

Research Paper

The Effect of Pure and Mixed Norway Spruce (*Picea abies* L.) Afforestation on Some Soil Physical and Chemical Characteristics

Shahab Rouyanian¹ and Masoud Tabari² 

1. Ph.D. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran
2. Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran, (Corresponding author: mtabari@modares.ac.ir)

Received: 11 May, 2023

Accepted: 28 October, 2023

Revised: 27 October, 2023

Available Online: 13 March, 2024

Extended Abstract

Background: Afforestation has been growing worldwide in recent decades and is expected to continue in this trend due to the increased use of wood. Therefore, the mass planting of pine trees and other fast-growing species for industrial wood production has intensified since the beginning of the 20th century. In Iran, with a low forest per capita (0.17 ha), per capita plans to create a forest and rehabilitate degraded forests to increase green space have been implemented with non-native species. For this reason, many non-native conifer species have been introduced to the country, which has not been successful in some areas. Therefore, for the success of afforestation with non-native species, it is necessary to select those that are suitable for the habitat conditions, adapt the ecological needs to the environment, and consider the effect of afforestation on the soil, understory plants, and living organisms. Ensuring sustainable management depends on knowing the effects of planted tree species on species diversity, structure, and ecosystem function. Since different tree species have different effects on soil characteristics in ecosystems, they can change soil properties with different mechanisms. In other words, the differences in litter quality, the state of nutrients, the performance of roots in nutrient uptake, the leaf structure, the crown of the tree, the microclimate under the crown, and finally the biological communities in different tree populations change the soil physicochemical properties. In general, the restoration of degraded forest lands through afforestation has a significant effect on the variability of soil characteristics, in which a major difference is observed between native and non-native species as well as broadleaf and coniferous species. Since broad-leaved tree species can positively affect the soil quality of conifer stands, this research aims to compare some soil physicochemical characteristics under the influence of pure and mixed Norway spruce (*Picea abies* L.) afforestation.

Methods: The studied area is in the southeast of section 101 of the Makarood series, watershed 36 (Kazemroud) in Kalardasht city and at an approximate height of 1200 m. It includes the afforested areas of pure Norway spruce (PS) (2 ha), mixed Norway spruce (MS) (2.5 ha) forestry areas, and barren land (BL) (3 ha). Three transects in each area were planned due to the smallness of the areas and the need to adopt a method that best describes the condition of the soil in each area. Then, on the 10, 50, and 90 m points of the transects, soil samples were taken in layers of 0-10 and 10-30 cm (in each area, nine soil samples for each layer). The texture, saturation percentage (SP), electrical conductivity (EC), pH, neutralizing substances or lime (T.N.V), organic carbon (O.C), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and bulk density (BD) was examined in the laboratory.

Results: The bulk density was lower in the 0-10 cm layer in the MS stand (2.28 g/cm³) than in the other two areas. The soil saturation was higher in the upper layer in the PS stand (85.77%) than in the MS stand (59.83%) and BL (51.07%). On the contrary, it was greater in the lower layer of the BL (94.40%) than in the two forest stands. EC values were lower in both upper (0.40 ds/m) and lower (0.38 ds/m) layers in the BL than that in PS and MS stands. The pH was significantly lower in the 0-10 cm layer in the PS (4.84) and MS (4.88) stands than in the BL (5.75). In each of the three areas, the amount of lime was zero in the upper and lower layers. O.C. in the upper layer was significantly higher in the PS (2.57%) and the MS (2.96%) stands than in



the BL (1.45%), and the highest value was measured in the MS stand (0.94%) in the lower layer. Nitrogen was higher in the upper layer of PS (0.197%) and MS (0.270%) stands than that in the BL (0.143%). It was higher in the lower layer of the MS stand (0.09%) than the PS (0.02%) and BL (0.03%) stands. The C/N was highest in the upper layer in the PS stand (12.97), but this ratio was not significantly different in the lower layer of the three areas (10.82-11.50). The amount of P was highest in the upper layer in the MS stand (8.4 ppm), but no significant difference in P was detected in the lower layer among the three areas (3.57-5.60 ppm). K content was higher in the upper layer of the PS stand (203.43 ppm), but it was higher in the BL (193.50 ppm) in the lower layer than in the two forest stands.

Conclusion: In the upper soil layer (0-10 cm), pH, C, and N values did not differ between MS and PS stands, but BD and C/N were lower in the MS stand; on the contrary, soil porosity and P and K contents were higher than those in the PS stand. From this research, it is generally concluded that afforestation with MS has a better effect on the optimization of physical and chemical characteristics in the soil layers than PS, which can provide the basis for more suitable growth of trees and a better balance of the forest.

Keywords: Bulk Density, Coniferous Stand, C/N ratio, Mixed plantation

How to Cite This Article: Rouyanian, Sh., and Tabari, M. (2024). The Effect of Pure and Mixed Norway Spruce (*Picea abies* L.) Afforestation on Some Soil Physical and Chemical Characteristics. *Ecol Iran For*, 12(1), 28-36. DOI: 10.61186/ifej.12.1.28

مقاله پژوهشی

اثر جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته نوئل روی برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

شهاب رویانیان^۱ و مسعود طبری کوچکسرای^۲ 

۱- دانشجوی دکتری گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
۲- استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران، (نویسنده مسؤول: mtabari@modares.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۰۵ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳
صفحه: ۲۸ تا ۳۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: جنگل‌کاری در دهه‌های اخیر رشد فزاینده‌ای در سراسر جهان داشته است و پیش‌بینی می‌شود به دلیل افزایش تقاضای چوب این روند ادامه یابد. از این رو، از اوایل قرن بیستم میلادی کاشت انبوه درختان کاج و دیگر گونه‌های تند رشد برای تولید چوب صنعتی شدت گرفته است. در ایران نیز با سرانه کم جنگل (۰/۱۷ هکتار)، به منظور افزایش سرانه فضای سبز، ابتدا طرح‌های ایجاد جنگل دست‌کاشت و احیای جنگل‌های مخروبه، با گونه‌های غیربومی اجرا شده است. از این نظر، گونه‌های سوزنی‌برگ غیربومی متعددی وارد کشور شده که گاه در برخی مناطق با توفیق همراه نبوده است. لذا ضروری است برای موفقیت جنگل‌کاری با گونه‌های غیربومی، به مواردی همچون انتخاب گونه مناسب با شرایط رویشگاه و تطبیق نیاز بوم‌شناختی گونه با محیط و نیز اثر جنگل‌کاری بر خاک و گیاهان زیراشکوب و موجودات زنده توجه کرد. در حقیقت، تضمین مدیریت پایدار، منوط به آگاهی از تأثیرات گونه درختی کاشته شده بر تنوع گونه‌ای، ساختار و عملکرد بوم‌سازگان است. گونه‌های مختلف درختی اثرهای متفاوتی بر مشخصه‌های خاک در بوم‌سازگان می‌گذارند، طوری‌که می‌توانند با سازوکارهای مختلف، خواص خاک را تغییر دهند. به عبارتی، در توده‌های مختلف درختی، تفاوت در کیفیت لاشبرگ و وضعیت مواد غذایی، عملکرد ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی، ساختار برگ و تاج درخت، خرداقلیم زیر تاج و در نهایت جوامع زیستی، سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. به طور کلی، احیای اراضی جنگلی تخریب‌یافته از طریق جنگل‌کاری آثار معنی‌داری بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک دارد که در این زمینه بین گونه‌های بومی و غیربومی و همچنین گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ تفاوت اساسی مشاهده شده است. نظر به اینکه گونه‌های درختی پهن برگ می‌توانند در کیفیت خاک توده‌های سوزنی برگ تأثیر مثبت داشته باشند، این تحقیق با هدف اصلی مقایسه برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تأثیر جنگل‌کاری‌های خالص و آمیخته نوئل انجام شده است.

مواد و روش‌ها: منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی قطعه ۱۰۱ سری مکارود، حوضه آبخیز ۳۶ (کاظم‌رود)، در شهرستان کلاردشت و در ارتفاع تقریبی ۱۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد شامل عرصه‌های جنگل‌کاری نوئل خالص (۲ هکتار) و نوئل آمیخته (۲/۵ هکتار) و زمین بایر (۳ هکتار) بوده است. با توجه به کوچک بودن عرصه‌ها و لزوم اتخاذ روشی که به بهترین شکل، گویای وضعیت خاک در هر عرصه باشد، سه خط نمونه در هر عرصه پیاده شد. آنگاه، در روی نقاط ۱۰ و ۵۰ و ۹۰ متری خط نمونه‌ها، در لایه‌های ۰-۱۰، ۱۰-۳۰ و ۳۰-۱۰۰ سانتی‌متری، نمونه‌های خاک برداشت شد (در هر عرصه، ۹ نمونه خاک برای هر لایه). در آزمایشگاه، بافت، درصد اشباع، رسانندگی الکتریکی، اسیدیته، آهک، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، چگالی ویژه خاک‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: چگالی ویژه در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده نوئل آمیخته (۲/۲۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب) کمتر از دو عرصه دیگر بود. مقدار اشباع خاک در لایه رویی در توده نوئل خالص (۸۵/۷۷ درصد) بیشتر از توده نوئل آمیخته (۵۹/۸۳ درصد) و زمین بایر (۵۱/۰۷ درصد) بود، اما در لایه زیرین در زمین بایر (۹۴/۴۰ درصد) بیشتر از دو عرصه جنگلی بوده است. در زمین بایر رسانندگی الکتریکی در هر دو لایه رویی (۰/۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) و زیرین (۰/۲۸ دسی‌زیمنس بر متر) کمتر از توده‌های نوئل خاص و نوئل آمیخته بوده است. اسیدیته خاک در لایه رویی در توده‌های نوئل خالص (۴/۸۴) و نوئل آمیخته (۴/۸۸) به نحو معناداری کمتر از زمین بایر (۵/۷۵) بود. در هر سه عرصه، مقدار آهک در هر دو لایه برابر صفر بود. کربن آلی در لایه رویی در توده‌های نوئل خالص (۲/۵۷ درصد) و نوئل آمیخته (۲/۹۶ درصد) به طور معناداری بیشتر از عرصه بایر (۱/۴۵ درصد) بود و در لایه زیرین مقدار آن در توده نوئل آمیخته (۰/۹۴ درصد) بیشترین بود. مقدار نیتروژن در لایه رویی در توده‌های خالص (۰/۱۹۷ درصد) و آمیخته نوئل (۰/۲۷۰ درصد) بیشتر از عرصه بایر (۰/۱۴۳ درصد) و در لایه زیرین در توده نوئل آمیخته (۰/۰۹ درصد) بیشتر از توده نوئل خالص (۰/۰۲ درصد) و عرصه بایر (۰/۰۳ درصد) بود. نسبت کربن به نیتروژن در لایه رویی در توده نوئل خالص بیشترین بود (۱۲/۹۷) ولی در لایه زیرین در بین سه عرصه فرقی نکرد (۱۰/۸۲ تا ۱۱/۵۰). مقدار فسفر در لایه رویی در توده نوئل آمیخته بیشترین بود (۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ولی در لایه زیرین در بین سه عرصه متفاوت نبود (۳/۵۷ تا ۵/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم). مقدار پتاسیم در لایه رویی توده نوئل آمیخته (۲۰۳/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشترین بود اما در لایه زیرین، مقدار آن در زمین بایر (۱۹۴/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر از دو توده جنگلی به دست آمد.

نتیجه‌گیری کلی: در لایه رویی خاک (۰-۱۰ سانتی‌متر) مقدار اسیدیته، کربن و ازت در بین دو توده آمیخته نوئل و توده خالص نوئل فرقی نکرد اما در توده آمیخته اندازه چگالی ویژه و نسبت کربن به نیتروژن کمتر، و برعکس، تخلخل خاک و مقدار فسفر و پتاسیم بیشتر از آنها در توده خالص بوده است. به طور کلی، از این تحقیق نتیجه گرفته می‌شود که جنگل‌کاری نوئل آمیخته در مقایسه با جنگل‌کاری نوئل خالص، تأثیر بهتری بر بهینه شدن مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی در لایه‌های خاک دارد که می‌تواند زمینه را برای رشد مناسب‌تر درختان و تعادل بهتر جنگل فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: توده سوزنی‌برگ، جنگل‌کاری آمیخته، چگالی ویژه، نسبت کربن به نیتروژن

مقدمه

جنگل‌های سوزنی‌برگ غیربومی متعددی وارد کشور شده که گاه در برخی مناطق با توفیق همراه نبوده است. از این رو، ضروری است تا برای موفقیت جنگل‌کاری با گونه‌های غیربومی، به مواردی همچون انتخاب گونه مناسب با شرایط رویشگاه و تطبیق نیاز بوم‌شناختی گونه با محیط و نیز اثر جنگل‌کاری بر خاک و گیاهان زیراشکوب و موجودات زنده توجه کرد. در حقیقت، تضمین مدیریت پایدار، منوط به آگاهی از تأثیرات گونه درختی کاشته شده بر تنوع گونه‌ای، ساختار و عملکرد

جنگل‌کاری در دهه‌های اخیر رشد فزاینده‌ای در سراسر جهان داشته است و پیش‌بینی می‌شود به دلیل افزایش تقاضای چوب این روند ادامه یابد. از این رو، از اوایل قرن بیستم میلادی کاشت انبوه درختان کاج و دیگر گونه‌های تند رشد برای تولید چوب صنعتی شدت گرفته است. در ایران نیز با سرانه کم جنگل (۰/۱۷ هکتار)، به منظور افزایش سرانه فضای سبز، ابتدا طرح‌های ایجاد جنگل دست‌کاشت و احیای جنگل‌های مخروبه، با گونه‌های غیربومی اجرا شده است. از این نظر،

آزمایش خاک در عمق‌های ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر نتیجه گرفتند که درصد کربن آلی در لایه ۰-۲۰ سانتی‌متر عرصه *Markhamia lutea* بیشتر از بقیه عرصه‌ها بوده است و همچنین بیشترین میزان فسفر در لایه ۲۰-۴۰ سانتی‌متری عرصه *Podocarpus falcatus* به‌دست آمد. وو و همکاران (Wu et al., 2019) در تحقیقی، جنگل‌کاری آمیخته و جنگل‌کاری تک‌گونه‌ای *Pinus massoniana* و *Castanopsis hystrix* را ۳۴ سال پس از کاشت مقایسه کردند. نتایج نشان داد که توده آمیخته سوزنی‌برگ با پهن‌برگ در مقایسه با توده خالص توانست زی‌توده بالاتری را تجمع کند و لاشبرگ بیشتری را برگرداند که در نتیجه، باعث افزایش زی‌توده میکروبی خاک و عملکردهای مرتبط برای طولانی‌مدت در مناطق نیمه‌گرمسیری چین می‌شود.

اصولاً، پایداری و دوام جنگل‌کاری‌ها، به مفهوم تولید طولانی‌مدت و حفظ کیفیت رویشگاه، یکی از اهداف اصلی جنگل‌شناسی است. در جنگل‌هایی که به‌طور متمرکز مدیریت می‌شوند، آثاری که فنون آماده‌سازی رویشگاه روی خاک دارند، نقش تعیین‌کننده‌ای در قدرت تولید جنگل ایجاد خواهند کرد (Merino et al., 2004). گونه‌هایی که یک جنگل‌کاری آمیخته را تشکیل می‌دهند، ممکن است به لحاظ حفظ و ذخیره مجدد عناصر غذایی خاک مکمل یکدیگر باشند و کمبودهای یکدیگر را جبران کنند (Rouhi-Moghaddam et al., 2011). گونه‌های مختلف درختی اثرهای متفاوتی بر مشخصه‌های خاک در بوم‌سازگان می‌گذارند طوری که می‌توانند با سازوکارهای مختلف، خواص خاک را تغییر دهند. به‌عبارتی، در توده‌های مختلف درختی، تفاوت در کیفیت لاشبرگ و وضعیت مواد غذایی، عملکرد ریشه‌ها در جذب عناصر غذایی، ساختار برگ و تاج درخت، خرداقلیم زیر تاج و در نهایت جوامع زیستی، سبب تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. اولین نشانه تأثیر گونه‌های مختلف درختی بر مشخصه‌های خاک، تغییر در خصوصیات شیمیایی لاشبرگ و لاشریزه‌های کف جنگل است، طوری که مشخصه‌های کیفی لاشبرگ، به‌عنوان منبع اصلی فرایندهای مرتبط با خاک، به‌ویژه چرخه‌های کربن و نیتروژن و تأثیرش در تغذیه و عملکرد گیاه در مونه (تیپ)‌های مختلف درختی دارای اهمیت است (Jafari et al., 2021). البته، تغییر در مشخصه‌های لایه معدنی خاک به‌مرور زمان اتفاق می‌افتد که در این ارتباط، تغییر در اندازه‌های غلظت کربن و نیتروژن و نیز واکنش خاک ممکن است موجب افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در رشد و عملکرد گیاه شود (Jafari et al., 2021).

به‌طور کلی، احیای اراضی جنگلی تخریب‌یافته از طریق جنگل‌کاری آثار معنی‌داری بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک دارد که در این زمینه بین گونه‌های بومی و غیربومی و همچنین گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ تفاوت اساسی مشاهده شده است (Kooch and Ehsani, 2020). مقایسه توده‌های دست‌کاشت سوزنی‌برگ با جنگل‌های طبیعی پهن‌برگ که در اصل روی رویشگاه مشابهی قرار داشته‌اند از نظر علمی بسیار مشکل است؛ زیرا تأثیر سوزنی‌برگان بر خاک، پس از چندین ده

بوم‌سازگان است (Eshaghi Rad et al., 2014; Ghorbani et al., 2018).

گیاهان و عوامل زنده دیگر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تأثیر می‌گذارند. بوم‌شناسان همیشه به دنبال شناخت ارتباط ویژگی‌های خاک با پوشش گیاهی بوده‌اند و این کار را در مواردی به‌منظور ارزیابی توان رویشگاه انجام می‌دهند. مطالعات متعددی در مورد آثار ترکیب اشکوب برین روی خواص فیزیکی-شیمیایی خاک انجام شده است. برای نمونه فارلی و کلی (Farley and Kelly, 2004)، در علفزارهای پارامو در کوه‌های آند در اکوادور، اثر جنگل‌کاری با کاج رادیاتا (*Pinus radiata*) بر عناصر غذایی خاک را مورد مطالعه قرار دادند. بیشترین تأثیر جنگل‌کاری‌ها در خاک‌های رویی (۰-۱۰ سانتی‌متر) مشاهده شد. غلظت نیتروژن کل در عمق متوسط خاک کاهش پیدا کرد. غلظت نیترات در زیر جنگل‌کاری کاج افزایش یافت و در فسفر خاک تغییری حاصل نشد. در مجموع، درختان جنگل‌کاری شده، اسیدینگی (اسیدیته) خاک را افزایش داده بودند.

ورامش و همکاران (Varamesh et al., 2009) اثرهای جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک را بر اساس طرح پایه کامل تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل در توده‌های کاج تهران و اقلایا همراه با اراضی بایر اطراف (شاهد) در پارک جنگلی چیتگر تهران بررسی کردند و نتیجه گرفتند کربن آلی خاک در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری توده‌های جنگل‌کاری شده بیشتر از عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری بود ولی در اراضی بایر، عکس این قضیه مشاهده شد. نتیجه رگرسیون گام‌به‌گام نیز نشان داد که درصد رس و نیتروژن به ترتیب از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر مقدار کربن آلی خاک است.

کُرکانچ (Korkanç, 2014) در پژوهش خود روی کاج سیاه (*Pinus nigra* Arn. subsp. *nigra*) و سدر لبنان (*Cedrus libani* A. Rich) ۱۵ ساله و زمین بایر در ترکیه، نمونه‌های خاک را در دو عمق خاک (۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متر) بررسی کرد. بر اساس نتایج ایشان کربن آلی خاک پس از جنگل‌کاری افزایش یافته بود و در توده‌های کاج سیاه و سدرس (به ترتیب با ۱/۹ و ۱/۱۳ درصد)، به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از خاک‌های بایر (۵۴٪ درصد) بود. برای همه انواع کاربری‌ها، با افزایش عمق خاک مقدار کربن آلی کاهش یافته بود. در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر، چگالی ظاهری در توده‌های کاج سیاه و سدرس (به ترتیب ۱/۵۳ و ۱/۵۸ گرم در سانتی‌متر مکعب برای) متفاوت و کمتر از خاک بایر (۱/۷۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود و تخلخل کل پس از جنگل‌کاری افزایش یافته بود. در کل، آشکار شد که، با وجود دامنه تحمل زیاد کاج سیاه به شرایط محیطی مختلف، کاشت آن موجب تغییر تکامل خاک، کاهش در محتوای رطوبت خاک، شدت نور و تنوع گونه‌ای زیراشکوب شد (Leege and Murphy, 2000).

هابوموگیشا و همکاران (Habumugisha et al., 2019) در بررسی سه عرصه جنگل‌کاری‌شده، شامل ۱) جنگل‌کاری با گونه *Podocarpus falcatus*؛ ۲) جنگل‌کاری با گونه *Markhamia lutea*؛ ۳) زمین آیش طبیعی، در رواندا و

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی قطعه ۱۰۱ سری مکارود، حوضه آبخیز ۳۶ (کاظم‌رود) شهرستان کلاردشت و در ارتفاع تقریبی ۱۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد با مختصات جغرافیایی مرکز تقریبی $51^{\circ} 10' 05''$ طول شرقی و $33^{\circ} 25'$ عرض شمالی قرار دارد. عرصه تحقیق، بخش مخروبه این قطعه و با جهت کلی «غربی» است که در سال ۱۳۶۹ بعد از قطع یکسره، در مساحت ۲۰ هکتار با گونه نوئل جنگل کاری شده است (جدول ۱). نمونه (تیپ) جنگل قبل از پاک‌تراشی، راش خالص بود و فقط در غرب آن فراوانی ممز زیاد بود. نهال‌های نوئل از نهالستان کلاردشت در فاصله ۱۰ کیلومتری عرصه تهیه شد و فاصله کاشت آن‌ها در عرصه ۲-۳ متر بود. چون رویشگاه اصلی عرصه، راش و ممز بوده است، زادآوری طبیعی موجب پیدایش تعداد بسیار زیادی نهال ممز و نیز رویش طبیعی نهال راش در عرصه جنگل کاری شده بود.

سال و یا حداکثر یک تا دو قرن ظاهر می‌شود (Habibi Kaseb, 1992). از طرف دیگر، در برخی دیگر از پژوهش‌ها، سوزنی‌برگان در مدت کوتاهی پس از کاشت، موجب بروز تغییر معنادار در ویژگی‌های خاک (از جمله افزایش اسیدیته) شده‌اند (Jalili and Majdetaheri, 1996). در مجموع و باتوجه به تحقیقات مختلف می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر جنگل کاری بر خاک عرصه، به عوامل متعددی بستگی دارد که برای آگاهی از روند و شدت این تأثیرات باید اشکال مختلف جنگل کاری، اعم از گونه و عرصه را جداگانه بررسی کرد. از آنجاکه تا کنون درباره تأثیرات جنگل کاری سنواتی آمیخته و خالص نوئل (*Picea abies* L. بر خاک در شمال کشور به‌طور مستقل تحقیق چندانی انجام نشده است، این پژوهش با هدف بررسی اثر توده‌های خالص و آمیخته نوئل بر برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد. فرضیه اصلی تحقیق این است که، در لایه سطحی خاک در توده آمیخته نوئل نسبت به توده خالص نوئل، مقدار چگالی ویژه کمتر و اندازه pH و عناصر تغذیه‌ای بیشتر است.

جدول ۱- ویژگی‌های بوم‌شناختی عرصه‌های مورد مطالعه

Table 1. Ecological features of the studied areas

عرصه Area	شیب (%) Slope	جهت عمومی General direction	ارتفاع (m) Altitude	سال کاشت Afforestation year	بافت خاک Soil texture
نوئل آمیخته Mixed spruce	50	غربی West	1270	1990	لومی سیلتی Loam-Silt
نوئل خالص Pure spruce	50	غربی West	1340	1990	لومی سیلتی Loam-Silt
زمین بایر Barren land	30	جنوب غربی Southwest	1320	-	لوم رسی سیلتی Loam-Clay-Silt

۲) جنگل کاری نوئل آمیخته (حدود ۵۰ درصد نوئل، ۵۰ درصد گونه‌های خودروی ممز و راش)، به مساحت تقریبی ۲/۵ هکتار. متوسط ارتفاع درختان ۱۵-۲۰ متر و قطر برابر سینه آن‌ها ۲۰-۳۰ سانتی‌متر بوده است.

۳) زمین بایر پوشیده از چمن^۱، در بیرون و مجاورت عرصه جنگلی (به مساحت ۳ هکتار) که طبق تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث دست‌کم از سال ۱۳۶۳ عاری از کشت بوده است.

روش تحقیق

در این تحقیق سه عرصه به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت.

۱) جنگل کاری نوئل خالص (حدود ۹۰ درصد نوئل، ۱۰ درصد ممز و راش) به مساحت تقریبی ۲ هکتار؛ متوسط ارتفاع درختان نوئل ۱۵-۲۰ متر و قطر برابر سینه آن‌ها ۲۰-۳۰ سانتی‌متر بوده است؛



شکل ۱- نقشه پراکنش عرصه‌های مورد مطالعه

Figure 1. Distribution map of the studied areas

در لایه‌های ۱۰-۰ و ۳۰-۱۰ سانتی‌متر، نمونه‌های خاک برداشت شد (در هر عرصه، ۹ نمونه خاک برای هر لایه) (شکل ۱). متغیرهای بررسی شده برای آزمایش شامل بافت، درصد

با توجه به کوچک بودن عرصه‌ها و لزوم اتخاذ روشی که به بهترین شکل، گوبای وضعیت خاک هر عرصه باشد، در هر یک از سه عرصه، سه خط‌نمونه پیاده و در نقاط ۱۰، ۵۰ و ۹۰ متری

دسترس خاک به‌روش اولسن^۴؛ کلسیم به‌روش تیتراسیون^۵؛ پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر^۶ اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل نتایج، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۷ و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون^۸ بررسی شد. آنگاه، پس از تجزیه واریانس یک‌طرفه^۹، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن^{۱۰} انجام شد. وارد کردن داده‌ها و اخذ نتایج و آزمون‌های آماری در محیط نرم‌افزاری SPSS ver. 16 اجرا شد.

اشباع، رسانندگی الکتریکی، pH، آهک، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، چگالی ویژه بود. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه در معرض هوا خشک شدند و بعد از جدا کردن ریشه‌ها و سنگ‌ها و دیگر ناخالصی‌ها، از آلف دو میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری بویوکوس/بایکاس^۱؛ اسیدیته با pH سنج و به‌کارگیری گِل اشباع؛ رسانندگی (هدایت الکتریکی) پس از عصاره‌گیری از گِل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر؛ نیتروژن کل به‌روش کلدال^۲؛ کربن آلی به‌روش والکی-بلک^۳؛ فسفر در

جدول ۲- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) مشخصه‌های خاک در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر در عرصه‌های مطالعه شده

Table 2. The mean ($\pm$ standard deviation) of soil characteristics in the 0-10 cm layer in the studied

متغیر	نوتل آمیخته	نوتل خالص	زمین بایر	F	Psig.
Variable	Mixed spruce stand	Pure spruce stand	Barren land		
بافت	لومی سیلتی	لومی سیلتی	لوم رسی سیلتی		
Texture	Loam-Silt	Loam-Silt	Loam-Clay-Silt		
چگالی ویژه/BD (gr/cm ³)	2.28 $\pm$ 0.02 ^c	2.38 $\pm$ 0.02 ^b	2.46 $\pm$ 0.03 ^a	67.733	0.0001
اشباع خاک/SP (%)	59.83 $\pm$ 3.43 ^b	85.77 $\pm$ 0.15 ^a	51.07 $\pm$ 0.81 ^c	235.17	0.001
رسانندگی الکتریکی/شوری/EC (ds/m)	0.73 $\pm$ 0.03 ^a	0.56 $\pm$ 0.02 ^b	0.40 $\pm$ 0.03 ^c	144.25	0.0001
pH	4.88 $\pm$ 0.22 ^b	4.84 $\pm$ 0.12 ^b	5.75 $\pm$ 0.03 ^a	36.401	0.0001
آهک/T.N.V (%)	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	-	-
کربن آلی/O.C (%)	2.96 $\pm$ 0.42 ^a	2.57 $\pm$ 0.02 ^a	1.45 $\pm$ 0.03 ^b	31.878	0.001
نیتروژن/N (%)	0.270 $\pm$ 0.06 ^a	0.197 $\pm$ 0.01 ^a	0.143 $\pm$ 0.01 ^b	10.127	0.012
C/N	11.26 $\pm$ 1.22 ^b	12.97 $\pm$ 0.17 ^a	10.10 $\pm$ 0.22 ^b	12.013	0.008
فسفر/P (ppm)	8.4 $\pm$ 0.20 ^a	4.00 $\pm$ 1.00 ^b	3.20 $\pm$ 0.03 ^c	67.747	0.0001
پتاسیم/K (ppm)	206 $\pm$ 43.59 ^a	126.67 $\pm$ 3.06 ^b	97.17 $\pm$ 2.25 ^b	14.894	0.005

حروف مختلف در ردیف، بیانگر معنی‌داری اندازه متغیر مورد مطالعه بین عرصه‌های مورد مطالعه است.

Different letters in the row indicate the significance of the studied variable among the studied areas.

جدول ۳- میانگین ($\pm$ انحراف معیار) مشخصه‌های خاک در لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متر در عرصه‌های مطالعه شده

Table 3. The mean ($\pm$ standard deviation) of soil characteristics in the 10-30 cm layer in the studied areas

متغیر	نوتل آمیخته	نوتل خالص	زمین بایر	F	Psig.
Variable	Mixed spruce stand	Pure spruce stand	Barren land		
بافت	لومی سیلتی	لومی رسی	رسی		
Texture	Loam-Silt	Loam-Clay	Clay		
چگالی ویژه/BD (gr/cm ³)	2.48 $\pm$ 0.04 ^a	2.53 $\pm$ 0.02 ^a	2.35 $\pm$ 0.02 ^b	31.616	0.001
اشباع خاک/SP (%)	39.23 $\pm$ 4.79 ^c	70.30 $\pm$ 0.20 ^b	94.40 $\pm$ 0.53 ^a	295.661	0.0001
رسانندگی الکتریکی/شوری/EC (ds/m)	0.507 $\pm$ 0.14 ^a	0.490 $\pm$ 0.020 ^a	0.383 $\pm$ 0.025 ^b	1.860	0.235
pH	4.71 $\pm$ 0.53 ^c	5.26 $\pm$ 0.02 ^a	5.07 $\pm$ 0.03 ^b	183.661	0.0001
آهک/T.N.V (%)	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	-	-
کربن آلی/O.C (%)	0.94 $\pm$ 0.27 ^a	0.23 $\pm$ 0.01 ^b	0.33 $\pm$ 0.02 ^b	17.976	0.003
نیتروژن/N (%)	0.09 $\pm$ 0.02 ^a	0.02 $\pm$ 0.00 ^b	0.03 $\pm$ 0.00 ^b	21.812	0.002
C/N	10.82 $\pm$ 0.81 ^a	11.50 $\pm$ 0.50 ^a	10.89 $\pm$ 0.51 ^a	1.077	0.398
فسفر/P (ppm)	5.60 $\pm$ 0.87 ^a	3.64 $\pm$ 0.13 ^a	3.57 $\pm$ 0.15 ^a	14.961	0.005
پتاسیم/K (ppm)	111.33 $\pm$ 49.33 ^b	125.67 $\pm$ 2.52 ^b	193.50 $\pm$ 2.29 ^a	7.091	0.026

حروف مختلف در ردیف، بیانگر معنی‌داری اندازه متغیر مورد مطالعه بین عرصه‌های مورد مطالعه است.

Different letters in the row indicate the significance of the studied variable among the studied areas.

نتایج و بحث

گونه‌های کاج سیاه (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *nigra*) و سدر لبنان (*Cedrus libani* A. Rich)، تخلخل خاک در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر را بیشتر از زمین بایر یافت. به نظر می‌رسد علت این امر، فراوان بودن ریشه‌های سطحی در گونه نوتل باشد که باعث می‌شود این ریشه‌ها حجم زیادی از سطح خاک را دربرگیرند که نتیجه‌اش کاهش چگالی ویژه در لایه سطحی است.

به‌طور کلی، سوزنی‌برگان میزان pH خاک را به‌تدریج کاهش می‌دهند (Farley and Kelly, 2004; Jalili and Majdetaheri, 1996)، این در حالی است که آمیختگی گونه‌ای به افزایش میزان pH خاک کمک می‌کند (Mohr et al., 2005). البته در تحقیق حاضر، pH خاک در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده‌های جنگل کاری نوتل خالص و نوتل آمیخته

در پژوهش حاضر، مطابق جداول ۲ و ۳، بافت خاک در لایه رویی (۰-۱۰ سانتی‌متر) توده‌های درختی، اغلب از نوع لومی-سیلتی و در زمین بایر، لومی رسی سیلتی بود. بافت خاک در لایه زیرین (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) زمین بایر رسی (سنگین) بود، درحالی‌که در توده‌های درختی نوتل، بافت خاک متوسط بود. نتایج برخی تحقیقات حاکی از دیرتأثیر بودن جنگل‌کاری بر بافت خاک است (Jamshidinia and et al., 2016). بنابراین اثرگذاری جنگل‌کاری بر بافت خاک نیازمند گذشت زمانی طولانی است.

چگالی ویژه در لایه ۰-۱۰ سانتی‌متر در توده‌های نوتل کمتر از زمین بایر اما در لایه ۱۰-۳۰ سانتی‌متر بیشتر از زمین بایر بود. کرکانچ (Korkanç, 2014) نیز در جنگل‌کاری با

همین گونه ها به دست آوردند. جعفری و همکاران (Jafari et al., 2021) مقدار کربن آلی خاک را در توده زربین، بیشتر از توده های خالص صنوبر، توسکا ییلاقی، و آمیخته توسکا ییلاقی-سفیدپلت گزارش کردند. علت آن، تأثیر جنگل کاری به صورت تجمع بیشتر مواد آلی در نتیجه افزایش زی توده روزمینی و زیرزمینی، کاهش سرعت تجزیه لاشبرگ و به دنبال آن معدنی شدن آهسته مواد آلی در لایه پایین تر بیان شده است. کرکانچ (Korkanç, 2014) نیز نتیجه گرفت که جنگل کاری با گونه های کاج سیاه (*Pinus nigra* Arn. Subsp. *nigra*) و سدر لبنان (*Cedrus libani* A. Rich) باعث افزایش درصد کربن آلی خاک می شود.

اصولاً مقدار کربن آلی در خاک های جنگلی از صفر درصد در خاک های جوان تا ۵۰ درصد در برخی خاک های آلی یا زمین های مرطوب در تغییر است، اما اکثر خاک ها دارای ۱۱/۵ - ۰/۳ درصد کربن آلی در لایه ۲۰ سانتی متری سطح خود هستند (Kooch and Hosseini, 2005). در پژوهش پیش رو، درصد کربن آلی لایه رویی در عرصه های جنگل کاری بیشتر از زمین بایر بود. در نتیجه، مقدار کربن آلی در لایه ۰-۱۰ سانتی متر در هر سه عرصه مورد مطالعه در حد مطلوب (بیش از ۲/۵ درصد) بود؛ طوری که شرایط برای ورود کربن لازم به خاک فراهم و مقدار کربن آلی خاک در حد طبیعی یا غنی بود. ورامش و همکاران (Varamesh et al., 2009) در مطالعه عرصه های کاج تهران (*Pinus eldarica*) و افاقا (*Robinia pseudoacacia*) و هابوموگیشا و همکاران (Habumugisha et al., 2019) در بررسی عرصه های *Podocarpus falcatus* و *Markhamia lutea* و یک زمین آیش طبیعی، به نتایج مشابه با تحقیق حاضر دست یافتند.

مقدار کربن آلی در لایه ۳۰-۱۰ سانتی متر در مقایسه با لایه ۰-۱۰ سانتی متر در تمام عرصه ها کاهش معنی داری نشان داد که با نتایج اسدیان و همکاران (Asadiyan et al., 2012)، جلیوند و همکاران (Jalilvand et al., 2015) و کرکانچ (Korkanç, 2014) مطابقت داشت. ورامش و همکاران (Varamesh et al., 2009) در مورد زمین بایر به نتیجه عکس رسیدند؛ به این نحو که در عرصه بایر، درصد کربن آلی در لایه زیرین بیشتر از لایه رویی بود. بیشتر بودن میزان کربن آلی در لایه های سطحی تحقیق حاضر را می توان به زیاد بودن لاشبرگ و بقایای گیاهی در این لایه که موجب اصلاح خواص فیزیکی و زیستی خاک می شود نسبت داد. کمتر بودن مقدار کربن در لایه زیرین توده نوئل خالص نسبت به لایه رویی آن، ممکن است به دلیل ریشه دوانی سطحی نوئل باشد که موجب تشکیل قشر ضخیمی از ماده آلی در سطح خاک شده است (Habibi Kaseb, 1992).

درصد نیتروژن در لایه رویی توده های خالص و آمیخته نوئل بیشتر از عرصه بایر بود؛ این در حالی است که میزان آن در لایه زیرین توده آمیخته نوئل بیشتر از توده نوئل خالص و عرصه بایر بوده است. افزایش درصد نیتروژن در توده آمیخته نوئل ممکن است مربوط به تأثیر پوشش پهن برگان درختی و درختچه ای خودرو و نیز بقایای پوشش علفی در سال های قبل

(به ترتیب ۴/۸۴ و ۴/۸۸) تفاوت معنی داری با هم نداشتند؛ اما میزان آن در هر دو لایه کمتر از زمین بایر بود. به عبارت دیگر، مقدار کلیاییت خاک در توده آمیخته نوئل نسبت به توده خالص نوئل افزایش نیافته بود. به طور کلی، محدوده pH خاک اغلب بین ۳ تا ۱۱، و در خاک های مرطوب بین ۳ تا ۸ است (Elyas, 1995). مقدار پهنه pH برای اغلب پهن برگان بین ۵/۵ تا ۶ و برای سوزنی برگان به طور متوسط بین ۴/۵ تا ۵ گزارش شده است (Habibi Kaseb, 1992) که با یافته های پژوهش حاضر در توده درختی نوئل خالص مطابقت دارد. در منطقه مورد بررسی با وجود سنگ مادر آهکی، به دلیل رطوبت و بارندگی زیاد و آبشویی کاتیون های بازی، خاک در تمام عرصه ها حالت اسیدی داشته است (Anonymous, 2022). به طور کلی، سوزنی برگان باعث اسیدی شدن خاک می شوند و در میان سوزنی برگان، نوئل و کاج بیش از دیگر گونه ها، هوموس (گیاهخاک) مور که اسیدی است تولید می کنند، اگرچه آثار آن بر خاک به عواملی همچون گونه و سنگ مادر نیز بستگی دارد (Habibi Kaseb, 1992).

درصد اشباع خاک در لایه رویی توده نوئل خالص بیشتر از توده آمیخته و زمین بایر بود. به طور مشابه، پژوهش انجام شده لیگ و مورفی (Leege and Murphy, 2000) مؤید این است که محتوای رطوبت خاک و در نتیجه، تنوع گونه های زیراشکوب در توده های سوزنی برگ (مانند *Pinus nigra*) با کاهش همراه خواهد بود. در کل، درصد اشباع خاک با بافت خاک رابطه مستقیم دارد، بدین صورت که هر چه خاک رسی تر (سنگین تر) باشد، درصد اشباع آن بالاتر است. از طرفی، می توان اظهار داشت که نوئل به دلیل ریشه دوانی سطحی، و با تشکیل قشر ضخیمی از ماده آلی و هوموسی شدن نامناسب و تجمع ریشه ها در سطح خاک، موجب کاهش تخلخل^۱ قشرهای زیرین خاک می شود. این عمل بر ساختمان کلی خاک تأثیر بسزا دارد و اغلب، پدیده گلی^۲ شدن سطحی در خاک پیش می آید (Habibi Kaseb, 1992).

رسانندگی الکتریکی در هر دو لایه رویی و زیرین در زمین بایر کمتر از دو توده درختی بوده است. با توجه به این که در خاک های عادی رسانندگی الکتریکی کمتر از ۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (Elyas Azar, 1995)، از این رو، در هیچ یک از عرصه های مورد بررسی مشکل شوری وجود نداشته است. مقدار آهک در عمق اول و دوم هر سه عرصه برابر صفر بود که شاید علت آن اسیدی بودن خاک و آبشویی شدید منطقه بوده باشد. این حالت همچنین در بیشتر قطعات سری ۱ این حوضه آبخیز (مکارود) دیده می شود (Anonymous, 2022). در تحقیق حاضر، در عمق اول توده های نوئل خالص و نوئل آمیخته تفاوتی در مقدار کربن آلی مشاهده نشد. البته، در اغلب مطالعات، به بیشتر بودن آن در توده های سوزنی برگ اشاره شده است که از طریق افزایش تراکم لاشبرگ در سطح خاک، تأثیر مثبتی در میزان ذخیره کربن خاک ایجاد می شود (Jalilvand et al., 2015). چنان که وو و همکاران (Wu et al., 2019) مقدار کربن آلی خاک را در لایه ۱۰-۰ سانتی متر توده آمیخته ۳۴ ساله (*Pinus massoniana* Lamb.) و *Castanopsis hystrix* Miq. را کمتر از توده خالص همسن

اگر از ۵ ppm کمتر باشد، نشانه کمبود فسفر است (Habumugisha et al., 2019). مقدار فسفر در لایه رویی در تمام عرصه‌ها تا حدی کم مشاهده شد؛ اما علائم ظاهری خاصی در پایه‌ها دیده نشد.

در پژوهش حاضر، پتاسیم خاک در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر در توده نوئل خالص به‌طور معنی‌داری کمتر از توده نوئل آمیخته بود. ثابت شده است که پویایی پتاسیم لاشبرگ سوزنی‌برگان (از جمله *Pinus nigra*) بسیار کمتر از پهن‌برگان است (Eshaghi Rad et al., 2014). بنابراین، به‌نظر می‌رسد که در توده نوئل خالص که در مقایسه با توده نوئل آمیخته، برگ‌های سوزنی بیشتری به خاک می‌ریزد، به‌دلیل کند بودن شدت تجزیه لاشبرگ‌ها، مقدار کمتری پتاسیم به خاک اضافه شده باشد. در تحلیل مقدار پتاسیم خاک باید توجه داشت که پتاسیم در چرخه خود، عنصری پویا و فعال است و به‌سرعت بازسازی و احیا می‌شود. در نتیجه، مقدار آن در خاک سطحی کمایش پایدارتر از سایر عناصر باقی می‌ماند (Jamshidinia et al., 2016). مقدار پتاسیم کل در خاک‌های جنگلی در حدود ۲-۱ درصد است. ولی پتاسیم قابل جذب آن خیلی اندک و اغلب از ۵۰ تا ۲۰۰ ppm تغییر می‌کند (Habibi Kaseb, 1992). به‌نظر می‌رسد که آبشویی زیاد و اسیدی بودن خاک، علت کم شدن پتاسیم (در حد ۲۰۶-۱۲۶ ppm) در عرصه مورد مطالعه بوده است. در کل، پتاسیم برای تشکیل ماده خشک گیاه و عمل فتوسنتز ضروری است و باعث افزایش فشار اسمزی و بهبود جذب آب می‌شود و گیاه را در مقابل پژمردگی و خشکی و یخبندان حفظ می‌کند (Habibi Kaseb, 1992). کمبود پتاسیم در سوزنی‌برگان به‌صورت رنگ‌پریدگی و زرد شدن سوزن‌ها و در پهن‌برگان به‌صورت سبز تیره در برگ‌ها ظاهر می‌شود که در نهایت منجر به خشکی برگ‌ها یا کل درخت می‌شود. این در حالی است که در منطقه مورد بررسی چنین علائمی دیده نشد و می‌توان نتیجه گرفت که پتاسیم خاک عرصه‌ها هنوز در حد لازم وجود دارد.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این تحقیق آشکار کرد که در لایه رویی خاک (۱۰-۰ سانتی متر) مقدار pH، کربن و ازت در بین دو توده آمیخته نوئل و توده خالص نوئل فرقی نکرده است، اما در توده آمیخته اندازه چگالی ویژه و نسبت کربن به نیتروژن کمتر، و برعکس، تخلخل خاک و مقدار عناصر تغذیه‌ای فسفر و پتاسیم بیشتر از آن‌ها در توده خالص بوده است.

به‌طور کلی، از این تحقیق نتیجه گرفته می‌شود که جنگل کاری نوئل آمیخته در مقایسه با جنگل کاری نوئل خالص، تأثیر بهتری بر بهینه شدن مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی در لایه‌های خاک دارد که می‌تواند زمینه را برای رشد مناسب‌تر درختان و تعادل بهتر جنگل فراهم کند.

بوده باشد. همچنین، می‌توان اظهار داشت که بسته‌شدن تاج‌پوشش در قسمت‌هایی از عرصه، موجب از بین رفتن بخش اعظم پوشش زیراشکوب شده باشد که پس از تجزیه و برگشتشان به خاک، نتیجه‌اش افزایش نیتروژن و دیگر مواد آلی خاک بوده است.

مطابق برخی تحقیقات، درصد نیتروژن خاک در توده‌های پهن‌برگ و یا آمیخته بیشتر از توده‌های سوزنی‌برگ است که علت آن را بالا بودن مقادیر نیتروژن لاشبرگ و سرعت تجزیه بیشتر آن نسبت به سوزنی‌برگان ذکر می‌شود (Jafari et al., 2021). در تأیید این مطلب می‌توان به تحقیق جعفری و همکاران (Jafari et al., 2021) اشاره کرد که بیشترین درصد نیتروژن در توده‌های پهن‌برگ آمیخته توسکا بیلاقی-سفیدپلت و نیز توده خالص توسکا بیلاقی، و کمترین آن در توده سوزنی‌برگ خالص زرین به‌دست آمد. در کل، وجود نیتروژن در عرصه‌های مورد بررسی این تحقیق در حد طبیعی و حتی کمی بیشتر بود. از آنجاکه نوئل، هوموس مور تولید می‌کند، ممکن است در چرخه نیتروژن اختلال به‌وجود آید و میزان این عنصر در خاک کم شود. ردایی (Redaei, 1998) چنین وضعی را در جنگل کاری نوئل لاجیم مشاهده کرد. در منطقه تحقیق حاضر، کمبود نیتروژن دیده نشد و در توده نوئل آمیخته این علت را می‌توان همچنین به حضور عناصر پهن‌برگ در این توده مرتبط دانست. درصد نیتروژن در لایه زیرین نسبت به لایه رویی در هر سه عرصه کاهش یافت که مطابق نتایج هابوموگیشا و همکاران (Habumugisha et al., 2019) است.

نسبت کربن به نیتروژن (C/N) در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متر در توده نوئل خالص بیشترین بود. مطابق تحقیق جعفری و همکاران (Jafari et al., 2021)، نسبت کربن به نیتروژن در توده سوزنی‌برگ زرین نسبت به پهن‌برگان افزایش معناداری داشته است. اصولاً، تجزیه‌پذیری مواد آلی با ثابت ماندن سایر شرایط، بستگی به نسبت C/N و نسبت لیگنین به پروتئین آنها دارد. برخی از خاک‌شناسان، تجزیه مناسب مواد آلی را وقتی می‌دانند که این نسبت بین ۲۰ تا ۳۰ باشد (Elyas Azar, 1995). در خاک‌های با فعالیت زیست‌شناختی قوی، مانند خاک‌های قهوه‌ای جنگلی و خاک‌های شسته شده، مقدار C/N پایین و اغلب کمتر از ۱۰ است که علت آن را تثبیت آمونیوم (NH_4) غیرتبادلی در افق‌های معدنی ذکر کرده‌اند (Habibi Kaseb, 1992). خاک منطقه مورد بررسی نیز دارای فعالیت زیستی بالا بود و از رده آلفی‌سول با هوموس مول به‌شمار می‌رفت که از این رو C/N به‌دست‌آمده در عرصه‌ها در حد مطلوب (۱۳-۱۰) بوده است.

همانند یافته‌های مور و همکاران (Mohr et al., 2005)، مقدار فسفر در لایه رویی توده آمیخته نسبت به توده خالص بیشتر بود. مقدار فسفر قابل جذب خاک اگر از ۱۲ ppm و به‌ویژه

References

- Anonymous (2022). Mekaroud forestry plan (district 1), watershed 36 (Kazemroud), General Department of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran, Nowshahr region, Iran (In Persian).
- Ahmadi, T. & Bali, A. (2004). Soil Science, 1st edn., Sorkhdar, Tehran, Iran, 166 pp (In Persian).
- Asadiyan, M., Hojjati, M., Pormajidian, M. R. & Fallah, A. (2012). Biodiversity and soil properties in pine (*Pinus nigra* Arnold.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) plantations (Case study: Alandan Forest, Sari). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2), 299-312 (In Persian).

- Chiti, T., Certini, A., Puglisi, A., Sanesi, A., Capperucci, C. & Forte, C. (2007). Effects of associating a N-fixer species to monotypic oak plantations on the quantity and quality of organic matter in minesoils. *Geoderma*, 138, 162-169.
- Elyas Azar, Kh. (1995). Soil Science, 2nd edn., Academic Center for Education and Research, Urmia, Iran, 396 pp (In Persian).
- Eshaghi Rad, J., Ghaffarnejad, P. & Banedg Shafiee, A. (2014). Quantitative evaluation of *Pinus nigra* plantation and its effect on plant diversity and soil chemical properties of rangeland ecosystems (Case study: Urmia airport plantation). *Iranian Journal of Forest*, 6(4), 471-482 (In Persian).
- Farley, K. A. and Kelly, E. F. (2004). Effects of afforestation of a Paramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management*, 195, 281-290.
- Ghorbani, H., Rahmani, R., Aliarab, A.R., Karimidoost, A. (2018). Trends in woody species diversity across different age classes of *Pinus brutia* and *Cupressus horizontalis* plantations in Ghapan region, east of Golestan. *Iranian Forest Ecology Journal*, 6(11), 21-30 (In Persian). doi:10.29252/ifej.6.11.21
- Habibi Kaseb, H. (1992). Fundamentals of Forest Soil Science, Tehran University, 1st edn., Tehran, Iran, 424 pp (In Persian).
- Habumugisha, V., Mourad, Kh. A. Hashakimana, L. (2019). The effects of trees on soil chemistry. *Current Environmental Engineering*, 6, 35-44.
- Hong, S., Piao, Sh., Chen, A., Liu, Y., Liu, L., Peng, Sh., Sardans, J., Sun, Y., Peñuelas, J. & Zeng, H. (2018). Afforestation neutralizes soil pH. *Nature Communications*, 9, 520.
- Jafari, J., Tabari Kouchaksaraei, M., Hosseini, V. & Sadati, S. E. (2021). Effect of artificial tree stands on physical, chemical properties and soil microbial biomass (case study: Zaghmarz of Neka). *Journal of Forest Research and Development*, 7(1), 123-135 (In Persian). DOI: 10.30466/jfrd.2021.121003
- Jalili, A. & Majdetaheri, H. (1996). Comparative study of afforestation with *Pinus eldarica* and *Robinia pseudoacacia* on some physical and chemical properties of the soil and understory vegetation. *Research and Construction*, 32, 6-15 (In Persian).
- Jalilvand, H., Jafarian, Z. & Yousefi, M. (2015). Effect of forestation hardwood and softwood on soil carbon storage in Berenjestanak forest at Mazandaran Province, *Journal of Natural Environment*, 68(2), 179-190 (In Persian).
- Jamshidinia, Z., Abrari Vajari, K., Sohrabi, A. & Veiskarami, G. H. (2016). Effect of needle- and broad-leaved species plantation on some soil properties in Reymaleh region, Lorestan. *Iranian Journal of Soil Research*, 30(3), 357-365 (In Persian). doi: 10.22092/ijsr.2016.107374
- Kooch, Y. & Hosseini, S. M. (2005). Ecology of Forest Soils (Concepts and Algorithms), 1st edn., Academic Center for Education and Research, Sari, Iran, 414 pp (In Persian).
- Kooch, Y. & Ehsani, S. (2020). The effect of different land uses on new indices of soil quality in central Alborz region. *Iranian Forest Ecology Journal*, 8(16), 60-71 (In Persian). DOI:10.52547/ifej.8.16.60
- Korkanç, S. Y. (2014). Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. *Catena*, 123, 62-69.
- Leege, L.M. & Murphy, P.G. (2000). Growth of the non-native *Pinus nigra* in four habitat on the sand dunes of lake Michigan. *Forest Ecology and Management*, 126, 191-200.
- Merino, A., Fernández-López, A., Solla-Gullón, F. and Edeso, J. M. (2004). Soil changes and tree growth in intensively managed *Pinus radiata* in northern Spain. *Forest Ecology and Management* 196(2), 393-404. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.04.002>
- Mohr, D., Simon, M. & Topp, W. (2005). Stand composition affects soil quality in oak stands on reclaimed and natural sites. *Geoderma*, 129, 45-53.
- Redaei, M. (1998). The effect of afforestation of Norway spruce (*Picea abies*) on the physical and chemical properties of the soil, M.Sc. Thesis. Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran, 120 pp (In Persian).
- Rouhi-Moghaddam, E., Hosseini, S. M., Ebrahimi, E., Rahmani, A., Tabari, M. & Mahdavi, R. (2011). Comparison of some soil characteristics in pure and mixed oak plantations. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(1), 19-48 (In Persian). doi: 10.22092/ijsr.2011.126463
- Varamesh, S., Hosseini, S. M., Abdi, N. & Akbarinia, M. 2009. 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 (In Persian).
- Wu, W., Zhou, X., Wen, Y., Zhu, H., You, Y., Qin, Z., Li, Y., Huang, H., Yan, L., Li, H. & Li, X. (2019). Coniferous-broadleaf mixture increases soil microbial biomass and functions accompanied by improved stand biomass and litter production in subtropical China. *Forests*, 10(10), 879. <https://doi.org/10.3390/f10100879>.