پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۹، شماره ۳، صفحه ۳۹۹-۳۸۱، (۱۴۰۲)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54690.1666
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1402.9.3.15.4
مقالهٔ پژوهشی

ارزیابی مقدار زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ گونه زالزالک (*Crataegus aronia* L.) در جنگل‌های ایلام

علی مهدوی*[۱]، محسن اکبری[۲]، مهدی امیدی[۳] و مصطفی نادری[٤]

۱- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (a.mahdavi@ilam.ac.ir)
۲- کارشناسی ارشد جنگلداری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (mohsenakbari@gmail.com)
۳- استادیار، گروه آمار و ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (m.omidi@ilam.ac.ir)
٤- دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (mostafanadery@ymail.com)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۳/۳۱

چکیده

این پژوهش با هدف، برآورد زی‌توده، ذخیره کربن و شاخص سطح برگ گونه زالزالک (*Crataegus aronia* L.) در جنگل‌های سرطاف شهرستان ایلام انجام شد. با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی، ۳۰ اصله درخت زالزالک انتخاب و متغیرهای قطر یقه، ارتفاع درخت، طول تاج، قطر بزرگ و کوچک تاج و متوسط قطر تاج اندازه‌گیری شد. سپس از برگ‌های یک‌چهارم تا یک هشتم تاج درختان، نمونه جمع‌آوری شد. پس از خشک‌کردن در داخل آون، وزن خشک برگ‌ها تعیین شد. پس از سوزاندن مقدار کافی از برگ‌های خشک‌شده در کوره الکتریکی، وزن مواد آلی و مقدار کربن برگ‌ها به‌دست آمد. نتایج نشان داد که متوسط زی‌توده برگ، ذخیره کربن برگ، مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو به‌ترتیب ۹۹/۱۸، ٤٦/٦۱، ۱۷۰/۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. متوسط شاخص سطح برگ گونه زالزالک برای هر درخت ۹/۰۸ و در هکتار منطقه ۰/۰۹۵ محاسبه شد. نتایج بررسی روابط آلومتریک با استفاده از روابط رگرسیونی مدل‌های مختلف نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متغیر متوسط قطر تاج با متغیرهای زی‌توده و شاخص سطح برگ درختان زالزالک در جنگل‌های ایلام وجود دارد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش توانایی اندازه‌گیری زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ گونه زالزالک را با استفاده از معادلات آلومتریک نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، روش درخت متوسط، مدل رگرسیونی توانی، شاخص سطح برگ

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۲۰۲۰۷۵

مقدمه

برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌ها بر شناخت استعدادها و ارزیابی از توان اکولوژیکی اکوسیستم‌های جنگلی استوار است. برای ارزیابی توان اکولوژیکی اکوسیستم‌های جنگلی از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد که از آن‌ها می‌توان به اندازه‌گیری شاخص‌هایی مانند، شاخص رویشگاه، مقدار تولید زی‌توده در واحد سطح، شاخص سطح برگ و توان حاصلخیزی برگ اشاره کرد (Adl, 2007). با توجه به عملکردهای اکولوژیک درختان، زی‌توده درختی به اجزای مختلفی شامل ساقه یا تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها و ریشه تقسیم می‌شود. زی‌توده درختی شاخص بسیار مهمی برای ارزیابی ساختار جنگل و ارزش‌گذاری فرآیندهای اقتصادی و اکولوژیک مانند چرخه عناصر غذایی، تولید جنگل و ذخیره سوختی محسوب می‌شود (Chambers et al., 2001). مقدار زی‌توده در واقع نشان‌دهنده توان تولید در واحد سطح یا زمان و به‌عبارتی دیگر بیانگر مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل است (Husch et al., 2002).

اهمیت مقدار زی‌تودهٔ برگ در یک اکوسیستم جنگلی هم از آنجا ناشی می‌شود که عمل فتوسنتز به‌عنوان فرآیند تولید مادهٔ آلی در برگ‌ها انجام می‌شود و برگ‌ها اندام اصلی دریافت نور، فتوسنتز و تعرق هستند. به‌طور تقریبی حدود ٦٦ درصد از عناصر معدنی جذب‌شده از خاک در برگ گیاهان متمرکز می‌شود که پس از ریزش برگ‌ها این مواد به خاک برمی‌گردند و موجب افزایش ذخیره مادهٔ آلی و دیگر عناصر غذایی در خاک می‌شوند (Adl, 2007). از طرفی دیگر، 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 رشدونمو گیاهی در ارتباط است (Blanco and Folegatii, 2005). هرچند سهم زی‌توده برگ در مقایسه با اندام‌های مختلف درختان کمتر است، اما با توجه به اینکه برگ درختان محل انجام فتوسنتز (جذب دی‌اکسید کربن موجود در جو) و تولید ماده آلی است، یکی از اندام‌های مهم درختان تلقی می‌شود (Taiz, 1998; Geng et al., 2000). در پژوهش‌های جنگل‌شناسی و اکولوژی و همین‌طور مدیریتی جنگل اندازه‌گیری زی‌تودهٔ برگ، سطح برگ و شاخص سطح برگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگلی بیانگر مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل است (Husch et al. (2002 و بررسی تغییرات مقدار ذخیره کربن در اجزای مختلف زیست‌بوم‌های جنگلی می‌تواند راهکارهای تازه‌ای را برای مدیریت بهینه جنگل در راستای توسعه پایدار و حفظ اصول زیست‌محیطی پیش‌رو ارائه دهد (Sarvazad et al., 2022). همچنین آگاهی از چگونگی توزیع زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگل به دو دلیل اهمیت دارد. اول برای برآورد و محاسبه اثرهای جنگل‌زدایی و تبدیل جنگل به عرصه‌های غیرجنگلی بر تعادل جهانی کربن و دوم اینکه امکان اندازه‌گیری تغییرات زی‌توده در طول زمان را فراهم می‌کند (Ketterings et al., 2001; Mahdavi and Mirzaei, 2020).

شاخص سطح برگ به‌عنوان مجموع مساحت یک طرف برگ گیاهان در واحد سطح زمین و یا نسبت مجموع مساحت یک طرف سطح برگ‌های گیاه بر واحد سطح تاج‌پوشش گیاه بر زمین است (Chen and Black, 1991). نقش و اهمیت شاخص سطح برگ در ارتباط و وابستگی آن با بسیاری از فرآیندهای اکولوژیک مانند مقدار فتوسنتز و تبخیر و تعرق، تولید خالص اولیه،

ضریب تبادل انرژی بین گیاهان و اتمسفر آشکار می‌شود (Pierce and Running, 1988). از نظر Jonckheere et al. (2004) برآورد شاخص سطح برگ ضروری است زیرا که شاخص مذکور از مهم‌ترین متغیرها برای مدل‌سازی بسیاری از فرآیندهای گیاهی مانند فتوسنتز تاج درخت و تبخیر و تعرق است و از آن می‌توان به‌عنوان متغیر اصلی برای نشان دادن عکس‌العمل تاج‌پوشش گیاهان نسبت به تغییرات جهانی آب و هوا و محیط‌زیست، استفاده کرد. این شاخص همچنین برای مقایسه توسعه تاج‌پوشش گیاهان در طول زمان و در شرایط محیطی متفاوت برای گونه‌های مختلف به‌کار گرفته می‌شود. مقدار شاخص سطح برگ گیاهان به ترکیب گونه‌ها، مراحل توسعه یا توالی جوامع گیاهی، فصول مختلف سال و به‌طور قوی به شرایط حاکم بر رویشگاه و اقدامات مدیریتی اعمال‌شده بر آن وابسته است. مجموع عوامل فوق همراه با تفاوت در روش‌های برآورد، سبب دامنه تغییرات زیادی برای مقادیر محاسبه شده شاخص سطح برگ در گزارش‌های علمی شده است. دامنه تغییرات شاخص سطح برگ براساس نتایج پژوهش‌های منتشر شده از ۰/٤ برای توده‌های کم‌تراکم از گونه *Quercus petrea* تا ١٦/٩ برای توده‌های جنگل‌های مسن (بیشتر از ۲۰۰ سال) از گونه *Pseudotsuga menziesii* گزارش شده است (Jonckheere et al., 2004). البته مقادیر بیشتری نیز در منابع مختلف گزارش شد که برای نمونه می‌توان به ۱۷/۲ برای گونه *Cryptomeria japonica* و یا ١٦/٦ برای جنگل‌های همیشه‌سبز تایلند و یا حتی مقدار ٤١/٨ برای جنگل‌های همیشه‌سبز چین اشاره کرد (Jonckheere et al., 2004).

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به دو روش مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود که هر کدام از این روش‌ها مزیت‌ها و محدودیت‌هایی دارند. روش‌های مستقیم که شامل نمونه‌برداری تخریبی، تله جمع‌آوری لاشبرگ و روابط آلومتریک می‌شوند، اگرچه دقیق هستند اما به‌دلیل پیچیده بودن، طولانی بودن و زمان‌بر بودن، نیاز به نیروی انسانی بیشتر و عدم تکرارپذیری به‌صورت فصلی و سالیانه اجرای آن‌ها در سطح وسیع غیرممکن است (Brantley et al., 2011). روش‌های غیرمستقیم هم از دوربین‌های ویژه و بررسی انعکاس طیف نوری در تصاویر ماهواره‌ای و یا عکس‌های هوایی استفاده می‌شود که دقت خوبی داشته و ساده‌تر از روش‌های مستقیم هستند (Adl, 2007). البته بسیاری از محققان برای ارزیابی صحت برآورد غیرمستقیم شاخص سطح برگ و همچنین پیشنهاد معادلات همبستگی بین شیوه‌های مختلف برآورد غیرمستقیم، همچنان از روش‌های مستقیم استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در زمینه ترسیب کربن و شاخص سطح برگ روی گونه‌های مختلف در غرب و شمال کشور انجام شد که از آن‌ها می‌توان به بررسی Adl (2007) روی گونه‌های بلوط ایرانی و بنه، Panahi et al. (2011) بر روی گونه بنه، Khosravi et al. (2012) بر روی گونه بلوط ایرانی، Pilehvar et al. (2015) روی گونه بلوط ایرانی، Kahyani et al. (2016) روی گونه راش شرقی، Khalili Ardali et al. (2019) روی گونه کیکم و Mahdavi and Mirzaei (2020) روی گونه ارغوان اشاره کرد.

به بررسی روابط بین شاخص‌های کمّی درخت (مانند قطر برابر سینه، قطر در محل شروع تاج و ارتفاع درخت) و شاخص‌های اکولوژیک (مانند مقدار زی‌توده و ذخیره‌کربن اندام‌های مختلف) و استفاده از این روابط به‌منظور برآورد زی‌توده و ذخیره کربن دیگر درختان دیگر گونه مشابه در منطقه مورد بررسی و نیز برآورد زی‌توده و ذخیره کربن در سال‌های آتی، بدون نیاز به نمونه‌برداری تخریبی مجدد را آلومتری در جنگل گویند

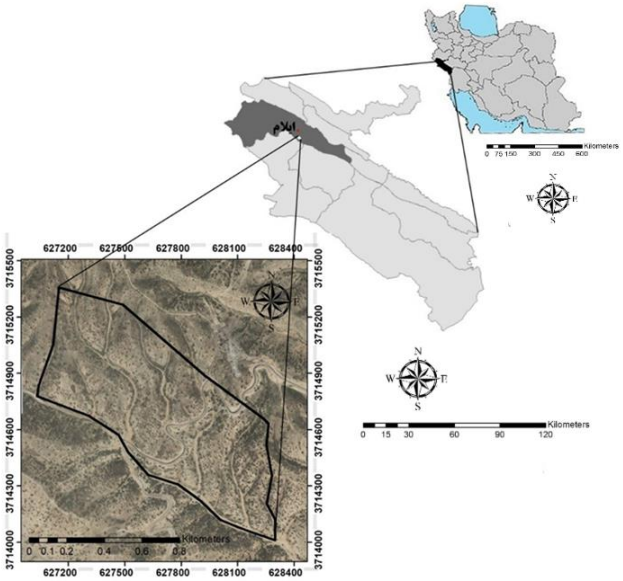
Zianis and Mencuccini, 2003; Calvo-Alvarado) et al., 2008). به‌طور معمول، معادلات آلومتریک یکی، دو و گاهی چندمتغیره هستند و برای برآورد وزن درخت از طریق متغییرهای مستقل مانند قطر برابرسینه و یا ارتفاع که قابلیت اندازه‌گیری در توده را دارا باشند، ابزاری توانمند محسوب می‌شوند (Kucharik et al., 1998). در کشورهای پیشرفته علم جنگلداری معادلات آلومتریک برای بیشتر گونه‌ها ارائه شده است. به‌عنوان مثال، در یک بررسی، معادلات آلومتریک برای پیش‌بینی زی‌تودهٔ ۹۸ گونه علفی، درختچه‌ای و درختی ارائه شد (Smith and Brand, 1992). در ایران نیز پژوهش‌های انگشت‌شماری به این موضوع اختصاص داده شد که از آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های Sohrabi and Shirvani (2012) برای برآورد زی‌تودهٔ روی‌زمین بنه در پارک ملی خجیر، Afroonde (2018) بررسی روابط آلومتریک برای تعیین حجم زی‌توده درختان شاخه‌زاد کیکم در جنگل‌های باغ شادی استان یزد و Maghsoudlounejad et al. (2019) که به تعیین مناسب‌ترین معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌تودهٔ روی‌زمین گونهٔ ارس پرداختند، اشاره کرد.

گونهٔ زالزالک یکی از مهم‌ترین گونه‌های همراه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس است و گیاهی بسیار مقاوم به آلودگی هوا، خشکی، آفات و بیماری و سازگار با انواع خاک‌ها محسوب می‌شود. نظر به اینکه برای گونه زالزالک تا کنون هیچ گونه پژوهشی در ایران در مورد زی‌توده و شاخص سطح برگ انجام نشده است، بنابراین از اهداف اصلی این بررسی برآورد زی‌توده و ترسیب کربن برگ و شاخص سطح برگ گونه زالزالک به‌عنوان یکی از گونه‌های اصلی بومی استان ایلام است. علاوه بر این، معادلات آلومتریکی برای برآورد این متغیرهای وابسته ذکرشده بر اساس متغیرهایی که اندازه‌گیری آن‌ها آسان، غیرمخرب و کم‌هزینه باشد، تهیه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش با هدف بررسی زی‌توده و شاخص سطح برگ گونه زالزالک در منطقه جنگلی اطراف شهرستان ایلام، بعد از شهرک سرطاف در مسیر جادهٔ قدیم ایلام – صالح‌آباد که در ۷ کیلومتری شهر ایلام قرار دارد، انجام شد. محدوده منطقه مورد بررسی بین مختصات UTM ٦٢٧٢٠٠ تا ٦٢٨٤٠٠ طول جغرافیایی شرقی و ٣٧١٤٠٠٠ تا ٣٧١٥٥٠٠ عرض جغرافیایی شمالی واقع شده است. برای انجام این پژوهش با توجه به وضعیت پراکنش گونه زالزالک در منطقه، مکانی را که بیشترین تراکم تودهٔ زالزالک مشاهده شده بود به مساحت تقریبی ۲۰ هکتاری انتخاب شد. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی آب و هوایی دومارتن در اقلیم نیمه‌مرطوب سرد و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه در اقلیم نیمه‌خشک قرار می‌گیرد. با توجه به آمار نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد بررسی، میانگین بارندگی سالیانه ۵۸۰ میلی‌متر است که ٤٥ تا٥٠ درصد از آن مربوط به فصل زمستان است. همچنین متوسط دمای سالیانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. منطقه از نظر پوشش کلی جنگلی با گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantti*) پوشیده شده است، اما گونه اصلی دیگر آن زالزالک است که در منطقه مورد بررسی ۲۰ هکتاری که انتخاب شده بود، بیش از ٦٠ درصد درختان را گونه زالزالک به‌خود اختصاص داده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure 1. Location of study area

روش پژوهش

ابتدا بعد از جنگل‌گردشی و ارزیابی از وضعیت درختان منطقه از نظر اندازه‌های قطری و ارتفاعی محدودهٔ ۲۰ هکتاری مشخص شده و تعداد در هکتار درختان زالزالک در منطقه برآورد شد. سپس به‌طور کاملاً تصادفی در چهار ترانسکت تعداد ۲۰ اصله درخت (زالزالک) انتخاب شدند، به‌طوری که تلاش شد درختان در تمام طبقات قطری غالب پراکنش داشته باشند تا نتایج دقیق‌تری از شرایط درختان زالزالک در منطقه را نشان دهند. شاخص‌های کمی مورد نظر شامل قطر یقه، ارتفاع درخت (H)، طول تاج (CL)، قطر بزرگ و کوچک تاج (CD) درختان اندازه‌گیری شدند. برای برآورد زی‌توده از روش مستقیم چیدن برگ درختان نمونه و توزین آن‌ها استفاده شد. سطح تاج هر درخت را به‌صورت یک دایره درنظر می‌گیریم و برای هر درخت تمامی برگ‌های یک چهارم تا یک هشتم (اگر درخت بزرگ بود یک هشتم) از روی تاج درخت برداشت شدند (Adl, 2007; Panahi et al., 2013).

برگ‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین شدند (وزن تر) و سپس به آزمایشگاه انتقال یافتند و به‌مدت ٤٨ ساعت در دمای ٦٥ درجه در داخل آون قرار گرفتند (Panahi et al., 2011; Mahdavi and Mirzaei, 2020). بعد از آن برگ‌ها به‌مدت ۳۰ تا ٤٥ دقیقه در دسیکاتور قرار گرفتند تا خشک شوند و بار دیگر وزن شدند (وزن خشک). اعداد به‌دست آمده وزن خشک برگ‌ها از یک چهارم یا هشتم سطح تاج با ضرب کردن آن در ٤ یا ٨ تبدیل به کل شدند.

برآورد مقدار ذخیره کربن و جذب گاز CO_2 در برگ‌ها

درصد کربن آلی از روش احتراق خشک با جریان هوا در کورهٔ الکتریکی (Panahi et al., 2011; Losi et al., 2003) محاسبه می‌شود. برای محاسبه درصد کربن از برگ‌های خشک هر درخت به مقدار کافی جدا و به‌مدت ۳ ساعت در دمای ٤٥٠ درجه در داخل کوره قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک‌شدن در دسیکاتور، توزین شدند. در این روش کاهش وزن ناشی از سوزاندن، مقدار مادهٔ آلی را نشان می‌دهد که به‌طور

معمول ۵۰ درصد آن به‌عنوان کربن درنظر گرفته می‌شود (IPCC, 2006). در این بررسی برای محاسبه دقیق مقدار ضریب کربن برگ از رابطه‌های محاسباتی زیر استفاده شد (Allen et al., 1986) و مقدار درصد ذخیره کربن برگ‌های زالزالک ٤٧ درصد زی‌توده خشک برگ به‌دست آمد.

$$Ash\% = (W_3-W_1/ (W_2-W_1) \times 100 \quad \text{رابطهٔ (۱)}$$

$$C\% =n (100-Ash\%) \times 0.58 \quad \text{رابطهٔ (۲)}$$

در روابط فوق؛ Ash% درصد خاکستر به‌دست‌آمده پس از سوزاندن کامل برگ، W1 وزن ظرف (بوته چینی)، W2 وزن خشک نمونه، W3 مجموع وزن خاکستر و ظرف چینی مورد استفاده و C% ضریب کربن محاسباتی است.

بعد از برآورد درصد مقدار ذخیره کربن در زی‌توده خشک نمونه برگ به کل درخت (در اینجا کل برگ‌های درخت) تعمیم داده شد. برای تعمیم نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری درختان نمونه به کل جنگل، از روش درخت متوسط (Mean Tree Method) استفاده شد. در این روش میانگین اطلاعات جمع‌آوری شده از هر درخت نمونه، اندازه‌های درخت متوسط را معین می‌کند. سپس با محاسبه تعداد کل درختان در واحد سطح جنگل مورد نظر و ضرب کردن اندازه‌های درخت متوسط به تعداد کل درختان، هدف مورد نظر به‌دست می‌آید (Adl, 2007). برای برآورد مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو، مقدار کربن آلی ترسیب‌شده را در عدد ۳/٦۷ ضرب کرده تا مقدار جذب دی‌اکسید کربن جنگل به‌دست آید (Mahdavi and Mirzaei, 2020; ESA21, 2008; Brooks, 1998).

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ

برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ از روش وزنی (Gravimetric Method) استفاده شد (Adl, 2007). برای این منظور از قسمت‌های مختلف تاج هر درخت تعداد ۱۰ برگ (مجموع ۲۰۰ برگ از کل ۲۰ درخت) جمع‌آوری شده و سطح برگ آن‌ها با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج اتریشی CI-203 Handheld Laser Leaf Area Meter اندازه‌گیری شدند. برگ‌های یاد-شده مطابق دستورالعملی که برای اندازه‌گیری وزن خشک در بالا بیان شد، وزن خشک آن اندازه‌گیری می‌شوند. پس از محاسبهٔ سطح ویژهٔ برگ بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم با استفاده از رابطه ۳ و دست‌یابی به رابطهٔ بین دو مولفهٔ آن شاخص سطح برگ هر درخت و میانگین آن برای کل توده محاسبه شد (رابطه ٤). سطح ویژهٔ برگ یک درخت (SLA_i) برابر است با مساحت برگ‌های یک درخت (A_i) تقسیم بر وزن خشک برگ‌ها (mi):

$$SLAi = Ai / mi \quad \text{رابطهٔ (۳)}$$

چون اندازه‌گیری مساحت تمام برگ‌های درخت کاری سخت و زمان‌بر است بنابراین برای اندازه‌گیری سطح ویژهٔ برگ یک درخت از SLAs زیر- نمونه‌هایی از برگ یک درخت استفاده می‌شود. به‌طوری که از زی‌تودهٔ خشک زیر- نمونه‌ها برای محاسبهٔ مساحت کل برگ‌های هر درخت استفاده می‌شود:

$$SLAi = SLAs = As / ms \quad \text{رابطهٔ (٤)}$$

A_s (مساحت برگ‌های زیر - نمونه)، m_s (وزن خشک زیر - نمونه). آنگاه برای برآورد کل مساحت برگ‌های یک درخت (Ai) سطح ویژهٔ برگ زیر- نمونه را در زی‌تودهٔ خشک کل برگ‌های آن درخت ضرب می‌کنیم:

$$SLAs = Ai \times mi \quad \text{رابطهٔ (۵)}$$

با محاسبه وزن خشک این برگ‌ها و با استفاده از رابطه بین سطح برگ با وزن خشک، سطح همه برگ-های درختان و در نهایت با استفاده از رابطه زیر شاخص سطح برگ گونه زالزالک محاسبه می‌شود (Khosravi et al., 2012; Mahdavi and Mirzaei, 2020):

رابطهٔ (٦) $$LAI = \frac{d \times \sum A_i}{n \times 10000}$$

LAI: شاخص سطح برگ

d: تعداد درختان (اصله در هکتار)

A_i: سطح برگ‌های یک اصله درخت (مترمربع)

n: تعداد نمونه‌ها

برای بررسی روابط آلومتریک بین زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ با متغیرهای کمی درخت، روش رگرسیون چندمتغیرهٔ خطی به شیوهٔ گام به گام استفاده شد. علاوه بر متغیرهای کمی اندازه‌گیری‌شده از متغیرهایی مانند متوسط قطر تاج درختان، لگاریتم مشخصه‌های کمی، مجذور و ریشهٔ آنها استفاده شد، تا بهترین مدل به‌دست آید. تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار IBM SPSS 22 نمودارهای مربوط به روابط آلومتریک در نرم‌افزار Excel 2013 انجام شد.

نتایج

نتایج آزمون کولموگروف–اسمیرنف نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند. آماره‌های کمّی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده به‌ازای اندازه‌های درخت متوسط در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱– آماره‌های کمی متغیرهای اندازه‌گیری‌شدهٔ درخت متوسط

Table 1. Quantitative statistics of measured variables of mean tree

اشتباه معیار S.E	انحراف معیار S.D	میانگین Mean	متغیر Variable
0.14	0.67	2.73	ارتفاع (متر) Height (m)
0.13	0.62	2.41	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)
0.13	0.60	1.95	متوسط قطر تاج (متر) Mean diameter of crown (m)
0.47	2.14	3.28	مساحت تاج‌پوشش (مترمربع) Crown area (m^2)
1.01	4.52	12.3	قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)
0.002	0.007	0.031	میانگین وزن تک برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of single leaf (gr)
0.06	0.29	3.03	میانگین سطح تک برگ (سانتی‌متر مربع) Mean area of a single leaf (Cm^2)
0.63	2.82	9.08	شاخص سطح برگ Leaf area index
0.25	1.15	2.61	زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)
0.12	0.55	1.23	ذخیره کربن برگ (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaf (kg)
0.45	2.03	4.51	مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم) atmosphere CO_2 absorption (kg)

پس از محاسبه تعداد در هکتار درختان زالزالک و با در نظر گرفتن اندازه‌های درخت متوسط، محاسبات مربوط به متوسط زی‌توده برگ در واحد سطح (هکتار) و همچنین متوسط ذخیره کربن برگ درختان زالزالک

در واحد سطح (هکتار) انجام شد (جدول ۲). پس از شمارش درختان زالزالک در یک سطح ۲۰ هکتاری، میانگین تعداد در هکتار درختان زالزالک ۳۸ اصله به‌دست آمد.

جدول ۲- زی‌توده برگ، مقدار ذخیره کربن برگ و مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم در هکتار)

Table 2. Leaf biomass, leaf carbon sequestration and value of atmosphere CO_2 absorption ($kg.ha^{-1}$)

گونه Species	زی‌توده برگ (کیلوگرم/هکتار) Leaf biomass (kg/ha)	ذخیره کربن برگ (کیلوگرم/هکتار) Carbon sequestration of leaf (kg/ha)	مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم/هکتار) atmosphere CO_2 absorption (kg/ha)
زالزالک Hawthorn	99.18	46.61	170.59

نتایج بررسی همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل

همبستگی بین متغیرهای وابسته زی‌توده، ذخیره کربن و شاخص سطح برگ با متغیرهای مستقل ارتفاع، طول تاج، متوسط قطر تاج، مساحت تاج‌پوشش در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، همبستگی بین متغیرهای وابسته با متغیر متوسط قطر تاج و متوسط سطح تاج معنی‌دار است. بنابراین برای بررسی روابط آلومتریک از متوسط قطر تاج و متوسط سطح تاج درختان استفاده شد (در ضمن باید اشاره کرد که چون متوسط سطح تاج تابعی از متوسط قطر تاج است و نتایج تقریباً مشابهی با متوسط قطر تاج در مدل‌ها نشان داد، بخاطر محدودیت از تکرار نتایج در این مقاله صرف‌نظر شد).

جدول ۳- نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای وابسته با متغیرهای مستقل

Table 3. Results of correlation between of depended variables with independent variables

متغیر وابسته Depended variable	ارتفاع (متر) Height (m)	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	متوسط سطح تاج (مترمربع) Mean crown area (m^2)	متوسط قطر تاج (متر) Mean diameter of crown (m)
شاخص سطح برگ Leaf area index	-0.125	-0.115	0.63	-0.79**	0.847**
زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)	0.257	0.374	0.68	0.879**	0.887**
ذخیره کربن برگ (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaf (kg)	0.255	0.376	0.68	0.879**	0.885**

*، **، همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

* and ** indicate significant correlations at the level of five and one percent, respectively

مدل‌های رگرسیونی برای متغیر وابسته زی‌توده برگ

در این مدل‌ها متغیرهای مستقل قطر یقه درخت، قطر متوسط تاج و متغیر وابسته زی‌توده خشک کل برگ‌های درخت است. با توجه به مقدار F و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس، روابط رگرسیونی به‌دست‌آمده با اطمینان ۹۹ درصد تأیید می‌شوند (جدول

٤). آزمون معنی‌دار بودن ضرایب مدل نیز در جدول ٥ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر سطح معنی‌داری مشخص شد که ضرایب روابط نیز در سطح اطمینان ٩٩ درصد معنی‌دار هستند.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس در مدل رگرسیونی با تابع توانی

Table 4. Results of ANOVA in regression model with power function

متغیر وابسته Depended variable	متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی df	F	Sig.
زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)	قطر متوسط تاج (متر) Mean crown diameter (m)	رگرسیون Regression	2.496	2.496	1	100.355	0.000**
		خطا Error	0.448	0.025	18		
		مجموع Total	2.943		19		
زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)	قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	رگرسیون Regression	1.845	1.845	1	30.217	0.000**
		خطا Error	1.099	0.061	18		
		مجموع Total	2.943		19		

*، ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ٥ درصد و ١ درصد

* and ** indicate significant correlations at the level of five and one percent, respectively

جدول ٥- ضرایب رابطه‌های رگرسیون به‌دست‌آمده و آزمون معنی‌داری آن‌ها

Table 5. Coefficients of regression equation and significant test

متغیر وابسته Depended variable	مدل Model	ضریب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استانداردشده Standardized coefficients	T	*P*
		B	اشتباه معیار Std. error	Beta		
زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)	ضریب ثابت Constant coefficient	1.107	0.094	0.921	11.740	0.000
	لگاریتم متوسط قطر تاج Mean crown diameter logarithm	1.237	0.124		7.811	0.000
زی‌توده برگ (کیلوگرم) Leaf biomass (kg)	ضریب ثابت	0.348	0.124	0.792	2.807	0.000
	لگاریتم قطر یقه Collar diameter logarithm	0.793	0.144		5.497	0.000
شاخص سطح برگ Leaf area index	مقدار ثابت Constant value	16.397	1.318	-0.900	12.440	0.000
	متوسط قطر تاج Mean crown diameter logarithm	1.023	1.117		-8.773	0.000

ادامهٔ جدول ۵.

Continued table 5.

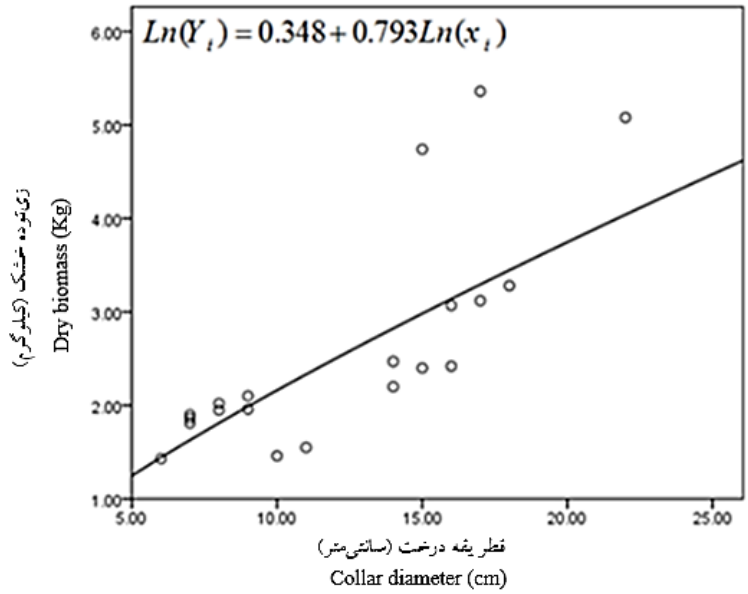
متغیر وابسته Depended variable	مدل Model	ضریب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استانداردشده Standardized coefficients	T	*P*
		B	اشتباه معیار Std. error	Beta		
شاخص سطح برگ Leaf area index	مقدار ثابت	25.839	1.531		16.878	0.000
	لگاریتم قطر یقه Collar diameter logarithm	-6.872	0.620	-0.934	-11.080	0.000

برای مقایسه ۳ مدل انتخاب شده برای دو متغیر مستقل مورد بررسی و متغیر وابسته زی‌توده خشک برگ از مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته استفاده شد که مقادیر این دو معیار به تفکیک مدل‌های استفاده شده در جدول ٦ آمده است. همان‌طوری که در جدول مشاهده می‌شود از بین متغیرها بیشترین ضریب تعیین و تعدیل شده مربوط به هر دو متغیر قطر یقه درخت و قطر متوسط تاج درخت در مدل توانی برآورد شد. بنابراین، مدل توانی مناسب‌ترین ضریب تعیین و تعدیل شده را در بین دو متغیر مستقل قطر یقه درخت و قطر متوسط تاج به‌خود اختصاص داده است. نمودار مدل توانی به‌همراه معادله آن برای هر دو متغیر مستقل در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است.

جدول ٦- مقادیر ضرایب تعیین و تعدیل شده متغیرهای مستقل و و متغیر وابسته زی‌توده برگ در مدل‌های مختلف

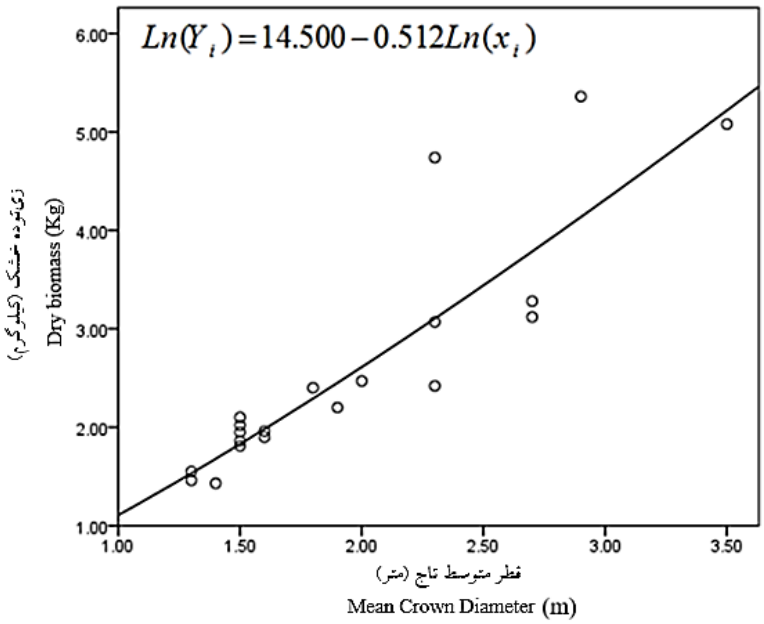
Table 6. The values of the determined and adjusted coefficients of the independent variables and the dependent variable of leaf mass in different models

متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	ضریب تعیین Coefficient of determination	ضریب تعیین تعدیل یافته Adjusted coefficient of determination
قطر یقه درخت (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	خطی Linear	0.547	0.521
	لگاریتمی logarithmic	0.606	0.587
	توانی Power	0.627	0.606
قطر متوسط تاج (متر) Mean crown diameter (m)	خطی Linear	0.788	0.776
	لگاریتمی logarithmic	0.772	0.760
	توانی Power	0.848	0.839



شکل ۲- رابطه آلومتریک لگاریتمی - توانی بین متغیر قطر یقه و زی‌توده برگ درخت زالزالک

Figure 2. Logarithmic-power allometric relationship between collar diameter variable and leaf biomass of hawthorn tree



شکل ۳- رابطه آلومتریک لگاریتمی - توانی بین متغیر قطر متوسط تاج و زی‌توده برگ درخت زالزالک

Figure 3. Logarithmic-power allometric relationship between the mean of diameter crown and leaf biomass of hawthorn tree

با توجه به مقدار F و سطح معنی‌داری به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس، روابط رگرسیونی به‌دست آمده با اطمینان ۹۹ درصد تأیید می‌شوند (جدول ۷). آزمون معنی‌دار بودن ضرایب مدل نیز در جدول ٦ نشان داده شده است. با توجه به مقادیر سطح معنی‌داری مشخص شد که ضرایب روابط نیز در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار هستند.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس در مدل رگرسیونی توانی (برای قطر متوسط تاج) و لگاریتمی (برای قطر یقه)

Table 7. Results of ANOVA in power regression model (Mean crown diameter) and logarithmic (collar diameter)

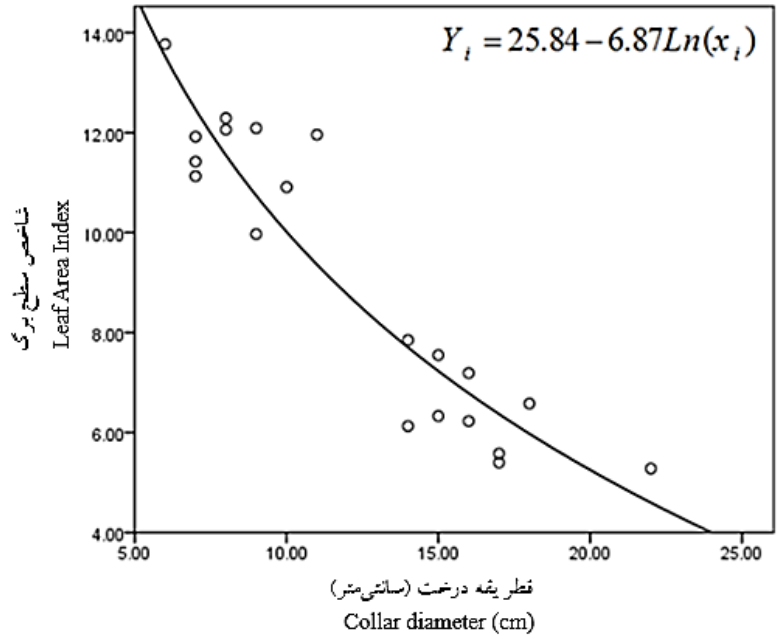
متغیر وابسته Depended variable	متغیر مستقل Independent Variable	مدل Model	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی df	F	معنی‌داری Sig.
شاخص سطح برگ Leaf area index	قطر متوسط تاج (متر) Mean Crown Diameter (m)	رگرسیون Regression	1.704	1.704	1	76.960	0.000
		خطا Error	0.399	0.022	18		
		مجموع Total	2.103		19		
شاخص سطح برگ Leaf area index	قطر یقه درخت (سانتی‌متر) Collar Diameter (cm)	رگرسیون Regression	138.419	138.419	1	122.758	0.000
		خطا Error	20.296	1.128	18		
		مجموع Total	158.716		19		

برای مقایسه ۳ مدل انتخاب‌شده برای متغیرهای مورد بررسی از مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته استفاده شد که مقادیر این دو معیار به تفکیک مدل‌های استفاده شده در جدول ۸ آمده است. همان‌طوری که در جدول مشاهده می‌شود از بین متغیرها بیشترین ضریب تعیین و تعدیل شده مربوط به متغیر قطر متوسط تاج درخت برای مدل توانی است و برای متغیر مستقل قطر یقه مدل لگاریتمی ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شدهٔ بیشتری را نشان داد. بنابراین، مدل توانی مناسب‌ترین ضریب تعیین و تعدیل شده را در بین دو متغیر مستقل قطر متوسط تاج و قطر یقه درخت را به‌خود اختصاص داد. نمودارهای دو مدل لگاریتی و توانی به‌همراه معادله آن‌ها در شکل‌های ٤ و ٥ آمده است.

جدول ۸- مقادیر ضرایب تعیین و تعدیل شده متغیرهای مستقل و متغیر وابسته شاخص سطح برگ در مدل‌های مختلف

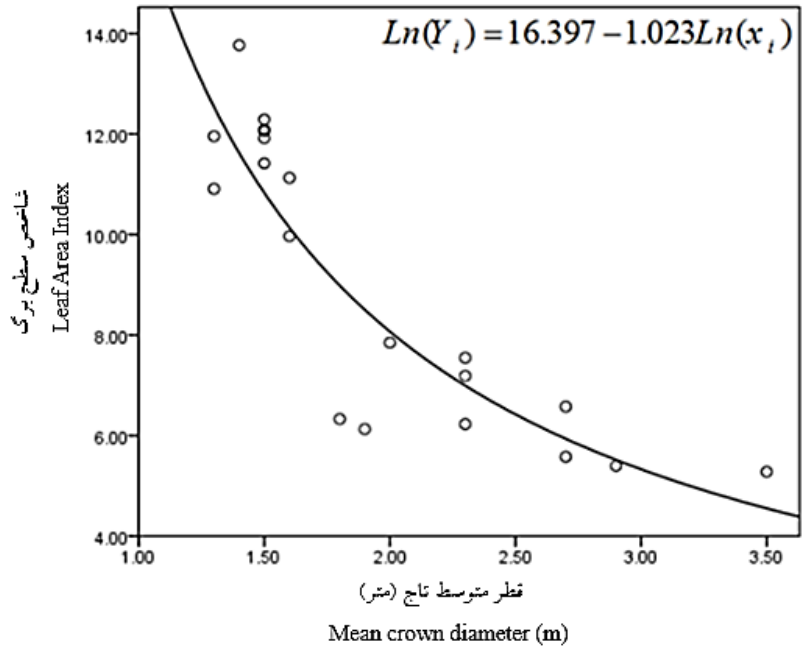
Table 8. The values of determined and adjusted coefficients of independent variables and dependent variable of leaf area index in different models

متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	**ضریب تعیین** Coefficient of determination	**ضریب تعیین تعدیل یافته** Adjusted coefficient of determination
قطر یقه درخت (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	خطی Linear	0.562	0.555
	لگاریتمی logarithmic	0.672	0.665
	توانی Power	0.665	0.658
قطر متوسط تاج (متر) Mean crown diameter (m)	خطی Linear	0.709	0.703
	لگاریتمی logarithmic	0.782	0.770
	توانی Power	0.810	0.800



شکل ٤- رابطه آلومتریک لگاریتمی بین متغیر قطر یقه درخت و شاخص سطح برگ

Figure 4. Logarithmic allometric relationship between tree collar diameter variable and leaf area index



شکل ٥- رابطه آلومتریک لگاریتمی - توانی بین متغیر قطر متوسط تاج و شاخص سطح برگ

Figure 5. Logarithmic-power allometric relationship between mean crown diameter variable and leaf area index

بحث

در سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی اقدام به بررسی موضوعاتی از قبیل ارزیابی شاخص سطح برگ، زی‌توده و مقدار ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گونه‌های درختان و همین‌طور در مناطق مختلف جنگلی ایران کردند (Adl, 2007; Panahi et al., 2011; Mahdavi and Mirzaei, 2020). با بررسی پژوهش‌های انجام-شده در ایران می‌توان دریافت که در بیشتر پژوهش‌ها با

اندازه‌گیری مقدار زی‌توده اندام‌های هوایی و محاسبه ضریب تبدیل آن به‌عنوان جایگزینی برای مقدار ترسیب کربن درنظر گرفته شده است. در این پژوهش، طبق بررسی‌های مقدماتی به این نتیجه رسیدیم که تاکنون هیچ‌گونه پژوهشی در مورد بررسی مقدار شاخص سطح برگ، زی‌توده و یا ترسیب کربن برگ گونه زالزالک در کشور ما انجام نشده است. بنابراین، تعیین مشخصه‌های ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی مانند شاخص سطح برگ و مقدار زی‌توده و ذخیره کربن در برگ گونه زالزالک می‌تواند کمکی برای تکمیل اطلاعات در رابطه با گونه‌های جنگلی ذخیره‌گاه‌ها و مقایسه توان آن‌ها در ترسیب دی‌اکسید کربن اتمسفر باشد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، زی‌تودهٔ خشک برگ و مقدار ترسیب کربن برگ درختان گونه زالزالک در منطقه مورد بررسی با میانگین تعداد ۳۸ اصله درخت زالزالک در هکتار به‌ترتیب حدود ۹۹/۱۸ کیلوگرم در هکتار و ٤٦/٦١ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۲). با مقایسه برآوردهای به‌دست آمده از زی‌توده خشک برگ و همین‌طور مقدار ترسیب کربن برگ گونه زالزالک در این بررسی با گونه‌های دیگر جنگلی در مناطق مختلف جنگلی زاگرس نشان می‌دهد که تفاوت‌هایی با نتایج به‌دست‌آمده از دیگر پژوهش‌ها بر روی گونه‌های مختلف در جنگل‌های زاگرس دارد. به‌عنوان مثال، Adl (2007) با پژوهش بر روی دو گونه بلوط و بنه، مقدار زی‌توده خشک برگ برای گونه بلوط ۱۳۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار و برای گونه بنه ۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. Pilehvar et al. (2015) نیز مقدار زی‌توده و کربن ترسیب یافته توسط برگ‌های درختان بلوط ایرانی را در جنگل‌های شهنشاه لرستان به‌ترتیب ۸٦۰/۲۱ و ٦٦۲/٤۸ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. این درحالی است که در پژوهش Pourhashemi et al. (2012) بر روی گونهٔ درختی داغداغان در شهر سنندج و Panahi et al. (2011) بر روی گونه درختی بنه در باغ اکولوژیکی موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع مقدار زی‌توده خشک برگ دو گونه به‌ترتیب ۱۲٦۲ کیلوگرم در هکتار (داغداغان) و ٦۹/٤ کیلوگرم در هکتار (بنه) برآورد شد. همچنین در پژوهش Panahi et al. (2011) مقدار دی‌اکسید کربن ترسیب شده توسط برگ‌های درختان بنه ۲٦/۲ کیلوگرم در هکتار و مقدار جذب CO_2 از جو ۹٦/۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد؛ در حالی‌که مقدار دی‌اکسید کربن ترسیب شده و جذب CO_2 از جو توسط برگ‌های درختان زالزالک در این پژوهش به‌ترتیب ٤٦/٦١ و ۱۵۷/۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۲). یکی از دلایل اصلی این اختلاف بیشتر بودن تراکم در هکتار درختان گونه زالزالک در منطقه مورد بررسی در مقایسه با گونه بنه در پژوهش اشاره شده، می‌تواند باشد. Mahdavi and Mirzaei (2020) هم مقدار زی‌توده و ترسیب کربن برگ درختان ارغوان در استان ایلام را به‌ترتیب ۵۳/۵۵ و ۲۳/٤ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند که کمتر از مقدار برآورد شده برای گونه زالزالک در این پژوهش است. به‌طور کلی دلیل اصلی تفاوت در مقدار زی‌توده خشک برگ و به‌تبع آن مقدار ترسیب کربن برگ درختان مختلف و یا یک گونه خاص در مناطق مختلف به عواملی از قبیل نوع گونه، تعداد در واحد سطح (تراکم درختان در هکتار)، اندازه درخت (ارتفاع و قطر تاج درخت) و سن درختان بستگی دارد (Adl, 2007; Mahdavi and Mirzaei, 2020).

شاخص اکولوژیکی دیگری که در این پژوهش بررسی شد، شاخص سطح برگ گونه زالزالک در منطقه مورد بررسی بود. نتایج ارزیابی‌های شاخص سطح برگ این گونه نشان داد که متوسط شاخص سطح برگ گونه زالزالک برای هر درخت ۹/۰۸ و برای جنگل منطقه در

یک هکتار ۰/۰۹۵ به‌دست آمد (جدول ۱). Adl (2007) شاخص سطح برگ گونه‌های بلوط و بنه در جنگل‌های یاسوج را ۱/۲ برآورد کرد که به‌مراتب بیشتر از مقدار شاخص سطح برگ گونه زالزالک در یک هکتار در این بررسی است. Pourhashemi et al. (2012) نیز متوسط شاخص سطح برگ گونه داغداغان را ۳/۷ برآورد کردند.

Khosravi et al. (2012) نیز شاخص سطح برگ گونه *Quercus libani* Olive. را در جنگل‌های زاگرس شمالی ۱/۹۹ برآورد کرد که با نتایج شاخص سطح برگ گونه زالزالک در این بررسی تفاوت زیادی دارد. از دلایل تفاوت می‌توان به تفاوت در نوع گونه (نیازهای اکولوژیک) و تراکم گونه‌های بررسی‌شده اشاره کرد که در این پژوهش تعداد در هکتار درختان زالزالک ۳۸ اصله به‌دست آمد در حالی‌که در بررسی Khosravi et al. (2012) تعداد در هکتار گونه بلوط ۳۰۲–اصله به‌دست آمد. Peper and McPherson (1998) مقدار شاخص سطح برگ را برای گونه *Morus alba* از ۰/۳۷ تا ٤/۲۵ و برای گونهٔ *Prunus serotine* از ۰/٤۹ تا ۷/۵۷ به‌دست آوردند. Dufrêne and Breda (1995) مقدار شاخص سطح برگ برای جنگل‌های خزان‌کنندهٔ فرانسه را بین ۱/۷ تا ۷/۵ محاسبه کردند. به‌طور کلی، از دلایل تفاوت در شاخص سطح برگ گونه‌های مختلف درختی می‌توان به تعداد گونه‌های بررسی شده (برای متوسط شاخص سطح برگ یک درخت) و تراکم در هکتار (برای شاخص سطح برگ جنگل)، تفاوت در نوع گونه و نیازهای اکولوژیک گونه‌های مورد بررسی، مراحل توالی جوامع درختی، فصول مختلف سال و همین‌طور اقدامات مدیریتی اعمال شده و یا شرایط تخریبی رویشگاه، اشاره کرد (Adl, 2007; Pourhashemi, et al., 2012). مجموعه عوامل یادشده به‌همراه تفاوت در روش‌های برآورد شاخص سطح برگ، سبب ایجاد دامنهٔ تغییرات زیادی در مقادیر محاسبه شده شاخص سطح برگ در گزارش‌های مختلف علمی شده است (Mahdavi and Mirzaei, 2020). هر چه مقدار شاخص سطح برگ یک درخت یا جنگل بیشتر باشد، امکان تبادلات گازی بین تاج درخت و اتمسفر افزایش می‌یابد.

روابط آلومتریک به‌دست‌آمده نشان داد که متغیر متوسط قطر تاج نسبت به دیگر متغیرهای مستقل بررسی‌شده بیشترین مقدار همبستگی با متغیرهای وابسته زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ را دارد (جدول ۳) و به‌همین دلیل در مدل‌های به‌دست آمده بیشتر از این مشخصه استفاده شد. نتایج مدل‌های مختلف نشان داد که همه مدل‌ها از دقت به‌نسبت قابل قبولی برخوردار هستند و این نتایج به‌دلیل همبستگی خیلی بالا بین متغیرهای وابسته ذکرشده در بالا و متغیر مستقل متوسط قطر تاج است. Panahi et al. (2011) و همین‌طور Mahdavi and Mirzaei (2020) نیز نشان دادند که در بررسی روابط آلومتریک زی‌توده برگ درختان بنه در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، و زی‌توده برگ درختان ارغوان در جنگل‌های ایلام، متوسط قطر تاج تأثیرگذارترین عامل در مدل به‌دست آمده بوده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. این درحالی است که در پژوهش Adl (2007) نشان داد که متغیر قطر برابرسینه نسبت به دیگر متغیرها اهمیت بیشتری در تعیین زی‌توده برگ گونه‌های بلوط و بنه در جنگل‌های یاسوج برخوردار است که با نتایج این پژوهش شاید به‌دلیل تفاوت در گونه‌های مورد بررسی و شرایط رویشگاهی هم‌خوانی ندارد. بررسی روابط آلومتریک نشان داد که مقدار ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل یافته در مدل‌های توانی برای متغیرهای مستقل قطر متوسط تاج و قطر یقه درخت با متغیرهای وابسته زی‌توده خشک و در مدل‌های توانی (قطر متوسط تاج)

و لگاریتمی (قطر یقه درخت) با متغیر وابسته شاخص سطح برگ دارای بیشترین مقدار بوده‌اند (جدول ٦ و ٨) که نشان دهنده این مطلب است که مدل‌های ذکرشده قابلیت تبیین تغییرات زی‌توده برگ، و شاخص سطح برگ درختان زالزالک را براساس متغیرهای مستقل قطر متوسط تاج دارند.

مقدار ضریب تبیین (R^2) به‌دست‌آمدهٔ مدل‌ها بیانگر این است که ٨٤ درصد از تغییرات زی‌توده برگ با استفاده از مدل توانی و بر اساس متغیر قطر متوسط تاج توجیه می‌شود (جدول ٦) که این مقدار برای متغیر وابسته شاخص سطح برگ گونه زالزالک ٨١ درصد و با استفاده از مدل توانی است (جدول ٨). این نتایج متفاوت از نتایج به‌دست آمده در پژوهش Mahdavi and Mirzaei (2020) برای گونه ارغوان است که در آنجا مدل نمایی و مدل خطی دارای بیشترین ضریب تبیین تعدیل‌یافته را داشتند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین متغیرهای وابسته زی‌توده برگ و شاخص سطح برگ درختان زالزالک ارتباط معنی‌داری وجود دارد و براساس آنالیز رگرسیون‌های خطی و غیرخطی، مدل‌هایی به‌دست آمد که با دقت قابل قبولی شاخص‌های ذکرشده را برآورد می‌کنند (جدول ٦ و ٨).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی روابط آلومتریک با استفاده از روابط رگرسیونی در این بررسی نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متغیر متوسط قطر تاج با متغیرهای زی‌توده و شاخص سطح برگ درختان زالزالک در جنگل‌های ایلام وجود دارد. بنابراین، توانایی اندازه‌گیری زی‌توده و شاخص سطح برگ گونه زالزالک با استفاده از معادلات آلومتریک را نشان می‌دهد. بنابراین امکان تهیه معادلات آلومتریک برای اندازه‌گیری زی‌توده و ذخیره کربن برای دیگر اندام‌های درختان زالزالک و یا دیگرگونه‌های بومی مناطق جنگلی زاگرس وجود دارد.

References

Adl, H. R., Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2007,** *15* (4), 426-417. (In Persian)

Afroonde, A.; Kiani, B.; Attarod, B., Allometric equations for determining volume and biomass of A. monspessulanum L. subsp. Cinerascens multi stemmed trees. *Caspian Journal of Environmental Sciences* **2018**, *16* (2), 111-119.

Allen, S.; Grimshaw, H.; Rowland, A., Chemical analysis: In: Moore, PD, Chapman, SB, (Eds), Methods in Plant Ecology. *Blackwell Scientific Publication, Oxford, London* **1986**, 285-344.

Blanco, F. F.; Folegatti, M. V., Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia Agricola* **2005,** *62*, 305-309.

Brantley, S. T.; Zinnert, J. C.; Young, D. R., Application of hyperspectral vegetation indices to detect variations in high leaf area index temperate shrub thicket canopies. *Remote Sensing of Environment* **2011,** *115* (2), 514-523.

Brooks, R., Carbon Sequestration, what's that? UI Extension Forestry Information Series. *Forest Management* **1998**, No: 32, 2 p.

Calvo-Alvarado, J. C.; McDowell, N. G.; Waring, R. H., Allometric relationships predicting foliar biomass and leaf area: sapwood area ratio from tree height in five Costa Rican rain forest species. *Tree Physiology* **2008,** *28* (11), 1601-1608.

Chambers, J. Q.; dos Santos, J.; Ribeiro, R. J.; Higuchi, N., Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon Forest. *Forest Ecology and Management* **2001,** *152* (1-3), 73-84.

Chen, J.; Black, T., Measuring leaf area index of plant canopies with branch architecture. *Agricultural and Forest Meteorology* **1991,** *57* (1-3), 1-12.

Dufrêne, E.; Bréda, N., Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia* **1995,** *104*, 156-162.

Environmental science activities for the 21st century (ESA21). *Trees and Carbon*, 2008. 13p.

Geng, Y.; Dong, Y.; Meng, W., Progresses of terrestrial carbon cycle studies. *Advance in Earth Science* **2000,** *19*, 297-306.

Husch, B.; Beers, T. W.; Kershaw Jr, J. A., *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons: 2002.

Ipcc, I., Guidelines for national greenhouse gas inventories. *Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K, editors. Published: IGES, Japan* **2006**.

Jonckheere, I.; Fleck, S.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Coppin, P.; Weiss, M.; Baret, F., Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* **2004,** *121* (1-2), 19-35.

Kahyani, S., LAI and leaf biomass allometric equations for three common tree species in a Hyrcanian temperate forest. *Open Journal of Forestry* **2016,** *6* (02), 1.

Ketterings, Q. M.; Coe, R.; van Noordwijk, M.; Palm, C. A., Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* **2001,** *146* (1-3), 199-209.

Khalili Ardali, Z.; Mirazadi, Z.; Mansuor Samaie, R., Estimation of biomass, carbon sequestration and leaf area of Acer monspessulanum in Middle-Zagros, case study: Ghaleh Gol forests in Lorestan province. *Forest Research and Development* **2019,** *5* (2), 245-257. (In Persian)

Khosravi, S.; Namiranian, M.; Ghazanfari, H.; Shirvani, A., Estimation of leaf area index and assessment of its allometric equations in oak forests: Northern Zagros, Iran. *Journal of Forest Science* **2012,** *58* (3), 116-122.

Kucharik, C. J.; Norman, J. M.; Gower, S. T., Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* **1998,** *91* (1-2), 69-88.

Losi, C. J.; Siccama, T. G.; Condit, R.; Morales, J. E., Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* **2003,** *184* (1-3), 355-368.

Maghsoudlounejad, M.; Bonyad, A.E; Shataii, Sh., Determine the most suitable Allometric equations for Estimating Above-ground Biomass of the *Juniperus excelsa*. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2019**, *7* (15), 89-105. (In Persian).

Mahdavi, A.; Mirzaei, M., Estimation of leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area index of Cercis siliquastrum L. in forest reserve, Ilam. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2020,** *33* (1), 215-226.

Panahi, P.; Pourhashemi, M.; Hasaninejad, M., Comparison of specific leaf area in three native oaks of Zagros in national botanical garden of Iran. *Ecology of Iranian Forest* **2013,** *1* (2), 12-26. (In Persian).

Panahi, P.; Pourhashemi, M.; Nejad, M. H., Estimation of leaf biomass and leaf carbon sequestration of pistacia atlantica in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest* **2011,** *3* (1), 1-12. (In Persian)

Peper, P. J.; McPherson, E. G., Comparison of five methods for estimating leaf area index of open-grown deciduous trees. *Journal of Arboriculture* **1998,** *24*, 98-111.

Pierce, L. L.; Running, S. W., Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology* **1988,** *69* (6), 1762-1767.

Pilehvar, B.; Mirazadi, Z.; Taheri Abkenar, K.; Vayskarami, Z., Estimation of Leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area of oak trees in central of Zagros Forests (Case study: Shahanshah forests of Lorestan Province). *Plant and Ecosystem* **2015**, 10(41), 81-92. (In Persian)

Pourhashemi, M.; Eskandari, S.; Dehghani, M.; Najafi, T.; Asadi, A.; Panahi, P., Biomass and leaf area index of Caucasian Hackberry (Celtis caucasica Willd.) in Taileh urban forest, Sanandaj, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2012,** *19* (4), 609-620. (In Persian)

Sarvazad, A.; Fallah, A.; Vahedi, A. A., Changes in carbon storage of Quercus brantii Lindl in relation to physiographic factors of Zagros forests. *Forest Research and Development* **2022,** *8* (3), 329-341. (In Persian)

Smith, B.; Brand, G., Allometric biomass equation for species of herbs, shrubs and small trees. *North Central Forest Experiment Station* **1992**, 1-8.

Sohrabi, H.; Shirvani, A., Allometric equations for estimating standing biomass of atlantic pistache (*Pistacia atlantica* var. *mutica*) in

Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest* **2012,** *4* (1), 55-64. (In Persian)

Taiz, L.; Zeiger, E., Plant physiology 2nd ed Sinauer Associates. *Inc., Publ. Saunderland, Massachusetts. 792p* **1998**.

Zianis, D.; Mencuccini, M., Aboveground biomass relationships for beech (Fagus moesiaca Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for Fagus sp. *Annals of Forest Science* **2003,** *60* (5), 439-448.

Evaluation of leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area index of Hawthorn (*Crataegus aronia* L.) in Ilam forests

Ali Mahdavi[*2], Mohsen. Akbari[2], Mehdi Omidi[3] and Mostafa Naderi[4]

1- Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran. (a.mahdavi@ilam.ac.ir)
2- MSc in Forestry, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran. (mohsenakbari@gmail.com)
3- Assistant Professor, Department of Statistics and Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Ilam University, Ilam, I.R. Iran. (m.omidi@ilam.ac.ir)
4- Ph.D Student in Forestry, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (mostafanadery@ymail.com)

Received: 02 May 2023 Accepted: 21 June 2023

Abstract

The objective of this research was to estimate the biomass, carbon storage and leaf area index of hawthorn species (*Crataegus aronia L.*) in Sartaf forests of Ilam city. For this purpose, using random sampling method, 30 hawthorn trees were selected and variables of collar diameter, tree height, crown length and large and small diameter of the crown were measured. Then, the leaves from 1/4 or 1/8 of the crown of sample trees were collected. After drying the leaves in the oven, the dry weight of the leaves was determined. After burning a sufficient amount of dried leaves in an electric oven, the weight of organic matter and carbon content of the leaves were obtained. The weight method was used to calculate the leaf area index. The results showed that the average leaf biomass, leaf carbon sequestration, and carbon dioxide absorption from the atmosphere were 99.18, 46.61, and 170.59 kg per hectare, respectively. The average leaf area index of hawthorn species was calculated as 9.08 for each tree and 0.095 per hectare in study area. The results of allometric relationships using different regression models showed a positive and significant correlation between the variable of mean crown diameter with the variables of biomass and leaf area index of hawthorn trees in Ilam forests. In general, the results of this research show the ability of using allometric equations to measure biomass, carbon sequestration, and leaf area index of *Crataegus aronia*.

Keywords: Carbon sequestration, Mean tree method, Power regression model, Leaf Area Index.

[*] Corresponding author Tel: +989112202075