Table 2. The parameters estimation of the exponential model ($y=ae^{bx}$) for the relationship between the leaf area and the leaf number on the main stem (MSLN)

r	RMSD	b ± SE	a ± SE	Cultivar
0.94	80.8	0.10 ± 0.010	31.3 ± 8.8	411
0.91	90.6	0.08 ± 0.009	47.1 ± 12.54	Sina
0.87	136.3	0.08 ± 0.010	40.6 ± 15.32	Local Esfahan
0.91	77.0	0.07 ± 0.009	40.5 ± 10.64	Sofeh



شکل ۱- رابطه بین سطح برگ و تعداد برگ بر روی ساقه اصلی (a) و سطح برگ مشاهده شده در مقابل سطح برگ پیش بینی شده (b). علائم عبارتند از: O، مشاهده شده؛ P، پیش بینی شده؛ SI، سینا؛ ES، محلی اصفهان؛ SF، صفه.

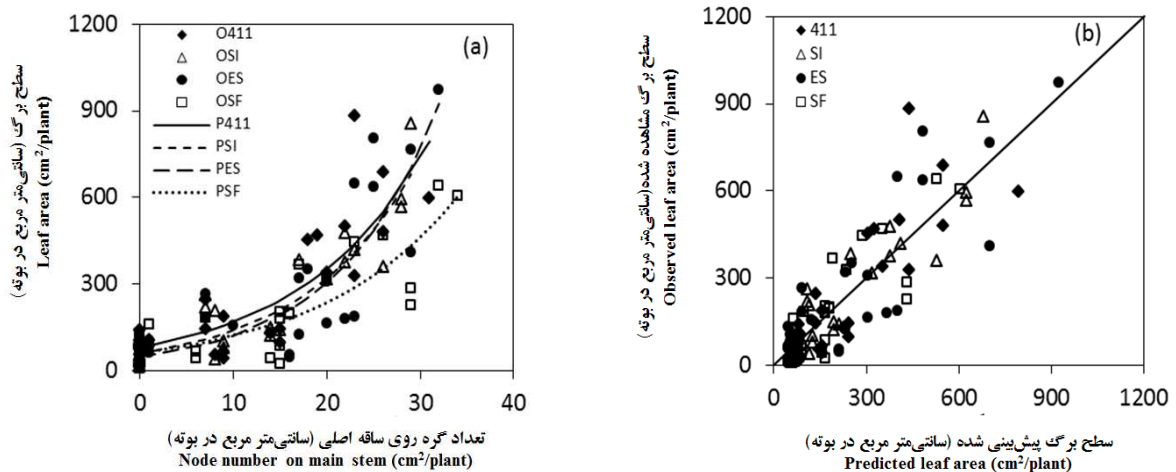
Fig. 1. The relationship between leaf area and the leaf number on the main stem (a) and observed versus predicted leaf area (b). Signs are: O, observed; P, predicted; SI, Sina; ES, Local Esfahan; SF, Sofeh.

جدول ۳- تخمین پارامترهای مدل نمایی ($y=ae^{bx}$) برای رابطه بین سطح برگ و تعداد گره روی ساقه اصلی (MSNN)
Table 3. The parameters estimation of the exponential model ($y=ae^{bx}$) for the relationship between the leaf area and the node number on the main stem (MSNN)

r	RMSD	b ± SE	a ± SE	Cultivar
0.87	91.3	0.07 ± 0.010	80.4 ± 21.03	411
0.87	135.3	0.08 ± 0.008	60.1 ± 12.71	Sina
0.93	79.1	0.09 ± 0.010	48.1 ± 17.38	Local Esfahan
0.85	123.3	0.06 ± 0.008	61.6 ± 15.11	Sofeh

گرم در بوته در طول فصل رشد در بین ارقام مورد مطالعه متغیر بود (شکل ۴). یک مدل توانی رابطه بین LA و SDW را برای ارقام مختلف توصیف کرد (شکل ۴ الف). در این مدل بین تخمین های ضرایب a و b در ارقام مختلف اختلاف معنی داری وجود نداشت. مقدار a بین ۱۹۹/۱ تا ۲۶۵/۹ و مقدار b بین ۰/۴۶ تا ۰/۵۷ متغیر بود (جدول ۵). مدل توانست به خوبی رابطه بین LA و SDW را توصیف کند. شکل ۴ ب پراکنش زیادی از LA پیش بینی شده در مقابل مشاهده شده را نشان می دهد. این پراکنش توسط مقادیر RMSD و r نیز نشان داده شده اند. مقادیر RMSD برای ارقام ۴۱۱ حدود ۱۵۰/۹، سینا ۱۲۹/۲، محلی اصفهان ۱۶۱/۱ و صفه ۱۱۷/۸ بود. علاوه بر این مقادیر r بین LA پیش بینی شده و مشاهده شده بین ۰/۷۶ و ۰/۸۴ بودند (جدول ۵).

مقادیر LDW بین ۰/۰۴ تا ۹/۴۸ گرم در بوته در بین ارقام مورد مطالعه متغیر بود (شکل ۳). یک مدل خطی توانست رابطه بین LA و LDW را به خوبی توصیف کند (شکل ۳ الف). شکل نکویی برازش مدل را نشان می دهد. همچنان که در شکل (۳ ب) نشان داده شده، مدل به خوبی سطح برگ را در طول فصل رشد، به ویژه در اوایل فصل رشد پیش بینی کرد. مقادیر RMSD بین سطح برگ پیش بینی شده و مشاهده شده ۵۸/۵ برای ۴۱۱، ۶۱/۴ برای سینا، ۴۶/۸ برای محلی اصفهان و ۳۹/۹ برای صفه بود. مقادیر r برای همه ارقام بالا بود (۰/۹۶ > r؛ جدول ۴). بر اساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد، هیچ اختلاف معنی داری بین تخمین های ضرایب a و b در بین ارقام وجود نداشت (جدول ۴). مقادیر SDW اندازه گیری شده از ۰/۰۶ تا ۱۱/۴



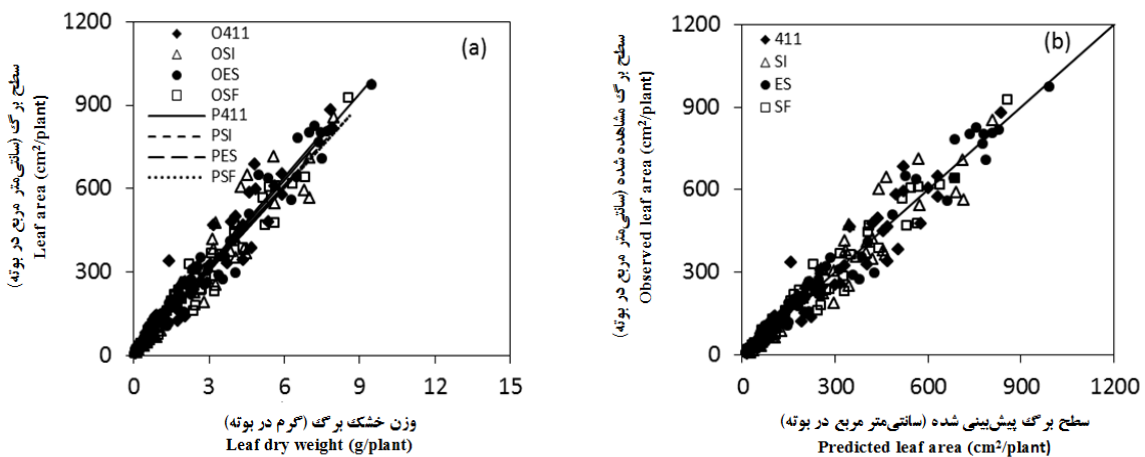
شکل ۲- رابطه بین سطح برگ و تعداد گره بر روی ساقه اصلی (a) و سطح برگ مشاهده شده در مقابل سطح برگ پیش بینی شده (b). علایم عبارتند از: O، مشاهده شده؛ P، پیش بینی شده؛ SI، سینا؛ ES، محلی اصفهان؛ SF، صفه.

Fig. 2. The relationship between leaf area and the node number on the main stem (a) and observed versus predicted leaf area (b). Signs are: O, observed; P, predicted; SI, Sina; ES, Local Esfahan; SF, Sofeh.

جدول ۴- تخمین پارامترهای مدل خطی $(y = a + bx)$ برای رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ (LDW)

Table 4. The parameters estimation of the exponential model $(y = ae^{bx})$ for the relationship between the leaf area and leaf dry weight (LDW)

r	RMSD	b ± SE	a ± SE	Cultivar
0.96	58.0	105.3 ± 3.99	10.2 ± 11.54	411
0.96	61.4	99.3 ± 4.01	18.0 ± 12.28	Sina
0.98	46.8	103.9 ± 2.41	7.0 ± 9.19	Local Esfahan
0.98	39.9	99.2 ± 2.67	8.8 ± 7.80	Sofeh



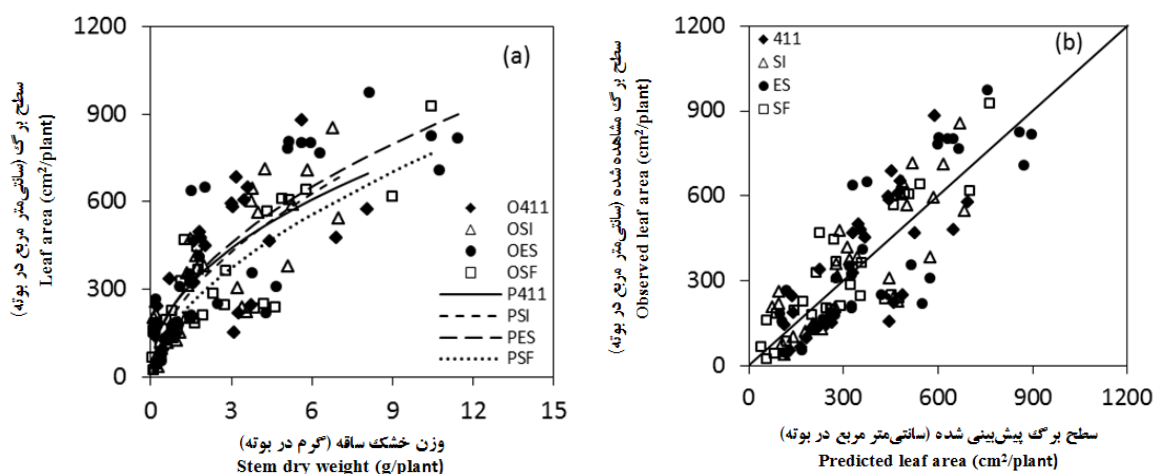
شکل ۳- رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ (a) و سطح برگ مشاهده شده در مقابل سطح برگ پیش بینی شده (b). علایم عبارتند از: O، مشاهده شده؛ P، پیش بینی شده؛ SI، سینا؛ ES، محلی اصفهان؛ SF، صفه.

Fig. 3. The relationship between leaf area and the leaf dry weight (a) and observed versus predicted leaf area (b). Signs are: O, observed; P, predicted; SI, Sina; ES, Local Esfahan; SF, Sofeh.

جدول ۵- تخمین پارامترهای مدل توانی ($y=ae^{bx}$) برای رابطه بین سطح برگ و وزن خشک ساقه (SDW).

Table 5. The parameters estimation of the exponential model ($y = ae^{bx}$) for the relationship between the leaf area and stem dry weight (SDW)

r	RMSD	b ± SE	a ± SE	Cultivar
0.76	150.9	0.46 ± 0.09	265.9 ± 34.67	411
0.81	129.2	0.55 ± 0.09	235.3 ± 31.34	Sina
0.83	161.1	0.50 ± 0.07	265.8 ± 37.76	Local Esfahan
0.84	117.8	0.57 ± 0.08	199.1 ± 26.95	Sofeh



شکل ۴- رابطه بین سطح برگ و وزن خشک ساقه (a) و سطح برگ مشاهده شده در مقابل سطح برگ پیش بینی شده (b). علائم عبارتند از: O، مشاهده شده؛ P، پیش بینی شده؛ SI، سینا؛ ES، محلی اصفهان؛ SF، صفه.

Fig. 4. The relationship between leaf area and the stem dry weight (a) and observed versus predicted leaf area (b). Signs are: O, observed; P, predicted; SI, Sina; ES, Local Esfahan; SF, Sofeh.

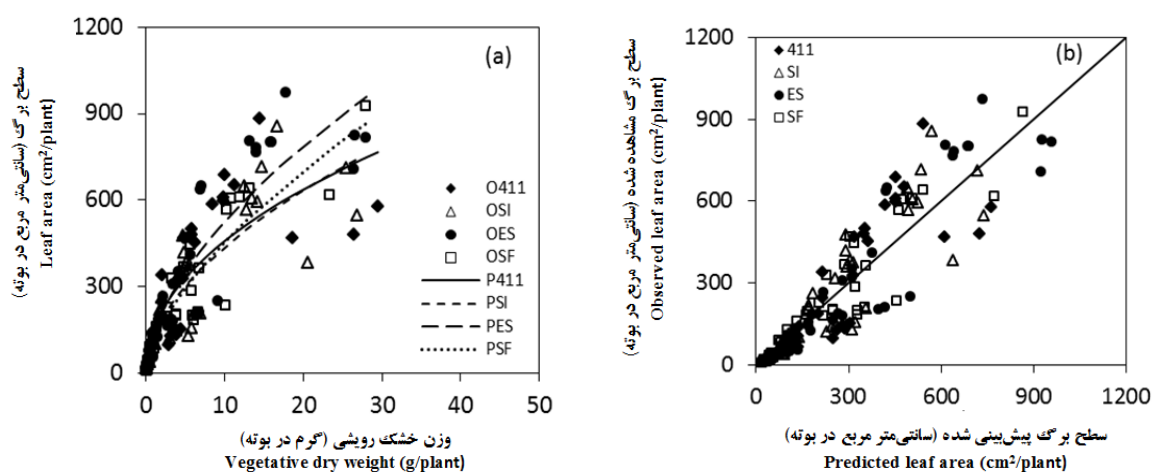
تخمین سطح برگ گلرنگ از طریق برخی روابط آلومتریک مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس معیارهای انتخاب شده (RMSD پایین تر و r بالاتر)، این مطالعه نشان داد که فقط رابطه بین سطح برگ (LA) و وزن خشک برگ (LDW) برای تخمین سطح برگ قابل قبول هستند. این رابطه به وسیله مدل خطی توصیف شد. با توجه به عدم اختلاف معنی دار بین ضرایب مدل خطی ارقام، یک مدل خطی کلی برای همه ارقام جهت پیش بینی سطح برگ توصیه شد که ضرایب مدل برای a ۱۰/۶ و برای b ۱۰۲/۲ بودند ($LA = LDW \cdot 102/2 + 10/6$). این مدل ۹۵ درصد تغییرات در LA را توسط LDW توجیه کرد. علاوه بر این، مقادیر RMSD و r برای پیش بینی LA در مجموع ارقام به ترتیب ۵۲ و ۰/۹۶ بودند.

مقادیر اندازه گیری شده VDW از ۰/۰۴ تا ۲۹/۵ گرم در بوته در طول فصل رشد در بین ارقام محدود شد (شکل ۵). مدل توانی رابطه بین LA و VDW برای ارقام مختلف را توصیف کرد (شکل ۵ الف). اختلاف معنی داری بین ضرایب a و b در این ارقام وجود نداشت. مقدار ضریب a بین ۱۰۶/۵ و ۱۵۳/۱ و مقدار b بین ۰/۴۸ تا ۰/۶۳ متغیر بود (جدول ۶). مدل نتوانست رابطه بین LA و VDW را به خوبی توصیف کند. شکل ۵ ب نشان می دهد که داده ها در اطراف خط ۱:۱ پراکنش زیادی دارند. مقادیر RMSD در ۴۱۱ حدود ۱۲۹/۱، برای سینا ۱۱۲/۲، برای محلی اصفهان ۱۱۷/۶ و برای صفه ۸۳/۶ بود. علاوه بر این، مقادیر r بین LA پیش بینی شده و مشاهده شده در ارقام مختلف بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۳ متغیر بود (جدول ۶). در تحقیق حاضر، چگونگی

جدول ۶- تخمین پارامترهای مدل توانی ($y=ae^{bx}$) توصیف کننده رابطه بین سطح برگ و وزن خشک رویشی (VDW)

Table 6. The parameters estimation of the exponential model ($y=ae^{bx}$) for the relationship between the leaf area and vegetative dry weight (VDW)

r	RMSD	b ± SE	a ± SE	Cultivar
0.85	129.1	0.48 ± 0.065	153.1 ± 24.76	411
0.88	112.2	0.53 ± 0.064	127.3 ± 21.22	Sina
0.93	117.6	0.58 ± 0.057	136.7 ± 21.29	Local Esfahan
0.93	83.6	0.63 ± 0.053	106.5 ± 14.36	Sofeh



شکل ۵- رابطه بین سطح برگ و وزن خشک رویشی (a) و سطح برگ مشاهده شده در مقابل سطح برگ پیش بینی شده (b). علائم عبارتند از: O، مشاهده شده؛ P، پیش بینی شده؛ SI، سينا؛ ES، محلی اصفهان؛ SF، صفه.

Fig. 5. The relationship between leaf area and the vegetative dry weight (a) and observed versus predicted leaf area (b). Signs are: O, observed; P, predicted; SI, Sina; ES, Local Esfahan; SF, Sofeh.

Ma و همکاران (۱۹۹۲)، در بادام زمینی و Lieth و همکاران (۱۹۸۶) در سویا گزارش کردند که مدل توانی می تواند به خوبی رابطه بین سطح برگ و وزن خشک رویشی را توصیف کند. Hammer و همکاران (۱۹۸۷) و Soltani و همکاران (۲۰۰۶) یک مدل توانی ساده را برای پیش بینی سطح برگ از طریق تعداد برگ گیاه در سورگوم دانه ای و نخود گزارش کردند.

نتیجه گیری

به طور کلی این مطالعه پیشنهاد می کند که در نبود دستگاه سطح برگ سنج، استفاده از رابطه بین LA و LDW برای تخمین سطح برگ می تواند مناسب باشد. همچنین، به دلیل رابطه نزدیک LA و LDW نسبت به سایر رابطه های مورد بررسی، این رابطه می تواند در مدل های شبیه سازی سطح برگ مورد استفاده قرار گیرد.

رابطه نزدیک بین سطح برگ و وزن خشک برگ برای گونه های مختلف ارزیابی شده اند (Payne *et al.*, 1991). نشان دادند که سطح برگ پنبه می تواند به وسیله وزن خشک برگ با استفاده از مدل توانی تخمین زده شود. Tsialtas and Maslaris (۲۰۰۸) از یک معادله درجه دوم برای توصیف رابطه بین سطح برگ و وزن خشک برگ چغندر قند استفاده کردند.

Chanda and Singh (۲۰۰۲) نشان دادند که در طول دوره رشد گندم، سطح برگ و وزن خشک برگ همبستگی نزدیکی باهم داشتند اما معادله لگاریتمی بهتر از مدل خطی می تواند در پیش بینی سطح برگ مفید باشد. به هر حال، محققان دیگر گزارش کردند که روابط مختلفی برای تخمین سطح برگ وجود دارد. برای مثال،

References

1. Akram-Ghaderi, F. and Soltani, A. 2007. Leaf area relationships to plant vegetative characteristics in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown in a temperate sub-humid environment. International Journal of Plant Production, 1: 63-71.
2. Antunes, W.C., Pompelli, M.F., Carretero, D.M., and DaMatta, F.M. 2008. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). Annals of Applied Biology, doi:10.1111/j.1744-7348.2008.00235.x.
3. Blanco, F.F. and Folegatti, M.V. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Scientia Agricola, 62: 305-309.
4. Chanda, S.V. and Singh, Y.D. 2002. Estimation of leaf area in wheat using linear measurements. Plant Breeding Seed Science, 46: 75-79.
5. Chen, J.M., Rich, P.M., Gower, S.T., Norman, J.M., and Plummer, S. 1997. Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. Journal of Geophysics Research, 102: 29429-29443.
6. Gower, S.T., Kucharik, C.J., and Norman, J.M. 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, f_{APAR} , and net primary production of terrestrial ecosystems. Remote Sensing and Environment, 70: 29-51.
7. Hammer, G.L., Hill, K., and Schrodter, G.N. 1987. Leaf area production and senescence of diverse grain sorghum hybrids. Field Crops Research, 17: 305-317.
8. Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., and Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. I: Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology, 121: 19-35.
9. Kumar, R., and Sharma, S. 2010. Allometric model for nondestructive leaf area estimation in clary sage (*Salvia sclarea* L.). Photosynthetica, 48: 313-316.
10. 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.
11. Ma, L., Gardener, F.P., and Selamat, A. 1992. Estimation of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. Crops Science, 32: 461-471.
12. Payne, W.A., Wendt, C.W., Hossner, L.R., and Gates, C.E. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agronomy Journal, 83: 937-941.
13. Pourreza, J., Soltani, A., Naderi, A., and Aynehband, A. 2009. Modeling leaf production and senescence in wheat. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 6: 498-507. [In Farsi]

14. 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*, 99: 14-23.
15. Sonnentag, O., Talbot, J., Chen, J.M. and Roulet, N.T. 2007. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 144: 200-212.
16. Tsialtas, J.T. and Maslaris, N. 2008. Leaf allometry and prediction of specific leaf area (SLA) in a sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivar. *Photosynthetica*, 46: 351-355.