

Research Paper

Litterfall decomposition rate of deciduous and coniferous trees under different land uses in Zagros forests

Shokoufeh Asgharzadeh¹, Masoud Bazgir^{*2}, Mehdi Heydari³ and Farhad Ghasemi Aghbash⁴

1- M.Sc. Student of Soil Science, Department of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (sh.asgharzadeh.1993@gmail.com)

2,*- (Corresponding author) Associate Professor, Department of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (m.bazgir@ilam.ac.ir)

3- Professor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I. R. Iran. (mh.naseri@gau.ac.ir)

4- Assistance Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (ghasemifa@gmail.com)

Received: 10 June 2025

Revised: 24 January 2026

Accepted: 27 January 2026

Extended Abstract

Background and Objective: Litter decomposition is one of the most fundamental ecological processes regulating nutrient cycling, soil fertility, and carbon dynamics in forest ecosystems. By facilitating nutrient return and organic matter formation, this process plays a critical role in maintaining soil quality. The rate of litter decomposition depends on litter quality, environmental conditions, and the activity of soil microorganisms. Despite its ecological significance, few studies have simultaneously compared the decomposition of broadleaf and coniferous tree litter across different land-use types, particularly in the Zagros forests of Iran. Therefore, this study aimed to compare litter quality and decomposition characteristics of selected broadleaf and coniferous tree species under forest, orchard, and agricultural land uses and to evaluate the effects of land-use change on litter decomposition.

Material and Methods: This study was conducted in 2020 in Ilam Province, western Iran. Three land-use types were selected, including natural forest within the Manesht and Ghalarang Protected Area, orchards, and agricultural lands located north of Ilam City. Three broadleaf species—Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.), wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.), and hawthorn (*Crataegus pontica* C. Koch)—and two coniferous species—Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) and Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.)—were investigated. Freshly fallen litter was collected from natural forests and placed in litterbags (20 × 20 cm, 2-mm mesh size), which were installed at the soil surface (0–10 cm depth). A total of 180 litterbags were prepared. Litterbags were retrieved after 60, 120, 180, and 240 days, and litter quality indices were determined. The evaluated indices included litter decomposition rate, asymptotic decomposition limit, maximum organic matter loss estimated using gravimetric relationships, and potential humification capacity. Data were analyzed as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications using analysis of variance (ANOVA), and treatment means were compared using Duncan's multiple range test at the 1% significance level.

Results: The results demonstrated that sampling time, tree species, and land-use type significantly affected litter decomposition quality indices. After 240 days, the highest percentage of organic

matter loss in orchards was observed for wild pistachio litter (36.2%), whereas Mediterranean cypress exhibited the lowest value (18.2%). In agricultural land, the highest and lowest values were likewise recorded for wild pistachio (31.0%) and Mediterranean cypress (17.4%), respectively. In forest stands, wild pistachio showed the highest organic matter loss (29.3%), while Mediterranean cypress again exhibited the lowest (16.5%). Litter decomposition rates were consistently higher for wild pistachio and Persian oak than for the other species across all land-use types. The highest asymptotic decomposition limit in orchards and agricultural lands was recorded for hawthorn and wild pistachio litter, whereas in forest stands Persian oak exhibited the highest value (65%), likely reflecting its adaptation to its native habitat in the Zagros forests. After 240 days, the asymptotic decomposition rate ranged from 15.4% day⁻¹ for wild pistachio to 12.6% day⁻¹ for Mediterranean cypress. Potential humification capacity was highest for wild pistachio and Mediterranean cypress across all land-use types, whereas the lowest value in forests was observed for Persian oak (0.35). Overall, litter decomposition patterns were broadly similar among land-use types, probably because the present orchard and agricultural lands had originally been forested before land-use conversion.

Conclusion: Organic matter loss was greatest in the litter of Persian oak (29.8%) and wild pistachio (36.2%) across the forest, orchard, and agricultural land uses. The results further indicated that organic matter loss increased progressively over time. In forest ecosystems, Persian oak litter exhibited the greatest decomposition potential among the studied species. These findings suggest that Persian oak and wild pistachio play a more prominent role than the other investigated species in enhancing soil fertility and promoting nutrient cycling in Zagros forest ecosystems. Notably, their beneficial effects remained evident even after forest conversion to orchards and croplands. Therefore, for forest restoration and afforestation programs in the Zagros region, wild pistachio should be prioritized as a companion species alongside Persian oak. Given the superior decomposition performance of native broadleaf species, the introduction of coniferous species into these ecosystems should be minimized whenever possible.

Keywords: *Quercus brantii*; litterbag; litter decomposition; lost organic matter; soil; Ilam Province.

How to Cite This Article: Asgharzadeh, Sh., Bazgir, M., Heydari, M., and Ghasemi Aghbash, F. (2026). Litterfall decomposition rate of deciduous and coniferous trees under different land uses in Zagros forests. *Forest Research and Development*, 12(2), 241-260. DOI: [10.30466/frd.2026.56265.1759](https://doi.org/10.30466/frd.2026.56265.1759)



Copyright ©2024 Asgharzadeh et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

بررسی شاخص‌های کیفیت لاشبرگ درختان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کاربری‌های مختلف جنگل‌های زاگرس

شکوفه اصغرزاده^۱، مسعود بازگیر^{۲*}، مهدی حیدری^۳ و فرهاد قاسمی آقباش^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (sh.asgharzadeh.1993@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه مهندسی خاک و آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (m.bazgir@ilam.ac.ir)

۳- استاد، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. (m.heidari@ilam.ac.ir)

۴- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (ghasemifa@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

چکیده

مقدمه و هدف: تجزیه لاشبرگ یکی از مهم‌ترین فرایندهای بوم‌شناختی مؤثر بر چرخه عناصر غذایی، حاصلخیزی خاک و پویایی کربن در بوم‌سازگان‌های جنگلی است. این فرآیند با تأثیر بر بازگشت عناصر غذایی و تشکیل ماده آلی، نقش اساسی در حفظ کیفیت خاک دارد. سرعت تجزیه به کیفیت لاشبرگ، شرایط محیطی و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک وابسته است. با وجود اهمیت این فرآیند، پژوهش‌های اندکی به مقایسه همزمان تجزیه لاشبرگ گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کاربری‌های مختلف، به‌ویژه در جنگل‌های زاگرس، پرداخته‌اند. از این‌رو، هدف این پژوهش بررسی و مقایسه شاخص‌های کیفیت و تجزیه‌پذیری لاشبرگ برخی گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کاربری‌های جنگل، باغ و کشاورزی و ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر این فرآیند است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در استان ایلام و با درنظر گرفتن سه کاربری شامل جنگل در منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلازنگ، باغ و کشاورزی در شمال شهر ایلام انجام شد. برای بررسی روند تجزیه لاشبرگ سه گونه درختی پهن‌برگ شامل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، زالزالک (*Crataegus pontica* C.Koch.)، و دو گونه سوزنی‌برگ کاج سیاه (*Pinus brutia* Ten.) و سرو زربین (*Cupressus Sempervirens* L.) انتخاب شدند. لاشبرگ‌ها از جنگل‌های طبیعی جمع‌آوری و درون کیسه‌های لاشبرگ به ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و با قطر روزنه دو میلی‌متر در عمق سطحی خاک (صفر تا ۱۰ سانتی‌متری) قرار داده شدند. مجموع کل کیسه‌های لاشبرگ ۱۸۰ عدد بودند. پس از هر بار جمع‌آوری کیسه لاشبرگ‌ها، در دوره‌های زمانی ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ روز شاخص‌های کیفی لاشبرگ اندازه‌گیری شدند. شاخص‌های کیفی لاشبرگ شامل نرخ تجزیه لاشبرگ، حد نهایی تجزیه لاشبرگ، بیشتر

مقدار ماده آلی ازدست‌رفته با استفاده از روابط وزنی و ظرفیت بالقوه هوموسی شدن بررسی شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار از طریق آنالیز واریانس و مقایسه میانگین (آزمون دانکن، سطح احتمال یک درصد) انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که عوامل زمان، گونه و کاربری بر شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ اثرگذار بوده است. همچنین، بیشترین مقدار ماده آلی ازدست‌رفته در کاربری باغ مربوط به لاشبرگ بنه با $36/2$ درصد و کمترین مقدار در گونه سرو با $18/2$ درصد و در کاربری کشاورزی بیشترین در بنه با مقدار 31 درصد و کمترین در لاشبرگ سرو با $17/4$ درصد و در کاربری جنگل بیشترین مربوط به بنه با $29/3$ درصد و کمترین در سرو با $16/5$ درصد از دوره 240 روزه بود. نرخ تجزیه لاشبرگ در کاربری‌های مختلف در لاشبرگ بنه و بلوط نسبت به دیگر لاشبرگ‌ها بیشتر بود. در کاربری کشاورزی و باغ حدنهایی تجزیه در لاشبرگ زالزالک و بنه بیشتر از دیگر لاشبرگ‌ها به دست آمد اما در کاربری جنگل حدنهایی تجزیه در لاشبرگ بلوط با 65 درصد (به دلیل زادگاه اصلی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس) بیشتر از دیگر لاشبرگ‌ها شد. حدنهایی تجزیه در دوره 240 روزه در لاشبرگ بنه با $15/4$ درصد در روز و در سرو با $12/6$ درصد در روز کمترین مقدار بود. همچنین، بیشترین مقدار هوموسی شدن در سه کاربری مختلف مربوط به لاشبرگ بنه و سرو و کمترین مقدار در کاربری جنگل مربوط به لاشبرگ بلوط با $0/35$ بخش (برگ) بود. علاوه بر این، می‌توان نتیجه گرفت در کاربری‌های مختلف روند تجزیه تا حدودی مشابه بود؛ زیرا کاربری باغ و کشاورزی در زمان‌های گذشته جنگل بودند و با گذشت زمان تغییر کاربری داده شدند.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش در کاربری‌های جنگل، کشاورزی و باغ مقدار ماده آلی ازدست‌رفته در لاشبرگ درختان بلوط با $29/8$ درصد و بنه $36/2$ درصد بیشتر از دیگر لاشبرگ گونه‌های درختی بود. به‌طوری‌که بر اساس نتایج این بررسی به مرور زمان مقدار ماده آلی از دست رفته نیز افزایش یافته است. در کاربری جنگل، لاشبرگ بلوط نسبت به دیگر گونه‌های درختی از نظر روند تجزیه‌پذیری پیش‌تاز بود. به‌نظر می‌رسد دو گونه بنه و بلوط در بوم سامانه جنگلی مورد بررسی در زاگرس از بین دیگر گونه‌های مورد بررسی بیشترین تأثیر را در افزایش حاصلخیزی و بهبود چرخه عناصر غذایی خاک داشته باشند. به‌طوری‌که این اثر حتی بعد از تغییر کاربری جنگل به باغ و زراعت نیز قابل توجه است. بنابراین برای احیای جنگل در منطقه زاگرس، کاشت گونه بنه به‌عنوان گونه همراه با درخت بلوط می‌تواند در اولویت طرح‌های جنگلکاری قرار گیرد و با وجود گونه‌های بومی با نرخ تجزیه مطلوب تا حد امکان از ورود سوزنی‌برگان در این عرصه‌ها اجتناب کرد.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، خاک، کیسه لاشبرگ، ماده آلی ازدست‌رفته، ایلام.

مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی بیشترین مقدار را در سطح زمین به خود اختصاص داده و حدود ۳۰ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند (Singh et al., 2022). کارکرد این بوم-سامانه‌ها به‌عنوان یک رخداد بر اساس سه زیرسیستم مشخص گیاهی، علف‌خواری و تجزیه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. یکپارچگی این بوم‌سامانه‌ها می‌تواند به‌وسیله انتقال مواد و انرژی بین این زیرسیستم‌ها حفظ شود. فرآیند تجزیه لاشبرگ که همانند فتوستنز در چرخه کربن نقش دارد، در لایه‌های سطحی و زیرسطحی خاک رخ می‌دهد این فرآیند در وهله اول توسط باکتری‌ها و قارچ‌ها انجام می‌گیرد (Hobara et al., 2014; Khomutovska et al., 2024). بیوشیمی تجزیه در مقایسه با فتوستنز به‌طور شگفت‌انگیزی دارای جنبه‌های متفاوتی است. بنابراین این موضوع که فرآیند تجزیه به‌عنوان یکی از دو فرآیند اصلی چرخه کربن در کره‌زمین کمتر مورد بررسی قرار گرفته نباید زیاد شگفت‌آور باشد. از این‌رو، ارزیابی پویایی تجزیه (به‌علت غیرقابل پیش‌بینی بودن الگوهای صحیح تجزیه لاشبرگ‌ها چه در حالت ترکیبی و چه انفرادی) به‌دلیل دستیابی به درک بهتر عوامل مؤثر بر تجزیه لاشبرگ‌ها، برای مدیریت بهینه جنگل و افزایش اطلاعات در خصوص وضعیت عناصر غذایی خاک و لاشبرگ، تحت شرایط واقعی بسیار دارای اهمیت است.

تجزیه لاشبرگ یکی از مهم‌ترین فرآیندهای بوم-شناسی برای تعیین چرخه مواد غذایی و عملکرد بوم‌سامانه است. تجزیه لاشبرگ بیشتر تحت تأثیر سه عامل مهم، کیفیت بقایای گیاهی، شرایط فیزیکی مانند رطوبت و ساختار خاک و میکروارگانیسم‌های خاک قرار دارد (Ghasemi et al., 2016; Rawat et al., 2021). تجزیه لاشبرگ یک منبع عمده برای بازگشت

مواد آلی و آزادسازی مواد غذایی به خاک است. این فرآیند سبب بهبود عملکرد خاک، کنترل شرایط ریز-اقلیمی و عوامل مؤثر بر فعالیت جوامع میکروبی و رشد آنهاست که به‌طور اساسی افق سطحی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wu et al., 2023; Song et al., 2024). تجمع لاشبرگ درکف جنگل مهم‌ترین منبع ماده آلی ورودی به خاک است و تجزیه آن یکی از مهم‌ترین فرآیندهای تعیین‌کننده مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در خاک است. (Berg and McClaughety, 2008; Prescott and Vesterdal., 2021) تجزیه لاشبرگ در سطح بوم‌سامانه‌های زمینی به واسطه تنظیم مواد آلی خاک، آزادسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان و تأثیر بر چرخه‌های CO₂ از خاک مهم است (Abay et al., 2006; Raza et al., 2023). بررسی‌ها نشان می‌دهد که کیفیت لاشبرگ یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تجزیه لاشبرگ توسط میکروب‌ها (باکتری‌ها و قارچ‌ها) در یک منطقه معین است (Giweta, 2020; Getaneh et al., 2022; Yang et al., 2022). بنابراین درک عوامل کنترل‌کننده تجزیه لاشبرگ در بلندمدت و تعیین تغییرات ماده آلی در طول تجزیه لاشبرگ اهمیت دارد؛ به‌طوری‌که روند تجزیه می‌تواند تحت تأثیر ترکیب پوشش گیاهی قرار گیرد. بدین صورت که توده‌های آمیخته و خالص جنگلی می‌توانند از این نظر تفاوت داشته باشند (Song et al., 2010; Zhang et al., 2024) که البته باید در بوم‌سامانه‌های مناطق مختلف اقلیمی مورد بررسی قرار گیرد. تأمین عناصر غذایی خاک در روند تجزیه لاشبرگ از عوامل کنترل‌کننده است؛ زیرا مواد مغذی ضروری در خاک یا لاشبرگ بر جوامع و فعالیت تجزیه‌کنندگان (میکروارگانیسم‌ها) خاک نیز تأثیر می‌گذارد (Xiong et al., 2003). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند اسیدیته خاک و نسبت C/N تأثیر مثبتی روی روند

بروسیا (*Pinus brutia*) سبب افزایش مقدار فسفر قابل جذب، هدایت الکتریکی و کاهش خاک pH نسبت به گونه پهن برگ شده است. جنگل‌های زاگرس به عنوان یکی از بوم‌سامانه‌های جنگلی ارزشمند کشور نقش بسیار ارزنده‌ای در تأمین منابع آبی، تعادل اقلیمی و تنوع زیستی دارند (Allahinezhad et al., 2023; Rostami et al., 2022). بلوط ایرانی گونه غالب جنگل‌های زاگرس (*Quercus brantii*) است که همراه با دیگر گونه‌های درختی و درختچه‌ای تیپ‌های رویشی مختلفی را در این جنگل‌ها ایجاد کرده است. در کنار توده‌های طبیعی، جنگلکاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی یکی از اقدامات مهم برای احیای مناطق تخریب‌شده در این ناحیه است (Karamian et al., 2020; Eslaminejad et al., 2023). این ترکیب گونه‌های مختلف قاعداً اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های خاک، چرخه عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ می‌تواند داشته باشند که باید مورد بررسی و پایش قرار گیرد. با وجود اهمیت بالای تجزیه لاشبرگ در چرخه عناصر غذایی و عملکرد بوم‌سازگان، تاکنون در جنگل‌های زاگرس کمتر به بررسی همزمان نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کاربری‌های مختلف (جنگل، باغ، زراعت) پرداخته شده است. همچنین اثرات تغییر کاربری اراضی بر روند تجزیه‌پذیری و هوموسی شدن لاشبرگ گونه‌های بومی به‌طور دقیق مشخص نشده است. این خلأ پژوهشی ضرورت پژوهش تطبیقی نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های درختی مختلف در کاربری‌های متفاوت با تأکید بر گونه‌های شاخص زاگرس را آشکار می‌سازد.

این پژوهش برای بررسی روند زمانی تجزیه لاشبرگ و برآورد شاخص‌های کیفیت لاشبرگ، حد نهایی تجزیه لاشبرگ و ظرفیت بالقوه هوموسی شدن لاشبرگ گونه‌های مختلف بومی و غیربومی در

تجزیه لاشبرگ در مناطق کوهستانی دارند (Wang et al., 2020; Aslani, J., et al., 2024). بیان شده است که علت تأثیر منفی ناشی از ناسازگاری جوامع میکروبی با کاهش کیفیت لاشبرگ و افزایش نسبت C/N است (Cheraghi et al., 2018; Duboc et al., 2012). کیفیت لاشبرگ ترکیب شیمیایی اولیه، مقدار لیگنین، C/N، محتوای مواد مقاوم و شرایط محیطی (دما، رطوبت خاک، فعالیت میکروبی) تعیین‌کننده سرعت و مقدار تجزیه هستند (Ramzani and Ghasemi., 2024).

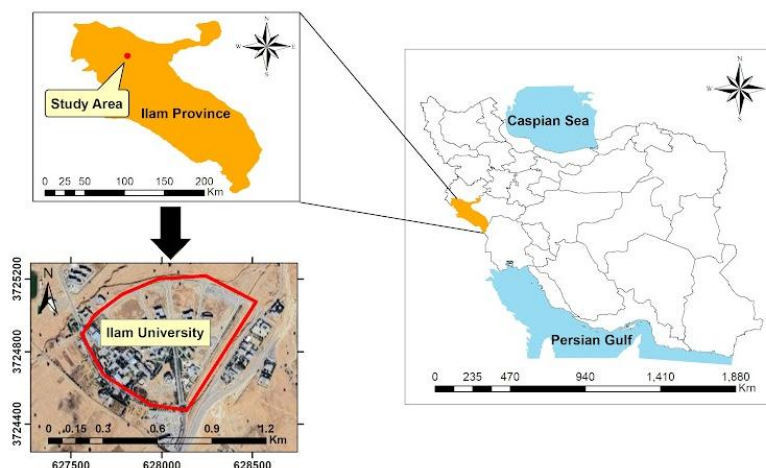
در بررسی‌های دیگر، نسبت C/N خاک در سال‌های اولیه تجزیه لاشبرگ اثر مثبتی نشان داده است درحالی‌که اسیدیته خاک سال بعد در قابلیت جذب عناصر غذایی اهمیت بیشتری داشت و این ممکن است به دلیل اثرات مستقیم ویژگی‌های خاک روی جوامع میکروبی باشد (Cheraghi et al., 2018; Sarneel et al., 2020). در جنگل، تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر ترکیب شیمیایی، شرایط محیطی (دما و رطوبت)، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و ساختار فیزیکی لاشبرگ است که سرعت و کیفیت تجزیه را تعیین می‌کنند (Prescott, 2010; Heydari et al., 2024). همچنین مقدار هوموسی شدن و مقدار ماده آلی ازدست‌رفته از مهم‌ترین ویژگی‌ها در تجزیه لاشبرگ هستند (Strid et al., 2016; Hättenschwiler and Jorgensen, 2010). زیرا نشان می‌دهند که کدام گونه روند تجزیه بهتری دارد و در حاصلخیزی و احیای چرخه عناصر غذایی بیشتر تأثیرگذار است. در بررسی انجام‌شده در کالیفرنیا نشان داده شد که خاک زیر تاج پوشش درختان بلوط نسبت به خاک چمن‌زارهای اطراف، از مقدار مواد آلی و معدنی بالایی برخوردار بودند (Dahlgren et al., 2003). همچنین Matinkia et al. (2012) با بررسی اثر گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داد که گونه سوزنی‌برگ کاج

کاربری‌های مختلف جنگل، باغ و زراعت در جنگل‌های زاگرس جنوبی انجام شده است. انجام این پژوهش می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در خصوص نرخ و سرعت تجزیه لاشبرگ گونه‌های مختلف و روند آزادسازی عناصر غذایی به خاک ارائه دهد. یافته‌های این پروژه در انتخاب گونه درختی مناسب برای احیای بوم‌سامانه‌های تخریب‌شده در این منطقه مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان ایلام انجام شد. استان ایلام با مساحت ۲۰۱۳۳ کیلومتر مربع، بیست و دومین استان ایران از نظر وسعت به‌شمار می‌رود. استان ایلام در غرب سلسه جبال زاگرس بین ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه تا

۳۴ درجه عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در گوشه غربی کشور واقع شده است. استان ایلام از غرب با کشور عراق، از جنوب با استان خوزستان، از شرق با استان لرستان و از شمال با استان کرمانشاه همسایه است (شکل ۱). شهر ایلام در حصار از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی استقرار یافته که دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با میانگین سالیانه ۶۱۹ میلی‌متر و متوسط دمای مطلق آن از ۱۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. این پژوهش، در پاییز سال ۱۳۹۹ در سه کاربری متفاوت (جنگل، باغ و کشاورزی) در شهر ایلام انجام گرفت. موقعیت مکانی هر یک از این کاربری‌ها به شرح ذیل است (شکل ۲):



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد بررسی

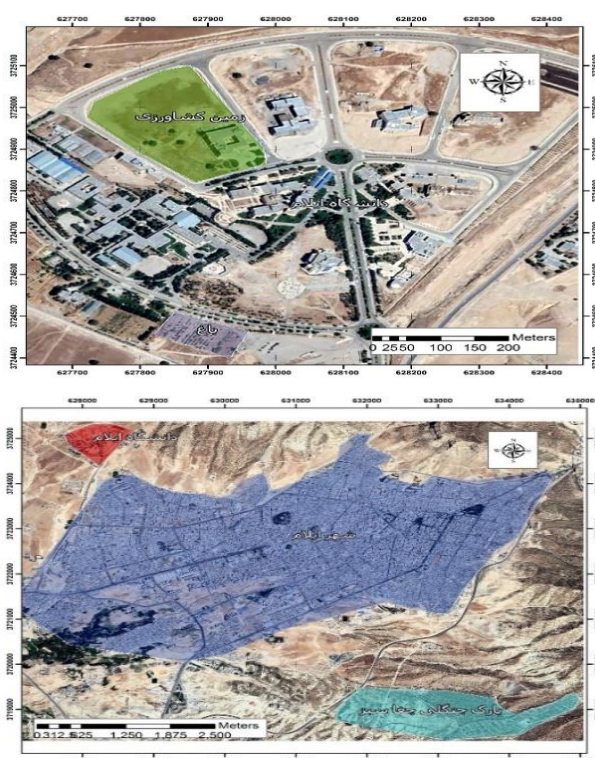
Figure 1. Geographical location of study area

کاربری جنگل: رویشگاه چغاسیز در جنوب شرقی استان ایلام و در حاشیه منطقه حفاظت‌شده مانشت و قلارنگ، در پنج کیلومتری شهر ایلام با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه و ۴۲ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه ۶ ثانیه واقع شده است. میانگین ارتفاع از سطح دریا این منطقه ۱۴۳۳ متر بوده و دارای شیب ۱۹ درصد است. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن

دارای اقلیم نیمه‌مرطوب و میانگین بارش سالانه ۵۷۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. نوع بافت خاک کاربری جنگل لوم-رسی، جرم مخصوص ظاهری ۱/۴۲ گرم بر سانتی‌متر مربع و مقدار شن ۱۷/۵ درصد، رس ۴۴/۵ درصد و سیلت ۳۶ درصد بود.

نسبت به شهر ایلام است. بافت خاک کاربری باغ Clay loam، جرم مخصوص ظاهری $1/39$ گرم بر سانتی متر مربع و مقدار شن $28/5$ درصد، رس $28/5$ درصد و سیلت 36 درصد بود. در کاربری کشاورزی نوع بافت خاک Clay، جرم مخصوص ظاهری $1/46$ گرم بر سانتی متر مربع و مقدار شن $13/5$ درصد، رس 45 درصد و سیلت $39/5$ درصد بود.

کاربری باغ و کشاورزی: دانشگاه ایلام در شمال شهر ایلام و در فاصله پنج کیلومتری از مرکز شهر با طول جغرافیایی 46 درجه و 22 دقیقه و 52 ثانیه و عرض جغرافیایی 33 درجه و 29 دقیقه و 22 ثانیه واقع شده است. میانگین ارتفاع از سطح دریا در این منطقه 1470 متر بوده که حدود 90 متر با شهر ایلام اختلاف ارتفاع دارد. به واسطه قرارگیری این دانشگاه در کوهپایه کوه-های اناران، این منطقه به مراتب دارای هوای سردتری



شکل ۲- نقشه مناطق مورد بررسی در استان ایلام

Figure 2. Map of study areas in Ilam Province

شدند. مقدار 10 گرم لاشبرگ از پنج گونه درختی (سه پهن برگ و دو درخت سوزنی برگ) در کیسه های لاشبرگ ریخته شد و در خاک سطحی (عمق صفر تا 10 سانتی متر) قرار داده شد. کیسه های لاشبرگ به ابعاد 20×20 سانتی متر از توری مشبک نایلونی با منافذ دو میلی متری ساخته شدند (Berg and Mc Clagherty, 2008). مجموع کل کیسه های لاشبرگ 180 عدد بود و

جمع آوری لاشبرگ

برای بررسی فرآیند تجزیه لاشبرگ، لاشبرگ ها (کاربری جنگل) از درختان پهن برگ بلوط (*Quercus brantii* Lindl.)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، زالزالک (*Crataegus pontica* C.Koch.)، و درختان سوزنی برگ سرو (*Cupressus Sempervirens* L.) و کاج (*Pinus brutia* Ten.) در آذر ماه 1399 جمع آوری

در هر کیسه لاشبرگ یک نوع لاشبرگ قرار گرفته شد یعنی در زیر هر درخت بلوط پنج نوع گونه متفاوت لاشبرگ وجود داشت و در مجموع تعداد ۶۰ کیسه لاشبرگ زیر ۱۲ درخت بلوط به صورت تصادفی (پنج کیسه لاشبرگ متفاوت زیر هر درخت) به عنوان کاربری جنگلی ($5 \times 12 = 60$)، ۶۰ کیسه لاشبرگ زیر ۱۲ درخت میوه به صورت تصادفی به عنوان کاربری باغ ($5 \times 12 = 60$)، و ۶۰ کیسه لاشبرگ در نقاط مختلف کاربری کشاورزی به صورت تصادفی قرار گرفتند. کیسه‌های لاشبرگ در فاصله زمانی ۶۰ روز در چهار دوره زمانی (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ روز) برداشت شدند به طوری که در هر برداشت از کاربری جنگل، باغ و کشاورزی ۱۵ کیسه لاشبرگ در مجموع ۴۵ کیسه لاشبرگ برداشت شد (در هر دوره زمانی از هر گونه سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت). سپس کیسه لاشبرگ‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و بعد از تمیز کردن آنها وزن تر لاشبرگ‌ها یادداشت شد و به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس وزن آنها نیز ثبت شد (Cornelissen et al., 2003).

برآورد شاخص‌های کیفیت لاشبرگ

در این پژوهش شاخص‌های کیفیت لاشبرگ زیر مورد بررسی قرار گرفت:

الف) حد نهایی تجزیه لاشبرگ

محاسبه حد نهایی تجزیه لاشبرگ‌ها با در نظر گرفتن رابطه زیر و از طریق مدل مماسی که توسط Berg تهیه شده بود، انجام شد (معادله ۱).

$$L = m \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right) \quad \text{رابطه ۱}$$

L بیشترین مقدار ماده آلی از دست رفته بر حسب درصد، m حد نهایی تجزیه، t مدت زمان انکوباسیون

بر حسب روز، k نرخ ثابت تجزیه به صورت سالیانه و از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود (معادله ۲).

$$\ln \left(\frac{W}{W_0} \right) = -Kt \quad \text{رابطه ۲}$$

در اینجا W و W₀ به ترتیب بیانگر وزن اولیه و ثانویه لاشبرگ است.

ب) بیشترین مقدار ماده آلی از دست رفته

با استفاده از روابط وزنی محاسبه شد (معادله ۳).

$$L(\%) = \frac{\text{وزن خشک ثانویه} - \text{وزن خشک اولیه}}{\text{وزن خشک اولیه}} \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

ج) ظرفیت بالقوه هوموسی شدن

از طریق رابطه (معادله ۴) محاسبه شد.

$$LH = (100 - LV) / 100 \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه: LH: ظرفیت بالقوه هوموسی شدن، LV (Limit Value): حد نهایی تجزیه واحد آن بخش است یعنی n بخش از ۱۰۰ بخش برگ قابلیت هوموسی شدن را دارد (Berg, 2008).

د) اندازه‌گیری کربن آلی در برگ

روش کربن‌سنجی یا خشک‌سوزی

نمونه برگ کاملاً خشک‌شده در کوره در دمای بالا (معمولاً بالای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد تا گازهای حاصل (CO₂) از آن خارج شود. سپس با دستگاه‌های آنالیز عنصری اندازه‌گیری شد (Nelson et al., 1996).

ه) اندازه‌گیری نیتروژن آلی در برگ

نمونه برگ خشک‌شده ابتدا با اسید سولفوریک و کاتالیزور هضم شد تا نیتروژن آلی به آمونیوم تبدیل شود. سپس محلول هضم‌شده با قلیا خنثی و آمونیاک آزاد شده به کمک تقطیر جمع‌آوری شد و آمونیاک جذب‌شده با اسید تیتراسیون شده و مقدار نیتروژن از حجم اسید مصرفی محاسبه می‌شود (Miller et al., 2013).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج حاصل از تجزیه لاشبرگ در کاربری‌های مختلف (جنگل، باغ و کشاورزی) به صورت فاکتوریل با سه عامل کاربری (جنگل، باغ و کشاورزی) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و زمان‌های (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰ روز) و پنج گونه درختی (بلوط، بنه، زالزالک، سرو و کاج) در نرم افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین به وسیله آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج

بررسی کیفیت اولیه لاشبرگ درختان مختلف

بررسی ویژگی‌های لاشبرگ درختان مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس بین گونه‌های مختلف از نظر محتوای کربن و نیتروژن لاشبرگ اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین مقدار نیتروژن مربوط به لاشبرگ زالزالک با مقدار ۰/۳۸ درصد است و بیشترین مقدار کربن در لاشبرگ زالزالک با مقدار ۲/۷۵ درصد مشاهده شد. همچنین، مقدار C/N در گونه درختی کاج (سوزنی‌برگ) بیشترین ($C/N=27/4$) و در گونه درختی زالزالک (پهن‌برگ) کمترین ($C/N=7/24$) بود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین وضعیت نیتروژن و کربن کل لاشبرگ درختان مختلف

Table 1. Descriptive statistics of the nutrient status of the litterfall of different trees

C/N	کربن کل (درصد) Total carbon (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	گونه درختی Tree species
9.74±0.15 ^c	2.24±0.32 ^b	0.23±0.02 ^{ab}	بلوط <i>Quercus brantii</i> L.
8.60±1.64 ^c	2.15±0.98 ^b	0.25±0.02 ^{ab}	بنه <i>Pistacia atlantica</i> Desf.
7.24±1.94 ^c	2.75±0.69 ^a	0.38±0.014 ^a	زالزالک <i>Crataegus pontica</i> K. Koch
27.4±1.39 ^a	2.74±0.44 ^a	0.10±0.014 ^b	کاج <i>Pinus brutia</i> Ten.
19.38±0.18 ^b	2.52±2.53 ^{ab}	0.13±0.027 ^b	سرو <i>Cupressus sempervirens</i> L.

Mean ± standard error (n=3)

میانگین ± اشتباه معیار (n=3)

بررسی شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ

بر اساس نتایج به دست آمده از جدول (۲)، عوامل اصلی زمان، گونه و کاربری روی شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ اثرگذار بوده و در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شدند. مقدار ماده آلی از دست رفته، حد نهایی تجزیه و نرخ تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر عامل‌های اصلی گونه و کاربری قرار گرفتند ولی زمان بر حد

نهایی تجزیه تأثیرگذار نبود. شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ به جز نرخ تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه (گونه× کاربری) قرار گرفتند و در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. درحالی‌که هیچکدام از شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه (زمان× کاربری) و سه‌گانه (زمان× گونه× کاربری) قرار نگرفتند.

جدول ۲- اثر زمان، گونه و کاربری زمین و اثر متقابل آنها بر شاخص‌های کیفیت تجزیه لاشبرگ

Table 2. The effect of the main factors time, species and land use and their interaction on the qualitative indicators of litter decomposition

منبع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	مقدار ماده آلی از دست رفته (درصد) Amount of organic matter lost (%)	نرخ تجزیه لاشبرگ (درصد) Litter decomposition rate (%)	حد نهایی تجزیه (درصد) Limit values of decomposition (%)
زمان Time	3	3496.50**	97.46**	0.00068 ^{ns}
گونه Species	4	1193.34**	82.77**	2505.76**
کاربری Land use	2	117.78*	7.10*	2736.42**
زمان × گونه Time × Species	12	43.58 ^{ns}	28.56**	0.00068 ^{ns}
زمان × کاربری Time × Land use	6	51.49 ^{ns}	3.57 ^{ns}	0.00068 ^{ns}
گونه × کاربری Species × Land (use)	8	104.71**	3.99 ^{ns}	326.36**
زمان × گونه × کاربری Time × Species × Land use	24	21.83 ^{ns}	1.94 ^{ns}	0.00068 ^{ns}

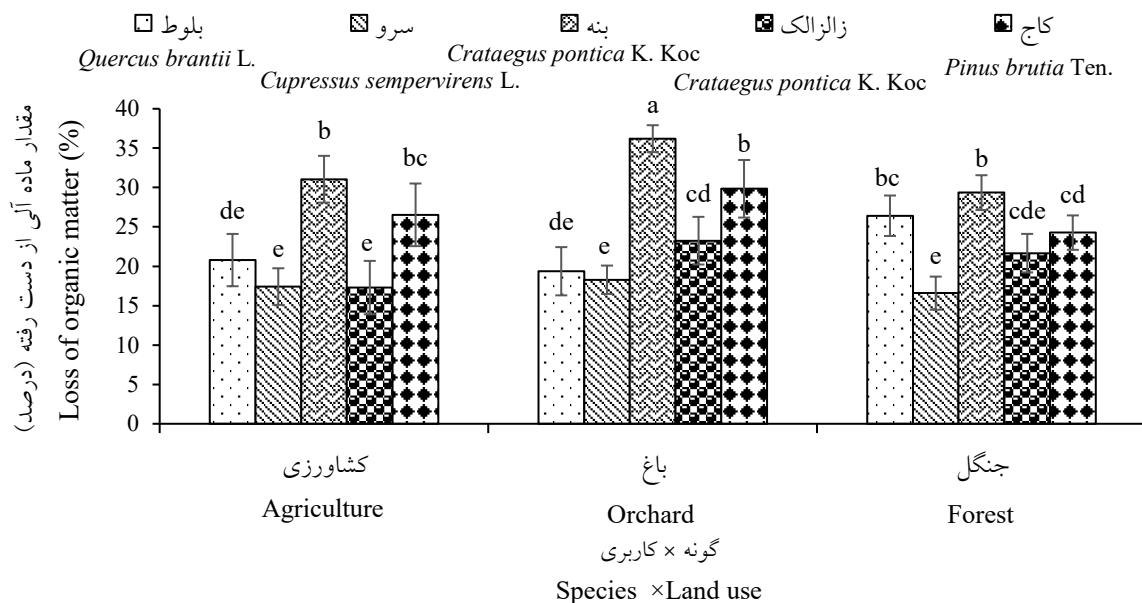
* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns غیرمعنی‌دار.

* and ** indicate significance at 5% and 1% probability level respectively, ns not significant.

بررسی مقدار ماده آلی ازدست‌رفته و نرخ تجزیه در لاشبرگ‌ها

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار ماده آلی از دست رفته در کاربری باغ مربوط به لاشبرگ بنه با ۳۶/۲ درصد و کمترین مقدار در گونه سرو با ۱۸/۲ درصد و در کاربری

کشاورزی بیشترین در بنه با مقدار ۳۱ درصد و کمترین در لاشبرگ سرو با ۱۷/۴ درصد همچنین در کاربری جنگل بیشترین مربوط به بنه با ۲۹/۳ درصد و کمترین در سرو با ۱۶/۵ درصد از دوره ۲۴۰ روزه بود (شکل ۳).

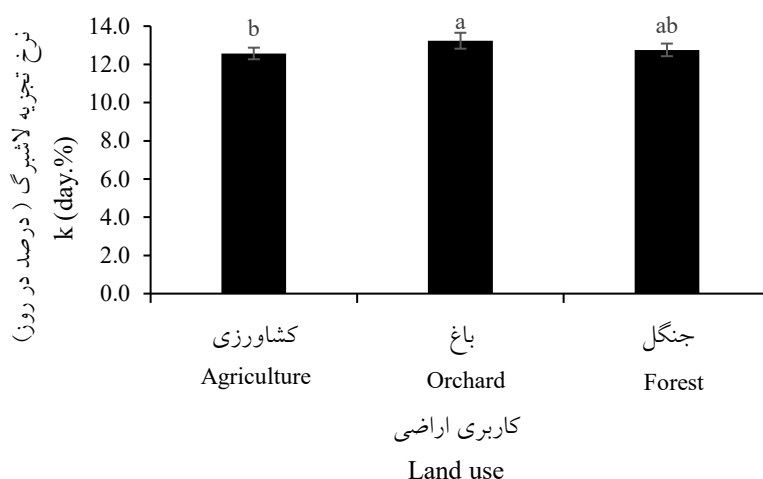


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه و کاربری بر مقدار درصد ماده آلی ازدست‌رفته (حروف یکسان عدم معنی‌داری و حروف غیرمشترک معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها را بیان می‌کنند)

Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of species and land use on the percentage of organic matter lost. Means with the same letter are not significantly different, whereas means with different letters are significantly different

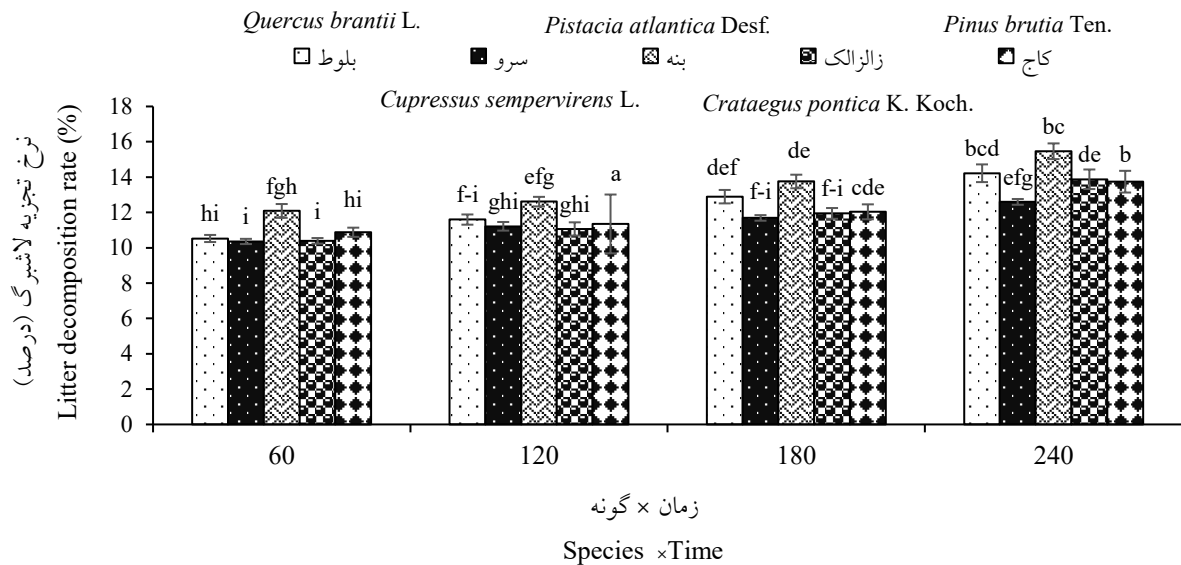
نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های مختلف در چهار دوره زمانی نشان داد که بیشترین نرخ تجزیه لاشبرگ مربوط به گونه‌های بنه و بلوط است. درحالی‌که بین نرخ تجزیه لاشبرگ دیگر گونه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵).

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد بین نرخ تجزیه لاشبرگ در کاربری باغ و کشاورزی اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین نرخ تجزیه مربوط به کاربری باغ با مقدار $13/2$ درصد در روز بود (شکل ۴). بررسی



شکل ۴- نرخ تجزیه لاشبرگ در کاربری‌های مختلف (حروف یکسان عدم معنی‌داری و حروف غیرمشترک معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها را بیان می‌کنند)

Figure 4. Rate of litter decomposition under different land uses. Means with the same letter are not significantly different, whereas means with different letters differ significantly



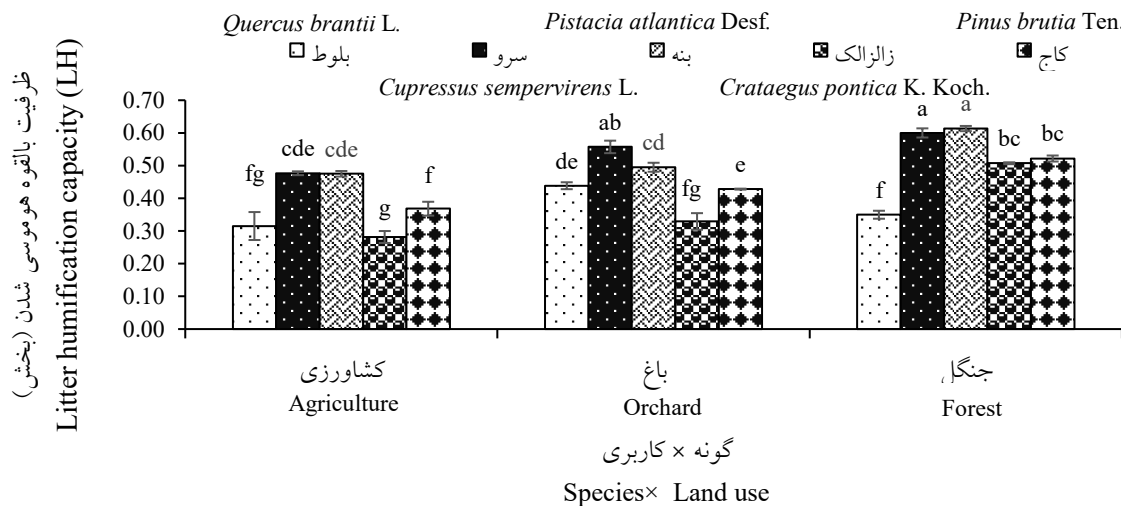
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و گونه بر نرخ تجزیه لاشبرگ (حروف یکسان عدم معنی‌داری و حروف غیرمشترک معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها را بیان می‌کنند)

Figure 5. Mean comparison of the interaction effects of time and species on the litter decomposition rate. Means with the same letter are not significantly different, whereas means with different letters differ significantly

کمترین مربوط به لاشبرگ زالزالک با ۰/۲۸ بخش بود (شکل ۶).

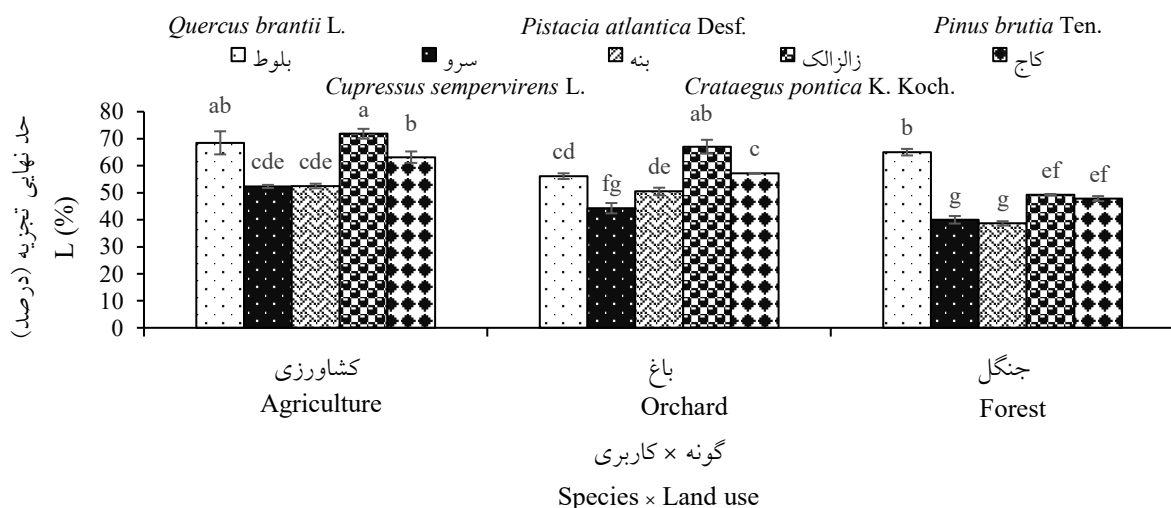
بررسی حد نهایی تجزیه در لاشبرگ‌های مختلف در کاربری کشاورزی و باغ، بیشترین حد نهایی تجزیه مربوط به لاشبرگ بلوط و زالزالک است که با دیگر لاشبرگ‌ها اختلاف معنی‌داری دارد. با توجه به یافته‌های این بررسی، در کاربری جنگل بیشترین حد نهایی تجزیه در لاشبرگ بلوط مشاهده شد (شکل ۷).

بررسی تغییرات ظرفیت بالقوه هوموسی شدن در کاربری جنگل لاشبرگ بانه با ۰/۶۱ بخش بیشترین و بلوط با ۰/۳۵ بخش کمترین مقدار هوموسی شدن را نسبت به دیگر لاشبرگ‌ها نشان دادند. در کاربری باغ بیشترین مقدار هوموسی شدن مربوط به لاشبرگ سرو با ۰/۵۶ بخش و کمترین مربوط به لاشبرگ زالزالک با ۰/۳۳ بخش بود. همچنین در کاربری کشاورزی بیشترین مقدار در لاشبرگ بانه و سرو با ۰/۴۸ بخش و



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × کاربری بر مقدار هوموسی شدن (حروف یکسان عدم معنی داری و حروف غیرمشترک معنی داری اختلاف میانگین ها را بیان می کنند)

Figure 6. Mean comparison of the interaction between species and land use on the Litter humification capacity. Different letters indicate significant differences between means, while the same letters indicate no significant difference



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل گونه × کاربری بر مقدار حد نهایی تجزیه (حروف یکسان عدم معنی داری و حروف غیرمشترک معنی داری اختلاف میانگین ها را بیان می کنند)

Figure 7. Mean comparison of the interaction between species and land use on the final decomposition limit. Different letters indicate significant differences between means, while the same letters indicate no significant difference

آزادسازی عناصر و تجزیه لاشبرگ اهمیت بسزایی داشته است. از سوی دیگر، بین ترکیب شیمیایی لاشبرگ تازه خزان شده و مقدار نسبی لاشبرگ باقی مانده مقاوم در برابر تجزیه، روابطی وجود دارد که همین

بحث

بررسی مقدار ماده آلی از دست رفته، نرخ تجزیه لاشبرگ تجزیه لاشبرگ در کاربری جنگل بیشتر از دو کاربری دیگر بود؛ زیرا در کاربری جنگل فعالیت میکروبی خاک به دلیل مواد آلی بالا، بیشتر بوده و همین امر در روند

خاک از عوامل تأثیرگذار در بالابودن جمعیت کرم‌های خاکی در کاربری باغ است که بر نرخ تجزیه لاشبرگ اثرگذار خواهند بود. بر اساس یافته‌های Gartzia-Creamer et al. (2016) و Bengoetxe et al. (2016) نوع کاربری، نوع پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و مقدار لاشبرگ تولیدی در تنوع ساختار و فعالیت کرم‌های خاکی نیز اثرگذار هستند (Zarafshar and Teimouri., 2022). یکی از عوامل مؤثر بر نرخ تجزیه لاشبرگ کیفیت لاشبرگ است، زیرا کیفیت لاشبرگ در فراوانی، ترکیب و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، قارچ‌ها و فون خاک مؤثر بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای را در پویایی عناصر غذایی و نرخ تجزیه دارد (Polyakova and Billor., 2007). نرخ تجزیه به طول مدت بررسی نیز بستگی دارد. مقدار نرخ تجزیه لاشبرگ به‌طور نرمال در مراحل آخر فرآیند تجزیه کاهش می‌یابد و هرچه زمان می‌گذرد روند تجزیه نیز به دلیل ترکیبات مقاوم مانند لیگنین، کیتین و ترکیبات فنولیک و تشکیل ترکیبات تازه‌ای که در برابر تجزیه مقاوم هستند کاهش می‌یابد (Ghasemi et al., 2015). مقدار نیتروژن و نسبت C/N نیز از عوامل مهم در ارزیابی نرخ تجزیه لاشبرگ و الگوهای آزاد سازی عناصر (کربن و نیتروژن) هستند (Wang et al., 1982). در پژوهش (Melillo et al., 2008) بیان شد که همبستگی قوی بین غلظت نیتروژن و نرخ تجزیه لاشبرگ در کوتاه مدت وجود دارد. نتایج حاصل از این بخش با پژوهش (Ghasemi et al., 2015) نیز مطابقت داشت.

بررسی ظرفیت بالقوه هوموسی شدن و حد نهایی تجزیه در لاشبرگ‌های مختلف

براساس نتایج این پژوهش، کمترین مقدار هوموسی شدن در کاربری جنگل مربوط به لاشبرگ بلوط با ۰/۳۵ بخش است. نتایج نشان داد که در گونه بته همزمان

موضوع منجر به پیش‌بینی یک ارتباط مستقیم بین ترکیب شیمیایی لاشبرگ و سرعت تشکیل هوموس می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت نیتروژن در لاشبرگ زالزالک با مقدار ۰/۳۸ بیشترین و در کاج با ۰/۱۰ درصد کمترین مقدار را داشتند. که می‌توان به یکسان بودن شرایط اقلیمی منطقه مورد پژوهش، ویژگی شیمیایی خاک از نظر عناصر غذایی و مقدار هوموس خاک اشاره کرد. هرچند نوع گونه درختی از شاخص‌های مهم در تعیین کیفیت لاشبرگ‌ها است (Berg and McClaugherty, 2020). برخی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و فلزات سنگین می‌توانند به‌واسطه فعالیت‌های صنعتی و دامداری از طریق اتمسفر ته‌نشین شوند. از آنجا که در محدوده منطقه مورد بررسی چنین فعالیت‌هایی دایر نیست، پس می‌توان تأثیر این عامل را در تغییرات ترکیب شیمیایی لاشبرگ نادیده در نظر گرفت (Ghasemi Aghbash et al., 2015; Maleki, et al., 2024). به‌طور کلی ویژگی‌های مورفولوژیکی، ساختاری و شیمیایی لاشبرگ‌ها تعیین‌کننده نرخ تجزیه آنها است. از این‌رو، مشاهده نرخ‌های متفاوت تجزیه در مرحله اول، دور از انتظار نیست. در بین مقادیر عناصر غذایی لاشبرگ اساساً نیتروژن تنظیم‌کننده نرخ تجزیه در مرحله اول (یک سال) است (Berg and McClaugherty., 2020). بنابراین نسبت C/N لاشبرگ‌ها می‌تواند برای پیش‌بینی نرخ تجزیه لاشبرگ در کوتاه مدت مورد استفاده قرار بگیرد (Taylor et al., 1989). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در سه کاربری باغ، کشاورزی و جنگل اختلاف معنی‌داری بین نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها وجود ندارد ولی بیشترین نرخ تجزیه مربوط به کاربری باغ با مقدار (۱۳/۲ درصد در روز) بود. بنابراین انتظار تجزیه با نرخ بالا دور از انتظار نیست. نوع گونه‌های درختی، افزایش مواد آلی و بهبود ساختمان

مقدار ماده آلی ازدست‌رفته و درصد هوموسی شدن بیشتر از دیگر گونه‌ها بود. در گونه بنه، بالا بودن همزمان مقدار ماده آلی ازدست‌رفته و درصد هوموسی شدن منطقی و قابل توجیه است؛ زیرا لاشبرگ این گونه دارای ترکیباتی با قابلیت تجزیه بالا مانند قندها و ترکیبات نیتروژنی است که به سرعت توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند. این فرایند منجر به افزایش ماده آلی ازدست‌رفته می‌شود. درعین حال، وجود نسبت متعادل کربن به نیتروژن (C/N) و شرایط مساعد فعالیت میکروبی، سبب می‌شود بخشی از این ماده آلی به ترکیبات پایدارتر مانند هوموس تبدیل شود. بنابراین، این دو شاخص می‌توانند همزمان در این گونه بالا باشند، که نشان‌دهنده تعادل مناسب بین تجزیه و تثبیت ماده آلی است (Berg and McClaugherty, 2020). همچنین مقدار حد نهایی تجزیه در لاشبرگ بلوط نسبت به دیگر لاشبرگ‌ها افزایش یافته و سبب کاهش ظرفیت بالقوه هوموسی شدن در لاشبرگ بلوط نسبت به دیگر لاشبرگ‌ها شده است. حدنهایی تجزیه بالا نشان‌دهنده کم بودن مقدار لاشبرگ تجزیه نشده است. در این بررسی بالاترین مقدار حد نهایی تجزیه در کاربری جنگل مربوط به لاشبرگ بلوط است که این نشان‌دهنده درصد بالای نرخ تجزیه و کاهش مواد مقاوم به تجزیه است. یافته‌های این پژوهش با بررسی Ghasemi et al. (2015) در رابطه با مقدار هوموسی شدن مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، در هر سه کاربری (جنگل، کشاورزی و باغ) مقدار ماده آلی ازدست‌رفته در لاشبرگ بنه بیشتر از دیگر گونه‌ها بود. بر اساس نتایج این پژوهش با گذشت زمان مقدار ماده آلی ازدست‌رفته نیز افزایش یافته است. همچنین، نرخ تجزیه لاشبرگ پنج گونه درختی در کاربری‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را

نشان دادند. و در چهار دوره زمانی لاشبرگ بنه بیشترین مقدار نرخ تجزیه لاشبرگ را نشان داد. همچنین، لاشبرگ بنه و سرو نسبت به دیگر لاشبرگ‌ها ظرفیت بالقوه هوموسی شدن بیشتری را داشتند و همین امر سبب کاهش حد نهایی تجزیه در این لاشبرگ‌ها شد. لاشبرگ بنه به دلیل داشتن ظرفیت بیشتر بالقوه هوموسی شدن می‌تواند گونه مناسبی در کنار درخت بلوط برای طرح‌های احیایی مناطق تخریب‌شده باشد. به نظر می‌رسد در بوم‌سامانه جنگلی مورد بررسی در زاگرس از بین گونه‌های مورد بررسی دو گونه بنه و بلوط می‌توانند بیشترین تأثیر را در بهبود چرخه عناصر غذایی و افزایش حاصلخیزی خاک داشته باشند و این اثر حتی بعد از تغییر کاربری به باغ و زراعت نیز قابل توجه است. بر این اساس، برای احیای جنگل‌های زاگرس و بهبود حاصلخیزی خاک، حفظ گونه‌های طبیعی منطقه به خصوص بلوط و بنه در ترکیب جنگل و جنگلکاری آنها در مناطق تخریب‌شده و تغییر کاربری داده شده می‌تواند در اولویت باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در احیای جنگل‌های زاگرس از درخت بنه به عنوان گونه همراه با درخت بلوط استفاده شود؛ زیرا روند تجزیه به نسبت بالای لاشبرگ بنه می‌تواند به بهبود کیفیت خاک کمک کرده و در رشد بهتر درختان بلوط مؤثر باشد. همچنین، برای به دست آوردن نتایج دقیق‌تر درباره روند تجزیه لاشبرگ، لازم است مدت زمان بررسی کیسه‌های لاشبرگ افزایش یابد. با توجه به اهمیت فرآیند تجزیه لاشبرگ، توصیه می‌شود علاوه بر بررسی تجزیه لاشبرگ تک‌گونه، تجزیه لاشبرگ آمیخته نیز مورد ارزیابی قرار گیرد، چرا که در عرصه جنگل، لاشبرگ گونه‌ها به صورت ترکیبی و همزمان تجزیه می‌شوند.

References

- Abaye, D.A.; Brookes, P.C. Relative importance of substrate type and previous soil management in synthesis of microbial biomass and substrate mineralization. *European Journal of Soil Science*. **2006**, 57(2):179-89.
- Aerts, R.; de Caluwe, H. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. *Ecology* **1997**, 78 (1), 244–260.
- Allahinezhad, I.; Heydari, M.; Mirzaei, J.; Fathizadeh, O.; Lorenz, P. Evaluation of the Rainfall Components Distribution and the Optimum Sample Size to Estimate Throughfall for Needleleaf and Broadleaf Stands in Zagros Forests, Ilam. *Ecology of Iranian Forest* **2023**, 11 (21), 88–98. (In Persian)
- Aslani, J.; Banj Shafiei, A.; Beygi Heidarlou, H. Short-Term Effects of Fire on Soil Physicochemical Properties and the Vegetation Cover of *Tamarix* sp. Stands in Qara Gheshlagh Bonab Lagoon, East Azarbaijan Province. *Ecology of Iranian Forest* **2024**, 12 (1), 138–152. (In Persian)
- Berg, B. Decomposing Litter; Limit Values; Humus Accumulation, Locally and Regionally. *Applied Soil Ecology* **2018**, 123, 494–508.
- Berg, B., & McClaugherty, C. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer **2008**.
- Berg, B.; Ekbohm, G. Nitrogen Immobilization in Decomposing Needle Litter at Variable Carbon:Nitrogen Ratios. *Ecology* **1983**, 64 (1), 63–67.
- Berg, B.; Johansson, M. B.; Ekbohm, G.; McClaugherty, C.; Rutigliano, F.; Santo, A. V. D. Maximum Decomposition Limits of Forest Litter Types: A Synthesis. *Canadian Journal of Botany* **1996**, 74 (5), 659–672.
- Berg, B.; McClaugherty, C. Climate Gradients. In *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*; **2020**, pp. 165–187.
- Berg, B.; McClaugherty, C. Initial litter chemical composition. In *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration* **2013**, 53-83.
- Chapin, F. S., Matson, P. A., Mooney, H. A., & Vitousek, P. M. Global biogeochemical cycles. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology, 660-681.
- Chen, X. W.; Li, B. L. Change in Soil Carbon and Nutrient Storage after Human Disturbance of a Primary Korean Pine Forest in Northeast China, **2003**.
- Cheng, F.; Peng, X.; Zhao, P.; Yuan, J.; Zhong, C.; Cheng, Y.; et al. Soil Microbial Biomass, Basal Respiration and Enzyme Activity of Main Forest Types in the Qinling Mountains. *PLoS ONE* **2013**, 8 (6), 67353.
- Cheraghi, J.; Heydari, M.; Mirab Balo, M.; Omidipour, R. The Effectiveness of Numerical and Non-Numerical Indicators in Determining the Biodiversity of Soil and Litter Mesofaunal Arthropods under Different Physiographic Conditions in Iranian Oak Forests. *Forest Research and Development* **2018**, 3 (3), 377–394. (In Persian)
- Cornelissen, J. H. C.; Lavorel, S.; Garnier, E.; Díaz, S.; Buchmann, N.; Gurvich, D. E.; Reich, P. B.; ter Steege, H.; Morgan, H. D.; van der Heijden, M. G. A.; Pausas, J. G.; Poorter, H. A Handbook of Protocols for Standardised and Easy Measurement of Plant Functional Traits Worldwide. *Australian Journal of Botany* **2003**, 51 (4), 335–380.
- Creamer, R. E.; Stone, D.; Berry, P.; Kuiper, I. Measuring Respiration Profiles of Soil Microbial Communities across Europe Using the MicroResp™ Method. *Applied Soil Ecology* **2016**, 97, 36–43.
- Dahlgren, R. A., Horwath, W. R., Tate, K. W., & Camping, T. J. Blue oak enhance soil quality in California oak woodlands. *California Agriculture* **2003**, 57(2), 42–47.
- Del Arco, J. M.; Escudero, A.; Garrido, M. V. Effects of Site Characteristics on Nitrogen Retranslocation from Senescing Leaves. *Ecology* **1991**, 72 (2), 701–708.
- Duboc, O.; Zehetner, F.; Djukic, I.; Tatzber, M.; Berger, T. W.; Gerzabek, M. H. Decomposition of European Beech and Black Pine Foliar Litter along an Alpine Elevation Gradient: Mass Loss and Molecular Characteristics. *Geoderma* **2012**, 189, 522–531.
- Enright, N. J.; Ogden, J. Decomposition of Litter from Common Woody Species of Kauri (*Agathis australis* Salisb.) Forest in Northern New Zealand. *Australian Journal of Ecology* **1987**, 12 (2), 109–124.
- Eslaminejad, P.; Heydari, M.; Kakhki, F. V.; Mirab-Balou, M.; Omidipour, R.; Muñoz-Rojas, M.; Lucas-Borja, M. E. Plant Species

- and Season Influence Soil Physicochemical Properties and Microbial Function in a Semi-Arid Woodland Ecosystem. *Plant and Soil* **2020**, 456, 43–59.
- Gartzia-Bengoetxea, N.; Kandeler, E.; de Arano, I. M.; Arias-González, A. Soil Microbial Functional Activity Is Governed by a Combination of Tree Species Composition and Soil Properties in Temperate Forests. *Applied Soil Ecology* **2016**, 100, 57–64.
- Getaneh, S.; Honnay, O.; Desie, E.; Helsen, K.; Couck, L.; Shibru, S.; Muys, B. Impact of Tree Litter Identity, Litter Diversity and Habitat Quality on Litter Decomposition Rates in Tropical Moist Evergreen Forest. *Forest Ecosystems* **2022**, 9 – 100023.
- Ghasemi Aghbash, F.; Allah Veisi, G.; Hosseini, V. Investigating Nutrient Quality and Litter Decomposition of Lebanon Oak (*Quercus libani*) in Early Stages of the Decomposition Process in the Northern Zagros Forests (Case Study: Hoare Khul Forests in the City of Baneh). *Journal of Forest Ecosystems Researches* **2016**, 3 (1), 1–17. (In Persian)
- Ghasemi Aghbash, F.; Berg, B. Study of the Relationship of Nutrient Dynamics and Chemical Composition of Litter with Decomposition Rate in Late Decomposition Stages. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2015**, 27 (4), 715–727. (In Persian)
- Ghasemi-Aghbash, F.; Jalali, Gh.; Hosseini, V.; Hosseini, M.; Journe, B. Investigating the Relationship between the Dynamics of Nutrient Elements and the Chemical Composition of Litter with the Rate of Litter Decomposition in the Final Stages of the Decomposition Process. *Journal of Plant Research* **2014**, 27 (4), 715–727. (In Persian).
- Ghollarata, M.; Raiesi, F. The Adverse Effects of Soil Salinization on the Growth of *Trifolium alexandrinum* L. and Associated Microbial and Biochemical Properties in a Soil from Iran. *Soil Biology and Biochemistry* **2007**, 39 (7), 1699–1702.
- Giweta, M. Role of Litter Production and Its Decomposition, and Factors Affecting the Processes in a Tropical Forest Ecosystem: A Review. *Journal of Ecology and Environment* **2020**, 44 (1), 11.
- Hättenschwiler, S.; Jørgensen, H. B. Carbon Quality Rather than Stoichiometry Controls Litter Decomposition in a Tropical Rain Forest. *Journal of Ecology* **2010**, 98 (4), 754–763.
- Heydari, M.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M. Investigation of Carbon Storage Trends of Leaf Litter and Fine Woody Debris in the Forest Floor of Marivan Forests. *Forest Research and Development* **2024**, 10 (3), 323–341. (In Persian)
- Hobara, S.; Osono, T.; Hirose, D.; Noro, K.; Hirota, M.; Benner, R. The Roles of Microorganisms in Litter Decomposition and Soil Formation. *Biogeochemistry* **2014**, 118 (1), 471–486.
- Hosseini, V.; Azizi, P.; Tabari, M.; Hosseini, M. Comparison of the Decomposition Process of Summer Alder Litter in Two Habitats with Different Parent Rock under the Same Laboratory Conditions. *Journal of Natural Resources of Iran* **2004**, 58 (3), 545. (In Persian)
- Johansson, M. B. The Chemical Composition of Needle and Leaf Litter from Scots Pine, Norway Spruce and White Birch in Scandinavian Forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **1995**, 68 (1), 49–62.
- Karamian, M.; Mirzaei, J.; Heydari, M.; Kooch, Y.; Labelle, E. R. Seasonal Effects of Native and Non-Native Woody Species on Soil Chemical and Biological Properties in Semi-Arid Forests, Western Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **2023**, 23 (3), 4474–4490.
- Khomutovska, N.; Jasser, I.; Isidorov, V. A. Unraveling the Role of Bacteria in Nitrogen Cycling: Insights from Leaf Litter Decomposition in the Knyszyn Forest. *Forests* **2024**, 15 (6), 1065.
- Maleki, S.; Pilehvar, B.; Mahmoodi, M. A. Comparison of Soil Organic Matter in Pure and Mixed Types of Oak in North Zagros (Case Study: Armardeh Baneh Forests). *Ecology of Iranian Forest* **2024**, 12 (1), 50–62. (In Persian).
- Matinkia, M., Pilehvar, B., & Matinfar, H. Effects afforest with needle leaf and broadleaf species on some physical and chemical properties of soil (Case study: Forest Park City Doroud). *Quarterly Journal of Iranian Natural Ecosystems* **2012**, 2(2), 89–97.
- Melillo, J. M.; Aber, J. D.; Muratore, J. F. Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics. *Ecology* **1982**, 63 (3), 621–626.
- Miller, R. O.; Gavlak, R.; Horneck, D. *Soil, Plant and Water Reference Methods for the*

- Western Region; Colorado State University: Fort Collins, CO, USA, **2013**; p. 155.
- Moro, M. J.; Domingo, F. Litter Decomposition in Four Woody Species in a Mediterranean Climate: Weight Loss, N and P Dynamics. *Annals of Botany* **2000**, 86 (6), 1065–1071.
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In *Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical Methods*; **1996**, 5. 961–1010.
- Polyakova, O.; Billor, N. Impact of Deciduous Tree Species on Litterfall Quality, Decomposition Rates and Nutrient Circulation in Pine Stands. *Forest Ecology and Management* **2007**, 253 (1–3), 11–18.
- Prescott, C. E. Litter Decomposition: What Controls It and How Can We Alter It to Sequester More Carbon in Forest Soils? *Biogeochemistry* **2010**, 101 (1), 133–149.
- Prescott, C. E.; Vesterdal, L. Decomposition and Transformations along the Continuum from Litter to Soil Organic Matter in Forest Soils. *Forest Ecology and Management* **2021**, 498–119522.
- Ramzani, A.; Ghasemi Aghbash, F. Evaluation of the Space-for-Time Approach for Assessing the Effects of Increased Temperature on Litter Decomposition. *Forest Research and Development* **2024**, 10 (1), 149–165. (In Persian)
- Rawat, M.; Jägerbrand, A. K.; Bai, Y.; Alatalo, J. M. Litter Decomposition above the Treeline in Alpine Regions: A Mini Review. *Acta Oecologica* **2021**, 113–103775.
- Raza, T.; Qadir, M. F.; Khan, K. S.; Eash, N. S.; Yousuf, M.; Chatterjee, S.; et al. Unrevealing the Potential of Microbes in Decomposition of Organic Matter and Release of Carbon in the Ecosystem. *Journal of Environmental Management* **2023**, 344–118529.
- Rodin, L. E.; Bazilevich, N. I. *Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation*; Oliver & Boyd: Edinburgh, **1967**.
- Rostami, N.; Heydari, M.; Uddin, S. M.; Lucas-Borja, M. E.; Zema, D. A. Hydrological Response of Burned Soils in Croplands, and Pine and Oak Forests in Zagros Forest Ecosystem (Western Iran) under Rainfall Simulations at Micro-Plot Scale. *Forests* **2022**, 13 (2), 246.
- Sarneel, J. M.; Sundqvist, M. K.; Molau, U.; Björkman, M. P.; Alatalo, J. M. Decomposition Rate and Stabilization across Six Tundra Vegetation Types Exposed to >20 Years of Warming. *Science of the Total Environment* **2020**, 724–138304.
- Schinner, F. Litter Decomposition, CO₂ Release and Enzyme Activities in a Snowed and on a Windswept Ridge in an Alpine Environment. *Oecologia* **1983**, 59, 288–291.
- Singh, M.; Shahina, N. N.; Das, S.; Arshad, A.; Siril, S.; Barman, D.; Mog, U.; Panwar, P.; Shukla, G.; Chakravarty, S. Forest Resources of the World: Present Status and Future Prospects. In *Land Degradation Neutrality: Achieving SDG 15 by Forest Management*; **2022**, pp. 1–23.
- Song, F.; Fan, X.; Song, R. Review of Mixed Forest Litter Decomposition Researches. *Acta Ecologica Sinica* **2010**, 30 (4), 221–225.
- Song, Y.; Xing, J.; Hu, C.; Song, C.; Wang, Q.; Wang, S. Decomposition and Carbon and Nitrogen Releases of Twig and Leaf Litter Were Inhibited by Increased Level of Nitrogen Deposition in a Subtropical Evergreen Broad-Leaved Forest in Southwest China. *Forests* **2024**, 15 (3), 492.
- Strid, A.; Lee, B. S.; Lajtha, K. Homogenization of Detrital Leachate in an Old-Growth Coniferous Forest, OR: DOC Fluorescence Signatures in Soils Undergoing Long-Term Litter Manipulations. *Plant and Soil* **2016**, 408, 133–148.
- Swift, M. J.; Heal, O. W.; Anderson, J. M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*; Vol. 5; University of California Press: Berkeley, CA, **1979**.
- Taylor, B. R.; Parsons, W. F.; Parkinson, D. Decomposition of *Populus tremuloides* Leaf Litter Accelerated by Addition of *Alnus crispa* Litter. *Canadian Journal of Forest Research* **1989**, 19 (5), 674–679.
- Wang, P.; Guo, J.; Xu, X.; Yan, X.; Zhang, K.; Qiu, Y.; et al. Soil Acidification Alters Root Morphology, Increases Root Biomass but Reduces Root Decomposition in an Alpine Grassland. *Environmental Pollution* **2020**, 265–115016.
- Wang, Z. M.; Zhang, B.; Song, K. S.; Liu, D. W.; Li, F.; Guo, Z. X.; Zhang, S. M. Soil Organic Carbon under Different Landscape Attributes in Croplands of Northeast China. *Plant, Soil and Environment* **2008**, 54 (10), 420–42.
- Wu, D.; Yin, C.; Fan, Y.; Chi, H.; Liu, Z.; Jin, G. Effect of Forest Planting Patterns on the Formation of Soil Organic Carbon during Litter Lignocellulose Degradation from a

- Microbial Perspective. *Frontiers in Microbiology* **2023**, 14–1327481.
- Xiong, W., & Ferrell Jr, J. E. A positive-feedback-based bistable 'memory module' that governs a cell fate decision. *Nature* **2003** 426(6965), 460-465.
- Yang, K.; Zhu, J.; Zhang, W.; Zhang, Q.; Lu, D.; Zhang, Y.; Zheng, X.; Xu, S.; Wang, GG. Litter decomposition and nutrient release from monospecific and mixed litters: Comparisons of litter quality, fauna and decomposition site effects. *Journal of Ecology*. **2022**. 10(7):1673-86.
- Yang, K.; Zhu, J.; Zhang, W.; Zhang, Q.; Lu, D.; Zhang, Y.; Zheng, X.; Xu, S.; Wang, GG. Litter decomposition and nutrient release from monospecific and mixed litters: Comparisons of litter quality, fauna and decomposition site effects. *Journal of Ecology*. **2022**. 10(7):1673-86.
- Zarafshar, M.; Teymoori, M. Introduction of appropriate biological indicators to monitor soil quality and health of forest ecosystems. *Journal of Sustainable Management of Hyrcanian Forests*. **2022**. 4(1):29-35. (In Persian). Wu, D.; Yin, C.; Fan, Y.; Chi, H.; Liu, Z.; Jin, G. Effect of Forest Planting Patterns on the Formation of Soil Organic Carbon during Litter Lignocellulose Degradation from a Microbial Perspective. *Frontiers in Microbiology* **2023**, 14–1327481.
- Zarafshar, M.; Teymoori, M. Introduction of appropriate biological indicators to monitor soil quality and health of forest ecosystems. *Journal of Sustainable Management of Hyrcanian Forests*. **2022**. 4(1):29-35. (In Persian)
- Zeng, D. H.; Hu, Y. L.; Chang, S. X.; Fan, Z. P. Land Cover Change Effects on Soil Chemical and Biological Properties after Planting Mongolian Pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) in Sandy Lands in Keerqin, Northeastern China. *Plant and Soil* **2009**, 317, 121–133.
- Zeng, D. H.; Hu, Y. L.; Chang, S. X.; Fan, Z. P. Land Cover Change Effects on Soil Chemical and Biological Properties after Planting Mongolian Pine (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) in Sandy Lands in Keerqin, Northeastern China. *Plant and Soil* **2009**, 317, 121–133.
- Zhang, H.; Li, X.; Wang, S.; Jiang, C.; Cui, Y.; Fan, R.; Lan, Y.; Zhang, Q.; Ye, S. Tree–litter–soil system C: N: P stoichiometry and tree organ homeostasis in mixed and pure Chinese fir stands in south subtropical China. *Frontiers in Forests and Global Change*. **2024**. 7–1293439.
- Zhang, H.; Li, X.; Wang, S.; Jiang, C.; Cui, Y.; Fan, R.; Lan, Y.; Zhang, Q.; Ye, S. Tree–litter–soil system C: N: P stoichiometry and tree organ homeostasis in mixed and pure Chinese fir stands in south subtropical China. *Frontiers in Forests and Global Change*. **2024**. 7–1293439.