نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد ششم، شماره دوم، ۱۳۹۶
http://ejang.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejang.2019.11010.1309

مزایا و معایب روش‌های اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ در بوم‌سازگان‌های جنگلی

هاشم حبشی*
استادیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۵/٤/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٦/۱۱/۱

چکیده

سابقه و هدف: شاخص‌سطح‌برگ معادل سطح رویی برگ است که نشان‌دهنده سطح فتوسنتزکننده برگ است. تخمین سریع و قابل‌اعتماد شاخص‌سطح‌برگ برای مطالعات بوم‌شناختی موردنیاز است زیرا شاخص‌سطح‌برگ اغلب یک پارامتر مهم در مدل‌هایی است که واکنش رستنی‌ها و به‌خصوص درختان را به تغییرات محیطی در مقیاس جهانی و محلی نشان می‌دهد. روش‌های متعددی برای تعیین شاخص‌سطح‌برگ وجود دارد حال آن‌که در ایران از روش‌های معدودی استفاده شده است؛ بنابراین هدف از مقاله معرفی روش‌های گوناگون اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ، بیان توانمندی‌ها و محدودیت‌های هر روش می‌باشد تا پژوهشگران بتوانند متناسب با امکانات و شرایط پژوهش یکی از آن‌ها را انتخاب کنند.

مواد و روش‌ها: در این مقاله روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ معرفی می‌شوند. روش‌های مستقیم در توده‌های همگن استفاده می‌شوند بنابراین مناسب جنگل‌کاری‌ها هستند. در این روش‌ها دو گام شامل جمع‌آوری برگ و سپس اندازه‌گیری سطح آن‌ها وجود دارد. در روش‌های غیرمستقیم مساحت برگ با استفاده از متغیرهای دیگری مانند وضعیت هندسی تاج، میزان ربایش نوری، طول و عرض برگ تخمین زده می‌شود. این روش‌ها می‌توانند برای نمونه‌هایی در محدوده‌های جغرافیایی وسیع به‌کار گرفته شوند.

یافته‌ها: دامنه شاخص‌سطح‌برگ در ایران بین ۱/٦ تا ۷/۷ برای گونه‌ها و توده‌های مختلف جنگلی به‌دست آمده است. شاخص‌سطح‌برگ از روش مستقیم در توده بلوط ایرانی ۱/٦، در توده راش شرق هیرکانی ۷/۵، توده راش ممرز ۷/۵ تا ۷/۷، توده بلندمازو افرا ۵/۹٦ و توده بلندمازو آزاد ۳/٦۳، در گونه اوری ۳/۳۳ و برای گونه اقاقیا ۳/۷۸ به‌دست آمده است. شاخص‌سطح‌برگ از روش غیرمستقیم برای گونه داغداغان ۳/۷ و برای گونه‌های باغی مانند سیب، آلو، گلابی و گیلاس بین ۱ تا ۵ به‌دست آمده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به جدید بودن نسبی مطالعات مرتبط با شاخص‌سطح‌برگ در ایران نیاز به محاسبه و مقایسه شاخص‌سطح‌برگ در بوم‌سازگان‌های مختلف توسط روش‌ها و ابزارهای مختلف احساس می‌شود. برای تعیین

* مسئول مکاتبه: habashi@gau.ac.ir

شاخص‌سطح‌برگ در جنگل‌های ایران استفاده از روش مستقیم دام لاشریزه و روش غیرمستقیم عکس‌های نیمکره توصیه می‌شود. در صورت تعیین روابط آلومتریک با اجزای چوبی درختان (جزو روش‌های غیرمستقیم تماسی) تعیین شاخص‌سطح‌برگ در جنگل‌ها به سرعت و با دقت قابل‌قبول امکان‌پذیر است. پیشنهاد می‌گردد با استفاده از روش‌های معرفی‌شده در این مقاله پژوهشگران تخمین و اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ را متناسب با شرایط پژوهش خود انجام دهند.

واژه‌های کلیدی: تله لاشریزه، روش توزین، شاخص‌سطح‌برگ، عکس نیمکره

مقدمه

شاخص‌سطح‌برگ LAI (Leaf Area Index) نشان‌دهنده مواد موجود برگ در یک بوم‌سازگان است که میزان تولید خالص (١٥)، فتوسنتز، تنفس (١٧)، تبخیروتعرق (١٩)، ربایش تاجی و دیگر فرایندهای بوم‌شناختی مرتبط بین رستنی‌ها و اقلیم را به مقدار زیادی کنترل می‌کند. اخیراً شاخص‌سطح‌برگ به‌عنوان یک متغیر کلیدی در مدل‌هایی که عکس‌العمل رستنی‌ها را در برابر تغییرات محیطی نشان می‌دهند به‌کار گرفته شده است و به‌ویژه شاخص‌سطح‌برگ در چرخه کربن، نیتروژن و موازنه آب استفاده شده است (٢٢ و ٣٦). رابطه هذلولی معکوسی بین شاخص‌سطح‌برگ و ربایش نوری وجود دارد و رابطه خطی با نرخ تولید اولیه دارد. این رابطه خطی به‌شرح زیر است:

$$P=P_{max}(1-e^{-c\,LAI}) \qquad (1)$$

که در آن، P_{max} نشان‌دهنده حداکثر تولید اولیه و c ضریب رویش ویژه است.

طبق پژوهش‌های انجام‌شده شاخص‌سطح‌برگ هم‌چنین برای مدل‌سازی جریان آب (١١ و ٣٩) و انرژی و حتی گازهای گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (٣٦). در مورد شاخص‌سطح‌برگ و تغییرات آن در دهه اخیر مقالات زیادی منتشر شده است که این موضوع به‌دلیل وجود روش‌های گوناگون تعیین شاخص‌سطح‌برگ از یک‌سو و امکان‌پذیر شدن محاسبه و تخمین شاخص‌سطح‌برگ در سطوح وسیع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، از سوی دیگر می‌باشد. در ایران اما اغلب از روش‌های محدودی برای تعیین شاخص‌سطح‌برگ استفاده می‌شود که این موضوع شاید به‌دلیل عدم شناخت کافی پژوهشگران از وجود روش‌های گوناگون باشد؛ بنابراین هدف از این مقاله معرفی روش‌های اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ، بیان مزایا و معایب هر کدام است تا پژوهشگران جوان بتوانند متناسب با امکانات و اهداف پژوهش خود یکی از آن‌ها را برگزینند.

مواد و روش‌ها

تعاریف و واحدها: شاخص‌سطح‌برگ اولین بار در سال ١٩٧٤ تعریف شد و در این تعریف کل مجموع سطح بافت فتوسنتزکننده برگ که معادل سطح رویی برگ هست در واحد سطح زمین محاسبه شد (٤٩). بعد از ارائه تعاریف متعدد دیگر پژوهشگران زیادی مانند چن و بلک، ١٩٩٢؛ فاسناخت و همکاران، ١٩٩٤؛ چن، ١٩٩٦؛ ژونخر و همکاران، ٢٠٠٤ شاخص‌سطح‌برگ را به‌عنوان نصف کل سطح‌برگ در واحد سطح زمین تعریف نمودند که این تعریف در

مورد پهن‌برگان صدق می‌کند و برای سوزنی‌برگان که برگ‌های سوزنی آن‌ها سیلندری یا نیمه‌سیلندری هستند اغلب مشکل می‌باشد (۱۳، ۱٤، ۲۱ و ۲۵). سه تعریف دیگر موجود است: الف: نیمی از مجموع سطح سوزن‌ها در واحد سطح زمینی که آن‌ها را می‌پوشاند. ب: تصویر نمودن (یک‌طرف) سطح سوزن‌ها به سطح زمینی که آن‌ها را می‌پوشاند. ج: کل سطح سوزن‌ها به سطح زمین. چن و بلک (۱۹۹۲) ثابت نمودند که تعاریف دیگر موجب به وجود آمدن تخمین‌های متفاوت معنی‌داری می‌شوند (۱٤).

شاخص‌سطح‌برگ واحد ندارد یا می‌توان آن را بر حسب مترمربع در مترمربع بیان نمود. شاخص‌سطح‌برگ وابسته به نوع و ترکیب گونه‌ای، مرحله تحولی یا توالی و فصل تغییر می‌کند و از سوی دیگر بسته به شرایط غالب رویشگاه و عملیات مدیریتی میزان شاخص‌سطح‌برگ نیز تغییر خواهد نمود. شاخص‌سطح‌برگ بین صفر (در زمین لخت) تا ٤۰ (در جنگل‌های سوزنی‌برگ متراکم) تغییر می‌کند و برای مثال برای جنگل‌های بلوط *Quercus petraea* شاخص‌سطح‌برگ به‌میزان ۰/٤ (۲۸) و برای جنگل‌های دوگلاس *Pseudotsuga menziesii* مقدار ۱٤ به‌دست آمده است (٤٦). به‌هرحال حداکثر ٦ تا ۸ برای جنگل‌های پهن‌برگ، ۲ تا ٤ برای محصولات زراعی یک‌ساله معرفی‌شده است (۷). شاخص‌سطح‌برگ در بیش‌تر بیوم‌ها در دامنه بین ۳ تا ۱۹ (به‌جز بیوم توندرا و بیابان) گزارش شده است (٤٤). بیشینه یافت شده شاخص‌سطح‌برگ ٤۱/۸ در جنگل‌های بورال سوزنی‌برگان گزارش شده است (۳۵). میانگین و انحراف معیار شاخص‌سطح‌برگ در جنگل‌های بورال ۲/۳۷±۳/۸۵، جنگل‌های همیشه‌سبز معتدله ۲/۳۲±۵/٤، جنگل‌های آمیخته معتدله ۲/۸۸±۵/۲٦، جنگل‌های سوزنی‌برگ معتدله ۵/۸۵±٦/۹۱، جنگل‌های پهن‌برگ معتدله ۱/۹٦±۵/۳، جنگل‌کاری‌های معتدله ٤/۵۱±۹/۱۹، جنگل‌های بارانی همیشه‌سبز حاره‌ای ۲/٦۱±۵/۲۳، جنگل‌های پهن‌برگ حاره‌ای ۳/۰۸±٤/٦۷. جنگل‌کاری‌های حاره‌ای ٤/۳۱±۹/۹۱ است (۳).

روش‌های اندازه‌گیری در عرصه‌های جنگلی و استانداردهای آن: روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ تعریف و ایجاد شده‌اند. این روش‌ها توسط پژوهشگران مختلف انجام شده‌اند به‌طور مبسوطی شرح داده شده‌اند.

روش‌های مستقیم که روش‌هایی دقیق هستند اما اغلب اجرای آن‌ها بسیار سخت و زمان‌بر است و بنابراین به‌صورت محدودی مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این روش‌ها فرض اولیه آن است که توده‌ها همگن هستند و بنابراین در سطوح وسیع کارایی مناسبی ندارند در حالی‌که برای توده‌های مصنوعی و جنگل‌کاری‌ها مناسب هستند. در توده‌های همسال که دارای توزیع نرمال هستند نمونه‌برداری از ۳ تا ۵ درخت کافی است (٤۳). در این روش‌ها دو گام شامل جمع‌آوری برگ و سپس اندازه‌گیری سطح آن‌ها وجود دارد. جمع‌آوری برگ از دو روش استحصال و بدون استحصال ممکن است. در روش‌های با استحصال برگ نمونه‌گیری مخرب موردنیاز است. برگ‌های سبز در یک قطعه نمونه از شاخه جدا و جمع‌آوری می‌شوند. در یکی از روش‌ها به‌نام روش مدل درختی، نمونه‌گیری مخرب از بخش کوچکی از درختانی که داخل توده نیستند انجام می‌شود و سپس مساحت برگ‌های جمع‌آوری‌شده توسط شاخص‌سطح‌برگ‌سنج اندازه‌گیری می‌شود یا توسط اسکنرهای معمولی ابتدا تصویر برگ اسکن می‌شود و سپس توسط نرم‌افزارهای تحلیل‌گر تصویر مساحت محاسبه می‌شود. در روش‌های بدون استحصال برگ لاشبرگ‌ها طی فصل خزان برگ با استفاده از دام لاشبرگ (جعبه‌های در باز) جمع‌آوری

می‌شود که به‌صورت تصادفی (٣٠) یا در یک شبکه منظم (١٨) یا روی یک ترانسکت (٦) در داخل توده پخش می‌شوند. به‌هرحال چنان‌چه تعداد دام‌های لاشریزه مناسب باشند و در یک شبکه مناسب زمانی و مکانی داخل توده پخش شوند، برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ در جنگل‌های پهن‌برگ معتدله مناسب هستند (٣٤). به‌نظر می‌رسد که اجماع عمومی در مورد طراحی دام لاشبرگ وجود ندارد (٢٥). در دام‌های لاشریزه فرض بر آن است که برگ‌های جمع‌آوری‌شده مربوط به‌کل توده است. این دام‌ها می‌توانند به‌طور کامل برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ استفاده شوند اما اولاً روش دقیقی برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ و معرفی آن در یک لحظه مشخص از زمان در طی فصل رویش نیستند (٣٤) و ثانیاً اقلیم می‌تواند بر روی داده‌های دام لاشریزه اثر گذارد (٢٥ و ٢٧). برای درختانی مانند صنوبر که برگ‌ها طی فصل رویش تغییر می‌کند، روش دام لاشریزه مناسب نیست و شاخص‌سطح‌برگ را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. در این روش چون فرض بر این است که برگ‌های موجود در دام لاشریزه همانند دیگر برگ‌های باقی‌مانده است برای جلوگیری از ایجاد خطا نیاز به تعداد زیادی دام لاشریزه است (١٠). عدل (٢٠٠٧) از این روش برای تعیین شاخص‌سطح‌برگ بر حسب وزن خشک برگ استفاده نمود و شاخص‌سطح‌برگ را در توده بلوط ایرانی جنگل‌های یاسوج ١/٦ به‌دست آورد (٢). نقاش‌زرگران (٢٠٠٢) در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود شاخص‌سطح‌برگ را ٧ در توده راش آمیخته از طریق روش مستقیم تله لاشریزه به‌دست آورد و به‌وسیله تخمین از روش وزن‌سنجی آن‌ها ٧/٥ تعیین نمود (٣٣). بابایی کفایی و همکاران (٢٠٠٩) به روش مستقیم تله لاشریزه برای گونه اوری شاخص‌سطح‌برگ را ٣/٣٣ به‌دست آورد (٤). خادمی و همکاران (٢٠١٢) شاخص‌سطح‌برگ را برای گونه اقاقیا در جنگل‌کاری به روش مستقیم تله لاشریزه ٣/٧٨ به‌دست آورد (٢٦). روحی‌مقدم (٢٠١٥) از طریق مستقیم وزن‌سنجی مقدار شاخص‌سطح‌برگ را برای ٥ توده جنگل‌کاری شده در چمستان نور اندازه‌گیری نمود و مقدار بیشینه ٥/٩٦ را برای توده آمیخته بلندمازو- افرا و مقدار کمینه ٣/٦٣ را برای توده آمیخته بلندمازو- آزاد معرفی نمود (٤٢). رحمانی و همکاران (٢٠١٤) از طریق دستگاه سطح برگ‌سنج در توده راش- ممرز شاخص‌سطح‌برگ را ٧/٥ و با لوله برش ٧/٧ به‌دست آورد (٤١). مساحت برگ می‌تواند با استفاده از روش‌های پلانیمتری یا وزن‌سنجی تخمین زده شوند (١٦). روش پلانیمتری بر اساس همبستگی بین مساحت برگ و سطوح واحدی که برگ یک سطح افقی را پوشانده است، طراحی شده است (٢٥). برای انجام آن ابتدا برگ در یک سطح صاف سفت یا ثابت می‌شود، سپس محیط برگ توسط یک پلانیمتر اندازه‌گیری می‌شود و سپس مساحت آن محاسبه می‌شود. پلانیمترهای متعددی برای این منظور مناسب هستند (برای مثال مدل Li-3000, Licor, Nebraska که از روش الکترونیکی تخمین چهارگوش کار می‌کند یا مدل ٣١٠٠ که از منبع نوری فلورسنت و یک دوربین اسکن‌کننده استفاده می‌کند). نوع دوم پلانیمترها سامانه‌های تحلیل‌کننده سطح با کمک یک دوربین فیلم‌برداری هستند. این نوع شامل یک دوربین فیلم‌برداری، یک دیجیتایزر، یک نمایشگر و یک رایانه مجهز به نرم‌افزار تحلیل داده‌ها می‌باشد؛ مانند مدل Decagon Ag Vision System که قادر است اندازه، مساحت، شکل و تعداد برگ را محاسبه کند. روش وزن‌سنجی بر اساس همبستگی بین وزن خشک برگ‌ها و سطح‌برگ محاسبه می‌شوند که لازم است وزن برگ در یک سطح مشخص تعیین شود (از یک زیرنمونه استفاده می‌شود و مقدار تعیین‌شده LMA وزن خشک

برگ در واحد سطح نامیده می‌شود نام دیگر آن شاخص‌سطح‌برگ ویژه Area Specific Leaf (SLA) است که بر حسب سانتی‌مترمربع بر گرم بیان می‌شود). یک‌بار که LMA تعیین شد، کل نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از جنگل در آون (در دمای ٦٠ تا ٨٠ درجه برای مدت ٤٨ ساعت یا ٧٥ تا ١٠٥ درجه برای مدتی که وزن ثابت شود و دیگر تغییر نکند) خشک می‌شوند و بر اساس رابطه وزن خشک و LMA زیر نمونه مقدار شاخص‌سطح‌برگ محاسبه می‌شود (٢٥). تغییرات LMA به‌عنوان منبع عدم قطعیت محسوب می‌شود و مقدار LMA به‌طور معنی‌داری با توجه به سن شاخه، وضعیت نوری که برگ دریافت کرده است و ارتفاع تاج تغییر می‌کند. پناهی و همکاران (٢٠١٣) سطح‌برگ ویژه سه گونه بلوط بومی زاگرس شامل برودار، مازودار و ویول را در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران تعیین نمودند. برای گونه برودار سطح‌برگ ویژه برگ‌ها (نوری، سایه‌ای، مسن و جوان) بین ٦٠/٧٥ تا ٨٦/٣٩، گونه مازودار بین ٩٩/٤ تا ١٣٤/٣٧ و برای گونه ویول بین ٩٩/٨٧ تا ١٥٠/٣ سانتی‌مترمربع بر گرم بود و شاخص‌سطح‌برگ آن‌ها به‌ترتیب ٣/٢، ٥/١٦ و ٤/٥٤ بود (٣٧). قابل‌ذکر است که این گونه‌ها در توده‌های طبیعی رشد نیافته و بنابراین مقدار شاخص‌سطح‌برگ در شرایط باغ گیاه‌شناسی این مقادیر می‌باشد.

در روش‌های غیرمستقیم مساحت برگ با استفاده از مشاهدات متغیرهای دیگری تخمین زده می‌شود. مهم‌ترین متغیرهایی که در این روش مورداستفاده قرار می‌گیرند شامل وضعیت هندسی تاج، میزان ربایش نوری، طول و عرض برگ هستند (٨). این روش‌ها معمولاً سریع‌تر و دارای قابلیت ماشینی شدن (اتوماسیون) هستند و بنابراین می‌توانند برای نمونه‌هایی در محدوده‌های جغرافیایی وسیع‌تر به‌کار گرفته شوند بنابراین این روش‌ها اهمیت بیش‌تری پیدا کرده‌اند (٢٥). این روش‌ها به دو دسته غیرمستقیم تماسی و غیرمستقیم بدون تماس طبقه‌بندی می‌شوند. از جمله روش‌های غیرمستقیم تماسی، روش قطعات نمونه نقطه‌ای متمایل یا خطوط عمودی است که توسط ویلسون، ١٩٦٠ و ١٩٦٣ بسط داده شده‌اند (٥٤ و ٥٥). این روش بر اساس سوراخ کردن تاج درخت توسط یک سوزن نازک طولانی در یک ارتفاع مشخص است (برای مثال زاویه بین سوزن و صفحه افقی که به‌صورت عمودی تصویر کرده است). سپس آزیموت (زاویه سوزن‌ها از شمال موقعی که به‌صورت افقی تصویر می‌شوند) و تعداد این تماس‌ها در تاج پوشش رستنی‌هایی که دارای سوزن‌های نازک و طویل هستند در یک زاویه مشخص شمارش می‌شوند. تعیین شاخص‌سطح‌برگ رستنی‌ها توسط میانگین‌های به‌دست آمده از این روش نسبت به معادلات ساده‌ای که بر اساس مدل‌های نفوذ تابش هستند برتری دارد. موقعی که این روش برای تاج درختان به‌کار گرفته می‌شود زاویه ارتفاعی â ٣٢/٥ درجه برتری دارد. در این زاویه ارتفاعی با فرض آن‌که تاج دارای تقارن باشد، ضریب K که آزیموت تصادفی یک تاج است اغلب برابر ٠/٩ در نظر گرفته می‌شود. شاخص‌سطح‌برگ بر اساس رابطه زیر تخمین زده می‌شود (٢٩):

$$LAI = 1.1 \times N(32.5) \qquad (٢)$$

شاخص‌سطح‌برگ موقعی که سوزن‌ها به‌صورت مداوم در تاج رستنی‌ها در زوایای ارتفاعی مختلف می‌افتند بهتر تخمین زده می‌شود؛ بنابراین رابطه عمومی‌تری هم وجود دارد.

$$N_i = LAI \times K_i \qquad (٣)$$

که در آن، N_i تعداد تماس سوزن‌هایی است با ارتفاع i رستنی می‌افتند و K_i ضریب خمودگی با ارتفاع i

می‌باشد. عنصر اساسی این رابطه توانایی ارزیابی تعداد تماس‌های بین سوزن و تاج رستنی بدون اختلال بعدی است. در این رابطه به‌دلیل آن‌که فرض توزیع تصادفی برگ موردنیاز نیست و به‌دلیل خصوصیات غیرمخرب آن جذابیت دارد. بونهوم و همکاران (١٩٧٤) این روش را برای اندازه‌گیری اجزای روشنه به‌کار بردند و رابطه مناسبی بین شاخص‌سطح‌برگ تخمین زده شده و مقدار واقعی آن در توده‌های جوان به‌دست آوردند (٩). مشکل اساسی و عیب مهم این روش نیازمند بودن آن به تعداد زیاد الحاق (به‌طور معمول حداقل ١٠٠٠ مورد) به‌منظور به‌دست آوردن رابطه‌ای قابل‌اعتماد است در نتیجه نیاز به کار عرصه‌ای زیادی هست و بنابراین برای تاج پوشش‌هایی که بیش‌تر از ١/٥ متر ارتفاع دارند مناسب نیست (٢٥). برای غلبه بر این مشکل تصحیحاتی پیشنهاد شده است؛ برای مثال استفاده از اشعه لیزر به‌جای سوزن در قطعات نمونه (٢٧) یکی از این پیشنهادها است. یکی دیگر از روش‌های غیرمستقیم تماسی روش آلومتریک است که به‌ویژه برای جنگل استفاده می‌شود. این روش بر اساس روابط بین مساحت برگ و دیگر اجزای چوبی گیاه که زی‌توده سبز برگ هستند مانند قطر ساقه، بخش‌هایی از پوست، ارتفاع شروع تاج (ارتفاع تنه) یا ارتفاع درخت می‌باشد. روابط معمولاً برای هر گونه در یک رویشگاه تعریف می‌شود که در هر فصل، میزان حاصلخیزی متفاوت رویشگاه (مواد مغذی و میزان آب در دسترس خاک)، اقلیم خاص و ساختار تاج پوشش می‌تواند متفاوت باشد (٢٥). روابط آلومتریک بین مساحت برگ و رویه زمینی برون‌چوب فعال و زنده نیز پیشنهاد شده است. تبدیل برون‌چوب به مساحت برگ بر اساس تئوری لوله است که در آن ساقه و شاخه‌ها به‌عنوان لوله‌ای در نظر گرفته می‌شوند که دارای مقدار مشخصی برگ است. ضریب همبستگی بسیار بالایی بین برون‌چوب و مساحت برگ یافت شده است (٢٣ و ٤٥) و همچنین بین رویه زمینی ساقه و مساحت برگ (٥) و بین قطر برابر سینه درختان و مساحت برگ (٢٨) در توده‌های مشابه روابط آلومتریک مناسبی یافت شده است. وایتهد و همکاران (١٩٨٤) رابطه‌ای خطی بین مساحت برگ و مساحت برون‌چوب تولیدی و نفوذپذیری ارائه کردند که این فرضیه را که رابطه بین مساحت برگ و نفوذپذیری وجود دارد بر اساس آن است (٥٢). آن‌ها دریافتند که مساحت برون‌چوب نفوذپذیری و تولید این دو متغیر کاهش می‌یابد با عمق بین تاج درختان. البته فرضیه نفوذپذیری و اجزای برون‌چوب با ارتفاع برای درختان بزرگ رد می‌شود و در این حالت تخمین شاخص‌سطح‌برگ بر اساس این مؤلفه‌ها موجب تخمین بیش‌تر از مقدار واقعی می‌گردد. به‌هرحال استفاده از این روابط با توجه به آن‌که تحت‌تأثیر فصل، حاصلخیزی رویشگاه، میزان مواد مغذی و آب در دسترس، اقلیم محلی و ساختار تاج (مانند تراکم توده، اندازه درخت و نحوه مدیریت توده) هستند باید با دقت انجام شود (٢٨). نکته دیگر این است که اولاً برای برخی درختان تشخیص درون‌چوب و برون‌چوب مشکل است و دوم آن‌که در نواحی حفاظت‌شده و گونه‌های ممنوع‌القطع نمی‌توان از این روابط استفاده نمود. پرتونگاری رایانه‌ای برای تشخیص برون‌چوب ممکن است استفاده شود اما در حال حاضر هنوز نمی‌توان در عرصه آن را انجام داد. استفاده از مته سال‌سنج نیز به‌دلیل آن‌که ممکن است برون‌چوب و درون‌چوب کاملاً دایره نباشند غیردقیق است و دیگر آن‌که نفوذپذیری چوب معمولاً اندازه‌گیری نمی‌شود (٢٧). پورهاشمی و همکاران ٢٠١٢ بر اساس روابط آلومتریک شاخص‌سطح‌برگ و قطر برابر سینه

مقدار شاخص‌سطح‌برگ را برای گونه داغداغان ۳/۷ به‌دست آوردند (٤٠). روش‌های غیرمستقیم بدون تماس با درخت عمدتاً بر اساس اندازه‌گیری میزان نوری که از درون تاج پوشش می‌گذرد و به کمک ابزارهایی که در بیش‌تر از ۲۰ سال گذشته توسعه یافته‌اند؛ مانند حس‌گرهای خطی کوانتومی یا رادیومتر (۳۸)، لیزرهای نقطه‌ای چهارگوش (۵۵) و حس‌گرهای خازنی (٤٧) می‌باشد. این روش‌ها بر اساس قانون بیر- لمبرت طراحی‌شده‌اند که مجموع مقدار اشعه جذب‌شده در لایه تاج وابسته به میزان تابش، ساختار تاج و خصوصیات اپتیکی است (۳۱). این روش‌ها به دو گروه بر اساس توزیع اجزای روشنه (توزیع اندازه حفره) تقسیم می‌شوند. ابزارها داده‌هایی فراهم می‌کنند که نشان می‌دهد توزیع شاخص‌سطح‌برگ در یک موقعیت مکانی نقطه‌ای، در طول یک خط یا در یک سطح مشخص (عکس‌های نیمکره) چگونه است. این روش برای توده‌های سوزنی‌برگ (۳۸) و پهن‌برگ (۱۲) استفاده شده و نسبت به معادلات آلومتریک دقیق‌تر است (٤٥). به‌هرحال در صورت ابری بودن آسمان این روش نیز نیاز به تصحیح دارد زیرا بر مبنای نورسنجی عمل می‌کند و از طرف دیگر بسته به وضعیت زاویه برگ، شکل برگ و خوشه‌ای بودن برگ‌ها باید تصحیحاتی برای آن اعمال نمود (٤٨). در تحلیل اجزای روشنه، ابزارهای موجود فن تحلیل تصاویر یا اندازه‌گیری میزان نور متفاوت بالا و زیر تاج می‌باشد. بیشینه شاخص‌سطح‌برگ اندازه‌گیری‌شده برای این رسانه‌های تحلیل اجزای روشنه معمولاً نسبت به روش‌های مستقیم کم‌تر هستند و حداکثری که برای شاخص‌سطح‌برگ تعیین می‌شود در حدود ٦-۵ خواهد بود (۲۳). در تحلیل اندازه روشنه، ابزارهای موجود ابعاد سطح روشنه را به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند. فرایندهای تحلیل و اندازه‌گیری معینی برای تبدیل اندازه‌گیری‌ها به شاخص‌سطح‌برگ موردنیاز است. عکس‌های نیم‌کره یکی از این روش‌هاست که در آن از عدسی‌های چشم ماهی استفاده می‌شود و عکسی از زیر تاج درختان گرفته می‌شود. عباسی (۲۰۱٤) در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد شاخص‌سطح‌برگ گونه بلوط را به دو روش مستقیم و با استفاده از عدسی چشم ماهی در توده ویول- مازودار تعیین نمود و نتیجه گرفت که شاخص‌سطح‌برگ تخمین زده‌شده با عدسی چشم ماهی کم‌تر از مقدار واقعی است (۱). روش‌های غیرمستقیم غیرتماسی میزان فعالیت فتوسنتزی بافت برگ را از دیگر عناصر گیاه هم‌چون ساقه، شاخه‌ها یا گل‌ها تشخیص نمی‌دهند و بنابراین نیاز به اصلاحاتی (تصحیح‌هایی) دارند (۵۳). دیگر عامل ایجاد اریبی در نتایج خوشه‌ای‌بودن سوزن‌ها در گونه‌های سوزنی‌برگ است که باعث می‌شود شاخص‌سطح‌برگ کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شود (تا ۲۵ درصد) (٢٤) و بنابراین تصحیحاتی برای از بین بردن این مشکل نیز ارائه شده است (۵۰). بر اساس تحلیل خطا چن (۱۹۹٦) بیان کرده که در توده‌های سوزنی‌برگ روش‌های اپتیکی اگر با تحلیل خوشه‌ای همراه شوند می‌توانند شاخص‌سطح‌برگ را نسبت به روش‌های مستقیم دقیق‌تر تخمین بزنند (۱۳). به‌دلیل عدم تمایز بافت فعال فتوسنتزکننده برگ و دیگر اجزای گیاه هم‌چون ساقه، شاخه یا گل واژه‌های دیگری به‌جای شاخص‌سطح‌برگ مانند شاخص سطح رستنی‌ها (۲۱) Vegetation Area Index (VAI)؛ شاخص سطح گیاه Plant Area Index (PAI) (٣٤) و شاخص سطح شاخ و برگ Foliage Area Index (FAI) (۵۱) پیشنهاد شده است. چن و بلک (۱۹۹۲) استفاده از واژه شاخص‌سطح‌برگ مؤثر effective LAI (Le) را برای شاخص‌سطح‌برگ که به‌وسیله روش‌های

اپتیکی تخمین زده شده‌اند؛ پیشنهاد کردند که به‌نظر بهترین و مناسب‌ترین واژه می‌رسد (١٤). آخرین مرحله در تفسیر تحلیل اجزای روشنه بر اساس رابطه بین اجزای روشنه و هندسه تاج است که نشان می‌دهد بر اساس معماری تاج، نفوذ اشعه نور به داخل تاج چگونه است. فرمول‌ها و مدل‌های ریاضی توسط ولس و نورمن (١٩٩١) تعریف شده‌اند که در زیر می‌آید (٥١):

$$T(v,a)= P_s/(P_s+P_{ns}) \qquad (٤)$$

که در آن، $T(v,a)$ اجزای روشنه برای یک ناحیه با زاویه اوج v و زاویه آزیموت A هستند. Ps تعداد پیکسل‌ها آسمان در ناحیه (V,A) و P_{ns} تعداد پیکسل‌های رستنی‌های در ناحیه (V,A) است. در پی ارائه نتایجی که از اندازه‌گیری مختلف به‌دست آمده است، ژونخر و همکاران (٢٠٠٤) خواصی را که برای داشتن یک رسانه ایده‌آل برای تعیین و اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ موردنیاز است، تعیین نمودند (٢٥). دوربین‌های عکسبرداری نیم‌کره اگر قدرت تفکیک مکانی بالا و دینامیک وسیعی از قدرت دیدن خوب ثبت شده و باندهای NIR در دسترس داشته باشند، بیش‌ترین پتانسیل را در این مورد دارند. آن‌ها همچنین آزمون‌های زیادی انجام دادند و پروتکل استانداردشده برای عکاسی دیجیتال نیم‌کره تعریف نمودند. به‌طور خلاصه روش‌های مختلفی برای تعیین شاخص‌سطح‌برگ در عرصه اجرا شده است. روش‌های انفرادی ضعف‌ها و مزایای خاصی دارند و بنابراین در بعضی موارد نسبت به روش‌های دیگر بیش‌تر اجرایی هستند. گرچه وفاق عمومی برای مفید و اجرایی‌بودن روش‌های گوناگون وجود دارد؛ استاندارد مشخصی تعریف یا پذیرش نشده است. به‌هرحال راهنمای معمولی موجود است که پژوهشگران در برنامه‌های تحقیقاتی وسیعی در کشورهای مختلف از آن استفاده می‌کنند.

استانداردها و روش‌های اندازه‌گیری ماهواره‌ای: تخمین شاخص‌سطح‌برگ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای جزو روش‌های غیرمستقیم است که بر اساس رابطه شاخص‌سطح‌برگ و مشخصات انعکاس اشعه از تاج پوشش اندازه‌گیری‌شده توسط حس‌گر ماهواره‌ها هستند. حین آن‌که نور رابطه متقابلی درون تاج دارد؛ داده‌های ماهواره‌ای تحت‌تأثیر اختلالات اتمسفری، میزان دقت و مشخصات نوع حس‌گر و فرایند دریافت سیگنال‌ها قرار دارند. رهیافت‌های مختلفی برای تبدیل داده‌های ماهواره‌ای به شکل یک نقشه ارائه شده است. در حالی‌که استانداردی از روش یا محصولاتی که به داده می‌رسند وجود ندارد، پیشرفت‌هایی در این مسیر (به‌خصوص در تبدیل اعتبارسنجی و مقایسات روش‌های مختلف) به وجود آمده است. فرید حسینی و همکاران (٢٠١٢) از رابطه NDVI و شاخص‌سطح‌برگ درختان سیب، آلو، گلابی و گیلاس استفاده نمود و با ضریب همبستگی ٠/٥٣ و مقدار خطای باقی‌مانده ٠/٦٧ توانست شاخص‌سطح‌برگ را تخمین بزند (٢٠). در این مطالعه شاخص‌سطح‌برگ بین ١ تا ٥ تغییر می‌نمود. موریست و همکاران (٢٠٠٦) فنونی که در کشورهای مختلف برای تخمین شاخص‌سطح‌برگ با استفاده از اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای استفاده شده است را مرور نموده‌اند (٣٢). آن‌ها همچنین عناصر موردنیاز برای اعتبارسنجی محصولات بین‌المللی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای را تعریف کرده‌اند که شامل: تأسیس یک نهاد سازمانی، تمایل شرکت‌کنندگان به‌منظور بهبود سازگاری بین روش‌ها و نتایج و مکانیسمی برای مشارکت گذاشتن داده‌ها همراه با توصیف فرایندهای مورداستفاده و سنتز داده‌ها و نتایج که برای به‌دست

آمدن دقتی در سطح جهان موردنیاز است. زیرگروه اعتبارسنجی در گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی CEOS کار می‌کند.

نتایج و بحث

به‌واسطه تغییرات مکانی و زمانی در تاج‌پوشش توده‌های جنگلی، روش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای روش‌های کم‌هزینه برای تخمین شاخص‌سطح‌برگ در مقیاس جهانی یا چشم‌انداز هستند. از سوی دیگر با توجه به تغییرات ویژگی‌های بوم‌سازگان، مشخصه‌های غیرمستقیم تخمین شاخص‌سطح‌برگ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تنوع اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌های ماهواره‌ای، شاخص‌سطح‌برگ تولیدشده از عناصر موردنیاز برای یک استراتژی دارای ثبات و کیفیت جهانی در تولید شاخص‌سطح‌برگ است. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ در عرصه‌های جنگلی ارائه‌شده و مورداستفاده قرار گرفته است. روش‌های موجود مستندسازی شده‌اند و روش‌های جدید نیز کماکان توسعه داده می‌شوند (به‌خصوص ابزارها). به‌هرحال روش‌های اندازه‌گیری مستقیم اغلب زمان‌بر، پرهزینه و مخرب هستند به‌ویژه اگر سطح مطالعه یا پژوهش بزرگ باشد. در حالی‌که استانداردهای مشخصی برای روش‌های اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ تعریف نشده‌اند، راهنمای نمونه‌گیری، اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها موجود است. روش‌های جدید یا تصحیحاتی که در روش‌های موجود انجام می‌شود بر اساس برنامه‌های پژوهشی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. تخمین شاخص‌سطح‌برگ به کمک داده‌های ماهواره‌ای باید به‌صورت سامانمند ادامه یابد که شامل اندازه‌گیری‌های طولانی‌مدت شاخص‌سطح‌برگ در رویشگاه‌هایی است که دارای تاج پوشش رستنی‌های متنوعی در نقاط مختلف قاره زمین (با توجه خاص به نواحی حاره که در آن روش‌های مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای به‌واسطه ابرهای آسمان دارای مانع بوده و مشکل جدی محسوب می‌شود) هستند. به وجود آمدن اجماع در راهنماهایی که برای اندازه‌گیری شاخص‌سطح‌برگ موجود است با تأکید بر استفاده از عکس‌های نیم‌کره مورد توصیه است.

رهیافت‌های ترویجی

شاخص‌سطح‌برگ یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در اکولوژی گیاهی است که نشان‌دهنده توان تولید رویشگاه است و همچنین واکنش بوم‌سازگان را به تغییرات محیطی نشان می‌دهد. بنابراین مدیران و کارشناسان در صورت آشنایی با این شاخص و توانمندی‌های آن از آن برای طبقه‌بندی رویشگاه استفاده خواهند کرد. پس از اجرای طرح‌های جامع جنگلداری، پاسخ و واکنش توده‌های جنگلی به عملیات اجرایی با بررسی تغییرات سطح‌برگ توده‌های جنگلی ممکن است. مدیران و کارشناسان ادارات کل منابع طبیعی و کارشناسان ناظر طرح‌های جنگلداری می‌توانند به راحتی و با استفاده از ابزاری مانند دوربین‌های مجهز به عدسی چشم ماهی در مدت‌زمان کوتاهی میزان اثرگذاری نحوه اجرای نشانه‌گذاری بر توده‌های مختلف جنگلی را ارزیابی نمایند. در صورت هم‌زمانی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارزیابی‌ها در سطوح وسیع جغرافیایی نیز ممکن خواهد بود؛ بنابراین مهم‌ترین رهیافت ترویجی این مقاله ضرورت آشنا بودن همه کارشناسان و متخصصین منابع طبیعی با این شاخص می‌باشد.

منابع

1. Abbasi, L. 2014. Determination of leaf area index (LAI) in mixed Oak stand (*Quercus libani-infectoria*) in different age in Baneh forest. Kordestan University, M.Sc. thesis. 123p. (In Persian)
2. Adl, H.R. 2007. Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. Iran. J. For. Pop. Res. 15: 4. 417-426. (In Persian)
3. Asner, G.P., Scurlock, J.M.O., and Hicke, J.A. 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. Global Ecol Biogeography, 12: 191-205.
4. Babaei Kafaki, S., Khademi, A., and Mataji, A. 2009. Relationship between leaf area index and phisiographical and edaphical condition in a *Quercus macranthera* stand (Case study: Andebil's forest, Khalkhal). Iran. J. For. Pop. Res. 17: 2. 280-289. (In Persian)
5. Bartelink, H. 1997. Allometric relationships for biomass and leaf area of Beech (*Fagus Sylvatica* L). Ann. Sci. For. 54: 39-50.
6. Battaglia, M., Cherry, M.L., Beadle, C.L., Sands, P.J., and Hingston, A. 1998. Prediction of leaf area index in Eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. Tree Physiology, 18: 8-9. 521-528.
7. Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. In: D.O. Hall et al. (eds.), Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. Chapman and Hall, London, Pp: 36-46.
8. Blanco, F.F., and Folegatti, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. Horticultura Brasileira, 21: 4. 666-669. doi:10.1590/S0102-05362003000400019.
9. Bonhomme, R., Varlet Granger, C., and Chartier, P. 1974. The use of photographs for determining the leaf area index of young crops. Photosynthetica, 8: 299-301.
10. Breda, N. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. J. Exp. Bot. 54: 2403-2417.
11. Cayrol, P., Chehbouni, A., Kergoat, L., Dedieu, G., Mordelet, P., and Nouvellon, Y. 2000. Grassland modeling and monitoring with Spot vegetation instrument during the 1999 SALSA Experiment. Agric. For. Meteorol. 105: 1-3. 91-15.
12. Chason, J.W., Baldocchi, D.D., and Huston, M.A. 1991. Comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf-area. Agric. For. Meteorol. 57: 107-128.
13. Chen, J.M. 1996. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. Agric. For. Meteorol. 80: 135-163.
14. Chen, J.M., and Black, T.A. 1992. Defining leaf area index for non-flat leaves. Agric. For. Meteorol. 57: 1-12.
15. Coyea, M.R., and Margolis, H.A. 1994. The historical reconstruction of growth efficiency and its relationship to tree mortality in balsam fir ecosystems affected by spruce bud worm. Can. J. For. Res. 24: 2208-2221.
16. Daughtry, C.S.T. 1990. Direct measurements of canopy structure. Remote Sensing Reviews, 5: 45-60.
17. Davidson, E.A., Savage, K., Bolstad, P., Clark, D.A., Curtis, P.S., and Ellsworth, D.S. 2002. Below ground carbon allocation in forests estimated from litter fall and IRGA-based soil respiration measurements. Agric. For. Meteorol. 113: 39-54.
18. Dufrêne, E., and Bréda, N. 1995. Estimation of deciduous forest leaf-area index using direct and indirect methods. Oecologia, 104: 156-162.
19. Fan, L., Gao, Y., Brocks, H., and Bernhofer, C. 2009. Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. Theoretical Applied Climatology, 95: 151-156.
20. Farid Hosseini, A., Astaraii, A., Sanaiinejad, S.H., and Mirhosseini Moosavi, P. 2012. Estimation of LAI by using satellite data in Neishabour city. J. Farmland Iran Res. 10: 3 577-582. (In Persian)

21.Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Norman, J.M., and McMurtrie, R.E. 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. Agric. For. Meteorol. 71: 183-207.
22.GCOS. 2004. Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC. Report GCOS-92 (WMO/TD No. 1219). 136p.
23.Gower, S.T., and Norman, J.M. 1991. Rapid estimation of leaf-area index in conifer and broad-leaf plantations. Ecology, 72: 1896-1900.
24.Hu, R., Yan, G., Mu, X., and Luo, J. 2014. Indirect measurement of leaf area index on the basis of path length distribution, Remote Sensing of Environment, 155: 239-247.
25.Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muysa, B., Coppin, P., Weiss, M., and Baret, F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agric. For. Meteorol. 121: 19-35.
26.Khademi, A., Kord, B., and Pourabbasi, S. 2012. Estimation of LAI of *Robinia pseudoacacia* and its relationship with physiographic conditions, soil properties and increment (Case study: Bam Malayer forest). J. Sci. Technol. Natur. Resour. 6: 1. 41-50. (In Persian)
27.Law, B.E., Cescatti, A., and Baldocchi, D.D. 2001. Leaf area distribution and radiative transfer in open canopy forest: implications for mass and energy exchange. Tree Physiol. 21: 777-787.
28.Le Dantec, V., Dufrene, E., and Saugier, B. 2000. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. For. Ecol. Manage. 134: 71-81.
29.Lemeur, R. 1973. A method for simulating the direct solar radiation regime in Sunflower, Jerusalem artichoke, Corn and Soybean canopies. Agric. For. Meteorol. 12: 229-247.
30.McShane, M.C., Carlile, D.W., and Hinds, W.T. 1993. The effect of collector size on forest litter-fall collection and analysis. Can. J. For. Res. 13: 1037-1042.
31.Monsi, M., and Saeki, T. 1953. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. Jpn. J. Bot. 14: 22-52.
32.Morisette, J.T., Baret, F., Privette, J.L., Myneni, R.B., Nickeson, J.E., Garrigues, S., Shabanov, N.V., Weiss, M., Fernandes, R.A., Leblanc, S.G., Kalacska, M., Sánchez-Azofeifa, G.A., Chubey, M., Rivard, B., Stenberg, P., Rautiainen, M., Voipio, P., Manninen, T., Pilant, A.N., Lewis, T.E., Iiames, J.S., Colombo, R., Meroni, M., Busetto, L., Cohen, W.B., Turner, D.P., Warner, E.D., Petersen, G.W., Seufert, G., and Cook, R. 2006. Validation of global moderate-resolution LAI products: A framework proposed within the CEOS land product validation subgroup. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44: 1804-1817.
33.Naghash Zargaran, M. 2002. Investigation of biomass, LAI and its relation with some stand and soil characteristics in permanent plot Caspian Sea. M.Sc. Thesis. Gorgan University of agricultural sciences and natural resources. 156p. (In Persian)
34.Neumann, H.H., Den Hartog, G.D., and Shaw, R.H. 1989. Leaf-Area measurements mased on hemispheric photographs and leaf-Litter collection in a deciduous forest during autumn leaf-fall. Agric. For. Meteorol. 45: 325-345.
35.Ni, J., Zhang, X.S., and Scurlock, J.M.O. 2001. Synthesis and analysis of biomass and net primary productivity in Chinese forests, Ann. For. Sci. 58: 351-384.
36.Nouvellon, Y., Rambal, S., Lo Seen, D., Moran, M.S., Lomme, J.P., Bégué, A., Chehbouni, A.G., and Kerr, Y. 2000. Modeling of daily fluxes of water and carbon from short grass steppes. Agric. For. Meteorol. 100: 2-3. 137-153.
37.Panahi, P., Pourhashemi, M., and Hasaninejad, M. 2013. Comparison of specific leaf area in three native Oaks of Zagros in national botanical garden of Iran. Iranian Forests Ecology, 1: 2. 12-26. (In Persian)

38. Pierce, L.L., and Running, S.W. 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. Ecology, 69: 1762-1767.
39. Plummer, S., Olivier, A., Fierens, F., Chen, J.M., Dedieu, G., Muriel, S., Cramer, W., Hilippe, C., Quegan, S., Schultz, S., and Holzemann, J. 2004. The Glob Carbon Initiative: Multi-sensor estimation of global biophysical products for global terrestrial carbon studies. In: ENVISAT-ERS Symposium Proceedings, Salzburg, Austria, Pp: 6-10.
40. Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A., and Panahi, P. 2012. Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (*Celtis caucasica* Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. Iran. J. For. Pop. Res. 19: 4. 609-620. (In Persian)
41. Rahmani, R., Ghorbani, S., and Naghash Zargaran, M. 2014. Measurement and modeling litter biomass and leaf area index using allometry in a Beech-Hornbeam stand in the mid-elevation of the Hyrcanian region, Iran. Iran. J. For. Pop. Res. 22: 4. 687-701. (In Persian)
42. Rouhi Moghaddam, E. 2015. Investigation of the relationship between LAI and soil carbon sequestration in pure and mixed planted stands of Oak (Case study: the lowland forests of Chamestan) Iranian natural ecosystems, 5: 4. 11-22. (In Persian)
43. Schauvliege, M. 1995. C-accumulation in old stands of the Aelmoeseneie forest. Master Thesis, Universiteit Gent, Faculteit van de landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, 99p.
44. Schulze, E.D. 1982. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. IN Encyclopedia of Plant Physiology, New Seies, Vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin, Pp: 615-676.
45. Smith, F.W., Sampson, D.A., and Long, J.N. 1991. Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception. For. Sci. 37: 1682-1688.
46. Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E., and Garman, S.L. 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. Forest Ecol. Manage. 126: 61-76.
47. Vickery, P.J., Bennett, I.L., and Nicol, G.R. 1980. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. Grass and Forage Sci. 35: 247-252.
48. Vose, J.M., Sullivan, N.H., Clinton, B.D., and Bolstad, P.V. 1995. Vertical leaf area distribution, light transmittance and application of the Beer-Lambert law in four mature hardwood stands in the southern Appalachian. Can J. For. Res. 25: 1036-1043.
49. Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Annals of Botany, 11: 41-76.
50. Weiss M., Baret, F., Smith, G.J., Jonckheere, I., and Coppin, P. 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination. Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. Agric. For. Meteorol. 121: 37-53.
51. Welles, J.M., and Norman, J.M. 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. Agr. J. 83: 818-825.
52. Whitehead, D., Edwards, W.R.N., and Jarvis, P.G. 1984. Conducting sapwood area, foliage area and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. Can. J. For. Res. 14: 940-947.
53. Wilhelm, W.W., Ruwe, K., and Schlemmer, M.R. 2000. Comparisons of three leaf area index meters in a corn canopy. Crop Science, 40: 1179-1183.
54. Wilson, J.W. 1960. Inclined point quadrats. New Phytol. 59: 1-8. 39.
55. Wilson, J.W. 1963. Estimation of foliage denseness and foliage angle by inclined point quadrats, Aust. J. Bot. 11: 95-105.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 6 (2), 2017
http://ejang.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejang.2019.11010.1309

Advantages and disadvantages of leaf area index (LAI) measuring methods in forest ecosystems

***H. Habashi**
Assistant Prof., Faculty of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, I.R. Iran
Received: 07.10.2016; Accepted: 01.21.2018

Abstract
Background and Objectives: Leaf Area Index (LAI) is equal to top leaf surface that demonstrate photosynthetic leaf area. Fast and reliable estimation of LAI is needed for ecological studies because LAI is often an important parameter in models that show the response of vegetation, especially trees, to environmental changes in global and local scale. There are several methods for determining LAI while few methods have been used in Iran. So the goal of this article was to introduce a variety of ways for measuring LAI and to show capabilities and limitations of each method, in order to enable investigators to choose one of them based on facilities and fieldwork conditions.

Materials and Methods: In this paper, direct and indirect methods for measuring LAI were introduced. Direct methods are convenient for homogenous stands therefore are suitable for plantations. Two steps of these methods are collecting leaves and then measuring their areas. In indirect methods LAI is estimated using other variables such as geometric crown status, the level of light absorption, leaf length and width. These methods can be used in wide geographic regions.

Results: LAI have been determined for different forest species and stand types in Iran in the range of 1.6-7.7. LAI obtained using direct methods about 1.6 in Persian oak stand, 7.5 in eastern Hyrcanian beech stand, 7.5-7.7 in beech hornbeam stand, 5.96 in chestnut-leaved oak maple stand, 3.63 in chestnut-leaved oak Caucasian elm stand, 3.3 in Caucasian oak species and 3.78 in black locust species. LAI obtained using indirect methods about 3.7 in hackberry species and between 1-5 for garden tree species such as apples, plums, pears and cherry.

Conclusion: As the novelty of LAI studies in Iran, it is necessary to calculate LAI in different ecosystems using different methods and tools. To determine the LAI in forests of Iran, litter trap among direct methods and hemispherical photographsamong indirect methods are recommended. If trees allometric equation relations with woody components are being determined (indirect contact methods) LAI can be estimated quickly and accurately. Therefore it is recommended for researchers to estimate and measure LAI using methods introduced in this article, based on their research conditions.

Keywords: Hemispherical photograph, Leaf Area Index, Litter trap, Weighting method

* Corresponding author: habashi@gau.ac.ir