



Lorestan University

Applied Research in Natural Resources Engineering

Journal Homepage: <https://arne.lu.ac.ir/>



Study of the sustainability of coniferous and broadleaf forestry areas with an emphasis on soil nutrients (case study: Banafshe Aligodarz Forest Park)

Farhad Ghasemi Aghbash¹ and A. Jalili¹

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University. Corresponding author. Email: ghasemifa@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received 02 March 2026 Received in revised form 01 June 2026 Accepted 15 June 2026 Available online 01 July 2026 Keywords: Sustainability, man-made forest, soil nutrients, forest management	The forests of Zagros are considered as one of the important forest resources of the Iran that provide countless environmental services. Preservation, restoration and development of these forests in order to protect the water and soil resources of the country is very important. Afforestation has been one of the projects used by the Iranian organization of forests, rangeland and watershed in the protection of these forests. With the aim of evaluating the sustainability of the afforestation carried out in the Banafsheh Forest Park of Aligodarz city, Lorestan province, three man-made sites of coniferous, broadleaf and mixed were selected. In order to investigate the physical and chemical characteristics of the soil, 10 soil samples were collected from each tree site and the soil characteristics include: texture, soil acidity, soil bulk density, electrical conductivity, elements such as phosphorus, calcium, organic matter and soil carbon. The results showed that there are significant differences in soil characteristics in different sites. In this region, the highest and lowest amount of carbon stock, respectively was observed in the broadleaf site (5.15%) and the coniferous site (3%). The amount of phosphorus in the soil of the mixed site was 0.26%, which was more than the other sites. In considering of soil calcium values, the highest and lowest values were observed in broadleaf and mixed sites (3.08 and 1.4 milliequivalents per liter, respectively). In general, it can be concluded that broadleaf and mixed sites have more stable conditions in terms of the amount of soil nutrients.
Cite this article: Akbarzadeh, M., & Yousefi Avarvand, S., (2026). Study of the sustainability of coniferous and broadleaf forestry areas with an emphasis on soil nutrients (case study: Banafshe Aligodarz Forest Park). <i>Applied Research in Natural Resources Engineering</i>, 1 (1), https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.11	
 © Author(s) retain the copyright. DOI: https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.11 Publisher: University of Lorestan.	

Introduction

The Zagros forests represent one of Iran's most significant forest resources, providing countless environmental services including soil and water conservation, biodiversity protection, and climate regulation. The preservation, restoration, and development of these forests are essential for safeguarding the country's water and soil resources, particularly given the ongoing challenges of deforestation, drought, and oak decline affecting this ecologically valuable region. Afforestation has been a primary strategy employed by Iran's Forests, Rangelands, and Watershed Management Organization to protect and restore these degraded forests. However, the long-term sustainability of these plantations depends on their ability to maintain soil quality and nutrient cycling processes. Soil quality, defined as the capacity of soil to function effectively for plant, animal, and human health, encompasses physical, chemical, and biological properties that significantly influence plant growth, nutrient availability, and environmental stress reduction. Tree species differ in their litter quality and decomposition rates, thereby exerting varying effects on soil carbon storage, nutrient dynamics, and overall soil fertility. Understanding the reciprocal relationship between tree species and soil properties is fundamental to sustainable forest management. Broadleaf species typically produce more readily decomposable litter with higher nutrient content, while coniferous species produce recalcitrant litter that decomposes slowly, leading to different soil organic matter accumulation patterns. This study aims to evaluate the sustainability of coniferous, broadleaf, and mixed-species afforestation areas in Banafsheh Forest Park, Aligodarz, Lorestan Province, by assessing soil physical and chemical properties including texture, bulk density, pH, electrical conductivity, organic carbon, phosphorus, and calcium content, thereby providing practical guidance for selecting appropriate species for future afforestation projects in the Zagros region.

Methodology

This study was conducted in Banafsheh Forest Park, Aligodarz, Lorestan Province, where three afforestation sites (broadleaf, coniferous, and mixed) established in 2002 were selected for evaluation. Each site covered approximately three hectares. A systematic random sampling network (150×200 m) was employed, establishing 100 m² plots, with 10 composite soil samples collected from each site at 0-30 cm depth. Soil samples were air-dried, crushed, passed through a 2-mm sieve, and analyzed for: organic carbon using the Walkley-Black combustion method; bulk density using the clod method; texture using the hydrometer method; pH potentiometrically; electrical conductivity in saturated paste extract; available phosphorus using the Olsen method; and calcium using atomic absorption spectrometry. Data normality was confirmed using the Kolmogorov-Smirnov test, and homogeneity of variances using Levene's test. One-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test was used for mean comparisons ($p < 0.05$), with all statistical analyses conducted in SPSS and figures prepared in Microsoft Excel.

Results and Discussion

Forestry characteristics revealed that the mixed-species site exhibited superior diameter at breast height (40.3 ± 3.8 cm) and height (5.2 ± 0.48 m) compared to broadleaf and coniferous sites, while the coniferous site showed the highest density (2800 N/ha). Soil texture analysis showed no significant differences among sites, confirming that soil texture is an inherent property influenced by parent material rather than vegetation cover. Bulk density was highest in the mixed-species site (2.50 g/cm³), attributed to higher tourist trampling pressure, while lower values in broadleaf and coniferous sites reflected greater root penetration and biological activity. Organic carbon content was significantly highest in the broadleaf site (5.15%), followed by mixed (3.53%) and coniferous (3.00%) sites, reflecting higher litter production and faster decomposition in broadleaf stands. Soil pH was highest in the mixed-species site (8.49), while coniferous sites showed lower pH due to organic acid release from litter decomposition. Electrical conductivity was higher in broadleaf and coniferous sites compared to mixed sites. Available phosphorus was highest in the mixed-species site (0.26%), attributed to higher organic matter content and favorable pH conditions for phosphorus availability. Calcium content was highest in the broadleaf site (3.08 meq/L), primarily controlled by parent material calcite rather than vegetation type. These findings demonstrate that broadleaf and mixed-species plantations exhibit superior soil nutrient status compared to pure coniferous plantations, with mixed-species stands providing a balanced approach that combines favorable soil properties with enhanced stand productivity. The results align with previous studies demonstrating species-specific effects on soil carbon and nutrient dynamics, confirming that tree species selection significantly influences long-term soil sustainability.

Conclusion

This study demonstrates that tree species selection significantly influences soil physical and chemical properties in afforestation projects within the Zagros region. Broadleaf and mixed-species plantations exhibited superior soil organic carbon storage, nutrient availability, and overall soil quality compared to pure coniferous stands. The broadleaf site showed the highest organic carbon content (5.15%) and calcium levels (3.08 meq/L), while the mixed-species site demonstrated the highest phosphorus availability (0.26%) and more favorable soil pH conditions (8.49). The mixed-species plantation also exhibited superior tree growth characteristics including greater diameter and height, suggesting that combining broadleaf and coniferous species creates complementary effects that enhance both stand productivity and soil sustainability. For sustainable forest management in the Zagros region, it is recommended that future afforestation projects prioritize mixed-species plantations incorporating both broadleaf and coniferous species to maximize soil quality improvements and long-term ecosystem stability. The results provide practical guidance for forest managers and policymakers in selecting appropriate species combinations for restoration projects, emphasizing that mixed-species afforestation offers superior soil nutrient dynamics, carbon sequestration potential, and overall sustainability compared to monoculture plantations.



مطالعه پایداری عرصه های جنگلکاری سوزنی برگ و پهن برگ با تاکید بر عناصر غذایی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی بنفشه الیگودرز)

فرهاد قاسمی آقباش ^۱ و اسد جلیلی ^۱

۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، نویسنده مسئول. رایانامه: ghasemifa@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ کلیدواژه ها: پایداری، جنگل دست کاشت، عناصر غذایی خاک، مدیریت جنگل	جنگل های زاگرس از منابع مهم جنگلی کشور محسوب شده که خدمات محیط زیستی بیشماری را ارائه می دهد. حفظ، احیاء و توسعه این جنگل ها به منظور حفاظت از منابع آب و خاک کشور از ضروریات است. جنگلکاری یکی از پروژه های مورد استفاده سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور برای حفاظت این جنگل ها بوده است. با هدف ارزیابی پایداری جنگلکاری های انجام شده در پارک جنگلی بنفشه شهرستان الیگودرز از توابع استان لرستان، سه عرصه دست کاشت سوزنی برگ، پهن برگ و آمیخته انتخاب شد. به منظور بررسی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، ۱۰ نمونه خاک در هر عرصه جنگلکاری شده برداشت و مشخصه های خاک شامل: بافت، واکنش خاک، وزن مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی، عناصری مانند فسفر، کلسیم، ماده آلی و کربن خاک اندازه گیری شدند. نتایج پژوهش نشان داد که نوع گونه درختی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اثرگذار است. به طوری که بیشترین مقدار ذخیره کربن در عرصه پهن برگ (۵/۱۵ درصد) و کمترین آن در عرصه سوزنی برگ (۳ درصد) مشاهده شد. مقدار ذخیره فسفر خاک در عرصه آمیخته (۰/۲۶ درصد) بود که نسبت به دو عرصه دیگر بیشتر بود. از نظر عنصر کلسیم خاک، بیشترین و کمترین مقدار در عرصه های پهن برگ و آمیخته مشاهده شد (به ترتیب ۳/۰۸ و ۱/۴ میلی کی والان بر لیتر). در مجموع می توان نتیجه گیری کرد که در منطقه مورد بررسی از نظر مقدار ذخیره عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک، عرصه های پهن برگ و آمیخته از شرایط پایداری بر خوردار هستند.

استناد: قاسمی آقباش، فرهاد و جلیلی، اسد. (۱۴۰۵). مطالعه پایداری عرصه های جنگلکاری سوزنی برگ و پهن برگ با تاکید بر عناصر غذایی خاک (مطالعه موردی: پارک جنگلی بنفشه الیگودرز). *پژوهش های کاربردی مهندسی منابع طبیعی*، ۱ (۱)، <https://doi.org/10.22034/arne.2026.1.1.11>

ناشر: انتشارات دانشگاه لرستان. © نویسندگان.



مقدمه

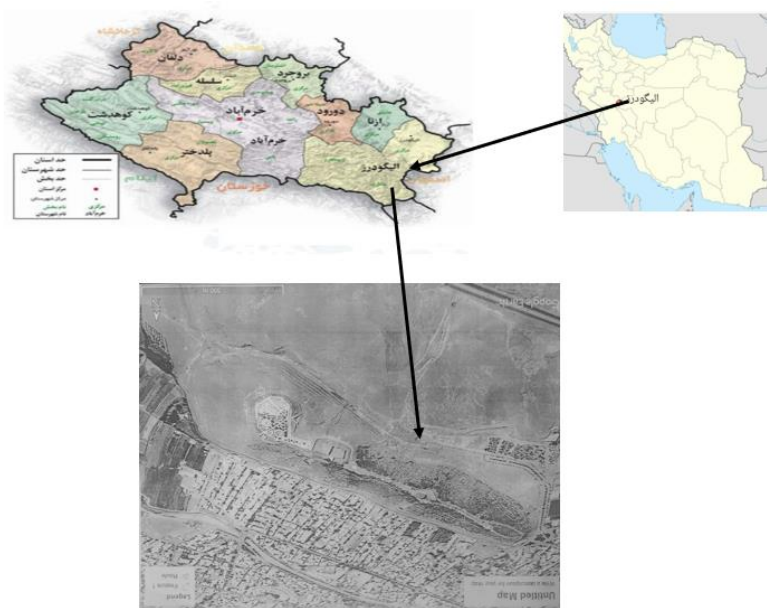
با توجه به مدیریت جنگل، توجه عمومی به ضرورت پایداری سیستم جنگلی به عنوان یک سیستم تولید زیست توده حائز اهمیت است. از مهم ترین اهداف طرح های جنگلداری حفاظت از جنگل و پایداری اکوسیستم های جنگلی است. پایداری بوم سازگان در جنگل شاخص های متنوعی دارد که یکی از این شاخص ها ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک است. پایداری طولانی مدت اکوسیستم های خاکی وابسته به حفظ کیفیت خاک است (دمسی، ۲۰۱۲). کیفیت خاک توانایی و ظرفیت خاک در انجام کارکردهایی که برای سلامتی گیاهان، جانوران و انسان لازم و ضروری هستند را نشان می دهد. تعریف کیفیت خاک معمولاً به سه ویژگی خاک اشاره دارد که عبارتند از: ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. این ویژگی ها به طور قابل توجهی بر رویش گیاهان، قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک و کاهش تنش های محیط زیستی خاک اثر می گذارند (قاسمی آقباش و پوررضا، ۱۳۹۸). تعیین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارزیابی کیفیت آن مؤثر است به همین دلیل شناخت ویژگی های خاک در اکوسیستم های جنگلی نیاز به پژوهش و بررسی های همه جانبه دارد (لیو، ۲۰۱۷). وجود عناصر غذایی در خاک، حاصل تعادل میان لاشبرگ و تجزیه میکروبی آن، آتش سوزی، فرسایش و آبشویی است که تحت تأثیر اقلیم، رژیم های حرارتی، ترکیب جامعه گیاهی، میکروارگانیسم ها و زمان تغییر می کند (وطنی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین نوع کاربری و پوشش گیاهی بر ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اثر می گذارد و خاک جنگل در تعامل با دیگر عوامل زیستی و غیرزیستی، محیط مساعدی را برای رشد و پراکنش رستی ها ایجاد می کند. گونه های درختی به دلیل تفاوت در کیفیت و ترکیبات لاشبرگ تولیدی علاوه بر کربن، دیگر خصوصیات خاک را نیز تحت تأثیر قرار می دهند. گونه های درختی پهن برگ و سوزنی برگ می توانند اثرهای متفاوتی بر خاک و پوشش گیاهی داشته باشند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶). شناخت خصوصیات خاک یکی از پایه های اصولی مدیریت بوم سازگان های جنگلی است. بین درختان و خاک تأثیر متقابل وجود دارد و همان طور که رشد و تولید درختان به خصوصیات خاک بستگی دارد، مقدار و نوع برگشت مواد آلی بر خصوصیات مختلف خاک تأثیرگذار است. در همین راستا طریقت و کوچ (۱۳۹۷) در بررسی اثر چهار نوع درخت پهن برگ بر ذخیره سازی و معدنی شدن کربن و نیتروژن خاک در عرصه جنگلی شهرستان نور گزارش دادند که ذخایر و معدنی شدن کربن و نیتروژن بیشتر تحت تأثیر کیفیت لاشبرگ ها و مشخصه های شیمی خاک قرار دارد و هر گونه درختی تقریباً قادر است تا ۱۰ متر خاک اطراف خود تأثیر بگذارد. وطنی و همکاران (۱۴۰۰) ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ۲۰ سال پس از جنگلکاری در جنگل های شمال ایران را با تأکید بر ذخایر کربن و نیتروژن در جنگل های دست کاشت با گونه های سوزنی برگ و پهن برگ بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که نوع گونه درختی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک اثرگذار است. در منطقه مورد پژوهش بیشترین مقدار ذخیره کربن و نیتروژن خاک در توده توسکا و کمترین مقدار آن در خاک توده صنوبر مشاهده شد. در مجموع ایشان نتیجه گیری کردند که ذخیره کربن و نیتروژن خاک به عنوان یک ارزش افزوده در کنار دیگر ارزش ها و فوائد بوم سازگان های جنگلی، به عنوان شاخصی برای سنجش پایداری آنها استفاده می شود. فاروق و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر کاربری زمین و وضعیت تغذیه ای در جنگل های پهن برگ و آمیخته در جنوب چین به این نتیجه رسیدند که فعالیت های انسانی و عوامل مختلف محیطی باعث ایجاد تغییرات ناگهانی و غیر قابل برگشت در مقیاس بزرگ می شود و ساختار و ترکیب جنگل را تغییر می دهد و در نتیجه منجر به تغییر چرخه های بیوژئوشیمیایی می شود. همچنین ترکیب گونه ها به طور قابل توجهی بر کیفیت و کمیت ورودی کربن و نیتروژن خاک اثرگذار است. ظرفیت تولید جنگلکاری به شدت به در دسترس بودن عناصر غذایی خاک بستگی دارد که خود این مسئله تحت تأثیر فعالیت های مدیریتی گونه های درختی قرار می گیرد. خاک ها به طور ذاتی براساس ویژگی های خود نسبت به مدیریت پاسخ های متنوعی می دهند. مدیریت مناسب و اقدامات برای هر کاربری زمین در هر منطقه جغرافیایی برای حفظ عملکرد خاک و در نتیجه ارتقاء آن مهم است. خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به عنوان عوامل تعیین کننده کیفیت خاک، نقش مهم و حیاتی در ارزیابی و پیشبرد پایداری ایفا می کنند. انجام این تحقیق می تواند اطلاعاتی را در خصوص اینکه چه نوع گونه درختی می تواند خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را ارتقاء داده و عناصر بیشتری را به خاک بازگرداند، را در

اختیار مدیران قرار می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند اطلاعات مفیدی را در خصوص موفقیت گونه‌های جنگلکاری شده، از حیث عناصر غذایی خاک، در شهرستان الیگودرز ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق پایداری عرصه‌های جنگلکاری شده (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) در پارک جنگلی بنفشه شهرستان الیگودرز، استان لرستان مورد ارزیابی قرار گرفت. الیگودرز بین ۴۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۲۳ و ۲۴ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. پارک بنفشه در جنوب شهرستان الیگودرز واقع شده و مساحتی در حدود ۳۰ هکتار دارد. این پارک جنگلی در سال ۱۳۸۱ با گونه‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنگلکاری شده است. هر کدام از عرصه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ مساحتی در حدود سه هکتار داشته و عرصه جنگلکاری شده آمیخته گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ نیز حدوداً سه هکتار است. از گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ می‌توان به گونه‌های زبان‌گنجشک (*Fraxinus excelsior*)، افاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، افرای زینتی (*Acer negundo*)، جوالدوز (*Catalpa bignonioides*)، سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*)، سرو خمره‌ای (*Cupressus orientalis*) و کاج بروسیا (*Pinus brutia*) اشاره نمود. میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه‌سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۳۲۰ میلی‌متر، روزهای یخبندان سالانه ۱۲۰ روز، بیشترین درجه‌حرارت در تابستان ۳۸ درجه‌سانتی‌گراد و کمترین آن در زمستان حداقل ۱۰- درجه زیر صفر است (ایستگاه هواشناسی الیگودرز، ۱۳۹۲).

موقعیت منطقه مورد بررسی در استان و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی در استان و کشور

در هر سه عرصه جنگلکاری شده از طریق شبکه آماربرداری سیستماتیک تصادفی (۲۰۰×۱۵۰ متر) پلات‌های ۱۰۰ مترمربعی پیاده شد. در کل ۱۰ نمونه خاک ترکیبی برداشت شد. عمق برداشت نمونه‌های خاکی ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بود. پس از کنار زدن لایه لاشبرگ چهار نمونه خاک از چهار گوشه پلات و یک نمونه از مرکز پلات برداشت شد و برای به کمینه رساندن خطای نمونه‌برداری، به صورت ترکیبی انجام شد. بدین صورت که پنج نمونه از هر پلات با هم مخلوط و یک نمونه خاک از هر قطعه نمونه به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و بعد از خرد کردن کلوخ‌ها و جدا کردن ریشه‌ها و دیگر ناخالصی‌ها آسیاب شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (سودی و همکاران، ۲۰۱۰). کربن آلی به روش احتراق (اسچومن و همکاران، ۲۰۰۲)، وزن مخصوص

ظاهری خاک به روش کلوخه (بلک و هارتج، ۱۹۸۶)، بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر، ۱۹۸۶)، درصد کربن آلی خاک به روش والکی و بلاک (والکی و بلاک، ۱۹۳۴)، واکنش خاک به روش پتانسیومتری، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی، درصد فسفر قابل جذب به روش اولسن (اولسن و دین، ۱۹۶۵) و کلسیم با دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد (ایساک و جانسون، ۱۹۷۵). نرمال بودن داده از طریق آزمون کلموگراف-اسمیرنوف و همگنی واریانس ها نیز از طریق آزمون لون تایید شد. از آنالیز واریانس یک طرفه برای مقایسه های کلی میانگن ها و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین گروه ها استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل های آماری در نرم افزار SPSS و ترسیم نمودارها نیز در نرم افزار اکسل انجام گرفت.

نتایج

مشخصات جنگل شناسی عرصه های مورد بررسی

بر اساس نتایج مشخص شد که عرصه آمیخته از نظر متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع نسبت به دو عرصه دیگر برتری داشت. تراکم درختان نیز در عرصه سوزنی برگ بیشتر بود. برخی از مشخصات جنگل شناسی عرصه های جنگلکاری شده در جدول ۱ ارایه شد است.

جدول ۱. مشخصه های جنگل شناسی عرصه های جنگلکاری شده

مشخصه مورد بررسی						
عرصه	قطر برابر سینه (Cm)	ارتفاع (m)	تراکم (N/ha)	شیب (%)	جهت دامنه	گونه
پهن برگ	b3/3 ± 5/31	c83/0 ± 2/3	b189 ± 2200	60	شمالی - جنوبی	زبان گنجشک، افاقیا، افرای زینتی و جوالدوز
سوزنی برگ	b1/4 ± 3/32	b76/0 ± 5/4	a207 ± 2800	50	جنوبی - غربی	سرو نقره ای و سرو خمره ای
آمیخته	a8/3 ± 3/40	a48/0 ± 2/5	c110 ± 1500	60	شمالی	زبان گنجشک، سرو نقره ای، سرو خمره ای، کاج بروسیا و افاقیا

اعداد با حروف متفاوت انگلیسی در هر ستون دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد هستند.

مقادیر عناصر غذایی خاک تحت عرصه های مورد بررسی

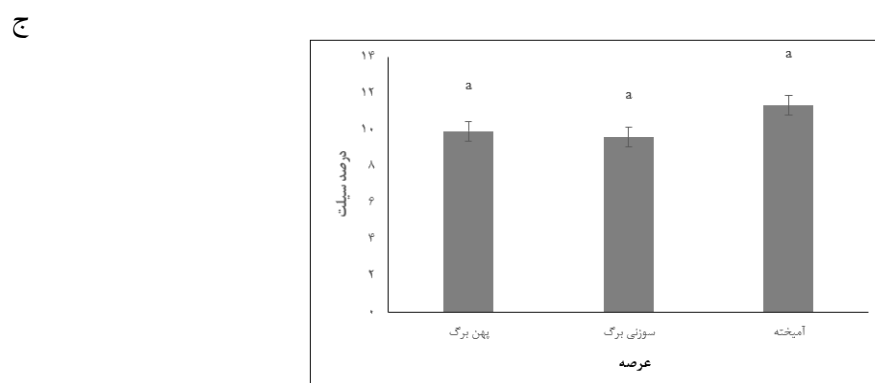
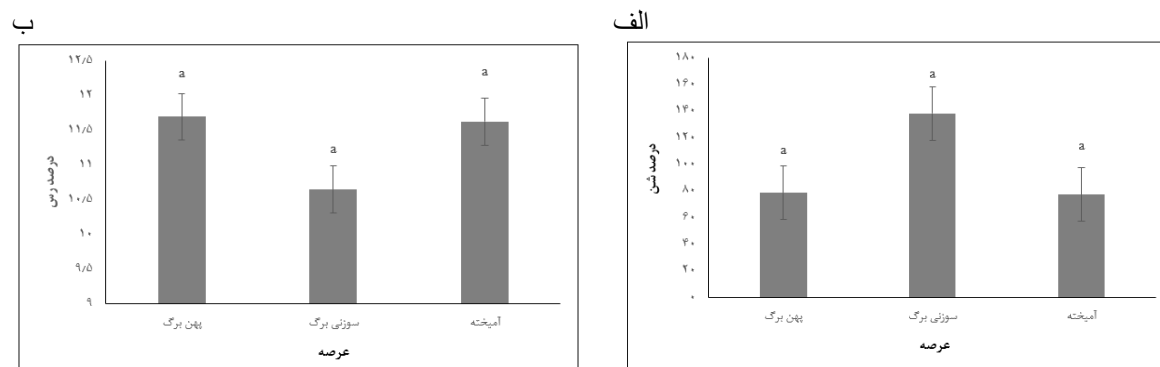
آمار توصیفی عناصر غذایی خاک سه عرصه پهن برگ، سوزنی برگ و آمیخته در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. آمار توصیفی عناصر غذایی خاک سه عرصه جنگلکاری شده پهن برگ، سوزنی برگ و آمیخته

	عرصه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	استاندارد خطا	حدود اطمینان در سطح ۹۵ %		مینیمم	ماکزیمم
						حد پایین	حد بالا		
وزن برگ	پهن برگ	۱۰	۵/۱۵۰۰	۰/۸۳۵۴۸	۰/۲۶۴۲۰	۴/۵۵۲۳	۵/۷۴۷۷	۴/۱۳	۶/۹۸
	سوزنی برگ	۱۰	۳/۰۰۸۰	۱/۱۲۸۰۳	۰/۳۵۶۷۲	۲/۲۰۱۱	۳/۸۱۴۹	۰/۰۰	۳/۸۷
	آمیخته	۱۰	۳/۵۳۳۰	۰/۳۲۱۲۱	۰/۱۰۱۵۸	۳/۳۰۳۲	۳/۷۶۲۸	۳/۰۹	۳/۹۹
	کل	۳۰	۳/۸۹۷۰	۱/۲۲۶۰۳	۰/۲۲۳۸۴	۳/۴۳۹۲	۴/۳۵۴۸	۰/۰۰	۶/۹۸
وزن مخصوص	پهن برگ	۱۰	۱/۲۵۹۰	۰/۲۷۰۸۶	۰/۰۸۵۶۵	۱/۰۶۵۲	۱/۴۵۲۸	۰/۷۴	۱/۵۷
	سوزنی برگ	۱۰	۱/۳۳۵۰	۰/۵۶۰۲۸	۰/۱۷۷۱۸	۰/۹۳۴۲	۱/۷۳۵۸	۰/۰۰	۲/۰۲
	آمیخته	۱۰	۲/۵۰۴۰	۱/۶۹۳۷۳	۰/۵۳۵۶۱	۱/۲۹۲۴	۳/۷۱۵۶	۱/۱۰	۶/۰۰
	کل	۳۰	۱/۶۹۹۳	۱/۱۶۰۳۴	۰/۲۱۱۸۵	۱/۲۶۶۱	۲/۱۳۲۶	۰/۰۰	۶/۰۰

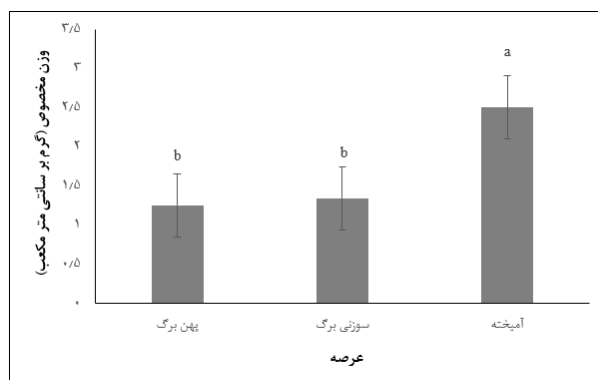
عرصه	تعداد	میانگین	انحراف معیار	استاندارد خطا	حدود اطمینان در سطح ۹۵٪		مینیمم	ماکزیمم
					حد بالا	حد پایین		
درصد شن	پهن برگ	۱۰	۷۸/۳۹۰۰	۵/۸۹۷۰۲	۱/۸۶۴۸۰	۷۴/۱۷۱۵	۸۲/۶۰۸۵	۶۷/۷۰
	سوزنی برگ	۱۰	۱۳۸/۰۷۰۰	۲۱۹/۵۷۴۹۶	۶۹/۴۳۵۷۰	-۱۹/۰۰۴۵	۲۹۵/۱۴۴۵	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۷۷/۰۵۰۰	۵/۸۸۲۲۷	۱/۸۶۰۱۴	۷۲/۸۴۲۱	۸۱/۲۵۷۹	۶۵/۹۵
	کل	۳۰	۹۷/۸۳۶۷	۱۲۵/۷۸۴۸۰	۲۲/۹۶۵۰۶	۵۰/۸۶۷۹	۱۴۴/۸۰۵۵	۰/۰۰
درصد رس	پهن برگ	۱۰	۱۱/۶۹۰۰	۳/۵۸۳۹۰	۱/۱۳۳۳۳	۹/۱۲۶۲	۱۴/۲۵۳۸	۷/۳۵
	سوزنی برگ	۱۰	۱۰/۶۴۵۰	۴/۶۸۸۹۰	۱/۴۸۲۷۶	۷/۲۹۰۸	۱۳/۹۹۹۲	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۱۱/۶۲۰۰	۳/۶۲۶۵۴	۱/۱۴۶۸۱	۹/۰۲۵۷	۱۴/۲۱۴۳	۶/۰۵
	کل	۳۰	۱۱/۳۱۸۳	۳/۸۸۹۲۵	۰/۷۱۰۰۸	۹/۸۶۶۱	۱۲/۷۷۰۶	۰/۰۰
درصد سیلت	پهن برگ	۱۰	۹/۹۲۰۰	۲/۷۳۵۸۹	۰/۸۵۱۷	۷/۹۶۲۹	۱۱/۸۷۷۱	۶/۰۵
	سوزنی برگ	۱۰	۹/۵۹۵۰	۳/۹۸۵۴۲	۱/۲۶۰۳۰	۶/۷۴۴۰	۱۲/۴۴۶۰	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۱۱/۳۳۰۰	۳/۱۷۱۵۹	۱/۰۰۲۹۵	۹/۰۶۱۲	۱۳/۵۹۸۸	۵/۱۰
	کل	۳۰	۱۰/۲۸۱۷	۳/۳۱۰۷۱	۰/۶۰۴۴۵	۹/۰۴۵۴	۱۱/۵۱۷۹	۰/۰۰
کلیسم	پهن برگ	۱۰	۳/۰۸۰۰	۰/۶۸۱۱۸	۰/۲۱۵۴۱	۲/۵۹۲۷	۳/۵۶۷۳	۲/۰۰
	سوزنی برگ	۱۰	۱/۷۲۰۰	۱/۲۰۸۱۲	۰/۳۸۲۰۴	۰/۸۵۵۸	۲/۵۸۴۲	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۱/۴۰۰۰	۰/۵۰۷۲۲	۰/۱۶۰۵۵	۱/۰۳۶۸	۱/۷۶۳۲	۰/۸۰
	کل	۳۰	۲/۰۶۶۷	۱/۱۰۷۱۳	۰/۲۰۲۱۳	۱/۶۵۳۳	۲/۴۸۰۱	۰/۰۰
هدایت الکتریکی	پهن برگ	۱۰	۰/۵۲۸۰	۰/۱۴۵۸۹	۰/۰۴۶۱۴	۰/۴۲۳۶	۰/۶۳۲۴	۰/۳۱
	سوزنی برگ	۱۰	۰/۴۳۱۰	۰/۵۴۱۳۲	۰/۱۷۱۱۸	۰/۰۴۳۸	۰/۸۱۸۲	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۰/۱۰۸۰	۰/۰۲۴۴۰	۰/۰۰۷۷۲	۰/۰۹۰۵	۰/۱۲۵۵	۰/۰۸
	کل	۳۰	۰/۳۵۵۷	۰/۳۶۲۰۵	۰/۰۶۶۱۰	۰/۲۲۰۵	۰/۴۹۰۹	۰/۰۰
اسدیته	پهن برگ	۱۰	۶/۳۵۴۰	۰/۵۲۷۶۲	۰/۱۶۶۸۵	۵/۹۷۶۶	۶/۷۳۱۴	۵/۲۱
	سوزنی برگ	۱۰	۶/۳۱۶۰	۲/۲۵۴۱۶	۰/۷۱۲۸۳	۴/۷۰۳۵	۷/۹۲۸۵	۰/۰۰
	آمیخته	۱۰	۸/۴۹۱۰	۰/۰۸۵۰۴	۰/۰۲۶۸۹	۸/۴۳۰۲	۸/۵۵۱۸	۸/۳۰
	کل	۳۰	۷/۰۵۳۷	۱/۶۵۳۶۱	۰/۳۰۱۹۱	۶/۴۳۶۲	۷/۶۷۱۱	۰/۰۰
فسفر	پهن برگ	۱۰	۰/۲۳۷۱۰	۰/۰۰۳۲۳	۰/۰۰۱۰۲	۰/۲۳۴۷۸	۰/۲۳۹۴۱۶	۰/۲۳۴۵۹۵
	سوزنی برگ	۱۰	۰/۲۳۸۶۱	۰/۰۰۱۸۳	۰/۰۰۰۵۸	۰/۲۳۷۳۰	۰/۲۳۹۹۳	۰/۲۳۵۴۳۷
	آمیخته	۱۰	۰/۲۶۱۸۹	۰/۰۲۰۱۶	۰/۰۰۶۳۷	۰/۲۴۷۴۶	۰/۲۷۶۳۱	۰/۲۳۶۷۸۳
	کل	۳۰	۰/۲۴۵۸۷	۰/۰۱۶۲۳	۰/۰۰۲۹۶	۰/۲۳۹۸۰	۰/۲۵۱۹۳	۰/۲۳۴۵۹۵

بررسی ذرات تشکیل دهنده خاک در سه عرصه مورد بررسی نشان داد که از نظر درصد شن، رس و سیلت اختلاف معنی‌داری در عرصه‌های مورد بررسی وجود ندارد (شکل‌های ۲ الف، ب، ج).



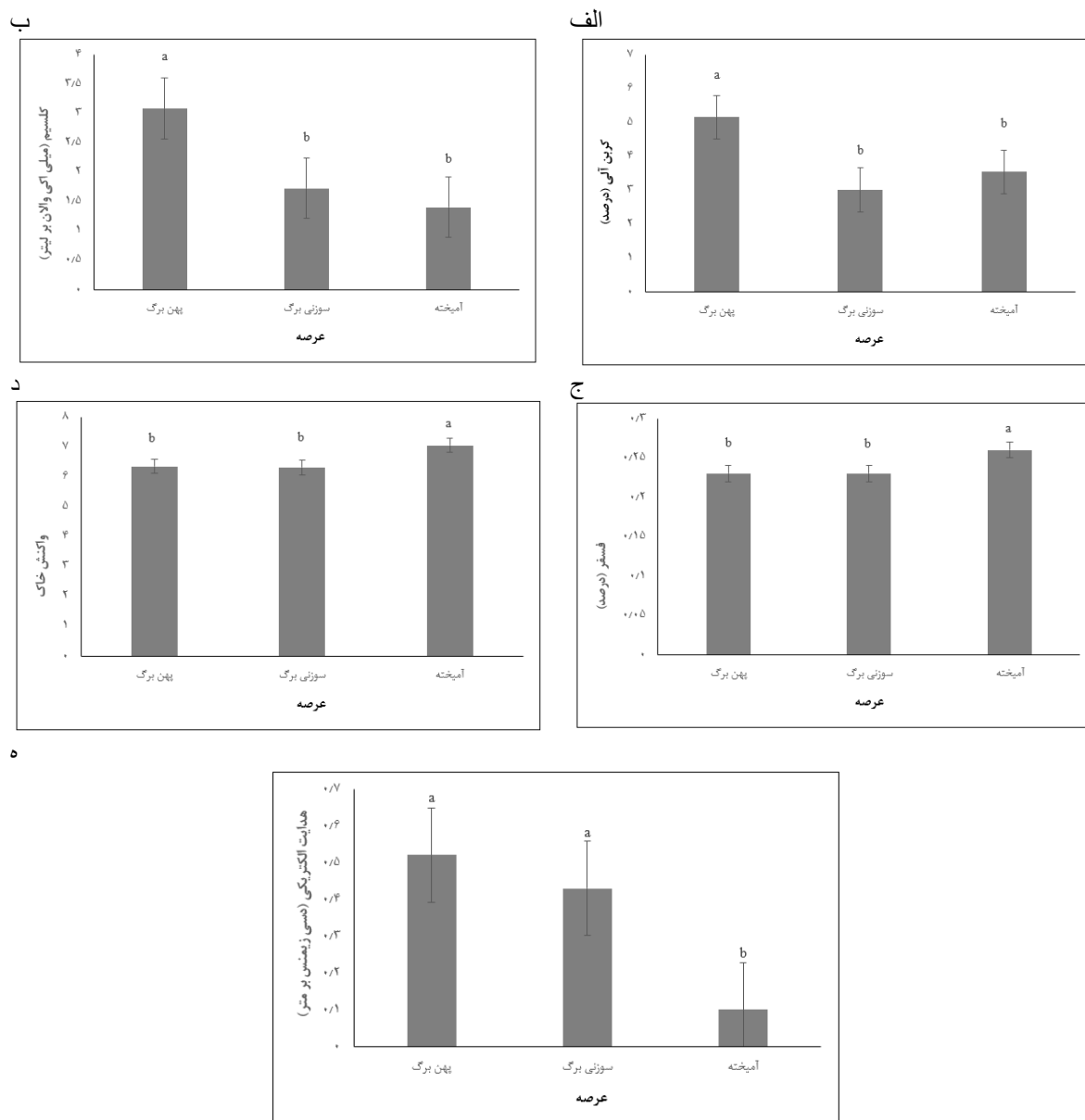
شکل ۲. درصد ذرات تشکیل دهنده خاک در سه عرصه مورد بررسی

نتایج تحقیق در خصوص مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک در سه عرصه مورد بررسی نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در عرصه آمیخته بیشتر از دو عرصه پهن برگ و سوزنی برگ است (شکل ۳).



شکل ۳. وزن مخصوص ظاهری خاک در سه عرصه مورد بررسی

بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که مقادیر کربن آلی خاک در عرصه پهن برگ بیشتر از دو عرصه آمیخته و سوزنی برگ است (شکل ۴ الف). نتایج نشان داد که مقدار کلسیم در عرصه پهن برگ بیشتر از دو عرصه سوزنی برگ و آمیخته است (شکل ۴ ب). همچنین بر اساس نتایج تحقیق مشخص شد که مقدار فسفر خاک در عرصه آمیخته بیشتر از عرصه‌های پهن برگ و سوزنی برگ است (شکل ۴ ج). یافته‌های تحقیق نشان داد که مقدار واکنش خاک در عرصه آمیخته بیشتر از دو عرصه دیگر است (شکل ۴ د). هدایت الکتریکی خاک نیز در دو عرصه پهن برگ و سوزنی برگ بیشتر از عرصه آمیخته بود (شکل ۴ ه).



شکل ۴. مشخصات شیمیایی خاک در سه عرصه مورد بررسی

بحث و نتیجه گیری

خصوصیات فیزیکی خاک از مهم‌ترین صفاتی هستند که با تاثیر بر رشد و توسعه ریشه درختان می‌توانند منجر به رشد قسمت‌های هوایی درختان و پوشش علفی کف شوند. بر اساس نتایج بدست آمده ذرات تشکیل دهنده خاک در هر سه عرصه مورد بررسی یکسان بوده و اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. نظر به اینکه نوع پوشش درختی در سه عرصه مورد مطالعه متفاوت است، لذا دلیل عدم تغییر ذرات تشکیل دهنده خاک، پوشش گیاهی نیست. با توجه به اینکه بافت خاک از ویژگی‌های ذاتی خاک بوده و متأثر از سنگ بستر است، بنابراین نوع پوشش درختی در مدت زمان ۲۰ سال تأثیری بر نوع بافت خاک ندارد نتایج پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۲) موید نتایج پژوهش حاضر است. براساس نتایج مشخص شد که وزن مخصوص ظاهری خاک در عرصه آمیخته بیشتر از عرصه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ است. افزایش نفوذ ریشه و فعالیت‌های بیولوژیکی باعث تسهیل هوادهی و نفوذ آب به داخل خاک می‌شود و این امر سبب کاهش وزن مخصوص ظاهری در آنها می‌شود (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۷). به نظر می‌رسد

دلیل پایین بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در عرصه های پهن برگ و سوزنی برگ همین مسئله باشد. در عرصه های پهن برگ جمعیت فون خاک بیشتر است. در عرصه های سوزنی برگ نیز بیشتر جوامع میکروبی خاک را قارچ ها تشکیل می دهند که با گسترش میسلیوم ها در خاک مقدار وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می یابد (قاسمی آقباش و پوررضا، ۱۳۹۸). تردد بیشتر و ورود گردشگر در عرصه های آمیخته نیز از دلایل بالا بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در عرصه آمیخته است. به طور کلی یک رابطه دو طرفه بین وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی وجود دارد، به نحوی که افزایش ماده آلی، باعث کاهش وزن مخصوص و افزایش خلل و فرج و بهبود نفوذپذیری خواهد شد که خود باعث کاهش رواناب و کاهش فرسایش می شود این فرایند نیز خود باعث کاهش هدر رفتن کربن از طریق فرسایش می شود. این مسئله به وضوح در مورد عرصه پهن برگ مشاهده می شود. براساس یافته های تحقیق مشخص شد که مقدار هدایت الکتریکی در دو عرصه پهن برگ و سوزنی برگ بیشتر از عرصه آمیخته است. بنابراین اینگونه می توان بیان نمود که تغییرات مقدار هدایت الکتریکی به گونه ای با پوشش گیاهی مرتبط است. پژوهش ها حاکی از آن هستند که منشأ اصلی یون های خاک بارش های اتمسفری، تجزیه بقایای گیاهی و آزاد شدن یون های موجود در آنها و تخریب شیمیایی کانی های خاک است (صارمی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱). واکنش خاک یکی از پارامترهای مهم کیفیت خاک است که برای ارزیابی قابلیت دسترسی به مواد غذایی مفید و عناصر سمی برای گیاهان استفاده می شود. همچنین بر جذب عناصر غذایی و همچنین رشد درختان در افق های معدنی تأثیر می گذارد (مامو و همکاران، ۲۰۱۹). یافته های تحقیق نشان داد که مقادیر واکنش خاک در عرصه آمیخته بیشتر از دو عرصه دیگر بود. به دلیل بیومس بیشتر ریشه و ترشح اسیدهای آلی و مقدار دی اکسید کربن آزاد شده از ریشه و فعالیت میکروارگانیسم ها سبب کاهش اسیدیته در عرصه سوزنی برگ شده است. نتایج این بخش با یافته های هاشمی و همکاران (۱۳۹۷) و صارمی نژاد و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت داشت. کربن آلی به عنوان مولفه عملکردی و ساختاری حاصلخیزی خاک ملاحظه شده و به طور وسیعی در مدیریت خاک های جنگلی و حاصلخیزی رویشگاه استفاده شده است (صارمی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱). مقدار ورودی و خروجی کربن به خاک تحت تأثیر دو عامل مدیریت اراضی و فرایند زیستی ریزجانداران در تولید مواد آلی و تجزیه آن قرار دارد (اینگرام، ۲۰۰۸). تجزیه لاشبرگ اصلی ترین منبع کربن ورودی به خاک است در عرصه های پهن برگ مقدار لاشبرگ های تولیدی بالا بوده در نتیجه مقادیر کربن ذخیره شده خاک هم افزایش می یابد. نتایج این بخش با یافته های ورامش و همکاران (۲۰۱۰) و دانگ و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. فسفر مانند کربن آلی و نیتروژن یکی از اجزای کلیدی خاک است که در تعیین حاصلخیزی خاک جنگل نقش کلیدی دارد. با توجه به اینکه بخش اعظم فسفر خاک به صورت ترکیب با مواد آلی بوده و از آن حاصل می شود، بخشی از تغییرات فسفر همانند نیتروژن بوده و روند تغییرات آنها تا حدود زیادی مشابه هم است (صالحی و نورمحمدی، ۱۳۹۰). مقادیر بالای اسیدیته خاک تأثیر زیادی در افزایش فسفر خاک دارد (مامو و همکاران، ۲۰۱۹). به طوری که یافته های تحقیق در این بخش نشان داد عرصه آمیخته با دارا بودن خاک قلیایی از مقادیر بالای فسفر برخوردار است. خاک هایی که به طور طبیعی دارای مواد آلی بالایی هستند حاوی مقادیر قابل توجهی فسفر آلی هستند و معدنی شده اند (همانند نیتروژن آلی)، فسفر قابل دسترس برای رشد گیاه را فراهم می کنند. علاوه بر این، واکنش مطلوب خاک نیز در این زمینه اثرگذار است. در این تحقیق نیز این مسئله تأیید شده است. کلسیم عنصری است که در سنگ آهک به فراوانی یافت می شود. مقدار این عنصر در طبیعت تحت تأثیر منشأ سنگ شناسی قرار می گیرد و پوشش گیاهی اثر چشمگیری ندارد (صارمی نژاد و همکاران، ۱۴۰۱). در تحقیق حاضر مقدار کلسیم در عرصه پهن برگ بیشتر از عرصه های سوزنی برگ و آمیخته بود. مقدار کلسیم موجود در عرصه های جنگلی تحت کنترل آهک قرار دارد، به همین علت افزایش کلسیم در عرصه پهن برگ، با خاک قلیایی، به دلیل وجود آهک در این عرصه است. در کل نتایج تحقیق نشان داد که از نظر شاخص های فیزیکی و شیمیایی خاک، عرصه های جنگلکاری شده با گونه های آمیخته (پهن برگ و سوزنی برگ) شرایط مطلوب تری داشته و یافته های این تحقیق بر لزوم استفاده بیشتر از گونه های پهن برگ و سوزنی برگ در انجام پروژه های جنگلکاری تأکید دارد.

References

- Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). *Bulk density*. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis*, Part 1-Physical and Mineralogical Methods, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
- Demessie, A., Singh, B. R., Lal, R., & Børresen, T. (2012). Effects of eucalyptus and coniferous plantations on soil properties in Gambo District, southern Ethiopia. *Soil & Plant Science*, 62(5), 455-466.
- Dong, N., Silong, W., & Ouyang, Z. (2009). Comparisons of carbon storages in *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations during a 22-year period in southern China. *Environmental Sciences*, 21(6), 801- 805.
- Farooq, T.H., Chen, X., Shakoor, A., Li, Y., Wang, J., Rashid, M. H. U., Kumar, U., & Yan, W. (2021). Unraveling the Influence of Land-Use Change on $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$, and Soil Nutritional Status in Coniferous, Broadleaved, and Mixed Forests in Southern China: A Field Investigation. *Plants*, 10(8), 1499.
- Gee, G. W., & Bauder, J.W. (1986). Particle-size analysis, in: Klute A Editor. *Methods of soil analysis: physical a mineralogical method*. New York: American of Agronomy.
- Ghasemi Aghbash, F., & Pourreza, M. (2019). *Soil quality indicators*. Malayer University Publications.
- Hashemi, A. (2018). *Investigation of physical, chemical, and biological soil properties along livestock movement paths in Zagros forest areas (Case study: Sarkești Forest, Delfan, Lorestan)*. Master's thesis. Department of Nature Engineering. Faculty of Natural Resources and Environment. Malayer University.
- Ingram, L.I., Stahl, P.D., Schuman, G.H., Buyer, J.S., Vance, G.E., Ganjegunte, G.F., Walker, J.M., & Derner, J.D. (2008). Grazing impacts on soil carbon and microbial communities in a mixed-grass ecosystem. *Soil Science Society of America Journal*, 72(4), 939-948.
- Issac, R.A., & Johnson, W.C. (1975). Collaborative study of wet and dry techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrometer. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 58(3), 427-631.
- Karimi, A., Izanloo, E., Bagherifam, S., & Lakzian, A. (2013). The effect of land management on soil organic carbon changes, particle size distribution, and aggregate stability along a topequence in semi-arid regions of North Khorasan. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 20(4), 51-73.
- Liu, Y., Lei, P., Xiang, W., Yan, W., & Chen, X. (2017). Accumulation of soil organic C and N in planted forests fostered by tree species mixture. *Biogeosciences*, 14 (17), 3937-3945.
- Mammo, S., Kebin, Z., Chimidi, A., & Ibrahim, H. (2019). Soil Quality Analysis for Sustainability of Forest Ecosystem: The Case of Chilimo-Gaji Forest, West Shewa Zone, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, 9(3), 1-9.
- Olsen, S.R., & dean, L. (1965). *Phosphorus*. pp. 1044-1047, In: Black, C.A. (ed), *methods of soil Analysis*, American Society of Agronomic, Maddison.
- Salehi, A., & Nourmohammadi, E. (2012). The effect of enclosure and superficial scarification on soil properties and regeneration in the central Zagros forests. *Journal of Forest and Wood Products*, 65(3), 315-325.
- Sareminejad, H. (2022). *Investigation of biodiversity and soil quality indicators along livestock movement paths in Zagros forest areas (Case study: Sarkești Forest, Delfan, Lorestan)*. Master's thesis. Department of Nature Engineering. Faculty of Natural Resources and Environment. Malayer University.
- Schuman, G.E., Janzen, H., & Herick, J.E. (2002). Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution*, (116), 391-396.
- Subedi, B.P., Pandey, S.S., Pandey, A., Bahadur Rana, E., Bhattarai, S., Banskota, T.R., Charma-kar, S., & Tamrakar, R. (2010). *Asia Network for Sustainable agriculture and bio resources*. Federation of community forest users, Nepal.
- Tariqat, F. S., & Kouch, Y. (2018). The effect of four broadleaf tree species on soil carbon and nitrogen storage and mineralization in the forest area of Noor County. *Journal of Water and Soil Science*, 22(2), 175-188.
- Varamesh, S., Hosseini, S. M., Abdi, N., & Akbarinia, M. 2010. Increment of soil carbon sequestration due to forestation and its relation with some physical and chemical factors of soil. *Iranian Journal of Forest*, 2(1), 25-35.
- Vatani, L., Hosseini, S. M., Alavi, S. J., Raeini Sarjaz, M., & Shamsi, S. S. (2021). Physical and chemical soil properties 20 years after afforestation in northern Iran forests (with emphasis on carbon and nitrogen stocks in planted forests with coniferous and broadleaf species). *Journal of Forest Research and Development*, 7(1), 93-105.
- Walkley, A.J., & Black, I.A. (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37, 29-38.