

Research Article

Estimation of biomass and carbon stock in *Prunus arabica* Olive. and *P. elaeagrifolia* Spach. species in the Kareh-Bas forest habitat of Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran

Sohrab Ghaffari ¹, Hamid Reza Riahi Bakhtiari ², Yaghoub Iranmanesh ^{3*} and Mohammad Kazem Parsapour ⁴

1- Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

2- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3*- Corresponding author, Associate Prof., Department of Natural Resources Research, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. E-mail: y.iranmanesh@yahoo.com

4- Postdoctoral Researcher, Department of Natural Resources Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shahrekord, Iran

Received: 26.11.2024

Revised: 13.01.2025

Accepted: 11.02.2025

Abstract

Background and Objectives: Global warming poses a primary challenge to sustainable development in the 21st century, with significant negative impacts on terrestrial ecosystems. A key driver of climate change is rising atmospheric carbon dioxide concentrations. Forests, as natural ecological hubs, play a vital role in absorbing CO₂ and stabilizing the atmosphere. The Zagros forests are crucial for ecosystem conservation and sustainability due to their carbon sequestration capacity. As a pioneer species, wild almond contributes to forest restoration and carbon storage, though research on its biomass and carbon stocks remains limited.

Methodology: This study was conducted in the Kareh-Bas forest habitat, 60 km south of Borujen County and 110 km southwest of Shahrekord City, to evaluate biomass and carbon stock in *Prunus arabica* Oliv. and *Prunus elaeagrifolia* Spach. Sample trees were selected across crown cover classes; 15 individuals per species (30 total shrubs) were marked. Quantitative parameters measured included thickest shoot diameter, total height, crown diameter, and number of shoots. Trees were dissected into leaves, trunk, branches, and twigs, with each component weighed using precise digital scales. Samples were lab-processed to determine dry weight and carbon content. Total above-ground biomass was calculated by summing dry weights of all components, and organic carbon percentage was measured via combustion in an electric furnace.

Results: In *P. arabica*, branches and twigs contributed the most above-ground biomass, while leaves contributed the least. Average above-ground biomass per tree was 22.5 kg, with carbon stock at 10.4 kg. Most stems fell in crown diameter classes <1 m, but biomass was concentrated in stems >4 m diameter. Carbon percentage varied across parts, highest in twigs (47.8%). For *P. elaeagrifolia*, average above-ground biomass was 28.3 kg per tree, with carbon stock at 13 kg. Highest stem frequency was in <1 m diameter classes, but biomass peaked in 3–4 m crown diameters. Carbon percentage varied significantly, highest in the trunk (46.5%). Between species, biomass allocation differed: twigs dominated in *P. arabica*, while main branches and trunk

dominated in *P. elaeagrifolia*. No significant differences in biomass or carbon storage occurred between the two species.

Conclusion: Biomass and carbon stocks showed no statistically significant differences between *P. arabica* and *P. elaeagrifolia*. However, *P. arabica* exhibited higher values (3.9 tons/ha biomass, 1.9 tons/ha carbon) than *P. elaeagrifolia* (3.3 tons/ha biomass, 1.5 tons/ha carbon). These differences relate to tree density per hectare and vegetative structure. The findings confirm that structural characteristics and dominant species determine biomass and carbon storage, with density, diameter at breast height, and height as key parameters. Across canopy classes, saplings and small shrubs comprised ~50% of individuals, but trees >3 m canopy diameter accounted for >50% of total biomass and played a major role in carbon sequestration. These results emphasize larger trees' importance for carbon sequestration and the risks posed by human activities like logging and fire.

Keywords: Aboveground carbon, climate change, pioneer species, Zagros forests.

برآورد زی توده و اندوخته کربن دو گونه بادام طاووسی (*Prunus arabica Olive.*) و بادام برگ سنجدی (*Prunus elaeagrifolia Spach.*) در رویشگاه جنگلی کره بس در استان چهارمحال و بختیاری

سهراب غفاری^۱، حمیدرضا ریاحی بختیاری^۲، یعقوب ایران منش^{۳*} و محمدکاظم پارساپور^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استادیار پژوهش، گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. پست الکترونیکی: y_iranmanesh@yahoo.com

۴- پژوهشگر پسادکتری، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶

چکیده

سابقه و هدف: گرم شدن زمین به عنوان منبع اصلی چالش های توسعه پایدار در قرن بیست و یکم شناخته می شود و اثرات منفی قابل توجهی بر بوم سازگان های خشکی دارد. یکی از عوامل کلیدی در تغییر اقلیم، افزایش غلظت گازهای گلخانه ای، به ویژه دی اکسید کربن در جو زمین است. در این زمینه، جنگل ها به عنوان کانون های طبیعی بوم شناسی، نقش حیاتی در جذب دی اکسید کربن و بهبود پایداری جو دارند. جنگل های زاگرس از جنبه های محیط زیستی مانند ترسیب کربن، نقشی حیاتی در حفظ و پایداری بوم سازگان ها دارند. بادام وحشی به عنوان گونه ای پیشگام می تواند به احیای جنگل ها و افزایش ذخیره کربن کمک کند. با این حال، پژوهش ها در زمینه زی توده و اندوخته کربن این گونه ها هنوز محدود هستند و نیاز به مطالعات بیشتری است.

مواد و روش ها: پژوهش پیش رو در رویشگاه بادام کره بس، واقع در ۶۰ کیلومتری جنوب شهرستان بروجن و ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهر شهرکرد برای ارزیابی زی توده و ذخیره کربن گونه های بادام طاووسی (*Prunus arabica Olive.*) و بادام برگ سنجدی (*Prunus elaeagrifolia Spach.*) انجام گرفت. پایه های بادام به روش تصادفی و باتوجه به طبقه های تاجی مختلف در ۳۰ قطعه نمونه ۱۰۰۰ متر مربعی انتخاب شدند. ۱۵ پایه از هر گونه بادام در طبقه های مختلف تاجی انتخاب و در مجموع، ۳۰ درختچه نشانه گذاری شدند. مؤلفه های کمی شامل قطر قطورترین جست، ارتفاع کل، قطر تاج و تعداد جست ها اندازه گیری شدند. درختان در عرصه به بخش های مختلف شامل برگ، تنه، شاخه و سرشاخه تقسیم شدند. سپس، وزن تر هر جزء به صورت جداگانه با استفاده از ترازوهای دیجیتال دقیق اندازه گیری شد. نمونه ها، به منظور اندازه گیری وزن خشک و محتوای کربن به آزمایشگاه منتقل شدند. وزن خشک هر جزء درخت محاسبه و زی توده کل اندام های هوایی با جمع وزن خشک همه اندام ها به دست آمد. برای اندازه گیری درصد کربن آلی، از روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد.

نتایج: در بادام طاووسی، بیشترین زی توده روی زمینی در شاخه های اصلی و سرشاخه و کمترین آن در برگ ها وجود داشت. متوسط زی توده روی زمینی در هر پایه از این گونه برابر ۲۲/۵ کیلوگرم و متوسط موجودی کربن روی زمینی ۱۰/۴ کیلوگرم بود. بیشترین فراوانی پایه ها در طبقه قطر تاج کمتر از یک متر مشاهده شد و بخش عمده زی توده متعلق به پایه هایی با قطر تاجی بیشتر از چهار متر بود. درصد کربن در بخش های مختلف این گونه نیز به صورت قابل توجهی متفاوت بود و بیشترین مقدار آن در سرشاخه ها (۴۷/۸ درصد) مشاهده شد. در بادام برگ سنجدی، متوسط زی توده روی زمینی ۲۸/۳ کیلوگرم و متوسط موجودی کربن روی زمینی ۱۳ کیلوگرم در هر پایه بود. بیشترین فراوانی پایه ها در طبقه های قطر تاج کمتر از یک متر مشاهده شد و بیشترین سهم زی توده به پایه هایی با قطر تاجی بین سه تا چهار متر اختصاص داشت. درصد کربن بین اندام های مختلف این گونه نیز تفاوت معنی دار داشت و بیشترین مقدار آن در تنه

(۴۶/۵ درصد) مشاهده شد. در مقایسه دو گونه، تخصیص زی توده به اندام‌های مختلف متفاوت بود. به‌طوری‌که در بادام طاووسی، سرشاخه‌ها سهم بیشتری داشتند، درحالی‌که سهم شاخه‌های اصلی و تنه در بادام برگ‌سنجدی، بیشتر بود. همچنین، نتایج، عدم تفاوت معنی‌دار در زی توده و اندوخته کربن بین دو رویشگاه را نشان دادند.

نتیجه‌گیری کلی: زی توده و اندوخته کربن دو گونه بادام طاووسی و برگ‌سنجدی، تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. با وجود این، بادام طاووسی دارای زی توده و کربن بیشتری است که به‌ترتیب ۳/۹ و ۱/۹ تن در هکتار به‌دست آمد، درحالی‌که مقادیر مشابه برای بادام برگ‌سنجدی به‌ترتیب ۳/۳ و ۱/۵ تن در هکتار بود. این تفاوت‌ها به تأثیر تعداد درختان در هر هکتار و ساختار رویشی این دو گونه مرتبط است. این یافته‌ها تأیید می‌کنند که ویژگی‌های ساختاری و گونه‌های غالب جنگلی، عواملی کلیدی در تعیین زی توده و ذخیره‌سازی کربن هستند. عواملی مانند تراکم، قطر برابرسینه و ارتفاع درختان، مؤلفه‌های اصلی تولید زی توده هستند. بررسی تعداد در طبقه‌های مختلف تاجی نشان داد که درختچه‌های کوچک حدود ۵۰ درصد نمونه‌ها را تشکیل می‌دادند، درحالی‌که درختان با قطر تاجی بیشتر از سه متر، بیشتر از ۵۰ درصد زی توده را به‌خود اختصاص داده بودند و نقش مهمی در جذب کربن داشتند. این نتایج بر اهمیت نقش گونه‌های بزرگ‌تر در ترسیب کربن و اثرات منفی بالقوه دخالت‌های انسانی مانند قطع درختان و آتش‌سوزی بر این خدمت بوم‌سازگان تأکید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، جنگل‌های زاگرس، کربن روی‌زمینی، گونه‌های پیشگام.

مقدمه

گرم شدن زمین از مهم‌ترین چالش‌های توسعه پایدار در قرن بیست و یکم به‌شمار می‌رود که اثرات منفی قابل‌توجهی بر بوم‌سازگان‌های خشکی دارد. افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، عامل اصلی این تغییرات است (IPCC, 2007). یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش دی‌اکسیدکربن، استفاده از بوم‌سازگان‌های طبیعی، به‌ویژه جنگل‌ها است که نقش کلیدی در ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن و پایداری جو ایفا می‌کنند. جنگل‌ها با جذب دی‌اکسیدکربن از طریق فتوسنتز و ذخیره آن در زی توده و خاک، حدود نیمی از کربن موجود در خشکی‌ها را در خود جای می‌دهند (Canadell et al., 2007).

جنگل‌های زاگرس اگرچه از نظر تولید چوب مطرح نیستند، اما از جنبه محیط زیستی، حفاظت منابع آب و خاک، پناهگاه حیات وحش، تولید اکسیژن، ترسیب کربن و خدمات دیگر بوم‌سازگانی، نقش انکارناپذیری در پایداری بوم‌سازگان و معیشت ساکنان این مناطق ایفا می‌کنند. بادام وحشی با دامنه بوم‌شناختی وسیع و تنوع ژنتیکی زیاد جزو گونه‌های پیشگام برای احیا و غنی‌سازی جنگل‌های زاگرس محسوب می‌شود (Jahanbazi Goujani et al., 2006; Karimi, 2024).

گونه‌های بادام وحشی، گستره وسیعی از فرم‌های جغرافیایی و ریخت‌شناسی را نشان می‌دهند که در سرتاسر قسمت‌های آسیای مرکزی و جنوب غربی آن پراکنده هستند. جنس بادام، یکی از بارزترین رستنی‌های ایران است که در بخش کوهستانی منطقه ایرانی-تورانی در مرکز، شرق و غرب کشور پراکنش دارد. از ۳۶ گونه بادام که در دنیا وجود دارد، ۳۲ گونه آن در ایران شناسایی شده است و ۱۲ گونه در منطقه زاگرس مرکزی گزارش شده است (Mozaffarian, 2005).

پژوهش‌های اخیر بر اهمیت اندازه‌گیری دقیق‌تر میزان اندوخته کربن در جنگل‌ها تأکید دارند (Mechergui et al., 2024). زی توده جنگل، به‌ویژه زی توده درختی، به‌عنوان معیاری کلیدی در ارزیابی ظرفیت ترسیب کربن جنگل‌ها شناخته می‌شود. برآورد دقیق از زی توده جنگل، مبنای مطالعه چرخه کربن در زیست‌بوم‌های زمینی است. به‌دلیل دشواری در اندازه‌گیری بخش زیرزمینی زی توده، به‌طور معمول از زی توده روی زمینی استفاده می‌شود (Issa et al., 2020). با وجود پژوهش‌های گسترده در زمینه ذخیره‌سازی کربن و زی توده درختان جنگلی، هنوز پژوهش خاصی درمورد تعیین دقیق زی توده و اندوخته کربن دو گونه بادام طاووسی (*Prunus arabica* Olive) و بادام برگ‌سنجدی (*Prunus*

سوزنی‌برگ، عملکرد بهتری دارند (Zeidi Joodaki et al., 2021). بررسی انجام‌شده توسط Rostamikia و همکاران (۲۰۲۴) بیانگر نقش مؤثر گونه‌های بادام وحشی در بهبود ویژگی‌های خاک بود. این بهبود شامل کاهش چگالی خاک و افزایش در رطوبت، کربن آلی و محتوای مواد مغذی آن می‌شود. بررسی پتانسیل ترسیب کربن چهار گونه مختلف شامل بادام کوهی در منطقه حفاظت‌شده باغ شادی هرات در استان یزد انجام نشان داد که این گونه، بیشترین میزان ترسیب کربن را در میان گونه‌های مورد بررسی به‌خود اختصاص داد (Olfati et al., 2013). براساس نتایج گزارش‌شده توسط Amini و همکاران (۲۰۲۴)، بادام کوهی (*P. lycioides* (Spach) C.K.Schneid.) توانایی زیادی برای بازیابی پس از آتش‌سوزی‌های سطحی دارد که این ویژگی، آن را به یکی از گونه‌های کلیدی در احیای بوم‌سازگان تبدیل می‌کند.

بررسی‌های بوم‌شناختی حاکی از آن است که بادام کوهی به‌علت مقاومت و سازگاری زیاد می‌تواند نقشی مهم در تثبیت ذخایر کربن و بازسازی سریع زیستگاه‌های آسیب‌دیده ایفا کند. هدف از پژوهش پیش‌رو، برآورد زی توده دو گونه بادام جنگلی شامل بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی در رویشگاه کره‌بس در استان چهارمحال و بختیاری است. این گونه‌های درختچه‌ای که در جنگل‌های زاگرس به‌عنوان گونه‌های همراه و پرستار حضور دارند و در برخی مناطق استان به‌صورت توده‌های غالب دیده می‌شوند، علی‌رغم اهمیت بوم‌شناختی، از نظر علمی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌طور خاص، پژوهش‌های بسیار محدودی در مورد زی توده آن‌ها انجام شده است. درک زی توده و اندوخته کربن بادام‌های وحشی در ارزش‌گذاری اقتصادی و محیط‌زیستی آن‌ها بسیار حائز اهمیت است (IPCC, 2007). با توجه به چالش‌های تغییر اقلیم و تعهد ایران به کاهش گازهای گلخانه‌ای، ارزیابی اثر این گونه‌ها بر اندوخته کربن، اهمیت مضاعفی می‌یابد.

مواد و روش‌ها

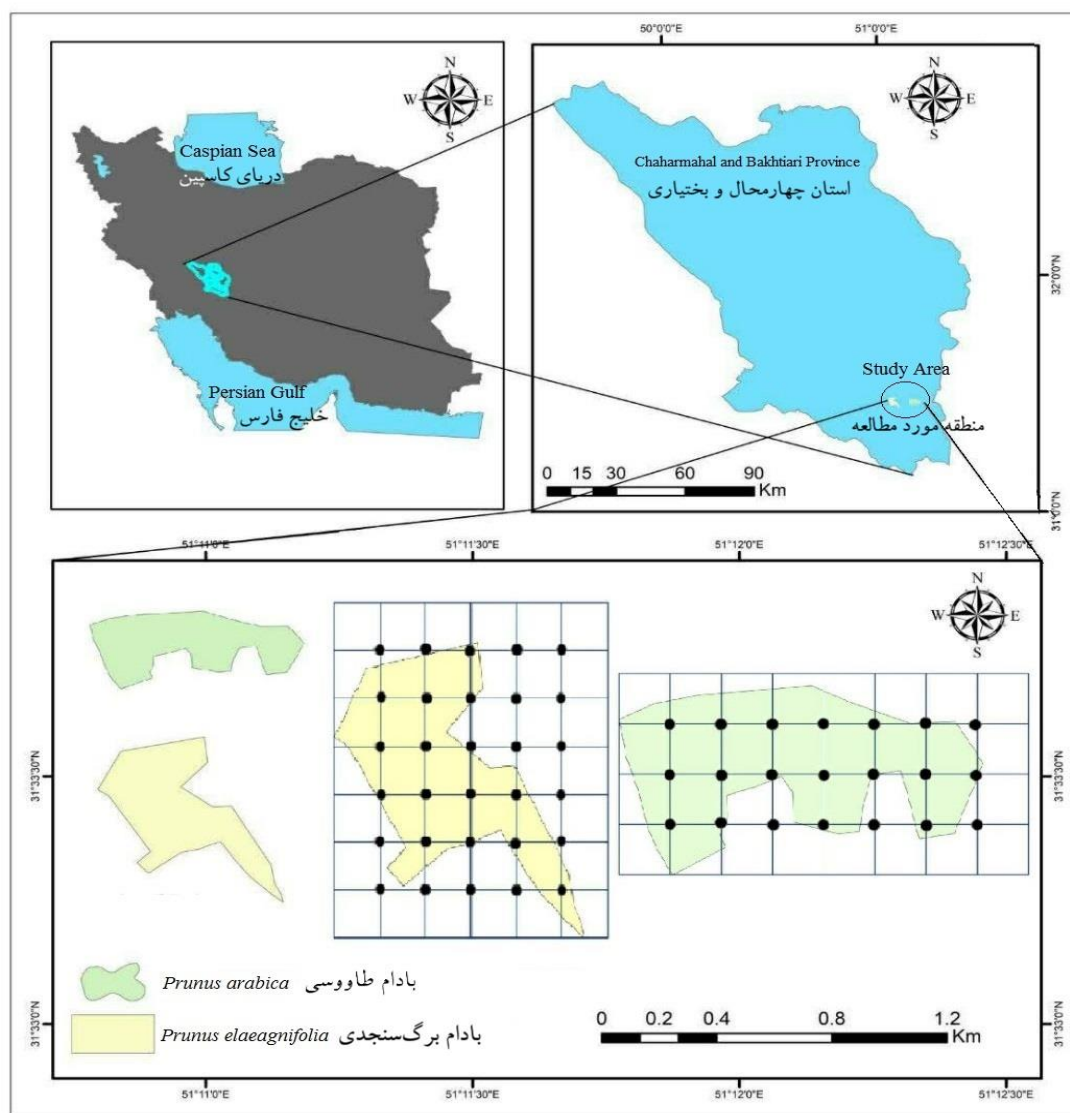
منطقه مورد مطالعه

منطقه پژوهش، رویشگاه بادام کره‌بس با مساحت ۵۰۶/۷

elaeagrifolia Spach.) در جنگل‌های زاگرس انجام نشده است. این دو گونه به‌دلیل توانایی بالقوه‌شان در سازگاری با شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک می‌توانند نقش مهمی در مدیریت منابع طبیعی و نیز تقویت ذخیره کربن در این مناطق ایفا کنند. پژوهش‌های اخیر در جنگل‌های زاگرس استان چهارمحال و بختیاری به بررسی زی توده و اندوخته کربن تعدادی از درختان جنگلی پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، زی توده کربن در صنوبر (*Populus alba* L.) و دو هیبرید آن نشان‌دهنده کارایی زیاد این درختان در مراحل اولیه رشد برای ذخیره کربن بود (Sohrabi et al., 2015). بررسی فرم‌های مختلف رویشی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) نشان داد که اندوخته کربن این درختان به شرایط محیطی وابسته است (Iranmanesh et al., 2014; 2021). پژوهش‌ها در زمینه زی توده و اندوخته کربن بادام‌های وحشی، به‌ویژه در منطقه زاگرس، بسیار محدود است. در یکی از محدود پژوهش‌ها، بررسی زی توده و مقدار رویش سالانه بادام طاووسی در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد که میانگین رویش سالانه قطری این گونه ۱/۳۵۲ میلی‌متر و رویش سالانه زی توده و کربن به‌ترتیب ۶۷۰ و ۳۲۷ گرم است (Askari et al., 2019). مطابق با همین نتایج، روند مقدار زی توده و موجودی کربن از قطرهای کوچک به بزرگ تقریباً حالت صعودی و افزایشی داشت. همچنین، Madam و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که گونه‌های بومی بادام ایرانی می‌توانند در شرایط مختلف محیطی به‌خوبی عمل کنند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که این گونه‌ها نه تنها می‌توانند مقاومت زیادی در برابر تنش‌های محیطی داشته باشند، بلکه دارای زی توده قابل توجهی هستند. ارزیابی ویژگی‌های خاک تحت تاج‌پوشش بادام کوهی (*P. orientalis* (Mill.) Koehne) نشان داد که وجود تاج‌پوشش این درختان با مقادیر زیاد کربن آلی زیرتاج‌پوشش آن‌ها، تأثیر مثبتی بر خصوصیات زیستی و شیمیایی خاک دارد (Khanmohammadi & Matinizedeh, 2023). بررسی اثرات جنگل‌کاری بر پایداری خاک و جذب کربن نشان داد که گونه‌های پهن‌برگ به‌ویژه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia* (Spach) C.K.Schneid.) در بهبود خصوصیات خاک و افزایش ذخیره کربن نسبت به گونه‌های

بیشترین درجه حرارت روزانه $31/5$ درجه سانتی‌گراد (در مردادماه) و کمترین درجه حرارت روزانه منطقه نیز حدود $10/5-$ درجه سانتی‌گراد (در دی‌ماه) است. همچنین، تعداد روزهای خشک سال در منطقه مورد مطالعه 120 روز است (اوایل خرداد تا پایان شهریورماه). این منطقه جنگلی به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و تنوع زیستی غنی، میزبان چهار گونه اصلی بادام وحشی شامل *P. arabia*، *P. elaeagnifolia*، *P. haussknechtii* C.K.Schneid. و *P. scoparia* است (Sharifpoor et al., 2016).

هکتار از نظر موقعیت مکانی در 60 کیلومتری جنوب شهرستان بروجن و 110 کیلومتری جنوب غرب مرکز استان چهارمحال و بختیاری (شهرکرد) قرار گرفته است. این رویشگاه از نظر جغرافیایی در حد فاصل طول شرقی $51^{\circ} 10' 9''$ تا $51^{\circ} 42' 42''$ و عرض شمالی $31^{\circ} 32' 58''$ تا $31^{\circ} 35' 45''$ واقع شده است. رویشگاه بادام کره‌بس در تقسیم‌بندی جدید از توابع شهرستان خانمیرزا قرار دارد. این رویشگاه یکی از مهم‌ترین و باارزش‌ترین رویشگاه‌های طبیعی و منحصربه‌فرد بادام جنگلی در استان است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه منطقه $584/9$ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت سالانه 10 درجه سانتی‌گراد،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure 1. Geographical location of the study area

روش پژوهش

باتوجه به وضعیت گونه‌های غالب بادام موجود در منطقه، دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی انتخاب شدند. به منظور آماربرداری و انتخاب پایه‌های بادام در توده‌های مورد بررسی، ۳۰ قطعه نمونه ۱۰۰۰ متر مربعی به صورت تصادفی - منظم پیاده شد (شکل ۱). باتوجه به بررسی اولیه درختچه‌های بادام در رویشگاه مورد مطالعه، پنج طبقه قطری تاج شامل قطر کمتر از یک، یک تا دو، دو تا سه، سه تا چهار و بیشتر از چهار متر در نظر گرفته شد (Iranmanesh et al., 2004). سپس باتوجه به طبقه‌های قطر تاج، در هر قطعه نمونه، نزدیک‌ترین درختچه که طبقه قطری مورد نظر را دربر می‌گرفت، انتخاب شد. به این ترتیب، ۱۵ پایه از هر گونه بادام در طبقه‌های مختلف تاجی (در هر طبقه تاج، سه پایه) و در مجموع، ۳۰ درختچه بادام انتخاب شدند. پایه‌های

انتخاب شده نشانه‌گذاری شدند و مؤلفه‌های کمی آن‌ها شامل قطر قطورترین جست، ارتفاع کل، قطر تاج (میانگین قطر بزرگ و قطر عمود بر آن) و تعداد جست اندازه‌گیری شدند. برای تقسیم‌بندی درخت به قسمت‌های مختلف، فاکتورهای خاصی مانند محتوای رطوبتی، غلظت کربن، عملیاتی بودن و ساختار رویشی در نظر گرفته شد (Snowdon et al., 2002; IPCC, 2007). باتوجه به ساختار رویشی، پایه‌ها به چند قسمت جداگانه شامل برگ، سرشاخه، شاخه و تنه تقسیم شدند (Ketterings et al., 2001). پس از قطع و جداسازی، وزن تر قسمت‌های تفکیک شده به صورت جداگانه، در عرصه به کمک ترازوی عقربه‌ای با دقت ۰/۵ کیلوگرم (برای تنه‌های قطور) و ترازوی رقومی با دقت ۱۰ گرم (برای وزن‌های کمتر) اندازه‌گیری شد (شکل ۲) (Losi et al., 2003).



شکل ۲- جداسازی و توزین قطعه‌های مختلف درخت در عرصه

Figure 2. Cutting, separating, and weighing various components of trees in the field

$$C\% = (100 - Ash\%) \times 0.58 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن؛ Ash% درصد خاکستر به دست آمده پس از سوزاندن کامل لایه چوبی، w_1 وزن ظرف (بوته چینی)، w_2 وزن خشک نمونه و بوته چینی و w_3 مجموع وزن خاکستر و بوته چینی مورد استفاده است.

تحلیل داده‌ها

ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه زی توده و اندوخته کربن اندازه‌گیری شده از تجزیه واریانس یک طرفه و آزمون t غیرمستقل استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن انجام شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج

الف) بادام طاووسی

زی توده

بیشترین مقدار زی توده روی زمینی بادام طاووسی در شاخه اصلی و سرشاخه و کمترین آن در برگ وجود داشت. متوسط زی توده روی زمینی هر پایه از این گونه ۲۲/۵ کیلوگرم به دست آمد (جدول ۱).

موجودی کربن

متوسط موجودی کربن در بادام طاووسی، در طبقه‌های تاجی به تفکیک اندام‌های مختلف در جدول ۲ مشاهده می‌شود. متوسط موجودی کربن روی زمینی در این گونه ۱۰/۴ کیلوگرم به دست آمد.

نمونه برداری از اندام‌های هوایی

برگ: سی برگ از هر درخت به طور تصادفی از قسمت‌های مختلف تاج بدون در نظر گرفتن اندازه برگ برداشت شد.

تنه: یک نمونه دیسک به ضخامت پنج سانتی متر از هر درخت برداشت شد.

شاخه: از هر درخت، پنج شاخه اصلی با ضخامت‌های مختلف به طور تصادفی برداشت شدند.

سرشاخه: شاخه‌های با قطر کمتر از یک سانتی متر در نظر گرفته شدند.

همه نمونه‌های تهیه شده شامل چوب تنه، شاخه، سرشاخه و برگ بلافاصله در عرصه توزین شدند و در بسته‌بندی‌های جداگانه به منظور اندازه‌گیری وزن خشک و مقدار کربن به آزمایشگاه منتقل شدند.

پس از تعیین وزن خشک نمونه‌ها، وزن خشک هر اندام درخت (WDC) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$WDC = \frac{WFC \times WDS}{WFS} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن؛ WFC وزن تر هر جزء از درخت، WDS وزن خشک هر نمونه و WFS وزن تر هر کدام از نمونه‌ها هستند. برای محاسبه وزن خشک (زی توده) کل اندام‌های هوایی، وزن خشک همه اندام‌های هوایی با همدیگر جمع شدند. به منظور اندازه‌گیری درصد کربن آلی نمونه‌های گیاهی، از روش احتراق در کوره الکتریکی استفاده شد (MacDicken, 1997). برای محاسبه ضریب کربن ($C\%$) از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد.

$$Ash\% = \frac{w_3 - w_1}{w_2 - w_1} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۱- میانگین زی توده (کیلوگرم) اندام‌های مختلف درختچه بادام طاووسی در طبقه‌های تاجی متفاوت

Table 1. Average biomass (kg) of different parts of the *Prunus arabica* Olive. at varying crown cover classes

Tree part	Canopy cover class (m)					Mean biomass per tree (kg)
	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Leaf	0.00004 (0.00)	0.0754 (0.05)	0.464 (0.09)	1.596 (1.35)	5.34 (4.2)	1.5 (0.89)
Twigs	0.35 (0.09)	1.89 (0.38)	4.34 (0.63)	12.73 (1.21)	23.15 (1.7)	8.5 (2.6)
Branch	0.014 (0.00)	0.181 (0.02)	0.52 (0.05)	3.93 (0.54)	38.86 (1.27)	7.8 (6.1)
Trunk	0.01 (0.00)	0.32 (0.05)	1.45 (0.42)	5.66 (1.8)	11.53 (1.4)	3.8 (1.4)
AGB (kg)	0.37 (0.1)	2.5 (0.5)	6.8 (1.04)	23.9 (3.4)	79 (21.6)	22.5 (8.7)

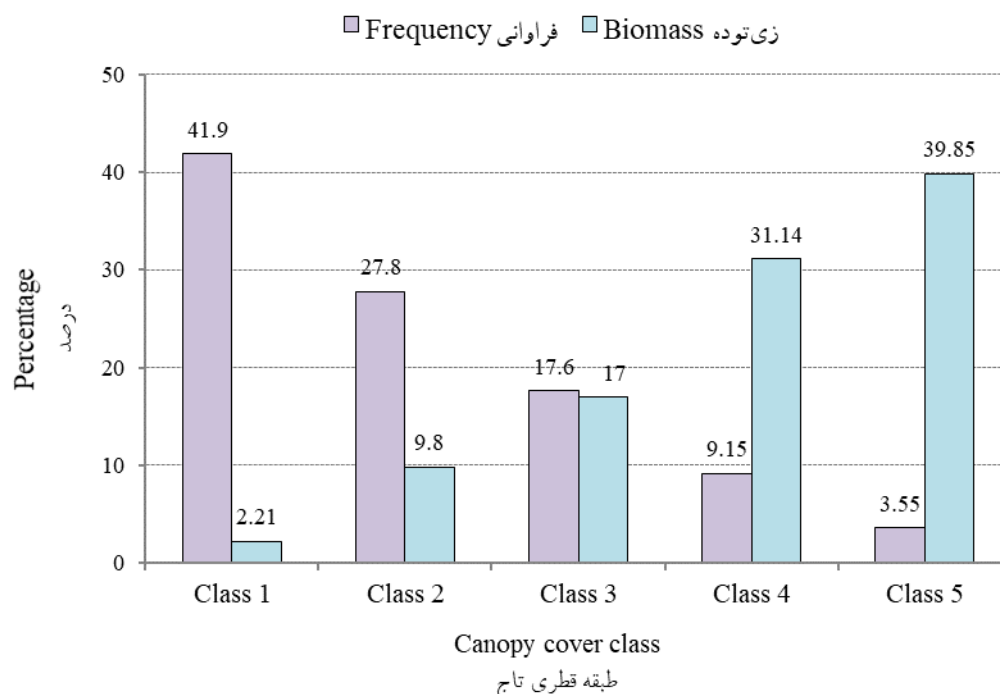
Numbers in parentheses indicate the standard error; AGB: Aboveground biomass

جدول ۲- میانگین موجودی کربن (کیلوگرم) قسمت‌های مختلف درختچه بادام طاووسی در طبقه‌های تاجی متفاوت

Table 2. Average carbon stock (kg) of different parts of the *Prunus arabica* Olive. at varying crown cover classes

Tree part	Canopy cover class (m)					Mean carbon stock per tree (kg)
	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Leaf	0.00002 (0.0)	0.0346 (0.2)	0.216 (0.4)	0.741 (0.1)	2.44 (1.9)	0.69 (0.4)
Twigs	0.17 (0.4)	0.9 (0.18)	2.10 (0.3)	6.14 (1.02)	10.97 (3.3)	4.05 (2.1)
Branch	0.006 (0.0)	0.083 (0.0)	0.243 (0.3)	1.82 (0.2)	17.7 (3.12)	3.29 (0.8)
Trunk	0.005 (0.0)	0.143 (0.02)	0.662 (0.19)	2.57 (0.83)	5.27 (1.8)	1.73 (0.6)
AGCS (kg)	0.178 (0.5)	1.16 (0.24)	3.2 (0.49)	11.3 (1.7)	36.4 (9.8)	10.4 (3.9)

Numbers in parentheses indicate the standard error; AGCS: Aboveground carbon stock



شکل ۳- سهم زی توده در طبقه‌های مختلف تاجی در بادام طاووسی

Figure 3. Biomass share in different canopy classes of *Prunus arabica* Olive.

پایه‌های با قطر تاج بیشتر از چهار متر بود (شکل ۳).

مقایسه درصد کربن موجود در قسمت‌های مختلف مقایسه درصد کربن (Carbon fraction) اندام‌های مختلف با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه، حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین درصد کربن در سرشاخه (۴۷/۸ درصد) و کمترین آن در برگ (۳۹/۹ درصد) وجود داشت (شکل ۴).

مقایسه سهم زی‌توده در طبقه‌های مختلف تاجی

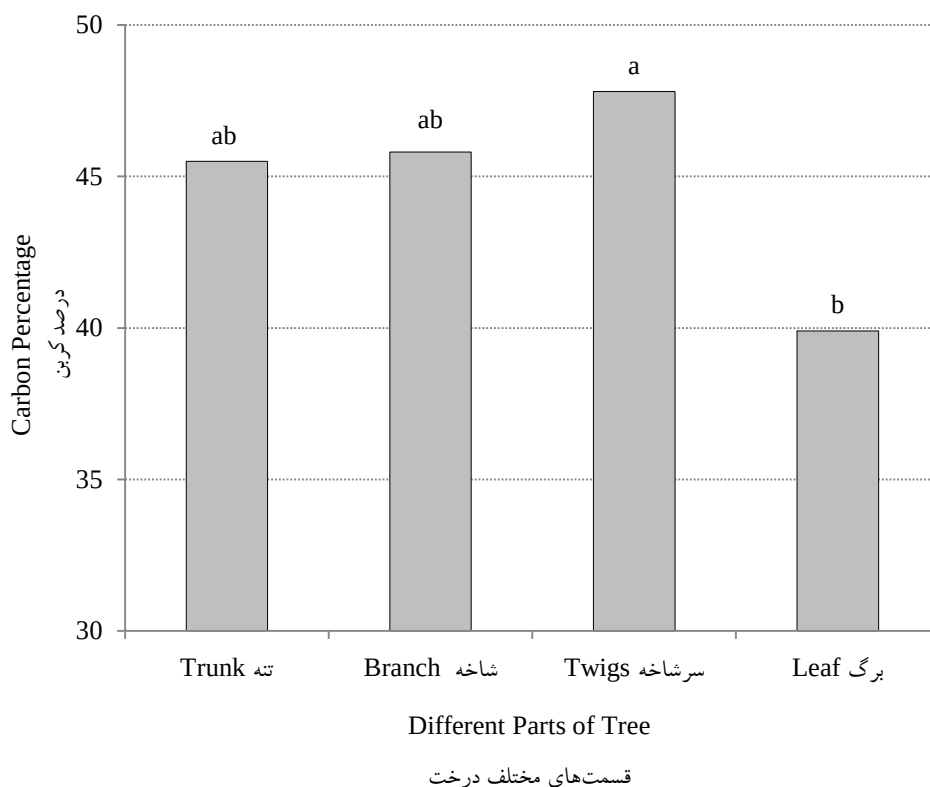
مقایسه مقدار زی‌توده پایه‌ها در طبقه‌های مختلف تاجی نشان داد که بیشترین تعداد پایه‌ها مربوط به درختچه‌های با طبقه قطر تاج کمتر از یک متر (حدود ۴۲ درصد) است. هرچه طبقه قطر تاج افزایش می‌یافت، به‌طور معنی‌داری از تعداد پایه‌ها کاسته می‌شد، درحالی‌که بیشترین سهم از زی‌توده مربوط به طبقه قطر تاج بیشتر از چهار متر (طبقه ۵) بود. به‌عبارت دیگر، حدود ۴۰ درصد سهم زی‌توده مربوط به

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس درصد کربن قسمت‌های مختلف بادام طاووسی

Table 3. Results of variance analysis of carbon percentage in different parts of *Prunus arabica* Olive.

Degrees of freedom	Sum of squares	Mean squares	F statistic	Significance
3	513.83	171.28	2.57	*

: Significant at $p < 0.05$ *



شکل ۴- مقایسه درصد کربن اندام‌های مختلف بادام طاووسی

حرف‌های متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 4. Comparison of carbon percentage in different parts of *Prunus arabica* Olive.
Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

(ب) بادام برگ سنجدی
 آن در برگ وجود داشت. متوسط زی توده روی زمینی بادام
 برگ سنجدی در هر پایه ۲۸/۳ کیلوگرم به دست آمد (جدول
 بیشترین مقدار زی توده روی زمینی در سرشاخه و کمترین (۴).

جدول ۴- میانگین زی توده (کیلوگرم) قسمت های مختلف درختچه بادام برگ سنجدی در طبقه های تاجی متفاوت

Table 4. Average biomass (kg) of different parts of the *Prunus elaeagrifolia* Spach. at varying crown cover classes

Tree part	Canopy cover class (m)					Mean biomass per tree (kg)
	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Leaf	0.143 (0.05)	0.577 (0.03)	2.28 (1.02)	2.4 (0.4)	11.56 (1.8)	3.4 (1.2)
Twigs	0.559 (0.05)	2.41 (0.5)	3.99 (1.3)	16.8 (2.8)	37.1 (5.9)	12.2 (3.8)
Branch	0.099 (0.01)	0.689 (0.3)	3.3 (0.3)	7.99 (2.9)	23.9 (4.7)	7.2 (2.5)
Trunk	0.21 (0.06)	0.405 (0.1)	3.16 (1.4)	5.01 (0.9)	18.3 (6.6)	5.4 (2.1)
AGB (kg)	1.1 (0.1)	4.1 (0.8)	12.7 (4.9)	32.2 (0.6)	91 (12.6)	28.3 (9.2)

Numbers in parentheses indicate the standard error; AGB: Aboveground Biomass

موجودی کربن
 اندام های مختلف در جدول ۵ مشاهده می شود. متوسط موجودی
 متوسط موجودی کربن در طبقه های تاجی به تفکیک
 کربن روی زمینی در هر پایه از این گونه ۱۳ کیلوگرم بود.

جدول ۵- میانگین موجودی کربن (کیلوگرم) قسمت های مختلف درختچه بادام برگ سنجدی در طبقه های تاجی متفاوت

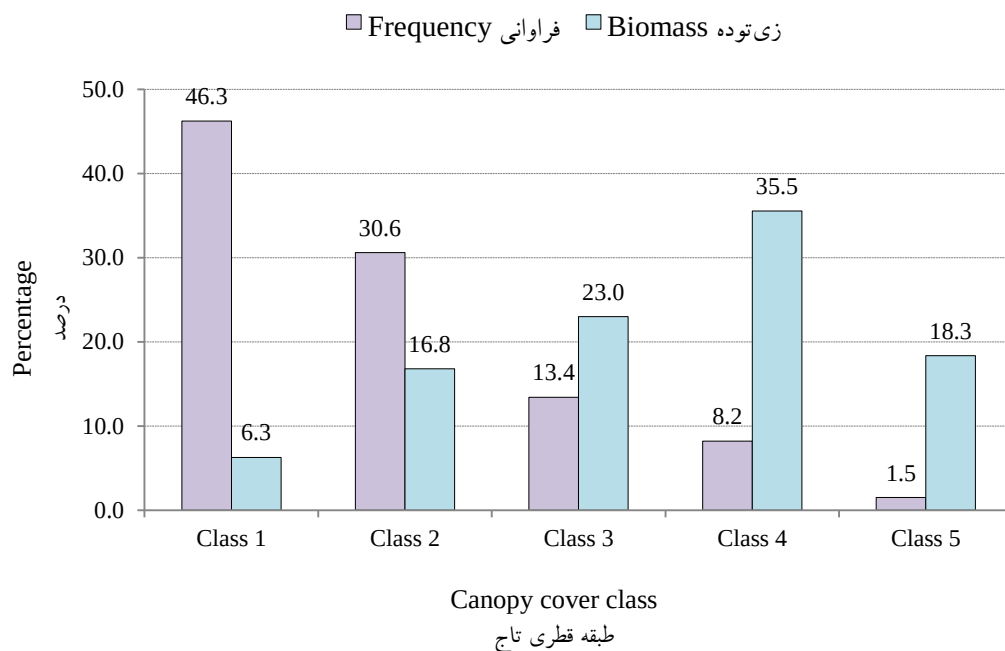
Table 5. Average carbon stock (kg) of different parts of the *Prunus elaeagrifolia* Spach. at varying crown cover classes

Tree part	Canopy cover class (m)					Mean carbon stock per tree (kg)
	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4	
Leaf	0.059 (0.02)	0.248 (0.02)	0.964 (0.43)	1.01 (0.15)	4.9 (0.086)	1.44 (0.5)
Twigs	0.26 (0.02)	1.1 (0.21)	1.84 (0.59)	7.68 (1.3)	17.1 (2.5)	5.6 (1.7)
Branch	0.044 (0.00)	0.316 (0.12)	1.54 (0.59)	3.75 (1.4)	11.4 (1.1)	3.4 (1.2)
Trunk	0.098 (0.03)	0.184 (0.05)	1.45 (0.6)	2.34 (0.4)	8.72 (2.9)	2.66 (0.99)
AGCS (kg)	0.462 (0.07)	1.85 (0.39)	5.28 (2.3)	14.8 (0.4)	42.1 (1.5)	13 (4.2)

Numbers in parentheses indicate the standard error; AGCS: Aboveground Carbon Stock

مقایسه سهم زی توده در طبقه های مختلف تاجی (شکل ۵).

مقایسه مقدار زی توده پایه ها در طبقه های مختلف تاجی
 نشان داد که بیشترین تعداد پایه ها مربوط به درختچه های با
 طبقه قطر تاج کمتر از یک متر (۴۶/۳ درصد) بود. هرچه طبقه
 قطر تاج افزایش می یافت، به طور مشخصی از تعداد پایه ها
 کاسته می شد، درحالی که بیشترین سهم از زی توده (۳۵/۵
 درصد) مربوط به طبقه قطر تاج سه تا چهار متر (طبقه ۴) بود
 مقایسه درصد کربن موجود در اندام های مختلف
 مقایسه درصد کربن اندام های مختلف با استفاده از تجزیه
 واریانس یک طرفه، بیانگر وجود اختلاف معنی دار بود (جدول
 ۶). بیشترین درصد کربن در تنه (۴۶/۵ درصد) و کمترین آن
 در برگ (۴۲/۴ درصد) وجود داشت (شکل ۶).



شکل ۵- سهم زی توده در طبقه‌های مختلف تاجی در بادام برگ‌سنجدی

Figure 5. Biomass share in different canopy classes of *Prunus elaeagnifolia* Spach.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس درصد کربن قسمت‌های مختلف بادام برگ‌سنجدی

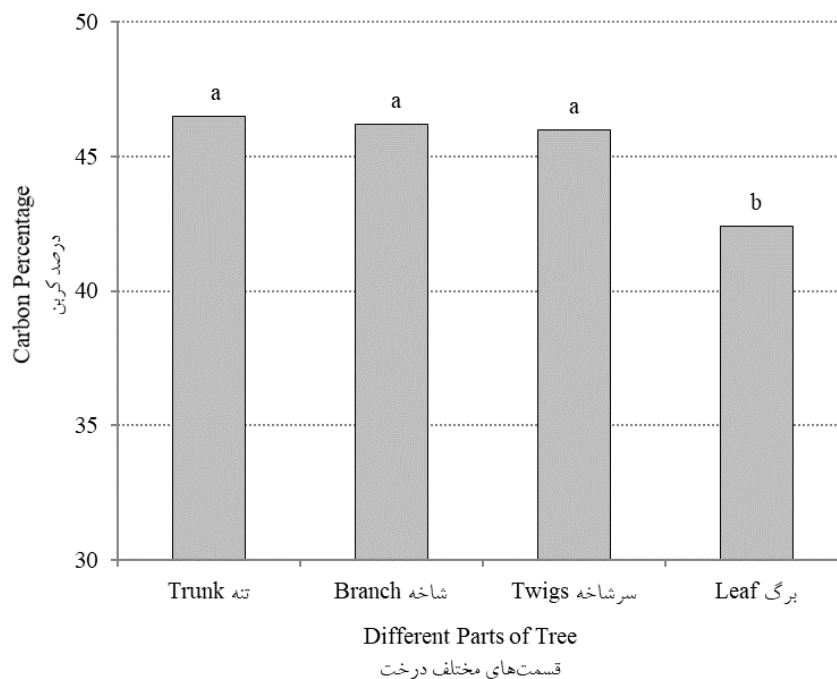
Table 6. Results of variance analysis of carbon percentage in different parts of *Prunus elaeagnifolia* Spach.

Degrees of freedom	Sum of squares	Mean squares	F statistic	Significance
3	168.894	56.31	31.98	**

*: Significant at $p < 0.01$

(۴۱/۳ درصد)، اما سهم شاخه‌های اصلی (۲۶/۸ درصد) و تنه (۱۹/۷ درصد) در بادام برگ‌سنجدی نسبت به بادام طاووسی بیشتر بود. همچنین، متوسط زی توده برگ در بادام برگ‌سنجدی (۱۲/۲ درصد) نسبت به بادام طاووسی (۹ درصد) بیشتر به دست آمد (شکل ۷).

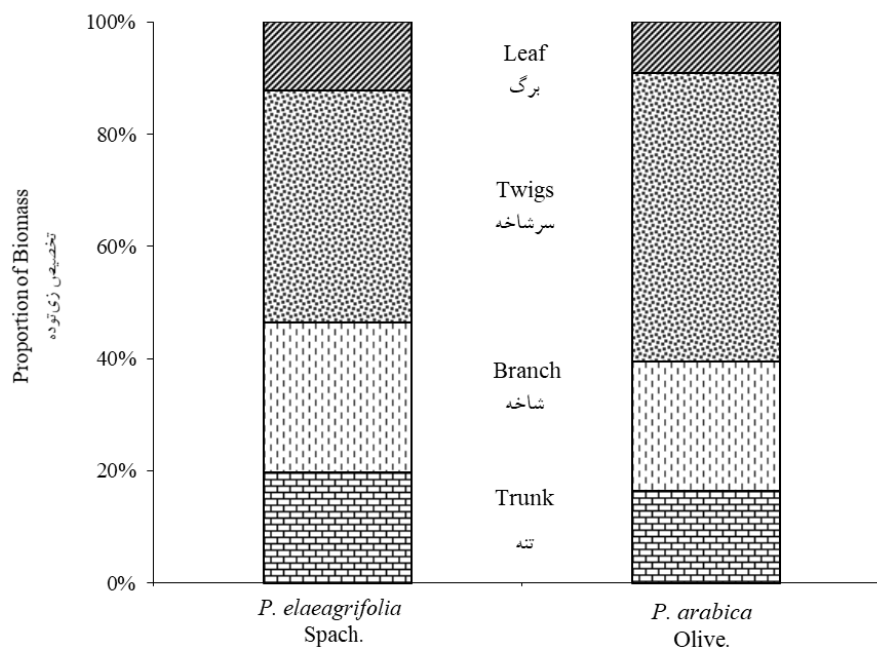
تخصیص زی توده به اندام‌های مختلف دو گونه مورد مطالعه در بادام طاووسی، بیشترین مقدار زی توده روی زمینی به سرشاخه (۵۱/۶ درصد) اختصاص داشت. مجموع شاخه‌های اصلی و سرشاخه در این گونه به طور متوسط ۷۴/۶ درصد از کل زی توده روی زمینی را به خود اختصاص دادند. در بادام برگ‌سنجدی، سهم سرشاخه نسبت به بادام طاووسی کمتر بود



شکل ۶- مقایسه درصد کربن اندام‌های مختلف بادام برگ‌سنجدی

حرف‌های متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 6. Comparison of carbon percentage in different parts of *Prunus elaeagnifolia* Spach. Different letters indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).



شکل ۷- مقدار تخصیص زی توده در اندام‌های مختلف دو گونه مورد مطالعه

Figure 7. Proportion of biomass in different parts of two studied species

که البته این اختلاف معنی‌دار نبود، اما تعداد جست در بادام طاووسی (۱۰ اصله) تفاوت معنی‌داری با بادام برگ‌سنجدی (پنج اصله) داشت. همچنین قطر قطورترین جست در بادام برگ‌سنجدی به‌طور معنی‌داری بیش از بادام طاووسی به دست آمد (جدول ۷).

مقایسه ویژگی‌های توصیفی، زی‌توده و اندوخته کربن بین دو گونه آماره‌های توصیفی متغیرهای کمی مورد مطالعه دو گونه مورد مطالعه به شرح جدول ۷ است. میانگین قطر تاج و ارتفاع درختچه‌های بادام طاووسی از بادام برگ‌سنجدی بیشتر بود

جدول ۷- مقایسه ویژگی‌های توصیفی دو رویشگاه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی

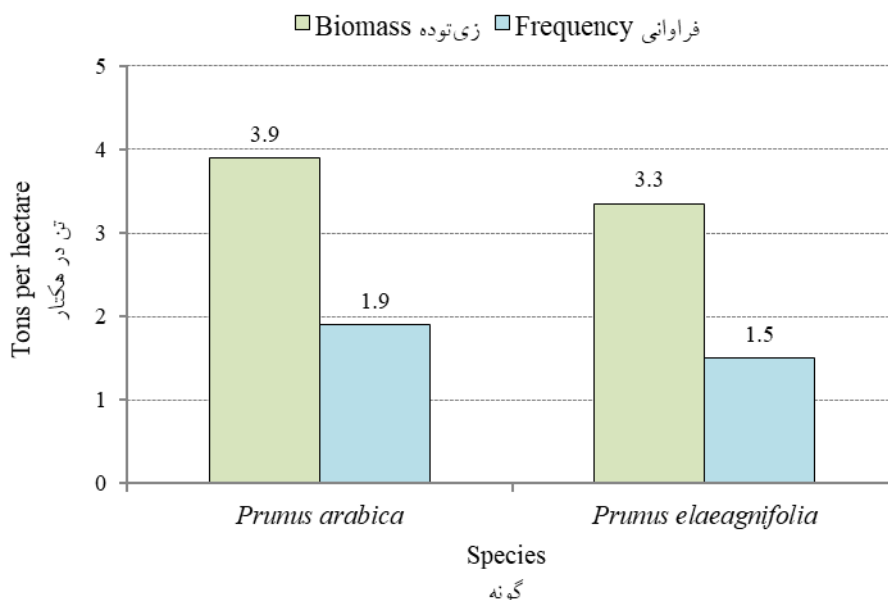
Table 7. Comparison of descriptive features of two species habitats

Species	Number of shoots	Density per hectare	Crown diameter (m)	Total height (m)	Diameter of thickest shoot (cm)
<i>Prunus arabica</i> Olive.	10	568	2.65 (0.35)	1.94 (0.19)	46.4 (10.96)
<i>Prunus elaeagnifolia</i> Spach.	5	447	2.56 (0.36)	1.77 (0.2)	58.5 (8.99)
sig	**	ns	ns	ns	**

: Significant at $p < 0.01$; ns: non-significant
Numbers in parentheses represent the standard error

در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی به ترتیب ۳/۳ و ۱/۵ تن در هکتار بود. از نظر این دو عامل، تفاوت معنی‌داری بین دو رویشگاه مشاهده نشد (شکل ۸).

مقایسه مقدار زی‌توده و اندوخته کربن در واحد سطح دو گونه نشان داد که متوسط زی‌توده و اندوخته کربن در رویشگاه بادام طاووسی به ترتیب ۳/۹ و ۱/۹ تن در هکتار و



شکل ۸- مقایسه متوسط زی‌توده و اندوخته کربن دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی

Figure 8. Comparison of average biomass and carbon stock of two study species

بحث

نقش کلیدی جنگل‌ها برای دستیابی به اهداف اقلیمی توافق پاریس به‌طور گسترده توسط جامعه علمی به رسمیت شناخته شده است (Legg, 2021). در این میان، نوع رویشگاه جنگلی بر مقدار زی توده و اندوخته کربن رویشگاه تأثیر دارد و انجام اقدامات حفاظتی مؤثر و رویکرد مدیریتی صحیح با هدف افزایش تنوع زیستی، نقش مهمی در افزایش ترسیب کربن توده جنگلی دارد (Daba et al., 2022). اندازه‌گیری و برآورد زی توده گیاهان و به‌ویژه زی توده درختان و درختچه‌ها، یکی از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی جنگل و بررسی‌های جریان انرژی در بوم‌سازگان به حساب می‌آید و این موضوع طی سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Zianis et al., 2005). مقدار زی توده در بوم‌سازگان‌های جنگلی علاوه بر اینکه بیانگر توان تولید در واحد سطح یا زمان (مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل) است، بر چرخه‌های زیست‌زمین‌شیمیایی جنگل نیز تأثیر می‌گذارد (Legout et al., 2020). همچنین، عواملی مانند بحران گرمایش جهانی و تعیین مقدار کربن ذخیره‌شده در زی توده درختان جنگلی در کل جهان، جنگل‌کاری با هدف تولید انرژی زیستی (Bioenergy) و تولید محصولات چوبی و تجارت چوب و کاغذ از جمله مسائلی هستند که با اندازه‌گیری زی توده جنگل ارتباط مستقیم دارند. IPCC زی توده روی زمینی را یکی از مهم‌ترین مخازن پنج‌گانه کربن برای جنگل معرفی کرده است (IPCC, 2007). زی توده روی زمینی، جزء اصلی ذخیره کربن بوم‌سازگان‌های خشکی محسوب می‌شود.

بادام وحشی، یکی از مهم‌ترین جنس‌های درختچه‌ای در زاگرس است. به دلیل سازگاری زیاد گونه‌های بادام وحشی با شرایط اقلیمی، نقش کلیدی آن‌ها به عنوان گونه‌های پیش‌آهنگ در احیا مناطق تخریب‌شده جنگلی و اهمیت این گونه در جنگل‌کاری، از جایگاه خاصی در میان گونه‌های جنگلی زاگرس برخوردار هستند (Soheili-Esfahani et al., 2024)، بنابراین آگاهی از مقدار زی توده و اندوخته کربن

در این جنس و به‌ویژه گونه‌های غالب بادام طاووسی و برگ سنجدی می‌تواند نقش مهمی در ارزش‌گذاری بوم‌سازگان جنگلی غرب کشور و نیز برنامه‌ریزی‌های مدیریتی ایفا کند. در پژوهش پیش‌رو، زی توده و موجودی کربن اندام‌های مختلف این دو گونه بررسی شد. جدول‌های میانگین زی توده و کربن به‌دست‌آمده در این پژوهش را می‌توان نوعی تاریف زی توده و کربن دانست. در این جدول‌ها براساس روش درخت معدل (Average tree)، میانگین‌هایی از زی توده و کربن در طبقه‌های تاجی مختلف در دو گونه بادام ارائه شده است، بنابراین با داشتن یک قطر متوسط تاج به عنوان اصلی‌ترین متغیر در گونه‌های درختچه‌ای می‌توان زی توده به تفکیک اندام‌های مختلف در این دو گونه از بادام وحشی را برآورد کرد. Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۴) نیز در بررسی زی توده و اندوخته کربن روی زمینی در دو فرم رویشی بلوط ایرانی، تاریف زی توده و اندوخته کربن روی زمینی بلوط ایرانی را ارائه کردند که به عنوان یک روش مقدماتی و ساده برای برآورد زی توده کاربرد دارد.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که زی توده و اندوخته کربن روی زمینی در دو گونه مورد بررسی تقریباً مشابه هستند و تفاوت معنی‌داری نداشتند. مقدار زی توده و اندوخته کربن بادام طاووسی (به ترتیب ۳/۹ و ۱/۹ تن در هکتار) بیشتر از رویشگاه بادام برگ‌سنجیدی (به ترتیب ۳/۳ و ۱/۵ تن در هکتار) بود. این موضوع، تأثیر تعداد در هکتار و ساختار رویشی را بر مقدار اندوخته کربن نشان می‌دهد. Behera و همکاران (۲۰۱۷) نیز ویژگی‌های ساختاری و گونه‌های غالب درختی را مهم‌ترین عوامل در تعیین مقدار زی توده و ذخیره‌سازی کربن بیان کردند. آن‌ها، جمعیت، قطر برابر سینه و ارتفاع درختان را اصلی‌ترین مؤلفه‌ها در مقدار تولید زی توده و اندوخته کربن توده جنگلی ذکر کردند. Pato و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که تعداد در هکتار، آمیختگی و تیپ جنگل، رابطه مستقیمی با زی توده جنگل دارد و به افزایش ذخیره کربن خاک کمک می‌کند.

مقایسه سهم زی توده در طبقه‌های مختلف تاجی هر دو گونه مورد بررسی نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از

پایه‌ها را درختچه‌های کوچک تشکیل می‌دهند. این یافته نشان‌دهنده جوان بودن ساختار توده است. علاوه بر این، به دلیل عدم وجود دخالت‌های انسانی، از جمله حضور دام، زادآوری‌های ایجاد شده از آسیب و تخریب مصون مانده بودند. در نتیجه، شرایط محیطی به نفع نهال‌های جدید عمل می‌کند و امکان رشد و توسعه آن‌ها را فراهم کرده است. این در حالی است که درختان با قطر تاج بیشتر از سه متر، سهم کمتری از فراوانی را داشتند، اما بیشتر از ۵۰ درصد سهم زی‌توده را به خود اختصاص دادند، بنابراین نقش آن‌ها در ترسیب کربن اتمسفری، بسیار حائز اهمیت است. هرگونه دخالت از جمله قطع درختچه‌ها و آتش‌سوزی توده، نقش تخریبی گسترده‌ای در زمینه این خدمت بوم‌سازگانی گونه‌های بادام را به دنبال خواهد داشت.

تخصیص کربن (Carbon allocation) در قسمت‌های مختلف بوم‌سازگان طبیعی به عنوان یک فرایند کلیدی در چرخه کربن محسوب می‌شود. با توجه به اینکه قسمت‌های مختلف، طول عمر و نرخ تجزیه متفاوتی دارند، مقدار کربن موجود در هر اندام، زمان باقی ماندن کربن در بوم‌سازگان و چرخه کربن آن را تعیین می‌کند (Carnpioli et al., 2008). در ارزیابی کربن و زی‌توده جنگل‌های فنلاند، سریع‌ترین نرخ تجزیه برای ریزریشه‌ها و برگ و طولانی‌ترین نرخ برای کُنده درخت معرفی شده است (Muukkonen, 2006). در پژوهش پیش‌رو، بیشترین سهم زی‌توده در بادام طاووسی مربوط به سرشاخه و در بادام برگ‌سنجدی مربوط به شاخه‌های اصلی و تنه بود. دلیل این موضوع را می‌توان به فرم و شکل رویشی متفاوت در دو گونه نسبت داد. به طوری که بادام برگ‌سنجدی، ساختار رویشی خشبی دارد و از تنه، شاخه و سرشاخه‌های مجزا تشکیل شده است، در حالی که فرم رویشی بادام طاووسی اغلب به صورت جست‌های سرشاخه‌مانند است. بررسی زی‌توده جنگل و پتانسیل ذخیره کربن آن، نیازمند ارزیابی دقیق مقدار کربن موجود در بافت‌های مختلف درخت است. در گذشته، اندازه‌گیری‌های درصد کربن بیشتر در مورد بخش چوبی درختان انجام می‌شد. چراکه بافت‌های چوبی درخت، بخش

عمده ذخیره کربن و تولید خالص بوم‌سازگان‌های جنگلی را به خود اختصاص می‌دهند (Zhou et al., 2023).

در پژوهش پیش‌رو، مقایسه درصد کربن موجود در قسمت‌های مختلف نشان داد که در هر دو گونه، درصد کربن در برگ، کمترین مقدار را به خود اختصاص داده بود. بیشترین مقدار کربن در بادام کوهی در سرشاخه و در بادام برگ سنجدی در تنه مشاهده شد. میانگین درصد کربن در بادام کوهی ۴۴/۷ و در بادام برگ سنجدی ۴۵/۳ درصد به دست آمد. در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده، مقدار کربن را ۵۰ درصد زی‌توده درختی در نظر گرفته‌اند، در حالی که نتایج پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که به دلیل تغییرات مقدار کربن در گونه‌های مختلف گیاهی و اندام‌های مختلف یک گیاه، این فرضیه از دقت لازم برخوردار نیست. بررسی‌های دیگر نیز بیانگر این موضوع است که استفاده از فرضیه ۵۰ درصد، برآورد ذخیره کربن جنگل را با پنج درصد خطا مواجه می‌کند (Madam et al., 2011). در یک بررسی جامع از مقدار کربن موجود در گونه‌ها و بافت‌های زنده درختان گزارش شد که محتوای کربن در گونه‌های درختی مناطق گرمسیری از ۴۱/۹ تا ۵۱/۶ درصد، در گونه‌های نیمه‌استوایی و مدیترانه‌ای از ۴۵/۷ تا ۶۰/۷ درصد و در گونه‌های سوزنی‌برگ و معتدله از ۴۳/۴ تا ۵۵/۶ درصد متغیر است (Martin & Martin, 2011). همچنین، گونه‌های سوزنی‌برگ دارای محتوای کربن بیشتر $(0.7 \pm 50.8\%)$ درصد نسبت به گونه‌های پهن‌برگ $(0.3 \pm 47.7\%)$ درصد هستند. در این بررسی، مقدار کربن پوست، شاخه، سرشاخه، ریشه‌های اصلی و ریزریشه‌ها به ترتیب ۳۷، ۷۶، ۴۸، ۸۱ و ۶۳ درصد به دست آمد (Castaño-Santamaría & Bravo, 2012).

مقدار کربن موجود در گیاه در درجه اول تحت تأثیر متقابل عوامل ژنتیکی و محیطی تعیین می‌شود (Li et al., 2023). از طرفی، علت اختلاف در مقدار کربن موجود در هر اندام، علاوه بر اینکه به وظایف عملکردی هر قسمت مربوط می‌شود، با ویژگی‌های شیمیایی هر کدام از بافت‌های چوبی نیز ارتباط دارد (Martin & Thomas, 2011). همچنین،

پیش‌رو می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در حوزه نقش جنگل‌کاری با این گونه‌ها در ترسیب کربن اتمسفری در اختیار سازمان مذکور و دستگاه‌های اجرایی متولی دیگر از جمله سازمان حفاظت محیط زیست کشور در پاسخ‌گویی به تعهدات بین‌المللی ایران در معاهدات کیوتو و پاریس قرار دهد و نقش عملیاتی این گونه‌ها را در مواجهه با تغییر اقلیم آشکارتر می‌سازد، بنابراین هر نوع برنامه‌ریزی مدیریتی در زمینه حفظ، احیا و توسعه رویشگاه‌های بادام وحشی به‌عنوان راهکار اجرایی و مؤثر در مقابله با گرمایش جهانی ضرورت دارد. سرمایه‌گذاری بلندمدت در این زمینه ضمن مواجهه مؤثر با چالش‌های اقلیمی، موجب فراهم‌سازی شرایط رویشگاهی برای مستقر شدن گونه‌های جنگلی دیگر در بوم‌سازگان‌های تخریب‌شده زاگرسی خواهد بود.

وزن مخصوص چوب بر مقدار کربن درخت تأثیر می‌گذارد (Guo *et al.*, 2024). حضور برخی عناصر مانند لیگنین و عناصر پلی‌فنلی در بافت گیاه موجب نگهداری بیشتر کربن می‌شود. این مواد در درختان کندرشد، بیشتر حضور دارند. ازطرفی در درختان تندرشد وجود عناصری مانند آلکالوئیدها، گلیکوسیدفنولیک و گلیکوسیسایانوزنیک موجب تجمع کمتر کربن در بافت گیاهی می‌شوند (Ramirez *et al.*, 2024).

گونه‌های مختلف بادام وحشی از اصلی‌ترین گونه‌های مورد استفاده در جنگل‌کاری‌ها محسوب می‌شوند و جایگاه ویژه‌ای در احیا مناطق تخریب‌شده جنگلی دارند. همچنین، سرمایه‌گذاری زیادی سالانه توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور در بذرکاری و نهال‌کاری با گونه‌های مختلف بادام انجام می‌گیرد، بنابراین یافته‌های پژوهش

References

- Amini, S., Soltani, A. and Abbasi, M., 2024. Ecological response to surface fire: insights from four plant communities in the eastern foothills of the Little Ararat Mountains. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31(2): 49-69 (In Persian with English summary).
- Askari, Y., Soltani, A. and Akhavan, R., 2019. Estimation of biomass, carbon stock, and biomass growth of *Amygdalus arabica*. *Proceedings of the Second Conference on Natural Resources and Sustainable Development in Central Zagros*. Shahrekord, Iran, 28-29 Aug. 2019: 10p (In Persian).
- Behera, S.K., Sahu, N., Mishra, A.K., Bargali, S.S., Behera, M.D. and Tuli, R., 2017. Aboveground biomass and carbon stock assessment in Indian tropical deciduous forest and relationship with stand structural attributes. *Ecological Engineering*, 99: 513-524.
- Campioli, M., Verbeeck, H., Lemeur, R. and Samson, R., 2008. C allocation among fine roots, above, and belowground wood in a deciduous forest and its implication to ecosystem C cycling: a modelling analysis. *Biogeosciences Discussions*, 5(5): 3781-3823.
- Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B., Buitenhuis, E.T., Ciais, P., ... and Marland, G., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(47): 18866-18870.
- Castaño-Santamaría, J. and Bravo, F., 2012. Variation in carbon concentration and basic density along stems of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) and Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) in the Cantabrian Range (NW Spain). *Annals of Forest Science*, 69: 663-672.
- Daba, D.E., Dullo, B.W. and Soromessa, T., 2022. Effect of forest management on carbon stock of tropical moist Afromontane Forest. *International Journal of Forestry Research*, 2022(1): 3691638.
- Guo, P., Zhao, X., Wang, X., Feng, Q., Li, X. and Tan, Y., 2024. Wood density and carbon concentration jointly drive wood carbon density of five *Rosaceae* tree species. *Forests*, 15(7): 1102.
- IPCC., 2007. Summary for Policymakers. 1-18: In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., ... and Miller, H.L. (Eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press & Assessment, Cambridge, England, 185p.
- Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H. and Talebi, M., 2021. Comparison of biomass and carbon stock on above ground, litter and soil between healthy and declined stands of Brant's Oak in

- Chaharmahal and Bakhtiari province. Iranian Journal of Applied Ecology, 10(2): 17-31 (In Persian with English summary).
- Iranmanesh, Y., Sagheb Talebi, Kh., Sohrabi, H., Jalali, S.G. and Hosseini, S.M., 2014. Biomass and carbon stocks of brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(4): 749-762 (In Persian with English summary).
 - Issa, S., Dahy, B., Ksiksi, T. and Saleous, N., 2020. A review of terrestrial carbon assessment methods using geo-spatial technologies with emphasis on arid lands. Remote Sensing, 12(12): 2008.
 - Jahanbazi Goujani, H., Jalili, A. and Talebi, M., 2006. Evaluation of forest ecosystems in Chaharmahal and Bakhtiari province. Final report of research project, Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shahrekord, Iran, 77p (In Persian).
 - Karimi, V., 2024. Investigating the adaptive behavior of the wild almond (*Prunus scoparia* Schneider) in the humid climate of the Hyrcanian forests, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 32(1): 16-28 (In Persian with English summary).
 - Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M. and Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management, 146(1-3): 199-209.
 - Khanmohammadi, Z. and Matinizadeh, M., 2023. Evaluation of soil properties under the canopy of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus orientalis* (Mill.) Koehne) (Case study: Tang Khoshk, Semirom). Journal of Soil and Plant Interactions, 14(2): 93-108.
 - Legg, S., 2021. IPCC, 2021: Climate change 2021-the physical science basis. Interaction, 49(4): 44-45.
 - Legout, A., Hansson, K., van Der Heijden, G., Laclau, J.P., Mareschal, L., Nys, C., ... and Ranger, J., 2020. Chemical fertility of forest ecosystems. Part 2: Towards redefining the concept by untangling the role of the different components of biogeochemical cycling. Forest Ecology and Management, 461: 117844.
 - Li, Y.T., Gao, H.Y. and Zhang, Z.S., 2023. Effects of environmental and non-environmental factors on dynamic photosynthetic carbon assimilation in leaves under changing light. Plants, 12(10): 2015.
 - Losi, C.J., Siccama, T.G., Condit, R. and Morales, J.E., 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. Forest Ecology and Management, 184(1-3): 355-368.
 - MacDicken, K.G., 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Technical Report, Winrock International Institute for Agricultural Development, Arkansas, USA, 110p.
 - Madam, B., Rahemi, M., Mousavi, A. and Martínez-Gómez, P., 2011. Evaluation of the behavior of native Iranian almond species as rootstocks. International Journal of Nuts and Related Sciences, 2(3): 29-34.
 - Martin, A.R. and Thomas, S.C., 2011. A reassessment of carbon content in tropical trees. PloS One, 6(8): e23533.
 - Mechergui, K., Jaoaudi, W., Bello-Rodríguez, V., Achour, H. and Ammari, Y., 2024. Evaluation of biomass, carbon storage capability, tree-ring and cork-ring growth of *Quercus suber*: a review. Plant Ecology and Diversity, 17(3-4): 1-13.
 - Mozaffarian, V., 2005. Trees and Shrubs of Iran. Published by Farhang Moaser, Tehran, Iran, 1082p (In Persian).
 - Muukkonen, P., 2006. Forest inventory-based large-scale forest biomass and carbon budget assessment: new enhanced methods and use of remote sensing for verification. Dissertationes Forestales, Finnish Forest Research Institute, Brussels, Belgium, 49p.
 - Olfati, F., Mosleh Arany, A. and Azimzadeh, H.R., 2013. Estimating carbon sequestration in *Pistacia atlantica*, *Acer monspessulanum*, *Amygdalus scoparia* and *Ephedra procera* in the protected area of Bagh-E Shadi Herat in Yazd province. Plant and Ecosystem, 9(36): 66-75 (In Persian with English summary).
 - Pato, M., Salehi, A., Zahedi, A.G. and Banj, S.A., 2017. Soil carbon stock and its relationship with physical and chemical characteristics in soil of different land-uses in Zagros region. Journal of Forest and Wood Products, 69(4): 747-756 (In Persian with English summary).
 - Ramirez, J.A., Craven, D., Herrera, D., Posada, J.M., Reu, B., Sierra, C.A., ... and Messier, C., 2024. Non-structural carbohydrate concentrations in tree organs vary across biomes and leaf habits, but are independent of the fast-slow plant economic spectrum. Frontiers in Plant Science, 15: 1375958.
 - Rostamikia, Y., Matinizadeh, M., Nouri, E., Alizadeh, T. and Mohtaram Anbaran, S., 2024. The effect of canopy covers of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) and wild almond (*Prunus lycioides* Spach.) trees on soil properties (Case study: Kandaragh forest of Khalkhal, Ardabil Province). Iranian Journal of Forest, 17(1): 13-29 (In Persian with English summary).
 - Sharifpoor, R., Jafari, A. and Jahanbazi

- Goujani, H., 2016. Effects of aspect on age dependent quality and quantity of mountain almond (*Amygdalus arabica* Olivier) oil (Case study: Karebas, Cheharmahal-va-Bakhtiary). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(4): 688-697 (In Persian with English summary).
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., ... and Eamus, D., 2002. Protocol for sampling tree and stand biomass. Technical Report, the National Carbon Accounting System, Canberra, Australia, 67p.
 - Soheili-Esfahani, S., Azadfar, D., Aliarab, A.R., Saeidi, H., Pahlavani, M.H., Saeidi, Z. and Babaeiyan, M., 2024. Variability of traits of wild almond seeds, seedlings, and mother shrubs in the different natural populations of Isfahan province habitats. Iranian Journal of Forest, 16(2): 273-289 (In Persian with English summary).
 - Sohrabi, H., Parsapour, M.K., Soltani, A. and Iranmanesh, Y., 2015. Early differentiation in biomass production and carbon sequestration of white poplar and its two hybrids in Central Iran. Journal of Forestry Research, 26: 65-69.
 - Zeidi Joodaki, A., Pilehvar, B. and Jafari Sarabi, H., 2021. Effect of reforestation by broadleaf and coniferous species on aggregate stability and soil carbon sequestration in the Rimaleh, Khorramabad, Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 29(3): 201-213 (In Persian with English summary).
 - Zhou, X., Hu, C. and Wang, Z., 2023. Distribution of biomass and carbon content in estimation of carbon density for typical forests. Global Ecology and Conservation, 48: e02707.
 - Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. and Mencuccini, M., 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica Monographs 4, Helsinki, Finland, 63p.