Sari Agriculture Sceinces and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 13, Issue 2, 2025 p: 130-142

OPEN ACCESS

Research Paper

Evaluation of Allometric Relationships to Estimate Leaf Biomass, Carbon Sequestration, and Leaf Area Index of *Acer monspessulanum* subsp. *Cinerascens*

Ali Mahdavi [1], Rohollah Yaghobi[2], Mehdi Omidi[3] and Hamidreza Naji[4]

1- Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, (Corresponding author: a.mahdavi@ilam.ac.ir)
2- M.Sc. in Forestry, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
3- Assistant Professor, Department of Statistics and Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Ilam University, Ilam, Iran
4- Associate Professor, Department of Forest Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

Received: 29 January, 2025 Revised: 08 April, 2025 Accepted: 20 May, 2025

Extended Abstract

Background: The biomass estimation of different tree organs plays a key role in sustainable management and the estimation of forest carbon stocks. Relationships that relate the characteristics of tree size (such as the diameter and height) to its biomass are called allometric relationships. This study aimed to determine allometric equations for estimating biomass, carbon sequestration, and leaf area index (LAI) of *Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens* species in the protected areas of Manshet and Ghalarnang forests in Ilam Province.

Methods: For this purpose, initially, the different sites of *Acer monspessulanum* in the study area were determined by a forest tour. Afterward, quantitative factors (such as large and small crown diameter, tree height, crown length, and collar diameter) were measured in 60 randomly selected *Acer monspessulanum* trees. To estimate the leaf biomass, a quarter to an eighth of the leaves of the tree crown were collected by the direct method of picking, according to the size and smallness of the tree crowns of the *A. monspessulanum* sample trees. The dry weight was measured in oven-dried leaves. The numbers obtained from a quarter or an eighth of the crown surface by multiplying by 4 or 8 were determined as the leaf dry weight of the entire tree crown. The percentage of organic carbon (0.47%) was obtained by burning a sufficient amount of dried leaves in an electric furnace. The LAI of *A. monspessulanum* subsp. trees was calculated using the specific surface area of the leaves through the weighing method. The average tree method was used to generalize the results obtained from the sample trees to the whole forest. The Kolmogorov-Smirnov test was used for the normality of the data. Linear and non-linear (logarithmic and power) regressions were used to examine the allometric relationships between biomass, carbon sequestration, and LAI as the dependent variables with the measured independent quantitative variables of the tree (such as average crown diameter and tree height). Based on the criteria of the coefficient of determination and the adjusted coefficient of determination, the best model was selected among the three investigated models. The decision to confirm or reject the assumption of no effect of the independent variable on the dependent variable was made based on the p-value.

Results: The results of the Kolmogorov-Smirnov test showed a normal distribution of the data. The average leaf biomass, average carbon storage in leaves, and average carbon dioxide absorption from the atmosphere by *A. monspessulanum* subsp. *Cinerascens* trees were estimated at 200.30, 94.16, and 345.68 kg/ha, respectively, in the protected areas of Manshet and Ghalarnang. The results of LAI estimation in the study area showed that the average LAI for *A. monspessulanum* subsp. *cinerascens* species was 1.52 per tree and 0.119 per ha, respectively. The results of the analysis of different models showed that the collar diameter as the independent variable did not affect LAI as the dependent variable in all the investigated regression models, with a p-value more than 0.05 for all three regression models, which shows no significant effect of the collar diameter on LAI. Meanwhile, the average crown diameter as the independent variable in all three investigated models showed a significant effect on the LAI as the dependent variable based on the p-values. Besides, the power model showed the highest coefficient of determination (0.407) and adjusted coefficient of determination (0.397) for the average crown diameter as the independent variable. The results revealed the significant effects of independent variables (collar diameter, average crown diameter, and average crown area) on leaf dry biomass (the dependent

Copyright ©2025 Mahdavi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercia 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

variable) in *A. monspessulanum* subsp. *cinerascens* trees in linear, logarithmic, and power regression models based on the p-value of all three independent variables in all three investigated models. Among the other models, however, the power model had the highest coefficient of determination (0.433) and adjusted coefficient of determination (0.423) for the collar diameter as the independent variable. Therefore, the power model was chosen as the best model for the collar diameter (independent variable) and leaf dry biomass (the dependent variable). In addition, the results of the analysis of different models showed that the tree collar diameter (independent variable) could affect leaf carbon sequestration (the dependent variable) in all regression models, with a p-value < 0.05 for all three regression models, showing a significant effect of the tree collar diameter variable on leaf carbon sequestration (the dependent variable). Among the investigated models, the power model for the tree collar diameter (independent variable) has the highest coefficient of determination (0.434) and adjusted coefficient of determination and (0.424). Therefore, this model was chosen as the best model for the tree collar diameter and leaf carbon sequestration as the independent and dependent variables, respectively. Therefore, the examination of allometric relationships using regression equations showed that the power model had the best coefficient of determination and adjusted coefficient of determination for predicting dependent variables based on the mentioned independent variables.

Conclusion: The results of this study demonstrate the ability to measure biomass, carbon sequestration, and LAI of *A. monspessulanum* subsp. *cinerascens* trees using allometric equations.

Keywords: Carbon sequestration, Leaf area index, *Acer monespolinum*, Manesht, Ghelarang

How to Cite This Article: Mahdavi, A., Yaghobi, R., Omidi, M., & Naji, H.R. (2025). Evaluation of Allometric Relationships to Estimate Leaf Biomass, Carbon Sequestration, and Leaf Area Index of *Acer monspessulanum* subsp. Cinerascens. *Ecol Iran For*, 13(2), 130-142. DOI: 10.61882/ifej.2025.549

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی روابط آلومتریک برای برآورد زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم

علی مهدوی[۱]، روح الله یعقوبی[۲]، مهدی امیدی[۳] و حمیدرضا ناجی[۴]

۱- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، (نویسنده مسوول: a.mahdavi@ilam.ac.ir)
۲- کارشناسی ارشد جنگل‌داری، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۳- استادیار، گروه آمار و ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۴- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰
صفحه ۱۳۰ تا ۱۴۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برآورد میزان زی‌توده اندام‌های مختلف درخت نقش کلیدی را در مدیریت پایدار و برآورد ذخایر کربن جنگل ایفا می‌کند. روابطی که مشخصات مربوط به اندازه‌ی درخت (مثل قطر و ارتفاع) را به زی‌توده آن مربوط می‌کنند روابط آلومتریک نامیده می‌شوند. این تحقیق با هدف تعیین معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده، میزان ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم در منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ در جنگل‌های استان ایلام انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: برای این منظور، ابتدا با جنگل‌گردشی رویشگاه‌های مختلف کیکم در منطقه مورد مطالعه مشخص شدند. سپس با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی مجموعا ۶۰ اصله از درختان کیکم انتخاب و فاکتورهای کمّی مورد نظر آن‌ها (مانند قطر بزرگ و کوچک تاج، ارتفاع درخت، طول تاج و قطر یقه درختان) اندازه‌گیری شدند. برای برآورد زی‌توده برگ از روش مستقیم چیدن، یک چهارم تا یک هشتم برگ تاج درخت به نسبت بزرگی و کوچکی تاج درختان نمونه کیکم جمع‌آوری شد. پس از خشک کردن برگ‌ها در داخل آون، وزن خشک برگ‌ها اندازه‌گیری شد. اعداد به‌دست‌آمده از یک چهارم یا هشتم سطح تاج با ضرب در اعداد ۴ یا ۸ تبدیل به وزن خشک برگ کل تاج درخت شدند. ضریب درصد کربن آلی (۰/۴۷) از طریق روش احتراق با سوزاندن مقدار کافی از برگ‌های خشک‌شده در کوره الکتریکی به‌دست‌آمد. شاخص سطح برگ درختان کیکم هم با اندازه‌گیری سطح ویژهٔ برگ‌های کیکم، از طریق روش وزنی محاسبه شد. برای تعمیم نتایج به‌دست‌آمده از درختان نمونه به کل جنگل از روش درخت متوسط استفاده شد. برای نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگرف-اسمیرنوف استفاده شد. به‌منظور بررسی روابط آلومتریک بین متغیرهای وابستهٔ زی‌توده، ذخیره کربن و شاخص سطح برگ با متغیرهای کمّی مستقل اندازه‌گیری شدهٔ درخت (مانند قطر متوسط تاج و ارتفاع درخت)، از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی (لگاریتمی و توانی) استفاده شد. بر اساس معیار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده، بهترین مدل از میان سه مدل مورد بررسی انتخاب شد. تصمیم‌گیری برای تایید یا رد فرض عدم تاثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته بر اساس مقدار p انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان دادند که داده‌ها توزیع نرمال داشتند. بر اساس نتایج، متوسط زی‌توده برگ، متوسط ذخیره کربن برگ و متوسط مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو توسط درختان کیکم در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ به‌ترتیب ۲۰۰/۳۰، ۹۴/۱۶، ۳۴۵/۶۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند. نتایج برآورد شاخص سطح برگ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که متوسط شاخص سطح برگ گونه کیکم برای هر درخت ۱/۵۲ و برای هر هکتار ۰/۱۱۹ به‌دست آمد. نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان دادند که متغیر مستقل قطر یقه بر متغیر وابسته شاخص سطح برگ در هیچ یک از مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی اثرگذار نبود و مقدار p آن برای هر سه مدل رگرسیونی بیش از ۰/۰۵ به‌دست‌آمد که نشان می‌دهد قطر یقه بر شاخص سطح برگ اثر معنی‌داری ندارد. این در حالی است که متغیر مستقل قطر متوسط تاج در هر سه مدل مورد بررسی بر متغیر وابسته شاخص سطح برگ اثرگذاری معنی‌داری را براساس مقادیر ارزش p نشان داد و مدل توانی برای متغیر مستقل قطر متوسط تاج دارای بالاترین ضرایب تعیین (۰/۴۰۷) و ضرایب تعیین تعدیل شده (۰/۳۹۷) بود. نتایج بررسی اثرگذاری متغیرهای مستقل (قطر یقه درخت، قطر متوسط تاج و مساحت تاج پوشش) بر متغیر وابسته زی‌توده خشک برگ درختان کیکم در مدل‌های رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی نشان دادند که براساس مقدار p هر سه متغیر مستقل در هر سه مدل بررسی‌شده اثر معنی‌داری بر زی‌توده خشک برگ درختان کیکم داشتند. از این رو، مدل توانی به عنوان بهترین مدل برای متغیرهای مستقل قطر یقه و متغیر وابسته زی‌توده خشک برگ انتخاب شد. علاوه بر این، نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان دادند که متغیر مستقل قطر یقه درخت بر متغیر وابسته ترسیب کربن برگ نیز در تمامی مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی اثرگذار بود و مقدار p آن برای هر سه مدل رگرسیونی کمتر از ۰/۰۵ به‌دست آمد که اثر معنی‌دار متغیر قطر یقه درخت را بر متغیر وابسته ترسیب کربن برگ نشان می‌دهد. این در حالی است که از میان مدل‌های مورد بررسی، مدل توانی برای متغیر مستقل قطر یقه درخت دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۳۴ و ۰/۴۲۴ بود. از این‌رو، این مدل به‌عنوان بهترین مدل برای متغیر مستقل قطر یقه درخت و متغیر وابسته ترسیب کربن برگ انتخاب شد. بنا بر این، بررسی روابط آلومتریک با استفاده از روابط رگرسیونی نشان داد که مدل توانی دارای بهترین ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته بر اساس متغیرهای مستقل مورد بررسی بود.

نتیجه‌گیری: یافته‌های حاصل از این تحقیق توانایی اندازه‌گیری زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم را با استفاده از معادلات آلومتریک نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون خطی، رگرسیون لگاریتمی، رگرسیون توانی، روش درخت متوسط، مانشت و قلارنگ

مقدمه

زیست‌توده جنگلی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کمّی در مدیریت پایدار جنگل‌ها شناخته می‌شود که نقش تعیین‌کننده‌ای را در مطالعات تولید چوب (Morgan & Moss, 1985)، ارزیابی پتانسیل تولید انرژی‌های زیستی، تحلیل ساختار جنگل (Chave *et al*., 2005) و محاسبه ذخایر کربن جهانی (Bombelli *et al*., 2009) ایفا می‌کند. اهمیت این موضوع تا حدی است که کنوانسیون تغییرات آب و هوایی سازمان ملل (UNFCCC, 2008) کشورهای عضو را ملزم به پایش منظم ذخایر کربن جنگلی و گزارش نتایج حاصل از مکانیسم‌هایی مانند REDD+ نموده است.

در زمینه روش‌شناسی برآورد زیست‌توده، تحولات چشم‌گیری در چند دهه اخیر رخ داده است. اگرچه روش‌های مستقیم و مخرب مانند قطع و توزین درختان (Clark *et al*.,

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

2001; Wang *et al*., 2003) از دقت بالایی برخوردارند، اما محدودیت‌های عملی آنها از جمله هزینه بالا، زمان‌بر بودن و تخریب‌پذیری اکوسیستم، محققان را به سمت توسعه روش‌های غیر مخرب سوق داده است. در این میان، معادلات آلومتریک به عنوان پرکاربردترین و اقتصادی‌ترین روش (Rojas-García *et al*., 2015) با فرمول عمومی زیر توسعه یافته‌اند:

$$B_A = \alpha D^{\beta}$$

در این رابطه B_A زی‌توده، D قطر برابر سینه و α و β پارامترهای مدل هستند. این رابطه برای گونه‌های متفاوت در سراسر جهان استفاده شده است. در روابط آلومتریک، پارامترهای مدل (α و β) به‌کمک آنالیز رگرسیون مشخص می‌شوند و در تعیین آن‌ها باید دقت زیادی به‌عمل آید. بررسی‌ها نشان داده‌اند که اگر رابطهٔ فوق در مقیاس محلی تهیه و استفاده شود، رابطهٔ مؤثری خواهد بود.

تحقیقات اخیر در این حوزه دو روند اصلی را دنبال می‌کنند: از یک سو، توسعه پایگاه‌های داده گسترده و استانداردشده مانند پایگاه تالو (Tallo) (Jucker *et al*., 2022) که با جمع‌آوری ۸۳۸/ ۴۹۸ رکورد از ۸۵۶/ ۶۱ سایت جهانی، امکان انجام مطالعات مقایسه‌ای و تحلیل‌های کلان را فراهم آورده است.

معادلات آلومتری متنوعی برای گونه‌های درختی و درختچه‌ای در سراسر دنیا توسعه داده شده‌اند (Vashum & Jayakumar, 2012)، مانند معادلات تعمیم یافته‌ای که برای پیش‌بینی زی‌توده برای گونه‌های گرمسیری ایجاد شده‌اند (Brown *et al*., 1992; Chave *et al*., 2005) ترمیکائیلیان و کورزوکین (Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997) فهرستی از معادلات زی‌توده را برای ۶۶ گونه درختی مناطق معتدله آمریکای شمالی گزارش کردند، و یا یک پایگاه داده از ۴۷۸ معادله آلومتریکی برای برآورد زی‌تودهٔ درختان در جنگل‌های مکزیک تهیه شده‌است (Rojas-García *et al*., 2015).

از سوی دیگر، تأکید فزاینده‌ای بر توسعه مدل‌های خاص گونه و منطقه (Segura & Kanninen, 2005) وجود دارد، زیرا مطالعات نشان داده‌اند که مدل‌های عمومی (Brown *et al*., 1992; Vashum & Jayakumar, 2012) ممکن است در شرایط خاص اکولوژیک دقت لازم را نداشته باشند. این امر به‌ویژه در مورد گونه‌های با ویژگی‌های منحصر به فرد مانند اقاقیای سیاه (Tziaferidis *et al*., 2022) یا آرگان (Oumasst *et al*., 2024) اهمیت دوچندان می‌یابد.

در زمینه مطالعات منطقه‌ای، پژوهش‌های متعددی به بررسی روابط آلومتریک در جنگل‌های زاگرس پرداخته‌اند. از جمله می‌توان به مطالعات جامع روی بلوط ایرانی (Panahi *et al*., 2013; Iranmanesh *et al*., 2015)، بنه (Sohrabi & Shirvani, 2012) و کیکم (Afrozandeh, 2015) اشاره کرد. این مطالعات به‌خوبی نشان داده‌اند که علی‌رغم وجود مدل‌های عمومی و منطقه‌ای (Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997)، نیاز به توسعه معادلات خاص گونه در شرایط اکولوژیک مختلف جنگل‌های زاگرس (Khorsavi *et al*., 2012; Pilehvar *et al*.,2015) همچنان احساس می‌شود.

برآورد زی‌تودهٔ کل درختان به‌عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی رویشگاه از نظر بیواکولوژیکی و اقتصادی در نظر گرفته می‌شود (Cole & Ewel, 2006). با این وجود، زی‌توده انباشته‌شده در اندام‌های غیر از تنه به نسبت کم‌تر در نظر گرفته شده است و بیش‌تر روش‌های توسعه‌یافته برآورد زی‌توده موجود در تنه را مورد توجه قرار داده‌اند. مطالعات اخیر تأکید می‌کنند که زیست‌توده غیر ساقه‌ای (شامل شاخه‌ها، برگ‌ها و ریشه‌ها) نقش حیاتی را در عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌کند. براساس پژوهش‌های مرتبط، سهم زیست‌توده غیرساقه‌ای (از جمله برگ) می‌تواند بخش قابل‌توجهی از کل زیست‌توده درخت را تشکیل دهد. به‌طور مشخص، واریانس در کسر زیست‌توده برگ نسبت به زیست‌توده چوبی در گونه‌های درختی می‌تواند تا سه برابر در بین جمعیت‌های مختلف متغیر باشد (Veresoglou & Peñuelas, 2019). زیست‌توده برگ به‌عنوان محور اصلی فرآیندهای فیزیولوژیک درختان، نقشی حیاتی و چندبعدی در عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌کند (Poorter *et al*., 2012). این نقش کلیدی از دو جنبه حائز اهمیت است: نخست، برگ‌ها به‌عنوان کارخانه‌های فتوسنتزی درختان، مسئول جذب بیش از ۹۰٪ دی‌اکسید کربن جوی هستند (Chen *et al*., 2022)؛ دوم، با دارا بودن چرخه بازگشت سریع (به‌ویژه در گونه‌های خزان‌کننده) سهم قابل‌توجهی در چرخه مواد مغذی و حاصل‌خیزی خاک از طریق تجزیه سریع دارند (Berg & McClaugherty, 2014). مطالعات میدانی اخیر در ایران (Andalibi *et al*., 2021) نیز نشان داده‌اند که تغییرات زیست‌توده برگ در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک می‌توانند شاخص حساسی برای پایش سلامت جنگل و پاسخ به تغییرات محیطی باشند.

گونه کیکم (*Acer monspessulanum* L.) به‌عنوان یکی از گونه‌های کلیدی جنگل‌های زاگرس، با توجه به مقاومت به شرایط سخت محیطی و نقش آن در ترسیب کربن (Cole & Ewel, 2006)، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تری است. اگرچه مطالعاتی مانند پژوهش‌های پناهی و همکاران (Panahi *et al*., 2011, 2014) بر روی ویژگی‌های برگ گونه‌های مختلف تمرکز داشته‌اند، اما خلأ اطلاعاتی قابل توجهی در مورد روابط آلومتریک این گونه وجود دارد.

این پژوهش با هدف پرکردن این خلأ علمی، به توسعه معادلات آلومتریک برای برآورد زی‌توده برگ، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم می‌پردازد. روش‌شناسی این مطالعه از یک سو از تجربیات مطالعات پیشین در سایر گونه‌ها (Pilehvar *et al*., 2015; Mahdavi & Mirzaei, 2020) و از سوی دیگر از نوآوری‌های روش‌شناختی جدید (Jucker *et al*., 2022) بهره می‌برد. یافته‌های این تحقیق می‌توانند به بهبود مدیریت جنگل‌های زاگرس و دقت برآوردهای ذخیره کربن در این اکوسیستم منحصر به فرد کمک شایانی نمایند.

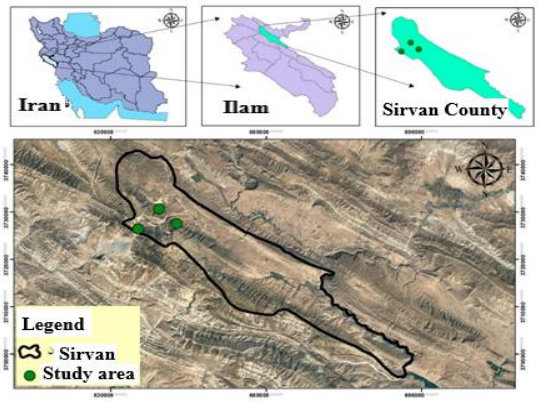
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه در منطقه حفاظت شده مانشت و قلارنگ استان ایلام در طول ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و عرض

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در دامنه ارتفاعی بین ۱۱۰۵ تا ۲۶۵۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی سالیانه ۵۷۳ میلی‌متر بر اساس تقسیم‌بندی‌های اقلیمی دمارتن در دسته اقلیم مدیترانه‌ای قرار دارد (Attarod *et al.,* 2018). پوشش گیاهی منطقه را می‌توان به دو اشکوب فوقانی و تحتانی تقسیم کرد که اشکوب فوقانی گونه بلوط با ۹۰ درصد پوشش و اشکوب تحتانی شامل گونه‌های بنه، کیکم، محلب، شن، داغداغان و سایر گونه‌ها است (Darvishnia *et al.*, 2012).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Location of the study area

روش تحقیق

درختان کیکم نمونه‌برداری‌شده در این مطالعه از رویشگاه‌های این گونه در منطقه حفاظت‌شدهٔ مانشت و قلارنگ به‌روش تصادفی انتخاب شدند. مشخصه‌های کمّی مانند قطر برزگ و کوچک تاج (CD)، ارتفاع درخت (H)، طول تاج (CL) و قطر یقه (DRC) ۶۰ درخت نمونه کیکم اندازه‌گیری شدند و میانگین تعداد در هکتار درختان کیکم منطقه نیز برآورد شد.

برای برآورد زی‌توده از روش مستقیم چیدن برگ یک چهارم تا یک هشتم (یک هشتم برای درختان بزرگ) تاج درختان نمونه و توزین آن‌ها استفاده شد. از هر درخت ۱۰ عدد برگ در مجموع ۶۰۰ برگ به‌طور تصادفی انتخاب و سطح برگ‌ها به‌وسیله دستگاه سطح برگ‌سنج CI-203 Handheld Laser Leaf Area اندازه‌گیری شد؛ سپس برگ‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه در داخل آون و بعد به‌مدت ۳۰ تا ۴۵ دقیقه در دسیکاتور قرار گرفتند و وزن خشک آن‌ها پس از خشک شدن اندازه‌گیری شد. اعداد به‌دست‌آمده از یک چهارم یا هشتم سطح تاج تبدیل به وزن خشک برگ کل تاج درخت شدند (ضرب در ۴ یا ۸) (Adl, 2007; Panahi *et al.*, 2013; Akbari, 2021).

برای به‌دست‌آوردن درصد کربن آلی از روش احتراق خشک با جریان هوا در کورهٔ الکتریکی استفاده شد (Losi *et al.*, 2003) در نهایت، مقدار ضریب کربن برگ‌های کیکم ۴۷ درصد بیوماس خشک برگ محاسبه شد. نتایج حاصل از مقدار ذخیره کربن برگ‌های نمونه به کل درخت (در اینجا کل برگ‌های درخت) تعمیم داده شدند؛ سپس از طریق روش درخت متوسط (Mean Tree Method) نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری درختان نمونه با ضرب نمودن در میانگین تعداد در هکتار درختان کیکم منطقه، به کل جنگل تعمیم داده شدند (Mahdavi & Mirzaei, 2020). مقدار جذب دی‌اکسید کربن از جو با ضرب کردن ضریب ۳/۶۷ در مقدار کربن ترسیب شده به‌دست‌آمد (Brooks, 1998; ESA21, 2008; Mahdavi *et al.*, 2023).

شاخص سطح برگ درخت کیکم با اندازه‌گیری سطح ویژه برگ درخت با استفاده از روابط زیر محاسبه شد:

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

$$SLA_i = A_i / m_i$$ رابطه (۱)

چون اندازه‌گیری مساحت تمام برگ‌های درخت کاری سخت و زمان‌بر است، برای اندازه‌گیری سطح ویژهٔ برگ یک درخت از SLAs زیرنمونه‌هایی از برگ یک درخت استفاده می‌شود، به‌طوری‌که از زی‌توده خشک زیرنمونه‌ها برای محاسبهٔ مساحت کل برگ‌های هر درخت استفاده می‌شود:

$$SLA_i = SLAs = A_s / m_s$$ رابطه (۲)

که در آن، A_s (مساحت برگ‌های زیر_نمونه) و m_s (وزن خشک زیرنمونه) هستند. آنگاه برای برآورد کل مساحت برگ‌های یک درخت (Ai)، سطح ویژه برگ زیرنمونه در زی‌توده خشک کل برگ‌های آن درخت ضرب می‌شود:

$$mi \times SLAs = Ai$$ رابطه (۳)

با محاسبه وزن خشک این برگ‌ها و با استفاده از رابطه بین سطح برگ با وزن خشک، سطح همه برگ‌های درختان و در نهایت با استفاده از رابطه ۴ شاخص سطح برگ گونه کیکم محاسبه شد (Khosravi *et al.*, 2012; Mahdavi *et al.*, 2023):

$$LAI = \frac{d \times \sum A_i}{n \times 10000}$$ رابطه (۴)

LAI: شاخص سطح برگ
d: تعداد درختان (اصله در هکتار)
A_i: سطح برگ‌های یک اصله درخت (مترمربع)
n: تعداد نمونه‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگرف-اسمیرنوف استفاده شد. به‌منظور بررسی روابط آلومتریک بین متغیرهای زی‌توده، ذخیره کربن و شاخص سطح برگ با متغیرهای کمّی درخت، از رگرسیون خطی و رگرسیون‌های غیرخطی لگاریتمی و توانی استفاده شد. شکل‌های کلی مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده شامل توابع خطی ساده (رابطه ۵)، لگاریتمی (رابطه ۶) و توانی (رابطه ۷) به‌صورت روابط زیر هستند (Mirabdollahi shamsi *et al.*, 2011; Mahdavi & Mirzaei, 2020).

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i$$ رابطه (۵)

$$Y_i = b_0 + b_1 Ln(X_i)$$ رابطه (۶)

$$Y_i = b_0 \times X_i^{b_1}$$ رابطه (۷)

که در این مدل‌ها:

Y_i: متغیر وابسته زی‌توده برگ، شاخص سطح برگ و ذخیره کربن برگ

X_i: متغیر مستقل شامل متوسط قطر تاج

b_0: عدد ثابت مدل

b_1: ضریب مدل

برای راحتی برازش مدل توانی به داده‌ها، این مدل با لگاریتم گرفتن از طرفین رابطه ۸ به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$Ln(Y_i) = Ln(b_0 \times x_i^{b_1}) = Ln(b_0) + b_1 Ln(x_i)$$ رابطه (۸)

از این‌رو، خروجی مدل در مدل توانی برازش‌شده براساس مدل تبدیل شده ارایه می‌شود. در ادامه، براساس معیار ضریب تعیین بهترین مدل از میان این سه مدل انتخاب می‌شود. تصمیم‌گیری برای تایید یا رد فرض عدم‌تاثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته براساس p-مقدار انجام می‌پذیرد. به این صورت که اگر برای متغیری خاص مقدار p از ۰/۰۵ کمتر باشد آنگاه فرض صفر رد می‌گردد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنف توزیع نرمال داده‌ها را نشان دادند. آماره‌های کمّی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده به‌ازای اندازه‌های درخت متوسط در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جدول ۲ میانگین تعداد در هکتار، مقدار زی‌تودهٔ خشک برگ، ترسیب کربن در برگ، مقدار جذب دی‌اکسیدکربن توسط برگ و شاخص سطح برگ درختان کیکم را نشان می‌دهد.

جدول ۱- آماره‌های کمی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده درخت متوسط

Table 1. Quantitative statistics of the measured variables of a mean tree

متغیر Variable	کمترین Minimum	بیشترین Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار S.D	ضریب تغییرات (٪) C.V %
ارتفاع (متر) Height	3.25	9	5.73	1.27	22.16
ارتفاع تاج (متر) Crown height	1.65	6.7	3.93	0.99	25.30
متوسط قطر تاج (متر) Mean crown diameter	2.55	7.3	5.07	1.01	19.96
مساحت تاج‌پوشش (مترمربع) Area of the crown	5.1	41.76	21.32	7.75	36.34
قطر یقه (سانتی‌متر) Collar diameter (cm)	7	55	31.26	9.69	31.00
میانگین وزن تک‌برگ نمونه‌ها (گرم) Mean weight of a single leaf (g)	0.08	0.2	0.113	0.054	31.56
میانگین سطح تک‌برگ (سانتی‌متر مربع) Mean area of a single leaf (Cm^2)	2.97	12.37	7.02	2.15	30.73
میانگین تعداد کل برگ درخت Mean total number of leaves	13840	95368	44132	860.33	42.12
مساحت کل برگ‌های یک درخت (Cm^2) (Cm^2) The total area of the average tree leaves	104733.97	606140	386528	10270.81	36.16
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.55	7.03	1.52	0.88	37.89
زی‌توده کل برگ‌ها (گرم) Total biomass of leaves	1917.31	13068.8	4854	242.72	46.19
ترسیب کربن برگ‌ها (کیلوگرم) Carbon sequestration of leaves	0.48	4.21	2.17	0.85	38.59
جذب CO_2 از جو (کیلوگرم) Atmosphere CO_2 absorption	1.75	15.44	7.93	3.065	38.62

جدول ۲- زی‌توده برگ، ترسیب کربن برگ، مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم در هکتار) توسط برگ‌ها و شاخص سطح برگ درخت کیکم در منطقه مورد مطالعه

Table 2. Leaf biomass, leaf carbon sequestration and the amount of CO_2 absorption from the atmosphere ($kg.ha^{-1}$) by the leaves and Leaf Area Index of *Acer* trees in study area

گونه Species	تعداد در هکتار Number per hectare	زی‌توده برگ (کیلوگرم/هکتار) Leaf biomass (kg/ha)	ترسیب کربن برگ (کیلوگرم/هکتار) Carbon sequestration of leaf (kg/ha)	مقدار جذب CO_2 از جو (کیلوگرم/هکتار) CO_2 absorption from atmosphere (kg/ha)	شاخص سطح برگ Leaf Area Index
کیکم *Acer monspessulanum*	41.3	200.30	94.16	345.68	0.119

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

مدل‌های مختلف رگرسیونی برای متغیرهای وابسته مورد بررسی

در این تحلیل‌ها، برای متغیرهای وابسته شاخص سطح برگ، بیوماس خشک برگ، و ترسیب کربن برگ، اثرگذاری متغیرهای مستقل شامل قطر یقه درخت، قطر متوسط تاج و مساحت تاج پوشش هر درخت به‌صورت جداگانه براساس مدل‌های رگرسیونی خطی، لگاریتمی و توانی مورد بررسی قرار گرفت.

مدل‌های رگرسیونی برای شاخص سطح برگ

نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان داد که متغیر مستقل قطر یقه بر متغیر وابسته شاخص سطح برگ در هیچ یک از مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی اثرگذار نبود و مقدار p آن برای هر سه مدل رگرسیونی بیش از ۰/۰۵ به‌دست‌آمد که نبود اثر معنی‌دار قطر یقه بر شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد (جدول ۳). این در حالی است که متغیرهای مستقل قطر متوسط تاج و مساحت تاج‌پوشش در هر سه مدل مورد بررسی بر متغیر وابسته شاخص سطح برگ اثرگذاری معنی‌داری را بر اساس مقادیر ارزش p (جدول ۴) و ضرایب تعیین و ضرایب تعیین تعدیل‌شده نشان دادند (جدول ۵). همان طور که در جدول ۵ خلاصه ضرایب تعیین و ضرایب تعیین تعدیل‌شده مشاهده می‌شود، مدل توانی برای متغیر قطر متوسط تاج دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۰۷ و ۰/۳۹۷ از میان سایر مدل‌ها است. از این‌رو، این مدل به‌عنوان بهترین مدل برای متغیر مستقل قطر متوسط تاج و متغیر وابسته شاخص سطح برگ انتخاب می‌شود که نمودار این مدل به‌صورت شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب سه مدل رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی برای قطر یقه درخت و شاخص سطح برگ

Table 3. The coefficient of three regression models, linear, logarithmic, and power, for the collar diameter of the tree and the leaf area index

مدل	ضرایب Coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	آماره T	p- مقدار P-value
		B	خطای معیار Std. error	Beta		
خطی Linear	ضریب ثابت Constant coefficient	2.042	0.383	-0.183	5.325	0.000
	قطر یقه درخت Collar Diameter	-0.017	0.012		-1.421	0.161
لگاریتمی Logarithmic	ضریب ثابت Constant coefficient	3.06	1.106	-0.181	2.768	0.008
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	-0.454	0.325		-1.400	0.167
توانی Power	ضریب ثابت Constant coefficient	0.976	0.533	-0.160	1.831	0.072
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	-0.194	0.157		-1.238	0.221

جدول ۴- ضرایب سه مدل رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی برای قطر متوسط تاج و شاخص سطح برگ

Table 4. The coefficients of three regression models, linear, logarithmic, and power, for the mean crown diameter and the leaf area index.

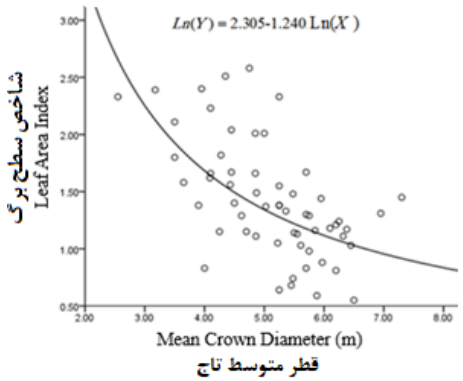
مدل Model	ضرایب Coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	آماره T	p- مقدار P-value
		B	خطای معیار ضرایب Std. error	Beta		
خطی Linear	ضریب ثابت Constant coefficient	4.055	0.483	-0.575	8.399	0.000
	قطر متوسط تاج Mean crown diameter	-0.500	0.093		-5.351	0.000
لگاریتمی Logarithmic	ضریب ثابت Constant coefficient	5.566	0.670	-0.625	8.312	0.000
	لگاریتم قطر متوسط تاج Mean crown diameter logarithm	-2.526	0.414		-6.095	0.000
توانی Power	ضریب ثابت Constant coefficient	2.305	0.317	-0.638	7.264	0.000
	لگاریتم قطر متوسط تاج Mean crown diameter logarithm	-1.240	0.196		-6.314	0.000

جدول ۵- مقادیر ضرایب تعیین و تعدیل‌شده متغیرهای مستقل و شاخص سطح برگ (متغیر وابسته) در مدل‌های مختلف

Table 5. The values of determination and adjusted coefficients for independent variables and the leaf area index (dependent variable) in linear, logarithmic, and power regression models

متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	ضریب تعیین determination Coefficient of	ضریب تعیین تعدیل یافته Adjusted coefficient of determination
قطر یقه درخت Collar diameter	خطی (Linear)	0.034	0.017
	لگاریتمی (Logarithmic)	0.033	0.016
	توانی (Power)	0.026	0.09
قطر متوسط تاج Mean crown diameter	خطی (Linear)	0.331	0.319
	لگاریتمی (Logarithmic)	0.390	0.380
	توانی (Power)	0.407	0.397
مساحت تاج پوشش Area of the crown	خطی (Linear)	0.275	0.263
	لگاریتمی (Logarithmic)	0.395	0.384
	توانی (Power)	0.396	0.385

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]



شکل ۲- رابطه آلومتریک-توانی بین متغیر قطر متوسط تاج و شاخص سطح برگ درختان کیکم
Figure 2. The logarithmic-power allometric relationship between the mean crown diameter variable and the leaf area index of *Acer monspessulanum* trees

مدل رگرسیونی برای زی‌توده خشک برگ

نتایج بررسی اثرگذاری متغیرهای مستقل قطر یقه درخت، قطر متوسط تاج و مساحت تاج پوشش بر متغیر وابسته زی‌توده خشک برگ درختان کیکم در مدل‌های رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی نشان داد که بر اساس مقدار p هر سه متغیر مستقل در هر سه مدل بررسی‌شده اثرات معنی‌داری بر زی‌توده خشک برگ درختان کیکم دارند (جدول ۶). با این حال، همان طور که جدول ۷ نشان می‌دهد، مدل توانی از میان سایر مدل‌ها بیشترین مقادیر ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۳۳ و ۰/۴۲۳ را برای متغیر مستقل قطر یقه به خود اختصاص داد. از این‌رو، مدل توانی به‌عنوان بهترین مدل برای متغیرهای مستقل قطر یقه و متغیر وابسته زی‌توده خشک برگ انتخاب می‌شود که نمودارهای این مدل‌ها به‌صورت شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

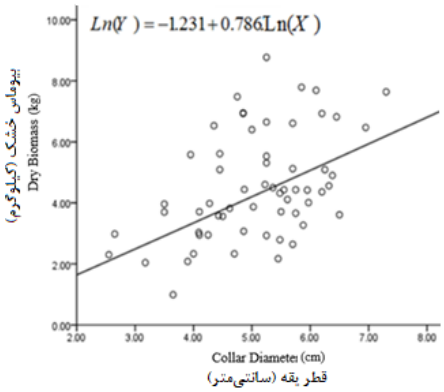
جدول ۶- ضرایب سه مدل رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی برای قطر یقه و زی‌توده خشک
Table 6. The coefficients of three regression models, linear, logarithmic, and power, for the collar diameter of the tree and leaf dry biomass

مدل Model	ضرایب Coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	آماره T	مقدار p P-value
		B	خطای معیار ضرایب Std. error	Beta		
خطی Linear	ضریب ثابت Constant coefficient	0.969	0.598		1.619	0.111
	قطر یقه درخت Collar diameter	0.114	0.018	0.633	6.234	0.000
لگاریتمی Logarithmic	ضریب ثابت Constant coefficient	-5.998	1.742		-3.442	0.001
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	3.108	0.511	0.624	6.077	0.000
توانی Power	ضریب ثابت	-1.231	0.402		-3.061	0.003
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	0.786	0.118	0.658	6.658	0.000

جدول ۷- مقادیر ضرایب تعیین و تعدیل‌شده متغیرهای مستقل و زی‌توده خشک برگ (متغیر وابسته) در مدل‌های مختلف
Table 7. The values of determination and adjusted coefficients for independent variables and leaf dry biomass (dependent variable) in linear, logarithmic, and power regression models

متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	ضریب تعیین Coefficient of determination	ضریب تعیین تعدیل یافته Adjusted coefficient of determination
قطر یقه درخت Collar diameter	خطی Linear	0.401	0.391
	لگاریتمی Logarithmic	0.389	0.378
	توانی Power	0.433	0.423
قطر متوسط تاج Mean crown diameter	خطی Linear	0.212	0.198
	لگاریتمی Logarithmic	0.212	0.199
	توانی Power	0.248	0.235
مساحت تاج پوشش Area of the crown	خطی Linear	0.213	0.208
	لگاریتمی Logarithmic	0.225	0.212
	توانی Power	0.269	0.257

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]



شکل ۳- رابطه آلومتریک-توانی بین متغیر قطر یقه درخت و زی‌توده خشک برگ کیکم
Figure 3. The logarithmic-power allometric relationship between the collar diameter variable and leaf dry biomass of *Acer monspessulanum* trees

مدل رگرسیونی برای ترسیب کربن برگ

نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان دادند که متغیر مستقل قطر یقه درخت بر متغیر وابسته ترسیب کربن برگ در تمامی مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی اثرگذار بود و مقدار p آن برای هر سه مدل رگرسیونی کمتر از ۰/۰۵ به‌دست آمد که اثر معنی‌دار قطر یقه را بر ترسیب کربن برگ نشان می‌دهد (جدول ۸). با این حال، براساس نتایج جدول ۹، مدل توانی برای متغیر مستقل قطر یقه درخت دارای بیشترین مقادیر ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل یافته به‌ترتیب با مقادیر ۰/۴۳۴ و ۰/۴۲۴ از میان سایر مدل‌ها است. از این رو، این مدل به‌عنوان بهترین مدل برای متغیر مستقل قطر یقه درخت و متغیر وابسته ترسیب کربن برگ انتخاب می‌شود که نمودار این مدل به‌صورت شکل ۴ نشان داده شده است.

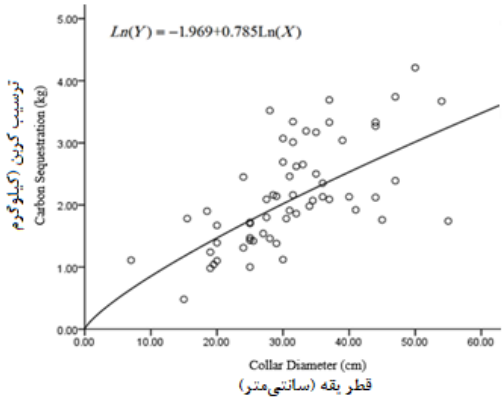
جدول ۸- ضرایب سه مدل رگرسیون خطی، لگاریتمی و توانی برای قطر یقه و ترسیب کربن برگ درختان کیکم
Table 8. The coefficient of three regression models, linear, logarithmic, and power, for the collar diameter of the tree and carbon leaf sequestration of *Acer monspessulanum* trees

مدل Model	ضرایب Coefficients	ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	آماره T	p- مقدار P-value
		B	خطای معیار ضرایب Std. error	Beta		
خطی Linear	ضریب ثابت Constant coefficient	0.452	0.286		1.583	0.119
	قطر یقه درخت Collar Diameter	0.055	0.009	0.636	6.269	0.000
لگاریتمی Logarithmic	ضریب ثابت Constant coefficient	-2.880	0.832		-3.460	0.001
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	1.488	0.244	0.625	6.090	0.000
توانی Power	ضریب ثابت	-1.969	0.401		-4.908	0.000
	لگاریتم قطر یقه درخت Collar diameter logarithm	0.785	0.118	0.659	6.668	0.000

جدول ۹- مقادیر ضرایب تعیین و تعدیل‌شده متغیرهای مستقل و ترسیب کربن برگ (متغیر وابسته) در مدل‌های مختلف
Table 9. The values of determination and adjusted coefficients for independent variables and leaf carbon sequestration (dependent variable) in linear, logarithmic, and power regression models

متغیر مستقل Independent variable	مدل Model	ضریب تعیین Coefficient of determination	ضریب تعیین تعدیل یافته Adjusted coefficient of determination
قطر یقه درخت Collar diameter	خطی Linear	0.404	0.394
	لگاریتمی Logarithmic	0.390	0.380
	توانی Power	0.434	0.424
قطر متوسط تاج Mean crown diameter	خطی Linear	0.210	0.196
	لگاریتمی Logarithmic	0.210	0.196
	توانی Power	0.244	0.231
مساحت تاج پوشش Area of the crown	خطی Linear	0.217	0.203
	لگاریتمی Logarithmic	0.223	0.210
	توانی Power	0.265	0.253

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]



شکل ۴- رابطه الومتریک-توانی بین متغیر قطر یقه درخت و ترسیب کربن برگ درختان کیکم
Figure 4. The logarithmic-power allometric relationship between the collar diameter variable and leaf carbon sequestration of *Acer monspessulanum* trees

مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی شاخص سطح برگ، زی‌توده و میزان ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گونه‌های درختی در مناطق جنگلی ایران انجام شده‌اند (Naghash Zargaran, 2001; Adl, 2007; Panahi *et al*., 2011, 2013; Attarod *et al*., 2018; Mahdavi & Mirzaei, 2020; Mahdavi *et al*., 2023). در این پژوهش، با استفاده از متغیرهای مستقل شامل قطر یقه، قطر متوسط تاج و مساحت تاج‌پوشش، روابط آلومتریک مناسبی برای برآورد زی‌توده، اندوخته کربن و شاخص سطح برگ گونه کیکم توسعه داده شدند.

نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه با میانگین تراکم ۴۱/۳ اصله درخت در هکتار، مقادیر زی‌توده خشک برگ، اندوخته کربن برگ و جذب دی‌اکسید کربن به‌ترتیب ۲۰۰/۳۰، ۹۴/۱۶ و ۳۴۵/۶۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شده‌اند (جدول ۲). مقایسه این نتایج با مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق جهان نشان می‌دهد که میزان زی‌توده برگ در کیکم به‌طور قابل توجهی کمتر از گونه‌های مشابه در جنگل‌های معتدله اروپا و آمریکای شمالی است. به‌عنوان مثال، مطالعاتی بر روی ۶۶ گونه درختی در آمریکای شمالی نشان دادند که میانگین زی‌توده برگ بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود (Korzukhin & Ter-Mikaelian, 1997). همچنین، پژوهش‌های براوون و همکاران (Brown *et al*., 1992) و چاو و همکاران (Chave *et al*., 2005) در جنگل‌های گرمسیری به مقادیر بسیار بالاتری (۲۰۰۰-۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) اشاره دارند. این تفاوت‌ها می‌توانند ناشی از شرایط اقلیمی خشک‌تر منطقه زاگرس در مقایسه با این مناطق باشند.

مقایسه با نتایج مطالعات انجام‌شده روی سایر گونه‌های جنگلی زاگرس هم نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل توجهی است. به‌عنوان مثال، میزان زی‌توده خشک برگ برای گونه بلوط و بنه در جنگل‌های یاسوج به‌ترتیب ۱۳۱۷/۳ و ۵۷/۲کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Adl, 2007). همچنین، مقادیر برای گونه بلوط در جنگل‌های شهنشاه استان لرستان ۸۶۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار (Pilevar *et al*., 2016)، برای گونه داغداغان در سنندج ۱۲۶۲ کیلوگرم در هکتار (Pourhashemi *et al*., 2012) و برای گونه‌های ارغوان و زالزالک در استان ایلام به‌ترتیب ۵۳/۵۵ و ۹۹/۱۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شدند (Mahdavi & Mirzaei, 2020; Mahdavi *et al*., 2023). این تفاوت‌ها عمدتاً ناشی از عوامل مختلفی از جمله نوع گونه، تراکم درختان (۴۱.۳ اصله در هکتار در این مطالعه)، اندازه و سن درختان (با میانگین ارتفاع ۵/۷۳ متر و قطر یقه ۳۱/۲۶ سانتی‌متر) و شرایط خاص رویشگاهی منطقه مورد مطالعه هستند (Adl, 2007; Mahdavi & Mirzaei, 2020; Mahdavi *et al*., 2023).

در زمینه شاخص سطح برگ (LAI) ، نتایج این پژوهش (۱/۵۲ برای هر درخت و ۰/۱۱۹ برای هر هکتار) (جدول ۱) با مقادیر گزارش شده برای گونه‌های مشابه در مناطق مدیترانه‌ای اروپا (Oumasst *et al.,* 2024) و جنگل‌های خشک مکزیک (Rojas-García *et al*., 2015) قابل مقایسه هستند. به‌عنوان نمونه، تزیافریدز و همکاران (Tziaferidis *et al.,* 2022)، برای گونه اقاقیای سیاه در یونان مقادیر LAI بین ۱/۲ تا ۱/۸ را گزارش کردند که بسیار نزدیک به نتایج این مطالعه است. با این‌حال، این مقادیر به‌طور قابل توجهی کمتر از LAI اندازه‌گیری‌شده در جنگل‌های مرطوب معتدله (۳-۶) و جنگل‌های گرمسیری (۴-۸) هستند (Poorter *et al*., 2012; Chen *et al*., 2022).

مقادیر شاخص سطح برگ به‌دست‌آمده در این مطالعه در مقایسه با گونه زالزالک در استان ایلام که به‌ترتیب ۰/۰۹۵ و ۹/۰۸ برآورد شدند (Mahdavi *et al*., 2023) و همچنین سایر گونه‌های زاگرس مانند داغداغان (۳/۷)، جنگل‌های بلوط و بنه (۱/۲) و گونه *Quercus libani* (۱/۹۹)، (Adl, 2007; Pourhashemi *et al*., 2012; Khosravi *et al*., 2012) تفاوت‌های معناداری را نشان می‌دهند. این تفاوت‌ها عمدتاً به عوامل متعددی از جمله تعداد و تراکم درختان (۴۱/۳ اصله در هکتار)، ویژگی‌های خاص گونه‌ای، مراحل مختلف توالی اکولوژیک، شرایط فصلی و همچنین تأثیرات مدیریتی و تخریبی رویشگاه مرتبط هستند (Adl, 2007; Mahdavi *et al*., 2023). به‌طور کلی، شاخص سطح برگ بالاتر نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر برای تبادلات گازی بین تاج درخت و اتمسفر است که در گونه کیکم با مقدار ۰/۱۱۹ در هکتار، این پتانسیل نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه کمتر است.

مدل‌سازی رگرسیونی و بررسی‌های روابط آلومتریک

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

در این مطالعه، مدل‌سازی روابط آلومتریک برای پیش‌بینی زی‌توده برگ، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ (LAI) در گونه کیکم (*A. monspessulanum* L.) با استفاده از سه متغیر مستقل شامل قطر یقه درخت، قطر متوسط تاج و مساحت تاج‌پوشش و همین طور با استفاده از سه مدل رگرسیونی (خطی، لگاریتمی و توانی) انجام شد.

متغیر وابسته شاخص سطح برگ

نتایج نشان دادند که از میان سه مدل مورد بررسی، مدل توانی با ضریب تعیین ۰/۴۰۷ برای قطر متوسط تاج و ۰/۳۹۶ برای مساحت تاج‌پوشش، بهترین عملکرد را در پیش‌بینی شاخص سطح برگ داشت (جدول ۴ و ۵). این در حالی است که براساس نتایج جدول ۳ برای این سه مدل مورد بررسی قطر یقه درخت تأثیر معناداری بر LAI نداشت.

یافته‌های حاضر با نتایج پناهی و همکاران (Panahi *et al.,* 2011)، مهدوی و میرزایی (Mahdavi & Mirzaei, 2020) و اکبری (Akbari, 2021) که بر اهمیت قطر متوسط تاج در پیش‌بینی LAI تأکید داشتند، همخوانی دارند، اما با مطالعه ادل (Adl, 2007) که قطر برابر سینه را به‌عنوان متغیر کلیدی معرفی کرده بود، در تضاد هستند. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از ویژگی‌های مورفولوژیک خاص گونه کیکم و شرایط اکولوژیک منطقه مورد مطالعه هستند.

در مقایسه با مطالعات بین‌المللی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهند که روابط آلومتریک در گونه کیکم از الگوهای متفاوتی نسبت به گونه‌های مناطق معتدله و گرمسیری پیروی می‌کنند. به‌عنوان مثال، مطالعات ترمیکائیلیان و کورزوکین (۱۹۹۷) بر روی ۶۶ گونه درختی در آمریکای شمالی نشان دادند که مدل‌های خطی و لگاریتمی معمولاً عملکرد بهتری در پیش‌بینی LAI دارند، در حالی‌که در این تحقیق مدل توانی بهترین برازش را نشان داد (Ter-Mikaelian & Korzukhin, 1997). همچنین، ضریب تعیین به‌دست آمده در این مطالعه (۰/۴۰۷) در مقایسه با تحقیقات مشابه در جنگل‌های مرطوب معتدله با R^2 بین ۰/۶۵–۰/۸۵ پایین‌تر است که می‌تواند ناشی از تنوع کمتر نمونه‌ها و شرایط نیمه‌خشک منطقه باشد. از سوی دیگر، پژوهش‌های روجاس گریک و همکاران (Rojas-García *et al*., 2015) در جنگل‌های مکزیک و اوماست و همکاران (Oumasst *et al*., 2024) بر روی گونه آرگان در مراکش نشان دادند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک، متغیرهای مرتبط با تاج (مانند قطر متوسط تاج و مساحت تاج‌پوشش) معمولاً تأثیر بیشتری بر LAI داشتند که با یافته‌های این مطالعه همسو است. این شباهت‌ها احتمالاً بازتاب استراتژی‌های سازگاری مشابه گونه‌های مناطق خشک در مواجهه با محدودیت منابع آبی هستند.

متغیر وابسته زی‌توده خشک

در تحلیل روابط آلومتریک برای پیش‌بینی زی‌توده خشک برگ در گونه کیکم، نتایج نشان دادند که مدل توانی با ضریب تعیین ۰/۴۳۳ ($R^2 = 0.433$) زمانی که قطر یقه به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شد، بهترین عملکرد را داشت. در حالی که استفاده از قطر متوسط تاج و مساحت تاج‌پوشش به‌ترتیب ضریب تعیین ۰/۲۴۸ و ۰/۲۶۹ را تولید کردند (جداول ۶ و ۷). این یافته‌ها با نتایج اکبری (Akbari, 2021)، در مورد گونه زالزالک از نظر نوع مدل (توانی) همخوانی دارند، اگرچه در آن مطالعه متغیرهای مرتبط با تاج عملکرد بهتری نشان دادند.

مقایسه با مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که ضریب تعیین به‌دست آمده در این پژوهش (۰/۴۳۳) در مقایسه با مطالعاتی که در جنگل‌های مرطوب‌تر انجام شدند و به ضرایب تعیین بالاتری (۰/۸۰ – ۰/۶۵) دست یافتند، پایین‌تر است. این تفاوت را می‌توان به عوامل متعددی (Calva-Alvarado *et al*., 2008; Pokorny & Tomaskova, 2007) مانند تراکم پایین‌تر درختان (۴۱/۳ اصله در هکتار)، شرایط نیمه‌خشک منطقه (میانگین بارندگی ۵۷۳ میلی‌متر) و ویژگی‌های خاص گونه کیکم (Attarod *et al*., 2018) نسبت داد. مطالعه هیرو و همکاران (Hierro *et al*., 2000) بر روی درختان شاخه‌زاد (*Cavanilles.erinaceae*) نیز نشان داد که در چنین گونه‌هایی، معیارهای اندازه‌گیری متفاوتی (مانند قطر بلندترین ساقه) ممکن است نتایج بهتری ارائه دهد. باید توجه داشت که زی‌توده شاخه و برگ وابستگی زیادی به شرایط رویشگاهی دارد (Socha & Wezyk, 2007). بنا بر این، لازم است در هر رویشگاهی تحقیقی مستقل برای بررسی امکان پیش‌بینی این متغیرها انجام شود.

متغیر وابسته ترسیب کربن برگ

در مورد ترسیب کربن برگ، مدل توانی مجدداً بهترین عملکرد را، با ضرایب تعیین ۰/۴۳۴ برای قطر یقه، ۰/۲۴۴ برای قطر متوسط تاج و ۰/۲۶۵ برای مساحت تاج‌پوشش، نشان داد. این نتایج با یافته‌های افروزنده و همکاران (Afrozandeh *et al.,* 2015) و اکبری (Akbari, 2021)، همسو هستند، اما با نتایج مهدوی و میرزایی (Mahdavi |& Mirzaei, 2020)، در مورد گونه ارغوان که مدل‌های نمایی و خطی را پیشنهاد کردند، تفاوت دارند. همچنین، این نتایج با مطالعه ادل (Adl, 2007) که برای گونه بنه یک مدل لگاریتمی خطی با ضریب تعیین ۰/۹۵ گزارش کرد، قابل مقایسه‌اند. این تفاوت‌ها مجدداً بر اهمیت توسعه معادلات خاص گونه تأکید دارند.

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که در گونه کیکم، قطر یقه به‌عنوان مؤثرترین متغیر مستقل برای پیش‌بینی زی‌توده خشک برگ و ترسیب کربن عمل می‌کند. این یافته احتمالاً ناشی از ویژگی‌های رشد چندساقه‌ای این گونه و شرایط خاص رویشگاهی منطقه است. با این حال، همان طور که سوچا و وزی (Socha & Wezyk, 2007) اشاره کرده‌اند، وابستگی شدید روابط آلومتریک به شرایط رویشگاهی، لزوم انجام مطالعات مستقل در هر منطقه را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این تحقیق توانایی اندازه‌گیری زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ گونه کیکم با استفاده از معادلات آلومتریک را نشان دادند. نتایج بررسی روابط آلومتریک با استفاده از روابط رگرسیونی نشان دادند که مدل توانی دارای بهترین ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده برای اکثر متغیرهای مستقل مورد بررسی با متغیرهای وابسته زی‌توده، ترسیب کربن و شاخص سطح برگ درختان کیکم در جنگل‌های مورد مطالعه استان ایلام بودند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]
[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

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]

Afrozandeh, A., Kiani, B., & Atarod, P. (2015). Modeling the Standing Traits to Estimate Tree Volume and Biomass of *Acer monspessulanum* Subsp. *cinerascens* (Boiss.) using Multiple Regression, *Ecology of Iranian Forests,* 3(6), 9-18. [In Persian]

Andalibi, L., Ghorbani, A., Moameri, M., Hazbavi, Z., Nothdurft, A., Jafari, R., & Dadjou, F. (2021). Leaf Area Index Variations in Ecoregions of Ardabil Province, Iran. *Remote Sensing, 13*(15), 2879.

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]

Berg, B., & McClaugherty, C. (2014). Plant litter: Decomposition, humus formation, carbon sequestration (3rd ed.). Springer.

Bombelli, A., Avitabile, V., BelelliMarchesini, L., Balzter, H., Bernoux, M., Hall, R., Henry, M., Law, B.E., Manlay, R., Marklund, L.G., & Shimabukuro, Y.E. (2009). Assessment of the status of the development of the standards for the terrestrial essential climate variables: biomass. Food and Agriculture Organization- Global Terrestrial Observation System, Rome.

Brown, S., & Lugo A. E. (1992). Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia,* 17, 8-18.

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

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

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chamber, J. Q., Eamus, D., Folester, H., Formard, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balans in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99.

Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R. Ni J., & Holland, E.A. (2001). Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications*, 11, 371–384.

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.

Dudley, N.S., & Fownes, J.H. (1992). Preliminary biomass equations for eight species of fast-growing tropical trees. *Journal of Tropical Forest Science*, 5(1), 68-73.

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

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

Hierro, J.L., Branch, L.C., Villarreal, D., & Clark, K. (2000). Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range Management*, 53, 617-621.

Iranmanesh, Y., Sagheb Talebi, kh., Sohrabi, H., Jalali, S. Gh., & Hosseini, S.M. (2015). Biomass and carbon stock of Brant's Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Charmahal & Bakhtiari Forests. *Iranin Journal of Forest and Popolar Research*, 22(4), 749-762. [In Persian]

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. *Agricultural and Forest Meteorology, 121*(1-2), 19-35.

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.

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.

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.

Mahdavi, A., Akbari, M., Omidi, M. & Naderi, M. (2023). Evaluation of leaf biomass, leaf carbon sequestration and leaf area index of Hawthorn (*Crataegus aronia* L.) in Ilam forests. *Journal of Forest Resrach and Development*, 9(3), 145-159. [In Persian]

Mirabdollahi, S. M., Bonyad, A. E., Torkaman, J., & Bakhshandeh, N. B. (2011). Modeling of Effective Variables on Bark Thickness of Fagus orientalis Lipsky in the Asalem Forest Area. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(3), 79-90. [In Persian]

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]

Morgan, W.B., & Moss, P.A. (1985). Biomass energy and urbanization: commercial factors in the production and use of biomass fuels in tropical Africa. *Biomass Bioenergy,* 6, 285–299.

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.

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]

Panahi, P., Pourhashemi M., & Hassaninejad, M. (2014). Allometric of leaf biomass and carbon stocks if oaks in National Botanical Garden of Iran. *Journal of Plant Research*, 27(1), 12-22. [In Persian]

Pilehvar, B., Mirazadi, Z., Taheri Abkenar, K., & Vayskarami, Z. (2015). 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*, 10(41), 81-92.

Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist, 193*(1), 30-50.

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.

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]

Rojas-García, F., De Jong, B.H.J., Martinez-Zurimendi, P., & Paz-pellat, F. (2015). Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. *Annals of Forest Science,* 72, 835-864.

Segura, M., & Kanninen, M., (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biotropica*, 37, 2–8.

Sohrabi, H., & Shirvani, A. 2012. Allometric equations for estimating biomass of Atlantic Pistacche (*Pistacia atlantica var. mutica*) in Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest*, 4(1), 55-64. [In Persian]

Socha, J., & Wezyk, P. (2007). Allometric equations for estimating the foliage biomass of Scots pine. *Europran Journal of Forest Research*, 126, 263-270.

Ter-Mikaelian, M.T., & Korzukhin, M.D. (1997). Biomass equations for sixty-five North America tree species. *Forest Ecology and Management*, 97(1), 1-24.

Pokorny, R., & Tomaskova, I. (2007). Allometric relationships for surface area and dry mass of young Norway spruce aboveground organs. *Journal of Forest Science*, 53(12), 548-554.

UNFCCC. (2008). Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007.Addendum, Part 2. Document FCCC/CP/2007/6/Add.1. UNFCCC, Bonn, Germany.

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.

Veresoglou, S. D., & Peñuelas, J. (2019). Variance in biomass-allocation fractions is explained by distribution in European trees. *New Phytologist*, 222(3), 1352-1363.

Wang, H., Hall, C. A., Scatena, F. N., Fetcher, N., & Wu, W. (2003). Modeling the spatial and temporal variability in climate and primary productivity across the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, *179*(1-3), 69-94.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-12-05]

[DOI: 10.61882/ifej.2025.549]