

## برآورد سطح برگ گونه‌های درختی شاخص قطعه خزر باغ گیاه - شناسی ملی ایران به روش غیرتخریبی

زهرا نوغانی لیلاکوهی<sup>۱</sup>، پریسا پناهی<sup>۲\*</sup>، سیدیوسف ترابیان<sup>۳</sup>، مهدی پورهاشمی<sup>۴</sup>،

سیدآرمین هاشمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۰۹

تاریخ تصویب: ۹۴/۱۱/۱۸

### چکیده

سطح برگ یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های گیاهان است که ارتباط مستقیم با متغیرهای اکولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه مانند شاخص سطح برگ، جذب نور، تبخیر و تعرق، فتوسنتز و رشد دارد، از اینرو محاسبه آن فوق‌العاده حائز اهمیت است. در این پژوهش سعی شد با استفاده از یک روش غیرتخریبی (محاسبه مدل‌های ساده رگرسیونی) و با اندازه‌گیری متغیرهای کمی برگ شامل طول و پهنا و ترکیب این دو متغیر، سطح برگ ۷

۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲\* استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاهشناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی (Panahi@rifra-ac.ir) نویسنده مسئول

۳ استادیار، گروه جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۴ دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

- این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد جنگلداری دانشگاه آزاد اسلامی لاهیجان به راهنمایی مشترک خانم دکتر پناهی و آقای دکتر ترابیان میباشد.

گونه درختی شاخص قطعه خزر باغ گیاه‌شناسی ملی ایران به نام‌های بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata*)، آزاد (*Zelkova carpinifolia*)، نمدار (*Tilia platyphyllos*)، پلت (*Acer velutinum*) و شیردار (*Acer cappadocicum*) برآورد شود. برای این منظور از هر گونه حداقل ۱۰ پایه انتخاب و به‌طور تصادفی ۲۰۰ برگ از قسمت‌های مختلف تاج آنها جمع‌آوری شد. در آزمایشگاه طول و پهنای برگ‌ها با استفاده از خط‌کش میلی‌متری و همچنین سطح آنها با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج اندازه‌گیری شد. پس از برآورد مدل‌های مختلف رگرسیونی و تحلیل آماری مدل‌ها، برای هر گونه بهترین مدل برآورد سطح برگ ارائه شد. نتایج نشان داد که میانگین متغیرهای طول، پهنای و سطح برگ بین گونه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار آماری دارند. همچنین مشخص شد که در گونه‌های بلندمازو، آزاد و شیردار، مدل‌های بدست‌آمده بر مبنای متغیر مستقل ترکیبی (لگاریتم طول + لگاریتم پهنای برگ) و در گونه‌های ممرز، توسکا، نمدار و پلت، مدل‌های بدست‌آمده بر مبنای متغیر مستقل ترکیبی (لگاریتم طول × لگاریتم پهنای برگ) نتایج بهتری را به همراه دارند. در تمام گونه‌ها مدل‌های نمایی و توانی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها انتخاب شدند.

**واژه‌های کلیدی:** سطح‌برگ‌سنج، طول برگ، پهنای برگ، قطعه خزر، مدل رگرسیونی.

## مقدمه

سطح برگ یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی است و از نظر اکوفیزیولوژی متغیر بسیار مهمی محسوب می‌شود که با جذب نور، تبخیر و تعرق، بازده فتوسنتز، پاسخ به بارندگی و رشد و نمو گیاهی در ارتباط است (Blanco & Folegatti, 2005). برآورد صحیح و دقیق سطح برگ گیاهان مدت‌ها به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران علوم گیاهی بوده و فیزیولوژیست‌های گیاهی نیز همواره نیازمند اندازه‌گیری سطح برگ برای مطالعات مربوط به تولید در گیاهان هستند (Sestak et al., 1971; Tieszen, 1982). اکولوژیست‌ها نیز از متغیر سطح برگ برای تعیین وضعیت رقابت بین گونه‌های مختلف استفاده می‌کنند (Harper, 1977).

محاسبه سطح برگ درختان با استفاده از روش‌های مختلفی امکانپذیر است. سطح برگ را می‌توان به سرعت، دقیق و با استفاده از پلانی‌متر قابل حمل اندازه‌گیری نمود (Daughtry, 1990; Demirsoy, 2009). ولی این روش فقط برای گیاهان کوچک با تعداد برگ‌های کم امکان‌پذیر است (Nyakwende et al., 1997). استفاده از دوربین دیجیتال برای تهیه عکس و تجزیه و تحلیل آن به‌کمک نرم‌افزار، روشی دقیق، سریع و مناسب است، اما پردازش آن وقت‌گیر و امکانات آن گران

است. استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter) نیز از جمله روش‌های دیگری است که نیاز به جمع‌آوری برگ و اندازه‌گیری سطح آن در آزمایشگاه دارد. نکته مهم در مورد روش‌های فوق این است که عمدتاً نیاز به جمع‌آوری برگ از تاج درخت داشته و نوعی نمونه‌برداری تخریبی (Destructive sampling) محسوب می‌شوند. علاوه بر این هزینه‌بردار بوده و نیاز به صرف زمان زیادی دارند (Posse et al., 2009). بنابراین استفاده از روش‌های نمونه‌برداری غیرتخریبی (Non-destructive sampling) که آسیب جدی به تاج درختان وارد نمی‌سازند، همواره مدنظر جنگلبانان و اکولوژیست‌ها بوده است. یکی از بهترین، کم‌هزینه‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های محاسبه سطح برگ درختان که امروزه نیز در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، محاسبه مدل‌های رگرسیونی است که در این روش سعی می‌شود با اندازه‌گیری متغیرهای کمی ساده برگ (مانند طول و پهنای برگ) و مدلسازی، برآورد قابل‌قبولی از سطح برگ ارائه نمود (Serdar & Demirsoy, 2006; Cristofori et al., 2007; Olfati et al., 2010). مدل‌سازی سطح برگ از روش‌های غیرتخریبی محسوب شده که فقط نیاز به یکبار جمع‌آوری برگ از درختان دارد. پس از محاسبه این مدل‌ها می‌توان برای سایر درختان گونه

مورد مطالعه و همچنین برای همین گونه در سال‌های آینده بدون اینکه نیاز به جمع‌آوری مجدد برگ از تاج درخت باشد، از این مدل‌ها استفاده نمود.

در راستای دستیابی به هدف فوق، پژوهش پیش‌رو در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران که یکی از مهم‌ترین جنگل‌های شهری تهران است، اجرا شد. در این پژوهش که برای اولین بار در داخل کشور در مورد گونه‌های درختی انجام می‌شود، سعی شد با اندازه‌گیری متغیرهای کمی برگ، مدل‌های ساده‌ای برای محاسبه سطح برگ ۷ گونه درختی شاخص کلکسیون خزر این باغ ارائه شود تا به کمک آنها بتوان در سال‌های آینده سطح برگ درختان مورد مطالعه را با دقت قابل قبول و به روش غیرتخریبی برآورد نمود. اجرای این پژوهش گام اولیه را برای مطالعات آینده که در ارتباط با سطح برگ درختان هستند، فراهم خواهد ساخت.

مدل‌سازی سطح برگ درختان جنگلی در داخل کشور پژوهشی نوپا بوده و سابقه چندانی ندارد، اما چندین تحقیق در مورد سایر شاخص‌های اکولوژیک مانند شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ که با سطح برگ درختان ارتباط دارند، انجام شده که به مهمترین آنها اشاره می‌شود. در تمام مدل‌ها،  $L$  معادل طول برگ (طول رگبرگ میانی)،  $W$  معادل پهنای برگ و  $LA$  معادل سطح برگ می‌باشد.

Ranjbar and Damme (1999) مدل‌های مختلف رگرسیونی را برای برآورد سطح برگ چند زیرگونه پسته با استفاده از اندازه‌گیری طول برگ و پهنای برگ بررسی نمودند و بهترین مدل‌ها را که دارای ضریب تبیینی بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۸ بودند، معرفی کردند. (Karimi et al., 2009)

معادله خطی  $LA = 76,97LW + 35,985$  را برای اندازه‌گیری سطح برگ نهال‌های پسته خوراکی (*Pistachia vera L.*) در شیراز ارائه کردند. خسروی (۱۳۸۹) شاخص سطح برگ، ضریب شکل برگ و سطح ویژه برگ یکی از بلوط‌های بومی جنگل‌های زاگرس شمالی به نام وی‌ول (*Quercus libani Oliv*) را در جنگل‌های شهرستان بانه مورد بررسی قرار داد و شاخص سطح برگ این گونه را ۱/۹۹ برآورد نمود. در پژوهشی دیگر معادله  $LA = 0,845 + 0,860(L \times W) - 0,001(L \times W)^2$  با بیشترین ضریب تبیین و کمترین ضریب تغییرات به‌عنوان بهترین معادله برای برآورد سطح برگ ۴ واریته انگور ایرانی (*Vitis vinifera L.*) شامل واریته‌های عسگری، کشمش، شاهرودی و خلیلی معرفی شد (Eftekhari et al., 2011).

پوره‌اشمی و همکاران (۱۳۹۰) متوسط شاخص سطح برگ و متوسط سطح ویژه برگ داغداغان (*Celtis caucasica Willd.*) را در یکی از قدیمی‌ترین جنگل‌های شهری

بیشترین ضریب تبیین (۰/۹۸۱) به عنوان دقیق ترین مدل ارائه کردند. Cristofori et al., (2008) نیز با اندازه گیری متغیرهای کمی برگ، مدل خطی  $LA = 0,69 + 3,82 \times W$  را برای برآورد سطح برگ درخت خرمالو (*Diospyrus kaki* L.) معرفی کردند.

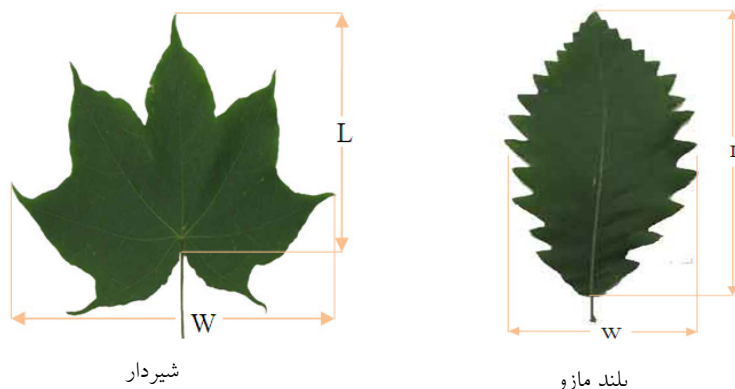
### مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در کلکسیون خزر باغ گیاه شناسی ملی ایران در مورد ۷ گونه درختی شاخص و غالب موجود در مجموعه به نام های بلندمازو (*Q. castaneifolia* C.)، ممرز (*A. Mey* *Carpinus betulus* L.)، توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata* C. A.)، آزاد (*Mey* *Zelkova carpinifolia* (Pall.))، نمدار (*Dipp* *Tilia platyphyllos* Scop.)، پلست (*Acer velutinum* Boiss.) و شیردار (*A. cappadocicum* Gled.) انجام شد. باغ گیاه شناسی ملی ایران با وسعتی حدود ۱۵۰ هکتار در مجاورت پارک جنگلی چیتگر و در موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور واقع شده است (پناهی و همکاران، ۱۳۸۸؛ پناهی و همکاران، ۱۳۹۰) و قطعه خزر با مساحتی حدود ۷ هکتار بزرگترین و مهمترین مجموعه جنگلی باغ می باشد (پناهی و پورهاشمی، ۱۳۹۰). این باغ با دارا بودن گونه های متنوع چوبی و علفی از مهمترین جنگل های شهری تهران بشمار می آید. گونه های مورد مطالعه در پژوهش پیش رو بیش از ۳ دهه قبل به این قطعه

شهرستان سنندج به ترتیب ۳/۷ و ۱۰۳/۵ سانتی متر مربع برگ گرم برآورد کردند. همچنین با استفاده از رگرسیون چندگانه خطی، رابطه آلومتریک  $Y = 0,893X + 1,579$  را با ضریب تبیین ۰/۹۶ برای محاسبه شاخص سطح برگ این گونه با استفاده از متغیر مستقل جذر قطر برابر سینه محاسبه نمودند. از جمله مهمترین پژوهش های خارجی نیز می توان به موارد زیر اشاره نمود. (1991) NeSmith معادله خطی  $LA = 0,62 + 0,31(L \times W)$  را برای برآورد سطح برگ گونه بوت های *Vaccinium ashei* Reade ارائه نمود. Demirsoy & Demirsoy (2003) با اندازه گیری طول و پهنای برگ ۱۲ کولتیوار گیلاس (*Prunus avium* L.) در کشور ترکیه، معادله ای با ضریب تبیین ۰/۹۵۴ را برای برآورد سطح برگ ارائه نمودند که از دقت قابل توجهی برخوردار بود. Serdar & Demirsoy (۲۰۰۶) برای برآورد سطح برگ درخت جنگلی شاه بلوط (*Castanea sativa* Mill.) معادله

$LA = 3,36 + 0,11L^2 - 0,26L^2/W^2 + 1,1W^2$  را محاسبه کردند. Cristofori et al. (۲۰۰۷) مدل خطی  $LA = 2,59 + 0,74LW$  را برای محاسبه سطح برگ درخت فندق (*Corylus avellana* L.) معرفی کردند. Mendoza-de Gyves et al., (2008) برای تعیین سطح برگ از گیل (*Mespilus germanica* L.) در کشور ایتالیا، مدل خطی  $LA = 1,81 + 0,68LW$  را با

منتقل شده و امروزه بیش از ۳۰ سال سن دارند (پناهی و همکاران، ۱۳۸۶). برای اجرای این پژوهش از هر گونه درختی حداقل ۱۰ پایه به‌طور تصادفی انتخاب و برای هر گونه، ۲۰۰ عدد برگ بالغ به‌طور کاملاً تصادفی از قسمت‌های مختلف تاج جمع‌آوری شد. برگ‌ها در کیسه‌های پلاستیکی قرار داده شدند و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه طول (L) و پهنای برگ‌ها (W) با استفاده از خط‌کش میلی‌متری با دقت سانتی‌متر و سطح برگ‌ها (LA) نیز با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج Gate House مدل Echt Aok با دقت ۰/۰۱ سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. در تمام گونه‌ها برای اندازه‌گیری طول برگ، فاصله بین نوک برگ تا قاعده برگ، در امتداد رگبرگ اصلی در نظر گرفته شد (Demirsoy et al., 2004; Serdar & Demirsoy, 2006; Cristofori et al., 2007; Fallovo et al., 2008; Diao et al., 2008; Cristofori et al., 2008). برای تحلیل آماری داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف تست شد. با توجه به اینکه داده‌ها نرمال نبودند، تبدیل لگاریتمی شدند و لگاریتم داده‌ها در محاسبات وارد



شکل ۱- نحوه اندازه‌گیری طول و پهنای برگ‌های بدون لوب (راست) و لوبدار (چپ)

مدل و تبعیت توزیع مقادیر باقیمانده‌ها از توزیع نرمال انجام شد (Williams III & Martinson, 2003). ترسیم نمودارها و همچنین تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS ۱۷ انجام شد.

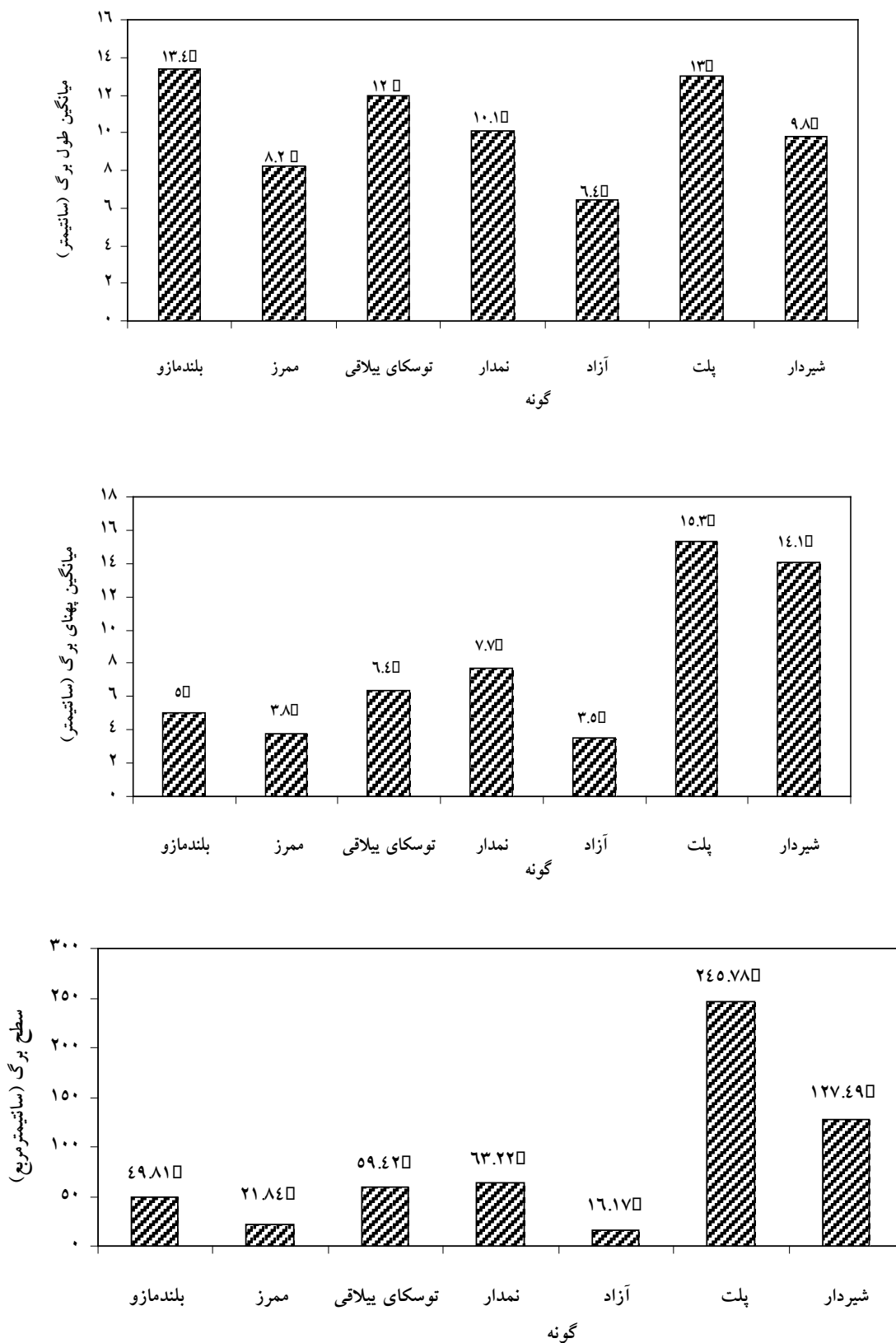
### نتایج

آماره‌های توصیفی متغیرهای طول، پهنا و سطح برگ درختان مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. مقایسه متغیرهای طول، پهنا و سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار متغیرهای فوق در سطح آزمون (۰/۰۰۱ درصد خطا) بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن نیز نشان داد که از نظر متغیر طول برگ، فقط دو گونه نمودار و شیردار در یک گروه قرار گرفته و مابقی گونه‌ها در گروه‌های مجزا دسته‌بندی شده‌اند. از نظر دو متغیر پهنا و سطح برگ نیز هر یک از گونه‌ها در یک گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۲).

شدند. معنی‌دار بودن اختلاف متغیرهای طول، پهنا و سطح برگ بین گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از تجزیه واریانس یکطرفه Anova و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از روش مقایسات چندگانه دانکن انجام شد. برای محاسبه بهترین مدل رگرسیونی جهت برآورد سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه، متغیرهای مستقل طول برگ، پهنا و ترکیب آنها ( $L+W$  و  $L \times W$ ) مورد استفاده قرار گرفتند (NeSmith, 1991; Demirsoy et al., 2004; Serdar & Demirsoy, 2006; Mendoza-de Gyves et al., 2006, 2008; Tsiatas et al., 2008; Diao et al., 2009) و به کمک متغیرهای اندازه‌گیری شده، معادلات رگرسیونی براساس حداقل مربعات برازش داده شد. اعتبارسنجی مدل‌ها نیز با استفاده از شاخص‌های ضریب تبیین، انحراف معیار مدل برازش‌یافته، تحلیل واریانس رگرسیون، آزمون  $t$  ضریب‌های

جدول ۱: آماره‌های توصیفی متغیرهای طول، پهنا و سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه

گونه	طول برگ (سانتیمتر)			پهنای برگ (سانتیمتر)			سطح برگ (سانتیمترمربع)		
	کمینه	بیشینه	(انحراف معیار) میانگین	کمینه	بیشینه	(انحراف معیار) میانگین	کمینه	بیشینه	(انحراف معیار) میانگین
بلندمازو	۱۰	۱۸/۷	۱۳/۴ (۱/۵)	۲/۷	۷	۵ (۰/۸)	۲۶/۵۴	۹۷/۷۳	۴۹/۸۱ (۱۱/۴)
ممرز	۴/۱	۱۳/۲	۸/۲ (۱/۱)	۲/۸	۸/۲	۳/۸ (۰/۶)	۱۲/۴۲	۴۶/۷۱	۲۱/۸۴ (۵/۲)
توسکای بیلاقی	۸/۲	۲۲/۲	۱۲ (۲/۶)	۴/۱	۱۵/۹	۶/۴ (۱/۴)	۳۰/۴۲	۱۵۴/۳۱	۵۹/۴۲ (۲۳/۵)
نمدار	۶/۱	۱۳/۴	۱۰/۱ (۱/۳)	۵	۱۰	۷/۷ (۱)	۳۱/۹۹	۱۰۰/۶	۶۳/۲۲ (۱۳/۹۶)
آزاد	۴/۶	۸/۴	۶/۴ (۰/۷)	۲	۵	۳/۵ (۰/۶)	۸/۱۵	۳۱/۶۹	۱۶/۱۷ (۴/۱۶)
پلت	۹/۱	۱۸	۱۳ (۱/۶)	۱۰/۱	۲۲/۵	۱۵/۳ (۲/۱)	۷۶/۳۴	۲۴۵/۷۸	۱۳۱/۶۹ (۳۲/۲۴)
شیردار	۷	۱۶/۲	۹/۸ (۱/۵)	۹/۴	۱۹/۸	۱۴/۱ (۲/۲)	۳۹/۲۵	۱۲۷/۴۹	۷۹/۶۱ (۲۰/۸۲)



شکل ۲: مقایسه میانگین متغیرهای کمی برگ گونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش دانکن (حروف انگلیسی غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد)



گونه‌ها بجز بلندمازو، مناسبترین مدل برای برآورد سطح برگ، مدل رگرسیونی توانی بود و در گونه بلندمازو مدل نمایی بهترین مدل تشخیص داده شد. ضریب تبیین مدل‌های انتخاب شده نیز از ۰/۶۶ برای گونه نمودار تا ۰/۹۷ برای گونه توسکای بیلاقی متغیر بود. تجزیه واریانس مدل و آزمون t برای ضریب‌های کلیه مدل‌های محاسبه شده نیز در سطح ۰/۰۰۱ خطا معنی دار بود (جدول ۲). ابر نقاط و منحنی برازش داده شده برای برآورد سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه نیز در شکل ۳ ارائه شده است.

## مدل‌های رگرسیونی برآورد سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه

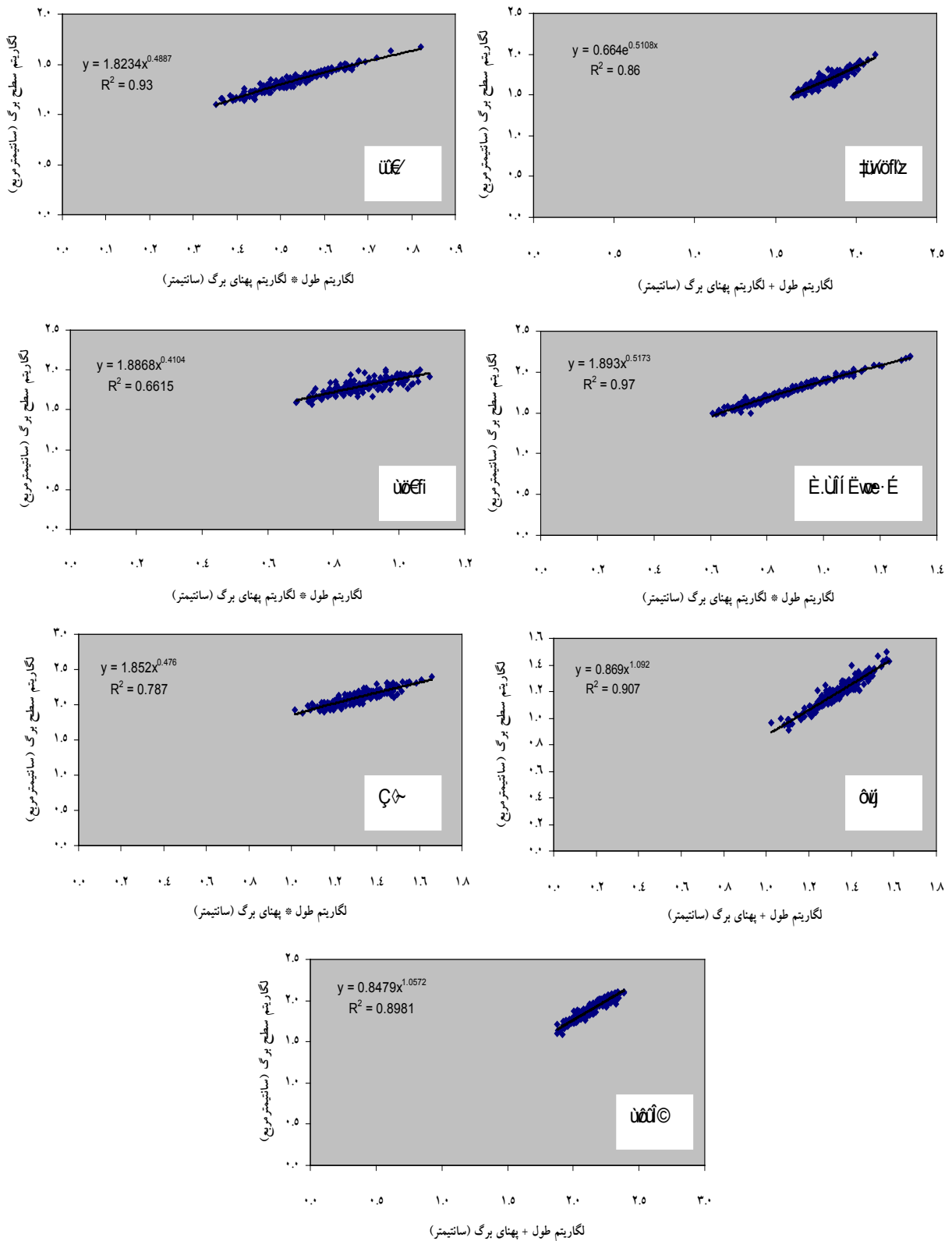
پس از برازش مدل‌های مختلف و همچنین تحلیل نتایج بدست آمده مشخص شد که در گونه‌های بلندمازو، آزاد و شیردار از بین متغیرهای مورد بررسی، متغیر ترکیبی (لگاریتم طول + لگاریتم پهنای برگ) مناسبترین متغیر برای پیش‌بینی سطح برگ بود. در مورد گونه‌های ممرز، توسکای بیلاقی، نمودار و پلت نیز متغیر ترکیبی (لگاریتم طول × لگاریتم پهنای برگ) برای برآورد سطح برگ بهترین نتایج را به همراه داشت. علاوه بر این در تمام

جدول ۲: نتیجه تحلیل رگرسیون برای تعیین مدل برآورد سطح برگ در گونه‌های مورد مطالعه

سطح معنی‌داری ضریب‌ها	معادله		انحراف معیار مدل	سطح معنی‌داری	F	ضریب تبیین تطبیق یافته	نوع مدل	متغیر مستقل	گونه
	$b_1$	$b_0$							
***	***	$Y = 0.664 e^{0.511 X}$	۰/۰۲۰	***	۱۱۷۴/۳۲	۰/۸۵۷	نمایی	لگاریتم طول برگ + لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	بلندمازو
***	***	$Y = 0.848 X^{1.057}$	۰/۰۲۰	***	۱۷۰۱/۰۸	۰/۸۹۸	توانی	لگاریتم طول برگ + لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	شیردار
***	***	$Y = 0.869 X^{1.092}$	۰/۰۲۹	***	۱۹۲۸/۵۵	۰/۹۰۷	توانی	لگاریتم طول برگ + لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	آزاد
***	***	$Y = 1.823 X^{0.489}$	۰/۰۲۰	***	۲۳۸۲/۷۶	۰/۹۳	توانی	لگاریتم طول برگ × لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	ممرز
***	***	$Y = 1.893 X^{0.517}$	۰/۰۱۵	***	۶۰۷۵/۳۵	۰/۹۷۱	توانی	لگاریتم طول برگ × لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	توسکای بیلاقی
***	***	$Y = 1.887 X^{0.41}$	۰/۰۳۰	***	۳۴۹/۷۹	۰/۶۶۲	توانی	لگاریتم طول برگ × لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	نمودار
***	***	$Y = 1.852 X^{0.476}$	۰/۰۲۲	***	۷۲۰/۱۳	۰/۷۸۵	توانی	لگاریتم طول برگ × لگاریتم پهنای برگ (سانتیمتر)	پلت

توضیحات: Y: سطح برگ (سانتی‌متر مربع)، X: متغیر مستقل، F: آماره تحلیل واریانس،  $b_0$ : عدد ثابت،  $b_1$ :

ضریب متغیر X، \*\*\* معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ خطا



شکل ۳: ابر نقاط و منحنی برازش داده شده برای برآورد سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد مدل‌سازی سطح برگ ۷ گونه درختی در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران انجام شود که نتایج آن می‌تواند در موضوعات مرتبط مورد استفاده قرار گیرد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که استقرار معادلات رگرسیونی ساده برای برآورد سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه به کمک متغیرهای کمی طول و پهنای برگ و یا متغیرهای ترکیبی طول و پهنای برگ بسهولت و خوبی امکان‌پذیر می‌باشد. هرچند در تعداد کمی از پژوهش‌های انجام شده با موضوع مشابه این تحقیق، از رگرسیون چندگانه برای برآورد سطح برگ استفاده شده است (به عنوان مثال Demirsoy & Demirsoy, 2003; Demirsoy et al., 2004). اما اغلب پژوهشگران تأکید نموده‌اند که ارائه مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره بر دشواری‌ها و پیچیدگی‌های مدل افزوده و مشکلاتی را به همراه دارند. بنابراین سعی می‌شود تا حد امکان مدل‌های برآورد سطح برگ به صورت ساده و یک‌متغیره تعریف شوند.

در این پژوهش نیز با هدف محاسبه مدل‌های ساده، به بررسی روابط رگرسیونی مختلف شامل مدل‌های خطی، توانی، نمایی و سهمی پرداخته شد که نتایج به دست آمده بیانگر این است که

در تمام گونه‌های مورد نظر این مدل‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. نکته مهم در مورد مدل‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش این است که در بین انواع مدل‌های برازش داده شده، بیشترین ضریب تبیین و کمترین انحراف معیار، مربوط به مدل‌های توانی و نمایی بود. بنابراین در تمام گونه‌ها معادلات رگرسیونی توانی و نمایی برای برآورد متغیر وابسته سطح برگ با استفاده از متغیرهای کمی برگ انتخاب شدند. در برخی پژوهش‌های خارجی نیز معادلات رگرسیونی توانی یا نمایی برای برآورد سطح برگ ارائه شده‌اند. به عنوان مثال در کشور ترکیه مدل  $Y = -0.63 - 1.353L$  با ضریب تبیین  $0.983$  برای آووکادو ارائه شد (Uzun & Çelik, 1999). در آمریکا نیز برای کولتیوار Niagara درخت مو، مدل توانی  $LA = 0.637W^{1.995}$  با ضریب تبیین  $0.982$  و برای هیبرید DeChaunac همین گونه، مدل توانی  $LA = 0.672W^{1.963}$  با ضریب تبیین  $0.963$  معرفی شد (Williams III & Martinson, 2003). ذکر این نکته ضروریست که در پژوهش پیش‌رو دقت مدل‌های خطی که ساده‌تر از مدل‌های توانی و نمایی می‌باشند، نیز قابل توجه بود، منتهی چون هدف این

متغیر ترکیبی لگاریتم طول  $\times$  لگاریتم پهنای برگ به ترتیب با ضریب تبیین‌های ۰/۹۳، ۰/۹۷، ۰/۶۶ و ۰/۷۹، بهترین مدل‌ها بودند. با توجه به نتایج پژوهش پیش‌رو و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از سایر مطالعات انجام‌شده با موضوع مشابه (NeSmith, 1991; Ranjbar and Damme, 1999; Montero et al., 2000; Fallovo et al., 2008; Cristofori et al., 2008; Tsiatas et al., 2008, Karimi et al., 2009) می‌شود که در مدل‌سازی‌های برآورد سطح برگ، متغیرهای ترکیبی معمولاً نتایج بهتری را ارائه می‌دهند. مدل‌های مبتنی بر متغیرهای ترکیبی طول و پهنای برگ از ضریب تبیین بیشتر و انحراف معیار کمتری برخوردارند.

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که با اندازه‌گیری ساده تعدادی برگ می‌توان مدل‌های رگرسیونی مناسبی را برای برآورد سطح برگ محاسبه نمود. تعیین مدل‌های فوق این امکان را فراهم می‌سازد که در سال‌های آینده بدون نیاز به جمع‌آوری برگ (نمونه‌برداری تخریبی) بتوان به کمک این مدل‌ها، سطح برگ درختان مورد مطالعه را برآورد نمود. محاسبه سطح برگ گونه‌های مورد مطالعه نیز امکان انجام سایر پژوهش‌هایی را که نوعی با سطح برگ در ارتباطند (مانند شاخص سطح برگ، فتوسنتز، تبخیر و تعرق) فراهم خواهد ساخت.

پژوهش ارائه بهترین مدل بود، بنابراین در نهایت مدل‌های توانی و نمایی انتخاب شدند. استفاده از مدل‌های خطی برای برآورد سطح برگ نیز مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است و در اغلب مطالعات انجام‌شده در این زمینه سعی شده است که مدل‌های رگرسیونی ارائه شده خطی باشند. مثلاً مدل خطی  $LA = 0.28 - 0.82(LL \times LW)$  با ضریب تبیین ۰/۹۸۵ ارائه شد (Mendoza-de Gyves et al., 2006). همچنین برای برآورد سطح برگ ۱۲ ژنوتیپ خرما، مدل خطی  $LA = 3.82 + 0.69L \times W$  با ضریب تبیین ۰/۹۸ معرفی شد (Cristofori et al., 2008). نکته مهم دیگر در مورد مدل‌های محاسبه‌شده اینست که در تمام گونه‌ها متغیرهای ترکیبی طول و پهنای برگ که به دو شکل لگاریتم طول + لگاریتم پهنای برگ و لگاریتم طول  $\times$  لگاریتم پهنای برگ تعریف شده بودند، نتایج بهتری به همراه داشتند و با دقت بیشتری متغیر وابسته (سطح برگ) را پیش‌بینی می‌کردند. بنابراین در مدل‌های ارائه‌شده، متغیر مستقل، ترکیبی می‌باشد، به طوری که در گونه‌های بلندمازو، آزاد و شیردار، مدل‌های بدست‌آمده برمبنای متغیر ترکیبی لگاریتم طول + لگاریتم پهنای برگ به ترتیب با ضریب تبیین‌های ۰/۸۶، ۰/۹۱ و ۰/۹ و در گونه‌های ممرز، توسکا، نمدار و پلت، مدل‌های بدست‌آمده برمبنای

## سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور که امکانات و اعتبارات این پژوهش را تأمین نمودند، قدردانی بعمل می آید. همچنین در برداشتهای زمینی و فعالیتهای آزمایشگاهی این پژوهش خانمها مهندس حسنی نژاد و مهندس پالیزدار و همچنین تعدادی از پرسنل باغ گیاهشناسی ملی ایران مشارکت داشتند که بدین وسیله از آنها سپاسگزاری می شود.

## منابع

- پناهی، پ. و پورهاشمی، م. (۱۳۹۰). تغییرات رویش گونه توسکای بیلاقی (*Alnus subcordata*) طی سه دهه در قطعه خزر باغ گیاهشناسی ملی ایران. نشریه جنگل و فرآوردههای چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، ۶۴(۱): ۱-۱۴.
- پناهی، پ.، پورهاشمی، م. و حسنی نژاد، م. (۱۳۹۰). برآورد زیتوده و ذخیره کربن برگ گونه بنه در باغ گیاهشناسی ملی ایران. مجله جنگل ایران، ۳(۱): ۱-۱۲.
- پناهی، پ.، جمزاد، ز. و پورهاشمی، م. (۱۳۸۸). بررسی امکان تولید بذر گونههای بلوط جنگلهای زاگرس و ویژگیهای کیفی آنها در قطعه زاگرس باغ گیاهشناسی ملی ایران. نشریه جنگل و فرآوردههای چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، ۶۲(۱): ۴۵-۵۸.
- پناهی، پ.، جمزاد، ز.، پورهاشمی، م.، حسنی نژاد، م. و احسانی، م. (۱۳۸۶). بررسی کمی و کیفی قطعه خزر باغ گیاهشناسی ملی ایران در راستای مدیریت بهینه آن. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۷۸ صفحه.
- پورهاشمی، م.، اسکندری، س.، دهقانی، م.، نجفی، ت.، اسدی، ا. و پناهی، پ. (۱۳۹۰). زی توده و شاخص سطح برگ داغداغان در جنگل شهری تایلند سنندج. فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۲): ۶۰۹-۶۲۰.
- خسروی، ش. (۱۳۸۹). توان تولید و زیست توده برگ و شاخه ویول (*Q. libani*) در جنگلهای زاگرس شمالی. پایان نامه کارشناسی ارشد جنگلداری. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۶۹ صفحه.

Blanco F.F. and Folegatti, M.V. (2005) Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Agricultural Engineering* 62(4): 305-309.

Cristofori, V., Fallovo, C., Mendoza-de Gyves, E., Rivera, C.M., Bignami, C. and Roupheal, Y. (2008) Non-destructive, analogue model for leaf area estima-

- tionin in Persimmon (*Diospyros kaki* L.f.) based on leaf length and width measurement. *European Journal of Horticulture Science* 73(5): 216-221.
- Cristofori, V., Roupael, Y., Mendoza-de Gyves, E. and Bignami, C. (2007) A simple model for estimating leaf area of hazelnut from linear measurements. *Scientia Horticulturae* 113: 221-225.
- Daughtry, C. (1990) Direct measurements of canopy structure. *Remote Sensing Reviews* 5: 45-60.
- Demirsoy, H. and Demirsoy, L. (2003) A validated leaf area prediction model for some cherry cultivars in Turkey, *Pakistan Journal of Botany* 35(3): 361-367.
- Demirsoy, H., Demirsoy, L., Uzun, S. and Ersoy, B. (2004) Non-destructive leaf area estimation in Peach. *European Journal of Horticulture Sciences* 69(4):144-146.
- Demirsoy, H. (2009) Leaf area estimation in some species of fruit tree by using models as a non-destructive method. *Fruits Journal* 64(1): 45-51.
- Diao, J., Lei, X., Hong, L. and Rong, J. (2009) Estimating single leaf area of Eucalyptus (*Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla*) using leaf length and width. *Plant Growth Modeling and Applications* 53-57.
- Eftekhari, M., Kamkar, B. and Alizadeh, M. (2011) Prediction of leaf area in some Iranian table grape (*Vitis vinifera* L.) cuttings by a non-destructive and simple method. *Science Research Reporter* 1(3):115-121.
- Falovo, C., Cristofori, V., Mendoza de-Gyves, E., Mario Rivera, C., Rea, R. and Fanasca, S. (2008) Leaf area estimation model for small fruits from linear measurements. *Hortscience* 43 (7): 2263–2267.
- Harper, J.L. (1977) *Population biology of plants*. Academic Press, Oxford, UK.
- Karimi, S., Tavallali, V., Rahemi, M., Rostami, A.A. and Vaezpour, M. (2009) Estimation of leaf growth on the basis of measurements of leaf lengths and widths, choosing Pistachio seedlings as model. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 3(2): 1070-1075.
- Mendoza-de Gyves, E., Cristofori, V., Falovo, C., Roupael, Y. and Bignami, C. (2008) Accurate and rapid technique for leaf area measurement in medlar (*Mespilus germanica* L.). *Advances in Horticultural Science* 22(3): 223-226.

- Mendoza-de Gyves, E., Roupael, Y., Cristofori, V. and Mira, F.R. (2006) A non-destructive, simple and accurate model for estimating the individual leaf area of kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Fruits* 62: 171-176.
- Montero, F.J., de Juan, J.A., Cuesta, A. and Brasa, A. (2000) Nondestructive methods to estimate leaf area in *Vitis vinifera* L. *Horticulture Science* 35(4):696-698.
- NeSmith, D.S. (1991) Nondestructive leaf area estimation of Rabbiteye Blueberries. *Hortscience* 26(10), pp.1332.
- Nyakwende, E., Paull, C.J. and Atherton, J.G. (1997) Non-destructive determination of leaf area in Tomato plants using image processing. *Journal of Horticultural Sciences* 72: 225-262.
- Olfati, J.A., Peyvast, Gh., Shabani, H.A. and Nosratie-Rad, Z. (2010) An estimation of individual leaf area in Cabbage and Broccoli using non-destructive methods. *Journal of Agricultural Sciences Technology* 12: 627-632
- Posse, R.P., de Sousa, E.F., Bernardo, S., Pereira, M.G. and Gottardo, R.D. (2009) Total Leaf area of Papaya trees estimated by a nondestructive method. *Scientia Agricola* 66(4): 462-466.
- Ranjbar, A. and Van Damme, P. (1999) Estimation of leaf area by non-destructive methods in three Iranian pistachio species (*Pistacia mutica* subsp. *cabulica*, *Pistacia khinjuk* subsp. *oblonga* and *Pistacia khinjuk* subsp. *populifolia*). *Mededelingen, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent Belgium*. 64(2): 49-56.
- Serdar, U. and Demirsoy, H. (2006) Non-destructive leaf area estimation in chestnut. *Scientia Horticulturae* 108: 227-230.
- Sestak, Z., Catsky, J. and Jarvis, P.G. (1971) Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. *Plant Photosynthetic Production, Manual of Methods*, pp. 517-555.
- Tieszen, L. L. (1982) Biomass accumulation and primary production in techniques in bio-productivity and photosynthesis. Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 16-19.
- Tsialtas J.T., Koundouras, S. and Zioziou, E. (2008) Leaf area estimation by sim-

- ple measurements and evaluation of leaf area prediction models in Cabernet-Sauvignon grapevine leaves. *Photosynthetica* 46(3): 452-456.
- Uzun, S. and Çelik, H. (1999) Leaf area prediction models for different horticultural plants. *Tropical Journal and Agricultural Forest* 23: 645-650.
- Williams III, L. and Martinson, T.E. (2003) Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia Horticulturae* 98: 493-498.