مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال شانزدهم، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۳
ص ۳۵۶-۳۴۱
مقاله پژوهشی

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/ijf.2024.396505.1926

زی‌توده، اندوختهٔ کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم (*Acer monspessulanum* L.) در جنگل‌های ایلام

علی مهدوی[۱]*، روح‌الله یعقوبی[۲]، مهدی امیدی[۳] و حمیدرضا ناجی[۴]

[۱]استاد گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
[۲]کارشناسی ارشد جنگل‌داری، گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
[۳]استادیار گروه آمار و ریاضی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
[۴]دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲)

چکیده

مقدمه: این پژوهش با هدف اندازه‌گیری و برآورد مقدار زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم (*Acer monspessulanum* L.) در سه محدوده از منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ در جنگل‌های شهرستان سیروان در استان ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی، ۲۰ درخت از هر محدوده (در مجموع ۶۰ اصله) گزینش شده و فاکتورهای کمّی آنها شامل قطر بزرگ و کوچک تاج، ارتفاع درخت، طول تاج و قطر یقه اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌های یک‌چهارم تا یک‌هشتم تاج به نسبت بزرگی و کوچکی تاج درختان نمونه جمع‌آوری شد. پس از خشک کردن در داخل آون، وزن خشک برگ‌ها و پس از سوزاندن مقدار کافی از برگ‌های خشک‌شده در کوره الکتریکی، وزن مواد آلی و ضریب کربن برگ‌ها (۰/۴۷) به دست آمد. برای محاسبهٔ شاخص سطح برگ از روش وزنی و برای تعمیم نتایج به‌دست‌آمده از درختان نمونه به کل جنگل از روش درخت متوسط استفاده شد.

نتایج: براساس نتایج، متوسط زی‌تودهٔ برگ، متوسط ذخیرهٔ کربن برگ و متوسط مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو در منطقهٔ قلارنگ ۲۲۱/۲۸، ۱۰۳/۶۸، ۳۸۰/۵۰؛ در منطقهٔ مانشت ۱۹۹/۹۲، ۱۰۰/۳۸، ۳۶۸/۳۴ و در منطقهٔ میان‌تنگ ۱۸۶/۳۲، ۸۷/۳۸، ۳۲۰/۶۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. متوسط شاخص سطح برگ کیکم برای هر درخت نیز ۱/۵۲ و در هکتار ۰/۱۱۹ محاسبه شد. ارزش اقتصادی ترسیب کربن در برگ درختان کیکم ۲۱/۰۴۵ دلار در هکتار محاسبه شد که معادل ۱۰۵۲۲۵۰۰ ریال برآورد می‌شود.

نتیجه‌گیری: تفاوت در متغیرهای بررسی‌شدهٔ کیکم در سه منطقهٔ مدنظر ممکن است به‌علت تفاوت در تراکم توده، مراحل توالی و اندازهٔ درختان و نیز اقدامات مدیریتی اعمال‌شده یا شرایط متفاوت تخریب باشد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، روش درخت متوسط، شاخص سطح برگ، کیکم، مانشت و قلارنگ.

* نویسندهٔ مسئول
شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۲۰۲۰۷۵
ایمیل: a.mahdavi@ilam.ac.ir

مقدمه

جنگل‌ها حدود یک‌سوم خشکی‌های کرهٔ زمین را در بر می‌گیرند و با توجه به تأثیر مهم در تغییرات اقلیم، تنظیم آب‌وهوا، جلوگیری از فرسایش خاک، مبارزه با آلودگی هوا، حفاظت خاک و چرخهٔ کربن برای زندگی بشر اهمیت زیادی دارند (Otukei & Emanuel, 2015). جنگل‌ها اهمیت زیادی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو دارند و برای مثال سالیانه حدود ۲ بیلیون تن دی‌اکسید کربن جذب می‌کنند (FAO, 2010). جنگل‌ها مؤلفه‌ای مهم در چرخهٔ جهانی کربن به شمار می‌روند و در حدود ۸۶ درصد از کربن روی زمین و ۷۳ درصد کربن زیر زمین در آنها ذخیره شده است (Vashum & Jayakumar, 2012). افزون‌بر این، ۴۹ درصد از ذخیرهٔ کل کربن جنگل‌ها در تنهٔ درختان افتاده و سرپا، ۲۷ درصد در لاشریزه، شاخه‌ها و دیگر محصولات چوبی و بقیه در خاک و کف جنگل انباشته شده است (Williams & Gresham, 2006).

لازمهٔ مدیریت بوم‌سازگان جنگل، آگاهی از جنبه‌های مختلف شاخص‌های اکولوژیک آن است که فقدان اطلاعات مربوط به آن در داخل کشور به‌خوبی مشهود است. اندازه‌گیری زی‌تودهٔ گیاهان و به‌ویژه زی‌تودهٔ درختان، یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جنگل و بررسی‌های جریان انرژی در بوم‌سازگان به‌حساب می‌آید (Zianis et al., 2005). بررسی فاکتور زی‌توده یکی از روش‌های کارآمد برای برآورد غیرمخرب کربن اندوخته در درختان و توده‌های جنگلی است که در سال‌های اخیر به‌دلیل اهمیت مسائل مربوط به تغییر اقلیم، مورد توجه پژوهشگران این بخش قرار گرفته است. بررسی زی‌تودهٔ برگی که هرساله به خاک افزوده می‌شود و می‌تواند در فرایند اصلاح و بهبود کیفیت خاک تأثیر اساسی داشته باشد نیز حائز اهمیت فراوان است. در سال‌های اخیر، برآورد زی‌تودهٔ اندام‌های مختلف درختان جنگلی به‌دلیل تأثیر در چرخه کربن (Litton et al., 2007)، درک چرخهٔ جهانی کربن (Lehtonen, 2005) و نیز به‌منظور آماربرداری ملی گازهای گلخانه‌ای (Watson et al., 2000) در حال افزایش است.

برآورد زی‌توده برای تشخیص ساختار جنگل مهم است و شاخصی مهم برای ارزیابی رویشگاه از نظر بیواکولوژیکی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شود (Cole & Ewel, 2006). با وجود این، زی‌تودهٔ انباشته‌شده در اندام‌های غیر از تنه کمتر در نظر گرفته شده است و بیشتر روش‌های توسعه‌یافته تنها به برآورد زی‌تودهٔ موجود در تنه توجه داشته‌اند (Hakkila, 1989). زی‌تودهٔ ذخیره‌شده در شاخه، سرشاخه، برگ و ریشهٔ درختان افزون‌بر اینکه حجم زیادی از زی‌توده را در مقیاس وسیع تشکیل می‌دهند، از اهمیت فراوانی در اکولوژی جنگل برخوردارند. زیرا این بخش از درختان سبب تولید پسماند چوبی درشت (Coarse woody debris) و پسماند چوبی ریز (Fine woody debris) می‌شود که منابعی مهمی از کربن و مواد مغذی را فراهم می‌کنند و برای مهره‌داران، بی‌مهرگان و قارچ‌ها، زیستگاه و منبع غذایی مناسبی محسوب می‌شوند. آنها هم‌چنین منبعی برای مادهٔ آلی خاک در اکوسیستم‌های جنگلی هستند (Fasth et al., 2011)، بنابراین ایجاد و بهبود روش‌هایی برای ارزیابی سریع و قابل اعتماد از مقدار زی‌تودهٔ ذخیره‌شده در اندام‌های غیر از تنهٔ درختان مثل شاخه، سرشاخه و برگ، ضروری است (Lehtonen, 2005). از طرفی به‌دلیل اینکه سازوکار رویش و تولید زی‌تودهٔ گیاهی، طی فرایند فتوسنتز صورت می‌گیرد، درک درست چگونگی رویش درخت هم مستلزم اندازه‌گیری مقدار زی‌تودهٔ درختی است (West, 2009). تعیین هرچه دقیق‌تر زی‌تودهٔ درختان، سهم جنگل را در چرخهٔ جهانی کربن مشخص می‌کند و در مدیریت پایدار منابع طبیعی نیز بسیار اهمیت دارد (Zianis & Mencuccini, 2003)، از سوی دیگر، دلیل اهمیت بررسی زی‌توده در اکوسیستم‌های جنگلی این است که مقدار زی‌توده هم بیانگر توان تولید در واحد سطح

یا زمان (مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل) است و هم بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی تغییر تراکم در جنگل تأثیر می‌گذارد (Husch et al., 2003).

یکی دیگر از شاخص‌های اکولوژیکی کمتر شناخته‌شده در جنگل‌های کشور، شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) گونه‌های مختلف گیاهی و درختی این بوم‌سازگان است. شاخص سطح برگ، مجموع مساحت یک طرف برگ گیاهان در واحد سطح زمین تعریف می‌شود. این شاخص به‌صورت یک عدد و بدون واحد معین نشان داده می‌شود. برخی از پژوهشگران نیز برای گونه‌های دارای برگ‌های سوزنی و غیرپهن، پیشنهاد محاسبهٔ نصف مجموع سطح برگ در واحد سطح زمین را ارائه داده‌اند (Lovynska et al., 2018).

تأثیر و اهمیت شاخص سطح برگ در ارتباط و وابستگی آن با بسیاری از فرایندهای اکولوژیک مانند میزان فتوسنتز و تبخیر و تعرق، تولید خالص اولیه و ضریب تبادل انرژی بین گیاهان و اتمسفر آشکار می‌شود (Pierce et al., 1994; Majasalmi et al., 2013). میزان 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 یادشده همراه با تفاوت در روش‌های برآورد، سبب ایجاد دامنهٔ تغییرات زیادی برای مقادیر محاسبه‌شدهٔ شاخص سطح برگ در گزارش‌های علمی شده است. دامنهٔ تغییرات شاخص سطح برگ براساس نتایج پژوهش‌های منتشرشده، از ۰/۴ برای گونه *Quercus petraea* (Matt) Liebl. تا ۱۴ برای گونه *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco گزارش شده است (Jonckheere et al., 2004). به‌طورکلی زی‌تودهٔ برگ، شاخص سطح برگ و سطح ویژهٔ برگ، شاخص‌های اکولوژیکی هستند که برای شناخت وضعیت اکوسیستم‌ها و پایش و ارزیابی تغییرات ایجادشده در طول زمان بسیار مهم هستند (Adl, 2007).

از جمله پژوهش‌ها در زمینهٔ ترسیب کربن و شاخص سطح برگ گونه‌های مختلف در جنگل‌های زاگرس و هیرکانی می‌توان به تحقیقات Adl (2007) دربارهٔ بلوط ایرانی و بنه، Panahi et al. (2011) در مورد بنه، khosravi et al. (2012) در مورد بلوط ایرانی، Pilehvar et al. (2015) در مورد بلوط ایرانی، Kahyani et al. (2016) دربارهٔ راش شرقی، Nowghani et al. (2016) در زمینهٔ چند گونهٔ درختی در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، Attarod et al. (2018) دربارهٔ بلوط ایرانی، Mahdavi & Mirzaei (2020) در مورد ارغوان، Askarii et al. (2021) در مورد مقایسهٔ ذخیرهٔ کربن در رویشگاه‌های مختلف جنگلی در استان کهگیلویه و بویراحمد و Akbari (2021) دربارهٔ زالزالک اشاره کرد.

با وجود تنوع زیاد گونه‌های درختی و درختچه‌ای در جنگل‌های زاگرس، به‌دلیل اینکه درصد زیادی از ترکیب گونه‌ای این جنگل‌ها را گونهٔ بلوط در بر می‌گیرد (Sagheb Talebi et al., 2014)، بیشتر پژوهش‌ها به این گونه اختصاص داده شده و توجه کمتری به گونه‌های دیگر که بی‌گمان اهمیت زیادی در این اکوسیستم دارند شده است. یکی از مهم‌ترین گونه‌های مؤثر در بهبود تنوع زیستی و گرمایش جهانی کیکم است. کیکم یکی از گونه‌های مهم جنس *Acer* از تیرهٔ افرا است که در جنگل‌های زاگرس همراه با درختان بلوط مشاهده می‌شود و با همهٔ شرایط سخت محیطی سازگار است و با تحمل شرایط نامساعد در فلور این منطقه به‌طور پراکنده و آمیخته با گونه‌های دیگر تأثیر مهمی در حفاظت خاک و حوضه‌های آبخیز دارد (Pourbabaei et al., 2014). در نتیجه ضروری است که تأثیر این گونه در ترسیب کربن به‌منزلهٔ یکی از مهم‌ترین گونه‌های پوششی مناطق زاگرس بررسی شود. با بررسی‌های بیشتر مشخص شد که در تعدادی از پژوهش‌های آنها نیز به‌طور اختصاصی به گونهٔ کیکم در مناطق مختلف ایران پرداخته شده است؛ از جمله استان لرستان

(Khalili Ardali et al., 2019) یا همراه با بقیهٔ گونه‌ها در استان یزد (Olfati et al., 2013). به‌دلیل برقراری شرایط متفاوت رویشگاهی در مناطق مختلف برای یک گونه و همچنین احتمال کاربرد روش‌های متفاوت توسط پژوهشگران برای برآورد زی‌توده و ترسیب کربن در اندام‌های مختلف یک گونه، احتمال برآورد متفاوت از مقدار زی‌توده و ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گونه‌ای مشابه در پژوهش‌ها و مناطق مختلف وجود دارد؛ بنابراین در این پژوهش سعی شد زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم در سه رویشگاه مختلف (مانشت، میان‌تنگ و قلارنگ) از مناطق پراکنش این گونه در استان ایلام، با استفاده از روشی تا حدودی متفاوت‌تر با پژوهش‌های گذشته برآورد شود. شاید نتایج این پژوهش بتواند کمکی برای تکمیل چنین پژوهش‌هایی در گونه‌های مختلف جنگلی و مقایسهٔ توان آنها در جذب دی‌اکسید کربن اتمسفر و ترسیب آن در اندام‌های مختلف درختان از رویشگاه‌ها و مناطق مختلف باشد.

شایان ذکر است که در گذشته اندازه‌گیری درصد کربن بیشتر در بخش چوبی درختان انجام می‌گرفت، زیرا بافت‌های چوبی بخش بزرگی از کربن را به خود اختصاص می‌دهند؛ اما آگاهی از مقدار ذخیرهٔ کربن در اندام‌های مختلف درختان می‌تواند تأثیر مهمی در بررسی چرخهٔ کربن داشته باشد. با اینکه در برخی از پژوهش‌ها تنها زی‌تودهٔ برگ اندازه‌گیری شده است، در این پژوهش به روش مستقیم مقدار کربن ترسیب‌یافته در برگ کیکم اندازه‌گیری و با استفاده از آن مقدار ترسیب کربن در برگ درخت متوسط و در واحد سطح (هکتار) کل جنگل برآورد شد. شاخص سطح برگ و سطح ویژهٔ برگ کیکم نیز اندازه‌گیری شد. امید است که بتوان از نتایج این پژوهش برای برنامه‌ریزی بهتر با هدف حفاظت بهینه از این گونه و نهال‌های آن و نیز بهبود وضعیت موجود گونهٔ کیکم در مناطق زاگرس استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ استان ایلام انجام گرفت. این منطقه با وسعت ۳۳ هزار هکتار، در طول ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقهٔ شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقهٔ شمالی واقع شده است. دامنهٔ تغییرات ارتفاعی بین ۱۱۰۵ تا ۲۶۵۰ متر از سطح دریاست. میانگین بارندگی سالانهٔ منطقه در دامنهٔ زمانی سی‌ساله (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵) ۵۷۳ میلی‌متر محاسبه شده است (Attarod et al., 2018). بررسی توزیع بارندگی ایستگاه‌های مختلف حاکی از آن است که رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است. پوشش گیاهی منطقه را می‌توان به دو اشکوب فوقانی و تحتانی تقسیم کرد که اشکوب فوقانی متشکل از بلوط ایرانی با ۹۰ درصد پوشش و اشکوب تحتانی شامل گونه‌های بنه، کیکم، محلب، شن، داغداغان و گونه‌های دیگر است (Darvishnia et al., 2012).

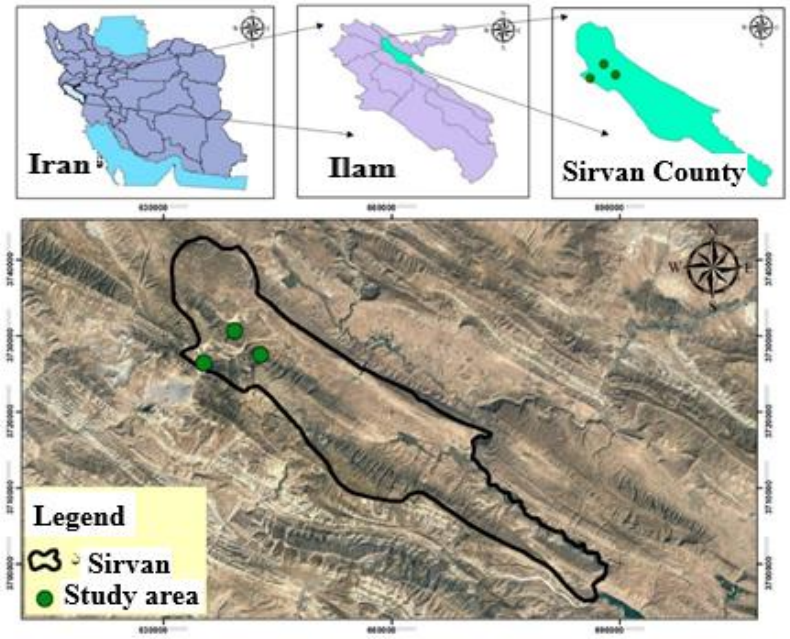
شیوهٔ اجرای پژوهش

برای اجرای این پژوهش پس از جنگل‌گردشی و بررسی‌های میدانی، سه منطقهٔ مختلف از رویشگاه‌های کیکم در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ انتخاب شد. در مجموع ۶۰ درخت کیکم (۲۰ درخت در هر منطقه) به‌طور کاملاً تصادفی به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. مشخصه‌های کمی پایه‌های انتخاب‌شده مانند قطر بزرگ و کوچک تاج (CD)، ارتفاع درخت (H)، طول تاج (CL) و قطر یقه (DRC) اندازه‌گیری و تعداد در هکتار درختان کیکم در هر منطقه نیز برآورد شد.

اندازه‌گیری زی‌توده و ذخیرهٔ کربن و مقدار جذب CO_2 در برگ‌های درخت کیکم

برای برآورد زی‌توده از روش مستقیم چیدن برگ درختان نمونه و توزین آنها استفاده شد. سطح تاج هر درخت به‌صورت یک دایره در نظر گرفته شد و برای هر درخت همهٔ برگ‌های یک‌چهارم تا یک‌هشتم (اگر درخت بزرگ بود یک‌هشتم) از روی تاج درخت

برداشت شد (Adl, 2007; Panahi et al., 2013; Mahdavi & Mirzaei, 2020). برای از بین بردن خطای آماربرداری، جمع‌آوری برگ‌ها از یک درخت به درخت دیگر به‌صورت منظم انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقهٔ پژوهش

Figure 1. Location of the study area

از هر درخت ۱۰ برگ (در مجموع ۶۰۰ برگ) به‌طور تصادفی انتخاب و به‌وسیلهٔ دستگاه سطح برگ‌سنج سطح برگ‌ها اندازه‌گیری شد. برگ‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از ترازوی دیجیتالی توزین شدند (وزن تر) و سپس به آزمایشگاه انتقال یافتند و ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجهٔ سانتی‌گراد در داخل آون قرار گرفتند (Panahi et al, 2011). سپس برگ‌ها خارج شدند و ۳۰ تا ۴۵ دقیقه در دسیکاتور قرار گرفتند تا خشک شوند و بار دیگر وزن شدند (وزن خشک). اعداد به‌دست‌آمده از یک‌هشتم سطح تاج تبدیل به کل شدند (ضرب در ۸).

درصد کربن آلی از روش احتراق خشک با جریان هوا در کورهٔ الکتریکی (Losi et al., 2003) با کمک رابطهٔ ۱ و ۲ محاسبه شد.

رابطهٔ ۱ $Ash\% = (W_3-W_1/ (W_2-W_1) * 100$

رابطهٔ ۲ $C\% =n (100-Ash\%) *0.58$

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.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار ذخیرهٔ کربن برگ با استفاده از روش درخت متوسط (Mean Tree Method) به کل درخت (در اینجا کل برگ‌های درخت) تعمیم داده شد. در این روش میانگین اطلاعات جمع‌آوری‌شده از هر درخت نمونه، اندازه‌های درخت متوسط را تعیین می‌کند. سپس با محاسبهٔ تعداد کل درختان در واحد سطح جنگل مورد نظر و ضرب کردن اندازه‌های درخت متوسط به تعداد کل درختان، هدف مورد نظر به دست می‌آید (Adl, 2007).

برای برآورد مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو، مقدار کربن آلی در عدد ۳/۶۷ ضرب شد (Panahi et al., 2011; Brooks, 1998; ESA21, 2008). با استفاده از روش درخت متوسط و محاسبهٔ تعداد در هکتار درختان کیکم در منطقه، نتایج نمونه‌برداری به کل منطقه تعمیم داده شد (Akbari, 2021).

ارزش اقتصادی ترسیب کربن

پس از تعیین مقدار ترسیب کربن، ارزش اقتصادی کربن ترسیب‌یافته در برگ‌های درختان کیکم محاسبه شد. در این پژوهش از روش مالیات بر کربن با استفاده از میانگین مالیات کشورهای مختلف که به‌دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای یا دی‌اکسید کربن توسط صنایع در نظر گرفته می‌شوند استفاده شد. با توجه به نبود قانون مالیات بر کربن در ایران و نبود قیمتگذاری تولیدات کربن، میانگین نرخ مالیات بر کربن در کشورهای مختلف مبنای محاسبه قرار داده شد که مقدار آن ۶۱ دلار در هر تن است (Rosta, 2011).

اندازه‌گیری سطح ویژه و شاخص سطح برگ کیکم

در رابطهٔ ۳ سطح ویژهٔ برگ یک درخت (SLA_i) برابر است با مساحت برگ‌های یک درخت (A_i) تقسیم بر وزن خشک برگ‌ها (mi):

رابطهٔ ۳ $SLA_i = A_i / mi$

به‌دلیل دشواری و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری مساحت همهٔ برگ‌های درخت، برای اندازه‌گیری سطح ویژهٔ برگ یک درخت از SLAs زیرنمونه‌هایی از برگ درخت استفاده می‌شود (رابطهٔ ۴):

رابطهٔ ۴ $SLA_i = SLAs = A_s / m_s$

A_s (مساحت برگ‌های زیرنمونه)، m_s (وزن خشک زیرنمونه).

آن‌گاه برای برآورد کل مساحت برگ‌های یک درخت (Ai) سطح ویژهٔ برگ زیرنمونه در زی‌تودهٔ خشک کل برگ‌های آن درخت ضرب می‌شود (رابطهٔ ۵):

رابطهٔ ۵ $mi*SLAs=Ai$

با محاسبهٔ وزن خشک برگ‌ها و با استفاده از رابطهٔ ۶ بین سطح برگ با وزن خشک، سطح همهٔ برگ‌های درختان و در نهایت با استفاده از رابطهٔ زیر شاخص سطح برگ کیکم محاسبه شد (Khosravi et al., 2012; Mahdavi & Mirzaei, 2020):

رابطهٔ ۶ $$LAI = \frac{d \times \sum A_i}{n \times 10000}$$

LAI: شاخص سطح برگ

d: تعداد درختان (اصله در هکتار)

A_i: سطح برگ‌های یک اصله درخت (متر مربع)

n: تعداد نمونه‌ها

روش تحلیل

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، برای مقایسهٔ زی‌تودهٔ برگ، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ در سه منطقه یادشده از تجزیهٔ واریانس یکطرفه ANOVA و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

برای تجزیهٔ واریانس ابتدا آزمون برابری میانگین متغیرها بررسی شد و سپس در صورت وجود اختلاف، از آزمون تعقیبی دانکن برای تعیین اختلافات در زیرگروه‌ها استفاده شد. تصمیم‌گیری برای تأیید یا رد فرض عدم تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته بر اساس p- مقدار انجام می‌پذیرد. بدین صورت که اگر برای متغیری خاص مقدار p- مقدار از ۰/۰۵ کمتر باشد فرض صفر یعنی فرض برابری میانگین شاخص تحت بررسی در سه منطقه رد می‌شود.

نتایج

نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند (جدول ۱). آماره‌های کمّی متغیرهای اندازه‌گیری و محاسبه‌شده به‌ازای اندازه‌های درخت متوسط در جدول ۲ نشان داده شده است. برای محاسبهٔ مقدار ترسیب کربن در برگ، مقدار ضریب کربن در برگ‌های کیکم بر اساس رابطهٔ ۱، ۴۷ درصد زی‌تودهٔ خشک برگ به دست آمد. همچنین در این پژوهش پس از شمارش درختان کیکم در سه محدودهٔ تحت بررسی مشخص شد که میانگین تعداد در هکتار درختان کیکم در قلارنگ، مانشت و میان‌تنگ به‌ترتیب ۴۸، ۴۲ و ۳۴ اصله است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود p-مقدار برای همهٔ شاخص‌ها از ۰/۰۵ بیشتر است که حاکی از تأیید فرض نرمال بودن داده‌های هر شاخص است.

جدول ۱- نتایج آزمون نرمال بودن متغیرهای اندازه‌گیری‌شده

Table 1. The results of the normality test of the measured variables

متغیر Variable	Z-کولموگروف اسمیرنوف Kolmogorov Smirnov	P-مقدار P-value
قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	0.667	0.765
ارتفاع (متر) Height((m)	0.817	0.516
ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	0.752	0.624
متوسط قطر تاج (متر) Mean diameter of crown (m)	0.729	0.662
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	0.431	0.992
میانگین وزن تک‌برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of single leaf (gr)	0.763	0.606
میانگین سطح تک‌برگ (سانتی‌متر مربع) Mean area of a single leaf (cm^2)	0.678	0.208
زی‌توده کل برگ‌های درخت (کیلوگرم) Total leaves biomass of tree (kg)	0.917	0.369
متوسط سطح ویژه برگ‌های درخت (سانتی‌متر مربع / گرم) Average specific area of tree leaves(cm^2/gr)	0.765	0.210
جذب CO_2 از جو (کیلوگرم) Atmosphere CO_2 absorption (kg)	1.038	0.231
ترسیب کربن برگ‌ها (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaves(kg)	1.043	0.226
شاخص سطح برگ درخت Leaf area index (LAI)	0.751	0.625

جدول ۲- میانگین متغیرهای بررسی‌شده به‌ازای درخت متوسط برای سه منطقهٔ بررسی‌شده

Table 2. The mean of the examined variables per average tree for three studied areas

متغیر Variable	مانشت Manesht	میان‌تنگ MianTang	قلارنگ Qalarang
قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	29.70	33.12	30.95
ارتفاع (متر) Height((m)	5.55	6.20	5.45
ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	3.93	4.15	3.72
متوسط قطر تاج (متر) Mean diameter of crown (m)	5.23	4.91	5.07
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	22.07	20.62	21.28
میانگین وزن تک‌برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of single leaf (gr)	0.12	0.09	0.13
میانگین سطح تک‌برگ (سانتی‌متر مربع) Mean area of a single leaf (cm^2)	7.17	5.5	8.41
میانگین تعداد کل برگ درخت The mean total number of leaves of tree	39710	60994	35469
مساحت کل برگ‌های درخت (cm^2) The total leaves area of tree(cm^2)	285178	324262	278676
زی‌تودهٔ کل برگ‌های درخت (گرم) Total leaves biomass of tree (gr)	4765	5489	4610
میانگین سطح ویژهٔ برگ‌های درخت (سانتی‌متر مربع / گرم) Average specific area of tree leaves(cm^2/gr)	59.84	59.07	60.45
شاخص سطح برگ درخت Leaf area index (LAI)	1.33	1.85	1.34
شاخص سطح برگ در هکتار Leaf area index per hectare	0.114	0.112	0.127
ترسیب کربن برگ‌ها (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaves(kg)	2.39	2.57	2.16
جذب CO_2 از جو (کیلوگرم) Atmosphere CO_2 absorption (kg)	8.77	9.43	7.92

پس از محاسبهٔ تعداد در هکتار درختان کیکم و با در نظر گرفتن اندازه‌های درخت متوسط، متوسط زی‌تودهٔ برگ در واحد سطح (هکتار)، متوسط ذخیرهٔ کربن برگ و مقدار جذب Co_2 از جو توسط برگ برحسب (کیلوگرم) درختان کیکم در واحد سطح (هکتار) برآورد شد، جدول ۳.

نتایج تجزیهٔ واریانس و آزمون مقایسهٔ میانگین‌های دانکن

نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در جدول ۴ آمده است.

جدول ۳- زی‌تودهٔ برگ، ترسیب کربن برگ و مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم در هکتار) توسط برگ‌های درخت کیکم

Table 3. Leaf biomass, leaf carbon sequestration and the amount of CO_2 absorption from the atmosphere ($kg.ha^{-1}$) by the leaves of *Acer monspessulanum* trees

منطقه Region	تعداد در هکتار Number per hectare	زی‌توده برگ Leaf biomass	ترسیب کربن برگ Carbon sequestration of leaf	مقدار جذب CO_2 از جو CO_2 absorption from atmosphere
قلارنگ Qalarang	48	221.28	103.68	380.50
مانشت Manesht	42	199.92	100.38	368.34
میان‌تنگ MianTang	34	186.32	87.38	320.68
میانگین کل Total avarage	41.3	200.30	94.16	345.68

جدول ۴- نتایج آزمون آنالیز واریانس در شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده

Table 4. The results of ANOVA in the measured variables

متغیر Variable	آماره F	p- مقدار p-value
قطر یقه درخت (cm) Collar diameter (cm)	0.632	0.535
ارتفاع درخت (m) Height((m)	2.185	0.122
ارتفاع تاج (m) Crown height (m)	0.948	0.394
قطر متوسط تاج Mean diameter of crown (m)	0.49	0.615
مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^2)	0.169	0.845
میانگین وزن برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of single leaf (gr)	19.833	0.000**
متوسط زی‌توده کل برگ درخت Total biomass of leaves(gr)	7.576	0.01*
مقدار جذبCO_2درخت Atmosphere CO_2 absorption (kg)	7.798	0.01*
ترسیب کربن برگ درخت Carbon sequestration of leaves	7.798	0.01*
شاخص سطح برگ درخت Leaf area index (LAI)	3.043	0.056

*معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد

*Significance at the 5% level, ** Significance at the 1% level

همان‌طور که ملاحظه می‌شود p-مقدار برای شاخص‌های میانگین وزن برگ نمونه‌ها، مقدار جذب CO_2 هر درخت و ترسیب کربن برگ هر درخت از ۰/۰۵ کمتر شده است، از این‌رو برای این شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری در سه منطقه وجود دارد. نتیجهٔ آزمون دانکن برای تعیین اختلافات در زیرگروه‌های همگن و ناهمگن در جدول ۵ آمده است. این جدول بیان می‌کند که برای هر شاخص، ردیف اول کمترین میانگین، ردیف دوم دومین میانگین و ردیف آخر بیشترین میانگین را دارد. همچنین مناطقی که در یک زیرگروه قرار می‌گیرند اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

ارزش اقتصادی کربن ترسیب‌شده توسط برگ‌های گونه کیکم

با توجه به اینکه ترسیب کربن توسط برگ‌های درختان کیکم در این پژوهش به‌طور متوسط ۹۴/۱۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و این میزان معادل ۳۴۵ کیلوگرم در هکتار گاز CO_2 است که از اتمسفر جذب برگ‌های درختان کیکم می‌شود و کربن آن در برگ‌های درخت ترسیب می‌شوند، با ضرب این مقدار در میانگین مالیات انتشار گاز دی‌اکسید کربن، ارزش اقتصادی ترسیب کربن در برگ درختان کیکم معادل ۲۱/۰۴۵ دلار در هکتار برآورد می‌شود که معادل ریالی آن با نرخ دلار ۵۰۰۰۰۰ ریال برابر با ۱۰۵۲۲۵۰۰ ریال در هکتار به دست می‌آید.

جدول ۵- نتیجهٔ آزمون دانکن برای تعیین اختلافات بین مناطق

Table 5. The result of Duncan's test to determine differences between regions

متغیر	منطقه Region	زیرگروه‌های همگن در سطح ۵ درصد Homogeneous subgroups at the 5% level 1	2	3
میانگین وزن برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of single leaf (gr)	قلارنگ Qalarang	0.09		
	مانشت Manesht		0.12	
	میان‌تنگ MianTang			0.13
زی‌تودهٔ کل برگ هر درخت (کیلوگرم) Total biomass of leaves(gr)	قلارنگ Qalarang	4.61		
	مانشت Manesht		4.76	
	میان‌تنگ MianTang			5.48
مقدار جذب CO_2 هر درخت (کیلوگرم) Atmosphere CO_2 absorption (kg)	قلارنگ Qalarang	7.92		
	مانشت Manesht		8.77	
	میان‌تنگ MianTang			9.43
ترسیب کربن برگ هر درخت (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaves	قلارنگ Qalarang	2.16		
	مانشت Manesht		2.29	
	میان‌تنگ MianTang			2.57

بحث

برآورد زی‌تودهٔ گیاهان و درختان یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی مدیریتی جنگل و بررسی‌های جریان انرژی در بوم‌سازگان به حساب می‌آید (Alinejadi et al., 2016). اهمیت مقدار زی‌تودهٔ برگ درختان از آنجا ناشی می‌شود که عمل فتوسنتز فرایند تولید مادهٔ آلی در برگ است و برگ‌ها اندام اصلی دریافت نور، فتوسنتز و تعرق در گیاهان هستند (Fang et al., 2007).

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی دربارهٔ ارزیابی و برآورد مقدار زی‌تودهٔ اندام‌های مختلف گیاهان و درختان از گونه‌های مختلف در ایران انجام گرفته است(Naghash Zargaran, 2001; Adl, 2007; Panahi et al., 2011; Pourhashemi et al., 2012; Attarod et al., 2018; Mahdavi & Mirzaei, 2020; Akbari, 2021). برخی از این پژوهش‌های تنها به برآورد مقدار زی‌توده و ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان از گونه‌های *Crataegus aronia* L. و *Cercis siliquastrum* L. پرداخته‌اند یا در کنار برگ، مقدار ترسیب کربن در بقیهٔ اندام‌های درختان را نیز بررسی کرده‌اند، از جمله در گونه‌های بلوط (*Quesrcus* sp.)، بادام (*Amygdalus* sp.)، بنه (*Pistacia* sp.)، صنوبر (*Populus* sp.) و برخی از گونه‌های دست‌کاشت سوزنی‌برگان و غیره.

براساس نتایج این پژوهش، مقدار زی‌تودهٔ برگ در سه منطقهٔ قلارنگ، مانشت و میان‌تنگ با تعداد در هکتار گونهٔ کیکم به‌ترتیب ۴۸،۴۲ و ۳۴ اصله درخت برابر با ۲۲۱/۲۸، ۱۹۹/۹۲ و ۱۸۶/۳۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۵ نتایج آزمون مقایسهٔ میانگین‌های دانکن برای مقایسهٔ میزان زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ براساس درخت متوسط نشان داده شد، بیشترین میزان این متغیرها مربوط به منطقهٔ میان‌تنگ با اختلاف معنی‌دار نسبت به دو منطقهٔ دیگر پژوهش است. اما میزان این متغیرها براساس هکتار مشاهده می‌شود که کمترین مقادیر این متغیرها مربوط به منطقهٔ میان‌تنگ است که علت آن، تعداد در هکتار کمتر درختان کیکم این منطقه نسبت به دو منطقهٔ دیگر است.

مقایسهٔ برآوردهای به‌دست‌آمده از زی‌تودهٔ برگ کیکم در این پژوهش با پژوهش‌های انجام‌گرفته در گونه‌های دیگر جنگلی در مناطق مختلف جنگلی زاگرس نشان‌دهندهٔ تفاوت نتایج است. برای مثال، مقدار زی‌تودهٔ برگ برای بلوط ایرانی *Quercus brantii* subsp. *persica)*) ۱۳۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار، برای بنه (*Pistacia* sp.) ۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار (Adl, 2007)، برای داغداغان (*Celtis caucasica* Willd.) ۱۲۶۲ کیلوگرم در هکتار (Pourhashemi et al., 2012) و برای بنه ۶۹/۴ کیلوگرم در هکتار (Panahi et al., 2011) محاسبه شد. از میان پژوهش‌های مشابه خارجی، Karlik & Mckay (2002) مقدار زی‌تودهٔ برگ گونهٔ بلوط (*Quercus douglassi*) را در ایالت کالیفرنیا حدود ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و Fang et al. (2007) متوسط زی‌تودهٔ برگ را برای صنوبر با تراکم‌های کاشت متفاوت بین ۵۰۰ تا ۱۱۱۱ اصله در هکتار حدود ۱/۹۸ تن در هکتار برآورد کردند؛ اما Khalili Ardali et al. (2019) در پژوهش دربارهٔ برگ کیکم در استان لرستان مقدار زی‌تودهٔ برگ این گونه را ۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. با مقایسهٔ برآورد مقدار زی‌تودهٔ برگ کیکم در پژوهش آنها با نتایج پژوهش پیش رو، با وجود یکسان بودن گونه اختلاف فاحشی مشاهده می‌شود. یکی از اصلی‌ترین دلایل این تفاوت، اختلاف تراکم درختان کیکم در دو منطقه است. میانگین تراکم درختان کیکم در مجموع سه منطقهٔ بررسی‌شده در استان ایلام ۴۱/۳ اصله در هکتار برآورد شد، درحالی که در استان لرستان ۲/۵ اصله در هکتار بیان شد. به‌طور کلی، زی‌تودهٔ خشک درختان به عواملی همچون نوع گونه، تراکم، اندازهٔ درخت (ارتفاع و قطر تاج درخت) و سن درختان بستگی دارد (Panahi et al., 2011; Pourhashemi et

al., 2012: Mahdavi & Mirzaei, 2020; Akbari, 2021).

در این پژوهش با استفاده از روش احتراق و روش محاسباتی Allen et al. (1086) ضریب تبدیل برای تبدیل زی‌تودهٔ خشک به ترسیب کربن در برگ گونه کیکم ۰/۴۷ محاسبه شد. با مقایسهٔ این ضریب تبدیل برای ترسیب کربن برگ کیکم با گونه‌های دیگر نتایج به‌نسبت مشابهی مشاهده می‌شود؛ به‌طوری که این ضریب برای بنه ۰/۴۶۷ (Olfati et al., 2013)، برای ارغوان ۰/۴۸ (Mahdavi & Mirzaei, 2020) و برای زالزالک ۰/۴۸ (Akbari, 2021) محاسبه شد. در بسیاری از پژوهش‌ها مقدار کربن ترسیب‌شده در اندام‌های درختان ۵۰ درصد زی‌تودهٔ خشک درختی در نظر گرفته می‌شود، درحالی که برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که به‌دلیل تغییرات مقدار کربن در گونه‌های مختلف گیاهی و درختی این فرضیه شاید دقت لازم را نداشته باشد. Thomas & Martin (2012) در یک بررسی جامع دربارهٔ مقدار کربن موجود در گونه‌های درختان گزارش کردند که محتوای کربن چوب گونه‌های درختان استوایی از ۴۱/۹ تا ۵۱/۶ درصد، در گونه‌های نیمه‌گرمسیری و مدیترانه‌ای از ۴۵/۷ تا ۶۰/۷ درصد و در سوزنی‌برگان و درختان جنگل‌های معتدله ۴۳/۴ تا ۵۵/۶ درصد متغیر است. همچنین محتوای کربن بیشتری در چوب سوزنی‌برگان (۰/۷ ± ۵۰/۸ درصد) نسبت به نهاندانگان (۰/۳ ± ۴۷/۷ درصد) به دست آمد. به‌طور کلی، بیشترین ضریب تبدیل در اندام‌های مختلف درختان مربوط به تنه و کمترین آن مربوط به برگ است. افزون‌بر این، اندام‌های دارای بافت چوبی از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردارند (Rosta, 2011).

نتایج برآورد ترسیب کربن در برگ کیکم نشان داد که به‌طور متوسط برای هر درخت در سه رویشگاه قلارنگ، مانشت و میان‌تنگ به‌ترتیب ۲/۱۶، ۲/۳۹ و ۲/۵۷ کیلوگرم و در واحد سطح (هکتار) ۱۰۳/۶۸، ۱۰۰/۳۸ و ۸۷/۳۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول‌های ۲ و ۳). این نتایج براساس برآورد میانگین ترسیب کربن برگ در هر درخت به‌طور تقریبی با نتایج پژوهش Khalili Ardali et al. (2019) همخوانی دارد. نکتهٔ شایان توجه در خصوص پژوهش Khalili Ardali et al. (2019) این است که به نظر می‌رسد محاسباتی که دربارهٔ مقدار ترسیب کربن در برگ کیکم برای هر درخت ذکر شده از صحت کافی برخوردار نیست، زیرا بین برآورد مقدار زی‌تودهٔ برگ (۳/۲۷ کیلوگرم) و مقدار ترسیب کربن (۳/۴۳ کیلوگرم) در برگ کیکم تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (احتمالاً از ضریب تبدیل ترسیب کربن استفاده نشده است). از این‌رو این برآورد از مقدار ترسیب کربن در برگ کیکم، امکان اشتباه در محاسبات را دست‌کم براساس آنچه در مقاله آمده است نشان می‌دهد. در هر صورت، همان‌طور که در قسمت زی‌توده اشاره شد، به‌دلیل تفاوت در تعداد در هکتار درختان کیکم در پژوهش Khalili Ardali et al. (2019) با پژوهش پیش رو، اختلاف فاحشی در مقدار ترسیب کربن در واحد سطح (۸/۱۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده می‌شود. برای گونه‌های دیگر هم نتایج متفاوتی گزارش شده است؛ به‌طوری که Rosta et al. (2011) و Olfati et al. (2013) ، ترسیب کربن را در برگ بنه به‌ترتیب ۲۶ و ۷۷/۱ کیلوگرم در هکتار، Mahdavi & Mirzaei (2020) برای ارغوان ۲۳/۴ کیلوگرم در هکتار و Akbari (2021) برای زالزالک ۴۶/۶۱ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. بنابراین مشاهده می‌شود که به‌دلیل تفاوت‌های رویشگاهی و شرایط اکولوژیکی، ساختاری و مورفولوژیکی برگ گونه‌های مختلف و به‌خصوص تفاوت از نظر تراکم درختان، مقدار ترسیب کربن در برگ درختان در واحد سطح ممکن است متفاوت باشد.

در این پژوهش مقدار جذب CO_2 از اتمسفر در سه رویشگاه قلارنگ، مانشت و میان‌تنگ به‌ترتیب ۳۸۰/۵۰، ۳۶۸/۳۴ و ۳۲۰/۶۸ کیلوگرم در هکتار و به‌طور میانگین برای کل سه منطقه ۳۴۵/۶۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (جدول ۴). مقایسه با نتایج

پژوهش‌های دیگر نشان می‌دهد که مقدار جذب CO_2 در هر سه رویشگاه نسبت به پژوهش Panahi et al. (2011) برای گونهٔ بنه (۹۶/۳ کیلوگرم در هکتار) و نسبت به پژوهش Khalili Ardali et al. (2019) برای گونهٔ کیکم (۳۱/۴۵ کیلوگرم در هکتار) دارای وضعیت بهتری بود. شاید متفاوت بودن نتایج به‌دلیل اختلاف در گونه و تراکم درختان باشد.

دیگر شاخص اکولوژیکی بررسی‌شده در این تحقیق، شاخص سطح برگ گونهٔ کیکم بود. در این تحقیق برای محاسبهٔ شاخص سطح برگ از روش وزنی به کمک برآورد سطح ویژهٔ برگ استفاده شد. سطح ویژهٔ برگ بیانگر این است که برای تولید هر واحد زی‌تودهٔ برگ چند واحد سطح برگ لازم است. انتخاب برگ‌های نمونه برای محاسبهٔ شاخص سطح ویژهٔ برگ از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا برآورد نادرست شاخص سطح ویژهٔ برگ سبب می‌شود که شاخص سطح برگ محاسبه‌شده نیز با خطا همراه شود (Akbari, 2021). میانگین شاخص سطح ویژهٔ برگ گونهٔ کیکم ۵۹/۷۸ سانتی‌متر مربع بر گرم به دست آمد (جدول ۲) که در مقایسه با گونهٔ زالزالک (۱۰۰/۶۷ سانتی‌متر مربع بر گرم) و داغداغان (۱۰۳/۵ سانتی‌متر مربع بر گرم) کمتر است (Pourhashemi et al., 2012; Akbari, 2021).

نتایج نشان داد که متوسط شاخص سطح برگ گونهٔ کیکم به‌ترتیب برای سه رویشگاه قلارنگ، مانشت و میان‌تنگ ۱/۳۳، ۱/۹۰ و ۱/۳۴ برای هر درخت و ۰/۱۲۷، ۰/۱۱۴ و ۰/۱۱۲ در هر هکتار محاسبه شد. نتایج تجزیهٔ واریانس هم نشان داد که بین سه رویشگاه از نظر شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. مقدار شاخص سطح برگ به‌دست‌آمده در این پژوهش کمتر از پژوهش Akbari (2021) برای زالزالک (برای هر درخت ۹/۰۸)، پژوهش Khosravi et al. (2012) برای بلوط ایرانی (۱/۹۹) و پژوهش Pourhashemi et al. (2012) برای داغداغان (۳/۷) به دست آمد. اما نسبت به پژوهش Adl (2007) برای بنه و بلوط ایرانی (۱/۲) مقدار کمی بیشتری را نشان داد. از دلایل تفاوت می‌توان به تراکم گونه‌های بررسی‌شده در واحد سطح و همچنین اندازه و تعداد برگ‌های درختان مختلف اشاره کرد. در پژوهش پیش رو، میانگین تعداد در هکتار درختان کیکم برای سه منطقه ۴۱/۳ اصله به دست آمد، درحالی که در پژوهش Khosravi et al. (2012) تعداد در هکتار بلوط ایرانی ۳۰۲ اصله بود. Peper & McPherson (1998) شاخص سطح برگ را برای گونهٔ توت سفید (*Morus alba L.*) از ۰/۳۷ تا ۴/۲۵ و برای گونهٔ گیلاس کوهی *Prunus serotine* var. *rufula* از ۰/۴۹ تا ۷/۵۷ به دست آوردند. Dufrene & Breda (1995) شاخص سطح برگ جنگل‌های خزان‌کنندهٔ فرانسه را بین ۱/۷ تا ۷/۵ محاسبه کردند.

به‌طور کلی، از دلایل اصلی تفاوت در شاخص سطح برگ گونه‌های مختلف درختی می‌توان به تعداد گونه‌های بررسی‌شده (برای متوسط شاخص سطح برگ یک درخت)، تراکم درختان، تفاوت در گونه، اندازه و تعداد برگ‌های گونه، نیازهای اکولوژیک گونه‌ها، مراحل توالی جوامع درختی، فصول مختلف سال و نیز اقدامات مدیریتی اعمال‌شده یا شرایط تخریب اشاره کرد (Pourhashemi et al., 2012; Mahdavi & Mirzaei, 2020; Akbari, 2021). مجموعهٔ عوامل یادشده به‌همراه تفاوت در روش‌های مختلف برآورد شاخص سطح برگ، سبب ایجاد دامنهٔ تغییرات زیادی در محاسبهٔ شاخص سطح برگ در گزارش‌های مختلف علمی شده است. به‌طور کلی هرچه شاخص سطح برگ درخت یا جنگل بیشتر باشد، امکان تبادل گازی بین تاج درخت و اتمسفر افزایش می‌یابد. در پایان پیشنهاد می‌شود که در آینده پژوهش‌های مشابهی برای اندازه‌گیری زی‌توده و ترسیب کربن در دیگر اندام‌های درختان کیکم و همچنین اندازه‌گیری شاخص سطح برگ گونه‌های دیگر مناطق زاگرس انجام گیرد.

سپاسگزاری

مقالهٔ حاضر مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد در دانشگاه ایلام است. نویسندگان لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشگاه ایلام بابت حمایت و پشتیبانی اعلام کنند.

References

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

Akbari, M. (2021). Estimation of leaf biomass and leaf area index of *Crataegus aronia* in forests of Ilam. MSc thesis. Dept. Forest Sciences, Ilam University. 88 p. (In Persian)

Alinejadi, S., Basiri, R., TahmasbiKohyani, P., Askari, Y., & Moradi, M. (2016). Estimation of biomass and carbon sequestration in various forms of *Quercus brantii* Lindl. stands in Balout Boland, Dehdez. *Iranian Journal of Forest*, *8*(2), 129-139. (In Persian)

Askarii, Y., Iranmanesh, Y., & Pourhashemi, M. (2021). The economic value and comparison of carbon storage in different forest areas in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Iranian Journal of Forest*, *13*(2), 169-182. (In Persian)

Attarod, P., Miri, S., Shirvany, A., & Bayramnejad, V. (2018). Variations in Leaf Area Index of Quercus brantii trees in response to changing climate. *Journal of Agriculture Science and Technology*, *20*(7), 1417-1429. (In Persian)

Brooks, R. (1998). Carbon Sequestration, what's that? UI Extension Forestry Information Series. *Forest Management*, *32*, 2.

Cole, T.G., & Ewel, J.J. (2006). Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, *229*, 351-360.

Darvishnia, H., Dehghani kazemi, M., Forghani, A.H., & Kavyanifard, A.A. (2012). Study and introduction of the flora of Manshet and Qalarang protected areas in Ilam province. *Taxonomy and biosystematics*, *11*(4), 47-60.

Dufrêne, E., & Bréda, N. (1995). Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia*, *104*, 156–162. https://doi.org/10.1007/BF00328580

Environmental science activities for the 21st century (ESA21). (2008). Trees and carbon, 13pp.

Fang, S., Xue J., & Tang, L. (2007). Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management*, *85*, 672-679.

FAO (2010). Global forest resource assessment. Rome.

Fasth, B.G., Harmon, M.E., Sexton, J., & White, P. (2011). Decomposition of fine woody debris in a deciduous forest in North Carolina. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, *138*(2), 192-206

Hakkila, P. (1989). Utilization of residual forest biomass. In Utilization of residual forest biomass. Springer, Berlin, Heidelberg. 352-477p.

Husch, B., Beers T.W., & Kershaw, J.A. (2003). Forest mensuration. Fourth Edition. *John Wiley & Sons Inc*, 443p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, 599p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. General guidance and reporting. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, *1*, 309.

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

Kahyani, S., Sohrabi, H., Hosseini, S.M., & Vanclay, J. (2016). LAI and leaf biomass allometric equations for three common tree species in a Hyrcanian temperate forest. *Open Journal of Forestry*, *6*, 1-7.

Karlik, J.F., & McKay, A.H. (2012). Leaf Area Index, Leaf Mass Density, and allometric relationships derived from harvest of blue Oaks in a California Oak savanna. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184.2002. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 846 p.

Khalili Ardali, Z., Mirazadi, Z., & Samaei, M. (2019). Estimation of Biomass, carbon sequestration and leaf area of Acer monspessulanum in Middle- Zagros, case study: Chaleh Gol forests in Lorestan province, *Journal of Forest Resrach and Development*, *5*(2), 245-257. (In Persian)

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

Lehtonen, A. (2005). Estimating foliage biomass in Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) plots. *Tree Physiology*, *25*(7), 803-811.

Litton, C.M., Raich, J.W., & Ryan, M.G. (2007). Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*, *13*(10), 2089-2109.

Losi, C.J., Siccama, T.G., Juan, R.C., & Morales, E. (2003). Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management*, *184*, 355-366.

Lovynska, V., Lakyda, P., Sytnyk, S., Kharytonov, M. & Piestova, I., 2018. LAI estimation by direct and indirect methods in Scots pine stands in Northern Steppe of Ukraine. *Journal of Forest Science*, *64*(12), 514-522.

Majasalmi, T., Rautiainen, M., Stenberg, P., & Lukes, P. (2013). An assessment of ground reference methods for estimating LAI of boreal forests. *Forest Ecology and Management*, *292*(15), 10-18

Mahdavi, A., & Mirzaei, M. (2020). Estimation of leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area index of *Cercis siliquastrum* L. in forests of Ilam. *The Journal of Plant Research*, *33*(1), 205-213. (In Persian)

Naghash Zargaran, M. (2001). Foliage biomass, leaf area index and their relationships to some characteristics of forest stand and soil in a permanent plot located in mid-elevation of Caspian Forests. MSc. thesis in Forest Sciences, Faculty of Forestry, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, 68 p. (In Persian)

Nowghani, Z., Koohi, L., Panahi, P., Torabian, Y., Pourhashemi, M., & Hashemi, A. (2016). Non-destructive leaf area estimation of indicator tree species of Hyrcanian collection, National Botanical Garden of Iran. *Applied Biology*, *29*(1), 175-190.

Olfati, F., Mosleh Arani, A., & Azimzadeh, H.R. (2013). Estimation of carbon sequestration of four species of *Pistacia atlantica*, *Acer monspessulanum*, *Amygdalus scoparia*, and *Ephedra procera* in the protected area of Bagh Shadi Herat (Yazd Province). *Journal of Plants and ecosystems*, *9*(36), 65-75. (In Persian)

Otukei, J.R., & Emanuel, M. (2015). Estimation and mapping of above ground biomass and carbon of Bwindi impenetrable National Park using ALOS PALSAR data. *South African Journal of Geomatics*, *4*(1), 1-13.

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

Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hassaninejad, M. (2013). Comparison of Specific Leaf Area in Three Native Oaks of Zagros in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Forest Ecology*, *1*(2), 12-26. (In Persian)

Peper, P.J., & McPherson, E.G. (1998). Comparison of five methods for Estimating leaf area index of open-grown deciduous trees. *Journal of Arboriculture*, *24*(2), 98-111. https://doi.org/10.48044/jauf.1998.013

Pierce, L.L., Running, S.W., & Walker, J. (1994). Regional-scale relationships of leaf area index to specific leaf area and leaf nitrogen content. *Ecological Applications*, *4*(2), 313-321.

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

Pourbabaei, H., Babaeian, M., Bonyad, A.E., & Adel, M.N. (2014). Autecology of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens)* in forests of Fars Province. *Journal of Plant Research*, *27*(3), 376-385. (In Persian)

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

Rosta, T. (2011). Estimating the economic value of the carbon sequestration of *Pistacia atlantica* and *Amygdalus scoparia* species in the Bene-Badam research forest of Firozabad, Fars. MSc. Thesis in Forestry, Sari University of Agriculture and Natural Resources. 97p. (In Persian)

Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future. Springer, 152p.

Thomas, S.C., & Martin, A.R. (2012). Carbon Content of tree tissues: A Synthesis. *Forests*, *3*, 332-352. doi:10.3390/f3020332.

Vashum, K.T., & Jayakumar, S. (2012). Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests-a review. *Journal of Ecosystem & Ecography*, *2*(4), 1-7.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., & Dokken, D.J. (2000). Land Use, Land-Use Change and Forestry: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 388 pp.

West, P.W. (2009). Tree and Forest Measurement. Springer Publisher, 190 p.

Williams, T.M., & Gresham, C.A. (2006). Biomass accumulation in rapidly growing loblolly pine and sweetgum. *Biomass and Bioenergy*, *30*(4), 370-377.

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

Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. & Mencuccini, M., 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs*, *4*(2), 5-63.

Iranian Journal of Forest
Vol. 16, No. 3, Autumn 2024
pp. 341-356
Research Article

DOI: 10.22034/ijf.2024.396505.1926

Leaf biomass, Carbon storage and Leaf Area Index of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) in Ilam forests

A. Mahdavi[1], R. Yaghobi[2], M. Omidi[3], and H.R. Naji[4]

[1]Prof., Dept. Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.
[2]MSc. in Forestry, Dept. Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.
[3]Assistant Prof., Dept. Statistics and Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Ilam University, Ilam, I.R. Iran
[4]Associate Prof., Dept. Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.

(Received: 13 May 2023; Accepted: 13 November 2023)

Abstract

Introduction: This research was carried out to measure and estimate the amount of leaf biomass, carbon sequestration, and leaf area index of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.) trees in three regions of Manesht and Qalarang protected areas of in the forests of Sirvan County located in Ilam province.

Materials and Methods: Using the random sampling method, 20 tree samples were selected from each region (60 trees in total) and their quantitative factors including the large and small diameter of the crown, tree height, crown length and collar diameter of the target trees were measured. Then, the leaves of one-fourth to one-eighth of the crown area of the sample trees were collected. After drying in the oven, the dry weight of the leaves was weighed. The weight of organic matter and carbon content of the leaves (0.47) were obtained, after burning sufficient dried leaves in an electric oven. The weight method was used to calculate the leaf area index. In addition, to generalize the results obtained from the sample trees to the whole forest, the mean tree method was used.

Results: The results showed that the average leaf biomass, average leaf carbon storage, and average amount of carbon dioxide absorption from the atmosphere were 221.28, 103.68, 380.50 (kg/ha) in Qalarang, 199.92, 100.38, 368.34 (kg/ha) in Manesht, and 186.32, 87.38, 320.68 (kg/ha) for MianTang, respectively. The average leaf area index of *A. monspessulanum* was estimated 1.52 for each tree and 0.119 per hectare in the study areas . Additionally, the economic value of the carbon sequestered in the leaves of *A. monspessulanum* was 21.045 dollars per hectare, which is estimated to be equivalent to 10522500 rials.

Conclusion: In general, the difference in the investigated variables of *A. monspessulanum* species in the three study areas can be due to the difference in density per hectare of the species, the difference in the succession stages and the size of the trees in these areas, as well as the applied management strategies or the different degradation conditions in study areas.

Keywords: *Acer monspessulanum* L., Carbon sequestration, Leaf area index, Mean Tree Method, Manesht and Qalarang.

* Corresponding Author Tel: +98 9112202075 Email: a.mahdavi@ilam.ac.ir