



مقایسه فراوانی و تنوع بی‌مهرگان خاکزی قطعه مدیریت‌شده با قطعه مدیریت‌نشده در جنگل‌های هفت‌خال مازندران

شیرزاد محمدنژاد کیاسری^{۱*}، خسرو ثاقب‌طالبی^۲ و رامین رحمانی^۳

^۱ استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.

^۲ استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

^۳ دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷)

چکیده

مقدمه: رابطه بین بی‌مهرگان خاکزی با شیوه‌های مختلف جنگل‌شناسی در سطح جنگل‌های مدیریت‌شده راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) که نوعی درخت جنگلی با پوشش گسترده در منطقه هیرکانی است، به‌طور کامل درک نشده است. تنوع بی‌مهرگان خاکزی از مهم‌ترین متغیرها در ارزیابی اکولوژیکی جنگل‌های مدیریت‌شده است. از این‌رو، ارزیابی تأثیر شیوه‌های جنگل‌شناسی بر بی‌مهرگان خاکزی با توجه به مدیریت پایدار جنگل ضروری است. بی‌مهرگان خاکزی تحت بررسی شامل کرم‌های خاکی، حشرات بالدار، عنکبوت‌ها، شبه‌عقرب‌ها، کنه‌ها، پادمان، پروتوزوئرها، دیپلوراها، هزارپایان، صدپایان، سیمفیلایا، خرخاکی‌ها، پروپوداها و پادرازان بودند. این تحقیق با هدف مقایسه فراوانی و تنوع بی‌مهرگان خاکزی بین دو قطعه مدیریت‌شده (شماره ۸) و مدیریت‌نشده (شماره ۳۶) در جنگل‌های هفت‌خال شهرستان نکا، استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری خاک در ۱۳۱ هکتار از جنگل‌های تحت بررسی به روش منظم تصادفی با ابعاد شبکه 150×200 متر و با استفاده از دستگاه استوانه‌ای به سطح مقطع ۸۱ سانتی‌متر مربع و عمق ۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت. در این عملیات ۲۰ و ۳۰ قطعه نمونه خاک به ترتیب از قطعات مدیریت‌شده (قطعه ۸) و مدیریت‌نشده (قطعه ۳۶) به‌دست آمد. میانگین‌های فراوانی و تعداد گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع تعیین شد. میانگین‌های تنوع بی‌مهرگان خاکزی با استفاده از شاخص‌های شانون-وینر و سیمپسون و میانگین‌های غنا و یکنواختی به ترتیب با شاخص‌های مارگالف و شلدون محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین‌های فراوانی و تعداد گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در هر مترمربع از جنگل مدیریت‌شده (۱۱۷۲۸/۷۰ و ۷/۳۱) نسبت به جنگل مدیریت‌نشده (۱۶۰۷۷/۱۲۰ و ۷/۶۲) کاهش اندکی داشته است. همچنین میانگین‌های تنوع شانون-وینر، سیمپسون و غنای مارگالف بی‌مهرگان خاکزی در جنگل مدیریت‌شده (۱/۸۹۰، ۰/۸۳۴ و ۱/۷۷۰) نسبت به جنگل مدیریت‌نشده (۱/۹۲۸، ۰/۸۴۰ و ۱/۸۶۲) کاهش اندکی داشت. از سوی دیگر میانگین یکنواختی شلدون در جنگل مدیریت‌شده (۰/۹۳۵) نسبت به جنگل مدیریت‌نشده (۰/۹۲۴) افزایش اندکی را نشان داد. در مجموع عملیات جاده‌سازی و بهره‌برداری در طول دو دوره اجرای طرح جنگلداری، تغییرات پراکنده‌ای را در قطعه مدیریت‌شده به وجود آورد و از این‌رو کاهش اندک فراوانی، غنا و تنوع بی‌مهرگان خاکزی را موجب شد. البته مقادیر همه متغیرهای تحت بررسی بین دو جنگل مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده به لحاظ آماری معنی‌دار نشد (سطح احتمال ۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: این تحقیق نشان داد که مدیریت جنگل با روش جنگلداری ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی، کاهش معنی‌دار در فراوانی و شاخص‌های تنوع بی‌مهرگان خاکزی جنگل مدیریت‌شده نسبت به جنگل مدیریت‌نشده فراهم نیاورده است.

واژه‌های کلیدی: تک‌گزینی، تنوع، جنگل طبیعی، غنا، یکنواختی.

مقدمه

در مناطق جنگلی به دلیل نبود دخالت‌های تغذیه‌ای توسط بشر، اندازه رویش و تولید وابستگی بسیاری به چرخه طبیعی عناصر غذایی دارد. بی‌مهرگان خاکزی، لاشبرگ‌ها را به ابعاد کوچک‌تری که مورد استفاده میکروارگانیسم‌هاست تبدیل می‌کنند و از این‌رو بااهمیت‌ترین کارکرد بی‌مهرگان خاکزی، تسریع روند تجزیه و کمک به چرخه عناصر غذایی است (Rahmani & Mayvan, 2004). البته متغیر موجودات زنده خاک که مشتمل بر همه میکروارگانیسم‌ها، جانوران خاکزی، گیاهان یا بخش‌های زنده گیاهی در خاک است، عاملی مهم در تعیین حد پایداری اکوسیستم است و بی‌مهرگان خاکزی نیز به دلیل تأثیر مهمی که در فرایندهای زیستی خاک دارند، از شاخص‌های بااهمیت در تعامل مطلوب بین اجزای زنده و غیرزنده خاک محسوب می‌شوند (Hamzah et al., 2020). به عبارت دیگر فعالیت‌های موجودات خاکزی شاخص مناسبی در ارزیابی کیفیت خاک است که خود معرف حد حاصلخیزی و باروری رویشگاه است (Kooch & Haghverdi, 2018). در مجموع بی‌مهرگان خاکزی شاخص بااهمیتی در فرایندهای مختلف زیستی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و عاملی مهم برای انعکاس کیفیت خاک و عملکردهای اکوسیستمی هستند. در همین زمینه هر رویشگاهی که تنوع زیستی بی‌مهرگان خاکزی در آن بیشتر باشد، پایداری اکولوژیکی و حاصلخیزی بیشتری خواهد داشت (Tavakoli Feizabadi et al., 2018; Sohrabi et al., 2021).

بی‌مهرگان خاکزی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ویژگی‌های محیط، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و نوع پوشش گیاهی هستند (Chen & Yin, 2019; Tajik et al., 2019). از سوی دیگر تنوع بی‌مهرگان خاکزی یکی از متغیرهای مهم در تعیین موفقیت فعالیت‌های احیایی و همچنین ارزیابی روش‌های متنوع مدیریت عرصه‌های منابع طبیعی است (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2020).

نتایج بررسی ماکروفون خاک عرصه‌های درختی گز و پده در حاشیه رودخانه مارون در استان خوزستان نشان داده است که توده درختان گز موجب افزایش حضور بندپایان و توده درختان پده موجب افزایش فراوانی کرم‌های خاکی شده است (Askarpur et al., 2014). بررسی کرم‌های خاکی در رویشگاه‌های جنگلی تخریب‌یافته و احیاشده ناحیه خزری نشان داد که تخریب رویشگاه‌های جنگلی، سبب کاهش فراوانی و تنوع کرم‌های خاکی شده، ولی جنگلکاری در عرصه‌های تخریب‌یافته به‌ویژه جنگلکاری با گونه توسکا، تنوع و فراوانی کرم‌های خاکی را افزایش داده است (Tavakoli Feizabadi et al., 2018). مقایسه تنوع بی‌مهرگان خاکزی در عرصه‌های جنگل طبیعی و جنگلکاری‌های توسکای بیلاقی، بلندمازو، پلت و سرو زربین منطقه دارابکلای مازندران نیز نشان داد که تنوع بی‌مهرگان خاکزی در جنگلکاری‌های توسکای بیلاقی به‌طور معنی‌داری بیشتر و در عرصه سرو زربین به‌طور معنی‌داری کمتر از دیگر عرصه‌ها بوده است (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2017). همچنین بررسی تنوع زیستی مزوفون خاک (کنه‌ها و پادمان) عرصه‌های سوزنی‌برگ در محوطه دانشگاه ایلام نشان داد که شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه‌شده در عرصه درختان کاج از عرصه سرو زربین بیشتر بود و از همین رو برتری استفاده از گونه کاج در جنگلکاری نسبت به گونه سرو زربین توصیه شد (Mirabbalou & Miri, 2018).

مدیریت پایدار در عرصه‌های منابع طبیعی متضمن حفاظت از پوشش گیاهی و موجودات خاکزی است. البته پایداری عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی وابستگی بیشتری به حفاظت از تنوع گونه‌های درختی دارد و در ارتباط با توده‌های تنک و بوته‌زارها نیز حفاظت از تنوع موجودات خاکزی دارای اهمیت بیشتری است (Ding et al., 2021). نتایج تحقیقات در زمینه ارتباط بین پوشش گیاهی و بی‌مهرگان خاکزی نشان داد که متوسط تنوع بی‌مهرگان خاکزی مزارع نخل بالغ به دلیل تاج‌پوشش

کمترین مشکلات اقتصادی و اجتماعی یا مواردی همچون وجود معدن، تأمین جایگاه دفن زباله و معضل ویلاسازی ها مواجهه بوده است (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2020). پژوهش حاضر به ارزیابی قطعه مدیریت شده (شماره ۳۶) با قطعه مدیریت نشده (شماره ۸) جنگل های تولیدی هفت خال برمبنای متوسط فراوانی و تنوع بی مهرگان خاکزی پرداخته است. فرض این تحقیق آن بود که اجرای دو دوره طرح جنگلداری با روش جنگلداری دانه زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل شناسی تک گزینی در جنگل مدیریت شده، تأثیر منفی معنی داری بر متوسط فراوانی و تنوع بی مهرگان خاکزی نسبت به جنگل مدیریت نشده داشته است. نتایج این تحقیق برای متخصصان و کارشناسان منابع طبیعی منبع باارزشی در تعریف و شناسایی اثرهای اجرای طرح های جنگلداری با روش جنگلداری دانه زاد ناهمسال آمیخته و شیوه جنگل شناسی تک گزینی است. بدیهی است در صورت اثبات فرضیه این پژوهش، مدیریت جنگل با این روش جنگلداری و شیوه جنگل شناسی مستلزم تمهیداتی به منظور برداشت حداقل چوب، حفظ خشک دارها و ایجاد کمترین خسارت ناشی از جاده سازی و عملیات بهره برداری خواهد بود.

مواد و روش ها

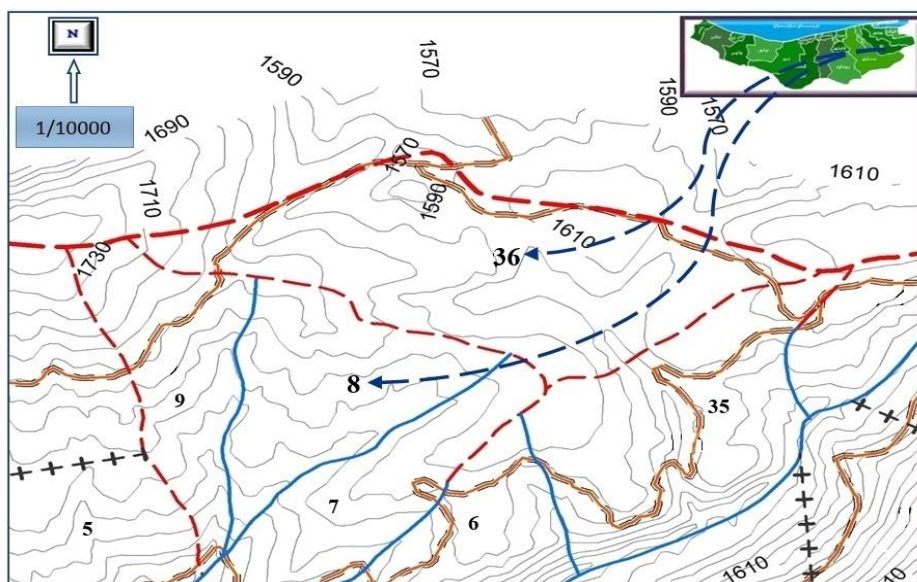
منطقه پژوهش طرح جنگلداری موزی سا در سری چهارم بخش دوم هفت خال و در فاصله ۶۱/۵ کیلومتری جنوب شهرستان نکا قرار دارد. جنگل های این منطقه جزو رانشستان های شمال کشور محسوب می شود و بین طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۳۳ دقیقه و ۱۸ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه و ۴۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۲۱ دقیقه و ۳۷ ثانیه شمالی قرار دارد (شکل ۱). همچنین قطعه های جنگلی سری ۴ در طول دهه های اولیه جزو قطعه های اصلاحی بود. سپس این

توسعه یافته و کاهش فعالیت های کشاورزی سبب بهبود شرایط فیزیکی خاک شد و افزایش معنی دار تنوع بی مهرگان خاکزی را نسبت به مزارع نخل های جوان فراهم آورد (Hamzah et al., 2020). بررسی تنوع بی مهرگان خاکزی تیپ های متفاوت جنگل های نکا نشان داد که تنوع بی مهرگان خاکزی در تیپ جنگلی راش بیشتر از انواع جنگل های ممرز و بلوط - ممرز بوده است (Rahmani & Mayvan, 2004). ارزیابی تنوع بی مهرگان خاکزی در مراحل تحولی توده طبیعی راش جنگل هفت خال نیز نشان داد که کاهش متوسط تنوع بی مهرگان خاکزی با وجود نداشتن اختلاف معنی دار به ترتیب شامل مراحل تحولی اوج (میان سالی)، اولیه (جوانی) و پوسیدگی (کهن سالی) بوده است (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2018).

بخش اعظم جنگل های هیرکانی در شمال کشور جای دارد که به دلیل دارا بودن تنوع منحصر به فرد گونه های گیاهی و جانوری در فهرست میراث جهانی یونسکو قرار دارند. استمرار مجموعه عوامل تخریبی در عرصه های منابع طبیعی شمال کشور سبب شد که هیأت وزیران در سال ۱۳۹۲ برنامه «بهبود سازی، پایش، حفظ، بهره برداری و مدیریت پایدار» را به تصویب برساند. سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور نیز موظف شد که عملیات بهره برداری را در چارچوب برنامه ملی و مطابق با شاخص های مدیریت پایدار تدوین کند. این مصوبه فرصتی مناسب برای ارزیابی طرح های جنگلداری و تعیین شیوه های مناسب جنگل شناسی فراهم آورد. از آنجا که پیش از آغاز طرح تنفس، مدیریت بسیاری از قطعه های جنگل های تولیدی شمال کشور با روش جنگلداری دانه زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل شناسی تک گزینی انجام می پذیرفت، در اجرای این تحقیق قطعه ای انتخاب شد که مدیریت در آن با روش جنگلداری دانه زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل شناسی تک گزینی باشد. همچنین در راستای ارزیابی دقیق طرح جنگلداری، این قطعه جنگل با

این قطعه ۱۲۶۶ متر مکعب چوب برداشت شد (NRWMO, 2011). در این منطقه متوسط بیشینه دما در گرم‌ترین ماه سال (مرداد) ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد، متوسط کمینه دما در سردترین ماه سال (دی) صفر درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه ۶۱۸/۸ میلی‌متر بوده است. براساس اقلیم‌نمای آمبرژه با ضریب $Q_2 = 73/7$ ، طرح جنگلداری هفت‌خال دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل است و بر مبنای نمودار آمبروترمیک، ماه‌های خرداد، تیر و نیمه اول مرداد جزو ماه‌های خشک منطقه محسوب می‌شوند (NRWMO, 2011; Mohammadnezhad Kiasari et al., 2022).

قطعات در سال ۱۳۷۷ به طرح جنگلداری هفت‌خال الحاق شد. تدوین و تصویب اولین مرحله کتابچه طرح جنگلداری با روش جنگلداری دانه‌زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی انجام گرفت. این برنامه دهساله از سال ۱۳۷۹ توسط شرکت سهامی نکاچوب به اجرا درآمد. پس از آن کتابچه طرح جنگلداری برای ده سال دوم نیز با روش جنگلداری ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی تدوین شد (۱۳۸۹-۱۳۹۸). بر این اساس برای مرحله اول و در سال ۱۳۸۴ ۲۶۸۸ متر مکعب از سطح قطعه ۸ بهره‌برداری شد و برای مرحله دوم در سال ۱۳۹۴ از



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش در جنگل‌های هفت‌خال نکا - استان مازندران

Figure 1. The location of the research area in Haftkhal Neka forests-Mazandaran province

۱). در این قطعه حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۴۸۰ متر، حداکثر ارتفاع ۱۶۱۰ متر و متوسط ارتفاع سطح قطعه ۱۴۹۰ متر از سطح دریاست. این قطعه دارای شیب متوسط ۱۸ درصد است که جهت عمومی آن شمال، شمال شرقی و جنوبی است. نوع سنگ مادری سازند روته، آهک تیره سخت، آهک دولومیتی با لایه نازک مارن، نفوذپذیری سنگ مادر خوب، تیپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده با پسدوگلی، بافت خاک در سطح متوسط سیلتی لوم (Silt Loam) و در عمق زیرین

در این تحقیق ابتدا دو قطعه مدیریت‌نشده (شماره ۳۶) و مدیریت‌شده (شماره ۸) که براساس کتابچه طرح جنگلداری دارای شرایط کلی توپوگرافی و ادافیکی مشابه بودند انتخاب شدند (شکل ۱). قطعه ۳۶ به مساحت ۸۸/۳۰ هکتار در همه دوره‌ها به‌عنوان قطعه مدیریت‌نشده و دست‌نخورده باقی مانده است. در این قطعه گونه راش به‌همراه گونه‌های ممرز، توسکا و تک‌پایه‌های بلندمازو، گیلاس وحشی و پلت وجود دارند. ساختار توده‌های موجود نیز ناهمسال نامنظم و دارای توزیع در تمام طبقات سنی بوده است (شکل

به‌شکلی که ۲۰ نمونه خاک از قطعه مدیریت‌شده و ۳۰ نمونه خاک از قطعه مدیریت‌نشده تهیه شد (Rahmani & Mayvan, 2004; Zobairi, 2007). نمونه‌های خاک بی‌مهرگان خاکزی به‌صورت استوانه‌ای با سطح مقطع ۸۱ سانتی‌متر مربع و از سطح تا عمق ۱۰ سانتی‌متر خاک بود. البته نمونه‌برداری در نزدیک‌ترین فاصله ممکن از مرکز هر پلات در شبکه آماربرداری انجام گرفت. عملیات جداسازی بی‌مهرگان خاکزی از نمونه‌ها توسط قیف برلیز انجام گرفت (شکل ۲). گروه‌های مختلف بی‌مهرگان خاکزی هر نمونه خاک پس از جداسازی از خاک در محلول الکل اتیلیک به‌همراه ۵ درصد گلیسرول نگهداری و سپس با استفاده از لوپ دوچشمی و براساس کلید شناسایی، تفکیک و شمارش شدند (Rahmani & Mayvan, 2004; Mirmoayedi, 2006). در این تحقیق گروه‌های کرم‌های خاکی، پادمان، هزارپایان، کنه‌ها، خرخاکی‌ها، پروتوزوئرها، پوروپوداها، سیمفیلاها، دیپلوراها، حشرات بالدار و شکارچسانی که از دیگر خرده‌ریزخواران تغذیه می‌کنند، شامل صدپایان، شبه‌عقرب‌ها، عنکبوت‌ها و پادرازان با عنوان بی‌مهرگان خاکزی بررسی شدند (Rahmani & Mayvan, 2004; Mohammadnezhad Kiasari et al., 2022).

سنگین رسی (Clay) است (NRWMO, 2011; Mohammadnezhad Kiasari et al., 2020).

وسعت قطعه مدیریت‌شده (شماره ۸) ۴۲/۷۰ هکتار است. در این قطعه گونه راش به‌همراه گونه‌های ممرز، توسکا و تک‌پایه‌های بلوط و افرا رویش دارند. ساختار توده‌های موجود در قطعه مدیریت‌شده، ناهمسال نامنظم و دارای توزیع در همه طبقات سنی بوده است. در این قطعه حداقل ارتفاع از سطح دریا ۱۳۹۰ متر، حداکثر ارتفاع ۱۶۱۰ متر و متوسط ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاست. این قطعه دارای شیب متوسط ۲۵ درصد با جهت عمومی جنوب و جنوب غربی است. نوع سنگ مادری سازند روتنه، آهک تیره سخت، آهک دولومیتی با لایه نازک مارن، نفوذپذیری سنگ مادر خوب، خاک‌زایی سنگ مادر زیاد، تیپ خاک قهوه‌ای شسته‌شده با پسدوگلی (Pseudogley)، بافت خاک در سطح به‌صورت متوسط سیلتی لوم (Silt Loam) و در عمق زیرین سنگین کلی (Clay) است (NRWMO, 2011).

شیوه اجرای پژوهش عملیات صحرایی این تحقیق در تابستان ۱۳۹۸ و از اواسط تیر تا اواسط مرداد انجام گرفت. در این تحقیق ۵۰ نمونه خاک به‌صورت منظم تصادفی در شبکه‌ای به ابعاد ۱۵۰ متر در ۲۰۰ متر برداشت شد.



شکل ۲- نمونه‌برداری و جداسازی گروه‌های مختلف بی‌مهرگان خاکزی از جنگل‌های هفت‌خال

Figure 2. Sampling and isolation of different groups of soil invertebrates from the Haftkhal forests

روش تحلیل

جدول ۱- درصد پوشش براساس معیار وان درمال
Table 1. Coverage percentage based on Van Dermal criteria

درصد پوشش (فراوانی) Coverage percentage (or abundance)	دسته‌ها Categories
Less than 0.5	1
0.5-1	2
1-2.5	3
2.5-5	4
5-12.5	5
12.5-25	6
25-50	7
50-75	8
75-100	9

نتایج

متوسط درصد فراوانی بی‌مهرگان خاکزی

براساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۵۰ نمونه خاک در آزمایشگاه بیولوژی خاک مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، ۳۸۵۶ موجود متعلق به ۱۳ گروه از بی‌مهرگان خاکزی شناسایی و جدا شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که متوسط تراکم بی‌مهرگان خاکزی در جنگل‌های مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده به ترتیب برابر با ۱۲۰۱۶/۷۷ عدد و ۱۱۷۲۸/۷۰ عدد در هر متر مربع و از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک بوده است. همچنین کنه‌ها، پادمان، کرم‌های خاکی و حشرات بالدار بیشترین متوسط فراوانی جمعیت در هر دو قطعه را به خود اختصاص داده‌اند، به‌نحوی که در جنگل مدیریت‌نشده، گروه‌های کنه‌ها (۴۸/۰۶ درصد)، پادمان (۳۰/۵۵ درصد)، کرم‌های خاکی (۶/۱۶ درصد) در مجموع ۸۴/۷۷ درصد فراوانی را بر عهده دارند که به‌همراه حشرات بالدار (۶/۱۲ درصد) در مجموع ۹۰/۸۹ درصد متوسط فراوانی بی‌مهرگان خاکزی را شامل شدند. در جنگل مدیریت‌شده نیز گروه‌های کنه‌ها (۴۸/۴۲ درصد)، پادمان (۳۱/۳۸ درصد)، حشرات بالدار (۶/۵۱ درصد) در مجموع ۸۶/۳۱ درصد فراوانی را بر عهده دارند که به‌همراه کرم‌های خاکی (۳/۹۵ درصد)، در مجموع ۹۰/۲۶ درصد از متوسط فراوانی بی‌مهرگان خاکزی

تعدادی از گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی همانند کرم‌های خاکی با وجود دارا بودن فراوانی بسیار اندک نسبت به دیگر گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی، از نقش اکولوژیکی بیشتری برخوردارند. از سوی دیگر با در نظر گرفتن متغیر زیوزن، جدا از آنکه به تجهیزات بسیار دقیقی نیاز است، ارزش تعداد دیگری از گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی بسیار اندک و کم‌اهمیت خواهد شد. همچنین با تکرار نمونه‌برداری‌ها و تغییر اندک فراوانی یا زیوزن هر یک از گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی، تنوع تغییر خواهد یافت. از این‌رو به‌منظور ثبات بیشتر مقادیر تنوع، ابتدا متوسط درصد فراوانی (درصد زیوزن) گروه‌های مختلف بی‌مهرگان خاکزی در هر قطعه نمونه بر مبنای معیار وان درمال تعیین شد (جدول ۱) و سپس از آن داده‌ها برای محاسبه تنوع استفاده شد (Zakeri Pashakolaei et al., 2014; Mohammadnezhad Kiasari et al., 2018). تنوع گونه‌ای تابعی از غنا یا تعداد گونه‌ها و همچنین یکنواختی یا نسبت تعداد افراد در هر گونه است. برآورد تنوع زیستی با شاخص‌های سیمپسون و شانون-وینر انجام گرفت. مقادیر غنا و یکنواختی نیز به ترتیب با شاخص‌های مارگالف و شلدون به دست آمد (Rahmani & Mayvan, 2004). برای محاسبه تنوع نیز از برنامه PAST استفاده شد. همچنین فرض نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف صورت پذیرفت. در بررسی وضعیت همگنی واریانس‌ها نیز از آزمون لون استفاده شد. البته مقایسه متوسط فراوانی هر یک از گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در دو قطعه مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده با آزمون تی غیرجفتی انجام گرفت و در ارتباط با داده‌های غیرنرمال نیز از آزمون ناپارامتری من-ویتنی استفاده شد (Hosseini, 2003). تجزیه و تحلیل آماری داده‌های این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 و ترسیم نمودار با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام گرفت.

در جنگل مدیریت‌نشده تا حدودی بیشتر از جنگل مدیریت‌شده بود. از سوی دیگر متوسط فراوانی گروه‌های پادمان، حشرات بالدار، هزارپایان، پروپوداها، شبه‌عقرب‌ها، عنکبوت‌ها و پروتوزوئرها در قطعه مدیریت‌شده تا حدی بیشتر از جنگل مدیریت‌نشده بود. البته مجموع متوسط بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع جنگل مدیریت‌نشده (۱۲۰۱۶/۷۷) عدد در هر متر مربع (تا حدی بیشتر از جنگل مدیریت‌شده) (۱۱۷۲۸/۷۰) عدد در هر متر مربع) شد، ولی اختلاف بین آنها به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. گفتنی است که داده‌های متوسط فراوانی گروه‌های پروتوزوئرها، پروپوداها، خرخاکی‌ها، شبه‌عقرب‌ها و عنکبوت‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند که برای مقایسه از آزمون ناپارامتری من-ویتنی استفاده شد (جدول ۴).

این قطعه را به خود اختصاص داده‌اند. جزئیات متوسط فراوانی و متوسط درصد فراوانی گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع و از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری خاک در جدول ۲ ارائه شده است. بررسی هر یک از گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی به تفکیک در دو قطعه مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده اختلاف معنی‌داری را به لحاظ آماری نشان نداد. البته درباره متوسط متغیر کرم‌های خاکی و با سطح احتمال ۰/۰۸ اختلاف نزدیک به معنی‌داری را نشان داد، به شکلی که قطعه مدیریت‌نشده (۷۴۰/۷۶) عدد در هر متر مربع) فراوانی بیشتری را نسبت به قطعه مدیریت‌شده (۴۶۲/۹۸) عدد در هر متر مربع) داشت (جدول ۳). در همین زمینه متوسط فراوانی گروه‌های کنه‌ها، صدپایان، سیمفیلها، دیپلوراها و خرخاکی‌ها

جدول ۲- متوسط درصد فراوانی گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع

Table 2. The average abundance percentage of soil invertebrate groups per square meter

جنگل‌های بررسی‌شده studied forests				گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی Soil invertebrate groups
جنگل مدیریت‌شده Managed forest		جنگل مدیریت‌نشده Unmanaged forest		
درصد Percentage	فراوانی Abundance	درصد Percentage	فراوانی Abundance	
3.95	462.98	6.16	740.76	کرم‌های خاکی Earthworms
6.51	763.91	6.12	736.62	حشرات بالدار Winged insects
0.20	23.15	0.13	15.43	عنکبوت‌ها Aranea
0.26	30.87	0.21	25.72	شبه‌عقرب‌ها Pseudoscorpions
48.42	5679.16	48.06	5776.90	کنه‌ها Acarina
31.38	3680.65	30.55	3672.94	پادمان Collembula
1.91	223.77	1.24	149.18	پروتوزوئرها Protura
0.79	92.60	1.03	123.46	دیپلوراها Diplura
2.76	324.08	2.44	293.22	هزارپایان Diplopoda
0.59	69.45	0.85	101.99	صدپایان Chilopoda
2.11	246.92	2.35	282.93	سیمفیلها Symphyla
0.99	115.74	0.56	66.87	پروپوداها Pauropoda
0.13	15.42	0.30	36	خرخاکی‌ها Isopoda
100	11728.70	100	12016.77	مجموع Total

جدول ۳- مقایسه فراوانی گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی در جنگل‌های مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده

Table 3. Comparison of Soil invertebrate groups in Unmanaged and managed forests

P (Sig.)	آزمون تی T-test	جنگل مدیریت‌شده	جنگل مدیریت‌نشده	متغیرهای بررسی‌شده Investigated variables
		Managed forest متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	Unmanaged forest متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	
0.932	0.086 ^{ns}	5679.16 (918.44)	5776.90 (663.94)	کنه‌ها Aranea
0.993	0.009 ^{ns}	3680.65 (576.13)	3672.94 (612.05)	پادمان Collembula
0.082	1.794 ^{ns}	462.98 (0.263)	740.76 (0.240)	کرم‌های خاکی Earthworms
0.936	0.081 ^{ns}	763.91 (201.36)	735.62 (286.23)	حشرات بالدار Winged insects
0.712	0.371 ^{ns}	324.08 (68.44)	293.22 (50.30)	هزارپایان Diplopoda
0.344	0.959 ^{ns}	69.45 (25.12)	101.99 (22.83)	صدپایان Chilopoda
0.646	0.463 ^{ns}	246.92 (54.05)	282.93 (52.27)	سیمفیلاها Symphylla
0.590	0.544 ^{ns}	92.60 (47.15)	123.46 (34.05)	دیپلوراها Diplura

در هر سطر، حروف ns به معنای نبود اختلاف معنی‌دار بین جنگل‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده است (سطح احتمال ۰/۰۵).

In each line, ns means no significant difference between unmanaged and managed forests ($P < 0.05$)

جدول ۴- مقایسه شاخص‌های تنوع برای بی‌مهرگان خاکزی در جنگل‌های مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده

Table 4. Comparison of diversity indices of soil invertebrates in Unmanaged and managed forests

مقدار Z	آزمون من-ویتنی Mann-Whitney U	مدیریت‌شده	جنگل مدیریت‌نشده	متغیرهای بررسی‌شده Investigated variables
		Managed forest متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	Unmanaged forest متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	
0.731	170 ^{ns}	223.77 (176.48)	149.18 (55.10)	پروتوزوئرها Protura
0.388	181 ^{ns}	115.74 (83.94)	66.87 (32.38)	پوروپوداها Pauropoda
0.096	182 ^{ns}	15.42 (10.54)	36 (18.92)	خرخاکی‌ها Isopoda
0.289	185.5 ^{ns}	30.87 (23.91)	25.72 (12.83)	شبه‌عقرب‌ها Pseudoscorpions
0.484	184 ^{ns}	23.15 (16.79)	15.43 (11.30)	عنکبوت‌ها Aranea

در هر سطر، حروف ns به معنای نبود اختلاف معنی‌دار بین جنگل‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده است (سطح احتمال ۰/۰۵).

In each line, ns means no significant difference between unmanaged and managed forests ($P < 0.05$)

مقایسه شاخص‌های تنوع بی‌مهرگان خاکزی

جنگل مدیریت‌شده بوده است (جدول ۵). مقادیر تنوع تحت تأثیر غنا و یکنواختی است. در این تحقیق مقادیر متوسط غنا در جنگل مدیریت‌نشده (۱/۸۶۲) تا حدی بیشتر از جنگل مدیریت‌شده (۱/۷۷۰) شد. از سوی دیگر متوسط یکنواختی جنگل مدیریت‌نشده (۰/۹۲۴) با دارا بودن متوسط فراوانی بیشتر بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع، کاهش اندکی نسبت به متوسط یکنواختی جنگل مدیریت‌شده (۰/۹۳۵) داشت. از همین رو می‌توان اذعان داشت که افزایش اندک جنگل مدیریت‌نشده نسبت به جنگل مدیریت‌شده تا حدود بسیاری تحت تأثیر افزایش

مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع بی‌مهرگان خاکزی براساس آزمون تی غیرجفتی و در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان داد که در بین دو قطعه مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده منطقه هفت‌خال اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. براساس نتایج این تحقیق در زمینه غنای مارگالف و یکنواختی شلدون نیز در بین دو قطعه مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده اختلاف معنی‌داری به دست نیامد. البته با وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار، مقادیر متوسط تنوع شانون-وینر و سیمپسون در جنگل مدیریت‌نشده اندکی بیشتر از

۳). مقادیر متوسط تعداد گروه های بی مهرگان خاکزی جنگل مدیریت نشده با وجود نداشتن اختلاف معنی دار، اندکی بیشتر از جنگل مدیریت شده بوده است.

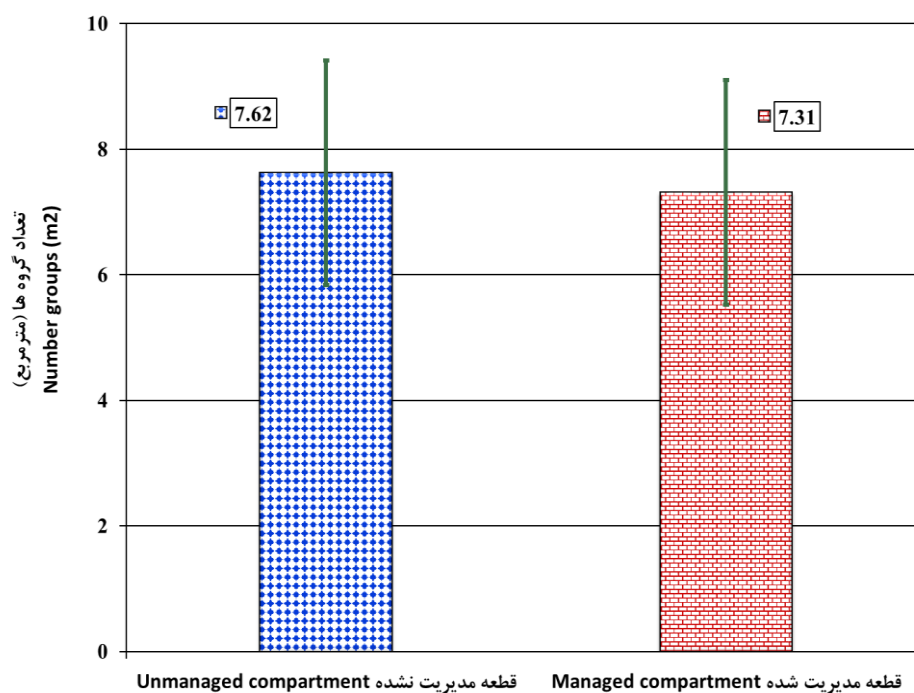
نسبی غنا بوده است (جدول ۵). در این زمینه متوسط تعداد گروه های مختلف بی مهرگان خاکزی که بیانگر متوسط مقادیر غنا است، در هر یک از دو قطعه مدیریت نشده و مدیریت شده نمایش داده شد (شکل

جدول ۵- مقایسه شاخص های تنوع برای بی مهرگان خاکزی در جنگل های مدیریت نشده و مدیریت شده
Table 5. Comparison of diversity indices of soil invertebrates in Unmanaged and managed forests

P (Sig.)	آزمون تی T-test	جنگل مدیریت شده	جنگل مدیریت نشده	متغیرهای بررسی شده Investigated variables
		Managed areas متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	Unmanaged area متوسط (انحراف معیار) Mean (standard deviation)	
0.637	0.467 ^{ns}	1.890 (0.263)	1.928 (0.240)	تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity
0.646	0.445 ^{ns}	0.834 (0.048)	0.840 (0.039)	تنوع سیمپسون Simpson diversity
0.522	0.648 ^{ns}	1.770 (0.438)	1.862 (0.436)	غنا مارگالف Magalef richness
0.393	0.915 ^{ns}	0.935 (0.032)	0.924 (0.043)	یکنواختی شلدون Sheldon uniformity

در هر سطر، حروف ns به معنای نبود اختلاف معنی دار بین جنگل های مدیریت شده و مدیریت نشده است (سطح احتمال ۰/۰۵)

In each line, ns means no significant difference between unmanaged and managed forests ($P < 0.05$)



شکل ۳- متوسط تعداد گروه های بی مهرگان خاکزی در جنگل های مدیریت نشده و مدیریت شده

Figure 3. The average number of soil invertebrate groups in Unmanaged and managed forests

توجه به مدیریت پایدار جنگل ضرورت دارد. این پژوهش با هدف مقایسه فراوانی و تنوع بی مهرگان خاکزی بین دو قطعه مدیریت شده (شماره ۸) و مدیریت نشده (شماره ۳۶) در جنگل های بالابند

بحث

راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) یک گونه جنگلی گسترده در سطح جنگل های هیرکانی است. ارزیابی اکولوژیکی طرح های جنگلداری نیز با

زمینه تغییرات میانگین درصد فراوانی و حجم خشک‌دارها در جنگل مدیریت‌شده (شماره ۸) کاهش معنی‌داری نسبت به جنگل مدیریت‌نشده (شماره ۳۶) نشان داد که از این منظر کاهش خشک‌دارها در سطح جنگل مدیریت‌شده، تأثیری مثبت بر کاهش گروه‌هایی از بی‌مهرگان خاکزی جنگل مدیریت‌شده نسبت به جنگل مدیریت‌نشده فراهم آورده است (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2020). در همین زمینه، پژوهشی در توده‌های کاج تدا در ایالت‌های کارولینای شمالی و جورجیا در آمریکا نشان داد که بهره‌برداری شدید درختان و نگهداری نکردن دست‌کم ۱۵ درصد حجم سرشاخه‌ها در سطح عرصه‌های برداشت، ممکن است به کاهش فراوانی و غنای تعدادی از گونه‌های اصلی بی‌مهرگان خاکزی در توده‌های حاصل از تجدید حیات طبیعی در آن منطقه منجر شود (Grodsky et al., 2018). همچنین مقایسه غنای گونه‌ای در جنگل‌های اروپا با استفاده از نتایج ۴۰ مقاله و ۱۲۰ تحقیق غنای گونه‌ای بین جنگل‌های مدیریت‌شده و مدیریت‌نشده نشان داد که غنای گونه‌ای در جنگل‌های مدیریت‌نشده اندکی بیشتر از جنگل‌های مدیریت‌شده بود. البته مدیریت عرصه‌های جنگلی اروپا تأثیری مثبت بر گیاهان آوندی داشت و اثرهای منفی مدیریت بر عرصه‌های جنگلی اروپا نیز شامل کاهش فراوانی خشک‌دارها، درختان تنومند و سوسک‌های خانواده کاربیده بوده است (Paillet et al., 2010).

احداث جاده‌های جنگلی شن‌ریزی‌شده به طول ۱۸۲۰ متر به‌همراه ایجاد جاده‌های فرعی و مسیرهای چوبکشی و همچنین خروج ۳۹۵۴ متر مکعب چوب در قطعه مدیریت‌شده، تغییراتی را در بخش‌های مختلف جنگل به‌وجود آورد (NRWMO, 2011). مجموعه تغییرات ایجادشده در جنگل مدیریت‌شده، کاهش نسبی متوسط فراوانی و تعداد گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی را نسبت به جنگل مدیریت‌نشده سبب شد. در همین زمینه، ارزیابی تغییرات

هفت‌خال شهرستان نکا در استان مازندران انجام گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که در جنگل مدیریت‌نشده گروه‌های کنه‌ها، پادمان، کرم‌های خاکی و در جنگل مدیریت‌شده گروه‌های کنه‌ها، پادمان و حشرات بالدار بیشترین متوسط فراوانی بی‌مهرگان خاکزی را دارا بوده‌اند. در همین زمینه ارزیابی اکولوژیک جنگلکاری‌های بروسیا، پلت و بلندمازو در منطقه پایین‌بند نکا در مازندران تأیید کرد که گروه‌های پادمان، کنه‌ها و حشرات بالدار بیشترین فراوانی چهارده گروه مختلف بی‌مهرگان خاکزی را در هر متر مربع و تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک سطحی به خود اختصاص داده‌اند (Mohamadnezhad Kiasari et al., 2017). تحقیق رحمانی و مایوان (۲۰۰۴) در خصوص جمعیت بی‌مهرگان خاکزی در هر متر مربع و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک توده‌های بلوط-ممرزستان، ممرزستان و راشستان‌های جنگل‌های میان‌بند نکا نشان داد که گروه‌های پادمان، کنه‌ها و حشرات بالدار بیشترین درصد فراوانی هر یک از تیمارهای بررسی‌شده را داشته‌اند (Rahmani & Mayvan, 2004). نتایج تحقیق بی‌مهرگان خاکزی در هر مترمربع و تا عمق ۱۰ سانتی‌متر مراحل مختلف تحولی «اولیه»، «اوج» و «پوسیدگی» راشستان‌ها در جنگل‌های بالابند هفت‌خال نکا نیز نشان داد که میانگین بیشترین فراوانی جمعیت هر سه مرحله تحولی راشستان مربوط به گروه‌های پادمان، کنه‌ها و سیمیفیل‌ها بوده است (Mohamadnezhad Kiasari et al., 2018). در مجموع می‌توان اذعان داشت که گروه‌های کنه‌ها و پادمان بیشترین درصد فراوانی بی‌مهرگان خاکزی بسیاری از جنگل‌های استان مازندران را به خود اختصاص داده‌اند.

براساس نتایج این تحقیق، میانگین‌های تنوع شانون-وینر، تنوع سیمپسون و غنای مارگالف بی‌مهرگان خاکزی در جنگل مدیریت‌شده نسبت به جنگل مدیریت‌نشده کاهش جزئی و به لحاظ آماری غیرمعنی‌دار داشته است. همچنین تحقیقی دیگر در

در جنگل‌های مدیریت‌نشده و مدیریت‌شده نیز به ترتیب برابر با ۱۰۹/۵۲ و ۱۲۹ اصله در هر ۱۰۰ مترمربع تعیین شد. البته در بین متغیرهای کمی تحت بررسی در این دو قطعه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به‌علاوه در زمینه متغیرهای ترکیب گونه‌ای، متوسط درصد فراوانی درختان در طبقات قطری، متوسط درصد فراوانی درختان در درجات کیفی و متوسط درصد ترکیب گونه‌های درختی این دو قطعه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (Mohammadnezhad Kiasari et al., 2022). شایان توضیح است که یکی از عوامل بااهمیت در مدیریت جنگل، سطح روشنه‌های ایجادشده حاصل از عملیات بهره‌برداری است. در همین زمینه بررسی شاخص‌های تنوع بی‌مهرگان درشت‌اندام خاک در بین روشنه‌های جنگل مدیریت‌نشده شاهد با روشنه‌های طبیعی و روشنه‌های دست‌ساخت جنگل مدیریت‌شده به شیوه تک‌گزینی در جنگل‌های شصت‌کلای گرگان اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (Habashi & Mousavi, 2018). از سوی دیگر بررسی اندازه روشنه‌های پوشش تاجی بر فعالیت‌های زیستی و اجزای ماده آلی خاک در یک توده جنگلی راش کلارآباد در غرب مازندران نشان داد که مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک متأثر از سطوح مختلف روشنه‌ها بود و برای مدیریت پایدار جنگل تأکید شد که از ایجاد روشنه‌های بزرگ یا خیلی بزرگ اجتناب شود (Kooch & Haghverdi, 2018).

اجرای دو دوره طرح جنگلداری با روش جنگلداری دانه‌زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی، تغییرات بخش‌هایی از قطعه مدیریت‌شده را فراهم آورد که از این طریق به کاهش نسبی فراوانی و تعداد گروه‌های بی‌مهرگان خاکزی یا غنای بی‌مهرگان خاکزی منجر شد. کاهش غنای بی‌مهرگان خاکزی نیز کاهش نسبی تنوع بی‌مهرگان خاکزی قطعه مدیریت‌شده را نسبت به قطعه مدیریت‌نشده فراهم آورد. با این حال این اختلافات جزئی به لحاظ آماری معنی‌دار نبود. از این‌رو براساس نتایج این تحقیق، برای مدیریت

مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای ۲۵ سال پس از عملیات چوبکشی در جنگل خیرود نشان داد که مقادیر متغیرهای واکنش شیمیایی (pH)، هدایت الکتریکی، کربن، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب در خاک به‌همراه فراوانی و زی‌توده کرم‌های خاکی آن کمتر از جنگل دست‌نخورده بود و تنها مقدار نسبت کربن به نیتروژن خاک آن بیشتر از جنگل دست‌نخورده شد. همچنین بازیابی بلندمدت جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و مقاومت به نفوذ خاک برای ۲۰ سال پس از عملیات چوبکشی در جنگل خیرود نشان داد که جرم مخصوص ظاهری و مقاومت به نفوذ، ۱۲/۷۵ و ۲۲/۳۰ درصد بیشتر و تخلخل ۹/۷۴ درصد کمتر از جنگل دست‌نخورده بود (Sohrabi et al., 2021). بررسی روند بازیابی خاک در مسیر چوبکشی پس از گذشت ۲۰ سال از اجرای عملیات خروج چوب در جنگل‌های نکا-ظالمرو مازندران نیز نشان داد که در مسیرهای پرتراфик با شیب طولی بیشتر از ۲۰ درصد، جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با منطقه دست‌نخورده کاهش اندکی داشته است (Ezzati et al., 2014). همچنین ارزیابی تأثیر جاده‌های جنگلی بر حاصلخیزی خاک جنگل‌های خیرود نوشهر نشان داد که تغییرات ناشی از به‌هم‌خوردگی و تخریب خاک در پی عملیات جاده‌سازی، تأثیرات منفی زیادی بر مشخصه‌های حاصلخیزی خاک داشته است (Deljouei et al., 2018).

نتایج ارزیابی‌های کمی و کیفی دو قطعه جنگل مدیریت‌نشده (شماره ۳۶) و مدیریت‌شده (شماره ۸) پس از اجرای دو دوره طرح جنگلداری به ترتیب نشان داد که میانگین موجودی در هکتار ۶۷۱/۶۵ و ۵۶۸/۰۲ متر مکعب، میانگین تعداد در هکتار ۲۹۶/۳۰ و ۲۹۷/۶۵ اصله، میانگین سطح مقطع در هکتار ۲۶/۲۵ و ۲۲/۳۷ متر مربع، میانگین ارتفاع درختان ۲۴/۸۹ و ۲۴/۵۸ متر و میانگین قطر برابرسینه درختان ۳۴/۶۹ و ۳۲/۱۹ سانتی‌متر بوده است. متوسط کل زادآوری شمارش‌شده

سیاسگزاری

از مساعدت‌های صمیمانه همه همکاران محترم پروژه تحقیقاتی، اعضای محترم کمیته فنی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اعضای محترم کمیته فنی اداره کل منابع طبیعی استان مازندران-ساری، همکاران محترم مرکز تحقیقات مازندران، کارشناسان محترم شرکت سهامی نکاچوب و قرقبانان محترم جنگل هفت‌خال و همچنین از اداره کل منابع طبیعی مازندران-ساری برای تأمین مالی این پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

جنگل‌های تولیدی با شرایط مشابه منطقه مورد بررسی، روش جنگلداری دانه‌زاد ناهمسال آمیخته و به شیوه جنگل‌شناسی تک‌گزینی توصیه می‌گردد. البته در قطعات مدیریت‌شده باید از ورود حیوانات اهلی یا هرگونه فعالیت اقتصادی و مخرب انسانی ممانعت کرد. در ایجاد توده‌های ناهمسال آمیخته، بهره‌برداری را با شدت کم و به‌صورت پراکنده انجام داد و روشن‌های کوچک و متوسط را در همه سطوح جنگل به وجود آورد. احداث جاده و عملیات بهره‌برداری نیز باید با رعایت همه اصول و مقررات علمی، با استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات مناسب خروج چوب و همچنین با حداقل خسارت و کمترین تغییر در خاک یا مسیر راه‌ها انجام گیرد.

References

- Askarpur, M.R., Sayad, E., & Taleshi, H. (2014). Relationship between Soil Macrofauna Tamarisk and Euphrates Poplar in Riparian Forest of Maroon River, Khuzestan Province, *Ecology of Iranian Forest*, 2(4), 12-18. (In Persian)
- Chen Ma, Ch., & Yin, X. (2019). Responses of soil invertebrates to different forest types in the Changbai Mountains of China. *Forest Environment*, 24(3), 153-161. <https://doi.org/10.1080/13416979.2019.1592287>.
- Deljouei, A., Abdi, E., & Majnounian, B. (2018). Effect of forest roads on variability of soil fertility parameters (Case Study: Kheyroud Forest, Nowshahr). *Iranian Journal of Forest*, 9(4), 445-456. (In Persian)
- Ding, J., Delgado-Baquerizo, M., Wang, J-T., & Eldridge, D.J. (2021). Ecosystem functions are related to tree diversity in forests but soil biodiversity in open woodlands and shrublands, *Journal of Ecology*, 109(12), 4158-4170. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13788>
- Ezzati, S., Najafi, E., & 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)
- Grodsky, S.M., Moorman, C.E., Fritts, S.R., Campbell, J.W., Sorenson, C.E., Bertone, M.A., Castleberry, S.B., & Wigley, T.B. (2018). Invertebrate community response to coarse woody debris removal for bioenergy production from intensively managed forests. *Ecological Applications*, 28(1), 135-148. <https://doi.org/10.1002/eap.1634>
- Habashi, H., & Mousavi, S.M. (2018). Single-tree selection system effects on forest soil macrofauna biodiversity in mixed oriental beech stands. *Applied Soil Ecology*, 123, 441-446. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.023>
- Hamzah, N.H., Maqtan, A., Omar, H., & Ibrahim, H. (2020). An abundance of soil invertebrates in young and mature palm oil plot in relations to soil physical properties: A preliminary study. *Journal of Bioscience and Applied Research*, 6(4), 251-262. <https://doi.org/10.21608/jbaar.2020.127425>
- Hosseini, S.Y. (2003). *Nonparametric statistic*. Allame Tabatabaee University, Tehran, Iran. (In Persian)

- Kooch, Y., & Haghverdi, K. (2018). Effect of forest canopy gap on soil enzyme activity, Dissolved organic matter and organic acids. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(4), 585- 597. <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2017.113884>. (In Persian)
- Natural Resources and Watershed Management Organization (2011). *Forestry plan of the series 4 of section 2 (Muzisa) of the Haft Khal Forest (second revision)*. General Department of Natural Resources and Watershed of Management, Sari, Iran. (In Persian)
- Mirabbalou, M., & Miri, B. (2018). Abundance and biodiversity of soil mesofauna in different layers of conifers forest soils. *Journal of Soil Biology*, 9(1), 99-105. <https://doi.org/10.22092/sbj.2020.342332.192>. (In Persian)
- Mirmoayedi, A. (2006). *The principle of insect classification*. Razi University Publication, Kermanshah, Iran. (In Persian)
- Mohammadnezhad Kiasari, Sh., Sagheb-Talebi, Kh., & Amini, Sh. (2017). Ecological assessment of conifers and broad-leaved plantations in Neka, Eastern of Mazandaran (Case study: Ghormaraz Area). *Wood & Forest Science and Technology*, 24(4), 173-185. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.11089.1579>. (In Persian)
- Mohammadnezhad Kiasari, Sh., Sagheb-Talebi, Kh., Rahmani, R., & Dastango, D. (2018). Assessment of plant and soil invertebrate diversity at development stages of natural beech stand, Haftkhal Forest (Mazandaran). *Forest and Wood Products*, 71(3), 185-197. <https://doi.org/10.22059/jfwp.2018.259904.933>. (In Persian)
- Mohammadnezhad Kiasari, Sh., Sagheb-Talebi, Kh., Espahbodi, K., Amini, Sh., & Alavi Enderajami, S.H. (2020). Assessment of quantitative and qualitative characteristics of components of dead trees in a forest compartment managed under single selection method with a control compartment (Case study: Haftkhal forests-Mazandaran). *Protection and Exploitation of Hyrcanian Forests*, 2(1), 75-84. (In Persian)
- Mohammadnezhad Kiasari, Sh., Sagheb-Talebi, Kh., Rahmani, R., Espahbodi, Parinezhad, H., & Mosaferi, A. (2022). Evaluation and comparison of average frequency and weight of earthworms in Haftkhal forests (managed and control plots). *The 6th National congress of new findings in agricultural and natural resources, environment and tourism*, <https://civilica.com/doc/1313995>, 786-995.
- Paillet, Y., Berges, L., Hjalten, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Romermann, M., Bijlsma, R-J., Bruyn, L. d., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Meszaros, I., Serbastia, M.T., Schmidt, W., Standovar, T., Tothmeresz, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K., & Virtanen, R. (2010). Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. *Conservation Biology*, 24(1), 101-112. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x>
- Rahmani, R., & Mayvan, H.Z. (2004). Diversity and Assemblage Structure of Soil Invertebrates in Beech, Hornbeam and Oak-Hornbeam Forest Types. *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(4), 425-436. (In Persian)
- Sohrabi, H., Jourgholami, M., & Jafari, M. (2021). Evaluation of changes in soil physical, chemical and biological properties 25 years after skidding operations in Kheyroud forest. *Forest and Wood Products*, 73(4), 403-415. <https://doi.org/10.22059/jfwp.2020.294831.1054>. (In Persian)
- Tajik, S., Ayoubi, S., Shirani, H., & Zeraatpisheh, M. (2019). Digital mapping of soil invertebrates using environmental attributes in a deciduous forest ecosystem. *Geoderma*, 353, 252-263. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.005>
- Tavakoli Feizabadi, M., Kooch, Y., & Akbarinia, M. (2018). Frequency and diversity of worms in topsoil of degraded and reclaimed forest habitats of the Caspian region. *Iranian Journal of Forest*, 10(3), 293-306. (In Persian)

Zakeri Pashakolaei, M., Alvaninejad, S., & Esmailzade, O. (2014). Relationship between plant biodiversity and topographical factors in Forests of West Mazandaran (Case study: Research forest of Tarbiat Modares University). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(8), 1-16. (In Persian)

Zobairi, M. (2007). *Forest biometry*. Tehran University Publications, Tehran, Iran. (In Persian)



Research Article

Comparison of the abundance and diversity of soil invertebrates between managed and unmanaged compartments in the Haftkhal forests of Mazandaran

Sh. Mohammadnezhad Kiasari^{1*}, Kh. Sagheb-Talebi², and R. Rahmani³

¹ Assistance Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Mazandaran, AREEO, Mazandaran, I.R. Iran

² Prof., Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

³ Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

(Received: 11 October 2022; Accepted: 17 May 2023)

Abstract

Introduction: The relationship between soil invertebrates and silvicultural practices in the oriental beech forests (*Fagus orientalis* Lipsky), a widespread forest tree in the Hyrcanian region, is not fully understood. The diversity of soil invertebrates is a crucial variable in the ecological evaluation of managed forests. Therefore, this study aims to assess the impacts of silvicultural practices on soil invertebrates, which is essential for sustainable forest management. The soil invertebrates studied included Earthworms, Winged insects, Aranea, Pseudoscorpions, Collembola, Protura, Diplura, Diplopoda, Chilopoda, Symphyla, Pauropoda, and Isopoda. The objective was to compare the abundance and diversity of soil invertebrates between two managed (No. 8) and unmanaged (No. 36) compartments in the Haftkhal forests of Neka city, Mazandaran province.

Materials and Methods: Soil sampling was conducted in 131 ha of the studied forests using a regular random method with grid dimensions of 150 × 200 m. A cylindrical device with a cross-sectional area of 81 cm² and a depth of 10 cm was used. Twenty and thirty sampling plots were obtained in managed (No. 8) and unmanaged (No. 36) compartments, respectively. The average abundance and the average number of soil invertebrate groups per square meter were determined. Additionally, Shannon-Wiener and Simpson Indices were used to calculate soil invertebrates' diversity, while Margalef and Sheldon indices were used to determine species richness and evenness, respectively.

Findings: The results showed that the averages of total abundance and the number of soil invertebrate groups per square meter in the managed forest (117278.70 and 7.31) had a slight decrease compared to the unmanaged forest (120167.77 and 7.62). Also, the diversity averages based on Shannon-Wiener and Simpson indices, along with the Margalef richness of soil invertebrates in the managed forest (1.890, 0.834, and 1.770), had a slight decrease compared to the unmanaged forest (1.928, 0.840, and 1.862). On the other hand, the average Sheldon evenness of soil invertebrates in the managed forest (0.935) had a slight increase compared to the unmanaged forest (0.924). Overall, road construction and exploitation operations during the two periods of the forestry plan implementation created scattered changes in the managed compartment, leading to a slight decrease in the abundance, richness, and diversity of soil invertebrates. However, the values of all the investigated variables between managed and unmanaged forests were not statistically significant ($p=0.05$).

Conclusion: This research demonstrated that forest management, utilizing the forestry method of uneven-aged mixed forest and the silviculture system of single-selection, has not significantly reduced the abundance and diversity indices of soil invertebrates in the managed forest compared to the unmanaged forest.

Keywords: Diversity, Evenness, Natural forest, Richness, Single-selection.

* Corresponding author

Tell: +9112550427

E-mail address: ms.mohammadnezhadk@gmail.com