Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Assessment of the recovery of soil physical properties and ground vegetation diversity in abandoned skid trails (Case study: Hezarjarib forests-Neka county)

Mohammad Amiri Dadokolaie[1], Hasan Akbari[*2], Majid Lotfalian[3], Maryam Asadian[4]

1. M.Sc. Graduate of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: aminamiri.58@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: h.akbari@sanru.ac.ir
3. Professor, Dept. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mlotfalian@sanru.ac.ir
4. Ph.D. Graduate of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: m.asadian@sanru.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 11.09.2024
Revised: 02.05.2025
Accepted: 02.06.2025

Keywords:
Bulk density,
Ecosystem restoration,
Principal component analysis,
Trail age,
Vegetation cover

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent decades, excessive and unsustainable logging of forest resources has led to the widespread destruction of forest ecosystems, resulting in severe consequences such as erosion, floods, landslides, soil degradation, and a decline in the biosphere's genetic resources. The construction of roads and logging trails has significantly altered the physical (e.g., soil structure), chemical, and biological properties of the soil, affecting soil microbial communities, litter depth, and the structure and composition of woody and herbaceous vegetation along the trails. While recent studies have explored the recovery of soil properties in skid trails, most have focused on surface soil layers and short-term logging histories. This study, however, investigates the recovery trends of selected soil properties at three sampling depths and the biodiversity of herbaceous cover in abandoned skid trails with long-term logging histories in the forests of the Hazarjarib Neka region (Neka-Zalemrood district).

Materials and Methods: Four abandoned trails, aged 15, 25, 35, and 45 years, were selected for this study. Soil samples were collected at three depths (0-10, 10-20, and 20-30 cm) with three replicates per depth. Laboratory analyses were conducted to measure soil properties, including bulk density, porosity, moisture content, texture, aggregate stability indices (mean weight diameter and geometric mean diameter of aggregates), and organic carbon content. Additionally, the frequency of herbaceous species in each sample plot was recorded to assess plant biodiversity using numerical indices such as species diversity, richness, and evenness. A one-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine significant differences in soil properties related to skid trail age, while principal component analysis (PCA) was employed to evaluate relationships between soil characteristics and biodiversity indices.

Results: The results revealed significant differences in soil properties and biodiversity indices among trails of different ages. The 45-year-old skid

trail showed the highest values for moisture (44.08%, 29.04%, 27.47%), porosity (38.62%, 36.18%, 32.49%), and soil aggregate stability indices (4.66, 4.56, 4.21 mm) across all three sampling depths, while the 15-year-old trail showed the lowest values for these parameters (moisture: 26.19%, 24.67%, 22.68%; porosity: 30.10%, 29.39%, 27.75%; aggregate stability: 4.41, 4.30, 4.09 mm). Bulk density was highest in the 15-year-old trail (1.82, 1.89, 1.91 g/cm³) and lowest in the 45-year-old trail (1.60, 1.71, 1.78 g/cm³). Biodiversity indices, including Simpson's diversity (0.78), Shannon-Wiener's diversity (1.84), and Margalef's richness (3.81), were also highest in the 45-year-old trail. PCA results indicated strong correlations between soil characteristics and biodiversity indices in the 45-year-old skid trail.

Conclusion: The findings suggest that majority of soil properties and biodiversity indices in the 45-year-old skid trail have approached levels observed in control areas. However, even after 45 years, significant differences in these properties persist across all three soil depths compared to undisturbed areas, indicating that compacted soils have not fully recovered. These results underscore the long-term impacts of logging activities on soil and vegetation. To mitigate these effects, proper skid trail management, adherence to operational guidelines during and after logging, and measures to accelerate the recovery process are strongly recommended.

Cite this article: Amiri Dadokolaie, Mohammad, Akbari, Hasan, Lotfalian, Majid, Asadian, Maryam. 2025. Assessment of the recovery of soil physical properties and ground vegetation diversity in abandoned skid trails (Case study: Hezarjarib forests-Neka county). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (4), 21-41.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2025.22964.2080
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

ارزیابی روند احیاء مشخصه‌های خاک و تنوع زیستی پوشش علفی مسیرهای چوبکشی رها شده (منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های هزارجریب– شهرستان نکا)

محمد امیری دادوکلایی[۱]، حسن اکبری*[۲]، مجید لطفعلیان[۳]، مریم اسدیان[٤]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: aminamiri.58@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: h.akbari@sanru.ac.ir

۳. استاد گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: mlotfalian@sanru.ac.ir

٤. دانش‌آموخته دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
رایانامه: m.asadian@sanru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰۸/۱۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۱۱/۱۸

واژه‌های کلیدی:
بازیابی بوم‌سازگان،
پوشش گیاهی،
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی،
چگالی ظاهری،
سن مسیر

چکیده

سابقه و هدف: در دهه‌های گذشته، بهره‌برداری‌های بیش‌ازحد و غیراصولی از منابع جنگلی سبب نابودی بسیاری از بوم‌سازگان‌های جنگلی شده که تبعاتی چون فرسایش، سیل، رانش، هدررفت خاک و کاهش منابع ژنتیکی زیست‌کره را به دنبال داشته است. با احداث جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی، مشخصه‌های فیزیکی (ساختار خاک)، شیمیایی، زیستی، جوامع میکروبی خاک، عمق لاشبرگ و هم‌چنین ساختار و جوامع گیاهی (چوبی و علفی) کنار جاده تحت‌تأثیر قرارگرفته و تغییر می‌کند. در سال‌های اخیر مطالعاتی در رابطه با بررسی روند احیاء خصوصیات خاک در مسیرهای چوبکشی در لایه‌های سطحی خاک و سابقه کوتاه بهره‌برداری انجام شده است؛ اما در این پژوهش به بررسی روند بازیابی برخی از مشخصه‌های خاک در سه عمق نمونه‌برداری و تنوع زیستی پوشش علفی در مسیرهای چوبکشی رها شده با سابقه بهره‌برداری طولانی‌مدت در جنگل‌های منطقه هزارجریب نکا (حوزه نکا ظالمرود) پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر، چهار مسیر چوبکشی با سنین ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ٤۵ ساله انتخاب و نمونه‌برداری از خاک در این مسیرها در سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری و در سه تکرار انجام شد. در این پژوهش مشخصه‌هایی چون چگالی ظاهری، تخلخل، درصد رطوبت، بافت خاک، شاخص‌های پایداری خاکدانه و کربن آلی در آزمایشگاه اندازه‌گیری و هم‌چنین با ثبت فراوانی گونه‌های علفی در هر قطعه نمونه، اندازه‌گیری تنوع

زیستی گیاهی در قالب شاخص‌های عددی تنوع گونه‌ای، غنای گونه‌ای و یکنواختی در هر یک از مسیرهای چوبکشی رهاشده صورت پذیرفت. جهت تجزیه آماری داده‌ها از آزمون پارامتریک تجزیه واریانس (برای سنین مختلف مسیرهای چوبکشی) و هم‌چنین به‌منظور بررسی رابطه ویژگی‌های خاک با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی، پس از استانداردسازی داده‌ها با استفاده از ماتریس همبستگی از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بسیاری از مشخصه‌های خاک و شاخص‌های تنوع و غنا در بین مسیرهای چوبکشی با سنین مختلف دارای تفاوت معنی‌داری با یکدیگر بوده‌اند. در هر سه عمق نمونه‌برداری از خاک بیش‌ترین مقدار مشخصه‌هایی چون رطوبت (٤٤/٠٨، ٢٩/٠٤، ٢٧/٤٧ درصد)، تخلخل (٣٨/٦٢، ٣٦/١٨، ٣٢/٤٩ درصد)، میانگین وزنی قطر خاکدانه (٤/٦٦، ٤/٥٦، ٤/٢١ میلی‌متر)، در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (به‌ترتیب عمق از راست به چپ) و کم‌ترین مقدار رطوبت (٢٦/١٩، ٢٤/٦٧، ٢٢/٦٨ درصد)، تخلخل (٣٠/١٠، ٢٩/٣٩، ٢٧/٧٥ درصد)، میانگین وزنی قطر خاکدانه (٤/٤١، ٤/٣٠، ٤/٠٩ میلی‌متر)، نیز در مسیر چوبکشی ١٥ ساله اندازه‌گیری شد. نتایج تحلیل مشخصه چگالی ظاهری خاک بیانگر آن بوده است که مسیر چوبکشی ١٥ ساله بیش‌ترین مقدار (١/٨٢، ١/٨٩، ١/٩١ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و مسیر چوبکشی ٤٥ ساله کم‌ترین مقدار (١/٦٠، ١/٧١، ١/٧٨ گرم بر سانتی‌مترمکعب) این مشخصه را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار شاخص‌های تنوع سیمپسون (٠/٧٨) و شانون وینر (١/٨٤) و شاخص غنای مارگالف (٣/٨١) نیز در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز بیانگر همبستگی بالای بسیاری از مشخصه‌های خاک با شاخص‌های تنوع زیستی و غنای پوشش علفی در مسیرهای چوبکشی ٤٥ ساله بوده است.

نتیجه‌گیری: طبق نتایج پژوهش حاضر مقادیر بسیاری از مشخصه‌های خاک و شاخص‌های تنوع زیستی در مسیرهای با سن بهره‌برداری ٤٥ سال نزدیک به مقدار آن‌ها در مناطق شاهد بوده است. بسیاری از این مشخصه‌ها حتی با گذشت مدت‌زمان ٤٥ سال از سن بهره‌برداری مسیرهای چوبکشی هنوز دارای اختلاف معنی‌داری در هر سه عمق نمونه‌برداری از خاک نسبت به مناطق شاهد بوده‌اند. این یافته‌ها نشان‌دهنده عدم بازیابی و احیاء کامل خاک‌های کوبیده شده پس از گذشت مدت‌زمان ٤٥ سال از عمر مسیرهای چوبکشی می‌باشد. به همین سبب و با توجه به نتایج پژوهش حاضر، جهت تسریع روند بازیابی مسیرهای چوبکشی، مدیریت مسیرهای چوبکشی، رعایت دستورالعمل‌ها حین انجام عملیات چوبکشی و پس‌ازآن، پیشنهاد می‌شود.

استناد: امیری دادوکلایی، محمد، اکبری، حسن، لطفعلیان، مجید، اسدیان، مریم (١۴٠٣). ارزیابی روند احیاء مشخصه‌های خاک و تنوع زیستی پوشش علفی مسیرهای چوبکشی رها شده (منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های هزارجریب- شهرستان نکا). *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ٣١ (۴)، ۴١-٢١.
DOI: 10.22069/JWFST.2025.22964.2080

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

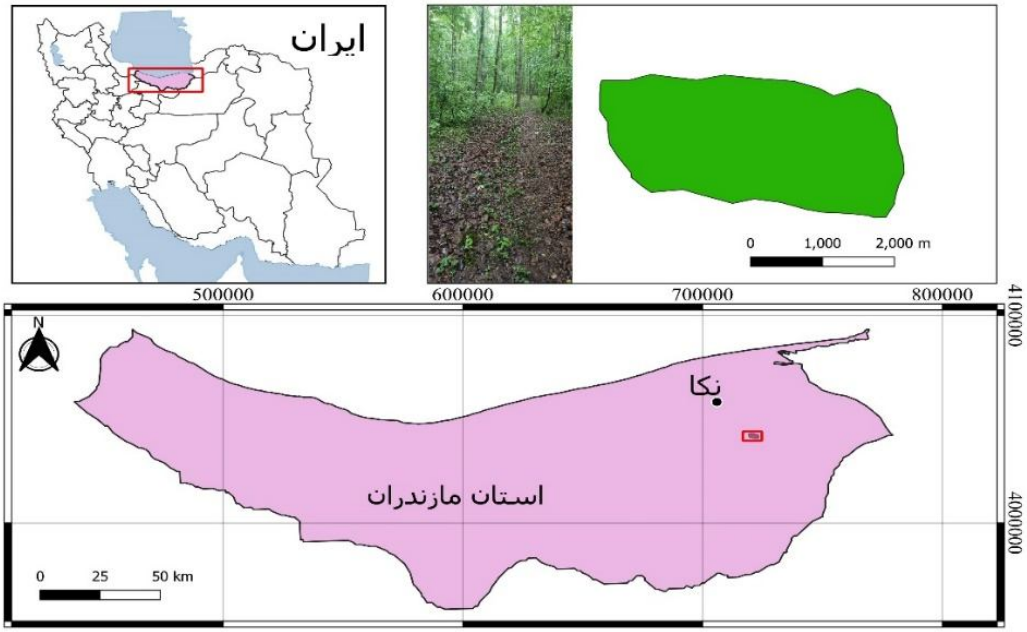
مقدمه

بوم‌سازگان‌های جنگلی هیرکانی یکی از آخرین بازمانده‌های جنگل‌های معتدله در دنیا می‌باشد که از تنوع اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی بالایی برخوردار می‌باشد و از آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های ژنتیکی زیست‌کره یاد می‌شود. از دیرباز این جنگل‌ها به دلایل مختلفی مانند برداشت بی‌رویه، قاچاق چوب، حضور دام و فعالیت‌های کشاورزی دستخوش تغییرات زیادی شده‌اند که سبب کاهش مساحت ۳/٦ میلیون هکتاری این جنگل‌ها به حدود ۱/۸ میلیون هکتار شده است (۱). در دهه‌های گذشته، بهره‌برداری‌های بیش‌ازحد و غیراصولی از منابع جنگلی سبب نابودی بسیاری از بوم‌سازگان‌های جنگلی شده که تبعاتی چون فرسایش، سیل، رانش، هدررفت خاک و کاهش منابع ژنتیکی زیست‌کره را به‌دنبال داشته است (۲). عملیات بهره‌برداری جنگل در طی سالیان گذشته در حال حرکت به‌سوی استفاده از ماشین‌آلات سنگین و پرقدرت برای قطع و خارج کردن محصولات چوبی از جنگل بوده است (۳). بطوریکه تخریب بوم‌سازگان جنگل به‌عنوان اولین پیامد گریزناپذیر تردد این ماشین‌آلات در جنگل خودنمایی می‌کرد (٤). احداث جاده مسیرهای چوبکشی به‌خصوص در مناطق جنگلی کوهستانی یک دخالت عمده در بوم‌سازگان بوده و موجب به هم زدن تعادل طبیعی بوم‌سازگان می‌شود (٤). با احداث جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی، ساختار خاک، مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی، جوامع میکروبی خاک، عمق لاشبرگ و هم‌چنین ساختار و جوامع گیاهی (چوبی و علفی) کنار جاده تحت‌تأثیر قرارگرفته و تغییر می‌کند (۵ و ٦). این تأثیرات بسته به نوع ساختمان جاده، مدت‌زمان و شدت استفاده از آن متغیر می‌باشد، به‌طوری‌که اثرگذاری آن بر محیط اطراف و مجاور، از زمان ساخت تا مدت‌ها بعد از رها کردن آن نیز وجود خواهد داشت (۷). یکی از اولین پیامدهای تردد ماشین‌آلات چوبکشی، افزایش کوبیدگی در لایه سطحی خاک می‌باشد که منجر به افزایش چگالی ظاهری، کاهش تخلخل و تهویه در خاک و کاهش نفوذپذیری آب و هدایت اشباع هیدرولیکی می‌شود (۹ و ۸). در همین راستا می‌توان به نتایج نظری و اعتقادی‌پور (۲۰۲۱) اشاره کرد که در مطالعه خود در رابطه با تأثیر فشردگی ناشی از چوبکشی بر خاک جنگل‌ها، افزایش قابل‌توجه چگالی ظاهری خاک، کاهش تخلخل خاک و کاهش هدایت اشباع هیدرولیکی خاک را گزارش کردند (۱۱). کوبیدگی و برداشته شدن لایه سطحی خاک ممکن است سبب تغییر سیستم و کاهش ریشه دوانی گیاه شود و ظرفیت خاک را در تأمین اکسیژن، عناصر غذایی و آب مورد نیاز گیاه تقلیل دهد (۱۲ و ۱۳). این امر به‌نوبه خود منجر به تغییر شرایط بوم‌شناختی و رقابتی بین گونه‌های موجود در جوامع گیاهی شده و می‌تواند درنهایت منجر به تغییر ترکیب پوشش گیاهی شود (١٤ و ١٥). با ساخت مسیرهای چوبکشی، قسمتی از بوم‌سازگان‌های طبیعی در اثر تردد ماشین‌آلات مختلف تخریب و دستخوش تغییرات زیادی به‌ویژه در فواصل نزدیک به مسیرهای احداثی می‌شدند که گاهاً به روش‌های مختلف اقدام به احیاء آن‌ها می‌شد. احیا و بازیابی مشخصه‌های خاکی این مناطق به عوامل مختلفی از جمله درجه تراکم خاک، عمق فشردگی لایه معدنی خاک، نوع خاک، پوشش گیاهی و شرایط آب و هوایی منطقه بستگی دارد. بنابراین با توجه به عوامل ذکر شده ممکن است بین ۵ تا ٤۰ سال زمان جهت احیای چنین عرصه‌هایی نیاز باشد (١٦). محدودیت سطح عرصه‌های جنگلی شمال کشور از یک سو و قابلیت ویژه و منحصربه‌فرد بودن این جنگل‌ها به لحاظ تنوع گونه‌های گیاهی از سوی دیگر، لزوم بهره‌برداری اصولی با نگاه ویژه به وضعیت

احیاء و بازسازی عرصه‌های آسیب‌دیده‌ی جنگلی را به متولیان منابع طبیعی تأکید می‌کند. در همین راستا و به‌منظور کمک به تدوین دستورالعمل‌های کارآمد مدیریتی، انجام پژوهش‌های مختلفی چون مطالعه اثرات رها شدن مسیرهای چوبکشی بر بوم‌سازگان جنگل و بررسی روند احیاء و بازیابی خصوصیات مختلف خاک و پوشش گیاهی مسیرهای ساخته‌شده، بسیار دارای اهمیت می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعاتی در رابطه با بررسی روند احیاء خصوصیات خاک در مسیرهای چوبکشی انجام شده است؛ اما ازآن‌جایی‌که پیدا کردن مسیرهایی در طبیعت با سابقه بهره‌برداری طولانی‌مدت به‌راحتی امکان‌پذیر نبوده است، اکثر مطالعات بر مسیرهایی با سابقه کوتاه بهره‌برداری و در لایه‌های سطحی خاک تمرکز داشته است. به همین منظور در این مطالعه جهت بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر، مسیرهای چوبکشی رها شده با سنین مختلف و سابقه بهره‌برداری طولانی‌تر (۱۵، ۲۵، ۳۵ و ٤۵ سال) و اعماق مختلف نمونه‌برداری از خاک (۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک) جهت بررسی روند احیاء مشخصه‌های مختلف خاک و تنوع زیستی پوشش علفی در جنگل‌های منطقه هزارجریب نکا از بخش سه حوزه نکا ظالمرود در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر در جنگل‌های استان مازندران، منطقه هزارجریب شهرستان نکا از بخش سه حوزه نکا ظالمرود، در چهار پارسل مجاور هم از سری چهار شامل پارسل‌های ۲۳، ۲٦، ۲۸ و ۳۰ که تیپ عمده جنگلی آن توسکا ییلاقی است، انجام شد. این منطقه با مختصات عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۳٦ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵۹ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۹ دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه و ٤۰ ثانیه با ارتفاع از سطح دریای آزاد ۷۵۰ متر قرار دارد که دارای شیب یکسان و دامنه شمالی می‌باشد (شکل ۱). لازم به ذکر است که عرصه‌های جنگلی در ادوار گذشته به شیوه تک‌گزینی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند و هم‌چنین از ماشین‌آلاتی چون اسکیدرهای چرخ لاستیکی (تیمبرجک) جهت حمل‌ونقل چوب‌آلات استفاده شده است (۱۷). به لحاظ موجودی در هکتار جز جنگل‌های تولیدی و مرغوب به‌شمار می‌آید. گونه‌های درختی عمده این منطقه عبارت‌اند از: توسکا ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، انجیلی (*Parrotia persica* (DC.) C.A. Meyer.)، خرمندی (*Diospyros lotus* L.)، راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) و افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.) می‌باشد که گونه غالب آن توسکا ییلاقی می‌باشد و پوشش علفی عمده زیرآشکوب درختان و گونه‌های علفی همراه آن عبارتند از کوله‌خاس (*Ruscus hyrcanus Woronow*)، بنفشه جنگلی (*Viola odorata* L.)، کارکس (*Carex remota* L.)، سرخس پنجه‌ای (*Pteris cretica* L.)، سیکلامن (*Cyclamen coum* Mill.)، متامتی (*Hypericum androsaemum* L.)، زنگی دارو (*Asplenium scolopendrium* L.)، النا (*Oplismenus undulatifolius* (Ard.) P.Beauv) و شیرسگ (*Euphorbia amygdaloides* L.) می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران.

Figure 1. Location of the study area in Mazandaran province.

روش انجام پژوهش: برای انجام این پژوهش، نخست با انجام مطالعات میدانی و بهره‌گیری از تجربیات میدانی قرقبانان و اطلاعات موجود در کتابچه طرح منطقه، تعدادی از مسیرهای چوبکشی رها شده در مناطق تحت مدیریت شرکت نکاچوب در منطقه هزارجریب نکا، شناسایی و انتخاب شد. به‌منظور بررسی تأثیر سنین مختلف مسیر چوبکشی بر برخی مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی، تعداد ٤ مسیر چوبکشی با سنین ۱۵ (پارسل ۲۳)، ۲۵ (پارسل ۲٦)، ۳۵ (پارسل ۲۸)، ٤۵ (پارسل ۳۰) سال که دارای طول ۵۰۰ الی ۸۰۰ متر و عرض بین ۳ تا ٤ متر، فاقد وجود آبراهه در طول مسیر می‌باشند، در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که این مسیرها دائمی بوده‌اند و شیب طولی مسیرها تقریباً مشابه هم و تقریباً یکنواخت در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بوده است. طبق اطلاعات موجود تعداد حداقل بیش از ۲۰ تردد در این مسیرها صورت گرفته است. هم‌چنین عملیات چوبکشی در روزهای مجاز از لحاظ رطوبتی (دو تا سه روز بعد از بارنگی) انجام شده است (۱۷). در هر یک از مسیرهای چوبکشی جهت اندازه‌گیری مشخصه‌های مختلف خاک سه تکرار لحاظ شد، ابتدا نقطه اول به‌صورت تصادفی انتخاب و سپس نمونه‌های بعدی با فواصل ۱۰۰ متری (۱۸) از محل نمونه اول انتخاب (طرح آماری تصادفی سیستماتیک) و هم‌چنین در خارج از مسیر چوبکشی (با فاصله ٤۰-۳۰ متر از لبه یا حاشیه مسیر به سمت قسمت‌های داخلی جنگل) به‌عنوان منطقه شاهد در نظر گرفته شد (۱۹). در این مطالعه نمونه‌برداری از خاک از سه عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰ سانتی‌متری با استفاده از استوانه استیل (سیلندر) به قطر ۸ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر صورت گرفت. پس از برداشت حدوداً ۵۰۰ گرم خاک از هر نقطه نمونه‌برداری و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، پارامترهای فیزیکی خاک مانند چگالی

ظاهری به روش سیلندر (حلقه)، بافت خاک به روش هیدرومتری، درصد رطوبت به روش توزین و خشک‌کردن اندازه‌گیری و برای ارزیابی شاخص پایداری خاکدانه از سری الک‌ها و دستگاه الک چرخان (روش الک خشک) استفاده شد (۲۰)، هم‌چنین درصد کربن آلی (ویژگی شیمیایی خاک) به روش والکی بلاک اندازه‌گیری شد (۲۱). جهت بررسی وضعیت تنوع زیستی گونه‌های علفی در هر یک از این نقاط، قطعات نمونه به ابعاد ٤×۱۰ متر پیاده (٦) و سپس در هر یک از این قطعات درصد گونه‌های علفی محاسبه شد. در همین راستا جهت اندازه‌گیری تنوع زیستی، در درون هر قطعه نمونه نوع گونه‌های گیاهی شناسایی و وفور و چیرگی آن‌ها بر پایه معیارهای براون- بلانکه برآورد شد. لازم به یادآوری است که گیاهان منطقه، جمع‌آوری‌شده و توسط فلور ایرانیکا، عراق، ترکیه به‌طور دقیق شناسایی شدند. برای مقایسه تنوع زیستی در عرصه‌های مورد مطالعه، داده‌های اندازه‌گیری شده در هر مسیر به همراه شاهد متناظر با آن (به‌ازای هر پلات) وارد نرم‌افزار past شده و شاخص‌های تنوع (Shanoon, Simpson) و شاخص‌های غنای (Menhinick, Margalef) و شاخص‌های یکنواختی (Equitability , Evenness) محاسبه شد (۲۲).

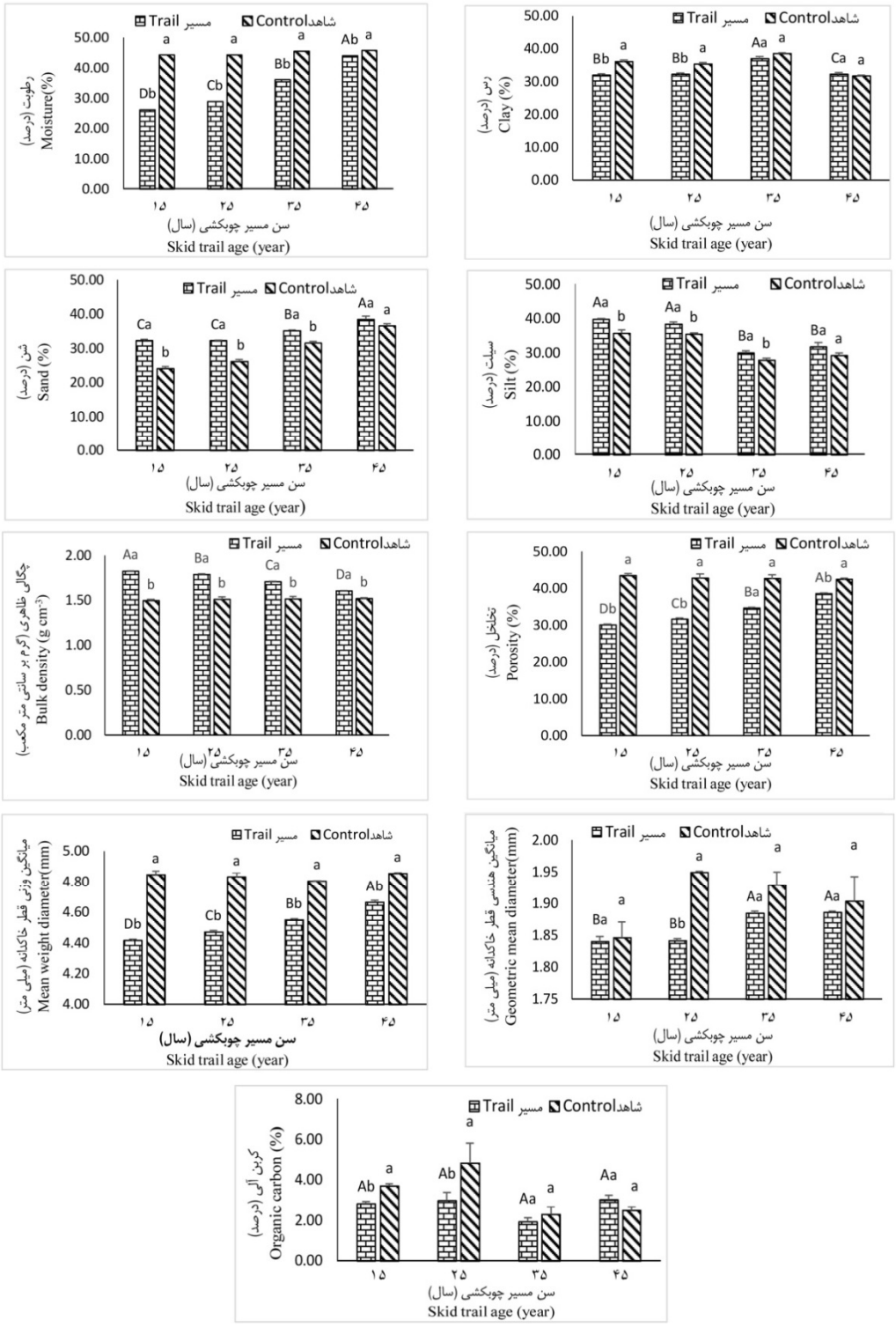
تحلیل آماری: جهت تجزیه آماری داده‌ها پس از بررسی صحت نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون، از آزمون پارامتریک تجزیه واریانس (برای سنین مختلف مسیرهای چوبکشی) و جهت تحلیل آماری داده‌ها بین هر سن از مسیر با شاهد متناظر، از آزمون t مستقل در محیط نرم‌افزار SPSS ورژن ۲٦ استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی رابطه ویژگی‌های خاک با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی، پس از استانداردسازی داده‌ها با استفاده از ماتریس همبستگی از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA[1]) در نرم‌افزار PC-ORD استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری: نتایج تحلیل واریانس نشان داد که در بین مسیرهای چوبکشی با سنین مختلف بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (٤٤/۰۸ درصد) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۱٥ ساله (۲٦/۱۹ درصد) مشاهده شده است که نسبت به سطح شاهد متناظر (٤٥/۷٦، ٤٤/۲۸ درصد) به ترتیب حدود ٤ و ٤۱ درصد کاهش را نشان داده‌اند. بیش‌ترین مقدار مشخصه درصد رس خاک در بین مسیرهای چوبکشی، در مسیر چوبکشی ۳٥ ساله (۳۸/٥۱ درصد) مشاهده شد، حال آن‌که کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۳۱/٦٦ درصد) مشاهده شد (بدون تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد متناظر). بیش‌ترین مقدار معنی‌داری مشخصه شن خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۳٦/٦۲ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱٥ ساله (۲٤/۱۰ درصد) مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد متناظرش (۳۲/۳۱ درصد) حدود ۲٥ درصد افزایش را نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری سیلت خاک در مسیر چوبکشی ۱٥ (۳۹/۷۷ درصد) و ۲٥ ساله (۳۸/٤۲ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۳٥ ساله (۳۰/۰۳ درصد) مشاهده شد. مقدار این مشخصه در مسیرهای ذکر شده نسبت به

1- Principal component analysis

شاهد متناظر (۳۵/۷۱، ۳۵/٤۷، ۲۷/۸۹ درصد) به‌ترتیب ۱۱، ۸ و ۷ درصد افزایش را نشان داده‌اند. نتایج مقایسه میانگین چگالی ظاهری خاک در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی بیانگر آن بوده است که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱/۸۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ٤۵ سال (۱/٦۰ گرم بر سانتی‌مترمکعب) مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار این مشخصه در مسیرهای چوبکشی ذکر شده نسبت به منطقه شاهد متناظر (۱/۵۰، ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب) به ترتیب حدود ۲۲ و ۵ درصد افزایش نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌دار مشخصه تخلخل خاک در بین مسیرهای چوبکشی، در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (۳۸/٦۲ درصد) مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در سطح شاهد (٤۲/۵۲ درصد) حدود ۹ درصد کاهش نشان داد حال آن‌که کم‌ترین مقدار این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۳۰/۱۰ درصد) با ۳۰ درصد کاهش نسبت به سطح شاهد (٤۳/۵۲ درصد) مشاهده شد. مقایسه میانگین مشخصه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی نشان داد که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (٤/٦٦ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (٤/٤۱ درصد) مشاهده شد که به‌ترتیب ٤ و ۹ درصد نسبت به مقدار آن در منطقه شاهد (٤/۸٦، ٤/٤۸ میلی‌متر) کاهش نشان داد. بیش‌ترین مقدار (۱/۸۹ میلی‌متر) معنی‌داری مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (بدون تفاوت آماری نسبت به شاهد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۲۵ ساله (۱/۸٤ میلی‌متر) با حدود ۵ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۱/۹۵ میلی‌متر) مشاهده شد. مشخصه کربن آلی خاک در بین مسیرهای مختلف دارای تفاوت معنی‌داری نبوده است. در مورد مقایسه مقدار کربن اندازه‌گیری‌شده مسیرها با شاهد متناظر، مسیر چوبکشی ۲۵ ساله (۲/۹۵ درصد) بیش‌ترین تفاوت را نسبت به شاهد (٤/۸٤ درصد) متناظرش (حدود ۳۸ درصد کاهش نسبت به شاهد) نشان داده است و هم‌چنین در سنین بالاتر تفاوت آماری معنی‌داری بین مسیر و شاهد متناظر مشاهده نشده است (شکل ۲).



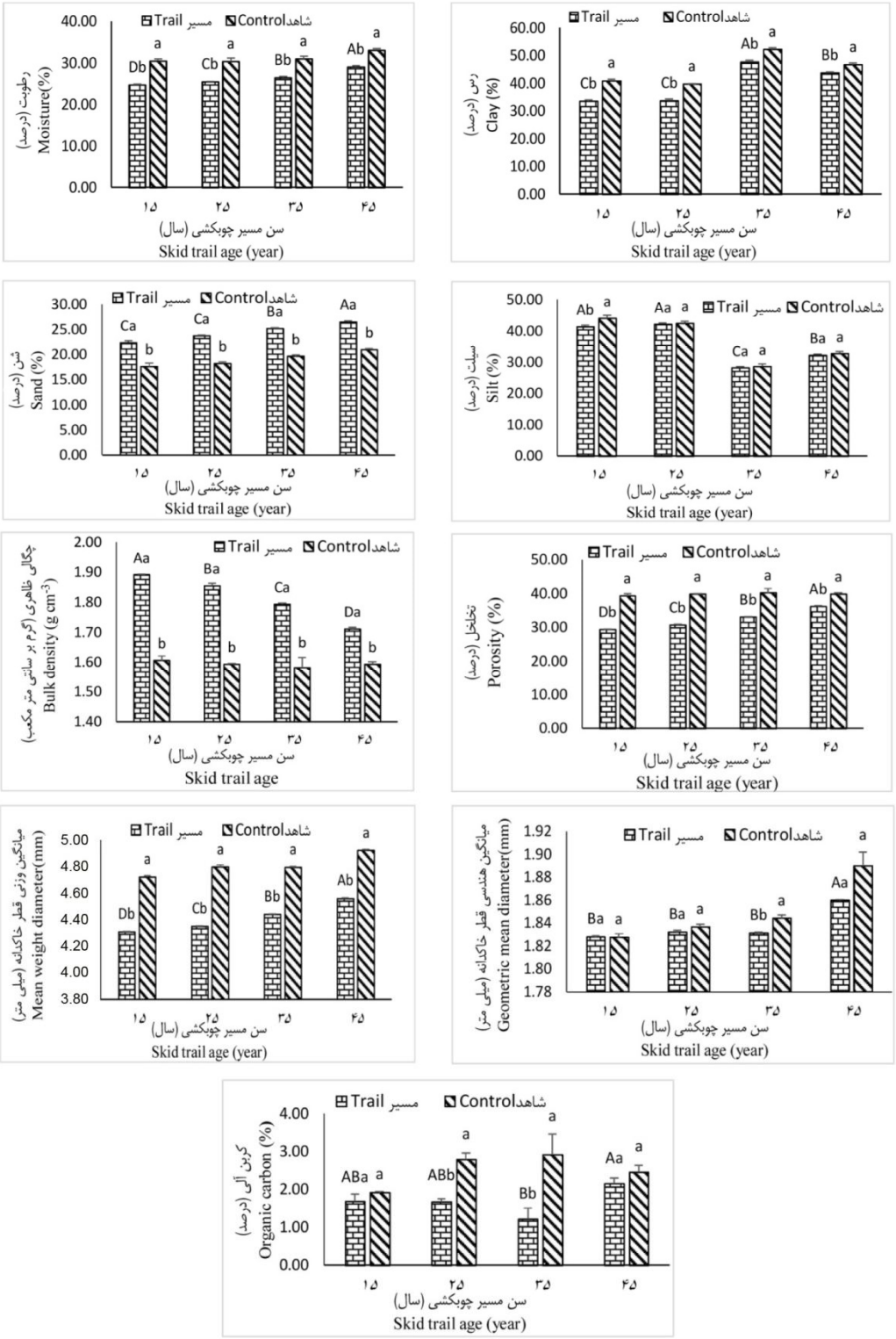
شکل ۲- مقایسه میانگین مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک.

Figure 2. Mean comparison of soil different characteristics in 0-10 cm soil depth.

(حروف متفاوت بزرگ لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین سنین مختلف و حروف متفاوت کوچک لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین هر مسیر با شاهد متناظر با آن).

(The different uppercase latin letters indicate significant difference between different age and the different lowercase latin letters indicate significant difference between each trail and its corresponding control).

مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری: نتایج تحلیل واریانس نشان داد که در بین مسیرهای چوبکشی با سنین مختلف بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۲۹/۰٤ درصد) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۲٤/٦۸ درصد) مشاهده شده است که نسبت به سطح شاهد متناظر (۳۳/۰۵ درصد، ۳۰/٤٦ درصد) به ترتیب حدود ۱۲ و ۱۹ درصد کاهش را نشان داده‌اند. بیش‌ترین مقدار مشخصه درصد رس خاک، در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (۵۲/۲۲ درصد) مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در سطح شاهد (٤۷/۷۹ درصد) حدود ۹ درصد کاهش نشان داد. حال آن‌که کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۲۵ ساله (۳۹/٦۷ درصد) با حدود ۱۷ درصد کاهش نسبت به شاهد (۳۳/۷٦ درصد) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری مشخصه شن خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۲۱/۰۱ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱۷/٦۸ درصد) مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد متناظرش (۲۳/٤۹، ۲۲/۳۹ درصد) به‌ترتیب حدود ۱۰ و ۲۱ درصد افزایش را نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری سیلت خاک (٤۱/۳٦ درصد) در مسیر چوبکشی ۱۵ (حدود ٦ درصد کاهش نسبت به شاهد) و ۲۵ ساله (٤۲/۱۱ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (۲۸/۱٤ درصد) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین چگالی ظاهری خاک در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی بیانگر آن بوده است که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱/۸۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ٤٥ سال (۱/۷۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب) مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار این مشخصه در مسیرهای چوبکشی ذکر شده نسبت به منطقه شاهد متناظر (۱/٦۰، ۱/۵۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب) به ترتیب حدود ۱۷ و ۷ درصد افزایش نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌دار مشخصه تخلخل خاک در بین مسیرهای چوبکشی، در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۳٦/۱۸ درصد) مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در سطح شاهد (۳۹/۸۷ درصد) حدود ۹ درصد کاهش نشان داد. حال آن‌که کم‌ترین مقدار این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۲۹/۳۹ درصد) با ۲۵ درصد کاهش نسبت به سطح شاهد (۳۹/۳۷ درصد) مشاهده شد. مقایسه میانگین مشخصه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی نشان داد که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (٤/۵٦ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (٤/۳۰ میلی‌متر) مشاهده شد که به ترتیب ۷ و ۸ درصد نسبت به مقدار آن در منطقه شاهد (٤/۹۲، ٤/۷۲ میلی‌متر) کاهش نشان داد. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (۱/۸٦ میلی‌متر) در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (بدون تفاوت آماری نسبت به شاهد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (۱/۸۳ میلی‌متر) با حدود ۰/۷ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۱/۸٤ میلی‌متر) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار مشخصه کربن آلی خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ سال (۲/۱۵ درصد) و کم‌ترین مقدار آن (۱/۲۱ درصد) در مسیر ۳۵ سال (با ۵۸ درصد کاهش نسبت به شاهد) اندازه‌گیری شده است. (شکل ۳).



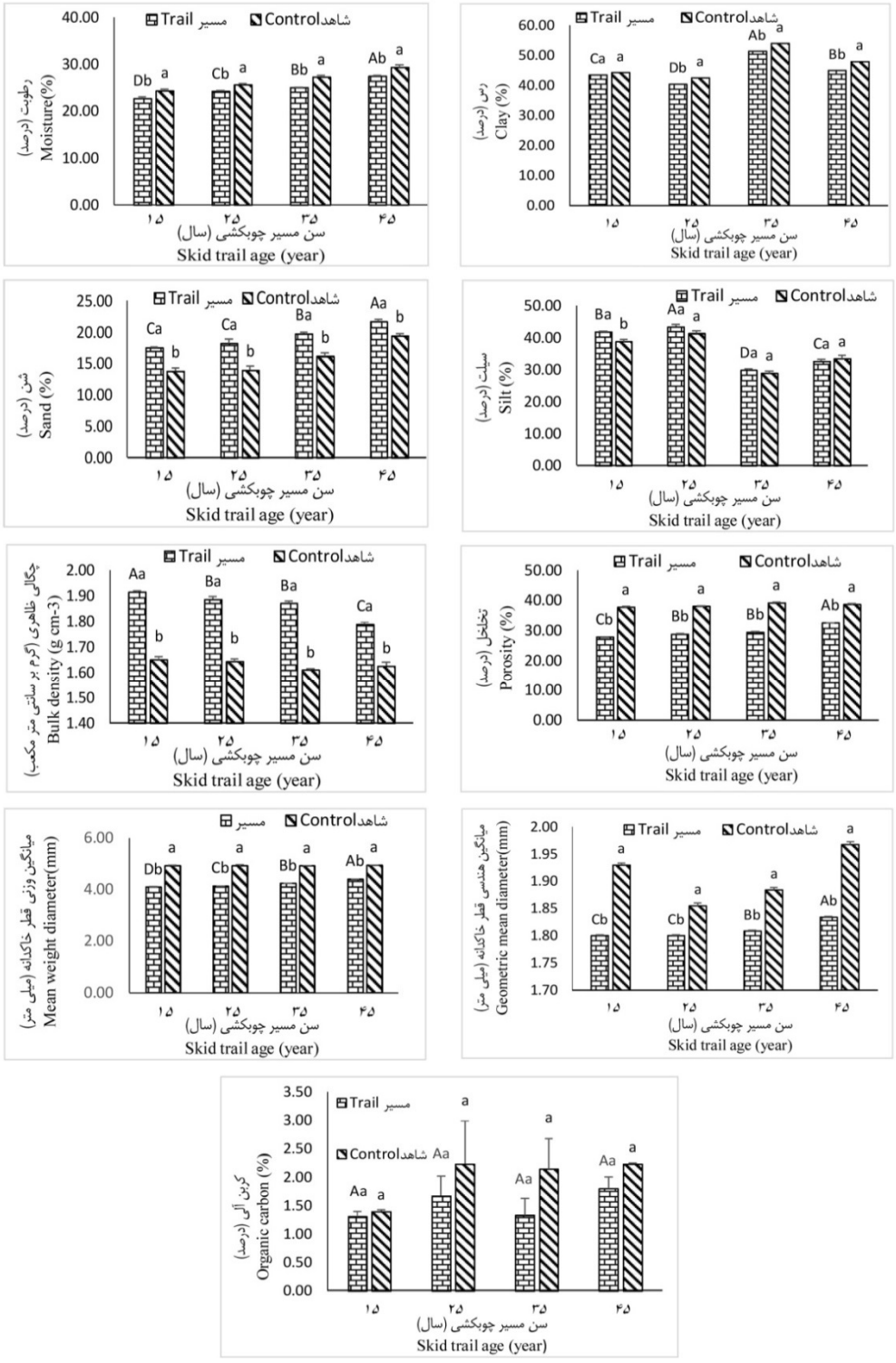
شکل ۳- مقایسه میانگین مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک.

Figure 3. Mean comparison of soil different characteristics in 10-20 cm soil depth.

(حروف متفاوت بزرگ لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین سنین مختلف و حروف متفاوت کوچک لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین هر مسیر با شاهد متناظر با آن).

(The different uppercase latin letters indicate significant difference between different age and the different lowercase latin letters indicate significant difference between each trail and its corresponding control).

مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری: نتایج تحلیل واریانس نشان داد که در بین مسیرهای چوبکشی با سنین مختلف بیش‌ترین مقدار رطوبت خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۲۷/٤۷ درصد) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۲۲/٦۹ درصد) مشاهده شده است که نسبت به سطح شاهد متناظر (۲٤/۳۳ درصد) حدود ٦ درصد کاهش را نشان داده‌اند. بیش‌ترین مقدار مشخصه درصد رس خاک در بین مسیرهای چوبکشی، در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (۵۳/۹۹ درصد) مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در سطح شاهد (۵۱/۲۸ درصد) حدود ۵ درصد کاهش نشان داد. حال آن‌که کم‌ترین مقدار آن (٤۲/۵٦ درصد) در مسیر چوبکشی ۲۵ ساله مشاهده با حدود ٤ درصد کاهش نسبت به شاهد (٤۰/٤۵ درصد) مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری مشخصه شن خاک در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۱۹/٤۷ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱۳/۸۵ درصد) مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد متناظرش (۲۱/٦٦، ۱۷/۵۹ درصد) به ترتیب حدود ۱۰ و ۲۱ درصد افزایش را نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری سیلت خاک در مسیر چوبکشی ۲۵ سال (٤۳/٤۵ درصد) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن (۲۹/۸٤ درصد) در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (بدون تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد) مشاهده شد. نتایج مقایسه میانگین چگالی ظاهری خاک در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی بیانگر آن بوده است که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱/۹۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ٤٥ سال (۱/۷۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب) مشاهده شد، به‌طوری‌که مقدار این مشخصه در مسیرهای چوبکشی ذکر شده نسبت به منطقه شاهد متناظرشان (۱/٦۵، ۱/٦۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب) به ترتیب حدود ۱٦ و ۱۰ درصد افزایش نشان داده است. بیش‌ترین مقدار معنی‌دار مشخصه تخلخل خاک در بین مسیرهای چوبکشی، در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۳۲/٤۹ درصد) مشاهده شد که نسبت به مقدار آن در سطح شاهد (۳۸/٦۱ درصد) حدود ۱۵ درصد کاهش نشان داد حال آن‌که کم‌ترین مقدار این مشخصه در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۲۷/۷۵ درصد) با ۲٦ درصد کاهش نسبت به سطح شاهد (۳۷/۷۳ درصد) مشاهده شد. مقایسه میانگین مشخصه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در ارتباط با سنین مختلف مسیر چوبکشی نشان داد که بیش‌ترین مقدار معنی‌داری این مشخصه در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (٤/٤۰ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (٤/۰۹ میلی‌متر) مشاهده شد که به ترتیب ۱۰ و ۱٦ درصد نسبت به مقدار آن در منطقه شاهد (٤/۹۵، ٤/۹۳ میلی‌متر) کاهش نشان داد. بیش‌ترین مقدار معنی‌داری مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در مسیر چوبکشی ٤٥ ساله (۱/۸۳ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار معنی‌دار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۱/۷۹ میلی‌متر) با حدود ٦ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۱/۹۳ میلی‌متر) مشاهده شد. مشخصه کربن آلی خاک در بین مسیرهای مختلف و هم‌چنین در هر مسیر نسبت به شاهد متناظر آن دارای تفاوت معنی‌داری نبوده است (شکل ٤).



شکل ٤- مقایسه میانگین مشخصه‌های مختلف خاک در عمق ۳۰-۲۰ سانتی‌متری خاک.

Figure 4. Mean comparison of soil different characteristics in 20-30 cm soil depth.

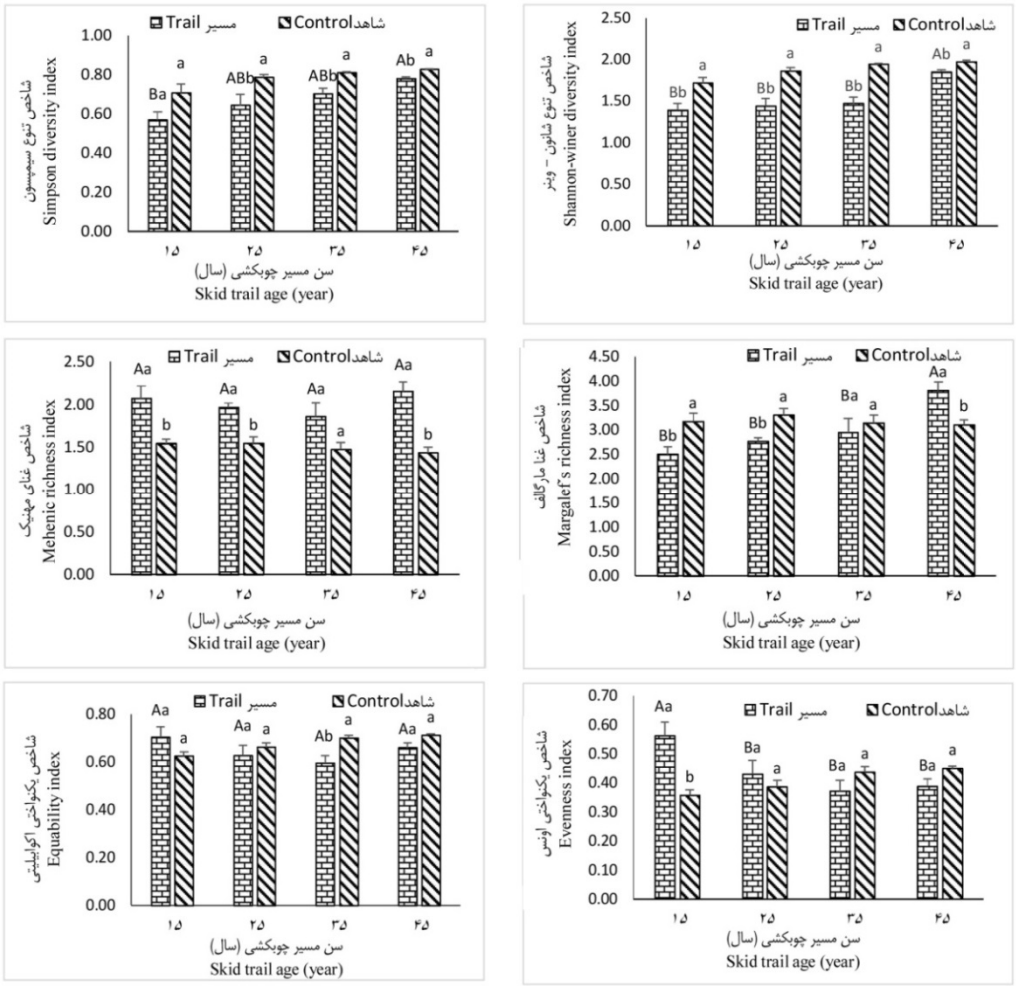
(حروف متفاوت بزرگ لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین سنین مختلف و حروف متفاوت کوچک لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین هر مسیر با شاهد متناظر با آن).

(The different uppercase latin letters indicate significant difference between different age and the different lowercase latin letters indicate significant difference between each trail and its corresponding control).

در بررسی حاضر مشخصه‌های مختلف خاک در هر سه عمق نمونه‌برداری (۰-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری) تفاوت معنی‌داری را در بین مسیرهای مختلف چوبکشی از خود نشان داده‌اند. به‌طوری‌که این تفاوت‌ها در هر سه عمق مورد مطالعه از خاک تقریباً مشابه هم بوده‌اند. در این مطالعه بالا بودن مقدار رطوبت خاک در مسیرهای چوبکشی ٤٥ ساله را می‌توان به نزدیک شدن شرایط این سن از مسیر به شرایط طبیعی عرصه (نزدیک شدن به شرایط رطوبتی خاک منطقه شاهد)، حضور و استقرار پوشش گیاهی و لایه‌های لاشبرگ در چنین مسیرهایی نسبت داد. حضور پوشش علفی و به دنبال آن لاشه‌ریزی به‌عنوان یک عایق منجر به کاهش تبخیر و تعرق و به دنبال آن افزایش نگه داشت رطوبت در خاک می‌شود (۲۳). در مطالعه حاضر بیش‌تر بودن مقدار رطوبت خاک در منطقه شاهد در مقایسه با مسیرهای چوبکشی را می‌توان به بیش‌تر بودن مقدار کربن و ماده آلی خاک منطقه شاهد نسبت به مسیر نسبت داد؛ زیرا ماده آلی از طریق کاهش تبخیر و تعرق، کاهش سرعت قطرات باران باعث افزایش نرخ نفوذ و درنهایت افزایش جذب آب در خاک می‌شوند (٢٤). دلیل تفاوت عمده در میزان شن و رس مسیرهای چوبکشی و منطقه شاهد را می‌توان تغییرات ساختار طبیعی خاک در معرض تراکم همراه با جریان‌های سطحی احتمالی، شدت و میزان بارندگی و در نتیجه آبشویی ذرات خاک و اثرات فرسایش عنوان نمود (۲۵). پایین بودن مقدار رس و بالا بودن مقدار شن در مسیرهای چوبکشی در مقایسه با منطقه شاهد در هر سه عمق نمونه‌برداری از خاک را می‌توان به مسئله کوبیدگی خاک، کاهش تخلخل و به دنبال آن کاهش نفوذپذیری آب در خاک و در نتیجه ایجاد رواناب نسبت داد، به‌طوری‌که در نتیجه این امر افزایش فرسایش، شسته شدن بیش‌تر ذرات ریز رس و بجا گذاشتن ذرات درشت‌تر شن در طول مسیرهای چوبکشی رخ خواهد داد (۹). در پژوهش حاضر بیش‌ترین میزان چگالی ظاهری و کم‌ترین میزان تخلخل خاک در مسیر چوبکشی ۱۵ سال (جوان‌ترین مسیر چوبکشی) اندازه‌گیری شده است. در اثر چوبکشی با استفاده از ماشین‌آلات زمینی و به دنبال آن انتقال نیرو به ذرات خاک و افزایش پیوستگی و فشردگی ذرات به هم چگالی ظاهری خاک در لایه‌های بالایی خاک افزایش یافته و به دنبال آن میزان تخلخل خاک و نفوذپذیری خاک نیز کاهش می‌یابد (٢٦ و ۱۹). در این دست مطالعات مقادیر وزن مخصوص ظاهری خاک روند معکوسی نسبت به مشخصه‌های درصد تخلخل داشته و در سطح مسیر چوبکشی در لایه‌های یکسان خاک مقدار آن به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از منطقه شاهد و مقدار تخلخل کم‌تر از منطقه شاهد می‌باشد. در واقع وجود ماده آلی بیش‌تر در خاک منطقه شاهد در مقایسه با مسیرهای چوبکشی موجب افزایش تخلخل شده و ازاین‌رو با افزایش ماده آلی وزن مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (۲۷ و ۲۸). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در مسیر چوبکشی، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها شامل میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در مسیرهای چوبکشی ٤٥ سال بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. در واقع طبق نتایج پژوهش حاضر مقدار مشخصه‌های مذکور با افزایش سن مسیر چوبکشی و نزدیک شدن به شرایط منطقه شاهد، افزایش یافته‌اند. در این مطالعه بیش‌تر بودن مقدار شاخص‌های پایداری خاکدانه در منطقه شاهد در مقایسه با مسیرهای چوبکشی را می‌توان در ارتباط مستقیم با مقدار ماده آلی در خاک

چنین عرصه‌هایی دانست. ماده آلی به‌عنوان یک عامل سیمانی‌کننده عمل کرده و برای هماوری ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌های مقاوم اهمیت به‌سزایی دارد. به‌طورمعمول خاک‌هایی که به نسبت دارای مواد آلی بیش‌تری هستند، خاکدانه‌های پایدارتری هم دارند (۲۹). پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخص مقاومت خاک در مقابل نیروهای تخریب‌کننده ساختمان خاک مانند باد و بارش، رواناَب و نیروی وارد شده در اثر تردد ماشین‌آلات تعریف شود (۳۰ و ۳۱).

شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی: نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین‌ها در ارتباط با سن مسیرهای چوبکشی نشان داد که میانگین شاخص تنوع سیمپسون در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله دارای کم‌ترین مقدار معنی‌دار (۰/۷۵) و در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (۰/۷۸) دارای بیش‌ترین مقدار معنی‌داری با حدود ۵ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۰/۸۲) می‌باشد. بیش‌ترین مقدار شاخص تنوع شانون–وینر (۱/۸۵) در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله با حدود ٦ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۱/۹۷) و کم‌ترین مقدار آن (۱/۳۹) در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله با حدود ۱۵ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۱/۷۱) اندازه‌گیری شده است. نتایج مقایسه میانگین شاخص غنای منهنیک بیانگر آن بوده است که تفاوت آماری معنی‌داری بین میانگین شاخص مذکور در سنین مختلف مسیرهای چوبکشی مشاهده نشده است. در بین مسیرهای مختلف چوبکشی، بیش‌ترین تفاوت مقدار شاخص غنای منهنیک بین مسیر و شاهد متناظر در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (۲/۱٦) با حدود ۳۷ درصد افزایش نسبت به شاهد (۱/٤۳) اندازه‌گیری شده است. بیش‌ترین مقدار شاخص غنای مارگالف در مسیر چوبکشی ٤۵ ساله (۳/۸۱) با حدود ۲۲ درصد افزایش نسبت به منطقه شاهد (۳/۱۱) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۲/۵۰) با حدود ۲۱ درصد کاهش نسبت به منطقه شاهد (۳/۱۷) مشاهده شد. مقایسه میانگین شاخص یکنواختی اکوابیلیتی در ارتباط با سن مسیرهای چوبکشی تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداده است. در رابطه با این شاخص، بین مسیرهای مختلف چوبکشی، تنها مسیر ۳۵ ساله (۰/۵٦) دارای تفاوت معنی‌داری با شاهد متناظرش بوده است با حدود ۱٤ درصد کاهش نسبت به شاهد (۰/۷). بیش‌ترین مقدار شاخص یکنواختی اونس در مسیر چوبکشی ۱۵ ساله (۰/۵٦) با حدود ۳۹ درصد افزایش نسبت به منطقه شاهد (۰/۳٦) و کم‌ترین مقدار آن در مسیر چوبکشی ۳۵ ساله (۰/۳۷) مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی پوشش علفی.

Figure 5. Mean comparison of diversity, richness and equitability index of plant cover.

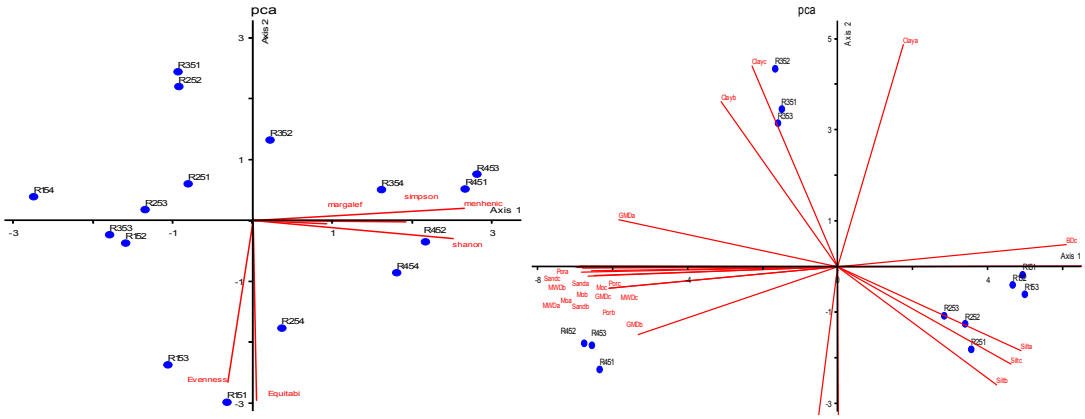
(حروف متفاوت بزرگ لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین سنین مختلف و حروف متفاوت کوچک لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری بین هر مسیر با شاهد متناظر با آن).

(The different uppercase latin letters indicate significant difference between different age and the different lowercase latin letters indicate significant difference between each trail and its corresponding control).

با ایجاد مسیرهای چوبکشی و تغییر در یک بوم‌سازگان جنگلی، در واقع بخشی از پوشش گیاهی موجود از بین رفته و به دنبال آن منابع غذایی، آب و نور مورد نیاز گیاهان دچار نوسان شده و نوسانات به وجود آمده با تأثیر بر شرایط رقابتی بین گونه‌های گیاهی موجود، سبب تغییر در ترکیب و تنوع گونه‌های گیاهی می‌شود (۱٤ و ۳۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مقدار عددی هر دو شاخص تنوع (سیمپسون و شانون-وینر) و شاخص غنای مارگالف در منطقه شاهد بیش‌تر از مسیر چوبکشی بوده و با افزایش سن مسیر چوبکشی مقدار عددی این شاخص‌ها نیز افزایش یافته است. در این راستا بور (۲۰۱۷) و توانکار و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان دادند در خارج از مسیر چوبکشی و هم‌چنین افزایش سن مسیر چوبکشی مقدار شاخص تنوع افزایش یافت (٦ و ۱۵). در واقع با افزایش سن مسیر چوبکشی و نزدیک شدن شرایط عرصه به شرایط طبیعی جنگل و در نتیجه بهبود بسیاری خواص فیزیکی، شیمیایی و

زیستی خاک، شرایط جهت افزایش حضور پوشش گیاهی علفی فراهم خواهد شد.

رابطه ویژگی‌های خاک با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی پوشش علفی: پراکنش شاخص‌های تنوع (سیمپسون، شانون–وینر) و غنا (مارگالف، مهنیک) برای پوشش علفی بیانگر این مطلب می‌باشد که این شاخص‌ها با سمت راست محور اول که محل تمرکز پلات‌های مربوط به مسیرهای چوبکشی ٤٥ ساله می‌باشد، بیش‌ترین همبستگی را نشان داده‌اند. این بدین معنی است که شاخص‌های ذکر شده در مسیرهای چوبکشی ٤٥ بیش‌ترین مقدار را نسبت به سایر مسیرها به خود اختصاص داده‌اند. در رابطه با مشخصه‌های مختلف خاک در مسیرهای چوبکشی مورد مطالعه باید گفت که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در سمت چپ محور اول تجمع یافته‌اند و بیش‌ترین همبستگی را با این سمت از محور اول (محل تمرکز پلات‌های مربوط به مسیرهای چوبکشی ٤٥ ساله) نشان داده‌اند (شکل ٦).



شکل ٦- پراکنش متغیرهای خاک (a: عمق اول ۱۰-۰ سانتی‌متر، b: عمق دوم ۲۰-۱۰ سانتی‌متر، c: عمق سوم ۳۰-۲۰ سانتی‌متر، Pora: تخلخل عمق اول، Sandc: شن عمق سوم، MWDb: میانگین وزنی قطر خاکدانه عمق دوم، Sanda: شن عمق اول، MWDa: میانگین وزنی قطر خاکدانه عمق اول، Moa: ماده آلی عمق اول، Sandb: شن عمق دوم، Mob: ماده آلی عمق دوم، Moc: ماده آلی عمق سوم، GMDc: میانگین هندسی قطر خاکدانه عمق سوم، Porc: تخلخل عمق سوم، Porb: تخلخل عمق دوم، GMDb: میانگین هندسی قطر خاکدانه عمق دوم، GMDa: میانگین هندسی قطر خاکدانه عمق اول، Clayb: رس عمق دوم، Clayc: رس عمق سوم، Claya: رس عمق اول، Silta: سیلت عمق اول، Siltb: سیلت عمق دوم، Siltc: سلت عمق سوم، BDc: چگالی ظاهری عمق سوم) و شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی (سیمپسون، شانون- وینر، مهنیک، مارگالف، اکوابیلیتی، اونس) در مسیرهای مورد بررسی در تحلیل مؤلفه‌های اصلی (R15: مسیر چوبکشی ۱۵ ساله، R25: مسیر چوبکشی ۲۵ ساله، R35: مسیر چوبکشی ۳۵ ساله، R45: مسیر چوبکشی ٤٥ ساله).

Figure 6. The distribution of soil variables (a: first depth 0-10 cm, b: second depth 10-20 cm, c: third depth 20-30 cm, Pora: porosity at the first depth, Sandc: sand at the third depth, MWDb: mean weight diameter of soil aggregates at the second depth, Sanda: sand at the first depth, MWDa: mean weight diameter of soil aggregates at the first depth, Moa: organic matter at the first depth, Sandb: sand at the second depth, Mob: organic matter at the second depth, Moc: organic matter at the third depth, GMDc: geometric mean diameter of soil aggregates at the third depth, Porc: porosity at the third depth, Porb: porosity at the second depth, GMDb: geometric mean diameter of soil aggregates at the second depth, GMDa: geometric mean diameter of soil aggregates at the first depth, Clayb: clay at the second depth, Clayc: clay at the third depth, Claya: clay at the first depth, Silta: silt at the first depth, Siltb: silt at the second depth, Siltc: silt at the third depth, BDc: bulk density at the third depth) and biodiversity indices of herbaceous cover (Simpson, Shannon-Wiener, Menhinick, Margalef, Equability, and Evenness) in the analyzed skid trails using principal component analysis (PCA) (R15: 15-year-old skid trail, R25: 25-year-old skid trail, R35: 35-year-old skid trail, R45: 45-year-old skid trail).

تجزیه آماری صورت‌گرفته در رابطه با ویژگی‌های مختلف خاک و ارتباط آن‌ها با شاخص‌های مختلف تنوع زیستی (برای پوشش علفی) در مسیرهای چوبکشی با سنین مختلف بیانگر آن است که بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، همبستگی بالایی با شاخص‌های تنوع زیستی در محل تجمع پلات‌های مربوط به مسیرهای چوبکشی ٤٥ ساله، نشان داده‌اند. این بدان معنی است که با افزایش سن مسیر چوبکشی و به دنبال آن احیا و بازیابی بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ما شاهد حضور پوشش گیاهی متنوع و غنی در چنین عرصه‌هایی بوده‌ایم.

نتیجه‌گیری

فرآیند بازیابی خاک‌های تخریب‌شده در جنگل طولانی‌مدت است و احیای خاک به‌کندی صورت می‌گیرد. طبق نتایج پژوهش حاضر با افزایش سن مسیرهای چوبکشی وضعیت بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی و هم‌چنین شاخص‌های تنوع زیستی پوشش علفی بهبودیافته است. به‌طوری‌که در مسیرهای با سن بهره‌برداری ٤٥ سال مقادیر این مشخصه‌ها نزدیک به مقدار آن‌ها در مناطق شاهد بوده است. این بدان معنی است که با گذشت زمان خصوصیات مختلف خاک و پوشش گیاهی در مسیرهای چوبکشی رها شده روند احیاء و بازیابی خود را به نحو مطلوبی سپری کرده و در حال نزدیک شدن به شرایط طبیعی عرصه‌های جنگلی می‌باشند. ذکر این نکته ضروری است که بسیاری از این مشخصه‌های مورد بررسی حتی با گذشت مدت‌زمان ٤٥ سال از سن بهره‌برداری مسیرهای چوبکشی هنوز دارای اختلاف معنی‌داری (حتی با درصد تفاوت کم) در هر سه عمق نمونه‌برداری از خاک نسبت به مناطق شاهد بوده است. این یافته‌ها نشان‌دهنده عدم بازیابی و احیاء کامل خاک‌های کوبیده شده پس از گذشت مدت‌زمان ٤٥ سال از عمر مسیرهای چوبکشی می‌باشد. به همین سبب و با توجه به نتایج پژوهش حاضر جهت تسریع روند بازیابی مسیرهای چوبکشی، مدیریت مسیرهای چوبکشی و کاهش تخریب اولیه به‌صورت برنامه‌ریزی مناسب با هدف کاهش ایجاد مسیرهای جدید و استفاده مجدد از مسیرهای قدیمی جهت جلوگیری از تخریب بیش‌تر خاک، رعایت دستورالعمل‌ها حین انجام عملیات چوبکشی چون: طراحی مناسب مسیر چوبکشی از نظر رعایت استانداردهای شیب، قوس‌ها و طول مسیر، رعایت روزهای مجاز عبور ماشین‌آلات از نظر رطوبت خاک و پس از اتمام عملیات چوبکشی احداث کانال‌های عرضی و یا پوشاندن خاک توسط مازاد مقطوعات جهت حفاظت خاک در برابر فرسایش آبی، حفر شیارهای نفوذپذیر در مسیرهای چوبکشی متروکه جهت افزایش نفوذپذیری و کاهش تراکم خاک پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Marvi-Mohajer, R. (2005). Silviculture and Forest Management, University of Tehran Press. 387p. [In Persian]
2. Najafi, A., Solgi, A., & Sadeghi, S.H.R. (2010). Effect of ground skidding and skid trail slope on soil disturbance. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 8, 13-23.
3. Ampoorter, E., Goris, R., Cornelis, W. M., & Verheyen, K. (2007). Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils. *Forest Ecology and Management*. 241, 162-174.
4. DeArmond, D., Ferraz, J., & Higuchi, N. (2021). Natural Recovery of Skid Trails. A Review. *Canadian Journal of Forest Research*. 51, 36-48.

5.Naghdi, R., Pourbabaei, H., Heydari, M., & Nori, M. (2014). The Effects of forest road on vegetation and some physical and chemical properties of soil, Case study: Shafarood forests, District No. 2. *Ecology Iranian Forest*. 2 (3), 49-64. [In Persian]

6.Tavankar, F., Nikooy, M., Ezzati, S., Jourgholami, M., Latterini, F., Venanzi, R., & Picchio, R. (2022). Long-term assessment of soil physicochemical properties and seedlings establishment after skidding operations in mountainous mixed hardwoods. *European Journal of Forest Research*. 141 (4), 571-585.

7.Bowering, M., LeMay, V., & Marshal, P. (2006). Effect of forest roads on the growth of adjacent lodgepole pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 36, 919-929.

8.Khoramizadeh, A., Jourgholami, M., & Jafari, M. (2021). The effects of organic mulches on recovery process in soil physical properties in the compacted soil in the skid trails (Case study: Kheyrud forest). *Forest and Wood Products*. 74 (2), 171-182.

9.Ezzati, S., Najafi, A., & Hosseini, V. (2014). Assessment of soil recovery and establishment of natural regeneration 20 years after stopping from ground-based skidding. *Iranian Journal of Forest*. 6 (1), 99-112. [In Persian]

10.Igwe, C. A. (2005). Soil physical properties under different management systems and organic matter effects on soil moisture along soil catena in southeastern Nigeria. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 5, 57-66.

11.Nazari, M., Eteghadipour, M., Zarebanadkouki, M., Ghorbani, M., Dippold, M. A., Bilyera, N., & Zamanian, K. (2021). Impacts of logging-associated compaction on forest soils: A meta-Analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*. 4, 780074. **doi: 10.3389/ffgc.2021.780074.**

12.Murphy, G. (2004). Long-term impacts of forest harvesting related soil disturbance on log product yields and economic potential in a New Zealand forest. *Silva Fennica*. 38 (3), 279-289.

13.Babaei, A., Jourgholami, A., Etemad, M., & Oveisi, M. (2023). Long-term assessment of vegetation restoration in the skid trails after ground-based logging operations (case study: Kheyrud forest). *Forest and Wood Products*. 76 (2), 103-111. **doi: 10.22059/jfwp. 2023.358785.1252.**

14.Picchio, R., Tavankar, F., Venanzi, R., Lo Monaco, A., & Nikooy, M. (2018). Study of forest road effect on tree community and stand structure in three Italian and Iranian temperate forests. Croatian Journal Croatian Journal of Forest Engineering*: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*. 39 (1), 57-70.

15.Bour, S. (2017). The effect of logging paths on some soil characteristics, earthworms, and vegetation cover in the educational and research forest of the Tarbiat Modares Faculty of Noor. Master's thesis in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. 85p. [In Persian with English abstract]

16.Hosseini, S. A. O., Nasiri, M., & Akbarimehr, M. (2015). Skidders traffic assessment on forest soil properties. *International Journal of Civil Engineering*. 13, 372-377.

17.Anony. (2001). The forestry plan booklet of Zalemrood, Section Three, Neka-Zalemrood District. Forest and Rangeland Organization. 160p. [Translated in Persian]

18.Shahriari, A., Moghadami Rad, M., & Abdie, E. (2019). The effects of logging on forest soil (Azad Shahr Kuhmian Forest*). Journal of Plant Ecosystem Conservation*. 6 (13), 233-250.

19.Horn, R., Vossbrink, J., Peth, S., & Becker, S. (2007). Impact of modern forest vehicles on soil physical properties. *Forest ecology and management*. 248 (1-2), 56-63.

20.Kalhor, S. A., Xu, X., Chen, W., Hua, R., Raza, S., & Ding, K. (2017). Effects of different land-use systems on soil aggregates: a, case study of the Loess

Plateau (Northern China). *Sustainability*. 9 (8), 1349.
21. Jafari-Haghigh, M. (2003). Methods of soil analysis. Mashhad: Nedaye Zoha press. 236p. [In Persian]
22. Mesdaghi, M. (2011). Description and analysis of vegetation cover. Jihad-e-Daneshgahi Press, Mashhad Unit. 288p. [Translated in Persian]
23. Wang, L., & Qu, J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. *Earth Science*, 3, 237-247.
24. Goutal, N., Keller, T., Défossez, P., & Ranger, J. (2013). Soil compaction due to heavy forest traffic: measurements and simulations using an analytical soil compaction model. *Annals of Forest Science*. 70 (5), 545-556.
25. Salehi, A., Taherabkenar, K., & Basiri, R. (2012). Study of the recovery soil physical properties and establishment of natural regeneration in skid trails (case stidy: Nave-e Asalem forest). *Iranian Journal of Forest*. 3 (4), 317-329. [In Persian with English abstract]
26. Keyvan Behjou, F., Masarat, F., ghanbari, S., & Sasanifar, S. (2024). The effect of logging activities on the soil characteristics of Islam forests in Guilan. *Journal of Environmental Science Studies*. 9 (3), 9158-9147.
27. Riahifar, N. (2010). The effect of forest roads on soil characteristics, vegetation diversity, and regeneration along the edges of forest roads (case study: Series 5, Neka-Zalemrud section). [In Persian]
28. Lotfalian, M., Parsakho, A., Sadeghi, M., & Nazariani, N. (2018). Comparison of soil compaction recovery methods on Skid Trails. *Forest Research and Development*. 4 (1), 59-71.
29. Asadian, M., Hojjati, S. M., Mohammadzadeh, M., & Nadi, M. (2022). The changes of soil carbon, nitrogen and aggregate stability affected by different land uses. *Forest Research and Development*. 8 (2), 133-146. [In Persian]
30. Kavian, A., Safari, A., & Parsakhoo, A. (2016). Comparison of soil loss from experimental plots established in different parts of a forest road. *Journal of Water and Soil Conservation*. 23 (3), 25-45. [In Persian]
31. Kormanek, M., & Gołab, J. (2021). Analysis of surface deformation and physical and mechanical parameters of soils on selected skid trails in the Gorce National Park. *Forests*. 12, 782-797.
32. Jourgholami, M., Picchio, R., Tavankar, F., & Venanzi, R. (2020). Regeneration of belowground properties and nutrient pools in soil after compaction: Response to the reforestation with native tree species in the Hyrcanian forest. *Environmental Sciences Proceedings*. 3 (1), 72.