University of Tehran

# Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

# Comparative analysis of leaf area index and carbon stocks in litter and soil of *Prunus arabica* (Olive) and *Prunus elaeagnifolia* (Spach) in Chaharmahal and Bakhtiari Province

**Sohrab Ghaffari[1] | Yaghoub Iranmanesh[2*] | Mohammad Kazem Parsapour[3] | Hamid Reza Riahi Bakhtiari[4]**

1. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: ghafarisohrab@sku.ac.ir
2. Corresponding Author, Forests and Rangelands Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Isfahan, Iran. Email: iranmanesh@areeo.ac.ir
3. Forests and Rangelands Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: m.parsapour@modares.ac.ir
4. Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. Email: hriyahi@sku.ac.ir

## ARTICLE INFO

**Article type:**
Research Article

**Article History:**
Received: 15 December 2024
Revised: 18 January 2025
Accepted: 31 January 2025
Published online: 05 March 2025

**Keywords:**
*Carbon accumulation,*
*Climate change,*
*Ecological indices,*
*Wild almond,*
*Zagros.*

## ABSTRACT

Evaluating carbon stocks in the litter and soil of Zagros forests, recognized as vital carbon reservoirs in Iran, is essential for understanding the carbon cycle. This study examines the Leaf Area Index (LAI), litter, and soil carbon stocks of *Prunus arabica* and *Prunus elaeagnifolia* in the Kareh-Bas forest region of Chaharmahal and Bakhtiari Province. A total of 30 shrubs, 15 from each species, were selected. LAI was quantified by weighing leaves, while litter samples collected from beneath each tree were weighed and transported to the laboratory. Soil organic carbon (SOC) was assessed using the Walkley-Black method, with samples taken from beneath and outside the canopy at three depths. Results indicated that LAI was higher in *P. elaeagnifolia* than in *P. arabica*, and the correlation between leaf biomass and LAI was stronger in *P. elaeagnifolia*. Litter biomass was 0.78 tons per hectare in *P. arabica* and 0.32 tons per hectare in *P. elaeagnifolia*, although the proportion of organic carbon in litter showed no significant difference. In both species, SOC was highest in the top 15 cm of soil, decreasing with depth, and was greater under the canopy than outside. The soil carbon stock was 29.9 tons per hectare in *P. elaeagnifolia* and 28.4 tons per hectare in *P. arabica*. These findings provide insights for the sustainable management of these habitats and contribute to climate change mitigation efforts.

**Cite this article:** Ghaffari, S., Iranmanesh, Y., Parsapour, M.K., Riahi Bakhtiari, H.R. (2025). Comparative analysis of leaf area index and carbon stocks in litter and soil of *Prunus arabica* (Olive) and *Prunus elaeagnifolia* (Spach) in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Journal of Forest and Wood Products*, 77 (4), 423-438. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.387003.1319

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2025.387003.1319

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

# مقایسهٔ شاخص سطح برگ، اندوختهٔ کربن لاشبرگ و خاک دو گونه بادام طاووسی (*Prunus arabica* Olive.) و بادام برگ‌سنجدی (*Prunus elaeagnifolia* Spach.) در استان چهارمحال و بختیاری

سهراب غفاری[۱] | یعقوب ایران‌منش[۲*] | محمدکاظم پارساپور[۳] | حمیدرضا ریاحی بختیاری[۴]

۱. گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: ghafarisohrab@sku.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: iranmanesh@areeo.ac.ir

۳. بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران. رایانامه: m.parsapour@modares.ac.ir

۴. گروه علوم جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: hriyahi@sku.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
پژوهشی

**تاریخ‌های مقاله:**
**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۵
**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۱۰/۲۹
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۱/۱۲
**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

**کلیدواژه:**
*انباشت کربن،*
*بادام جنگلی،*
*تغییرات اقلیمی،*
*زاگرس،*
*شاخص‌های اکولوژیک.*

**چکیده**

ارزیابی ذخایر کربن در لاشبرگ و خاک جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر کربن کشور به درک بهتری از چرخهٔ کربن کمک می‌کند. این مطالعه، به بررسی شاخص سطح برگ، ذخایر کربن لاشبرگ و خاک دو گونه بادام طاووسی (*Prunus arabica* Olive.) و بادام برگ‌سنجدی (*Prunus elaeagnifolia* Spach.) در رویشگاه بادام کره‌بس در استان چهارمحال و بختیاری می‌پردازد. در این بررسی، ۱۵ درختچهٔ بادام از هر گونه و در مجموع ۳۰ پایه انتخاب شدند. شاخص سطح برگ توسط نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد. نمونه‌های لاشبرگ از زیر هر درخت جمع‌آوری، توزین و به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور اندازه‌گیری کربن آلی خاک (SOC)، نمونه‌های خاک از زیر و خارج تاج در سه عمق صفر تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متری برداشت و با استفاده از روش والکی–بلاک تعیین گردیدند. نتایج نشان داد شاخص سطح برگ در بادام برگ‌سنجدی بیش از بادام طاووسی و ضریب تبیین بین زی‌تودهٔ برگ و شاخص سطح برگ در بادام برگ‌سنجدی بیشتر از بادام طاووسی بود. زی‌تودهٔ لاشبرگ تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در هر دو گونه، بیشترین مقدار SOC تا عمق ۱۵ سانتی‌متر مشاهده و با افزایش عمق، مقدار آن کاهش یافت. همچنین مقدار آن زیر تاج بیشتر از خارج تاج بود که البته تفاوت معنی‌داری نشان نداد. اندوختهٔ کربن خاک در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی با ۲۹/۹ تن در هکتار بیشتر از بادام طاووسی با ۲۸/۴ تن در هکتار بود. نتایج این پژوهش اهمیت و نقش گونه‌های بادام وحشی را در ذخیرهٔ کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی آشکار می‌سازد.

**استناد:** غفاری؛ سهراب، ایران‌منش؛ یعقوب، پارساپور؛ محمدکاظم، ریاحی بختیاری؛ حمیدرضا (۱۴۰۳). مقایسهٔ شاخص سطح برگ، اندوختهٔ کربن لاشبرگ و خاک دو گونه بادام طاووسی (*Prunus arabica* Olive.) و بادام برگ‌سنجدی (*Prunus elaeagnifolia* Spach.) در استان چهارمحال و بختیاری. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۷ (۴)، ۴۳۸-۴۲۳. DOI: https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.387003.1319

© نویسندگان.
**ناشر:** مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.387003.1319

## ۱. مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر کربن در سطح جهان شناخته می‌شوند و تقریباً ۸۰ درصد از کل زی‌تودهٔ زمینی را شامل می‌شوند [۱]. ناحیهٔ رویشی زاگرس که تقریباً یک‌پنجم مساحت خاک ایران را به‌خود اختصاص می‌دهد، تمامی یا بخشی از ۱۱ استان کشور را در برمی‌گیرد [۲]. در شرایط کنونی، این ناحیه به‌عنوان مرکز بحران‌های محیط‌زیستی در میان پنج حوزهٔ اصلی رویشی جنگل‌های ایران شناخته می‌شود و به تهدیدهای طبیعی و انسانی متداول، واکنش‌های قابل توجهی از نظر تغییرات کمی و کیفی نشان داده است. این جنگل‌ها با وجود شرایط خاص محیطی و اکولوژیکی که دارند، به‌شدت در چرخهٔ کربن و جریان‌های مربوط به آن مؤثر هستند. از این‌رو، شناسایی و ارزیابی ذخایر کربن در ترکیب‌های مختلف مانند لاشبرگ و خاک به‌عنوان اجزای کلیدی ذخیرهٔ کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی روند تغییرات در این ذخایر می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای تدوین استراتژی‌های مدیریتی و توسعهٔ پایدار منابع طبیعی فراهم آورد [۳]. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری بوم‌سازگان‌های جنگلی، شاخص سطح برگ (Leaf Area Index, LAI) است که به‌دلیل نقش آن در فتوسنتز و تولید مادهٔ آلی، لزوم بررسی آن احساس می‌شود. در این مطالعه، به بررسی این شاخص به‌عنوان معیاری برای تشریح ساختار و تراکم تاج‌پوشش گیاهان و ارزیابی تأثیرات آن بر تعادل اقلیم و بوم‌سازگان از طریق فرآیندهایی مانند ذخیرهٔ کربن پرداخته می‌شود که نشان می‌دهد شاخص سطح برگ می‌تواند به‌عنوان شاخصی قابل‌اعتماد از ظرفیت تولید زی‌توده در بوم‌سازگان‌های جنگلی باشد. شاخص سطح برگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اکولوژیک، نشان‌دهندهٔ نسبت سطح برگ درختان به سطح تاج است و ارتباط تنگاتنگی با تولید زی‌توده و خصوصیات خاک دارد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که شاخص سطح برگ زیاد با افزایش کربن ترسیب شده در خاک و بهبود کیفیت آن ارتباط دارد [۴]. درختان با شاخص سطح برگ زیاد می‌توانند با بهبود رطوبت خاک از طریق کاهش تبخیر و تولید مواد آلی، محیط اکولوژیک بهتری را ایجاد کنند. بنابراین، شاخص سطح برگ به‌عنوان یک شاخص کلیدی در مدیریت پایدار جنگل‌ها و بهینه‌سازی کیفیت خاک به‌شمار می‌آید [۵]. مطالعاتی در مورد شاخص سطح برگ هم برای گونه‌های درختی زاگرس انجام شده‌اند که نتایج آنها در بهبود مدیریت بوم‌سازگان‌ها و ارزیابی تولید اولیه مؤثر بوده است. به‌عنوان مثال، Pourhashemi و همکاران (۲۰۱۱)، به بررسی زی‌توده و شاخص سطح برگ داغداغان (*Celtis caucasica* Willd.) در جنگل تایلهٔ شهرستان سنندج پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که متوسط زی‌توده ۳۷ کیلوگرم، سطح ویژه ۱۰۳/۵ سانتی‌متر مربع بر گرم و شاخص سطح برگ ۳/۷ می‌باشد [۶]. Panahi و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تأثیر موقعیت قرارگیری و سن برگ بر سطح ویژهٔ برگ سه گونهٔ بومی بلوط جنگل‌های زاگرس شامل برودار (*Quercus brantii*)، مازودار (*Quercus infectoria*) و ویول (*Quercus libani*) نشان دادند که سطح ویژهٔ برگ‌های نوری و سایه‌ای و همچنین جوان و مسن دارای اختلاف معنی‌داری است. نتایج آنها نشان‌دهندهٔ تأثیر شرایط محیطی و ویژگی‌های درونی گیاه بر تغییرات سطح ویژهٔ برگ بود [۷]. Poorghasemi و Abbasi (۲۰۱۶)، به بررسی ارتباط شاخص سطح برگ در دو گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و بنه (*Pistacia atlantica*) پرداختند [۸]. این شاخص به‌عنوان یک متغیر کلیدی در ارزیابی تولید اولیه و چرخهٔ کربن در بوم‌سازگان‌ها، نقش اساسی دارد. در مطالعه‌ای که توسط Adl (۲۰۰۷) در جنگل‌های یاسوج انجام شده است، شاخص سطح برگ با استفاده از روش‌های دقیق اندازه‌گیری و ارتباط بین زی‌تودهٔ برگ و سطح برگ برآورد گردید. این پژوهش نشان داد که میانگین شاخص سطح برگ در این منطقه حدود ۱/۲ است [۹]. در پژوهش دیگری، مقدار سطح برگ کیکم (*Acer monspessulanum*) در جنگل‌های قلعه‌گل استان لرستان، ۰/۸۶۸ مترمربع در هکتار برآورد شد [۱۰].

در بوم‌سازگان‌های جنگلی، پس از شاخص سطح برگ که نشان‌دهندهٔ ساختار و تراکم تاج‌پوشش گیاهان و فرآیندهای مرتبط با فتوسنتز و ذخیرهٔ کربن است، ذخایر کربن در لاشبرگ و خاک به‌عنوان اجزای کلیدی برای درک تعادل بوم‌سازگانی و پایش تغییرات محیطی اهمیت فراوانی دارند. از منظر اکولوژی جنگل، پنج مخزن اصلی کربن شامل زی‌تودهٔ روی‌زمینی، زیرزمینی، لاشبرگ، چوب مرده و کربن آلی خاک هستند [۱۱]. لاشبرگ به مجموعه‌ای از برگ‌ها، شاخه‌ها و دیگر بقایای گیاهی مرده گفته می‌شود که به‌عنوان یک منبع مهم کربن عمل می‌کند. در واقع لاشبرگ‌های موجود در سطح خاک یا کف جنگل، به‌عنوان منبع

و ذخیرهٔ عناصر غذایی محسوب می‌شوند که میزان ریزش و نرخ تجزیهٔ آنها تنظیم‌کنندهٔ جریان انرژی و تولید اولیه در بوم‌سازگان جنگلی می‌باشد [۱۲]. این مواد از طریق تجزیه به کربن آلی خاک افزوده شده و منبعی برای میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی هستند. لاشبرگ‌ها به بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تقویت تنوع زیستی کمک می‌کنند. همچنین، با اینکه تنها ۵ درصد از مجموع ذخایر کربن جنگل را تشکیل می‌دهند، نقش آنها در فرآیندهای اکولوژیکی و چرخهٔ کربن بسیار حائز اهمیت است [۳]. کربن خاک به‌عنوان بزرگ‌ترین مخزن کربن در خشکی، حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ گیگاتن کربن را ذخیره می‌کند که این مقدار به‌مراتب بیشتر از کربن موجود در گیاهان است [۱۳]. ویژگی‌هایی ازجمله بافت و نوع خاک، همچنین مقادیر لاشبرگ و نرخ تجزیهٔ مواد آلی، تأثیر زیادی بر ذخیرهٔ کربن آلی خاک دارند [۱۴].

مطالعات گذشته در مورد تأثیر گونه‌های بادام جنگلی به‌ویژه دو گونه مورد بررسی در این پژوهش بر زی‌توده، کربن لاشبرگ و خاک محدود بوده است و نیاز به بررسی‌های بیشتری برای درک نقش آنها در بوم‌سازگان‌های جنگلی احساس می‌شود. در همین راستا، پژوهش Rezaeinejad و همکاران (۲۰۲۰)، به نقش ریزوسفر و تاج‌پوشش درختان بادام طاووسی (*Amygdalus arabica*) در تغییرات کربن خاک پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که تجمع کربن و مواد مغذی زیر تاج درختان با سن‌های مختلف، به بهبود ویژگی‌های خاک کمک می‌کند. این تحقیق، اهمیت زی‌توده و تأثیر آن بر کیفیت خاک را با تمرکز بر حفظ و افزایش کربن خاک در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک تأکید می‌کند [۱۵]. در مطالعه Zeidi Joodaki و همکاران (۲۰۲۱)، تأثیر جنگل‌کاری بر پایداری خاک و جذب کربن بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های پهن‌برگ، به‌ویژه بادامک (*A. scoparia*)، نسبت به گونه‌های سوزنی‌برگ در بهبود خصوصیات خاک و افزایش ذخیرهٔ کربن کارایی بیشتری دارند. این یافته‌ها اهمیت انتخاب گونه‌های مناسب در جنگل‌کاری را برای بهبود ویژگی‌های خاک و ذخیره‌سازی کربن تأکید می‌کنند [۱۶]. در پژوهش Ghasemi Pirbaloti و Soodaee Moshaee (۲۰۲۴)، ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاک بادام در استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که کربن آلی کل در محدودهٔ ۴۴ تا ۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است [۱۷]. Saberi و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی تأثیر گونهٔ بادامک بر ذخیرهٔ کربن خاک در مناطق جنگلی زاگرس در استان فارس پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که این گونهٔ بومی به‌طور قابل توجهی باعث افزایش کربن خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود. این یافته‌ها، اهمیت گونهٔ بادامک را به‌عنوان یک گونهٔ مؤثر در بهبود کیفیت خاک و تقویت بوم‌سازگان‌های زاگرس برجسته می‌کنند [۱۸]. در تحقیق Bagheri و Zare (۲۰۱۴)، تأثیر کشت بادامک بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که این گونهٔ گیاهی با افزایش سطح مواد آلی و رطوبت خاک، موجب بهبود خواص خاک می‌گردد. به‌ویژه، مقدار پتاسیم تبادلی و نیتروژن در نواحی نزدیک به درختچه‌های بادام کوهی افزایش یافته که نشان‌دهندهٔ نقش حمایتی این گونه در تقویت تنوع زیستی و ذخیرهٔ کربن خاک است. این یافته‌ها بر اهمیت کشت بادامک به‌عنوان یک گونهٔ حامی در بوم‌سازگان‌های مرتعی تأکید می‌کند [۱۹]. در مطالعه Jarideh و همکاران (۲۰۲۱)، تغییرات ویژگی‌های خاک و ذخیرهٔ کربن آلی خاک در یک منطقهٔ نیمه‌خشک از جنگل‌های زاگرس ایران بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که جنگل‌زدایی به‌طور قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته و منجر به کاهش ذخیرهٔ کربن آلی می‌شود. این تغییرات تهدیدی برای کیفیت خاک و بوم‌سازگان‌های محلی به‌شمار می‌رود و بر اهمیت مدیریت پایدار و حفاظت از جنگل‌ها در جلوگیری از کاهش ذخایر کربن و حفظ تنوع زیستی تأکید می‌کند [۲۰]. در تحقیق Karamian و همکاران (۲۰۲۳)، تأثیر کاشت درختان بومی و غیربومی بر تنوع جانداران خاک در یک بوم‌سازگان جنگلی نیمه‌خشک بررسی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهند که نوع درختان کشت‌شده، ازجمله بادامک، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی روی تنوع زیستی خاک و ذخیره کربن آلی داشته باشد. به‌ویژه، گونه‌های بومی مانند بادام، با تأمین شرایط مناسب برای میکروارگانیسم‌ها و جانداران خاک، به حفظ و افزایش کربن خاک کمک کرده و بهبود کیفیت خاک را تسهیل می‌کنند [۲۱]. در مطالعات اخیر انجام‌شده در زاگرس، Maleki و همکاران (۲۰۲۴)، به بررسی مادهٔ آلی خاک در جنگل‌های خالص و آمیختهٔ بلوط پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که جنگل‌های آمیختهٔ بلوط به‌واسطهٔ افزایش تنوع گیاهی و حضور لاشبرگ‌ها و بقایای گیاهی، مقادیر بیشتری کربن خاک نسبت به جنگل‌های خالص تولید می‌کنند. این شرایط به تغذیه و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک کمک می‌کند [۲۲]. علاوه بر این، Iranmanesh و

Parsapour (۲۰۲۴)، در تحقیق خود درمورد ذخیرهٔ کربن در چوب مرده، لاشبرگ و خاک بلوط ایرانی تأکید داشته‌اند. یافته‌های آنها نشان می‌دهد که لاشبرگ‌ها به‌عنوان منابع حیاتی کربن، نقش مؤثری در ذخیرهٔ کربن خاک ایفا کرده و به بهبود کیفیت و پایداری بوم‌سازگان‌های جنگلی بلوط کمک می‌کنند. این نتایج بر اهمیت مدیریت درست لاشبرگ‌ها و بقایای گیاهی در راستای ارتقاء سطح کربن خاک و حفظ تنوع زیستی در جنگل‌های زاگرس تأکید دارد [۲۳]. با وجود تحقیقات فراوان در زمینهٔ شاخص سطح برگ، زی‌توده و کربن لاشبرگ و خاک، تاکنون پژوهشی جامع درمورد دو گونهٔ مهم بادام، یعنی بادام طاووسی (*Prunus arabica* Olive.) و بادام برگ‌سنجدی (*P. elaeagnifolia* Spach.) در منطقهٔ زاگرس انجام نشده است و این عدم وجود تحقیقات به‌ویژه در استان چهارمحال و بختیاری احساس می‌شود، به‌طوری‌که اطلاعات لازم برای مقایسهٔ اندوختهٔ کربن لاشبرگ و خاک این دو گونه هنوز به‌دست نیامده است. تحقیق حاضر به مطالعه و تحلیل این جوانب پرداخته و اهمیت آنها را در توسعهٔ پایدار و مدیریت منابع طبیعی در این منطقه مشخص می‌کند.

## ۲. روش‌شناسی پژوهش

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه، رویشگاه بادام کره‌بس، با مساحتی در حدود ۵۰۷ هکتار در فاصلهٔ ۶۰ کیلومتری جنوب شهرستان بروجن و ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی شهرکرد واقع شده است. این منطقه از نظر جغرافیایی بین طول شرقی ″۹ ′۱۰ °۵۱ تا ″۴۲ ′۱۲ °۵۱ و عرض شمالی ″۵۸ ′۳۲ °۳۱ تا ″۴۵ ′۳۵ °۳۱ قرار دارد. بر اساس تقسیم‌بندی‌های سیاسی، این رویشگاه در حوزهٔ شهرستان خانمیرزا جای می‌گیرد. این منطقه به‌عنوان یکی از ارزشمندترین و منحصر به‌فردترین رویشگاه‌های بادام در استان شناخته می‌شوند (شکل ۱). میانگین بارندگی سالیانه در این رویشگاه در حدود ۵۸۵ میلی‌متر برآورد شده که نشان‌دهندهٔ شرایط مناسب اقلیمی برای رویش است. میانگین دمای سالیانه، ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد است و در اوج گرما، دما در مردادماه به بیشتر از ۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در سردترین روزها در دی‌ماه به ۱۰/۵- درجهٔ سانتی‌گراد می‌رسد. همچنین، در این منطقه به‌طور متوسط ۱۲۰ روز در سال به‌عنوان روزهای خشک شناخته می‌شوند که عمدتاً از اوایل خرداد تا پایان شهریورماه است. این ناحیه به‌دلیل تنوع زیستی زیاد و شرایط اقلیمی مساعد، میزبان چهار گونهٔ اصلی بادام وحشی شامل بادام طاووسی، بادام کوهی، بادام برگ‌سنجدی و بادام زاگرسی می‌باشد. با توجه به تنوع و وضعیت گونه‌های غالب بادام در منطقه، دو گونهٔ بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی برای این پژوهش انتخاب شدند. این انتخاب به‌دلیل ویژگی‌های اکولوژیکی و زیستی منحصر به‌فرد این دو گونه و همچنین اهمیت آنها در بوم‌سازگان منطقه انجام شده است [۲۴].

### ۲-۲. نمونه‌برداری

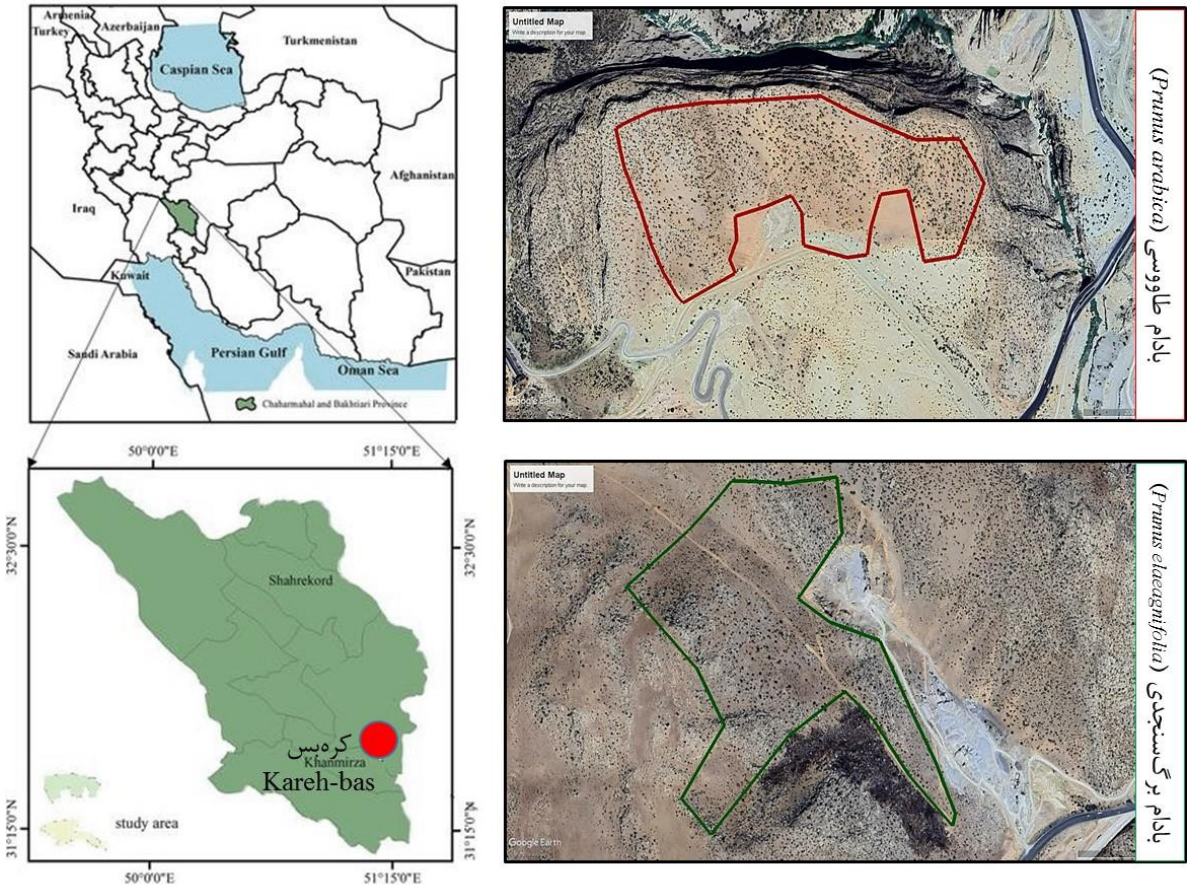
به‌منظور انتخاب پایه‌های بادام، برداشت نمونهٔ خاک و لاشبرگ، در توده‌های مورد بررسی، ۳۰ قطعه‌نمونهٔ ۱۰۰۰ مترمربعی به‌صورت تصادفی منظم پیاده شد و در هر قطعه‌نمونه یک پایه انتخاب شد. به‌این ترتیب، ۱۵ پایه از هر گونه بادام و در مجموع ۳۰ پایهٔ بادام انتخاب شدند. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به روش مستقیم انجام شد. به این منظور، تمامی برگ‌های موجود روی پایه‌های نشانه‌گذاری شده از دو گونهٔ مورد بررسی جدا و پس از توزین، شمارش شدند. سپس، ۳۰ برگ از هر پایه به‌صورت تصادفی انتخاب و سطح آنها توسط نرم‌افزار ImageJ اندازه‌گیری شد [۲۵]. نمونه‌های برگ به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد در آون خشک شده و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

شاخص سطح برگ از رابطهٔ ۱ محاسبه شد [۲۵]:

$$\text{شاخص سطح برگ} = \frac{\text{متوسط سطح برگ (سانتی‌متر مربع)} \times \text{تعداد برگ}}{\text{سطح تاج (سانتی‌متر مربع)}} \qquad \text{رابطهٔ ۱)}$$

برای محاسبهٔ سطح برگ ویژه (Specific Leaf Area) از رابطهٔ ۲ استفاده شد [۲۵]:

رابطهٔ ۲) $$\text{سطح برگ ویژه (سانتی‌متر مربع بر گرم)} = \frac{\text{متوسط سطح برگ (سانتی‌متر مربع)} \times \text{تعداد برگ}}{\text{وزن خشک برگ (گرم)}}$$




**شکل ۱.** موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

لاشبرگ به‌عنوان ترکیبی از برگ‌های افتاده، لایه‌های هوموس و تکه‌های کوچک چوبی با قطر کمتر از یک سانتی‌متر شناخته می‌شود. در این پژوهش، ۳۰ نمونهٔ تصادفی توسط قاب کوچک با ابعاد ۰/۵ در ۰/۵ مترمربع برداشت شد [۲۳] (شکل ۲). تمامی نمونه‌های لاشبرگ بلافاصله پس از جمع‌آوری، در محل توزین شده و در بسته‌بندی‌های مجزا برای انجام اندازه‌گیری‌های وزن خشک و تعیین مقدار کربن به آزمایشگاه منتقل شدند [۲۶]. نمونه‌های برگ نیز جمع‌آوری شده و پس از تعیین وزن تر آنها در عرصه، به آزمایشگاه منتقل شده و وزن خشک (زی‌توده) آنها محاسبه شد. از روش احتراق در کورهٔ الکتریکی به‌منظور اندازه‌گیری درصد کربن آلی در لاشبرگ‌ها، استفاده شد. در این فرآیند، نمونه‌ها به‌مدت چهار ساعت در دمای ۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از آن، با اندازه‌گیری درصد خاکستر باقی‌مانده، ضریب کربن محاسباتی از طریق رابطهٔ ۳ به‌دست آمد [۲۷]:

رابطهٔ ۳)
$$C\% = (100 - Ash\%) \times 0.58$$
$$Ash = (W_3 - W_1 / W_2 - W_1) \times 100$$

در رابطهٔ ۳: Ash%، درصد خاکستر حاصل پس از سوزاندن کامل، $W_1$، وزن ظرف بوتهٔ چینی، $W_2$، وزن خشک نمونه و بوتهٔ چینی، $W_3$، مجموع وزن خاکستر و بوتهٔ چینی مورد استفاده و C%، ضریب کربن محاسباتی است. پس از محاسبهٔ مقدار ضریب

کربن محاسباتی، مقدار اندوختهٔ کربن، با استفاده از حاصل‌ضرب ضریب کربن محاسباتی در مقدار زی‌تودهٔ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک (SOC)، ۳۰ نمونهٔ خاک از زیر و خارج تاج جمع‌آوری شد. نمونه‌ها از سه عمق صفر تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متری برداشت شدند (شکل ۲). به‌علاوه، وزن ظاهری خاک و درصد اجزای بزرگ‌تر مانند سنگریزه‌ها اندازه‌گیری شد. مقدار کل کربن آلی خاک در منطقهٔ مورد مطالعه با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه شد [۱۱].

$$SOC = [SOC] \times Bulk\ Density \times Depth \times ((Coarse\ Fragments)/100 - 1) \times 10$$ رابطهٔ ۴)

که در آن: SOC: ذخیرهٔ کربن آلی خاک (تن در هکتار)، [SOC]: غلظت کربن آلی خاک در حجم خاک برداشت شده (گرم کربن در کیلوگرم خاک)، Bulk Density: جرم خاک بر حجم نمونه یا وزن مخصوص ظاهری خاک (مگاگرم بر مترمکعب)، Depth: عمق نمونه‌برداری (متر)، Coarse Fragments: درصد حجم قطعات بزرگ و ۱۰ ضریب تبدیل واحد به تن در هکتار می‌باشد. برای بررسی ویژگی‌های خاک، آزمایش‌های مختلفی ازجمله تعیین درصد سنگریزه، بافت، وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری کربن آلی، از روش والکلی–بلاک (Walkley-Black) استفاده شد، در حالی‌که وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه تعیین گردید [۲۸].

**شکل ۲.** نمونه‌برداری از لاشبرگ (راست) و خاک در عمق‌های مختلف (چپ)

## ۲–۳. تحلیل داده‌ها

داده‌ها در نرم‌افزار Excel به‌عنوان بانک اطلاعات ذخیره شدند. برای تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ داده‌ها، ابتدا نرمال بودن آنها با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف و همگنی واریانس با آزمون لون تست شد. برای بررسی رابطهٔ بین شاخص سطح برگ و زی‌توده، معادلهٔ رگرسیونی خطی بر مبنای حداقل مربعات برازش داده شد. برای اعتبار سنجی مدل‌ها، از معیارهای ضریب تبیین، انحراف معیار مدل برازش یافته، تحلیل واریانس رگرسیون و تبعیت توزیع مقادیر باقیمانده‌ها از توزیع نرمال استفاده شد. مقایسهٔ اندوختهٔ کربن پارامترهای مورد بررسی با آزمون‌های آنالیز واریانس یک‌طرفه و t مستقل انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن

انجام شد. تمام تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بستهٔ نرم‌افزاری SPSS نسخهٔ ۲۵ انجام شد.

## ۳. یافته‌های پژوهش

### ۳-۱. شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ در بادام برگ‌سنجدی (۳/۸۴) بیش از چهار برابر بادام طاووسی (۰/۹) است، این در حالی است که شاخص سطح برگ ویژه و متوسط سطح برگ در بادام طاووسی بیشتر است (جدول ۱).

**جدول ۱.** متوسط سطح برگ، شاخص سطح برگ، سطح برگ ویژه و زی‌تودهٔ برگ دو گونه بادام طاووسی و برگ‌سنجدی

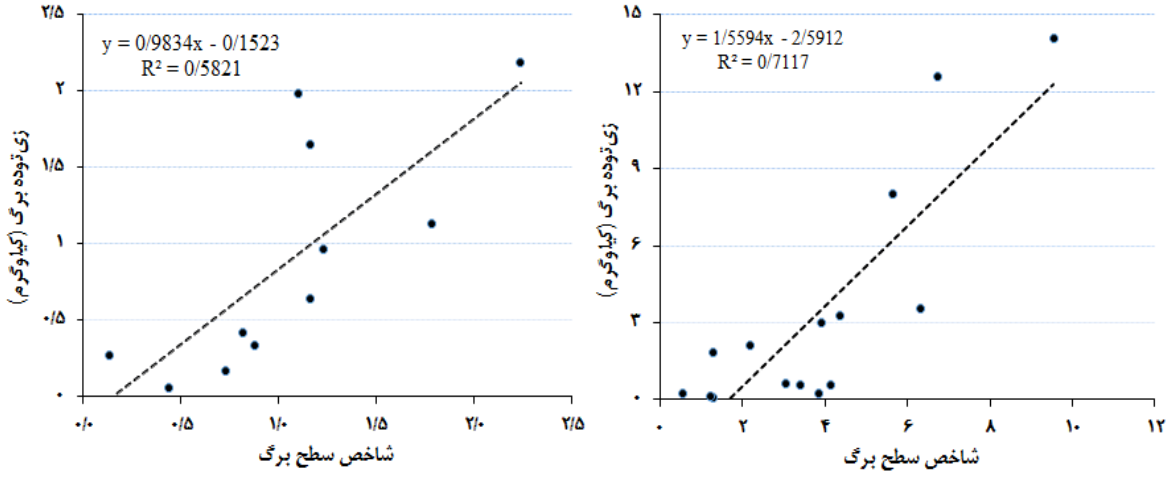
| گونه بادام | شاخص سطح برگ | | | شاخص سطح برگ ویژه (سانتی‌متر مربع بر گرم) | | | متوسط سطح برگ (سانتی‌متر مربع) | | | زی‌تودهٔ برگ در پایه (کیلوگرم) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | حداقل | حداکثر | میانگین | حداقل | حداکثر | میانگین | حداقل | حداکثر | میانگین | حداقل | حداکثر | میانگین |
| طاووسی | ۰/۱۳ | ۲/۲۴ | ۰/۹ | ۶۸/۸ | ۱۹۹/۳ | ۱۰۹/۶ | ۰/۴۵ | ۲/۸ | ۱/۴۶ | ۰/۰۰۱ | ۲/۷ | ۰/۷۶ |
| برگ‌سنجدی | ۰/۵۶ | ۹/۵۴ | ۳/۸۴ | ۶۳/۳ | ۱۲۳/۶ | ۹۴/۲ | ۰/۳۶ | ۱/۳ | ۰/۶۹ | ۰/۰۸۷ | ۱۴/۱ | ۳/۴ |

نتایج بررسی برازش مدل خطی بین زی‌تودهٔ برگ و شاخص سطح برگ در دو گونهٔ مورد مطالعه نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، رابطه‌ای معنی‌دار بین این دو متغیر وجود دارد. تجزیه واریانس مدل و آزمون t برای ضرایب و ضریب تبیین مدل‌ها برای دو گونه بادام در جدول ۲ مشاهده می‌شود. ضریب تبیین در بادام برگ‌سنجدی (۰/۷۱) بیشتر از بادام طاووسی (۰/۶۳) به‌دست آمد. شکل ۳، ابر نقاط و منحنی برازش یافته بین دو متغیر شاخص سطح برگ و زی‌تودهٔ برگ را نشان می‌دهد.

**جدول ۲.** نتیجه تحلیل رگرسیون خطی برای تعیین مدل ارتباط بین زی‌تودهٔ برگ و شاخص سطح برگ در دو گونه بادام طاووسی و برگ‌سنجدی

| گونه | درجه آزادی | ضریب تبیین ($R^2$) | آمارهٔ F | معنی‌داری | اشتباه معیار | معادله |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بادام طاووسی | ۹ | ۰/۵۸ | ۱۳/۷۳ | *** | ۰/۵۰۷ | Y = 0.983 X – 0.152 |
| بادام برگ‌سنجدی | ۱۴ | ۰/۷۱ | ۳۲/۱۳ | *** | ۲/۵۳ | Y = 1.559 X – 2.591 |

شرح علائم: Y: زی‌تودهٔ برگ به کیلوگرم، X: شاخص سطح برگ و *** معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ می‌باشد.




**شکل ۳.** ابر نقاط و منحنی برازش یافته بین دو متغیر شاخص سطح برگ و زی‌تودهٔ برگ بادام طاووسی (چپ) و برگ‌سنجدی (راست)

### ۳-۲. اندوختهٔ کربن لاشبرگ

اندازه‌گیری مقدار لاشبرگ در ریزقطعه‌نمونه‌ها و تعمیم آن به واحد سطح (هکتار) انجام شد. اگرچه درصد کربن آلی در نمونه‌های لاشبرگ تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما مقدار زی‌توده و اندوختهٔ کربن لاشبرگ به‌طور معنی‌داری در رویشگاه‌های دو گونه متفاوت بود (جدول ۳). متوسط اندوختهٔ کربن لاشبرگ در تودهٔ بادام طاووسی، ۰/۷۸ و در تودهٔ بادام برگ‌سنجدی، ۰/۳۲ تن در هکتار به‌دست آمد.

**جدول ۳.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای لاشبرگ در رویشگاه‌های دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی

| میانگین پارامترهای لاشبرگ | گونه | | معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| | بادام طاووسی | بادام برگ‌سنجدی | |
| کربن آلی (درصد) | ۴۴/۱ (۱/۹۸) | ۴۴/۶ (۱/۹۵) | ۰/۴۲۴ $^{ns}$ |
| زی‌توده (تن در هکتار) | ۱/۷۷ (۱/۴) | ۰/۷۱ (۰/۶۸) | ۰/۰۰۵** |
| اندوختهٔ کربن (تن در هکتار) | ۰/۷۸ (۰/۰۷) | ۰/۳۲ (۰/۱۱) | ۰/۰۰۶** |

### ۳-۳. زی‌توده و اندوختهٔ کربن خاک

#### ۳-۳-۱. مقایسهٔ اندوختهٔ کربن عمق‌های مختلف خاک در بادام طاووسی

مقایسهٔ کربن آلی خاک در سه عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام طاووسی نشان داد بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری (۱/۱۷ درصد) وجود دارد. با بیشتر شدن عمق خاک مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد. تفاوت بین کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. همچنین با افزایش عمق خاک درصد سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری خاک روند افزایشی معنی‌داری را نشان داد (جدول ۴).

**جدول ٤.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک در سه عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام طاووسی

| | عمق خاک (سانتی‌متر) | وزن مخصوص ظاهری | سنگریزه (درصد) | کربن آلی خاک (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| میانگین پارامترهای خاک | ۱۵-۰ | ۱/۱۴ (۰/۰۳) | ۱۴/۷ (۴/۳۳) | ۱/۱۷ (۰/۴۲) |
| | ۳۰-۱۵ | ۱/۱۸ (۰/۰۴) | ۱۹/۱ (۵/۸۴) | ۰/۷۸ (۰/۳۲) |
| | ۴۵-۳۰ | ۱/۲۰ (۰/۰۴) | ۲۵/۹ (۹/۶۸) | ۰/۶۳ (۰/۳۳) |
| میانگین مربعات | | ۰/۰۰۶ | ۱۴۷/۹۹ | ۰/۶۶ |
| آمارهٔ F | | ۴/۰۸ | ۵/۱۴ | ۴/۶۶ |
| معنی‌داری | | ۰/۰۲۷* | ۰/۰۱۲* | ۰/۰۱۸* |

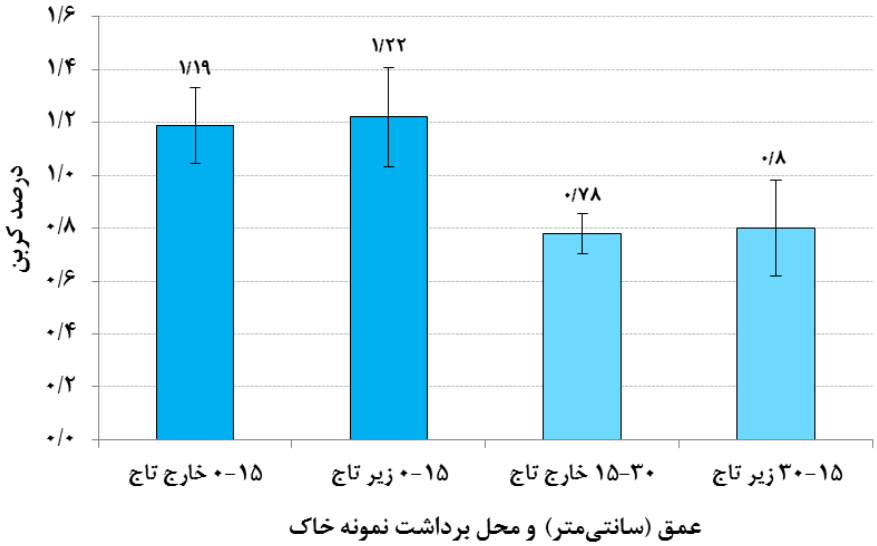
* معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

#### ۳-۳-۲. مقایسهٔ کربن آلی خاک در زیر تاج و خارج تاج بادام طاووسی

مقایسهٔ کربن آلی خاک در زیر تاج درختچه‌های بادام و خارج از تاج‌پوشش آن‌ها در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر انجام شد (شکل ۴). اگرچه مقدار کربن آلی خاک در زیر تاج درختچه‌های بادام بیشتر از خارج تاج بود، اما تفاوت موجود از نظر آماری معنی‌دار نشد. مقدار سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری خاک در خارج تاج به‌صورت معنی‌داری از زیر تاج بیشتر بود (جدول ۵).

**جدول ۵.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک در زیر تاج و خارج تاج در رویشگاه بادام طاووسی

| میانگین پارامترهای خاک | زیر تاج | خارج تاج | معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| وزن مخصوص ظاهری | ۱/۱۷ (۰/۰۴۴) | ۱/۱۶ (۰/۰۴۲) | ۰/۶۵۵ $^{ns}$ |
| سنگریزه (درصد) | ۱۴/۱ (۵/۰۵) | ۱۸/۸ (۵/۱۳) | ۰/۰۲* |
| کربن آلی خاک (درصد) | ۱/۰۱ (۰/۴۷) | ۰/۹۸ (۰/۳۹) | ۰/۸۹۶$^{ns}$ |




**شکل ٤.** مقایسهٔ میانگین کربن آلی خاک در دو عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام طاووسی

### ۳-۳-۳. مقایسهٔ اندوختهٔ کربن عمق‌های مختلف خاک در بادام برگ‌سنجدی

مقایسهٔ کربن آلی خاک در سه عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی نشان داد بیشترین مقدار کربن آلی خاک در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری (۱/۳ درصد) وجود دارد. با بیشتر شدن عمق خاک، مقدار کربن آلی کاهش می‌یافت. تفاوت بین کربن آلی خاک در عمق‌های مختلف از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد. همچنین با افزایش عمق خاک درصد سنگریزه و وزن مخصوص ظاهری خاک روند افزایشی معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶).

**جدول ٦.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک در سه عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی

| | عمق خاک (سانتی‌متر) | وزن مخصوص ظاهری | سنگریزه (درصد) | کربن آلی خاک (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| میانگین پارامترهای خاک | ۱۵-۰ | ۱/۱۶ (۰/۰۳) | ۱۹/۹ (۹/۸۷) | ۱/۳ (۰/۵) |
| | ۳۰-۱۵ | ۱/۱۹ (۰/۰۴) | ۲۲/۳ (۹/۷۱) | ۰/۸۵ (۰/۲۵) |
| | ۴۵-۳۰ | ۱/۲۰ (۰/۰۳) | ۲۲/۱ (۵/۹۳) | ۰/۷۴ (۰/۵۹) |
| میانگین مربعات | | ۰/۰۰۴ | ۲۱/۹۷ | ۰/۸۷ |
| آمارهٔ F | | ۲/۶۸ | ۰/۲۳۴ | ۲/۷۸ |
| معنی‌داری | | ۰/۰۸۵* | ۰/۷۹۳* | ۰/۰۷۸* |

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد

### ۳-۳-۴. مقایسهٔ کربن آلی خاک در زیر تاج و خارج تاج بادام برگ‌سنجدی

مقایسهٔ کربن آلی خاک در زیر تاج درختچه‌های بادام و خارج از تاج‌پوشش آن‌ها در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر انجام شد. مقدار کربن آلی خاک در زیر تاج درختچه‌های بادام برگ‌سنجدی بیشتر از خارج تاج به‌دست آمد (شکل ۵). مقدار سنگریزه در خارج تاج به‌مقدار قابل توجهی بیشتر از زیر تاج بود و این تفاوت، از نظر آماری معنی‌دار شد (جدول ۷).

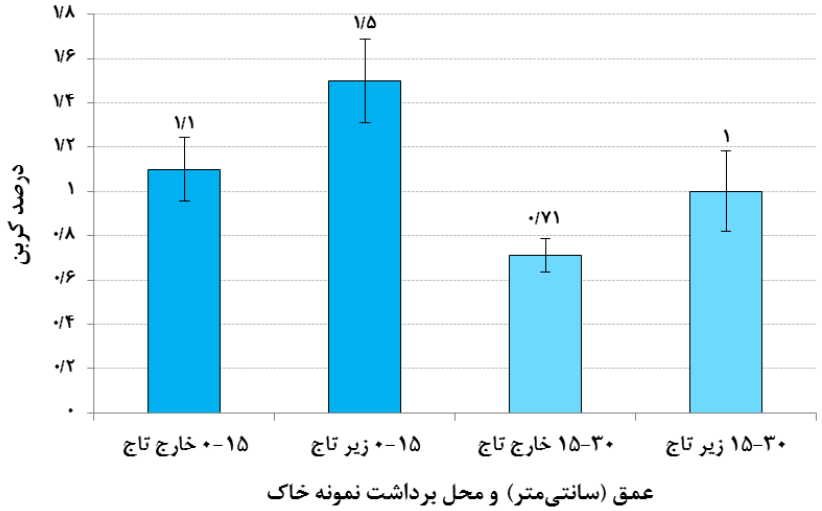
### ۳-۳-۵. مقایسهٔ اندوختهٔ کربن خاک در دو گونهٔ مورد مطالعه

مقایسهٔ اندوخته کربن خاک در رویشگاه‌های دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی نشان داد تفاوت معنی‌داری بین اندوختهٔ کربن آنها وجود ندارد. اندوختهٔ کربن خاک (عمق ۳۰-۰ سانتیمتر) در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی با ۲۹/۹ تن در هکتار از رویشگاه بادام طاووسی (۲۸/۴ تن در هکتار) بیشتر بود (شکل ۶). درصد سنگریزه تفاوت معنی‌داری را بین رویشگاه دو گونه

نشان داد (جدول ۸).

**جدول ۷.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک در زیر تاج و خارج تاج در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی

| میانگین پارامترهای خاک | زیر تاج | خارج تاج | معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| وزن مخصوص ظاهری | ۱/۱۷ (۰/۰۴۴) | ۱/۱۸ (۰/۰۴) | ۰/۳۲۸ $^{ns}$ |
| سنگریزه (درصد) | ۱۵/۶ (۵/۰۵) | ۲۵/۹ (۵/۱۳) | ۰/۰۰۲** |
| کربن آلی خاک (درصد) | ۱/۲۵ (۰/۴۷) | ۰/۹۱ (۰/۳۹) | ۰/۱۲۳$^{ns}$ |




**شکل ۵.** مقایسهٔ میانگین کربن آلی خاک در دو عمق مورد بررسی در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی

**جدول ۸.** مقایسهٔ میانگین پارامترهای خاک در رویشگاه‌های دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی

| میانگین پارامترهای خاک | بادام کوهی | بادام برگ‌سنجدی | معنی‌داری |
|---|---|---|---|
| وزن مخصوص ظاهری | ۱/۱۶ (۰/۰۴۲) | ۱/۱۸ (۰/۰۴۲) | ۰/۲۲۹ $^{ns}$ |
| سنگریزه (درصد) | ۱۶/۹ (۱/۰۰) | ۲۱/۱ (۱/۷۷) | ۰/۰۴۵* |
| کربن آلی خاک (درصد) | ۰/۹۷ (۰/۰۷) | ۱/۱ (۰/۱۱) | ۰/۴۷۷$^{ns}$ |

**شکل ٦.** مقایسهٔ میانگین اندوختهٔ کربن خاک در رویشگاه‌های دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی

## ۴. بحث

امروزه از شاخص‌های اکولوژیک برای شناخت وضعیت بوم‌سازگان‌ها و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده طی زمان، در کشورهای پیشرفته به‌صورت متداول استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های ساختاری بوم‌سازگان‌های جنگلی، سطح برگ است که با توجه به اینکه محل انجام فتوسنتز و تولید مادهٔ آلی است، لزوم بررسی این مشخصه بیشتر نمایان می‌شود. شاخص سطح برگ که به‌عنوان مجموع مساحت یک طرف برگ گیاهان در واحد سطح زمین تعریف می‌شود، به‌عنوان یک شاخص برای تشریح ساختار و تراکم تاج‌پوشش گیاهان استفاده می‌شود [۲۹]. با اندازه‌گیری یا برآورد دقیق شاخص سطح برگ، می‌توان فرآیندهای بوم‌سازگان مورد نیاز برای ارزیابی تأثیرات آن بر تعادل اقلیم و بوم‌سازگان مانند تعرق و ذخیرهٔ کربن از طریق فتوسنتز را مشخص کرد (۲۶). مطالعهٔ زی‌توده در بوم‌سازگان‌های جنگلی بیانگر مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل است [۳۰]. شاخص سطح برگ بیشتر گیاهان بین ۲ تا ۶ است. نگه‌داشتن شاخص سطح برگ در حد مطلوب برای کارایی بهتر نور حائز اهمیت است [۳۱]. در تحقیق حاضر شاخص سطح برگ بادام طاووسی (۰/۹) و بادام برگ‌سنجدی (۳/۸۴) به‌دست آمد. زی‌توده و شاخص سطح برگ دو گونه بلوط ایرانی و بنه در جنگل‌های یاسوج برآورد شد که نتایج نشان داد میزان زی‌تودهٔ برگ گونه‌های بلوط ایرانی و بنه به‌ترتیب ۱۳۱۷/۳ و ۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار و متوسط شاخص سطح برگ در منطقهٔ مورد مطالعه، ۱/۲ است [۹]. Khosravi و همکاران (۲۰۱۲)، شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ وی‌ول را در جنگل‌های زاگرس شمالی بررسی کردند که نتایج نشان داد میزان شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ به‌ترتیب ۱/۹۹ و ۱۳۶/۹ سانتی‌متر بر گرم است [۳۲].

در تحقیق حاضر، شاخص سطح برگ بادام طاووسی حدود یک‌چهارم بادام برگ‌سنجدی به‌دست آمد. دلیل این موضوع را می‌توان در کمتر بودن تعداد برگ در بادام طاووسی نسبت داد. این گونه که تحت عنوان بادام بی‌برگ نیز نامیده می‌شود، به‌طور ژنتیکی از مقدار برگ کمتری برخوردار بوده و به‌همین دلیل، شاخص سطح برگ آن بسیار کمتر از حد معمول سایر گیاهان است. بر همین مبنا، زی‌تودهٔ برگ در بادام برگ‌سنجدی بیش از چهار برابر بادام طاووسی است و همین مسئله موجب کمتر شدن شاخص سطح برگ ویژه در این گونه شده است. البته اندازهٔ برگ‌های بادام طاووسی از بادام برگ‌سنجدی درشت‌تر هستند. شاخص سطح برگ ازجمله شاخص‌های اکولوژیک است که ارتباط نزدیکی با زی‌تودهٔ برگ و مقدار لاشریزه دارد. شاخص سطح برگ به‌دلیل اینکه دروازهٔ ورودی انرژی به گیاه است و فعالیت‌های فتوسنتزی را در برمی‌گیرد با مقدار زی‌توده رابطهٔ مستقیم دارد. همبستگی معنی‌دار بین این دو متغیر نیز مؤید این موضوع است، البته کمتر بودن ضریب تبیین در بادام طاووسی نسبت به بادام برگ‌سنجدی را می‌توان به‌دلیل مقدار کمتر برگ در این گیاه و به‌عبارت دیگر شاخصهٔ ژنتیکی این گیاه تحت عنوان بادام بی‌برگ بودن دانست.

متغیر دیگری که ذخیرهٔ کربن بوم‌سازگان به آن وابسته است و از طرفی به شاخص اکولوژیک سطح برگ نیز ارتباط دارد، لاشبرگ موجود در پوشش کف جنگل است. در بوم‌سازگان جنگل، تولید لاشبرگ و فرآیندهای تجزیهٔ آن بسیار مهم هستند.

لاشبرگ اثر معنی‌داری بر مواد غذایی و چرخهٔ بیوژئوشیمیایی و عملکرد سالم در بوم‌سازگان جنگلی مناطق استوایی دارد [۳۳]. از وزن لاشبرگ به‌عنوان شاخص سلامت و حاصل‌خیزی بوم‌سازگان جنگل استفاده شده است [۳۴]. علاوه بر این، درک عوامل مختلف تأثیرگذار بر تجزیهٔ لاشبرگ برای عملکرد بوم‌سازگان بسیار مهم است. در مقیاس جهانی، لاشبرگ حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد از وزن لاشریزه در بوم‌سازگان‌های جنگلی را تشکیل می‌دهند و باقیمانده شامل مواد چوبی (حدود ۳۰ درصد) و دیگر اندام‌های گیاهی (حدود ۱ تا ۲ درصد) است [۳۵]. در پژوهش حاضر متوسط زی‌تودهٔ لاشبرگ در دو رویشگاه بادام طاووسی و برگ‌سنجدی به‌ترتیب ۱/۷۷ و ۰/۷۱ تن در هکتار و متوسط اندوختهٔ کربن لاشریزه در این دو رویشگاه به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۳۲ تن در هکتار به‌دست آمد. Askarii و همکاران (۲۰۲۱)، مقدار ذخیرهٔ کربن لاشبرگ در چهار منطقهٔ جنگلی در یاسوج را ۰/۷۳ تن در هکتار برآورد کردند که به نتایج تحقیق حاضر نزدیک است [۳۶]. Iranmanesh و همکاران (۲۰۲۱)، نیز متوسط اندوختهٔ کربن لاشریزه در رویشگاه‌های سالم بلوط ایرانی در استان چهارمحال و بختیاری را ۱/۵ تن در هکتار گزارش کردند [۳۷]. البته کمتر بودن متوسط ذخیرهٔ کربن لاشریزه در رویشگاه‌های بادام نسب به جنگل‌های بلوط را می‌توان به ساختار و فرم رویشی گیاهان منطقه نسبت داد که در جنگل‌های بلوط فرم درختی و عمدتاً شاخه‌زاد بوده و در رویشگاه بادام فرم رویشی درختچه‌ای است و این موضوع بر تراکم و انباشت لاشریزه در منطقه بسیار مؤثر است، اما موضوع قابل توجه حجم نسبتاً قابل ملاحظهٔ لاشریزه در دو رویشگاه بادام است که نشان می‌دهد در صورت مدیریت صحیح و جلوگیری از ورود دام در منطقه، رویشگاه‌های درختچه‌ای ازجمله بادامستان‌ها نیز از نظر اندوختهٔ کربن لاشریزه نقش مهمی را در بین بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌خود اختصاص می‌دهند.

اندوختهٔ کربن خاک، بخش مهمی از ترسیب کربن در بوم‌سازگان خشکی است و تأثیر شدیدی بر $CO_2$ اتمسفری دارد، به‌طوری‌که تغییرات کم در تراکم کربن خاک در اثر تغییر کاربری اراضی ممکن است تغییرات زیادی در تراکم $CO_2$ اتمسفر ایجاد کند. همچنین، کاهش ذخیرهٔ کربن آلی خاک با افزایش احتمال فرسایش‌پذیری و فشردگی خاک و افزایش رواناب، اثر زیادی بر ساختمان خاک دارد. مقدار کربن آلی موجود در خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در رویشگاه دو گونهٔ بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی نشان داد. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین این دو رویشگاه وجود نداشت، اما مقدار اندوختهٔ کربن خاک در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی بیشتر بود. دلیل این موضوع را می‌توان به نوع لاشریزه در این رویشگاه نسبت داد، زیرا در رویشگاه بادام طاووسی نوع لاشریزهٔ بیشتر سرشاخه‌های خشک شده و خزان کرده بوده که فرم خشبی‌تری داشته و به‌همین دلیل نرخ تجزیهٔ آنها کندتر از لاشریزه‌های برگی در رویشگاه بادام برگ‌سنجدی است. اجزای لاشبرگ، ریشه و متابولیسم میکروبی، از راه‌های اصلی ورود کربن به مادهٔ آلی خاک هستند [۳۸]. به‌ویژه کف جنگل‌ها و افق‌های خاک معدنی در بوم‌سازگان‌های جنگلی شامل مقادیر زیاد کربن است. مقدار لاشریزه بر فرآیندهای مهم بوم‌سازگان جنگلی مانند چرخهٔ کربن و عناصر غذایی مؤثر است. همچنین، بر تنوع زیستی و رفتار آتش‌سوزی در جنگل تأثیر اساسی دارد [۳۹]. تفاوت در کیفیت لاشبرگ، فعالیت‌های ریشه، بازجذب عناصر غذایی و رشد و نمو گیاهی از عوامل عمدهٔ تأثیر گونه‌های گیاهی بر خصوصیات خاک هستند [۴۰].

در تحقیق حاضر نیز اگرچه تفاوت معنی‌داری بین کربن آلی خاک در زیر و خارج تاج درختچه‌های بادام مشاهده نشد، اما در مجموع مقدار کربن آلی خاک در زیر تاج اندکی بیشتر از خارج تاج به‌دست آمد و این امر می‌تواند به‌دلیل فعالیت‌های ریشه، بازجذب عناصر غذایی و مقدار لاشریزه موجود باشد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش عمق خاک در هر دو رویشگاه بادام مقدار کربن آلی و در نتیجه اندوختهٔ کربن خاک کاسته شده است که با نتایج پژوهش Ahmadi و همکاران (۲۰۲۲)، همخوانی دارد [۴۱]. آنها در بررسی ترسیب کربن خاک در دو عمق سطحی و زیرسطحی گونهٔ تاغ (*Haloxylon aphyllum*) گزارش کردند که ترسیب کربن بیشتر در عمق سطحی خاک رخ داده است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در عمق‌های سطحی، مقدار کربن آلی خاک بیشتر بوده است که با نتایج تحقیق Puladi و همکاران (۲۰۱۳)، همخوانی دارد [۴۲]. این مطالعه همچنین تأکید می‌کند که با افزایش عمق خاک، مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد. همچنین، در تحقیق Laskar و همکاران (۲۰۲۱)، مشخص شد که با افزایش عمق خاک، محتوای کربن آلی کاهش می‌یابد [۴۳]. این نشان‌دهندهٔ این است که لایه‌های سطحی خاک معمولاً حاوی کربن بیشتری هستند که به‌دلیل تجزیهٔ مواد آلی و فعالیت میکروبی بالاتر در این لایه‌ها است [۴۴]. Derakhshan و همکاران (۲۰۲۲)، نیز ترسیب کربن خاک و گیاه در دو کاربری مرتع و زراعی در دو عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر و

۳۰–۱۵ سانتی‌متر را انجام داده و ترسیب کربن در تودهٔ گیاهی و خاک بین مرتع و زمین زراعی را مقایسه کردند [۴۵]. آنها گزارش دادند مجموع ترسیب کربن در بوم‌سازگان مرتعی (۵۹/۵ در هکتار) بیشتر از ترسیب کربن در اراضی زراعی (۵۳/۳ تن در هکتار) بود. در مجموع متوسط اندوختهٔ کربن خاک در رویشگاه بادام کره‌بس حدود ۲۹/۱ تن در هکتار به‌دست آمد. یکی از دلایل کمتر بودن مقدار اندوختهٔ کربن خاک در رویشگاه‌های بادام طاووسی و برگ‌سنجدی را می‌توان به‌دلیل شرایط رویشگاهی منطقه دانست. منطقهٔ رویشگاهی بادام عمدتاً شرایط صخره‌سنگی داشته و مقدار درصد سنگریزه در این مناطق زیاد است. با این حال، این مقدار اندوختهٔ کربن در خاک رویشگاه نیز حکایت از نقش اکوسیستم منطقه به‌عنوان یک ذخیره‌گاه کربن اتمسفری دارد.

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، نتایج نشان‌دهندهٔ ویژگی‌ها و تفاوت‌های شاخص‌های اکولوژیکی در دو گونه بادام طاووسی و بادام برگ‌سنجدی است. شاخص سطح برگ بادام طاووسی به‌دلیل ژنتیک خاص این گیاه و کمتر بودن تعداد برگ‌ها، نزدیک به یک‌چهارم بادام برگ‌سنجدی است که تأثیر مستقیم بر فعالیت فتوسنتزی و زی‌تودهٔ این گونه دارد. البته به‌نظر می‌رسد بخشی از فتوسنتز در بادام طاووسی توسط شاخه‌های سبز این گونه صورت پذیرفته و کاهش عملکرد فتوسنتزی برگ را جبران کند. همچنین علی‌رغم درختچه‌ای بودن این گونه‌ها، وضعیت اندوختهٔ کربن لاشریزه و خاک آنها مقدار قابل توجهی بوده که بیانگر نقش و اهمیت گونه‌های همراه در رویشگاه‌های جنگلی زاگرس است. از طرفی، با توجه به اینکه گونه‌های بادام وحشی از جمله گونه‌های اصلی در جنگل‌کاری‌ها و احیاء مناطق تخریب یافته جنگلی زاگرس محسوب می‌شوند، آگاهی از نقش آنها در فرآیند جذب و ذخیرهٔ کربن در بوم‌سازگان‌های طبیعی بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین، حفظ بوم‌سازگان‌های جنگلی طبیعی مانند بادامستان‌ها، مدیریت پایدار، احیاء و توسعهٔ آنها به‌منظور تقویت ذخایر کربنی، نه‌تنها به سلامت و پایداری محیط‌زیست محلی کمک می‌کند بلکه در راستای تعهدات کشور در پاسخگویی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مواجهه با چالش‌های جهانی تغییر اقلیم قرار دارد.

## ۶. منابع


[1] Mo, L., Zohner, C.M., Reich, P.B., Liang, J., De Miguel, S., Nabuurs, G.J., Renner, S.S., van den Hoogen, J., Araza, A., Herold, M., & Mirzagholi, L. (2023). Integrated global assessment of the natural forest carbon potential. *Nature*, 624(7990), 92-101.

[2] Hanafi-Bojd, A. A., Sharififard, M., Jahanifard, E., Navidpour, S., & Vazirianzadeh, B. (2020). Presence probability of Hemiscorpius lepturus Peters, 1861 using maximum entropy approach in the western areas of Zagros Mountains, Iran. *Veterinary World*, 13(2), 296.

[3] Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L., Houghton, R.A., Fang, J., Kauppi, P.E., Keith, H., Kurz, W.A., Ito, A., Lewis, S.L., & Nabuurs, G.J. (2024). The enduring world forest carbon sink. *Nature*, 631(8021), 563-569.

[4] Berryman, E., Ryan, M.G., Bradford, J.B., Hawbaker, T.J., & Birdsey, R. (2016). Total belowground carbon flux in subalpine forests is related to leaf area index, soil nitrogen, and tree height. *Ecosphere*, 7(8), e01418.

[5] Jiang, J., Johansen, K., Stanschewski, C.S., Wellman, G., Mousa, M.A., Fiene, G.M., Asiry, K.A., Tester, M., & McCabe, M.F. (2022). Phenotyping a diversity panel of quinoa using UAV-retrieved leaf area index, SPAD-based chlorophyll and a random forest approach. *Precision Agriculture*, 23(3), 961-983.

[6] Pourhashemi, M., Eskandari, S., Dehghani, M., Najafi, T., Asadi, A., & Panahi, P. (2011). 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), 620-609. (In Persian)

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

[8] Poorghasemi, N., & Abbasi, M. (2016). Relationship between LAI of *Quercus persica* and *Pistacia atlantica* with Field Spectroscopy. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 5(16), 55-67. (In Persian)

[9] 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), 426-417. (In Persian)

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

[11] Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2013). *Sourcebook for Land use, Land-use Change and Forestry Projects*. World Bank, Washington, DC.

[12] Scheibe, A., Steffens, C., Seven, J., Jacob, A., Hertel, D., Leuschner, C., & Gleixner, G. (2015). Effects of tree identity dominate over tree diversity on the soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 219-227.

[13] Takahashi, M., Ishizuka, S., Ugawa, S., Sakai, Y., Sakai, H., Ono, K., Hashimoto, S., Matsuura, Y., & Morisada, K. (2010). Carbon stock in litter, deadwood and soil in Japan's forest sector and its comparison with carbon stock in agricultural soils. *Soil Science & Plant Nutrition*, 56(1), 19-30.

[14] Andivia, E., Rolo, V., Jonard, M., Formánek, P., & Ponette, Q. (2016). Tree species identity mediates mechanisms of top soil carbon sequestration in a Norway spruce and European beech mixed forest. *Annals of Forest Science*, 73, 437-447.

[15] Rezaeinejad, R., Khademi, H., Ayoubi, S., & Goujani, H. J. (2020). Changes in physical and chemical soil properties under the influence of the rhizosphere and canopy of wild almond trees (*Amygdalus arabica* Olive.) with different ages. (In Persian)

[16] Zeidi Joodaki, A., Pilehvar, B., & 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)

[17] Ghasemi Pirbaloti, S., & Soodaee Moshaee, S. (2024). Monitoring and Evaluation of Chemical-Biological Characteristics and Determining the Quantitative Index of Soil Quality in Chaharmahal va Bakhtiari Almond Orchards. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 28(1), 65-79. (In Persian)

[18] Saberi, F., Kiani, B., Omidvar, E., Azimzadeh, H., & Esmaeilpour, M. (2023). Evaluating the plantation success by mountain almond (Amygdalus scoparia Spach.) and its effect on vegetation and soil in Arjan habitats of Jamal Beyg region, Fars province. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 227-240. (In Persian)

[19] Bagheri, R., & Zare, S. (2014). Investigating the effect of *Amygdalus scoparia* Spach Tillage on some of the Physicochemical Properties of the Soil. *Plant and Ecosystem*, 10(28), 3-20. (In Persian)

[20] Jarideh, S., Alvaninezhad, S., Gholami, P., Mirzaei, M. R., & Armin, M. (2021). Soil properties and soil organic carbon stock changes resulted from deforestation in a semi-arid region of Zagros forests, Iran. *Arid Ecosystems*, 11, 18-26.

[21] Karamian, M., Mirzaei, J., Heydari, M., Mirab-Balou, M., Kooch, Y., & Pehlivan, N. (2023). Non-native and native tree species plantations and seasonality could have substantial impacts on the diversity of indigenous soil fauna in a semi-arid forest ecosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(11), 1268.

[22] Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M. A. (2024). Comparison of Soil Organic Matter in Pure and Mixed Types of Oak in North Zagros (Case Study: Armardeh Baneh Forests). *Ecology of Iranian Forest*, 12(1), 50-62. (In Persian)

[23] Iranmanesh, Y., & Parsapour, M. K. (2024). Biomass and carbon stock in deadwood, litter, and soil of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) stand (Case study: Atashgah forest area, Lordegan, Iran). Iranian Journal of Forest and Poplar Research. Article in press. https://doi.org/10.22092/IJFPR.2024.365345.2156. (In Persian)

[24] Sharifpoor, R., Jafari, A., & Gojani, H.J. (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)

[25] Arias, D., Calvo-Alvarado, J., & Dohrenbusch, A. (2007). Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3), 185-193.

[26] Provin, T. (2014). Total carbon and nitrogen and organic carbon via thermal combustion analyses. *Soil Test Methods From the Southeastern United States*, pp. 149-154.

[27] Pearcey, R., Mooney, H.A., & Rundel, P.W. (Eds.). (2012). *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Springer Science & Business Media.

[28] MacDicken, K.G. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock Internationl Institute for Agricultural Development, Forest Carbon Monitoring Program. 87 p.

[29] Cotter, M., Asch, F., Hilger, T., Rajaona, A., Schappert, A., Stuerz, S., & Yang, X. (2017). Measuring leaf area index in rubber plantations− A challenge. *Ecological Indicators*, 82, 357-366.

[30] Husch, B., Beers, T.W., & Kershaw Jr, J.A. (2002). *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons.

[31] Fang, H., Baret, F., Plummer, S., & Schaepman-Strub, G. (2019). An overview of global leaf area index (LAI): Methods, products, validation, and applications. *Reviews of Geophysics*, *57*(3), 739-799.

[32] 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.

[33] Giweta, M. (2020). Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment*, 44(1), 11.

[34] Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H., Haidari, M., Fani, B., Parsapour, M. K., & Mokhtarpour, T. (2024). Assessment of canopy cover changes in the northern and southern Zagros forests (Case study: Kurdistan and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces). *Forest and Wood Products*, *77*(2), 139-152.

[35] Perry, D.A., Oren, R., & Hart, S.C. (2008). *Forest Ecosystems*. JHU press.

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

[37] Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi, H., & 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)

[38] Parsapour, M. K., Kooch, Y., Hosseini, S. M., & Alavi, S. J. (2024). Assessing soil microbial catabolic diversity in alder and oak plantations at varying developmental stages. *Canadian Journal of Forest Research*, *54*(12), 1410-1424.

[39] Bigler, C., & Veblen, T.T. (2011). Changes in litter and dead wood loads following tree death beneath subalpine conifer species in northern Colorado. *Canadian Journal of Forest Research*, 41(2), 331-340.

[40] Parsapour, M. K., Kooch, Y., Hosseini, S. M., & Alavi, S. J. (2021). Quantitative evaluation of soil carbon and nitrogen dynamics under oak and alder afforestations. *Forest Research and Development*, 7(2), 235-248.

[41] Ahmadi, H., Heshmati, G., & Naseri, H. (2022). Soil carbon sequestration potential in desert lands affected two species of *Haloxylon aphyllum* and *Stipagrostis plumosa* (Aran-o-Bidgol, Iran). *Desert Ecosystem Engineering*, 3(5), 29-36. (In Persian)

[42] Puladi, N., Delavar, M.A., Golchin, A., & Koper, A. (2013). Effect of alder and poplar plantation on soil quality and carbon sequestration (A case study: Safrabasteh Poplar Experimental Station). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(2), 286-299. (In Persian)

[43] Laskar, S.Y., Sileshi, G.W., Pathak, K., Debnath, N., Nath, A.J., Laskar, K.Y., Singnar, P., & Das, A.K. (2021). Variations in soil organic carbon content with chronosequence, soil depth and aggregate size under shifting cultivation. *Science of the Total Environment*, 762, 143114.

[44] Kooch, Y., Parsapour, M. K., Egli, M., & Moghimian, N. (2021). Forest floor and soil properties in different development stages of oriental beech forests. *Applied Soil Ecology*, *161*, 103823.

[45] Derakhshan, F., Abdi, N., Torang, H., & Ahmadi, A. (2022). Comparing soil and phytomass carbon sequestration in two land uses: rangeland and cropland (case study: Mahallat, Galcheshmeh region, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 12(1), 21-32. (In Persian)