



## اثر پوشش‌های مختلف درختی، درختچه‌ای و مرتعی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (مطالعه موردی: منطقه مونج-نوشهر)

یحیی کوچ<sup>۱\*</sup>، مریم اسدیان<sup>۲</sup> و کتابون حقوردی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه مرتعداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.  
<sup>۲</sup>دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.  
<sup>۳</sup>گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵)

### چکیده

**مقدمه:** حفظ بوم‌سازگان‌های طبیعی بارزش مستلزم شناخت جوامع گیاهی و عوامل محیطی مؤثر بر آن است. خاک بستر رشد و نمو گیاه است و در هر ناحیه بین خاک و پوشش گیاهی ارتباط متقابل و تنگاتنگی وجود دارد. پوشش‌های مختلف گیاهی با توجه به کمیت‌ها و کیفیت‌های متفاوت مواد آلی ورودی (بقایای گیاهی) سبب تغییرات اساسی در جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، تخلخل، زی‌توده میکروبی و میزان فعالیت آن در خاک و در نهایت چرخه مواد غذایی می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، جمعیت‌های جانوری، گیاهی و ویژگی‌های میکروبی خاک تحت پوشش‌های مختلف گیاهی در منطقه مونج از توابع شهرستان نوشهر انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در منطقه پژوهش، یک پوشش درختی (پوشش جنگلی) با غالبیت گونه آزاد (*K. Koch Zelkova carpinifolia* (Pall.))، جنگل آمیخته با گونه‌های آزاد و اوجا (*Zelkova carpinifolia* (Pall.) K. Koch - *Ulmus minor* Mill) پوشش درختچه‌ای با غالبیت سرخه ولیک (*Crataegus monogyna* Jacq.)، پوشش درختچه‌ای با غالبیت زرشک (*Berberis vulgaris* L.) و پوشش مرتعی با پوشش غالب *Festuca ovina* L. انتخاب شدند. شایان ذکر است که این پوشش‌ها در نتیجه جایگزینی طبیعی و تحت تأثیر خصوصیات محیطی و رویشگاهی در طول زمان به وجود آمده‌اند. در هر یک از این پوشش‌ها ۱۵ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی متری برداشت و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که مقدار محتوای رطوبت خاک در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا ۱/۷ برابر مقدار این ویژگی در پوشش مرتعی فستوکا بود. مقدار پایداری خاکدانه و مقدار هدایت الکتریکی در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا به ترتیب ۱/۹ برابر و ۱/۴ برابر بیشتر از پوشش مرتعی اندازه‌گیری شد. در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا، مقدار کربن آلی (۱/۵ برابر) و مقدار نیتروژن کل (۲/۷ برابر) بیشتر از پوشش مرتعی فستوکا بود. همچنین در پوشش مرتعی فستوکا مقدار کربن آلی ذره‌ای (۵/۵ برابر)، فسفر (۲/۴ برابر)، پتاسیم (۲/۶ برابر)، کلسیم (۲/۳ برابر) و منیزیم قابل جذب (۲/۸ برابر) کمتر از پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا گزارش شد. مقدار زی‌توده ریز ریشه در پوشش‌های جنگلی بیش از سه‌برابر پوشش مرتعی فستوکا مشاهده شد. تعداد آندوژنیک‌ها، زی‌توده کرم خاکی، تراکم نماتدها و جمعیت قارچ‌ها در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا به ترتیب ۶/۷، ۸/۳، ۴/۵ و ۶/۵ برابر پوشش مرتعی فستوکا بود. در جنگل آمیخته آزاد و اوجا، مقدار تنفس پایه (۳/۳ برابر)، زی‌توده میکروبی کربن (۵/۲ برابر)، آنزیم اوره‌از (۲/۴ برابر) و آنزیم اسید فسفاتاز (۱/۷ برابر) بیشتر از پوشش مرتعی فستوکا اندازه‌گیری شد. در این مطالعه مقدار ضریب متابولیکی در پوشش مرتعی فستوکا ۲/۹ برابر بیشتر از پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا گزارش شد. همچنین نتایج تحلیل به مؤلفه‌های اصلی حاکی از آن بود که پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا توانسته است شرایط مناسبی را برای فعالیت انواع موجودات خاکزی و جمعیت جانوری و گیاهی خاک فراهم آورد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت پوشش درختی (جنگلی) از وضعیت مطلوب‌تری نسبت به بقیه پوشش‌های گیاهی بررسی شده برخوردار است. این در حالی است که تغییر پوشش گیاهی از پوشش جنگلی به مرتعی (به‌واسطه جایگزینی طبیعی پوشش‌ها) با افت بسیاری از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سبب کاهش فعالیت‌های میکروبی و زیستی خاک در این نوع پوشش شده است.

**واژه‌های کلیدی:** جنگل آمیخته آزاد و اوجا، پوشش مرتعی فستوکا، جمعیت‌های جانوری و گیاهی، ویژگی‌های میکروبی خاک.

## مقدمه

به ویژه ویژگی های تغذیه ای آن بودند، به طوریکه مقدار مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی، کلسیم قابل تبادل و مقدار پتاسیم، در خاک زیر پوشش انواع درختان جنگلی با یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند.

بسته به نوع و مقدار بقایای گیاهی موجود در خاک، پاسخ و واکنش به تغییرات پوشش های مختلف گیاهی متفاوت است، اما شواهد بیانگر حساسیت بیشتر مشخصه های زیستی خاک به این تغییرات است (Ashagrie et al., 2005). در نتیجه فعالیت های رویشی گیاهان، مقدار زیادی لاشبرگ در بستر رویشگاه تجمع می یابد. وزن لاشبرگ های بستر با شدت فعالیت های زیستی خاکزیان همبستگی زیادی دارد (Song et al., 2016). گستره وسیعی از موجودات زنده در بوم سازگان خاکی زندگی می کنند که نیازهای اکولوژیک متنوع و متفاوتی دارند. تعداد، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی تابعی از مشخصه های خاک (رطوبت، واکنش خاک و عناصر غذایی)، ویژگی های اقلیمی و پوشش گیاهی است (Zhu et al., 2023). از میان عوامل ذکر شده، پوشش گیاهی به علت ایجاد شرایط متفاوت خرد اقلیمی و دسترسی به مواد غذایی تأثیر زیادی بر توزیع موجودات خاکزی دارد (Jost et al., 2021). گیاهان به صورت مستقیم و غیرمستقیم برای جانداران یک رویشگاه، منابع غذایی فراهم می کنند (Nan et al., 2020). در همین زمینه (Korucu et al., 2018) با بررسی عوامل مؤثر بر ساختار جمعیت کرم خاکی، به تأثیر تراکم گیاهان روی ساختار این جانداران در مقیاس محلی اشاره کردند. حضور جانداران خاکزی می تواند به طور مستقیم زی توده و فعالیت جوامع میکروبی را تحت تأثیر قرار دهد. جمعیت میکروبی خاک، نقش اصلی و اساسی در محصولات اولیه، تجزیه مواد آلی، چرخه غذایی و فراهمی عناصر غذایی قابل جذب و در نتیجه حاصلخیزی درازمدت و جریان انرژی در خاک دارد (Mola ali abasiyan

حفظ بوم سازگان های طبیعی با ارزش، مستلزم شناخت جوامع گیاهی و عوامل محیطی مؤثر بر آن است. اقلیم، پستی و بلندی ها و خاک از مهم ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر نوع پوشش گیاهی هستند (Baluce et al., 2023). خاک بستر رشد و نمو گیاه است و در هر ناحیه بین خاک و پوشش گیاهی ارتباط متقابل و تنگاتنگی وجود دارد. خصوصیات خاک متأثر از فعالیت های ریشه و خصوصیات لاشبرگی است که از گیاهان به ناحیه زیر تاج پوشش آنها فرو می ریزد. خاک تحت تأثیر ویژگی های گیاهی مانند نوع پوشش گیاهی (جامعه و جمعیت)، فرم رویشی و تراکم پوشش به طور پیوسته در زمان و مکان تغییر می کند (Yang et al., 2011). به همین دلیل هر گونه تغییر در نوع پوشش گیاهی سبب بروز تغییراتی در انواع خاک می شود. به طوری که اثرهای آندر ویژگی های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی و در نتیجه حاصلخیزی خاک مشهود است (Kooch, 2023; Marefat et al., 2020). پوشش های مختلف گیاهی با توجه به کمیت ها و کیفیت های متفاوت مواد آلی ورودی (بقایای گیاهی) سبب تغییرات اساسی در جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، تخلخل، زی توده میکروبی و میزان فعالیت آن در خاک و در نهایت چرخه مواد غذایی می شوند (Saiz et al., 2016). در همین زمینه (Sayad et al., 2007) در پژوهش خود در شهرستان نور مازندران بیان کردند که تغییر در مواد غذایی خاک، ناشی از تغییرات مقدار و کیفیت لاشبرگ در پوشش های مختلف گیاهی به طور چشمگیری در پویایی کربن آلی خاک تأثیرگذار بوده است. همچنین Mohammadi (2006) در پژوهش خود در خصوص تأثیر انواع درختان جنگلی زاگرس در مریوان بر ویژگی های شیمیایی خاک، مشاهده کردند که این درختان، عامل تغییر بسیاری از ویژگی های خاک،

صورت طبیعی (جایگزینی طبیعی پوشش‌های مختلف گیاهی) در منطقه مونج از توابع شهرستان نوشهر است (موضوعی که در مطالعات مربوط به تغییر پوشش گیاهی کمتر به آن توجه شده است).

### مواد و روش‌ها

#### منطقه پژوهش

عرصه تحت بررسی در منطقه مونج، در فاصله ۷۰ کیلومتری شهرستان نوشهر و بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم کوهستانی نیمه‌خشک است، ارتفاع آن از سطح دریا ۱۹۰۰ متر، بارندگی متوسط سالانه آن ۳۸۰ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر سالیانه آن ۱۳۰۰ میلی‌متر است. در این منطقه پوشش‌هایی چون پوشش جنگلی با غالبیت گونه آزاد (*Zelkova carpinifolia* (Pall.) K.Koch)، جنگل آمیخته با گونه‌های آزاد و اوجا (*Zelkova carpinifolia* (Pall.) K.Koch - *Ulmus minor* Mill)، پوشش درختچه‌ای با غالبیت سرخه‌ولیک (*Crataegus monogyna* Jacq.)، پوشش درختچه‌ای با غالبیت زرشک (*Berberis vulgaris* L.) و پوشش مرتعی با غالبیت گونه *Festuca ovina* L. (پوشش مرتعی فستوکا) در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که این پوشش‌ها در نتیجه جایگزینی طبیعی و تحت تأثیر خصوصیات محیطی و رویشگاهی در طول زمان به وجود آمده‌اند. پس از بررسی‌های اولیه و بازدیدهای میدانی، بخش‌هایی از این پوشش‌ها که به صورت پیوسته با هم و دارای حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب و همچنین حداقل دست‌خوردگی و دخالت توسط انسان و دام بودند انتخاب شدند (جدول ۱، شکل ۱).

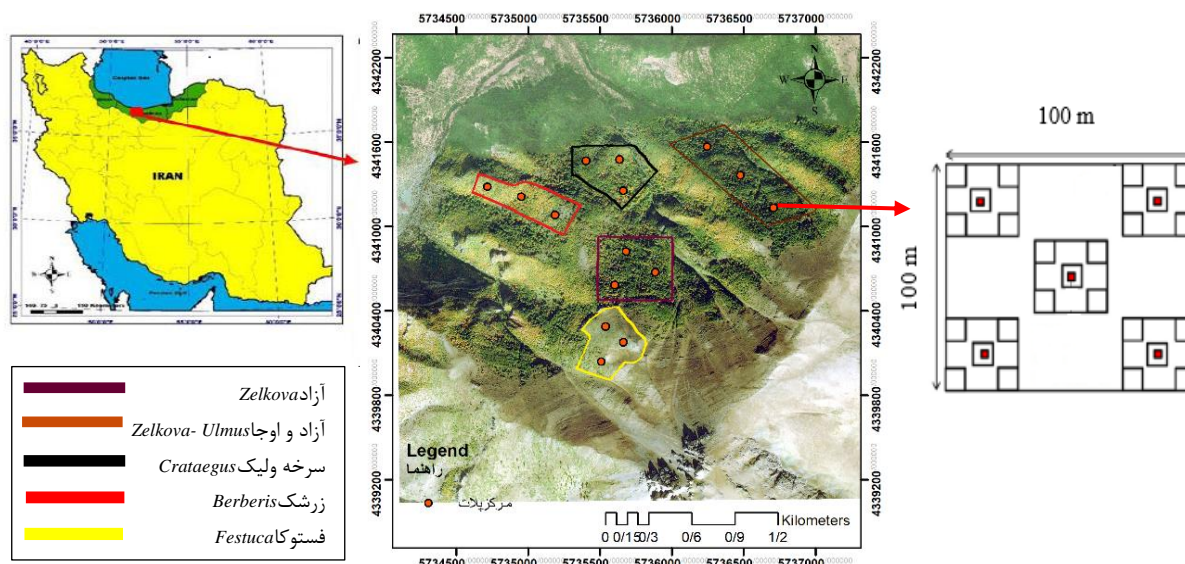
(et al., 2024). زی‌توده میکروبی خاک جزءزنده ماده‌آلی خاک و دربرگیرنده قارچ‌ها، باکتری‌ها، آکتینومیست‌ها، جلبک‌ها و میکروفونا است و در نهایت حدود ۲ درصد کل کربن آلی خاک و ۵ درصد نیتروژن آلی را شامل می‌شود (Liu et al., 2007). به‌طور معمول کربن زی‌توده میکروبی برآوردی از فعالیت و حیات توده میکروبی خاک به شمار می‌آورد. طبق یافته‌های Yadav et al. (2011) بسیاری از مشخصه‌های میکروبی خاک همانند تنفس خاک (پایه و برانگیخته)، کربن زی‌توده میکروبی، نیتروژن زی‌توده میکروبی، فسفر زی‌توده میکروبی، ضریب متابولیکی، قابلیت دسترسی به کربن و همچنین فعالیت گروه‌های آنزیمی اثر مهمی در حفظ و رهاسازی مواد مغذی و انرژی دارند و به‌سرعت به تغییر مقدار مواد مغذی، رطوبت و دمای خاک (ناشی از تغییرات پوشش گیاهی) واکنش نشان می‌دهند. در همین زمینه (Kooch & Nogreh (2019) در پژوهش خود افت شدید فعالیت‌های آنزیمی و کاهش چشمگیر مقادیر مربوط به بسیاری از مشخصه‌های میکروبی خاک را در نتیجه تغییر پوشش گیاهی از پوشش جنگلی (بلوط-اوری) به مرتعی (آستراگالوس) گزارش کرده‌اند. با توجه به پژوهش‌های انجام‌گرفته، اهمیت شناخت سازوکار وقوع تغییرات در بوم‌سازگان‌های جنگلی و مرتعی و اجزای آنها به‌ویژه خاک و گیاه (به‌واسطه تغییر پوشش گیاهی)، برای دستیابی به راهکارهای علمی و عملی بهینه مدیریتی در چنین عرصه‌هایی، بسیار حائز اهمیت است.

هدف این پژوهش، بررسی هم‌زمان جمعیت‌های جانوری و گیاهی، فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک و تأثیرپذیری آنها از تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه تغییر پوشش گیاهی به

جدول ۱- ویژگی های پوشش های گیاهی در محدوده پژوهش

Table 1. Characteristic of plant covers in studied areas

جهت دامنه Slope aspect	میانگین درصد تاج پوشش Average canopy cover percentage	دامنه ارتفاع از سطح دریا Elevation range	دامنه درصد شیب Slope percentage range	ویژگی Vegetation Characteristics پوشش های گیاهی
Northern	83	1810-1815	5-7	آزاد <i>Z. carpinifolia</i>
Northern	76	1825-1829	5-8	آزاد و اوجا <i>Z. carpinifolia - U. minor</i>
Northern	71	1815-1820	6-8	سرخه ولیک <i>C. monogyna</i>
Northern	63	1813-1819	6-7	زرشک <i>B. vulgaris</i>
Northern	60	1815-1818	6-8	فستوکا <i>F. ovina</i>



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش در استان مازندران، منطقه مونج-نوشهر

(پراکنش قطعات نمونه یک هکتاری در محدوده پوشش های تحت بررسی)

Figure 1. The location of the study area in Mazandaran Province, Monj region - Noshahr (Distribution of one-hectare sample plots within the studied covers)

سانتی متری) برداشت (شکل ۱) و در مجموع ۱۵ نمونه خاک از هر رویشگاه برای اندازه گیری ویژگی های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی به آزمایشگاه منتقل شد (Kooch et al., 2022). شایان ذکر است که نمونه برداری از خاک در تابستان صورت گرفت. در این پژوهش، ویژگی های فیزیکی (جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، پایداری خاکدانه، بافت خاک، درصد رطوبت وزنی خاک) و شیمیایی خاک (واکنش خاک، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن

### شیوه اجرای پژوهش

#### روش نمونه برداری، تجزیه آزمایشگاهی خاک

برای بررسی اثر پوشش های گیاهی بر ویژگی های مختلف لایه معدنی خاک، در هر یک از پوشش های تحت بررسی سه قطعه نمونه یک هکتاری با فواصل حداقل ۶۰۰ متر انتخاب شد. در هر یک از این قطعات یک هکتاری، ۵ نمونه از لایه معدنی خاک (از چهار گوشه و مرکز قطعه نمونه با استفاده از ریز قطعات نمونه ۳۰ در ۳۰ سانتی متر و تا عمق ۱۰

## نتایج

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در بین پوشش‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری داشته‌اند. پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا بیشترین و پوشش مرتعی فستوکا کمترین مقدار رطوبت خاک را به خود اختصاص دادند. کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری و بیشترین پایداری خاکدانه در پوشش‌های جنگلی آزاد و آمیخته آزاد و اوجا اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های جرم مخصوص حقیقی و تخلخل خاک در بین پوشش‌های مختلف تفاوت آماری معنی‌داری نشان ندادند. بیشترین مقادیر رس خاک در پوشش‌های جنگلی آزاد و آمیخته آزاد و اوجا و بیشترین مقادیر شن خاک در پوشش‌های درختچه‌ای با غالبیت زرشک و پوشش مرتعی فستوکا مشاهده شد. پوشش‌های جنگلی آزاد و آمیخته آزاد و اوجا بیشترین مقدار واکنش خاک و پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی کمترین مقدار هدایت الکتریکی را داشتند. بیشترین مقدار کربن آلی در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا و کمترین مقدار نیتروژن کل در پوشش‌های درختچه‌ای با غالبیت زرشک و پوشش مرتعی فستوکا اندازه‌گیری شد. بیشترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن نیز در پوشش مرتعی فستوکا مشاهده شد. پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا بیشترین مقدار فسفر قابل جذب و کربن آلی ذره‌ای و پوشش‌های درختچه‌ای با غالبیت زرشک و مرتعی کمترین مقدار این ویژگی‌ها را نشان دادند. بیشترین مقدار پتاسیم و منیزیم قابل جذب در پوشش‌های جنگلی آزاد و آمیخته آزاد و اوجا و کمترین مقدار آن در پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی مشاهده شد. پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا دارای بیشترین مقدار کلسیم قابل جذب و نیتروژن آلی ذره‌ای و پوشش مرتعی فستوکا دارای کمترین مقدار این ویژگی‌ها بود (جدول ۲).

کل، کربن و نیتروژن آلی ذره‌ای، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم قابل جذب) با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Jafari-Haghighi, 2003). ویژگی‌های زیستی خاک شامل زی‌توده ریزریشه‌ها (ریشه‌هایی با قطر کمتر از ۲ میلی‌متر)، تعداد و زی‌توده گروه‌های اکولوژیک کرم‌های خاکی (اپی‌ژئیک‌ها، آنسئیک‌ها و اندوژئیک‌ها)، جمعیت کنه‌ها، پادمان‌ها، نامتدها، قارچ‌ها، مقدار تصاعد دی‌اکسید کربن (تنفس پایه)، تنفس برانگیخته، زی‌توده میکروبی کربن، نیتروژن و فسفر، ویژگی ضریب متابولیکی، قابلیت دسترسی به کربنو آنزیم (اوره‌آز، اسیدفسفاتاز، آریل سولفاتاز و اینورتاز) نیز مطابق روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد (Aliasgharzade, 2010).

### روش تحلیل

در این پژوهش، نرمال بودن داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. برای بررسی آماری تفاوت مقادیر ویژگی‌های مختلف خاک در ارتباط با نوع پوشش از آزمون تجزیه واریانس یکطرفه استفاده شد. آزمون دانکن نیز برای مقایسه چندگانه میانگین به کار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری همه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین ویژگی‌های جانوری و گیاهی، زیستی و فیزیکوشیمیایی خاک در پوشش‌های تحت بررسی، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) در نرم‌افزار PC-ORD تحت Windows استفاده شد. شایان ذکر است که در این روش برای تعیین همبستگی بین متغیرها و محورهای اصلی از روش دوران عامل استفاده شد و متغیرهای دارای همبستگی بیشتر از ۰/۴ با محورها، در شکل نمایش داده شدند (Zou & Hastie, 2020).

جدول ۲- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در پوشش‌های مختلف جنگلی و مرتعی

Table 2. Mean (±SE) of soil physico-chemical properties in different forestland rangeland covers

معنی‌داری Sig.	مقدار F- value	Statistical characteristics		Vegetation covers			ویژگی Characteristic
		فستوکا <i>F.ovina</i>	زرشک <i>B.vulgaris</i>	سرخه ولیک <i>C.monogyna</i>	آزاد و اوجا <i>Z.carpinifolia- U. minor</i>	آزاد <i>Z.carpinifolia</i>	
0.000	21.391	32.73±2.09 <sup>d</sup>	40.38±1.92 <sup>c</sup>	45.48±1.60 <sup>bc</sup>	55.64±3.24 <sup>a</sup>	49.63±2.93 <sup>ab</sup>	رطوبت (درصد) Water content (%)
0.005	4.027	1.38±0.03 <sup>a</sup>	1.35±0.05 <sup>ab</sup>	1.34±0.02 <sup>ab</sup>	1.21±0.03 <sup>c</sup>	1.27±0.03 <sup>bc</sup>	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g cm-3)
0.984	0.093	2.45±0.05 <sup>a</sup>	2.43±0.06 <sup>a</sup>	2.46±0.11 <sup>a</sup>	2.40±0.06 <sup>a</sup>	2.43±0.05 <sup>a</sup>	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Particle density (g cm-3)
0.225	1.456	43.33±1.94 <sup>a</sup>	43.71±2.53 <sup>a</sup>	44.04±2.62 <sup>a</sup>	49.23±1.60 <sup>a</sup>	47.32±1.94 <sup>a</sup>	تخلخل (درصد) Prosity (%)
0.000	50.643	38.30±1.84 <sup>c</sup>	40.64±1.73 <sup>c</sup>	43.12±2.01 <sup>c</sup>	72.99±2.41 <sup>a</sup>	55.94±2.07 <sup>b</sup>	پایداری خاکدانه (درصد) Aggregate stability (%)
0.000	13.137	26.86±2.35 <sup>d</sup>	30.26±2.10 <sup>cd</sup>	34.46±1.52 <sup>bc</sup>	43.73±1.51 <sup>a</sup>	39.26±1.68 <sup>ab</sup>	رس (درصد) Clay (%)
0.000	6.378	34.00±2.34 <sup>a</sup>	33.73±1.17 <sup>a</sup>	31.80±2.11 <sup>a</sup>	21.60±1.28 <sup>b</sup>	29.53±2.70 <sup>a</sup>	شن (درصد) Sand (%)
0.251	1.377	39.13±2.82 <sup>a</sup>	36.00±2.64 <sup>a</sup>	33.73±2.48 <sup>a</sup>	34.66±1.97 <sup>a</sup>	31.20±2.45 <sup>a</sup>	سیلت (درصد) Silt (%)
0.000	12.782	6.01±0.08 <sup>c</sup>	6.07±0.14 <sup>bc</sup>	6.41±0.14 <sup>b</sup>	7.04±0.09 <sup>a</sup>	6.80±0.14 <sup>a</sup>	واکنش pH
0.000	9.273	0.27±0.02 <sup>b</sup>	0.298±0.02 <sup>b</sup>	0.30±0.03 <sup>b</sup>	0.383±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.02 <sup>a</sup>	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (ds m-1)
0.000	5.717	1.84±0.16 <sup>b</sup>	1.90±0.12 <sup>b</sup>	2.06±0.17 <sup>b</sup>	2.73±0.15 <sup>a</sup>	2.23±0.11 <sup>b</sup>	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
0.000	13.954	0.13±0.02 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>c</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	0.35±0.04 <sup>a</sup>	0.24±0.02 <sup>b</sup>	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
0.010	3.628	23.23±6.21 <sup>a</sup>	14.65±1.88 <sup>b</sup>	10.01±0.99 <sup>b</sup>	9.71±1.4 <sup>b</sup>	10.20±0.97 <sup>b</sup>	نسبت کربن به نیتروژن C/N ratio
0.000	28.088	12.87±0.94 <sup>d</sup>	15.42±0.97 <sup>cd</sup>	18.86±1.24 <sup>bc</sup>	31.28±1.94 <sup>a</sup>	22.49±1.4 <sup>b</sup>	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg kg-1)
0.000	20.003	76.53±3.90 <sup>b</sup>	97.86±6.65 <sup>b</sup>	108.46±7.84 <sup>b</sup>	198.33±16.20 <sup>a</sup>	173.93±17.33 <sup>a</sup>	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg kg-1)
0.000	33.987	84.73±2.39 <sup>d</sup>	97.73±4.86 <sup>cd</sup>	116.06±8.76 <sup>c</sup>	193±10.76 <sup>a</sup>	136.86±6.54 <sup>b</sup>	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Ca (mg kg-1)
0.000	13.013	24.46±2.79 <sup>b</sup>	37.26±3.59 <sup>b</sup>	38.73±3.87 <sup>b</sup>	68.4±5.78 <sup>a</sup>	59.53±7.31 <sup>a</sup>	منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Mg (mg kg-1)
0.000	25.499	0.57±0.17 <sup>d</sup>	0.99±0.14 <sup>d</sup>	1.69±0.2 <sup>c</sup>	3.18±0.27 <sup>a</sup>	2.27±0.19 <sup>b</sup>	کربن آلی ذره‌ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Particulate organic carbon (g kg-1)
0.000	15.830	0.10±0.02 <sup>d</sup>	0.14±0.02 <sup>cd</sup>	0.24±0.04 <sup>c</sup>	0.54±0.07 <sup>a</sup>	0.37±0.03 <sup>b</sup>	نیتروژن آلی ذره‌ای (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Particulate organic nitrogen (g kg-1)

حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار در بین پوشش‌های گیاهی مختلف است.

Different letters in each row indicate significant statistical difference at the studied vegetation covers

### ویژگی‌های جمعیت‌های جانوری و گیاهی خاک

نتایج مقایسه میانگین‌های این متغیرها نشان داد که بیشترین مقدار زی‌توده ریزریشه در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا و کمترین مقدار آن در پوشش مرتعی فستوکا اندازه‌گیری شد. تعداد و زی‌توده اپی‌ژئیک‌ها تفاوت آماری معنی‌داری بین پوشش‌های مختلف گیاهی نشان نداد. بیشترین تعداد آنسئیک‌ها، آندوزئیک‌ها، زی‌توده آندوزئیک، تعداد کل کرم خاکی، زی‌توده کرم خاکی، جمعیت پادمان‌های خاکزی، تراکم نماتدها و جمعیت قارچ‌ها در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا مشاهده شد. پوشش مرتعی فستوکا کمترین مقدار این ویژگی‌ها را به خود اختصاص داد. همچنین بیشترین جمعیت کنه‌های خاکزی متعلق به پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا و

کمترین مقدار آن متعلق به پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی بود (جدول ۳).

### ویژگی‌های زیستی خاک

پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا دارای بیشترین مقدار تنفس پایه، تنفس برانگیخته، زی‌توده میکروبی کربن، زی‌توده میکروبی نیتروژن، زی‌توده میکروبی فسفر، آنزیم اوره‌آز و آنزیم اسیدفسفاتاز بود. بیشترین مقدار آنزیم آریل سولفاتاز و آنزیم اینورتاز در پوشش‌های جنگلی و کمترین مقدار آنها در پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی مشاهده شد. بیشترین مقدار ضریب متابولیسمی در پوشش مرتعی فستوکا اندازه‌گیری شد؛ درحالی که این پوشش کمترین مقدار بقیه ویژگی‌های زیستی اندازه‌گیری شده را داشت (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های جانوری و گیاهی خاک در پوشش‌های مختلف جنگلی و مرتعی

Table 3. Mean (±SE) of soil fauna and flora properties in different forestland rangeland covers

ویژگی‌های آماری		پوشش‌های گیاهی					مشخصه Characteristic
Statistical characteristics		Vegetation covers					
معنی‌داری Sig.	مقدار F F-value	فستوکا <i>F. ovina</i>	زرشک <i>B. vulgaris</i>	سرخه ولیک <i>C. monogyna</i>	آزاد و اوجا <i>Z. carpinifolia- U. minor</i>	آزاد <i>Z. carpinifolia</i>	
0.000	48.497	13.77±0.99 <sup>c</sup>	18.90±1.37 <sup>c</sup>	20.09±1.36 <sup>c</sup>	59.52±5.52 <sup>a</sup>	42.45±5.36 <sup>b</sup>	زی‌توده ریزریشه (گرم بر متر مربع) Fine root biomass (g m <sup>-2</sup> )
0.483	0.875	0.07±0.06 <sup>a</sup>	0.13±0.09 <sup>a</sup>	0.20±0.10 <sup>a</sup>	0.33±0.15 <sup>a</sup>	0.26±0.11 <sup>a</sup>	تراکم اپی‌ژئیک (تعداد در متر مربع) Epigeic density (n m <sup>-2</sup> )
0.228	1.726	0.41±0.41 <sup>a</sup>	0.96±0.65 <sup>a</sup>	1.79±0.96 <sup>a</sup>	3.33±1.56 <sup>a</sup>	3.22±1.57 <sup>a</sup>	زی‌توده اپی‌ژئیک (میلی‌گرم در متر مربع) Epigeic biomass (mg m <sup>-2</sup> )
0.016	3.260	0.33±0.12 <sup>b</sup>	0.4±0.16 <sup>b</sup>	0.53±0.25 <sup>b</sup>	1.60±0.48 <sup>a</sup>	0.66±0.25 <sup>b</sup>	تراکم آنسئیک (تعداد در متر مربع) Anecic density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	14.194	1.77±0.81 <sup>b</sup>	4.09±1.69 <sup>b</sup>	4.50±2.13 <sup>b</sup>	13.59±3.64 <sup>a</sup>	8.11±2.88 <sup>ab</sup>	زی‌توده آنسئیک (میلی‌گرم در متر مربع) Anecic biomass (mg m <sup>-2</sup> )
0.000	8.927	0.40±0.13 <sup>c</sup>	0.80±0.29 <sup>bc</sup>	0.80±0.24 <sup>bc</sup>	2.66±0.41 <sup>a</sup>	1.46±0.33 <sup>b</sup>	تراکم آندوزئیک (تعداد در متر مربع) Endogeic density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	12.621	3.72±1.34 <sup>c</sup>	7.07±2.77 <sup>c</sup>	8.24±2.28 <sup>c</sup>	32.03±4.80 <sup>a</sup>	18.09±3.81 <sup>b</sup>	زی‌توده آندوزئیک Endogeic biomass (mg m <sup>-2</sup> )
0.000	9.507	0.80±0.24 <sup>c</sup>	1.33±0.47 <sup>bc</sup>	1.53±0.45 <sup>bc</sup>	4.60±0.69 <sup>a</sup>	2.4±0.44 <sup>b</sup>	تراکم کل کرم‌های خاکی (تعداد در متر مربع) Earthworm density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	10.105	5.91±2.03 <sup>c</sup>	12.13±4.50 <sup>c</sup>	14.53±3.55 <sup>c</sup>	48.97±6.56 <sup>a</sup>	29.43±5.19 <sup>b</sup>	زی‌توده کل کرم‌های خاکی (میلی‌گرم در متر مربع) Earthworm biomass (mg m <sup>-2</sup> )
0.000	15.254	10394±2000 <sup>b</sup>	11785±995 <sup>b</sup>	12524±1426 <sup>b</sup>	33474±4333 <sup>a</sup>	26927±3205 <sup>a</sup>	تراکم کنه‌های خاکزی (تعداد در متر مربع) Acarina density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	19.105	7466±2198 <sup>c</sup>	9782±763 <sup>bc</sup>	11161±1475 <sup>bc</sup>	30163±3139 <sup>a</sup>	15890±2023 <sup>b</sup>	تراکم پادمان‌های خاکزی (تعداد در متر مربع) Collembola density (n m <sup>-2</sup> )
0.000	18.928	80.26±12 <sup>d</sup>	96.13±8 <sup>cd</sup>	188±47 <sup>ab</sup>	357±42 <sup>a</sup>	279±46 <sup>ab</sup>	تراکم نماتدهای خاکزی (تعداد در متر مربع) Total nematode (in 100 gr soil)
0.000	17.044	0.474±0.078 <sup>d</sup>	0.784±0.109 <sup>d</sup>	1.562±0.252 <sup>c</sup>	3.058±0.295 <sup>a</sup>	2.370±0.283 <sup>b</sup>	جمعیت قارچ‌ها (×10 <sup>4</sup> در گرم خاک) Total fungi (×107 g soil)

حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار در بین پوشش‌های گیاهی مختلف است.

Different letters in each row indicate significant statistical difference at the studied different plant covers

جدول ۴- میانگین ( $\pm$  اشتباه معیار) ویژگی‌های زیستی خاک در پوشش‌های مختلف جنگلی و مرتعیTable 4. Mean ( $\pm$ SE) of soil biological properties in different forestland rangeland covers

ویژگی‌های آماری Statistical characteristics	پوشش گیاهی Vegetation covers						ویژگی Characteristic
	معنی‌داری Sig.	مقدار F- F-value	فستوکا <i>F.ovina</i>	زرشک <i>B.vulgaris</i>	سرخه ولیک <i>C.monogyna</i>	آزاد و اوجا <i>Z.carpinifolia- U.minor</i>	
0.000	8.371	0.088 $\pm$ 0.0215 <sup>d</sup>	0.1113 $\pm$ 0.0141 <sup>cd</sup>	0.1667 $\pm$ 0.0174 <sup>bc</sup>	0.26 $\pm$ 0.0371 <sup>a</sup>	0.2153 $\pm$ 0.0262 <sup>ab</sup>	تنفس پایه BR (mg co2 g-1 day-1)
0.001	5.096	0.416 $\pm$ 0.1022 <sup>c</sup>	0.602 $\pm$ 0.133 <sup>bc</sup>	0.832 $\pm$ 0.141 <sup>ab</sup>	1.161 $\pm$ 0.1927 <sup>a</sup>	1.088 $\pm$ 0.11185 <sup>a</sup>	تنفس برانگیخته SIR (mg co2 g-1 day-1)
0.000	21.120	75.171 $\pm$ 9.158 <sup>c</sup>	98.53 $\pm$ 9.34 <sup>c</sup>	135.87 $\pm$ 19.246 <sup>c</sup>	393.60 $\pm$ 46.185 <sup>a</sup>	243.80 $\pm$ 37.403 <sup>b</sup>	زی توده میکروبی کربن MBC (mg kg-1)
0.000	95.322	7.363 $\pm$ 1.234 <sup>d</sup>	8.604 $\pm$ 0.497 <sup>d</sup>	14.488 $\pm$ 1.174 <sup>c</sup>	45.262 $\pm$ 2.419 <sup>a</sup>	25.99 $\pm$ 2.005 <sup>b</sup>	زی توده میکروبی نیتروژن MBN (mg kg-1)
0.023	3.044	9.782 $\pm$ 0.901 <sup>d</sup>	25.93 $\pm$ 7.250 <sup>c</sup>	32.00 $\pm$ 5.567 <sup>bc</sup>	62.20 $\pm$ 5.752 <sup>a</sup>	44.933 $\pm$ 5.958 <sup>b</sup>	زی توده میکروبی فسفر MBP (mg kg-1)
0.052	2.721	2.22 $\pm$ 0.826 <sup>a</sup>	1.27 $\pm$ 0.221 <sup>ab</sup>	1.48 $\pm$ 0.218 <sup>ab</sup>	0.774 $\pm$ 0.136 <sup>b</sup>	1.138 $\pm$ 0.212 <sup>ab</sup>	ضریب متابولیکی qCO2( $\mu$ g CO2-C mg-1 MBC day-1)
0.271	1.321	1.590 $\pm$ 1.053 <sup>a</sup>	0.382 $\pm$ 0.097 <sup>a</sup>	1.206 $\pm$ 0.588 <sup>a</sup>	0.264 $\pm$ 0.039 <sup>a</sup>	0.233 $\pm$ 0.035 <sup>a</sup>	قابلیت دسترسی به کربن CAI
0.000	12.121	10.44 $\pm$ 1.04 <sup>c</sup>	10.81 $\pm$ 0.99 <sup>c</sup>	16.14 $\pm$ 1.52 <sup>b</sup>	24.81 $\pm$ 3.013 <sup>a</sup>	19.66 $\pm$ 1.337 <sup>b</sup>	آنزیم اوره‌آز Urease ( $\mu$ g NH4+-N g-1 2 h-1)
0.000	20.916	97.40 $\pm$ 8.70 <sup>c</sup>	89.46 $\pm$ 9.38 <sup>c</sup>	167.87 $\pm$ 24.65 <sup>c</sup>	381.60 $\pm$ 49.40 <sup>a</sup>	256.93 $\pm$ 20.85 <sup>b</sup>	آنزیم اسیدفسفاتاز Acid phosphatase ( $\mu$ g PNP g-1 h-1)
0.000	12.522	30.26 $\pm$ 2.67 <sup>c</sup>	59.40 $\pm$ 5.75 <sup>bc</sup>	71.93 $\pm$ 4.62 <sup>b</sup>	152.13 $\pm$ 22.92 <sup>a</sup>	122.07 $\pm$ 19.46 <sup>a</sup>	آنزیم آریل سولفاتاز Arylsulphatase ( $\mu$ g PNP g-1 h-1)
0.000	13.189	31.66 $\pm$ 4.79 <sup>b</sup>	58.93 $\pm$ 5.77 <sup>b</sup>	65.46 $\pm$ 5.06 <sup>b</sup>	231.53 $\pm$ 35.23 <sup>a</sup>	197.13 $\pm$ 42.30 <sup>a</sup>	آنزیم اینورتاز Invertase ( $\mu$ g Glucose g-1 3 h-1)

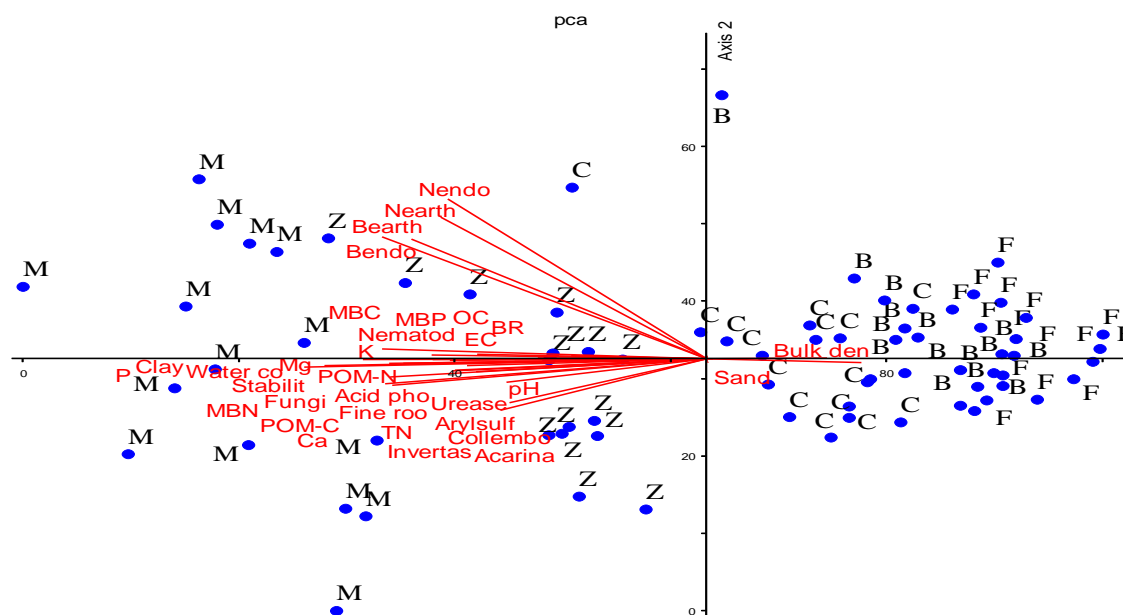
حروف انگلیسی متفاوت در هر سطر بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار در بین پوشش‌های گیاهی مختلف بررسی شده‌است.

Different letters in each row indicate significant statistical difference at the studied different vegetation covers

مقادیر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت این نوع پوشش، شرایط مساعدی را برای فعالیت انواع موجودات خاکزی، جانوری و گیاهی و همچنین افزایش مقادیر بسیاری از مشخصه‌های زیستی خاک فراهم آورده است (شکل ۲).

### تجزیه مؤلفه‌های اصلی

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی حاکی از آن است که تمرکز بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در محل پراکنش قطعات مربوط به پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا است. یعنی پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا به واسطه مطلوب بودن



شکل ۲- ارتباط بین ویژگی‌های مختلف خاک در پوشش‌های گیاهی (M: جنگل آمیخته آزاد و اوجا، Z: آزاد، C: سرخه ولیک، B: زرشک، F: فستوکا) در تحلیل مؤلفه‌های اصلی

Figure 2. Relationship between different soil characteristics in vegetation covers (M: mixed forest *Z. carpinifolia-U. minor*, Z: *Z. carpinifolia*, C: *C. monogyna*, B: *B. vulgaris*, F: *F. ovina*) in PCA

بقایای گیاهی اهمیت زیادی در توزیع اندازه خاکدانه‌ها دارند. وجود بقایای گیاهی از نیروی برخورد قطره‌های باران بر سطح خاک می‌کاهد و اثرهای مخرب یخ زدن و ذوب شدن مکرر برف را تعدیل و از این طریق به ثبات خاکدانه‌ها کمک می‌کند (Mahmoodabadi & Heydarpour, 2014). در پژوهش حاضر زیاد بودن مقدار رس خاک در پوشش‌های جنگلی را می‌توان به تاج‌پوشش بسته جنگل نسبت داد، در حالیکه رویشگاه‌های غیرجنگلی به دلیل باز بودن قسمت‌های فوقانی، بیشتر تحت تأثیر بارش‌های سالیانه قرار گرفته‌اند و این امر سبب آبشویی ذرات رس از لایه‌های بالایی خاک و تجمع آنها در لایه‌های پایینی شده است (Binkley & Fisher, 2012). در واقع طی فرایند آبشویی (انتقال ذرات)، اجزای ذرات خاک با اندازه‌های مختلف در لایه‌های خاک جابه‌جا می‌شوند و همین امر سبب تغییرپذیری درصد اجزای بافت خاک می‌شود (Kooch et al., 2012). زیاد بودن مقدار واکنش خاک در پوشش‌های جنگلی در مقایسه با پوشش‌های دیگر به کمیت و کیفیت مناسب بقایای

## بحث

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در این پژوهش پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا دارای بیشترین مقدار رطوبت خاک بوده است. بیشتر بودن مقدار این مشخصه در پوشش جنگلی به حضور تاج‌پوشش در این عرصه مربوط است. حضور تاج‌پوشش و در پی آن لاشه‌ریزی که همانند عایق بر سطح خاک عمل می‌کند، سبب کاهش تبخیر و تعرق و در پی آن افزایش نگهداشت رطوبت در خاک می‌شود (Wang & Qu, 2009). در زمینه کم بودن مقدار وزن مخصوص ظاهری و زیاد بودن پایداری خاکدانه در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا در مقایسه با پوشش‌های دیگر می‌توان به حضور بیشتر پوشش گیاهی (علفی و لایه‌لاشبرگی) در این عرصه‌ها اشاره کرد. به‌طوریکه به‌واسطه افزایش بقایای گیاهی و در پی آن افزایش ورود مواد آلی به خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد، دانه‌بندی کامل می‌شود و در نهایت در پی افزایش خلل‌و‌فرج، تراکم خاک کاهش می‌یابد (Liu et al., 2019). همچنین

### ویژگی‌های جمعیت‌های جانوری و گیاهی خاک

در این پژوهش بیشترین مقدار زی‌توده ریزریشه در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا اندازه‌گیری شده است. تفاوت در نوع گونه، نوع پوشش گیاهی از دلایل تغییرات مقدار ریزریشه در رویشگاه‌های تحت بررسی است. به‌طوریکه پوشش جنگلی با افزایش رشد و گسترش ریشه‌های خود در مقایسه با بقیه پوشش‌ها، زی‌توده ریزریشه بیشتری را به خود اختصاص داده است (Yuan & Chen, 2010). همچنین بیشتر بودن مقدار این ویژگی در پوشش جنگلی را می‌توان به واکنش ریشه در پاسخ به وفور محتوای مواد آلی و عناصر معدنی در لایه بالایی خاک نسبت داد بدین‌صورت که در نتیجه افزایش مقدار مواد آلی در خاک، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تجزیه افزایش یافته و در پی آن به‌واسطه افزایش مقدار عناصر غذایی قابل جذب توسط ریشه، شاهد حضور و توسعه بیشتر ریزریشه‌ها در خاک چنین پوشش‌هایی بوده‌ایم (Chand et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر پوشش اراضی از شکل چوبی به علفی سبب تغییر چشمگیر فعالیت موجودات خاکزی شده است. در این پژوهش، پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا دارای بیشترین جمعیت و زی‌توده انواع کرم‌های خاکی (آنسئیک‌ها، آندوزئیک‌ها) و پوشش مرتعی فستوکا دارای کمترین مقدار این ویژگی‌ها بوده است. نحوه توزیع و مقدار زی‌توده کرم‌های خاکی تحت تأثیر نوع پوشش‌ها (به‌علت اختلاف در کیفیت لاشبرگ) و ویژگی‌های خاک (به‌علت اختلاف در مقدار رطوبت، واکنش خاک و عناصر غذایی در دسترس و سهولت نفوذپذیری خاک) قرار دارد (Kooch et al., 2017). شرایطی که در تحقیق حاضر در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا کاملاً فراهم بوده است. در همین زمینه (et al., 2016) Mueller در پژوهش خود بیان کرده‌اند که به‌طور کلی پوشش‌های جنگلی به‌صورت مستقیم (کیفیت لاشبرگ و مواد آلی) یا غیرمستقیم (ایجاد سایه،

گیاهی و در پی آن افزایش سرعت تجزیه مربوط است که خود سبب بازگشت مقادیر زیادی از کاتیون‌های بازی به خاک می‌شود که افزایش هدایت الکتریکی در خاک چنین پوشش‌هایی را نیز در پی دارد (Burton et al., 2010). در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا به‌دلیل حضور بیشتر و متنوع‌تر بقایای گیاهی و در پی آن به‌واسطه افزایش جمعیت و میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، مقدار تجزیه و مقدار ورودی مواد آلی به خاک افزایش می‌یابد (Malo et al., 2005). در همین زمینه می‌توان به نقش مواد آلی در افزایش هدایت الکتریکی خاک به‌واسطه جذب کاتیون‌های قلیایی از طریق ایجاد کمپلکس‌های آلی-معدنی نیز اشاره کرد. از آنجا که مواد آلی خاک دارای نقطه تعادل بار صفر کمی هستند، می‌توانند در بیشتر pHها، بیشتر عناصر دارای بار الکتریکی مثبت را به‌واسطه حضور برخی اجزای معدنی خاک به‌ویژه کانی‌های رسی، با قدرت زیادی جذب کنند (Amozadeh et al., 2016). در این پژوهش کمترین مقدار نیتروژن خاک در پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی مشاهده شد. به‌دلیل وجود نیتروژن خاک به مقدار زیاد در قالب ترکیبات آلی در خاک، از این ترکیبات به‌عنوان انباری برای نیتروژن یاد می‌شود. به همین سبب کم بودن مقدار این ویژگی در خاک چنین پوشش‌هایی را می‌توان به کمبود مقدار مواد آلی در خاک تحت این پوشش‌ها نسبت داد (Asadian et al., 2013). فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم قابل جذب و نیتروژن آلی ذره‌ای در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا دارای بیشترین مقدار خود در مقایسه با پوشش‌های دیگر بودند. زیادبودن مقدار این عناصر در خاک این نوع توده جنگلی به‌دلیل زیادبودن سرعت تجزیه بقایای گیاهی (کمبود نسبت کربن به نیتروژن) در این نوع پوشش است. به‌طوریکه در نتیجه تجزیه سریع لاشبرگ و دیگر بقایای گیاهی، غلظت کاتیون‌های بازی و همچنین بقیه مواد مغذی واردشده به خاک افزایش می‌یابد (Blesh & Ying, 2020).

مغذی (فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل جذب) در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا (با حاصلخیزی بیشتر خاک) سبب افزایش فعالیت قارچ‌ها شده است (Asadu et al., 2015). در همین زمینه Rousk et al. (2010) بیان داشته‌اند که باکتری‌های خاک و جامعه قارچی به شدت به حاصلخیزی خاک وابسته‌اند. همچنین قارچ‌ها وابستگی کاملی به رطوبت خاک دارند. پوشش جنگلی با حفظ و نگهداشت بیشتر رطوبت در خاک اثر مثبتی بر فعالیت این موجودات خاکزی داشته است (Baldrian et al., 2012).

### ویژگی‌های زیستی خاک

تأثیر گونه‌های گیاهی و فراوانی آنها بر جمعیت‌های میکروبی خاک ثابت شده است (Singh et al., 2017). پارامترهای بسیاری می‌توانند بر فعالیت‌های میکروبی خاک اثرگذار باشند. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها بیانگر آن است که کاهش نسبت کربن به نیتروژن خاک، سرعت زیاد تجزیه و افزایش مقدار نیتروژن خاک سبب افزایش فعالیت میکروبی (تنفس پایه و برانگیخته) می‌شود (Li et al., 2022). در این پژوهش شاهد افزایش چشمگیر مقادیر تنفس و زی‌توده‌های میکروبی (زی‌توده کربن، نیتروژن و فسفر) در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا در مقایسه با پوشش‌های گیاهی دیگر بوده‌ایم. در واقع می‌توان گفت که مقادیر بیشتر تنفس و زی‌توده‌های میکروبی در پوشش جنگلی به سبب حاصلخیزی بیشتر خاک و متعاقب آن محیا شدن منابع غذایی مورد نیاز جمعیت میکروبی خاک در چنین پوشش‌هایی است (Tardy et al., 2014). در همین زمینه Liao et al. (2012) اذعان داشتند که پوشش‌های جنگلی می‌توانند به‌واسطه افزایش کمیت لاشبرگ، زی‌توده میکروبی خاک را بهبود بخشند. به‌طوریکه غلظت زیاد مواد غذایی و مواد آلی خاک (به‌عنوان منبع انرژی) می‌تواند دلیل افزایش سطح مقادیر زی‌توده میکروبی خاک و متعاقب آن افزایش

حفاظت خاک، جذب آب و مواد غذایی) بر وفور و زی‌توده کرم‌های حاکی اثرگذارند. گستره وسیعی از موجودات زنده در اکوسیستم خاک زندگی می‌کنند که نیازهای اکولوژیک متنوع و متفاوتی دارند. در پژوهش انجام‌گرفته بیشترین تراکم جمعیت پادمان‌ها، کنه‌ها و نماتدها در پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا اندازه‌گیری شده است. تعداد، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی تابعی از مشخصات خاک و نوع پوشش گیاهی است (Frouz et al., 2013). پادمان‌ها حشرات کوچکی هستند که زندگی پنهانی دارند و تجزیه‌کننده و پاک‌کننده محیط زیست در خاک، برگ‌ها، چوب‌های پوسیده و قارچ به شمار می‌روند. کنه‌ها بهترین نماینده بندپایان در خاک محسوب می‌شوند (Kamali & Erfanzadeh, 2013). نماتدها در پوشش جنگلی پارامتر مناسبی برای ارزیابی زیستی کیفیت خاک هستند. این ریزجانداران خاک به‌عنوان شاخص حاصلخیزی خاک مورد توجه قرار می‌گیرند و در خاک‌های با مواد آلی بیشتر، مقدار زیاد نیتروژن و نسبت کم‌کربن به نیتروژن حضور بیشتری دارند (Kazemi et al., 2006; Franco et al., 2017). بیشتر جانوران خاکزی به‌ویژه مزوفون‌ها رطوبت دوست و شمار اندکی از آنها خشکی پسند هستند و در جنگل‌ها به دلیل رطوبت زیاد، تراکم آنها بیشتر است. در این پژوهش، پوشش جنگلی آمیخته آزاد و اوجا بیشترین مقدار رطوبت، مواد آلی، نیتروژن کل و کمترین مقدار نسبت کربن به نیتروژن را به خود اختصاص داده است. نوع پوشش گیاهی با اثرگذاری بر ویژگی‌های مختلف خاک، جمعیت قارچ‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Asadu et al., 2015). نقش قارچ در خاک بسیار پیچیده است. قارچ‌ها می‌توانند در چرخه عناصر غذایی خاک اثر بگذارند و اجتماعات همزیست و بیماری‌زا با بقیه گیاهان و جانوران و همچنین اثرهای متقابل با بقیه ریزجانداران داشته باشند (Anderson & Cairney, 2004). در این پژوهش، مقدار زیاد نیتروژن کل و مواد

یافته‌های Mirzavand & (2020) AsadiRahmani حضور بقایای گیاهی بیشتر و در پی آن افزایش مقدار مواد آلی خاک، عامل مهمی در فعالیت و تکثیر جمعیت میکروبی خاک بوده است. در واقع بقایای گیاهی به واسطه نقش مثبت خود در افزایش ثبات و استقرار جامعه میکروبی، سبب بهبود فعالیت آنزیم اسیدفسفاتاز خاک می‌شوند (Asadiyan et al., 2023) نتایج پژوهش (2007) et al. Acosta-Martinez نشان داد که فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز رابطه مثبت و معنی‌داری با کربن آلی خاک دارد که با نتایج تحقیق حاضر نیز همخوانی دارد. فعالیت بیشتر آنزیم اینورتاز در پوشش جنگلی را می‌توان به حاصلخیزی بیشتر خاک در این نوع پوشش در مقایسه با بقیه پوشش‌ها نسبت داد. در همین زمینه Zhang et al. (2009) با تحلیل‌های همبستگی بین ویژگی‌های مختلف خاک و فعالیت آنزیم اینورتاز به اثرهای مثبت کربن آلی، نیتروژن کل و فسفر کل (شاخص‌های کلیدی در حاصلخیزی خاک) بر فعالیت آنزیم اینورتاز اشاره کردند. به‌استناد نتایج این پژوهش، می‌توان از مقادیر زیاد کربن آلی و نیتروژن کل خاک در پوشش جنگلی در تحقیق حاضر، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در افزایش فعالیت آنزیم اینورتاز در این نوع پوشش یاد کرد.

### نتیجه‌گیری

طبق نتایج این پژوهش، تغییر پوشش از اراضی جنگلی به پوشش‌های درختچه‌ای و به‌طور ویژه به پوشش مرتعی فستوکا (به‌واسطه جایگزینی طبیعی پوشش‌های گیاهی در منطقه پژوهش)، تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، جمعیت‌های جانوری، گیاهی و ویژگی‌های میکروبی خاک داشته و سبب کاهش فعالیت انواع موجودات خاکزی (گروه‌های اکولوژیک کرم خاکی، کنه‌ها، پادمان‌ها، نماتدها، باکتری‌ها و قارچ‌ها)، کاهش زی‌توده ریزیشه‌های گیاهان و همچنین ویژگی‌های میکروبی (تنفس و

میزان تنفس باشد (Aponte et al., 2013). در این پژوهش مقدار ضریب متابولیکی در پوشش مرتعی فستوکا بیشتر از بقیه پوشش‌ها بوده است. زیاده‌ای این کسر (نسبت تنفس پایه به مقدار کربن زیست‌توده میکروبی) بدین معناست که در پوشش مرتعی، مقدار معدنی شدن کربن زیاد است و بیشتر میکروارگانیسم‌ها کربن را به‌صورت CO<sub>2</sub> به اتمسفر رها می‌کنند و کمتر به مصرف خود درمی‌آورند (Khanlari et al., 2019). در واقع با تغییر پوشش، جانداران خاک اکسیژن بیشتری دریافت می‌کنند و سرعت و شدت تنفس در خاک در کوتاه‌مدت افزایش می‌یابد که این امر خود سبب تجزیه مواد آلی بیشتری می‌شود و با کاهش مواد آلی خاک در درازمدت، کیفیت خاک نیز پس از مدتی کاهش می‌یابد (Su et al., 2004).

در این پژوهش بیشترین فعالیت آنزیمی در خاک پوشش‌های جنگلی اندازه‌گیری شده است. فعالیت‌های آنزیمی خاک به‌عنوان ویژگی‌های زیستی خاک به‌دلیل تأثیر مهم آنها در چرخه مواد غذایی و حساسیت آنها به تغییرات پوشش اراضی همواره حائز اهمیت بوده است (Fang et al., 2014). فعالیت آنزیمی خاک ارتباطی قوی با خواص خاک و حاصلخیزی دارد و به‌واسطه تأثیرپذیری از نوع پوشش، منعکس‌کننده عملکرد بوم‌سازگان‌های خاک است (Meena & Rao, 2021). آنزیم آریل سولفاتاز، تأثیر حیاتی در تجزیه ماده آلی و معدنی شدن در خاک‌ها دارد و به نوع طرح مدیریتی خاک حساس است (Ndiaye et al., 2000). با توجه به پژوهش (Ling et al., 2014)، مقدار زیادرس در خاک پوشش‌های جنگلی (به‌واسطه تأثیر آن در تثبیت و حفاظت از این آنزیم) سبب افزایش فعالیت آنزیم آریل سولفاتاز در این نوع پوشش‌ها می‌شود. در زمینه زیاد بودن مقدار فعالیت آنزیم اسید فسفاتاز در پوشش‌های جنگلی این پژوهش، می‌توان به مقدار مواد آلی خاک در این پوشش‌ها اشاره کرد. برپایه

حساس و شکننده‌ای چون پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی بیش از پیش اهتمام ویژه‌ای داشت.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور (دانشگاه تربیت مدرس) بابت تسهیل در اجرای این پژوهش (تامین کننده اعتبار پژوهش) تشکر و قدردانی می‌کنند.

زی‌توده‌های میکروبی) و بیوشیمی (فعالیت آنزیم‌های اوره‌از، آریل‌سولفاتاز و اینورتاز) خاک در چنین پوشش‌هایی شده است. با توجه به نتایج این تحقیق مبنی بر افت بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و در پی آن ویژگی‌های زیستی خاک در پوشش‌های درختچه‌ای و مرتعی در مقایسه با پوشش‌های جنگلی، باید به مسئله حفاظت از پوشش‌های جنگلی (به‌عنوان پوشش‌هایی غنی) و جلوگیری از تخریب شدید و فزاینده این عرصه‌ها و همچنین بازسازی و احیای پوشش‌های

### References

- Aliasgharzade, N. (2010). Laboratory methods in soil biology. Tabriz: Tabriz university press. (In Persian)
- Acosta-Martinez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramirez, D., & Perez-Alegria, L. (2007). Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*, 35, 35-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.05.012>.
- Amozadeh, A., Landi, A., & Hojati, S. (2016). Effects of Organic Matter Removal on Potassium Adsorption Isotherms in Different pH Values at Some Soil of Khuzestan Province. *Water and Soil*, 30(3), 782-795. <https://doi.org/10.22067/jsw.v30i3.39080>. (In Persian)
- Asadu, C.L.A., & Chibuiké, G.U. (2015). Contributions of organic matter, clay and silt to the effective CEC of soils of different land use history. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 9(8), 110-115.
- Ashagrie, Y., Zech, W., & Guggenberger, G. (2005). Transformation of a Podocarpus falcatus dominated natural forest into a monoculture *Eucalyptus globulus* plantation at Munesa, Ethiopia: soil organic C, N and S dynamics in primary particle and aggregate-size fractions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106(7), 89-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2004.07.015>.
- Anderson, I.C., & Cairney, J.W.G. (2004). Diversity and ecology of soil fungal communities: increased understanding through the application of molecular techniques. *Environ. Microbiol*, 6, 769-779. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2004.00675.x>.
- Aponte C., García L.V., & Marañón, T. (2013). Tree species effects on nutrient cycling and soil biota: a feedback mechanism favoring species coexistence. *Forest Ecology and Management* 309(1), 36-46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.035>.
- Asadian, M., Hojjati, S.M., Pourmajidian, M.R., & Fallah, A. (2013). Impact of land-use management on nitrogen transformation in a mountain forest ecosystem in the north of Iran. *Journal of forestry Research*, 24(1), 115-119. <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-012-0291-z>.
- Asadian, M., Hojjati, S.M., Mohammadzadeh, M., & Nadi, N. (2023). Evaluating the response of ecosystems to land-use change using soil quality index-Alandan forest Sari, Iran. *Iranian Journal of Forest*, 15(1), 17-24. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/ijf.2022.341214.1868>.
- Asadu, C.L.A., & Chibuiké, G.U. (2015). Contributions of organic matter, clay and silt to the effective CEC of soils of different land use history. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 9(8), 110-115.
- Baluee, A., Hojjati, S.M., Asadi, H., & Asadian, M. (2023). Effect of plant communities of the Darabkola research and educational forest on Carbon stored in soil and above ground biomass. *Journal of Forest Research and Development*, 9(2), 189-204. doi:10.30466/jfrd.2023.54505.1648 (In Persian)

- Baldrian, P., Kolařík, M., Štursová, M.J., Kopecký, V., Valášková, T., Větrovský, L., Žifčáková, J., Šnajdr, J., Ridl, C., Vlček, Č., & Voříšková, J. (2012). Active and total microbial communities in forest soil are largely different and highly stratified during decomposition. *The ISME Journal*, 6(2), 248–258.
- Blesh, J., & Ying, T. (2020). Soil fertility status controls the decomposition of litter mixture residues. *Ecosphere*, 11(8), 1-20. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3237>.
- Burton, J., Chen, C., Xu, Z., & Ghadiri, H. (2010). Soil microbial biomass, activity and community composition in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Journal of Soil and Sediments*, 10, 1267-1277. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0238-y>.
- Binkley, D., & Fisher, R. (2012). *Ecology and Management of Forest Soils*. John Wiley and Sons. 368p.
- Chand, H.B., Joshi, G., Bhatta, R.P., Singh, S., Kumar, A., Joshi, N.R., & Bohara, R. (2022). Fine root biomass differs significantly across different forest types and soil depth in Central Himalaya, India. *Current Science*, 123(2), 194-201. <http://dx.doi.org/10.18520/cs/v123/i2/194-201>.
- Fang, H., Cheng-Wang, S.Y., Yu, G., Xu, M., Dang, X., Li, L., & Wang, L. (2014). Changes in soil heterotrophic respiration, carbon availability, and microbial function in seven forests along a climate gradient. *Ecological Research*, 29(6), 1077-1086. <https://doi.org/10.1007/s11284-014-1194-6>.
- Franco, A.L.C., Knox, M.A., Andriuzzi, W.S., Tomasel, C.M.de., Sala, O.E., & Wall, D.H. (2017). Nematode exclusion and recovery in experimental soil microcosms. *Soil Biology and Biochemistry*, 108(5), 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.02.001>.
- Frouz, J., Livecková, M., Albrechtová, J., Chronáková, A., Cajthaml, T., Pizl, V., & Cepáková, S. (2013). Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *Forest Ecology and Management*, 309(4), 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.02.013>.
- Jafari-Haghighi, M. (2003). *Methods of Soil Analysis*. Mashhad: Nedaye Zoha press. (In Persian)
- Jost, E., Schonhart, M., Skalsky, R., & Balkovi, J. (2021). Dynamic soil functions assessment employing land use and climate scenarios at regional scale. *Journal of Environmental Management*, 287(9), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112318>.
- Kamali, P., & Erfanzadeh, R. (2013). Impact of livestock grazing on plant species diversity and richness and some soil physico-chemical features. *Natural Ecosystems of Iran*, 4(1), 1-18. (In Persian)
- Kazemi, Sh., Kamali, K., & Fathi pour, y. (2006). Investigating the species diversity of soil mites in the province Tehran. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36(4), 885-894. (In Persian)
- Kooch, y. (2023). *Soil functional ecology*. Press Organization Jahade Daneshgahi. (In Persian)
- Kooch, Y., Parandosh, Z., & Zarafshar, M. (2022). The effect of changing forest vegetation to rangeland on soil flora and fauna activities of the mountainous part of Kinj-Nowshahr. *Journal of Rangeland*, 16(2), 454-467. (In Persian)
- Kooch, Y., & Noghreh, N. (2019). The effect of forest, rangeland and agriculture covers on soil microbial characters and enzyme activities. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(3), 128-143. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2019.16191.3147>.
- Kooch, Y., & Bayranvand, M. (2017). Variability analysis of litter quality, mineral nitrogen, soil respiration and microbial biomass under afforested tree stands. *Forest and Wood Products, Iranian Journal of Natural Resources*, 70(3), 451-460. <https://doi.org/10.22059/jfwp.2017.209262.757>. (In Persian)
- Kooch, Y., Samadzadeh, B., & Hosseini, S.M. (2017). The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *Catena*, 150, 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.023>.

- Kooch, Y., Hosseini, S.M., Zaccane, C., Jalilvand, H., & Hojjati, S.M. (2012). Soil organic carbon sequestration as affected by afforestation: The Darab Kola forest (North of Iran) case study. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(3), 2438-2446. <http://dx.doi.org/10.1039/c2em30410d>.
- Korucu, T., Shipitalo, M.J., & Kaspar, T.C. (2018). Rye cover crop increases earthworm populations and reduces losses of broadcast, fall-applied, fertilizers in surface runoff. *Soil and Tillage Research*, 180, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.004>.
- Li, Zh., Peng, Q., Dong, Y., & Guo, Y. (2022). The influence of increased precipitation and nitrogen deposition on the litter decomposition and soil microbial community structure in a semiarid grassland. *Science of The Total Environment*, 844, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157115>.
- Liao C., Luo, Y., Fang, C., Chen, J., & Li, B. (2012). The effects of plantation practice on soil properties based on the comparison between natural and planted forests: a meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*, 21(3), 318-327. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00690.x>.
- Liu, W., Xu, W., Han, Y., Wang, C., & Wan, S. (2007). Responses of microbial biomass and respiration of soil to topography, burning, and nitrogen fertilization in a temperate steppe. *Biology and Fertility of Soils*, 44, 259–268. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-007-0198-6>.
- Liu, M., Han, G., & Zhang, Q. (2019). Effects of soil aggregate stability on soil organic carbon and nitrogen under land use change in an erodible region in Southwest China. *International journal of environmental research and public health*, 16(20), 3809. <https://doi.org/10.3390/ijerph16203809>.
- Ling, N., Sun, Y., Ma, J., Guo, J., Zhu, P., Peng, C., & Shen, Q. (2014). Response of the Bacterial Diversity and Soil Enzyme Activity in Particle-size Fractions of Mollisol after Different Fertilization in a Long-term Experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 901-911.
- Malo, D., Schumacher, T., & Doolittle, J. (2005). Long-term cultivation impacts on selected soil properties in the northern Great Plains. *Soil and tillage research*, 81(2), 277-291. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.09.015>.
- Mahmoodabadi, M., & Heydarpour, E. (2014). Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. *International Agrophysics*, 28(2), 169 - 176. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.2478/intag-2014-0005>.
- Marefat, S., Eshaghi Rad, J., & Khanalizadeh, A. (2020). Efecto de rodales mixtos de haya y carpe en las propiedades del suelo y en los índices de diversidad de especies de plantas en bosques Hircanos, Irán. *Instituto de Ecologia, A.C.*, 26(3), 1-14. <http://dx.doi.org/10.21829/myb.2020.2632015>.
- Meena, A., & Rao, K.S. (2021). Assessment of soil microbial and enzyme activity in the rhizosphere zone under different land use/cover of a semiarid region, India. *Ecological Processes*, 10(16), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00288-3>.
- Mirzavand, J., & Asadi Rahmani, H. (2020). Effect of Different Tillage Practices on Phosphatase and Urease Activities in a Calcareous Soil. *Journal of Soil biology*, 8(1), 15-25. <https://doi.org/10.22092/sbj.2020.121869> (In Persian)
- Mohammadi Samani, K., Jalilvand, H., Salehi, A., Shahabi, M. & Galij, A. (2006). Investigation of the relationship between some soil chemical properties and several tree types of Zagros Forests (Casestudy of Marivan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 14, 148-158 (In Persian).
- Mueller, M.H., Alaoui, A., & Alewell, C. (2016). Water and solute dynamics during rainfall events in headwater catchments in the Central Swiss Alps under the influence of green alder shrubs and wetland soils. *Ecohydrology*, 9(6), 950-963. <https://doi.org/10.1002/eco.1692>.
- Nan, J., Chao, L., Ma, X., Xu, D., Mo, L., Zhang, X., Zhao, X., & Bao, Y. (2020). Microbial diversity in the rhizosphere soils of three Stipa species from the eastern Inner Mongolian grasslands. *Global Ecology and Conservation*, 22(1), 62-77. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00992>.

- Ndiaye, E.L., Sandeno, J.M., McGrath, D., & Dick, R.P. (2000). Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*, 15, 26-36. <https://doi.org/10.1017/S0889189300008432>.
- Mola ali abasiyan, S., Hemati, A., & Eskandarnasl. (2024). Effect of Some Addictive Organic Compounds on Soil Microbial Population and Nutrients Concentration in Maize (*Zea mays* L.). *Applied Soil Research*, 12(1), 1-14. doi: 10.30466/asr.2024.121474.
- Rousk, J., Baath, E.P., Brookes, C., Lauber, C.L., Lozupone, C., Caporaso, J., Knigh, G.R., & Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME journal*, 4(10), 1340-1351.
- Saiz, G., Wandera, F., Pelster, D., Ngetich, W., Okalebo, J., Rufino, M., & Butterbach-Bahl, K. (2016). Long-term assessment of soil and water conservation measures (Fanya-juu terraces) on soil organic matter in South Eastern Kenya. *Geoderma*, 274, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.03.022>.
- Sayad, E., Hosseini, S.M., Akbarinia, M., & Gholami, S.H. (2007). Comparison of soil properties in pure plantations of *Populus eurmaercana* (DODE) guinier and mixed with *Alnus subcordata* c.a.Mey. *Journal of Environmental Studies*, 33(41), 77-84 (In Persian). <http://dx.doi.org/10.52547/ifej.10.19.171>.
- Singh, A.K., Kushwaha, M., Rai, A., & Singh, N. (2017). Changes in soil microbial response across year following a wildfire in tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 22(4), 321-337. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.042>.
- Song, M., Li, X., Jing, Lei, S.L., Wang, J., & Wan, S. (2016). Responses of soil nematodes to water and nitrogen additions in old-field grassland. *Applied Soil Ecology*, 102(3), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.02.011>.
- Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhang, T.H., & Zhao, X.Y. (2004). Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. *Soil and Tillage Research*, 75, 27-36. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00157-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00157-0).
- Tardy, V., Mathieu, O., Lévêque, J., Terrat, S., Chabbi, A., Lemanceau, P., Ranjard, L., & Maron, P.A. (2014). Stability of soil microbial structure and activity depends on microbial diversity. *Environmental Reports*, 6(2), 173-183. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12126>.
- Varasteh Khanlari<sup>1</sup>, Z., Golchin, A., Mousavi Kubar, S.A., & Alamdari, P. (2019). The change of the biological properties of a forest soil after converting to the paddy field and determination of the most sensitive properties to land use change. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 269-282. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.17258.3271>
- Wang, L., & Qu, J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. *Earth Science*, 3, 237-247. <https://doi.org/10.1007/s11707-009-0023-7>.
- Yadav, R.S., Yadav, B.L., Chhipa, B.R., Dhyani, S.K., & Ram, M. (2011). Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. *Agroforestry Systems*, 81, 195-202. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-010-9277>.
- Yang, Z.P., Zhang, Q., Wang, Y.L., Zhang, J., & Chen, M.C. (2011). Spatial and Temporal Variability of Soil Properties Under *Caragana microphylla* Shrubs in the Northwestern Shanxi Loess Plateau China. *Journal of Arid Environment*, 75(6), 538-544. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.01.007>.
- Yuan, Z.Y., & Chen, H.Y. (2010). Fine Root Biomass, Production, Turnover Rates, and Nutrient Contents in Boreal Forest Ecosystems in Relation to Species, Climate, Fertility, and Stand Age: Literature Review and Meta-Analyses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(4), 204-221. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.483579>.

Zhang, J., Yedlapalli, P., & Lee, J.W. (2009). Thermodynamic analysis of hydrate-based pre-combustion capture of CO<sub>2</sub>. *Chemical engineering science*, 64(22), 4732-4736. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2009.04.041>.

Zhu, Y., Bian, H., Ju, C., Xu, C., Zhou, Y., & Zhang, H. (2023). Fertilization alters the abundance but not the diversity of soil fauna: A meta-analysis. *Global Ecol Biogeogr*, 32, 482-494. <https://doi.org/10.1111/geb.13641>.

Zou, H., & Hastie, T. (2020). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the Royal Statistical Society*, 67(2), 301-320. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2005.00503.x>.



## The effect of different tree, shrub, and rangeland covers on physical, chemical, and biological soil properties (case study: Monj region -Noshahr)

Y. Kooch<sup>1\*</sup>, M. Asadian<sup>2</sup>, and K. Haghverdi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate prof., Dept. of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, Iran.

<sup>2</sup>Ph.D. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran.

<sup>3</sup>Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Ka.C., Islamic Azad University, Karaj, Iran.

(Received: 24 April 2024; Accepted: 6 October 2024)

### Abstract

**Introduction:** The preservation of valuable natural ecosystems requires an understanding of plant communities and the environmental factors affecting them. Soil serves as the foundation for plant growth and development, and in each region, there is a close and reciprocal relationship between soil and vegetation. The different vegetation covers due to the different quantities and qualities of organic material inputs (plant residues) lead to fundamental changes in particle density, soil aggregate stability, porosity, microbial biomass and its activity level in the soil and finally nutrient cycles. The present study was conducted to investigate the physical, chemical, fauna and flora communities and the soil microbial indicators under different plant covers in the Monj region of Noshahr city. **Material and Methods:** In this study, forest habitats dominated by *Zelkova carpinifolia* (Pall.) K.Koch, mixed *Zelkova carpinifolia* (Pall.) K.Koch and *Ulmus minor* Mill (mixed forest), shrub cover dominated by *Crataegus monogyna* Jacq, shrub cover dominated by *Berberis vulgaris* L. and rangeland cover dominated by *Festuca ovina* L (Festuca vegetation) were chosen. It is worth mentioning that these covers have developed over time as a result of natural succession and have been influenced by environmental and site-specific characteristics. In each of these habitats, fifteen soil samples were taken from a depth of 0-10 cm and were transferred to the laboratory for analysis of physical, chemical and biological soil properties.

**Results:** The results showed that the amount of soil moisture in the mixed forest was 1.7 times higher than that in the Festuca vegetation. The aggregate stability and electrical conductivity in the mixed forest were 1.9 and 1.4 times higher, respectively, than in the Festuca vegetation. In the mixed forest, the amount of organic carbon (1.5 times) and total nitrogen (2.7 times) were higher than in the Festuca vegetation. Also, in the Festuca vegetation, the amounts of particulate organic carbon (1.5 times), phosphorus (2.4 times), potassium (2.6 times), calcium (2.3 times), and available magnesium (2.8 times) were lower than in the mixed forest. The amount of fine root biomass in forest covers was more than three times its value in the Festuca vegetation. The density of endogeic, earthworm biomass, nematode density and fungal population in the mixed forest were 6.7, 8.3, 4.5 and 6.5 times higher respectively, than the Festuca vegetation. In the mixed forest, the amount of basal respiration (3.3 times), microbial biomass carbon (5.2 times), urease (2.4 times) and acid phosphatase (1.7 times) were higher than in the Festuca vegetation. In this study, the amount of qCO<sub>2</sub> in the Festuca vegetation was 2.9 times higher than in the mixed forest. Also, the principal component analysis (PCA) showed that the mixed forest provides favorable conditions for the activity of various soil organisms, soil fauna and flora.

**Conclusion:** Overall, the results of this study showed that many of the physical, chemical, and biological characteristics of the soil under tree (forest) cover were in more favorable condition compared to other vegetation covers studied. However, the transition from forest cover to rangeland (due to natural succession and replacement) led to a decline in many of the soil's physical and chemical properties, resulting in a decrease in soil microbial and biological activities.

**Keywords:** Festuca vegetation, Fauna and flora communities, Mixed *Zelkova* and *Ulmus* forest, Soil microbial indicators.